《软件测试课程设计》讲稿（第 7 章）

第 8–9 周 · 两次课各 2 学时（共 180 分钟）

广东金融学院 计算机学院 | 周宇文

讲稿可照读版 | 由课件逐页撰写

第 7 章　专项测试

第 8–9 周 · 两次课各 2 学时（共 180 分钟） | 教材：朱少民《软件测试方法和技术（第 4 版）》

《软件测试课程设计》第 7 章 讲稿（第 8–9 周 · 两次课各 2 学时，共 180 分钟）

> 课程：软件测试课程设计（154442008） | 广东金融学院 计算机学院 | 专业选修
>
> 章节：第 7 章 专项测试 —— 性能、安全、兼容、可靠、易用，五条非功能战线
>
> 学时：**2 次课（第 8 周、第 9 周各 2 学时，共 180 分钟）**
>
> 教材：朱少民《软件测试方法和技术（第 4 版）》第 2 篇 软件测试技术
>
> 配套课件：逐页还原版 **212 页**（`lecture7/`，云端 http://111.231.0.226:2345/lecture7/index.html）
>
> 教案对应：第 8 次课「专项测试（一）：性能与安全」＋第 9 次课「专项测试（二）：兼容、可靠与易用」
>
> 本讲重点：性能测试的目标与类型（基准／验证／规划／容量；压力／渗入／峰谷）、负载三要素、性能需求的可测试化、性能测试层次与分段计时、JMeter 体系；安全性测试的 SDLC 贯穿与 Web 十大类漏洞的测法；兼容性（软硬件／系统间／数据／环境组合）；可靠性（容错、全链路压测、混沌工程）；易用性与 A/B 测试

> 本讲难点：把"每天一千万笔交易"翻译成可测指标；性能问题的外部表现与内因对应；安全漏洞"原理—为何成立—怎么测—怎么防"的完整链路；全链路压测与混沌工程的爆炸半径控制；A/B 测试的分层分流与统计评价
>
> **本讲稿为可照读完整版**：每页含【口播（可直接朗读）】【板书】【提问＋预设回答】【易错点/考点】【过渡】；带 ★ 的页为时间紧张时可压缩页。

一、教学目标

维度	目标（课后可检验）
知识	① 能说出性能测试的四类目标型测试与三类压力型测试的区别；② 能用「RPS＋并发连接数＋思考时间」解释并发用户数，并说明思考时间为零的后果；③ 能把一句模糊的性能要求改写成带峰值系数的可测指标；④ 能说出性能测试的六个层次与请求各段时间的构成；⑤ 能列出安全性测试贯穿 SDLC 的关键活动，并说明 XSS、SQL 注入、会话劫持、直接对象引用、功能级权限缺失各自的原理与测试点；⑥ 能区分兼容性的四个面向（软硬件／系统间／数据／环境组合）；⑦ 能说明全链路压测与混沌工程的作用、以及爆炸半径为什么要控制；⑧ 能说出 A/B 测试的桶／层／流量三层概念与分层分流的意义
能力	① 能为一个系统写出性能测试方案骨架（目标、负载模型、场景、监控指标、判据）；② 能用 JMeter 组织一个最小测试计划（线程组＋取样器＋断言＋监听器）；③ 能对一个登录接口列出至少 6 个安全测试点；④ 能针对一次升级列出兼容性检查单；⑤ 能设计一个小规模混沌实验（稳态假设、注入故障、爆炸半径、观测指标）；⑥ 能读懂一份 A/B 实验报告的核心指标与显著性
素质（思政）	① 由「模糊要求→可测指标」体会严谨求实；② 由资源泄漏与长跑测试体会细节与长期主义；③ 由安全测试体会技术能力必须配责任边界；④ 由数据兼容体会对历史数据与用户资产的敬畏；⑤ 由混沌工程的爆炸半径控制体会「敬畏风险、可控试验」；⑥ 由 A/B 评价体会数据伦理——不用数据骗人；⑦ 由复盘文化体会从失败中学习的诚实

本讲要建立的一个总印象：功能测试回答"**做得对不对**"，专项测试回答"**扛不扛得住、守不守得住、换环境还灵不灵、久用会不会垮、人用着顺不顺**"。这五条战线共同决定一个系统能不能真正上线并长期活着。

二、时间分配总表

> ⚠ **容量提示（务必先读）**：本章课件 **212 页**，是全课程页数第二多的一章，本讲稿是**素材全量版**（口播约 13 万字，≈540 分钟纯朗读）。教案把本章排在**两次课（180 分钟）**，请务必按下表取用：
>
> 1. **重点页全文慢讲（2–3 分钟/页）**：
> 7.4、7.7、7.12、7.13、7.15、7.18、7.22、7.34、7.61、7.63、7.78、7.90、7.91、7.114、7.123、7.149、7.150、7.186、7.191、7.199。
>
> 2. **常规页快速带过（0.8–1.5 分钟/页）**：只讲口播第一段（结论）＋板书＋1 个提问。
>
> 3. **可课后阅读页（★）**：工具安装配置页（7.24–7.33、7.100–7.105、7.130–7.140、7.165–7.181 中的截图页）、厂商实践页（7.153–7.155）、平台架构细节页（7.192、7.207–208）。
>
> 4. **必须当堂互动页**：7.18（改写一条性能需求）、7.90/7.91（现场找 XSS 与注入点）、7.149（写一个混沌实验的稳态假设）、7.199（读 A/B 指标）。
>
> 5. **实验 4-1／4-2（7.39、7.40）**与压测平台实践页，按课程安排交代清楚。

第 8 次课（第 8 周 · 90 分钟）：性能与安全

时段	页码	内容	分钟	备注
第 1 节	7.1–7.8	开场、本章五节地图、性能测试定位、性能问题内外因、定义与目标、负载三要素	12	**7.4、7.7 必讲**
第 1 节	7.9–7.14	思考时间、负载模式、四类目标型测试、三类压力型测试	10	**7.12、7.13 必讲**
第 1 节	7.15–7.23	性能层次、全生命周期、性能需求、可测试性、架构与代码评审、设计与执行、分段计时、工具	14	**7.15、7.18、7.22 必讲**；工具清单可略
——	——	**课间休息 10 分钟**	——	——
第 2 节	7.24–7.40	JMeter 体系、性能分析与调优、性能小结、实验 4	10	只讲结构与方法，安装细节课后
第 2	7.41–	7.2 安全性测试：渗透测试、SDLC 贯穿、风险分析、代码评	20	**7.61、7.63 必讲**

节	7.76	审、基于风险		
第 2 节	7.77–7.108	Web 安全：渗透测试点、XSS、SQL 注入、XML 注入、会话劫持、认证与 Session、未验证跳转、直接对象引用、权限缺失；工具与小节	20	**7.90、7.91 必讲**（当堂找点）
第 2 节	7.109–7.121	7.3 兼容性测试：四类兼容 + 小结	4	现场发兼容性检查单

第 9 次课（第 9 周 · 90 分钟）：可靠、压测、易用

时段	页码	内容	分钟	备注
第 1 节	7.120–7.131	7.4 可靠性：可靠性方法、容错性、全链路压测需求与流量控制、压测平台能力	16	**7.123、7.130 必讲**
第 1 节	7.132–7.181	Takin、混沌工程（原则、爆炸半径、局限、实验/故障库/可观察性、五条优秀实践）、ChaosBlade、Chaos Mesh、KeChaos	26	**7.149、7.150 必讲**；截图页可略
——	——	**课间休息 10 分钟**	——	——
第 2 节	7.182–7.185	7.5 易用性测试：UI 元素、用户体验测试方法、模型、A/B 引入	8	——
第 2 节	7.186–7.209	A/B 测试：特点、场景、核心概念、桶层流量、OpenResty 分流、MurmurHash、流程与数据流、SDK、平台、评价、优秀实践、多因素、决策树、架构	26	**7.186、7.191、7.199 必讲**；平台设计可略
第 2 节	7.210–7.212	本节小结、作业与开源清单、学习资源、结束	4	交代作业

> **压缩优先级**：先压缩 ★ 标记的工具截图与厂商实践页 → 再压缩压测平台与 A/B 平台的架构细节（保留"为什么这么设计"的三句话）→ 最后才压缩
>
> 7.12、7.13、7.18、7.78、7.90、7.91、7.123、7.149、7.191、7.199。**这十页是考点密集页，不要动。**

三、逐页讲稿

> 使用说明：每页第一段是**可直接朗读的口播**；其后是板书、提问与预设回答、易错点/考点、过渡语。板书建议边讲边写。
>
> 页码锚点与课件页一一对应（7.1–7.212），可逐页对照：http://111.231.0.226:2345/lecture7/index.html
>
> **三处口径提醒**：① 7.28 页课件对 JMeter 的 `-p` 参数有两处不同含义（属性文件／代理端口），实际命令行为 `-P`，讲稿已按命令行事实标注勘误；② 7.3 页"本节内容进行了优化…"是作者备课备注，不作为考点；③ 7.194 写作「MurmurHash」，属哈希算法名，按课件拼写。

【7.1】软件测试方法和技术（1 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 功能一条条都对，用户一多就卡死。这种事你遇到过吗？

>

> 前面六章走的是同一条线：这个软件做得对不对。第 2 章讲概念，第 3 章讲方法，第 4 章讲流程。第 5 章钻到代码里做单元和集成，第 6 章站到系统外面做功能测试。输入进去，输出对不对，业务规则算得对不对。这条线到第 6 章，已经算走完整了。

>

> 可它只回答一半。一个单引号能把数据库拖走，功能测试抓不住。换个手机型号界面崩了，也抓不住。为什么抓不住？因为这些不是对错问题。它们的判据是资源、时间、攻击面、运行环境，功能用例压根覆盖不到这些地方。功能测试问"输出对不对"，它们问"在特定条件下还站不站得住"。

>

> 还有个背景。七八年前，一套系统服务一家公司。现在一套系统可能同时服务上万家租户。用户规模上去了，稳不稳这件事就从加分项变成及格线。

>

> 第 7 章收拾的就是这一类。五个专项：性能、安全性、兼容性、可靠性、易用性。这一讲先攻第一个，也是最烧钱、最容易在生产上炸的那个。它的判据是指标，不是预期结果。这一个区别没打通，后面五节全会听成更细的功能测试。

>

> 听的时候带一个问题：你的系统能扛住多少人同时用？这个数字，你是从哪儿知道的？

> **提问：**一个功能完全正确的系统，还有可能上线就出事吗？举一个你自己用过的例子。

> **预设回答：**

- 答"会，抢购页面一直转圈"——这就是性能问题。功能没坏，是扛不住。

- 答"会，换个手机就闪退"——兼容性专项，后面几节会讲到。

- 答"功能都对就不会出事"——最常见的误解。功能测试的判据是预期结果，性能看的是资源、时间、攻击面，用例覆盖不到。

- 收口：三种回答的差别，就是通用测试和专项测试的分界线。

> **易错点 / 考点：**① 专项测试不是"更细的功能测试"，判据不是"输出对不对"，是"指标达不达标"；② 五个专项的名称要能默写：性能、安全性、兼容性、可靠性、易用性；③ 常见陷阱："专项测试只在系统测试阶段做"——错，单元、集成、系统、验收各阶段都有对应活动，第 8 章讲全生命周期时会再遇到。

> **过渡：**先把这五块在整章里怎么排看清，你心里才有个时间预算。

【7.2】7.1 性能测试（1 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 五块内容，一块一块点过去，你看着记结构就行。

>

> 7.1 性能测试，本讲主体，时间最长。要回答四件事：性能问题长什么样、性能测试怎么定义、负载由哪几个要素构成、测试分成哪几类。7.2 安全性测试，看软件会不会越界：漏洞从哪来、攻击分几个阶段、安全目标是什么。7.3 兼容性，同一套代码换个环境还认不认人，换浏览器、换机型、换系统版本都算。7.4 可靠性，长时间跑、出了故障能不能恢复。7.5 易用性，人用起来顺不顺。

>

> 五块底下有一条共同的主线。它们衡量的都不是"对不对"，是"够不够"。够快、够稳、够安全、够通用、够

> 好用。

>

> "够不够"这三个字有代价。它意味着你先得有一个能比的刻度，也就是量化指标。没有指标，测完只能说"我感觉还行"，验收单上签不了字。

>

> 五个方向对着五类反例：卡、被攻破、换环境就崩、跑久了坏、没人愿意用。

>

> 还有一点：五块里没有一块是选修。验收报告五项都要有结论，缺一项，这份报告就不完整。

>

> 所以客户只丢一句"要快一点"，你能开工吗？先把它翻成"首页 95% 的请求 2 秒内返回"这种句子。翻不出来，先谈，别先跑工具。

> **提问：**客户只说"这个系统要快一点"，你现在能开始做性能测试吗？

> **预设回答：**

- 答"能，先测了再说"——测出来的数没有参照系，报上去也没人认。

- 答"不能，得先有指标"——对。"快一点"要翻成可验证的句子。

- 追问：指标从哪来？三条路，用户预期、业务容量、技术约束，后面有一页专门讲。

- 收口：没有指标的专项测试，只能算摸底，不能算验收。

> **易错点 / 考点：**① 五个板块的名称和顺序；② 常考简答"专项测试和功能测试的根本区别"——判据不同，指标对预期结果；手段不同，工具加监控对输入输出比对；③ 别把兼容性和可移植性混成一件事：兼容性问在既定环境下能不能正常工作，可移植性问搬到新环境要花多少代价。

> **过渡：**从 7.1 开始，先给你一张这一节的路线图。

【7.3】7.1 性能测试（1 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 性能这一节，概念密度是全章最高的。路线不给，容易听散。

>

> 四段。第一段认识：性能问题有哪些外部表现、内因是什么，性能测试怎么定义、目标有哪三个。第二段设计：负载的三个要素、思考时间为什么关键、负载模式怎么设计、测试分成哪几类。第三段实施：从需求到架构评审、代码评审、测试设计与执行，一路到工具。第四段收口：分析、调优、监控，还有全生命周期的性能工程。

>

> 顺序不能倒。指标没定就去跑负载，跑出来的数没人能判；负载没设计就去看曲线，看完也不知道从哪改。四段是递着来的，第二段概念最密，也最常被跳过。课上按这个顺序走，记笔记也按这个顺序记。复习时照四段过一遍，比逐页翻快。

>

> 有一句说明要放在前面。这一节的课件做过精简，压力测试、容量测试和工具的细节，教材里篇幅更完整。课上讲骨架和判断口径，命令和参数你课后对着教材和实验补。

>

> 为什么先交代这个？因为考细节时以教材为准，课件留下的是"怎么判断"。骨架立住了，细节你自己能补；骨架散了，细节背再多也用不上。

>

> 这一节的重点可以收成一句：性能测试不是跑个工具看数字。它是先定义指标，再用负载去逼，最后用数据说话。

> **提问：**为什么性能测试特别强调"先定指标"？功能测试也先定指标吗？

> **预设回答：**

- 答"功能测试也有预期结果啊"——对，但功能的预期结果是离散的，对或错；性能的预期结果是连续的，多快算快得人为划线。

- 答"因为性能没有绝对的对错"——抓住了这一点。

- 追问：指标定错了会怎样？会做出一份看着很专业、结论没法用的报告。

- 收口：功能测试怕漏用例，性能测试怕指标含糊。

> **易错点 / 考点：** ① 四段结构要能说清；② 常见判断"性能测试就是压力测试"——错，压力测试只是一种类型，这一节后面会分清四种基础类型和三种加码类型；③ 课件写了"内容已优化"，意味着压力测试、容量测试的工具细节要去教材补，考细节时以教材为准。

> **过渡：** 先建立一个前提，为什么今天性能问题变得这么常见。

【7.4】性能测试（2 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

为什么这几年性能问题突然变多？课件第一句就点了：SaaS 时代、万物互联时代。

>

> 拆开看。SaaS 意味着一套系统同时服务上千个租户，一个人慢可能是所有人慢。万物互联意味着终端规模从十万级跳到亿级，心跳和上报把后端压到另一个量级。用户规模变了，性能问题就从偶发变成常见。

>

> 第二句，压力测试、容量测试这些都并进了性能测试。今天这个词是个大口袋，基准、验证、规划、容量、压力、渗入、峰谷全在里头。所以问"性能测试包括哪些"，只答一种要吃亏。

>

> 第三句，性能测试也分静态和动态，平时说的指动态。静态那部分在评审里：循环里反复建对象、SQL 没走索引，程序不运行就看出来。动态是把系统跑起来、加负载、看指标。

>

> 第四句最实在：性能测试一般只能靠工具。为什么？几百上千并发、每秒请求数要精确、几十项指标要同步采集，手点做不到。功能测试能手工点，性能测试手工点等于没测。

>

> 第五句，结果分析靠功底。工具给曲线，为什么慢，要靠你对操作系统、数据库、网络、代码的理解。工具能测出问题，定位问题靠人。

>

> 第六句，测试和调优循环往复。所以性能不是测出来的，是逼出来、改出来的。

> **提问：**既然只能靠工具，那装上 JMeter 是不是就会做性能测试了？

> **预设回答：**

- 答"是，工具会跑就行"——工具只解决施压和采集，不解决指标定得对不对、数字说明什么。

- 答"不是，还得会分析"——对，这就是第五条讲的技术功底。

- 答"还得会设计场景"——补得好。负载多大、怎么加载、跑多久，决定你测出来的是不是你要的东西。

- 收口：工具只是必要条件。会跑工具，离会做性能测试还差分析和设计。

> **易错点 / 考点：**① 六条里"只能靠工具"和"结果分析有挑战"是简答高频点；② 静态、动态之分要记准：架构评审和代码评审属于静态性能测试，跟第 3 章"静态测试不运行程序"一致；③ 常见判断"性能测试做一次就够了"——错，它和调优循环往复，系统大改、数据量上一个量级都要重做基线。

> **过渡：**性能问题这么常见，那它到底长什么样？先从用户能感觉到的表象看。

【7.5】性能问题（1 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 用户不会跟你说"你的线程池打满了"。他只会说"你们系统今天怎么这么慢"。

>

> 性能问题的第一发现者，几乎从来不是测试，是用户和运维。所以干这一行，第一项能力是把抱怨翻成技术问题。"越来越慢"可能是泄漏，"突然卡死"可能是连接池耗尽。偶尔慢一下，可能是 GC 或者慢查询。

>

> 给你一个固定套路。遇到任何"慢"，都问三句。慢在什么时候，启动、查询还是下载。慢给谁看，所有人还是某个地区某一类机型。慢多久了，一直慢、越来越慢，还是偶发。三句问完，排查方向基本就定了。为什么管用？它们对应三个坐标：时间、范围、趋势。坐标一定，问题就从"很慢"缩到"某个接口每晚八点开始变慢"。

>

> 还有一笔代价要说清。性能缺陷最贵的地方不在修，在发现晚。功能缺陷上线，坏的是一个功能。性能缺陷上线，坏的是全部用户，而且常在流量最高的时候发作。同一个毛病，在设计阶段改一行，上线后要停机、要发版、要向用户解释。所以这一块，反应快不如记录全。

>

> 留证这件事得提前说。日志、监控曲线、线程栈、连接数，平时不采，出事那一刻现找就来不及。

>

> 有人第一反应是重启。重启能缓解，但现场没了。内存里的泄漏证据、线程栈、连接数，全清空。先保现场，再动手。

> **提问：**用户说"你们系统最近变慢了"，你要问的第一句话是什么？

> **预设回答：**

- 答"是所有页面都慢，还是某个功能慢"——好问题，先划范围。

- 答"是一直这样，还是这两天才开始"——好问题，时间维度直接指向是不是刚改过什么。

- 答"我马上重启一下服务"——能缓解，但重启会毁掉现场。

- 收口：先保现场，再动手。这三句追问的习惯比工具值钱。

> **易错点 / 考点：**① 第一发现者通常是用户和运维，不是测试；② "重启解决"是缓解不是修复，问"线上变慢的正确处置顺序"要答：保留现场、定位、再处置；③ 别把"慢"当成一件事，它至少有一直慢、越来越慢、偶发慢三类，根因完全不同。

> **过渡：**用户的抱怨是表象，下面把表象和背后的三种内因一一对上。

【7.6】性能问题外部表现和内因（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 左边是人话，右边是机器话。这两栏对不上，排查就只能靠猜。

>

> 外部表现三种。启动系统、打开页面越来越慢，看"越来越"三个字，这是时间上的恶化，指向资源在持续累积。查询数据很长时间才出列表，这是单次操作超时，指向一次请求内部的效率。网络下载速度很低，比如5k/s，单位是速度不是时间，说明瓶颈在传输能力。

>

> 内因三种。资源耗尽，CPU 打到 100%，请求排不上队。资源泄漏，比如内存泄漏。看因果：泄漏本身不立刻出事。它一点点吃掉可用资源，最后才表现成耗尽。资源瓶颈，线程、GDI、DB 连接这些资源变稀缺。

>

> 耗尽和瓶颈差在哪？耗尽是没有了，瓶颈是不够用。线程池两百个线程，进来五百个并发，线程没耗尽，还能建，但上限就在那儿，多出来的只能排队。

>

> 为什么要分这么细？修法完全不同。耗尽要扩容或者限流，泄漏要找到没释放的对象，瓶颈要调参或者改结构。你把泄漏当瓶颈去扩容，只会让泄漏更快吃光新内存。

>

> 三个内因还会连锁。泄漏跑久了变成耗尽，耗尽再触发限流，用户看到的是页面刷不出来。看曲线的时候，往上爬的那一段比崩掉那一刻信息更多。

>

> 送一句口诀：越来越慢找泄漏，一次就慢找查询，速度很低找带宽。

提问：一个系统白天正常、晚上越来越慢、重启就好，是哪一类内因？为什么不是资源耗尽？

预设回答：

- 答"内存泄漏"——方向对。越来越慢加重启就好，是泄漏的经典签名。

- 答"资源耗尽"——不够准。耗尽是结果，泄漏是原因；耗尽常表现为直接报错，越来越慢说明还没到顶。

- 答"加内存"——只把发作时间往后推，泄漏速率不变。

- 追问：定位第一步看内存曲线是不是锯齿状往上爬。爬，就是泄漏；平的，再考虑瓶颈。

易错点 / 考点：① 泄漏不等于耗尽，泄漏是过程，耗尽或者 OOM 是结果；② 耗尽不等于瓶颈，耗尽是没有了，瓶颈是不够用；③ 三个外部表现要能反向推出内因，案例题常这么问；④ 记忆抓手：外部表现看时间形

态，内因看资源三态。

【思政落点 1】：泄漏最值得琢磨的地方，是每一次都很小。一个请求漏几十 KB，跑一小时看不出来，跑一周才出事。它考的不是谁聪明，是有没有人愿意认真处理这些看着微不足道的地方：分配了就释放，打开了就关闭，加了缓存就想好淘汰。小问题乘上时间，就是大事故。把每个细节做干净，是工匠精神最朴素的样子。

过渡：知道了性能问题长什么样，接下来给它一个严格的定义。

【7.7】什么是性能测试？（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

定义这种东西，背下来不难。难的是知道哪几个词会丢分。

>

课件原话：性能测试就是为了发现系统性能问题，或者获取系统性能相关指标而做的测试。一般在真实环境、特定负载条件下，通过工具模拟实际运行和操作。同时监控各项指标，最后分析结果，确定系统性能状况。

>

五个关键词。真实环境：性能跟机器配置、网络、数据量强相关，开发机上测出来的数没意义。真实环境不好搭，最麻烦的是数据量。生产的量造不出来，只能缩小规模再加折算。报告里要写明折算比例。特定负载：一百并发和一千并发，结论完全不同。工具模拟：刚讲过，只能靠工具。监控指标：只施压不监控，你知道慢了，不知道为什么慢。结果分析：工具出图，人出结论。

>

三个目标要背。一，获取系统性能某些指标数据，先知道现状。二，验证系统是否达到用户提出的性能指标。三，发现瓶颈、优化性能。三条是递进的：先知道，再判定，后改进。测试类型也是按目标分的，不是按工具分的。

>

定义里用了一个"或"字，发现性能问题，或者获取指标。这说明摸底也是合法目的。三个目标里，只有第二个要求事先有指标，另外两个可以边测边定。但要做验收，就必须有指标。这个区别，写报告的人最容易含

> 糊。

> **提问：**老板说"给我测一下这个系统性能怎么样"，属于三个目标里的哪一个？要准备什么？

> **预设回答：**

- 答"第三个，找瓶颈"——不一定，这句更像摸底。

- 答"第一个，获取指标数据"——更准确。要准备环境、负载模型、监控项。

- 答"没指标就测不了"——错。摸底本身合法，只是结论只能叫摸底报告。

- 收口：接需求先问一句，这份报告要用来做什么决定。

> **易错点 / 考点：**① 五个关键词是简答得分点，缺一个扣一分；② 三个目标的顺序不能颠倒；③ 常见判断"性能测试必须在生产环境做"——错，要求的是真实环境，配置、数据量、网络接近生产，不是非得在生产上跑；④ 别把性能测试和性能调优混了，前者是度量，后者是改动。

> **过渡：**定义里有"特定负载"，负载到底是什么，下面拆成三个要素。

【7.8】负载（Workload）（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 一千个人同时用，和一千个人轮流用，压力一样吗？差十倍。

>

> 三个要素各管一头。RPS 管压力有多大，SC 管连接资源占多少，思考时间管请求来得有多密。

>

> 第一个 RPS。课件中文写的是"每次请求发送的数据量"，括号里英文是每秒请求数，两个口径不一致。按英文和行业习惯记：RPS 是每秒发出的请求数，是速率。每次请求发多少数据，是请求大小，另算。

>

> 第二个 SC，并发连接数，同一时刻保持的连接有多少条。它和并发用户数不是一回事。一个用户能开好几条连接，一条长连接也能服务多个用户。

>

> 第三个思考时间，用户发出请求之间的间隔。真人点一下、看一眼，才点第二下。工具模拟时忘了这一条，你造出来的不是用户，是机器。同一个脚本，思考时间从一秒改到十秒，压出来能差一个量级。

>

> 课件给了个等式：RPS 加 SC 加思考时间，等于并发用户数。照课件原样背，别自己改写。它想说的是：并发用户数不是孤立数字，由速率、连接规模、间隔共同决定。同样一千个并发，间隔一秒和间隔十秒，压力差十倍。

>

> 真要估算，用"用户数除以思考时间，约等于请求速率"。真实关系比一个加号复杂，这个式子不当计算工具用，当框架用。

> **提问：**同样一千个并发用户，一个每十秒点一次，一个每秒点一次，服务器压力一样吗？

> **预设回答：**

- 答"一样，都是一千人"——最常见也最要命的错。人数相同，请求速率差十倍。

- 答"不一样，间隔短的压得狠"——对。十秒间隔约一百请求每秒，一秒间隔约一千。

- 答"那我把思考时间设成零，更保险"——正好相反，清零不是更保险，是失真。

- 收口：思考时间是负载模型的一部分，不是可有可无的修饰参数。

> **易错点 / 考点：**① 三个名词的英文和中文要能对上；② 课件等式照原样背，同时知道它表达的是"并发用户由三者共同决定"；③ 高频错：并发连接数不等于并发用户数，一个用户能开多条连接；④ 案例题给用户数和思考时间让你估速率，用近似式算，并说明这是估算。

> **过渡：**刚才那句"把思考时间设成零"，下一页专门拆它。

【7.9】思考时间的影响（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 同一套脚本，改一个参数，结论能从"合格"变成"崩溃"。

>

> 课件给了两个对照：间隔时间长，和间隔时间为零。原文写得很直接。把系统置于同样的高负载，把请求之间的间隔设为零。服务器会立即超载，形成越来越长的等候队列，直至内存耗尽。

>

> 队列为什么会越来越长？把服务器想成一个收银台，每秒能结一百单。来的顾客也是每秒一百个，队伍不长不短。来的是每秒三百个，多出来的两百只能排。消化速度不变，到达速度不变，队伍就只会越来越长。

>

> 队伍在机器里是什么？等待处理的请求对象：线程池的等待队列、连接池的队列、socket 缓冲区。这些都是内存。队列越长，占得越多，最后就是课件说的内存耗尽。到那一步，系统不是慢，是直接崩。

>

> 所以"清零更保险"错在哪？错在它测的不是用户，是洪水。真实用户会看、会想、会走神，思考时间就是那段时间。清零等于假设所有人都在疯狂连点。测出来的数字既不代表生产，也不能拿来定容量。

>

> 什么时候能清零？两种正当用途。做压力测试，目的本来就是逼到崩，看崩在哪。做单接口的极限吞吐，看它最多能跑多少。这两种都要在报告里写清：这是极限值，不是用户场景值。

提问：报告里写"系统在 5000 并发下崩溃"，这个结论能直接拿去说服老板扩容吗？

预设回答：

- 答"能，说明扛不住 5000"——得看这 5000 是带思考时间的用户，还是间隔为零的请求流。

- 答"不能，得看场景"——对。同一句话在两种模型下，业务含义差好几倍。

- 答"崩了就是不行"——太粗。崩溃点本身是容量上限，关键是标注在什么负载模型下测的。

- 收口：每个数字后面要跟三个定语，什么场景、什么负载模型、什么环境。

易错点 / 考点：① 后果链条要能完整说：到达率超过处理率，队列增长，内存占用上升，耗尽或崩溃；② 常见判断"思考时间越短，测试越严格"——错，它改的是负载模型，不是严格程度；③ 案例题问"为什么压测结果和线上差很多"，标准答案之一是思考时间和实际不符；④ 记住"队列"这个词，响应时间飙升、超时率上升，多数是队列在起作用。

过渡：思考时间定了，接下来定怎么把这些请求铺到时间轴上。

【7.10】负载模式（2 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 一条平线，一条心电图。你的业务像哪一种？

>

> 课件给了两个维度。第一个，加载的循环次数或者持续时间，也就是这套脚本跑几轮、跑多久。它决定你能撞见什么问题。跑十分钟，只看得到稳态。跑八小时，才可能撞上内存泄漏、连接不释放、日志涨满、缓存击穿这些随时间累积的毛病。所以时长要对着目的写，验证型跑短，渗入型跑长。

>

> 第二个，加载的方式。均匀加载是压力从头到尾恒定，像平线，测稳态吞吐和资源占用。峰值交替是高、低、高、低来回突变，像心电图。它测系统在突变时的反应：能不能快速扩起来，缩回去会不会抖。缓存冷了，会不会把库打穿。

>

> 两个维度还能组合。短跑配均匀，测稳态；长跑配均匀，测泄漏；短跑配峰值交替，测扩容反应。三个组合，对着三类问题。

>

> 模式为什么这么要紧？真实业务从来不是均匀的。早九点打卡、中午订餐、晚上看视频、零点跑批，全是尖峰。平均负载下很稳，不代表尖峰来了不崩。

>

> 平均值会骗人，峰值不会。设计时先回答一句：我这个系统，压力是平的还是尖的。平的用均匀，尖的用峰值交替，两种都跑一遍最稳。把这几个组合写成一张场景表，比嘴上说"压一下"强得多。

> **提问：**一个系统"平均 CPU 使用率只有 30%"，能说明它很健康吗？

> **预设回答：**

- 答"能，30% 很空闲"——平均值会掩盖尖峰。真实情况可能是平时 10%，每天两次冲到 100%。

- 答"不能，要看峰值"——对。看 P95、P99 或者峰值时段的曲线。

- 答"还得看是哪个时间段"——补得好。业务有时间规律的系统，要按时间窗分别看。

- 收口：设计负载模式，就是把你担心的那个时间窗，在实验室里复现出来。

> **易错点 / 考点：** ① 两个维度都要答全，很多人只记得跑多久，忘了怎么加载；② 均匀加载和峰值交替各自适合什么问题要能对上；③ 平均值对分位数是高频概念，报告只看平均值是典型错误；④ 时长要和测试类型匹配，别用十分钟的数据论证"能连跑一个月"。

> **过渡：** 概念铺完，看一个具体例子，把这些参数落到场景上。

【7.11】示例：系统负载测试（2 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 报告上那条曲线，不是一次跑出来的。

>

> 一次负载测试有四样东西：被测系统、负载模型、施压脚本、监控与结果。被测系统要放在接近真实的配置上。负载模型就是刚才那三个要素加两种模式。施压脚本把用户操作翻成请求序列：登录、查列表、下单，中间夹着思考时间。监控采集响应时间、吞吐量、错误率、各项资源指标。

>

> 四样缺一样都会失真。缺监控，你只知道慢；缺负载模型，数没法跟别人比；缺脚本，这次跑的结果复现不出来。

>

> 结果最典型的呈现，是一条随并发上升的曲线，一般分三段。轻载区，并发增加，响应时间基本不变，吞吐量线性上升，说明还有余力。拐点附近，吞吐量涨得慢了，响应时间开始抬头，这是接近饱和的信号。过载区，再加并发，吞吐量不升反降，响应时间飙升，错误率冒出来。

>

> 最想拿到的是拐点那个数。它告诉你这套配置的经济容量在哪。报给业务方的不是"最大能撑多少"，是"响应时间还达标的前提下能撑多少"。这两个数常常差很远。

>

> 还有个细节：曲线是阶梯加压跑出来的。每加一档，稳定跑一段，记一组数。档位要密一点，拐点才看得清。所以一次负载测试是多次短跑拼起来的，不是一个脚本从头跑到尾。

提问：曲线在过载区吞吐量下降，为什么加了更多人反而干得更少？

> **预设回答：**

- 答"服务器忙不过来"——太笼统。机制是上下文切换和锁竞争，CPU 时间花在切换和抢锁上。

- 答"队列满了开始拒绝"——那是错误率上升，吞吐下降在拒绝之前就发生了。

- 答"内存不够开始换页"——也可能，特别是对象大量堆积时。

- 收口：过载区的吞吐下降，是系统在做无效功的信号。

> **易错点 / 考点：**① 三阶段的名称和特征要能画能说；② 高频错答"并发越高吞吐越高"，只在线性区成立；③ 报容量必须带响应时间前提，只报并发数没有意义；④ 阶梯加压的做法：每档加压后稳定一段时间再采样，否则采到的是爬坡过程的数据。

> **过渡：**负载测试只是一种，课件按目的把性能测试分成了好几类。

【7.12】性能测试类型（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 四种类型，名字里都带"性能测试"，考试最爱在这儿设坑。

>

> 第一种，性能基准测试。在系统标准配置下拿到指标数据，作为将来改进的基线。基线的作用是有得比。今天首页八百毫秒，优化后五百毫秒，这三百毫秒的改进是靠基线才看得见的。没有基线，所有优化都只是"感觉快了"。

>

> 第二种，性能验证测试。验证系统是否达到事先已定义的指标。这五个字要紧：事先已定义。指标得在测试之前写下来，不能测完了往回找。

>

> 第三种，性能规划测试。在多种特定环境下拿到不同配置的指标，决定部署的软硬件选型。说白了就是买几台、什么规格。四核八 G 撑五百并发，八核十六 G 撑一千一，明年业务翻倍买哪个，这就是规划要回答的。

>

> 第四种，容量测试。课件有句话：容量可以看作系统性能指标之一，所以它算性能测试的一种。容量是这套系统最多能承载多少用户、多少数据、多少并发。它和验证测试的差别：验证问达不达标，容量问上限在哪。

>

> 选哪种跟着问题走。想知道现状用基准，想签验收用验证，想买机器用规划，想报上限用容量。基准还有个前提：配置、数据量、脚本要一致，不然两次数值不能比。

>

> 四个词收一下：基准记现在，验证对标准，规划定选型，容量摸天花板。

> **提问：**一个项目从没做过性能测试，第一次做，你会先做哪一种类型？

> **预设回答：**

- 答"先做验证测试"——可以，但你得先有指标，而指标常常要靠基准数据来定。

- 答"先做基准测试"——更稳。先把现状记下来，后面所有判断都有参照。

- 答"先做容量测试"——顺序偏了。它成本最高，基本情况不明时容易白烧时间。

- 收口：基准、验证、按需容量和规划。基准排在前面。

易错点 / 考点：① 四种类型的名称和目的要成对背下来，简答常考；② 基准测试的关键词是 Baseline，答题要写出来；③ 容量测试和验证测试的区别是高频混淆点，一个问达标吗，一个问上限在哪；④ 课件明确说容量可以看作性能指标之一，所以容量测试归入性能测试，别答成独立门类。

> **过渡：**上面四种是常规动作，下面三种是加码动作，专门把问题逼出来。

【7.13】性能测试类型（4 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

有三个类型，目的不是验证，是让系统说真话。

>

> 压力测试。模拟实际应用的软硬件环境和用户使用过程。高负载、异常负载、超长时间运行，加速系统崩溃。检查它对异常情况的抵抗能力，找出瓶颈和不稳定。四个字要紧：加速崩溃。目的不是证明它稳，是用最短时间把它逼崩，看它怎么崩、崩在哪。

>

> 渗入测试，soak。通过长时间运行，让问题一点点渗透出来，发现内存泄漏、垃圾回收或者别的问题，检验健壮性。关键词是长时间。很多毛病十分钟里根本不出现：内存一点点涨，连接一点点漏，临时文件一点点堆。soak 把几个月的缓慢过程，压到能观测的时间里。

>

> 峰谷测试，peak-rest。高低突变加载：先压到高水平，急剧降下来，平息一段，再压上去，反复。课件说它容易发现问题的蛛丝马迹，最后找到根源。为什么突变能暴露问题？系统在扩和缩的时候最脆弱。缓存刚清空就来了大流量，连接刚回收就要重建。

>

> 分工对照：压力问极限在哪，渗入问跑久了坏不坏，峰谷问忽高忽低扛不扛得住。对应三种真实风险：大促、长跑、潮汐流量。

>

> 还有一处容易混。压力和渗入都涉及长时间，差别在目的：一个求崩，一个求漏。

提问：系统上线三个月越来越慢、每周要重启一次，用三种类型里的哪一种去复现？

> **预设回答：**

- 答"压力测试，压到崩"——能看到崩溃点，复现不了三个月慢慢变慢的过程。

- 答"渗入测试，长时间跑"——对。用几十小时把三个月的累积压出来。

- 答"峰谷测试"——峰谷测突变响应，不测累积恶化。

- 收口：判断标准是线上问题的时间形态，累积选渗入，尖峰选峰谷，崩溃选压力。

易错点 / 考点：① 定义关键词要能默写：压力是高负载、异常负载、超长时间加加速崩溃；渗入是长时间加

内存泄漏和 GC；峰谷是高低突变加重复；② 高频错答"压力测试就是并发调大"，它的手段是三种负载形态，不只有加并发；③ 渗入和压力的区分，求崩对求漏，判断题常考；④ 峰谷容易被忽略，它是潮汐业务的标配。

过渡：压力测试具体在做什么，看一个示例。

【7.14】示例：压力测试（2 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

压测跑完只写一句"系统崩了"，这份报告等于没写。

>

压力测试的做法，是把负载一路加上去，直到系统异常，同时记录每一步的表现。所以它产出的不是一个数字，是一组临界值和一串现象。要看四件事。

>

这四件事最好压测之前就列好。压完再想，很多现象已经过去了。

>

一，崩溃点在哪。多少并发、多少 TPS 开始出错，错误是超时、是 500、还是连接被拒。错误形态指向不同瓶颈。超时多半是下游慢，500 多半是异常没兜住，连接被拒常常是连接池或者句柄见底。

>

二，崩之前有没有征兆。响应时间是慢慢爬上去的，还是突然跳起来的。慢慢爬说明资源在逐步消耗，突然跳往往撞了某个硬上限，比如线程池满、GC 停顿。

>

三，崩完能不能自愈。撤掉压力，几秒钟恢复，还是彻底僵死必须重启。这一条最反映健壮性。能自愈，事故是抖动；不能自愈，事故是停机。记录要带时间戳，响应时间抬头和某个资源见底才容易对上。

>

四，异常负载下的行为。课件特意写了"异常负载"。不只是量大，还有形态异常：请求体超大、参数畸形、依赖服务超时、网络抖动。这些才是线上最让人措手不及的。

>

> 最后一句：压力测试是主动把系统搞崩，一定要在隔离环境里做。共享测试环境里跑，同事的测试全被你带走。

提问：压力测试把系统压挂了，撤掉压力它自己恢复了，这算通过还是不通过？

预设回答：

- 答"不通过，挂了就是挂了"——要看目的。压力测试本来就是要它挂，挂是预期结果。

- 答"通过，能自愈就行"——不能这么简单。要看恢复时间和恢复后的一致性。

- 答"要看恢复时间和数据完整性"——最完整。自愈、快速、数据无损，三条都满足才算健壮。

- 收口：结论永远是"在什么条件下崩溃、什么表现、撤压后几秒恢复"，不是一个通过与否。

易错点 / 考点：① 目的在找瓶颈、验健壮性，不在"通过"；② 自愈要看三个维度：时间、数据、性能有没有复原；③ 常见判断"压力测试放在共享测试环境做，省资源"——错，它会把环境打挂，影响别人；④ 异常负载包含形态异常，不只有数量异常。

过渡：性能问题可能出在哪一层，下面给一张六层的地图。

【7.15】性能测试的层次（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

一个请求从手指落下到数据回来，中间要过六道关。

>

> 一，Web 和 App 客户端。用户最先感知：渲染慢、图片太大、脚本阻塞、首屏等好几秒。特点是换台差一点的手机就暴露，所以客户端性能常在低端机上测。

>

> 二，应用服务器。业务逻辑在这里跑：线程池、运行时、GC、对象创建、锁竞争、序列化。典型症状是 CPU 高、GC 频繁、线程阻塞。

>

> 三，数据库访问层。它和数据库是两层。访问层指的是连接池、ORM、SQL 生成、事务边界。很多"数据库慢"就是这一层：连接池太小排队，事务开太大锁等待，ORM 生成 N+1 查询。

>

> 四，RDBMS 数据库。看索引、执行计划、锁、慢查询、表的数据量。数据量最容易被忽略，一万行和一亿行，同一条 SQL 命运完全不同。

>

> 五，端口连接。底层但常见：TIME_WAIT 堆积、端口耗尽、连接复用没做、keep-alive 配错。典型症状是服务本身很闲，客户端却连不上。

>

> 六，网络通信。带宽、延迟、丢包、DNS 解析、TLS 握手。跨地域部署的系统，这一层常是主要矛盾。

>

> 为什么要拆这么细？定位靠逐层排除。先看客户端是不是自己慢，再看服务端处理时间，再看是不是在等库，最后看网络。心里有这六层，排查才有顺序。

>

> 记住一个判据。服务器 CPU 不高但用户很慢，问题通常不在第二层。往下游依赖、连接、网络去找。

提问：用户说页面打开要 8 秒，服务器 CPU 只有 10%，你会先查哪一层？

预设回答：

- 答"先查数据库"——可以，但 CPU 低恰恰说明瓶颈可能在等待上，等 IO、等网络、等下游。

- 答"先查客户端"——合理，8 秒这个量级，图片和脚本的嫌疑很大。

- 答"看是哪个环节的时间"——最专业。先把 8 秒拆开：DNS、建连、服务端处理、传输、渲染。

- 收口：把一个请求的耗时切成段，才知道去查哪一层。

易错点 / 考点：① 六层名称要能按顺序说出；② 数据库访问层不等于 RDBMS，前者是连接池、ORM、事务，后者是数据库引擎本身，这是最容易合并的错；③ 高频判断"CPU 高才是性能问题"——错，很多严重问题表现为 CPU 很低但很慢；④ 定位方法是逐层排除，答题要把分层思路说出来。

> **过渡：**六层是一张横切面，再看一张纵切面，性能在项目一生里怎么分布。

【7.16】全生命周期的性能测试（2 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 性能不是一次测试，是一条一直在转的线。

>

> 项目一开始是性能需求的收集与定义。目标在这一步写下来，不能等做完再补。接着是性能建模和设计阶段的内建性能：把性能当设计约束，不是事后补丁。选什么结构、要不要缓存、要不要读写分离，这些决定的影响比任何调优都大。

>

> 越往前走越便宜。需求阶段改一句指标，编码阶段改一行代码，上线后要停机发版。

>

> 编码阶段做单元性能测试和代码优化，把关卡前移。一段平方级复杂度的代码，在单元测试里就能发现，等到系统测试就晚了。然后是性能测试：设计、执行、采集，产出性能数据。

>

> 上线之后是监控和容量管理：7×24 的监控、健康检查、容量规划。课件图上"性能数据"在两个环节之间来回走。意思是测试数据要喂给监控和容量管理。那边发现的新问题，又回流成新的性能需求。

>

> 测出来慢，还得有人定位、有人优化。课件把定位瓶颈和优化放在测试后面，那是一段路，不是一个动作。测试只负责把问题摆出来。

>

> 环中间写着经验积累。每转一圈，团队对"这套系统什么情况下会慢"就多一层判断。这份东西长在人身上，不长在文档里。

>

> 这个闭环的意义在哪？性能是持续演进的，不是一次交付的。业务量在涨、代码在改、依赖在升级，去年达标的系统今年可能就不达标。

>

> 所以图上那个"性能需求调整修改"的回头箭头是正常的，不是失败。需求会被现实改写。

> **提问：**项目上线后一直没做过性能监控，现在要补性能，你会从哪一步开始？

> **预设回答：**

- 答"先压测一遍看看"——可以，但没有监控数据，压出来也说不清瓶颈。

- 答"先把线上监控上起来"——更稳。先知道真实负载长什么样，多少人、什么时段、哪些接口最忙。

- 答"补性能需求"——也成立，指标得先有。

- 收口：实操顺序是监控、摸底基准、定需求、针对压测。缺了监控，连真实负载模型都画不出来。

> **易错点 / 考点：**① 几个环节要能按顺序说；② 高频判断"性能测试是系统测试阶段的一项活动"——不全面，理想状态是各阶段都有对应活动；③ 内建性能这个词要会解释：在设计阶段就把性能当约束；④ 闭环里的回流也要知道，需求被调整是常态。

> **过渡：**闭环的起点是需求。一句"要快"怎么变成可测的数？

【7.17】从需求开始明确性能（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> "系统要快一点"，这句话能写进合同吗？写不进。

>

> 课件给了四类来源。第一类，最终用户的体验，2-5-10 原则。两秒以内觉得快，五秒左右还能忍，十秒基本关页面走人。它不精确，但抓住了要点：性能是体验的一部分，不是机房里的数字。第二类，商业需求，"比竞争对手的产品好"。听着虚，有实际用处，它给了外部参照，你得测对手才能把"好"变成一个数。第三类，技术需求，CPU 不超过 70%。工程口径，好测好监控，但它和体验没有直接对应。第四类，标准要求，数据通信延时小于 80 毫秒，来自行业规范或者合同，是硬约束。

>

> 然后是三种视角，这条最值得记。用户关注外部表现，比如响应时间。业务部门关注容量和数据吞吐量。技术团队关注资源占用率和使用效率。

>

> 同一套系统，三种人问三个问题。这也解释了一个常见矛盾：技术说资源还很闲，业务说高峰撑不住，用户说卡。三方都没说谎，看的是不同层面。

>

> 四类来源常常打架。用户要快，业务要省，技术要稳，标准要合规。评审就是把打架的地方摆到桌面上。

>

> 所以课件最后那个动作：获取、分析、评审性能需求。先收集各方嘴里的"要快"，再翻成可测指标、检查有没有冲突，最后让三方坐一桌确认。别等测完才说"我不是这个意思"。

> **提问：**技术团队说资源只用了 30%，性能没问题；业务部门说双十一肯定撑不住。谁对？

> **预设回答：**

- 答"技术对，数据说话"——数据是真的，口径不对。30% 是平均值，双十一看峰值。

- 答"业务对，他们更懂业务"——感觉对，但业务说不出瓶颈在哪。

- 答"两个都对，看的是不同层面"——最准确。资源占用率、容量、响应时间，是三个不同的问题。

- 收口：峰值吞吐、响应时间、资源上限，三项都得定。

> **易错点 / 考点：**① 四类来源和三种视角要能对上号，简答常考"性能需求从哪来"；② 2-5-10 原则是经验阈值，不是精确标准；③ 高频混淆：技术指标不等于用户感受，两者要分别定义；④ 获取、分析、评审三步不能漏评审，它是把口头需求变成书面承诺的那一步。

> **过渡：**来源有了还不够，指标还得能测。

【7.18】性能需求可测试性（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

"每天要处理一千万笔交易"，听着很硬，真拿去测却测不了。

>

为什么没法测？四点。它没说一天是二十四小时还是八小时营业。它没说交易的分布，均匀铺开还是挤在几个时段。它没说响应时间，每秒处理得再多，每笔要等三十秒，用户照样骂。它没说峰值。

>

改写过的版本长这样。先一句清楚而量化的性能指标作总纲。然后落到每秒平均处理约 130 笔。再加一条：高峰期间是平均值四倍，也就是每秒 520 笔。

>

好在哪？一句模糊的话变成了三个可验证的数：平均速率、峰值倍数、峰值速率。场景就能设计了。平时按 130 跑稳态，高峰按 520 跑尖峰。两条曲线都要落在响应时间约束内。

>

顺手验一下。一千万摊到 86400 秒，大约 116 笔每秒。课件给 130，略高，说明它按实际服务时间折算。课件没展开这个口径，答题按课件数字写，别自己另算一套。130 乘 4 正好 520，四倍是配套的。

>

可测试的标准三条。能定量，有数字有单位。有前提，什么负载、什么环境、什么数据量。可判定，测完能明确说达标或者不达标。三条缺一条，需求还得接着谈。

>

"平均"是性能里最危险的词。系统从来不死在平均值上，死在峰值上。

提问："系统要支持 1000 个并发用户"，这句话算不算可测试的性能需求？

预设回答：

- 答"算，有数字了"——有数字不等于可测。响应时间多少、错误率上限多少、跑多久，都没说。

- 答"不算，缺响应时间和错误率"——对，这是最关键的补充。

- 答"还缺负载模型"——很专业。一千个用户带不带思考时间，压出来天差地别。

- 收口：一条完整的需求至少四要素，并发规模、响应时间、错误率、持续时间。

易错点 / 考点： ① "每天一千万笔"为什么不可测，四条理由要能说全；② 平均值对峰值是高频考点，答题一定要提峰值；③ 可测试三标准可以当简答模板；④ 案例题给一句模糊需求让你改写，补四个要素：并发、响应时间、错误率、持续时间。

【思政落点 2】：可测试性背后是一条职业底线。指标定两秒，实测 2.8 秒，报告里写成"基本满足用户感知"，技术上叫口径调整，职业上叫不诚实。工程判断允许有弹性，数据不能修饰。差 0.8 秒就写差 0.8 秒，再说明原因和风险。报告里每个数字都是你信誉的一部分，敢写不好看的数字，才配写要紧的报告。

过渡：需求定了、指标量化了，接下来要在设计阶段把性能建进去。

【7.19】架构设计评审（2 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

一行代码没跑，性能上限已经被定掉大半。

>

为什么？结构决定物理可能性。单体应用再优化也顶不住千万级并发，因为它的扩展方式是换更贵的机器。水平扩展的结构，一开始就留了加机器的口子。库不做读写分离，读请求再多也只能压一台。没有缓存层，所有请求直击数据库。这些选完，后面代码写得再漂亮也翻不了盘。

>

评审便宜，因为改图纸不用停机。等上线再改结构，代价是重做一遍，还要迁移数据。

>

评审看什么？归成四问。一，数据放哪、怎么涨。增长曲线决定要不要分库分表、要不要冷热分离。二，请求怎么分流。有没有缓存、限流、降级、异步。三，瓶颈会移向哪儿。这一问最见水平：把库优化好，瓶颈跑到应用服务器；应用加了机器，瓶颈跑到网络和连接数。评审就是提前知道下一个瓶颈在哪。四，可测性够不够。有没有埋点、有没有指标、测试环境能不能复现生产规模。这一条最容易被漏，却直接决定你后面能不能测。

>

还有个提问方式比"这样行不行"管用：这样设计，十倍流量时会先死在哪。这个问题没人能含糊过去，它逼

> 着设计者把整条链路走一遍。

>

> 所以性能问题最好的修法，是在图纸上修。结构定错了，调优只能在很窄的范围里挪。

> **提问：**架构评审时没人提性能，后面能不能靠调优补回来？

> **预设回答：**

- 答"能，调优就够了"——小问题能补，结构问题补不了。

- 答"不能，架构决定天花板"——抓住了。调优是在天花板下面找空间。

- 答"要看问题大小"——更准确。参数级问题调优能救，结构级问题只能改结构。

- 收口：评审时要分清这是参数问题还是结构问题。

> **易错点 / 考点：**① 架构评审属于静态性能测试；② 瓶颈会转移这个概念要能举例；③ 常见判断"性能优化主要在编码和调优阶段"——不完整，架构阶段影响最大；④ 四问里可测性最容易被漏，答题补上能加分。

> **过渡：**结构定了，代码还得写，下面看代码里最常见的那些性能坑。

【7.20】代码评审 - 性能问题（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 一个循环里查一次库，功能全对。这算缺陷吗？

>

> 课件给了两个抓手：一个具体例子，一份清单。例子是"使用 String 的性能是最差"。这句话得放在语境里：它说的是字符串频繁拼接的场景。Java 里字符串不可变，每次加号都建新对象。拼一万次就是一万个对象，内存和 GC 全压上来。换成 StringBuilder，只维护一个可变缓冲区。这类毛病的特点是单次看不出，循环里要命。

>

> 清单是"35 个 Java 代码性能优化总结"。不逐条念，讲它们落在哪五类。一，对象创建：循环里 new、装箱拆箱、正则重复编译。二，集合使用：没定初始容量反复扩容。数据结构用错，用 Map 能查到的场景拿了

> List 去遍历。三，IO 和数据库：循环里查库、没批处理、没关流。四，并发：锁粒度太大、无谓同步、线程池参数不合理。五，字符串和序列化：刚才那个拼接，还有频繁的 JSON 转换。

>

> 为什么评审能抓性能？成本低。不搭环境、不造数据、不跑压测，两个人对着代码看半小时，可能就拦下一个会在生产上炸的循环查库。而且抓得早，写代码当天就能改。

>

> 局限也要说清。它只看得出"能看出来"的，看不出这段逻辑在一千并发下会怎样。所以它和压测互补：评审管明显不能这么写，压测管这么写到底行不行。

>

> 还有一句：性能缺陷要带规模。循环三次无所谓，三千次就是灾难。

> **提问：**代码里有一个循环，每次循环都查一次数据库，功能完全正确，这算不算缺陷？

> **预设回答：**

- 答"不算，功能没问题"——功能角度确实不算，性能上它是典型的 N+1，数据量一大就崩。

- 答"算性能缺陷"——准确。这类问题在代码评审阶段就不能放过。

- 答"要看循环多少次"——很关键。三次无所谓，三千次是灾难。

- 收口：性能缺陷的判断要带规模，说清在什么数据量下会出问题。

> **易错点 / 考点：**① "使用 String 的性能是最差"要能说清前提是频繁拼接，不能绝对化；② 五类归类比死记 35 条有用，答题给分类框架得分更高；③ 高频判断"代码评审属于动态测试"——错，它是静态测试；④ 性能缺陷必须带规模描述，缺陷报告里常在这扣分。

> **过渡：**需求有了、架构评审过了、代码也看过了，接下来才是动手设计与执行。

第 7 章讲稿（7.21–7.40，v3）

> 锚点与课件一一对应，不增删页。每页五项标记。口播按四拍：起 → 推 → 收。

【7.21】性能测试设计与执行（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 压测报告上写着平均响应 200 毫秒，这份报告你敢直接拿去上会吗？数字对不对，取决于它是在什么环境里测出来的。

>

> 课件把环境条件拆成六项。网络和配置排第一。带宽多大、延迟多少、中间有没有代理和防火墙。内网压出来的 200 毫秒，用户在地铁上用 4G 可能是两秒。链路不一样，数字就不是一个数字。

>

> 第二项，服务器硬件选型。几核、多大内存、什么磁盘。机械盘和 SSD 在数据库场景下差一个数量级。这一项要跟生产对上，对不上，结论就外推不出去。

>

> 第三项，被测试系统部署。部署几个实例、怎么分布、前面有没有负载均衡、有没有缓存。最容易出的错是测试环境一个实例，生产八个。那你测出来的容量，只有真实的八分之一。

>

> 第四项，数据库数据量。这一项最容易被跳过，也最伤人。测试库一百万行，生产库一亿行。同一条 SQL，在测试库走索引十毫秒，到生产库全表扫十秒。数据量是个隐形变量，得专门造。

>

> 第五项，测试机器池。它的活儿是产生虚拟用户和负载。可施压的机器自己会不会先到顶？一台机器跑几千并发，CPU 或网卡先满，你测到的其实是压测机的极限，不是被测系统的极限。所以大规模压测要多台施压机，这就是后面要讲的分布式。

>

> 第六项，SUT 监控。SUT 是被测系统。监控要盖三层：施压侧看发了多少请求、成功率多少；被测系统侧看 CPU、内存、GC、线程、连接池；依赖侧看数据库、缓存、消息队列。只监控一层，你只知道疼，不知道哪儿疼。

>

> 课件还画了一张部署示意图。左边测试机池，中间分析器，右边 Web 服务器、应用服务器、数据库服务器，框在一起就是被测系统。这张图要你看出的是一件事：施压的、被测的、观测的，物理上尽量分开。混在一台机器上，它们互相抢资源，数据就失真了。

> **提问：**为什么性能测试环境不能直接用生产的缩水版，比如生产八台机器、测试就一台？

> **预设回答：**

- 答"按比例换算就行"——换算不成立。有些瓶颈不是线性的，单机连接数上限、单库锁竞争，都不是除以八能推出来的。

- 答"不行，容量只有八分之一"——方向对，问题更大。一台机器测不出负载均衡、缓存命中率、网络拓扑这些只在多机时才出现的行为。

- 答"至少要多机、拓扑一致"——最接近专业做法。拓扑要一致，规模可以缩，数据量和并发按目标折算。

- 收口：课件把部署和数据量单列成两项，就是在提醒环境失真、结论全废。

> **易错点 / 考点：**六项要素要列全，数据库数据量和测试机器池最容易被漏。判断题"压测环境可以缩水"是错的，拓扑要一致、数据量要接近、并发按目标设定。施压机自己到瓶颈，是典型的测试失效原因，案例题常从这里出。SUT 要会解释：被测系统。

> **过渡：**环境搭好、脚本跑起来，接下来要看清时间花在哪一段。

【7.22】测试执行和监控（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 用户在 4G 上点一下，八秒才出结果。你打开服务器日志，处理只用了 0.2 秒。剩下那 7.8 秒去哪了？

>

> 不知道去哪，就没法优化。所以第一个动作是把一次请求切成段。课件给了一串时间名词，按"按下回车到看见结果"的顺序串一遍就顺了。

>

> 先是 DNS 时间。域名解析成 IP 要多久。别小看它。DNS 配错或者解析慢，用户先卡两秒，而你服务器一点毛病没有。

>

> 然后是网络时间。请求从客户端走到服务器要多久，响应再走回来要多久。跨地域、跨运营商的系统，这一段经常是大头。

>

> 再是服务时间。服务器内部处理这次请求花了多久。这一段最值得深挖，因为它还能继续拆。拆成应用处理返回时间，也就是业务代码自己算的部分；和数据库时间，也就是等数据库返回的部分。数据库时间往往占服务时间的大半。所以"应用慢"，十次有八次其实是"数据库慢"。

>

> 接着是数据返回时间。响应体从服务端推到客户端的时间，跟响应大小成正比。返回一个 10 MB 的 JSON，服务器再快也救不了体验。

>

> 最后是客户端时间。浏览器或 App 拿到数据之后，渲染、跑脚本、加载图片。前端同学最熟这一段，服务端同学最容易把它算到别人头上。

>

> 为什么要拆这么细？因为定位性能问题，就是找哪一段最长。总响应 8 秒，DNS 0.1 秒、网络 0.3 秒、服务 7 秒、返回 0.2 秒、渲染 0.4 秒。问题在服务端，而且具体在数据库。不拆，你只能对着"8 秒"发愁。

>

> 还有个方法论上的提醒。监控必须和执行同时做，不能等跑完再补。性能问题是瞬时现象，你不在那一刻采数据，它就消失了。

>

> 再补一层。设备本身也在变。同一个接口，在电脑上测和在一部三四年前的手机上测，数字能差出几倍。所以看响应时间，得先问一句：在哪台机器上、什么网络下测的。

> **提问：**总响应 3 秒，你怎么判断是服务端慢还是网络慢？给你什么数据能判定？

> **预设回答：**

- 答"看服务端日志里的处理时间"——最直接的证据。服务端自己记的处理耗时 0.2 秒，那 2.8 秒就在路上或者

客户端。

- 答"ping 一下看延迟"——能参考，但 ping 走 ICMP，跟 HTTP 的真实链路不完全等价。

- 答"抓包看时间戳"——最严谨，能精确切出各段耗时。

- 收口：所以埋点和分段计时是基础设施，不是可选项。

> **易错点 / 考点：**五个时间段的名称和顺序；服务时间包含应用处理时间和数据库时间，这个包含关系常考。高频错答是"响应时间长就是服务器慢"，DNS、网络、返回体大小、客户端渲染都可能是元凶。监控必须和执行同时做，事后补的数据无效。

> **过渡：**这么多指标靠人手工采不可能，得看工具。

【7.23】性能测试工具（2 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 工具清单摆出来，几十个名字。常用的其实就那两三个。所以这里不背名单，讲怎么分类，你以后遇到没见过的工具也知道往哪儿放。

>

> 课件分两大类：客户端性能测试工具，服务器端性能测试工具。这个分法对应前面讲的层次，一层是用户手上那台设备，一层是你机房里的服务器。两边测的东西根本不是一回事。

>

> 客户端这一组，课件列了 Google Lighthouse、PerfDog、Monkey、Monkeyrunner、mobileperf、Pyroscope、MemoryLeakDetector。它们关心的是用户手上那台设备：启动多久、页面渲染、帧率、内存、卡顿、流量、耗电。几个名字要分清。Lighthouse 面向 Web 页面质量评估。Monkey 和 Monkeyrunner 是 Android 的稳定性压测，用随机事件流去撞崩溃。PerfDog 是移动端性能采集，下一节专门讲。Pyroscope 偏性能剖析。MemoryLeakDetector 查内存泄漏。

>

> 服务器端这一组，JMeter、LoadRunner、Webload、Gatling、k6、Vegeta、Locust、Skywalking。这

> 些还能再分两类。施压类：JMeter、LoadRunner、Gatling、k6、Vegeta、Locust，负责造并发、发请求。观测类：Skywalking 这类 APM，负责看链路、看耗时分布。

>

> 两类必须配合。只有施压，你知道系统崩了，不知道为什么崩。只有观测，你知道哪儿慢，可压力从哪来、能扛多少，还是不知道。

>

> 选型的原则：先用开源跑通流程，再考虑商业工具。JMeter 免费、生态大、插件多，性价比最高，课件后面专门讲它。LoadRunner 是老牌商业工具，脚本能力强，报表成熟，代价是授权贵、部署重。

>

> 怎么用这张分类表？先把被测对象定下来。测网页，两边都要，客户端那组看页面，服务器那组看容量。测 App，客户端那组是主力。先定对象，再挑工具，顺序别反。工具装错类别，等于用称体重的秤去量身高，数字有了，意思没有。

提问：只允许你装一个服务器端工具，你选哪个？

预设回答：

- 答"JMeter"——最常见也最合理。开源、协议支持广、有界面也有命令行、能分布式、插件多。

- 答"LoadRunner"——能力更强，授权贵、部署重，学习和维护都重。

- 答"Locust，能写 Python 脚本"——脚本即代码，适合研发自测。

- 收口：选型看三件事，协议支持、能不能分布式、团队会不会用。工具再强，团队用不起来等于没有。

易错点 / 考点：两类工具的划分和代表产品要对上。施压类和观测类的区分是加分点，很多同学只会答"性能测试工具就是 JMeter"。Monkey 是稳定性压测，用随机事件，不是性能指标采集。"下列哪个不属于服务器端工具"这类选择题，名字要认得。

过渡：客户端工具里，课件单独拎出一个来讲。

【7.24】客户端 PerfDog（2 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 手机在你手里很顺，这不能说明客户端性能没问题。你自己的手机往往是中高端机，缓存是热的，后台也干净。用户的手机不是。

>

> 客户端性能要单独测，因为它的资源和服务器完全不是一套。手机内存按 GB 算，CPU 会降频，电量有限，网络是移动网络，还会在 Wi-Fi 和 4G 之间来回切。服务器那套 TPS、并发数，描述不了客户端的问题。客户端有自己的一套指标：启动耗时、页面帧率 FPS、内存占用、CPU 占用、流量、电量、卡顿次数。

>

> PerfDog 干的事很直白。手机用 USB 连到电脑，工具在电脑侧采数据、出曲线。好处是不用改 App 代码，不用埋点，插上就能测。课件给的两条参考是教材 P201 到 203 页，和 PerfDog 的官网 perfdog.wetest.net。安装步骤、界面按钮、报表导出，这些随版本会变，以教材和官网为准，课上不逐条念。

>

> 用法上有三条比记按钮重要得多。第一，用真机。模拟器跑出来的帧率和内存，跟真机差得很远。第二，用低端机测一遍。高端机流畅，不代表用户流畅。性能测试测的是最差的那台设备，不是你自己那台。第三，场景贴近真实。冷启动、页面来回切、列表快速滑、弱网下操作，这些才会把问题逼出来。

>

> 还有一条对照原则，最容易被忽略。同一个操作，改前和改后各测一遍，才有意义。单看一个"启动 1.8 秒"，你判断不了好坏。得知道基线是多少、目标是多少。

>

> 客户端还有个特点，问题常常是累积出来的。刚装上的 App 很快。用一个月，缓存堆起来，就慢了。所以长时间使用这个场景不能省。

提问：App 在你手机上很流畅，能不能说明客户端性能没问题？

> **预设回答：**

- 答"能，我用着挺顺"——你的手机往往是中高端机，缓存是热的，后台也干净。

- 答"不能，要用低端机测"——低端机的内存和 GPU 是短板，很多问题只在它上面出现。

- 答"还得看弱网和长时间使用"——补得好。弱网下的加载策略、用久了的内存增长，都是高发问题。

- 收口：客户端和服务器一个道理，测最差的条件，不测最好的条件。

> **易错点 / 考点：**客户端指标和服务器指标不能混用，这是最容易合并的错。真机和模拟器的差别是高频判断点。"客户端性能测试要不要改代码埋点"，PerfDog 这类外部采集不用，但精细的业务埋点仍要开发配合。没有基线的指标只是一串数字。

> **过渡：**工具装上、脚本跑起来，接下来是整章最难的部分。

【7.25】性能测试工具 JMeter（2 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 先说结论：JMeter 的七个元件，考试要考，干活也绕不开。这七个词理顺了，工具就算通了。

>

> JMeter 是什么？开源、Java 写的、以施压为核心。官网在课件上，jmeter.apache.org，下载和文档都在那儿。

>

> 七个元件按从外到内讲。最外层是测试计划，一次压测的全部内容都装在里头，相当于一个项目。

>

> 往里是线程组，这是最关键的元件。它定三件事：多少个用户、怎么并发、跑多久。线程数就是虚拟用户数。Ramp-Up 是多少秒把用户全放出来。循环次数或者持续时间，决定跑多久。负载模型主要就写在线程组里。

>

> 线程组里面是取样器，也叫请求。HTTP 请求、JDBC 请求、FTP 请求，发请求的就是它。它决定你去打谁。

>

> 逻辑控制器管顺序和条件。循环、如果、事务、随机。它决定请求按什么顺序组合。

>

> 断言判断响应对不对。这一条最容易被省掉。没有断言的压测，只统计了有没有回包，没统计回得对不对。一个返回 500 的接口，响应时间可以非常快。你要是没断言，报告漂亮得像假的。

