

第二章 工程设计、施工方案技术经济分析

本章基本知识点：

1. 设计方案评价指标与评价方法；
2. 施工方案评价指标与评价方法；
3. 综合评价法在设计、施工方案评价中的应用；
4. 价值工程在设计、施工方案评价中的应用；
5. 寿命周期费用理论在方案评价中的应用；
6. 工程网络进度计划时间参数的计算，进度计划的调整与优化。

【案例一】

背景：

某六层单元式住宅共 54 户，建筑面积为 3 949.62m²。原设计方案为砖混结构，内、外墙均为 240mm 砖墙。现拟定的新方案为内浇外砌结构，外墙做法不变，内墙采用 C20 钢筋混凝土浇筑。新方案内横墙厚为 140mm，内纵墙厚为 160mm，其他部位的做法、选材及建筑标准与原方案相同。

两方案各项指标见表 2-1。

表 2-1 设计方案指标对比表

设计 方 案	建筑面积 (m ²)	使用面积 (m ²)	概算总额 (元)
砖混结构	3 949.62	2 797.20	4 163 789.00
内浇外砌结构	3 949.62	2 881.98	4 300 342.00

问题：

1. 请计算两方案如下技术经济指标：
 - (1) 两方案建筑面积、使用面积单方造价各为多少？每平方米差价多少？
 - (2) 新方案每户增加使用面积多少平方米？多投入多少元？

2. 若作为商品房,按使用面积单方售价 5 647.96 元出售,两方案的总售价相差多少?

3. 若作为商品房,按建筑面积单方售价 4 000 元出售,两方案折合使用面积单方售价各为多少元?相差多少?

分析要点:

本案例主要考核利用技术经济指标对设计方案进行比较和评价,要求能准确计算各项指标值,并能根据评价指标进行设计方案的分析比较。

答案:

问题 1:

解:

1. 两方案的建筑面积、使用面积单方造价及每平方米差价见表 2-2。

表 2-2 建筑面积、使用面积单方造价及每平方米差价计算表

方案	建 筑 面 积		使 用 面 积	
	单方造价(元/m ²)	差价(元/m ²)	单方造价(元/m ²)	差价(元/m ²)
砖混结构	$4\,163\,789/3\,949.62 = 1\,054.23$	34.57	$4\,163\,789/2\,797.20 = 1\,488.56$	3.59
内浇外砌结构	$4\,300\,342/3\,949.62 = 1\,088.80$		$4\,300\,342/2\,881.98 = 1\,492.15$	

由表 2-2 可知,按单方建筑面积计算,新方案比原方案每平方米高出 34.57 元;而按单方使用面积计算,新方案则比原方案高出 3.59 元。

2. 每户平均增加的使用面积为: $(2\,881.98 - 2\,797.20) / 54 = 1.57 \text{ (m}^2\text{)}$

每户多投入: $(4\,300\,342 - 4\,163\,789) / 54 = 2\,528.76 \text{ (元)}$

折合每平方米使用面积单价为: $2\,528.76 / 1.57 = 1\,610.68 \text{ (元/m}^2\text{)}$

计算结果是每户增加使用面积 1.57 m^2 , 每户多投入 2 528.76 元。

问题 2:

解: 若作为商品房按使用面积单方售价 5 647.96 元出售, 则

$$\begin{aligned} \text{总销售差价} &= 2\,881.98 \times 5\,647.96 - 2\,797.20 \times 5\,647.96 \\ &= 478\,834 \text{ (元)} \end{aligned}$$

$$\text{总销售额差率} = 478\,834 / (2\,797.20 \times 5\,647.96) = 3.03\%$$

问题 3:

解: 若作为商品房按建筑面积单方售价 4 000 元出售, 则两方案的总售价均为:

$$3\,949.62 \times 4\,000 = 15\,798\,480 \text{ (元)}$$

折合成使用面积单方售价:

$$\text{砖混结构方案: 单方售价} = 15\,798\,480 / 2\,797.20 = 5\,647.96 \text{ (元/m}^2\text{)}$$

$$\text{内浇外砌结构方案: 单方售价} = 15\,798\,480 / 2\,881.98 = 5\,481.81 \text{ (元/m}^2\text{)}$$

在保持销售总额不变的前提下,按使用面积计算,两方案

$$\text{单方售价差额} = 5\,647.96 - 5\,481.81 = 166.15 \text{ (元/m}^2\text{)}$$

$$\text{单方售价差率} = 166.15 / 5\,647.96 = 2.94\%$$

【案例二】

背景：

某汽车制造厂选择厂址，对三个申报城市 A、B、C 的地理位置、自然条件、交通运输、经济环境等方面进行考察，综合专家评审意见，提出厂址选择的评价指标有：市政基础设施及辅助工业的配套能力、当地的劳动力文化素质和技术水平、当地经济发展水平、交通运输条件、自然条件。

