软件项目管理

课堂教学讲稿 · 第 8 次课　第 5 章 软件项目进度管理（二）· 计算专题

某市商业银行结算管理系统案例 | 第 8 周 · 2 学时（90 分钟）· 计算专题 | 5.5 估算活动持续时间 · 5.6 关键路径法（正推 · 逆推 · 时差 · 压缩）

课程代码 154431006 | 32 学时 / 2 学分 | 广东金融学院 计算机学院

配套课件：http://111.231.0.226:1234/　|　备课台：http://192.168.31.76:8910/备课台/index.html

打印时间：2026 年 11 月 27 日

《软件项目管理》第 8 次课讲稿（第 8 周 · 90 分钟）——第 5 章 软件项目进度管理（二）· 计算专题

课程：软件项目管理（154431006）｜广东金融学院 计算机学院
范围：**5.5 估算活动持续时间 · 5.6 制订进度计划（关键路径法：正推 · 逆推 · 时差 · 压缩）**
教材：宋莹莹等《软件项目管理与实践》（第 3 版）第 5 章（书页 91–104）｜案例：某市商业银行结算管理系统
配套课件：`lecture8/8.1.html` ~ `8.40.html`（**40 页 = 上课 38 页 + ★课后拓展 2 页**）｜在线：http://111.231.0.226:1234/lecture8/index.html
教材实验 3（选做）：任务② **CPM 手算与 ProjectLibre 录入对照**，随本讲课后课外完成

一、教学目标（依教案第 5 章）

维度	目标
知识 K	K3 掌握类比、参数、三点估算，会用 $T_E=\frac{O+4M+P}{6}$ 与 $\sigma=\frac{P-O}{6}$；K4 会用正推/逆推求 ES/EF/LS/LF、总时差与自由时差，确定关键路径与总工期
能力 A	A2 手算 CPM 并与 ProjectLibre 对照，输出甘特图计划并做压缩分析
素质 V	V1 守约的契约精神：估时不虚报（不许为"显得快"而压低三点估算）

本讲重点：① 三点估算两个公式；② 正推（$EF=ES+d$、汇合取大）与逆推（$LS=LF-d$、分叉取小）；③ $TF=LS-ES=LF-EF$、$FF=\min(\text{紧后}ES)-EF$；④ 关键路径判定；⑤ 压缩两法与"压后全图重算"。
本讲难点：① 逆推"分叉取小"；② TF 与 FF 的区别（D：TF=1、FF=0；E：TF=FF=1）；③ 压缩后关键路径迁移（压 C 1 天 → 27 天，同时长出第二条关键路径）。

二、时间分配（教案讲B 时间轴 · 共 90 分钟）

环节	时间	对应课件页	说明
复习衔接	6	8.1–8.2	简评网络图练习，接入 5.5
5.5 估算活动持续时间	16	8.3–8.14	类比/参数/三点/自下而上/储备分析；例题 2 口算
5.6 CPM 规则与正推	16	8.15–8.27	术语、正推规则、例题 1 逐屏正推、正推易错
5.6 逆推与时差	16	8.28–8.33	逆推规则、时差公式、D/E 对比、关键路径判定
5.6 关键路径与进度压缩	18	8.34–8.38	压缩两法、压缩四步、压后重算、资源平衡与平滑（★）
随堂计算小卷与讲评	12	8.39–8.40	6 活动小网络填全表，当堂互评
布置作业	6	8.40	计算题 2 道，说明考核口径

⚠️ **容量提示**：40 页中 **★课后拓展 2 页（8.37 资源平衡、8.38 资源平滑）课上可跳过**，留作课后阅读；其余 38 页按上表推进。**8.18 正推规则、8.23 汇合取大、8.30 时差公式、8.32 关键路径全表、8.36 压后重算**是本节最硬的五页，**一页都不要跳**。若时间紧张，可把 8.10 自下而上估算与 8.13 估算依据压到 1 分钟带过。

三、逐页讲稿

8.1 计算专题导航：一条链，六道关（2 分钟）

口播 · 可照读

同学们好，这一次课我们进入第 5 章最硬的一段——**计算专题**。请先在心里记下一句话：**进度管理是可以算出来的。** 上一次课我们把网络图画出来了：节点里装活动，箭线上装逻辑，从起点到终点，每一条通路就是一条路径。可是图画完，它还是一张**空壳**——节点上只有活动的**名字**，没有**数字**。今天要做的，就是往这张空壳里填数字，一直填到能回答三个问题：**最早哪天能完工、哪个活动一天都不能拖、想提前该压哪一步。**

填数字的路线，就是这一页中间的**六道关**。**第一关估时**：给每个活动算出期望持续时间 T_E 和标准差 σ，这是今天上半场的任务；**第二关正推**：用 $EF=ES+d$ 从前往后，算出每个活动的最早开始与最早完成；**第三关逆推**：用 $LS=LF-d$ 从后往前，算出最迟开始与最迟完成；**第四关时差**：两组数两两相减，得到总时差 TF 与自由时差 FF；**第五关关键路径**：把 $TF=0$ 的活动连起来，那条链就是关键路径；**第六关压缩**：用赶工或者快速跟进，把工期压下来，而且压完必须**全图重算**。

路线下面那行提示，是整条链的规矩，只有八个字：**汇合取大、分叉取小**。正推的时候，两条支路汇到一个节点，取**大**的那个；逆推的时候，一个节点分出去两条支路，取**小**的那个。这八个字今天会反复用到。

今天的范围只走**第一关**——5.5 估算活动持续时间；后面五关放在下半场。为什么第一关值得花这么多时间？因为**后面所有的数字，都是从 T_E 这一个数长出来的**：T_E 估小了，正推算出来的完工日就是假的；T_E 只给一个点、不给区间，后面就永远算不出“按时完工有多大概率”。换句话说，**第一环错，后面五环全是白算**。

回扣案例：某市商业银行结算管理系统，合同 9 个月，最后延误 3 个月。事后复盘，延误不是从执行阶段才开始，而是从**估时**就埋下了——每个模块都按“顺利情况”报了一个数，没有人报悲观值，也没有人给储备留位置。今天这一讲，就是回去把这个坑填上。

板书 第 5 章 计算专题（一）｜**一条链**：估时 → 正推 → 逆推 → 时差 → 关键路径 → 压缩｜① 估时 T_E、σ（本次上半场）② 正推 $EF=ES+d$ ③ 逆推 $LS=LF-d$ ④ 时差 TF、FF ⑤ 关键路径=$TF=0$ 的链 ⑥ 压缩=赶工／快速跟进｜口诀：**汇合取大、分叉取小**｜三个待答问题：最早哪天完 · 谁一天都不能拖 · 该压哪一步｜案例：结算系统 9 个月，延误 3 个月，病根在估时

提问 （本页互动题）互动：总工期由哪条路径决定？

预设回答

- 答“各活动持续时间之和最长的那条路径”：✅ 正确，这条就是**关键路径**——它决定了项目最短可能工期，也是后面正推、逆推、时差计算真正盯住的对象。理由要说透：**决定完工日的是时间，不是个数**。
- 答“活动数量最多的那条路径”：⚠️ 半对。多数网络图里活动多的路径常常也最长，看着“对上了”，但那是巧合、不是判据；三个 2 天的活动串起来是 6 天，一个 10 天的活动单独放着也是 10 天——路径长短是**加法**算出来的。
- 答“项目经理在计划里指定的那条路径”：❌ 关键路径是**算出来的，不是指认的**。先正推、再逆推、再算时差，$TF = 0$ 的那条链自动浮出来；项目经理能指定的是“压哪一步”，不能指定“哪条是关键路径”。

易错点 / 考点 ① 六道关的**顺序不能颠倒**：先估时，再正推，再逆推，再算时差，再判关键路径，最后才谈压缩。② “$TF = 0$ 的链就是关键路径”这句话要能脱口而出，后面第五关整页都在用它。③ 期末计算题的主战场就在这条链上，**任何一个环节只写答案不写过程，都不给分**——所以从今天起，每算一步都要写清“这一步在算什么”。

过渡 *路线看清了，我们从第一关的第一小步出发——先弄清楚“估算活动持续时间”这个动作到底在估什么。*

8.2 5.5 估算活动持续时间：定义与位置（2.5 分钟）

口播 · 可照读

先给定义，请把这句话抄下来：**估算活动持续时间，是对完成每项活动所需的工作时长进行近似估算的过程**，通常以**工时、工作日或周**为单位；本过程的**主要作用是确定完成每个活动所需花费的时间量**。定义里有两个词要咬住：一个是“**工作时长**”，它量的是**时间**，不是人数、不是成本；另一个是“**近似**”，估出来的是近似值，不是承诺值——这句话是我们后面讲区间、讲概率、讲储备的根。

中间这条三段式，就是本过程的骨架。**输入**里最要紧的是**进度管理计划、范围基准，加上活动清单、活动属性、资源需求、资源日历、风险登记册**。请注意**资源日历**这一项：它管的是“这段时间里，谁能来干活、环境能不能用”。**方法**这一栏是七项：**专家判断**，加上**类比、参数、三点、自下而上、备选方案分析、储备分析**六种能算出数字的估算算法。**成果**是三样：**持续时间估算、估算依据、更新的项目文件**。今天剩下的十几页，就是围着这三样成果转。

再看这条提示：**本过程在整个项目期间开展**。这不是开工前算一次就完事。执行到第三个月，接口文档晚到了两周、某个开发人员离职了，这些新信息进来，估时就要**更新**；更新之后，后面的正推、逆推、关键路径全都要跟着重算。所以估时是**活的**。

下面这张表讲单位，三种单位量的是三样东西。**工时（人·时）**量的是**工作量**，用在资源成本和工时汇总上，注意它**不直接等于历时**；**工作日（人·日）**量的是**活动级进度**，用在网络图和进度计划里，但它必须**绑定项目日历**——每周干几天、哪些节假日不算，都要先说清；**周／月**是**粗粒度**的时间，用在里程碑和高层计划，真要细算之前，得先换算成工作日。

最后这条提醒是本页的重点：**工作量 ≠ 历时**。举个「示例」数字：一个活要 10 人·天。1 个人做，10÷1=**10 天**；2 个人并行做，理论上 10÷2=**5 天**。但请立刻补一句“可是”：**任务未必拆得开，加人也不能线性缩短**——两个人要联调、要对接口、要互相等，实际很可能是 6 到 7 天，而不是 5 天。

回扣案例：「示例」结算系统的跨行转账接口开发，估出来是 10 人·天。只有一名接口开发在岗，那它的历时就是 10 个工作日；如果临时加一个人分走报文解析那一半，理论 5 天、实际大概 6 到 7 天——**这就是资源日历为什么必须和估时一起看**。

板书 **估算活动持续时间**＝对完成每项活动所需**工作时长**的**近似估算**（单位：工时／工作日／周）｜作用：**确定完成每个活动所需花费的时间量**｜输入：进度管理计划·**范围基准**／活动清单·活动属性·**资源需求**·**资源日历**·风险登记册｜方法七种：专家判断·类比·参数·三点·自下而上·备选方案分析·储备分析｜成果：**持续时间估算**·**估算依据**·更新的项目文件｜性质：**整个项目期间开展**（不是算一次）｜三种单位：工时＝工作量（≠历时）·工作日＝活动级进度（要绑定项目日历）·周月＝粗粒度（细算前换工作日）｜⚠️ **工作量 ≠ 历时**：10 人·天 → 1 人 10 天、2 人理论 5 天，但任务未必可拆，加人不线性

提问 同一个活动，报“10 人·天”和报“10 个工作日”，是不是一回事？

预设回答

- 答“不是一回事，一个是工作量、一个是历时”：✅ 抓住了要害。追问一句“什么时候两者数值会相等？”——只有在**投入人数恰好为 1** 的时候，10 人·天正好等于 10 个工作日；一旦人数不是 1，两者立刻分叉。
- 答“差不多，反正都是 10”：⚠️ 半对。数值能对上，是巧合，不是规律。点评：单位一混，**汇总就错**——把 5 个活动的“人·天”直接加起来当“工作日”用，等于假设每个活动都只有一个人干，工期会被系统性低估。
- 答“报人·天显得专业”：❌ 单位不是修辞。**报给谁、用来干什么，决定用哪个单位**：算成本用工作量，排进度用工作日，给高层看里程碑用周。

易错点 / 考点 ① 定义的**原话**要能背：近似估算、工作时长、确定每个活动所需花费的时间量。② “**本过程在整个项目期间开展**”是判断题高频点，容易被答成“只在计划阶段做一次”。③ 三种单位的**用途配对**是选择题常客：工时→成本与工作量汇总，工作日→网络图与进度计划，周月→里程碑与高层计划。④ 最值钱的一条：**工作量 ≠ 历时**，换算时除的是“投入人数”，而且**不能线性外推**。

过渡 *方法一共七种，其中六种是“估”的方法，下一页先把它们摆到一张表上，看清各自该在什么场合出场。*

8.3 六种估算方法：先选对，再算准（3 分钟）

口播 · 可照读

这一页是**方法总览**。先纠正一个常见的学习方式：这六种方法**不是并列背下来的清单**，而是按三个维度来选的——**信息有多少、精度要多高、风险有多大**。选错了方法，后面的计算再工整也没有意义：用类比估出来的数，你非要拿它精确到小数点后一位，那是自欺欺人。

我们一条一条过。**第一种，类比估算**：做法是“拿相似项目的历史时长类比”，什么时候优先用？**信息少、又要快**的时候；代价是**精度低，而且完全靠数据质量**。**第二种，参数估算**：做法是“参数乘系数的统计关系”，手里有**代码行数、接口数、功能点数**的时候优先用；代价是**依赖模型和基础数据**——模型过期，结果就偏。**第三种，三点估算**：做法是把**乐观、最可能、悲观**三个值加权平均，**不确定大、需要给区间**的时候用它；代价是**三个值都得有依据**，不能拍脑袋。**第四种，自下而上估算**：从工作包一层一层往上汇总，**WBS 拆得细、又要精度**的时候用它；代价是**成本高、耗时长**。**第五种，备选方案分析**：比较资源方案、技术方案、工具方案，**资源受限、存在多个可选方案**的时候用；代价是**要有可比的方案数据**。**第六种，储备分析**：为风险预留时间，**手里有风险清单**的时候用；代价是**储备必须有依据**，不能变成“藏起来的时间”。

表下面这行是**选择顺序**，请背下来：**信息少 → 类比；有参数 → 参数；不确定大 → 三点；要精度 → 自下而上；有风险 → 储备。** 最后补一句：**专家判断贯穿始终**——它不在上面这六种算法里，它是**校验器**：任何一种算法算完，都要请有经验的人看一眼“这个数离不离谱”。

考试里这一页最常见的题型是**给情境选方法**，而不是问定义。比如“WBS 已经拆到工作包，要求误差控制在 10% 以内”，答案就是自下而上；再比如“只有一个同类项目的历史总工期，下周就要报价”，答案就是类比。

回扣案例：「示例」结算系统在投标阶段，只有“上一个同类系统做了 9 个月”这一条信息，那就先用**类比**报量级；等 WBS 拆到工作包、18 个对外接口都点清了，再换**参数**和**自下而上**重算一遍；最后对“第三方接口可能延迟”这类风险，用**储备分析**加时间。**同一份估算，在不同阶段用不同方法，这叫逐级细化，不叫前后矛盾。**

板书 **六种估算方法（按信息／精度／风险选）** ｜ ① 类比＝相似项目历史时长 → 信息少要快 → 精度低、靠数据质量 ② 参数＝参数×系数的统计关系 → 有代码行／功能点 → 靠模型与基础数据 ③ 三点＝O、M、P 加权平均 → 不确定大要区间 → 三值都要有依据 ④ 自下而上＝工作包逐层汇总 → WBS 细要精度 → 成本高耗时久 ⑤ 备选方案分析＝比较资源／技术／工具方案 → 资源受限多方案 ⑥ 储备分析＝为风险预留时间 → 有风险清单 ｜ **选择顺序：信息少→类比；有参数→参数；不确定大→三点；要精度→自下而上；有风险→储备** ｜ **专家判断＝校验器，贯穿始终**

提问 手里只有一份记录——“上一个类似项目做了 6 个月”，WBS 还没拆细，这时候你先用哪种方法？

预设回答

- 答“类比估算”：✅ 正确。理由要说全：**信息少**（只有总工期一条）、**要得快**（还没到细算阶段），正好是类比估算的适用条件；同时承认它的精度低，所以要标明这是**量级估算**。
- 答“参数估算”：⚠️ 方向对，但**现在乘不出来**。点评：参数估算要有一个可乘的“参数”——代码行数、接口数、功能点数；WBS 都没拆，参数从哪儿来？等参数拿到了，再回来用它。
- 答“自下而上估算”：❌ 顺序错了。点评：自下而上的输入是**已经拆到工作包的 WBS**，现在没有包可汇，硬做只能是把 6 个月拍成五份，那不叫自下而上，那叫**自上而下摊派**。

易错点 / 考点 ① 六种方法的**名称要写全**：“备选方案分析”“储备分析”容易被漏，或者被写成“风险分析”。② 选择顺序那五句是简答题的骨架，**能背就能拿分**。③ 高频陷阱：把**专家判断**算成第七种并列算法——它是**校验手段**，本身不产生数字，却贯穿所有方法。④ 别把“精度低”只归给类比：**参数估算的精度取决于模型成熟度与基础数据可靠性**，模型一过期，精度一样掉。

过渡 *六种算法里，最省事也最容易被滥用的就是第一种——下一页我们看类比估算到底靠什么站得住。*

8.4 类比估算：拿相似的历史说话（2.5 分钟）

口播 · 可照读

类比估算，教材的定义是：一种基于**相似活动或项目的已知持续时间**来估算当前活动或项目持续时间的技术。请注意定义里那个关键词——**相似**。类比能不能成立，全押在这两个字上。

看上面这张表，两组「示例」数据。第一组：手机银行的“转账”模块测试花了 **10 个工作日**，现在要估网上银行“转账”模块测试，类比结果就是**约 10 个工作日**。第二组：上一期“批量代发”接口开发用了 **6 人·周**，本期“批量代收”接口开发，类比结果**约 6 人·周**。

为什么敢直接照搬？因为这两个例子里有**三样东西是一样的：业务逻辑同构**——转账和转账，都是“发起、校验、入账、回执”四步，批量代发和批量代收，都是“组包、送清算、对回执”；**技术栈相同**——同一套报文规范、同一个清算通道；**团队是同一批人**。这三样对上，历史时长才有可比性。**只要有一项对不上，类比就得打折。**

下面两张卡片，一张说适用、一张说局限。**什么时候用**：项目信息有限、需要快速给出量级，或者把它当作其他方法的**交叉校验**。**局限**：精度较低；而且当历史数据与当前活动**不够可比**时，误差会被**直接放大**——注意是“直接”，不是“略微”，因为类比是**整体照搬**，不带任何修正机制。

这一页的互动题问得很实在：类比估算的准确度主要取决于什么？答案是**历史数据与当前活动的相关性、准确性**。

回扣案例：「示例」结算系统要做跨行转账接口，行里已经有一个上线的手机银行转账模块，做了 10 个工作日。这就是最好的类比对象：同一个清算通道、同一批开发。但如果拿它去类比“国际结算的多币种换算”，那就不够可比了——多币种要处理汇率、要处理舍入规则、要处理跨境报文，这时候类比只能给一个下限，剩下的必须靠三点估算或者自下而上补。

板书 **类比估算**＝基于**相似活动／项目的已知持续时间**估算当前活动 ｜ 例（「示例」）：手机银行“转账”测试 10 个工作日 → 网上银行“转账”测试 **约 10 个工作日**；上期“批量代发”接口 6 人·周 → 本期“批量代收” **约 6 人·周** ｜ 敢照搬的三个前提：**业务逻辑同构 · 技术栈相同 · 同一批人** ｜ 适用：信息有限、要快速给量级；或作**交叉校验** ｜ 局限：**精度较低**；历史与当前**不够可比**时误差被直接放大 ｜ 准确度取决于：**历史数据的相关性 + 准确性**

提问 （本页互动题）互动：类比估算的准确度主要取决于什么？

预设回答

- 答“B，历史数据与当前活动的相关性、准确性”：✅ 正确。点评：把“**可比**”这两个字说出来了——类比是整体照搬，历史项目越像、数据越准，搬过来的数才站得住。追问一句“相关性和准确性哪个更要紧？”——**相关性决定能不能用，准确性决定用了值多少**：数据再准，只要不像，类比出来的数就是错的。
- 答“A，项目经理的资历”：⚠️ 部分对——资历决定“选哪个历史项目来类比”，但模型本身不按资历算数。点评：老手之所以准，是因为他手里有更多**可比的历史项目**、也知道哪一份数据更可信；把资历抽掉，剩下的其实还是历史数据。考试口径只认“历史数据的相关性与准确性”。
- 答“C，用不用项目管理软件”：❌ 典型的工具依赖。点评：软件只是把历史数据存起来、把除法算对，它不会替你判断“这个历史项目像不像当前活动”。**工具能提高效率，不能提高可比性。**
- 答“取决于估算的人多不多、讨论得久不久”：❌ 常见错。点评：开会开得再久，也只能在**同一份历史数据**上打转；数据本身不相关，人多只会让错误更自信。

易错点 / 考点 ① 定义的落点是“**相似**”，答题时必须点出“可比性”三个字。② 优缺点的标准表述：**成本低、耗时少；精准度较低，取决于历史数据的相关性和准确性**。③ 常考的辨析：类比是**整体照搬**，参数是**按变量关系换算**，三点是**给三个值算加权**——三者不要串。④ 案例题里若出现“历史项目规模差一倍”，正确动作是**先做规模调整再类比**，不能直接搬。

过渡 *类比是“整体照搬”，那如果我不想照搬、想按比例换算呢？这就是第二种方法——参数估算。*

8.5 参数估算：让变量关系替你算（3 分钟）

口播 · 可照读

参数估算，定义是：一种基于**历史数据与相关变量之间的统计关系**来估算持续时间的技术。请注意它和类比的分工：类比搬的是**整体时长**，参数搬的是**变量之间的比例关系**。