>

> 前置处理器和后置处理器，在请求前后做加工。前置准备参数，后置把响应里的 token 提出来，传给下一个请求。

>

> 监听器收集和展示结果。查看结果树、聚合报告、响应时间曲线。它负责看，不负责压。

>

> 一句话串起来：测试计划装线程组，线程组里放控制器和取样器，取样器外面挂断言和处理器，结果交给监听器。

>

> 还有个层级问题容易忽略。断言和处理器挂在取样器下面，不是挂在测试计划下面。挂错层级，它管的范围就变了。本来只想管一个请求，结果管了全部。

提问：一次压测跑完，报告显示平均响应 30 毫秒、错误率 0，能说明这个接口很好？

预设回答：

- 答"能，又快又没错"——先问一句，你加断言了吗。很多"错误率 0"是工具只看了 HTTP 层有没有响应。

- 答"不能，得看有没有断言"——业务失败但 HTTP 200 的情况非常常见。

- 答"还得看并发是多少"——很关键。10 个并发的 30 毫秒，和 1000 个并发的 30 毫秒，不是一个意思。

- 收口：读报告先看三个前提，负载多大、断言有没有、跑了多久。

易错点 / 考点：七个元件的名称和职责要能对上，简答高频。线程组是负载模型的载体，这句话必须会说。监听器不是不能加，准确说法是图形界面下的监听器开销大，正式压测走命令行并简化监听器。断言判断业务正确性，不判断性能。

过渡：七个元件在界面上怎么组织，看那棵树。

【7.26】JMeter 构成（2 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 装完 JMeter，打开界面，左边那棵树第一次看是懵的。一层套一层，不知道哪个放在哪儿。这一节把树看明白。

>

> 最上面是工作台，里面放非测试元件。HTTP 代理服务器、录制脚本用的东西。它们不参与压测，只帮你生成脚本，所以在工作台。判断依据很简单：它让脚本从无到有，不是让请求发出去。

>

> 往下是测试计划，要跑的内容都挂在它下面。

>

> 测试计划下面主要是线程组。线程组里有线程，一个线程就是一个虚拟用户。线程组还能配 setup 和 teardown。setup 在线程组开始前跑一次，比如登录拿 token。teardown 在结束后跑一次，比如清理数据。这两个是每个线程组一套，别跟前置处理器混了。

>

> 线程组之外，测试计划下还能挂 Test Fragment。一段可以被复用的脚本，本身不执行，得被别的元件调用才跑。还有远程运行控制器，管分布式压测的从机。还有别的杂项。

>

> 线程组内部才是上一页那套元件：逻辑控制器、采样器、配置元件、定时器、前置处理器、后置处理器、断言、监听器。这里多了两个前面没提的。配置元件，比如 HTTP 请求默认值、CSV 数据文件设置、Cookie 管理器，它给请求提供公共配置。定时器，控制请求之间的间隔，思考时间就设在这里。

>

> 工作台里还有三个辅助工具。Log View 看运行日志，Templates 是模板，能直接套一个现成的测试计划，函数助手生成随机数、时间戳这类函数，写脚本常用。

>

> 这棵树记四句就够：工作台管录制，测试计划管全局，线程组管负载，元件管细节。

>

> 层级还有个用处，报错时定位。元件挂错地方，症状往往是明明配了却不生效。这时候别急着加配置，先看它挂在哪一层。层对不上，改多少遍都一样。

> **提问：**思考时间在 JMeter 里设在哪？设错地方会出什么问题？

> **预设回答：**

- 答"定时器"——常用固定定时器和随机定时器，后者模拟真人的随机间隔。

- 答"在线程组里设延迟"——线程组的延迟只影响启动时刻，不影响请求之间的间隔。

- 答"用断言控制"——断言判断结果，和节奏无关。

- 收口：元件是按职责分层的，职责搞清，就知道往哪儿配。

> **易错点 / 考点：**工作台放的是非测试元件，录制用，这是常考判断。setup 和 teardown 线程组跟前置、后置处理器的区别：前者在线程组层面跑一次，后者在每个请求前后跑。配置元件提供公共配置，前置处理器做请求前的加工，两者容易混。Test Fragment 不独立执行，必须被引用。

> **过渡：**元件讲完，看它能打哪些协议。

【7.27】JMeter 支持的协议（2 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 有人问，JMeter 能不能压我们公司自研的二进制协议。能。但理由不在协议清单上，在它留的那个扩展口。

>

> 先把清单过一遍，按用得多少排。

>

> 第一，Web，HTTP 和 HTTPS。绝对主力，绝大多数压测都是打 HTTP 接口。

>

> 第二，SOAP 和 REST Webservices。企业系统里这两类接口常见，特别是跟外部系统对接的时候。

>

> 第三，FTP。文件上传下载。

>

> 第四，Database via JDBC。这条重要。JMeter 能直接连数据库发 SQL，不经过应用层。用途有两个：单独测数据库的性能，比如一个复杂查询要多久；给压测造数据或者校验数据。后面实验会要求用 JDBC 连接做预处理，说的就是这个。

>

> 第五，LDAP，目录服务认证，多见于企业统一登录。

>

> 第六，JMS，消息队列，测 MQ 的收发。

>

> 第七，Mail，SMTP，邮件服务。

>

> 第八，JSR223。这条最容易被低估。它允许你用脚本语言，Groovy、JavaScript 都行，写自定义逻辑。工具的能力边界基本由它决定。协议不支持？自己拼。

>

> 第九，TCP、Java Objects 这些。TCP 层面能测自定义协议，Java Objects 用于 Java 序列化的远程调用。

>

> 这张清单的意思不是让你背九个名字，是告诉你 JMeter 不只测网页。老系统的自定义 TCP 协议、消息队列、数据库，它都能碰。覆盖面广，才有人愿意写插件、写教程。

>

> 短板也要清楚。它是按脚本发请求的工具。浏览器真实渲染、手机设备资源，它管不了。那是客户端工具的地盘。

>

> 课件这份清单看一眼就够。真要动手，去官网查当前版本支持什么。版本一变，清单会变。今天背下来的名字，明年可能多两个、少一个。会用清单的人，不如会查清单的人。

提问：被测接口用的是公司自研的二进制协议，JMeter 还能压吗？

预设回答：

- 答"不能，只支持标准协议"——错在"只"字。TCP 取样器可以发原始字节流。

- 答"能，用 TCP 取样器"——最直接的路子。

- 答"能，用 JSR223 自己写"——更灵活，可以用 Groovy 拼报文、做校验。

- 收口：判断一个工具能不能用，别看它列了哪些协议，要看它有没有留扩展口。

易错点 / 考点：JDBC 的用途是高频考点，造数据、校验、单独测库。JSR223 是扩展点，简答题写上能体现深度。"JMeter 只能测 Web 应用"是错的。SOAP 和 REST 都归 Web Service 范畴，别当成两个独立的取样器家族。

过渡：界面点着跑不适合正式压测，最强的玩法在命令行。

【7.28】支持 cli（命令行）模式（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

图形界面点着跑，跑到两千并发，JMeter 自己先不动了。这时候你测到的不是被测系统，是 JMeter 的极限。

>

所以正式压测只有一个正确姿势：命令行。三条理由。GUI 要渲染曲线、要存结果，自己就吃资源。命令行能自动化，写进脚本、进流水线，每天定时跑。命令行还能分布式，配合远程负载机把压力摊开。

>

参数挑常用的。`-n`，非 GUI 方式运行，命令行模式的总开关，必须有。`-t` 指定测试脚本，也就是 .jmx 文件的位置和名字。相对路径的根是命令窗口的当前路径，这点最容易踩坑。`-l` 把结果记到文件，.jtl，这是原始数据，必须存。`-d` 指定 JMeter home 目录。`-L` 定日志级别，DEBUG、INFO、ERROR。

>

> 属性有三个，作用域要分清。`-j` 定义 JMeter 属性，等同于在 jmeter.properties 里设置。`-D` 定义系统属性，等同于在 system.properties 里设置。`-S` 加载系统属性文件。一句记法：JMeter 属性给工具用，系统属性给 JVM 用。

>

> 分布式三件套是 `-r`、`-s`、`-X`，下一页展开。`-r` 开启远程负载机，从机列表在 jmeter.properties 里配。`-s` 以服务器方式运行，也就是启动 agent。`-X` 停止远程运行。

>

> 代理四个：`-H` 代理 IP，`-p` 代理端口，`-u` 用户名，`-a` 口令。这里有个歧义，课件里 `-p` 还兼有"读取 JMeter 属性文件"的用法。同一个字母，语境不同含义不同，敲命令时对着文档确认。

>

> 课件给的例子值得照抄：`jmeter -n -t my_test.jmx -l log.jtl -H my.proxy.server -P 8000`。非 GUI 跑脚本，结果写 log.jtl，走代理 8000 端口。

>

> 两种模式的分工别搞混。命令行跑出来的数据，是留给你事后分析的，不是现场看的。所以先在图形界面里把脚本调通，再用命令行压。顺序反了，两件事都做不好。

提问：脚本和数据都准备好了，命令行一跑报文件不存在，最可能是什么原因？

预设回答：

- 答"脚本路径写错了"——可能。

- 答"当前目录不对"——最常见。`-t` 的相对路径以命令窗口当前路径为根，你切到别的目录就找不到了。

- 答"权限不够"——也可能，特别是 `-l` 的输出目录不可写。

- 收口：跑之前先 pwd 确认目录，或者干脆全用绝对路径。这是成本最低的保险。

易错点 / 考点：`-n` 是命令行模式总开关，必答。`-t`、`-l` 的作用和相对路径规则要清楚。JMeter 属性和系统属性容易混，一个给工具用，一个给 JVM 用。分布式三件套 `-r`、`-s`、`-X` 的对应关系要记。图形界面只用来调脚本，正式压测走命令行。

过渡：手写脚本太慢，JMeter 有录制功能。

【7.29】JMeter 录制功能（2 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 一个真实业务，从登录到下单，几十个请求。手写脚本，一天写不完。录一遍，十分钟。

>

> 课件给的做法三步，每一步都有坑。

>

> 第一步，加逻辑控制单元，录制控制器。它是个占位容器，录下来的请求都塞进它里面。

>

> 第二步，加非测试元件，HTTP 代理服务器。它在工作台里。因为它是帮你产生脚本的工具，不是压测内容。位置放错，你自己都找不着。

>

> 第三步，在浏览器或系统网络设置里配 HTTPS 代理，把流量指向 JMeter 的代理端口。这样你点页面，JMeter 把请求记下来。

>

> 三个坑。坑一，HTTPS 要装证书。代理要解密 HTTPS 流量，就得让浏览器信任它的自签证书。不装，你只能录到 CONNECT 请求，内容全是空的。坑二，过滤静态资源。请求里加 URL 过滤，把图片、CSS、JS 排掉。不过滤，一次录制录进几百个无关请求，脚本没法用。坑三，录完必须整理。

>

> 第三个坑要单独说，因为它区分了"会录"和"会做性能测试"。录下来的是你点的顺序，不是压测需要的顺序。要删无关请求，要把登录抽成 setup，要把会变的参数，时间戳、token、订单号，用关联提取出来。不整理，第二次跑必然失败，因为里面写死了上次的 token。

>

> 录制只是把手工操作变成脚本的捷径，场景设计还得靠人。脚本越短越稳，能合并的合并，能参数化的参数

> 化。出错了也好查。

>

> 录制的适用范围也要清楚。它适合表单提交、页面跳转这类有明确请求序列的业务。纯接口、没有页面可点的系统，录制帮不上忙，只能手写，或者从接口文档生成。

> **提问：**录制好的脚本第一次回放成功，第二次失败，最可能是什么原因？

> **预设回答：**

- 答"服务器不稳定"——先怀疑脚本，别先怀疑服务器。

- 答"里面有写死的数据，第二次失效了"——最典型。token、验证码、订单号、时间戳，第一次用掉了，第二次就废。

- 答"数据被第一次跑改掉了"——也常见，库存被扣完、用户被锁。

- 收口：录完必须做两件事，参数化把会变的换成变量，关联把上一个响应的值提取给下一个请求。

> **易错点 / 考点：**三个步骤的名称和位置，代理服务器在工作台。HTTPS 证书这个坑必答。参数化和关联是脚本能反复跑的关键，案例题高频。"录制完的脚本可以直接用于压测"是错的，必须整理和参数化。

> **过渡：**一台机器压不动，JMeter 有分布式。

【7.30】JMeter 支持分布式环境（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 一台笔记本压到两千并发就上不去了，机器还有余量，是网络先满。这种时候，要加的不是被测系统，是施压机。

>

> 课件的结构是这样：一台 Master，跑 GUI 的那台，下面挂若干台 Slave，也就是负载机，所有从机同时向被测系统发请求。主控只负责分发脚本和汇总结果。施压的是从机。

>

> 这个结构值三层。第一层，突破单机瓶颈。一台发两千并发，四台就是八千。第二层，模拟真实分布。用户

> 散在不同地域、不同网络，从机放在不同网段，压出来的网络行为才像真的。第三层，隔离施压与观测。主控不参与施压，汇总时才不会被自己的负载拖慢。

>

> 配置有几个关键点。从机要启动成 server 模式，就是上一页那个 `-s`，或者直接跑 jmeter-server 脚本。主控要知道从机在哪，从机列表配在 jmeter.properties 里，课件点过这个文件。主控用 `-r` 启动远程负载机。端口和防火墙要放通，主从要通信，从机还有回传结果的通道。端口不通，表现就是连不上从机。

>

> 有个坑特别容易踩：主从的 JMeter 版本要一致，脚本里用到的插件和依赖也要一致。不一致，从机报找不到元件，或者结果格式对不上。很多人第一次搭分布式就栽在这儿。

>

> 还有个反直觉的点。分布式不是免费的。从机越多，主控汇总的数据量越大，网络传输和时间同步的开销也越大。不同从机的时钟不准，结果的时间轴就对不齐。所以从机按需增加，不是越多越好。

>

> 再补一句，从机上别做别的事。一边压测一边下载文件、开着录屏，样本就脏了。分布式最怕的不是机器少，是每台机器都不知道自己为什么慢。

> **提问：**四台从机加起来，按设定是八千并发，报告里只统计到三千，可能是什么问题？

> **预设回答：**

- 答"从机没连上"——先看主控日志，有没有从机启动失败的记录。

- 答"有的从机先到瓶颈了"——常见。从机的 CPU 或带宽先满，实际发出的并发远小于设定值。

- 答"结果没汇总全"——也可能，特别是网络中断或者结果文件写失败。

- 收口：排查有个顺序，先看从机有没有真启动，再看每台从机自己的负载，最后看汇总。

> **易错点 / 考点：**主控和从机的职责要分清，主控不分担压力。从机列表配在 jmeter.properties。主从版本、插件、依赖必须一致，这是高频坑。"从机越多压测越准"不对，汇总开销和时钟偏差会引入误差。

> **过渡：**JMeter 自带功能有限，靠插件补。

【7.31】JMeter Plugins Manager（2 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

装插件这件事，动作只有一步，位置只有一个。放对了就成，放错了什么都不发生。

>

> 课件给的做法：把 jmeter-plugins-manager 的 jar 包，放进 JMeter 安装目录下的 lib/ext 目录，重启 JMeter，界面上就出现插件管理器的入口。然后你在里面搜索、安装。

>

> 为什么是 lib/ext？因为这是 JMeter 加载扩展元件的标准目录。启动时它会扫这个目录，发现实现了 JMeter 扩展接口的 jar，就注册成可用元件。理解这一点，以后装任何 JMeter 扩展都是同一个动作：丢进 lib/ext，重启。

>

> 插件补什么？归三类。图表类：自带的结果展示比较朴素，插件能出更专业的响应时间分布、TPS 曲线、并发对比图，写报告时有用。场景类：阶梯加压、Ultimate Thread Group，能画渐进加压、波浪加压这类复杂负载模型。回想前面讲的负载模式，手工配很麻烦，插件直接给你图形化配置。协议与元件类：某些特殊协议的支持、额外的断言、额外的取样器。

>

> 有一条要提醒。插件不是越多越好。装得越多，版本冲突的概率越大。而且主从的插件必须一致，上一页刚讲过。原则是：需要什么装什么，装完把版本记下来。

>

> 还有一条实践建议。插件版本和 JMeter 大版本要匹配。JMeter 升级后，老插件可能失效，表现是元件不见了，或者启动报错。这种时候先怀疑插件，别先怀疑脚本。

>

> 装插件的时机也有讲究。先跑通一个最小脚本，再装插件。脚本还没通就装一堆，出了问题你分不清是脚本错还是插件错。插件解决的是效率，不是替你解决设计。

提问：装完插件重启，新元件没出现，按什么顺序排查？

> **预设回答：**

- 答"重装一遍"——先别急，先看日志。

- 答"看 jmeter.log 有没有类加载错误"——最快的证据，版本不兼容通常在这里报。

- 答"看 jar 是不是放错目录"——关键。放 lib 和放 lib/ext，效果不一样。

- 收口：顺序是目录、日志、版本匹配，三步能解决九成的插件问题。

> **易错点 / 考点：**插件 jar 放 lib/ext 是必考点，装完必须重启才生效。插件和 JMeter 版本的兼容问题是高频故障原因。主从插件一致这条，同时是分布式和插件两个知识点的交叉考点。

> **过渡：**装好插件，看一个实际效果。

【7.32】插件示例（2 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 同一批原始数据，换一张图，你能得出相反的结论。这不是夸张，是性能报告里天天发生的事。

>

> 为什么图形化插件值得单独占一页？因为性能测试的结论，是从图里读出来的。同样一份原始数据，看的角度不同，看到的东西不同。

>

> 看响应时间随时间变化的曲线，你能看出跑着跑着变慢了。这是泄漏或者资源耗尽的信号。看 TPS 曲线，你能看出系统在哪个并发点饱和。看响应时间分布，比如分位数图，你能看出平均值 200 毫秒、P99 却是 8 秒这种被平均值盖住的灾难。看阶梯加压的阶梯图，你能看出每一档加压之后的稳态表现。

>

> 这里有个观念要重点讲：永远不要只看平均值。平均值会把少数极慢的请求藏起来。举个数。100 个请求，99 个 100 毫秒，1 个 10 秒。平均值算下来 199 毫秒，看着挺好。可那 10 秒的请求，是一个真实用户在白屏前等了 10 秒。

>

> 所以报告里要看 P90、P95、P99，还要看最大响应时间。行业里指标通常写成"95% 的请求在 X 秒内完成"，不写"平均响应时间 X 秒"。前者是用户感受的口径，后者是统计上的自我安慰。

>

> 插件示例不是让你记界面长什么样，是让你记住盯哪几种图。四种图必备：响应时间趋势、TPS 趋势、响应时间分位数分布、错误率趋势。四张摆在一起，一份压测报告就有了骨架。

>

> 图的数量也要控制。一张图里叠十条曲线，谁也看不出哪条是哪个接口。能进评审的报告，图不超过四张，每张只回答一个问题。

提问：报告写"平均响应 199 毫秒"，这个数字可能盖住什么问题？

预设回答：

- 答"可能有个别请求特别慢"——正是。平均值对极端值不敏感。

- 答"可能慢的请求集中在某个接口"——也对，平均值把不同接口混在一起。

- 答"可能慢在某个时段"——补得好，平均值把时间维度也抹平了。

- 收口：三个维度一起看，分位数的尾部、按接口拆、按时间看趋势。

易错点 / 考点：平均值陷阱是最经典的考点，答题必须提分位数。四种必备图要能说出各自用途。"平均响应时间达标就算通过"是错的，要看分位数和错误率。行业常用写法是"95% 的请求在 X 秒内完成"。

过渡：工具和图表都齐了，课件还给了自学入口。

【7.33】JMeter 更多参考（1 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

工具这东西，课堂上只能带到门口。剩下的路，得你自己会走。

>

> 课件给了两条入口。一条是 Apache 的 JMeter wiki，一条是官方用户手册 usermanual。地址都在课件上。一分钟讲怎么用这两条路自学。

>

> 两者分工不一样。用户手册是元件字典。每个元件、每个属性、每个参数的含义都在里面。写脚本卡住了，比如这个定时器有几种、CSV 数据文件怎么配，查手册最快。wiki 更像经验库。常见问题、最佳实践、别人的踩坑记录，还有各种"怎么做某件事"的教程。

>

> 给一个自学顺序。第一步，把手册里 Building a Test Plan 那一章通读一遍。它会带你从零做出一个能跑的脚本。第二步，把每个元件的属性页扫一遍。不求记住，只求知道有这个东西，需要时知道去哪查。第三步，遇到具体问题再去 wiki 和社区搜。

>

> 还有一条更要紧的。工具的自学能力，比工具本身值钱。JMeter 会升级，会被别的工具替代。读官方文档、看示例、动手试，这套方法不会过时。以后遇到 k6、Gatling、Locust，甚至公司自研的压测平台，都是同一套路子。

>

> 顺便说一句课件没展开的。官方文档是全英文的。别怕，性能测试的术语就那几十个：
> thread、sampler、assertion、listener、throughput、latency。把这一节讲过的词跟它们对上，读文档就不费劲了。

>

> 再说一句查文档的姿势。带着具体问题去查，别从头读。手上有一个跑不通的脚本，比读十页概述有用得多。手册的目录本身就是元件的分类，顺着走一遍，你对工具的边界就有数了。

提问：同一个问题，"为什么我的脚本跑出来没有结果"，你查手册还是查 wiki?

预设回答：

- 答"wiki，找别人的经验"——可以，但先查手册更快。多半是监听器没加、结果文件路径不对这类明确的配置问题。

- 答"手册，先看元件说明"——对。先排配置错误，再考虑用法问题。

- 答"直接搜引擎"——也行，但搜到的答案常常对应旧版本，容易走偏。

- 收口：顺序是手册排配置、wiki 看用法、社区问疑难，别一上来就搜。

> **易错点 / 考点：**这一页考得少，"官方文档在哪"偶尔出现在填空。更值得记的是手册和 wiki 的分工，这是自学习惯题的标准答法。别把它当可跳过的页，它给的是课后自学路径，实验课会用。

> **过渡：**工具会用了，数据也有了，接下来是整章最难的一步。

【7.34】性能分析（2 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 曲线摆在那儿，慢是肯定的。慢在哪，会上没人说得清。性能分析就是解决这件事的。

>

> 给一套四步法，遇到任何"慢"都能用。

>

> 第一步，确认现象，别看错指标。先把慢量化：是响应时间长，还是吞吐上不去，还是错误率高。三个常常一起来，根因可能完全不同。同时看分位数，平均值会骗人。

>

> 第二步，拆时间。把一次请求的耗时切成段：DNS、网络、服务时间、数据库时间、返回、渲染。哪一段最长，问题就在哪一层。这就是前面讲过的时间分解。

>

> 第三步，找证据。分位数告诉你哪儿疼，证据告诉你为什么疼。常用证据五种：资源监控曲线，看 CPU、内存、IO、网络；应用日志，看异常、超时、重试；线程栈，看线程都卡在哪个方法上；GC 日志，看停顿多长、多频繁；慢查询日志和执行计划，看 SQL 走没走索引。没有证据的结论叫猜测，不叫分析。

>

> 第四步，验证假设。这一步最容易被跳过。你怀疑是慢查询，就单独跑一次这条 SQL，看它到底多久。你怀疑是锁竞争，就把锁去掉再压一遍，看有没有改善。改一个变量，跑一次，对比。这是唯一可靠的验证方式。

>

> 还有个经验：先排除，再深挖。先用分层把大部分层排掉，再对可疑那一层深挖。上来就扎进某一层，很容易挖错地方。

>

> 一句提醒。性能分析要的是证据链，不是灵感。现象、数据、证据、结论、验证，这条链说圆了，结论才站得住。

>

> 四步里最容易偷懒的是第三步。人一旦有了猜测，就去找支持猜测的证据，把不支持的忽略掉。这不叫分析，这叫给自己的结论找台阶。

提问：压测发现响应时间从 100 毫秒涨到 2 秒，你先看哪三样东西？

预设回答：

- 答"看 CPU 和内存"——基础，但不够，得先分清是计算型还是等待型。

- 答"看数据库慢查询"——高频嫌疑，值得先查。

- 答"看线程栈，看线程卡在哪"——很专业，特别适合 CPU 不高但很慢的情况。

- 收口：先看资源曲线定类型，再看最可疑那一层的证据，最后改一个变量验证。

易错点 / 考点：四步法的名称和顺序可以当简答模板。"响应时间变长就是代码有问题"是错的，可能是数据库、网络、GC。"改一个变量再验证"这条对照实验的思想常考。五种证据来源写全比写深更容易得分。

【思政落点 3】：性能分析最像科研的日常：提假设、找证据、做对照实验、被数据推翻、再来一轮。它教人的第一件事是服从数据。你原以为是数据库慢，线程栈却显示全卡在一个日志锁上，那就得改口。承认"我猜错了"在工程里不丢人，是往前走的唯一入口。请养成一个习惯：说结论之前，先问自己证据是什么。

过渡：找到瓶颈只是第一步，接下来动手改。

【7.35】调优-Tuning（2 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

系统慢了，会上第一个提议通常是加机器。加八台，还是不达标。钱花了，问题还在。

>

> 调优要讲顺序，从便宜到贵排。

>

> 第一层，配置参数。数据库连接池大小、JVM 堆大小、GC 策略、线程池参数、缓存容量、超时时间。这一层最便宜，改个数字、重启、再测，几分钟一轮。

>

> 第二层，SQL 与索引。加索引、改写法、去掉不必要的联表。这一层收益常常最大，成本也不高。所以它是调优里性价比最高的一档。

>

> 第三层，代码。去掉循环里查库、减少对象创建、加缓存、改异步、批处理。这一层要改代码、要回归测试，成本上去了。

>

> 第四层，架构。加缓存层、读写分离、分库分表、服务拆分、水平扩容。这一层最贵最慢，天花板也最高。

>

> 为什么按这个顺序？因为便宜的方案能解决的，别上贵的。现实里常见的失误是：一遇到慢就加机器，加了八台还不达标，因为瓶颈在一条没走索引的 SQL 上。加机器解决的是能力不足，解决不了效率低下。

>

> 两条铁律。第一，一次只改一个变量。同时改三处，好了你不知道是哪处的功劳，坏了也不知道撤哪一处。第二，改完必须重测，而且要跑同一套场景。场景变了，数据就不可比。

>

> 最后提醒一句。调优要有基线，要有目标。没有基线，你不知道改进了多少。没有目标，你不知道什么时候停。无限调优是资源黑洞。工程上要的是达标即止，不是极致性能。

>

> 还有一条常被忘的，调优之前先把监控打开。没有监控，改完只看得到总时间变没变，看不到是哪一段变了。改对了不知道为什么对，改错了也修不回来。

> **提问：**系统慢了，团队第一反应是加两台服务器，你怎么回应？

> **预设回答：**

- 答"先加吧，快"——能缓解，可能白花钱。瓶颈在 SQL 上，加机器只是把同一条慢 SQL 复制到更多机器上跑。

- 答"先定位再决定"——对。定位成本一天，加机器成本几万，顺序很明显。

- 答"要看是计算型还是等待型"——等待型，等数据库、等网络，加机器往往无效。

- 收口：先花半天确认瓶颈在哪一层，能力不足就扩，效率问题就改代码或者改 SQL。

> **易错点 / 考点：**四层调优的顺序和代表手段。"性能问题都可以靠加硬件解决"是错的，架构和算法层面的问题加硬件无效甚至更糟。一次只改一个变量是实验方法的核心，必考。达标即止这个工程观，案例题里常用来讲不要过度优化。

> **过渡：**调优完了不算结束，上线之后还得一直盯着。

【7.36】性能监控（2 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 凌晨两点，用户打电话说系统卡。你才知道。这个时间差，就是监控要拿回来的东西。

>

> 性能测试像体检，一年一次。监控是随身的心率监测，一直看着，及时报警。

>

> 监控要盯三类。第一类，资源：CPU、内存、磁盘 IO、网络带宽，还有连接数、文件句柄、线程数。这类东西有看得见的上限，快到顶就得报警。第二类，业务：TPS、响应时间、错误率、超时率、队列积压长度。这一类直接对应"用户感受到没有"。第三类，依赖：数据库慢查询数、缓存命中率、消息队列堆积、第三方接口可用性。很多"我们系统慢"，最后查出来是别人的接口慢。

>

> 业界有个好用的说法，四个黄金信号：延迟、流量、错误、饱和度。延迟是响应时间，流量是请求量，错误是失败比例，饱和度是资源用到多满。四个信号盖住了大多数故障的前兆，可以拿它当监控面板的骨架。

>

> 监控的价值在哪？在于把"用户投诉"变成"我们比用户先知道"。这中间的差距就是运维水平。用户投诉，说明信任已经损失了。监控报警，说明你还有时间处理。

>

> 两条实践要点。监控要有基线，报警要有阈值。没有基线的曲线，你看不出今天这个 60% 算不算异常。没有阈值的报警，要么天天响，响到没人看，要么永远不响，等于没有。阈值怎么定？看历史分位数，比如 P95 的正常水平上浮 20% 就报。

>

> 最后串一句。测试、调优、监控，是一个闭环的三段。测试定基线，调优改现状，监控守长期。

>

> 还有一层，监控的粒度要能下钻。总数难看的时候，得能按接口、按机房、按版本拆开看。只能看一个总量的面板，报警响了，你还是不知道先改哪。

> **提问：**线上没做任何监控，能靠用户反馈发现性能问题吗？

> **预设回答：**

- 答"能，用户会告诉我们"——能，但代价是用户已经在受损失，反馈还零散、滞后。

- 答"不能，太被动"——对。而且用户说的"慢"没有量化，排查还得从头来。

- 答"至少要有基础监控"——务实。哪怕只盯 CPU、响应时间、错误率三个指标，也比什么都没有强。

- 收口：监控的最低配置是能回答三个问题，现在有多快、比平时慢多少、错在哪。

> **易错点 / 考点：**三类监控对象要说全，依赖这一类最容易被漏。四个黄金信号是延迟、流量、错误、饱和度，写上能加分。"监控就是为了出事时看日志"是错的，核心价值在提前发现。阈值要基于历史分位数，拍脑袋定是常见错误。

> **过渡：**测试、调优、监控串起来，就是一张全生命周期的图。

【7.37】全生命周期的性能测试（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

把前面这些活动按时间排开，你会发现有一半不发生在测试阶段。这就是全生命周期这张图的意思。

>

> 按阶段往下走。性能需求收集与定义，产出性能需求文档，度量是指标能不能测。内建性能，也就是设计中的性能，加上性能建模，产出架构方案和性能模型，度量是设计能不能满足容量目标。单元性能测试和代码优化，产出优化后的代码，度量是关键路径的复杂度和耗时。性能测试，产出测试报告和数据，度量是达没达标。监控与容量管理，产出监控面板和扩容计划，度量是容量水位和告警准确率。

>

> 几个词要专门解释，它们把"测试"抬成了"工程"。

>

> 代码质量与性能、性能测试与工程策略。意思是性能不是测试部门一家的事，它得写进研发流程。代码规范里要有性能条款，评审清单里要有性能项，发布门禁里要有性能基线。没有流程撑着，性能只能靠个人英雄主义。

>

> 业务度量、DoD、性能度量、KPI Dashboard。DoD 是完成的定义。一个需求什么时候算做完？如果 DoD 里写了性能达标，性能就成了交付的一部分，不是可选项。KPI Dashboard 是把指标做成看板，让所有人随时看得见。性能监控也是这套东西的一部分，它把看板上的数变成每天的日常。

>

> 环境验证、测试执行，含基线、生产负载、可伸缩性。基线是标准状态下的参照，生产负载是真实流量的模型，可伸缩性是加资源能不能换来能力。

>

> 容量管理是上线后的长期活。预测增长、提前扩容、算成本。输出不是报告，是决策。

>

> 一句总结。性能工程成熟的标志，是它进了流程和看板，不是停在某个人的压测脚本里。

>

> 评审一个需求，先看它在哪个阶段落空。需求里没写指标，后面全在补。设计里没算容量，测试时才发现扛不住。上线后没有看板，问题只能等投诉。哪一段空着补哪一段。

提问：团队只有一个人在压测，别人都不关心性能，这套体系跑得起来吗？

预设回答：

- 答"能，有人做就行"——短期能出报告，长期一定断。需求没人定指标，设计没人管容量，上线没人看监控。

- 答"不能，要进流程"——对。性能得写进 DoD、评审清单和发布门禁。

- 答"先从一个项目试点"——务实。先证明价值，再推广成规范。

- 收口：关键动作是把个人能力变成流程约束，跟前面讲流程的思路一样。

易错点 / 考点：五个阶段和产出物的对应关系。DoD 要会解释，还要能说出把性能写进 DoD 的意义。"容量管理是运维的事，跟测试无关"是错的，容量数据来自测试。基线在多处反复出现，它是一切比较的前提。

过渡：7.1 到这里收口，用一页小结压实。

【7.38】本节小结（2 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 合上讲稿，三分钟能不能把性能测试是什么、分几类、怎么做、怎么看结果讲一遍？讲得下来，这节就过关。卡在哪一处，回去补那一处。

>

> 先对四条。

>

> 第一条，了解性能测试的不同目的，也就是性能测试类型。这句话的意思是把类型和目标对上。基准是记住现在，验证是对照标准，规划是决定买什么，容量是摸到上限，压力是逼到崩，渗入是泡出漏，峰谷是突变找根因。七个类型，七种目的，别混着背。

>

> 第二条，清楚几个基本概念：负载、负载模式、虚拟用户、性能指标。这四个词是这一节的四件套。负载的三要素是 RPS、并发连接数、思考时间。负载模式看的是跑多久、怎么加载。虚拟用户是工具模拟出来的假用户，它的行为由脚本和思考时间决定。性能指标是响应时间、吞吐量、资源利用率、错误率这一组。

>

> 第三条，性能测试会涉及架构评审、代码评审、性能调优。这条最容易被忽略。很多人以为性能测试就是跑工具。课件明确说，它跨了静态测试和动态测试，还延伸到调优。所以做性能的人不能只会用工具，得懂架构、懂代码、懂数据库。

>

> 第四条，熟练使用性能测试工具，比如 JMeter。关键在"熟练"两个字。会打开界面不算熟练。能独立走完设计场景、写脚本、分布式施压、采集、出报告，才算。

>

> 这四条不是四个孤立的知识点，是一条链。目的决定你选哪种类型，概念决定你怎么描述负载，跨活动决定你找谁配合，工具决定你怎么落地。

>

> 还有个自测的办法。拿一张纸，七个类型、四个概念、四层调优，各写一行。写完能讲出每个词指什么，这一节就真在你手里了。讲不出来的，回去翻对应那页。

提问："虚拟用户"和"真实用户"最大的区别是什么？

预设回答：

- 答"虚拟用户是假的"——太表面。工具里的虚拟用户就是一段脚本加一个计时器。

- 答"虚拟用户不会思考"——接近了。它的"思考"是人为设定的固定或随机间隔。

- 答"虚拟用户的行为是脚本规定的，真实用户不可预测"——最准确。这也是为什么要专门设计负载模式和思考时间。

- 收口：压测的准确性，取决于你的负载模型有多像真实用户，不取决于工具多强。

易错点 / 考点：七种类型是本节最可能出简答和填空的地方，必须默写。虚拟用户的行为由脚本和思考时间决定，这句话能解释很多"压测结果和线上不符"的现象。"性能测试只需要会工具"是错的，课件明确列了架构

评审、代码评审、调优。小结页常被当复习提纲。

> **过渡：**理论讲完，两次实验把它落地。先看后端。

【7.39】实验 4-1：基于 JMeter 的后端性能测试（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

实验报告交上来，最常见的问题是一堆截图，没有一句分析。所以这一节把每条要求为什么这么提，讲清楚。

>

> 前置条件：选一个需要用户登录的 Web 应用。为什么要登录？因为登录带来三个真实问题。会话要保持，cookie 或者 token。请求有依赖，先登录才能下单。数据要参数化，每个虚拟用户用自己的登录凭证。这三点是真实压测的核心难点。去掉登录，实验就变成压一个静态页，学不到东西。

>

> 要求逐条看。用代理服务器加录制控制器录脚本，练的是脚本从哪来。选用插件、设置线程组参数，练的是负载模型：线程数、Ramp-Up、持续时间。会用两三种控制器，练流程编排：事务、循环、如果。会配两三种采样器，HTTP 必备，再加 JDBC 或者 FTP。会用 HTTP 授权和 cookie 管理器，练会话保持。会设置断言，练判断对错，这一条决定你的报告可不可信。会用 JDBC 连接预处理，练造数据和校验。会用两三种监听器，查看结果树、响应时间、吞吐量，练结果呈现。

>

> 交付两样：性能测试报告，Word 格式，含测试系统、环境、场景设计、执行和结果分析；还有 .jmx 脚本文件。

>

> 报告那五个部分，就是这一节的主线。测试系统是测什么。环境是那六项要素。场景设计是负载三要素加模式加类型。执行是怎么跑、跑多久。结果分析是四步法加证据。按这条线写，报告自然有骨架，不会写成截图合集。

>

> 一条评分建议：报告里每个数字都要有出处。哪个监听器、哪张图、哪次执行。

>

> 还有一项最容易漏，环境。同一份脚本，换一台机器跑，数据就不一样。所以报告里写清机器配置、JDK 版本、JMeter 版本、被测系统部署了几台。这些不写，别人复现不了你的结果。

提问：为什么实验强制要求设置断言，而不是能把请求发出去就行？

预设回答：

- 答"为了报告好看"——恰恰相反。断言会让报告变难看，它把业务失败暴露出来。

- 答"为了判断结果对不对"——对。没有断言，工具只统计有没有响应，不统计响应对不对。

- 答"为了能算错误率"——也是关键，错误率这个指标依赖断言。

- 收口：断言不是加分项，是数据可信的前提。没有断言的压测报告，结论不能采信。

易错点 / 考点：实验要求要能逐条对应到知识点，录制对应脚本来源，线程组对应负载模型，断言对应可信度。报告五部分是评分重点，缺一项扣分。常见失分是只贴截图不写分析、没有场景设计说明、数据缺版本和环境信息。交 .jmx 要保证别人能直接跑通，路径用相对路径，外部数据文件一起交。

【思政落点 4】：实验报告里每个数字都要有出处，这句话不只是技术要求。它说的是：你写下的结论，得有人能顺着它找到证据。工程里最贵的成本，往往不是改一个缺陷，是信了一个来路不明的数字。请把"数据可追溯"当成职业习惯：测了什么、在什么条件下、谁跑的、原始文件在哪。这套习惯换个行业照样成立，它是诚实的一种具体形状。

过渡：后端测完，客户端也要测。下一次实验用 PerfDog。

【7.40】实验 4-2：基于 PerfDog 的客户端性能测试（2 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看　　课堂记录：_____

同一台手机，同一个 App，两次测出来的启动耗时差半秒。哪个是真的？先别急着取平均。

>

> 实验 4-2 用 PerfDog 做客户端性能测试。课件给了八步，按步骤说要点。

>

> 第一步，去 PerfDog 官网下载正确的桌面应用，官网是 perfdog.wetest.net。"正确"两个字有讲究。Windows 版和 Mac 版不一样，有的功能还依赖 iTunes 之类的驱动组件。装错了，连不上手机。

>

> 第二步，USB 连手机，让它自动检测、把手机加进应用列表。这一步常见的坑是开发者模式和 USB 调试没开，或者数据线只支持充电、不支持传数据。工具再好，连不上就是白搭。

>

> 第三步，定测试模式，USB 或者 WIFI。USB 更稳、延迟更低，适合精细采集。WIFI 方便，但网络抖动会污染数据。做实验先用 USB。

>

> 第四步，选被测试的 App 开始测。这里要定场景：冷启动、页面切换、列表滑动、长时间使用。每个场景采到的数据含义不同。

>

> 第五步，测试过程中采集数据。第六步，保存结果。第七步，统计与分析。这一步是重点。工具给你曲线，你要说出哪一段异常、为什么。第八步，写报告。

>

> 报告里固定放四样：测试机型和系统版本，客户端性能强依赖硬件；测试场景说明，做了什么操作；关键指标曲线，FPS、内存、CPU、启动耗时；结论与建议，哪里不达标、可能是什么原因。

>

> 一条实验纪律：同一个场景至少测两遍，一遍基线一遍对照。只测一遍，你拿到的是观测，不是结论。

>

> 还有个细节，采集周期。采样太稀，抓不到卡顿那一下。采样太密，工具自己就占资源。默认值先按工具给的来，看到异常再调。

提问：同一台手机、同一个 App，两次启动耗时差 0.5 秒，你怎么判断哪个是真的？

> **预设回答：**

- 答"取平均"——可以，但要先排除干扰因素。

- 答"多测几次看波动"——对，至少三五次，看离散程度。

- 答"要看是不是冷启动"——非常关键。冷启动和热启动差好几倍，混着算平均值毫无意义。

- 收口：客户端测试第一条纪律是把条件钉死，冷热启动、网络、电量、后台进程、系统版本，全写进报告。

> **易错点 / 考点：**八个步骤的顺序。冷启动和热启动的区分是客户端性能的核心概念，常考。"客户端性能测试用模拟器就行"是错的，真机数据才有意义。报告要写清机型、系统版本、场景和条件，否则数据无法复现。

> **过渡：**性能测试到这里收口。7.2 换一类专项，安全性测试。

【7.41】7.2 安全性测试（2 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 性能那一讲，我们问的是系统扛不扛得住。到安全这里，问题换成了一句更难受的：有人存心要进来，它挡不挡得住。

>

> 功能测试有个默认前提，使用者按说明书操作。安全测试的前提反过来，对手不看说明书，专门找说明书没写的那几条路。

>

> 于是功能用例里永远不会出现"用户名里填一个单引号"这一条。用例全绿，门可能还开着。

>

> 两个专项的判据也不同。性能看压力下的响应，安全看能不能被利用。同一段代码，功能上输出正确，安全上可能已经把错误堆栈、表名、框架版本一起交出去了。

>

> 很多人心里有个想法，安全是安全工程师的活。这个想法撑不住。漏洞大半是在开发阶段写进去的，少一个参数校验，多一句 SQL 拼接。写的人不设防，事后补不完。

>

> 课件把内容分成四块。威胁模型与安全漏洞模式、范围与方法、贯穿研发生命周期、Web 安全与测试工具。四块的顺序是建模、定范围、铺流程、落场景。先想清楚敌人会从哪来，再决定拿什么工具去挡。反过来的

> 做法很常见，上来就开扫描器，扫完一屏报告，不知道先修哪个。

>

> 再补一层差异，报障的方式也不一样。功能缺陷会有人报，用户一用就骂出来。安全缺陷没人报，在被人利用之前，系统一切正常，监控也不响。所以它只能靠人主动去找，等不到有人投诉。

>

> 产出形式也不同。功能测试交的是通过还是不通过。安全测试交的是一份带评级的问题清单，外加还没排上的风险。

>

> 一句可以带走的：安全测试的核心动作，是主动构造那些不该出现的输入和环境。

> **提问：**功能测试全部通过的系统，安全性上可能千疮百孔吗？为什么？

> **预设回答：**

- 答"可能，功能测试不测攻击"——对。功能用例里没有"输入一个单引号"这一条。

- 答"不可能，功能都对说明逻辑没问题"——错在假设。攻击者用的输入，本来就不在功能用例的设计空间里。

- 答"要看有没有做过安全测试"——回到判据：功能看预期结果，安全看能不能被利用。

- 收口：所以安全测试的核心动作，是主动去造那些不该出现的输入和环境。

> **易错点 / 考点：**性能与安全的判据差异要能一句话说清：一个看压力下的表现，一个看能不能被利用。本章安全部分的结构要能复述成四块。判断题"安全性测试是安全专家的事"是错的，安全要贯穿开发全过程。本节的问题意识是攻击者视角，后面十几页都靠它。

> **过渡：**讲漏洞之前，先把人分清——黑帽和白帽。

【7.42】知道它们的区分吗？（2 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 同一个人，同一套工具，同一个漏洞。为什么在这家公司做叫渗透测试，换个地方做就叫犯罪。

>

> 分界不在技术，在授权。

>

> 黑帽是未授权进入。他找漏洞是为了牟利、破坏、控制，手段和白帽几乎一样。差的是没人允许他动这个系统，后果由别人承担。

>

> 白帽是在授权范围内动手。用攻击者的办法找问题，目的是在坏人之前发现并修掉。安全测试、渗透测试、红队演练都在这一侧。

>

> 这个区分对测试人员不是道德课，是职业规范。开工之前四样东西要有：书面授权、测试范围、时间窗口、应急联系人。少一样，事后你说不清自己做过什么，还可能把生产系统打挂。

>

> 中间还有一层，叫灰帽。发现了漏洞，没拿到授权就去验证，验证完还公开。争议多半出在这儿。善意不能替代授权。

>

> 给三个画面，把这条线画清楚。

>

> 自己搭环境，扫自己的练习系统，随便扫，这是白帽。

>

> 在授权范围里，扫到登录口就停手，授权书没让你试口令。这也是白帽，边界守住了。

>

> 同样一套工具，对着别人的站扫，哪怕你只想看看有没有漏洞。这已经是黑帽，报不报告都不改变性质。

>

> 灰帽麻烦的地方在这儿：漏洞是真的，动机也可能不坏，可验证那一步越过了授权。事后说不清你有没有碰过数据。

>

> 落点是一句话：同一记 SQL 注入，在授权范围内是测试，出了范围性质就变了。以后做安全测试，第一步把授权、范围、窗口落实成文字，第二步才敲命令。

提问：安全工程师在客户系统里发现一个高危漏洞，顺手验证了一下能不能拿到数据。这算白帽行为吗？

预设回答：

- 答"算，他是好意"——不一定。要看授权范围里有没有包含漏洞验证这一项。

- 答"要看有没有授权"——对。发现漏洞和验证可利用性，在很多授权书里是两件事。

- 答"应该先报告再验证"——很专业。顺序是报告、客户确认、在约定窗口内验证。

- 收口：判断标准不是善意，是授权边界。越界一步，性质就变了。

易错点 / 考点：黑帽、白帽、灰帽的区分标准是授权，不是技术高低。安全测试的四个前置文件是实践题得分点：授权、范围、窗口、联系人。判断题"只要目的好，验证漏洞不算越界"是错的。概念题答案要落在"授权"两个字上。

【思政落点 5】：授权这件事，落到的是规矩意识。同一套技术，越界一步性质就变了，"我没恶意"从来不是免责的理由。同学们以后进金融、医疗这类行业，签字那一刻就是承诺。先把范围、窗口、联系人写清楚再动手，这份自觉比技术更难养成，也更能说明一个人专不专业。

过渡：人分清了，看这套内容整体怎么排。

【7.43】第 13 讲：安全性测试（1 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

五块内容摆在这儿，如果只能记一块，你记哪一块。

>

> 先按顺序点一遍。第一块，威胁模型与安全漏洞模式：漏洞是什么、从哪来、攻击分几段、有哪些经典类型。

>

> 第二块，安全性测试的范围与方法。里面是安全目标、功能测试和漏洞测试的区别、静态与动态、模糊与渗

> 透。
>
> 第三块，贯穿研发生命周期的安全性测试。需求、设计、编码、测试、运维各阶段分别做什么，重点是架构风险分析和代码评审。
>
> 第四块，Web 安全性测试：注入、XSS、CSRF、URL 访问控制这些具体攻击怎么测。
>
> 第五块，安全性测试工具：扫描器、代理工具、漏洞库这类支撑手段。
>
> 五块连成一条线：建模、定范围、铺流程、落场景、上工具。
>
> 最容易被跳过的是前三块。工具最顺手，装上就能跑，所以团队从工具开始，扫完一堆报告，不知道先修哪个。顺序反了，工具只会放大慌乱。
>
> 第四块单独拿出来，有它的道理。Web 最容易被外面直接够到，入口多、变得快。别的系统只有一个登录口，一个网站可能有几十个接口。
>
> 五块之间也互相牵着。没有第一块的建模，第二块的范围定不下来，只能按清单平均用力。没有第三块的流程，安全活动全挤在验收前那两周，前面几个月没人管。
>
> 五块也可以当成五道工序看。前面不做，后面做的都是补救。
>
> 答题时先把五块名字写全，再补一句主线，结构分就稳了。
>

> 主线句是这句：安全测试不是跑个扫描器，是拿威胁模型去设计攻击，再回来验证防线有没有用。

> **提问：**五个部分里，你觉得团队最常跳过哪一块？

> **预设回答：**

- 答"工具，直接跑扫描器最快"——正好相反。工具最容易被用起来，前四块最容易被跳过。

- 答"威胁模型"——很准。没有威胁模型，测试就是无的放矢，扫描器报什么修什么。

- 答"贯穿研发生命周期"——也对，很多团队只在验收前扫一遍。

- 收口：这一节的顺序本身就在纠偏，先想威胁，再谈工具。

> **易错点 / 考点：**五块名称要能默写，结构题常问"安全性测试包括哪些内容"。最容易错的是把安全性测试等同于渗透测试——渗透只是方法之一，还有静态分析、模糊测试、功能验证。

> **过渡：**从第一块开始，先说威胁模型到底是个什么东西。

【7.44】威胁模型与安全漏洞模式（1 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> "威胁模型"四个字，很多人念完还是不知道它是什么东西。

>

> 拆开就是一句话：谁，从哪，用什么办法，来伤这个系统，伤了会怎样。

>

> 它由四块构成。资产，要护住什么，用户数据、资金、密钥。对手，谁会来，外部攻击者、内部人员、自动化脚本。攻击面，从哪进，登录口、上传口、接口、第三方集成。缓解措施，现在有什么防线。

>

> 建它不是为了交一份文档。安全测试的资源永远不够，不可能把所有攻击都试一遍。威胁模型干的是排序，把值钱的资产加门槛低的入口拎到前面先测。

>

> 它还有个副产品，会把设计里没写下来的假设翻出来。比如"我们假设内网可信"。这条一旦不成立，终端中毒、VPN 被撞库，整条防线跟着塌。

>

> 具体怎么建，三步，一节课能出一版。

>

> 第一步画数据流。数据从哪进、经过哪些处理、最后存到哪，一条一条画出来。

>

> 第二步标信任边界。跨过这条线，可信程度就变了，要重新检查。浏览器到服务端是一条，服务端到第三方接口又是一条。

>

> 第三步把假设写成句子。写完念一遍，看它有没有失效条件。写不出失效条件的假设，多半是没想清。

>

> 排序也靠它。高价值资产加低门槛入口，先测。值钱但门口挂着五道锁的，可以往后放。

>

> 漏洞十有八九，就是某条没写下来的假设破了。所以建模的时候，除了写有哪些威胁，还要写每条假设在什么条件下会失效。

> **提问：**一个只在内网使用的系统，威胁模型里的"对手"该写谁？

> **预设回答：**

- 答"没有对手，内网很安全"——这是最危险的答案。内网里至少有内部人员、有中毒的终端、有被钓鱼的账号。

- 答"内部人员和被攻陷的终端"——对，这是内网系统主要的威胁源。

- 答"还要算供应链和第三方接入"——补得好，VPN、外包、运维通道都是入口。

- 收口：所以"内网可信"这条假设要写进模型，还要写清它的失效条件。

> **易错点 / 考点：**四要素要能说全：资产、对手、攻击面、缓解措施。判断题"内网系统不需要安全测试"是错的，威胁主要来自内部和横向移动。加分点是"假设失效是漏洞的常见成因"。威胁模型的作用是排序，不是写文

档交差。

> **过渡：**四块里最核心的一格是资产会被怎么伤，这就要先把"漏洞"这个词说准。

【7.45】安全性缺陷 — 漏洞（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 一扇没锁的窗，算不算已经被盗了？不算。可它离被盗只差一个路过的人。

>

> 课件的定义就是这个意思。脆弱性，又称弱点或漏洞。它是 IT 系统中存在的、可能被威胁利用造成损害的薄弱环节。它一旦被威胁成功利用，就可能违犯安全策略，对 IT 系统也就是资产造成损害。

>

> 这句话拆成四块，考试就考这四块。

>

> 第一，它是薄弱环节。漏洞本身不是损害，是一个机会。修漏洞是在关门，不是在抓贼。

>

> 第二，它要被威胁利用。没人用，损害不发生。同一个漏洞放在隔离内网和放在公网，风险差一个量级。风险等于漏洞乘威胁。

>

> 第三，后果是违犯安全策略。策略是我们希望系统守的规矩，谁能看什么、谁能改什么。被利用，就是系统做了规矩不许做的事。

>

> 第四，受损的是资产：数据、资金、服务能力、声誉。

>

> 再补两个行话。公开漏洞用 CVE 编号标识，严重程度用 CVSS 打分。评分细节不用背，只要知道漏洞要按严重度排队修，看见一个修一个等于没排。

>

> 再往细一层看，风险不只两个乘数。漏洞、威胁之外还有影响。同一条注入，打在测试库上和打在生产库上，影响差一个量级。评级不能只看漏洞本身。

>

> 定义里那个"可能"两个字别漏。可能是说它有条件，条件就是威胁。没有威胁来用它，它只是一个弱点。

>

> 这一句请划下来：漏洞是系统的属性，不是某次攻击的事件。它在被利用之前一直在那儿，这正是测试能提前发现它的原因。

> **提问：**一个漏洞存在，但从来没被利用过，算不算安全问题？

> **预设回答：**

- 答"不算，没出事"——漏洞是属性，不是事件。没被利用只说明还没人发现，或者还没人试。

- 答"算，要修"——对。修的依据是风险，不是有没有已经出事。

- 答"要看暴露面"——很专业。内网还是公网、有没有认证、数据多敏感，都影响优先级。

- 收口：所以安全测试的产出是漏洞清单加风险评级，不是事故报告。

> **易错点 / 考点：**定义的四个要素是简答重点，尤其是薄弱环节和被威胁利用这两条。判断题"漏洞就是 bug"不成立：bug 是不符合预期，漏洞是可被利用来违反安全策略，两者有交集但不相等。CVE 与 CVSS 点到即可。

> **过渡：**漏洞既然一直存在，那它是怎么被写进系统里的。

【7.46】安全性：漏洞来源（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 写代码的人不会故意留后门。可绝大多数漏洞，确实是写代码的人带进来的。

>

> 课件把来源分成两支：故意和无意。这两支的修法完全不同，所以这个分法比记名词重要。

>

> 故意这一支再分两种。恶意的：木马病毒、陷门也叫后门、逻辑炸弹和定时炸弹。都是有人刻意埋进去的代码。陷门是留一个别人不知道的入口，逻辑炸弹是满足条件就发作。这类东西不在需求里，也不在编码规范里，常规测试基本抓不到。要靠代码评审、依赖审计、供应链检查。

>

> 非恶意的，比如隐秘通道。设计者没坏心，可系统某个机制能被拿来偷偷传信息，比如靠响应时间的差异传比特。

>

> 无意这一支，才是绝大多数漏洞的真实来源。课件列了六类。校验错误、范围错误、串行错误、认证与鉴别错误、边界条件错误、其它可利用的逻辑错误。

>

> 每类给个画面。校验错误是该查的没查，输入直接拼进 SQL。范围错误是允许了不该允许的范围，数组越界、权限给太大。串行错误是顺序错了，先扣款后查库存，中间被打断就出事。认证错误是把不该认的人认成自己人，弱口令、会话不过期、token 可预测。边界条件错误是临界值没管，空串、0、最大值、超长输入。其它逻辑错误是流程能被绕，价格改成负数、跳过支付直接回调。

>

> 六类几乎都落在两处：输入校验和状态检查。写代码时反复问两句，这个输入我信得过吗，这个状态我查了吗。

提问：六类无意漏洞里，串行错误和逻辑错误差在哪儿？各举一例。

预设回答：

- 答"都是逻辑问题，差不多"——不一样。串行错误看执行顺序和中间状态，逻辑错误看规则本身能不能被绕。

- 答"串行是先发货后扣款，逻辑是价格能改成负数"——很到位，两个例子都准。

- 答"串行错误就是并发问题"——有关系但不相等。并发会放大它，它本身是步骤顺序和事务边界的问题。

- 收口：判断口诀是看顺序和中间态的是串行，看规则能不能被绕的是逻辑。

易错点 / 考点：两大类和六小类要能对上，填空题高频。陷门与逻辑炸弹的定义要能分开。判断题"漏洞都是

> 黑客植入的"是错的，绝大多数是开发无意引入。六类可以压成六个字记：校验、范围、顺序、身份、边界、业务。

> **【思政落点 6】**：无意造成的漏洞占绝大多数，这条事实指向的是一种职业习惯。少一次校验、漏一个边界值，单看都不算偷懒，凑在一起就是被人打开的门。工程上的负责，常常不是干出多漂亮的设计，而是把枯燥的那几行检查做全。认真在这里不是态度问题，是能不能交付的问题。

> **过渡：**门没锁说清了，接下来看贼怎么进来。

【7.47】危险、攻击手段（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 入侵一个系统，第一步常常什么都没干，只是看。

>

> 课件把过程拆成三段：预攻击、攻击、后攻击。拆它有实际用处，每一段都能设防，也都能留检测点。

>

> 预攻击就是踩点。常规信息获取、搜索引擎、社会工程学，都在这儿。还有漏洞扫描、信息收集，ping、telnet、whois、traceroute 这一类。端口扫描也是这一步，snmp、superscan 这类工具。这一段全是探测，业务上没有异常。日志里只有一堆 404 和端口试探，所以最难被发现。

>

> 攻击段才动手。DoS、远程渗透、口令猜测，还有远程溢出，像 getadmin 这类提权工具。应用攻击也算这一段，比如 SQL 注入。

>

> 后攻击段是进去之后干什么：权限提升，本地溢出、口令嗅探；留后门；擦痕迹。这一段说明一件冷的事，被入侵和被发现在往隔好几个月。

>

> 测试人员背这个三段式有两个用处。一个是设计检测点。预攻击段看日志和 WAF，攻击段卡输入校验和权

> 限，后攻击段盯文件完整性和账号行为。另一个是渗透测试照着走，先收集，再利用，最后评估影响。

>

> 三段的投入常常不成比例。预算大多砸在攻击段，买设备、上 WAF、加参数校验。预攻击段没人管，后攻击段没人看。

>

> 可事故复盘里，往往追得到预攻击段的痕迹。测试环境的地址写在招聘帖里，源码备份挂在公网目录，内部 Wiki 里留着默认口令。这些不是攻进来的，是摆在那儿的。

>

> 常见的偏差是防线只做中间一段。WAF 买了，参数校验写了，两侧的口子还开着，中间的拦截也撑不了多久。防线得铺满三段。

> **提问：**预攻击阶段为什么最容易被防守方忽略？

> **预设回答：**

- 答"因为还没造成损害"——对。这一段没有业务异常，告警不响。

- 答"探测看起来像正常访问"——很准。扫一个不存在的路径，日志里就是一次 404。

- 答"防守方只盯着攻击"——点到了：资源都投在拦，没投在看。

- 收口：所以这一段的防守靠情报和异常检测，大量 404、异常 UA、非常规时间的访问，都是信号。

> **易错点 / 考点：**三段名称与各自手段要能对应，选择题高频。社会工程学属于预攻击段的信息获取，常被错放到攻击段。判断题"渗透测试就是直接打"是错的，前期信息收集常占一半以上时间。案例题可以加一句：防御要覆盖三段。

> **过渡：**攻击成功之后会留下哪些类型的问题，课件列了一整页。

【7.48】攻击带来的安全性问题（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 一条加密的通信，和一条谁都不看内容的通信，哪条更危险？答案有点反直觉，后一条有时候更危险。

>

> 课件列了攻击造成的后果，一共九条。我不逐字念，归成四组，按组记更牢。

>

> 信息层面三条：信息泄露、破坏信息的完整性、业务数据流分析。泄露是不该看的看到了。完整性破坏是不该改的改了。数据流分析不碰内容，只看通信模式，谁在什么时候和谁通信、数据量多大。商业情报就出来了。加密护的是内容，护不住模式。

>

> 可用性层面一条：拒绝服务，DoS 和 DDoS。成本最低，效果最直接。

>

> 访问控制与身份层面六条。非法使用也就是非授权访问、窃听、假冒、旁路控制。还有授权侵犯即内部攻击、抵赖即来自用户的攻击。这一组杂，抓两条线就够：身份不可信，行为不可追溯。内部攻击单列出来，是因为内部人本来有权限，他做的事在系统眼里完全合法。

>

> 环境与合规层面两条：计算机病毒和恶意软件，还有信息安全法律法规不完善。最后这条听着不像技术问题，可它最现实。法规不完善意味着取证难、追责难、赔偿难。攻击的收益就高，成本就低。

>

> 四组的顺序也值得看一眼。信息、可用、身份、合规，越往后越不像纯技术，也越容易在复习时被跳过。

>

> 还有一点，这九条里有一半不是技术能单独解决的。法规、取证、追责，属于制度层面。做题时别顺手把它们划掉。

>

> 九条合起来都能映射回五个目标：保密、完整、可用、真实、不可抵赖。下一页那六个字母，就是把这九条按手法又切了一遍。

提问： 业务数据流分析看不到内容，为什么也算安全问题？

预设回答：

- 答"能看到内容才叫泄露"——不一定。通信模式本身就是情报：某公司半夜向某台服务器传了 10GB，不用看内容也知道出了事。

- 答"它泄露的是行为模式"——准确。这类攻击难防，因为它依赖的是元数据。

- 答"可以用流量填充对抗"——很专业，这是常见手段之一。

- 收口：加密保护内容，不保护模式，两件事要分开设计。

> **易错点 / 考点：**九条要能说全，填空和多选都高频，归类法能省力气。最容易漏的是授权侵犯即内部攻击，还有抵赖。业务数据流分析是理解性考点，要能解释元数据也是信息。九条和五个目标的映射，下一页还要用。

> **过渡：**把这九条按攻击手法重新切，就是安全领域最常用的那个模型。

【7.49】软件系统安全威胁：STRIED（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 六个威胁、六道防线，这个模型在业界用了二十多年，为什么一直没被换掉。

>

> 课件写作 STRIED，业内更常见的拼法是 STRIDE，字母顺序写法不同，内容一致。答题按课件写，把每个字母的含义说清就行。

>

> S，假冒 ID：冒充别人。冒充用户登录、冒充服务端、伪造 token。挡它靠认证，多因素、证书。

>

> T，篡改：改了不该改的东西。改请求参数、改数据库、改传输中的数据。挡它靠完整性，签名、哈希、HTTPS。

>

> R，抵赖：干了不承认。我没下过这个单，我没批过这笔款。挡它靠不可否认性，审计日志、数字签名。

>

> I，信息泄露：不该看到的看到了。报错带堆栈、接口多返回字段、日志里存明文口令。挡它靠保密，加密、

> 脱敏、少返回。

>

> D，拒绝服务：让你用不了。挡它靠可用性设计，限流、降级、容量冗余。

>

> E，特权升级：本来只能看自己的，结果能看所有人的。挡它靠授权，逐次校验、最小权限。

>

> 它好用的地方在于，威胁和防线一一对应。左边六个威胁，右边六种机制，逐项问"我们有吗"，这就成了一份能照着做的检查单。

>

> 有人会问，六类会不会重叠。会。一次越权往往既是假冒又是特权升级。答题看它靠哪道机制被挡住，就归到哪一类。

>

> 检查单怎么用？画一张表，左边六个威胁，右边六道防线。每个格子问三句：有没有这道机制，覆盖到哪些接口，上次验证是什么时候。

>

> 答不上来的格子，就是这次要测的地方。这比凭感觉挑几个接口点一遍靠得住。

>

> 有人说我们做了加密。那就接着问：认证呢，授权呢，审计呢。加密只盖住 I 那一格。

> **提问：**一个系统所有数据都加密存储了，能不能说安全威胁都防住了？

> **预设回答：**

- 答"能，加密最强"——加密只覆盖 I 那一格，其余五类它管不着。

- 答"不能，还要认证授权"——对。假冒、抵赖、特权升级都得靠别的机制。

- 答"还要防 DoS"——补得好，可用性是另一条线。

- 收口：评估安全不能问有没有加密，要问六类威胁各有哪道防线。

> **易错点 / 考点：**六个字母和六类威胁的对应必须默写，是本节最高频考点。拼写差异别纠结，STRIED 和 STRIDE 写清含义即可。错答最多的是"加密就等于安全"，加密只对应保密性。口诀可以自己造一句，假、改、赖、泄、拒、升，按顺序默出来。

> **过渡：**分类讲完，看具体漏洞长什么样，课件列了一批经典模式。

【7.50】一些常见的安全漏洞模式（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 八个漏洞模式，名字你大概都听过。我更想你看到它们共同的毛病。

>

> 缓冲区溢出，往固定大小的缓冲区里写超长数据。多出来的盖住相邻内存，轻则崩，重则执行攻击者的代码。这个下一页单独看。

>

> 图像格式漏洞，WMF、TIFF、PNG：漏洞不在你的代码里，在你解析图片的那个库里。用户传一张特制图片，解析时溢出。你的攻击面包括你依赖的所有第三方组件。

>

> 竞争条件，race condition：检查的时候没问题，用的时候已经被改了。提现先查余额再扣减，中间被并发插一刀，就能超提。

>

> SQL 注入：把用户输入当成了语句的一部分。Web 时代最经典的漏洞。

>

> XSS，跨站脚本攻击：把脚本种进给别人看的页面，别人一浏览就执行。

>

> CSRF，跨站请求伪造：借用户已经登录的身份，让他在不知情的时候发出请求。

>

> Frame-proxy：用框架把真页面套住，用户在"看起来是你家"的页面上输口令。

>

> 并发漏洞：重复提交、库存超卖、幂等缺失。功能测试几乎看不出来，只在并发的时候冒头。

>

> 八类里只有前两类跟语言和第三方库有关。后面六类基本出在业务和框架层。换语言解决不了大部分问题。

>

> 边界思维比背八类管用。换个系统，八类可能只中三类，边界永远是那四种。

>

> 依赖边界最容易被忘。列一份组件清单，标出版本，查有没有已知漏洞。这件事在项目里几乎没人主动做。

>

> 共同点在这儿：这些都不是功能写错了，是边界没守住。输入边界、身份边界、时序边界、依赖边界。凡是跨边界的地方，都得查一遍。

提问： XSS 和 CSRF 都带"跨站"，区别在哪？

预设回答：

- 答"都是跨站攻击，差不多"——最常见的混淆，两者机制完全不同。

- 答"XSS 是把脚本种进页面，CSRF 是借用户身份发请求"——准确。一个攻页面的可信性，一个攻请求的可信性。

- 答"XSS 要用户浏览，CSRF 要用户已登录"——补得好。都依赖用户，依赖的东西不同。

- 收口：XSS 是让你的浏览器执行我的代码，CSRF 是让你的浏览器用你的身份发我的请求。

易错点 / 考点： 八类要能认，选择题常从里面挑。XSS 与 CSRF 是最高频的混淆点，必须一句话分清。竞争条件要能举先查后改的例子，并说出 TOCTOU。加分做法是把八类归到四种边界上，说明你不只是背名词。

过渡： 八类里的第一类最老也最凶，单独看它。

【7.51】常见的 C/ C++缓冲区溢出问题（2 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 一个八字节的数组，往里写二十个字节，会发生什么？

>

> C 的数组不查边界。声明 8 字节，拷进去 20 字节，编译器不拦，多出来的 12 字节盖到相邻内存上。相邻内存里常常存着函数的返回地址，也就是这个函数跑完该回哪儿继续。

>

> 攻击链就这么成立。构造超长输入，盖掉返回地址，让它指向攻击者自己的代码，或者系统里某个现成函数。程序"返回"的时候就跳过去了。这叫栈溢出。它狠的地方在于不要你先登录，一个输入框就够。

>

> 常见错点四个。一是不查长度的函数，strcpy、sprintf、gets，只负责拷不负责数。二是长度算错，忘了结尾那个 \0，就多写一个字节。三是整数溢出把校验绕过去，先算还差多少空间，算成负数，校验就失效。四是把用户输入当格式串。写 printf(user_input)，而不是 printf("%s", user_input)。

>

> 怎么防？三条。换成 strncpy、snprintf 这类安全版本。长度校验做在所有入口，不只做在页面上。再开编译器和运行时保护，栈保护、地址随机化、不可执行栈。三条要一起上，单靠一条都能被绕过去。

>

> 写代码时可以养一个自查习惯。凡是从外部进来一个长度、一个数量，先问上限是多少。写不出上限的地方，通常就是溢出可能出现的地方。

>

> 还有一点时间上的差别。溢出这类漏洞一旦成功，攻击者拿到的往往是整台机器的控制权，不是一条数据。所以它的优先级一直排在前面，哪怕听起来很老。

>

> 最后一句：Java 这类语言帮你挡住了数组越界，可边界检查不等于业务校验。金额能不能为负，还得你自己管。

> **提问：**用 Java 写的系统，是不是就不用担心缓冲区溢出了？

> **预设回答：**

- 答"是，Java 有边界检查"——语言层确实挡住了数组越界，可同类问题还在。拼接巨量字符串、超大请求体打进内存，本质都是没限制输入规模。

- 答"不是，还要防依赖库"——很专业。JVM、图像解析库、JNI 调用的本地方法，都可能带进原生层漏洞。

- 答"还要做业务层校验"——对。语言给的是内存安全，业务得自己管业务安全。

- 收口：换了语言，风险的形态变了，风险本身没消失。

> **易错点 / 考点：**溢出的原理链条要讲清，覆盖返回地址是关键一环。不安全函数要能列举。判断题"用高级语言就没有溢出问题"是错的，要看是否涉及原生库和输入规模。三条防线要能说全，并且强调组合起来才有效。