经专家评审确定以上各指标的权重，并对该三个城市各项指标进行打分，其具体数值见表 2-3。

表 2-3 各选址方案评价指标得分表

X	Y	选址方案得分		
		A 市	B 市	C 市
配套能力	0.3	85	70	90
劳动力资源	0.2	85	70	95
经济水平	0.2	80	90	85
交通运输条件	0.2	90	90	80
自然条件	0.1	90	85	80
Z				

问题：

- 1. 表 2-3 中的 X、Y、Z 分别代表的栏目名称是什么？
- 2. 试作出厂址选择决策。

分析要点：

本案例要求掌握评价指标体系的设计与内容，熟练运用综合评价法。综合评价法是对需要进行分析评价的方案设定若干个评价指标并按其重要程度分配权重，然后按评价标准给各指标打分。将各项指标所得分数与其权重相乘并汇总，便得出各方案的评价总分，以获总分最高者为最佳方案的方法。

答案：

问题 1：

答：X 为评价指标，Y 为各评价指标的权重，Z 为各方案的综合得分（或加权得分）。

问题 2：

解：各方案的综合得分等于各方案的各指标得分与该指标的权重的乘积之和。计算结果见表 2-4。

表 2-4

综合评价计算表

评价指标	权重	选址方案得分		
		A 市	B 市	C 市
配套能力	0.3	$85 \times 0.3 = 25.5$	$70 \times 0.3 = 21.0$	$90 \times 0.3 = 27.0$
劳动力资源	0.2	$85 \times 0.2 = 17.0$	$70 \times 0.2 = 14.0$	$95 \times 0.2 = 19.0$
经济水平	0.2	$80 \times 0.2 = 16.0$	$90 \times 0.2 = 18.0$	$85 \times 0.2 = 17.0$
交通运输条件	0.2	$90 \times 0.2 = 18.0$	$90 \times 0.2 = 18.0$	$80 \times 0.2 = 16.0$
自然条件	0.1	$90 \times 0.1 = 9.0$	$85 \times 0.1 = 8.5$	$80 \times 0.1 = 8.0$
综合得分		85.5	79.5	87.0

根据表 2-4 的计算结果可知, C 市的综合得分最高, 因此, 厂址应选择在 C 市。

【案例三】

背景:

某市高新技术开发区一幢综合楼项目征集了 A、B、C 三个设计方案, 其设计方案对比项目如下:

A 方案: 结构方案为大柱网框架轻墙体系, 采用预应力大跨度叠合楼板, 墙体材料采用多孔砖及移动式可拆装式分室隔墙, 窗户采用中空玻璃塑钢窗, 面积利用系数为 93%, 单方造价为 1 438 元/ m^2 ;

B 方案: 结构方案同 A 方案, 墙体采用内浇外砌, 窗户采用单玻塑钢窗, 面积利用系数为 87%, 单方造价为 1 108 元/ m^2 ;

C 方案: 结构方案采用砖混结构体系, 采用多孔预应力板, 墙体材料采用标准粘土砖, 窗户采用双玻塑钢窗, 面积利用系数为 79%, 单方造价为 1 082 元/ m^2 。

方案各功能的权重及各方案的功能得分见表 2-5。

表 2-5

方案功能的权重及得分表

方案功能	功能权重	方案功能得分		
		A	B	C
结构体系	0.25	10	10	8
模板类型	0.05	10	10	9
墙体材料	0.25	8	9	7
面积系数	0.35	9	8	7
窗户类型	0.10	9	7	8

问题：

1. 试应用价值工程方法选择最优设计方案。
2. 为控制工程造价和进一步降低费用，拟针对所选的最优设计方案的土建工程部分，以工程材料费为对象开展价值工程分析。将土建工程划分为四个功能项目，各功能项目评分值及其目前成本见表 2-6。按限额设计要求，目标成本额应控制为 12 170 万元。

表 2-6 功能项目评分及目前成本表

功 能 项 目	功 能 评 分	目前成本（万元）
A. 桩基围护工程	10	1 520
B. 地下室工程	11	1 482
C. 主体结构工程	35	4 705
D. 装饰工程	38	5 105
合 计	94	12 812

试分析各功能项目的目标成本及其可能降低的额度，并确定功能改进顺序。

分析要点：

问题 1 考核运用价值工程理论进行设计方案评价的方法、过程和原理。

问题 2 考核运用价值工程理论进行设计方案优化和工程造价控制的方法。

价值工程要求方案满足必要功能，清除不必要功能。在运用价值工程对方案的功能进行分析时，各功能的价值指数有以下三种情况：

(1) $VI = 1$ ，说明该功能的重要性与其成本的比重大体相当，是合理的，无需再进行价值工程分析；

(2) $VI < 1$ ，说明该功能不太重要，而目前成本比重偏高，可能存在过剩功能，应作为重点分析对象，寻找降低成本的途径；

(3) $VI > 1$ ，出现这种结果的原因较多，其中较常见的是：该功能较重要，而目前成本偏低，可能未能充分实现该重要功能，应适当增加成本，以提高该功能的实现程度。