最经典的例子就是代码行。历史数据表明，**每 1000 行代码平均需要 5 个工作日**，那么一个 **5000 行**的模块要多久？第一步，先算“有几个千行”：5000÷1000＝**5 个千行**；第二步，用“每千行 5 天”去乘：5×5＝**25 个工作日**。这两步合起来，就是一次参数估算。请体会一下：**“每千行 5 天”这个数，是从历史数据里统计出来的斜率；“5000 行”是当前项目的规模；斜率乘规模，得到估算值。**

表里还有两组「示例」。第二组用**接口数**做参数：每个接口 2 个工作日，本期 18 个接口，18×2＝**36 个工作日**。第三组用**功能点**：每个功能点 0.8 个工作日，本期 120 个功能点，120×0.8＝**96 个工作日**。三组的算法完全一样，只是换了一个“参数”。

下面这张对照表，把类比和参数摆在一起看。**估算依据**：类比靠“相似项目的整体时长”，参数靠“变量与时长之间的统计关系”。**精度与成本**：类比精度较低、成本也低；参数精度中高，但要**建模型**——模型本身就是成本。**主要风险**：类比怕“可比性不足”，参数怕“模型不成熟、基础数据失真”。

最后这条提醒很关键：**参数模型会过期**。技术栈、团队熟练度、复用程度一变，系数就要**重新校准**。「示例」三年前“每千行 5 天”是因为当时没有脚手架、没有代码生成；现在有了，同样的活可能只要 3 天。**系数不校准，等于拿旧地图找新路。**

回扣案例：「示例」结算系统点出 **18 个对外接口**，按“每接口 2 个工作日”算，接口开发这一块是 36 个工作日。但这个 36 必须拿去和自下而上的结果**对一遍**：如果 WBS 逐包汇总出来是 44 天，差的 8 天就要问清楚——是多币种报文复杂，还是“每接口 2 天”这个系数该更新了。

板书 **参数估算**＝基于**历史数据与相关变量的统计关系** ｜ 计算三步：**定参数（规模）→ 找系数（历史斜率）→ 相乘** ｜ 例（「示例」）：每千行 5 天 × (5000÷1000＝5 个千行) ＝ **25 个工作日**；每接口 2 天 × 18 个接口 ＝ **36 个工作日**；每功能点 0.8 天 × 120 功能点 ＝ **96 个工作日** ｜ 类比 vs 参数：依据（整体时长／变量关系）· 精度成本（低／中高，要建模型）· 风险（可比性不足／模型不成熟、基础数据失真） ｜ ⚠️ **模型会过期**：技术栈、熟练度、复用度一变，系数必须重新校准

提问 “每千行代码 5 天”这个系数已经三年没更新，现在还能直接用吗？

预设回答

- 答“不能直接用，要先校准”：✅ 正确。校准的动作很具体：**挑两个刚做完的模块，用实际工时倒算系数**——如果去年是每千行 3.5 天，那 5 天这个数就明显偏高，直接乘会把工期估长四成。
- 答“先用，但要在估算依据里注明系数的来源和时间”：✔️ 这是实务里的折中做法。点评：写明“系数取自 20×× 年三个项目均值，未含脚手架工具影响”，至少让复核的人知道**这个数是怎么来的、可能在哪个方向偏**。
- 答“参数估算有公式，最客观，不用校准”：❌ 这是对“客观”的误解。点评：公式本身是客观的，**喂进去的系数不是**。参数估算最容易出的错，就是把一个过期的系数当成真理，一遍遍乘下去。

易错点 / 考点 ① 参数估算的**两个前提**必须能说出来：有**可量化的参数**、有**可靠的历史系数**。② 计算题的规范写法是**先写关系式、再代数字、最后带单位**：$5 \times (5000 \div 1000) = 25$ 个工作日，三步都不能省。③ 辨析：**参数估算的精度中高，但成本也高于类比**（要建模型、要维护数据），不要答成“又准又便宜”。④ “模型会过期、系数要校准”是案例分析的得分点，答“参数估算最科学”会被扣分。

过渡 *类比和参数，给的都是**一个点**。可现实里每个活动都有波动，一个点根本藏不住。下一页我们给三个值。*

8.6 三点估算：一个数藏不住不确定性（2.5 分钟）

口播 · 可照读

前面两种方法，无论怎么算，最后交出去的都是**一个数**。这一页要说的第一句话就是：**只报一个数，等于把不确定性藏起来。** 为什么？因为一个数背后其实有一大片可能：接口可能一次联调就通过，也可能卡三周；环境可能当天就绪，也可能排队等两周。你报一个数，等于假装这片可能不存在。

三点估算的做法，是对**同一项活动**给出**三个时间**，分别对应顺利、正常、最不利三种情形。**乐观时间** T_O：一切顺利——接口一次联调通过、环境当天就绪，「示例」**4 个工作日**。**最可能时间** T_M：正常资源、正常技术难度、常见风险都在内，「示例」**7 个工作日**。**悲观时间** T_P：资源不足、技术卡点、外部依赖延迟**同时出现**，「示例」**13 个工作日**。

请特别注意悲观值的定义：它是“**合理的最不利情形**”，不是“最坏能坏到哪儿都算”。资源不足、技术卡点、依赖延迟同时发生，这已经是很糟的一天了；但如果把“供应商倒闭、项目重做”也算进去，那就不是悲观值，那是**项目取消**。

看这张表，三种报法的后果。**只报 T_O**：听起来是“4 天就能好”，实际后果是**承诺过紧，一旦出问题立刻失信**。**只报 T_M**：听起来是“7 天差不多”，实际后果是**忽略尾部风险，没有给波动留空间**。**三个都报**：说出口是“**4 到 13 天，期望 7.5 天**”，好处是**既给出量级，也暴露不确定性，便于决策**——客户可以自己选：要 4 天，加钱加人；要稳，按 10 天排；要 7.5 天，接受一半的延期概率。

有人会问：把悲观值报上去，会不会显得我能力不行？恰恰相反。**敢不敢把悲观值摆到桌面上，是估算者最基本的诚实。** 只报好消息、把风险藏到上线前夜，最后买单的是整个团队和客户——这也是这一页的思政落点。也正因为如此，三个值最好**由不同的人独立给**，再摆到一起对：一个人既报乐观又报悲观，很容易把三个值压成“一个数加上下浮动”。

板书 **三点估算**＝对同一活动给出三个时间 ｜ T_O 乐观＝一切顺利（「示例」**4 天**）· T_M 最可能＝正常资源与技术难度（**7 天**）· T_P 悲观＝资源不足＋技术卡点＋外部依赖延迟**同时出现**（**13 天**） ｜ 三种报法：只报 T_O→承诺过紧、一旦出问题立刻失信；只报 T_M→忽略尾部风险、没给波动留空间；**三个都报→“4 到 13 天，期望 7.5 天”，既给量级又暴露不确定性** ｜ ⚠️ 悲观值＝**合理的最不利情形**，不是“最坏到项目取消”

提问 悲观时间是不是“最坏能坏到什么程度都算进去”？

预设回答

- 答“不是，是合理的最不利情形”：✅ 正确。请补一个判据：**这个情形在同类项目里真实发生过**，才算合理；没发生过的极端灾难，不在三点估算的范围内。
- 答“为了保险，悲观值往大里报才安全”：❌ 这笔账要算给他看。「示例」把 P 从 13 天拉到 30 天：期望变成 $(4+4\times7+30)\div6=62\div6\approx10.3$ 天，标准差变成 $(30-4)\div6\approx4.3$ 天。结果是——**一个 7.5 天的活，被你报成了 10.3 天，波动还被放大了**。这不是保守，这是**用虚高换取安全感**，代价是项目在起跑线上就背了 3 天的冤枉工期。
- 答“悲观值就是最可能值加几天”：⚠️ 半对。加几天只是形式，实质是**要能说清加的是哪几个风险**：接口延迟几天、环境排队几天、返工几天。说不清来源的“加几天”，复核的时候站不住。

易错点 / 考点 ① 三个值的**定义**要能区分：乐观＝一切顺利的最短时间；悲观＝最不利情况下的最长时间；最可能＝正常条件下的持续时间。② T_P **不是无限大**，是“合理的最不利情形”，这是判断题的常设陷阱。③ 三个值都必须**有依据**——这是三点估算的代价，也是它比类比可信的原因。④ 计算题里三个值通常按 O、M、P 的顺序给，但题干也可能打乱顺序，**代入前先对号**。

【思政落点：职业诚信】 敢把悲观值摆到桌面上，是估算者最基本的诚实。只报好消息、把风险藏到上线前夜，最后买单的是整个团队和客户。落到同学们自己的课程项目：小组报进度时，把“可能要返工”的那几天也写进去，比事后解释“当时没想到”要体面得多。

过渡 *三个值有了，可三个数没法直接填进网络图——网络图的节点里只能放一个数。下一页，我们把三个数压成两个数。*

8.7 三点估算的两个公式（3 分钟）

口播 · 可照读

这一页是两个公式，也是这次课最需要动手的一页。先说清楚**为什么是加权平均，而不是简单平均**。三点估算假设三个值服从 β **分布**：这个分布允许**偏斜**，也就是左半边和右半边不必对称。既然不对称，三个值的“分量”就不能一样——**最可能时间附近概率密度最高，所以给它最重的权重**。

第一个公式，期望持续时间：

$$T_E=\frac{O+4M+P}{6}$$

请把这个式子的结构读出来：分子是**三份加权值相加**——乐观占 **1 份**、最可能占 **4 份**、悲观占 **1 份**；分母 **6** 就是份数之和，$1+4+1=6$。所以这个公式的本质是**加权平均**：把三个值按 1 比 4 比 1 调和一下，得到一个“代表值”。**为什么最可能是 4 份？** 因为在 β 分布的近似下，最可能值附近的概率最集中，取值要往它身上靠；两端各给 1 份，是为了不让极端值被完全忽略。

第二个公式，标准差：

$$\sigma=\frac{P-O}{6}$$

分子 $P-O$ 是**从最悲观到最乐观的整个跨度**。β 分布近似认为，这两个端点大致落在均值两侧各三个标准差的位置上，也就是从 $\mu-3\sigma$ 到 $\mu+3\sigma$，跨度大约是 6σ；那么**一个标准差就是跨度除以 6**。请体会这两个公式的对称美：**分母都是 6，一个除的是“份数”，一个除的是“几个标准差”**。

两个数各有分工，请一定分清：T_E **回答“大概多久”**，它是期望值，是后面要填进网络图的那个 d；σ **回答“有多不确定”**，它衡量的是**波动尺度，不是工期长短**。σ 大，说明乐观和悲观差得远，工期更容易偏离期望；σ 小，说明这个活比较“稳”。所以这两个公式不是两种方法，而是**同一个活动的两张面孔**：一张说位置，一张说胖瘦。

还有一个**代入前的动作**，比公式本身更容易错：先把题目里给的三个数**对号入座**。O 一定是**最短**的那个、P 一定是**最长**的那个、M 是中间那个“最可能”。题目按 O、M、P 的顺序给，你直接代；题目要是打乱顺序写“悲观 13、乐观 4、最可能 7”，你就得先在心里排好队再代。**符号认错，后面每一步都是白算。**

最后做一个**量纲检查**，这是防错的好习惯：T_E 的分子是“天”，分母是“份”，结果还是“天”；σ 的分子是“天”，分母是“6”，结果也是“天”。两个公式量纲一致，说明没写错。再补一个**范围检查**：T_E 一定落在 O 与 P 之间，σ 一定小于跨度；如果算出来的期望值比悲观值还大，那一定是分子或分母出了错。

板书 三点估算：三值服从 β **分布**（可偏斜）→ 用**加权平均**，不用简单平均 |

$$T_E = \frac{O + 4M + P}{6}$$

（分子：乐观 1 份＋最可能 **4 份**＋悲观 1 份；分母 6＝份数之和 $1+4+1$） |

$$\sigma = \frac{P - O}{6}$$

（分子 $P-O$＝全跨度；β 分布近似端点落在 $\mu \pm 3\sigma$ → 跨度约 6σ） | 分工：T_E **答“大概多久”（填进网络图的 d）· σ 答“有多不确定”（波动尺度，不是长短）** | 量纲检查：两个式子结果都是“天”

提问 （本页互动题）互动：某活动的标准差 σ 越大，说明什么？

预设回答

- 答“B，工期的不确定性越大”：✅ 正确。点评：σ 量的是**散不散**，不是**长不长**。追一句公式来源：$\sigma = \frac{P-O}{6}$，分子只看**跨度**，跟 M 一点关系都没有——所以 σ 大只能说明乐观与悲观隔得远，说不清这个活要多久。
- 答“说明这个活动越容易延期”：⚠️ 部分对但不准。点评：σ 大只说明**更容易偏离期望值**——可能延后，也可能提前，两头都变宽；说“一定延期”就把正态分布的对称性丢了。
- 答“A，期望持续时间一定越长”：❌ 常见错，而且逻辑上就不成立。点评：给个反例——活动甲 $O=2$、$M=3$、$P=8$，$T_E = \frac{2+12+8}{6} \approx 3.67$ 天、$\sigma = \frac{8-2}{6} = 1$ 天；活动乙 $O=10$、$M=12$、$P=16$，$T_E = \frac{10+48+16}{6} \approx 12.33$ 天、$\sigma = \frac{16-10}{6} = 1$ 天。期望差了 8 天多，σ 一样大——T_E **说位置，σ 说胖瘦，两张面孔不能混。**
- 答“C，这个活动一定越重要”：❌ 把“不确定”当成了“重要”。点评：重要不重要看它在不在关键路径上、看它对目标的影响；一个 σ 很大的活动，如果总时差也很大，它反而不该占用你最多的注意力。**该盯的是“σ 大且时差小”的活动。**

易错点 / 考点 ① 两个公式的**分母都是 6**，但含义不同：一个是**份数**，一个是**标准差的个数**，答题时能说出这一点是加分项。② 最常见的手算错：**忘记乘 4、分子算成 $O+M+P$、σ 用 $(P-M)\div 6$**。③ σ 的含义必须答对：**衡量不确定性（波动），不是工期长短**——这一条几乎年年出判断题。④ 别把 T_E 当承诺值：它是期望值，只有约一半的把握能按时完成，这一点下一页就用得上。

过渡 *公式摆好了，我们拿真实数字走一遍——下一页就是这次课的指定例题，$O=4$、$M=7$、$P=13$。*

8.8 三点估算例题：O=4、M=7、P=13（3.5 分钟）

口播 · 可照读

请大家拿出纸笔，这一页我们一步不跳地算完。为什么要拿纸笔？因为期末的计算题，**过程分和结果分是分开给的**，你只写一个“7.5 天”，阅卷人无从判断你是算出来的还是猜出来的。

第一步，抄清三个数，并确认单位，还要对号。「示例」结算系统的“跨行转账接口开发”：乐观 $O=4$ 天、最可能 $M=7$ 天、悲观 $P=13$ 天，**单位都是工作日**。这里先做一个检查：$4<7<13$，O 最短、P 最长，顺序是对得上的。如果题目给的顺序是乱的，就先重排——**符号认错，全题皆错**。单位先统一，是后面所有计算不出错的前提；如果某一项给的是“周”，第一件事是乘 5 换成工作日。

第二步，算期望持续时间的分子。 先把最可能值乘 4：$4\times 7=28$——这一步算的是“最可能情形占的 4 份，一共值 28 天”。再把三个数加起来：$4+28+13=45$。**这个 45，就是按 1 比 4 比 1 加权之后的总天数。** 请注意 4 在这里出现了两次、意思完全不同：加号前面那个 4 是**乐观时间**，乘号后面那个 4 是**权重份数**。口算时把这两个 4 搞混，是这一题最常见的失手。

第三步，除以份数 6。 $45\div 6=7.5$。所以

$$T_E = \frac{4 + 4\times 7 + 13}{6} = \frac{45}{6} = 7.5$$

期望持续时间是 7.5 个工作日。 请念一遍它的意思：如果这个接口开发重复做很多次，平均下来是 7.5 天一次；它**不是**对某一次的保证，也不是“最多 7.5 天”。7.5 这个数偏在哪一边，你可以自己感受一下：它离最可能值 7 只差半天，离悲观值 13 差了 5 天半——**加权把悲观值的影响压下去了，但没有抹掉**。

第四步，算标准差。 先算跨度：$P-O=13-4=9$，也就是从最乐观到最悲观相差 9 天。再除以 6：$9\div 6=1.5$。所以

$$\sigma = \frac{13-4}{6} = 1.5$$

标准差是 1.5 个工作日。 它说明这个活动的波动尺度是 1.5 天左右——乐观和悲观之间隔了 9 天，摊到 6 个标准差上，每个标准差 1.5 天。请顺手做个检查：$\sigma=1.5$ 明显小于跨度 9，也小于期望值 7.5，数量级正常；要是算出 σ 比 T_E 还大，那多半是把分子写成了跨度乘了什么。

第五步，把两个数用起来。 7.5 这个数，下一步要填进网络图，作为这个活动的 d；填的时候注意，它落在项目日历上是**七个半工作日**——不是七天半的自然日，跨周末要往后顺延。1.5 这个数，用来算区间：$7.5-1.5=6$、$7.5+1.5=9$，也就是 **6 到 9 个工作日**，这个区间大约覆盖 **68%** 的可能。下一页我们就把这条概率讲透。

最后做个口算。换一个活动：「示例」$O=2$、$M=5$、$P=8$。分子 $2+4\times 5+8=2+20+8=30$，$30\div 6=5$ 天；标准差 $(8-2)\div 6=6\div 6=1$ 天。**答案：5 天、1 天。** 算完请再检查一遍：5 落在 2 与 8 之间，1 小于跨度 6，两个数都合理。

板书 例题 | 跨行转账接口开发（单位：工作日）$O=4$、$M=7$、$P=13$ | ① 统一单位 ② 分子：$4\times 7=28 \to 4+28+13=45$ ③ $45\div 6=7.5$ ④ 跨度 $13-4=9 \to 9\div 6=1.5$ |

$$T_E = \frac{4 + 4\times 7 + 13}{6} = \frac{45}{6} = 7.5$$

$$\sigma = \frac{13-4}{6} = 1.5$$

| 用途：7.5 **填进网络图当 d；1.5 用来算区间 7.5 ± 1.5=6～9 天（约 68%）** | 口算：$O=2$、$M=5$、$P=8 \to 30\div 6=5$ 天、$6\div 6=1$ 天

提问 （本页互动题）互动：口算——换一个活动：$O=2$、$M=5$、$P=8$（工作日），期望持续时间和标准差分别是多少？

预设回答

- 答“A，5 天 / 1 天”：✅ 正确。请他把过程念出来：分子 $2+4\times5+8=2+20+8=30$，$30\div6=5$ 天；标准差 $(8-2)\div6=6\div6=1$ 天。追问一句“凭什么敢说 5 天？”——因为 5 落在 $O=2$ 与 $P=8$ 之间，1 又小于跨度 6，**两个数都过了合理性检查**。
- 答“C，5 天 / 2 天”：⚠️ 部分对——期望值对了，标准差错了。点评：2 天多半是把分子写成 $P+M=13$、或把跨度算成 $8+2=10$；σ 的分子只能是**跨度** $P-O=6$，$6\div6=1$。
- 答“B，6 天 / 1 天”：❌ 常见错，错在**分母**。点评：$30\div5=6$，把份数 $1+4+1=6$ 写成了 5，等于把“最可能值那 1 份”丢了；份数一少，期望就被系统性抬高。
- 答“5 天 / 0.5 天”：❌ 点评：这是把标准差又除了一次 2，或者用了 $(P-O)\div12$。检查办法很简单——σ 一定小于跨度的一半，跨度 6、$\sigma=1$ 才合理。

易错点 / 考点 ① **计算步骤要写全**：分子、除法、单位，三步俱全才给满分。② 本例的两个标准答案必须记牢：$T_E=7.5$ **天**、$\sigma=1.5$ **天**。③ 常见错法三连：漏乘 4、分母写 3 或 5、σ 用 $P-M$。④ 算完要做**合理性检查**：T_E 一定落在 O 与 P 之间，σ 一定小于 $(P-O)$；不满足，就是算错了。

过渡

- *5 天和 1.5 天算出来了，可客户真正关心的不是“平均几天”，而是“按时完工有多大概率”——下一页把这 1.5 天变成概率。*

8.9 从单活动到总工期：概率与区间（3 分钟）

口播 · 可照读

这一页要完成一次跳跃：**从“一个活动的两个数”，跳到“整个项目的完成概率”**。桥梁是教材里提到的一条定理——**中央极限定理**：当项目里的任务足够多时，各个活动的波动会互相抵消一部分，**总工期的概率分布近似正态分布**。于是“能不能按时完成”这件事，就从一句感觉，变成了**可以算的概率**。

先看图 5-6 这条钟形曲线。横轴是工期，中间最高点是均值 μ，两侧对称地画了 7 条虚线，依次是 $\mu-3\sigma$、$\mu-2\sigma$、$\mu-\sigma$、μ、$\mu+\sigma$、$\mu+2\sigma$、$\mu+3\sigma$。曲线下面的三段双向箭头，标的就是三个经典区间的覆盖概率：$\mu\pm\sigma$ **覆盖 68.26%**、$\mu\pm2\sigma$ **覆盖 95.46%**、$\mu\pm3\sigma$ **覆盖 99.73%**。这三个数请背下来，它们是所有工期概率题的底座。

现在把例题的数代进去，$\mu=7.5$、$\sigma=1.5$，一行一行算。**第一行，** $\mu\pm\sigma$：左边 $7.5-1.5=6.0$，右边 $7.5+1.5=9.0$，所以是 **6.0 到 9.0 个工作日**，覆盖 **68.26%**。**第二行，** $\mu\pm2\sigma$：$2\sigma=3$，左边 $7.5-3=4.5$，右边 $7.5+3=10.5$，所以是 **4.5 到 10.5 个工作日**，覆盖 **95.46%**。**第三行，** $\mu\pm3\sigma$：$3\sigma=4.5$，左边 $7.5-4.5=3.0$，右边 $7.5+4.5=12.0$，所以是 **3.0 到 12.0 个工作日**，覆盖 **99.73%**。

请体会这三行的用法：**区间的宽度，是由** σ **决定的**；$\sigma=1.5$ 时，一个标准差只有 1.5 天，两个标准差 3 天。σ 越大，区间越宽，也就是说你越不敢打包票。