> **过渡：**单类漏洞看完，再看行业给出的那份最该防的清单。

【7.52】OWASP Top10 漏洞模式（2 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 有一份清单，全世界做 Web 安全的都在用。可照着它抄进用例库，你一条都测不出来。

>

> 先说是什么。OWASP 的全称是 Open Web Application Security Project。中文叫开放 Web 应用安全项目。Top 10 是它发布的最严重的 Web 应用安全风险清单。官方站点在课件里给了，owasp.org/Top10。

>

> 它为什么有分量？因为它按真实数据排。收集大量应用的实际漏洞统计，按出现频率乘影响程度排序，几年更新一版。所以它写的是现实里真被打穿的地方，不是理论上的危险。它还是同一种语言，你说这是 A01 类问题，同事就知道你在说什么。

>

> 它不能干什么，这条最关键。Top 10 是类别，不是测试用例集。注入是一类，具体到你系统里是哪个接口、哪个参数、怎么注，清单不告诉你。它是地图上的高危区域，不是具体坐标。

>

> 怎么用？三步。拿类别当检查表，逐项问我们有没有这一类。把每一类翻成本系统的测试点，哪个入口、什么输入、预期哪道防线。再按业务影响排序，先测打穿后果最重的地方。

>

> 它也公开可查，学生能拿到全文，不必等公司给账号。这一点对自学很关键。

>

> 再补一层用法。把 Top 10 和 CVE 编号对着看。清单告诉你该防哪一类，CVE 告诉你这一类里哪个组件刚出了事。

>

> 条目编号别死背，清单会更新。长期在榜的那几类要认得。注入、失效的访问控制、加密相关缺陷、跨站脚本、安全配置错误、组件漏洞。

>

> 考题常问三件事：它是什么、凭什么有分量、能不能直接当用例用。背编号没有分。

> **提问：**把 OWASP Top 10 抄进测试用例库，是不是就等于做了安全测试？

> **预设回答：**

- 答"是，照着测一遍就行"——Top 10 是类别，不是用例。抄进去的只是标题。

- 答"不是，要落到接口和参数"——对。安全测试的落点是这个接口的这个参数，不是注入这一类。

- 答"还要结合业务风险"——补得好。同一个漏洞在支付系统和公告系统里，优先级差很远。

- 收口：正确用法是先按类别扫盲，再按业务翻译，最后按风险排序。

> **易错点 / 考点：**OWASP 的全称与性质要能答。错答最多的是"Top 10 就是十个漏洞"，它是十类风险。它有两个特征能解释权威性：来自真实数据，几年更新一版。具体编号不必背，长期在榜的类别要认得。

> **过渡：**威胁和漏洞都看完了，接下来是最实际的问题：这些怎么测。

【7.53】安全性测试的范围与方法（1 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 客户说"帮我们把系统安全测一遍"。这句话里没有一个字能直接用。

>

> 得先把它拆成三问：测什么，测到什么程度，怎么测。

>

> 测什么，先立目标。课件强调 CIA 三元组：保密性、完整性、可用性。所有安全测试最后都能归到这三条上。没有目标，测试就变成能想到什么测什么。

>

> 测到什么程度，要定安全等级。内部公告系统和人脸识别支付，不可能用一套标准。这就是后面五个安全保护等级的用处，它决定投多少人力、验收按什么口径。

>

> 怎么测，两条轴。静态还是动态。静态是工具扫描、人工评审、专家评估，程序不跑。动态是功能测试、模糊测试、渗透测试，程序要跑。视角还分两种：基于威胁，从外部问会发生什么；基于漏洞，从内部问已经存在什么。

>

> 顺序别倒：先定目标，再定等级，最后选方法。反过来先挑工具，做完的报告说服不了任何人。

>

> 两套分法要能对上。静态发现的是代码里写着的毛病，动态发现的是跑起来才暴露的毛病。同一个越权，静态能看出没做归属校验，动态才能证明真能拿到别人的数据。

>

> 基于威胁的用例从场景出发，写出来像攻击剧本。基于漏洞的用例从清单出发，写出来像检查表。两种都得有。

>

> 还有一问常被跳过：这份报告交给谁。交给开发的，要能指到行；交给管理层的，要能说清风险和成本。同一个结论，两种写法。

>

> 还有一件事要提前问，这次的授权和窗口。没有授权不能开工，这条在讲黑帽白帽的时候已经说过一遍。

> **提问：**客户说"帮我们把系统安全测一遍"，你先问哪三个问题？

> **预设回答：**

- 答"测什么范围"——第一个问题。范围不清，既报不了价也交不了付。

- 答"要多严"——第二个。对应安全等级和验收标准。

- 答"用什么方法，给什么报告"——第三个。方法决定工作量和工具。

- 收口：再加一个隐藏问题，这次的授权和窗口。没授权不能开工。

> **易错点 / 考点：**安全目标的核心是 CIA 三元组，全称加解释都要会。静态与动态的划分要清楚，代码评审属于静态。最容易混的是基于威胁和基于漏洞，一个是外部视角，一个是内部视角。"先目标、再等级、后方法"这个顺序，案例题按它组织答案很顺。

> **过渡：**从目标说起，看看安全目标到底包含什么。

【7.54】安全目标（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 三条目标，经常互相打架。这不是设计没做好，它本来就这样。

>

> CIA 是保密性、完整性、可用性。保密性，信息只让该看的人看到。完整性，信息不被非法篡改，处理方法是准确、原始的。可用性，该用的时候能用。

>

> 课件有一句话要抄进笔记：这些目标常常互相矛盾，需要在这些目标中达到最佳平衡。它举的例子很干脆，简单地阻止所有人访问一个资源，保密性满分，可用性归零。

>

> 三个真实冲突。为了保密，把日志里的敏感字段全删，出了事没法追溯，可审计性受损。为了可用，做多副本多缓存，副本越多，保密性和一致性越难保证。为了安全，登录加五道验证。用户烦了，开始用弱密码，开始把验证码贴在显示器上。整体安全反而更差。

>

> 所以平衡不是客套话。安全不是一个能无限加码的维度，它带着成本。每加一道防护，都得问两句：挡住的威胁值多少，付出的可用性和体验代价多少。

>

> 还有一层，任何一条目标做到满分，另外两条一定吃亏。这不是技术不行，是设计必须做的选择。所以安全方案都带一份取舍说明，挡了什么、让掉了什么。

>

> 再补一个冲突，留存与保密。为了出事能查，日志要留久、留全。可日志里全是手机号、地址、重置记录，留得越久，泄露那天的损失越大。合规要求留存，隐私要求少留，两边都得交代。

>

> 行业里还常提三条：真实性、不可抵赖性、可追溯性。这三条下一页会正式列出来，现在先有个位置感。

> **提问：**"为了绝对安全，所有操作都加二次验证"，这句话的问题在哪？

> **预设回答：**

- 答"没问题，安全第一"——代价没算。验证越多，用户越烦，最后会共用验证码、会用弱口令，实际安全度下降。

- 答"影响可用性"——对，这正是 CIA 之间的冲突。

- 答"要按风险分级加验证"——专业做法。转账、改密码强验证，看公告弱验证。

- 收口：所以正确问法是这个操作风险多高、配多强的验证，不是越多越好。

> **易错点 / 考点：**CIA 三个词的中英文和含义必须默写。三者会冲突这个观点是简答和论述的高频点，一定要举例。错答最多的是"安全越高越好"，忽略了成本和可用性。课件那个"阻止所有人访问"的极端例子可以直接引用。

> **过渡：**CIA 是三条主线，摊成要求是八条。

【7.55】安全性要求（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

CIA 是三条，安全要求摊开是八条。多出来的五条从哪来，讲完就清楚。

>

每一条我都给一个怎么测，要求不能测，等于没写。

>

保密性：信息只被授权人访问，即使被截取也不能了解真实含义。后半句是重点，看到了也看不懂。怎么测：越权访问、抓包看明文、看返回字段是不是多了。

>

完整性：保护信息和处理方法的准确性与原始性，包括数据一致性，防止被非法篡改。怎么测：篡改请求参数看服务端校不校验，改传输中的数据看有没有签名。

>

可用性：授权用户在需要时能访问信息。怎么测：压力下的可用性、故障时的降级。

>

真实性：来源真实可靠。它问的是你是谁、这话真是你说的吗，对应认证与签名。怎么测：伪造 token、重放请求。

>

不可抵赖性：用户对自己的行为不能否认。怎么测：关键操作有没有留痕，日志普通用户能不能删改。

>

可追溯性：实体的行动能被跟踪。它和不可抵赖是一对，一个靠签，一个靠记。怎么测：做一次敏感操作，看日志能不能还原出谁、何时、从哪、做了什么。

>

> 可控制性：对信息的传播和内容有控制力，敏感数据不能导出、不能转发、加水印。怎么测：试着导出、截图、批量拉。

>

> 可审查性：出了问题能提供调查的依据和手段，这是事后能力。怎么测：模拟一次事件，看现有日志够不够用。

>

> 八条之间也不是并列的。可追溯做不住，不可抵赖就只剩口头承诺。可审查做不住，前面七条出了事也没法复盘。

>

> 前三条是 CIA，后五条是延伸。口诀：保、完、可、真、不、追、控、审。

> **提问：**不可抵赖性和可追溯性常被当成一回事，区别在哪？

> **预设回答：**

- 答"一样，都是留痕"——不一样。一个是"你不能否认"，一个是"我能查到"。

- 答"不可抵赖靠签名，可追溯靠日志"——准确。前者是事前约定，后者是事后能力。

- 答"日志也能做不可抵赖"——可以讨论，但普通日志管理员能改，强度不够。要不可抵赖得用防篡改手段，签名、只追加存储。

- 收口：不可抵赖是能当证据，可追溯是能还原过程。

易错点 / 考点：八条要能说全，前三条 CIA 必答。不可抵赖与可追溯是本节最典型的混淆点。最容易漏的是可控制性、可审查性，补上能加分。每条都要能说出怎么测，这是从概念走到实践的那一步。

> **过渡：**八条要求、六个威胁，两套词容易混，课件用两页练习帮你对齐。

【7.56】练习（2 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 六对六连线，我不报答案，先给方法。

>

> 左边六类威胁：假冒 ID、篡改、抵赖、信息泄露、拒绝服务、特权升级。右边六个手段：授权、保密、不可抵赖性、可用性、完整性、认证。

>

> 这类题只问一句：这个威胁要发生，缺的是哪道防线。右边给的是控制手段，不是目标名，所以答案要落到用什么办法上。

>

> 示范三次，剩下的你自己对。

>

> 假冒 ID 配认证。假冒要解决的是你到底是谁，那就得有一个验证身份的机制。别答授权：授权是你能干什么，认证是你是谁，这两个词是这一页最大的混淆点。

>

> 篡改配完整性。防改，还得改了能发现。

>

> 抵赖配不可抵赖性。留痕、签名，让他赖不掉。

>

> 剩下三条：信息泄露配保密，拒绝服务配可用性，特权升级配授权。特权升级是权限边界被突破，防它靠的正是授权控制和最小权限。

>

> 六对六，正好一一对应。这就是 STRIED 的另一半：模型之所以好用，是因为它天生带着该用什么挡的答案。

>

> 这道题还有变体。给你六个手段，问各自能挡哪几类威胁。答案不成一对一，比如审计能挡抵赖，也能在事后追责。变体考的还是同一件事：机制和目标之间不是一根线。

>

> 答题格式也补一句。别只写"假冒 ID 配认证"这一行，把中间那层补上：假冒 ID、真实性、认证。三个词写全，看卷的人一眼就知道你懂机制。

>

> 考试技巧补一句。先连最容易的，篡改和拒绝服务最好认，把确定的划掉，剩下的自然浮出来。别在难题上卡住。

>

> 时间也别全花在连线上。留两分钟，把三组形近词各写一句区别，那才是会考的地方。

> **提问：**为什么假冒 ID 配认证，不配授权？

> **预设回答：**

- 答"因为假冒是身份问题"——对，身份问题用身份机制解决。

- 答"授权也能防假冒"——逻辑上不通。授权的前提是已经知道你是谁，身份都是假的，授权无从谈起。

- 答"两个都要"——可以这么说，但主责是认证，考试要选最直接的。

- 收口：先认证你是谁，再授权你能干什么，再审计你干了什么。

> **易错点 / 考点：**六组配对必须会，这是本节最直接的考点。认证和授权是安全领域第一号混淆点。做题时先连确定的。答题最好把机制也写上，比如抵赖、不可抵赖性、审计日志和数字签名这样一串写完。

> **过渡：**答案页不重复题目，只讲这六组背后的三条规律。

【7.57】练习（2 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 同一道题的答案页。答案本身不值钱，值钱的是这三条规律。

>

> 规律一，威胁和防线是一对一。六类威胁能配上六个手段，不是巧合。这个模型本来就是按防护手段切出来的分类法。做题时别猜，问自己：这个威胁要成，缺的是哪一道防线。

>

> 规律二，长得像的词要盯住差别。认证对授权，你是谁，你能干什么。完整性对不可抵赖性，一个防改，一个防赖。保密性对真实性，一个防看，一个防假。

>

> 规律三，目标词和控制词要分开。列表里既有保密、可用性、完整性这种目标名，也有授权、认证这种手段名。答题时两者都对，但要能说成一句话：用什么手段实现什么目标。用认证实现真实性，用授权实现访问控制，用审计实现不可抵赖。

>

> 这三条不只对这道题有用。你以后读任何安全标准，威胁、控制、目标三层词都混着出现，能分清，才算读懂了那份标准。

>

> 还有个操作值得做。六组配完回头检查一遍，看有没有两个威胁配了同一个手段。真出现这种情况，多半是某个词你理解偏了。

>

> 这三条规律写需求时也用得上。你写一条安全需求，最好能说清它挡的是哪类威胁、实现的是哪个目标。三样写全，这条需求就糊弄不过去。

>

> 再补一句，题做对不算本事，能在自己写过的代码里找到这六个威胁才算。回头看看你的登录、下单、改资料，哪一处可能被假冒，哪一处可能被篡改。

提问：如果把"信息泄露"配成"完整性"，错在哪？

> **预设回答：**

- 答"配错了，该配保密"——对。信息泄露问的是能不能看到，对应保密性。

- 答"完整性也有关"——有点关系，泄露常伴随完整性受损，但主责不对。

- 答"完整性是防篡改的"——准确，一句话就把边界划清了。

- 收口：配对题要问这个威胁最直接破坏了哪个目标，选最直接的那个。

易错点 / 考点：三组形近词必须一句话分清：认证与授权、完整性与不可抵赖、保密与真实。错答最多的是把

信息泄露配给完整性。答题可以写成威胁、目标、手段三段式，得分更稳。

过渡：威胁、目标、手段都清楚了，接下来看这些要求怎么写成需求。

【7.58】软件安全性需求（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

"系统要安全"，这句话写进需求文档，验收的时候谁都没法签。

>

课件把安全需求分成两类：数据安全性和系统安全性。

>

数据安全性六项：加密、数据结构、安全存储、安全访问、认证、备份。这六项盖住数据的整个生命周期。数据结构管数据长什么样、哪些字段敏感怎么分级。安全存储管怎么落盘、怎么隔离权限。安全访问管谁能读谁能写。认证管谁能碰，加密管传的时候怎么护，备份管丢了怎么办。备份也算安全需求，勒索软件这几年把这条顶到了最前面。

>

系统安全性五项：用户身份认证、用户权限限制、异常处理、入口验证机制、系统强壮性设计。认证是门锁，权限限制是门里的分区。异常处理最容易被当成编码规范，它其实是安全需求。一个报错页把堆栈、表名、框架版本全交出去，等于给对手画了张地图。入口验证要记全，接口、文件上传、消息队列、定时任务参数，都算入口。系统强壮性是打不坏，异常输入不崩，压力下不崩，依赖挂了也不崩。

>

分工一句话：数据安全性管数据本身，系统安全性管访问数据的那个系统。数据加密做得再好，系统有个越权漏洞，一样全泄。

>

两类之间还有交叠。备份属于数据安全性，可备份文件要不要加密、谁能恢复，又落回系统安全性。

>

> 写需求还有一条规矩，每条都要可验证。"系统要安全"没法测，"口令必须加盐哈希存储，任何接口不得返回口令字段"就能测。这和性能需求要可测量是同一个道理。

> **提问：**异常处理为什么被列成安全需求，而不只是编码规范？

> **预设回答：**

- 答"因为异常会崩"——那是可靠性角度。

- 答"因为报错会泄露信息"——准确。堆栈、SQL、框架版本、内网地址，全是攻击者的情报。

- 答"因为异常路径常跳过校验"——很专业。很多越权和注入就发生在异常分支，正常分支有校验，异常分支没有。

- 收口：所以异常处理的安全要求有两条，对外不泄露细节，对内不跳过校验。

> **易错点 / 考点：**两大类和各自包含的项要能列举，填空题高频。备份属于安全需求这一点常被漏掉。异常处理的双重要求是加分点。判断题"安全需求可以写得原则一些"是错的，安全需求必须可验证。

> **过渡：**需求讲完，挑一样每个系统都有的东西走一遍，就是口令。

【7.59】示例：系统安全性问题（2 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 一个十二位、大小写加符号的密码，安全吗？先别答。

>

> 课件问的是，对用户口令，有多少防范措施。把口令的一生走一遍，每一步都问这里能出什么事。

>

> 设置的时候：有没有强度要求，有没有挡住弱口令库，有没有禁止和用户名相同。

>

> 存储的时候：不能明文。用加盐哈希，每个用户一个随机盐，配 bcrypt、scrypt、PBKDF2 这类慢哈希。加盐是防彩虹表，慢是让爆破的算力成本高到不划算。这一条是开发最常犯的错，用 MD5，甚至明文。

>

> 传输的时候：走加密通道，否则中间人直接拿走。

>

> 使用的时候：失败要不要限次数，要不要防爆破，验证码、锁定、延迟，失败日志记不记。这一条对着口令猜测。

>

> 找回的时候，最容易被漏。安全问题答案能不能猜，重置链接有没有过期，令牌可不可预测。很多系统登录做得严，找回做得松，攻击者根本不猜密码，直接点忘记密码。

>

> 变更与注销的时候：改密码验不验旧密码，异地登录提不提醒，离职账号停不停，会话超不超时。

>

> 一圈走完，结论是，口令安全不是一个功能，是一条链，最弱一环决定整体强度。所以"密码策略很严还是被盗"不奇怪，链条另一头是漏的。

>

> 还有一件事常被漏，默认口令。设备、后台、测试环境装完就带着 admin 这类初始口令，很多事故从这儿开始。交付前要把默认口令清一遍。

>

> 设计时还有个取舍。慢哈希会让登录变慢，参数要调在一个平衡点上：用户等得起，爆破的人算不起。

>

> 现在的做法是加一层多因素，短信、TOTP、生物特征，不指望单点绝对可靠。

提问：一个系统要求密码 12 位含大小写数字符号，但允许用"忘记密码"直接重置。它的口令安全算强还是弱？

> **预设回答：**

- 答"强，策略很严"——策略只盖住了链条的一环。

- 答"弱，找回是短板"——对。攻击者不会去爆破 12 位密码，他会去猜安全问题、去撞重置链接。

- 答"要看重置流程怎么设计"——最完整。链接是不是一次性、会不会过期、绑不绑会话。

- 收口：评估口令安全要走完整条链，任何一环松，前面几环的严格都白费。

> **易错点 / 考点：**六个环节要能说全，找回最容易被漏。加盐哈希三要素必答：盐、慢哈希、禁明文。判断题"密码复杂度高就安全"是错的，链条思维才是正确答法。最弱一环决定整体强度，这句话可以套到所有安全设计题上。

> **过渡：**口令只是入口，系统层面还有一套基本机制，课件用主体、客体这些词来讲。

【7.60】系统安全的基本机制（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 用户点一下"查看订单"，系统内部要判断几件事？至少三件：你是谁，这个订单是不是你的，你能不能看。

>

> 课件用的是访问控制的经典模型，几个词先立住。

>

> 主体，主动的一方，用户、进程，它发起操作。客体，被动的一方，文件、存储设备、数据库表，它被操作。访问，主体对客体做什么，读、写、执行。权限，允许不允许做这次访问。

>

> 权限是主体乘客体乘操作的三元组。这一点要记牢：同一个用户对 A 文件可读、对 B 文件不可读，这才叫权限。笼统说"这个用户有权限"，不成立。

>

> 再往上一层。安全策略是一整套规则，规定谁在什么条件下能做什么。它是管理层的意图，比如财务数据只有财务部能读。安全审计把谁做了什么记下来，用于事后追查。强制访问控制 MAC 由系统按标签统一强制执行，用户自己改不了。与之相对的是自主访问控制 DAC，文件主自己决定给谁权限。MAC 更严，用在高安全等级的系统里。

>

> 串成一句。主体按安全策略对客体发起访问，权限决定这次访问能不能做。做完由审计记下来，强制访问控

> 制保证策略不被绕过。

>

> 这三个词不是拿来背定义的。设计用例时，把主体、客体、操作三列写出来，一行一行问该不该允许，缺的用例自己就冒出来了。

>

> 测试人员懂这个模型有直接用处。越权漏洞就是这个三元组某一项坏了。水平越权是主体换了、客体不该给他。垂直越权是操作超出了角色。未授权访问是根本没验主体。拿三元组去设计用例，比凭感觉点要系统得多。

> **提问：**一个用户能看到别人的订单，属于哪一类越权？用三元组怎么描述？

> **预设回答：**

- 答"水平越权"——对，同角色之间横向看别人的数据。

- 答"客体没做归属校验"——很准确。请求里传了别人的订单 ID，服务端没校验这个订单是不是你的。

- 答"只做了功能权限，没做数据权限"——也对。能进这个页面，不等于能看这些行。

- 收口：修这类漏洞的通用做法是，每次访问客体都校验归属，不信任客户端传来的 ID。

> **易错点 / 考点：**主体、客体、访问、权限四个术语的定义，加上"权限是三元组"这个理解，是最容易被问倒的地方。MAC 与 DAC 的区别是高频考点。安全策略定规则、安全审计记事实，两者的定位不要混。加分项是用三元组解释水平越权和垂直越权。

> **过渡：**机制有了，防线还得落地，课件后面给了三道。

第 7 章讲稿（7.61–7.80，v3）

> 锚点与课件一一对应，不增删页。每页五个标记。口播按四拍：起 → 推 → 收。课件知识点全留，下半部的问句在口播里接住并回答。

【7.61】安全三大保障机制：预防、恢复、支撑（2 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 楼道里的灭火器一年一检，标签贴得整整齐齐。可真问一句，上次疏散演练是什么时候？没人接得上话。安全上最常见的一种自我安慰，就藏在这个场面里。

>

> 安全保障其实分三类。第一类预防，目标是不让坏事发生。手段你们都熟：身份认证、访问控制、输入校验、加密、防火墙、权限最小化。钱也是这一类花得最多。可预防一定会有漏。攻击手法在变，你不可能把所有路提前堵死。

>

> 第二类恢复，目标是出了事能快些回到正常。备份与恢复演练、冗余与故障切换、应急响应预案、回滚机制，都算。它背后是一次观念上的转向：从"砌一堵打不穿的墙"，改成"假设墙会被打穿，但我能很快修好"。承认自己会被打穿，听着不体面，可这是设计恢复能力的前提。

>

> 第三类支撑，最容易被忽略。它管的是让前两类长期有效：安全策略与制度、安全培训、审计与监控、漏洞管理流程、合规检查。没有它，预防会随系统演进而失效，新接口上线没加校验，谁也没发现；恢复会随人员流动而失传，备份文件在，没人知道怎么恢复。

>

> 三类各管一段：预防降概率，恢复降损失，支撑保长效。现实里最常见的失衡，是预防占九成，恢复和支撑几乎没有。结果一次成功的攻击，直接变成灾难。

>

> 有个省事的检验法，问团队三句话。我们最可能被怎么打穿？打穿之后多久能恢复？谁保证这些措施一年后还有效？三句里有一句答不上，就是某类机制缺了。

提问：一个团队把预算全花在买安全设备上，没有备份，也没做过应急演练。这个体系缺什么？

预设回答：

- 答"缺恢复"——对，一旦被打穿就回不去，小事故会变成灾难。

- 答"缺支撑"——也对，没有制度和流程，设备买了也没人用对。

- 答"预防也未必到位"——有道理，设备堆着不等于配得对，"买了"和"生效"是两件事。

- 收口：评估一套安全体系，看的是三类齐不齐，不是看花了多少钱。

> **易错点 / 考点：** ① 三类机制的名称和代表手段要能对上，选择题常配对；② 高频判断"安全就是防住攻击"——只覆盖预防，漏了恢复和支撑；③ "假设会被打穿"这个观念转变是理解题常考；④ 加分句：预防降概率、恢复降损失、支撑保长效。

> **过渡：** 三类机制要落地，得有成文的策略，下面看一份完整的清单。

【7.62】完整的安全策略示例（2 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 有人把安全策略写成三十页，打印装订，放进抽屉。半年后审计要看，翻出来一对，条目和现在的系统已经对不上。问题不在长短，在这份文档有没有结构。

>

> 课件那份清单条目很多，看着杂。按"管什么"归成四组，就顺了。

>

> 第一组管身份：口令保护、可接受的使用控制、敏感信息控制。它回答的是人怎么证明自己、能碰什么。第二组管边界：外部网络访问控制、远程访问和 VPN 安全控制、模拟线路和拨入访问控制。还有无线通信控制、Internet DNS 设备控制、路由器安全管理、第三方网络连接协议。凡是"从外面连进来"的路，都得有策略。这里最容易忘的是无线通信和拨入这两条。现在大家默认网络就是一根网线，可会议室的 AP、运维的 4G 卡、供应商的专线，都是入口。

>

> 第三组管主机与数据：服务器安全管理、数据库信任编码。后者说的是数据库这一层的可信代码和权限约束，不是应用挡住了就完事。第四组管流程：防病毒流程、审核和风险评估、引入评估控制、应用程序提供上（ASP）控制。还有自动转发电子邮件控制、可接受的加密控制。引进新系统、新供应商要做安全评估，这条常被当成采购流程，其实它属于安全策略。

>

> 归完类你会发现，这份清单在回答四个问题：谁能进、从哪进、进来能干什么、怎么管。

>

> 还有个措辞值得停一下。"可接受的"出现了两次，可接受的加密控制、可接受的使用控制。它传达的态度很明确：策略不是越严越好，是划出可接受的范围。范围不清的严，最后会变成大家都不遵守。

> **提问：**策略里为什么写"可接受的加密控制"，而不是直接写"必须使用最强加密"？

> **预设回答：**

- 答"最强加密性能差"——是个原因，但不是核心。

- 答"要划清可接受范围"——对。"可接受"给的是选项集合和判断标准，执行的人能落地。

- 答"场景不同要求不同"——很准，传输、存储、备份的加密要求本来就不一样。

- 收口：策略的写法是给出可接受区间加判断依据，不是喊一句绝对化的口号。

> **易错点 / 考点：**① 四组归类比死记条目省力，答题也好看；② "可接受的"这个措辞的含义是理解题考点；③ 高频漏项：无线通信控制、拨入访问控制、数据库信任编码；④ 四个问题（谁能进、从哪进、能干什么、怎么管）能直接搭论述题的骨架。

> **过渡：**策略是规矩，那测试要验到什么程度？先看目标。

【7.63】安全性测试的目标（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 一条安全用例写完，怎么判断它测的是重点，还是在边角上打转？

>

> 先看目标分几层。通常的目标四条，进一步的目标三条，它们都指向同一件事。数据的机密性、完整性、可用性，覆盖数据存储、传输和处理三种状态。这句是总纲，每条用例最后都要回到它。

>

> 第一条，强制访问控制。验证该进的能进、不该进的进不去。括号里"强制"两个字有分量，它指不靠用户自

> 觉，由系统执行。测法很直接：换身份、换角色、换参数，看边界守不守。

>

> 第二条，身份鉴别。验证"你是谁"这件事判得对不对，包含口令策略、多因素、会话管理、token 有效性。测法是伪造、重放、过期以后再拿来复用。

>

> 第三条，完整性保护。数据在存储和传输中不能被改，改了要能发现。测法是改参数、改报文、改文件，看有没有校验和告警。

>

> 第四条藏在"进一步"里，却是测试最直接的产出：发现潜在的安全漏洞。这条不用多解释，你们实验交的报告主要就写它。

>

> 进一步的目标三条。隐蔽通道分析，找那些设计者没打算用来通信、却能被用来传信息的路径。比如响应时间的细微差别，比如两种错误码的差异。这条是高等级系统的要求。可信路径，验证用户和安全功能之间那条路没被插一层。你看到的登录框，得真是系统的登录框。加密算法、代码规范，验证用的是不是合规算法。MD5、DES 这类已经破了的不能再上，代码有没有守住安全编码规范。

>

> 收一句：设计任何一条安全用例，先问它验的是哪种数据状态下的哪个属性。问不出来，这条多半是凑数的。

> **提问：**"可信路径"这个目标，具体在防什么？

> **预设回答：**

- 答"防中间人"——对，防的就是你和系统之间被插了一层。

- 答"防钓鱼页面"——很贴切，你以为是系统的登录框，其实是伪造的。

- 答"防会话劫持"——相关，通道不被插入、不被篡改，会话才守得住。

- 收口：测可信路径，看证书、看域名、看有没有强制跳 HTTPS、看登录页能不能被套框架。

> **易错点 / 考点：**① 两层目标（通常四条、进一步三条）的划分要清楚；② 隐蔽通道分析要能自己解释并举例；③ 高频判断"安全测试的目标就是找漏洞"——不全面，还要验访问控制、鉴别、完整性这些功能是否有效；④

总纲句 CIA 乘存储、传输、处理，答题时好使。

过渡：目标定了，范围还得划清，看它分几块。

【7.64】软件安全性测试的范围（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

一个系统认证有、加密有、审计也有，报告上敢不敢写"安全良好"？

>

范围分两块。第一块安全功能测试，验证系统宣称的安全功能真有效。课件列了一串：数据机密性、完整性、可用性、不可否认性、身份认证、授权。再加访问控制、审计跟踪、委托、隐私保护、安全管理。它的性质是正向验证：需求说密码要加盐哈希，我去看是不是真加了；需求说只有管理员能删用户，我去看普通用户删不删得掉。判据是需求有没有被实现。

>

第二块安全漏洞测试，从攻击者角度，以发现漏洞为目的。课件给了定义：安全漏洞是系统在设计、实现、操作、管理上存在的可被利用的缺陷或弱点。四个面都要看，很多人只盯实现，设计和运维的洞一样致命。

>

两块差在哪，三组对照。视角不同：功能测试站在设计者这边，看该有的有没有；漏洞测试站在攻击者那边，看不该有的有没有。依据不同：前者拿需求文档，后者拿攻击模式和漏洞库。完备性不同：需求条目有限，功能测试可以测完；攻击手法在演进，漏洞测试永远测不完。

>

测不完这件事有个直接后果：漏洞测试必须排优先级。按什么排？资产价值、攻击面暴露程度、利用难度，三个乘起来。前面讲威胁模型时用的是同一套算法。

>

还得澄清一个误解：功能测试替代不了漏洞测试。系统可能把安全功能全实现了，认证、加密、审计一样不缺，越权漏洞照样在。功能是一点一点的点，漏洞长在点与点之间的缝里。反过来也一样。两块都得做。

提问：一个系统通过了全部安全功能测试，认证、加密、审计都有，能不能说它"没有安全漏洞"？

预设回答：

- 答"能，功能都实现了"——不能。功能实现了，和能不能被绕过是两件事。

- 答"不能，还要做漏洞测试"——对。有认证，认证可以被绕过；有加密，密钥硬编码在代码里。

- 答"要看有没有做越权和注入"——很具体，这两类正是功能齐全但洞还在的典型。

- 收口：报告要分两部分写，功能有效性结论一份，漏洞清单一分，别合成一句"安全良好"。

易错点 / 考点：① 两块的名称、视角、依据要能对照说清，简答高频；② 高频错答"做了渗透就不用做安全功能测试"——渗透测不出需求要求的功能在不在；③ 漏洞测试永远测不完，由它推出要排优先级；④ 口诀：功能管点，漏洞在缝里。

过渡：说到功能测试和安全测试，还有一组更基础的区别得掰开。

【7.65】功能性测试 vs. 安全性测试（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

有两句原话，值得一字一字读。功能测试是"软件做它应该做的事"，安全测试是"软件不做它不应该做的事"。

>

差别就压在"应该"和"不应该"上。功能测试问该做的做了吗、做对了吗；安全测试问不该做的，拦住了吗。

>

拿一个转款接口说。功能测试关心转一百块，扣一百，对方收到一百，余额算得对。安全测试关心另外几件事：转负一百，会不会变成给我加一百；把收款人换成别人，会不会成功；同一个请求重放十次，会不会扣十次。前面是照着说明书用，后面是反着用、乱着用。

>

课件还有两个词：危险防止和危险处理。这就是安全测试的两个落点。防止危险发生，靠校验、鉴权、限流；危险发生之后的处理，靠降级、隔离、告警。它们正好对上前面说的预防和恢复两类机制。所以安全测试不只要测挡不挡得住，还要测挡不住的时候怎么办。

>

> 还有个差别容易被忽略：缺陷的性质不同。功能缺陷往往是看得见的错，用户会发现、会报障。安全缺陷往往是看不见的对，功能全对，背后已经能被利用了。这一条决定了安全缺陷更依赖主动的、专业的测试，等用户反馈就太晚。

>

> 落到手法上，有一条通用路子：拿一条功能用例，改一个不该改的参数，或者换一个不该有的身份。订单金额改成一分，用户 id 换成别人的，角色从普通用户改成管理员。改完还能通过，问题就出来了。

提问：同一个"提交订单"接口，功能测试和安全测试各会设计什么样的用例？各举一条。

预设回答：

- 答"功能正常下单，安全把金额改成 0.01"——典型对照，一个验规则，一个验绕过。

- 答"功能验库存不足提示，安全验并发会不会超卖"——也好，安全用例常是并发加边界的组合。

- 答"安全还要看别人的订单能不能看"——对，那是越权，功能用例里一般不写。

- 收口：设计安全用例有个通用手法，改一个不该改的参数，或者换一个不该有的身份。

易错点 / 考点：① 两句原文几乎必考，"做应该做的事"对"不做不应该做的事"；② 危险防止对预防，危险处理对恢复，要能连起来说；③ 高频判断"安全测试就是功能测试加边界值"——视角和依据都不一样；④ 通用手法要背：改一个不该改的参数、换一个不该有的身份。

过渡：范围清楚了，具体任务是什么？课件给了四条。

【7.66】安全性测试的任务（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

写安全测试计划，最常见的写法是列一张扫描清单。清单能交差，可它盖不住任务的全貌。

>

> 课件给了四条任务。第一条，全面检验需求规格说明里规定的防止危险状态措施是否有效，以及每一个危险状态下的反应。这句有点绕，拆两半。前半是措施有没有效：需求写了连续输错五次就锁定用户，那就验第

> 六次真锁了。后半是危险状态下的反应。真被锁、真被限流、依赖真宕机的时候，系统给一句明确提示，还是白屏，还是把内部信息漏出去。

>

> 第二条，针对设计里用来提高安全性的结构、算法、容错、冗余、中断处理这些方案，做针对性测试。它打的是设计层的机制：加密算法用得对不对，冗余能不能真切过去，中断处理会不会留下不一致状态。这类要专门设计用例，随机点两下碰不到。

>

> 第三条，在异常条件下测，证明不会因为单个或多个输入错误就进不安全状态。注意"单个或多个"这四个字：一个单引号是单个，超长加特殊字符再加并发是叠加。这一条是模糊测试和健壮性测试的依据。

>

> 第四条，对安全性关键的单元、组件单独做加强测试。登录、权限、支付、加解密，这几块要拎出来，评审、单元测试、专项攻击测试一起上。这跟关键模块重点测的一般原则一致，只是安全场景里"关键"的意思变成了一旦被攻破后果最重。

>

> 四条排下来是四个层次。需求层的措施验证、设计层的机制验证、异常条件下的健壮性、关键组件的强化测试。计划按这四层列活动，不容易漏项。

提问： "在异常条件下测试"和"模糊测试"是什么关系？

预设回答：

- 答"一回事"——不完全。异常条件测试是目标，模糊测试是达成它的一种手段。

- 答"模糊测试是自动化的异常测试"——基本准确，靠随机或变异输入去触发异常。

- 答"异常还包括环境异常"——很专业，依赖宕机、网络断、磁盘满、时钟跳变，都算。

- 收口：答"怎么在异常条件下测"，要写清手段：手工构造、模糊测试、故障注入。

易错点 / 考点： ① 四条任务的表述要能复述，简答高频；② 第一条的后半（危险状态下的反应）最常被答漏；③ 安全性关键组件要单独加强测试，这是概念题；④ 加分：把四条归成需求层、设计层、异常、关键组件四层。

> **过渡：**不同系统的安全要求不一样，这就引出等级。

【7.67】安全等级（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 验收会上有人问，这套系统按几级测？答不上来，后面的深度就没法谈。

>

> 我国把计算机信息系统的安全保护分成五级，从低到高。用户自主保护级、系统审计保护级、安全标记保护级、结构化保护级、访问验证保护级。

>

> 死记五个名字容易混。换个记法，记每一级多了什么。

>

> 第一级，用户自主保护级，靠用户自主的访问控制，文件主自己决定给谁权限，也就是 DAC。系统不做强约束。它适用于被破坏后损害公民、法人权益，但不损害国家安全的一般系统。

>

> 第二级，系统审计保护级，在自主访问控制之上加了审计。谁做了什么要留下来，事后能追。名字里就写着关键词。

>

> 第三级，安全标记保护级，引入安全标记。给主体和客体打上密级标签，访问控制按标签走。这一步是从自主走向强制，因为标签不是用户能随手改的，控制权从用户手里收到系统手里。

>

> 第四级，结构化保护级，要求安全机制本身结构化：安全功能独立、结构清晰、能形式化地说明。它面向被破坏后严重损害社会秩序和公共利益的系统。

>

> 第五级，访问验证保护级，最高一级。访问要被验证，安全机制要能被数学证明，还得扛得住高强度攻击。

> 用在关系国家安全的关键系统上。

>

> 五个词连起来：自主、审计、标记、结构化、验证。顺序不能乱，乱了说明你记的是名字，不是能力。

>

> 测试人员为什么要背这条链？等级决定测试深度和验收标准。该评三级的系统你按一级测，是失职；二级的系统你拿五级标准去要求，成本扛不住。

提问：第二级和第三级的关键差别是什么？

> **预设回答：**

- 答"第三级更严"——太笼统，得说出多了什么。

- 答"多了安全标记，访问控制从自主变强制"——准确。标记用户改不了，控制权就收到系统手里。

- 答"第二级加了审计"——那是第二级相对第一级的差别。

- 收口：记这条链的办法是记每级新增的能力，不是记名字。

> **易错点 / 考点：**① 五级名称与顺序要能默写，选择题高频；② DAC 到 MAC 的转变发生在第三级，这是理解性考点；③ 高频错答"等级越高功能越多"——准确说是安全机制更强、保证更严；④ 等级决定测试深度与验收标准，这是它和测试工作的连接点。

> **过渡：**五级各自的安全要求，课件用一张表摊开。

【7.68】不同等级的安全要求（2 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 标准文档里那种大表，一页几十个格子，多数人从第一格开始背，背到第三行就放下了。

>

> 这类"等级—要求"矩阵到处都有，会读比会背管用。读法三步。

>

> 第一步看行是什么。行是安全要求的类别。自主访问控制、强制访问控制、身份鉴别、客体重用、审计。再加数据完整性、隐蔽通道分析、可信路径、可信恢复。这些名字你在前面都碰过。访问控制、鉴别、审计是刚才那几条目标；隐蔽通道和可信路径也在；可信恢复对应的就是恢复机制。

>

> 第二步看列是什么。列是五个等级，要求逐级追加。低等级只有基本项，高等级才追加强制访问控制、隐蔽通道分析、可信路径、形式化验证这些贵的能力。

>

> 第三步看格子里写什么。通常写要求或不要求，也有写部分或全部的。抓住上升趋势就够了：等级越高，要求的项越多，强度也越高。

>

> 这张表教给你的，是一种感觉：安全能力是分层的，不是全有全无。给一个系统做安全测试，第一步该问它属于哪一级、对应哪些要求，再逐项验。这比凭经验想到哪测到哪专业得多。

>

> 再补一句实践上的提醒：标准里的等级是应达到的底线，不是最高标准。业务上需要更高，比如涉及支付，就得在等级要求之上再加。合规是地板，不是天花板。

提问：读这类"等级—要求"表格，你会先看哪一部分？

> **预设回答：**

- 答"先看要背的格子"——那样会陷进细节里。

- 答"先看行和列分别是什么"——对，先把坐标系建起来。

- 答"先找逐级增加的规律"——更好，抓住趋势，细节用到时再查。

- 收口：标准文档的读法是先结构、再趋势、后细节，别一上来背格子。

易错点 / 考点：① 常见安全要求类别的名称要认得，尤其客体重用、隐蔽通道、可信路径、可信恢复这四个偏门的；② 高频判断"高等级包含低等级"——一般成立，但要理解它是追加关系；③ "合规是底线"这个观点要能展开；④ 这一页考得浅，重点是把名词认全。

【思政落点 7】：合规是地板，不是天花板，这句说的是标准和自觉的关系。等保测评过了，只证明你踩到了

最低那条线，不证明系统守得住。有人把过审当终点，测评一过就松手，新接口、新供应商、新数据都不再回头看，等于把责任外包给一张证书。站得住的态度是：标准给底线，底线之上的判断自己做，还得说得出理由。守规矩只是入门，替用户多想一步才是本分。

过渡：等级不同，安全功能测试的内容也跟着变。

【7.69】不同安全级别的安全功能测试（2 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

同一个删除订单的按钮，一级系统和五级系统的测法，工作量能差出十倍。

>

差别在深度。把安全功能测试按等级摊成三层看。

>

第一层基础项，所有等级都要测：身份鉴别，登录、口令策略、会话；访问控制，权限分配和校验；审计，有没有记、记得全不全。这三项是底线，也是现实里最容易出洞的三项。绝大多数漏洞落在这一层。

>

第二层增强项，中高等级追加：细粒度访问控制，细到数据级、字段级；强制访问控制的标签管理；客体重用；更严的审计，防篡改、集中存储。客体重用最容易被忽略，它管的是资源释放之后，下一个使用者不能读到上一个人的残留。内存、临时文件、连接池，都算。

>

第三层高级项，高等级才要求：隐蔽通道分析、可信路径验证、可信恢复、形式化或半形式化的验证。

>

三层其实在回答一个问题：这套系统的安全功能测试要测到什么程度。答案不是拍脑袋，是等级和业务风险一起定。

>

不管哪一级，用例的组织方式一样。按鉴别、授权、访问控制、审计、数据保护排下去。每一项先测正向，

> 该通过的通过，再测反向，不该通过的拦住。正向用例保证功能在，反向用例保证边界守得住。只做正向，等于没测安全。

>

> 还有一条实践差别：等级越高，越要文档化。方案、用例、结果、残余风险，都要能拿去评审。

> **提问：**一个删除订单的功能，测"客体重用"要关注什么？这一项为什么容易被忽略？

> **预设回答：**

- 答"删了就是删了，没什么可测"——这正是它被忽略的原因，物理上删了，逻辑上可能还在。

- 答"要看缓存和备份里还有没有"——对，缓存、备份、日志、临时文件都可能残留。

- 答"还要看连接池和内存复用"——很专业，同一块内存被下一个请求复用，不清理就会读到别人的数据。

- 收口：测法是 A 用完、释放、B 申请，再查 B 能不能看到 A 的痕迹。

> **易错点 / 考点：**① 三层划分（基础、增强、高级）便于记忆，也能撑起简答；② 客体重用要能解释并设计测法；③ 高频判断"安全功能测试只测正向"——必须正反都测；④ 等级越高越要文档化，这条实践差别常被漏。

> **过渡：**测什么讲完了，该讲怎么测。

【7.70】安全性测试方法（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 工具买了一堆，真到排测试计划，还是不知道先上哪一个。

>

> 方法可以摊成两维来看。第一维是静态和动态。

>

> 静态三项：工具扫描、分析代码，不跑程序，按规则找可疑模式；人工评审架构和代码，人读，找逻辑漏洞，这一项工具替不了，因为工具不懂业务；专家安全风险评估，靠经验判断这个设计会被怎么打。

>

> 动态三项：功能测试方法，按需求验安全功能；模糊测试方法，喂随机或变异的数据看会不会崩；渗透测试方法，像攻击者那样打一轮。

>

> 第二维更要紧：基于威胁，还是基于漏洞。基于威胁是从软件外部看安全性，识别软件面临哪些威胁，再测这些威胁会不会真发生。它的出发点是"谁会怎么打我"，关心的是场景。基于漏洞是从软件内部看，识别已知的安全漏洞，借助漏洞扫描工具。它的出发点是"我身上有哪些已知弱点"，关心的是清单。

>

> 两者分工清楚：威胁方法找新问题，漏洞方法找老问题。老问题，注入、越权、弱口令，占实际漏洞的大多数，投入产出比高。新问题，这个业务特有的逻辑漏洞，只有威胁方法挖得出来。所以顺序是先漏洞后威胁，先快后深。

>

> 静态和动态怎么选，也有一句话：静态看写的时候就有问题，动态看跑起来才出问题。少一行校验这种错，读代码能看出来；并发下的竞态，只有跑起来才现形。

>

> 时间只够一轮的时候，务实顺序是这样。扫描铺面，人工评审看业务逻辑，再挑高价值模块做威胁分析和渗透。

提问：一个新上线的业务系统，时间只够做一轮安全测试，你会先选哪种方法？

预设回答：

- 答"渗透，最像真实攻击"——效果直观，可周期长、覆盖有限。

- 答"扫描加人工评审"——务实，扫描清老问题，评审看业务逻辑。

- 答"先做基于漏洞的，再做基于威胁的"——最合投入产出，老问题占比最大。

- 收口：顺序是扫描快、评审准、高价值模块做威胁分析和渗透，一层比一层深。

易错点 / 考点：① 静态三项、动态三项要能列全；② 基于威胁和基于漏洞的视角差别是本节核心，简答高频；③ 高频错答"渗透能覆盖所有安全问题"——覆盖不了，还不可重复；④ 静态看写错、动态看跑错，一句顶十句。

> **过渡：**六种方法里，功能测试最容易被小看，看一个具体例子。

【7.71】安全性功能测试（2 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

一个口令能出多少条用例？十几条，条条都能抓出真问题。

>

> 先说功能测试在安全里做什么。课件列了两类主项：身份认证测试，比如 DCE/Kerberos、基于公钥的认证机制；访问控制策略验证，比如入口访问、权限、目录这些控制。再加几类通用动作：规则验证、负面测试、传输检查、存储检查、控件兼容性。

>

> 这几个词得掰开。规则验证，验策略说的是不是真在执行：策略写密码九十天过期，就看第九十一天是不是真要求改。负面测试，专测不该成功的是否失败：错误口令、越权请求、过期 token。传输检查，抓包看敏感数据在链路上是不是明文。存储检查，直接翻数据库和文件，口令是不是哈希、关键字段是不是加密。控件兼容性，验证码、加密控件、证书这些，换个浏览器、换个版本还能不能用。最后这条最容易被忘，控件不兼容，用户连登录页都过不去，可用性直接崩。

>

> 落到口令上，清单是这样：强度策略生效吗；弱口令被拒吗；口令加盐哈希存储吗；传输加密吗；连续失败锁定吗；锁定之后怎么解、多久解；改口令要不要验旧的；重置流程安全吗；改完密码，旧会话失效吗。

>

> 最后一条最要命。用户改密码，动机往往是怀疑被盗。旧会话还能用，等于没改。

>

> 一个口令十几条，这就是安全功能测试的样子：不是找一个惊天大洞，是把每条规则逐项验到底。它枯燥，挡住的却是最常见的那批问题。条目多、易漏，靠脑子记一定漏，做成检查单，做一次打个勾。

> **提问：**为什么"改密后旧会话要失效"是一条必要的安全用例？

> **预设回答：**

- 答"为了体验"——不是体验问题，是安全问题。

- 答"攻击者可能已经拿到旧会话"——正是。改密的动机常常就是怀疑被盗。

- 答"要同时踢掉其他设备"——更完整，这就是改密即全端下线。

- 收口：这条用例的本质是，凭据一变，旧凭据立刻作废。

> **易错点 / 考点：** ① 通用动作要能列举：规则验证、负面测试、传输检查、存储检查、控件兼容性；② 负面测试是安全功能测试的核心手法，必答；③ 高频漏项：控件兼容性、改密后会话失效；④ 实践建议"做成检查单"能当简答的落地措施写。

> **过渡：** 按规则验完了，那不按规则怎么验？下一类方法专干这个。

【7.72】模糊测试方法（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 让一个没看过需求的人乱点你的系统。他点到崩的那个地方，往往就是缺陷。

>

> 模糊测试干的就是这件事。课件定义：在一个被测试程序上附加随机数据（fuzz）作为输入。程序出问题，比如崩溃或者异常退出，就能定位缺陷。

>

> 定义短，想法聪明。它不去猜哪种输入会出问题，而是大量地乱喂，让程序自己暴露。

>

> 课件还给了一句评价：测试设计极其简单，系统的行为先入为主。这句要解释。"测试设计极其简单"，指你不用写几十条精心设计的用例。只要一个能生成输入的生成器，加一台会跑的机器。"系统的行为先入为主"，指你不用预先知道正确的输出是什么，只看程序有没有异常。这一点很关键：功能测试必须先知道预期结果，模糊测试不需要。所以它能测那些说不清正确行为的输入空间。

>

> 它擅长找崩溃、内存错误、解析异常、没处理的边界，也就是程序被搞挂这一类。它不擅长找逻辑越权、业务规则绕过，因为那些不会让程序崩。

>

> 代价也有：大量无效输入，覆盖率不一定高，结果还得去重。所以现代模糊测试都配覆盖率引导，只有能触发新代码路径的输入才留下。

>

> 用在哪？所有解析外部输入的地方：文件格式，图片、音视频、文档；网络协议；序列化和反序列化；命令行参数；API 参数。凡是别人给你一段数据、你要读懂它的代码，都是它的猎场。

>

> 它的路子，是拿机器的时间和数量，去换人想不到的那几个输入。

> **提问：**模糊测试不需要知道"正确的输出"，那它凭什么判断"发现了缺陷"？

> **预设回答：**

- 答"靠程序崩溃"——对，这是最基本的判据。

- 答"靠异常退出、超时、内存错误"——补得好，有些不崩但也算异常。

- 答"还能靠断言和差异对比"——很专业，加内部断言，或者拿两套实现做差分。

- 收口：它的判据是异常，不是结果不对。这也决定了它找不到逻辑漏洞。

> **易错点 / 考点：**① 定义和"测试设计简单"这个优势要能解释清楚；② 高频判断"模糊测试能发现所有类型漏洞"——错，它擅长崩溃类；③ 不需要预期结果这个特征要记住；④ 加分：说出覆盖率引导是它的演进方向。

> **过渡：**模糊器有好几种造法，课件给了三种。

【7.73】几种不同模糊器的构造（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 同一个程序，三种喂法，挖出来的洞能差出一个数量级。

>

> 第一种，黑盒随机模糊。对正确格式的输入数据做随机变异，再拿变异后的输入跑程序，看会不会触发异常。关键在"从正确格式出发"：不是从一堆随机字节开始，而是拿一个能跑通的样本，改几个字节。命中率比纯随机高得多。它实现极简，缺点是不懂格式，很多变异在解析第一关就被拒了，算力白烧。

>

> 第二种，基于语法的模糊，是模糊复杂格式输入的替代办法。要先指定三件事：输入格式的语法是什么，哪些部分要模糊化，怎么模糊化。说白了，你先把格式的语法写出来，比如 JSON 的语法、某个协议的报文结构。再按语法生成合法但语义异常的输入。字段类型对、值超长；必填字段缺一个；嵌套深到爆栈。它比黑盒聪明的地方，是知道哪一层才是有效攻击面，不会在语法层就被挡回去。

>

> 第三种，白盒模糊处理，课件说出自微软研究院，2008 年首创。做法是：动态执行被测程序，从执行中遇到的条件分支收集输入约束；再系统地逐个否定这些约束，用约束求解器求解，解映射成能走不同路径的新输入；用系统搜索反复做，尽量把程序所有可行路径扫一遍。

>

> 翻成人话：程序跑到一个 if，就把"要进这个分支，输入得满足什么"记下来；把条件反过来，让求解器算出什么样的输入能走另一条路；拿算出来的输入去跑，就到达新路径。反复做，路径就铺开了。这就是符号执行那一套。

>

> 取舍很直白：黑盒最便宜，覆盖最浅；语法模糊居中，适合结构化格式；白盒最强，但要求解器，开销大，复杂程序还会路径爆炸。工程上多是混着用。

> **提问：**为什么"从正确格式的输入出发做变异"，比"完全随机生成输入"更有效？

> **预设回答：**

- 答"随机输入大多在解析层就被拒了"——正是，业务逻辑都没走到，谈不上发现深层缺陷。

- 答"因为能走得更深"——对，从合法样本出发，变异后还有机会过前面的校验。

- 答"因为覆盖率更高"——说到底就是这个，有效输入才推得到更深的分支。

- 收口：模糊测试的效率，取决于输入生成器有多懂格式，这就自然引出语法模糊。

易错点 / 考点： ① 三种模糊器的名称和核心思路要能对上；② 白盒模糊四步（收集约束、否定约束、求解、搜索）是简答高频；③ 高频错答"白盒模糊就是看源码"——它是动态执行加约束求解；④ 微软研究院 2008 这个出处别记错年份。

过渡： 白盒模糊的思想有个著名的工程实现，就是 AFL。

【7.74】American fuzzy lop 方法（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

一个开源工具，把瞎试变成有方向地试。它靠两个前提，六步循环。

>

工具是 AFL，American fuzzy lop，课件说它是当今用得最广的 Fuzzer。两个前提：一，它在程序执行前对源码插桩，执行过程中实时拿到程序的执行情况；二，它用遗传算法对输入做变异，把输入当基因，把新覆盖当适应度。

>

插桩得说清楚。往代码里插探针，程序跑到哪个分支、走了哪条边，都被记下来。这一步是它聪明的基础，它知道自己这次的输入有没有带来新覆盖。

>

六步。第一步，把用户给的初始测试用例加载到队列里，也就是给它几个能跑通的种子。第二步，从队列里取下一个输入文件。第三步，把用例修剪到不改变程序测量行为的最小尺寸。这一步很妙：输入越短，后面变异越容易命中关键字节。第四步，用均衡的、经过充分研究的各种传统模糊策略，反复对文件做变异。改字节、翻位、插入、删除，一轮接一轮。第五步，如果某个变异让插桩记录到新的状态转换，就把这个变异输出作为新条目加进队列。第六步，回到第二步。

>

第五步是全部的关键。只有带来新覆盖的变异才被留下，成为新种子。有反馈，才叫覆盖率引导。去掉它，队列会被重复又没价值的输入塞满，工具退化成普通随机模糊。

>

> 所以它的核心不是变异，是筛选。用覆盖率当路标，让变异朝没走过的路走。

>

> 实践两点：种子要好，能跑通、覆盖主要功能；时间要给够，跑十分钟和跑十天，结果不是一个量级。

> **提问：**AFL 的第五步"只有新的状态转换才入队"，如果去掉这一步会怎样？

> **预设回答：**

- 答"也能跑，只是慢"——会慢得多，队列还会被重复又没价值的输入塞满。

- 答"退化成普通随机模糊"——就是这样，没有反馈就没有引导。

- 答"算力浪费在同一个分支上"——对，这正是覆盖率引导要解决的问题。

- 收口：AFL 的核心不是变异，是筛选，用覆盖率当适应度函数。

> **易错点 / 考点：**① 六步流程要按顺序说得出，尤其第三步修剪和第五步入队条件；② 两个关键词：插桩（instrumentation）、遗传算法与覆盖率引导；③ 高频判断"AFL 是纯随机测试"——错，它是有反馈的；④ 课件给的 GitHub 和文档链接是自学入口，记名字就行。

> **过渡：**模糊测试是喂坏数据找崩溃，还有一类方法专门改代码看用例够不够。

【7.75】变异测试（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 用例全绿，可能是程序对，也可能是用例软。这两种情况在报告上长得一模一样。

>

> 变异测试就是来分这两种情况的。先说名字撞车：模糊测试变异的是输入，变异测试变异的是代码，两回事。

>

> 课件定义：变异测试是一种在细节方面改进程序源代码的软件测试方法；变异操作是模拟典型应用错误，定位代码的弱点，或者强制产生有效的测试。定义绕，换个说法。它问的不是程序有没有 bug，是我的用例真能发现 bug 吗。

>

> 做法：故意往源码里注入一个小错，这叫变异；然后跑你原来那套用例。用例失败了，说明它抓住了，这个变异体被杀死；用例照样全绿，说明错从网眼里漏过去了，变异体存活。

>

> 举个例子。代码里原本是 if (a > b)，变异成 if (a >= b)。跑完还是全过，就说明你的用例里没有一条覆盖到 a 等于 b 这个边界。这一条边界，恰恰是线上最常见的错。

>

> 几个术语要分清。变异体，变异后的程序版本。杀死，测试发现了它。存活，测试没发现。变异得分，杀死的变异体数除以全部变异体数。分越高，这套用例的杀伤力越强。

>

> 变异不是乱改，是按算子改。大于改成大于等于，加改成减，true 改成 false，删掉一行，改掉返回值。这些正好对上程序员最常犯的错：边界写错、符号写反、漏了分支。

>

> 它贵。每个变异体都要跑一遍完整测试套件，变异体动辄几百上千。所以实践里要抽样，只对改动的代码做增量变异，能并行就并行。这也是它在工业界不如单元测试普及的原因。

提问：一段代码的行覆盖率是 100%，能不能说明测试很充分？

预设回答：

- 答"能，全跑到了"——覆盖率只说执行过，不说检查过。跑了没断言，等于没测。

- 答"不能，还要看断言"——对，覆盖加断言强度才是完整判断。

- 答"可以用变异测试验证"——最专业，往代码里注入错误，看用例抓不抓得住。

- 收口：覆盖率看有没有跑到，断言看跑了有没有检查，变异得分看错了能不能发现。

易错点 / 考点：① 定义和目的（测测试，不是测程序）必须说清，这是最大得分点；② 四个术语要能解释：变异体、杀死、存活、变异得分；③ 和模糊测试的变异区分开，一个变输入，一个变代码；④ 高频判断"变异测试用来找程序缺陷"——错，它评估用例。

过渡：定义有了，落到操作是五步，一步步走。

【7.76】变异测试的方法与流程（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

上一页给了定义，落到手上是五步，第三步才是信息最多的地方。

>

> 第一步造变异体。对源程序做一处极小的语法改动，得到一个新版本。改动按算子来：大于改成大于等于，与改成或，常量零改成一，删一条语句，返回值取反。为什么是这些？因为它们模拟的正是最常犯的错：边界写错、条件写反、少一个分支。

>

> 第二步，拿原来的测试用例去跑变异体。用例一条都不许改，也不许为它新写。改了就是作弊，测的就不是原来那套用例的本事。

>

> 第三步看结果。用例失败，变异体被杀死；用例全过，变异体存活。存活才是我们要的信息，每存活一个，用例集上就有一个洞。

>

> 第四步，排除等价变异体。有些改动在语义上跟原程序一样，比如把 i++ 写成 i 等于 i 加一，行为没变，任何用例都杀不死。这类要剔掉再算分，不然分数永远上不去，写用例的人还被冤枉。

>

> 第五步算分：杀死的变异体数，除以变异体总数减掉等价变异体数。这个百分比，就是这套用例的检测力。

>

> 有个地方容易混：变异得分高，不等于软件质量高。它只说明这套用例对错误敏感。程序本身可能是错的，用例照样杀得死变异体，因为变异体就是从错的程序上改出来的。这一点答大题要写清楚。

>

> 还有，等价变异的判定靠人，带主观性。答题时补一句"需要人工或工具辅助识别"，分数会好看些。

提问：一个变异体存活下来了，是不是一定说明这套用例写得不好？

> **预设回答：**

- 答"是，说明漏了"——方向对，但太急，容易误判。

- 答"不一定，可能是等价变异体"——准确。等价变异怎么都杀不死，得先剔掉再评价。

- 答"也可能那段代码根本没被执行"——也对，覆盖不到的变异体，谈生死没意义。

- 收口：看到存活先问三句：是不是等价变异、变异点在测试范围内吗、那段代码用例走到了吗。三问都不是，才是真盲区。

> **易错点 / 考点：** ① 变异得分高不等于软件质量高，它只说明用例对错误敏感；② 等价变异体的判定靠人工，带主观性，大题要写"需人工或工具辅助识别"；③ 变异测试是评价用例的方法，不是把变异程序拿去上线；④ 判断题常考"变异测试属于白盒测试技术"——对。

> **过渡：** 变异测试是我们自己造错，看用例抓不抓得住。下面换个角色，让攻击者去造错。

【7.77】渗透测试（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 扫描器给你一份疑似有漏洞的清单，客户看完还是不知道该不该怕。

>

> 渗透测试补的就是这一块。课件定义：采用探索式测试方式，模拟黑客可能使用的攻击技术和漏洞发现技术。对目标系统的安全做深入探测，发现最脆弱的环节，直观地发现问题。每个词都有信息量。探索式，说明它不是照清单打勾，是按反馈随时调下一步。模拟黑客，说明视角是敌对的。最脆弱的环节，说明它不追求全覆盖，找那个一敲就碎的点。直观最要紧，它不给你一份疑似列表，是把系统真打穿一次给你看。

>

> 工作链四段。信息收集：用搜索引擎、开源平台、产品资料，把域名、IP、技术栈、员工、版本号摸清。这一步看着不技术，可它决定后面所有攻击的命中率。威胁分析：找出价值资产在哪、高风险模块是哪个、这次打什么，手段是攻击树分析加攻击模式库。攻击树是把"我要拿到数据库"这个目标往下拆成一条条可行路径。渗透攻击：漏洞挖掘、漏洞利用、权限提升、持久化，四级递进。风险评估与总结：出报告，写风险等级、影响面、修复建议。

>

> 有一条边界绕不开：渗透测试是拿到授权的对抗性测试。授权文档要写明目标范围、时间窗口、允许的手法、禁止的动作。为什么这条不能省？因为它在技术动作上和真实入侵几乎一样，区别只有那张纸，和旁边盯着的人。

>

> 它跟漏洞扫描的差别也在这。扫描给的是可能有这些漏洞，渗透给的是我已经从这条路走进来了，证据在这。

> **提问：**一家公司只想花两天做一次安全测试，你会建议它做漏洞扫描还是渗透测试？为什么？

> **预设回答：**

- 答"扫描，快"——两天确实只够扫描，但要讲清产出是待验证清单，误报得人工确认。

- 答"渗透，能证明危害"——两天只够打一两个点，那就挑最值钱的那个点打穿。

- 答"先扫后打"——实务里最常见的组合，扫描铺面，渗透打点。

- 收口：时间紧就先铺面再打点，无论哪一种，范围得有人签字。

> **易错点 / 考点：**① 四阶段顺序常考填空；② 易错：把威胁分析和风险评估混了——威胁分析在攻击之前，回答打哪里；风险评估在攻击之后，回答多严重、怎么修；③ 探索式不等于随便打，它是按反馈调整策略；④ 扫描与渗透的关系要写"扫描是渗透的一个子环节"。

> **【思政落点 8】**：渗透这门手艺天然有两面。同一套手法，用来找破口是测试，用来撬别人的系统就是入侵，动作几乎一样，分界在授权和目的。所以这一节的重点不在怎么打进去，在打进去之后做什么：出报告、定等级、给修复方案，把风险交回系统负责人手上。将来不管做测试、开发还是运维，手上握着别人的数据，就有义务替他们守住这道门。能力越强，越要清楚自己站在哪一边。

> **过渡：**这条四段链在工程里被切得更细，看业界通用的五阶段。

【7.78】渗透测试—概览（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 从看到打，切换点在哪儿？图上那根竖线就是答案。

>

> 业界把渗透测试切成五个阶段，左边一块叫 exploration，探索；右边一块叫 exploitation，利用。这个二分比四段更实用，它回答的是什么时候该动手。

>

> 探索有三段。网络发现：主机探索、端口扫描、服务识别、指纹识别、网络映射。顺序有讲究：先知道哪些机器活着，再看开了哪些端口。再看端口后面跑什么服务、什么版本，最后画出整张拓扑。指纹识别是这里的关键。同一台 Web 服务器，Apache 2.2 和 Nginx 1.24 的漏洞清单完全不同。指纹错了，后面全错。

>

> 漏洞评估：漏洞研究、漏洞发现、威胁分类。发现之后先分类，因为漏洞的价值差得远。一个能远程执行代码的洞，和一个信息泄漏的洞，处理优先级差着数量级。

>

> 利用这一段三步。利用开发，把公开的漏洞信息变成针对这套环境能跑通的攻击代码。概念性证明，做到证明这件事能成立就停手。比如读到一条不该读的记录，弹一个无害的框，而不是真把数据拖走。权限提升，从普通用户提到管理员，从一个系统跳到另一个。

>

> 最后是修复与报告：威胁消除、未来计划、报告。未来计划这一项常被跳过，它的意思是要把这次的发现转成后续的加固路线，不是打完就完。

>

> 整张图的落点：渗透测试是有起点有终点的流程，不是一次炫技。

提问：为什么业界强调"概念性证明"就停手，而不是把漏洞的危害演示到底？

预设回答：

- 答"怕把系统搞坏"——是一层原因，生产环境真会被打挂。

- 答"证明能进去就够了"——对，PoC 的目的是证明风险存在，不是制造损失。

- 答"取证要留痕，越界会破坏证据"——很专业，日志和证据链被自己搅乱，复盘就说不清。

- 收口：PoC 的原则是最小必要动作，能读到一条就够，不必读一万条。

> **易错点 / 考点：** ① 五个阶段里网络发现和漏洞评估都属于探索，不是攻击；② 指纹识别的作用是缩小漏洞范围，不是认品牌；③ 常考简答"渗透与漏洞扫描的区别"，要写扫描是渗透的子环节；④ 概念性证明的分寸是理解题考点。

> **过渡：** 流程清楚了，具体拿什么手段去打？看教科书里最典型的五类。

【7.79】渗透测试的一些具体方法（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 内网就安全，这句话在攻防里最经不起推敲。

>

> 具体手法有五类，由外到内看。

>

> 跨网段、VLAN 之间的渗透。它打的就是那个错误假设。很多系统把管理后台放内网，觉得外面进不来。可边界上一台机器被拿下，横向移动就开始了。测法是从一台低权限主机出发，看能不能碰到不该碰的网段。防线怎么设：网段隔离、访问控制列表、最小权限。

>

> 端口扫描，用 X-Scan、NMAP 这类扫描器。它的价值是摸清哪些门开着。堵法很土也有效：关掉不必要的端口和服务，别把数据库、缓存、管理口挂在公网上。

>

> 远程溢出。课件给的例子是一套现成工具组合。溢出工具 SQL2.exe 加监听工具 nc.exe，打 SQL Server 的 1433 端口。原理是往服务发超长或畸形的数据，覆盖内存里的返回地址，让程序跳去执行攻击者的代码。应对是打补丁、开 DEP 和 ASLR 这类缓解、把数据库端口收回内网。这些工具在实验环境里是教学素材，换个地方就是另一回事，我们的实验只在自己的靶机上做。

>

> 本地溢出。前提是已经拿到一个普通用户的权限。再用一段特殊指令代码把自己提成管理员，课件举的例子是 Wincsrss。它说明一件事：拿到普通权限不等于安全。提权常常只需要一个没打补丁的驱动，或者一个