各功能目标成本的数值为总目标成本与该功能功能指数的乘积。

答案：**问题 1：**

解：分别计算各方案的功能指数、成本指数和价值指数，并根据价值指数选择最优方案。

1. 计算各方案的功能指数，如表 2-7 所示。

表 2-7

功能指数计算表

方案功能	功能权重	方案功能加权得分		
		A	B	C
结构体系	0.25	$10 \times 0.25 = 2.50$	$10 \times 0.25 = 2.50$	$8 \times 0.25 = 2.00$
模板类型	0.05	$10 \times 0.05 = 0.50$	$10 \times 0.05 = 0.50$	$9 \times 0.05 = 0.45$
墙体材料	0.25	$8 \times 0.25 = 2.00$	$9 \times 0.25 = 2.25$	$7 \times 0.25 = 1.75$
面积系数	0.35	$9 \times 0.35 = 3.15$	$8 \times 0.35 = 2.80$	$7 \times 0.35 = 2.45$
窗户类型	0.10	$9 \times 0.10 = 0.90$	$7 \times 0.10 = 0.70$	$8 \times 0.10 = 0.80$
合 计		9.05	8.75	7.45
功能指数		$9.05/25.25 = 0.358$	$8.75/25.25 = 0.347$	$7.45/25.25 = 0.295$

注：表 2-7 中各方案功能加权得分之和为： $9.05 + 8.75 + 7.45 = 25.25$

2. 计算各方案的成本指数，如表 2-8 所示。

表 2-8

成本指数计算表

方 案	A	B	C	合 计
单方造价 (元/m ²)	1 438	1 108	1 082	3 628
成本指数	0.396	0.305	0.298	0.999

3. 计算各方案的价值指数，如表 2-9 所示。

表 2-9

价值指数计算表

方 案	A	B	C	合 计
功能指数	0.358	0.347	0.295	
成本指数	0.396	0.305	0.298	
价值指数	0.904	1.138	0.990	

由表 2-9 的计算结果可知，B 设计方案的价值指数最高，为最优方案。

问题 2：

解：根据表 2-6 所列数据，对所选定的设计方案进一步分别计算桩基围护工程、地下室工程、主体结构工程和装饰工程的功能指数、成本指数和价值指数；再根据给定的总目标成本额，计算各工程内容的目标成本额，从而确定其成本降低额度。具体计算结果汇总见表 2-10。

表 2-10 功能指数、成本指数、价值指数和目标成本降低额计算表

功能项目	功能评分	功能指数	目前成本 (万元)	成本指数	价值指数	目标成本 (万元)	成本降低 额(万元)
桩基围护工程	10	0.1064	1 520	0.1186	0.8971	1 295	225
地下室工程	11	0.1170	1 482	0.1157	1.0112	1 424	58
主体结构工程	35	0.3723	4 705	0.3672	1.0139	4 531	174
装饰工程	38	0.4043	5 105	0.3985	1.0146	4 920	185
合计	94	1.0000	12 812	1.0000		12 170	642

由表 2-10 的计算结果可知,桩基围护工程、地下室工程、主体结构工程和装饰工程均应通过适当方式降低成本。根据成本降低额的大小,功能改进顺序依此为:桩基围护工程、装饰工程、主体结构工程、地下室工程。

【案例四】

背景:

某房地产公司对某公寓项目的开发征集到若干设计方案,经筛选后对其中较为出色的四个设计方案作进一步的技术经济评价。有关专家决定从五个方面(分别以 $F_1 \sim F_5$ 表示)对不同方案的功能进行评价,并对各功能的重要性达成以下共识: F_2 和 F_3 同样重要, F_4 和 F_5 同样重要, F_1 相对于 F_4 很重要, F_1 相对于 F_2 较重要;此后,各专家对该四个方案的功能满足程度分别打分,其结果见表 2-11。

据造价工程师估算,A、B、C、D 四个方案的单方造价分别为 1 420、1 230、1 150、1 360 元/ m^2 。

表 2-11 方案功能得分表

方 案 功 能	方案功能得分			
	A	B	C	D
F_1	9	10	9	8
F_2	10	10	8	9
F_3	9	9	10	9
F_4	8	8	8	7
F_5	9	7	9	6

问题:

1. 计算各功能的权重。

2. 用价值指数法选择最佳设计方案。

分析要点：

本案例主要考核 0-4 评分法的运用。本案例与案例三不同的是，在案例三中各功能因素的权重均是已知的，而本案例仅给出各功能因素重要性之间的关系，各功能因素的权重需要根据 0-4 评分法的计分办法自行计算。按 0-4 评分法的规定，两个功能因素比较时，其相对重要程度有以下三种基本情况：