最要命的一句话在下面：**期望值只有约 50% 的完成把握**。为什么？因为正态分布以均值为中心对称，**一半的概率落在均值左边，一半落在右边**。所以你把 7.5 天报给客户，等于告诉他“我们有一半的机会延期”。**要 95% 的把握，承诺就要放到 10.5 天附近**——也就是 $\mu+2\sigma$ 这个上沿。

这一页的工程含义，比公式重要得多：**报期望值，是在掷硬币；报上沿，才叫承诺。** 而客户提要求时也要反过来算：如果客户要求 12 天完成，那落在 $\mu+3\sigma$ 以内，把握约 99.7%，这个承诺可以接；如果客户要求 6 天完成——那已经在 $\mu-\sigma$ 的下沿，把握只剩一成多，接之前必须谈压缩或者谈范围。

回扣案例：结算系统 9 个月的工期，如果每个模块都只按期望值报、再简单相加，那整体就只有约一半的把握按时交付。**这不是运气不好，这是算术决定的。**

板书 **中央极限定理**：任务足够多 → 总工期近似**正态分布** ｜ 图 5-6：钟形曲线，横轴 7 条虚线 $\mu-3\sigma$、$\mu-2\sigma$、$\mu-\sigma$、μ、$\mu+\sigma$、$\mu+2\sigma$、$\mu+3\sigma$ ｜ 三个底座：$\mu\pm\sigma$**→68.26%** • $\mu\pm2\sigma$**→95.46%** • $\mu\pm3\sigma$**→99.73%** ｜ 本例 $\mu=7.5$、$\sigma=1.5$：7.5 ± 1.5=**6.0～9.0**；7.5 ± 3=**4.5～10.5**；7.5 ± 4.5=**3.0～12.0** ｜ ⚠️ **期望值只有约 50% 把握**（均值左右各一半）→ 要 95% 把握，承诺放 **10.5 天**附近

提问 客户问“到底几天能完”，你报 7.5 天，这个承诺的把握有多大？

预设回答

- 答“大约一半”：✅ 正确，而且要能说清原因：正态分布以均值为中心，**低于均值和高于均值各占一半**。所以 7.5 天是“五五开”的承诺，不是“稳”的承诺。
- 答“报 9 天，把握就大了”：✔️ 方向对。9 天是 $\mu+\sigma$ 的上沿，落进 68.26% 那个区间；把握确实明显提高，但仍然不到“十拿九稳”——要更稳，就往 10.5 天（$\mu+2\sigma$）靠。
- 答“报 7.5 天，说‘基本没问题’”：❌ 这是把期望值当成了保证值。点评：**期望值是算术平均，不是承诺**；说“基本没问题”而实际只有一半把握，这在合同语境下就是**过度承诺**。

易错点 / 考点 ① 三个百分数必须背准：**68.26%、95.46%、99.73%**，别写成 68%、95%、99.7% 的近似值（填空按教材口径）。② 区间计算是**加减法**：$k\sigma$ 先算出来，再往 μ 两边加；本例 $\mu\pm3\sigma$ 是 7.5 ± 4.5，不是 7.5 ± 3。③ **期望值≈50% 把握**这一条是案例分析的高频得分点，答题时要写出“均值两侧对称”的理由。④ 概率题常反过来问：“要求 95% 把握，该承诺几天？”——答案取 $\mu+2\sigma$，本例 **10.5 天**。

过渡 *单个活动、单个项目，概率算是会算了。可真实项目有几十个活动，怎么把它们汇总成一个 μ 和一个 σ？下一页看自下而上估算。*

8.10 自下而上估算：从工作包汇到项目（3 分钟）

口播·可照读

自下而上估算，定义是：通过**自下而上逐级汇总 WBS 中工作包或活动的持续时间**，最终得出项目总持续时间。注意它的两个特点：**精度高**，因为每个包都是单独估的；但**成本也高、耗时也长**，因为它依赖分解的细致程度——WBS 拆不细，这个方法根本用不了。

看表 5-4，「示例」某教务管理系统项目，五个活动顺序进行、没有时间重叠：系统需求、系统设计、系统编码、系统测试、安装部署。表里给了每个活动的 O、M、P，还有算出来的期望值和标准差。我们抽两行验算，确认这些数是怎么来的。

第一行，系统需求：$O=2$、$M=5$、$P=8$。分子 $2+4\times5+8=2+20+8=30$，$30\div6=5$，所以期望 **5 天**；标准差 $(8-2)\div6=6\div6=1$，所以 $\sigma=1$ **天**。**第五行，安装部署**：$O=4$、$M=7$、$P=16$。分子 $4+28+16=48$，$48\div6=8$，所以期望 **8 天**；标准差 $(16-4)\div6=12\div6=2$，所以 $\sigma=2$ **天**。其余三行同理，五行结果就是表里那一列：5、11、20、6、8。

现在做**汇总**，这是本页最关键的两步，而且**两步的算法不一样**。

第一步，总工期直接把期望值相加：

$$\mu=5+11+20+6+8=50$$

得 **50 天**。为什么能直接加？因为这五个活动是**顺序进行、没有重叠**的，一个接一个，总时间就是各段时间之和。**期望值是可以相加的。**

第二步，总标准差不能直接加，要先平方、再相加、再开根：

$$\sigma=\sqrt{1^2+2^2+2^2+1^2+2^2}=\sqrt{1+4+4+1+4}=\sqrt{14}\approx3.7$$

得约 **3.7 天**。教材在这一步取了整，写成“约 4 天”，两种写法都可以，但**过程要写出根号**。为什么不能直接加？因为**能相加的是方差，不是标准差**——标准差是“开过根”的量，根号里的数才能相加。如果你直接加：$1+2+2+1+2=8$，得到 8 天，比 3.7 天高出一倍多，**这是明显的高估**。

请把这句话记住：**期望值可加，方差可加，标准差不可加。**这是本章计算题最容易丢分的地方，也是最能体现“懂不懂”的地方。

汇总完，用法和上一页一样：$\mu=50$、$\sigma\approx3.7$，于是 50 ± 3.7 约 **46 到 54 天**覆盖 68.26%，50 ± 7.4 约 **43 到 57 天**覆盖 95.46%。教材还补了一句很硬的话：如果客户要求 38 天内完成，那几乎不可能——**这说明项目有一个不可压缩的最小周期**。

回扣案例：表里“系统编码 20 天”不是拍出来的，而是**前端 6 天加后端 14 天**汇总出来的。这正是自下而上的价值：**任何一个总数，都能追到它的下一层**，被质疑的时候你答得出来。

板书 **自下而上估算**＝逐级汇总 WBS 工作包／活动的持续时间 → 项目总持续时间（**精度高、成本高**，依赖分解细致度） | 表 5-4 验算：系统需求 $(2+20+8)\div6=5$、$(8-2)\div6=1$；安装部署 $(4+28+16)\div6=8$、$(16-4)\div6=2$ | **总工期（期望值直接相加）**：

$$\mu=5+11+20+6+8=50$$

总标准差（方差和开根）：

$$\sigma=\sqrt{1^2+2^2+2^2+1^2+2^2}=\sqrt{14}\approx3.7$$

（教材取整“约 4 天”） | ⚠️ 直接相加 $1+2+2+1+2=8$ → **高估** | 口诀：**期望值可加、方差可加、标准差不可加** | 区间：50 ± 3.7≈46～54（68.26%）· 50 ± 7.4≈43～57（95.46%）

提问 五个活动的标准差直接相加得 8 天，为什么不能用？反正更“保守”不是更安全吗？

预设回答

- 答“标准差不能相加，只有方差能相加，所以要先平方再开根”：✅ 完全正确。再补一句原理：标准差是**波动**，多个独立活动的波动会**互相抵消一部分**（有的超、有的省），所以总波动小于各自波动之和；平方相加正是描述这种“抵消”。
- 答“更保守更安全”：❌ 这个直觉要纠正。点评：σ 从 3.7 抬到 8，意味着 95% 区间从“43 到 57 天”变成“34 到 66 天”——**区间宽到没有信息量**，客户没法据此做决策，你自己也没法判断风险到底在哪个活动上。**保守不等于准确。**
- 答“取最大值 2 天”：❌ 另一种极端。点评：取最大等于假设“只有一个活动会波动、其余都精准”，把风险**低估**了；五个活动同时波动的可能性是存在的。

易错点 / 考点 ① μ **可加、σ 不可加**，这是本章最高频的计算陷阱，必须能说出“方差可加”。② 表 5-4 的答案要记牢：$\mu=50$ **天**、$\sigma=\sqrt{14}\approx3.7$ **（教材取整约 4 天）**。③ 写过程时**根号不能省**：$\sqrt{1^2+2^2+2^2+1^2+2^2}$ 要完整写出来，只写 3.7 会被判“过程不全”。④ 自下而上的**优缺点配对**：精度高↔成本高、耗时久、依赖 WBS 细致度。

过渡 *50 天算出来了，可这 50 天里没有给任何风险留位置。下一页讲怎么留——储备分析。*

8.11 储备分析：应急储备与管理储备（3 分钟）

口播 · 可照读

储备分析，定义是：一种用于**评估并管理项目中应对不确定性和风险而预留时间**的方法。请注意定义里的“**评估并管理**”——它不是随手加几天，而是要先分析风险、再估算缓冲、最后纳入管理。

储备分两类，**分界线只有一条：这个风险是不是已经被识别出来了。**

第一类，应急储备，对应“**已知-未知**”风险——风险本身已经识别、已经接受，只是不知道它什么时候发生、发生多大。比如“第三方银行接口可能延迟”，这是我们**已经想到**的事。**谁有权动用？项目经理**，按预案就能动。**在不在进度基准内？在**——这一点特别重要，因为它在基准内，所以它是**计划的一部分**，不是额外的恩赐。

第二类，管理储备，对应“**未知-未知**”风险——项目范围里根本**没预见到**的事。比如监管突然出新规、要求新增一种报送口径，这种事在立项时谁也没想到。**谁能动？高层管理**；项目经理要用，得**申请批准**。**在不在进度基准内？不在**——所以它不能算进你对客户的承诺里。

看表里两行本项目示例。**应急储备**：「示例」第三方接口可能延迟，预留 **3 个工作日**。**管理储备**：「示例」监管新规突然新增报送口径，预留 **10 个工作日**。

我们把这两笔加到表 5-4 的 50 天上，看数字怎么走。**第一步**，纯估算的期望工期是 **50 天**。**第二步**，为已识别的接口延迟风险加 3 天应急储备，**进度基准就是 53 天**——注意，基准里已经含了这 3 天，所以**对客户报的交付日就应该按 53 天报**。**第三步**，高层再留 10 天管理储备，这 10 天**不进基准**，只有批准后能动；所以项目内部可控的最大窗口是 $53 + 10 = 63$ 天，但对外只说 53 天。

为什么这么设计？因为**储备一旦混进承诺，就不再是储备**——你把管理储备也报给客户，客户就会把它当成理所当然的工期；等你真要动它的时候，反而要解释“为什么晚了”。

最后一条纪律：**储备不是“藏起来的时间”，要有依据、有记录**。3 天是凭什么算的？接口延迟的历史频率是多少？写不清依据的储备，复核的时候一定被砍掉。

板书 **储备分析**＝评估并管理为应对不确定性而**预留的时间** ｜ 分界线：**风险是否已被识别** ｜ **应急储备**：已知-未知（已识别的单个风险）· **项目经理**可动 · **在**进度基准内 · 例：接口延迟 **3 个工作日** ｜ **管理储备**：未知-未知（范围中不可预见的风险）· **高层管理**批准 · **不在**基准内 · 例：监管新规新增报送口径 **10 个工作日** ｜ 数字链（「示例」）：期望 **50 天** → 加应急 3 天 → **基准 53 天（对外承诺）** → 加管理储备 10 天 → 内部窗口 **63 天**，对外仍报 53 天 ｜ ⚠️ 储备要有依据、有记录，不是“藏起来的时间”

提问 （本页互动题）互动：已识别到“第三方银行接口可能延迟 3 天”，为此预留的时间属于哪种储备？

预设回答

- 答“B，应急储备”：✅ 正确。点评：判据只有一条——**这个风险是不是已经被识别出来了**。“第三方接口可能延迟”是我们**已经想到、已经接受、已经写进预案**的事，属于“**已知-未知**”，所以走应急储备；它在**进度基准内**，项目经理按预案即可动用。
- 答“两种都算，反正都在总工期里”：⚠️ 部分对。点评：都在项目总工期里没错，差别在**基准**：应急储备进了基准（期望 50 天＋3 天＝**基准 53 天，对外就报 53 天**），管理储备没进基准（内部窗口 $53 + 10 = 63$ 天，对外仍报 53 天）。只说“都算储备”，就把最关键的对照维度丢了。
- 答“A，管理储备”：❌ 常见错。点评：管理储备对应**未知-未知**——立项时根本没预见到的事，比如监管突然新增报送口径。这条风险已经被点名了，装不进“未知”；再记一句：管理储备**不在**基准内，动用要高层的批准。
- 答“C，不是储备，是浪费”：❌ 把“有依据的预留”当成了“藏时间”。点评：储备不是随手加几天，它要**有依据、有记录**——接口延迟的历史频率是多少、影响几天都要写清；写不清依据的储备，复核时一定被砍掉。

易错点 / 考点 ① 两类储备的**四个对照维度**要能一口气答全：应对什么风险、谁有权动用、在不在基准内、本项目的例子。② “**应急储备在基准内、管理储备不在基准内**”是判断题年年考的点。③ 「已知-未知」对应应急储备、「未知-未知」对应管理储备，**顺序不能反**。④ 数字题常考“基准工期是多少”——记住**基准＝估算＋应急储备**，管理储备不进基准。

过渡 *估时算完了、储备也留了，接下来要把它写成一份**能交出去的成果**——下一页看持续时间估算的范围表述、单位和日历。*

8.12 持续时间估算成果：范围、单位与日历（2.5 分钟）

口播 · 可照读

前面一路都在算数，这一页讲**怎么把算出来的数交出去**。教材的定义是：**活动持续时间估算是对完成某项活动或项目所需时间的定量评估**，它通常以**时间范围**的形式给出，提供对活动持续时间的**上下限预测**。请注意“时间范围”这四个字——交出去的不是一个点，是一个范围。

教材给了两个标准写法，我们逐个读。**第一种：“1 周±2 天”**，意思是这个活动**预计至少需要 3 天、最多不超过 7 天**完成，这里有一个**假定：每周工作 5 天**。算法很简单：$5 - 2 = 3$，$5 + 2 = 7$。**第二种：“超过 1 周完成的概率为 10%”**，这句话反过来说就是——**这个活动在 1 周内完成的概率是 90%**。两种写法的区别在于：前者给的是**区间**，后者给的是**概率**；前者回答“大概几天”，后者回答“有多大把握”。

但光有数字还不够，下面这张表说清**三件必须一起交代的事**。

第一，计量单位。 写法是“全部活动统一用**工作日**；资源投入另记**人 · 天**”。不写会怎样？**单位混用，1 周被当成 7 天，汇总直接错**——这就是前面强调过的“工作量≠历时”的落地版。

第二，项目日历。 写法是“**每周 5 个工作日；法定节假日不计**”。不写会怎样？**把 7.5 个工作日排成 7.5 个自然日**。我们来算一遍这个错有多大：「示例」7.5 个工作日，从周一一早开工——第一周周一到周五干 5 天，周末两天不算，第二周周一到周二再干 2 天，凑到 7 天，还差半天，要干到**第二周的周三中午**。也就是说，**7.5 个工作日横跨 9 个多自然日、落进第 10 个自然日**。你要是按 7.5 个自然日报给客户，等于**把交付日算早了将近两天**——一开工就已经在补这个缺口。

第三，资源日历。 写法是“接口开发只有 1 人可用；测试环境周末可用”。不写会怎样？**以为加人就能缩短，实际在排队等待**——人不在、环境不开，工期照样往前走。

所以这一页的结论是：**报一个数，要连带报三样东西**——**单位、项目日历、资源日历**。缺一样，这个数就没法被复核。

板书 **持续时间估算**＝对完成活动／项目所需时间的**定量评估**，以**时间范围**给出（上下限预测） ｜ 两种写法：**“1 周±2 天”＝3～7 天**（假定每周工作 5 天，5 ± 2）；**“超过 1 周完成的概率 10%”＝1 周内完成 90%** ｜ 必须交代三件事：① **计量单位**（统一工作日；资源另记人 · 天）→ 不写则单位混用、汇总直接错 ② **项目日历**（每周 5 天、节假日不计）→ 不写则把 7.5 个工作日排成 7.5 个自然日 ③ **资源日历**（接口开发仅 1 人、测试环境周末可用）→ 不写则以为加人就能缩短 ｜ 「示例」**7.5 个工作日横跨 9 个多自然日**（周一开工→次周周三中午，落进第 10 个自然日）

提问

- 5 个工作日，等于 7.5 个自然日吗？

预设回答

- 答“不等于，要按项目日历扣掉非工作日”：✅ 正确。请他当场把日子数出来：周一到周五 5 天、跳过周末、次周周一到周二 2 天、再半天到周三中午——**7.5 个工作日落在第 10 个自然日**。
- 答“小项目里差不多，大项目才要区分”：⚠️ 半对。点评：**恰恰是小活动最容易吃亏**——一个 7.5 天的活，按自然日报就少算 2 天多；项目里几十个这样的活动串起来，误差会累加到几周。
- 答“等于，一天就是一天”：❌ 点评：**工作日是“能干活的日子”，自然日是不管放不放假都往前走的日子**。这两个概念一混，进度计划从第一行就错了。

易错点 / 考点 ① 两种标准写法的**含义必须能互换**：“超过 1 周完成概率 10%” = “1 周内完成 90%”，这是选择题的经典换算。② “1 周±2 天=3～7 天”隐含**每周 5 个工作日**的假定，答题时点出来是加分项。③ 三件必交代的事：**单位、项目日历、资源日历**，缺一不可。④ **7.5 个工作日 ≠ 7.5 个自然日**，这个例子既能考计算，也能考案例。

过渡 *数字、单位、日历都齐了，可复核的人还会问一句：“你这个数是怎么来的？”——下一页讲估算依据。*

8.13 估算依据：让每个数字都能被复核（2.5 分钟）

口播 · 可照读

估算依据是持续时间估算的第二项成果。教材的说法是：它是估算时所依赖的**基础信息和参考数据**，用来确保估算结果具有**合理性和可靠性**；而且不论详细程度如何，**支持性文件都应该清晰、完整地说明持续时间是怎么估算出来的**。我给它一个更好记的说法：**估算依据就是数字的“身份证”**——没有身份证的数字，别人没法核实，也就没法被信任。

依据要写五项内容，我们对着表里这四行看。

第一项，采用的估算方法。「示例」可以这样写：“采用三点估算；O、M、P 由 3 位资深开发人员独立判断后取齐”。为什么要写“独立判断”？因为三个人各报各的、再取齐，比一个人拍板可信得多——**方法本身也说明可信度**。

第二项，假设条件与制约因素。「示例」：“假设接口文档第 1 周到位；制约：只有 1 名接口开发可用”。这两句话决定了估算的**适用边界**：文档要是第 3 周才到，这个 7.5 天就不成立了，得重算。

第三项，估算区间与置信水平。「示例」：“±10%，即 **6.75 到 8.25 个工作日**，约有 90% 把握覆盖真实值”。这个区间怎么算的？$7.5 \times (1-10\%)$：$7.5 \times 0.9 = 6.75$；$7.5 \times (1+10\%)$：$7.5 \times 1.1 = 8.25$。**先算比例、再上下加减**，两步都要写出来。

第四项，影响估算的单个风险。「示例」：“第三方接口延迟风险，已在应急储备中预留 3 个工作日”。这一项把估时和上一页的储备**接上了**：风险不是写一句“可能有影响”就算，要写明**在哪儿留了多少时间**。

这一页的互动题很容易答错：“估算结果的置信水平为 90%”是什么意思？答案是——**估算结果有 90% 的概率落在给出的估算区间内**。注意它修饰的是**区间**，不是“项目能不能按时完成”；后者是另一件事，用的是上一页那套 $\mu \pm k\sigma$ 的算法。

回扣案例：「示例」结算系统报给行方的接口开发估时，如果只写“7.5 个工作日”，行方技术部门第一句话一定是“依据呢”。把方法、假设、区间、置信水平、风险五个格子填满，这份估算才**经得起评审**。

板书 **估算依据**＝估算所依赖的基础信息与参考数据（数字的“身份证”）｜五项内容（「示例」写法）：① **方法**：三点估算，$O/M/P$ 由 3 位资深开发独立判断后取齐 ② **假设与制约**：假设接口文档第 1 周到位；制约：仅 1 名接口开发可用 ③ **区间与置信水平**：$\pm 10\% \rightarrow 7.5 \times 0.9 = 6.75$、$7.5 \times 1.1 = 8.25$，即 **6.75～8.25 个工作日**，约 90% 把握覆盖真实值 ④ **单个风险**：第三方接口延迟，已在应急储备预留 3 个工作日｜⚠️ **置信水平修饰的是“区间”，不是“按时完工的概率”**

提问 （本页互动题）互动：“估算结果的置信水平为 90%”是什么意思？
追问：“±10%”和“置信水平 90%”这两个说法，是不是重复了？

预设回答

- 答“估算结果有 90% 的概率落在给出的估算区间内”：✅ 正确。落到本页数字上就是：区间 **6.75～8.25 个工作日**（±10%）＋约 90% 的把握覆盖真实值。顺答追问——不重复：±10% 说的是区间**多宽**，90% 说的是这个区间**有多可信**，一个是宽度、一个是刻度。
- 答“区间越宽置信越高，所以只写 ±10% 就够了”：⚠️ 半对。宽度与置信度确实联动，但只有宽度没有置信水平，等于给了一把没有刻度的尺子——**同样是 ±10%，可能是 90% 覆盖，也可能只有 60%**。
- 答“有 90% 的把握项目一定能按时完成”：❌ 最常见的混淆。置信水平修饰的是**区间**，即真实值落在区间内的概率，不是“按期完工的概率”；后者要靠 $\mu \pm k\sigma$ 那套折算，考试里一混就丢分。

易错点 / 考点 ① 五项内容要能**背全**：方法、假设与制约、区间、置信水平、单个风险。② **区间计算要写两步**：$7.5 \times 0.9 = 6.75$、$7.5 \times 1.1 = 8.25$。③ “置信水平 90%”的准确表述是**结果落在估算区间内的概率**，不是“按时完工的概率”——这是本页最大的坑。④ 估算依据与持续时间估算是**两项并列的成果**，不要答成“估算依据是持续时间估算的一部分”。