> 配错的服务。做法是及时打补丁、把服务进程降权、把审计开起来。

>

> 最后一类，脚本及应用测试。利用脚本层面的弱点，拿 Web 服务器或数据库目录的访问权限，严重的时候能拿到系统控制权。上传、注入、包含、反序列化，都属于这一类，后面 Web 安全测试会展开。

>

> 五类连起来是一条路：看见门、推开门、走到里屋。

提问：这五类手法里，哪一类最不需要"高深技术"，但造成的损失可能最大？

预设回答：

- 答"端口扫描"——它本身不造成损失，可它是后面所有动作的入口，暴露面本身就是风险。

- 答"口令猜测"——对，课件也把它列进了方法清单，一个弱口令能让前面的防护全作废。

- 答"脚本及应用测试"——从损失看确实最大，Web 是唯一对公网开放的那一层。

- 收口：门槛最低、危害最大常常是同一件事，暴露面没管住加强口令。加固第一步永远是关掉不要的东西、改掉默认口令。

易错点 / 考点：① 远程溢出和本地溢出的区别必考：远程溢出不需要任何用户身份，本地溢出必须先有普通用户权限；② 防御措施至少写三条：补丁、最小权限、网络隔离；③ 课件把口令猜测写进方法清单，答题别漏；④ 脚本及应用测试对应后面的 Web 安全测试，位置要清楚。

过渡：手法有了，可这些动作都很重，一不小心就把系统打挂，所以实施得配监控策略。

【7.80】渗透测试实施策略（2 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

打得进去不算本事，打完系统还活着才算。

>

> 实施策略五条，条条都在控风险。

>

> 全程监控：用类似 Wireshark 的嗅探软件全程抓包。为什么？留证据，每一步发了什么包、收到什么响应，事后能复盘；能追责，系统一出异常，立刻判断是不是我们打的；能止损，看到不该有的响应就收手。

>

> 择要监控：扫描过程不录，等数据分析完、准备发起渗透之前才开抓包。这是全程监控的轻量版，适合规模大、扫描噪声多的场景。取舍很清楚：拿完整性换开销。

>

> 主机监控：只盯受测主机的存活状态。最省的一种，适合只要不挂就行的系统。它跟择要监控不是一回事：择要监控盯的是流量，只是时间上推后；主机监控盯的是主机还活着没有。

>

> 指定攻击源：多方监控指定的那台源主机，看它的进程、网络连接、数据传输。多团队同时在一个环境里测的时候，这条特别有用，出了问题要能定位是谁的动作。

>

> 第五条最实用：对关键系统，拿目标的副本做渗透。把生产克隆一份到隔离环境里打，打崩了不影响真实用户。代价是副本和生产可能有差异，所以结论要标注"在副本环境验证"。

>

> 五条合起来回答一个问题：风险不只来自漏洞，也来自测试动作本身。一个负责的测试者，先想怎么保证不出事，再想怎么打进去。

提问：如果客户只允许你在生产环境测，不允许做副本，你会额外加哪些保护措施？

预设回答：

- 答"挑深夜做，业务低峰"——务实，可夜间值班人少，出事响应慢，得配好应急联系人。

- 答"先单请求验证，确认无害再放大"——很专业，这叫最小冲击，和 PoC 原则一致。

- 答"准备好回滚和停止口令"——关键，必须有一个能一句话叫停的人。

- 收口：生产环境测试三件套，时间窗口、单点验证、随时可停。缺一件就别开工。

易错点 / 考点：① 五种策略的名称和适用场景要能对上；② 易错是把择要监控和主机监控搞混：前者监控流量，只是时间上延后，后者监控主机存活，对象不同；③ 简答常问"为什么关键系统用副本"，答降低对生产

的影响、可反复验证、便于对比；④ 五条的共同点是控制测试动作本身的风险。

过渡：渗透只是安全测试的一种手段，它还得铺到整个开发生命周期里，下一段接着讲。

第 7 章讲稿（7.81–7.100，v3）

锚点与课件一一对应，不增删页。取消板书。口播按四拍：起 → 推 → 收。

【7.81】贯穿 SDLC 的安全性测试（2 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

安全这件事，很多团队是这么安排的：上线前一周，请人打一遍。打完了出份报告，改几个高危，发布。这个安排不算错，但它只能抓住一部分问题。

>

SDLC 是软件开发生命周期。把它摊开，五个阶段各有各的安全动作。

>

需求阶段，定安全需求、定合规要求、写滥用案例。什么叫滥用案例？正常用例写"用户怎么转账成功"，滥用案例写"攻击者怎么绕过限额转账"。这一步不做，后面所有测试都没有判据。你说不安全，依据在哪？没有依据，测试人员只能凭感觉。

>

设计阶段，威胁建模、体系结构风险分析。要问四件事：数据放在哪、谁能碰、边界划在哪、信任关系有几层。为什么这一步最贵？改一张架构图，可能推翻半个系统；不改，就是带着结构性问题上线。

>

编码阶段，安全编码规范、静态分析、代码评审。缓冲区溢出、SQL 拼接、密钥写死在代码里，这些读代码就能拦下，不用等人打进来。

>

测试阶段，安全功能测试、模糊测试、渗透测试。这一节后面讲的主体都在这儿。

>

> 运维阶段，补丁、日志监控、应急响应、漏洞预警。上线不是终点，是新风险的起点。

>

> 为什么非得"贯穿"？因为不同阶段能发现的漏洞类型不一样，代价也不一样。需求阶段漏一条安全需求，最后不是改代码，是改产品逻辑。流程要重画，界面要重做，培训要重来。

>

> 判断标准给一句：只在发布前一周做一次渗透测试的团队，做的不是安全性测试，是安全检查。检查问的是"有没有明显的大洞"，测试问的是"这一路的风险有没有被管住"。

提问：一个项目已经进了测试阶段，你才被叫去做安全。哪些本该更早做的事，你还补得回来？

> **预设回答：**

- 答"补需求"——可以，换个形式：从现有功能反推安全需求，整理成一份检查单。

- 答"补威胁建模"——可行，也值得。架构还在，画数据流图、标出信任边界，一两天能出初版。

- 答"什么都补不了，只能测"——太消极。测试阶段照样能做代码评审和静态分析，只是成本高、时间挤。

- 收口：越晚介入，越要靠反推补课。反过来看，安全人员进项目的时间得再往前挪。

易错点 / 考点：阶段和动作的连线题最爱考。最常见的错：把威胁建模放到测试阶段，把渗透测试放到编码阶段。口诀：需求管"要什么"，设计管"哪里会破"，编码管"别写错"，测试管"打一下"，运维管"补与看"。

> **过渡：**位置讲完了，剩下一个方针问题：软件安全按什么原则组织。

【7.82】软件安全实施方针（2 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> "我们买了最好的防火墙和 WAF"——这话我在答辩里听过好几次。问下去，内部接口没有鉴权，日志里打着明文手机号。

>

> 课件给的两句话，是这一节的总纲。第一句：软件安全是系统级的问题，既要考虑安全机制，也要考虑基于

> 安全的设计。

>

> 拆成两半。安全机制是认证、授权、访问控制、加密、审计，这些是能加上去的部件。基于安全的设计不是加部件，是让系统天生难打。权限默认拒绝，出错时往安全的方向关，关键操作二次确认，敏感数据不落地，组件之间互不信任。

>

> 差别在哪？一个是给房子换一把好锁，一个是从结构上让它不好进。锁能撬，结构不好撬。

>

> 为什么强调系统级？安全有个很硬的性质：它由最弱的一环决定。前端做了校验，后端照样拼 SQL，一样被打穿。库里加密了，日志里打了明文密码，一样泄漏。所以安全不能一个模块一个模块地各管一段。一个模块守住自己那一亩地，缺口却常常出现在两块地之间：接口、日志、备份、运维通道，谁都不认领。

>

> 第二句：软件安全必须是完整开发生命周期方法的一部分。这句在否定一种常见做法——安全是安全部门的事，等项目做完请他们来把把关。安全如果是外挂的，它永远只是补丁。只有嵌进流程里，它才成为系统本身的一部分。需求有安全条目，设计有威胁分析，编码有规范，测试有用例，发布有检查单。

>

> 两句合起来，方针就八个字：系统级设计，全流程嵌入。少一条都不成立。

> **提问：**"我们买了最好的防火墙和 WAF，安全就到位了"——这句话的问题在哪？

> **预设回答：**

- 答"还差内部防护"——对。边界设备挡不住内部越权，也挡不住业务逻辑漏洞。

- 答"WAF 只是缓解，不是修复"——准。它拦的是特征，改不了代码里那句拼接。

- 答"没算上人"——也算一条。弱口令、配置错误、被社工，设备都管不到。

- 收口：安全是分层防御，边界、应用、数据、权限、流程各守一段。指望一层解决全部，等于一层都没有。

> **易错点 / 考点：**判断题"安全性是安全测试人员的工作"——错，它是全员、全流程的事。另一个错法：只答安全机制，漏掉基于安全的设计。答题时"访问控制"和"健壮设计"两个例子都要写上，这是课件明确给的。

> **过渡：**要嵌进流程，就得有个说得清的框架。业界最通行的是 SDL。

【7.83】全生命周期的安全性测试（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

同一条缺陷，早发现和晚发现，代价差得不是一点。设计阶段发现是改一张图，上线后发现是改一个系统。

>

> 课件给的定义是这样。把风险分析、安全测试和软件开发过程结合起来，也就是 SDL，Security Development Lifecycle。在各个阶段做误用模式、异常场景、风险分析、渗透测试，尽早发现高风险的安全漏洞。

>

> 里面四个动作词，对应四种思路，逐个拆。

>

> 误用模式。正常用例写"用户按规矩操作得到什么"，误用模式写"有人不按规矩操作能得到什么"。正常是"输入手机号获取验证码"，误用是"同一号码一秒请求一百次"。它从需求阶段就能开始写，比一张漏洞清单更贴业务。

>

> 异常场景。传空、传超长、传特殊字符、乱序调用、并发调用、超时重试。这一项测的是系统的边界和假设。高危漏洞最爱藏在"开发者以为不会发生"的地方。

>

> 风险分析。哪些资产值钱、哪些模块暴露在外、哪些接口没有鉴权。它决定测试资源怎么分。你不可能把每个角落都测一遍，力气必须压在高风险处。

>

> 渗透测试。用攻击者视角做验证，前面讲过。

>

> 这句话的落脚点在"尽早"两个字。为什么？架构级的安全缺陷拖到上线后修，系统在跑、数据已经有、用户已经养成习惯，修复只能打折。

>

> 再补一层：SDL 不是一门新技术，是一套把安全动作排进开发节奏的管理办法。它要求每个阶段有交付物、有检查点。设计阶段交威胁模型，编码阶段过静态扫描。没有交付物，"做了安全"就只是一句口头声明。

提问：写"误用模式"和写"测试用例"，思维上最大的差别是什么？

预设回答：

- 答"一个正面一个反面"——方向对，再深一层：误用模式假设使用者有恶意，用例假设使用者会犯错。

- 答"误用模式要考虑绕过"——到位。绕过前端校验直接调接口，就是典型的误用思路。

- 答"差不多，换个说法"——不一样。前提不同，产出也不同：误用模式产出攻击场景清单，用例产出输入输出对应关系。

- 收口：做安全测试的第一件事，是把"用户都很老实"这个假设从脑子里删掉。

易错点 / 考点：SDL 的全称和含义常考填空，Security Development Lifecycle。四个动作的名称要写全：误用模式、异常场景、风险分析、渗透测试。错法是把 SDL 当成某个工具或某个标准，它是过程框架。

过渡：SDL 在设计阶段最重的产出，是体系结构的风险分析。

【7.84】体系结构风险分析（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

改代码能改掉一个 bug，改不掉一个结构。这一节看的就是结构。

>

> 分析对象是体系结构，不是代码。这个区别重要在哪？代码层面改得再干净，结构错的地方还在。结构性问题，写多少行代码都救不回来。

>

> 课件给了三样东西：工件、风险例子、一条方法论。

>

> 工件是设计和说明书。意思是干这件事不需要代码，只要架构图、部署图、接口说明、数据流说明。这也解释了它为什么能在设计阶段就做——它靠读文档就能看出风险。

>

> 风险例子两个，都很典型。

>

> 第一个，对关键数据的区分和保护很糟糕。什么叫区分？就是没分级。手机号、身份证号、银行卡号，和一条商品评论，敏感度完全不同，保护强度当然也不同。全用明文存、全用一套权限，就是区分很糟糕。

>

> 第二个，Web 服务没有验证调用方代码，也没有验证它代表的用户。服务之间互相调，只认"请求来自内网"，不认调用方是谁、它替谁办事。那内网里随便哪个人，都能以任意用户的身份调接口。这就是内部接口裸奔。

>

> 方法论的句子有四层意思。体系必须连贯一致，不能东边做了鉴权、西边忘了。要有统一的安全防线，安全得有个收口的地方，不是每个模块各写一套。文档要写清前提假设——"这个接口只给 App 调""这个字段前端会校验"，这类话一旦不成立，漏洞就出现了。风险要持续管，各阶段都会冒新风险，得一直看。

>

> 所以这份分析得在设计阶段做。等系统跑起来再回头看结构，要改的就不只是文档了。

提问："这个接口只给 App 用"，这句话作为设计假设，会带来什么风险？

预设回答：

- 答"别人直接调接口就绕过了 App"——正是。接口没有独立鉴权，抓个包就能重放。

- 答"App 里的校验等于没校验"——对。客户端校验只算体验优化，别当安全边界。

- 答"那就在网关上限制"——方向对，但要说清限制什么：IP、频率，还是身份？前两个都能绕。

- 收口：凡是写成"只有 X 会来调"的假设，都要追问一句——如果 Y 来了，系统认不认？

易错点 / 考点：工件是设计和说明书，不是代码，常考判断。那句"没验证调用方代码、也没验证它代表的用

户"要能翻译成"服务间调用缺身份校验"，答题时补一句"服务身份和用户身份都要验"。还有"持续的风险管理"这半句，多数人只记要做风险分析，漏了要持续、要监控。

> **过渡：**设计阶段看结构，编码阶段看代码。往下就进代码里了。

【7.85】代码评审示例（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 打开一个文件，给你一小时，让你看出里面的安全问题。你从哪一行看起？

>

> 代码评审是静态测试，不跑程序，靠人读。这是第 3 章的内容，接在这儿：它最便宜，也最容易被跳过。

>

> 安全视角的评审，我收成一张检查单，六条。做课设可以直接拿去用。

>

> 第一条，输入校验。外部来的数据——请求参数、请求头、上传文件、Cookie、第三方回调——服务端有没有校验？看代码时找的是"直接从请求里取值、然后拼进语句"的地方。前端校验不算，前端在别人的浏览器里。

>

> 第二条，SQL 和命令拼接。看到字符串拼出来的 SQL、拼出来的 shell 命令、拼出来的文件路径，就是红灯。正确做法是参数化查询、白名单校验。

>

> 第三条，权限判断。敏感操作前有没有查"当前登录人有没有这个权限、这条数据是不是他的"？最常见的漏洞不是"没登录也能访问"，是"登录了，但不是你的数据你也能看"。下面就有例子。

>

> 第四条，加密和密钥。密码有没有用不可逆的哈希加盐？密钥有没有写死在代码或配置文件里？传输有没有走加密通道？

>

> 第五条，日志和错误信息。日志里有没有明文密码、身份证号、完整卡号？异常有没有把堆栈直接返给前端？错误信息越详细，攻击者越省事。

>

> 第六条，失败模式。出错的时候是拒绝还是放行？很多越权漏洞的根就在异常分支里少了一个 return。

>

> 评审的产出不是"我看过了"。是问题清单、责任人、修复确认。没有记录的评审，等于没做。

> **提问：**评审时看到这么一段：先查订单，如果查询抛异常，就跳过后面的归属校验，直接返回订单详情。你怎么判？

> **预设回答：**

- 答"这是 bug，异常了不该返回数据"——对，而且它同时是功能缺陷和安全漏洞。

- 答"要看这个异常能不能被外部触发"——很专业。构造一个让查询抛异常的入参，这就成了可利用的越权。

- 答"加个 try-catch 就好"——方向反了。正确做法是失败即拒绝，不是把异常吞掉继续走。

- 收口：这类问题叫失败模式不安全，写进检查单，每份代码都过一遍。

> **易错点 / 考点：**代码评审是静态测试，和"跑起来看结果"的动态测试相对，这是第 3 章的知识点，常跨章考。简答问"评审能发现哪类安全问题"，答注入、硬编码密钥、越权、信息泄漏、不安全失败模式。错法是把前端校验当安全措施。

> **【思政落点 9】**：一个 return 漏在异常分支里，看着是笔误，代价是别人的数据被看到。这六条检查单说的其实是同一件事：替不在场的人想一遍。写代码的人只走正常路径，读代码的人替用户、替同事、替半年后的自己去看那些走不通的路。这份自觉落到价值观上，就是对自己交付的东西负责。你签下的不是"能跑"，是"我查过了，查的就是这几处"。

> **过渡：**逐行看，看得准，可项目那么大，不可能每行都看。得有个分配力气的办法。

【7.86】基于风险的安全测试（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

力气永远不够。放在安全测试上，这句话最实在。一个系统几百个接口，你只有两周。

>

课件给的是策略层的答案，工件写的是单元和系统——这套策略既用在单元级，也用在系统级。策略两条，并列，不是二选一。

>

第一条，用标准功能测试技术做安全功能性测试。意思是安全功能本身也是功能，可以用等价类、边界值、判定表来测。"密码错五次锁定"是一条功能需求，用边界值测四次、五次、六次。"只有管理员能删用户"，用判定表把角色和操作组合起来。这一条最容易被学生漏掉。一听安全测试就想到渗透，其实大半安全需求用普通功能测试手段就能验。

>

第二条，以攻击模式、风险分析结果、滥用案例为基础的基于风险的安全测试。三个输入。攻击模式是业界已知的手法库。风险分析结果告诉你哪里值钱、哪里暴露。滥用案例就是前面讲的误用模式。输出是针对高风险点的定向测试。

>

为什么必须有第二条？课件那句话很硬：标准的质量保障方法，可能揭示不了所有严重的安全问题。道理不难懂。常规测试验证的是"功能符合需求"，而安全问题是"功能符合需求，但可以被滥用"。你的需求里根本没写"不能被注入"，那按需求测，当然测不出来。

>

全页点睛的一句：安全测试是为了保证坏的事情不会发生，像攻击者一样考虑问题很重要。功能测试问"需求要的发生了吗"，安全测试问"没写进需求、但可能发生的，防住了吗"。

>

落到课设：你的安全测试用例表最好两栏，一栏来自需求，一栏来自攻击模式。两栏都空的项目，等于没做安全测试。

> **提问：**需求文档写"用户可以修改自己的昵称"，按功能测试这条需求合格。从安全角度，你还想补什么用例？

> **预设回答：**

- 答"昵称里能不能塞脚本"——对，这就是存储型 XSS 的入口。

- 答"试试改别人的昵称"——关键，这就是越权。把用户 ID 换成别人的。

- 答"超长昵称、emoji、控制字符"——也算，异常输入，可能导致截断或显示错乱。

- 收口：功能需求描述的是正常路径，安全测试补的是这条路径周围所有的旁门。

> **易错点 / 考点：**两条策略要一起写，只答"做渗透测试"不完整。那句"安全测试是为了保证坏的事情不会发生"常作简答引语，答的时候点出"和功能测试的目标相反"。另一个错法：把"基于风险"理解成"高风险就不测"，反了，是高风险多测、低风险少测。

> **过渡：**策略清楚了，看最常见的战场。Web 为什么单独占一大块？

【7.87】Web 安全性测试（2 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> Web 这一块在课件里单独占一大截，为什么？因为在绝大多数系统里，Web 是唯一对公网开放的那一层，也就成了最大的攻击面。

>

> 它为什么天然难防？三个原因。

>

> 第一，输入不可信，而且必须收。Web 应用天天干的事，就是把陌生人的字符串收进来，变成数据库操作、文件操作、命令操作。这个转换里只要有一处没做对，就是注入。

>

> 第二，状态靠客户端维持。HTTP 本身无状态，服务端靠 Cookie 或 Session ID 认人。Cookie 存在用户自己的浏览器里。存在别人机器上的东西，就得假设它会被偷、被改、被伪造。会话劫持、CSRF 这一整类问题都从这儿来。

>

> 第三，权限判断散在每一个接口里。桌面软件可能只有几个入口，Web 应用动辄几百个接口，每个都要自己判断"这个人能不能干这件事"。漏一个，就是一个越权。接口是后来一个个加的，权限判断也是后来一个个补的。补的时候，谁也说不清全系统一共多少个入口。

>

> 所以测试思路也就三条。测输入输出，管注入和 XSS。测身份和会话，管认证、Session、劫持。测授权，管越权、直接对象引用、功能级权限。后面几页就按这三条往下走。三条里最容易松手的是第三条，前两条还有工具帮着看，第三条全靠人懂业务。

>

> 再补一句。Web 安全测试不是拿工具扫一遍。工具只覆盖已知模式。真功夫在理解这个业务的数据流。业务逻辑漏洞——"优惠券能不能重复领""订单金额能不能改成负数"——没有哪个扫描器扫得出来。

提问：为什么说业务逻辑漏洞是扫描器永远扫不到的一类？

预设回答：

- 答"因为它是合法请求"——正是。参数类型、长度、格式全都合法，扫描器看不出异常。

- 答"因为它依赖业务规则"——对。扫描器不知道"一个人只能领一张券"这条规则。

- 答"可以写自动化脚本测"——可以，但那不是通用扫描，是为这个业务专门写的用例。

- 收口：安全测试的核心能力，是把业务规则翻译成"可以被违反的假设"。

易错点 / 考点：简答"为什么 Web 是安全测试重点"，答题点是公网可达、输入不可信、会话在客户端、接口多导致授权分散。只答"Web 用户多"不是技术原因。

过渡：Web 往下就是数据库。这条链上的检查点，课件收了五条。

【7.88】Web/数据库 渗透测试点（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

从浏览器到数据库，中间隔着好几层。每一层都有它的破口。课件把这一条链上的检查点收成五条。

>

> 第一条，检查应用系统架构，防止用户绕过系统直接改数据库。这话听着抽象，场景很具体。数据库端口对公网开着，连接串写在前端配置里，中间件管理台还用着默认口令。攻击者一旦连上库，前面所有应用层防护全部作废。测法是从外网扫端口，看数据库、缓存、管理后台通不通；翻客户端代码里有没有连接串。

>

> 第二条，检查身份认证模块，防止非法用户绕过认证。要测的是"能不能不做认证就成为已登录用户"。再往下看：接口是不是全部强制鉴权？Token 能不能伪造？验证码能不能复用？登录失败有没有次数限制？有没有默认账号？

>

> 第三条，检查数据库接口模块，防止用户拿到系统权限。这里的系统权限指数据库或操作系统那一层。典型问题是注入之后能执行数据库扩展、能读写文件、能调系统命令。再一个是数据库账号权限过大，一个业务账号能建表能删库。

>

> 第四条，检查文件接口模块，防止用户拿到系统文件。上传、下载、导入、导出、预览，每个都是文件接口。要测三件事。能不能传一个可执行脚本再访问到？能不能靠路径穿越读到配置文件？下载接口能不能越权拿别人的文件？

>

> 第五条，检查别的安全威胁。这是兜底：日志泄漏、敏感信息没脱敏、接口返回字段过多、调试接口没关、第三方组件有已知漏洞。

>

> 五条的价值在于它给了你一张按模块划分的检查地图。课设里按这五条各写一组用例，覆盖面不会太差。

提问：测试时发现前端 JavaScript 里写着数据库的连接地址和账号，这属于哪一条的问题？严重程度怎么判？

> **预设回答：**

- 答"第一条，架构问题"——对。这是最严重的那一类，它直接给了绕过应用的通道。

- 答"也算第五条，信息泄漏"——可以这么说，但根在架构，不能只当信息泄漏处理。

- 答"要看这个账号有什么权限"——关键的追问。只有只读权限，危害有限；是业务主账号，等于库已经丢了。

- 收口：判严重程度看两件事：暴露面多大（外网还是内网）、这份凭据能干什么（只读还是可写）。

> **易错点 / 考点：**五条的顺序和内容常考。别把"数据库接口模块"和"文件接口模块"混着答：前者防权限提升，后者防文件读取。"防止用户绕过系统直接修改数据库"是架构层考点，答题要写数据库不对公网暴露、应用是唯一访问入口。

> **过渡：**地图铺好了，看具体的漏洞类型。课件先给了四类最常见的 Web 攻击。

【7.89】Web 安全性 渗透测试（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 四种攻击，名字都听腻了。可它们错的地方各不相同。课件把这四类列出来：注入攻击、跨站点脚本攻击、跨站点请求伪造、未能限制 URL 访问。

>

> 第一类，注入。系统的错在：把用户给的数据当成了代码。SQL 注入是把数据当成 SQL 语句的一部分，命令注入是把数据当成 shell 命令。XML 注入是把数据当成文档结构，LDAP 注入、表达式注入同理。防御只有一条根本原则：数据永远是数据，代码永远是代码。用参数化、用转义、用结构化接口，别用字符串拼。

>

> 第二类，XSS。系统的错在：把用户给的数据当成给别人的代码。你自己看这段数据没事。它被存下来、显示给另一个用户，就在对方浏览器里跑起来了。所以 XSS 是借你的浏览器，动你的账户。

>

> 第三类，CSRF。系统的错在：把浏览器自动带上的凭证，当成了用户本人的意愿。你登录过 A 站，Cookie 还在。任何页面诱导你发一个到 A 站的请求，A 站都认为是你本人在操作。防御的关键是加一个攻击者猜不到的令牌。

>

> 第四类，未能限制 URL 访问。系统的错在：把"页面上没有链接"当成了"访问不到"。隐藏不是保护。URL 在，直接敲进去就能开。后台管理系统里这类情况最多：菜单不给你，页面还挂在那儿。

>

> 四类的共同点，听得出来吗？全是服务端过度相信客户端。相信它传来的数据无害。相信它显示的就是全部。相信它的请求是自愿的。相信它看不见的链接就访问不到。这一句，就是整个 Web 安全的总纲。

提问：这四类里，哪一类完全可以在一个"没有任何输入框"的页面上发生？

预设回答：

- 答"CSRF"——很准。受害者只要访问了恶意页面，请求就发出去了，全程没在哪个输入框里打字。

- 答"未能限制 URL 访问"——也对，连输入都不用，改地址栏或者直接用工具发请求就行。

- 答"XSS 总得有输入框吧"——不一定。反射型靠链接参数，存储型靠昵称、评论、文件名，甚至日志展示页。

- 收口："这个页面没有表单所以安全"是典型错觉。攻击面取决于服务端收哪些参数，不是页面上画了什么。

易错点 / 考点：四类的中英对照要对上。CSRF 的译名是"跨站点请求伪造"，常被写成"跨站脚本伪造"。XSS 和 CSRF 最容易混：XSS 是在受害者浏览器里执行我的代码，CSRF 是借受害者浏览器发我的请求；前者要执行脚本，后者不用看到任何返回。

过渡：四类里最常见、也最容易被写进课设的，是 XSS。

【7.90】针对 XSS 进行测试（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

一行 `javascript:alert(document.cookie)`，为什么能在别人的浏览器里跑起来？

>

> 课件给的说明很简洁：允许恶意用户把代码植入到"给别的用户看的 Web 页面"里。这句话有两个要素，一是代码，二是给别人看的页面。缺一个都不构成 XSS。

>

> 课件那个例子是：在一般输入域里能输入这段脚本，然后在别的页面显示出来。为什么能成功？因为服务端把用户提交的内容原样放进了 HTML。浏览器解析时看到脚本标签就当代码执行，看到 onerror 就当事件处理器执行。它分不清哪句是程序员写的、哪句是用户填的。

>

> 危害分三层，一层比一层重。第一层，有隐藏性。脚本藏在正常页面的内容里，管理员看页面根本看不出来。第二层，受害者的敏感数据、session、cookie 会泄漏。脚本能读 document.cookie，能读页面上任何内容，还能悄悄发给攻击者。第三层，攻击者能监控用户行为，还能让用户被迫访问别的站点。到这一层，就不是偷东西，是控制这个浏览器。

>

> 测试按三个位置分。反射型：payload 放进 URL 参数，看回显页面有没有原样输出。存储型：payload 存进库——昵称、评论、收货地址、文件名——再看哪些页面会展示它。DOM 型：payload 不进服务端，直接被前端 JavaScript 用 innerHTML 之类的手段插进页面，这类要看前端代码，不是看响应体。

>

> 防御四条一起上。输出编码，按上下文做 HTML、属性、JS、URL 编码。输入校验走白名单，富文本尤其要。CSP，禁掉内联脚本。Cookie 加 HttpOnly，就算被注入也读不到 Cookie。

>

> 转义要做在输出的地方，不是输入的地方。

> **提问：**为什么很多教材强调转义要在输出时做，而不是输入时做？

> **预设回答：**

- 答"同一份数据在不同地方要不同的转义"——非常准。进数据库要 SQL 转义，出到 HTML 要 HTML 转义，放进 JS 要 JS 转义。

- 答"输入时转义会把数据改坏"——也对。用户在昵称里打了引号，你给转成实体，展示出来就变形了。

- 答"两个都做更保险"——可以做，但要清楚起作用的是输出那一道。只做输入过滤，遇到二次注入照样失效。

- 收口：数据保持原样存储，按使用场景在边界处编码。

> **易错点 / 考点：**三型的区分是高频考点：反射型要诱导点击，存储型不用交互、危害最大，DOM 型在服务端日志里看不到 payload。判断"对输入做了长度限制就能防 XSS"——错，短 payload 一样能执行。答题要分开写"输入校验"和"输出编码"。

> **过渡：**XSS 是往页面里塞脚本，下面这一类是往 SQL 语句里塞条件。

【7.91】SQL 注入式攻击（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 一个单引号，能登进别人的账号。听着夸张，往下看就不夸张了。

>

> 课件的定义是这样。按 SQL 语句的编写规则，附加一个永远为真的条件。让系统里某个认证条件总是成立，骗过系统、躲开认证，再进入系统。课件给的例子是 `' OR '1' = '1`。

>

> 把这条 payload 放进一段真实的登录逻辑里看。后台拼出来的语句是：SELECT 全部字段 FROM users WHERE name 等于用户输入，再接 AND pwd 等于密码。用户名填 `' OR '1' = '1`，拼完就变成 WHERE name = '' OR '1' = '1' AND pwd = '...'。'1'='1' 永远为真，这个 WHERE 对表里每一行都成立。查询返回第一条用户记录，登录成功。密码是什么，攻击者根本不需要知道。

>

> 关键不在 payload 有多巧，在拼接这个动作。SQL 是拼出来的，攻击者就能往里塞语法。SQL 是参数化的，他塞什么都只是一个字符串值。所以防御的根本手段是参数化查询、预编译。数据库先编好语句结构，再把参数当数据填进去，结构就改不了。

>

> 除了绕登录，它还能干更重的事。拖库，用 UNION 把别的表的数据拼进结果。盲注，靠页面真假或响应时间一点点猜。提权和命令执行，某些数据库支持扩展，能读写文件，甚至跑系统命令。所以它的危害等级通常在最上面那一档。

>

> 怎么测？三个层次。手工验证：参数后加单引号看报不报错，加 AND 1=1 和 AND 1=2 看响应差。报错注入：借数据库报错把数据带出来。时间盲注：构造 SLEEP 看响应时间。

>

> 防御再补三条。数据库账号最小权限，业务账号没有建表删库的权。关掉详细报错，别把 SQL 语句返给前

端。统一收口，所有查询走同一层数据访问代码。

提问：如果一个系统对所有输入都过滤掉单引号，是不是就防住了 SQL 注入？

预设回答：

- 答"是"——最典型的错。数字型注入根本不用单引号，id=1 OR 1=1 就够。

- 答"不一定，还有别的写法"——对，编码绕过、宽字节、注释符都能绕。

- 答"要用参数化，不是过滤"——这才是根本答案。过滤是黑名单思路，永远补不完；参数化是结构上根治。

- 收口：黑名单防注入，等于拿漏勺挡水。白名单加参数化才是正路。

易错点 / 考点：常考"SQL 注入的原理"，答题要写出"用户输入被当成 SQL 语法的一部分参与解析"，只写"输入了特殊字符"不得分。防御里参数化查询、预编译是必答项，往下是最小权限、错误信息屏蔽。错法：把前端长度和字符校验当防御。

【思政落点 10】：同一条 payload，写用例的人拿它证明系统能被绕过，写代码的人拿它知道"拼接"这两个字有多危险。技术本身没有立场，立场在使用它的人身上。所以课设里要演示注入，只在自己的靶机、自己的测试库上做，用例写清验证点、预期结果、修复建议三栏。手艺越锋利，越要知道刀口朝哪。

过渡：SQL 注入是往关系型语句里塞条件。同样的思路换一个载体，就是 XML 注入。

【7.92】XML 注入（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

两段 XML，差别只有一个节点。可这一个节点是管理员。

>

正常的那段：一个 USER 节点，role 是 guest，里面有 name 和 email。role 这个属性是个权限标记。

>

被注入之后那段，多出来一个 USER，role 是 admin，里面是一个叫 test 的用户。原本只有访客的文档，凭空多出一个管理员。

>

> 怎么发生的？和 SQL 注入一模一样：程序把用户输入拼进了 XML 字符串。假设注册接口是"把用户填的 name 和 email 拼进一个 role=guest 的节点"。那攻击者在 email 字段里填一段内容：先把当前节点闭合，再补一个 admin 节点。拼出来的文档结构就被改写了。系统后面读这份 XML 做鉴权，读到那个 admin 节点，就把他当管理员。

>

> 所以 XML 注入和 SQL 注入、命令注入、LDAP 注入是同一件事。数据里带了结构性字符，被拼进结构化文档。数据的边界被突破，变成了新的结构。

>

> 危害三个方向。越权，像这个例子，凭空多一个高权限用户。数据篡改，改写已有节点的值，把金额、状态改掉。信息泄漏和实体攻击。XML 支持自定义实体。解析器如果允许外部实体，攻击者就能让它去读服务器上的文件，甚至发内网请求。

>

> 防御三条。用 XML 库的构造接口，别用字符串拼，这和参数化是一个道理。对写入的内容做实体转义，把尖括号、and 符、引号转掉。关掉外部实体解析，禁用 DTD 和外部实体，这条专门防 XXE。

>

> 怎么测？每个会进 XML 的字段里，试输入一段闭合结构，看生成的文档有没有多出节点。再试 DOCTYPE 和实体引用，看解析器会不会去访问外部资源。

提问：XML 注入和 SQL 注入，你觉得哪个更容易被开发者忽视？为什么？

> **预设回答：**

- 答"XML，因为用得少"——有道理。很多人以为 XML 只是配置文件，不觉得它是攻击面。

- 答"XML，因为不知道它也能注入"——对。安全意识往往只覆盖 SQL 和 XSS。

- 答"SQL 更常见所以更容易被忽视"——不太对。SQL 注入现在有大量现成防护，框架默认参数化；反而是 XML、JSON 这类看着无害的格式容易裸奔。

- 收口：判风险不看用得多不多，看有没有把外部数据拼进结构化文档。拼了，就有注入。

易错点 / 考点：图要能读懂，"注入后多出一个 role=admin 的 USER 节点"是必考细节。常考"XML 注入和

XXE 的区别"：前者改写文档结构，后者利用外部实体读资源，相关但不是一回事。防御必答"不用字符串拼接构造 XML""禁用外部实体"。

> **过渡：**注入类解决的是伪造数据，下面这一类解决伪造身份。

【7.93】会话劫持（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 登录之后，服务器怎么知道还是你?

>

> HTTP 是无状态的，服务器不记得你是谁。所以每次请求都要带一个凭证，通常就是 Cookie 里的 Session ID。服务器靠这个 ID 判断"这还是刚才那个人"。谁拿到这个 ID，谁就是你。

>

> 课件写得很直接：因为 Cookie 失效时间很长，攻击手段一般是盗取用户 Cookie，再伪造 Cookie 冒充该用户，会话就被劫持了。失效时间长这一点，是设计上的取舍失误。为了少让用户重新登录，很多系统把 Cookie 的过期时间设成三十天甚至更久。这三十天里，这个字符串泄漏一次，攻击者就能长期冒用。

>

> 盗取的路子有哪些？课件点了最典型的一条：通过 XSS 劫持，用 document.cookie 拿到 Cookie。除此之外还有中间人窃听（没走 HTTPS 的明文流量）、物理接触（公用电脑没退出登录）、日志或 URL 里带了 Session ID。还有一种最土的：截屏、拍照，把地址栏复制进聊天群。

>

> 防御分四层，按重要性排。

>

> 第一，Cookie 加 HttpOnly。这一条直接掐断 XSS 读 Cookie 的路，成本极低，收益很高。

>

> 第二，全程 HTTPS，Cookie 加 Secure 属性。让凭证不在明文信道里跑。

>

> 第三，缩短会话时长，登出即失效。服务端要真的把会话销毁，不是只清浏览器那头。

>

> 第四，绑定上下文。会话和 IP、User-Agent 做弱绑定，或者敏感操作要求二次验证。绑太死，用户换个网络就掉线。

>

> 还有一条工程做法：Session ID 在登录成功后重新生成。这防的是会话固定。攻击者先给你一个他知道的 ID。等你登录，这个 ID 就成了已登录状态，他也能用。

>

> 会话凭证被人拿走，等于他拿着你的身份在系统里走。

> **提问：**为什么"登出"这个动作，在安全上比很多人想的更重要？

> **预设回答：**

- 答"防止别人用我的账号"——对，公用电脑上尤其明显。

- 答"服务端要真销毁会话，不能只清前端"——很关键。很多系统只删了浏览器 Cookie，服务端那个 Session 还活着。

- 答"还能防会话固定"——思路对，登录和登出都要触发 ID 重生成。

- 收口：判断标准很简单——登出之后，拿旧 Cookie 再发一次请求，还能成功，这个功能就是没做完。

> **易错点 / 考点：**会话劫持和 CSRF 的区别常考：劫持是拿到你的凭证自己用，CSRF 是借你的浏览器发请求、不用拿到凭证。防御里 HttpOnly 最常考，再往下是 HTTPS、登出销毁、登录后重生成 Session ID。别以为"Cookie 加密了就安全"，加密只防内容泄漏，不防被整体盗走重放。

> **过渡：**劫持是凭证被别人偷走。还有一类更基础：凭证和会话管理本身就没设计对。

【7.94】无效认证和 Session 管理方式（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 有的系统不是被攻破的，是原本就没锁。课件列了五条无效的认证和会话管理方式，都在设计层。

>

> 第一条，密码在数据库里明文存，登录走未加密的连接。明文存密码的后果不是被管理员看到。是库一旦被拖走，这些人在别的网站的账号也危险，因为人会复用密码。正确做法是加盐哈希，用 bcrypt、scrypt 这类慢哈希，登录走 HTTPS。加盐和慢，两个词都要紧。加盐防彩虹表，慢哈希让离线爆破不划算。

>

> 第二条，密码可以被特殊操作覆盖。课件举的例子很具体：密码更改功能、密码恢复功能实现得不正确，都可能让密码被直接改掉。典型漏洞是改密码接口只验新密码不验旧密码，或者找回密码的验证码能爆破、能复用。改密码必须验旧密码，重置必须验一次性凭证。

>

> 第三条，网页 URL 里带 Session ID。为什么错？URL 会进浏览器历史、进服务器访问日志、通过 Referer 头漏给第三方站，还会被用户复制粘贴发出去。Session ID 的正规位置是 Cookie，加 HttpOnly 和 Secure，不是地址栏。

>

> 第四条，Session ID 不超时，或者 session、token、SSO token 在登出时没失效。这在单点登录里特别常见：用户在 A 系统点了登出，B 系统那边的 token 还活着。要改的是统一登出，登出要通知所有依赖方。

>

> 第五条，认证信息、Session ID 走未加密连接传输。这一条和第一条后半句是一回事，单独列出来，是因为它管的不只是登录页。任何一个带着 Cookie 的请求走了 HTTP，凭证就摊在链路上。

>

> 五条说的是同一层的事：认证和会话是系统的入口，这里松一寸，上面加多少防护都白搭。

> **提问：**为什么把 Session ID 放在 URL 里，在移动端和分享场景下尤其危险？

> **预设回答：**

- 答"链接会被分享出去"——正是。用户一转发，等于把登录态送人。

- 答"会被日志记下来"——对，Nginx 访问日志、CDN 日志、代理日志，都会留一份。

- 答"Referer 会带出去"——很专业。跳到第三方时，URL 会作为 Referer 发出去。

- 收口：判断标准是——这个凭证会不会出现在任何"会被记录或被分享"的地方。会，就不合格。

> **易错点 / 考点：**五条常考多选和简答。错法一：把"密码加密存储"当正确答案，应是加盐哈希，可逆加密仍然不安全。错法二：漏掉"登出未失效"，它常出现在 SSO 题里。错法三：认为"Session ID 放 URL 便于多标签页共享"，这是危险设计。

> **过渡：**认证和会话之外，还有一类更隐蔽的问题：页面跳转。看着只是跳一下，实际能把你送到钓鱼站。

【7.95】未验证跳转（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 点一个看起来是自己学校的链接，落到了钓鱼页。问题出在跳转参数上。

>

> 有些页面跳转根据用户输入决定，这就给了攻击者可乘之机，把用户导向恶意站点或者未授权链接。英文常叫 Open Redirect，开放重定向。

>

> 课件给了两个例子，一个偏钓鱼，一个偏越权。

>

> 第一个：`http://www.example.com/redirect.jsp?url=evil.com`。这个页面收到 url 参数就直接跳，不做校验。攻击者把链接发给受害者。受害者看到的是自己信任的域名开头，点进去却被送到 evil.com，一个做得一模一样的登录页。关键在心理层面：人判断链接可不可信，看的是域名开头那一段。所以这个漏洞是借你域名的信誉。

>

> 第二个：`http://www.example.com/boring.jsp?fwd=admin.jsp`。这个跳的是站内页面。一个看着无害的 boring.jsp，通过 fwd 参数能跳到 admin.jsp。boring.jsp 自己不做权限校验，因为它"只是个无聊页面"。admin.jsp 又依赖一个错误假设：访问者是从有权限的入口进来的。这就成了一次绕过授权检查。站内跳转常被当成小事，正因为它看着只是换个页面。

>

> 防御三条。不要拿用户输入直接当跳转目标。业务必须支持，就用白名单，只允许跳预先登记过的地址，或者只允许站内相对路径。跳转前做归属校验，尤其要拦住 `//evil.com`、`\/evil.com`、`%2f%2f` 这类变形。关键页面不靠"来源"做鉴权，每个请求独立校验身份和权限。白名单也要写死在服务端配置里，不能让它从请求参数来。

>

> 怎么测？把带 url、redirect、return、next、fwd、callback 这类参数的接口找出来，逐个换成外部域名，看会不会跳出去；再试各种编码变形，看白名单能不能绕。

> **提问：**为什么"只允许跳到以本站域名开头的地址"这种校验，仍然可能被绕过？

> **预设回答：**

- 答"可以用 @ 符号骗过解析"——比如 `http://www.example.com@evil.com`，人看是本站，浏览器实际去 evil.com。

- 答"可以用 //evil.com"——对，协议相对 URL，浏览器当成外部域名。

- 答"可以大小写或编码变形"——也对，%2F%2F、反斜杠、Unicode 同形字都是常见绕过。

- 收口：正确做法不是检查字符串开头，是解析成 URL 对象再比主机名，或者干脆用映射表，给每个允许的目标一个 ID。

> **易错点 / 考点：**两个例子的区别要说清：前者是钓鱼，把人送到外部；后者是越权，跳过授权检查到站内高权限页。判断"跳转参数做了非空校验就安全"——错。防御必答白名单，答题补一句校验在服务端做。

> **过渡：**跳转是把你送到别处。接下来这一类，是让你看到不属于你的东西。

【7.96】直接对象引用（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 这段代码用了 PreparedStatement，防注入是对的。可它还是漏了。

>

> 课件那段代码是这样：拼一条查询，SELECT 全部字段 FROM accts WHERE account 等于问号，用 PreparedStatement 预编译，把请求里的 acct 参数塞进第一个占位符，执行查询。参数化没问题，注入防住了。问题在另一处：它没校验这个 acct 是不是当前登录用户的。

>

> 于是攻击者改一下 querystring，把 acct 换成别人的账号，就能查到任何人的信息：`http://example.com/app/accountInfo?acct=notmyacct`。这就叫直接对象引用。客户端把库里的 ID、账号、文件名传上来，服务端照着用，不查归属。

>

> 为什么这么常见？因为它长得不像漏洞。开发者的想法是"用户改的是他自己的东西，他为什么要传别人的 ID"。可攻击者偏偏就会传。这是拿正常用户的行为模式做假设。

>

> 防御三条，缺一不可。

>

> 第一，服务端做归属校验。任何"按 ID 取数据"的接口，都要用当前会话的身份去过滤，不能只靠传上来的 ID。条件里再加一个 owner 等于会话里的用户，那个 owner 从会话里拿，不从请求里拿。

>

> 第二，用间接引用。别暴露数据库主键。给每个对象发一个临时映射令牌，服务端维护令牌到真实 ID 的映射。这个映射还绑在当前用户身上。令牌被猜中，也只能被人用自己的身份用。

>

> 第三，统一收口。把取对象这件事收到一个数据访问层，别让每个接口自己写一遍，因为一定有人忘。三条里第一条是必须做的，后两条是把它做得更省事、更不容易漏。

>

> ID 是客户端给的，权限是服务端判的。这两件事不能混。

提问：这段代码已经用了 PreparedStatement，为什么还会出问题？这是不是说明用了参数化就安全了？

> **预设回答：**

- 答"参数化只防注入，不防越权"——完全正确，这是本题的核心。参数化解决的是"数据被当代码"，解决不了"这条数据你能不能看"。

- 答"它没校验登录"——不完全是。可能校验了登录，但没校验这条数据是不是你的。两回事。

- 答"补一个 owner 条件"——对，而且 owner 必须从会话里取，不能从请求参数里取，否则攻击者连 owner 一起改。

- 收口：安全有三问——你是谁、你能干什么、这条数据是不是你的。这段代码漏了第三问。

> **易错点 / 考点：**定义常考："客户端提交对象标识，服务端没校验访问权限"。别把参数化查询当防越权手段，它只防注入。防御必答"服务端校验数据归属"和"间接引用/随机令牌"，答题时强调 owner 来自会话。

> **过渡：**下面给了一个更直观的例子，在线银行的账户号。

【7.97】直接对象引用（2 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 一行 URL，一个数字往上加，就能把别人的账户翻过去。

>

> `https://www.onlinebank.com/user?acct=6065`。就这一行，杀伤力比上一段代码还直观。

>

> 看结构：user 是接口，acct 是参数，6065 是账户号，一个连续的、可枚举的整数。这意味着攻击者不需要任何技巧，把 6065 改成 6066、6067，一个账户一个账户看过去。这叫遍历，最朴素，也最管用。写个脚本改最后一位，几百个账户几分钟跑完，日志里看着跟正常访问一样。

>

> 这里想让人体会三件事。

>

> 第一，连续 ID 本身就是信息泄漏。它告诉你系统里有多少用户、增长多快、哪个号段是新注册的。所以安全设计里有一条：对外标识尽量用不可预测的值，UUID、随机串，别用自增主键。自增主键在库里是对的，

> 摆到 URL 上就成了路线图。

>

> 第二，HTTPS 加登录不等于安全。这个 URL 是 https，用户大概率也登录了。可只要没有归属校验，登录只证明"你是某个用户"，不证明"这个账户是你的"。

>

> 第三，这类漏洞检测成本极低、修复成本也不高，出现的频率却极高。因为它是"功能写完了、能用了"，不是"写错了"。开发者想的是接口通了，测试想的是页面能打开，没有人问一句"换成别人的 ID 会怎样"。

>

> 所以它适合当课设的必测项。做法很简单。准备两个账号 A 和 B，用 A 登录。把 A 能访问的带 ID 接口全抓下来，ID 换成 B 的对象的 ID，逐条重放。返回 B 的数据，就是漏洞；返回 403 或空，才算合格。这个方法有名字，叫水平越权测试。跑完把结果记下来，附进测试报告。

提问：如果系统把 acct=6065 换成一串随机字符，漏洞就没了吗?

预设回答：

- 答"没了，猜不到"——只解决一半。猜不到，但泄漏之后照样能用，比如从聊天记录、截图、日志里拿到。

- 答"还能从别的接口拿到别人的 ID"——很关键。很多系统在列表页、消息通知里就把别人的 ID 发出去了。

- 答"所以还是要做归属校验"——正确。随机化只是抬高门槛，授权才是根治。

- 收口：安全设计的原则是不依赖"攻击者不知道"，而依赖"知道了也用不了"。

易错点 / 考点：结论常作案例题：给一个 URL，问什么漏洞、怎么测、怎么修。答题三件套：漏洞名称（直接对象引用、水平越权）、验证方法（换 ID 重放）、修复方案（服务端归属校验加不可预测标识）。只说"ID 要加密"不够，加密后的 ID 照样能被重放。

过渡：数据级权限漏了会出事，功能级权限漏了同样出事。下面这一类是后者。

【7.98】功能级权限控制缺失（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 菜单里没有"系统管理"，不等于接口调不通。

>

> 上一页讲数据级：你能不能看这一条。这里讲功能级：你能不能调这个接口。层级不同，危害一样大。

>

> 课件先说原因，这句话值得抄。权限控制一般写在代码里，或者靠配置文件完成。可开发人员容易忘记给某些功能加权限控制代码。容易忘记四个字最真实。这不是设计能力问题，是注意力问题。一个系统几十上百个接口，权限判断散在每个接口开头，忘一个就漏一个。

>

> 课件给的例子是这个链接 `http://example.com/app/admin_getappInfo`，只有 admin 才能访问。非 admin 用户直接在浏览器里就能打开，说明网站存在功能级权限控制漏洞。

>

> 为什么直接在浏览器里访问就能成功？因为前端隐藏菜单不是权限控制。很多系统的做法是登录后按角色渲染菜单，普通用户看不到"系统管理"这一项。看着安全了，其实只是没给你入口。攻击者不需要菜单。他知道 URL，或者从 JavaScript 文件里把接口清单翻出来，直接发请求就行。

>

> 所以测试方法很明确。先把接口清单拿到，看前端 JS、看接口文档、看抓包记录。再用低权限账号逐个请求，看哪些返回了 200 和真实数据。返回 200 的那些，只有管理员才能调的，就是漏洞。

>

> 防御三条。

>

> 第一，权限校验在服务端，而且在每个受保护接口上。前端隐藏只是体验。

>

> 第二，别在每个接口里手写 if。那样一定会漏。正确做法是统一拦截。拦截器、过滤器、注解或者网关，把"这个接口要什么权限"声明在配置里，由一个地方统一判。

>

> 第三，默认拒绝。新加的接口没声明权限，默认谁都不能访问，逼着开发者去声明。这条叫安全默认值，是安全设计里最要紧的一条。

>

> 功能级权限的关键不是"写对"，是"不可能写漏"。

> **提问：**为什么"每个接口自己写 if 判断权限"这种做法，长期看一定会出漏洞？

> **预设回答：**

- 答"人会忘"——就是课件那句"容易忘记"，最真实的原因。

- 答"新人不知道规矩"——对。人员流动之后，新加的接口没人提醒。

- 答"代码评审能补上"——能补一部分，可评审也是人做的，同样会漏。

- 收口：工程上的解法是把"靠记性的事"变成"忘不掉的结构"——统一拦截加默认拒绝。用设计解决问题，别用纪律解决问题。

> **易错点 / 考点：**功能级权限和数据级权限（直接对象引用）的区别是高频考点：前者是能不能调这个功能，后者是能不能碰这条数据。判断"前端菜单隐藏了就安全"——错。简答必答服务端统一拦截加默认拒绝，只写"加权限判断"不够。

> **过渡：**漏洞类型讲了一轮，轮到看工具了。工具分两类：写代码时用的，打系统时用的。

【7.99】安全性测试工具（2 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 装一个扫描器，是不是就等于做了安全测试？

>

> 工具这一块，课件不列具体工具，先搭一个分类框架。给一个四象限，往后见到的工具都能往里放。

>

> 第一个维度：看代码还是跑系统。看代码的叫静态分析，SAST；跑系统的叫动态分析，DAST。前者不用运行程序，靠解析源码或字节码找缺陷；后者在运行中的系统上发请求、看响应。

>

> 第二个维度：找已知还是找未知。找已知的是模式匹配，拿漏洞特征库去比。快，漏报多。找未知的靠基于模型或形式化的方法，先建行为模型，再验证安全属性。慢，能挖出深的问题。

>

> 四个格子对应四类工具。静态加已知：词汇语法分析类，模式匹配找可疑函数调用。静态加未知：约束分析、基于模型的工具，分析数据流和控制流。动态加已知：漏洞扫描器、Web 扫描器，发已知的攻击载荷。动态加未知：模糊测试、渗透测试，靠变异和人的创造。四格的分界不是工具牌子，是它看什么、它找什么。

>

> 为什么先讲框架？学生最容易犯的错，是以为装个扫描器就等于做了安全测试。扫描器只覆盖"动态加已知"那一格。它扫不出业务逻辑漏洞，扫不出要多步交互才触发的漏洞，也理解不了你的权限模型。

>

> 还有一条实践建议：静态分析放左边，开发阶段；动态分析放右边，测试阶段。左边早、便宜、误报多；右边晚、真实、覆盖面受用例限制。两者不是替代，是接力。

> **提问：**如果一个团队只有预算买一个工具，你选静态分析还是动态扫描？依据是什么？

> **预设回答：**

- 答"静态，因为早"——有道理。越早发现越便宜，而且能覆盖到用例没走到的代码。

- 答"动态，因为能看到真实危害"——也有道理，动态扫描的误报通常更容易判断。

- 答"看团队成熟度"——最专业的答法。代码规范、CI 完善，静态能发挥最大价值；系统已经上线、历史包袱重，动态能立刻找到暴露面。

- 收口：没有标准答案，但答题要给出判断依据，不是"我觉得"。

> **易错点 / 考点：**SAST 和 DAST 的区别是必考点：要不要运行程序、能不能定位到行、误报率高不高。错法是把渗透测试归到静态类，它是动态的，而且要人工。判断"静态分析工具能发现运行时才出现的漏洞"——错，那正是它的盲区。

> **过渡：**四象限里最能看出技术在进步的一格，是静态分析。它有三代。

【7.100】静态分析工具（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 看到 strcpy 就报警，这种工具你们大概都见过。它属于第一代。

>

> 课件把静态分析工具分三类，正好对应三代技术：词汇语法分析、约束分析、基于模型。三代的能力和局限差得很远，考试爱考这个层次。

>

> 第一类，词汇语法分析。原理是通过模式匹配，找出特定函数里可能导致安全问题的缺陷。说白了就是查关键词：看到 strcpy、gets、sprintf 就报可能有缓冲区溢出，看到 system 就报可能有命令注入。课件点了它的特点：使用简单、速度快，但误报率比较高，很难查出复杂的安全问题。为什么误报高？它不知道上下文。strcpy 的源字符串如果是常量，根本没问题，可它看不懂。代表工具有
> ITS4、Flawfinder、RATS、Pscan。

>

> 第二类，约束分析。原理是更好地分析函数的安全性，靠对解析树的分析确定缺陷位置。它比第一代多走了一步：会做数据流分析，追这个变量从哪来、经过什么处理、到哪去。所以它能判断"这个参数确实来自用户输入，而且没做长度检查"。局限也明确：检查的缺陷范围比较有限。它擅长某一类属性，数组越界、空指针、格式化字符串，不太擅长跨模块的复杂问题。代表工具是
> BOON、CQUAL、Splint、UNO、ESC/JAVA。

>

> 第三类，基于模型。原理是构建程序的有限状态模型，用形式化方法表示要检查的安全属性，再设计算法去检测模型里的缺陷。这一代把程序抽象成状态机，把"不能出现什么"写成形式化属性，用算法搜。能力强，能挖到时序类的深层问题，代价是建模成本高、状态爆炸。代表工具是
> SLAM、BLAST、MOPS、ESP、FindBugs。

>

> 三代不是替代，是分工。第一代适合快速筛大量代码，第二代适合精确查某几类缺陷，第三代适合验证关键模块的严格属性。实际项目常常三代混用，再加一层人工确认。

>

> 最后一句：静态分析的输出必须人工过一遍。报告里十条问题，可能七条是误报。但剩下三条，往往是你写用例一辈子也碰不到的。

提问：为什么第一代工具看到 strcpy 就报警，误报会那么高？

> **预设回答：**

- 答"因为它不知道参数是什么"——对。源是不是常量、目标缓冲区多大、有没有先查长度，它都不看。

- 答"因为它只看函数名"——准确，这叫没有上下文敏感。

- 答"所以宁可多报"——这是这类工具的设计取舍：用高误报换低漏报，让人去筛。

- 收口：评估静态分析工具，不能只看报了多少条，要看准确率和能不能定位到行。

> **易错点 / 考点：**三类的名称、原理、代表工具是标准考点。ITS4、Flawfinder、RATS、Pscan 属第一代，FindBugs 属基于模型，这一点最容易记错。判断"静态分析误报率低"——错，第一代误报很高。简答要写出"静态分析不能替代动态测试，两者互补"。

> **过渡：**分类讲完，往下看一份工程里真会用的工具清单。

第 7 章讲稿（7.101–7.120）

> 锚点与课件一一对应，不增删页。每页五标记。口播按四拍：起 → 推 → 收。

【7.101】常见的安全漏洞检测工具（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 十一个工具名摊在一行，硬背下来没用，考完就忘。按用途分成四组，四个词就能拎住一组。

>

> 先看代码这一组，四个。CppCheck 管 C 和 C++，FindBugs 读 Java 字节码。这两个都开源，都不运行程序，只读代码。C++Test 和 Jtest 是 Parasoft 的商业套件，除了静态检查还能生成单元测试。Klocwork Insight 偏大型 C/C++ 工程的深度分析。选型只看两条：你用什么语言，要不要接进 CI。

>

> 第二组是进攻方的工具，Metasploit 和 BackTrack5。Metasploit 是漏洞利用框架，把找漏洞、挑载荷、建会话串成一条线。BackTrack5 是早期的渗透发行版，后来演成 Kali。这一组只在靶场里碰，别的场合不碰。

>

> 第三组做 Web：Burp Suite、Nikto Web Scanner、W3af、ZAP。Burp 是代理型的手工工作台，Nikto 是老牌的 Web 服务器扫描器。W3af 自称攻击与审计框架，ZAP 是 OWASP 的旗舰开源项目。这四个是主力，后面两页细讲 Burp 和 W3af。

>

> 第四组是企业平台，Fortify SSC。它不是单机工具，是软件安全中心。扫描结果汇总、去重、定级、跟踪修复，全在这一层。它通常和 CI/CD 接在一起，管的是整个组织的漏洞。

>

> 清单后面跟了一句"详见我之前写的文章"。说明这是作者自己趟出来的，不是抄名录。

>

> 三句判断收尾。工具是分层的，代码层、应用层、平台层各管一段。开源灵活、能改、适合学习和中小项目；商业工具规则库全、支持好，适合合规场景。最后一句最要紧：工具负责发现，人负责判断。同一份报告，老手挑得出哪三条是真的，新手只会转发给开发。

提问：一个团队已经在用 Fortify 做代码扫描，还有必要在测试阶段做 Burp 手工测试吗？

预设回答：

- 答"有必要，一个看代码一个看运行"——正是。Fortify 看不出"两个接口组合起来能越权"这类问题。

- 答"没必要，重复了"——不成立，静态与动态的盲区不重合。

- 答"看预算"——现实考量。即便不买商业工具，关键接口也得手工测。

- 收口：静态工具说"这里可能有问题"，动态测试说"这里确实能被利用"。前者是线索，后者是证据。

易错点 / 考点：① 工具与用途的对应是常考连线题，这里最容易混的是 **FindBugs 对 Java、CppCheck 对 C/C++**；② 易错点：把 Metasploit 当成"扫描器"——它是**利用框架**；③ 常考简答"静态工具与动态工具的区别"，答题要落到"是否运行程序"和"能否证明可利用"。

> **过渡：**清单里最值钱的是 Burp 和 W3af。讲它们之前，先看一张更实用的表——十大漏洞各自对应什么工具。

【7.102】十大漏洞对应的工具（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 知道有 SQL 注入，然后呢？下一步不是翻书，是找工具。课件给了一张对照表，左边十种漏洞，右边一串工具名。

>

> 先说怎么读这张表。它不是一对一映射，是多对多。同一个工具能测好几种漏洞，同一种漏洞也要几个工具配着用。所以别死记"哪个对哪个"，要记"这一类问题用什么手段"。

>

> 先读漏洞那一列。第一项注入式攻击，第二项跨站脚本 XSS。第三项无效的认证及会话管理，第四项对不安全对象的直接引用。第五项伪造的跨站请求 CSRF，第六项安全设置错误。第七项加密存储的不安全，第八项不限制访问者的 URL。第九项传输层保护不足，第十项未经验证的重新指向与转发。

>

> 这十项里七项前面都讲过。注入、XSS、会话、对象引用、CSRF、URL 限制、未验证跳转，全是老面孔。剩下三项是新的：配置错误、加密存储、传输层。它们的共同点很清楚，不在业务代码里，在配置和部署里。所以代码审计做得再认真，系统照样可能出事。

>

> 工具那一列按手段归一下。改请求的三个。HackBar 改地址栏，Tamper Data 和 Seride 拦下来改。Burp 全能拦截。扫漏洞的四个：ZAP、Nikto 和 Wikto、Watobo、MatriXay。专测 SQL 注入的是 SQL Inject Me。查 TLS 配置的是 Calomel，查证书和站点信息的是 Watcher。

>

> 用法就一句：先按漏洞定测试项，再按测试项选工具。反过来，先装一堆工具再想测什么，最费时间也最没产出。

>

> 还有一句得说清。工具只能覆盖已知模式。这十项里最容易被漏的是配置错误和加密存储，因为要看配置、看数据，不是发个请求就能看出来。

提问：这十项里，哪几项是"扫描器基本扫不出来、必须靠人看配置"的?