- (1) 很重要的功能因素得 4 分，另一很不重要的功能因素得 0 分；
- (2) 较重要的功能因素得 3 分，另一较不重要的功能因素得 1 分；
- (3) 同样重要或基本同样重要时，则两个功能因素各得 2 分。

答案：

问题 1：

解：根据背景资料所给出的相对重要程度条件，各功能权重的计算结果见表 2-12。

表 2-12

功能权重计算表

	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	得 分	权 重
F_1	×	3	3	4	4	14	$14/40 = 0.350$
F_2	1	×	2	3	3	9	$9/40 = 0.225$
F_3	1	2	×	3	3	9	$9/40 = 0.225$
F_4	0	1	1	×	2	4	$4/40 = 0.100$
F_5	0	1	1	2	×	4	$4/40 = 0.100$
合 计						40	1.000

问题 2：

解：分别计算各方案的功能指数、成本指数、价值指数如下：

1. 计算功能指数

将各方案的各功能得分分别与该功能的权重相乘，然后汇总即为该方案的功能加权得分，各方案的功能加权得分为：

$$W_A = 9 \times 0.350 + 10 \times 0.225 + 9 \times 0.225 + 8 \times 0.100 + 9 \times 0.100 = 9.125$$

$$W_B = 10 \times 0.350 + 10 \times 0.225 + 9 \times 0.225 + 8 \times 0.100 + 7 \times 0.100 = 9.275$$

$$W_C = 9 \times 0.350 + 8 \times 0.225 + 10 \times 0.225 + 8 \times 0.100 + 9 \times 0.100 = 8.900$$

$$W_D = 8 \times 0.350 + 9 \times 0.225 + 9 \times 0.225 + 7 \times 0.100 + 6 \times 0.100 = 8.150$$

$$\begin{aligned} \text{各方案功能的总加权得分为 } W &= W_A + W_B + W_C + W_D \\ &= 9.125 + 9.275 + 8.900 + 8.150 = 35.45 \end{aligned}$$

因此，各方案的功能指数为：

$$F_A = 9.125/35.45 = 0.257$$

$$F_B = 9.275/35.45 = 0.262$$

$$F_C = 8.900/35.45 = 0.251$$

$$F_D = 8.150/35.45 = 0.230$$

2. 计算各方案的成本指数

各方案的成本指数为：

$$C_A = 1420 / (1420 + 1230 + 1150 + 1360) = 1420/5160 = 0.275$$

$$C_B = 1230/5160 = 0.238$$

$$C_C = 1150/5160 = 0.223$$

$$C_D = 1360/5160 = 0.264$$

3. 计算各方案的价值指数

各方案的价值指数为：

$$V_A = F_A/C_A = 0.257/0.275 = 0.935$$

$$V_B = F_B/C_B = 0.262/0.238 = 1.101$$

$$V_C = F_C/C_C = 0.251/0.223 = 1.126$$

$$V_D = F_D/C_D = 0.230/0.264 = 0.871$$

由于 C 方案的价值指数最大，所以 C 方案为最佳方案。

【案例五】

背景：

承包商 B 在某高层住宅楼的现浇楼板施工中，拟采用钢木组合模板体系或小钢模体系施工。经有关专家讨论，决定从模板总摊销费用 (F_1)、楼板浇筑质量 (F_2)、模板人工费 (F_3)、模板周转时间 (F_4)、模板装拆便利性 (F_5) 等五个技术经济指标对该两个方案进行评价，并采用 0-1 评分法对各技术经济指标的重要程度进行评分，其部分结果见表 2-13，两方案各技术经济指标的得分见表 2-14。

经造价工程师估算，钢木组合模板在该工程的总摊销费用为 40 万元，每平方米楼板的模板人工费为 8.5 元；小钢模在该工程的总摊销费用为 50 万元，每平方米楼板的模板人工费为 6.8 元。该住宅楼的楼板工程量为 2.5 万 m^2 。

表 2-13

指标重要程度评分表

	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5
F_1	×	0	1	1	1
F_2		×	1	1	1
F_3			×	0	1
F_4				×	1
F_5					×

表 2-14

指标得分表

方 案 指 标	钢木组合模板	小 钢 模
总摊销费用	10	8
楼板浇筑质量	8	10
模板人工费	8	10
模板周转时间	10	7
模板装拆便利性	10	9

问题：

1. 试确定各技术经济指标的权重（计算结果保留三位小数）。
2. 若以楼板工程的单方模板费用作为成本比较对象，试用价值指数法选择较经济的模板体系（功能指数、成本指数、价值指数的计算结果均保留两位小数）。
3. 若该承包商准备参加另一幢高层办公楼的投标，为提高竞争能力，公司决定模板总摊销费用仍按本住宅楼考虑，其他有关条件均不变。该办公楼的现浇楼板工程量至少要达到多少平方米才应采用小钢模体系（计算结果保留两位小数）？