过渡

- *5 这一节的六个方法、两个公式、两类储备、两份成果都走完了。我们把它们收成一张复习清单。*

8.14 小结：估时是计算链的第一环（2 分钟）

口播 · 可照读

这一页是复习清单，只有三件事：**方法、公式、口径**。如果你只记一页，就记这一页。

第一件，方法怎么选。 一句话：**信息少用类比，有参数用参数，不确定大用三点，要精度用自下而上，有风险留储备**，专家判断全程当校验器。这五句要能脱口而出，因为考试给的是情境，不是定义——题干里出现“只有一个同类项目的历史数据”，答案就是类比；出现“每千行 5 天”，答案就是参数。

第二件，公式怎么记。 两个式子，分母都是 6：

$$T_E = \frac{O + 4M + P}{6}$$

和

$$\sigma = \frac{P - O}{6}$$

。记的时候连带记三件事：**最可能占 4 份、T_E 落在 O 与 P 之间、σ 衡量波动不衡量长短**。例题的答案也要记牢：$O=4$、$M=7$、$P=13 \rightarrow T_E = 7.5$ **天**、$\sigma = 1.5$ **天**；表 5-4 汇总 → $\mu = 50$ **天**、$\sigma = \sqrt{14} \approx 3.7$（教材取整约 4 天）。这两组数字是本章计算题的“地基数”，考试里改个名字、换个场景，算的还是它们。

还有一条**加法的纪律**也在这里再钉一遍：**期望值可以相加，方差可以相加，标准差不可以相加**。五十天的项目，标准差要是被你加成八天，后面所有的概率区间就全废了。

第三件，成果怎么交。 报**区间**、说**置信水平**、写清**估算依据**；**单位和日历必须交代**。这一条最像“软要求”，其实最硬——评审时第一个被问倒的，从来不是公式，而是“你这 7.5 天是几个工作日、按哪个日历排的”。**数字能被复核，估算才算成立。**

下面这道互动题，是给下半场热身：把 7.5 天填进网络图之后，第一步先算什么？答案是**正推，算每个活动的 ES 与 EF**。顺序不能倒：**先正推得到最早时间，再逆推得到最迟时间，然后才能算时差、判关键路径**。你要是一上来就找关键路径，等于不量尺寸就裁衣服。

最后把这一讲的分量说清楚：**估时是计算链的第一环，也是唯一一个“输入靠判断”的环节**。后面五关全是加减法，只有这一关要跟人打交道——要问出悲观值，要顶住“报漂亮数字”的压力，要把依据写清楚。这一关做扎实，后面五关才有可信的起点；这一关要是掺了水，后面五关算得再漂亮，也是**精算出来的错误答案**。

板书 小结（三件事）｜① **方法怎么选**：信息少→类比；有参数→参数；不确定大→三点；要精度→自下而上；有风险→储备（专家判断作校验）② **公式怎么记**：

$$T_E = \frac{O + 4M + P}{6}$$

$$\sigma = \frac{P - O}{6}$$

分母都是 6；例题 **7.5 天／1.5 天**；表 5-4 $\mu = 50$ **天**、$\sigma = \sqrt{14} \approx 3.7$（取整约 4 天）③ **成果怎么交**：报区间 · 说置信水平 · 写估算依据；**单位与日历必须交代** ｜ 下半场第一问：填进网络图后先算什么？→ **正推**（$EF = ES + d$），再逆推、再时差、再判关键路径

提问 把 7.5 天的期望持续时间填进网络图以后，第一步先算什么？

预设回答

- 答“正推，算每个活动的 ES 与 EF”：✅ 正确，理由要顺下来：**正推得到最早时间，逆推得到最迟时间，两者相减才是时差，时差为 0 才是关键路径**。四步是一条链，跳一步就断。
- 答“直接找关键路径”：⚠️ 半对——目标没错，但**路径没法直接看出来**。点评：活动一多、支路一交叉，肉眼判断就会错；关键路径是靠 $TF = 0$ **算出来**的，不是看出来的。
- 答“先算总时差”：❌ 顺序倒了。点评：总时差要靠 $LS - ES$ 或 $LF - EF$，而 LS、LF 是逆推的结果——**没有正推和逆推，时差无从算起**。

易错点 / 考点 ① 三件事的结构要能复述：方法、公式、成果口径；这是简答题的现成框架。② 两个标准答案必须条件反射式说出：**7.5 天／1.5 天、50 天／$\sqrt{14} \approx 3.7$**。③ “σ 不可直接相加、要方差相加再开根”要能在小结里再确认一次。④ 下半场的顺序题：**正推 → 逆推 → 时差 → 关键路径**，这是本讲与下一段的分界线。

【思政落点：用数据说话】 估算不是“报一个领导爱听的数”，而是把历史数据、风险判断和概率区间摆在一起，让承诺站得住脚。落到同学们身上：小组项目报工期时，给出区间和依据，比给一个漂亮但站不住的整数更专业。

过渡 *第一环的输入已经就位——每个活动都有了一个 T_E。下一段我们从起点出发，用 $EF = ES + d$ 一路正推，把这张空网变成一张带时间的进度网络图。*

8.15 关键路径法：四步算出最短工期（4 分钟）

口播 · 可照读

前面十几页，我们把估算活动持续时间从头到尾走了一遍：类比、参数、三点、自下而上，最后落成一份带上下限的持续时间估算。从这一页开始，进入 5.6 制订进度计划——把“活动顺序＋每项活动的工期”真正变成一张带日期的进度表。

关键路径法，英文缩写 CPM，教材的定义是：通过分析项目进度网络图，确定路径的进度灵活性，以优化进度管理。它重点要找出网络图里的关键路径。什么叫关键路径？就是总工期最长的那个活动序列，它决定了项目最短的可能持续时间。这句话有三层意思，我一层一层拆：第一，关键路径是“最长”的那条，不是最短的那条，也不是活动数量最多的那条；第二，正因为最长，它决定了项目最早能多早完工；第三，关键路径上任何一个活动延误一天，项目的完工日期就跟着延误一天，它没有缓冲。反过来，不在关键路径上的活动，是有时间灵活性的——这个“灵活性”，就是后面要算的时差。

整套路子只有四步：第一步正推，从开始往结束，算每个活动最早什么时候能开工、能完工；第二步逆推，从结束往开始，算每个活动最迟必须什么时候开工、必须完工；第三步时差，最早与最迟一相减，余量就出来了；第四步关键路径，余量为零的那条链就是关键路径，它决定总工期。四步共用同一张网络图：先正推，再逆推，两个结果一减，关键路径自己就浮现出来。

这里要先把一个预期校准好：正推算出来的总工期，是理论下限，不是承诺日期。它只按依赖关系和工期推，不考虑资源够不够、要不要加班、留没留储备。所以如果有人问“28 天能不能交”，正确的回答是：在给定的工期和依赖关系下，最早 28 天；能不能真的 28 天交，还要看资源、看风险、看储备。今天这一段，我们只干第一件事——正推。

板书 **CPM＝分析网络图、确定路径的进度灵活性，找出关键路径**（总工期最长的活动序列，决定项目**最短可能持续时间**；关键路径上任何延误**直接传导**到完工日期，非关键路径有**时间灵活性**）｜四步：① **正推**（开始→结束，算最早）② **逆推**（结束→开始，算最迟）③ **时差**（最早−最迟）④ **关键路径**（余量为 0 的链）｜正推要回答：**最早什么时候能开工、能完工**；产物：每个活动的 ES 与 EF，最后活动的 EF＝**项目最早完成时间** ｜ 前提：**不考虑资源限制**，只按依赖与工期推 → **理论下限**，不是承诺日期

提问 正推算出的总工期，比如 28 天，含义到底是什么？

预设回答

- 答“在给定工期与依赖关系下，项目最早可能 28 天完工”：✅ 准确。补一句：它没有考虑资源够不够、要不要加班、留没留储备，所以是**理论下限**；对客户承诺日期时还要叠加储备与风险。
- 答“项目一定在 28 天内完工”：❌ 这是最常见的误读。正推算的是“最早能多早”，不是“保证能多早”；一旦关键路径上某个活动延期，28 天立刻就守不住。
- 答“要到第 28 天才能开始干活”：⚠️ 把“完工时刻”读成了“开工时刻”。28 天是全部活动做完的时刻，第一个活动在第 0 天就开工了。

易错点 / 考点 ① **关键路径＝总工期最长的活动序列**，不是“活动最多的路径”，也不是“最重要的活动组成的路径”。② **关键路径上活动延误直接导致项目完工日期延误**，这是它区别于非关键路径的根本特征。③ **正推＝理论下限**，不考虑资源约束，这四个字在选择题里经常被换成“承诺工期”来设陷阱。④ 四步的**顺序**（正推→逆推→时差→关键路径）必须记牢，逆推要用正推的结果，顺序颠倒就无从下手。

过渡 *要算，先得会看。下一页我们就把网络图拆成三样东西——节点、箭头、路径。*

8.16 先学会读图：节点、箭头、路径（4 分钟）

口播 · 可照读

这一页先不急着算，先把图读顺。网络图上其实只有三样东西：节点、箭头，还有“开始”与“结束”两个边界。节点是一张两格的小卡片，上格写活动编号、下格写工期——图 5-7 里 A 是 5 天、B 是 4 天、C 是 3 天、D 是 5 天、E 是 8 天、F 是 7 天、G 是 5 天、H 是 6 天。箭头表示先后：箭头由紧前活动指向紧后活动，箭头指向谁，谁就得等——一条箭头就是一次“必须等”。“开始”和“结束”不是活动，它们是边界：从开始射出两条箭头，分别指向 A 和 B，说明 A、B 在项目一开始就可以动；H 后面接结束，说明 H 干完，项目就完了。

路径怎么数？沿箭头从开始一路走到结束，不能逆行、不能跳格，走到哪算到哪；路径长度，就是这条链上各活动工期之和。我们数一遍：第一条，A→C→E→H，5 加 3 加 8 加 6，等于 22 天；第二条，A→C→F→H，5 加 3 加 7 加 6，等于 21 天；第三条，B→D→G→H，4 加 5 加 5 加 6，等于 20 天。三条，最长的是 22 天。

这里有个特别容易漏的点：C 后面分出两条箭头，一条去 E、一条去 F，所以从 C 出发的路径有两条，不能只数一条；D 后面只有 G，G 后面再接 H；而 H 前面有三条箭头——E、F、G 三路汇进来。数箭头进出的条数，是后面判断“几个紧前、几个紧后”的基本功，你数不清箭头，就数不清紧前，汇合取大就一定会漏。

顺带纠正一个直觉：路径长短跟活动个数没有必然关系。A→C→F→H 是四个活动，21 天；B→D→G→H 也是四个活动，20 天；A→C→E→H 还是四个活动，却是 22 天。比的是工期之和，不是格子多少，更不是“看起来更重要”的那条。

最后提醒一句：这组 22 天的数字，只是用来练读图的示意数据；再往后几页就换成本课程的例题网络，八个活动、合计 28 天。规则一模一样，只是数据不同，千万别把 22 天记成例题答案——读图这一关不过，后面算得再快也是白算，因为你连该等谁都没看清。

板书 网络图三要素：**节点**（上格活动编号、下格工期）｜**箭头**（紧前→紧后，**一条箭头就是一次“必须等”**）｜**路径**（沿箭头从开始到结束，**不能逆行、不能跳格**；**路径长度＝链上各活动工期之和**）｜图 5-7：开始→A(5)、开始→B(4)；A→C(3)；B→D(5)；C→E(8)、C→F(7)；D→G(5)；E、F、G→H(6)｜三条路径：**A→C→E→H＝22** ｜ A→C→F→H＝21 ｜ B→D→G→H＝20 ｜ ⚠️ 22 天是**示意数据**，例题是 **28 天**

提问 图 5-7 从“开始”到“结束”一共有几条路径？最长的那条多少天？数的时候最容易漏掉哪一条？

预设回答

- 答“三条，最长 22 天”：✅ 正确。请他把三条都念出来：A→C→E→H 是 22，A→C→F→H 是 21，B→D→G→H 是 20。
- 答“两条”，只数了 A 打头的：⚠️ 漏了从 B 出发的那条。提醒他：**“开始”射出两条箭头**，A 和 B 是两个并列的起点，凡是把 B 当“支线”忽略的，都会漏路径。
- 答“四条”，把 A→C→E→H 和 A→C→F→H 又拆出了 A→C：❌ 路径必须**走到结束**才算一条，停在中间的是“半条链”，不能单独计数。

易错点 / 考点 ① **路径长度＝工期之和**，且必须从开始走到结束，中途停下的不算。② **开始与结束是边界节点，不是活动**，不占工期——把它们当活动加天数，是典型错误。③ H 前面有**三条**箭头（E、F、G），C 后面有**两条**（E、F），这两个“条数”下一节直接决定“几个紧前”。④ **22 天只属于图 5-7 的示意数据**，例题网络是 28 天，两套数不能串。

过渡 *图会读了，但节点上现在还只写了编号和工期，时间参数一格没填——下一页就看这张卡片怎么装下四个时间。*

8.17 一张节点卡装下四个时间（4 分钟）

口播 · 可照读

读懂了图，再看每个活动那张小卡片。图 5-8 把节点拆成三行三列：上排三个格，从左到右是最早开始时间 ES、工期 D、最早完成时间 EF；中排通栏写活动名称；下排三个格，从左到右是最迟开始时间 LS、总浮动时间 TF、最迟完成时间 LF。请记一句话：上排是“最早”，由正推填；下排是“最迟”，由逆推填。今天这一段我们只填上排，下排先空着——空着不是忘了填，是还没到时候。

为什么要先讲卡片、再讲规则？因为正推的每一步，本质上就是往这张卡片的上排填两个数：左边填 ES，右边填 EF。先知道格子在哪、每个格子叫什么，填的时候才不会张冠李戴。

四个时间的来路，教材写得很清楚。工期 D 是已知条件，它同时等于 EF 减 ES，也等于 LF 减 LS；最早完成时间等于最早开始时间加工期，$EF = ES + D$；最迟开始时间等于最迟完成时间减工期，$LS = LF - D$；一个活动有多个紧后时，它的最迟完成时间取所有紧后 LS 的最小值——注意这里是取小，和正推的取大正好相反。

下排中间那个 TF 叫总浮动时间，也叫总时差，等于 LS 减 ES，也等于 LF 减 EF，含义是“在不影响项目工期的前提下，这个活动最多能拖多久”；还有一个 FF，自由浮动时间，等于所有紧后活动 ES 的最小值减去本活动的 EF，含义是“在不影响紧后活动最早开工的前提下，能拖多久”。TF 管项目整体，FF 只管紧后那一家，两个别混。

举个具体例子对一对：某张卡片上排写着 8、5、13，从左到右就是 ES 等于 8 天、工期 5 天、EF 等于 13 天，而且 8 加 5 正好等于 13。这时候下排三格仍然是空的。拿例题里的 D 再说一遍：它的上排最后会是 8、3、11，下排要等逆推才会出现 9、1、12——上排右端是 11，下排右端是 12，中间差的那 1 天，就是它的总时差。如果谁把上排顺序记反、把 13 当成 ES，那这一道题就会连带错掉后面所有活动——因为正推是接力，前一棒传错，后面全错。

板书 节点卡（图 5-8）：上排 **ES** | **D** | **EF**，中排 **活动**，下排 **LS** | **TF** | **LF** | 关系：$EF = ES + D$、$LS = LF - D$、$D = EF - ES = LF - LS$ | 正推填**上排**（ES 取紧前 EF 的**最大值**）；逆推填**下排**（LF 取紧后 LS 的**最小值**） | $TF = LS - ES = LF - EF$（不影响**项目工期**）；FF=紧后 ES 最小值−本活动 EF（不影响**紧后最早开工**） | 例：上排 **8** | **5** | **13** → $8 + 5 = 13$ ✓，下排留空待逆推

提问 一张节点卡的上排三个格依次写着 8、5、13，它们分别是什么？能不能马上说出下排三个数？

预设回答

- 答“ES=8、工期=5、EF=13，下排要等逆推才算”：✅ 完全正确，而且 8 加 5 等于 13 正好自洽。补一句：下排的 LS、TF、LF 不是“算不出来”，是**要等逆推有了 LF 才能算**。
- 答“ES=13、EF=8”：❌ 顺序记反了。提醒：**上排左早右晚**，左边永远小于右边；一旦反了，$EF - ES$ 会变成负数，这就该立刻自查。
- 答“下排 LS=8、LF=13、TF=0”：⚠️ 数字是“猜”的。这三个数必须由逆推得到；哪怕碰巧相等，过程也拿不到分——尤其 TF 是否为 0，正是判断关键路径的依据，不能靠猜。

易错点 / 考点 ① **上排“最早”由正推填、下排“最迟”由逆推填**，这个分工要背下来。② $EF = ES + D$ 与 $LS = LF - D$ 是一对；正推取**大**、逆推取**小**，方向别记反。③ **TF 与 FF 的区别**：TF 不影响项目工期，FF 不影响紧后活动的最早开始；本例 D 的 TF=1、FF=0，E 的 TF=FF=1，正是两个概念不同步的典型。④ **工期 D 的双重身份**：$D = EF - ES = LF - LS$，既可以用来正推，也可以用来验算。

过渡 *卡片的结构清楚了，上排那两个格到底怎么填？下一页给出正推的四条动作。*

8.18 正推的规则：加工期，汇合取大（5 分钟）

口播 · 可照读

正推只有一条主线，四个动作反复执行。第一步定起点：项目从 0 时刻起算，第一个活动的 ES 等于 0。第二步加工期：$EF = ES + d$。第三步往下传：本活动的 EF，成为所有紧后活动 ES 的候选值。第四步汇合取大：一个活动有几个紧前，它的 ES 就取这几个紧前 EF 的最大值。

请特别注意：第二、三步是单线推进，第四步只在“多条箭头汇进同一个活动”的时候才启用。整个网络里最容易出错的就是第四步，因为它要求你先把所有紧前的 EF 都列出来，再比大小——只写一个数，等于没比。

看图 5-9 的汇合点 H：三条支路分别在 16、15、14 完成。这三个数不是凭空来的：E 是 8 加 8 得 16，F 是 8 加 7 得 15，G 是 9 加 5 得 14，三条支路各自算完，才拿到 H 门口比大小。所以 ES_H 取 $\max(16, 15, 14)$，等于 16。为什么必须取 16？因为只要还有一条支路没交货，H 就开不了工。取 16，意味着 H 要等到最晚的那条支路完工；取 14，等于默认 16 那条支路已经干完了，计划从一开始就不可行；取平均更荒唐，平均出来的时刻，没有任何一条支路能对上。

还要说清一件事：正推的取大，只在汇合点发生。分叉的时候不取大、也不取平均——两条支路同时具备开工条件，各算各的，这一点下一页就会碰到。以及，只有一个紧前的时候，直接接上就行，不需要“比大小”，别把简单问题复杂化。

顺便看一眼图 5-9：每个节点只填了上排三个格，下排全是空的。这不是图画漏了，是故意留白——下排要等逆推才有数。所以你现在看到的每一个 EF，都只是“最早”，不是“最迟”。

最后强调起点：项目的起始时间定在 0 时刻，不是第 1 天早上。这是全套计算的基准，写错一个数，后面全部平移。

板书 正推四动作：① **定起点**：$ES = 0$（项目从**时刻 0** 起算）② **加工期**：$EF = ES + d$ ③ **往下传**：本活动 EF → 紧后 ES 的候选值 ④ **汇合取大**：$ES = \max(EF_1, EF_2, \ldots, EF_n)$ | ②③ 单线推进；④ **只在多条箭头汇入时启用** | 图 5-9 汇合点：$ES_H = \max(16, 15, 14) = 16$ | 取 16=等最晚支路；取 14=计划不可行；取平均=对不上任何支路 | ⚠️ **分叉不取大；单紧前不用比大小**

提问 如果把 H 的 ES 取成 14，也就是三条支路里最早完工的那条，会发生什么？

预设回答

- 答“计划不可行，16 那条支路还没干完，H 就开工了”：✅ 正确。补一句后果：H 的开工时刻比实际具备条件早了 2 天，H 的 EF 跟着早 2 天，总工期被少算——纸面上好看，现场做不到。
- 答“总工期还是 22 天，没有影响”：❌ 只看到了 H 之后的数字，没看到 H 之前的约束。H 一旦早开工，它的 EF 就变了，整个下游全部平移。
- 答“取平均更公平”：⚠️ 这是把“公平”错用到工程约束上。依赖关系不是分蛋糕，**只要有一条支路没完成，下游就不具备开工条件**，平均出来的时刻在现实中不存在。

易错点 / 考点 ① **汇合取大**是正推最高频的考点，也是最高频的错点；判断依据是“**几条箭头进入本活动**”。② **分叉不取大**：C、D 的 ES 都等于 B 的 EF，不存在“比大小”。③ **单紧前不做取舍**，直接接上；见谁都取大是另一种错。④ **起点 0**：起点写 1，后面每个数都整体错位一天。⑤ 取大取的是**紧前的 EF**，不是紧前的 ES——这两个数差一个工期，混用会连环错。

过渡 *规则就这四条，下面拿例题网络真刀真枪算一遍——先看数据表。*

8.19 例题网络：A–H 八个活动（4 分钟）

口播 · 可照读

规则清楚了，换数据。这张表是例题网络：八个活动 A 到 H，沿用结算系统的活动划分——从需求调研、需求分析、系统设计、原型评审，一直排到编码、测试、上线验收，正好是这个系统从立项到交付的主干。A 需求调研与确认 3 天，没有紧前，是起点；B 需求分析 5 天，紧前 A；C 系统设计 6 天、D 界面原型设计 3 天，紧前都是 B；E 原型评审与确认 2 天，紧前 D；F 编码实现 5 天，紧前是 C 和 E 两个；G 系统测试 4 天，紧前 F；H 上线部署与验收 5 天，紧前 G。

表里还有一处容易看漏：C 和 D 的紧前都写着 B，但 D 并不是 C 的紧后；E 的紧前是 D，不是 C。也就是说，原型这条线是 B 交给 D、D 交给 E，跟设计那条线完全平行，两条线中间没有任何箭头。