预设回答：

- 答"安全设置错误"——对，比如目录列表没关、默认口令没改、错误页暴露堆栈。

- 答"加密存储的不安全因素"——对，要看密码是不是哈希、密钥存在哪，这得读代码和配置。

- 答"传输层保护不足"——有工具能测，但要专门扫 TLS，普通 Web 扫描器不管。

- 收口：所以能力结构是三层：工具铺面、人工看配置、人工想业务。缺一层就有盲区。

易错点 / 考点：① 十大漏洞的清单常考多选，"安全设置错误""加密存储不安全""传输层保护不足"这三项容易被漏；② 易错点是硬记一对一映射——答题写"多对多关系"更准确；③ 常考判断"有了扫描器就不需要人工测试"——错，理由要写"配置类与业务逻辑类漏洞工具覆盖不到"。

过渡：工具名考试不要求背全，但有两个必须认得——Burp Suite 和 W3af，它们代表两条不同的技术路线。

【7.103】Burp Suite- web security testing（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

很多人第一次打开 Burp，会以为它是个扫描器。不是。它的核心是中间人：能看、能改、能重放。

>

> 课件列了七个组件，每个都对应一个测试动作。

>

> 第一个，Intercepting Proxy，拦截代理。浏览器和目标应用之间的每个请求，它都能停下来。你能看、能改、能放行。为什么这一步关键？浏览器替你加了很多限制：隐藏字段、禁用的按钮、前端校验。代理一开，这些全不算数。安全测试要的就是发出正常用户发不出的请求。

>

> 第二个，Spider，爬虫。把链接、表单、参数摸出来，产出一张攻击面清单。

>

> 第三个，Scanner，扫描器。自动跑一批漏洞类型，给你一份待确认清单。

>

> 第四个，Intruder。它是可配置的批量重放：标一个变量，灌一本字典，看响应差异。测越权、测爆破、测参数枚举，都靠它。

>

> 第五个，Repeater。改一个请求，发一次，看一眼。这是用得最多的一个。你怀疑某个参数有注入，就在这里反复试。

>

> 第六个，Sequencer，测会话令牌的随机性。这一条直接接上前面讲的会话劫持。令牌能被猜出来，HttpOnly 设得再好也没用。

>

> 第七个，Extensibility。能自己写插件。业务逻辑漏洞千变万化，通用规则接不住，只能自己写判断。

>

> 七个收成一句：Burp 把"我觉得这里有洞"变成"我发了这个请求，它回了这个响应"。

提问：为什么说"有了拦截代理，前端的校验就等于不存在"？

预设回答：

- 答"因为能直接改请求"——对，代理夹在浏览器和后端之间，前端做什么都拦不住你手改。

- 答"因为可以直接调接口"——也是，跳过页面，用工具构造请求。

- 答"前端校验本来就不算安全措施"——这句最准。前端校验是体验优化，不是安全边界。

- 收口：所以安全测试的默认假设是"客户端完全不可信"，服务端必须自己再校验一遍。

易错点 / 考点：① 七个组件的名称与用途是常考连线；② 易错点是把 Burp 等同于"漏洞扫描器"——它的核心是**代理 + 手工重放**，Scanner 只是里面一个组件；③ 常考判断"Sequencer 用来爆破密码"——错，它测的是

令牌随机性，爆破靠 Intruder。

过渡：组件清楚了，看它按什么顺序用。

【7.104】Burp Suite- web security testing（2 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

装上 Burp，第一件事不是点扫描。先把代理配好，把业务走一遍。

>

第一步，配代理。浏览器流量过 Burp，装它的 CA 证书，HTTPS 才解得开。前提说清楚：只在自己的靶机或授权范围里做。代理就是中间人，拿它看别人的流量是另一回事。

>

第二步，开拦截，把业务走一遍。注册、登录、下单、查询、退出，每个动作都抓下来。这一步不找漏洞，是画地图：有哪些接口，各自带哪些参数，哪些是 ID，哪些是金额，哪些是状态。

>

第三步，丢给 Scanner 铺面。跑完得到一份按风险排序的清单。清单只是线索。

>

第四步，Repeater 逐条验。改 ID 看越权，改金额看逻辑，去掉 Token 看鉴权，加个引号看注入。这一轮下来清单会大幅缩水，剩下的才是真问题。

>

第五步，Intruder 批量验。一百个用户 ID 里哪些能越权，标好变量灌字典，看返回长度和状态码的差异。

>

第六步，整理证据。请求原文、响应片段、复现步骤、影响评估。开发愿意动手修，靠的是这个。

>

第三步和第四步的关系要单独说。很多人跑完扫描器就交报告，开发一看全是误报，从此不信安全测试。扫描器负责找可能性，人负责证明确实性。这个分工错一次，工具在团队里就没威信了。

> **提问：**为什么"先手工走一遍业务，再开扫描器"这个顺序不能反？

> **预设回答：**

- 答"扫描器不知道业务"——对，它不知道哪个接口是转账、哪个是查询，只能按通用规则扫。

- 答"先走业务能拿到登录态"——很实际，很多接口必须先登录才扫得到。

- 答"顺序反了会漏"——也对，多步交互才出现的页面，爬虫爬不到。

- 收口：所以人给工具画地图，工具替人跑量。

> **易错点 / 考点：**① 常考"Burp 的典型使用流程"，顺序要是"代理→走业务/爬取→扫描→重放验证→整理证据"；② 易错点：把"扫描结果"直接当"漏洞清单"；③ 常考判断"Burp 能解密 HTTPS，所以能测任何站点"——技术上能，**授权**是前提，答题要提这一句。

> **过渡：**Burp 是手工工作台，下一页的 W3af 走另一条路——把攻击和审计做成框架。

【7.105】W3af（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> W3af 的全称考试爱考，四个英文词。Web Application Attack and Audit Framework。翻成中文是 Web 应用攻击与审计框架。

>

> 它和 Burp 的路线不同。Burp 给你一套手工工具，W3af 给你一条能编排的流水线，用插件把扫描、审计、利用串成一串。

>

> 先看它的模糊测试引擎，能注入七个位置。这七个位置就是 Web 输入点的完整清单。前四个是 Query string 和 POST-data。还有 Headers 和 Cookie values。第五个是 Multipart 表单里的文件。第六、第七是 URL filename、URL path。

>

> 为什么要记全？一个位置只要进了服务端还被用到，它就是潜在的注入点。学生最容易只盯查询串和表单。

> Header 呢？X-Forwarded-For、Referer、User-Agent 被写进日志。这样的代码一抓一把，也有直接拼进 SQL 的。Cookie 呢？很多系统拿 Cookie 字段直接判权限。文件名和路径更少人看，上传后的重命名、下载接口的路径拼接，都落在这两处。

>

> 第二块是代理服务器。它自带 Web 和代理服务器，好嵌进你的代码。翻成白话：它不只能当界面用，还能当库。

>

> 第三块是 Fast HTTP Client。前三项是极快地发特制请求、支持代理、Basic 和 Digest 认证。中间几项管请求构造：伪造 User-Agent、自定义请求头、处理 Cookie。最后还有响应处理、DNS 缓存、多部分文件上传。

>

> 别当参数表背，每行都是一个测试动作。伪造 UA 是为了测移动端和爬虫的不同逻辑。自定义头是为了测 Header 注入和绕过。DNS 缓存是为了压测时不打爆 DNS。多部分上传是为了测文件上传漏洞。

> **提问：**七个注入点里，你最可能在做课程设计时漏掉哪一个？漏掉会有什么后果？

> **预设回答：**

- 答"Header"——最常见。`X-Forwarded-For` 被拼进 SQL 或写进权限判断，是真实存在的一类漏洞。

- 答"Cookie"——也很常见，很多系统把用户 ID、角色放在 Cookie 里还做明文判断。

- 答"URL filename / path"——容易漏，下载接口和静态资源路由最常见。

- 收口：判断法很简单——凡是服务端会读的地方，都在清单里。先从代码里搜"取请求数据"的接口，再对照这七项。

> **易错点 / 考点：**① W3af 全称常考；② 七个注入点是很好的多选题素材，"URL filename" 与 "URL path" 是两个不同项；③ 易错点：把 W3af 只当扫描器——它同时提供**框架/库**能力；④ 常考简答"Burp 与 W3af 的定位差异"：Burp 偏手工交互，W3af 偏框架化自动编排。

> **过渡：**安全性测试这一节讲完，收一页把整节的方法盘一遍。

【7.106】本讲小结（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

安全性测试的方法，教材列了十项。十项摊开像清单，按"从设计到运行"排一遍就成了台阶。

>

> 基于模型的安全功能测试：先给系统建一个行为模型，再验安全属性在这个模型上成不成立。它回答的是设计层面允不允许坏事发生。

>

> 基于故障注入：人为造故障，断网、超时、返回错误、篡改数据，看系统会不会因此失守。它打的是异常路径，大量漏洞只在这一路上露头。

>

> 模糊测试：拿变异出来的畸形输入轰接口，看它崩不崩、会不会执行、会不会泄数据。你不用先知道漏洞长什么样，这是它最大的价值。

>

> 基于白盒：拿代码做数据流和污点分析，追用户输入有没有不加处理就流到危险函数。

>

> 威胁模型与攻击树：这不是执行，是设计。把攻击者想达到什么拆成一条条路径，每条路径就是一个测试场景。

>

> 形式化方法：用数学描述安全属性再证明。贵，只用在最关键的模块上。

>

> 语法测试：打解析器，JSON、XML、协议报文、文件格式，用合法但异常的结构去试。前面讲的 XML 注入就挨着这一类。

>

> 基于属性的测试：先声明必须成立的性质。比如金额不能为负、一个人只能领一张券。再自动造数据去推翻

> 它。

>

> 动态污点分析：给外部输入打标记，跟踪它流到哪，看有没有流到敏感操作。工业界查注入，这是最有效的手段之一。

>

> 基于风险的安全测试：按风险分资源，高风险的模块多测、深测。

>

> 十项不必全用，得说得出各自解决什么问题。考场上给你一个场景，你要选得出两三种组合。

> **提问：**只允许你选两种方法去测一个已经上线、源码拿不到的系统，你选哪两种？

> **预设回答：**

- 答"模糊测试 + 基于风险的安全测试"——很合理：一个用畸形输入轰，一个把力气压在高风险接口上。

- 答"渗透测试 + 故障注入"——也行，但要说明"渗透"是模糊与手工的结合。

- 答"白盒 + 污点分析"——源码拿不到，这两项做不了，说明审题很关键。

- 收口：选方法的第一约束不是哪个先进，而是你能拿到什么：源码、日志、设计文档，还是一个能登录的账号。

> **易错点 / 考点：**① 十项名称常考多选与填空，"动态污点分析"和"基于属性的测试"这两项容易被忘；② 易错点：把"威胁模型"当成测试执行技术——它是**设计与分析**活动；③ 简答题"针对某场景选方法并说明理由"，答题结构：场景约束 → 选 2–3 种 → 各自解决什么。

> **过渡：**方法讲完，最后留两页推荐。推荐的不是工具，是接下来往哪儿学。

【7.107】特别推荐（2 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 这一节收尾，有人会问：接下来自己练什么。课件把推荐留在这儿，我按先打底、再上手、最后看局面的顺序说。

>

> 先打底。安全测试的知识是跨层的。你得懂 HTTP 报文怎么长，懂浏览器的同源策略，懂数据库的权限模型，懂操作系统的权限。这些不补，工具会用，但不知道为什么。最低的底子是四样。HTTP 报文结构、Cookie 与 Session 机制、SQL 基础、Linux 权限。

>

> 再上手。这一块看书没用，必须有靶场。课件推荐的资源，作用都是让你在合法可控的环境里把一条攻击链走完。走完一遍，你对"输入校验""输出编码"这几个词的理解会变，因为你见过不加会怎样。

>

> 最后看局面。看每年发布的漏洞榜单，看真实事件的复盘。看几年会发现一个规律：排在前面的类型十几年没怎么变，注入、XSS、失效的访问控制、配置错误。技术在换，人在同一个地方反复摔。

>

> 课程要求补一句。所有练习只在自己的靶机、自己的测试库、自己搭的环境里做。这不是保守。能力越强，边界越要清楚，一次"试试看"可能就是别人的损失。

>

> 最后一条学习法：每学一个手法，逼自己写三句。原理一句、防御一句、怎么测一句。三句写不出来，就是还没学会。

提问：为什么"排在前面的漏洞类型十几年没怎么变"这件事，对测试人员来说是好消息还是坏消息？

预设回答：

- 答"好消息，经验可复用"——是一面，检查单确实能沉淀下来反复用。

- 答"坏消息，大家没吸取教训"——也是事实，同样的错误一代代重复。

- 答"对个人是好消息，对行业是坏消息"——这个回答最完整。

- 收口：所以把检查单做成流程里绕不过去的一步，比指望每个人自觉更管用。

易错点 / 考点：这一页不直接出题，常作为**课程设计选题**的引导。要区分"学习资源推荐"和"考试知识点"——考的是方法名与原理，不是资源清单。易错点：把推荐当成"必须装这些工具"，工具只是手段。

【思政落点 11】：靶场和别人的系统之间，只隔着一个授权。同一条攻击链，放在自己的靶机上是练习，放

> 到没打招呼的机器上就是违法。这门课让你们练手法，也请顺手练一个习惯：动手前先问这台机器是谁的、我有没有书面许可。守住这条线，能力才叫本事；守不住，能力就是给别人添的风险。

> **过渡：**推荐还有第二页，方向从"学什么"转到"怎么把安全放进工程里"。

【7.108】特别推荐 2（2 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 工具装了一堆，事故照样出。问题多半不在工具上，在流程上。这一条线走三层，从个人一直到组织。

>

> 第一层，规范与标准。安全测试靠清单，不靠灵感。漏洞榜单告诉你防什么，安全编码规范告诉你怎么写，测试指南告诉你怎么验。三样东西合起来干一件事：把专家的判断变成普通人照着能做的步骤。

>

> 第二层，工具链集成。安全要真被执行，就得嵌进流水线。提交代码跑静态扫描，构建镜像查依赖漏洞，部署前跑一次动态扫描，上线后持续监控。这套叫 DevSecOps。它比上线前集中测一遍更省，因为问题在最便宜的地方就被拦下了。判断标准很朴素：需要人专门去点一下的检查，迟早被跳过。

>

> 第三层，组织与责任。谁对安全负责？不是安全部门。是每个提交代码的人、每个设计架构的人、每个做发布决定的人。安全团队给工具、定标准、做应急，不替所有人做检查。

>

> 给一个马上能用的建议：课程设计里加一份安全检查单，十到十五条。每条写清查什么、怎么查、不合格怎么改。这份单子比任何工具都值钱，它是你自己的知识沉淀，下次做项目直接拿来用。

>

> 最后一层窗户纸：安全不是一门课，是习惯。每写一个接口，问一句——别人塞了个奇怪的参数进来，会怎样。

> **提问：**为什么"需要人专门去点的安全检查"最后一定会被跳过？

预设回答：

- 答"因为赶进度"——最真实的原因，发布压力下第一个被砍的就是额外步骤。

- 答"因为没人为它负责"——也对，没人负责的事就没人做。

- 答"所以要自动化"——正解，把它变成流水线里必过的一步，不过就发不出去。

- 收口：这就是用机制保证，不是用自觉保证，跟第 4 章讲的流程规范是一回事。

易错点 / 考点：考点在"DevSecOps 的含义"和"安全责任归属"。易错点：认为安全是安全部门的事——答题要写"全员、全流程"。另外区分"规范"（写什么）与"工具"（怎么查），两者互补。

过渡：安全性测试到此结束。下面进 7.3，一个听着简单、做起来极容易漏的专项——兼容性测试。

【7.109】7.3 兼容性测试（2 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

同一个软件，换台机器就打不开。这种事你们遇到过吗？这就是兼容性测试要管的事。

>

它要回答一个问题：同一套代码，换一个环境还对不对。环境有四个维度。硬件：机型、外设、配置。软件系统之间：操作系统、中间件、数据库、第三方组件，还有客户端与服务端的版本组合。数据：老版本产生的数据、别的系统产生的数据。软件环境组合：浏览器加系统加分辨率加语言加网络。

>

为什么容易出事？因为开发环境只有一套，用户环境是发散的。你机器上跑得顺，用户那边可能是三年前的安卓机。可能用的是 IE 内核的浏览器，可能电脑没有管理员权限。还可能装了个改了默认行为的输入法。

>

代价也很特别。它不影响功能正确性，只让一部分用户用不了。报告里写"某机型闪退"，看着像小问题，对那批用户就是百分之百不可用。而且它难复现，开发和测试经常因为"我这儿没问题"吵起来。

>

这一节怎么走：先看最典型的两种现象，升级失败和升级之后的不兼容；再看软硬件、系统之间、数据三条

> 主线；最后讲环境组合怎么用组合测试压用例。

>

> 带着一个问题听：你们做项目时，"测哪些环境"是拍脑袋定的，还是有依据的？

> **提问：**为什么兼容性缺陷在缺陷报告里常常被低估？

> **预设回答：**

- 答"因为只影响少数机型"——正是这种想法让它被降级，可对那批用户是 100%。

- 答"因为难复现"——对，复现不了就容易被判"无法重现"关掉。

- 答"因为不影响主流程"——要小心这句，支付页面在某个浏览器上白屏，主流程就断了。

- 收口：评价它要看受影响用户比例乘上这个功能的业务重要性，不是看"看起来严重不严重"。

> **易错点 / 考点：**兼容性测试的四个维度常考多选。易错点：把兼容性测试等同于"浏览器兼容性测试"——那只是一个子集。常考判断"兼容性问题不影响功能正确性，所以优先级低"——错，要看受影响用户比例与业务重要性。

> **过渡：**先看现实里最常见的两种现象：一升级就出问题，一换环境就不对。

【7.110】碰到兼容性问题、升级失败（2 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 升级最怕的不是彻底失败，是升到一半。

>

> 先把两种形态分开。第一种，升级失败。安装包装不上，数据库脚本报错，配置文件格式不认，依赖版本对不上，或者升到一半断了。最难的是最后那种：一部分模块升上去了，一部分没升。系统还能启动，行为已经不一致了。

>

> 第二种，升级后的兼容性问题。升级成功了，但和别人对不上。新客户端连不上老服务端，新版本写的数据老版本读不了。依赖的中间件老服务器上没有，第三方接口的协议也变了。

>

> 两种现象的根子是一个。升级不是换个文件，它同时动了四样东西：代码、数据格式、接口协议、运行环境。哪一样没对齐，都出问题。

>

> 所以升级测试的清单就是四问。旧数据新版本能不能正确读？新写的数据老版本还能不能用？接口协议变了没有，调用方都同步了吗？依赖的组件在目标环境里有吗？

>

> 这四问最好画成一张表，每次发版照着勾。半新半旧的系统最坑，它既不能当旧的测，也不能按新的测。

>

> 再补一条工程做法：升级得可回滚。上线前先验一遍，回滚脚本跑得通，回滚后数据不丢。真出问题时，业务等不了你排查，先退回去止损才是对的顺序。

>

> 这类事故里，硬技术难题很少，多半是清单没列全。

提问：为什么"升级到一半中断"比"升级彻底失败"更危险?

> **预设回答：**

- 答"因为系统还能跑，大家以为没事"——正是，这种"看起来正常"最危险。

- 答"因为数据可能一半新一半旧"——对，数据不一致比服务不可用更难修。

- 答"因为回滚也回不干净"——很关键，部分模块已经写了新格式数据，回滚会读不了。

- 收口：所以升级要做幂等、要事务化：要么全成功，要么能干净退回，中间状态必须能查出来。

易错点 / 考点：① 要能区分"升级失败"与"升级后兼容性问题"，前者是过程失败，后者是结果不匹配；② 常考简答"升级测试要检查什么"，按四问展开（旧数据・新数据・协议・依赖）；③ 易错点：忽略"回滚验证"，这是升级测试里最常被漏掉的一项。

> **过渡：**升级问题常常落在硬件这一层。先看软件与硬件的兼容。

【7.111】软件与硬件兼容性问题（2 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

很多人以为硬件兼容就是驱动的事。不止。从上往下数，有五层。

>

> 第一层，机型和配置。同一个 App，换 ARM 或 x86，换内存大小，换屏幕分辨率，换传感器，表现就可能不同。低内存机上后台被杀，小屏上按钮被挤掉，没有某个传感器的机型功能直接崩。这些都是兼容问题。

>

> 第二层，外设和接口。打印机、扫码枪、读卡器、摄像头、USB 设备、串口设备。这层问题特别多，因为外设的驱动行为差异大，而且常常不在开发者的环境里。

>

> 第三层，驱动和固件。显卡驱动版本不同，渲染结果就不同。固件版本不同，同一条指令的行为就不同。典型症状是某批机器上画面撕裂、花屏、闪退。

>

> 第四层，资源和性能边界。磁盘满了、内存紧了、电量低了、温度高了降频。这些状态也会触发兼容问题，因为它们改了软件的运行条件。

>

> 第五层，虚拟化和云。虚拟机、容器、云主机的硬件是抽象的。依赖特定硬件特性的功能，GPU 加速、硬件加密、特定指令集，可能直接不可用。

>

> 怎么测？三条务实的。按市场占有率选机型，别按你手上有哪些机器选。抓关键路径，安装、启动、登录、核心业务、退出，每条在低端机和高端机上各跑一遍。把机型矩阵沉淀下来，每次发版复用，别每次重新开会。

>

> 一句话：关键不是测多少台，是测对哪几台。

> **提问：**如果预算只够买三台测试机，你会怎么选？

> **预设回答：**

- 答"一台低端、一台主流、一台旗舰"——很实用，覆盖性能边界的两端和中间。

- 答"按用户机型分布选覆盖最多的"——更专业，先看数据再买机器。

- 答"买最新最好的"——方向错了，兼容问题恰恰多发在老设备和低配设备上。

- 收口：选机的依据是用户分布乘业务关键度，不是配置越高越能发现问题。

> **易错点 / 考点：**① 硬件兼容的五个层次常考多选，"资源与性能边界""虚拟化"这两层容易被漏；② 易错点：认为"配置越高越能测出兼容性问题"——低配和异常状态才是高发区；③ 常考简答"如何选择测试机型"，答题要提"市场占有率数据"和"关键路径"。

> **过渡：**硬件之上是软件。软件系统之间的兼容，课件用两张图分别讲了服务端和客户端。

【7.112】软件系统之间的兼容性 -1（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 一张三层堆栈的图，右边标着两个 upgrade 箭头。从上往下是应用软件、中间件和操作系统、第三方软件。层与层之间写着兼容。

>

> 版本对给了两组。一组是 Red Hat Enterprise Linux 7.1 和 6.6。另一组是 MySQL Enterprise Edition 5.7 和 5.6。

>

> 看这张图先看出一件事：兼容不是一个点，是一条链。应用依赖中间件，中间件依赖操作系统，应用还直接依赖数据库。链上任何一环换了版本，整条链的兼容关系都要重验。

>

> 第二件事：升级方向不对称。图上是往上走，6.6 到 7.1，5.6 到 5.7。往上走要回答两个问题。新版本还认不认老的配置和数据？我的应用在新版本上还跑不跑？这两个答案经常不一样。数据库升上去了，应用用的

> 驱动还是老的，照样连不上。

>

> 第三件事：兼容有方向。新版本能处理老版本的东西，叫向后兼容。老版本能处理新版本的东西，叫向前兼容。工程上通常只保证向后兼容。所以升级前要确认：回滚窗口里，老版本还读不读得动新数据。

>

> 具体测四条。安装与启动，在目标系统版本上装得上吗，依赖齐吗。接口与协议，中间件和驱动的版本匹配吗。配置兼容，老配置文件新版本还认吗。性能与行为，默认参数变了没有，连接池、字符集、超时时间。

>

> 最后一条最容易被忽略：默认值变了也是不兼容。代码一行没改，行为变了，这种问题最难查。

> **提问：**为什么"数据库升级成功、应用却连不上"这种事故很常见？

> **预设回答：**

- 答"因为驱动版本没跟着升"——最常见，JDBC/ODBC 驱动不匹配。

- 答"因为认证方式变了"——很专业，新版本数据库常改默认认证插件。

- 答"因为字符集或时区默认值变了"——也对，这类默认值变更极难排查。

- 收口：所以升级验证要覆盖整条链，不能只验被升级的那一个组件。

> **易错点 / 考点：**① 三层堆栈与"兼容是链式"的结论常考；② 版本对（RHEL 7.1/6.6、MySQL 5.7/5.6）是课件给的例子，答题可引用；③ 易错点：把"组件升级成功"等同于"系统兼容"；④ 常考判断"兼容性只需要验证新版本"——错，回滚场景下老版本也要验。

> **过渡：**服务端是往上叠的兼容，客户端是多版本并存的兼容。这两种问题性质完全不同。

【7.113】软件系统之间的兼容性 -2（2 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> App 发了新版，用户三个月不升。服务端照样得认他。图上画了 Ver 2.1、2.2、3.0 三个版本。每个都要和中间件、操作系统兼容。也要和第三方软件兼容，彼此之间还得兼容。

>

> 这里的兼容有两层意思。

>

> 第一层，一个服务端要同时伺候多个客户端版本。这是常态。用户不会因为你发了新版就立刻升，应用商店里留着历史版本，企业内网锁版本，老设备装不上新版。所以服务端得做到新老客户端都能用。这叫服务端对客户端的向后兼容。

>

> 第二层，不同版本客户端之间的数据要通。A 用 2.1 发一条消息，B 用 3.0 能不能正确显示？3.0 新增的字段，2.1 收到会不会崩？这就是跨版本的数据兼容，也是下一页那条数据兼容的一个具体场景。

>

> 由此有两个工程要求。

>

> 接口设计要能演进。新增字段必须可选，不能因为多了字段就报错。删字段先停用，再下线。枚举值要允许未知值存在。这三条合起来就是健壮性原则：发送要保守，接收要宽容。

>

> 第二个要求，版本支持策略要写清楚。同时支持几个大版本？最低支持到哪一版？老版本什么时候强制升级？这几个问题没有答案，测试就定不了组合。

>

> 收一句：服务端的兼容是往上长，客户端的兼容是横向铺。前者防升级踩坑，后者防版本碎片。

> **提问：** "接收要宽容"具体到接口设计上，你会怎么做？

> **预设回答：**

- 答"多余字段忽略不报错"——对，这是最基本的一条。

- 答"枚举遇到未知值不能崩"——很关键，新增枚举值是最常见的破坏性变更。

- 答"字段缺失时用默认值"——可以，但要小心默认值本身带来语义错误。

- 收口：三条合起来是结构可扩展、缺省有定义、未知不致命。

> **易错点 / 考点：** ① 常与上一页对比出题："服务端兼容与客户端兼容的区别"——一个是纵向升级链，一个是横向多版本并存；② 易错点：认为"用户会及时升级"——现实中版本碎片长期存在；③ 常考简答"接口演进要注意什么"，答题要提"新增可选字段、未知枚举值容错、版本策略"。

> **过渡：** 版本兼容是代码之间的事，数据兼容是数据之间的事。后者更容易被忽略，也更难修。

【7.114】最常见的数据兼容性问题？（2 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 老版本导出的表格，新版本一打开，中文全是问号。这就是数据兼容问题最常见的脸。

>

> 课件问的是：最常见的数据兼容性问题是什么。它给了三个现象。

>

> 第一个，文件打不开。老版本生成的文件新版打不开，或者别的软件生成的本软件打不开。原因通常是格式变了、编码变了，或者新版本把校验收严了。严格化本身也是一种不兼容。

>

> 第二个，数据显示不对。文件打开了，内容错位：中文乱码，日期差一天，金额小数点挪位，列表顺序变了，字段串了。这一类最阴，因为系统不报错。用户以为是对的，直到某天核数对不上。静默的错误比崩溃危险得多。

>

> 第三个，系统崩溃。读到预期之外的结构直接崩：空指针、数组越界、解析异常没处理。这说明代码对外部数据的健壮性不够，而这类数据多半来自旧版本或别的系统。

>

> 三个现象背后是一句判断。数据兼容测试的核心不是能不能读，是读出来的东西对不对。读错了会不会崩，同样要问。

>

> 所以测的时候问四句：能读吗？读全了吗？读对了吗？读错的时候系统怎么反应？最后一句最常被漏。正确的做法是明确报错并拒绝处理，最糟的是带着错数据继续往下算。

>

> 还有一个容易忘的方向：数据会往回走。用户升级后可能回滚，可能把新文件发给老版本的人，可能用新版导出再导进老系统。所以不能只测新读旧，还得测旧读新。

提问：为什么"数据显示不对"比"文件打不开"更危险？

预设回答：

- 答"因为不报错，没人发现"——正是核心。打不开至少知道坏了，显示错了会一路错下去。

- 答"因为可能影响决策"——对，报表数字错了，业务决策就跟着错。

- 答"因为难追溯"——也是，等发现时已经攒了一堆错数据，清理成本极高。

- 收口：所以数据兼容测试必须做内容比对，不能只看"有没有抛异常"。

易错点 / 考点：① 三个现象是常考填空；② 易错点：只测"能否打开"，不测"内容是否正确"——这是数据兼容测试最典型的漏测；③ 常考判断"只要程序不崩溃，数据兼容就没问题"——错，静默数据错误危害更大。

过渡：数据兼容分两种情况：同一个系统的新旧版本之间，和不同系统之间。先看前者。

【7.115】相同系统之间的数据兼容（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

代码可以回滚，数据不行。这一节最重的一句话，先放在这儿。

>

> 同一个系统内部的数据兼容，图上有两个方向。

>

> 第一个方向，客户端和服务端之间的数据文件。图上写的是上传旧版、下载新版数据文件。客户端升级了，它要处理的文件可能是旧客户端传的。反过来，服务端生成的新格式文件，还支持的老客户端也得能打开。

> 这一层的关键是格式版本号。文件里带一个版本标记，程序读到之后按对应规则解析，而不是一律按最新格式读。

>

> 第二个方向，软件和数据库之间。图上两条：新版本软件存取历史数据，原版本软件存取 DB 新 schema 的数据。前者是新读旧，后者是旧读新。难度完全不同。新读旧是设计时就得保证的，向后兼容。旧读新通常做不到，所以工程上只保证回滚窗口内的兼容。

>

> 贯穿两者的动作是 DB schema 升级。加表、加字段、改类型、加索引，最容易出事。四条经验规则：加字段给默认值或允许为空；不改字段类型和含义；不删字段，先标废弃；大批量变更要可重入、可中断、可续跑。

>

> 为什么这页值得慢讲？因为它对应"升级后数据全乱"这类事故。可怕的地方是不可逆。代码能回滚，数据写错了要一条一条修。

>

> 所以结论说重一点：动数据结构之前，先想清楚怎么退回去。这不是保守，是对已经在库里那批数据负责。

> **提问：**"旧版本软件读取新 schema 的数据"为什么通常做不到？那工程上怎么处理？

> **预设回答：**

- 答"因为旧代码不认识新字段"——对，而且可能因为多余字段直接报错。

- 答"所以只能保证回滚期内兼容"——正是实务做法：不改语义，只加可选字段。

- 答"可以用视图或中间层隔离"——很专业的思路，数据库视图或接口层做适配。

- 收口：保证不了"永远可回滚"，就保证"回滚窗口内可回滚"，并把窗口写进升级方案。

> **易错点 / 考点：**① 两个方向（新读旧／旧读新）与结论是高频考点：**新读旧必须保证，旧读新靠回滚窗口**；② schema 变更的四条规则常考简答；③ 易错点：认为"加了字段不影响老代码"——很多序列化框架对未知字段是严格模式，会直接失败。

> **【思政落点 12】**：库里那批数据不是测试数据。它们是用户几年攒下来的订单、病历、成绩、流水，没有"重

跑一遍"的机会。技术上，加一个字段只是几秒钟；对数据来说，可能是不可逆的改写。所以定三条规矩：改结构前先想回滚，跑脚本前先做备份，批量变更要能中断能续跑。这种动手前先想后果的习惯，就是工程人员对他人财产的尊重。

> **过渡：**同一个系统内部尚且如此，不同系统之间的数据兼容，难度还要再上一格。

【7.116】不同系统之间的数据兼容（2 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

从 Word 里复制一段，粘进网页编辑器，格式全散了。这事天天发生，很少有人把它当兼容性缺陷去测。

>

> 不同系统之间的数据兼容，图上列了三组来源。微软的 Word Editor，跑在 Windows 11 上。苹果的 Word Editor，跑在 Mac OS X 上。IBM Lotus 的 Spreadsheet，跑在 Windows 11 上。右边五种互通方式：网络导入导出、文件导入导出、文件加载保存、剪切复制粘贴、备份。

>

> 这五种就是五条数据进本系统的通道。每条通道都是测试对象。很多人只测文件导入导出，另外四条不测，真实使用时就出事。

>

> 网络导入导出，走接口或协议。编码、时区、精度、字段长度都得对。

>

> 文件导入导出，盯格式版本、字符集、换行符、BOM、分隔符、日期格式。

>

> 文件加载保存，直接打开别人的格式，或者在别人的软件里打开你的文件。这条最考验解析器的健壮性。

>

> 剪切复制粘贴，最容易被漏的一条。剪贴板里同一份内容可能同时有 HTML、RTF、纯文本三个版本。系统取哪一个、怎么清洗，决定会不会乱码，也决定会不会把脚本一起粘进来。这又回到 XSS。

>

> 备份，备份出来的数据能不能在新版本、新环境里恢复。没验证过恢复的备份，等于没有备份。

>

> 还要引一个判断：跨系统兼容的目标不是完美还原，是关键信息不丢、语义不错。字体行距这类东西跨系统几乎不可能一致。力气要放在金额、日期、编号、状态这些不能错的地方。

>

> 测法按格式乘通道做矩阵，每种格式过每一条通道。

> **提问：**为什么"剪切复制粘贴"这条通道最容易被漏测，却又最容易出问题？

> **预设回答：**

- 答"因为它不算功能"——正是这种想法，它没有专门的按钮，藏在用户习惯里。

- 答"因为剪贴板内容格式复杂"——对，同一份内容可能同时有 HTML、RTF、纯文本三个版本。

- 答"因为还会带进脚本"——很关键，粘贴是最经典的存储型 XSS 入口之一。

- 收口：所以粘贴要测两件事：格式还原得对不对，危险内容有没有被清洗。

> **易错点 / 考点：**① 五种互通通道是常考多选，"备份"也算一种数据兼容场景；② 易错点：只测导入导出，漏掉剪贴板与备份恢复；③ 常考判断"跨系统兼容要求显示效果完全一致"——错，目标是关键信息与语义正确。

> **过渡：**真实系统往往不只两种格式，而是能读很多种、能写很多种。这就是下一页的复杂案例。

【7.117】数据兼容性更复杂的案例（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 格式是越多越好吗？做过导入导出的人都明白，多支持一种就多一堆坑。图上四个动作叠在一起：导入下列格式文件、读取或导出下列格式文件、读取已有文件、另存为。最后一个还标了 better。

>

> 拆成四种能力看。

>

> 导入：把外部格式读进来，转成内部模型。要点是畸形输入。字段缺失、顺序颠倒、多余字段、超长字段都要试。空文件、超大文件、编码不是 UTF-8、带特殊字符和公式，也都要试。导入的健壮性，决定系统会不会被一个脏文件搞崩。

>

> 导出：把数据写成外部格式给别人。要点是对方能不能正确打开。这得真拿目标软件去开，而不是看自己系统里显示正常。导出的正确性只能由接收方判定。

>

> 读取已有文件：关键词是已有。历史文件、旧版本文件、别人给的文件。它们往往不合你现在的假设：没版本号、字段缺失、用了废弃的取值。要点是向后兼容的边界。最老支持到哪一版？超出范围是明确报错，还是静默出错？

>

> 另存为：课件标了 better，意思是推荐支持。为什么推荐？它是用户的逃生通道。新版打不开或者写坏了，还能另存成通用格式把数据保下来。不给导出通道的系统，等于把用户的数据锁死。

>

> 四种能力乘上格式，就是一个矩阵。行是格式，列是四个动作，每格都要有用例。用例数量涨得很快，这正是下一页要用组合测试压下来的原因。

>

> 最后一句：格式兼容有成本。支持得越多，维护越贵，安全风险越大，解析器本来就是最容易被攻击的组件。所以产品要写明支持哪些格式、支持到什么程度，而不是尽量都支持。

提问：为什么说"导出的正确性只能由接收方来判定"？

预设回答：

- 答"因为自己系统里看着正常，不代表文件合规"——正是，可能用了私有扩展，可能编码不对。

- 答"因为对方软件更严格"——对，很多软件对格式的校验比生成方严得多。

- 答"所以要拿目标软件实际打开"——这是唯一可靠的验证方式，也最常被省略。

- 收口：正确姿势是闭环验证：导出、用目标软件打开、比对关键字段、再导回来比一遍。

> **易错点 / 考点：** ① 四种能力与各自测试要点是常考简答；② 易错点：把"导出成功"当成"导出正确"；③ "另存为"的价值要答得到——它是数据可迁移性的保障，也是避免厂商锁定的手段；④ 常考判断"支持格式越多越好"——错，要看维护成本与解析安全风险。

> **过渡：** 格式和动作一乘，用例就炸了。怎么在有限时间里盖住尽可能多的组合？这就是组合测试要解的问题。

【7.118】软件环境(组合)兼容性测试（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 四个系统乘五个浏览器乘四种分辨率，你先算算多少种。

>

> 操作系统 4 种，浏览器 5 种，分辨率 4 种，语言 3 种，网络条件 3 种。乘起来是 4×5×4×3×3，720 种。全测一遍，不现实。

>

> 课件给两个方法：Pairwise 组合测试，正交实验法。

>

> Pairwise 的思路是：绝大多数缺陷由两个因素的交互触发。三个以上同时交互才出的缺陷，比例很低。所以只要保证任意两个因素的每一对取值至少出现一次，就能用很少的用例盖住大部分风险。720 种压下来，通常二三十条就够。

>

> 正交实验法思路相近，但它用正交表保证各因素各水平的均衡搭配，适合因素和水平都规整的场景。区别是常考点。pairwise 管两两覆盖，正交表管均衡。正交表还能做极差分析，看出哪个因素影响最大。

>

> 课件还有一句关键的：根据市场调查数据，设计组合矩阵表。意思是组合不能凭感觉选，得先知道用户真在用什么。八成用户在 Windows 上用 Chrome，那一格必须优先、必须深测。只占千分之三的组合，

> pairwise 盖到就行。

>

> 完整的方法链是五步。先列因素和水平，再查市场占用数据。用 pairwise 或正交表生成组合，按占用率分配测试深度。最后把矩阵表沉淀下来。

>

> 最后一句要说清：组合测试能压用例，是因为它假设缺陷主要来自两两交互。有些缺陷要三个因素同时满足才出现，比如特定浏览器加特定语言加特定时区。高风险的地方还是得补针对性用例，不能全指望组合。

> **提问：**为什么"两两组合"能在用例数量大幅下降的同时，还保持较高的缺陷发现率？

> **预设回答：**

- 答"因为大部分 bug 是两个因素交互引起的"——这是 pairwise 的理论前提，也是它的边界。

- 答"因为三因素交互的 bug 很少"——对，比例低但不为零，所以高风险处要补测。

- 答"因为随机测也能测出来"——不对，pairwise 的价值恰恰是系统性地保证覆盖，不是碰运气。

- 收口：说清它的假设，比记住它能省多少用例更重要。假设不成立的地方，就是它失效的地方。

> **易错点 / 考点：**① pairwise 与正交实验法的区别是常考简答：**前者保证两两覆盖、用例最少；后者用正交表保证均衡、可做因素影响分析**；② 易错点：认为组合测试可以完全替代针对性测试——它对三因素以上的交互覆盖不足；③ 常考计算题：给因素与水平数，问全组合数，再问 pairwise 大致量级。

> **过渡：**组合测试压的是因素之间的关系。还有一种矩阵是系统之间的关系，收个尾。

【7.119】小结（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 向后兼容，向前兼容。这两个词每年都有人答反。

>

> 课件写得很干脆：向后兼容是能使用之前版本的数据，向前兼容是能使用未来版本的数据。记法看方向。新版本读旧数据，叫向后，因为它往后看。旧版本读新数据，叫向前，因为它往前看。

>

> 实务结论要背下来：向后兼容必须保证，向前兼容只在不破坏结构的前提下尽量做。新版本知道你过去写过什么，旧版本猜不到你未来会写什么。

>

> 第二组是动作：升级、迁移、备份、恢复、导入导出。五个动作都是数据在动，也就是数据兼容的高发区。它们的关系不一样：升级和迁移是主动改，备份和恢复是保险，导入导出是跟外界交换。测的时候要两两组合，比如升级失败后恢复备份、导出后导入到新环境。真实事故就长这个样子。

>

> 第三组是范围：硬件兼容、系统之间兼容、数据之间兼容。三条对应三个问题层次。硬件层问跑不跑得起来，系统层问能不能配合，数据层问读出来对不对。

>

> 收一句：兼容性测试是在环境发散和资源有限之间做取舍。先用组合方法压缩，再用市场数据排序，最后把结论固化成矩阵表。

>

> 还有一个容易被跳过的产出：兼容性结论要写成支持矩阵。明确写支持哪些环境、不支持哪些、不支持时什么表现。这份矩阵既是测试结论，也是对用户的承诺。

提问：如果一个产品文档只写"支持 Windows"，你会追问哪几个问题？

预设回答：

- 答"哪个版本，Win7 还是 Win11"——必要，版本差异很大。

- 答"32 位还是 64 位"——也很关键，很多兼容问题就出在这儿。

- 答"不支持的时候是什么表现"——这一问最专业，明确失败方式比扩大支持范围更重要。

- 收口：所以支持矩阵要三列：环境、支持状态、不支持时的表现。三列齐了才算写完。

易错点 / 考点：① 向后兼容与向前兼容的定义是**高频易错点**，务必按"新读旧／旧读新"来记；② 五个动作（升级・迁移・备份・恢复・导入导出）常考多选；③ 易错点：认为"兼容性测试做完就完了"，漏掉"支持矩阵"这个交付物。

> **过渡：**兼容性讲完，7.3 结束。下面进 7.4 可靠性测试，这一节有一半内容是近几年才流行起来的。

【7.120】7.4 可靠性测试（2 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 日活百万的系统，大促前怎么证明它扛得住？这一节回答这个问题。

>

> 课件在经典内容之外加了一句：增加了现在流行的全链路压测和混沌工程。还给了定位：全链路压测属于稳定性工程，但也可以算性能测试的一类。

>

> 这句信息量不小，拆三层。可靠性的经典内容是成熟性、容错性、易恢复性，问的是系统能不能稳定运行。近几年业界把它扩成稳定性工程，问的是真实流量、真实故障下还扛不扛得住。全链路压测和混沌工程是这套实践的两个抓手。一个把真实规模的流量灌进去，一个把真实世界的故障注进去。

>

> 这两个为什么必要？传统性能测试有个致命缺陷：它测的是测试环境在模拟流量下表现如何。生产环境的数据量、调用链深度、依赖数量、网络拓扑，跟测试环境不是一回事。测试环境压出一千 TPS 很高兴，上线三百 TPS 就雪崩。中间差的就是全链路和真实数据。

>

> 这一节的顺序是：先讲可靠性的三个度量维度，再讲容错性测试，然后重点讲全链路压测。从需求、流量控制、平台原理、数据处理、录制回放、全流程，一直到开源实现 Takin。

>

> 带着一个问题听：给一个日活百万的系统做一次"扛不扛得住大促"的验证，你会怎么设计？讲完这一节，你要答得出来。

> **提问：**为什么"在测试环境压出很高的 TPS"这件事，说服力有限？

> **预设回答：**

- 答"因为数据量不一样"——对，索引命中率、缓存命中率全变了。

- 答"因为调用链短"——很关键，测试环境常把下游 mock 掉，真实环境要穿透十几个服务。

- 答"因为网络和中间件配置不一样"——也对，连接池、超时、重试策略的默认值经常不同。

- 收口：所以压测结论必须标注在什么环境下得出，否则这个数字没有意义。

> **易错点 / 考点：** ① 课件给的定位句要记准："全链路压测属于稳定性工程，也可以算性能测试的一类"；② 易错点：把可靠性测试等同于"跑久一点看会不会挂"——那只是成熟性的一部分；③ 常考简答"为什么需要全链路压测"，答题要点：环境差异、链路完整性、真实数据分布。

> **过渡：** 先把可靠性的度量口径讲清楚，后面所有讨论才有依据。

第 7 章讲稿（7.121–7.140，v3）

> 锚点与课件一一对应，不增删页。取消板书。口播按四拍：起 → 推 → 收。

【7.121】可靠性测试方法（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 不出故障，就叫可靠吗？这个直觉一半对，一半很危险。

>

> 课件给的定义是：在规定的一段时间和条件下，软件把性能水平维持住的一组属性。定义里藏着两个限定词，"规定的一段时间"和"规定的条件"。为什么非要有这两句？因为可靠性没法脱离时间和环境谈。同一套系统，跑一周没事，跑一年呢？测试环境没事，双十一呢？把这两句删掉，"可靠"就成了空话。

>

> 这组属性拆成三个子特性度量：成熟性、容错性、易恢复性。三个各管一段。

>

> 成熟性，说的是系统不出故障的能力。课件给的量法是错误发现率 DDP，公式是测试发现的错误数量，除以已知的全部错误数量。这里方向容易记反：DDP 越小，软件越成熟。小反而好，为什么？因为分母是"已

> 知的全部错误"，里面算进了更早阶段就抓到的那些。测试阶段发现的占比低，说明前面的评审和单元测试把大部分挡住了。

>

> 容错性，说的是出了故障还能接着提供正确服务。比如下游超时，系统降级返回缓存，而不是直接报错。这一项下面单独一节讲。

>

> 易恢复性，说的是坏了以后恢复得多快、多完整。课件的测法是：先设法模拟让系统崩溃、失效，再算系统和数据恢复的时间，据此评估。所以它有两个维度，恢复时间，还有恢复的完整度，数据丢没丢、状态错没错。

>

> 三个收到一句：成熟性管少出事，容错性管出事不倒，易恢复性管倒了能起来。落到测试设计上，三种手段不通用。成熟性靠长时间运行加缺陷数据分析。容错性靠故障注入。易恢复性靠破坏再恢复的演练。

提问：DDP 越小越成熟，这个方向和大多数指标相反。你能讲清为什么吗？

预设回答：

- 答"因为它算的是测试阶段发现的占比"——对，分母是已知的全部错误，包含更早阶段拦下的。

- 答"测试阶段发现得少，说明前面拦住了"——准确，这就是"过程成熟"的意思。

- 答"那测试越弱，DDP 不也越小"——这个反问很好，陷阱确实在。前期没发现、测试也没发现，DDP 一样小。所以它得配合逃逸缺陷数一起看。

- 收口：单个指标都能被操作，度量要看一组数，不是一个数。

易错点 / 考点：① DDP 越小越成熟，方向高频错，别记反；② 三个子特性的名称和含义常考连线；③ 易恢复性要答出恢复时间和数据完整性两个维度，只答"恢复得快"不完整。

过渡：三个子特性里，"出事不倒"这一项得先把系统弄坏才测得出来。

【7.122】容错性测试（2 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

有一类测试，天生就是去搞破坏的。

>

课件先给了定性：容错测试是一种对抗性的测试过程。对抗性三个字要抓住。它不验证正常功能，它主动制造故障。

>

具体怎么做？通过各种手段让软件强制性地发生故障，或者把应用、系统放到模拟的异常条件下，逼它出故障。课件举了两个例子：设备输入输出故障，无效的数据库指针和关键字。

>

从这两个例子能看出两类故障源。一类是环境类：I/O 出错、网络断、磁盘满、时钟漂。另一类是数据类：无效指针、无效关键字、脏数据。前者模拟世界不正常，后者模拟数据不正常。两类都得造。只造一类，容错能力只测了一半。

>

课件还有一句判断分量很重：之前有故障注入测试，现在有混沌工程，目前掌握混沌工程更有意义。这是在指方向。

>

故障注入是"我知道哪里可能坏，我去把它弄坏"。混沌工程是"我不知道哪里会坏，我在受控的实验里制造真实故障，看系统整体怎么反应"。差别落在三点：范围，单点还是系统级；环境，测试环境还是生产；驱动方式，预设故障还是实验驱动。

>

但混沌工程不是胆子大。它有三个前提。一是稳态指标要明确，比如成功率、延迟分位数。二是爆炸半径要控，先小范围、随时能中止。三是有监控和回滚预案。三条缺一条，那就不叫混沌工程，那叫闯祸。

>

测完怎么判？三条。故障发生时核心功能还在不在，降级有没有生效。恢复之后数据一致不一致，有没有丢

> 单、重复。用户有没有拿到明确反馈，不是白屏，不是无限转圈。

>

> 所以这项测试考的不是"不出故障"，是"出了故障以后系统怎么表现"。

> **提问：**混沌工程为什么强调在生产环境做，只在测试环境不行？

> **预设回答：**

- 答"测试环境没有真实流量"——对，没流量就观察不到影响面。

- 答"生产环境的依赖关系才是真的"——很准，测试环境常缺依赖、走 mock。

- 答"所以风险大，得控爆炸半径"——正因如此才有先小范围、能中止这条规矩。

- 收口：混沌工程不是更大胆的破坏，是更严格的实验设计，风险控制写在方法里。

> **易错点 / 考点：**① 容错性测试等于对抗性测试，这个定性常考；② 故障注入与混沌工程按范围／环境／驱动方式三点对比；③ 别把混沌工程当成随便杀进程，它得先有稳态指标和爆炸半径控制。

> **过渡：**容错性测的是坏了怎么办，接下来这块测的是真实规模的流量来了扛不扛得住。

【7.123】全链路压测（2 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 测试环境里压出来的那个漂亮数字，敢不敢拿去汇报？

>

> 前面 7.1 讲的性能测试，是在测试环境用 JMeter 这类工具压单个服务、单条链路。全链路压测要回答的是另一层问题。

>

> "全链路"这三个字有三层意思。

>

> 第一层，链路要完整。从用户入口压起，CDN、网关、负载均衡，一直压到最底下的数据库、缓存、消息队

> 列。中途每一次 RPC 都在链路上，一个都不许 mock。为什么这么较真？因为瓶颈常常不在你以为的地方。应用层 CPU 才三成，数据库连接池已经满了。

>

> 第二层，流量要真实。请求比例、参数分布、用户的思考时间、数据的倾斜程度，都得像生产。压测不是同一个请求重复一百万次。那样缓存全命中，第二次之后连库都不查，你测的是缓存，不是系统。

>

> 第三层，数据要隔离。这是全链路压测最难的工程问题。压测会产生写操作，写进去的订单、库存、余额会污染真实业务。所以得有影子库、影子表、流量标记、挡板。后面讲 Takin，它把 0 侵入加数据隔离当核心卖点，原因就在这儿。

>

> 那它值钱在哪？大促、秒杀、开学选课、春运抢票，这类场景的特点是短时间、极高并发、全链路承压。测试环境永远模拟不出来，所以它是唯一可信的验证手段。

>

> 这一节后面会一层层展开。为什么要做，流量怎么控，平台怎么搭。数据怎么准备，流量怎么录怎么放。流程怎么组织，开源实现长什么样。顺序别倒。先想清楚为什么，再谈怎么做，否则就成了堆工具。

提问：同一个请求重复一百万次那种压法，结论为什么不可信？

预设回答：

- 答"缓存全命中了"——最直接，第二次起就不查库了。

- 答"没有数据倾斜"——对，真实流量的热点分布很不均匀。

- 答"读写比例不对"——也在点上，纯读和读写混合的瓶颈完全是两件事。

- 收口：所以脚本里得有流量模型，接口比例、参数分布、读写比、思考时间，四样齐了才算模拟。

易错点 / 考点：① 三个特征（链路完整、流量真实、数据隔离）是核心考点；② 易错点：把全链路压测等同于用更多压力机，关键在链路和数据，不在并发数；③ 简答"与普通性能测试的区别"，落到环境、链路、数据、隔离四点。

过渡：那到底什么情况下必须做？课件把需求单列了一页。

【7.124】全链路压测的需求（2 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

不是所有系统都值得做全链路压测，这句先说在前面。

>

因为它太贵。要改中间件、要备影子库、要几拨团队一起上、要在生产环境动手。所以"要不要做"本身就是一个判断考点。

>

四个触发条件。

>

第一，有明确、可预期的流量峰值。大促、秒杀、抢购、开学选课、节假日出行，曲线是已知的，峰值躲不过去。既然知道要来，就得提前验。

>

第二，系统大到单点压测没意义。一条业务链路经过十几个服务、几个中间件、多个数据源。你单独压一个服务，那个数字跟整体表现没关系。瓶颈在链路里，不在服务里。

>

第三，容量决策要数据支撑。扩几台机器、数据库要不要分库分表、缓存开多大，靠拍脑袋加去年经验，很容易估错。压测给的是容量水位：当前配置扛多少、卡在哪个节点、扩哪里最划算。

>

第四，稳定性有硬要求。金融、医疗、政务、电商交易，一次故障代价太高，验证这笔钱花得值。

>

反过来，什么情况可以不做？流量平稳、链路短、能降级、故障代价小，做常规性能测试加监控就够了。做不做全链路压测，不是专业不专业的分界线，是成本和风险配不配的问题。

>

> 还有个现实约束：它要跨团队。业务、测试、运维、DBA、中间件团队都在场。所以通常是专门的稳定性团队牵头，一个测试人员独立干不了。这也是后面要讲压测平台的原因，平台就是把这摊复杂性收进去。

> **提问：**一个内部管理系统，日活五百人，要不要做全链路压测？

> **预设回答：**

- 答"不用"——基本对，补一句：常规的性能验证和容量评估还是得有。

- 答"要看有没有峰值"——很专业的判断，月末结算、批量导入也可能是尖峰。

- 答"做了更保险"——投入产出不划算，压测成本可能超过系统本身的价值。

- 收口：判断标准是故障代价乘峰值概率，跟压测成本比一比，不是看别人做没做。

> **易错点 / 考点：**① 四个触发条件是常考简答；② 易错点：以为重要的系统就得做，要看链路复杂度和峰值特征；③ 判断"全链路压测只能测试团队独立完成"——错，它靠多团队协作加平台支撑。

> **过渡：**决定要做，第一个技术难题就是怎么保证灌进去的流量不把真实业务搞乱。

【7.125】系统流量控制（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 压测最怕的一件事，是把生产压出事。所以这里先讲怎么刹车，再讲怎么加力。

>

> 图里画的是一条完整的下单链路。订单进管道，出 MQ 消息，到预分拣。再出 MQ 消息，到任务分发，最后落到下游系统。下游还分系统、机房、分组。链路下面是线上应用集群，画成一排 Docker，一号到九号。流量来源标着互联网生产流量。链路中段两处标了憋洪和泄洪，下面集群两侧标了阻塞和泄洪。

>

> 三个机制，一个一个说。

>

> 第一个，流量标识与路由。压测流量进来的时候必须带标记，一般是 HTTP 头里的一个特殊字段。中间件认出这个标记，把请求路由到影子库、影子表、影子缓存。压测的写操作落在另一套存储上，真实数据不受影

> 响。数据隔离就是这么实现的。

>

> 第二个，憋洪和泄洪。憋洪是把流量先攒在入口，等所有节点就绪、监控到位，再统一放。为什么非憋不可？因为压测要的是瞬时并发。流量慢慢涨上去，你永远看不到峰值那一刻系统的样子。憋洪还带一个好处：想停就停。流量没放出去，风险还在自己手里。

>

> 第三个，阻塞和限流。图上标的是阻塞加泄洪。系统水位过了阈值，就主动把流量挡住，别把自己压垮。这一条在生产环境里是硬要求。你可以在生产上压测，但不能把生产压死。

>

> 这里回答的是一个矛盾：全链路压测必须在生产环境做，不然不真实；生产环境又不能出事故。解法就是这三样。标记隔离数据，憋洪造出峰值，限流兜住底线。

>

> 一句话，压测的第一原则不是压得多狠，是随时能停。

> **提问：**憋洪这个动作，对压测结论的有效性为什么是必需的？

> **预设回答：**

- 答"要制造瞬时并发"——正是，慢慢涨上去测不到峰值表现。

- 答"得等节点都就绪"——对，监控、影子库、挡板得先确认到位。

- 答"出问题能马上取消"——很关键，流量攒在入口，风险可控。

- 收口：所以憋洪一半是技术手段，一半是风险控制手段，写方案时得写进流程。

> **易错点 / 考点：**① 憋洪／泄洪、阻塞／限流的含义常考名词解释；② 易错点：把限流当成压测能力不足的妥协，它是保护生产的必要设计；③ 简答"怎么避免污染生产数据"，要提流量标识加影子库表加挡板。

> **过渡：**流量怎么控清楚了，接下来看支撑这一切的压测平台是怎么搭起来的。

【7.126】压测平台原理示意图（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

一次压测，几万台压力机同时发请求。这些机器从哪来，往哪发，谁喊开始？

>

三个问题，对着图上的三块看。

>

谁发压？中间是流量引擎集群，下面分两大类节点。一类是站外分区域节点，挂的是联通、电信、移动，还有第三方 CDN 节点。另一类是站内各机房节点，IDC 机房 A、B、C、D，每个机房里放压力机引擎。

>

为什么非要在站外发？因为真实用户就是从这些入口进来的。只从内网发，DNS、CDN、公网带宽这几段你就测不到。分运营商发还有个用处，某一路带宽被打满这类问题，只有分开压才暴露得出来。

>

为什么机房也要多点？两个原因。压力机自己的网络出口有限，一个机房发不出那么大的量。还有，真实流量不会只打一个机房，跨机房调用这一层得模拟。

>

发到哪？右边是业务系统，首页、购物车、结算页这些。它有两个入口：公网入口走 CDN 和域名，测的是全链路；内网入口直连服务，测的是后端容量。两个入口对应两个目的，别混着用。

>

怎么控？左边是压测平台，管三样东西：脚本、数据、流量控制台。脚本定发什么请求。数据定用什么参数发，压测用的用户、商品 ID、优惠券都在里面。流量控制台定发多少、什么时候发、什么时候停。

>

整套架构的思路就一句：把发压能力和业务系统拆开，用平台统一调度。压力机可以横向加，脚本和数据可以复用，流量可控。这样一次压测的组织成本才降得下来。否则每次都临时找机器、临时写脚本。

>

> 还有一点。图里压力机引擎画了一排，它们不是各干各的。得由统一控制器一起启动，才形成瞬时并发。

> **提问：**压力机为什么要摊到多个机房、多个运营商节点，集中在一个机房不行？

> **预设回答：**

- 答"单机房出口带宽不够"——最直接，压力机自己先成瓶颈了。

- 答"要模拟跨机房调用"——对，真实流量分散在多个机房，集中打一个就失真了。

- 答"要测不同运营商的链路"——很专业，某一路 CDN 或某个运营商的问题只有分区发压才出来。

- 收口：所以发压能力本身也要设计和验证，压不上去，结论就不成立。

> **易错点 / 考点：**① 三大组成（流量引擎集群、压测平台、业务系统）加两个入口（公网／内网）是常考填空；② 易错点：以为压力机越多越好，关键是分布和同步；③ 简答"为什么在站外 CDN 节点发压"，答覆盖公网链路、分运营商、模拟真实入口。

> **过渡：**外面看是集群发压，推进去看，里面是一套完整的调度系统。

【7.127】压测平台原理示意图-2（2 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 外面看是集群发压，推进去看，里面是一条从人到机器的链。

>

> 链子从人开始。压测人员在页面上操作，平台侧存着脚本仓库和数据库。脚本仓库存脚本，哪个场景、哪些接口、什么参数。数据库存场景配置、任务记录、结果数据。

>

> 中间三个服务是核心。任务调度服务管什么时候、把哪个任务、发给哪些 Agent。结果采集服务从各个 Agent 收数据。实时计算服务把这些数据算成指标，TPS、响应时间、错误率、分位数。

>

> 实时两个字为什么要单说？因为压测是动的。你盯着曲线，TPS 掉了、错误率上来了，得当场决定是加压、减压还是喊停。结果要是等压完才出来，这次压测就白跑了。

>

> 再往下是数据通道。Kafka 做消息缓冲，ES 做存储和检索。为什么用这个组合？压测的数据量太大。成千上万个 Agent 每秒上报好几条采样，直接往数据库写，库会被打爆。Kafka 削峰，ES 能聚合查询，这是常见做法。

>

> 再往执行侧。VIP 是统一入口，后面挂多个 Agent，最后一环是控制器。控制器管同步启动。所有 Agent 必须同一时刻开始发，否则并发数根本推不上去。上一页说的统一调度，落到这儿就是这台控制器。

>

> 这条链顺下来，压测平台就不神秘了。它是个分布式任务系统，解决调度、采集、计算、存储四件事。你以后看任何压测平台，包括后面的 Takin，都能很快找到对应模块。

>

> 最后一句实操提醒：平台自己的容量也要算。几万个 Agent 一起上报，采集服务先扛不住，你看到的数据就是失真的。

提问：实时计算这一环能不能省，等压测结束再统一算行不行？

> **预设回答：**

- 答"不行，压测要动态调"——正是核心，曲线异常时得马上做决策。

- 答"为了保住生产"——对，实时看到水位才来得及停。

- 答"事后也得算，但会错过止损时机"——这个回答最平衡，事后分析仍要做，实时是刚需。

- 收口：所以平台的能力指标里，秒级反馈比能压多高更实用。

易错点 / 考点：① 平台内部四大模块（调度、采集、实时计算、存储）常考填空；② 易错点：把 Kafka、ES 当成压测工具，它们是数据通道组件；③ 判断"结果可以压完再统一分析"——错，动态调整依赖实时数据。

过渡：平台能发压了，可发什么数据？这一环最容易被低估。

【7.128】压测数据处理过程（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 很多人以为压测数据就是随便造一批用户和商品。这么想，压出来的结论是假的。

>

> 流程是这样。线上流量数据先进来，过脱敏、筛选、排序。再进数据修正模型加工，然后过数据验证模块。最后形成压测数据池，存下来、分发出去。一部分给压力机集群，一部分回压测平台。右边画的是真实的系统构成。网关、Nginx、应用、大数据平台、核心交换机、MQ、Redis、网盘。课件还专门注了一句，MQ 是消息队列，Redis 代表缓存。

>

> 每个环节为什么在，我一个个说。

>

> 脱敏。生产数据里有手机号、身份证、地址、金额，不脱敏不能用。这不只是合规，也是安全。压测环境的防护等级一般比生产低。

>

> 筛选。不是所有线上数据都适合当输入。得挑有代表性的：活跃用户、真实在架的商品、有效的优惠券。拿一批已注销用户的数据去压，等于没压。

>

> 排序。这一条最容易被跳过。排序是为了造出真实的数据倾斜。真实流量里少数商品扛住大部分访问，你均匀分布地压，热点问题一辈子露不出来。

>

> 数据修正模型。把筛完的数据调成压测要的规模。十万用户要放大到一百万，就按规则生成，同时把分布特征保住。放大不能变成摊平。

>

> 数据验证模块。查这批数据能不能用，字段全不全、关联对不对、会不会一压就触发业务校验失败。没验过的数据，压出来的错误率是假的。

>

> 压测数据池。这是最终产物，统一存、按需分发。为什么要分发？压力机分散在各地，让它们就近取数，别让下载数据成了瓶颈。

>

> 落到一句：压测数据不是造数据，是把真实世界的分布复制一份进来。

提问：排序这个环节为什么会影响压测结论的有效性？

预设回答：

- 答"要模拟热点"——正是，真实流量高度倾斜，均匀压测测不出热点。

- 答"缓存命中率会不一样"——很专业，热点集中时命中高，均匀分布时穿透严重。

- 答"数据库行锁会不一样"——也对，热点商品会产生锁竞争，那是最典型的瓶颈。

- 收口：所以数据得保住分布特征，热点比例、读写比、参数分布，三样都得像真的。

易错点 / 考点：① 处理流程六个环节常考排序题；② 易错点：把脱敏只当合规要求，它同样是压测环境的安全要求；③ 简答"为什么要脱敏和验证"，分安全合规、结论有效两条答。

过渡：数据有了，脚本呢？靠人一个个写接口，成本太高。业界更常见的做法是——把真实流量录下来，再放回去。

【7.129】流量录制回放的过程（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

几百个接口的脚本，三个人写两周。有没有更省的办法？有，把真实流量录下来再放回去。

>

> 图分两块，录制和回放。

>

> 录制这块，靠分光分流和 Agent 把真实流量采下来。过 GoReplay 这类工具处理，落到云盘，或者直接进压测平台。图里还画了 MQ 和缓存，说明采的不只是 HTTP 请求，消息也可能被采。

>

> 关键词是分光分流。它是在网络设备上把流量复制一份出来，原始请求不受影响。这一点很要紧，录制绝不能拖慢生产。Agent 是另一条路，在应用进程里埋点采。拿到的信息更全，能到方法级参数。代价是对应用有侵入。

>

> 回放这块，把录下来的流量按需重新发出去。图上还标了手工上传，意思是除了自动录的，也能人工准备一批请求导进去。

>

> 它值钱的地方三条。第一，脚本自动生成。人工要几周，录一遍就有了。第二，参数真实。录下来的是真实用户的参数组合，各种边界天然覆盖。第三，能复现线上问题。线上出现异常，把那段流量录下来在测试环境回放，比猜快得多。

>

> 但它有三个限制，得说清。

>

> 一，录下来的流量不能直接放大回放。原样回放只是重演。要压测就得放大倍数，一放大就出事：同一批订单重复提交，同一批优惠券重复使用。所以回放前必须做参数化改造，把和幂等有关的字段换掉。

>

> 二，写操作的流量要小心。录的时候是真下单，放的时候打到真库，就是重复下单。必须走影子库。

>

> 三，流量会过期。上个月录的，这个月商品下架、接口改了，一回放全是报错，得定期重录。

>

> 所以它解决的是脚本从哪来，解决不了数据隔离和参数唯一，这两件还得靠平台。

提问：录下来的流量为什么不能原样重复回放一百万次？

预设回答：

- 答"订单号会重复"——最直接，业务校验会挡住，压出来的错误率是假的。

- 答"优惠券只能用一次"——对，这类幂等约束到处都是。

- 答"放大并发是另一个目的，原样回放只是重演"——很到位。

- 收口：所以回放前得改参数，唯一键、时间戳、金额、状态，要换的换，要重算的重算。

> **易错点 / 考点：** ① 录制与回放各自的组件常考连线；② 易错点：认为录制回放等于压测，它只是脚本和参数的来源；③ 简答"录制回放的局限"，答参数唯一性、数据隔离、流量时效。

> **过渡：** 工具链都有了，可全链路压测从来不是一个技术动作，是一次跨团队的项目。

【7.130】全链路压测全流程（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 全链路压测做砸，原因常常不在技术上。

>

> 流程分三段：准备、校验、实施。这几句值得背，因为它讲的是做事的方法，不是工具的参数。

>

> 准备阶段七件事。被压系统范围界定，哪些系统在链路上、哪些不在，边界先画清。场景、流量、方案设计评审，压什么、灌多少、怎么灌，得评审，不能一个人拍。基础数据构造，商品、促销、优惠券这些业务数据。脚本和模型创建调试，脚本要跑通，流量模型要调对。压测方案配置，场景创建、资源准备。压测数据分发，把数据推到各台压力机。最后发布压测实施计划，时间、人员、联系机制、应急预案。

>

> 这七件里，三件不是技术活：范围界定、评审、计划。这就说明失败原因多半出在组织上。谁负责、谁签字、出事打谁的电话，没定清楚，技术再强也压不下去。

>

> 校验阶段三件事。小流量验证，先灌一点点，确认链路通、影子库生效、监控正常。线上压测流量验证，确认流量标记真被识别、数据真落进影子库。机房流量切换，验证切换过程中业务还可用。三件的共同目的只

> 有一个：放大之前，先确认不会出事。

>

> 实施阶段四件事。压测执行加动态调整流量，一边压一边看曲线，要加就加，要减就减。应用降级演练，顺手把降级开关拉一下。机房流量恢复，把流量切回去。压测报告生成，出结论、给容量建议。

>

> 动态调整和降级演练这两项要单说。前者说明压测是探索出来的，不是设个并发数然后等结果。后者说明压测不光测容量，还是验证预案的时机。平时不敢碰的开关，这时候正好拉一下。

>

> 方法就一句：准备占七成，执行占三成。

> **提问：**小流量验证这一步能不能省，直接上大流量不是更快？

> **预设回答：**

- 答"怕把生产打挂"——正是，先小流量是控制爆炸半径。

- 答"要确认影子库真生效"——非常关键，标记没生效，大流量一上去就污染真实数据。

- 答"要确认监控看得见"——对，看不见就没法判断还要不要继续。

- 收口：小流量验的是三件：链路通、隔离生效、监控可见。三件都确认了，才允许放大。

> **易错点 / 考点：**① 三阶段及子项是高频简答和排序题，小流量验证、降级演练最容易被漏；② 易错点：把压测执行当成整个流程，准备阶段的工作量才是最大的；③ 判断"压测就是设个并发数跑一遍"——错，它是验证、放大、调整的探索过程。

> **【思政落点 13】**：这套流程里最不显眼的是校验阶段那三件小事，最容易被砍的也是它们。可"先小流量、再确认隔离、最后才放大"，正是工程上对风险的基本态度：不赌直觉，把每一步都验证过再往前走。落到你们身上，课程设计里少一点"大概没问题"，多一点"我拿一小批试过了"。可靠不是自信换来的，是留好退路换来的。

> **过渡：**流程讲完，最后看平台要提供哪些能力，才算够用。

【7.131】压测平台提供的整体能力（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 一个压测平台，光能压还不够。压完得能说出话。

>

> 课件把能力分成六块，从发什么到得出什么，正好一条链。

>

> 第一块，压测模型。四种发压方式。动态发压，压的过程中随时调流量大小。峰值模拟，模拟真实曲线的尖峰，不是恒定压力。流量回放，把录下来的流量按倍数放出去。智能寻值，自动一步步加压，试探上限，找到拐点。前两个解决像不像，后两个解决省不省力。

>

> 第二块，压测控制。分人工和自动。人工是测试人员看着曲线手动调，自动是按预设策略跑。为什么还留人工？第一次压你根本不知道系统的脾气，得人盯着。摸清了再自动化。

>

> 第三块，数据采集。采六类。压测数据，TPS、响应时间、错误率。日志数据。链路数据，每一跳的耗时。资源数据，CPU、内存、IO、网络。调用数据，下游依赖的调用量和耗时。还有健康状态。为什么要这么全？只压不采等于白压。你只知道慢，不知道为什么慢。

>

> 第四块，智能分析。产出四样。水位告警，哪个资源快满了。结论预研，这次大概能得出什么。容量预期，按当前配置能扛多少。再加上对上面六类数据的综合分析。这一层干的事，是把数据变成判断。

>

> 第五块，评估策略。四个层级：单点容量、场景容量、集群容量、链路容量。分层的好处是出问题时能定位到哪一层不够。

>

> 第六块，评估结论。三样交付物：评估报告、优化方案、风险建议。后两样最要紧。压测的目的不是给个数字，是告诉你要改什么、哪里还有风险。

>

> 整条链看下来，平台的价值不在能压多高，在能不能把结果变成决策。

> **提问：**只压不采的压测，为什么几乎没有价值？

> **预设回答：**

- 答"不知道瓶颈在哪"——正是核心，只知道 TPS 低，不知道改哪里。

- 答"定位不到具体服务"——对，链路数据才能告诉你哪一跳慢。

- 答"下次还得从头摸"——很实际，没有数据沉淀就没法横向对比。

- 收口：所以压测的产出是数字加归因，只有数字的报告不合格。

> **易错点 / 考点：**① 六块能力及各子项常考多选和连线，智能寻值、水位告警最容易漏；② 易错点：把压测平台理解成压力机集群，前者是管理平台，后者只是执行端；③ 简答"压测报告要包含什么"，答容量结论、瓶颈归因、优化建议、风险提示。

> **过渡：**能力清单摆完了，看一个具体实现，开源的 Takin。

【7.132】现在来看开源的 Takin（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 有一套方案，敢在生产环境直接压下单接口。它凭什么敢？

>

> 这是 Takin，中文名羚牛。课件的定义是这一句。Takin 基于 Java 语言开发，是一套生产全链路压测系统。它能在无业务代码侵入的情况下，嵌入各个应用程序节点。实现生产环境的全链路性能测试，适用于复杂的微服务架构系统。

>

> 这句定义里有四个点，每个点背后都是一个工程难题。

>

> 第一，基于 Java。这决定了它的接入方式是 Java Agent，靠字节码增强在运行时织入逻辑，所以不用你改

> 代码。也决定了它的适用范围：Java 微服务系统。

>

> 第二，业务代码 0 侵入。课件专门列了一条：接入、采集和实现逻辑控制时，不需要改任何业务代码。为什么这件事这么要紧？每个系统接入都得改代码的话，全链路压测根本推不动。几十个团队、上百个服务，改一遍要一年，每次发版还得维护。0 侵入是能落地的前提。

>

> 第三，数据安全隔离。课件原话是：不污染生产环境业务数据，可以在生产环境对写类型接口做直接的性能测试。后半句是分水岭。很多方案只能压读接口，写操作会脏数据。敢压写接口，才算真能验证下单、支付这类主链路。

>

> 第四，安全性能压测和性能瓶颈快速定位。前者是在生产上压测不影响业务，后者是结果能直接指出链路里哪个节点卡住。

>

> 这四条是递进关系。0 侵入让它接得进来，数据隔离让它敢上生产，安全压测让它敢压写，瓶颈定位让它压完有用。少一条，这套方案就不完整。

>

> 最后一句：Takin 是开源项目，仓库地址课件给了。开源的价值不只在免费，更在你能看到它怎么做出影子库、怎么打流量标、怎么织字节码。这些设计思路比工具本身更值得看。