分析要点：

本案例主要考核 0-1 评分法的运用和成本指数的确定。

问题 1 需要根据 0-1 评分法的计分办法将表 2-13 中的空缺部分补齐后再计算各技术经济指标的得分，进而确定其权重。0-1 评分法的特点是：两指标（或功能）相比较时，不论两者的重要程度相差多大，较重要的得 1 分，较不重要的得 0 分。在运用 0-1 评分法时还需注意，采用 0-1 评分法确定指标重要程度得分时，会出现合计得分为零的指标（或功能），需要将各指标合计得分分别加 1 进行修正后再计算其权重。

问题 2 需要根据背景资料所给出的数据计算两方案楼板工程量的单方模板费用，再计算其成本指数。

问题 3 应从建立单方模板费用函数入手，再令两模板体系的单方模板费用之比与其功能指数之比相等，然后求解该方程。

答案：

问题 1：

解：根据 0-1 评分法的计分办法，两指标（或功能）相比较时，较重要的指标得 1 分，另一较不重要的指标得 0 分。例如，在表 2-13 中， F_1 相对于 F_2 较不重要，故得 0 分（已给出），而 F_2 相对于 F_1 较重要，故应得 1 分（未给出）。各技术经济指标得分和权重的计算结果见表 2-15。

表 2-15

指标权重计算表

F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	得分	修正得分	权重	
F_1	×	0	1	1	1	3	4	$4/15 = 0.267$
F_2	1	×	1	1	1	4	5	$5/15 = 0.333$
F_3	0	0	×	0	1	1	2	$2/15 = 0.133$
F_4	0	0	1	×	1	2	3	$3/15 = 0.200$
F_5	0	0	0	0	×	0	1	$1/15 = 0.067$
合 计						10	15	1.000

问题 2:

解:

1. 计算两方案的功能指数, 结果见表 2-16。

表 2-16

功能指数计算表

技术经济指标	权重	钢木组合模板	小钢模
总摊销费用	0.267	$10 \times 0.267 = 2.67$	$8 \times 0.267 = 2.14$
楼板浇筑质量	0.333	$8 \times 0.333 = 2.66$	$10 \times 0.333 = 3.33$
模板人工费	0.133	$8 \times 0.133 = 1.06$	$10 \times 0.133 = 1.33$
模板周转时间	0.200	$10 \times 0.200 = 2.00$	$7 \times 0.200 = 1.40$
模板装拆便利性	0.067	$10 \times 0.067 = 0.67$	$9 \times 0.067 = 0.60$
合 计	1.000	9.06	8.80
功能指数		$9.06 / (9.06 + 8.80) = 0.51$	$8.80 / (9.06 + 8.80) = 0.49$

2. 计算两方案的成本指数

钢木组合模板的单方模板费用为: $40/2.5 + 8.5 = 24.5$ (元/ m^2)

小钢模的单方模板费用为: $50/2.5 + 6.8 = 26.8$ (元/ m^2)

则

钢木组合模板的成本指数为: $24.5 / (24.5 + 26.8) = 0.48$

小钢模的成本指数为: $26.8 / (24.5 + 26.8) = 0.52$

3. 计算两方案的价值指数

钢木组合模板的价值指数为: $0.51/0.48 = 1.06$

小钢模的价值指数为: $0.49/0.52 = 0.94$

因为钢木组合模板的价值指数高于小钢模的价值指数, 故应选用钢木组合模板体系。

问题 3:

解: 单方模板费用函数为: $C = C_1/Q + C_2$

式中: C —— 单方模板费用 (元/ m^2)

C_1 —— 模板总摊销费用 (万元)

C_2 ——每平方米楼板的模板人工费 (元/ m^2)

Q ——现浇楼板工程量 (万 m^2)

则

钢木组合模板的单方模板费用为: $C_2 = 40/Q + 8.5$

小钢模的单方模板费用为: $C_x = 50/Q + 6.8$

令该两模板体系的单方模板费用之比 (即成本指数之比) 等于其功能指数之比, 有:
 $(40/Q + 8.5)/(50/Q + 6.8) = 0.51/0.49$

即

$$51(50 + 6.8Q) - 49(40 + 8.5Q) = 0$$

所以, $Q = 8.46$ 万 m^2

因此, 该办公楼的现浇楼板工程量至少达到 8.46 万 m^2 才应采用小钢模体系。

【案例六】

背景:

某特大城市为改善目前已严重拥堵的长为 20km 的城市主干道的交通状况, 拟投资建设一交通项目, 有地铁、轻轨和高架道路三个方案。该三个方案的使用寿命均按 50 年计算, 分别需每 15 年、10 年、20 年大修一次。单位时间价值为 10 元/小时, 基准折现率为 8%, 其他有关数据见表 2-17。