结构上只有两个关键点，请用手指在表上点两下。第一处，B 之后分叉：C 和 D 的紧前都是 B，B 一完工，两条支路同时可以开工，并行推进、互不等待。第二处，F 之前汇合：C 和 E 都完工，F 才能开工——这是整个正推全程唯一要“比大小”的地方。除此之外，全是单线。A 是唯一没有紧前的活动，所以正推从它开始；H 是唯一没有紧后的活动，所以总工期在它身上收口。

先心里有个数：主链 A→B→C→F→G→H，3 加 5 加 6 加 5 加 4 加 5，等于 28 天；绕原型的支路 A→B→D→E→F→G→H，3 加 5 加 3 加 2 加 5 加 4 加 5，等于 27 天。一个 28、一个 27，差 1 天。这个差不是巧合：C 是 6 天，D 加 E 是 3 加 2 等于 5 天，设计比原型整条支路多 1 天。

为什么不用图 5-7 那组数据当例题？因为那组只有 22 天，三条路径 22、21、20 挨得太近，汇合取大的差异不够醒目；换成 28 天这一组，主链和支路正好差 1 天，后面算时差、讲压缩后的关键路径迁移，都能直接接上。

再提醒一次：前面图 5-7 的 22 天是示意数据，这张表才是例题，答案是 28 天。两套数据不要串——考场上串数据，比不会算更可惜。

板书 例题网络（8 活动，全 FS） | A 需求调研与确认 3（—） | B 需求分析 5（A） | C 系统设计 6（B） | D 界面原型设计 3（B） | E 原型评审与确认 2（D） | **F 编码实现 5（C、E）** | G 系统测试 4（F） | H 上线部署与验收 5（G） | 结构：**B 后分叉**（C、D 并行）＋**F 前汇合**（C、E 都完工才开工） | 预估：主链 $3+5+6+5+4+5=28$；原型支路 $3+5+3+2+5+4+5=27$

提问 只看这张表，F 的紧前活动有几个、分别是哪几个？你是怎么数出来的？

预设回答

- 答“两个，C 和 E”：✅ 正确。判断方法很机械：**看“紧前活动”列里有几个字母**；现场看网络图，就看**有几条箭头进入 F**。
- 答“一个，C”：⚠️ 漏了 E。他多半是把“主链”当成了唯一来路；提醒：F 是**汇合点**，汇合点的紧前永远要数全，漏一条就少等一段时间。
- 答“三个，C、E、D”：❌ 多算了。D 的紧后是 E，不是 F；**D 是通过 E 间接影响 F 的**，不是 F 的直接紧前。直接紧前只看“有一条箭头直接指向 F”的活动。

易错点 / 考点 ① **D 的紧前是 B，不是 C**；C 与 D 是并列的两条支路，谁也不等谁。② **E 的紧前是 D**，所以原型支路是 B→D→E，长度 3＋2＝5 天。③ **F 的紧前是两个：C、E**，这是全网络唯一的汇合点，也是唯一的取大处。④ **H 的紧前只有 G**，不要把 F 也算进去——F 到 H 之间还隔着 G。

过渡 *数据看准了，动笔。从“开始”出发，先算 A 和 B。*

8.20 正推一：A 与 B，起点定在 0 时刻（3 分钟）

口播 · 可照读

动笔。正推从“开始”出发，约定项目的起始时刻为 0——注意是 0，不是 1。所以第一个活动 A 的最早开始时间 ES_A 等于 0；A 的工期 3 天，最早完成时间 EF_A 等于 0 加 3，等于 3。这里的 3，表示“第 3 天末完成”，不是“第 3 天早上开始”。

为什么 A 的 ES 一定是 0？因为 A 没有紧前，没有任何箭头指向它，项目一启动它就可以动。正推的起点只能定在 0，否则整套日期没有基准：定在 1，表里每个数都会大 1。

也顺便统一一下时间口径：正推里所有时刻都是“相对项目的第几天末”，不带日历日期。等整张表算完，再把它落到具体日历上——那一步要考虑周末、节假日和资源日历，今天先不做。这样做的好处是，算的时候只关心逻辑，不会因为某个日期是周六就分心。

接着 B。B 的紧前只有 A 一个，只有一条箭头进来，所以不做任何取舍：ES_B 直接等于 EF_A，等于 3；再加 B 的 5 天，EF_B 等于 3 加 5，等于 8。也就是说，B 最早在第 3 天末拿到需求调研结果，第 8 天末交出需求规格说明书。这里不需要比大小，A 说 3 就是 3。

A 交给 B 的是什么？是需求调研与确认的结论——访谈记录、现状流程、确认过的需求边界。B 拿不到这份结论，就写不出规格说明书。所以 ES_B 必须等于 EF_A，不能早一天：早一天，B 就是在没有输入的情况下动笔，写出来的东西迟早要返工。

这两笔看着简单，但埋着两个观念。第一，EF 是“最早能干完”，它假设资源随时可用、不加班也不拖延，所以它是理想值；日历上的承诺日期，通常比它晚。第二，起手第一笔的 0 是全套计算的基准，起点写成 1，后面每一行都会整体错位一天，而且越往后越难查——因为你每一行单看都对，只有跟日历一对，才发现全错。

还有一个动作要养成：算完 B，顺手回看一眼 8 减 3 是不是等于 5。等于，说明这一行自洽；不等于，就是抄错或加错，当场改。

板书 累计正推表（d | ES | EF） | **A 3** | **0** | **3**（$ES_A=0$，$EF_A=0+3=3$） | **B 5** | **3** | **8**（$ES_B=EF_A=3$，$EF_B=3+5=8$） | ⏱ 0 时刻起算：3 表示**第 3 天末完成** | 单紧前：**直接接上，不做取舍** | EF 是**理想值**（资源随时可用、不加班、不拖延），承诺日期通常更晚 | 自查：$EF-ES=d$

提问 项目从“第 1 天早上”开工，A 工期 3 天。按正推的约定，A 的 EF 是几？

预设回答

- 答“3”：✅ 正确。起点取 0，第 3 天末完成，所以 $EF=3$。可以补一句：日历上写“第 1 天到第 3 天”，与计算口径的 0 到 3 是同一段时间，只是**计数起点不同**。
- 答“4”：⚠️ 典型的“把起点当 1”的错。这样算，A 是 1 到 4，后面每个活动都整体加 1，最后总工期会变成 29 天——单看每一行都对，整体全错。
- 答“0”：❌ 把 ES 和 EF 弄混了。0 是 A 的最早**开始**，EF 必须加上 3 天工期。

易错点 / 考点 ① **项目起始时刻为 0**，这是教材明确规定的口径；写成 1 会让全表平移。② $ES_B = EF_A$ **而不是** $ES_B = ES_A$：传下去的是完成时刻，不是开始时刻。③ **EF 是理想值**，不等于承诺日期，这一点在问答题里常与“储备”一起考。④ **第 3 天末 ≠ 第 3 天初**：口语里说“3 天做完”，计算上落在时刻 3。

过渡 *B 在时刻 8 完工，网络在这里分叉——C 和 D 同时具备了开工条件。*

8.21 正推二：C 与 D，分叉各走各的（3.5 分钟）

口播 · 可照读

B 在时刻 8 完工，网络在这里分叉。C 和 D 的紧前都是 B，所以两条支路的 ES 都等于 EF_B，都是 8。分叉处不取大、也不合并，两条支路同时开工，各算各的：C 的工期 6 天，EF_C 等于 8 加 6，等于 14；D 的工期 3 天，EF_D 等于 8 加 3，等于 11。

这里说的“并行”，不是把两条支路加起来，而是同时消耗同一段日历：从第 8 天到第 11 天，C 在画架构、D 在做界面原型，两件事同时发生；第 11 天 D 交活的时候，C 才走了一半。日历不会因为多开一条支路就变长，这正是并行能压缩工期的原因。

请把 C 和 D 看成两条同时开跑的跑道：起跑线是同一条，都在时刻 8；终点线不同，一个 14、一个 11。正推的任务只是把每条跑道的终点算准，不是把终点拉齐——拉齐是资源平衡和进度压缩才做的事，现在还没到那一步。

到这里，两条支路拉出了 3 天的进度差：设计要到 14 才交活，原型 11 就交了。这 3 天差有两个后果：第一，它正是后面 F 汇合时必须取大的原因——如果两条支路同时到，取大取小都一样，根本不用比；第二，它是将来时差的来源——短支路上多出来的时间，就是它可以晃的空间。

有同学会问：既然 C 要到 14，D 是不是也该等到 14 再开工，让两条支路整齐一点？不行。正推只回答“最早能多早”，D 的最早开始就是 8，提前干完没有坏处；要不要为了资源整齐而把它往后拖，那是资源平衡要处理的问题，不是正推要处理的问题。

还有同学把 D 的紧前记成 C——请再看一眼表：D 的紧前是 B，C 和 D 是并列的两条支路，谁也不等谁。这一条记错，D 的 ES 就会从 8 变成 14，整条原型支路凭空晚 6 天，F 的汇合点被推到 19，总工期跟着虚长——而且越往后错得越离谱。

板书 累计正推表 | A 3 | 0 | 3 | B 5 | 3 | 8 | **C 6** | **8** | **14**（$ES_C = EF_B = 8$；$8+6=14$） | **D 3** | **8** | **11**（$ES_D = EF_B = 8$；$8+3=11$） | 🔀 **分叉不取大、不合并、不取平均**：两条支路同时开工 | 3 天差 → ① 汇合取大的原因 ② 将来时差的来源 | 正推不管“排得整齐”，那是**资源平衡**的事

提问 C 和 D 的 ES 都是 8，这是为什么？

预设回答

- 答“它们的紧前都是 B，而 B 在时刻 8 才完工”：✅ 正确。可以再追一句：如果 B 的 EF 算错成 7，C、D 就会一起错成 7，错误会沿着分叉同时扩散到两条支路。
- 答“巧合，两个活动都从 8 开始累加”：❌ 不是巧合，是**依赖关系决定**的。让他在图上找 B 指向 C、B 指向 D 的两条箭头，箭头就是答案。
- 答“分叉处要取两条支路的平均值”：⚠️ 把汇合规则搬到分叉上了。分叉时两条支路还没算完，没有“两条支路的 EF”可比；**先各算各的，等汇合点再比**。

易错点 / 考点 ① **分叉不取大**：C、D 的 ES 都等于分叉点的 EF，这是与汇合点最重要的区别。② **D 的紧前是 B**，不是 C——这是本页最容易被改错的一个格子。③ **3 天差是后续取大与时差的共同来源**，理解这一点，下一页 F 的取大就不需要背。④ 累计表要**逐行写**，不要跳着写：跳一行，后面全乱。

过渡 *D 这条支路还没走完，后面还有一站——原型评审 E。*

8.22 正推三：E 走完 D 那条支路（3 分钟）

口播 · 可照读

D 这条支路还有一站：E 原型评审与确认。E 的紧前只有 D 一个，D 在 11 完工，所以 ES_E 等于 11；E 的工期 2 天，EF_E 等于 11 加 2，等于 13。E 是原型支路的最后一站，它一完工，这条支路就走到头了。

这里再强调一次单紧前的处理：E 只有 D 一个紧前，所以 ES_E 不用比较，直接等于 EF_D。很多同学在这里犹豫，是把“要看紧前”理解成了“要比大小”——看紧前是看有没有、有几个；比大小只在两个以上时才发生。

现在两条支路都走到了 F 的门前：长支路 B 到 C，在 14 交活；短支路 B 到 D 再到 E，在 13 交活。两条支路差多少？14 减 13 等于 1 天。这个 1 天从哪来？C 是 6 天，D 加 E 是 3 加 2 等于 5 天，6 减 5 正好 1 天。短支路早到 1 天，但它不能替长支路做决定——F 要等的是两条都完成，所以下一页 F 的 ES 只能取 14。

这里要提前掐掉一个错误念头：既然 E 在 13 就完了，能不能把 E 往后拖 1 天，让它 12 开工、14 完工，正好跟 C 对齐？从“最早”的角度不行——E 的最早开始就是 11，正推不负责把活动排得整齐；从“时差”的角度看，E 确实有 1 天余量可以晃，但那是逆推算完 TF 之后才敢说的话，现在还不能下结论。先记住这个 1 天差，下一页就要在 F 上兑现。

另外说一句：E 的工期只有 2 天，评审这种事看起来短，但它卡在 F 的前面，位置比长度更重要——这也是后面讲时差时会反复出现的观点。

还有个小动作要养成：每算完一个活动，顺手回看一眼 EF 减 ES 是不是等于工期。11 到 13 是 2 天，对得上；对不上就是抄错或加错，当场改，别拖到全表算完再回头找。

板书 累计正推表 | A 3 | 0 | 3 | B 5 | 3 | 8 | C 6 | 8 | 14 | D 3 | 8 | 11 | **E 2** | **11** | **13**（$ES_E = EF_D = 11$；$11+2=13$） | 到 F 门口：**长支路 14（C）** | **短支路 13（E）** | 短支路**早到 1 天**，但 F 要等两条都完成 | 正推不为“整齐”拖后活动；拖不拖是**资源平衡**的事

提问 E 的 ES 为什么是 11？如果把 E 的紧前误记成 C，E 的 ES 会变成多少，后果是什么？

预设回答

- 答“紧前是 D，D 在 11 完工，所以 ES 是 11”：✅ 正确。补一句验算：11 加 2 等于 13，与累计表一致。
- 答“如果把紧前记成 C，ES 就变成 14，EF 变成 16”：✅ 能顺着错下去，说明他真的懂了传递规则。后果是：F 的 ES 会被推成 16，总工期变成 30 天——一个记错的箭头，能让总工期虚长 2 天。
- 答“E 的 ES 应该跟 C 一样是 8，两条支路同时开始”：❌ E 的紧前是 D，D 又必须在 B 之后，8 的时候 D 才刚开工，E 不可能开始。**支路是并行的，但支路内部仍然是串行的。**

易错点 / 考点 ① **E 的紧前是 D**，不是 B、也不是 C；原型支路是 B→D→E，三段合计 $5+3+2=10$ 天。② $ES_E=EF_D=11$，单紧前直接接上，不取大。③ **“支路进度不同步”是常态**，不是错误；正推不调平，调平是资源平衡的职责。④ **不要提前写 F 的 ES**：F 的 ES 要等 C、E 两个 EF 都出来才能定，提前写就是猜。

过渡 *两条支路都到齐了，下一页就是全网络唯一一次“比大小”。*

8.23 正推四：F 汇合，取大的那个（5 分钟）

口播 · 可照读

汇合点到了。F 编码实现有两个紧前：C 和 E。我们把两个数并排放在纸上：C 是 8 加 6 得 14，E 是 11 加 2 得 13。E 支路 13 就交了活，但 C 支路要到 14 才交出设计，F 必须等两个都完成，所以 ES_F 取两者中较大的那个：$ES_F=\max(EF_C,EF_E)=\max(14,13)=14$。再由 EF_F 等于 14 加 5，等于 19。写成一句话：F 要等最晚的那条支路。

我们把正解和错解并排放。正解取 14：F 的 ES 是 14、EF 是 19，多等的这 1 天不是浪费，它是依赖关系本身的约束——设计没定稿，编码就不该全面铺开。错解取 13：F 的 ES 变成 13、EF 变成 18，看起来只差 1 天，但 G 跟着从 19 提前到 18，H 从 23 提前到 22，总工期被算成 27 天。一张看起来“更紧凑”的表，实际上是不可行的计划：F 在设计没定稿的时候就开工了。

所以汇合取大不是数学游戏，它守的是一条工程常识：下游活动开工的前提，是所有紧前都交了活，不是其中某一个交了活。取大，等于承认最慢的那条支路；取小，等于假装它不存在。

把这个判断翻译成两个自问自答，考场上就不容易忘：看到汇合点先问，进入它的箭头有几条？再问，每条箭头那头最晚的交活时刻是几？两个问题答完，ES 自然就出来了。如果实在记不住该取大还是取小，就记场景：正推是“等所有人到齐才能开会”，到齐的时刻等于最后一个到的时刻，所以取大；逆推是“最晚什么时候必须出发”，取的是最早的那个截止，所以取小。

这里也顺便说清“为什么要不厌其烦地把每条支路算到底”：汇合点上要比的，是支路末端的 EF，不是支路中间的某个数。C 的 8 和 E 的 11 摆在 F 门口没有意义，能比的是 14 和 13。

再补一句：这里也不能取平均。14 和 13 平均出 13.5，这个时刻既不是 C 的完工时刻，也不是 E 的完工时刻，拿它当 ES，等于给自己造了一个谁也对不上的日期。

板书 $ES_F=\max(EF_C,EF_E)=\max(14,13)=14$；$EF_F=14+5=19$ ｜ **正解**：14 ／ 19——等最晚的 C 支路，多等 1 天是**依赖关系本身的约束** ｜ **错解**：13 ／ 18——G、H 全线早 1 天，**总工期被算成 27**，计划不可行 ｜ 不许取平均（13.5 对不上任何支路） ｜ 口诀：**F 要等最晚的那条支路** ｜ 累计表：A 0/3、B 3/8、C 8/14、D 8/11、E 11/13、**F 14/19**

提问 如果 F 只按 E 的 $EF_E=13$ 起算，会错在哪？

预设回答

- 答“F 提前 1 天开工，G、H 跟着提前，总工期被少算 1 天”：✅ 正确。补一句：这是**连锁错**——F 的 ES 一变，下游全部平移，最后 EF_H 从 28 变成 27，纸面上“提前完工”，现场却根本做不到。
- 答“只有 F 自己晚 1 天，其他不受影响”：❌ 方向也错了。取 13 是让 F **早** 1 天，不是晚；而且紧后活动一定受影响，网络图是连锁的。
- 答“关键路径会变长”：⚠️ 说反了。取小会**缩短**表上的总工期，代价是计划不可行；关键路径不会因为算错而“变长”，只会被算错。

易错点 / 考点 ① **汇合取大**：ES 取所有紧前 EF 的最大值，**不是最小值、不是平均值、不是第一个看到的**。② **错取的后果是连锁的**：F 早 1 天 → G 早 1 天 → H 早 1 天 → 总工期少 1 天。③ **多等的 1 天不是浪费**，是依赖约束；这个观念直接支撑下一节“时差”的理解。④ **取大之后别忘了加工期**：$ES_F=14$，$EF_F=19$，两步都要写全。

过渡 *过了汇合点，网络又回到单线——G 接 F、H 接 G，一路推到结束。*

8.24 正推五：G 与 H，收口 28 天（4 分钟）

口播 · 可照读

过了汇合点，又回到单线。G 系统测试的紧前只有 F，F 在 19 完工，所以 ES_G 等于 19，EF_G 等于 19 加 4，等于 23。H 上线部署与验收的紧前只有 G，ES_H 等于 23，EF_H 等于 23 加 5，等于 28。注意这两步都不需要取大：进入 G 的箭头只有一条，进入 H 的箭头也只有一条，直接接上就行。

最后一个活动的 EF，就是项目最早完成时间。所以这个网络最早 28 天完工，$EF_H=28$。这个 28 是后面所有日期的上界：逆推从它出发，任何承诺日期都不能比它更早。

有同学会问，H 这 5 天能不能省？不能。上线部署与验收包含环境准备、数据迁移、试运行和验收签字，它和编码一样是实打实的工作量，不是“收个尾”。很多项目把上线当成零成本，最后恰恰卡在这几天上。

再补一个口径：如果项目有多个终点活动，比如上线和培训同时结束，总工期取这些终点 EF 的最大值；本例只有一个终点 H，所以就是 28。

我们把两条路径的合计摆出来对一遍。路径一，A→B→C→F→G→H，3 加 5 加 6 加 5 加 4 加 5，等于 28，它最长，决定总工期；路径二，A→B→D→E→F→G→H，3 加 5 加 3 加 2 加 5 加 4 加 5，等于 27，比它短 1 天，多出来的 1 天就是这条支路可以晃的空间。最长的那条说了算——这就是关键路径的由来。

这里有个数字陷阱要专门指出来：如果把八个活动的工期全加起来，3 加 5 加 6 加 3 加 2 加 5 加 4 加 5，等于 33 天。33 不是总工期，因为 C 和 D 是并行的，它们的 6 天和 3 天在日历上是重叠的，不能直接相加。总工期永远看“最长路径”，不是“全部相加”。这也是为什么正推必须沿箭头走，而不能拿计算器把工期一加了事。

板书 累计正推表（完整）：A 0/3 ｜ B 3/8 ｜ C 8/14 ｜ D 8/11 ｜ E 11/13 ｜ F 14/19 ｜ **G 19/23**（$19+4=23$） ｜ **H 23/28**（$23+5=28$） ｜ 🎯 **总工期＝28 天**（EF_H ＝项目最早完成时间） ｜ 路径① A→B→C→F→G→H＝**28**（最长，决定总工期） ｜ 路径② A→B→D→E→F→G→H＝27（短 1 天，有 1 天余量） ｜ ⚠️ 八个工期全加＝**33**，不是总工期（C、D 并行重叠）

提问 这个项目的总工期为什么是 28 天，而不是 27 天、也不是 33 天？

预设回答

- 答“28 是最长路径的合计，最长的那条决定总工期”：✅ 正确。补一句：最长路径上的活动一天都不能拖，所以它叫关键路径。
- 答“27 是另一条路径的合计，它比 28 短，所以不决定总工期”：✅ 这个理解也对，而且能说出“短 1 天就有 1 天余量”，说明已经摸到时差的门槛。
- 答“33 是八个活动全加起来的”：❌ 这是最典型的陷阱。C 和 D 是**并行**的，6 天和 3 天在日历上重叠，全加等于把并行的时间算了两次；总工期只能沿路径算。

易错点 / 考点 ① **总工期＝最长路径的长度＝最后活动的 EF**，两个口径必须一致。② **不能把全部活动工期相加**：33 天是“串行假设”下的结果，本例有并行支路。③ **H 的紧前只有 G**，所以 $ES_H = EF_G = 23$，不需要取大。④ **H 的 EF 才是总工期**，G 的 23 只是“测试完成”，别提前收口。