提问：敢对写接口做压测，为什么比压到很高的 TPS 更能说明一套方案成熟？

预设回答：

- 答"读接口压测不真实"——对，真实业务一半以上是写操作。

- 答"写会脏数据，得有影子库"——正是难点所在，涉及中间件改造。

- 答"下单链路才是核心"——很到位，压测的价值就在验证交易主链路。

- 收口：判断一套方案，先问写接口敢不敢压，再问能压多高。

易错点 / 考点：① Takin 四个特点（0 侵入、数据隔离、安全压测、瓶颈定位）是标准考点；② 易错点：把 0

侵入理解成不用部署，Agent 还是要装的，只是不改业务代码；③ 判断"全链路压测只能压读接口"——有了影子库，写接口照样能压。

过渡：四个卖点背后是一套具体架构，下一页看它的组成。

【7.133】Takin 架构（2 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

看架构图最容易犯的错，是从左上角开始，一个框一个框念。

>

换个方式，抓主线。任何全链路压测平台的架构，都跑不出四条线。

>

第一条，控制面。平台得有个大脑，管应用、配影子库表、配挡板和白名单、编排场景、下发任务。这一层是控制台加后端服务，人和平台打交道的地方。

>

第二条，数据面。压测流量要在中间件层被认出来、被改写。数据库访问导向影子库，缓存访问导向影子缓存，消息加上标记。数据隔离就发生在这儿。关键点是改写发生在中间件和客户端 SDK 层，不落在业务代码里。这才叫 0 侵入。

>

第三条，采集面。各个应用节点上的 Agent 采链路数据、调用数据、资源数据，汇总回平台。少了这一层，压测只有结果，没有归因。

>

第四条，执行面。压力机按场景和流量模型发压，把结果回传。

>

四条线对应四个问句：谁指挥，数据去哪，怎么看得见，谁来压。拿这四个问句去拆任何一个压测平台，商业的、开源的、自研的，都拆得开。

>

> 还有个设计取向值得说。它是平台加 Agent 加中间件增强拼起来的，不是一个大一统的单体系统。好处是每个应用接个 Agent 就能参与，扩展性好。代价是对中间件版本有要求，你得确认自己的数据库连接池、缓存客户端、消息客户端在支持列表里。

>

> 所以评估这类平台，第一个问题不是它能压多高，是我的技术栈它认不认。

> **提问：**这类平台的技术栈支持范围，为什么常常比性能上限更影响落地？

> **预设回答：**

- 答"不支持就接不进去"——最直接，中间件不在列表里，影子库就打不通。

- 答"改中间件成本极高"——对，很多团队宁可放弃方案也不动中间件。

- 答"业务代码不能动"——很关键，0 侵入的前提就是中间件层能兜住。

- 收口：所以选型第一张表是兼容性矩阵，第二张才是性能指标。

> **易错点 / 考点：**① 四个层面（控制、数据、采集、执行）常考简答；② 易错点：把影子库当成另建一个数据库，它是同一套逻辑下的隔离存储，靠流量标记路由；③ 判断"全链路压测平台与业务代码强耦合"——0 侵入方案正是为了解耦。

> **过渡：**架构讲完，看一眼它实际长什么样。

【7.134】Takin 界面截图（2 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 打开一个压测平台的控制台，第一眼会觉得它像个后台管理系统。别被这个印象带走。

>

> 界面上的信息，说白了就五块。

>

> 一，应用与接入管理。哪些应用接进来了，每个应用的 Agent 状态怎么样，版本一致不一致。这块决定能

> 不能压。

>

> 二，配置管理。影子库表、挡板、白名单都在这里。这三样是数据隔离的配套。影子库管数据写到哪。挡板管某些下游调用要不要拦掉。白名单管哪些流量不参与压测。配错了，要么污染生产，要么压出来的结果不是真的。

>

> 三，场景与脚本。一个场景描述的是一次压测：压哪些接口、什么比例、多少并发、跑多久。脚本描述单个请求怎么发。

>

> 四，任务与执行。发起、看进度、动态调流量、紧急停止。这里最重要的是那个停止按钮，它是最后一道保险。

>

> 五，结果与报表。TPS 曲线、响应时间分位数、错误率、链路耗时分布、瓶颈节点。

>

> 五块看完，有个观念得立起来。这类界面不是点点按钮就出报告的工具，它是一块风险控制面板。你在这里做的每个配置，回答的都是同一个问题：我怎么保证这次压测不出事。

>

> 还有个很实在的建议。第一次用，先在测试环境把整套流程走一遍。应用接进来、影子库建好、挡板配好、小流量验证通过，再去碰生产。这一步省掉，风险就不在你手里了。

> **提问：**白名单配置在生产环境压测里为什么是必需的？

> **预设回答：**

- 答"要排除某些真实用户"——对，避免压测流量影响真实交易。

- 答"要排除特殊接口"——也对，结算、清算这类接口不能重复执行。

- 答"要保证压测流量能被识别"——很专业，白名单常和流量标识配合用。

- 收口：白名单的本质是划一条线，线内是压测，线外是真业务，线划不清就别压。

> **易错点 / 考点：** ① 三件套配置（影子库表、挡板、白名单）的作用常考简答；② 易错点：以为有界面所以很安全，风险取决于配置，不取决于工具；③ 判断"压测可以直接在生产开始，不需要测试环境预演"——错。

> **过渡：** 它从哪来、怎么用，课件给了开源地址。

【7.135】Takin 开源介绍（2 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 课件只给了一个 GitHub 地址，看着没什么可讲的。可怎么用开源项目，本身就是一项能力。

>

> Takin 的仓库在 github.com/shulieTech/Takin。地址记下来，课程设计的参考资料里能用上。

>

> 拿到一个开源压测平台，三件事。

>

> 第一，它可读。你翻它的代码，能看到流量标记怎么实现、数据源怎么改写。还有字节码在哪织进去、影子表怎么命名。这些东西在文档里通常只有一句话，在代码里是完整的设计。所以学它的顺序是：先读架构，再读关键实现，最后才跑起来。

>

> 第二，它可跑。一般路子是这样。看 README 弄清模块划分和部署要求。用 Docker Compose 或官方脚本起一套最小可用环境。接一个示例应用，跑通一次最简单的压测。别一上来就想着接自己的生产系统，先在示例上把链路走顺。

>

> 第三，它可评。四个维度。活跃度，最近有没有提交、issue 有没有人回。文档质量，有没有部署和接入指南。依赖复杂度，要装多少、对中间件版本有什么要求。可维护性，代码结构清不清楚、你能不能自己改。这四条决定它能不能真进项目。

>

> 一句实话，开源不等于零成本。部署、调试、改造、维护都要投人力，出了问题也只能自己查。所以选开源还是选商业，就看你是想用钱换时间，还是用时间换钱。

>

> 给课程设计一句建议：把它当读源码学架构的样本，别当必须部署成功的任务。你们时间有限，读明白影子库和流量标记怎么设计，收获比装一遍大。

提问：让你判断这个开源压测平台能不能用在项目上，你先看哪三样？

> **预设回答：**

- 答"看它支不支持我们的中间件"——第一优先，接不进去一切免谈。

- 答"看社区还活不活跃"——很重要，停更的项目接手风险大。

- 答"看部署复杂度"——务实，装不起来就用不了。

- 收口：三样合起来是能接入、有人维护、装得起来，这三条过了再谈功能。

易错点 / 考点：① 这块知识点少，常与开源工具评估结合出简答；② 易错点：把开源等同于免费可用，忽略部署和维护成本；③ 仓库地址作为课程设计参考资料记下来就够，不必背具体路径。

> **过渡：**真要用起来，得先把一套配置做完。课件列了七项。

【7.136】Takin 使用（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

配置项列了七条，从上往下一条条填，多半要返工。

>

> 课件列的七项是：应用配置、影子库表配置、挡板配置、白名单配置、链路梳理、脚本配置、场景配置。还给两篇实践文章，news.shulie.io 的 ?p=2987 和 ?p=3661。

>

> 一项一项说它在解决什么。

>

> 应用配置。把参与压测的应用接进来，应用名、部署节点、Agent 版本。这是"哪些系统在链路上"的落地。

>

> 链路梳理。这一项最容易跳过，也最要紧。它要回答：一次请求经过哪些应用、每个应用调了哪些下游、哪些是同步调用哪些走消息。没有链路图，压测结果没法归因。你只知道整体慢，不知道慢在哪一跳。

>

> 影子库表配置。指定压测数据写到哪些库、哪些表。常见做法是同实例不同库，或者同库不同表前缀，让压测数据和生产数据结构一样、物理分开。数据隔离的核心就在这一条。

>

> 挡板配置。挡板用来拦住那些不能真调的下游，真实的支付网关、真实的短信通道、外部结算。压测时让它们返回预设结果，既没有真实副作用，又能把变量控住。

>

> 白名单配置。划清哪些流量参与压测。典型用法是只让带标记的流量走影子库，剩下的走正常路径。

>

> 脚本配置。请求怎么发、参数从哪来、断言是什么。脚本质量决定这次压测像不像真的。

>

> 场景配置。把脚本、流量模型、并发策略、持续时间拼成一个能跑的场面。

>

> 七项里最容易出事的是两项：链路梳理和影子库表。前者决定结论有没有用，后者决定生产会不会被污染。这两项别顺手做，单独拉个评审。至于动手顺序，把链路梳理提到前面。它不清楚，后面全是猜。

提问：挡板配置为什么是压测里不可少的一环，而不是能省则省？

预设回答：

- 答"有些下游不能真调"——正是，支付、短信、外部结算真调会产生真实副作用。

- 答"要控住变量"——很专业，把外部不稳定因素挡掉，才测得出自己系统的问题。

- 答"下游扛不住压测流量"——也对，第三方接口通常有严格限流。

- 收口：挡板的作用是把不可控变成可控，它是实验设计的一部分。

> **易错点 / 考点：** ① 七项配置常考多选；② 易错点：把链路梳理当成画个图看看，它是归因的基础；③ 简答"挡板的作用"，答避免真实副作用、控制变量、保护下游。

> **过渡：** Takin 自己的脚本体系有门槛，所以它还留了一条路，和 JMeter 集成。

【7.137】与 JMeter 集成 -1（2 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 团队里已经攒了几百个 JMeter 脚本，上全链路压测，这些脚本要扔掉吗？

>

> 不用。Takin 能和 JMeter 集成，道理很直白。JMeter 是业界最普及的压测工具，团队上手成本最低。Takin 给的是全链路压测需要的平台能力，影子库、流量标记、链路采集。两边接上，用熟悉的 JMeter 写脚本，用 Takin 的平台能力跑全链路。

>

> 这个组合解决三个现实问题。

>

> 一，脚本资产复用。过去几年攒的 JMeter 脚本不用重写。这一条对落地特别重要。换工具最大的阻力从来不是功能不够，是"我以前的脚本怎么办"。

>

> 二，学习成本低。压测人员不用再学一套脚本语言，还是线程组、取样器、断言、定时器那几样。

>

> 三，能力互补。JMeter 强在发压和脚本编排，弱在生产环境的数据隔离和全链路追踪。Takin 正好反过来。两边拼上，谁都不缺。

>

> 技术上通常是这么接的。Takin 提供一个 JMeter 插件或后端监听器。让 JMeter 发出的请求带上压测标记，

> 结果回传给平台。平台认得出这批是压测流量，就路由到影子库；也收得到结果，能做汇总分析。

>

> 从学习方法上说，这里给了个通用思路：做平台不要什么都自己造。发压引擎这种成熟度极高的部件，直接用开源生态。力气花在隔离、标记、采集、分析这些真正难的地方。很多企业自研压测平台，底层还是 JMeter 或者 Gatling，原因就在这儿。

>

> 一句话，JMeter 解决怎么发，Takin 解决发到生产怎么不出事。

> **提问：**企业自研压测平台，为什么很少从头写一个发压引擎？

> **预设回答：**

- 答"没必要，JMeter 够用"——对，发压引擎的成熟度很难超越。

- 答"自研成本高、收益低"——很准确，这是典型的非核心竞争力。

- 答"自研的价值在隔离和调度"——正是，钱要花在难的地方。

- 收口：选型的原则是复用成熟部件，自研差异化能力。

> **易错点 / 考点：**① 集成的动机（脚本复用、学习成本、能力互补）常考简答；② 易错点：以为集成后 JMeter 就能做全链路压测，全链路能力来自 Takin 的平台侧；③ 判断"发压引擎必须自研才能满足需求"——多数情况下不成立。

> **过渡：**集成的细节，课件还留了一页参考。

【7.138】与 JMeter 集成 -2（2 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 同一份集成文档，有人半小时跑通，有人三天还在报错。差别在读的顺序。

>

> 课件给的是 Takin 和 JMeter 集成的 README。地址在 github.com/shulieTech/Takin-jmeter。具体步骤看文档，我讲怎么读这类文档。

>

> 四步。

>

> 第一步，先看前置条件。要哪个版本的 JMeter，要装什么插件，Takin 平台侧得先配好什么。集成失败十有八九败在这一步被跳过。

>

> 第二步，看数据流。请求从 JMeter 发出去，中间经过谁，标记加在哪，结果怎么回传。把这条链画出来就明白了，集成本质上就两件事：加标记、回传结果。

>

> 第三步，看配置项清单。哪些必填、哪些有默认值、哪些填错不报错。最后这类最坑。配置错了它不吭声，压完了你才发现数据根本没进影子库。

>

> 第四步，看验证方法。文档里一般会写怎么确认集成成功，查一条日志、看一个页面、对一次数据。没有验证步骤的集成，等于没集成。

>

> 这四步不只对 Takin 有用，你以后读任何技术文档都能这么走。

>

> 还有个观念：集成类工作的风险主要在边界上。JMeter 有版本边界，Takin 有版本边界，中间件也有版本边界。三个边界两两组合，就是你要验的矩阵。所以动手之前先列版本矩阵。

>

> 和课程作业相关的一句：课程设计要演示全链路压测，不必真搭一套 Takin。用 JMeter 压一个两三个服务的链路。加上流量标记和影子表的简化实现，把原理讲清楚。这比部署一套完整平台有价值。考的是理解，不是部署能力。

> **提问：**配置错了但不报错，为什么比一启动就失败更危险?

> **预设回答：**

- 答"你会以为成了"——正是，压完才发现数据没隔离，那时已经污染生产了。

- 答"排查成本高"——对，没有报错就没线索，只能靠比对数据发现异常。

- 答"所以得有验证步骤"——这就是第四步存在的理由。

- 收口：判断一个系统做得好不好，看它出错时是不是容易被发现，这叫可观测性。

> **易错点 / 考点：** ① 这块偏方法，考点常落在"集成测试要验证什么"；② 易错点：只看能不能跑通，不看数据有没有正确隔离；③ 判断"集成成功等于压测能发出请求"——错，还要验证标记生效和结果回传。

> **过渡：** 集成好了，压出来的数据怎么看？最后两块讲结果怎么展示。

【7.139】压测结果展示（2 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 压测跑完，一堆曲线摆在面前。有人第一件事是找最好看的那一条。

>

> 结果展示的任务，不是把图做漂亮，是让人在最短时间里做出判断。

>

> 一份结果要回答四个问题，对应四类视图。

>

> 一，系统整体扛住了吗。看 TPS 曲线和错误率曲线。判断标准不是峰值多高，是在目标 TPS 下错误率是不是零、响应时间在不在 SLA 里。TPS 冲得很高、错误率三成，那不叫扛住，那是雪崩前的一瞬间。

>

> 二，响应时间怎么分布的。必须看分位数，P90、P95、P99，不能只看平均值。平均值最会骗人。九成请求 50 毫秒，一成请求 5 秒，平均值可能只有 500 毫秒，可用户体验是十个人里有一个卡死。

>

> 三，瓶颈在哪。看链路耗时分布，每一跳服务、每一次数据库调用、每一次缓存访问占多少。占比最高的那一跳，就是优化目标。

>

> 四，资源水位怎么样。CPU、内存、IO、网络、连接池、线程池。有个常见现象：应用 CPU 才四成，TPS 就是上不去。这时候瓶颈往往在连接池满、线程池满、下游限流这些看不见的队列上。

>

> 形式上，好的报告有一条主线。结论先行，先说能不能扛住目标流量。再给证据，曲线和分位数。再给归因，链路和资源。最后给建议，扩哪里、改什么、预期多少收益。

>

> 结论先行这四个字要单说。报告第一页就要给出判断，不能让读者翻二十页图表自己总结。这是工程沟通的基本功。

提问：压测报告里，平均响应时间这个指标为什么说服力很弱？

预设回答：

- 答"被极端值拉平了"——正是，平均值掩盖长尾。

- 答"用户感受到的是最慢那几次"——对，卡一次就印象深。

- 答"SLA 通常按分位数定"——很专业，SLA 常写成 P99 小于某个值。

- 收口：看性能必须看分布，平均值只能当整体量级的粗参考。

易错点 / 考点：① 分位数（P90／P95／P99）的意义是高频考点，要能解释为什么不用平均值；② 易错点：只看 TPS 峰值不看错误率；③ 简答"怎么定位性能瓶颈"，答链路耗时分布加资源水位加队列类指标。

过渡：结果展示还有一块，讲的是压测概览这个汇总视图。

【7.140】压测结果展示 – 续（2 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

一份压测报告，业务负责人只翻开头那一块。他看的是什么？

>

> 看压测概览。概览干的事，是把一次压测的关键信息压成一页，让没参与的人也能看懂。

>

> 六项内容。

>

> 一，基本信息。什么时候压的、压了多久、压的哪个场景、多少并发、目标 TPS 多少。没有这些，任何数字都没法解读。八千 TPS 是好是坏，取决于目标和环境。

>

> 二，关键指标汇总。实际达到的 TPS、成功数、失败数、错误率、响应时间分位数、最大响应时间。这几项要能一眼看出达到目标没有。

>

> 三，SLA 达成情况。拿实际值和事先约定的指标逐条对比，打勾或者打叉。这一项最见专业度。压测不是看看能跑多快，是验证有没有兑现承诺。

>

> 四，瓶颈排序。按耗时占比或者资源占用排，列出前几个瓶颈节点。这一项决定压测之后干什么。

>

> 五，异常与告警。压的过程中触发了哪些告警、有没有降级、有没有错误日志突增。这些信息往往比平均指标更有用。

>

> 六，结论与建议。一句话结论，能扛、不能扛、有条件能扛，加上具体建议：扩多少、优化哪个接口、调哪个参数。

>

> 有个观念得立住：概览不是简化版报告，它是决策界面。看它的人可能是不懂技术的业务负责人，也可能是要排期改代码的开发负责人。两类人看同一份东西，都得拿到自己要的那部分。

>

> 课程设计里如果你的项目涉及性能，报告里就留这么一块。这块做好了，说明你想清楚了压测是为什么服务的。

> **提问：**目标 TPS 为什么必须写在概览里，不能放到报告后面？

> **预设回答：**

- 答"没有目标就没法判好坏"——正是，八千是高是低，要看目标是多少。

- 答"读者要先看到结论"——对，概览就是放结论的地方。

- 答"目标本身也要被检验"——很专业，目标定得合不合理，也是压测的产出之一。

- 收口：所以第一步是定目标，不是先跑起来，这又回到 7.1 讲的从需求开始明确性能。

> **易错点 / 考点：**① 概览应包含的要素常考简答；② 易错点：把概览理解成几张图，它是结论页；③ 判断"压测报告越长越专业"——错，结论先行、证据可查才算专业。

> **【思政落点 14】**：概览写得好不好，考的是诚实。数据不好看的时候，最容易做的事是挑一条好看的曲线放上去，把分位数换成平均值，把有条件能扛说成能扛。可这份东西是给人做决策用的。你美化一次，别人就照着错的判断去投钱、去排期。把失败数、把没达标的 SLA 写在最前面，是技术人最基本的职业底线。

> **过渡：**全链路压测讲到这儿收完，再往后是平台特点的小结和混沌工程，那是下一片的内容。

第 7 章讲稿（7.141–7.160，v3）

> 锚点与课件一一对应，不增删页。取消板书。口播按四拍：起 → 推 → 收。

【7.141】小结：压测平台特点（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 压测最容易骗人的地方，是首页全绿。首页接口漂亮，QPS 撑到八千，你就以为这套系统能扛。真去按下单，链路里最慢的那一段根本没被压到。结论只覆盖了半个系统。

>

> 一个能干活儿的压测平台，第一件事是协议覆盖够宽。现实系统里不只 HTTP。还有 HTTPS，还有 JSF 这类 RPC。还有 HBase、数据库、各类中间件。为什么这条排第一？压不到落库，就压不出连接池先满；压不到消息，就压不出消费积压。你的结论，只能覆盖你发得出去的那几种协议。

>

> 第二件是发压模式够多。动态发压、智能寻点、标准模式、梯度模式、集合点模式。五种摆在这儿，不是凑数。问题不一样，压法就不一样。要找容量上限，就一级一级往上加，这叫梯度。要复现秒杀那种瞬时洪峰，就让一批请求同时到达，这叫集合点。要边压边调参数，那是动态发压。手上只有一种模式，你就只能回答一种问题。

>

> 第三件是资源分配。资源灵活调度、资源重复使用以减少拉取时间、统筹压力机调度。为什么这也算平台本事？压测机是稀缺的。能不能重复用，直接决定你一天跑几轮。跑不动的组，常常不是没脚本，是每一轮都在等机器。

>

> 第四件是结果查看。压测数据秒级反馈，动态增减压的结果自动分段展示。能算结果区间，还能把应用监控结果采集回来，跟压测曲线放一起看。为什么非要放一起？只看压力曲线，你分不清是系统到顶，还是压力机自己先到顶。这两件事的处置完全不一样。

>

> 四件事收成一句：压不全，等于白压。

> **提问：**如果你们组只有一个只支持 HTTP 的压测工具，要去压"下单→扣库存→落库→发消息"这条链路，你会漏掉哪些风险？

> **预设回答：**

- 答"漏掉数据库压力"——对，而且这是最常见的一层。HTTP 接口的 QPS 上去了，数据库连接池先满。

- 答"消息队列没压到，但队列一般不会挂"——这就想当然了。异步化之后，瓶颈往往从同步链路挪到队列消费端，消费积压会让整条链看起来没超时、实际没结果。

- 答"那就用脚本自己拼协议"——可行，代价高。等于你在自己造一个平台，也正是要讲平台特点的原因：这些能力交给平台，别每个项目重造一遍。

- 收口：压测的覆盖面由协议的覆盖面决定，压不到的组件等于没测。

> **易错点 / 考点：**容易和"性能测试类型"混着考。**发压模式是工具能力**，讲的是压力怎么施加；**性能测试类型是测试目的**，讲的是负载、压力、稳定性、并发。判断题"梯度模式属于压力测试"——不严谨，梯度只是一种加

压方式，可以用在负载测试里，也可以用在压力测试里。答题三步法：先问这条考的是目的还是手段，再看选项落在哪一侧。

> **过渡：**压测能回答"系统扛得住多大流量"，它回答不了另一个问题——某个组件突然死掉的时候，系统会怎样。

【7.142】混沌工程（2 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

压测会给你一个很舒服的答案：这台机器能扛八千。它不回答另一个问题：把一台拔掉，系统还剩下什么。

>

> 两个问题看着像，其实不是一回事。压测是把水龙头开到最大，看管道会不会爆。混沌工程是照着某一根管子敲一下，看整套系统还能不能供水。一个测承载，一个测残缺。

>

> 为什么这个能力现在变得要紧？系统已经不是一台机器上一个程序了。几十上百个服务，上千个实例，跨机房跨云。这种系统里，故障不是意外，是常态。硬盘会坏，网络会抖，某个实例会僵死，某个依赖会超时。你保证不了它不出故障，只能保证出了故障它仍然可用。

>

> 所以这个词得理解准。它不是制造混乱。它是用可控的人造故障，去换真实故障面前的那点确定性。故意让它坏，是为了它真坏的时候不塌。

>

> 定义给一句。混沌工程是分布式系统的实验学科，是一套基于系统的实验，用来提高技术架构的弹性能力。它也是生产里抵御突发事件的复杂技术方案。三个词各有用处。实验，不是破坏。学科，有方法，不是拍脑袋。弹性，目标不是零故障。

>

> 这一节按这条线走。先看复杂系统为什么必然出问题，再看定义、五项原则、四块关键工作、爆炸半径怎么控。然后看它自己的短处，最后落到工具和实践。顺序别打乱。原则没立住就上工具，做出来的只是随机破

> 坏。

> **提问：**一个系统做了完整的压力测试，各项指标都达标，是不是就不需要混沌工程了？

> **预设回答：**

- 答"是，压测都过了就稳了"——最典型的误判。压测验的是满负载下的表现，它不验某个依赖突然不可用时的降级能力。

- 答"不一样，压测里没有故障"——准确。压测的输入是流量，混沌的输入是故障。

- 答"那混沌工程是不是就是拔网线"——拔网线只是最粗的一种注入手段。重点不在拔，在实验设计、稳态判定、爆炸半径控制这一整套方法。

- 收口：两套能力互补，谁也不能替代谁。

> **易错点 / 考点：**名词辨识是必考点。**故障注入是一种技术手段，混沌工程是一套工程方法**——后者包含假设、实验设计、稳态标准、爆炸半径控制、报告改进，不只是注个故障看看。判断题"混沌工程等于随机破坏生产环境"——错，恰恰相反，它的第一原则就是最小化影响范围。

> **过渡：**要说清为什么必须做，得先看清今天这套系统复杂到了什么程度。

【7.143】从复杂到混沌（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 一个请求进来，要过几道关卡？你数一遍。网关、认证、商品、库存、订单、支付、消息、缓存、数据库。中间还夹着服务发现、配置中心和监控探针。

>

> 组件一多，每次请求要过的环节就多，而每个环节都有一个失败概率。串联的可用性是相乘的。单个环节四个 9，就是 0.9999。串五十个环节，0.9999 的 50 次方约等于 0.995。整条链掉到三个 9 以下。每个零件都稳，整体不稳，原因就在这个乘法上。

>

> 第二个变化是耦合。以前一个模块挂了，用户看到的是这个功能不能用。现在一个底层组件挂了，可能是全站雪崩，因为所有服务都在等它。故障的影响半径，跟着依赖的半径一起扩大。课件图上"影响"那两个字的

> 分量，就在这儿。图注的来源标的是 Data Center Knowledge。

>

> 第三个变化不写在任何架构图上：人的认知跟不上了。系统大到某个程度，没有谁能在脑子里推演出这里坏了会怎样。推不出来，就只能等它真坏一次。而那时候代价已经发生。

>

> 有人会问，那就少串几个环节行不行？行。这正是把同步改异步、把强依赖改弱依赖这些手段的动机，也是后面讲熔断和降级的原因。但环节减不到零，风险也就减不到零。并联能救一部分，并联算的是一减都失效的概率，可真实的分布式系统里，能并联的部分比你想的少。

>

> 链条走到这儿，只剩一句结论。复杂系统里，不出故障不可承诺，出了故障还活着才可以设计。后者就是接下来要讲的东西。

提问：如果每个服务的可用性都是 99.99%，把它串成 50 个环节的一条链路，整体可用性大概是什么水平？

预设回答：

- 答"还是 99.99%"——不会。串联系统的可用性是各环节相乘，环节越多，整体越低。

- 答"大概 99.5% 左右"——方向对。这正是每个组件都很稳、整体却不够稳的由来。

- 答"那就少串几个环节"——思路对，这就是减少强依赖、同步改异步这些架构手段的动机。

- 追问：所以可用性不是一个组件的事，是整条链路的事。这句话后面讲稳态标准时还要用。

易错点 / 考点：常出计算题或判断题。**串联相乘、并联取"1 减都失效的概率"**，两个口径别混。另一种考法是概念题："为什么分布式系统必须做混沌工程"——答题落到三点：调用链变长、故障不可完全避免、人工推演不可行。

过渡：既然故障避不掉，那就得看一次中断到底值多少钱。

【7.144】企业服务中断 1 小时所带来的损失（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 先看四个数字，别急着看结论。大于 87.6 小时、大于 8.7 小时、大于 52 分钟、小于 5 分钟。这四个数是一年里允许停机的总时长，按四档可用性排下来。数据标的是 Statista 2022，来源混沌工程实验室。

>

> 对上几个 9 就清楚了。87.6 小时是 99%，8.7 小时是 99.9%，52 分钟是 99.99%，5 分钟是 99.999%。每多一个 9，允许的停机时间少一个数量级。

>

> 为什么从三个 9 到四个 9 最贵？因为前一步便宜。99% 到 99.9%，把明显的 bug 修掉、加几个监控，基本就到。99.9% 到 99.99%，要上冗余、上自动切换、上降级预案，三样都得有人维护。再往上，还要有人验证这些手段在故障里真的生效。那一步的钱，花在验证上。

>

> 一小时的损失，行业之间差得远。金额我不念，方法你带走：损失等于直接交易额加恢复成本，加用户流失，加品牌与合规代价。后两项常常比第一项大得多。

>

> 所以可靠性是花钱买的。混沌工程在这笔支出里的位置很具体：让你买的每一分冗余都真能用。不验证，冗余只是纸面上的，故障一来，切换脚本自己先挂。

>

> 答辩里如果被问四个 9 怎么做到，先答主备、自动切换、降级预案这三件，再补一句这些都演练过。少最后那一句，前三条就只是文档。

提问：如果产品现在是三个 9，老板要求明年做到四个 9，你会先做哪三件事？

预设回答：

- 答"多买几台服务器"——不够。加机器解决容量，不解决故障时的切换。

- 答"做主备、做自动切换、做降级预案"——方向对，这三件是标准答案的主体。

- 答"还要验证这些手段真的管用"——关键补充。主备切换写了代码不等于切得过去，预案写了文档不等于执行得下去。

- 追问：所以四个 9 不是买来的，是设计加验证换来的，验证那一半就是混沌工程。

> **易错点 / 考点：**数字类考点只需记"每多一个 9，年停机时间除以 10"，不必背精确秒数。易错点是把可用性和可靠性混用：可用性是时间维度上能用的比例，可靠性还包括不出错的程度，比如数据对不对。案例题问"提升了可用性是否等于质量提升"，答案是不等于，还要看正确性与数据一致性。

> **过渡：**要把可用性往上推，先得知道哪些地方会坏。课件把它做成了一张故障画像。

【7.145】稳定性风险集中治理 – 故障画像（4 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 真出事那一刻，你团队第一件事干什么？不少组的答案是先查日志。这张图里有一句话跟这个习惯相反：快速恢复止损优于问题排查。

>

> 故障画像做的事，是把稳定性风险从一句口号，拆成能逐条对照的清单。左边三类问题。异常场景类，看节点异常状态下系统表现成什么样，以及异常场景下的预案是否完善。链路设计类，看各类链路异常预案的正确性、有效性，还有预案验证的常态化。常态化这三个字最重：预案只有演练过才算存在，写在文档里不算。预案设计类，看故障发生时有没有标准化流程，以及止损和排查谁先。

>

> 右边是风险清单，按来源分四组。应用问题一长串：进程僵死、线程池满、连接池满、依赖超时、依赖异常。还有内存泄漏、慢查询、异步阻塞、缓存异常、热点问题、同步问题。组件问题单独列一组。网络问题：网络抖动、延时与丢包、重试风暴、带宽问题、网卡问题、跨机房。系统问题：CPU 争抢、内存争抢、IO 异常、宕机、节点异常、集群异常。

>

> 这份清单怎么用？当体检表。做稳定性评审，一条一条问三句：这一条我们有风险吗，有预案吗，演练过吗。三句都答得出来，这条才算过去。答不出第三句的，基本都是空预案。

>

> 它还是故障库的原料。后面讲基于历史问题抽象通用故障库，抽的就是这张表。所以这张图别只当背景，抄下来，对着自己的系统勾一遍。

> **提问：**"重试风暴"为什么被单独列成一条风险？重试不是提高可用性的手段吗？

> **预设回答：**

- 答"重试太多会把下游压垮"——抓住核心了。下游已经变慢，上游再放大三倍请求量，就是自己把下游打死。

- 答"所以要加退避和熔断"——对，指数退避加抖动，再加熔断和限流，是标准解法。

- 答"重试是好事，不算风险"——典型误解。任何提高可用性的手段，用到极端都会变成新的风险源，这就是后面讲的"前进一步、后退两步"。

- 收口：画故障画像的意义，是在出事之前把这类好心的坏设计找出来。

> **易错点 / 考点：**常见考法是归类题：给一个现象，问属于应用、网络还是系统问题。判断口诀：**看谁的资源被耗尽**——线程、连接、内存、缓存是应用层；延时、丢包、带宽、跨机房是网络层；CPU、IO、宕机是系统层。另一个考点是预案设计类的内涵：标准化流程加止损优先。

> **过渡：**这些风险一条条兜，靠人工排查是不可能的。于是有了混沌工程这个思路。

【7.146】混沌工程出现：以毒攻毒（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 有一个词，第一次听会觉得不对劲：以毒攻毒。

>

> 平时做测试，是给正常输入，看输出对不对。混沌工程反过来。主动造一件本来不会发生的坏事，看系统扛不扛得住。担心主库挂了怎么办？那就真把主库切走一次，挑业务低峰、挑小范围流量，看多久恢复、数据有没有乱。担心机房网络抖？那就注延时和丢包，看熔断触发没有、降级生效没有。

>

> 这个思路为什么成立？因为故障躲不掉了。分布式系统里，硬件会坏，网络会抖，进程会僵死。这些不是如果，是什么时候。既然早晚要来，不如自己挑时间、挑范围、挑强度把它引出来。可控地坏一次，好过不可控地坏一次。

>

> 课件上方那张是 Google 搜索趋势，标的是 Chaos Engineering。曲线往上走，说明工业界的关注度在涨。趋势图证明不了因果，但它能说明一件事：这不是某一家厂商的口号。

>

> 定义再念一遍，念的时候盯住三个词。实验，不是破坏。学科，有方法，不是拍脑袋。弹性，目标是韧性，不是零故障。三个词缺一个，定义就答不全。答辩里只写"主动注入故障"的，多半要扣分。

>

> 跟压测比一句：压测的输入是流量，混沌的输入是故障。两套能力互补，谁也替不了谁。

>

> 最后一句可以带走：主动坏，是为了别被动塌。

> **提问：**为什么说"由你自己挑时间挑范围地把故障引出来"比"等它自己坏"更安全？

> **预设回答：**

- 答"因为你在场，能马上处理"——对，最直接的一条。有人盯着、有预案在手，和凌晨三点被动接警完全两回事。

- 答"因为范围可控"——也对。可以只影响百分之一的流量、只影响一台实例。

- 答"反正都要坏，主动坏一次没意义"——错在没有意识到，演练过的团队和没演练过的团队，在真实故障面前差得很远。

- 追问：所以它卖的不是制造故障，是把不可控变成可控。

> **易错点 / 考点：**定义题必考，关键词缺一不可。常见错答是"混沌工程就是随机杀进程"，那只描述了手段，漏了实验学科、稳态假设、最小影响范围这些方法要素。对比题常问"混沌工程与故障注入测试的区别"——故障注入是技术，混沌工程是工程实践体系，前者是后者的一部分。

> **过渡：**这套东西到底有没有用？业界做过调研，看数据。

【7.147】混沌工程确实能提升系统可用性（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 有人会说，这套东西听着有道理，可真有用吗。有调研。

>

> 课件引用的是 Gremlin 2021 年的那份调研。英文标题就叫 State of Chaos Engineering。这个标题本身就是一句判断：混沌工程确实能提升系统可用性。这是厂商做的调研，性质先说清楚。

>

> 图里要读的不是某个百分比，是三件事。第一，做和不做有差距。调研按是否系统性开展分组。开展了的团队，在可用性目标达成、故障恢复时间、团队对韧性的信心上都更好。最后那个信心不是虚的。知道系统会怎么坏的团队，出事时下手快得多。

>

> 第二，成熟度不同，收益不同。偶尔手动注一次故障的，收益有限。把实验做成常态化、自动化、进了流水线的，收益明显。一年体检一次不叫锻炼。

>

> 第三，最大的阻力不是技术，是人和流程。团队反馈的障碍是怕影响生产、没有明确负责人、缺少稳态指标，不是没有工具。工具最好解决，共识最难。

>

> 引用这类数据要报口径。样本是谁，指标怎么定，都会影响结论。写报告时写清"据 Gremlin 2021 年调研"，别当成严格对照实验的因果结论。

>

> 如果考题问怎么论证收益，答三条就够。可用性指标对比、故障恢复时间对比、演练发现的预案缺陷数量。第三条最容易忘，也最能说明问题。

> **提问：**调研里团队说最大的障碍是"怕影响生产"。这个担心合理吗？合理的话，混沌工程怎么回答它？

> **预设回答：**

- 答"合理，生产不能乱动"——合理，而且这正是爆炸半径控制存在的理由。不是让你别做，是让你小范围地做。

- 答"不合理，怕就别做"——太粗暴。工程决策要看代价对比：可控的小故障演练，和不可控的大故障，哪个代价高？

- 答"可以先在沙盒、金丝雀环境做"——正确，这就是从线下到生产、从小到大的那条实践路径。

- 收口：所以对"怕影响生产"的正确回应不是"别怕"，是"我们有办法把影响框住"。

> **易错点 / 考点：**容易被当成背数据，其实考点在方法：调研结论只能作趋势参考，不能当因果证明。问"如何论证混沌工程的收益"，标准思路三条：可用性指标对比、MTTR 对比、演练发现的预案缺陷数量。

> **过渡：**这个思路不是一天长出来的，它有一条清晰的脉络。

【7.148】混沌工程发展历程（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 一个做法从手艺变成学科，中间要过几道门。混沌工程走了四段。

>

> 第一段是萌芽。最早是几家大型互联网公司发现，系统太复杂，只能在生产里试。于是有组织地做故障演练。这些实践起初没有统一名字，各家叫法不一样。

>

> 第二段是命名与原则化。名字被提出来，做法被提炼成几条原则，就是下一页那五条。这一步最关键，它把某家公司的经验，变成别人也能学的方法。没有这一步，这东西只能靠师傅带徒弟。

>

> 第三段是工具化。一批开源工具和平台出来了，故障注入变成写配置、点按钮。门槛一降，做的人就多。也是从这一段起，混沌工程开始被当成一个产品品类。

>

> 第四段是平台化与云原生化。Kubernetes 普及以后，混沌工程被做成声明式接口和 Operator。它进了云原生基金会的项目体系，成了研发流程里的一环。

>

> 四段连起来是一个规律。方法成熟的标志，是有原则、有工具、有平台、能自动化。只有个人经验没有原则，传不下去。只有原则没有工具，落不了地。有工具但进不了流水线，只能当表演。

>

> 顺便纠一个常见错答：把混沌工程等同于 Netflix 的 Chaos Monkey。那只是一个早期代表性工具，不是整个学科。

>

> 你们课设里做的那点故障注入，处在这条线的最前端，手工的、单点的。别嫌它土。所有平台都是从一条命令开始的。

> **提问：**一个团队只有"出事之后复盘"的机制，没有任何主动演练，它在这条时间轴上大概在哪个位置？缺的是什么？

> **预设回答：**

- 答"萌芽阶段"——大体对，严格说是连萌芽都还没到，因为萌芽的标志是主动去试。

- 答"缺工具"——不准确。先缺的是原则和稳态标准：不知道看什么指标判断系统还算正常，工具给他也用不对。

- 答"缺的是把复盘结论变成实验的能力"——很到位，这正是后面"从灾难中学习"要讲的。

- 收口：顺序是原则、稳态、工具，别倒过来。倒过来就是为用工具而用工具。

> **易错点 / 考点：**考阶段特征，不考具体年份。四个关键词：**生产实践、原则化、工具化、平台化**。常见错答是把混沌工程和 Chaos Monkey 等同，那只是一个早期工具。

> **过渡：**说到原则，这五条是必背的。

【7.149】混沌工程的原则（5 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 五条原则，值得背下来，一条一条说，最后给口诀。

>

> 第一条，建立一个围绕稳定状态行为的假说。假说这两个字最要紧。做实验之前，你先写下一句能被推翻的话。比如：单机房故障时，下单成功率不低于 99.9%。这句话里必须有可观测的指标，和可接受的阈值。没有这句话，注完故障你只能盯着屏幕说好像还行。那不叫实验。

>

> 第二条，在实验中引入反映真实事件的变量。服务器崩溃、硬盘故障、网络连接断开。为什么强调真实？你造的故障越像真会发生的，结论越有用。注一个现实里不可能出现的故障，结论也就没意义。

>

> 第三条，在生产环境中运行实验。这条最反直觉。理由是：只有生产才有真流量、真依赖、真配置、真数据规模。测试环境永远太干净，在里面验证通过的容错，到生产可能根本不成立。它跟第五条是一对：在生产里做，范围压到最小。

>

> 第四条，持续自动化运行实验。一次演练只证明那一天那个版本还行。系统天天在改，昨天扛得住的今天未必。所以实验要进流水线，定期跑。

>

> 第五条，最小化影响范围，也就是爆炸半径控制。

>

> 分层图看一眼。基础设施、基础平台、业务应用三层，横向穿过的是故障注入。上面由人员组织与实践统领。纵向串着计划与报告、演练可观测、安全审计、量化评价、报告改进，最外面一圈是风险保护。意思是：注入只是中间那一刀，前面有计划，后面有观测、审计、评价、改进。缺后面，实验就只剩下折腾。

>

> 口诀：有假说、用真故障、在生产、要自动、控范围。

> **提问：**第三条说在生产环境运行实验，第五条说最小化影响范围。这两条矛盾吗？

> **预设回答：**

- 答"矛盾，生产就不能乱动"——不矛盾，这是同一件事的两个约束：场所选生产，为了真实性；范围压到最小，为了安全。

- 答"不矛盾，是在生产里选一小部分做"——准确，这就是分级发布、逐步扩大。

- 答"那能不能只在测试环境做"——违反第三条，但可以作为起点。优秀实践里写了从线下到生产的进阶路径。

- 追问：真实性靠第三条，安全性靠第五条，缺一条这实验就不成立。

> **易错点 / 考点：**五项原则是简答和填空的高频点，要能一字不差说出五条。最常错的是漏掉"最小化影响范围"，或者把"建立假说"写成"设定目标"——**假说必须是可证伪的陈述句**。另一个考点是为什么要在生产做：真实性，含流量、依赖、配置、数据规模。

> **过渡：**原则讲的是立场。落到执行层，要干的活是四块。

【7.150】混沌工程关键工作（4 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 原则讲的是立场，落到执行层，真正的活是四块。

>

> 第一块，实验设计。三个动作。故障画像，照着那张风险清单挑出要验证的点。上下游依赖梳理，这件事坏了谁会受影响，是强依赖还是弱依赖。链路受力分析，故障打在这条链的哪个位置，压力往哪里传导。设计没做好，注入了也是白注，因为你不知道自己在验什么。

>

> 第二块，爆炸半径控制。四个手段：节点可控、链路可控、演练隔离机制、兜底安全策略。节点可控是只动我指定的实例。链路可控是只影响我指定的调用路径。隔离是演练流量和真实流量分开。兜底是一旦越界立刻自动停。

>

> 第三块，注入故障能力。这块最容易被当成只有运维的事。它有三条线。运，私有云、容器化、贝壳云这类基础设施层。研，Java、Go、Cpp、PHP 这类应用层，能做到方法级、代码行级。测，接口、性能、巡检自动化这类验证层。三条线齐了才叫能力齐备。只有运维能拔网线，你就只能做最粗的故障。

>

> 第四块，稳态标准。三句话。线上服务定制化稳定标准定义。服务、业务、链路级的稳态定义和管理。灵活的稳态可接入能力。翻成人话：每个服务的正常长什么样，得写得出来。单服务的稳态、一个业务的稳态、整条链的稳态不是一回事。这套标准还得方便接进平台，别让每个组自己手写一套。

>

> 四块的关系一句话：设计决定验什么，注入决定怎么验，稳态决定凭什么判合格，半径决定你敢不敢验。

> **提问：**为什么稳态标准要分服务级、业务级、链路级三层，只定一个全局指标不行吗？

> **预设回答：**

- 答"一个指标太粗，看不出是哪坏了"——对，全局指标掩盖局部问题。

- 答"业务级才是用户感知的"——也对，但只有业务级就没有定位能力，出了问题不知道修哪个服务。

- 答"三层是一条定位链：链路异常，定位到业务，再定位到服务"——这就是核心，分级是为了既能判断好坏，又能定位原因。

- 收口：稳态标准不是定几个指标，是建一套能判断、能定位的指标体系。

> **易错点 / 考点：**四块工作常考"缺一不可"的论述题。经典错答："混沌工程的关键是有一个好的注入工具"——工具只是第三块，而且是最容易买到的。另一个高频考点是稳态标准与假说的关系：假说里写的阈值来自稳态标准；没有稳态标准，假说就是拍脑袋。

> **过渡：**四块里最需要敬畏的是第二块，单独讲。

【7.151】爆炸半径控制（4 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 如果领导说这次演练必须全量生产，一次到位才有说服力，你怎么接？

>

> 先把命题说清：在最小的实验范围内，让系统潜在的问题暴露出来，又不至于意外造成更大规模的故障。

>

> 四条实践经验。第一条，选最小爆炸半径。起步就从一个实例、一个接口、百分之一的流量开始。第二条，实验分级发布。随着对系统的信心增加，逐步扩大范围。范围不是一开始就定死的，是随着证据长出来的。第一次只敢动一台机器，验证过了，才敢动一个集群。

>

> 第三条，混沌不意味着一定要在全量生产环境实施。这句在纠一个误解，好像不做全量就不算混沌。关键在

> 真实，不在全量。第四条，要有完备的自动化和高效预案，具备快速熔断能力。要有一个红色按钮：监控发现指标越线，实验自动停，故障自动恢复。没有这个按钮，别开始。

>

> 再看那张图，四个维度是最实操的部分。环境：实验环境、线下环境、沙盒环境、金丝雀环境、生产环境，越往后越真实也越危险。流量：压测流量、mock 流量、引流流量、回放流量、流量抽样百分之 x。生产里常用的是只让一小部分真流量进实验路径。粒度：请求粒度和用户粒度。请求粒度是这个用户的这一条请求走实验分支，用户粒度是这个用户的所有请求都走。实例：单实例到多实例。最后落到"测试中间件-请求粒度实验"这种组合上。

>

> 四个旋钮一起拧：环境越真越小心，流量越少越安全，粒度越细越好控，实例越少越好退。

提问：如果领导说"这次演练必须全量生产，一次到位才有说服力"，你怎么回应？

预设回答：

- 答"照做，领导说了算"——不行。这是把风险无边界地放大，出了问题没人兜得住。

- 答"我坚持只做百分之一流量"——立场对，方式太硬，容易变成对抗。

- 答"我先在金丝雀环境跑通，给出数据和熔断指标，再申请扩到百分之一、百分之五"——标准做法：用证据换范围，把要不要全量变成证据够不够。

- 追问：所以爆炸半径不只是技术参数，它还是你和组织之间的一份风险约定。

易错点 / 考点：案例分析高频点。答题框架要背住四维度：**环境、流量、粒度、实例**。最常错的答法是只说"少影响点用户"，答不出分级发布和快速熔断。另一个考点是区分"金丝雀环境"和"金丝雀发布"：前者是环境，后者是发布策略，名字像，不是一个东西。

【思政落点 15】：爆炸半径讲的是敢试，但试得有边界。工程上的勇气从来不是什么都敢在生产上动，是我知道边界在哪、越界会自动停。这份敬畏对应责任：一次没有兜底的演练，可能把几十万用户的订单打掉。请把风险量化、框住、留退路当成习惯，别把风险说小了当成本事。这是这一行最朴素的职业底线。

过渡：说了这么多好处，也得把它的短处讲清楚。

【7.152】混沌工程的局限性（4 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

说了这么多好处，得说说它不管用的时候。

>

> 第一条，用疫苗打比方。过时的疫苗不一定能增强免疫力。经过混沌工程的系统，也可能继续宕机。原因写得直白：头痛医头、脚痛医脚，不够全面。而且故障模式是人为设计的，局限于过去发生过的故障，发现不了将来才出现的新故障。你只能演练你想得到的故障。

>

> 第二条，泥浆大球。这是《人月神话》里的老比喻：系统已经烂成一团，再多的混沌工程也修不好。而且在实验里发现问题之后，想改已经很困难。你知道了，但你改不动。

>

> 第三条，前进一步，后退两步。某一方面的优化，可能增加别处的脆弱性。为了抗住下游超时加了重试，于是引出重试风暴，故障画像里就有这一条。

>

> 第四条，注入本身带来新的复杂性。用漂亮、自动的方式注入故障，同时也在给系统加复杂度。实验做得越多，可能对系统伤害越深。这话在提醒：演练工具自己也是要被测试的系统。

>

> 第五条，过多关注故障测试，容易忽视前期设计和事后反思。演练天天做，架构照样烂。第六条，一键回滚有欺骗性，数据可能在回滚时已经被破坏。这条最要命。代码能回滚，写坏的订单改不回来，发出去的消息也收不回。

>

> 六条收一句：它是镜子，不是药。照出问题，不负责治好；能验证韧性，不能替代设计。

提问：请举一个具体场景，说明"一键回滚具有欺骗性"。

> **预设回答：**

- 答"回滚了代码，数据已经改了"——最典型的一种。新版本写入了错误格式的订单，回滚代码不会把订单改回来。

- 答"消息已经发出去了"——也对。异步链路一旦投递，回滚方无从撤回。

- 答"回滚本身也要时间，这段时间业务是停的"——补充得好。回滚不是瞬时的，期间的用户请求怎么办。

- 追问：所以正确做法是回滚加数据修复预案一起准备，并且先做数据兼容设计：新版本写的数据，老版本要能读。

> **易错点 / 考点：**考批判性思维，常出论述题："既然有这么多局限，为什么还要做？"标准答法是两面都答：一面是它能解决的，验证冗余与预案、提升团队信心、暴露未知依赖；一面是它解决不了的，设计缺陷、数据损坏、新故障模式；结论落到必要但不充分。六条最好背出三条以上，过时疫苗和回滚欺骗最高频。

> **过渡：**局限归局限，业界已经有不少做得很成熟的实践。先看一个最有画面感的。

【7.153】国外的混沌工程实践：Slack 的灾难片剧场（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 先看一个最有画面感的做法。Slack 管它叫灾难片剧场。

>

> 2018 年 1 月启动。为什么叫剧场？因为有人在看。有剧本，有导演，有观众。它把故障演练当成一场演出，不是某个团队关起门来的技术练习。

>

> 流程是严格的，目的也写得明白：最大限度地提高学习效果，同时把生产事故的风险降到最低。两个目标是一对，既要学到东西，又不能真出事。

>

> 四个细节。第一，详细的计划和精心的组织。每次演习在指定时间内做，专家集中在一起。内容包括探索性的演习，还有在运营团队里传阅响应计划。传阅这个动作别滑过去。它不是把文档发出去就算完，是让每个可能被叫到的人事先读过，知道自己要干什么。

>

> 第二，主持人事先写剧本。记录怎么把故障挑起来，运行哪些命令，哪些 Amazon EC2 实例会被涉及。还有所有需要盯的日志、指标和警报。这几项合起来是一份可复现、可审计的记录。出问题能查，成功了能复用。

>

> 第三，主持人当场提问题。课件举的那个问题挺值得琢磨：对"基于开发环境的容错性预测生产环境的容错性"有多大信心。问的是，你在测试环境验过的东西，敢不敢保证它在生产也成立。第四，让运营、研发、甚至管理层在场。演练因此变成一次共同的经验积累。

>

> 这套做法最值得学的不是工具，是组织方式。

> **提问：**为什么主持人要把"运行哪些命令、涉及哪些 EC2 实例"写进记录？这看起来像流水记录。

> **预设回答：**

- 答"方便复现"——对，第二次做同样的实验不用重新摸索。

- 答"出事能追责"——有一层，但更要紧的是出事能快速回退：知道动了哪些实例，才能精确恢复。

- 答"这也是安全审计的凭证"——很到位，第五章那张分层图里就有安全审计这一项。

- 追问：所以这份记录同时服务三个目的：复现、回退、审计。这也是它必须由主持人写、不能事后补的原因。

> **易错点 / 考点：**常考演练的组织要素：**固定时间窗口、专家集中、剧本化记录、响应计划事先传阅、问题驱动**。经典错答是把"灾难片剧场"理解成随机制造事故看大家反应——恰恰相反，它的特征是高度计划性。

> **过渡：**Slack 关注演练怎么组织，Google 关注另一件事——灾难恢复的目标怎么定。

【7.154】Google's Disaster Recovery Program（4 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 承诺写得再漂亮，也要有人验。Google 的灾难恢复项目给的是一个分层定义的办法，很适合拿来当架构题的框架。

>

> 三个层级。层级 1 是零故障，服务不中断。层级 2 是中间态。层级 3 是灰色的、需要恢复，服务已经不可用，要靠恢复手段拉回来。分级的意义在这儿：不是所有服务都必须做到零故障。你先给每个服务定级，再决定投多少钱。

>

> 方法论还有一句：构建专用架构模式，把灾难恢复的方法标准化。让恢复能力的期望与服务中断的场景相匹配。三个关键词。专用架构模式，别每次出事临时想办法。标准化，同样的故障用同样的套路。期望与场景相匹配，这是最省钱的一条，用户能容忍四小时的服务，没必要为它做零中断。

>

> 两个指标必须记。RTO 是恢复时间目标，多久能恢复。RPO 是恢复点目标，能容忍丢多少数据。

>

> 课件给了三组数字，正好演示分级。区域级是 RTO 12 小时、RPO 24 小时。往上一档是 RTO 4 小时、RPO 为零。最高一档是 RTO 为零、RPO 为零。连起来看：级别越高，RTO 越短，RPO 越小，成本越贵。RPO 为零意味着一条数据都不能丢，那要同步复制。RTO 为零意味着不能中断，那要多活、要秒级切流。

>

> 跟混沌工程什么关系？RTO 和 RPO 是写在纸上的承诺，混沌工程是验证它能不能兑现的手段。不演练，你永远不知道那个 12 小时是 12 小时还是 12 天。

提问：一个内部报表系统，用户一天看一次，你会给它定什么级别的 RTO 和 RPO？如果是支付系统呢？

预设回答：

- 答"报表系统 RTO 几小时都行，RPO 一天也行"——合理。它本来就按天更新，中断半天没人受不了。

- 答"支付系统必须 RTO 零、RPO 零"——方向对，但要说清代价：零 RPO 要同步复制，零 RTO 要多活加秒级切流，成本是数量级差别。

- 答"都按最高标准做最保险"——典型的过度设计。成本上去、复杂度也上去，反而更容易出故障。

- 追问：定级的依据是业务影响分析：这个服务停一小时，谁受影响、损失多少。这就是期望与场景相匹配。

易错点 / 考点：RTO 和 RPO 的区别是必考判断题。口诀：RTO 管多久能回来，看时间；RPO 管能丢多少，看数据。常见错法是记反，或者认为 RPO 为零就一定 RTO 为零——两者独立。另一个考点是为什么不是所

有服务都要最高级别：成本、复杂度，加上过度设计本身增加脆弱性。

> **过渡：**Google 讲目标怎么定，微软给的是工具怎么用，而且是云上的做法。

【7.155】微软的混沌工程（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

云厂商做混沌，形态跟自建完全不一样。

>

> 课件给的那句英文是关键。用基于 agent 的故障，在 Azure 门户给一台 Linux 虚拟机加 CPU 压力。一句话里三个信息。

>

> 第一，基于 agent。云厂商不可能在你的机器里随便乱动，它要在目标资源上装代理，由代理去执行注入。这是云上和自建最大的形态差别。自建可以侵入，云上必须走代理。

>

> 第二，CPU 压力是注入内容。这就是前面说的注入能力的一种。攻击面很明确：压 CPU，看服务在算力被抢时会不会超时、会不会雪崩。

>

> 第三，通过门户，说明它产品化、界面化。降门槛是云厂商的核心价值，代价是你只能在它提供的故障类型里挑。

>

> 下面那条命令：az vm identity assign，给虚拟机分配一个托管标识。做实验之前为什么要先做这步？因为注入需要权限。平台要能操作这台机器，要能读它的监控数据，而你不能给它一把万能钥匙。标准做法就是用托管标识做最小授权，只给做实验需要的那点权限。

>

> 还有个误解要拆掉。云上做混沌，不是云厂商替你制造故障，是它给你工具、让你自己造。责任主体还是你

> 的团队，出事还是你兜。

>

> 这条命令里藏着一句更重要的话。在云上做混沌，第一个要解决的不是怎么注入，是授权怎么给得又够又不多。给多了，混沌平台自己就成了最大的风险源。

> **提问：**为什么云上做混沌实验，不直接用管理员账号密码去操作目标机器，而要先配一个托管标识？

> **预设回答：**

- 答"管理员权限太大，出事就是大事"——正确，这是最小权限原则。

- 答"托管标识不用管密钥，避免泄露"——也对。凭据由平台托管、自动轮换，比写死在脚本里强。

- 答"配了标识就能审计了"——很好。谁在什么时候用这个标识做了什么，有记录。

- 追问：所以这条命令背后是三件事：最小权限、免密钥、可审计。这也是自动化运维平台的通用要求。

> **易错点 / 考点：**考云上混沌工程的形态差异，落在三点：**代理式注入、托管服务化、基于标识的最小授权**。常见错答是把云上混沌理解成云厂商帮你制造故障——它是给你工具让你自己造。若考权限设计，标准答案必含最小权限原则与可审计。

> **过渡：**实验、故障库、可观察性这三件事，是把敢在生产上捣乱变成有章法地捣乱的关键。逐个看。

【7.156】实验（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 混沌落到操作层，最小的单位不是一次测试，是一个实验。

>

> 两个词差得远。测试用例问结果对不对，实验问我那个假设站不站得住。

>

> 一个完整的实验五件事。先写清要验证的假设，比如订单服务挂掉一个实例，下单成功率不掉。再定义稳态指标，成功率、P99 时延、错误率。然后设计注入：注什么故障、注在哪个实例、注多久、影响多大范围。接着运行并观察。最后给结论：假设成立，韧性得到一次证明；假设被推翻，那就找到一个真实风险点，转

> 成待修项。

>

> 顺序不能反过来。很多团队一上来就问我能注什么故障，那是从工具出发。正确的起点是：我担心什么，我怎么知道它没发生。先有稳态，才有实验。没有稳态指标，注完故障你连这算不算异常都判不了。

>

> 举个反例。只写得出注入 CPU 百分之八十、压五分钟，写不出一句"我认为业务不会受影响"。那这次做的不是实验，是一次故障演练。做完只剩一堆曲线，没人能说清这是异常还是正常。

>

> 还有一点容易被忽略：实验是可以重复的。今天验过的假设，下个版本还得再验，因为架构在变、依赖在变。所以实验要留档，假设、参数、结论都要能复现。这就是它跟随手压一下的区别。

>

> 一句话：先定标准，再动手。

> **提问：**如果你只写得出"注入 CPU 80% 压五分钟"，却写不出一句"我认为业务不会受影响"的假设，这个实验缺了什么？

> **预设回答：**

- 答"缺稳态指标"——对了一半。它是判断有没有受影响的依据，缺了它，实验做完只剩一堆曲线。

- 答"缺假设"——更根本。没有假设，实验就不是验证，只是制造了一次故障看看会怎样，结论无从归档、无从复现。

- 答"注 CPU 压力不算故障吧"——典型的错答。CPU 被抢占正是最典型的资源类故障，问题不在种类，在你没事先说清受影响与不受影响的界线。

- 收口：假设和稳态指标是一对，缺一个，实验就退化成演练。

> **易错点 / 考点：**判断题常考"实验必须以假设为前提"——正确。选择题常把"定义稳态指标"排在"设计注入"之后当干扰项，正确顺序是**先定稳态**。记忆口诀：先立标准，再动手。

> **过渡：**实验里"注入什么"那一栏，靠的不是灵感，是一个沉淀下来的库。

【7.157】故障库（4 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

实验里注什么，靠的不是灵感，是一个沉淀下来的库。看一份实物：Azure Chaos Studio 的故障清单。

>

> 为什么要看别人家的清单？因为故障库直接决定你能做多大。你能注入的故障种类，就是你能发现的风险种类。

>

> 第一类是资源压力。CPU 压力、物理内存压力、虚拟内存压力、磁盘 IO 压力。Windows 一条、Linux 一条，再加一条任意 Stress-ng 压力。第二类是时间与进程。时间改变、杀进程、时间延时、停掉一个 Windows 服务。第三类是网络。DNS 失败、网络延迟、网络断开、带防火墙规则的网络断开，再往上是改网络安全组规则。

>

> 第四类是云资源本身。ARM 虚机关机、虚拟机规模集实例关机、Cosmos DB 故障切换、Azure Cache for Redis 重启。还有经典云服务关机、Key Vault 禁止访问。第五类是在 AKS 上借 Chaos Mesh 注入的八种：网络、Pod、压力、IO、时间、内核、HTTP、DNS。AKS 就是 Azure Kubernetes Service。

>

> 这份清单最值得学的不是长，是颗粒度。同样叫网络故障，它拆成延迟、断开、带防火墙规则的断开、DNS 失败、改安全组五档。为什么拆这么细？不同的拆法对应完全不同的失效模式。延迟是变慢，断开是报错，DNS 失败是找不到，安全组改错是全断。不拆开，测来测去只能测出同一类问题。

> **提问：**清单里"网络延迟"和"网络断开"是两条。只做了延迟实验、业务全绿，能不能说网络故障已经验证过了？

> **预设回答：**

- 答"能，延迟更难忍"——典型的错答。延迟考验超时与重试，断开考验熔断、重连、降级，两条路径完全不同。

- 答"不行，断开更狠，会直接报错"——正确。断开之后流量瞬间失败，考验的是熔断器和降级预案有没有真生效。

- 答"那就两条都跑一遍"——对，还要加带防火墙规则的断开和 DNS 失败，它们的失败信息不一样，排障路径也不一样。

- 收口：颗粒度决定覆盖度。一个故障类型只测一档，等于只测了最容易的那一档。

> **易错点 / 考点：**考点是故障库的分类维度。常见错答是按轻重分（严重、一般），正确维度是**按资源与失效模式分**：资源、时间与进程、网络、云资源、容器编排层。答题三步：看故障作用在谁身上，看它改变了什么（量、连通性、可见性、生命周期），归到库里哪一栏。

> **过渡：**注入了故障，怎么知道业务到底有没有受影响？靠下一件事。

【7.158】可观察性（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 前面几件事做完，还有一件决定成败的事没提。

>

> 三个词得先分清。监控，是我事先想到要看的指标，我盯着它。可观察性，是我没事先想到的问题，也能从系统吐出来的数据里问出来。差别就在这儿：监控回答已知问题，可观察性回答未知问题。混沌工程制造的恰恰是没预料到的那一种异常，靠几张预设大盘不够用。

>

> 可观察性靠三类数据撑起来。指标，是数字随时间的变化，适合看趋势和告警。日志，是离散事件，适合看到底发生了什么。链路追踪，是一次请求跨了哪些服务、每段花了多久，适合定位慢在哪一跳。三类合起来，才能回答：故障注进去以后，用户那边到底感受到了什么。

>

> 再往深一层。实验的结论质量，上限由可观察性决定。指标做得糙，你只能说好像没大事。追踪缺失，你只知道失败了，不知道失败在哪一跳。三类数据还要能串起来，同一个 trace id 从网关一路查到底。串不起来的三份数据，只是三份孤证。

>

> 所以做实验之前先问一句：我的观测手段，够不够支撑一次判定。这个问法把工具问题变成了能力问题。买

> 一套监控不难，做出一套能判定稳态的观测，要有人在指标上花心思。

>

> 不够，就先补观测，再谈注入。

> **提问：**一套系统只有 CPU、内存这类主机监控，没有业务成功率、没有链路追踪，能用它给混沌实验下结论吗？

> **预设回答：**

- 答"能，看 CPU 没飙就没事"——错得很典型。主机指标正常而业务已经大面积失败，是分布式系统里最常见的景象：机器好好的，链路断了。

- 答"判不了，缺业务级指标"——正确。判定稳态必须用用户视角的指标，比如成功率、时延分位值。

- 答"那就先补监控再实验"——最务实。顺序就是先有观测，再谈注入。

- 收口：观测能力是实验的前提，观测不够，实验做了也白做。

> **易错点 / 考点：**常考监控与可观察性的区别，标准表述是**预设指标对可任意提问**。另一常见错答是把可观察性等同于日志多。日志多不等于能提问，关键在有没有把指标、日志、追踪用同一个 trace id 关联起来。

> **过渡：**从这儿开始进入优秀实践。第一条讲的是一件更根本的事。

【7.159】优秀实践 1：复杂系统韧性实现之道（4 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 简单系统不需要混沌工程。这话听着像劝退，实际上是在划适用面。

>

> 一个单体应用、一个数据库、一台机器，失效模式你数得过来。做压测、做容灾演练就够了。复杂系统不一样。服务几十上百个，依赖交叉，调用链深，还会自动扩缩容、实例迁移。它的故障往往不是某个零件坏了，而是几个正常的零件凑在一起出了怪事。这种问题读代码读不出来，开会也讨论不出来，只能在真实环境里做受控实验，把它逼出来。

>

> 韧性这个词也要说清。可靠性讲尽量不出事。韧性讲出了事能扛住、能快速恢复。前者靠预防，后者靠承受。混沌工程干的是后一件事：假定故障一定发生，然后问，发生了会怎样。

>

> 课件标注的来源是中国信息通信研究院 2021 年的成果，属于行业层面归纳的实践共识。所以这一条的含义是：把混沌工程放进架构治理的盘子里，别当成测试团队的一个附加动作。它的产出不是通过或者没通过，而是我们在哪一层还扛不住。

>

> 判断一个系统要不要做，不看服务有几个。看它挂了业务停不停、损失多大。三个服务里有一个是支付，那就值得做几个针对性的实验。复杂度不只来自自己的服务数，还来自外部依赖的数量和不确定性。

> **提问：**一个只有三个服务的系统，值得专门上混沌工程吗？值得的话，理由是什么？

> **预设回答：**

- 答"不值得，服务太少没什么可混沌的"——可以理解。但这三个里有一个是支付或资金，它一挂业务就停，那就值得做针对性的少数实验。

- 答"值得，因为依赖第三方"——思路很好。复杂度不只来自自己的服务数量，还来自外部依赖的数量和不确定性。

- 答"值得，因为要合规"——动机偏了。价值在发现风险，不是凑一份材料，动机错了实验就做成表演。

- 收口：判断标准不是服务几个，是它挂了业务停不停、损失多大。

> **易错点 / 考点：**选择题常考可靠性与韧性的区分，正确表述是**可靠性偏预防，韧性偏承受与恢复**。另一易错点是把混沌工程当成故障演练的同义词：演练照着剧本走，混沌工程先有假设再验证，有没有假设是分界线。

> **过渡：**既然假定故障一定发生，那第一个要学的动作就是——出过的事故，别浪费。

【7.160】优秀实践 2：从灾难中学习、细化实验目标（4 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 事故已经发生了，钱已经赔了，接下来最亏的一件事是什么？写一份报告，然后归档。

>

> 第二条实践两个动作。第一个是从灾难中学习。任何一次真实故障，都是一次昂贵又免费的实验。昂贵，因为它已经造成了损失。免费，因为你不用设计注入，故障自己来了。复盘的价值不在写报告，在把它转成下一次可以主动复现的实验。当时哪个依赖先超时，哪一层没熔断，告警几分钟后才来。问清这三件，就得到一组实验参数。

>

> 第二个动作是细化实验目标。验证系统高可用，这是空目标。验证订单服务挂掉一个实例、注入持续 30 秒、下单成功率不低于 99%，这才是可执行的目标。有对象、有故障、有范围、有阈值。目标越细，结论越硬。目标越空，实验越容易变成跑了一遍好像没事。

>

> 两件事是连着的。灾难提供问题的方向，细化把它变成可以验证的命题。没有第一步，不知道测什么。没有第二步，测了也不知道算不算过。

>

> 顺带区分一组容易混的：SLA 是承诺，实验目标是验证承诺的手段。把"系统要 99.99% 可用"写成实验目标，是把承诺当成了方法。

>

> 还有个态度问题：复盘找的是系统的薄弱环节，不是责任人。每次复盘都开成追责会，以后没人讲真话，你也拿不到真实的故障画像。

提问：把"验证系统高可用"写进实验目标，问题出在哪？请现场把它改写成一句可执行的。

预设回答：

- 答"没问题，方向对就行"——错。这样的目标没法判定通过与否，实验做完只能凭感觉下结论。

- 答"要写清楚注什么故障、注在哪、注多久、多少指标算通过"——完全正确，这就是细化的四个要素。

- 答"写成系统要 99.99% 可用"——这是 SLA 目标，不是实验目标。它描述长期结果，实验要的是一次可判定的观测。

- 收口：实验目标的模板就是一句——在某个故障、某个范围、某个时长下，某个指标不低于某个阈值。

易错点 / 考点：高频考点是实验目标的可判定性。判断题"实验目标可以写验证系统稳定性"——错，不可判定。另一易错点是把 SLA、SLO 当实验目标：SLA 是承诺，实验目标是验证承诺是否成立的手段。