不考虑建设工期的差异, 即建设投资均按期初一次性投资考虑, 不考虑动拆迁工作和建设期间对交通的影响, 三个方案均不计残值, 每年按 360 天计算。

寿命周期成本和系统效率计算结果取整数, 系统费用效率计算结果保留两位小数。

表 2-17

各方案基础数据表

方 案	地 铁	轻 轨	高架道路
建设投资 (万元)	1 000 000	500 000	300 000
年维修和运行费 (万元/年)	10 000	8 000	3 000
每次大修费 (万元/次)	40 000	30 000	20 000
日均客流量 (万人/天)	50	30	25
人均节约时间 (小时/人)	0.7	0.6	0.4
运行收入 (元/人)	3	3	0
土地升值 (万元/年)	50 000	40 000	30 000

表 2-18

复利系数表

n	10	15	20	30	40	45	50
$(P/A, 8\%, n)$	6.710	8.559	9.818	11.258	11.925	12.108	12.233
$(P/F, 8\%, n)$	0.463	0.315	0.215	0.099	0.046	0.031	0.021

问题：

1. 三个方案的年度寿命周期成本各为多少？
2. 若采用寿命周期成本的费用效率（CE）法，应选择哪个方案？
3. 若轻轨每年造成的噪声影响损失为 7 000 万元，将此作为环境成本，则在地铁和轻轨二个方案中，哪个方案较好？

分析要点：

本案例考核寿命周期成本分析的有关问题。

工程寿命周期成本包括资金成本、环境成本和社会成本。由于环境成本和社会成本较难定量分析，一般只考虑资金成本，但本案例问题 3 以简化的方式考虑了环境成本，旨在强化环境保护的理念。

工程寿命周期资金成本包括建设成本（设置费）和使用成本（维持费）。其中，建设成本内容明确，估算的结果也较为可靠；而使用成本内容繁杂，且不确定因素很多，估算的结果不甚可靠，本案例主要考虑了大修费与年维修和运行费。为简化计算，本题未考虑各方案的残值，且假设三方案的使用寿命相同。

在寿命周期成本评价方法中，费用效率法是较为常用的一种，其公式为：

$$\begin{aligned}\text{费用效率 (CE)} &= \text{系统效率 (SE)} / \text{寿命周期费用 (LCC)} \\ &= \text{系统效率 (SE)} / [\text{设置费 (IC)} + \text{维持费 (SC)}]\end{aligned}$$

运用这种方法的关键在于将系统效率定量化，尤其是应将系统的非直接收益定量化，在本案例中主要考虑了土地升值和节约时间的价值。

需要注意的是，环境成本应作为寿命周期费用增加的内容，而不能作为收益的减少，否则，可能导致截然相反的结论。

答案：

问题 1：

解：

计算地铁的年度寿命周期成本 LCC_0

(1) 年度建设成本（设置费）

$$IC_0 = 1\,000\,000(A/P, 8\%, 50) = 1\,000\,000/12.233 = 81\,746 \text{ 万元}$$

(2) 年度使用成本（维持费）

$$\begin{aligned}SC_0 &= 10\,000 + 40\,000[(P/F, 8\%, 15) + (P/F, 8\%, 30) \\ &\quad + (P/F, 8\%, 45)](A/P, 8\%, 50)\end{aligned}$$

$$= 10\,000 + 40\,000(0.315 + 0.099 + 0.031)/12.233 \approx 11\,455 \text{ 万元}$$

(3) 年度寿命周期成本

$$LCC_D = IC_D + SC_D = 81\,746 + 11\,455 = 93\,201 \text{ 万元}$$

2. 计算轻轨的年度寿命周期成本 LCC_Q

(1) 年度建设成本 (设置费)

$$IC_Q = 500\,000(A/P, 8\%, 50) = 500\,000/12.233 \approx 40\,873 \text{ 万元}$$

(2) 年度使用成本 (维持费)

$$\begin{aligned} SC_Q &= 8\,000 + 30\,000[(P/F, 8\%, 10) + (P/F, 8\%, 20) + (P/F, 8\%, 30) \\ &\quad + (P/F, 8\%, 40)](A/P, 8\%, 50) \\ &= 8\,000 + 30\,000(0.463 + 0.215 + 0.099 + 0.046)/12.233 \approx 10\,018 \text{ 万元} \end{aligned}$$

(3) 年度寿命周期成本

$$LCC_Q = IC_Q + SC_Q = 40\,873 + 10\,018 = 50\,891 \text{ 万元}$$

3. 计算高架道路的年度寿命周期成本 LCC_C

(1) 年度建设成本 (设置费)

$$IC_C = 300\,000(A/P, 8\%, 50) = 300\,000/12.233 \approx 24\,524 \text{ 万元}$$

(2) 使用成本 (维持费)

$$\begin{aligned} SC_C &= 3\,000 + 20\,000[(P/F, 8\%, 20) + (P/F, 8\%, 40)](A/P, 8\%, 50) \\ &= 3\,000 + 20\,000(0.215 + 0.046)/12.233 \approx 3\,427 \text{ 万元} \end{aligned}$$