过渡 *数字都出来了，但真正丢分的地方不在算，而在错——下一页把正推的四种典型错法一次讲透。*

8.25 正推最易错：多个紧前，漏取最大（4 分钟）

口播 · 可照读

数字都出来了，但考试和工作里真正丢分的地方不在算，而在错。正推的错误几乎都出在同一处：一个活动有两个以上紧前时，把“最大值”写成了“某一条”。四种写法，前两种是同一个病根，后两种是把规则用错了地方。

第一种，只取“看着顺”的那条。看到 C 就写 14、看到 E 就写 13，随手挑一个，没有比较过程。挑到 13，F 全线早 1 天，总工期被算成 27 天，计划不可行。排查动作：把所有紧前的 EF 列出来并排写，再圈出最大。

第二种，漏掉一条箭头。只盯着主链，忘了另一条支路也会卡住本活动。漏的那条越晚，错得越多。排查动作：对着图数，进入本活动的箭头有几条，几条就是几个紧前。

第三种，分叉处误取大。以为分叉也得比大小，把 C、D 的 ES 写成不同值，凭空多出等待时间，工期虚长。记住：分叉不取大，各支路的 ES 都等于分叉点的 EF。

第四种，把 EF 当 ES 用。下一活动直接拿本活动的 ES 当开工时刻，整体错位一个工期，而且越往后错得越乱。口诀：紧前 EF 变本活动 ES，再加工期得 EF。

现场口诀五步：看紧前、数箭头、列 EF、取最大、再加工期。五步一步都别省，尤其是“列 EF”和“取最大”之间的比较过程——口算可以快，但比较的痕迹必须留在纸上，因为阅卷看的不是你有没有算出 14，而是你有没有真的比过 14 和 13。

这四种错法有一个共同的解药：把“比较”这个动作显式写出来。写 $\max(14, 13)$ 比直接写 14 多花三秒钟，但这三秒钟就是过程分，也是你事后能自查的证据。

板书 四种典型错法 | ① **只取“看着顺”的**（无比较过程）→ 排查：**并排列出全部紧前 EF，圈最大** ② **漏一条箭头**（只盯主链）→ 排查：**数进入本活动的箭头条数** ③ **分叉误取大**（凭空多等）→ 分叉**不取大**，各支路 ES＝分叉点 EF ④ **把 EF 当 ES**（整体错位一个工期）→ 口诀：**紧前 EF → 本活动 ES → 加工期得 EF** | 五步口诀：**看紧前 → 数箭头 → 列 EF → 取最大 → 再加工期** | 比较的痕迹必须留在纸上

提问 某活动有 3 个紧前，EF 分别是 9、12、11，本活动工期 4 天。它的 ES 与 EF 是多少？

预设回答

- 答“ES＝12，EF＝16”：✅ 正确。三个紧前的 EF 里最大是 12，加 4 得 16；可以说一句：9 和 11 那两条支路早就完了，不会卡住它。
- 答“ES＝9，EF＝13”：❌ 取了最小值，正好踩中本页讲的第一种错法。后果：这个活动会早开工 3 天，而那两条晚完工的支路还没交货。
- 答“ES＝11，EF＝15”：⚠️ 取了中间值，多半是“看到第三个就写”。请他按五步口诀重来一遍：先把 9、12、11 并排写，再圈 12。
- 答“ES＝12，EF＝12”：❌ 忘了加工期。EF 一定比 ES 大一个工期，除非工期为 0（里程碑）。

易错点 / 考点 ① **多个紧前漏取最大**是正推第一高频错点，判断依据是“箭头条数”。② **分叉不取大**与**汇合取大**是一对镜像，考试常把两者放在一道题里。③ **EF 与 ES 的传递关系**：传给紧后的是**完成**时刻，不是开始时刻。④ **口诀五步**可以救急，但答题时要写出“max”这一步，过程分就在这里。

过渡 *规则和错法都过了一遍，现在合上笔记，只报数字、只说理由。*

8.26 互动：口报 EF，说清为什么取大（5 分钟）

口播 · 可照读

合上笔记，只看数据，口报答案，并且说清“为什么取这个数”。三题，限时三分钟，同桌互相计时、互相挑错。三题之间是递进的：第一题是纯数字，第二题回到例题，第三题故意只有一条紧前，专抓“见谁都取大”的毛病。

第一题：活动 X 的紧前是 A，EF_A 等于 5；还有 B，EF_B 等于 10；X 的工期 5 天。要口报 X 的 ES 和 EF，还要说清理由。答案是 ES 等于 10、EF 等于 15。理由：两条箭头都指向 X，X 要等两个都干完，所以取晚的 10，再加 5。

第二题：例题里 F 的紧前是 C，EF_C 等于 14；E，EF_E 等于 13；F 的工期 5 天。答案 ES 等于 14、EF 等于 19。理由：E 早到 1 天不算数，取 14，再加 5。

第三题：例题里 H 的紧前只有 G，EF_G 等于 23，H 的工期 5 天。答案 ES 等于 23、EF 等于 28。理由：只有一条箭头，直接接上即可，这里不需要取大。

再补一条现场经验：口报的时候把两个紧前的 EF 念出来，再念“取大的”，最后念结果。比如第二题就念成“C 是 14、E 是 13，取大的 14，加 5 得 19”。念全了，同桌才好挑错；只念一个数，谁也帮不了你。

评分口径是：数字对 1 分，理由说清 1 分。只报数字不说理由的，按 1 分记。三题做完，如果第三题你也在东张西望找“另一个紧前”，说明规则用过头了——回去看讲正推规则那一页的最后一句话：单紧前不用比大小。因为考试和工作中真正会出错的，是“为什么”，不是“算得快”。口报的顺序也固定：先数紧前有几个，再列各自的 EF，再取大，最后加工期。顺序错了，数字迟早会错。被点到一时答不上来，就先说“我先数一下进入它的箭头有几条”，把过程说出来，比硬猜一个数字站得住。

板书 口报三题 | ①X：紧前 A（$EF = 5$）、B（$EF = 10$），$d = 5$ → $ES = 10$、$EF = 15$（取晚的 10）②F：紧前 C（14）、E（13），$d = 5$ → $ES = 14$、$EF = 19$（E 早到不算数）③H：紧前仅 G（23），$d = 5$ → $ES = 23$、$EF = 28$（单紧前**不需要取大**） | 评分：数字 1 分＋理由 1 分 | 顺序：**数紧前 → 列 EF → 取大 → 加工期**

提问 第一题里，如果只看到 A 的 $EF_A = 5$ 就动笔，会报出什么？错在哪里？

预设回答

- 答“会报成 ES＝5、EF＝10，漏了 B 那条支路”：✅ 正确。错在**只取一条**，没有把两条紧前的 EF 并排列出来比较——正是上一页的第一种错法。
- 答“会报成 ES＝5、EF＝10，但总工期不受影响”：❌ 前半对、后半错。X 早开工 5 天，X 的下游会全部提前，整条链的日期都被算错。
- 答“第三题才不需要取大，前两题都要”：✅ 这个总结很到位。判断标准不是“难不难”，而是**进入本活动的箭头有几条**：一条就直传，两条以上才取大。

易错点 / 考点 ① **理由与数字同权**：只会算不会说，考试的过程分拿不到。② **第三题是“反例题”**：单紧前不需要取大，防止把规则用过头。③ **口报顺序固定**，顺序本身就是得分点。④ 三题的答案连起来正好覆盖正推的三种情形：**两紧前取大、汇合取大、单紧前直传**。

过渡 *口头过了不算完，还要落回表上逐行复核——下一页就是收口前的最后一道关。*

8.27 正推结果全表复核（4 分钟）

口播 · 可照读

全表摆出来，逐行复核。复核不是再算一遍，而是三查，三查各有分工：逐行查管算术，汇合点查管规则，路径合计管全局。

第一查，逐行查：每一行的 EF 减 ES，是不是等于本行的工期。A 是 3 减 0 等于 3，B 是 8 减 3 等于 5，C 是 14 减 8 等于 6，D 是 11 减 8 等于 3，E 是 13 减 11 等于 2，F 是 19 减 14 等于 5，G 是 23 减 19 等于 4，H 是 28 减 23 等于 5，八行全对。这一查的好处是定位快：哪一行不等，就是那一行抄错或加错，只改那一行，不用全表重来。

第二查，查汇合点。全网络只有一个汇合点 F，它的 ES 是不是取了两紧前 EF 中较大的那个——14 和 13，取 14，对。汇合点是取大规则唯一生效的地方，也是错误最集中的地方，所以单独拎出来查。如果哪天网络变复杂、汇合点不止一个，就一个点一个点地过。

第三查，查路径合计。最长路径 A→B→C→F→G→H 的合计 28 天，必须与 EF_H 一致；如果路径算出来 27、而 EF_H 是 28，说明有一条箭头被漏算了，或者某个汇合点取错了。两条路径的 28 和 27 也要能各自对上：差的那 1 天，正好是 D 加 E 比 C 少的那 1 天。

三查全过，这张表才能拿去当进度计划的底稿。复核还有一个副产品：它把这张表变成了可以交给别人的东西——你休假一周，同事拿着这张表和这三条检查规则，就能接着往下算逆推，不需要来问你。最后是一句思政。一个 28 天的计划，错 1 天就意味着一次返工或一次加班。“算完必须回算”不是繁琐，而是把结论变成可复核的依据——工程里的“可信”，从来不是拍胸脯，而是别人拿着同样的数据，能算出同样的结果。

下一步，从 28 天往回推，算每个活动的 LS 与 LF，再与 ES、EF 相减得到时差。时差为 0 的那条链，就是关键路径。正推已经把答案的上界算好了，逆推只是把它夹紧。

板书 正推全表（d | ES | EF）：**A 3 | 0 | 3、B 5 | 3 | 8、C 6 | 8 | 14、D 3 | 8 | 11、E 2 | 11 | 13、F 5 | 14 | 19、G 4 | 19 | 23、H 5 | 23 | 28** | 三查：① **逐行** $EF-ES=d$ ② **汇合点** 唯一 F，$\max(14,13)=14$ ③ **路径合计** 最长 $28=EF_H$ | 🎯 总工期 **28 天**，关键路径 **A→B→C→F→G→H** | 🔭 下一步：逆推求 LS、LF，时差为 0 的链即关键路径

提问 如果复核时发现 E 的 EF 被写成了 14，你怎么用最快的速度定位并改回来？

预设回答

- 答“先查逐行：14 减 11 等于 3，不等于工期 2，立刻锁定 E 这一行”：✅ 最标准的动作。逐行查的作用就是**定位到行**，不用全表重算；改回 13 之后，再顺带看一眼 F 的 ES 是否仍是 14（此处 $\max(14,13)$ 与 $\max(14,14)$ 都取 14，但必须确认）。
- 答“看 F 的 ES：如果 E 写错，F 的 ES 可能被带成更大的值”：✔️ 也对，这是**从下游反查上游**。补充：本例 E 错成 14，F 的 ES 仍是 14，总工期不变，但表已经不自洽——**数字没变不代表过程没错**。
- 答“把整张表重算一遍”：⚠️ 能查出来，但慢且容易用同样的错法再错一次。复核的价值在于**用另一种关系去验**（$EF-ES=d$、路径合计），而不是把原过程复制一遍。

易错点 / 考点 ① **三查的顺序与内容**：逐行查 $EF-ES=d$、查唯一汇合点取大、查最长路径合计与 EF_H 一致。② **总工期 28 天、关键路径 A→B→C→F→G→H**，这两个结论必须能脱口而出。③ **复核要用“另一种关系”**，不能把原算法再抄一遍。④ **数字自洽 ≠ 依赖正确**：E 错成 14 时总工期碰巧不变，但依赖关系已经错了，这类错误只能靠“查汇合点”发现。

【思政落点】：严谨——一个 28 天的计划，错 1 天就意味着一次返工或一次加班；“算完必须回算”不是繁琐，而是把结论变成**可复核的依据**。工程里的“可信”，从来不是拍胸脯，而是**别人拿着同样的数据，能算出同样的结果**。

过渡 *正推把“最早能多早”算到了 28 天；下一页开始逆推，从 28 天往回压，算出每个活动最迟必须什么时候开工、什么时候完工，再用两者相减，让关键路径自己浮出来。*

8.28 逆推：从终点往回填 LS 与 LF（3 分钟）

口播 · 可照读

上一页我们把正推的全表复核完了：A 从 0 到 3、B 从 3 到 8、C 从 8 到 14、D 从 8 到 11、E 从 11 到 13、F 从 14 到 19、G 从 19 到 23、H 从 23 到 28，总工期 28 天。这一页换方向——从终点往回走，把最迟开始 LS 和最迟完成 LF 填上去。两条线用一句话分清：**正推问的是“最早什么时候能完”，逆推问的是“最晚什么时候必须完”**。一个算的是可能性，一个算的是底线。

为什么要算底线？因为只有底线出来了，才能回答三个实际问题：这项活动最多能拖几天而不影响交付；哪几天是可以借给别人用的缓冲；资源紧张的时候，先动哪一项最安全。只做正推，这三问一个都答不了。

对照表看四行。方向相反，从结束端向开始端；起点是最后一项活动，H 的最迟完成等于总工期 28；核心公式是 LS 等于 LF 减工期；最要紧的是第四行——遇到分叉要取小，LF 等于所有紧后 LS 里最小的那个。为什么取小？因为一项活动必须给每一个紧后都留够时间，谁最急就听谁的。举个马上能用的例子：B 的紧后是 C 和 D，C 的 LS 是 8、D 的 LS 是 9，B 只能按 8 算；要是按 9 算，C 立刻就晚一天，总工期跟着涨一天。这一取小，是全表唯一需要动脑子的地方，其余六步都是直接取。

再看这张图 5-10。它是另一组示例数据，22 天，**不要和本题混算**。请注意它的下排只填了 LS 和 LF，中间那一格是空的——那一格是总时差，要等上下两排都齐了才减得出来，不是随手写的；到图 5-11 才把它填上。这个“留空”的动作很讲究，它提醒我们：时差是两条线都算完以后的结果，不是算之前就能填的。

顺便提醒：逆推不要从左往右“找感觉”，必须严格按“紧后已经算完”的顺序倒着走。顺序一乱，该取小的地方必然出错，而且错得看不出来。

两条线都走完，每个节点才有六个数字，时差才算得出来。这是逆推存在的唯一理由，也是后面判关键路径、做压缩、排资源的全部前提。

板书 逆推＝从结束端向开始端 | 起点：$LF_H=28$（＝总工期） | $LS=LF-d$ | 分叉取小：$LF=\min(\text{紧后}LS)$ | 正推汇合取大 · 逆推分叉取小 | 六格齐（ES · d · EF／LS · TF · LF）才有时差 | 图 5-10：下排只填 LS、LF，中间 TF 格留空

提问 正推算到 H 的 EF 是 28，逆推又从 H 的 LF 等于 28 出发——这两个 28 为什么必须相等？

预设回答

- 答“因为总工期就一个”：✅ 对，但要说透。正推的 28 是“最早能完”，逆推的 28 是“要求最晚完”；在不压缩工期、没有强制日期的情况下，两者相等，这个位置是两条线的共同终点。
- 答“书上规定的”：⚠️ 半对。规则背后是口径：默认项目不压缩，所以最迟完成等于最早完成。若 LF 取大于 28，算出来的时差全是虚的，整张表的时差会被系统性高估。
- 答“不知道，顺手填的”：❌ 点评：终点取错，全表皆错，而且错得很隐蔽——每个活动都多出同样的一截时差，看起来还挺“合理”，一到判关键路径就全乱。

易错点 / 考点 逆推三条铁律。① **终点 LF＝项目总工期**，不是“最后一项活动的工期”；② **分叉取小**，写成取大是本章最高频的失分点；③ $LS = LF - d$，不是 $LF - ES$。期末计算题里，逆推错一步，时差和关键路径会连环错——所以要求手算必须留步骤，步骤对了数错了只扣小分。

过渡 *规则只有三条，真正走一遍才知道哪一步会卡。下面把这 8 项活动倒着推一遍，一共 7 步。*

8.29 逐屏逆推：从 H 一路回到 A（4 分钟）

口播 · 可照读

八项活动，倒着走七步。每一步只做两件事：**先定 LF，再用 LF 减工期算出 LS**。顺序不能乱，因为 LF 来自紧后的 LS——紧后的 LS 得先算出来。跟着表走一遍。

第一步，H 是终点，LF 等于总工期 28，LS 等于 28 减 5，得 23。这一步是整条逆推线的锚，锚一歪，后面七个全歪。

第二步，G 的紧后只有 H，LF 直接取 H 的 LS 23，LS 等于 23 减 4，得 19。为什么可以直接取？因为 G 只有 H 这一个紧后，G 交得再晚，也只能晚到 H 必须开始的那一刻。

第三步，F 的紧后只有 G，LF 取 19，LS 等于 19 减 5，得 14。

第四步要小心，C 和 E 一起推：这两项的紧后都只有 F，所以 LF 都取 F 的 LS 14；C 是 14 减 6 得 8，E 是 14 减 2 得 12。注意它们不是互相约束，而是被同一个 F 约束，所以两个都取 14，这里不需要取小。

第五步，D 的紧后只有 E，不是 F，别跳错；LF 取 E 的 LS 12，LS 等于 12 减 3 得 9。请对照正推：D 正推是 8 到 11，逆推变成 9 到 12，这 1 天的错位，就是后面那个总时差的来源。这一步最常出的错，是把 D 的 LF 写成 F 的 14——那样 D 会平白多出 3 天时差，整张表就废了。

第六步，B 是全网唯一的岔路口：紧后有 C 和 D，C 的 LS 是 8、D 的 LS 是 9，取小的 8；LS 等于 8 减 5 得 3。全表只有这一处要取小，记住位置就不容易错。

第七步，A 的紧后只有 B，LF 取 3，LS 等于 3 减 3 得 0。

把七个结果连起来就是逆推全表：**A 落在 0 到 3、B 3 到 8、C 8 到 14、D 9 到 12、E 12 到 14、F 14 到 19、G 19 到 23、H 23 到 28**。请特别看 A 的 LS 落在 0——这是最好的自检，只要 A 的 LS 不是 0，前面一定错了一步。为什么？起点的后面每一项都由它约束，它要是还剩余量，只可能说明整条链的终点定高了，或者中间某一步取错了。

如果中途卡住算不下去，多半是网络图那边漏了箭线——比如把 E 的紧前只看成 C、忘了还有 D。遇到卡壳先回图核对紧前紧后，不要硬凑数字。

图上那组数字是另一套示例，22 天；看它不是看数，是看“下排三格怎么装”这个位置关系。

板书 ① H：$LF = 28 \to LS = 23$ ｜ ② G：$LF = LS_H = 23 \to 19$ ｜ ③ F：$LF = 19 \to 14$ ｜ ④ C、E：同为 F 的紧前，$LF = 14 \to LS_C = 8$、$LS_E = 12$ ｜ ⑤ D：$LF = LS_E = 12 \to LS = 9$（D 紧后是 E，不是 F） ｜ ⑥ B（唯一分叉）：$LF = \min(8, 9) = 8 \to LS = 3$ ｜ ⑦ A：$LF = 3 \to LS = 0$ ｜ 逆推全表：A 0/3 · B 3/8 · C 8/14 · D 9/12 · E 12/14 · F 14/19 · G 19/23 · H 23/28 ｜ 自检：LS_A 必为 0

提问 逆推到 B，紧后有 C 和 D 两个，C 的 LS 是 8、D 的 LS 是 9。B 的 LF 到底取哪个？

预设回答

- 答“取 8，取小的”：✅ 正确。追问：“取 8 的物理含义是什么？”——B 干完之后，必须给 C 留出它最晚的开始时间 8；D 那边要 9，比 8 宽松，自然满足。**取小是取最紧的那个约束。**
- 答“取 9，取大的更保险”：❌ 这是把逆推当成了正推。点评：取 9 意味着 B 可以拖到第 9 天才交，可 C 必须第 8 天开始——C 立刻晚一天。C 没有时差，晚一天，总工期就 29 天。
- 答“两个都算一下看哪个对”：⚠️ 态度可取，但方法要纠正：算法不是“挑一个”，而是**先按 min 算，再用 A 的 LS 是否等于 0 来验算**。验算是检验，不是选择。

易错点 / 考点 四个高频错处。① 第④步 C 与 E 要一起推（紧后同为 F，都取 14），常有人只推 C、把 E 漏掉；② 第⑤步 D 的 LF 来自 E 的 LS，硬套成 F 的 14 就错了；③ 第⑥步 B 是全表唯一的分叉点，也是唯一需要取小的地方——不是每一步都要取小；④ 收尾自检：$LS_A = 0$。此外，图 5-11 那组数字是另一套示例（22 天），看的是**下排中间格装 TF** 这个位置关系，别把 22 当成本题答案。

过渡 *六个数齐了，接下来把其中两个“差”减出来——一个管整条路，一个管紧后。*

8.30 时差公式汇总：TF 与 FF（4 分钟）

口播 · 可照读

六个数字里，两个时差最容易被混成一件事，先分开记：**总时差 TF 管整条路的余量，自由时差 FF 管紧后会不会被拖**。一个对内，一个对外。

公式三条。总时差等于 LS 减 ES，也等于 LF 减 EF，**两个算法必须对得上**，对不上就是表算错了——这是考场上最快的自查手段。自由时差等于所有紧后最早开始里最小的那个，减去本活动的 EF。工期的三种算法放在第三行：EF 减 ES、LF 减 LS，结果必然一样。

拿 D 和 E 算一遍，这两个数是本章的招牌。D：ES 是 8、EF 是 11、LS 是 9、LF 是 12，所以 TF 等于 12 减 11 得 1；FF 呢，D 的紧后只有 E，E 的 ES 是 11，11 减 11 得 0。E：ES 11、EF 13、LS 12、LF 14，TF 等于 14 减 13 得 1；FF 是 F 的 ES 14 减 E 的 EF 13，得 1。

同样都是 1 天，脾气完全不一样。**D 的 1 天不能自己用**：E 紧贴着 D 结束就开始，D 一拖，E 立刻跟着拖，所以这 1 天只能整条支路一起挪。**E 的 1 天可以单独用**：F 的最早开始由 C 的第 14 天决定，E 在第 13 天就干完了，中间空着 1 天，E 自己挪 1 天，谁也不受影响。

回扣一下结算系统：数据迁移这条支路由 D 和 E 两段组成，行方那边的窗口期又只能约在月末。将来真出现拖延，你能挪的其实只有 E 那 1 天；D 一挪，演练和校验全部顺延，最后还是要动 F 的开始日。所以谈进度缓冲的时候，别拿“D 一天、E 一天，加起来两天”去说——真正可用的缓冲只有 1 天。