【思政落点 16】：从灾难中学习的前提，是允许把问题讲出来。复盘最怕两件事：开成追责会，和把没出事当成没问题。每一次事故都是系统用损失换来的信息；团队因为怕担责而隐瞒细节、只写操作失误，这份信息就白费了。敢暴露问题、如实记录、把教训固化成实验，这才是负责。

过渡：事故的教训只停在一份报告里，下一个人还会踩同一个坑。下一步是把它们抽象成通用的东西。

第 7 章讲稿（7.161–7.180，v3）

锚点与课件一一对应，不增删页。取消板书。口播按四拍：起 → 推 → 收。

【7.161】示例：基于历史问题抽象建设通用故障库（4 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

先看一次复盘。有个组把事故报告写到第十七页，最后一行是：商品详情页变慢，起因是评论服务响应慢，属偶发。

>

"偶发"这两个字最费钱。下次换个服务慢，你还得从零查一遍。想跳出这个圈，得把每次事故往上收一层，收成一个能复用的类型。

>

图的纵向是三层。最底下是基础设施，就是机房那一层，课件拿风、火、水来代表：风是空调，火是消防，水是恒湿。中间是基础架构，服务器、网络、存储、中间件这些支撑件。最上面是业务应用，你自己写的服务都在这一层。

>

图的横向是从历史问题里抽出来的故障类型，列得很密。基础架构那一档：CPU 抢占、内存抢占、IO 抢占、存储热点、连接打满。网络抖动、网络拥塞、网络中断、DNS 异常也在。宕机、假死、磁盘读写慢、网卡

> 打满，加上实例迁移、实例部署、OOM、core。业务应用那一档：下游失败、依赖超时、性能下降。再看格式错误、配置错误、环境错误、业务攻击。

>

> 这么长一串不是拿来背的，是拿来归类的。差别在收到哪一层。你出过一次"某个接口超时"，记成"接口超时"，它只防那一个接口。往上收一层记成"依赖超时"，所有同步调用都套得上。再收一层记成"下游失败"，连下游返回错数据也覆盖住了。

>

> 所以动作是：新故障来了先判断它归哪一类，能归就补参数，归不进去才加一类。库按抽象层级长，不按事故编号长。

>

> 合格的条目有个硬判据：抽象到能复用，具体到能注入。两头都够，才算真收进去了。

> **提问：**某次大促，商品详情页整体变慢，起因是评论服务响应慢。这条要收进哪一类，记成什么？

> **预设回答：**

- 答"记成评论服务慢"——太具体。它只能防这一个服务，换个服务照样出事。

- 答"记成依赖超时，放在业务应用层"——对。收一层之后，所有同步依赖都套得上，还能顺手补两个参数：超时阈值设多少、有没有降级。

- 答"记成性能下降就行"——又收过头了。这么粗的类别没法指导注入，你得知道注的是被调方变慢还是本机变慢。

- 收口：好的条目要抽象到能复用，具体到能注入。

> **易错点 / 考点：**考点是故障库的分层与抽象粒度。最常见的错答把故障库当成一本事故流水——流水只记历史，故障库是可注入的故障类型清单。判断一条能不能入库，三问就够：能转成注入动作吗？能套到别的服务上吗？参数写不写得出来？三问都过，才算合格条目。

> **过渡：**库有了，下一个问题是在哪儿注，一次注多大。

【7.162】优秀实践 3：从线下到生产、从小到大（4 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

能不能直接上生产？这问题年年有人问，理由也现成：测试环境造不出真实流量和真实数据。

>

课件给的不是"上或不上"，是两条线一起往前挪。

>

第一条线是环境：测试环境，Staging 环境，预览环境里的一股特定流量，生产集群全流量。为什么不跳？每一步验的东西不一样。测试环境验注入动作本身跑不跑得通。Staging 验服务和服务之间的牵连。预览环境放一小股真实流量进来，验线上行为跟线下是否一致。三关都过了，才轮到全流量。

>

第二条线是范围：可控流量，单个接口，单机，单集群，单机房，全链路。这条线量的不是"在哪儿做"，是"一次实验能波及多大"。它跟环境那条不是一回事：环境回答位置，范围回答影响。

>

影响多大，有个词叫爆炸半径。半径小，最坏结果是你自己先发现一个问题。半径大，最坏结果是全体用户陪你一起发现问题。差别就在这儿。

>

所以节奏由证据定，进度表定不了。上一格的实验稳住了，回退动作真跑过一遍，监控也盖得住，才准进下一格。每一格都得有回退开关，开关还得提前验过。开关存在，不等于开关管用。

>

收一句：先在最小半径里把方法练熟，再拿可控的半径去换真实的信息。

提问：团队已经能稳定在生产上对单机压 CPU 了，能不能直接跳到全链路网络延迟？

预设回答：

- 答"能，反正都是注故障"——危险。全链路延迟同时压所有调用方，超时叠上重试很容易演成雪崩，而那恰好不是你想验的那件事。

- 答"不行，中间缺了单集群和单机房两级"——对，跳级等于放弃这两级能给你的信息：集群内的调度与迁移、机房级的容灾切换。

- 答"先做，反正有开关能停"——开关存在不等于管用。回退动作本身也要在低半径里验过，才敢在大半径里指望它。

- 收口：半径扩大由证据推动，不由进度表推动。

> **易错点 / 考点：**高频考点是爆炸半径：定义是一次实验可能波及的用户与业务范围，控制手段是限制注入对象（单实例、单集群）、限制流量（小流量、特定用户）、限时（duration）、熔断回退开关、避开高峰。错答多半把爆炸半径理解成故障的严重程度——它说的是影响范围，不是故障强度。

> **【思政落点 17】**：爆炸半径讲的是对风险的估计，不是对自己能力的怀疑。做工程的容易有这种自信：这套系统我熟，注进去会怎样我清楚。复杂系统的教训恰恰反过来，你不知道。所以凡是要碰真实用户的操作，先问三句：影响谁、影响多大、出问题怎么退。把试验关在划好的圈里，不是不敢试，是让敢试和负责同时成立。

> **过渡：**半径往上挪，眼睛跟不跟得上？

【7.163】优秀实践 4：混沌工程可观察性（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 实验跑了四十分钟，业务指标抖一下又回来了。问为什么抖，在场没人答得上。

>

> 这就是能注不能看。混沌工程的可观察性要管三层。

>

> 第一层，实验过程留痕。什么时候开始注、注了哪些对象、参数是多少、什么时候恢复、恢复成没成功，都要有记录。为什么？因为你要把注入动作和业务曲线对上时间。没有这条线，"实验期间业务为什么抖"永远查不清。

>

> 第二层，影响要量到业务侧去。别只盯被注的那台机器。故障注在一个点上，影响顺着调用链往外传：上游

> 的调用方、下游的被调方、最后落到用户成功率。观测得跟着这条链走。缺了这一段，注入点上的曲线好看，用户那边可能已经掉了一截。

>

> 第三层，观测得盖住实验窗口的前后。注之前要有一段基线，注之后要看有没有回到基线。只看中间那一段，你分不清"恢复了"和"本来就在抖"。

>

> 这三层不是三套系统，是同一条时间轴上的三种数据。实验日志记你做了什么，业务指标记系统怎么反应，链路追踪记影响怎么传过去。缺一样，这张图就拼不齐。

>

> 三层合起来是一条能带走的要求：每做一次实验，都要能拿出一张"注入—指标—结论"对得上的图。拿不出来，这次就只是演了一遍，不是验了一遍。

> **提问：**实验结束，业务指标回到正常值了，能不能判实验通过？

> **预设回答：**

- 答"是，恢复了就说明系统扛住了"——不严谨。还得看注入期间指标有没有掉出阈值，以及恢复是自动的还是靠人重启的。

- 答"要看注入期有没有跌破稳态阈值、恢复是不是自动完成"——对。扛住的判据在注入期，韧性的质量还要看恢复方式。

- 答"日志里没报错就行"——错。业务失败常常不写在被注机器的日志里，而是写在上游的超时和重试里。

- 收口：判据落在两处，注入期的稳态，恢复期的方式。

> **易错点 / 考点：**常考"实验判定需要哪些观测数据"，标准答案得包含基线、注入期指标、恢复过程、调用链上下游四项。易错点是把实验日志和业务监控混成一件事：前者记录你做了什么，后者记录系统发生了什么，两者要能按时间对齐才有用。

> **过渡：**看得见之后，工具从哪儿来。

【7.164】优秀实践 5：采用开源混沌工程平台（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

第一个反应是自己写一个，理由也现成：我们的场景特殊，现成工具不够用。

>

课件建议先看开源的。六个项目，按定位点一遍。

>

Chaos Toolkit 走"实验即代码"。用配置文件写实验步骤，语言无关，适合塞进流水线。Litmus Chaos 面向 Kubernetes。它用 CRD 定义实验，跟 GitOps 配合得顺。Chaos Mesh 是云原生方向生态最全的，后面单独讲。chaoskube 很轻，按标签随机杀 Pod，做常态化噪声用。kube-monkey 借 Netflix 那只猴子的思路，按计划随机关 Pod。KubeInvaders 把实验做成了可视化的小游戏。课件底部还挂了一篇横向对比，container-solutions 那篇。

>

为什么不建议从零造？三条。

>

场景实现是最难的那部分。怎么在网络命名空间里加延迟，怎么让 cgroup 超限，坑最多，开源已经替你踩过了。生态和标准也一致，大家都拿 CRD、都拿 YAML 描述实验，将来换平台，实验定义能带走。成本上更明显，做一个覆盖基础资源、容器、应用层的注入平台，投入远超一个课程设计。

>

边界要说清：开源给的是能力，不是方法。装了 Chaos Mesh 不等于会做混沌工程。假设怎么提、稳态怎么定、半径怎么控，还得自己想。

提问：开源平台都现成了，为什么不少公司最后还是自研一套？

预设回答：

- 答"为了炫技"——少数情况是，通常不是主因。

- 答"因为要接自己的发布系统和监控"——说到点上了。平台的价值在和你那条流水线、那套指标体系打通，开源在这两处往往要二次开发。

- 答"因为开源的不安全"——站不住。成熟项目的注入能力本身可控，风险主要来自用的人把半径开太大。

- 收口：合理的路子是先用开源跑通方法，再按自己的流水线做集成。

> **易错点 / 考点：**考点是工具和方法的区别。错答多是"用了混沌平台就等于做了混沌工程"——平台只给注入能力，假设、稳态、半径、结论四件事仍然要人来做。考工具定位的话记三个锚点：Chaos Mesh 与 Litmus 偏 K8s，Chaos Toolkit 偏实验编排，chaoskube 与 kube-monkey 偏随机杀 Pod。

> **过渡：**六个项目里有一个是国内团队做的，教材后面重点讲它。

【7.165】ChaosBlade（4 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 阿里内部有个系统叫 MonkeyKing，外面知道的人不多。它的开源版叫 ChaosBlade。

>

> 课件说它是在十年故障测试和演练实践上一步步演化出来的。十年、实践这两个词值钱，它意味着这工具是被真实故障磨出来的，不是设计文档里推出来的。

>

> 场景分五类。基础资源：CPU、内存、网络、磁盘、进程。Java 应用：数据库、缓存、消息、JVM 本身、微服务。它还能指定任意类方法注进去。也就是你能精确到让某个 service 的某个方法多花 500 毫秒。C++ 应用：指定任意方法甚至某一行代码，注延迟，篡改变量和返回值。Docker 容器：杀容器，容器内的 CPU、内存、网络、磁盘、进程。云原生平台：K8s 节点上的各类资源实验，kill Pod，kill docker。

>

> 能做到这么细，靠分层实现。基础资源走操作系统接口。Java 走 Java Agent 挂载，C++ 走 GDB 调试器。容器走 Docker API 和 CRI，K8s 走 Operator。手段跟着注入点所在的层次换。

>

> 跟 Chaos Mesh 比，定位不一样。Chaos Mesh 生在 K8s。ChaosBlade 的根在单机和进程，往上再长到容器和集群。系统里要是还挂着一批没容器化的老服务，ChaosBlade 更顺手。

> **提问：**"篡改某个方法的返回值"这种注入，能验什么别的手段验不了的东西？

> **预设回答：**

- 答"验证代码写得对不对"——太笼统。它验的是对异常数据的容错，不是逻辑正确性。

- 答"验证下游返回脏数据时，上游会不会把脏数据写进库"——好，这就是数据链路的容错。断电和延迟都测不出这一类。

- 答"这种注入太危险，不能用"——恰恰相反，它最便宜：在测试环境里让某个方法稳定地返回错值，看系统怎么反应。

- 收口：注入粒度越细，能验的假设就越具体。

> **易错点 / 考点：**考点是场景分类和实现手段的对应：基础资源走系统调用与内核接口，Java 走 Java Agent，C++ 走 GDB，容器走 Docker API 与 CRI，K8s 走 Operator。错答多是把 ChaosBlade 和 Chaos Mesh 当同类替代品——一个从单机长到云原生，一个生在云原生。

> **过渡：**它凭什么做到方法级？看组件拆分。

【7.166】ChaosBlade 关键组件（4 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 八个模块，看着像八个项目。按三组记就清楚了：一个入口，一组执行器，一份模型定义。

>

> 入口是 chaosblade 本体。混沌实验的执行工具，CLI 和 HTTP 两种执行方式。命令覆盖创建、销毁、查询实验，还有实验环境准备与环境撤销。它还带完整的命令、场景、参数说明。准备和撤销这两个容易被略过：不少注入要前置条件，统一由它处理。

>

> 执行器按场景分家。exec-os 管基础资源。exec-docker 调 Docker API 标准化实现容器场景。exec-cri 走 CRI 标准化实现容器场景。chaosblade-operator 管 K8s 平台。它用 K8s 资源操作的方式创建、更新、删除实验。kubectl、client-go、chaosblade cli 三条路都能触发。exec-jvm 管 Java，靠 Java Agent 动态挂载。exec-cplus 管 C++，靠 GDB 做到方法和代码行级别。

>

> 模型定义是 chaosblade-spec-go，混沌实验模型的 Golang 语言定义。用 Go 写的场景能共用这一套。

>

> 这个拆法的好处值得学：入口统一，执行分离，模型共用。加一个新场景只写一个执行器，入口不用动；所有场景的参数结构一致，用起来不会一个命令一个样。

> **提问：**Java 场景为什么要单独一个 exec-jvm，不跟 CPU、内存一样走操作系统接口？

> **预设回答：**

- 答"Java 跑在虚拟机里，外面看不到方法"——对。JVM 内部的方法调用对操作系统不可见，要动它只能进到 JVM 里面。

- 答"Java 慢，需要专门优化"——不是理由。分开的原因是注入点不同：一个在进程外的资源，一个在进程内的字节码。

- 答"那用 GDB 也行"——技术上能挂，动字节码不如 Java Agent 干净。这正是 exec-cplus 用 GDB、exec-jvm 用 Agent 的原因：按语言挑手段。

- 收口：注入手段得配得上注入点所在的那一层。

> **易错点 / 考点：**考点是组件与场景、技术手段的对应。常考三对：exec-jvm 对 Java Agent，exec-cplus 对 GDB，exec-docker 对 Docker API、exec-cri 对 CRI。易错点是把 chaosblade-operator 当成独立平台——它是 K8s 场景的执行器，走的是 K8s 资源创建、更新、删除这条路。

> **过渡：**这些模块拼起来长什么样，下一张图给。

【7.167】ChaosBlade 构成（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 一张图里有箭头，箭头比框更值得看。

>

> 构成分三层。最外层是调用方，三条路：命令行直接敲，HTTP 接口调用，从 K8s 那边用资源的方式下发。

> 三条路最后都收进同一个地方，实验模型。chaosblade-spec-go 那份定义干的就是这件事。不管你从哪儿发起，实验都被规整成同一套结构：场景、动作、参数。

>

> 中间是分发。模型按场景类型派给对应的执行器。基础资源走 OS，容器走 Docker 或 CRI。K8s 走 Operator，Java 走 JVM，C++ 走 C++。Operator 那支有个特别之处：它跑在集群里，把实验变成 K8s 的一种资源对象。所以创建、更新、删除都走 K8s 的机制。

>

> 最内层是目标：被注入的进程、容器、Pod、节点，还有它们承载的应用。同一份模型落到这四种目标上，动手的方式完全不一样。

>

> 为什么统一模型这么要紧？因为实验要能被复用、被编排、被工具读。同一个场景换个入口发起来，结构一变，所有上层的东西都得跟着改。模型在上，执行在下，扩展点就被收敛到一处：加场景只加执行器，入口和模型都不用碰。

>

> 一句判断留在这儿：这张图里被所有分支共用的那一层，就是实验模型。

> **提问：**明天要给 ChaosBlade 加一个 Python 应用方法级注入，按这个构成，动哪一层？

> **预设回答：**

- 答"改入口，加一条命令"——不用。入口统一，命令按模型自动生成。

- 答"加一个 Python 执行器"——对。模型里描述哪个模块、哪个函数、注什么，执行器负责把动作挂上去。

- 答"改模型定义"——只有现有模型表达不了这种场景才需要。方法级注入用现有模型基本能描述。

- 收口：分层的好处就是这个，扩展点被收到一个地方。

> **易错点 / 考点：**考点是统一模型的作用：让不同场景的实验定义结构一致、可复用、可编排。错答多是把 CLI 和 HTTP 当成两套实现——它们是同一个入口的两种调用方式。判断方法还是那句：看图上唯一被所有分支共用的那一层。

> **过渡：**结构清楚了，跑一个最小的例子。

【7.168】一个简单的演示（4 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

敲第一行命令之前，先想清一件事：这条命令改的是哪台机器上的什么。

>

创建实验。CPU 场景的命令是 blade create cpu load，参数 --cpu-percent 80。它把负载压到八成。网络场景是 blade create network delay。参数三个：--time 3000、--interface eth0，还有 --local-port 8080。意思是在这块网卡的这个端口上注三秒延迟。两条命令的共同点：只说要什么效果，不说怎么做，落到系统调用上那一步是执行器的事。

>

创建成功会返回一个 UID。这个 UID 是你后面查询和销毁的唯一凭据，最容易被忽略。演示完忘了记，实验就一直挂着。第二天它还在压你的 CPU。

>

然后是查询，blade status 之类，确认实验还在不在、注了多久、参数对不对。最后销毁，blade destroy 加 UID。有些场景注之前要 prepare，撤的时候 revoke。

>

演示不要求你背命令，参数以官方文档为准。课件底部给了 chaosblade-io.gitbook.io 那个地址。要留下的是四拍节奏：创建、记录、观察、销毁。真实演练还得加两条：注之前说清假设和稳态指标，注之后把结论归档。

>

没有销毁动作的实验，等于给自己埋了一颗定时炸弹。

提问：演示时建了实验忘了销毁，第二天业务出现莫名其妙的抖动，你先查什么？

预设回答：

- 答"先查最近有没有发布"——常规思路，能白查半天。

- 答"先查有没有残留的混沌实验"——对。blade status 一敲就知道，演练环境里最常见的"人为故障"就是这个。

- 答"重启机器就好"——能好，可你把证据也一起销了，下次还会再犯。

- 收口：演练环境的第一排查项，永远是还有没有人在注故障。

> **易错点 / 考点：**考点是实验生命周期：创建、查询、销毁，外加环境准备与环境撤销这一对。判断题"实验执行完会自动恢复"——错，多数注入要显式销毁。答题要点：任何注入动作都得配一个回退动作，而且回退动作要在注入前确认过能用。

> **过渡：**单机玩明白了，系统跑到云上又会怎样。

【7.169】云原生架构下混沌工程引入（4 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 同一套代码搬到 K8s 上，故障的样子就变了。

>

> 原因是责任被挪走了。以前实例挂了你自己兜，现在平台替你兜。兜不兜得住，得一次一次注进去才知道。课件拿四组对照说明，每注一次，同时验四项能力。

>

> 第一项，单点故障容忍。注单实例故障，业务 SLA 没有波动，业务不受影响。前提是单实例：云原生默认实例会挂，架构上就得设计成一个挂了不影响整体。

>

> 第二项，状态可感知。注进故障之后，PaaS 能及时感知实例异常，异常实例自动迁移成功，业务指标不受影响。这一项考平台的感知，不是你的代码。

>

> 第三项，通过 naming service 访问。实例迁移之后列表变了，上游对这个服务的访问不受影响。这一项考服务发现：上游要是把地址写死，迁移等于断链。

>

> 第四项，部署满足单一包描述。注故障引发了扩容，PaaS 自动执行，不需要人做前置或后置。这一项考声明式部署，你写要几个副本，平台自己补齐。

>

> 四项合起来是一句话：验证对象从应用代码扩到了平台能力。调度、迁移、服务发现、弹性伸缩都得验。于是需要一把生在 K8s 上的工具。Chaos Mesh 就是接着往下讲的。

提问：在 K8s 上注了 Pod 故障，Pod 被杀、新 Pod 起来、业务也没事，这个实验说明什么，又说明不了什么？

预设回答：

- 答"说明高可用做到了"——说对一半。它说明副本冗余和自动重建生效，不代表服务发现、连接池、会话状态都没问题。

- 答"还得看上游有没有报错、有没有长连接断连"——很到位。Pod 重建过程中，上游的连接池和注册中心缓存是典型薄弱点。

- 答"说明平台没问题，代码也没问题"——推过头了。这次只覆盖杀 Pod 一种失效模式，网络、IO、时钟都没验。

- 收口：一次实验只证明它验过的那一件事，别扩大解释。

易错点 / 考点：考点是云原生下验证对象的扩展：从应用自身扩到调度、迁移、服务发现、弹性伸缩四项平台能力。错答多是"云原生平台自带高可用，不需要混沌工程"——恰恰相反，平台能力一样会失效，而且失效时更难察觉。

过渡：于是要一把生在 K8s 上的工具。

【7.170】Chaos Mesh（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

2019 年 12 月 31 日，GitHub 上多了一个仓库。

>

> 往前追一步，它最早是 TiDB 团队 2019 年做的一个测试框架。名字叫 Schrödinger's Cat，薛定谔的猫。往后走，2020 年 2 月 6 日进 CNCF 云原生全景图。7 月 14 日成为 CNCF 沙箱项目，9 月 26 日 1.0 GA。2021 年 7 月 23 日 2.0 GA，11 月 30 日 2.1 GA。2022 年 2 月成为孵化项目。

>

> 补个背景。CNCF 按鸿沟理论管项目，分三级。沙箱 Sandbox、孵化 Incubating、毕业 Graduated，一级比一级稳。这不是荣誉称号，它反映的是采用广度和治理成熟度。看一个云原生工具靠不靠谱，先看它站在哪一级，挺实用。

>

> 这条线还读出两件事。一是它从测试框架长成了平台。起点是给一个数据库做测试，现在覆盖网络、IO、时间、内核、压力各类故障。二是迭代节奏快，不到两年从 1.0 走到 2.1。

>

> 还有一点藏在出身里。起点是 TiDB，一个分布式有状态系统，对一致性、时钟、IO 特别敏感。所以它的故障类型里才有 TimeChaos、IOChaos 这种细分类，不是拍脑袋加的。

> **提问：**一个工具从 CNCF 沙箱升到孵化，通常意味着什么变化？

> **预设回答：**

- 答"更成熟了，可以用了"——方向对，理由得说准：升级看采用者数量、社区治理、发布规范这些指标，不只看代码质量。

- 答"有更多公司在生产环境用了"——这是核心指标之一。生产采用在分级评估里权重很高。

- 答"沙箱就是玩具，别碰"——过头了。沙箱意味着早期、接口可能变，不等于不能用，看你愿不愿承担接口变动的成本。

- 收口：分级是一块风险提示牌，不是使用许可证。

> **易错点 / 考点：**常考 CNCF 三级分级的名称与顺序：Sandbox、Incubating、Graduated。易错点是把 Chaos Mesh 的出身记成某云厂商的产品——它来自 TiDB 团队的测试框架。考时间就记三个锚点：2019 开源，2020 沙箱，2022 孵化。

> **过渡：**它怎么表达一个实验？靠声明式。

【7.171】声明式 API 定义简化混沌实验管理（4 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 写 YAML，还是敲一条命令？两种都能把同一个故障注进去。

>

> 命令式是你告诉系统怎么做，声明式是你告诉系统要什么状态，剩下交给系统达成。Chaos Mesh 选了后者。你写一份 YAML，说清对哪批 Pod 注什么故障、注多久。控制器负责把它变成现实。

>

> 落地手段是 CRD，用自定义资源扩展 Kubernetes 的 API。课件列了六类。PodChaos 杀 Pod，或者让 Pod 不可用。NetworkChaos 做延迟、丢包、分区。IOChaos 做文件读写延迟和错误，TimeChaos 做时钟偏移。StressChaos 压 CPU 和内存，KernelChaos 做内核级故障。类型还在加。

>

> 为什么这样能简化管理？三点。实验成了普通资源。创建、查看、删除都用 kubectl，跟你管 Deployment 一套手感。实验能进版本库，YAML 可以提交、可以 review、可以追溯谁在什么时候改过参数。天然可自动化。任何能操作 K8s 的东西都能操作实验：流水线、Operator、GitOps 工具都算。

>

> 反过来看命令行：敲完就过去了，没留痕，换个人重现不了。

>

> 一句话：声明式把实验从一次操作变成了一份资产。

提问：Chaos Mesh 为什么选"给 K8s 加一种资源类型"，而不是"发一个命令行工具"？

> **预设回答：**

- 答"因为 K8s 本来就是声明式的，顺着生态走"——准确。控制器模式、权限体系、审计日志都是现成的，等于白捡一整套基础设施。

- 答"因为 YAML 好写"——表层的理由。好写只是副作用，核心是状态能被持续调谐：实验被删了、节点重启了，控制器还能把状态拉回来。

- 答"因为命令行不方便"——不成立。好的命令行工具一样好用，差别在可复用与可审计。

- 收口：选声明式，选的是接进生态，不是多一种写法。

易错点 / 考点：考点是声明式与命令式的辨析，以及 CRD 的作用。错答多是把 CRD 说成一种配置文件格式

——它是扩展 K8s API 的机制，注册之后 kubectl get podchaos 这种查询才成立。考六类资源，记 Pod、Network、IO、Time、Stress、Kernel 六个前缀就够。

过渡：有了资源类型，还得有人读它、有人执行它。

【7.172】Chaos Mesh 架构（4 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

有人问过：这些执行器为什么不集中部署成一个大服务？

>

先看四个组件各管什么。Chaos Dashboard 给人用，UI 上管理和监控实验。它的作用是降门槛。写 YAML 对熟手轻松，对第一次上手的人就是一道坎。界面能点选类型、选目标、看状态。

>

Chaos Controller Manager 管决策，做调度和控制，同时是编排引擎。前面那些声明式资源就是它读的，它盯着创建、更新、删除，然后决定现在动手还是先等着。

>

Chaos Daemon 是 K8s 环境里的执行组件，真动刀子的活它干。要侵入命名空间、改 cgroup、动网络规则，这些动作要节点级高权限。所以它以 DaemonSet 的形式跑在每个节点上。

>

Chaosd 是 non-K8s 环境的执行组件，给还没上 K8s 的机器用。虚拟机、物理机上也能拿同一套方法做实验。

>

连起来是一条分工线。Dashboard 管体验，Controller Manager 管决策。Daemon 和 Chaosd 管执行，各管一段。这也是云原生控制器类系统的标准骨架：期望状态、决策、实际动作。以后看 Operator、看别的 K8s 工具，大半是这个结构。

提问：为什么执行组件要跑在每个节点上，不集中部署成一个服务？

预设回答：

- 答"它要动本机的网络和 cgroup，必须在本机"——对。网络命名空间、cgroup、文件系统都是节点本地的，跨节点操作不到。

- 答"为了分摊压力"——不是主因。真正的理由是权限和位置：注入要节点级权限，也只能在节点上生效。

- 答"少开端口更安全"——有点道理，主要还是能力和位置决定的。

- 收口：执行组件放在哪儿，由它要操作的对象决定。

> **易错点 / 考点：**考点是四个组件的职责划分：Dashboard 管界面，Controller Manager 管决策与编排，Daemon 管 K8s 执行，Chaosd 管非 K8s 执行。最常见的错答是把 Chaos Daemon 和 Chaosd 混成一个——一个在集群里，一个在集群外。答题先问它跑在哪儿，再问它负责决策还是执行。

> **过渡：**控制器具体在盯什么？

【7.173】监听资源变化（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

控制器一直在做三件事，顺序还是固定的。

>

> 第一件，监听。盯 PodChaos、NetworkChaos 这些资源的创建、更新、删除。它不是隔一会儿去问一遍现在要做什么，而是一直看着这些对象。轮询的代价是延迟和空转，监听拿到的是事件本身。你提交一份 PodChaos，它立刻知道；你把 duration 改短，它也知道；你删掉，它同样知道。

>

> 第二件，判断。收到变化之后要认出此刻的意图：新建的资源是要开始注；被删掉或者到期是要恢复；资源还在但条件没满足，比如目标 Pod 还没就绪，那就先等着。等着也是一种决策，这一步最容易被漏。不少自动化系统出事，就出在还没到动手的时候它动手了。

>

> 第三件，执行。简单注入像 PodKill，它自己就能干；要动节点上的东西，就向 Chaos Daemon 或者 Sidecar 发请求，由它们落地。

>

> 三件合起来是一个循环：监听、判断、执行。循环带来的是自我纠偏。实验资源被误删了，恢复动作会自动跑。节点重启了，控制器再看到资源还在，会把状态重新拉回来。声明式的好处就落在这儿：你描述状态，系统守着它。这套结构里没有"实验列表"这种东西，只有资源对象和它们的变化。

> **提问：**判断出"先等着"和判断出"要注"，哪一个更容易出错？

> **预设回答：**

- 答"注入更容易错，因为动作危险"——危险是事实，可等着判错了后果更隐蔽：条件没满足就注，实验结论全是假的。

- 答"等着更容易错，因为条件多"——很到位。目标在不在、就绪没有、上一个实验恢复完没有，任一条判错，都会误注或漏注。

- 答"两个一样"——不一样。注入错了是多造一个本来没有的故障，等着错了是本来要测的没测到，后者不报错，最难发现。

- 收口：自动化的风险常常不是做错，是悄悄没做。

> **易错点 / 考点：**考点是控制器的三种决策状态：注入、恢复、等待，以及简单注入与 Daemon 执行的区分。错答多是只记注入和恢复两种——等待这一项才是理解声明式系统的关键。判断方法：把实验当成期望状态，控制器做的就是让实际状态追上它，追不上就先等。

> **过渡：**分发出去以后，故障怎么进到容器里？

【7.174】故障如何注入？（4 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 故障是注进去的，可注到哪儿去了？

>

> 前一步还是监听资源变化。接着要问：容器到底是个什么东西。它不是黑盒，它由三样构成：进程、Namespace、Cgroup。进程是真正在跑的那部分。Namespace 管可见性，决定这个进程能看到哪些网络、哪些挂载点、哪些别的进程。Cgroup 管资源，决定它能用多少 CPU、多少内存、多少 IO。这三样摊开，一个容器在系统层面就没有第四样东西了。

>

> 所以注入的实质是两件事：侵入 Namespace 和 Cgroup，然后干扰它。

>

> 具体到动作上：要让网络变慢，就去动它的网络命名空间，加一条 tc 规则。要让磁盘变慢，就动挂载和 IO 限额。要让 CPU 不够用，就动 cgroup 配额，或者直接起一堆抢占进程。要让它找不到别的服务，就在网络命名空间里改路由或者 DNS。

>

> 于是判断一个故障类型能不能做，有了一条通用路子。靠改可见性或者改资源限额能表达出来的，都能注。表达不出来的，得走应用层手段，比如 Java Agent 改方法、GDB 改返回值。这也解释了为什么这类工具必须有节点级权限。命名空间和 cgroup 都是内核资源，没权限碰不到。

> **提问：**"让容器内的 DNS 解析失败"这个故障，按这层框架，是动 Namespace 还是动 Cgroup?

> **预设回答：**

- 答"动 Cgroup，因为是资源问题"——错。DNS 解析是找不找得到、通不通，属可见性一侧。

- 答"动 Namespace，改它的 DNS 配置或网络命名空间里的规则"——对。这一类"看得见看不见"的故障都归可见性。

- 答"改应用配置也能实现"——能，但那是应用层手段，不是平台级注入，适用场景不一样。

- 收口：先判断这个故障影响的是看得见还是够不够用，手段自然就出来了。

> **易错点 / 考点：**考点是注入的底层实质：Namespace 管可见性，Cgroup 管资源限额。这一节最容易被跳过，也最能分出"会用工具"和"懂原理"。错答多是把注入理解成发一个特殊请求给应用。答题三步：这个故障改了什么，归可见性还是资源，对应动哪个内核机制。

> **过渡：**原理清楚了，看一份真实的实验定义。

【7.175】使用 Chaos Mesh 定义混沌实验（4 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 这份 YAML 只有十几行，五个问题都装在里头：什么类型、叫什么、放哪个空间、怎么注、注谁。

>

> apiVersion 是 chaos-mesh.org/v1alpha1，接口版本。kind 是 PodChaos，说明这是 Pod 级故障。

>

> metadata 两个字段。name 是实验名，起名要看得出意图，别写 test1。namespace 是实验资源所在的空间，不是被注 Pod 的空间，这两个容易混。

>

> spec 是核心，四个字段。action 是 pod-failure，让 Pod 失败，一段时间内不可用，而不是删掉它。差别在哪？删掉会被重建，失败是原地不动但不可用，更接近真实的部分故障。mode 是 one，从目标里挑一个。这一行就是爆炸半径的第一个旋钮。改成 all 是全选，风险上一个量级。duration 是 30s，到点自动恢复，这是第二个旋钮。

>

> 最后是 selector，用 labelSelectors 挑目标。标签写的是 app.kubernetes.io/component 等于 tikv。按标签选，不写 Pod 名字。Pod 名字每次重建都变，标签是稳的。

>

> 两个旋钮记住就够用：影响几个，影响多久。

> **提问：**把 action 从 pod-failure 改成删除 Pod，实验验的能力差在哪？

> **预设回答：**

- 答"没区别，反正 Pod 都没了"——错。failure 是对象还在但不可用，删除是对象消失再被重建，两条失效路径。

- 答"删除会触发重建，验的是自愈；failure 验的是故障隔离"——准确。两种失效模式对应两套机制。

- 答"那就都注一遍"——对，这也说明动作本身是实验设计的一部分，不是随手挑的。

- 收口：选动作，等于选你要验的那条恢复路径。

> **易错点 / 考点：**考点是 YAML 各字段的含义，以及爆炸半径的两个旋钮：mode 和 duration。错答多是以为 mode: one 表示注一次——它表示选中一个目标，注多久由 duration 管。另一个易错点是 namespace：那

是实验资源的空间，不是目标 Pod 的空间，选目标靠 selector。

过渡：一个实验只有一种故障，事故往往几个一起来。

【7.176】编排混沌实验（4 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

一次事故很少只由一个故障引起。

>

常见顺序是这样：先网络抖，重试把下游打满，线程池耗尽，链路雪崩。只测单点，测不出这种连锁。所以要编排，Workflow 干的就是这件事。

>

构成四块。名称。Entry 是入口，引用任意一个声明过的 Template。是引用不是复制，同一个模板能多处用。Template 数组，定义各个行为。五种模板类型：Serial 串行，Parallel 并行，Chaos 具体实验。还有 Suspend 挂起，Task 任务。Serial、Parallel、Task 能把别的节点当子节点，方式是引用。于是整个 Workflow 成了一张有向图。

>

两个要点。第一，入口唯一：从 entry 能走到每个节点，执行顺序才定得下来，排查卡在哪一步才有依据。第二，用引用不用嵌套：定义一次多处引用，改一处全改，几十个实验也好维护。

>

骨架就两行。第一行 entry，指向某个模板名。第二行 templates，逐个列 name 和 templateType。入口加模板清单，剩下交给控制器按图推。

>

Suspend 看着什么都没干，却是编排里最管用的一环。注进去之后要留观察窗口，等指标把影响显出来，再决定加大还是收手。

提问：编排里为什么要专门给一个 Suspend，什么都不做？

预设回答：

- 答"用来做延时，模拟慢"——不是。延时是故障的一种，走 TimeChaos 或网络延迟，Suspend 是编排层的暂停。

- 答"用来留观察窗口，等指标反映出来"——对。故障注进去到业务恶化有滞后，没这个窗口，你会在还没显现代价的时候就把实验停掉。

- 答"用来卡人工确认，点一下才继续"——也有这种用法，把审批卡在流程里。

- 收口：编排不只是排顺序，还要排什么时候停一停。

易错点 / 考点：考点是五种模板类型，以及有向图加唯一入口的结构。错答多是把 Task 当成一个混沌实验——混沌实验是 Chaos，Task 一般用来做检查或者调外部动作。记五个字：串、并、混、挂、任。

过渡：故障摆好了，用户那边看到的是一连串麻烦。

【7.177】用户场景演练（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

所有服务的成功率都是 99.9%，用户还是说下单老失败。

>

系统可以做到每个组件都没挂、每个接口成功率都好看，而用户完不成一件事。可能一个不关键的推荐服务在拖主流程。也可能一个校验接口超时后静默返回了空。用户看到的只有"提交失败，请稍后再试"。组件的健康和业务的可用，中间隔着一条挺宽的缝。为什么按旅程看反而更难？因为旅程跨好几个服务，指标得能把它们串成一条。手上只有按服务分的仪表盘，这条旅程的完成率你得自己算。

>

做法是按用户旅程把动作串起来：打开页面、登录、搜索、加购、下单、支付。每一步对应一条链路和一组指标。然后把多个故障编排进同一条旅程，让它们有先有后，模拟一件事还没缓过来、第二件又来了。

>

这时候看的不是某个服务的错误率，是这条旅程的整体完成率、每一步的耗时、失败时用户看到什么。

>

> 关键词还是编排。上一页的 Workflow 就是为这个准备的。串行把故障按时间叠上去，并行模拟多处同时出问题，挂起留出观察窗口。

>

> 两句话分清楚：单点实验回答这个零件会不会坏，场景演练回答用户这件事还办不办得成。前者问的是系统，后者问的是人。

> **提问：**所有服务成功率都 99.9%，用户却反馈下单老是失败，最可能的原因是什么？

> **预设回答：**

- 答"统计数据不准"——有可能，但更常见的不是统计问题。

- 答"失败集中在某一步，而那一步不是核心服务"——很到位。校验、风控、推荐这类环节一挂，主流程可能被直接拦住。

- 答"重试把延迟放大了"——也对。单次调用没超阈值，重试叠起来整体就超时，这是典型连锁。

- 收口：所以按旅程看指标，别按服务看指标。

> **易错点 / 考点：**考点是组件可用性与业务可用性的区别，以及场景演练要编排能力。错答多是把场景演练等同于多注几个故障——差别在是不是按用户旅程组织、是不是看端到端指标。三问可用：这条链路用户能不能感知？断了用户看到什么？有没有替代路径？

> **过渡：**场景演练一般在上线前或者演练窗口做，能不能更早？

【7.178】Pull Request 场景（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 有人提了个 PR，改两行：把一个超时从 2 秒改成 30 秒。编译过，单测过，功能测试也过，因为正常路径没变。

>

> 这就是韧性的特点，它会被人改坏，而且改坏的时候不报警。今天这个服务能扛住下游超时，是因为代码里

> 有超时控制和降级分支。有人图快把它删了，理由还挺硬："反正没触发过。"只有注一次故障，才知道韧性还在不在。

>

> 于是有了这个用法。PR 提上来，自动部署到预览环境。就是前面说的预览环境那股特定流量，在那儿跑一组小而快的实验。半径压到这一个 PR 涉及的服务的单个实例上，时长几十秒。只验几条最关键的假设：下游超时兜没兜住，依赖不可用有没有降级，重试会不会被放大成风暴。过了才允许合并。

>

> 两条工程约束得说清。实验要快，门禁跑二十分钟，开发就绕过去了，所以只跑必过集，不跑全量。判据还得稳，门禁不接受"看起来还行"，指标越线就得红。噪声大的实验放进门禁，很快会被"重跑一次"废掉。

>

> 这条路子还有个前提。预览环境跟生产得说得上话，配置、依赖版本、数据规模都不能差太远。差太远，注出来的结论带不走。

>

> 变化就在这儿：混沌工程从季度演练，变成了每次提交都要过的一关。

提问：把混沌实验放进 PR 门禁，最大的现实阻力是什么？

预设回答：

- 答"环境不够用"——真实阻力之一。所以一般只在预览环境跑，而且只注一个实例。

- 答"太慢，开发等不了"——最普遍的阻力。办法是拆成必过集和全量集，门禁只跑前者。

- 答"实验不稳定，一会儿红一会儿绿"——这个最致命。不稳定会被当噪声，然后被忽略，最后被关掉。

- 收口：门禁类实验的第一要求不是覆盖广，是判据稳、跑得快。

易错点 / 考点：考点是混沌实验的两种节奏：演练式（周期性、大半径、深度验证）与门禁式（每次提交、小半径、快速回归）。错答多是把两者混成一件事，要求门禁也做全链路验证——流水线会彻底堵死。判断先问一句：这次是想发现新风险，还是防止已有韧性退化。

【思政落点 18】：韧性是别人写的代码在替你兜底，而兜底的东西最容易被人图省事拆掉。把故障注入挂到每次提交上，等于把"我记得这儿还有降级"变成一个别人能查的结论。对自己那两行改动负责，具体动作就

是改完先想办法把它弄坏一次，再交出去。肯让别人拿故障来试自己的代码，比嘴上说质量可靠实在得多。

> **过渡：**工具和实践都齐了，国内有团队把它做成了一套体系。

【7.179】从故障注入到混沌工程 —— KeChaos 2.0（4 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

标题前后各是一件事，中间隔着的就是这一节。

>

> 故障注入是动作，混沌工程是方法加流程加度量。KeChaos 2.0 把这套体系画成了五步。

>

> 第一步，定义实验场景。先想清楚要验哪个业务场景，不是先想我能注什么。第二步，关联注入能力。场景定了，再看手上哪些工具能实现，把能力和场景对上。第三步，确定监测稳态标准。哪些指标、什么阈值算正常，这一步得在注入之前做完。第四步，实验运行加爆炸半径控制。跑起来，同时把影响摁住。第五步，实验终止产出报告。结束，把结论沉下来。

>

> 三个细节值得点出来。关联注入能力排在第二步，说明它是按需找工具，不是拿工具找场景。这个顺序决定你是问题驱动还是工具驱动。爆炸半径控制和运行写在同一格里，说明控半径不是跑之前设一次，是跑的过程中一直要做。产出报告是流程的正式一环，不是可选项，没有报告，实验就没有进入下一次决策的输入。

>

> 还有一个词，稳态标准。它跟稳态指标是一回事，多"标准"两个字，意思是阈值得事先约定，不能事后看着曲线说大概还行。

>

> 五步走完，一份实验才算闭环。场景、能力、标准、运行、报告，五样齐全。换成工具清单，就只剩中间那一样了。

> **提问：**五步里"关联注入能力"排在"确定稳态标准"前面。把它挪到最后，会出什么后果？

> **预设回答：**

- 答"没什么区别，都是准备"——有区别。顺序一错，你先被工具能做什么框住，场景设计不自觉往"工具好实现"那边偏。

- 答"会变成工具驱动，场景被工具裁剪"——对。很多团队做了不少实验，却回答不了业务关心的问题，根子在这。

- 答"稳态标准会定得不合适"——也有这一层：标准得跟着业务场景走，别跟着能注的故障走。

- 收口：流程顺序本身就是方法，它决定你从问题出发还是从工具出发。

> **易错点 / 考点：**考点是五步的名称与顺序，以及故障注入和混沌工程的区别。错答多是把两者当同义词——故障注入是技术手段，混沌工程是把假设、稳态、半径控制、报告沉淀都包进去的完整体系。记顺序：场景、能力、标准、运行控半径、报告。

> **过渡：**这套流程落到具体目标上，第一块阵地是基础服务。

【7.180】基础服务稳定性风险治理（4 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 治理这两个字听着大，落到动作上就是五步。

>

> 先看演进。KeChaos 0.1 的定位是核心基础服务的稳定性风险探索。探索的意思是还不知道风险在哪，先做一批实验把它们找出来。KeChaos 1.0 的定位是核心基础服务常态化的故障注入和异常测试、故障演练例行化。常态化、例行化这两个词重要，意思是这件事从项目制的专项，变成了按周期自动跑的常规工作。两代之间差的不只是功能，是这件事在团队里的位置：一边是临时立项，一边是排进排期表。

>

> 再看治理闭环，五个动作：定义实验、做出假设、执行实验、修复问题、实验验证。这五步不是直线，是个圈。最后一步验完，发现新的薄弱点，又回到定义实验。

>

> 两个点要强调。做出假设被单列成一步，说明它得显式写下来，不是心里想想。修复问题后面必须跟实验验

> 证，这是最容易断的一环。问题改了，没人回头用同一个实验复验。于是"修好了"只是感觉。

>

> 为什么先挑基础服务？注册中心、配置中心、缓存、消息、数据库代理这一类，挂一个就是一大片。对它们做混沌工程最划算：影响面大，故障模式相对稳定，验证方法容易复用。

>

> 一句话：先探索找风险，再把验证变成例行。

> **提问：**闭环里为什么要把"实验验证"放回圈里，不是修完就结束？

> **预设回答：**

- 答"因为修复可能没修对"——对，最常见的情况就是这样：改的是现象，根因还在。

- 答"因为修复可能引入新问题"——也真实。改超时、加降级、换依赖，都可能改到别的链路。

- 答"因为要留证据给领导看"——动机偏了。复验的价值是确认假设成立，不是攒材料。

- 收口：没有复验的修复只能叫改过了，还说不上修好了。

> **易错点 / 考点：**考点是两个阶段的定位区别：0.1 探索是找风险，1.0 常态化与例行化是守风险。错答多是把"例行化"理解成"自动化"——例行讲的是按周期纳入工作流，自动化只是实现手段。另一考点是闭环为循环，修复之后必须复验。

> **过渡：**闭环讲的是怎么管，下一页讲具体怎么注。

第 7 章讲稿（7.181–7.200，v3）

> 锚点与课件一一对应，不增删页。取消板书。口播按四拍：起 → 推 → 收。

【7.181】基于 KeChaos 的故障注入（4 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 故障注入这四个字，很多人脑子里只有一个动作：把某个服务打死，看它崩不崩。真上手会发现，注之前一

堆功课，注之后还有一半活没人干。

>

课件把这件事拆成四个阶段，每个阶段都有具体动作。第一个阶段，依赖梳理。四个动作。链路分析，看请求经过哪些服务。强弱依赖梳理，哪些依赖断了业务就停，哪些只是体验下降。依赖降级梳理，每个依赖有没有降级方案。最后是熔断限流降级的能力梳理，阈值在哪、上限多少。

>

这一步一次故障都没注。为什么先做？你不知道调用关系，就算不出会波及谁。半径控不住，实验就不敢在生产上跑。

>

第二个阶段才是注入。五个动作。先报备周知，告诉相关方什么时候注什么。再照历史故障画像去注，过去真出过的问题命中率最高。范围上先专注自身服务，别一上来就动下游。然后模拟下游异常、模拟依赖异常。

>

顺序有讲究。报备在前，出事才有人配合。画像在前，注的是真出过的问题，不是凭想象编的。专注自身在前，先证明自己扛得住，再去碰别人的链路。

>

第三个阶段，报警验证。三个指标。报警触达率，收到的人收没收到。报警及时性，多久收到的。报警有效性，这条报警有没有指向真问题。为什么单占一个阶段？因为告警链路自己也会坏。规则过期、通道失效、值班表半年没更新，平时都看不出来。注一次故障，是给告警体系做体检最便宜的办法。

>

第四个阶段，降级验证。三项：降级能力建设，有没有这个东西；限流有效性，限得住吗；熔断、降级有效性，真会跳闸吗。写在文档里的降级方案，和按下去会动的开关，是两件事。

>

四个阶段连起来，逻辑只有一句：先弄清结构，再小心注入，然后验看得见和扛得住。后两个阶段验的是运维能力，不是业务代码。这一段最常被漏掉，因为它不在代码里。

提问：为什么报警验证要单独占一个阶段，而不是注入完顺带看一眼监控有没有报？

> **预设回答：**

- 答"顺带看就行，反正会报"——最常见的想法，也最容易漏。告警链路本身会坏：规则过期、通道失效、值班表没更新。

- 答"因为告警是给人看的，人不在就等于没报"——很到位。触达率和及时性量的就是这件事。

- 答"因为要看报警准不准"——对，这是有效性。一条每次都响的报警，等于没有报警。

- 收口：告警体系也是被测对象，注故障是它最便宜的体检方式。

> **易错点 / 考点：**考点是四阶段及各自子项，尤其报警验证的三性——触达率、及时性、有效性，和降级验证的三项。常见错答是把故障注入当成整个流程，它只是第二阶段，前后都还有活。答题要点：先梳理再注入，注入后既验业务，也验告警和降级。

> **过渡：**混沌工程这一块走完了，接下来换一个完全不同的问题：功能都对，用户却不会用。

【7.182】7.5 易用性测试：A/B 测试（2 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 有个功能上线两周，数据看着别扭。点进来的人不少，走完流程的不到三成，客服那边也没人投诉。

>

> 这种情况查用例是白查的。用例写的是点提交、订单创建成功，它全绿。可它从来不问一句：用户知不知道该点哪里，看不看得懂那句提示。

>

> 7.5 节换的就是这个问题，好不好用。它值得单独成节，因为能用和愿意用是两件事。能登录、能下单、能支付，功能全对。可按钮藏在第二屏，错误提示是一串错误码，一个流程要点五次。人就走了。

>

> 易用性测试回答三层问题。看得懂吗，界面元素合不合用户的习惯。走得通吗，一个任务能不能从头做到尾。愿意继续用吗，做完之后他下次还来不来。三层对应三种方法和三种度量，后面几页分开说。

>

> 这一节收尾的地方是一个很工程化的手段，A/B 测试。把用户分成组，同时在线跑不同版本，用真实行为判断哪个更好。易用性本来是主观的，A/B 给它装了一套能比的判断依据。你觉得好不算，看数据。

>

> 还有一句边界先摆清。功能测试验通不通，易用性测试验愿不愿。两件事都得做，但别拿一边的结果去替另一边结案。

>

> 真要说分工，一句话够。前面问的是系统扛不扛得住，从这里开始问的是人愿不愿意用。

> **提问：**一个功能所有用例都通过，上线后用户却大量放弃，最可能是哪一类问题没测?

> **预设回答：**

- 答"性能问题"——有可能，但性能问题通常表现为慢和超时，不是放弃。

- 答"易用性问题"——对。用户没找到入口、看不懂提示、流程太长，都会直接放弃。

- 答"需求做错了"——也对，但需求错通常表现为用户根本不用这个功能；用了一半放弃，更像易用性。

- 收口：功能测试验通不通，易用性测试验愿不愿。

> **易错点 / 考点：**考点是易用性测试的定位。它属于非功能测试，验的是使用过程中的效率、可理解性和满意度，功能测试覆盖不到。常见错答是把易用性等同于界面好看。好看只是其中一项，还包括一致性、效率、容错提示。

> **过渡：**既然界面起的作用最大，那就先把好的界面到底好在哪说清。

【7.183】良好的 UI 元素（4 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 两个按钮，一个写保存，一个写提交，功能都对，都能把数据存下来。用户在两页之间来回看，最后还是点错了。

>

> 好的用户界面七要素，课件原话是七个。符合标准和规范、直观性、一致性、灵活性、舒适性、正确性、实

> 用性。按性质分三组，好记。

>

> 第一组守规矩。符合标准和规范，是跟平台和行业的通用约定走：手机上的返回手势、菜单放哪、必填项怎么标。一致性，是产品内部同类操作的表达要一样。这页写保存，那页就写提交，按钮颜色、提示语气、错误码格式都得统一。

>

> 一致性为什么重要？用户是靠上次的经验来用你的软件的。每次都要重新学一遍，多出来的那几秒就是摩擦。刚才那两个按钮的损失就在这儿：用户得停下来判断，这两个词是不是一个意思。

>

> 第二组好理解。直观性，看一眼就知道这是干什么的，点了会怎样。正确性有两层。界面上的信息必须对，数字、状态、文案跟实际一致。操作的结果也要可预期，点了删除就真删了，还得有确认和撤销。

>

> 第三组好用。灵活性是对不同的人给不同的路：新手有引导，熟手有快捷键，批量操作有入口。舒适性是视觉和操作的负担要低：对比度够、点击区够大、不刺眼、不让人紧张。实用性是每个元素都得有存在的理由，不做看起来高级但没人用的东西。

>

> 七条摆在一起，作用是把审美问题变成可以检查的问题。做易用性测试时，拿这七条当一张单子，一条条问我们做到没有。这比凭感觉说我觉得不丑靠谱。

>

> 其中两条最容易被当成小事：一致性和实用性。它们的改动量最小，收益却算得出来。

> **提问：**这个页面用保存，那个页面用提交，功能都正常。这违反七要素里的哪一条，会造成什么损失？

> **预设回答：**

- 答"违反直观性"——不准确。直观性讲的是看一眼知道是什么，这里讲的是同类表达统一，属一致性。

- 答"违反一致性，用户会犹豫、会点错"——对。措辞不统一，每次都要判断这两个按钮是不是一回事。

- 答"无所谓，用户会习惯"——这就是把摩擦当理所当然。摩擦攒起来就是放弃率。

- 收口：一致性问题看着最像小事，却是最容易算出收益的一类改进。

> **易错点 / 考点：**考点是七要素的名称与归类。常见错答是把正确性只理解成程序不出错，在易用性语境里它还包括信息真实、结果可预期。另一个错答是把灵活性当成功能多，灵活性强调面向不同熟练度用户的多条路径。

> **过渡：**有了检查标准，下一步是怎么测。三种方法，用途各不相同。

【7.184】用户体验测试方法（4 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 手上还没有成品，你却要回答这个方向值不值得做。这时候拉几个用户问好不好用，问出来的多半是客套话。

>

> 用户体验测试有三种方法，区别不在难度，在先用在哪个阶段、回答哪个问题。

>

> 第一种，探索式测试。它能确定新产品该包含哪些内容和功能，也能评估初步设计或原型的有效性和易用性。两个关键词，新产品和原型。它用在还没有成品的时候，目的是把该做什么、这个方向对不对搞清楚。所以它常跟纸质草图、低保真原型一起用，成本极低，推翻重来也不心疼。

>

> 第二种，评估性测试。在发布前或发布后对最新版本做测试，确保用户能直观使用，并且体验良好。它用在有成品的时候，回答这一版能不能上、上了会不会被骂。发布前做，是可用性测试；发布后做，就看真实用户的实际表现。

>

> 第三种，比较性测试。比较两种或更多产品或设计的易用性，区分各自优缺点，确定哪种能给最好的操作体验。它用在有几个候选方案的时候，回答选 A 还是选 B。产出不只是哪个赢，还要说清为什么赢、在哪个维度赢。否则下次设计还是拍脑袋。

>

> 三种连起来是一条时间线：探索，还不知道做什么；评估，做出来了能不能上；比较，两个方案选哪个。

>

> 最容易出错的情形反而不在选方法，是已经有了成品，还在用探索式的问法问你觉得怎么样。这种问法拿到的是偏好，不是任务能不能完成。上线之后的优势恰好是有真实行为可看，把它浪费在问感受上，太亏。

>

> 还有一条界线。比较性测试不等于 A/B 测试。A/B 是在线、真实流量、看行为数据；比较性测试范围更宽，实验室里几个用户也能做。

> **提问：**产品已经上线，团队还在做给用户看原型、问你觉得好不好的测试。问题出在哪？

> **预设回答：**

- 答"没问题，多听用户总没错"——方向不错，方法错了阶段。上线后该问真实使用中哪里卡住。

- 答"方法用错了阶段，该做评估性或比较性测试"——对。上线后的优势正是有真实行为数据可用。

- 答"直接问用户喜欢哪个颜色"——这是比较性测试最浅的一层，只问偏好不问任务完成情况，结论很弱。

- 收口：方法要匹配阶段，阶段决定你能拿到什么数据。

> **易错点 / 考点：**考点是三种方法对应的阶段与问题。常见错答是把比较性测试等同于 A/B 测试，A/B 是在线、真实流量、看行为数据，比较性测试范围更宽。另一考点：探索式测试强调早期与低成本。

> **过渡：**测完得落到指标上。体验怎么量化，下一页给三套模型。

【7.185】用户体验测试模型（4 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 改版上线，老板要一句用数据证明体验变好了。报表打开，第一个问题就卡住：看哪个数。

>

> 三套模型，层次不同。先看谷歌的 GSM。从产品或功能的目标出发，分析这些目标会转化成哪些信号，再据信号建立具体、适用的度量指标。目标、信号、指标，三层。

>

> 举个具体的。目标是让用户快点找到商品。信号是搜索到点击的间隔、首次点击的命中率。指标落成搜索到点击的中位耗时，一个能算的数。它的价值在中间那一层。很多人从目标直接跳到指标，落出来的数跟目标没关系，跑半年也不知道在证明什么。

>

> 第二套是传统网站 UX 指标 PULSE：页面浏览量、在线运行时间、延迟、周活用户数、收益。五个都好采集、好汇报，适合做整体看板。短板也明显：这些数讲的是网站怎么样，不是用户感受怎么样。浏览量高，可能是设计得好，也可能是用户迷路了乱点。

>

> 第三套是 HEART，以用户为中心：愉悦度、参与度、接受度、留存率、任务完成度。

>

> 三者的关系记成一句。GSM 是方法，从目标推指标。PULSE 是看板，看系统和运营。HEART 是框架，站在用户那边。

>

> 所以选指标之前先回答一个问题：这次要回答的是系统问题还是用户问题。答完，用哪套自然就定了。

>

> 老板那句用数据证明体验变好，最贴的其实是 HEART 里的任务完成度和留存率。前者说用户能不能办成事，后者说他愿不愿意回来。PULSE 可以一起报，但它证明不了体验。

提问：老板要用数据证明改版让体验变好了，你从 PULSE 挑指标，还是从 HEART 挑?

> **预设回答：**

- 答"用 PULSE，数据现成"——省事，证明力弱。浏览量涨了未必是体验变好，可能只是投放加了。

- 答"用 HEART，尤其任务完成度和留存率"——更贴体验这个词。前者说能不能办成事，后者说愿不愿回来。

- 答"两个都用，PULSE 看整体，HEART 看用户"——最完整。前提是先用 GSM 想清这次目标是什么、对应哪个信号。

- 收口：指标不是越多越好，要能对上你想证明的那句话。

易错点 / 考点：考点是三套模型的定位差异与要素名称。常见错答是把 GSM 当成一组指标，它是从目标推导

指标的方法。另一个错答是把 PULSE 当用户体验模型，它更偏系统与运营。口诀：GSM 推、PULSE 看、HEART 问用户。

> **过渡：**HEART 和 GSM 能告诉你体验有没有变好，可它们都要跑一段时间。有没有几天内就分出新旧版本谁更好的办法？

【7.186】A/B 测试（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

按钮放左边还是右边，标题写立即注册还是免费试用。产品经理和设计师各有一套理由，谁也说服不了谁，最后谁职级高听谁的。上线之后数据不好，也说不清是方案错了还是运气不好。

>

> 课件第一句是句英文：有些东西需要 Sense，但大部分东西可以用 Science 来判断。翻过来就是：产品上确实有一部分靠直觉和品味，但大部分决定其实能靠数据判。A/B 测试就是把靠品味的那部分，尽量挪到靠证据这边。

>

> 定义要给全。A/B 测试是把用户分成不同的组，同时在线试验产品的不同版本。判断依据是用户反馈的真实数据，看哪个方案更好。

>

> 三句话拆开，每一句都在堵一个漏洞。分组，不同组看到不同版本，否则无从比较。同时在线，不是这个月用 A、下个月用 B，而是同一时间两拨人各看一个。季节、大促、竞品动作对两组的影响是同一份，能抵消掉。真实数据，判断依据是用户真点了什么，不是会议室里谁的嗓门大。

>

> 生活里的类比是临床试验。新药不能医生觉得有效就上市，得设对照组、同期观察、看统计结果。软件比药幸运，同一秒钟就能给一半人旧版、一半人新版。

>

> 所以有一句要分清：A/B 测试不是测 bug 的。功能测试问对不对，A/B 问哪个更好。它测的是方案优劣，两

> 个版本都能正常跑，只是一个更值。

> **提问：**注册按钮，产品经理要改绿，设计师要改红，下周上线，两天内怎么给一个两人都服的答案？

> **预设回答：**

- 答"做用户调研，问用户喜欢哪个"——偏好不等于行为。用户说喜欢绿色，点的时候可能还是点红色那个。

- 答"先上绿色一周，再上红色一周比两段数据"——最典型的错答。两周外部环境不同，差异归不了因。

- 答"各放一半用户，看点击率谁高"——方向对，还要补两点：分流要随机且稳定，同一用户每次看到同一版；差异要看统计显著，百分之一的波动可能只是噪声。

- 收口：第三种已经站在正确答案门口，后面讲特点、讲分流、讲评价，就是把这三层补严。

> **易错点 / 考点：**三个必考区分。A/B 不等于灰度发布，灰度是逐步放量降风险，目的是稳；A/B 是对照比较，目的是选。A/B 不等于埋点分析，埋点只采数据，没有分组对照就没有因果推断。判断题高频陷阱：先上 A 一周再上 B 一周比较两周数据——不是 A/B，违反并行性。口诀：同时间、两组人、比数据。

> **过渡：**定义里那三个要素，正好对应它的三个特点，逐条拆。

【7.187】A/B 测试特点（3 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 有些团队号称在做 A/B，问下去只有一件事：新版本先放给了百分之五的用户。

>

> 这不是 A/B，这是小流量灰度。可信度要靠三个特点撑着：先验性、并行性、科学性。

>

> 先验性。课件写的是，用流量分割和小流量测试，先让线上部分小流量用户使用，验证设计。再根据数据反馈推广到全流量，减少产品损失。说白了是先拿百分之一到几的用户试，试对了再全量。为什么不直接全量？全量是一次不可逆的赌注，方案错了全体用户受损，损失被放大。小流量把试错的代价关在一个可控的池子里。先验不是先知先觉，它指在全面推广之前先取得证据。

>

> 并行性。同时运行两个或两个以上版本的试验做对比分析。而且保证每个版本所处的环境一致，避免流程周期长，节省验证时间。两个词最关键：同时，环境一致。串行做，环境一变，你分不清差异是方案带来的还是环境带来的。并行还附带一个好处，快。串行两轮四周，并行两周出结果。

>

> 科学性。基于统计的数据做决策，避免主观或经验的错误决策。这里要咬住统计两个字。不是数据多就科学。数据多但抽样有偏，照样错。科学体现在随机分流、样本量足够、看置信区间、考虑显著性。

>

> 三个特点缺一个，结论就软。三个都占，才算一个实验。

>

> 现实里最常见的半成品，就是只做第一条。小流量放出去了，没有对照组，也没有显著性检验，最后拿感觉还行收尾。

> **提问：**新推荐算法先给百分之五用户用，两周后看着不错就推全量。先验性做到了，还差什么？

> **预设回答：**

- 答"没做并行对照，这百分之五自己跟自己比"——抓住要害。中间夹着时间因素，归不了因。正确做法是同时留一组用老算法。

- 答"百分之五太小，样本不够"——有可能。要看基线指标和效应量，有的指标百分之五够，有的百分之五十都不够，得估算。

- 答"两周太短"——也对。要考虑新奇效应，用户刚见到新东西会多点几下，两周后回落。时长要覆盖一个完整的用户行为周期。

- 收口：三个回答分别指向对照缺失、样本量、时长，正好是评价一节的三个要素。

> **易错点 / 考点：**先验性容易误答成提前预测结果，正确是先小流量取得证据再推广。并行性的采分点是同时加环境一致，只答两个版本不给分。选择题常把科学性换成数据量大就科学来设错，科学性指统计推断的规范性。三步判断：有对照吗？同时吗？显著吗？

> **过渡：**特点说完，最实际的问题来了：哪些事值得拿 A/B 去试。

【7.188】ABTest 适应的场景（3 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 哪一类改动值得拿两组用户去比？课件给了四类场景。

>

> 第一类，灰度发布，用在技术和算法迭代。新模型、新架构、新依赖库，最先关心的是会不会崩、性能会不会掉。这时候 A/B 的价值是把故障面关在小流量里，同时对比新旧版本的错误率和耗时。这一类里，A/B 和灰度发布高度重叠。

>

> 第二类，功能优化，界面模块、样式风格、交互方式。这是最经典的战场：按钮位置、配色、导航层级、表单几个字段。判据是点击率、完成率、停留时长。

>

> 第三类，内容优化，推广海报、落地页、内容模块、文案。同一个活动，标题写限时五折还是仅剩三天，转化能差一截。内容类实验成本极低、迭代极快，一天能跑好几组。

>

> 第四类，运营优化，运营策略、沟通话术。推送时间、券面额、召回话术、客服应答模板。这一类直接对着收入，所以最容易吵架，因为它涉及给谁发多少，光靠经验拍不准。

>

> 分这四类不是为了背名字，是因为不同场景的判据指标、所需样本量、能承受的实验时长完全不同。技术类看稳定性和耗时，几天就够。运营类看转化和收入，往往要跑完一个完整周期。

>

> 边界也得说。有些事没法同时给两组不同待遇。比如价格必须一致，合规不允许差别对待。或者流量太小，攒不出样本。或者效果要几个月后才显现。这三种硬上 A/B，只会得到一个不成立的结论。

>

> 一句话收：四类场景决定你测什么，三个条件决定你能不能测。

> **提问：**想验证会员年费从 198 降到 168 会不会提升总收入，能不能用 A/B?