(3) 年度寿命周期成本

$$LCC_C = IC_C + SC_C = 24\,524 + 3\,427 = 27\,951 \text{ 万元}$$

问题 2:

1. 计算地铁的年度费用效率 CE_D

(1) 年度系统效率 SE_D

$$SE_D = 50 \times (0.7 \times 10 + 3) \times 360 + 50\,000 = 230\,000 \text{ 万元}$$

$$(2) CE_D = SE_D / LCC_D = 230\,000 / 93\,201 = 2.47$$

2. 计算轻轨的年度费用效率 CE_Q

(1) 年度系统效率 SE_Q

$$SE_Q = 30 \times (0.6 \times 10 + 3) \times 360 + 40\,000 = 137\,200 \text{ 万元}$$

$$(2) CE_Q = SE_Q / LCC_Q = 137\,200 / 50\,891 = 2.70$$

3. 计算高架道路的年度费用效率 CE_C

(1) 年度系统效率 SE_C

$$SE_C = 25 \times 0.4 \times 10 \times 360 + 30\,000 = 66\,000 \text{ 万元}$$

$$(2) CE_C = SE_C / LCC_C = 66\,000 / 27\,951 = 2.36$$

由于轻轨的费用效率最高, 因此, 应选择建设轻轨。

问题 3:

将 7 000 万元的环境成本加到轻轨的寿命周期成本上, 则轻轨的年度费用效率

$$CE_Q = SE_Q / LCC_Q = 137\,200 / (50\,891 + 7\,000) = 2.37$$

由问题 2 可知, $CE_D = 2.47 > CE_Q = 2.37$, 因此, 若考虑将噪声影响损失作为环境成

本, 则地铁方案优于轻轨方案。

【案例七】

背景:

某项目混凝土总需要量为 $5\,000\text{m}^3$, 混凝土工程施工有两种方案可供选择: 方案 A 为现场制作, 方案 B 为购买商品混凝土。已知商品混凝土平均单价为 $410\text{元}/\text{m}^3$, 现场制作混凝土的单价计算公式为:

$$C = \frac{C_1}{Q} + \frac{C_2 \times T}{Q} + C_3$$

式中: C ——现场制作混凝土的单价 ($\text{元}/\text{m}^3$);

C_1 ——现场搅拌站一次性投资 (元), 本案例 C_1 为 $200\,000$ 元;

C_2 ——搅拌站设备装置的租金和维修费 (与工期有关的费用), 本案例 C_2 为 $15\,000$ 元/月;

C_3 ——在现场搅拌混凝土所需费用 (与混凝土数量有关的费用), 本案例 C_3 为 $320\text{元}/\text{m}^3$;

Q ——现场制作混凝土的数量;

T ——工期 (月)。

问题:

1. 若混凝土浇筑工期不同时, A、B 两个方案哪一个较经济?
2. 当混凝土浇筑工期为 12 个月时, 现场制作混凝土的数量最少为多少立方米才比购买商品混凝土经济?

3. 假设该工程的一根 9.9m 长的现浇钢筋混凝土梁可采用三种设计方案, 其断面尺寸均满足强度要求。该三种方案分别采用 A、B、C 三种不同的现场制作混凝土, 有关数据见表 2-19。经测算, 现场制作混凝土所需费用如下: A 种混凝土为 $220\text{元}/\text{m}^3$, B 种混凝土为 $230\text{元}/\text{m}^3$, C 种混凝土为 $225\text{元}/\text{m}^3$ 。另外, 梁侧模 $21.4\text{元}/\text{m}^2$, 梁底模 $24.8\text{元}/\text{m}^2$; 钢筋制作、绑扎为 $3\,390\text{元}/\text{t}$ 。

试选择一种最经济的方案。

表 2-19

各方案基础数据表

方 案	断面尺寸 (mm)	钢筋含量 (kg/m^3 砼)	砼 种 类
一	300×900	95	A
二	500×600	80	B
三	300×800	105	C

分析要点：

本案例考核技术经济分析方法的一般应用。

问题 1 和问题 2 都是对现场制作混凝土与购买商品混凝土的比较分析，是同一个问题的两个方面：问题 1 的条件是混凝土数量一定而工期不定。

问题 2 的条件是工期一定而混凝土数量不定。由现场制作混凝土的单价计算公式可知，该单价与工期成正比，即工期越长单价越高；与混凝土数量成反比，即混凝土数量越多单价越低。