再补一句用法上的分工：**排资源、借人手的时候看 FF**——它决定“下一步能不能等我”；**跟客户谈缓冲、报风险的时候看 TF**——它决定“交付日还兜不兜得住”。两个数看错场合，会上一句话就被人问住。

还有一个口径要记牢：时差的单位是**天**，跟工期同单位。有些资料写“时差率”或者百分比，那是另一套口径，本章一律按天数算，答题时别混着用。

两条硬关系请记住：自由时差永远小于或等于总时差；最后一项活动没有紧后，规定 FF 等于 TF，本题 H 的 FF 就是 28 减 28 得 0。反过来，TF 等于 0 的活动就是关键活动——下一节判关键路径，用的就是这一条。

板书 $TF = LS - ES = LF - EF$ ｜ $FF = \min(\text{紧后}ES) - EF$ ｜ $D = EF - ES = LF - LS$ ｜ D：12−11=1／11−11=**0** ｜ E：14−13=1／14−13=**1** ｜ 硬关系：$FF \le TF$；末活动 $FF = TF$ ｜ $TF = 0 \rightarrow$ 关键活动 ｜ 一句话：TF 保工期，FF 保紧后

提问 D 的 TF 是 1，FF 却是 0——同样一个“1 天”的量级，为什么自由时差会是 0？

预设回答

- 答“因为 E 紧跟着 D 就开始了”：✅ 完全正确。补一句术语：$EF_D = 11$、$ES_E = 11$，两张卡贴在一起，中间没有空隙，**FF 量的就是这道缝有多宽**。
- 答“因为 D 不是关键活动”：❌ 因果颠倒了。非关键只说明 TF 大于 0，跟 FF 是不是 0 没有必然关系：D 就是 TF 大于 0 而 FF 等于 0 的典型。
- 答“FF 就是把 TF 抄一遍”：❌ 这是最要命的偷懒。点评：本题恰好 E 的 FF 等于 TF 等于 1，抄一遍看不出错；D 一抄就错成 1。抄 TF 当 FF，是互评表里第一个被抓的失分项。

易错点 / 考点 ① FF 的减数是 **min（紧后 ES）**，不是 min（紧后 LS）——LS 是逆推量，混进来必错；② 没有紧后的活动，FF 规定等于 TF，别写成 0 或空着；③ $FF \le TF$ 恒成立，算出来 FF 大于 TF 一定是哪一步错了；④ 期末简答常问“TF 与 FF 的区别”，标准答法就是 D、E 这一对：**TF 保的是总工期，FF 保的是紧后活动的最早开始**。

过渡 *公式就三条，可一落到具体活动上，三个坑几乎年年有人踩。下一页逐个踩。*

8.31 时差怎么读：三个容易踩的坑（5 分钟）

口播 · 可照读

公式只有三条，错却常错在同一处：**把“不影响工期”理解成“不影响任何人”**。这两句话听着差不多，落地差得很远。三个坑，一个个踩过去。

坑一，分叉写成取大。 B 的 LF 如果错取 C 的 8 和 D 的 9 里大的那个 9，LS 就变成 4，TF 变成 1，看上去“还能拖 1 天”。这是假的：B 一拖，C 立刻晚，总工期马上加 1。分叉只能取小——取大等于凭空给自己发了一张时差券，而且这张券在真延期那天会立刻作废。

坑二，把 TF 当 FF。 看到 D 的 TF 是 1，就以为 D 能自己拖 1 天。错。D 的 FF 是 0，拖 1 天，E 的最早开始立刻从 11 变成 12，后面全跟着动。TF 保的是总工期，FF 保的才是紧后。一个是“项目还能兜住”，一个是“下一步还能等我”。

坑三，时差被重复使用。 D 和 E 的 TF 都是 1，但这是**同一条支路共用的 1 天**，不是各有一份。D 拖 1 天、E 也拖 1 天，这条支路累计拖了 2 天，总工期就是 29 天。同一条支路上的时差只能花一次，不能相加——这条在现实项目里最费钱，因为同一支路上的两项活动各“用一点”，月末一汇总，交付日就保不住了。

三个坑说完，请大家换一个视角看时差——**时差真正的名字叫“还能被吃掉的空间”**。D 和 E 那条支路，3 加 5 加 3 加 2 加 5 加 4 加 5，一共 27 天，比 28 天短 1 天，这 1 天就是它的全部家底。后面我们要压 C，压掉 1 天，会发生什么？正好把这 1 天家底吃光，两条路打平在 27 天。这就是“压 1 天只快 1 天、再压却不快”的全部原因——不是压缩没用，是**能吃的额度只有 1 天**。

考场上有句话能立刻查出重复计算：把一条支路上所有活动的 TF 加起来，如果比这条支路与关键路径的差还大，那一定有人把同一份时差算了两次。

所以时差在这里不只是一个统计量，它是你的**压缩预算**、也是你答应别人“可以缓一缓”时的额度上限。额度是多少，表上写得清清楚楚，别凭感觉估。

板书 坑① 分叉取大 → 假时差（B 取 9 得 TF=1，假） ｜ 坑② TF 当 FF → D 的 1 天不能自己用 ｜ 坑③ 时差重复使用 → D、E 各拖 1 天＝29 天 ｜ 支路 3+5+3+2+5+4+5=**27**，与 28 差 **1 天＝该支路的全部时差＝压缩额度** ｜ 四型对照：TF=0（关键）／TF>0 且 FF=0（随支路挪）／TF=FF>0（可单独挪）／TF>FF>0（先花 FF 再花 TF）

提问 如果 D 想用掉它那 1 天、E 也想用掉它那 1 天，加起来 2 天，可不可以？

预设回答

- 答“可以，各自有各自的时差”：❌ 这正是坑三。点评：时差是**路径级**的资源，D 和 E 在同一条支路上，共用同一个 1 天。各用 1 天，支路就拖了 2 天，总工期 29 天。
- 答“不行，只能花一次”：✅ 正确。追问：“那怎么判断两个活动的时差是不是同一份？”——看它们是否在同一条支路上、是否互相串联。串联在同一条路上的活动，TF 的最小值就是这条路的公共余量。
- 答“看谁先拖，先拖的占了”：⚠️ 半对。确实是谁先占用谁得利，但项目管理上不能靠“抢”：要在计划里**指定**这 1 天给谁用（比如留给 E 作缓冲），而不是等执行时互相扯皮。

易错点 / 考点 ① 判断题“有 TF 就能随便推迟、不影响任何活动”——错，D 是反例，这是最经典的判断题；② 简答题“TF 与 FF 的区别”——按 D、E 一对答；③ 计算题里若出现“某活动推迟 X 天，工期变不变”，先比 X 与 TF，再判支路；④ 本页埋下的那条线要记住：**时差＝压缩额度**，下一节讲关键路径为什么会变、再往后讲压 C 为什么只快 1 天，用的都是这句话。

过渡 *时差读懂了，关键路径就只剩一句话——TF 等于 0 的那条链。*

8.32 关键路径判定：TF=0 的那条链（4 分钟）

口播 · 可照读

把八项活动的六个数摆在一起，判关键路径不必去比每条路的长短，只看一列：**TF 等于 0 的活动连起来**，就是关键路径。这是最不会判错的一种判法，也是考场上最省时间的一种。

读表。A、B、C 三行 TF 全是 0；D 和 E 是 1；F、G、H 又回到 0。把 TF 为 0 的连起来：**A 到 B 到 C 到 F 到 G 到 H**，六个活动。工期加起来，3 加 5 加 6 加 5 加 4 加 5，正好 **28 天**。

三条判据要会同时用。**判据一，最长的那条路**：把网络图里所有路径都算一遍，最长的就是它。**判据二，TF 等于 0 的链**：关键活动的 TF 必为 0；反过来，TF 为 0 的活动一定在关键路径上。**判据三，延误直传**：关键活动晚 1 天，总工期就晚 1 天；非关键活动只要没吃光时差，就不动工期。三条判据的答案必须一致——不一致，一定是表算错了，先回去查表，别急着改结论。

顺便把次长的那条也标出来：**A→B→D→E→F→G→H，27 天**，比关键路径短 1 天。请把这 1 天记在心里，下一节和压缩那一节都要用它。为什么现在就要标？因为潜在的风险常常不在最长的路上，而在“差一点点就成为最长”的那条路上。

这种判法还有一个好处是抗错：只要表是自洽的，哪怕你漏算了一条路径，TF 等于 0 那一列也不会骗你。

再补一句答题技巧：题目只给表、不给图，判关键路径就靠 TF 这一列；给了图，就先找最长路、再拿 TF 验一遍。两条路互相印证，比单算一遍稳得多，也快得多。

答题还有一个细节：关键路径要按箭头顺序写成链，中间用箭头连起来，不能只列字母。写“A、B、C、F、G、H”和写“A→B→C→F→G→H”，在评分标准里差着一档。

最后一句要咬住：**关键路径的长度，就是项目的最短可能工期**。28 天不是“目标”，是“在这套逻辑和这套工期下，最快就是这样”。它不含任何缓冲，也不含任何加班。想更快，只能压缩；想更稳，只能加储备——但那是另外一页的事。

板书 TF=0 链：**A→B→C→F→G→H** ｜ $3+5+6+5+4+5=28$ ｜ 次长：**A→B→D→E→F→G→H＝27**（差 1 天） ｜ 三判据：① 最长路 ② TF=0 链 ③ 延误直传 ｜ 关键路径长度＝**最短可能工期**

提问 如果网络里两条路径一样长，比如都 27 天，那关键路径是哪一条？

预设回答

- 答“两条都是关键路径”：✅ 正确。追问：“那只盯一条行不行？”——不行，另一条一拖，工期照样超。两条都要盯，资源也要按两条一起排。
- 答“随便选一条，反正一样长”：❌ 危险。点评：选一条当“名义关键路径”可以，但**监控和压缩必须覆盖两条**。这正是下一节“关键路径会变”的伏笔。
- 答“重新算，一定是我算错了”：⚠️ 不一定。两条等长是正常现象，尤其在两个分支工期凑巧相等时；要验的是表是否自洽，不是急着改数。

易错点 / 考点 ① 判据不能只写“最长的”，必须写出**是哪条链**——互评表里“只写最长的、没写链”是常见失分；② 关键路径是**活动序列**，不是“关键活动清单”，答题要按箭头顺序连起来；③ 关键路径长度是**最短可能工期**，不是“计划工期”也不是“合同工期”，这三个概念期末选择题常混；④ 非关键路径也可能整条没有时差（本例次长路只差 1 天），别以为“非关键就一定很松”。

过渡 *关键路径判出来了，但请记住一句话——它不是贴在活动上的标签，是算出来的结论。结论会变。*

8.33 关键路径会变：三条性质与一个陷阱（5 分钟）

口播 · 可照读

关键路径不是贴在活动上的标签，它是**算出来的结论**；结论会随数据变——这是后面所有讨论的前提。今天这一页，其实是在拆掉一个很常见的错觉：以为图上那条粗线画完就定了。

四条性质。**第一，它是最长的那条路**，长度就是项目最短可能工期，本题 28 天。**第二，关键活动 TF 等于 0，延误直传**：关键活动晚 1 天，总工期就晚 1 天；非关键活动只要没吃光时差，就不动工期。**第三，可能不止一条**：两条路一样长时，两条都是关键路径；只盯一条，另一条一拖，工期照样超。**第四，也是今天最要命的一条——它会换位置**。压缩、资源平衡、执行偏差，任何一次改动都会改变各条路的长度，关键路径随之换人。所以规矩只有一条：**动一个数，重算一张表**。

回到那 1 天。压之前，A→B→C→F→G→H 是 28 天，A→B→D→E→F→G→H 是 27 天，两条路差 1 天。把 C 压 1 天，第一条变成 27，第二条一步没动，还是 27。总工期取最长的那条，也就是 27——**所以只快了 1 天**。再压 C，第一条变成 26，第二条仍然 27，总工期还是 27，这一压一天不赚。

道理很直白：**总工期由最长的那条路决定**。你把一条压短了，天花板就换到另一条路上去了——这就是那个陷阱：以为“压了关键活动就一定快”。反过来说，如果你想让工期真的到 26，就得让两条路同时变短：要么 C 和 D、E 一起压；要么去压 A、B、F、G、H 这些**两条路共用的共同段**——压共用段 1 天，两条路同时短 1 天，这才是最划算的一刀。

再给一个反向现场：如果 D 自己拖了 1 天呢？总工期仍是 28 天，因为 D 有 1 天时差兜着；但 D 和 E 的 TF 从此由 1 变成 0，网络里长出两条关键路径。所以“有 1 天时差”不等于“永久免疫”——**时差是还能花多少，花完就变关键**。花的方式有两种：一种是执行中拖出来的，一种是我们自己压缩压出来的，结果一样。

板书 ① 最长路＝最短可能工期 ② TF=0、延误直传 ③ 可能不止一条 ④ **会换位置** ｜ 28 vs 27，差 **1 天** ｜ 压 C 1 天：27 vs 27 → 工期 **27**（只快 1 天） ｜ 再压 C：26 vs 27 → 工期仍 **27** ｜ 陷阱：压了关键活动≠一定快 ｜ 想真到 26：C 与 D、E 同压，或压**共用段 A · B · F · G · H**

提问 既然压 C 只值 1 天，那要让 28 天真降到 26，最划算的一刀该砍在哪里？

预设回答

- 答“压 F 或 G，它们在两条路上都有”：✅ 很专业。共同段压 1 天，两条路同时短 1 天，收益不打折——这是本题最优的压缩位置。追一句：“但要不要压？”还得看单位成本与风险，这就是四步闭环里第三步要做的事。
- 答“继续压 C，压够 3 天总会有用”：❌ 点评：C 再压只会让自己多出时差，天花板在 D–E 支路上，压到 C 变成 8 到 11 也没用。**压不在决定工期的那条路上，等于白花钱。**
- 答“把 D 和 E 也一起压”：✅ 也行。C 压 1 天、D 和 E 各压 1 天，两条路都到 26。但要想清楚：这是三处赶工，成本是叠加的，通常不如压一处共用段划算。

易错点 / 考点 ① “D 拖 1 天不影响工期，所以可以随便拖”——错，时差花完即变关键，这是判断题高频项；② “压关键活动一定缩短工期”——错，第二条关键路径一出现就不成立；③ 期末案例题常要求“压缩后指出新的关键路径”，不会重算就丢整题；④ 记住两个方向的机理：**时差被花掉，支路变关键；路径被压短，另一条顶上来**——一个是执行偏差，一个是主动压缩，结果都是关键路径换人。

过渡 *想把 28 天变短，光会判路径不够，还得会动手——进度压缩有哪两把刀？*

8.34 进度压缩两法：赶工与快速跟进（4 分钟）

口播 · 可照读

进度压缩有一个前提必须先说清：**不缩减项目范围**。范围不动，还想更早交付，只有两条路——赶工和快速跟进。这个前提很重要，因为现实里最容易“压”出工期的一招，其实是砍功能；那不叫压缩，那叫范围变更。

看对照表。**赶工**的做法是加班、增加额外资源、支付加急费用；效果是同样三段活，每段人翻倍，15 天压到 10 天。代价是什么？成本上升，而且人一多，协调量和质量风险跟着上来。它什么时候管用？关键活动确实能靠加资源加速的时候。什么时候不管用？工期由外部审批、供应商交付决定的时候，你加再多人也没用——等审批的那两周，人手再多也只能干等。图 5-14 上排那两条横道就是这两种情形：正常 15 天、赶工 10 天。

快速跟进的做法是把正常按顺序做的活动改成部分并行，或者调整依赖关系、阶段交叠；效果是 15 天压到 11 天——注意，比赶工少压 4 天，但一分钱资源没多花。代价换了个地方：提前量一上，协调工作量涨，返工与质量风险跟着涨。它什么时候不管用？必须前一项全做完才能开始的时候，强依赖不能硬并。

两条路有两个共同点，比差别更重要。**共同前提：只压关键路径。** 压非关键活动，工期一天都不会少，只是把它自己的时差变大，钱白花。**共同后果：压完必须重算。** 路径长度变了，所有活动的 LS、LF、TF 全变，关键路径也可能换人。

怎么选？先看约束卡在哪：能加人的地方用赶工，只能改顺序的地方用快速跟进；两样都不行，就得回头谈范围和交付日。

一句话分工：**赶工是花钱买时间，账算得清；快速跟进是改顺序挤时间，风险藏得深。** 结算系统里，前者典型是给核心模块加人，后者典型是让接口开发和报文规范部分交叠——前者多花的是预算，后者多花的是返工。

板书 进度压缩＝**不缩减范围**，靠加资源或改安排压短工期 ｜ 赶工：加班／加人／加急费，15→**10** 天，增成本与协调风险 ｜ 快速跟进：并行／调依赖／阶段交叠，15→**11** 天，增返工与质量风险 ｜ 共同前提：**只压关键路径** ｜ 共同后果：**压后全图重算**

提问 拿结算系统举例，哪两件事你绝对不能快速跟进、硬并在一起？

预设回答

- 答“上线部署不能和用户验收测试并行”：✅ 正确，这是强依赖，还牵着外部审批和行方窗口期。并上去的结果不是快，是上线后回滚。
- 答“需求确认和开发不能全并行”：✅ 也对，但要说清分寸：**部分交叠**可以（先确认核心模块、边开发边确认边缘模块），**完全并行**不行——需求没定就开发，返工量往往超过省下的时间。
- 答“都可以并，反正并行总是快的”：❌ 典型误解。点评：快速跟进压的是“顺序”，代价是返工与协调。强依赖、需要外部确认、错了要推倒重来的环节，并行等于把风险提前引爆。

易错点 / 考点 ① 压缩**不等于缩范围**——把功能砍掉叫范围变更，不叫进度压缩，这是简答题第一句就要写清的；② 快速跟进**不增加资源，但不等于没有成本**，成本转移到返工与协调上；③ 赶工对“人月不可互换”的活动无效（比如必须串行的联调、必须等外部审批的环节）；④ 选择题常设陷阱：“压缩非关键活动也能缩短工期”——不能，只能增大它的时差。

过渡 *两把刀都只是工具，真正决定成败的是用刀的规矩——四步闭环。*

8.35 压缩四步：先压关键路径，再全图重算（4 分钟）

口播 · 可照读

压缩不是“找最长的那项砍一刀”，而是一个四步闭环。

第一步，锁关键路径：只压关键活动。**第二步，全图重推**：重算 ES、EF、LS、LF、TF，特别要看有没有长出第二条关键路径。**第三步，权衡成本与风险**：这笔钱、这点风险换 1 天，值不值。**第四步，走变更、更新基准**：批准之后，更新进度基准和项目文件。

四步的顺序不能换。**缺了第二步，第三步就是在错的数据上做决策**——你以为买到了 3 天，其实只买到 1 天，那笔钱花得不明不白。更糟的是第四步：基准没更新，团队下次对比“计划与实际”的时候，比的还是旧基准，偏差永远算不清。

再给四条判断口径。**压谁？** 关键路径上、单位压缩成本最低的那项活动。**压多少？** 压到它不再关键，或者压出第二条关键路径为止。**代价是什么？** 赶工是钱和人，快速跟进是返工、协调与质量风险。**失效信号是什么？** 压了关键活动、工期却没变——说明已经出现第二条关键路径，你的刀砍在了已经不管事的地方。

最后这道选择题，请一起答：压缩之后第一件事做什么？先更新甘特图、全图重推、先通知客户可以提前交付、还是先调预算？**答案是全图重推。** 甘特图只是重算结果的画法；通知客户最危险，还没算清就对外承诺；调预算要等重算之后才知道该加多少钱。

顺便说清一个常见混淆：压缩是“改计划”，不是“改事实”。已经发生的延误，不能靠压缩抹掉，只能从后面的活动里找时间——这一点下一讲讲控制进度时还会回来。

还有一点：压缩不是一次性动作，而是一个可以反复走的循环——每压一次就回到第一步，直到钱花不动、或者风险顶格为止。

一句提醒：**压完不重算，等于拿旧地图找新路。**

板书 ① 锁关键路径 → ② **全图重推**（ES/EF/LS/LF/TF）→ ③ 权衡成本与风险 → ④ 走变更、更新基准 ｜ 压谁：关键路径上单位成本最低 ｜ 压多少：压到不再关键／压出第二条关键路径为止 ｜ 失效信号：**压了却不快 → 已出现第二关键路径**

提问 你压了一项关键活动，重算后发现总工期一点没变。这时你的第一判断是什么？

预设回答

- 答“说明已经长出第二条关键路径了”：✅ 正确，这是最可能的原因——另一条路顶上来当了新天花板。追问：“那接下来怎么办？”——改压那条新关键路径，或者压两条路共用的共同段。
- 答“说明我压错活动了，它其实不是关键活动”：✔️ 也可能。点评：先复核这项活动的 TF 是不是真的 0；若不是，前面判关键路径就错了，得退回上一张表。
- 答“说明压缩没用，加人也没意义”：❌ 结论下早了。点评：不是压缩无效，是**压的位置失效**。数据上表现为“本路径短了、总工期没动”，只可能是别的路在卡着。

易错点 / 考点 ① 四步的**顺序**是考点，尤其“重算”必须在“权衡”之前；② “先压关键路径”是压缩的第一原则，压非关键活动一律不得分；③ 压缩属于**变更**，必须走变更流程、更新进度基准——这条和下一讲的 5.7 控制进度直接接上；④ 案例题里若只写“加班赶工”不写“重算验证”，最多给一半分。

过渡 *规矩讲完了，现场演一遍——压 C 1 天，看看账面上到底赚了几天。*

8.36 压缩重算：压 C 1 天，为什么只快了 1 天（6 分钟）

口播 · 可照读

给核心结算模块加 1 人并行做一部分，**C 从 6 天压到 5 天**，其余活动不动。压完第一件事不是庆祝，是全图重推。

看表，一行一行对。A、B 不动。C 从 8 到 14 变成 **8 到 13**。D 还是 8 到 11、E 还是 11 到 13，但它们的 TF **从 1 变成 0**。F 的最早开始由 14 提前到 13，F 变成 13 到 18；G 18 到 22；H 22 到 27——**总工期 28 变 27**。