> **预设回答：**

- 答"能，一半用户看 198，一半看 168"——技术上能做，但这是价格歧视，多数业务与合规上不允许。用户发现同商品不同价，信任损失远大于收益。

- 答"不能，涉及定价"——方向对。更准的说法是可以测，但得换设计，比如按地区或新老用户分组，事先评估公平性。

- 答"那就别测了，拍脑袋定"——也不对。还可以用历史数据、价格弹性模型、小范围市场试点。

- 收口：这道题的意义是记住三条边界——能否同时差异化对待、流量够不够、指标能不能在合理周期内观察到。

> **易错点 / 考点：**四类场景的名称与对应指标是常考填空。易错：把灰度发布只当发布手段，忽略它也是 A/B 的一种应用；把内容优化和运营优化混答，前者改的是页面上的东西，后者是对用户做的动作。判断三问：能同时分组吗？流量够吗？周期够吗？

> **过渡：**场景摆开了，下一页换个角度问：这些场景里哪些真值得做。

【7.189】ABTest 适应的场景（4 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 场景摊开之后，落到手上还有个更硬的问题：这个实验做不做得成。

>

> 第一个条件，改动成本。内容优化在成本最低的一头。改一句标题、换一张海报，开发量近乎为零。样本需求也不大，两三天能出结论。所以成熟团队在这里做高频小实验，一周跑十几组。功能优化往中间走，改交互要设计、要开发、要回归，成本上一个台阶，效果通常几天到两周看得出来。灰度发布比较特殊，它的目的不是选优，是控险。新架构上线不做小流量验证，等于拿全量用户赌。

>

> 第二个条件，流量够不够攒样本。一个日活两千的 App，做前端按钮实验，一周可能只攒到几百次曝光。这个量级看不出百分之二的差异。流量不足时的替代做法有三条：拉长周期、放大改动幅度、改用定性方法，

> 比如可用性测试和访谈。

>

> 第三个条件，反馈周期能不能接受。运营优化常卡在这。发券、改推送，直接动收入，可效果往往要等一个复购周期才看得出来。实验窗口要几周。效果要是半年后才显现，时间成本就不划算了。

>

> 第四个条件，能不能同时差异化对待。有些场景流量够、指标也清楚，业务上就是不允许两组不同待遇。价格、会员权益、对外承诺的服务水平，都不能一半一半。这类事落在不能做 A/B 的清单里。

>

> 四个条件合起来看，适用性不是由想不想测决定的。它由成本、流量、反馈周期、能否差异化共同决定。任一条不满足，就换方法。换方法不等于放弃改进，试点、前后对比、历史数据、定性研究，都是路。

> **提问：**一个内部 OA 系统，全公司三千人，想验证新版首页布局能不能减少审批耗时。做得成吗？

> **预设回答：**

- 答"做得成，一半人用新版"——先别急。三千人里每天真走审批的可能只有几百人，样本被进一步稀释；审批耗时还受流程和审批人习惯影响，方差很高。

- 答"做不成，人太少"——方向对，但要给替代方案：按部门做前后对比，或者先小范围试点一个部门跑一个月，再收定性反馈。

- 答"直接全量上，出问题再改"——最危险。内部系统全量切换的返工成本往往比想象的高。

- 收口：关键不是能不能分两组，是每组能不能攒够有效样本、方差压不压得住。

> **易错点 / 考点：**这一页考适用性判断，标准答案要给四个约束，不能只答流量要大。易错：认为只要有数据就能做 A/B，数据量不等于有效样本量，还要看方差与效应量。另一错答是把不能做 A/B 等同于不能改进，替代路径有三条：试点、前后对比、定性研究。

> **过渡：**场景和边界都清楚了，接下来进这一节的骨架，六个概念。

【7.190】核心概念（4 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 先看一个具体的。同一个用户，在推荐实验里被分到 B 组，他还能不能在按钮实验里进另一个组？

>

> 这个问题要先弄清六个概念：场景、桶、层、实验、流量、流量正交。

>

> 场景对应业务场景，场景之间完全独立。首页推荐、搜索排序、支付收银台，就是三个场景，三件事互不干扰。

>

> 桶圈定特定的用户流量，不同的桶之间流量互斥。它从属于场景，一个场景可以有多个桶。一个人在同一个场景里只能待在一个桶。

>

> 层是一类实验的集合，也从属于场景。处于同一层的各实验之间流量互斥，处于不同层的各实验之间流量正交，各实验流量之和为总流量。所以刚才那个用户，同层只能进一个，不同层可以各进一个。

>

> 实验，是用来验证某个决定请求处理方式的功能或策略的一部分流量。它通常用来验证某个功能或策略对系统指标的影响。课件举的是 PV／UV、CRT、下单转化率。

>

> 流量指所有用户请求。这里咬住请求两个字，不是用户数。一个用户一天来十次，就是十份流量。

>

> 流量正交，是不同层之间流量分配方式完全独立，不会互相影响。符合 MECE，也就是相互独立、完全穷尽。

>

> 为什么要正交？两层不独立，实验就互相污染。你在界面层测按钮颜色，同时在算法层测推荐模型。两层用同一批人、同一套分配逻辑，点击率变了算谁的功劳？正交让每个实验都能单独归因。

>

> 六个概念收成一句：场景装层，层装实验，实验分桶，桶切流量；同层互斥，异层正交，场景独立。

> **提问：**一个用户在界面层进了实验 A，在算法层就不能进实验 B。这句话对不对？

> **预设回答：**

- 答"对，用户只能进一个实验"——最典型的错答。互斥只发生在同一层内部，不同层之间是正交的。

- 答"不对，不同层可以同时进"——正确，还要补一句理由：不同层分配独立，同时参与多个实验也不会让结论互相污染。

- 答"要看是不是同一个场景"——也对。正交与互斥的前提都在同一个场景内，跨场景的流量本来就完全独立。

- 收口：三层就一句话——互斥管同层，正交管异层，独立管跨场景。

> **易错点 / 考点：**六个概念必考，最易错的是桶与层的混淆，桶是流量块，层是实验集合，还有互斥与正交的对象搞反。口诀：同层互斥、异层正交、场景独立。判断题陷阱：各层流量之和等于总流量——课件原话是各实验流量之和为总流量，指同一层内，把各实验偷换成各层就是错。

> **过渡：**名词有了，下一张图把层怎么切、桶怎么分画出来。

【7.191】A/B 测试：桶、层、流量（4 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 总流量一百，先按场景隔开，场景内部再切层。这一步切错，两个实验的数字一起废。

>

> 切法里最反直觉的一点：层不是把流量切走一块，而是同一批流量在每一层各被重新分配一次。界面层可以是 A 组一半、B 组一半；算法层也可以是 C 组一半、D 组一半。这两层的一半，不是同一批人。想通这一句，正交就懂了。

>

> 再说互斥。同一层里要同时跑两个实验，比如按钮颜色和按钮文案。不能让两个实验各占一半再各占一半，那加起来百分之二百。正确做法是把这一层的流量切成互斥的桶。实验一拿一到五十，实验二拿五十一到一

> 百。每个桶内部再跟对照组对半分。

>

> 最后说叠加。一个请求进来，网关依次在每一层算出它属于哪个桶，把各层结果拼成一个完整的实验组合。这就是正交在工程上的样子：每层独立算一次哈希，互不影响。

>

> 看图时盯住那条约束：同一层内所有实验含对照的流量加起来，必须等于这一层的总流量。多了说明有重叠，少了说明有流量没分出去。两种都会让统计结论失真。

>

> 给个数字找感觉。某场景一天一百万请求，界面层开两个实验各占两成，剩下六成留空。算法层开一个实验占三成，剩下七成留空。留空不是浪费。它给没参与实验的多数用户保留稳定体验，也给后面的实验留出流量预算。

>

> 所以容量不够时，工程上最常见的解法不是硬挤，是把实验挪到另一层。挪过去就变成正交关系，不再抢同一层的流量。代价是归因口径也跟着变。

提问：同一层里已有一个占六成流量的实验，还能不能再加一个占五成的？

预设回答：

- 答"能，各分一半用户"——错。同一层互斥，六十加五十已经超了，而且各分一半和占六成是两种互相矛盾的分法。

- 答"不能，最多再给四成"——正确。剩下的四成可以给新实验，也可以留一部分作对照或留空。

- 答"把它挪到另一层去"——很专业。换层就变成正交关系，不再抢同一层流量，但归因口径也跟着变。

- 收口：三答分别踩中互斥约束、流量预算、用正交解决容量，最后一条是工程上最常用的解法。

易错点 / 考点：考图必考同层之和等于总流量这条约束。常见错答：把层当成流量的一大块，错，层是全量再分配；把留空当成浪费，留空是体验保护与流量预算。计算题：同层已有三成加两成半，还能给多少——答四成半，并建议其中保留对照。

过渡：模型清楚了，接下来看工业界怎么把它落成一套网关架构。

【7.192】基于 OpenResty 的多层分流模型（5 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

分流画在纸上是一张图，落到工程上要先回答一个问题：这段判断代码放在哪儿跑。

>

> 课件给的方案是基于 OpenResty 的多层分流模型。先把 OpenResty 说清。课件说，它是一个基于 Nginx 与 Lua 的高性能 Web 平台。用来方便地搭建能处理超高并发、扩展性极高的动态 Web 应用、Web 服务和动态网关。官网在 openresty.org/cn。一句人话：把 Nginx 的并发能力和 Lua 的脚本能力接在一起，让网关能跑业务逻辑。

>

> 链路按请求走。起点是终端，App、H5、小程序三种形态。它们带着终端唯一标识和请求 URI 进来，走 Cookie 协议。同时可以带一个 ABTest header 或 Mfw_project 标识。

>

> 到网关，这是课件说的跨平台、跨语言的 ABTest 网关。网关做三件事。用 MurmurHash 算分流。从 Redis 或实验策略里取当前生效的配置。比如一到五十给版本 A，五十一到一百给版本 B。再做 URI 匹配，把请求路由到具体微服务。

>

> 终点是后端具体服务程序。它对实验基本无感，看到的就是一个已经打好标的请求。

>

> 为什么放网关，不放每个服务里？终端跨平台，后端跨语言，Java、Go、Node 都有。每个服务自己写一套，会出三件事：算法不一致、口径不一致、改一次要发很多次版。放网关，就是一份分流逻辑、一处配置、全局一致。

>

> 两个细节。一到五十、五十一到一百，这种区间写法说明分流是按哈希值取模后落区间，不是取随机数。随机数每次请求都变，同一个用户一会儿看见 A、一会儿看见 B，实验就废了。哈希保证同一标识永远落同一

> 个区间。

>

> 还有一个，策略放 Redis。配置在外面，改流量比例不用重启网关。这才撑得起一天跑十几组实验。

> **提问：**分流为什么必须用哈希取模落区间，不能用随机数？

> **预设回答：**

- 答"随机数更公平"——概率上公平，一致性没了。同一用户刷新两次可能看到两个版本，体验割裂，数据也脏。

- 答"哈希能保证同一用户稳定"——对，这是核心。输入固定，输出就固定。

- 答"那用哈希会不会某个桶特别大"——会，所以哈希函数有要求：分布要均匀。下一页讲 MurmurHash 就是为这个。

- 收口：答案就是三个词——稳定、均匀、可复算。可复算很要紧：出了问题，拿标识重算一遍就知道他在哪个桶。

> **易错点 / 考点：**必记两点：OpenResty 等于 Nginx 加 Lua；分流的关键输入是设备标识、实验或策略标识、层标识。常见错答：A/B 要在每个业务服务里改代码，正好相反，主流做法是网关统一分流、业务无侵入。选择题还可能问为什么策略放 Redis，答动态下发、免重启、多实例一致。

> **过渡：**这套模型到底解决了什么问题，下一页逐条摆出来。

【7.193】OpenResty 分流模型的优势（4 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 一套架构值不值得用，不看它功能多，看它把哪些麻烦从业务方手里拿走了。

>

> 第一，接入成本低，业务无侵入。分流在网关做，业务代码几乎不动。这一条对老系统格外要紧。一个跑了五年的系统，让它改一遍分流 SDK，工期和风险都受不了。网关层加一段 Lua，改一次全局生效。

>

> 第二，跨平台、跨语言统一。App、H5、小程序，Java、Go、Node，全走同一套算法。各端各写一套，最

> 常见的事故是 App 算出来 A、H5 算出来 B。同一个用户在两端看到不同版本，数据互相污染。统一在网关，这个坑从根上就没有了。

>

> 第三，性能开销小。Nginx 加 Lua 本来就为高并发设计，一次哈希的成本远小于一次业务请求。分流不该变成瓶颈，这是架构上的硬要求。

>

> 第四，策略动态化。配置放 Redis，运营改比例、开关实验、加白名单，都不用发版重启。快是 A/B 的生产力，一天只能改一次配置，就别谈高频实验。

>

> 第五，不产生二次流量。分流在入口一次决定，请求只走一条路。要是靠前端发两次请求再比结果，流量翻倍、后端压力翻倍。而且两次请求的条件并不一致，比出来的也不可信。

>

> 好处说完，代价也得看。网关成了关键路径，它挂了全站都受影响，所以要多副本、健康检查、配置降级。另外 Lua 代码的可测性和可观测性比普通业务代码差，实验逻辑得自己做单元测试和灰度验证。

>

> 所以这个方案的强项是统一和轻量，弱项是网关必须足够可靠。两个词一起记，才是一套完整的选型理由。

提问：网关挂了，A/B 实验怎么办？系统这时候要拒绝服务，还是按默认版本放行？

预设回答：

- 答"拒绝服务，至少不会出错"——最危险的错答。实验是增强功能，不是核心功能，为实验正确性把站点打挂，本末倒置。

- 答"按默认版本放行"——正确。这叫降级，配置取不到就按线上主版本走，用户无感，实验数据缺一小段可以接受。

- 答"提前把配置缓存在本地"——很专业，这是多级缓存：本地兜底，Redis 常态，网关聚合。

- 收口：这道题把优先级讲透了——实验系统必须能优雅地不存在。

易错点 / 考点：五点优势要能列全，其中无侵入、跨平台跨语言、不产生二次流量最常考。易错：把无侵入理

> 解成不用改任何代码，SDK 或埋点仍要接，只是业务逻辑不用改。另一考点是配置服务挂了怎么办，标准答案必含降级和本地兜底。

> **过渡：**优势里反复出现均匀和稳定，这靠算法，下一页专门讲它。

【7.194】MurmurHash 算法（4 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 同一个用户的 id 不变，他凭什么每次都进同一组？

>

> 答案在算法的输入里。参与哈希的因子有三个：设备 id、策略 id、流量层 id。三个各有分工。设备 id 决定你是谁，保证同一个用户稳定落桶。策略 id 决定在测哪件事，让不同实验的分配互不相关。流量层 id 决定在哪一层，让不同层正交。三个拼起来做一次哈希，稳定和正交同时拿到。

>

> 再看为什么选它。课件给了两个特点。

>

> 第一个，快，比安全散列算法快几十倍。MD5、SHA 这类是为防篡改设计的，要抗碰撞、要不可逆，代价就是慢。分流不需要密码学强度，没人会为了看 B 版本去攻击你的哈希。而分流在请求链路上，每一毫秒都在算。

>

> 第二个，变化足够激烈。课件举的例子是 abc 和 abd，只差一个字符，能均匀散布在哈希环上。这条比快更关键。要是哈希对相近输入给出相近输出，设备 id 连号的一批用户会全落进同一个桶。桶大小失衡，结论直接失真。雪崩效应让一个比特的变化把输出彻底打散。

>

> 最后两个定义必须分清。互斥，是两个实验流量独立，用户只能进其中一个，这是同一层的关系。正交，是用户进的所有实验之间没有必然关系，这是不同层的关系。前者靠同层共用一份哈希结果的不同区间做到，后者靠层 id 进哈希因子做到。

>

> 三个因子、几十倍的速度、足够激烈的分布，把稳定、均匀、正交一次算完。换成 MD5，这三个性质能剩下的不多。

提问：为什么不用 MD5 或 SHA 来算分流哈希，反正都是哈希？

预设回答：

- 答"MD5 更安全"——分流不需要安全。结果本来就发给前端、写进 header，谈不上保密。

- 答"MD5 太慢，扛不住高并发"——正确，这是主因。安全散列为了抗碰撞牺牲速度，在每请求都算的链路上是纯浪费。

- 答"那 CRC32 行不行"——可以讨论。CRC 快，但分布质量不一定够均匀，对连号的设备 id 容易聚簇。选算法要看速度和分布两个指标。

- 收口：标准答法就一句——分流要的是快和均匀，不是抗碰撞。

易错点 / 考点：三个哈希因子必须默写全：设备 id、策略 id、流量层 id，少一个就丢采分点。易错：把互斥和正交的对象弄反；把 MurmurHash 当成加密算法，它是散列，不提供安全性。考点还可能落到为什么要均匀，因为桶大小失衡会让两组基线不可比。

过渡：机制齐了，接下来看人怎么按流程把这套机制跑起来。

【7.195】A/B 测试流程（4 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

两周过去，结论是没变化。回头看记录，问题出在第一步：那个想法本来就没人关心。

>

流程五步：产生实验想法、评估实验优先级、设计和开发实验、分析数据、应用结果。

>

第一步，想法从哪来。三个来源：数据分析，看哪里流失高、哪里点击低；用户反馈，客服工单和调研；竞品和自己的经验。这一步最常见的病是拍脑袋生成想法。产品经理昨晚想到一个点就当实验做，跑两周才发

> 现没人注意这个改动。判断一个想法值不值得做，先问一句：它预期影响哪个指标、影响多大、凭什么这么认为。

>

> 第二步，评估优先级。想法永远比资源多，必须排序。排的时候看三件事：预期影响多大、对这个预期有多确信、做它要多少成本。影响大、把握足、成本低的先做。这一步防的是把两周花在一个百分之一的改动上。

>

> 第三步，设计和开发实验。要定下来的是这几样。假设，改什么、期望什么变化。主指标，唯一的判定依据。护栏指标，不能变坏的那些。还有分流比例、样本量和时长、埋点方案。这一步最容易出错的地方是指标定太多。指标一多，事后总能挑出一个显著的，那就成了自己骗自己。

>

> 第四步，分析数据。看三件事：差异多大、是否统计显著、有没有分群差异，比如新用户有效老用户无效。还要检查样本比例失调，本该对半分，实际四十七比五十三，说明分流或埋点有问题。

>

> 第五步，应用结果。全量上线、下线，或者改设计再测。重点在应用这两个字。很多团队报告写完，代码里的实验分支留了三年没人清，技术债就是这么来的。结论还要沉下来：这个人群、这个场景，什么改动有效。

提问：第三步为什么一定要只留一个主指标？多几个不是看得更全吗？

预设回答：

- 答"指标多了更全面"——最典型的错答。指标一多，事后总能挑出一个显著的，等于把判定交给运气。

- 答"多重检验会抬高假阳性"——正确也专业。测二十个指标，按百分之五的显著性水平，纯随机也会冒出一个显著。

- 答"主指标一个，其余当护栏"——最佳。护栏不是用来比优劣，是用来一票否决的：点击率涨了但退款率也涨，就不能上。

- 收口：三答的差别就是裁判有一个还是二十个。一个裁判、一套事先定好的规则，是实验和讲故事的分界线。

易错点 / 考点：五步顺序是必考填空。易错：把评估优先级和设计实验的顺序颠倒；把分析数据答成看报表，分析含显著性与分群。考点还可能问实验结束后还要做什么，标准答案：全量或下线、清理实验代码、归档

结论与元数据，清理代码这一条最多人漏。

过渡：流程说完，下一页看数据在这五步之间怎么流。

【7.196】A/B 测试 数据流（4 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

报表上两组样本量四十七比五十三，本该对半分。先别急着怀疑算法。

>

这张图要看出两个闭环，而且两个闭环必须用同一个标识对齐。

>

第一个闭环是分流。实验配置存在配置中心，SDK 从平台拉配置；请求进来算出桶号，命中哪个版本就返回哪个版本。这个闭环的特点是快，它必须在一个请求的生命周期内走完，通常几十毫秒。

>

第二个闭环是数据。用户看到版本之后的行为，曝光、点击、下单，由前端埋点和后端日志记下来。经采集管道进数仓，再算出指标，最后进报表。这个闭环的特点是慢，从产生行为到报表可见，可能分钟级，也可能隔天。

>

两个闭环怎么对上？靠同一个分流标识。SDK 分流时给这次请求打上 abTraceId 和 bcm。一个标识这次请求，一个标识这次结果。埋点上报时一起带上。数据侧一看到标识，就知道这条行为属于哪个实验、哪个版本、哪个桶。

>

不打标会怎样？这就是实验结论不可信最常见的根因。你有一堆点击日志，也知道两个版本各自的转化率。可分不清哪条来自哪一组，只能按时间或用户 id 去猜。一猜就错。

>

三个工程细节值得点出来。配置要有版本和下发时间，否则实验中途改了比例，前后两段数据混在一起没法

> 解释。分流要能复算，出问题时拿用户标识重算一遍，验证他在哪个桶，这是排查线上争议最有效的一招。上报要能抗丢，日志丢了会让两组样本量不对等，而样本量不对等直接破坏统计结论。

>

> 分流决定用户看到什么，埋点决定我们能看到什么，标识决定这两件事能不能对上。

> **提问：**报表里两组样本量差得很多，本该接近对半分，问题最可能出在链路哪一段？

> **预设回答：**

- 答"分流算法不够均匀"——可能，但先排除更常见的两类：埋点丢失和上报过滤。

- 答"埋点丢了一批，或者某个版本加载失败没上报"——很可能。版本 A 页面加载失败率高，用户压根没看到曝光，日志自然少。

- 答"分流比例本来就不是一半一半"——也常见，尤其实验中途调过比例，前后两段混算就失衡。

- 收口：排查顺序是先查配置比例，再查埋点丢失，最后才怀疑算法。反过来查要浪费很多时间。

> **易错点 / 考点：**两个闭环加一个标识是核心考点。易错：认为分流做对了数据就一定对，分流正确只保证分组正确，样本量、去重、流失都归数据侧管。常见问法：实验数据不可信可能有哪些原因，标准答案要覆盖分流不均匀、埋点缺失、口径不一致、配置中途变更、样本量不足。

> **过渡：**这条链路两端，一头是平台，一头是代码里的 SDK。先看 SDK 做什么。

【7.197】A/B 测试 SDK（4 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> SDK 这个词听着像个库，它干的其实是三件很具体的活。

>

> 第一件，实验配置动态分发。课件原话是，实现针对场景标识加用户分流标识的一致性哈希算法。根据场景的实验流量配置，做实验配置的动态分发。两个词要抓住，一致性哈希和动态。一致性哈希的意思是，你调流量比例、下线一个实验、新增一个实验时，大部分用户的归属不变。只有落在被调整区间的那部分会迁移。这一条对业务太重要，你不可能每次改配置就把一半用户的体验重置一遍。动态是说配置不写死在代码里，SDK 定期拉或者接收推送，改配置不用发版。

>

> 第二件，上报数据。三类日志。请求日志，记每次分流的结果，用来校验流量比例。业务自定义日志，记转化、下单金额这类业务指标。监控日志，记 SDK 自己的健康度，请求数、失败数、延迟。三类各有用途，请求日志验分流对不对，业务日志算效果好不好，监控日志查 SDK 活得好不好。很多团队只报业务日志，数据对不上时无从排查，缺的就是另外两类。

>

> 第三件，基于埋点规范生成前端埋点标识。课件给了三个。abTraceId，请求唯一标识。bcm，请求结果标识。还有事件标识，曝光 view、点击、收藏、转发这些。这些标识透传到前端埋点，用来追踪用户行为。

>

> 为什么要 abTraceId？一次请求可能带来多个行为，曝光一次、点击三次。有了请求唯一标识，才能把这一次体验和一串行为绑在一起，避免重复计数，也避免漏计。

>

> 三件事收一句：拉配置、报数据、打标识。

> **提问：**一致性哈希里的"一致性"保证了什么？换成普通取模，改一次流量比例会怎样？

> **预设回答：**

- 答"保证同一用户看到同一版本"——只说对一半。普通取模也能保证同一用户稳定，除非分母变了。

- 答"保证调整流量时大部分用户不迁移"——正确。普通取模的分母一变，比如从一百改到一百二，几乎所有人的余数都变，等于全员重新洗牌，数据连续性就断了。

- 答"一致性和稳定性是一回事"——不是。稳定性指同一输入输出不变，一致性指输入或名额小幅变化时已有映射尽量保持。这正是它比取模高明的地方。

- 收口：落点就一句——扩容和调比例不洗牌。

> **易错点 / 考点：**SDK 三件事、三类日志、三类标识都是采分点。易错：把 abTraceId 和 bcm 混为一谈，前者标识这一次请求，后者标识这一次请求的结果；把监控日志漏掉。若问 SDK 为什么必须上报请求日志，答案是校验分流比例是否正确、支持复算和排查。

> **过渡：**SDK 在业务侧干活，另一头是平台本身，看平台要有哪些功能。

【7.198】A/B 测试平台功能（4 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 一个 A/B 平台要有哪几块，问每天用它的人最准。接入要几天、这个用户到底进了哪个桶、昨天那条曲线为什么抖。三个抱怨正好对上四块功能。

>

> 第一块，元数据管理，包括应用、场景与实验的创建、编辑，以及配置的发布。元数据就是我们在测什么、怎么分、分多少这些描述信息。这一块看着简单，实际最考设计。应用和场景要能分级，实验要有状态：草稿、运行中、已暂停、已结束、已归档。配置发布要有版本和回滚。没有状态机和版本，线上就会出现以为下线了其实还在跑的事故。

>

> 第二块，接入的开发和测试支持。课件说得很具体：用户能查看完整可用的接入示例代码，能输入分流用户标识做测试，能查询实时日志。三件事对应三个真实痛点。示例代码决定接入要几天还是几小时。输入标识测试，让开发自己就能验证这个用户进哪个桶，不必每次找平台同学。实时日志决定排查一次线上问题要五分钟还是五小时。

>

> 第三块，实时报表和离线效果报表。实时报表含实时请求、点击率、转化率、千次曝光转化这些指标，以及对比分析。离线报表做更完整的统计和分群。为什么两套都要？实时报表用来早发现问题，比如比例不对、某个版本报错暴涨。离线报表用来下结论，比如显著性、置信区间、长期效果。拿实时报表下结论，是新手最常犯的错。

>

> 第四块，异常监控和告警。平台实时盯着 SDK 上报的请求数、失败数和延迟，发现异常就告警。这一块最容易被省掉，可它是刹车。分流服务挂了，用户看到的是错误页，不是少了一个实验。

>

> 四块收成一句：元数据管测什么，接入支持管接得快，报表管看得清，告警管出事能知道。

> **提问：**平台为什么要同时给实时报表和离线报表？只留一个不行吗？

> **预设回答：**

- 答"实时就够，看得快"——最典型的错答。实时数据往往是初步结果，样本不足、没清洗，拿它下结论就是拿噪声当结论。

- 答"离线更准，只要离线"——也不行。离线有延迟，比例配错、某版本报错暴涨这类问题要等第二天才发现，损失已经发生。

- 答"实时看异常，离线下结论"——标准答案。一个监控，一个统计推断，分工不同。

- 收口：这也是数据系统的通例——流式负责发现问题，批式负责回答问题。

> **易错点 / 考点：**四块功能必须列全，还要能各说一句用途。易错：把实时报表当效果判定依据；漏掉配置发布和回滚这一条，元数据管理不只是增删改。若问平台为什么需要状态机，答防止运行中的实验被随意修改，保证数据可比可追溯。

> **过渡：**功能齐了，最关键的问题来了：实验结论怎么评价才站得住。

【7.199】A/B 测试评价（4 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 实验跑了一周，B 组转化率比 A 组高零点四个百分点，p 值零点零六。产品经理说，就差一点，算通过吧。

>

> 怎么回答？第一件事，看差异是不是统计显著。两组转化率百分之三点一和百分之三点三，差零点二个百分点。这个差是真的还是随机波动，要靠显著性检验和置信区间。要点是先定样本量再看结果，不是看到结果再算还差多少样本。

>

> 第二，看样本量和时长够不够。样本太小，任何差异都可能是噪声。时长太短，会撞上新奇效应，用户对新鲜东西短期更活跃。还会撞上周期效应，周末和工作日行为不一样。经验做法是至少覆盖一个完整的用户行为周期。

>

> 第三，看指标选得对不对。主指标只能有一个，作为判定依据；另外配护栏指标，不能因为提升点击就把退款率抬上去。指标一多，多重比较的问题就来了：测二十个指标，纯靠运气也会有一两个显著。

>

> 第四，看效应在人群上是否一致。整体不显著，不代表对某类用户不显著。反过来，整体显著，也可能是某类用户的效果被另一类稀释了。

>

> 第五，看结论能不能落地。提升零点三个百分点、要多花两倍服务器，这个方案未必值得上。

>

> 五件事里最危险的不是算错，是算对了却选择性地说。同一份报告，只报显著的指标，把两个百分点说成大幅增长，或者跑到一半偷看结果再决定停不停。这些做法技术上都不算伪造数据，却足以让错误决策披上科学的外衣。

提问：实验跑了一周，B 组高零点四个百分点，p 值零点零六，产品经理说算通过。怎么回答？

> **预设回答：**

- 答"零点零六很接近零点零五，可以算显著"——典型的凑显著性。阈值必须事先定，事后放宽等于把结论变成主观意愿。

- 答"不能算，还有百分之六是噪声"——表述不严谨但方向对。更准的说法是这个结果不足以拒绝原假设。

- 答"再跑一周看会不会更显著"——可以做，但要事先声明这是延长实验，并且接受可能更不显著。一边延长一边反复偷看，会放大假阳性。

- 收口：三答的差别就在规则是事先定的还是事后改的。先定规则再跑是科学，跑完再定规则是讲故事。

易错点 / 考点：高频错点：把相对提升和绝对百分点混着说，三点一到三点三是零点三个百分点，也是百分之十的相对提升；认为两组数据一算就知道谁好，忽略显著性和样本量；认为指标越多结论越可靠，实际多重比较会抬高假阳性。简答按五看作答即可。

【思政落点 19】：数据不会自己说话，是人在解释它。口径、样本量、置信区间、不利指标，一起报，才算把结论交出去。只挑对自己有利的那几条，技术上挑不出毛病，可决策已经被带偏了。诚实在这里不是一句口号，是让别人能复查你的判断。做实验的人守住这条，团队才敢拿数据当依据。

> **过渡：**评价标准有了，再看成熟团队在工程上到底做对了哪些事。

【7.200】A/B 测试优秀实践（5 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 这几条不是理论，是别人踩过坑之后留下来的做法。

>

> 第一条，采用流量拦截分发的方式，摒弃了原有接口的形式。对业务代码没有侵入，性能没有明显影响，也不会产生二次流量。对比接口形式：业务代码里调一次取配置的接口，拿到版本再分支。侵入性强，加一个实验就要改一次业务代码，还多一次远程调用。流量拦截反过来，请求进网关就打标，业务只读标。不产生二次流量值得单说，接口形式会引发额外调用，量大了就是实打实的成本。

>

> 第二条，采用流量分层并绑定实验的策略，更精细直观地去定义分流实验。分层之后，每个实验要明确说清我在哪一层、占多少流量，避免互相抢。

>

> 第三条，数据传输。在 HTTP 头部增加分流信息，业务方不用关心实现语言。Java 读 header，Node 也读 header，语言无关，这是解耦的关键。

>

> 第四条，监控体系。实验本身要能被监控：分流生效没有、比例准不准、SDK 有没有异常。没有监控，实验是黑盒。

>

> 第五条，用户画像这类精细化定制。不是简单对半分，而是按人群定向，新用户、老用户、高价值用户分开做。这解决了整体看不出效果、某类用户却有效的问题。

>

> 第六条，统计功效支持置信区间、特征值。平台自己就能算，不必让分析师手算。

>

> 第七条，通过 AARRR 模型评估实验对北极星指标的影响。AARRR 是获取、激活、存留、收益、推荐。课件指出，这个模型把控产品整体的成本和收入关系。判据是用户生命周期价值 LTV，远大于获客成本 CAC 与经营成本 COC 之和。

>

> 判据就是 LTV 大于 CAC 加 COC。注册率提上去了，拉来的却是低质量用户、LTV 掉下来，那是指标赢了、生意输了。这就是为什么要有北极星指标和护栏指标。

提问：一个实验把新用户注册率提升了百分之八，三个月后这批用户付费率明显低于老渠道。算成功吗？

> **预设回答：**

- 答"算成功，注册率是明确的提升"——只看第一层指标，最典型的错答。注册是手段，不是目的。

- 答"不算，付费率掉了"——方向对。还要分清是付费率掉了还是付费总额掉了，以及这批用户本来就该是低付费人群。

- 答"要看 LTV 和 CAC 的关系"——最专业。获客成本没降、LTV 却降了，那就是用数量换质量，长期是亏的。

- 收口：任何单点指标的提升，都得放回 AARRR 漏斗和 LTV、CAC 的关系里再看一遍。

易错点 / 考点：七条实践要能列全，其中无侵入加无二次流量、HTTP header 传分流信息、AARRR 最常考。易错：把 AARRR 五个字母记错，把 R 混成 Retention 与 Referral；把 LTV、CAC、COC 三者的关系说反。答题模板：先看北极星，再算 LTV 与 CAC 加 COC 的关系。

【思政落点 20】：单个指标涨了，不等于事情做对了。注册率提八个点，三个月后付费率掉下去，报表上好看，长期是亏的。工程上的价值判断常常得往后看一步：这次改动让谁受益、代价落在谁身上、能撑多久。把 LTV 和成本放在一起算，是一种不被短期数字牵着走的习惯。

> **过渡：**定义、机制、流程、评价都过了一遍，剩下的工夫全在实践里。

第 7 章讲稿（7.201–7.212，v3）

> 锚点与课件一一对应，不增删页。每页五标记，原第二项已取消。口播按四拍：起 → 推 → 收。本批两处思政落点：7.201、7.212。

【7.201】A/B 测试优秀实践-续（4 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

先想一个场面。平台演示的时候很漂亮，业务方接了三天，第四天说算了，我们还是拍脑袋。

>

接入这件事，输的往往不是功能少，是每一步都要人教。前面讲的是实验怎么做对，这里讲平台自己怎么才算好用、扛得住。

>

第一组，易用性。元数据要全：这个实验谁建的、改过几次、当时假设是什么。不全，三个月后没人说得清那次调整为什么做。应用级的角色和权限要分开。不然谁都能改线上流量，一次误操作就是全量。白名单要能按商家 id 指定人，也能按分流标识指定。开发和测试先把指定用户拉进组里，不必等真实流量慢慢进来。

>

第二组，系统优化。多级缓存，SDK 本地一份、网关一份、Redis 一份。不然每个请求都去查一次配置。SDK 性能要压住，分流挂在业务请求上，它慢一点，全站都慢。配置要自动化、透明化。接入方不用手工填一堆参数，改了也能自动生效。一致性哈希要优化，图的是调流量比例时尽量少迁移用户。一个用户被搬一次，他的数据就断成两段。

>

第三组，Java 和 Node 两端都得有能跑的示例。引入代码库、初始化、获取实验配置、前端埋点，四样齐。接入成本的一大半花在照文档试错上。有示例，两天能变两小时。

>

第四组，测试、预发、生产要分开。配置不隔离，测试环境调的比例会打到生产，那是全量事故。

>

第五组，输入一个用户标识，平台告诉你他进了哪个实验、拿到什么配置。数据一有争议，查一遍就清。

>

> 第六组，实时日志明细查询，按日志类型、实验、分流标识去查。缺了它，数据不对就成了没有答案的悬案。

>

> 底部那句最要紧：接入成本和数据价值。平台功能再全，接入要两周、报表没人看，它就是个零。

> **提问：**为什么"测试、预发、生产三类环境"的支持，被列成平台的必备能力，而不是加分项？

> **预设回答：**

- 答"方便开发调试"——只是表层。真实原因是配置会串环境：三个环境共用一个配置中心，测试环境调的比例就会打到生产。

- 答"生产不能随便改，得先在别处验证"——对，这是环境隔离的基本逻辑，和代码分支隔离是一回事。

- 答"三个还不够，还得有灰度池和多机房"——很专业。环境这个维度不止三个：地域、机房、灰度池都要能隔开。

- 收口：这道题的关键词是隔离。实验配置会直接改变用户所见，它比普通业务配置更需要隔离和权限。

> **易错点 / 考点：**本条的核心是易用性与接入成本。常问"为什么接入成本决定 A/B 平台的价值"——实验数量和迭代速度取决于接入成本，成本高则实验少，投入就收不回来。易错：把白名单答成"白名单用户不参与实验"，正好相反，白名单常用于强制进组；把多级缓存只答成"提升性能"，漏掉"降低对配置服务的依赖、支持降级"。

> **【思政落点 21】**：平台好不好用，接入方最有发言权。你多写一份示例、多留一个默认值，别人就少熬一个通宵。你把参数全摊给对方，就是拿自己的省事换别人的麻烦。工程上的善意很具体：让下一个人少走一步弯路。落到价值观上，就是做事替使用者想一层，别把成本悄悄转给看不见的人。

> **过渡：**平台要有什么说完了，看一块真实看板长什么样。

【7.202】A/B 测试 Dashboard（4 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 27% 到 78%，这一跳足够让会议室安静下来。先别急着高兴，看它用的是哪种口径。

>

> 标着 Feature Y 的那组卡片上有三个数。加权满意度成绩从 120.9 提到 153.8。正面满意比例从 27% 提高到 78%。还有一个 Off vs On 的 6.60%。三个数，三种讲法。

>

> 第一个是绝对分值。153.8 比 120.9 高，可"高 32.9 分"说明不了好坏。分值的量纲是自己定的。第二个是比例，27% 到 78%，涨了 51 个百分点。这是最能让人激动的一个数。第三个是相对提升，Off vs On 说的是开与关之间的相对差异。

>

> 同一份实验，三个数能讲出三种情绪。所以第一件要练的事是：看到一个提升数字，先问它是分值、百分点，还是相对提升。三者混着说，结论就会被放大，也会被缩小。

>

> 再看 Feature X 那组。加权满意度 147.3 到 154.4。满意比例 85% 到 87%，Off vs On 是 2.3%。另外还有一个 5.5% 的满意度提升。这组的基线本来就高。从 85 到 87 只涨两个百分点，可比从 27 涨到 78 难得多。基线越高越难提，这是排实验时就得有的预期。不是每个实验都能有前一种量级的跃升。

>

> 第三点，看板只是看板，不是判据。它告诉你趋势，能不能上线要靠统计检验。样本够不够、置信区间跨不跨零、护栏指标有没有变坏。看见绿箭头就上、看见红箭头就砍，少掉的正是检验这一步。这是很多团队的通病。

>

> 最后是看法：两组卡片并排看。一组涨几十个百分点，一组涨两三个。这两件事的性价比完全不同，资源往哪投，一眼就分出来。

提问：产品经理指着看板说"这个实验提升了 78%，必须马上全量"。你先问哪三个问题？

预设回答：

- 答"先问样本量多大"——对。样本太小的 78%，可能是十几个人算出来的。

- 答"先问 78% 是百分点还是相对提升"——这是本题的核心陷阱。27% 到 78% 是涨了 51 个百分点，而"提升 78%"这个说法本身口径不明。

- 答"先问这是不是实时数据、跑够时间没有"——也很要紧，实时看板往往只是初步结果。

- 收口：三问合起来就是标准动作——问口径、问样本、问时长，之后才轮到显著性检验。

> **易错点 / 考点：**常考"绝对变化、百分点、相对提升三者的区别"，这是数据分析的基本功。口诀：百分点看减法，相对提升看除法。易错：把看板数据直接当上线判据；忽略基线差异，85% 的基线涨 2 个百分点，含金量可能高于低基线涨 10 个百分点。判断题"相对提升越大效果越好"——错，要看基线和显著性。

> **过渡：**一块看板只放几个指标，真实实验往往得同时盯一整套。

【7.203】A/B 测试分析（4 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 日均登录次数涨了 32%，能不能当成好消息？先别答，这组数里埋着一个陷阱。

>

> 表上是九个指标和它们的相对变化。平均会话时长 1%。每次会话内容浏览次数 28%。日均用户会话数 7%。日均用户生命周期价值 60%。日均订阅发生次数 24%，日均订阅时长 24%。日均登录次数 32%，日均订阅次数 9%。最后是日活跃用户数。数不逐条念，讲怎么读。

>

> 第一，指标是有层级的。从规模到商业价值大致这么排。日活是规模，会话和浏览是参与度。登录和订阅是关键行为，生命周期价值是商业价值。看的时候有顺序：先看规模和参与度有没有被动到，再看商业指标。日活掉了 5%，那个 60% 的生命周期价值就得打问号。很可能是分母变小撑起来的。

>

> 第二，留意"每人""每次"这种归一化口径。per daily user、per session，都把总量除掉了人数或者次数。这类指标的脾气是分子分母同时会变。日均登录次数涨 32%，可能是登录变多，也可能是活跃人数变少、分母缩了。所以归一化指标必须配总量指标一起看。

>

> 第三，防"指标太多"。九个指标，每个都做显著性检验，按 5% 的水平，纯随机也会有将近半个指标"显著"。这就是多重比较。规范做法是事先指定一个主指标。剩下的当解释性指标或者护栏指标，只有主指标用来下

> 结论。

>

> 第四，看指标之间的因果链。浏览多了 28%，会话时长几乎没动，只涨 1%。订阅多了 24%，生命周期价值涨 60%。这条链大致说得通。要是出现"浏览涨了、时长没变、价值暴涨"，那多半是别的因素在动，或者埋点口径改了。

>

> 收一句：指标不是越多越好。要有一条说得通的因果链，还要事先定好谁当裁判。

> **提问：**"日均用户登录次数提升 32%"，这个数能不能直接当好消息？

> **预设回答：**

- 答"能，登录多了说明用户更活跃"——最典型的错答。这是 per daily user 的归一化指标，分母是日活；日活掉一半，登录次数照样能涨。

- 答"不能，要先看日活有没有掉"——对，这就是分母陷阱。

- 答"还要看登录策略有没有改，比如强制重新登录"——很专业。指标异动先排除机制变化，再谈效果提升。

- 收口：凡是"人均""次均"的指标，必须和总量一起读。

> **易错点 / 考点：**考"如何解读一组实验指标"，标准答案要有四条：分层看、归一化配总量、先定主指标、看因果链。易错：把相对变化当成绝对差异；忽略分母效应。另一常考点是"为什么指标多了反而不好"——多重比较把假阳性抬上去。

> **过渡：**一次只测一个改动太慢，工程上就想一次测多个。

【7.204】多因素的 A/B 实验（5 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 四个改动里有两个都叫"全新落地页"，一个 −4.0%，一个 +6.0%。同一个名字，相反的结果，这事本身就值得停一下。

>

> 四个实验和结果是这样。按钮颜色测试 +1.5，新标题测试 +0.8。全新落地页 −4.0%，另一个全新落地页 +6.0%。旁边还标了达到统计显著置信度所需的时间，对应 6、8、4.5、2 周。

>

> 先看结论层面的三件事。

>

> 第一，改动幅度和收益不是线性关系。改个按钮颜色，涨 1.5 个单位；换个标题，0.8。两个"全新落地页"一个大亏一个大赚。这说明大改动的方差大，可能大赚，也可能大亏。所以大改动更需要 A/B，不是更不需要——凭直觉你根本判不了。

>

> 第二，同样是全新落地页，一正一负。这就是 A/B 值钱的地方。它不回答"大改好不好"，它回答"这一个方案好不好"。决定结果的是设计质量，不是改动幅度。

>

> 第三，达到显著要的时间差得远，2 周到 8 周。为什么？达到显著需要的样本量取决于效应量。效应大，很快看得出来；效应小，就得更多样本。+6.0% 只要 2 周，+0.8% 要 8 周。小改动常常要付更长的时间成本，这段时间在排期时就得算进去。

>

> 再讲"多因素"本身。一次只测一个变量，归因干净，代价是慢。四个改动串着测，6 加 8 加 4.5 加 2 周。多因素实验用析因设计或者正交设计，一次把多个因子组合起来测。除了能算出每个因子的主效应，还能看出交互效应。新标题配新落地页，可能互相增强，也可能互相抵消。代价是组合数涨得快，每组样本被摊薄。

>

> 给一句实务建议。改动小、想快速筛，用单因素。改动多、想找组合最优，用多因素，但先把因子数和水平数压住。

提问：四个改动，你会串着一个一个测，还是一次设计一个多因素实验一起测？各自要付什么代价？

> **预设回答：**

- 答"一起测最快"——快，但代价有两个：样本被摊到很多组，单组不够；交互效应会让主效应不好解释。

- 答"一个一个测最清楚"——归因干净，可按课件给的周期算，四个串起来要二十周左右，产品等不起。

- 答"先多因素粗筛，再对胜出的组合做单因素确认"——最优解。先用较少样本找出哪些因子有用，再对关键因子做一次细验证。

- 收口：三答对应三种取舍——速度、清晰度、成本。成熟的实验体系一般两级走：先筛后验。

> **易错点 / 考点：**必记三点：改动幅度大不等于收益大；同类型改动结果可能相反；效应量决定达到显著所需时长。易错：看到 −4.0% 就放弃大改的思路，正确解读是"这一个方案不好"；把多因素实验等同于"同时跑几个独立实验"，那是一个实验里组合多个因子，能算交互效应。

> **过渡：**多因素的结果怎么读才不误判？下面有个具体的分析场面。

【7.205】A/B 测试结果分析（4 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 两个落地页，01 和 02，各自上面还叠了三个开关。你要在几个数里挑一个方案，挑错的方式有很多种。

>

> 图上是这么摆的。Landing Page 01 和 02 对着测。每个版本上叠三个选项：放不放产品视频，去掉还是保留导航，长表单还是短表单。最后看两个结果：邮件订阅注册总数，和金额合计。

>

> 这张图要教的是看两个指标，不是一个。

>

> 先说为什么要有两个。注册数代表量，金额代表质。一个方案完全可能注册数上去了、金额下来了。把表单缩短、必填项砍掉，注册的人确实多了，可来的人意向弱、付费少。反过来，长表单挡住一批人，留下的那批更精准。只看注册数，你会选错方案；只看金额，你会漏掉规模效应。

>

> 再说主指标和副指标怎么配合。规范做法是事先定一个主指标，比如金额；另一个当约束条件，比如注册数不许掉超过多少。两个指标同向，皆大欢喜；反向，就得做权衡。而这个权衡是业务判断，不是统计判断。统计只能告诉你差异多大、显不显著，它没法告诉你这个交换值不值得接受。

>

> 第三点，选项之间会互相影响。视频、导航、表单长度这三件事不是独立的。去掉导航可能让用户更专注，也可能让他找不到路。加视频提高理解度，但拖慢加载。所以正确做法不是逐个挑最好的，是把它们组合起来测。这正好接上前面那个多因素。

>

> 第四点，看结果要回到假设。实验开始前写的是什么假设？"加视频能提高注册"。那就先看视频这个因子的主效应，再看它和表单长度的交互。没有假设的分析，会变成在数据里翻故事，而且总能翻出一个看着合理的解释。可那不是科学。

>

> 收一句：量看注册、质看金额，先定主指标，再做组合，最后回到假设。

提问：实验结果是"注册数涨了 12%，但金额合计跌了 6%"。你建议上线吗？

> **预设回答：**

- 答"注册涨了就是好事，上"——最典型的错答。注册是中间指标，金额才是结果指标；12% 的量换 6% 的质，可能亏。

- 答"金额跌了就不上"——也片面。新增注册用户的复购周期还没到，金额下跌可能只是时间未到，不是质量差。

- 答"要先看这是哪个渠道、哪类用户、金额的时间窗多长"——对。这道题的答案是分情况，前提是把渠道结构、用户类型、统计窗口都摊开。

- 收口：统计负责说差异显著，值不值得换是产品和商业的事。测试工程师的活是把两个数都摆上桌，别让任何一方被藏起来。

> **易错点 / 考点：**常考"主指标与护栏指标的关系"，答：主指标判优劣，护栏指标一票否决。易错：把注册数当最终目标，它是过程指标；把"每个选项分别最优"当成"组合最优"，中间隔着交互效应。简答题问"结果分析要回答哪几个问题"，答：差异多大、是否显著、在谁身上有效、代价能不能接受。

> **过渡：**整体看不出结论，或者结论只对一部分人成立，怎么办？

【7.206】逐层递进的 A/B 实验：决策树（5 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

一张树状图，根上一个数 158，括号里 n=38，100%。往下每分一层，括号里的 n 就越小。

>

它治的是这么个毛病：整体实验看不出结论，或者结论太粗。

>

根节点按 Pageviews 小于 8460 分成两支。一支是 117，n=7，占 18%。另一支是 167，n=31，占 82%。再往下靠这些条件一层层切。Pageviews 小于 7720、9907、9765、9418。Clicks 大于等于 775、大于等于 730。Experiment 大于等于 0.5。还有 DOW，等于周一周三，或者等于周日、周二、周五、周六。叶子上是一组组数值和 n。

>

要看出三件事。

>

第一，决策树在做人群切片。整体平均 158，可左边那 18% 的人只有 117，右边 82% 的人是 167。翻成人话：这个改动对多数人有用、对少数人有害，平均下来被稀释了。前面讲评价时说过，要看效应在人群上一致不一致。

>

第二，分裂条件就是能执行的运营规则。条件里有流量规模 Pageviews、行为强度 Clicks。也有实验标识 Experiment，还有星期几 DOW。所以结论不是"新版本更好"。它是"新版本对周一周三访问、浏览量低于 8460 的那批用户更好"。这个结论能直接落到投放、灰度和产品设计上。

>

第三，也是最要紧的一条：小样本的叶子不能当结论。图里有些叶子的 n 只有 1、2、3，指标值高得离谱，可那也就是一两个人的结果。n 太小就是噪声。读这棵树得同时看两个数：叶子上的指标值，和括号里的 n。

>

> 还有个风险得提：逐层分裂会放大假阳性。你分了二十个分支，总有一两个"显著"，这是数据挖掘式的过拟合。规范做法是一段数据建树，另一段验证，验证过了才敢上线。

> **提问：**图里有个叶子的指标值高得离谱，括号里写着 n=2。这个发现能当上线依据吗？

> **预设回答：**

- 答"能，数值这么高说明有效"——最典型的错答。n=2 就是两条样本，任何两个人行为特殊一点都能造出极端值。

- 答"不能，样本太小"——对。再给一个门槛：分群时每组至少要能支撑一次显著性检验。

- 答"可以拿它提假设，不能拿它当结论"——最佳答案。这是决策树的正确用法：用它找线索，再用一次独立实验去验。

- 收口：这就是探索性分析和确认性结论的分界。探索可以大胆，结论必须保守。

> **易错点 / 考点：**三个采分点：人群切片、条件即规则、小样本不可信。易错：把决策树当成"找到最优人群就直接上线"的工具，少了独立验证；只看叶子的指标值不看 n。问"逐层递进实验的风险"，标准答案：多重比较抬假阳性、过度拟合、样本被切碎后每组不够。

> **过渡：**机制讲到这儿，最后看一家商用平台是怎么搭起来的。

【7.207】A/B 测试 Testin 技术架构（4 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 把一家商用 A/B 平台拆开看，里面是五层。Testin 云测这张架构图就是这么搭的，看完你就能自己画出一个骨架。

>

> 按请求和数据的走向。接入层，SDK 和 API，负责跟业务系统对接，拉配置、报数据。分流决策层，管实验配置的存储和计算、分流算法、规则匹配。前面 OpenResty 网关干的就是这个活。数据采集与处理层，接收埋点日志、清洗、落库、聚合。分析计算层，实时指标和离线指标两条链路。展示与运营层，看板、报表、告警、权限。

>

> 为什么非得这么分？三个理由。

>

> 第一，关注点分离。分流的可用性要求是毫秒级、不能错。分析的要求是数据全、能重算。两套要求完全不一样。混在一起，改个报表逻辑会牵连分流服务，风险收不住。

>

> 第二，能独立扩容。分流层的压力跟着请求量走，大促就顶上来。分析层的压力跟着数据量和查询量走。分开部署，各自扩，成本才可控。

>

> 第三，好替换。分流算法可能要换，报表可能要接新的 BI 工具。分好层，换一层不惊动别的层。

>

> 看图还得盯住两条横切的东西。一条是配置与元数据中心，分流层和分析层都依赖它，所以它必须高可用。另一条是监控与告警，它横跨所有层，哪一层出事都得被看见。

>

> 最后核对一下，这张图跟前面讲的机制对得上。终端和 SDK 对应接入层，OpenResty 网关对应分流层。abTraceId 和埋点对应采集层，两张报表对应计算层。对上了，这一节就通了。

提问：如果把分流服务和报表统计塞进同一个服务里，会出什么具体问题？

预设回答：

- 答"会慢一点"——不只是慢。最严重的是故障传导：报表一次慢查询把连接池占满，分流接口跟着超时，用户直接看到错误页。

- 答"扩容不方便，两者压力来源不同"——对。分流跟 QPS 走，报表跟数据量和查询复杂度走，绑在一起只能按峰值配资源。

- 答"发布互相牵连"——也对。改个报表口径就得发一次版，而发版期间分流不能中断。

- 收口：三答分别对应故障隔离、弹性伸缩、独立发布，这也是所有分层架构的通用理由。

易错点 / 考点：分层名称和职责要能对上，最常考"为什么分流和分析要解耦"。易错：把实时和离线当成两套独立系统，它们是同一分析层的两条链路，共用数据源；漏掉"配置中心必须高可用"这条。画图题按五层加

两条横切画。

> **过渡：**别人的架构看完了，落回自己——让你设计，要先定清哪几件事？

【7.208】A/B 测试平台设计（5 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

让你从零设计一个 A/B 平台，第一件事定什么？不是界面，是模型。

>

> 第一件，领域模型。至少要有这些实体：应用、场景、层、实验、桶、指标、指标快照。它们的关系就是前面那张图。应用下有场景，场景下有层，层下有实验，实验分桶。模型定错，后面所有功能返工。

>

> 第二件，状态机。一个实验得有明确的生命周期：草稿、待审核、运行中、已暂停、已结束、已归档。每个状态谁能操作、能改什么，都要定死。没有状态机的平台，线上一定出事。改运行中实验的流量比例，前后数据就不可比。

>

> 第三件，流量与互斥校验。发布前必须校验三样。同一层内所有实验的流量加起来不超过百分之百。桶之间不重叠。白名单用户不冲突。这是安全带，靠人靠不住。

>

> 第四件，分流与配置下发。要定清楚四件事。分流算法，比如 MurmurHash 三因子。配置存哪，比如 Redis。下发是拉还是推，缓存怎么做。还有降级：配置服务挂了就按默认版本放行。

>

> 第五件，埋点和数据模型。指标口径要定死：分子分母是什么，时间窗口按自然日还是滚动 24 小时，去重规则是什么。口径不定，两个团队算出来的转化率能差一倍。

>

> 第六件，权限与审计。应用级角色，谁能发布、谁只能看，操作日志全留。这条在真公司里往往决定平台能

> 不能被信任。

>

> 第七件，报表与检验。至少要有样本量、指标值、置信区间、显著性、护栏指标。没有显著性计算，那只能叫看板，不能叫实验平台。

>

> 收一句：平台的核心不是界面好不好看，是四件事——分流准、口径清、数据全、结论可复算。

> **提问：**为什么"流量与互斥校验"必须做成系统强制，不能靠发布同学自己检查？

> **预设回答：**

- 答"人会算错"——对，但这只是表层。真实原因是流量是动态的：今天这层 60%，明天加个实验变 80%，第三天再改一个桶，靠脑子记不可能。

- 答"校验能防上线事故"——对。同层流量加起来超过百分之百，落在这段区间的用户会被两个实验同时命中，数据直接作废。

- 答"可以靠评审会"——不够。评审会能防设计错误，防不了临时改配置。约束要落在系统里，不落在流程里。

- 收口：凡是能被系统拦住的事故，都别指望人靠记性。

> **易错点 / 考点：**七项里，领域模型、状态机、流量互斥校验是设计题的高频采分点。易错：把实验和桶当成同一层概念，实验是策略，桶是流量容器；漏掉降级策略，配置服务挂了怎么办。问"平台设计最容易忽略什么"，答：指标口径，分子分母、时间窗、去重，它不出现在界面上，却决定所有结论。

> **过渡：**这一节的内容到这儿收口，把整个第 7 章归拢一下。

【7.209】本节小结（4 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 六句话，把第 7 章收住。小结这几条基本是教材原话，考试按原话答。

>

> 第一条，兼容性测试覆盖软件与硬件、软件与软件、数据之间的兼容性。而且数据兼容更为重要，因为数据

> 更具价值。为什么数据最要紧？硬件不兼容换台机器，软件不兼容升个版本。数据乱了、丢了、读错了，补不回来。

>

> 第二条，全链路压测可以看作性能测试的右移，全面提升系统的稳定性。关键词是右移。把压测从测试环境搬到生产环境，用真实流量、真实依赖、真实数据去验容量。

>

> 第三条，混沌工程可以看作故障注入测试的右移，并提升为工程层次。还得遵守五项原则，践行优秀实践，熟练使用开源工具。关键词是提升为工程层次。不是随手注入一个故障，而是有假设、有爆炸半径控制、有观测、有复盘。

>

> 第四条，A/B 测试是为了提高用户体验采用的科学方法，让数据说话。这两个词组就是它的定位。它是这一章唯一一个面向产品和运营决策的测试类型，不是面向缺陷的。

>

> 第五条，A/B 测试包括实验设计、流量分发控制算法等关键内容。这两块正好对应今天的两半。实验设计管假设、指标、样本量、时长、显著性。流量分发管场景、层、桶、正交互斥，还有 MurmurHash 和 OpenResty 网关。

>

> 第六条，建立一个灵活支持 A/B 测试的平台。这条是给你们的作业预告。平台化是让 A/B 从某个团队的特殊技能，变成全公司基础设施的唯一路子。

>

> 拉高一点看。性能测试问扛不扛得住，安全测试问守不守得住。兼容性问到处能不能跑。全链路压测和混沌工程问真实环境里崩不崩，A/B 测试问哪个方案更好。五个问题，拼成专项测试的整张图。

提问：这一章五个专项，哪一个最贵？哪一个最便宜？凭什么这么算？

预设回答：

- 答"性能最贵，要买压测环境和机器"——有道理，全链路压测还要把生产流量导进来，成本确实高。

- 答"A/B 最便宜，改个按钮就行"——前半句对。小实验确实便宜，可平台建设不便宜：分流网关、埋点体系、数据链路、报表，是一次性重投入。

- 答"贵不贵要看它拦下的事故值多少钱"——最成熟的回答。专项测试的成本得和它避免的损失放在一起算：一次大促宕机、一次数据串号、一次错误的定价决策，损失都是数量级的。

- 收口：三答的层次是资源成本、建设成本、风险成本。问"企业为什么愿意投专项测试"，答：它拦下的风险远大于投入。

> **易错点 / 考点：**小结页是期末复习第一入口，六条要能默写。易错：把全链路压测和混沌工程都记成"右移"却不分内容——前者右移的是性能验证，后者右移的是故障注入。另一常考点是"数据兼容为什么最重要"，答：数据不可重建，错误会持久化并扩散。

> **过渡：**这一章讲的是机制，下面给的是入口，你们要自己动手。

【7.210】去搭建一个简单的 A/B 测试平台（5 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 两天，做一个能跑通的 A/B 平台，你砍什么？先别答，先看有哪些现成的。

>

> 课件给了两个入口，都是开源免费 A/B 工具的清单页。一个在 convert.com 的博客，一个在 posthog 的博客。地址在课件上，照着翻。这两篇的价值不在它推荐了哪个工具，在于让你看到这个领域的方案光谱。

>

> 清单里的方案大致三类。

>

> 第一类，轻量前端脚本型。一段脚本嵌进页面，改文案改样式，自带分流和统计。优点是十分钟上手。缺点是只能测前端，服务端实验、多端一致性都做不到。

>

> 第二类，自建或者开源自托管型。平台部署在自己的服务器上，数据不出内网，能接自己的埋点体系。优点是可控、能改。缺点是要自己运维，分流服务的可用性也得自己保证。

>

> 第三类，商业 SaaS 型。功能最全，统计功效、分群分析、样本量计算都有。代价是数据要出去，费用按流量算。

>

> 选型建议很实在：课程设计用第二类或者第一类。你们的目标是把机制跑通，不是买服务。

>

> 作业按五步做。第一步，选一个场景，比如课程设计里那个小程序的一个页面，或者一个注册流程。第二步，做两个版本，明确差在哪一个变量上。第三步，实现分流。可以用 MurmurHash 三因子，也可以先用最简单的哈希取模。但同一个用户必须稳定落桶。第四步，埋点和统计。至少记曝光、点击、转化三个事件，都带上实验标识和桶号。第五步，跑满一个周期出报告。报告里要有样本量、指标值、置信区间，还有你的结论。再补一问：如果结论相反你会怎么做。

>

> 评分说一句：做得漂亮不如做得对。分流不稳、口径不清、样本不够就下结论。这三条踩任何一条，功能再花哨也是零分。

> **提问：**给你两天时间做一个"能跑通"的 A/B 平台，你砍掉哪些功能、留下哪些？

> **预设回答：**

- 答"先做报表，界面对评分要紧"——最典型的错答。报表是展示，分流和埋点错了，报表再漂亮也是错的。

- 答"留分流、埋点、一个最简的对比报表，砍掉权限、状态机、多因素"——对。这是最小可用闭环：能分组、能记录、能对比。

- 答"还要留'输入用户标识查桶号'"——很好，这是排查能力，两天做得出来，性价比极高。

- 收口：判断标准只有一条——去掉它，实验结论还可信吗？去掉分流稳定性，结论不可信；去掉权限，结论仍然可信，只是不安全。

> **易错点 / 考点：**这一节考实践，通常落在"三类方案怎么选"和"最小可用平台含哪几块"。易错：把"装一个开源工具"当成"搭平台"，缺自己的埋点和口径就没有可比数据；忽略"同一用户稳定落桶"这个最低要求。评分常看三条：分流可复算、埋点带标识、报告有统计量。

> **过渡：**动手之前，先看看有哪些书可以当参考。

【7.211】学习资源推荐（4 分钟）

☐ 已讲 ☐ 需回看 课堂记录：_____

> 六本书，别全买。先挑一本跟你课设题目对得上的精读，剩下那几本当工具书。

>

> 第一本，《软件性能测试、分析与调优实践之路》。清华大学出版社，2020 年 7 月。它接的是本章性能测试那段，特点在"实践"。不只讲怎么压，还讲压出问题之后怎么定位到代码和数据库。课设做后端性能实验，这本最对症。

>

> 第二本，《全栈性能测试修炼宝典 JMeter 实战（第 2 版）》。人民邮电出版社，2021 年 5 月。课上讲的 JMeter 只是骨架，这本是完整手册：元件、插件、分布式、报告。做实验时当工具书翻。

>

> 第三本，《Web 安全攻防：渗透测试实战指南》。电子工业出版社，2018 年 7 月。接的是安全性测试那一节。这本书讲的是攻击手法，看的时候带着"我在学怎么防"的立场。知道怎么打，是为了知道怎么守。

>

> 第四本，《超大流量分布式系统架构解决方案》。电子工业出版社，2020 年 3 月。接全链路压测那段。性能问题到了全链路这个层次，就是架构问题：缓存、限流、降级、分库分表。这本讲架构侧怎么配合。

>

> 第五本，《混沌工程：复杂系统韧性实现之道》。机械工业出版社，2021 年 6 月。接混沌工程。这个领域里它算系统的，原则、实验设计、爆炸半径控制都讲得细。

>

> 第六本，《A/B 测试：创新始于试验》。机械工业出版社，2019 年 4 月。接今天这节。书名里"创新始于试验"五个字就是 A/B 的方法论内核：别争论，去试验。

>

> 六本覆盖六个方向。技术书的价值在你遇到问题时它在手边，不在你读完了几本。

> **提问：**这六本里，只能带一本进课程设计答辩现场，你带哪本？

> **预设回答：**

- 答"带最厚的那本，显得准备充分"——形式主义。答辩看的是你能不能回答问题，不是书有多厚。

- 答"带我课设题目对应的那本"——对。做性能优化带性能实践，做混沌实验带混沌工程。

- 答"哪本都不带，带自己的实验记录和缺陷清单"——最佳答案。答辩最有力的材料是你自己的数据和复现步骤。

- 收口：资料的价值在能支撑你的判断，不在读过。这也是整个课程设计的态度。

> **易错点 / 考点：**资源页一般不作为考点，但常出现在"课程设计参考资料"要求里。书名要写准，六本都是"出版社加年份"，写报告时引用格式别错。另一个常见问题，是把性能测试和性能调优混成一件事。前者是发现，后者是解决，第一本书名里两个词都有。

> **过渡：**这一章到这儿，我用三句话收尾。

【7.212】感 谢 聆 听（2 分钟）

☐ 已讲　☐ 需回看　　课堂记录：_____

> 最后三句话。

>

> 第一句，专项测试的判据不是"对不对"，是"达不达标"。性能看响应和容量，安全看攻击面，兼容看环境适配，可靠看故障下的表现。对错是功能测试管的事。专项测试管的是另一件：在真实条件下，它还成不成立。所以它要的是阈值，不是感觉。

>

> 第二句，越往后走，测试越像工程，越不像手艺。全链路压测、混沌工程、A/B 测试，靠的都是平台、数据、算法，不是某个人的经验。手艺的毛病是人一走就没了。工程的规矩是换谁来都跑得动。你现在写的每一份报告、每一条复现步骤，都在往工程那边挪一步。

>

> 第三句，让数据说话，但别让数据替你说谎。口径要清、样本要够、结论要经得起复算。这三句话，答辩的时候一定会被问。这一节讲的三种口径、分母陷阱、n=2 的叶子，说的都是同一件：结论得站得住。

>

> 下一次课进第 8 章，软件本地化测试。同一套软件换语言、换地区、换文化，还能不能用、好不好用。这一章会用上今天讲的兼容性思路，但问题更细。文字长度、日期格式、货币、排序规则、翻译质量，一个都跑不掉。带一个问题回去想：一个中文界面做得再好，翻成德语、阿拉伯语之后，还可能坏在哪里？

提问：这一章学完，你手上多了四件能伤人的工具——压测、攻防、故障注入、分流。你给自己定的使用边界是什么？

预设回答：

- 答"只在授权范围内用"——必要，但不够。授权是外部约束，很多伤害恰恰发生在授权范围之内，比如用数据诱导用户。

- 答"不做损害用户利益的事"——进一层，把标准从"允不允许"换成"值不值得"。

- 答"用之前问自己：这件事被公开报道，我还站得住吗"——很实用的自检法。工程伦理很多时候不需要复杂推演，只要一个公开检验。

- 收口：三答的层次是合规、良知、可公开。技术能力的天花板由学习决定，职业高度由这条边界决定。

易错点 / 考点：结束页不作知识点考点，但答辩常问"你在项目里怎么保证测试结论可信"。可以用本章三句话作答：判据明确、过程可复现、结论可复算。另一常问的是"专项测试和通用测试怎么分工"，答：通用测试保证做对，专项测试保证在真实条件下仍然成立。

【思政落点 22】：这一章教了性能压测、漏洞攻防、混沌注入、A/B 分流。这四样换个场合用，就是打垮一个系统的四种手段。压测变拒绝服务，漏洞变入侵，故障注入变破坏，分流变操纵用户。技术本身没有立场，立场在使用它的人。能力越强，越要多问一句：我这么做，是在让别人变好，还是只在证明我厉害。把本事用在把系统做稳、把用户当人上，这门手艺才立得住。

过渡：本章到此结束。下一次课，把这套专项的思路带到本地化测试里去。

四、思政落点清单（共 22 处）

序号	所在页	落点主题
1	7.6	泄漏最值得琢磨的地方，是每一次都很小。一个请求漏几十 KB，跑一小时看不出来，跑一
2	7.18	可测试性背后是一条职业底线。指标定两秒，实测 2.8 秒，报告里写成"基本满足用户感
3	7.34	性能分析最像科研的日常：提假设、找证据、做对照实验、被数据推翻、再来一轮。它教人
4	7.39	实验报告里每个数字都要有出处，这句话不只是技术要求。它说的是：你写下的结论，得有
5	7.42	授权这件事，落到的是规矩意识。同一套技术，越界一步性质就变了，"我没恶意"从来不
6	7.46	无意造成的漏洞占绝大多数，这条事实指向的是一种职业习惯。少一次校验、漏一个边界值
7	7.68	合规是地板，不是天花板，这句说的是标准和自觉的关系。等保测评过了，只证明你踩到了
8	7.77	渗透这门手艺天然有两面。同一套手法，用来找破口是测试，用来撬别人的系统就是入侵，
9	7.85	一个 return 漏在异常分支里，看着是笔误，代价是别人的数据被看到。这六条检查单
10	7.91	同一条 payload，写用例的人拿它证明系统能被绕过，写代码的人拿它知道"拼接"
11	7.107	靶场和别人的系统之间，只隔着一个授权。同一条攻击链，放在自己的靶机上是练习，放到
12	7.115	库里那批数据不是测试数据。它们是用户几年攒下来的订单、病历、成绩、流水，没有"重
13	7.130	这套流程里最不显眼的是校验阶段那三件小事，最容易被砍的也是它们。可"先小流量、再
14	7.140	概览写得好不好，考的是诚实。数据不好看的时候，最容易做的事是挑一条好看的曲线放上
15	7.151	爆炸半径讲的是敢试，但试得有边界。工程上的勇气从来不是什么都敢在生产上动，是我知
16	7.160	从灾难中学习的前提，是允许把问题讲出来。复盘最怕两件事：开成追责会，和把没出事当
17	7.162	爆炸半径讲的是对风险的估计，不是对自己能力的怀疑。做工程的容易有这种自信：这套系
18	7.178	韧性是别人写的代码在替你兜底，而兜底的东西最容易被人图省事拆掉。把故障注入挂到每
19	7.199	数据不会自己说话，是人在解释它。口径、样本量、置信区间、不利指标，一起报，才算把
20	7.200	单个指标涨了，不等于事情做对了。注册率提八个点，三个月后付费率掉下去，报表上好看
21	7.201	平台好不好用，接入方最有发言权。你多写一份示例、多留一个默认值，别人就少熬一个通

22　　7.212　　这一章教了性能压测、漏洞攻防、混沌注入、A/B 分流。这四样换个场合用，就是打垮一