收获是 1 天。真收益，但**只有 1 天**。为什么不是更多？因为另一条路已经顶到 27 了：A→B→D→E→F→G→H，3 加 5 加 3 加 2 加 5 加 4 加 5，也是 27。**关键路径从 1 条变成 2 条**，D 和 E 的时差被这一压彻底吃光。

再看那个汇合点 F。F 的紧前是 C 和 E，F 的最早开始等于两者 EF 里大的那个。压之前是 max(14, 13) 等于 14，由 C 说了算；压之后是 max(13, 13) 等于 13，**两边打平**。打平意味着什么？意味着 C 再快也没用，F 还得等 E。这就是汇合取大在压缩场景里的复现，也是判断“还能不能再压”的唯一依据。

所以接着压 C 会怎样：C 从 5 压到 4，C 变成 8 到 12，第一条路只剩 26 天；但 F 的最早开始仍是 max(12, 13) 等于 13，被 E 的 13 死死卡住，第二条路还是 27，**总工期还是 27**。这一压白花，C 自己反而多出 1 天时差。

还有一处细节别放过：C 压短之后，C 自己的 TF 仍然是 0——它还是关键活动，只是它已经不是唯一的瓶颈了。关键活动不等于瓶颈，这两件事第一次在这里分开。

把这件事收成一句能算的话：**压缩的收益，等于“压掉的天数”和“本路径与次长路径的差”里小的那个。** 本题压 1 天、差 1 天，收益是 1；第二次压 1 天、差 0 天，收益是 0。这就是“为什么只快 1 天”的答案——**那 1 天不是压缩挣来的，是另一条路的时差刚好有 1 天，白送给你的额度。**

记住这个数：**1 天**。它是这张网络在 C 这一侧的全部压缩上限。

这个账在现实里非常贵。假设赶工 1 天的代价是 6 千元，你按“压 3 天快 3 天”去报价，客户答应得很快，可你到第 3 天才发现只快了 1 天，剩下的钱等于白花，交付日却改不回去了。所以承诺之前必须重算，算完再说话。

板书 压 C 6→5 ｜ C 8–14 → **8–13** ｜ F 14–19 → **13–18** ｜ G 19–23 → **18–22** ｜ H 23–28 → **22–27** ｜ 总工期 **28 → 27** ｜ D、E 的 TF：1 → **0** ｜ 第二关键路径 **A→B→D→E→F→G→H＝27** ｜ 再压 C：F 的 $ES = \max(12, 13) = 13$ 仍被 E 卡住 → **仍 27**（白压） ｜ 收益＝min（压掉的天数，与次长路的差）＝min(1,1)=1；min(1,0)=0

提问 领导说“既然 C 压 1 天就快 1 天，那再压 2 天，是不是就快 3 天、25 天交付？”

预设回答

- 答“不是，多压没用，另一条路卡住了”：✅ 正确。请他把数字说出来：C 压到 4，第一条路 26，第二条路 27，工期 27。**第二刀开始，收益是 0。**
- 答“是，压多少快多少，线性关系”：❌ 这是最危险的直觉。点评：线性只在**这一条路还是唯一最长路**时成立；一旦打平，收益立刻归零。项目管理里大量承诺失准，就是拿线性外推当依据。
- 答“得先看压 C 还要花多少钱、有没有风险”：✅ 思路很完整。补一句：这时已经不是“能不能压”的问题，而是“压别处值不值”的问题——按四步闭环，回头找新的关键路径再权衡。

易错点 / 考点 ① **压 1 天不等于快 1 天**——收益取决于另一条路还有多少余量，这是本节的总纲；② 压后必须重算 **F 的 ES＝max(EF_C, EF_E)**，这是汇合取大在压缩场景的复现，也是判断“还能不能再压”的唯一依据；③ D、E 的 TF 由 1 变 **0**，意味着从此它们一天都不能拖，监控要立刻升级；④ 期末案例题标准答法四步：重算表格 → 指出新总工期 → 指出第二关键路径 → 说明再压无效的原因。

【思政落点】（实事求是）：对客户承诺“提前 5 天”，依据只能是**重算后的表**，不能是“我们加加班应该行”。压不动就如实说清额度只有 1 天，并给出替代方案；含糊承诺、到期再解释，最后透支的是交付信誉。落到同学们自己的小组项目：改交付日期前，先把手算表重推一遍，把“能提前几天”写成数字再报，而不是先答应再想办法。

过渡 *时间这一维讲完了，接下来换一维——资源不够的时候，进度会怎样？*

8.37 资源平衡：动了关键路径，工期可能变长（1.5 分钟）

口播 · 可照读

本页为课后拓展，课上可跳过。 这一页讲资源优化里的第一种：**资源平衡**。

它的定义是：资源受限时，通过调整活动的开始和完成时间，把资源供给与需求拉平。适用于三种情形——资源只在特定时间可用、资源数量有限、已经出现过度分配。三种情形说的其实是一件事：人不够，或者人在某些天不在。

看图 5-12。左边是调整前：C 做完之后，E 和 F 同时进行，两条并行支路再汇入 H。右边是调整后：E 做完再做 F，串起来，再进 H。为什么这么改？因为 E 和 F 都要张工一个人干，同时接就是超负荷——一个人不可能同时在两条支路上。

代价立刻出现：关键路径从 C→E→H 变成 **C→E→F→H**，总工期从 3 加 8 加 6 等于 17 天，拉长到 3 加 8 加 7 加 6 等于 **24 天**，多出 7 天。所以资源平衡的实质是**用时间换可行**，交付日必须重新评审。

再往深一层：平衡为什么总会动到关键路径？因为要拉平的往往是并行支路，而并行支路里通常有一条正踩在关键路径上。你把它往后串，关键路径自然跟着改。所以做平衡之前先把关键路径标出来，平衡之后再标一次；两次标出来的不一样，就是交付日要重谈的信号。

也正因为它要拿工期去换，实际项目里一般不作为首选，只有当资源真的排不开、又没法加人的时候才用。

提醒一句：这一组是另一套示例数据，四个活动，只用来单独看这一招，**别和例题 1 的八个活动混着算**。判断标准很简单：平衡动的是时间安排，代价可能是总工期。

板书 资源平衡＝资源受限时**拉平供需** ｜ 适用：资源限定可用／数量有限／已过度分配 ｜ 图 5-12：E(8)、F(7) 并行 → **先 E 后 F 串行** ｜ 关键路径 C→E→H → **C→E→F→H** ｜ 工期 17 → **24 天**（+7） ｜ 另一套示例数据，勿与例题 1 混算

提问 如果因为资源平衡工期从 17 天变成 24 天，这个结果要通知谁？

预设回答

- 答“通知客户，交付日要改”：✅ 方向对。补齐一句：改交付日等于变更进度基准，要走变更流程，而不是口头通知。
- 答“自己内部调一调就行”：❌ 点评：工期一改，合同交付日、后续采购与验收窗口全部受牵连，这是基准级变更。
- 答“先看能不能加人，避免拉长”：✅ 很实际。这正是“平衡”与“赶工”的取舍：加人也要钱，两笔账一起算。

易错点 / 考点 ① 资源平衡**可能改变关键路径、可能延长工期**，这两个“可能”是考点；② 它的前提是**资源受限或已过度分配**，不是“想更省事”；③ 案例题里凡出现“一人同时被安排两项活动”，标准答案就是资源平衡或资源平滑，先看影不影响工期再选词。

过渡 *平衡的代价是工期，那有没有不动工期的办法？有，资源平滑。*

8.38 资源平滑：削峰不延时（2 分钟）

口播 · 可照读

本页为课后拓展，课上可跳过。 第二种：**资源平滑**。

它只动**非关键活动**的起止时间，而且只在自由时差和总时差之内挪，目的是把资源需求曲线削平。关键差别在于：它**不改变关键路径，也不延长总工期**。这两句是它和资源平衡最硬的分界。

看图 5-13 的数据。调整前 E、F、G 三项并行：E 要 8 天、5 个人；F 要 5 天、3 个人；G 要 3 天、2 个人。三项一起开工，总工期 8 天，但前 8 天同时要 5 加 3 加 2 等于 **10 个人**。调整后：E 和 F 先并行，F 干完把释放的人手给 G，G 顺延到第 6 天开始。总工期还是 **8 天**；高峰人数变成前 5 天 5 加 3 等于 8 人、后 3 天 5 加 2 等于 7 人，高峰降到 **8 人**。总人天没变，还是 **61 人天**——40 加 15 加 6。

再补一个常被忽略的点：平滑的收益不在工期，而在资源利用率。峰值从 10 人降到 8 人，意味着不必为那 2 个人去借调、外包或者临时招人，也不必让他们在峰值那几天闲着。这笔账算的是成本与可行性，不是进度。

这里有个数要看清：G 只有 3 天工期，而整个窗口有 8 天，所以它有 5 天时差。挪到第 6 天开始，正好把这 5 天用光，一天不剩——再往后挪一天，工期就变 9 天了。这就是“时差之内”这条边界的真实样子。

一句话分开记：**平衡是资源不够，只能拉长；平滑是有富余时段，把活挪过去削峰**。前者动工期，后者不动工期，这是两者最硬的界线。

风险也留一句：挪过头会吃光时差，把非关键活动挪成关键活动。那时候名义上还叫平滑，实质上已经在改关键路径了。

板书 资源平滑＝只挪**非关键活动**，只在**时差内**挪 ｜ 图 5-13：E(8天/5人)、F(5天/3人)、G(3天/2人) ｜ 调整前高峰 5+3+2=**10 人** → 调整后高峰 **8 人** ｜ 总工期 8 → **8 天（不变）** ｜ 总人天 **61（不变）** ｜ 界线：平衡改关键路径且可能延长工期；平滑不改路径、不延工期

提问 既然资源平滑不影响工期，是不是任何活动都可以随便往后挪？

预设回答

- 答“不行，只能在时差内挪”：✅ 正确。追一句：“挪到什么程度就危险了？”——挪到时差归零，这项活动就变成关键活动，从“可以挪”变成“一天都不能拖”。
- 答“可以，反正总工期不变”：❌ 点评：挪出时差范围，总工期立刻就变。平滑的“不延时”是有条件的，条件就是**在时差之内**。
- 答“关键活动也能挪，只要人够”：❌ 关键活动一挪，总工期直接顺延，那已经不是平滑，是资源平衡甚至延误了。

易错点 / 考点 ① 两者最容易对调：**平衡动关键路径、可能延期；平滑不动路径、不延期**，选择题基本就考这一句；② 平滑的对象必须是**非关键活动**，且在**时差之内**；③ “削峰”削的是**人数峰值**，不是总人天——本例总人天 61 一天没少，只是不再挤在同一时段；④ 案例题若问“如何在不延长工期前提下降低资源峰值”，答资源平滑。

过渡 *两页拓展先放一放，回到主线——给你们一张新网络，六项活动，从画图到判关键路径，全部自己走一遍。*

8.39 课堂练习：六活动网络填空（5 分钟）

口播 · 可照读

课堂练习，六个活动，还是结算系统的接口改造。活动、紧前、工期都在表里：**A 接口清单与报文规范确认 4 天**，没有紧前；**B 报文校验组件开发 3 天**，紧前 A；**C 结算接口改造 6 天**，紧前 A；**D 组件单元测试与自测 2 天**，紧前 B；**E 接口集成联调 3 天**，紧前 C 和 D；**F 回归测试与上线检查 4 天**，紧前 E。

先看清结构：A 之后分叉，一条走 B，一条走 C；B 后面接 D；到 E 这里又汇合，然后 F 收口。所以这张图有两个特征：一个分叉点、一个汇合点。

画图有个小要求：A 后面要分成上下两条支路，B 在上、C 在下，到 E 再合回来。图画对了，哪里取大、哪里取小一眼就能看出来；图画成一行，取大取小全靠脑补。

三个要求。**第一，先画图再填表**：节点上排 ES、工期、EF，下排 LS、TF、LF；按图填，别在表上跳着算。**第二，两遍走完**：正推一遍填 ES 和 EF，汇合取大；逆推一遍填 LS 和 LF，分叉取小；不许跳步。**第三，判出关键路径后写理由**——是最长的路径，还是 TF 等于 0 的链。

给三个提示。**第一，第一步永远先算 ES**，从左往右；先算 LS 的人，全是从“猜一个 LF”开始的，最后一定对不上。**第二，E 有两个紧前**，C 和 D，正推到这里必须取大，这是本题唯一的汇合点，也是唯一的坎。**第三，六项活动里有两项带时差**，填完自查一句：它俩的 TF 一样，FF 也一样吗？

这张表就是期末计算题的基本盘：能独立填完、还能说清取大取小的理由，计算题这一半的分就稳了。

5 分钟够做一遍正推加一遍逆推；做不完，多半是还在表上跳着算。做完同桌交换，下一页对答案、按标准互评。

板书 A 4（—）· B 3（A）· C 6（A）· D 2（B）· E 3（C、D）· F 4（E） | 要求：① 先画图 ② 正推＋逆推两遍走完 ③ 关键路径写理由 | 三个提醒：先算 ES ／ E 是唯一汇合点取大 ／ 两项带时差（TF 同、FF 是否同）

提问 动笔之前先答一句——第一步先算哪一格：LS、ES，还是 TF？

预设回答

- 答“先算 ES”：✅ 正确。理由要说全：正推从左往右把 ES、EF 填满，逆推才有起点，TF 最后用 LS 减 ES 减出来。
- 答“先算 LS”：❌ 点评：LS 要靠 LF 倒推，而 LF 来自紧后的 LS——一个都还没有的时候算 LS，只能靠猜。
- 答“先算 TF，时差最关键”：❌ TF 是两条线都走完才有的结果，先算它等于跳过过程直接要答案。

易错点 / 考点 ① 直接在表上跳着算，是本题最大的坑——**没有图，取大取小一定错**；② E 的 ES 要取 max(10, 9)，只抄 C 的 10 恰好对、抄 D 的 9 就错，属于“蒙对”，讲评时要点出来；③ 时差有两项，别只找出一项就收工；④ 关键路径要按箭头顺序连起来写，不能只写“A、C、E、F”四个字母。

过渡 *时间到，同桌交换。下一页对答案，重点看两处最容易扣分的地方。*

8.40 练习答案与互评标准（5 分钟）

口播 · 可照读

先对答案。**A**：ES 0、EF 4、LS 0、LF 4，TF 和 FF 都是 0。**B**：4 到 7，LS 5、LF 8，TF 1，FF 0。**C**：4 到 10，LS 4、LF 10，两个时差都是 0。**D**：7 到 9，LS 8、LF 10，TF 1，FF 1。**E**：10 到 13，全 0。**F**：13 到 17，全 0。

关键路径 **A→C→E→F**，总工期 **17 天**，4 加 6 加 3 加 4。次长的那条是 A→B→D→E→F，16 天，只差 1 天——所以 B 和 D 这两项，看着是旁支，其实一拖就顶上来。

两处最容易扣分。**第一处，B 的 FF 是 0，不是 1**：B 一完，D 立刻开始，中间没有空隙，B 拖一天 D 就晚一天。**第二处，D 的 TF 是 1，但 FF 也是 1**：D 第 9 天就干完了，E 要等 C 到第 10 天，中间空 1 天，这 1 天 D 可以自己用。这两处正好把前面 D 和 E 那对例子反过来演了一遍——同是 TF 等于 1，FF 一个 0、一个 1。

17 天这个数还有个含义：次长路只有 16 天，两条路差 1 天，说明这张网络几乎没有余量。真到执行，关键活动拖 2 天，交付日立刻动；旁支拖 2 天，也会把时差吃光、顶上来当新的关键路径。这不是巧合，是“旁支只差一点点”这类网络的通病。

表还可以反查自洽：把每行的 EF 减 ES、LF 减 LS 都算一遍，两列对得上，说明正推逆推没有互相打架；有一行对不上，就回到那一行上游去找取大还是取小出了错。

互评按五项打分：正推、逆推、TF、FF、关键路径。TF 要用两种算法互检；FF 要逐个用紧后的最早开始减本活动的 EF；末活动 FF 等于 TF。常见失分表里都列着，请把同桌错的项圈出来，不要只写个分数。

这张表全班都应该能填完，差别只在两处时差；把这两处讲明白，比多做十道题有用。

最后一道思考题：**B 延误 2 天，总工期变成多少？** 答案 **18 天**。B 的 TF 只有 1，吸掉 1 天，多出的 1 天顺着 D、E、F 直接推到项目结束。再问一句：D 自己延误 2 天呢？也是 18 天。但这两项不能各拖 1 天就当没事——**它们共用这条支路的同 1 天时差**，B 先花 1 天、D 再花 1 天，支路累计 2 天，工期照样到 18 天。

互评时还有一个动作请务必做：让对方**口述**关键路径的理由。数字可以对上、理由说不清，说明是背下来的，换一道题就废。

课后：把这张表不看答案重做一遍，交给同桌按标准互评。

板书 答案：A 0/4 · 0/4 · 0/0 | B 4/7 · 5/8 · **1/0** | C 4/10 · 4/10 · 0/0 | D 7/9 · 8/10 · **1/1** | E 10/13 · 10/13 · 0/0 | F 13/17 · 13/17 · 0/0 | 关键路径 **A→C→E→F＝17 天** | 两处易扣：B 的 FF=0；D 的 TF=FF=1 | 互评五项：正推 · 逆推 · TF · FF · 关键路径 | B 延误 2 天 → **18 天**（TF=1 只吸收 1 天）

提问 B 延误 2 天，工期只多 1 天——那是不是说明“有 1 天时差就能挡住 2 天的延误”？

预设回答

- 答“不是，时差只能挡住 1 天”：✅ 正确。追问：“那多出来的 1 天去哪了？”——直接传到项目终点，因为 B 的紧后 D、E、F 一路串联，没有别的余量可吸。
- 答“是，时差就是保险”：⚠️ 半对。时差确实是缓冲，但**缓冲有额度**：1 天就是 1 天，超出的部分原样传导。
- 答“不知道，要看后面有没有时差”：✅ 这是最完整的思路。若 D 后面还有富余，多出的 1 天可能被吸收；本题没有，所以全额传导。

易错点 / 考点 ① **FF 抄 TF**——B 会被写成 1（错），D 恰好对，这种“一半对”最难自查；② 逆推分叉处 A 的 LF 要写 min(5, 4) 等于 4，写成 5 就是取大错；③ 关键路径必须连成链、给出理由（最长／TF=0）；④ 延迟传导题的标准思路：**先比延误天数与 TF，再看下游还有没有时差可吸**；⑤ 期末这类题的基本盘就是“表自洽”：EF 减 ES 必须等于 LF 减 LS，不自洽先查自己。

过渡 *计划算得再漂亮，执行中一样会落后。下一讲进入 **5.7 控制进度**——计划做出来之后，怎么盯住它、落后了怎么办、变更怎么走。*

口播 · 可照读

四、板书设计（建议）

```
┌──────────────────────────┬──────────────────────────┬──────────────────────────┐
│ ① 公式区（左）           │ ② 例题 1 网络（中，主）  │ ③ 时差与压缩（右）       │
│                          │                          │                          │
│ 三点估算：               │ A3 → B5 → C6 → F5 → G4 → H5 │ TF＝LS−ES＝LF−EF      │
│ T_E=(O+4M+P)/6           │ └→ D3 → E2 ↗             │ FF＝min(紧后ES)−EF       │
│ σ=(P−O)/6                │                          │                          │
│                          │ 正推：EF=ES+d，汇合取大  │ D：TF=1、FF=0            │
│ 正推：EF=ES+d            │ 逆推：LS=LF−d，分叉取小  │ E：TF=FF=1               │
│ 逆推：LS=LF−d            │                          │                          │
│ 汇合取大 / 分叉取小      │ 关键路径 A→B→C→F→G→H，   │ 压缩：赶工 vs 快速跟进   │
│                          │ 总工期 28 天             │ 压 C 1 天 → 27 天，      │
│                          │                          │ 长出第二条关键路径       │
└──────────────────────────┴──────────────────────────┴──────────────────────────┘
```

五、常见学生疑问与应答

学生可能问	应答要点
逆推为什么"取小"，正推却"取大"？	正推算"最早能什么时候完成"，被多条紧前卡住时要等最晚的那个 → 取大；逆推算"最迟什么时候必须开始"，被多条紧后拖住时要照顾最早的那个 → 取小
TF 和 FF 到底差在哪？	TF 是"这个活动能拖多久而不影响**总工期**"，FF 是"能拖多久而不影响**紧后活动的最早开始**"。所以 FF ⩽ TF，且只有紧后不在关键路径上时两者才会不等
关键路径只有一条吗？	不一定。压 C 1 天后就出现两条（都是 27 天），这时任一条延误都会拖总工期，必须同时盯
为什么压完还要重算？	因为你只改了关键路径上的一处，但网络里其他支路的时差会跟着变——可能一夜之间"长出"新的关键路径，你的压缩收益就被吃掉了
三点估算能不能直接取平均？	不能。$(O+M+P)/3$ 把"最可能"和两个极端等同看待；$O+4M+P$ 的加权才体现"最可能是常态"
标准差算出来有什么用？	它衡量**不确定性**：σ 越大说明这个估算越"虚"。项目层面用 $\sqrt{\sum \sigma_i^2}$ 合成，可以给"某天前完成的概率"

六、作业与下节预告

课后作业（计入作业 20%，学习通发布）

1. **计算题 2 道**（题号以教材为准；或把例题 1 增减 1 个活动后重算关键路径与时差），**必须保留手算过程**。
2. **口算题**：三点估算 3 组数据（含 1 组 σ 比较），写出期望值与标准差。
3. **压缩判断题**：给一个已压过的网络，判断"再压同一活动是否还有效"，并说明理由。
4. ▲ **课外自主实践（选做）**：完成**教材实验 3 任务②——用 ProjectLibre 复现例题 1，与手算对照**（300 字内说明差异）。

下节预告：第 9 次课讲**控制进度**——计划做好了，执行中落后怎么办：绩效审查、偏差与趋势分析、关键路径监控、燃尽图，以及**开发方法和生命周期绩效域**；再用例题 1 做一次完整演练：C 延期 4 天、交付日不变，怎么压缩、怎么重算、怎么更新基准。

课外阅读（★课后拓展页）：8.37 资源平衡（可能拉长工期）、8.38 资源平滑（削峰不延时）。