问题 3 要注意的是，若背景资料仅给出模板单价（即侧模与底模单价相同），在计算模板面积时，不能以梁的周长与其长度相乘，因为梁的顶面无模板。

答案：

问题 1：

解：现场制作混凝土的单价与工期有关，当 A、B 两个方案的单价相等时，工期 T 满足以下关系：

$$\frac{200\,000}{5\,000} + \frac{15\,000 \times T}{5\,000} + 320 = 410$$

$$T = 16.67 \text{ (月)}$$

$$T = \frac{(410 - 320 - 200\,000/5\,000)}{15\,000} \times 5\,000$$

由此可得到以下结论：

当工期 $T = 16.67$ 个月时，A、B 两方案单价相同；

当工期 $T < 16.67$ 个月时，A 方案（现场制作混凝土）比 B 方案（购买商品混凝土）经济；

当工期 $T > 16.67$ 个月时，B 方案比 A 方案经济。

问题 2：

解：当工期为 12 个月时，现场制作混凝土的最少数量计算如下：

设该最少数量为 x ，根据公式有：

$$\frac{200\,000}{x} + \frac{15\,000 \times 12}{x} + 320 = 410$$

$$x = 4\,222.22 \text{ (m}^3\text{)}$$

即当 $T = 12$ 个月时，现场制作混凝土的数量必须大于 $4\,222.22 \text{ m}^3$ 时才比购买商品混凝土经济。

问题 3：

解：三种方案的费用计算见表 2-20。

表 2-20

三种方案费用计算表

		方 案 一	方 案 二	方 案 三
混凝土	工程量 (m^3)	2.673	2.970	2.376
	单价 (元/ m^3)	220	230	225
	费用小计 (元)	588.06	683.10	534.60
钢筋	工程量 (kg)	253.94	237.60	249.48
	单价 (元/kg)	3.39		
	费用小计 (元)	860.86	805.46	845.74
梁侧模板	工程量 (m^2)	17.82	11.88	15.84
	单价 (元/ m^2)	21.4		
	费用小计 (元)	381.35	254.23	338.98
梁底模板	工程量 (m^2)	2.97	4.95	2.97
	单价 (元/ m^2)	24.8		
	费用小计 (元)	73.66	122.76	73.66
费用合计 (元)		1 903.93	1 865.55	1 792.98

、由表 2-20 的计算结果可知,第三种方案的费用最低,为最经济的方案。

【案例八】

背景:

某机械化施工公司承包了某工程的土方施工任务,坑深为 -4.0m ,土方工程量为 $9\,800\text{m}^3$,平均运土距离为 8km ,合同工期为 10d 。该公司现有 WY50、WY75、WY100 液压挖掘机各 4 台、2 台、1 台及 5t、8t、15t 自卸汽车 10 台、20 台、10 台,其主要参数见表 2-21 和表 2-22。

表 2-21

挖掘机主要参数

型 号	WY50	WY75	WY100
斗容量 (m^3)	0.50	0.75	1.00
台班产量 (m^3)	401	549	692
台班单价 (元/台班)	880	1 060	1 420

表 2-22

自卸汽车主要参数

载重能力 (t)	5	8	15
运距 8km 时台班产量 (m^3)	28	45	68
台班单价 (元/台班)	318	458	726

问题：

1. 若挖掘机和自卸汽车按表中型号只能各取一种，且数量没有限制，如何组合最经济？相应的每立方米土方的挖运直接费为多少？
2. 若该工程只允许白天一班施工，且每天安排的挖掘机和自卸汽车的型号、数量不变，需安排几台何种型号的挖掘机和几台何种型号的自卸汽车？
3. 按问题 2 所述安排的挖掘机和自卸汽车的型号和数量，每立方米土方的挖运直接费为多少？

分析要点：

本案例考核施工机械的经济组合。通常每种型号的施工机械都有其适用的范围，需要根据工程的具体情况通过技术经济比较来选择。另外，企业的机械设备数量总是有限的，因而理论计算的最经济组合不一定能实现，只能在现有资源条件下选择相对最经济的组合。

本案例中挖掘机的选择比较简单，只有一种可能性，而由于企业资源条件的限制，自卸汽车的选择则较为复杂，在充分利用最经济的 8t 自卸汽车之后，还要选择次经济的 15t 自卸汽车（必要时，还可能选择最不经济的 5t 自卸汽车）。

在解题过程中需注意以下几点：

第一，挖掘机与自卸汽车的配比若有小数，不能取整，应按实际计算数值继续进行其他相关计算。

第二，计算出的机械台数若有小数，不能采用四舍五入的方式取整，而应取其整数部分的数值加 1。

第三，不能按总的土方工程量分别独立地计算挖掘机和自卸汽车的需要量。例如，仅就运土而言，每天安排 20 台 8t 自卸汽车和 3 台 5t 自卸汽车亦可满足背景资料所给定的条件，且按有关参数计算比本案例的答案稍经济。但是，这样安排机械组合使得挖掘机的挖土能力与自卸汽车的运土能力不匹配，由此可能产生以下两种情况：一是挖掘机充分发挥其挖土能力，9 天完成后退场。由于自卸汽车需 10 天才能运完所有土方，这意味着每天现场都有多余土方不能运出，从而必将影响运土效率，导致 10 天运不完所有土方。二是挖掘机按运土进度适当放慢挖掘进度，10 天挖完所有土方，则 2 台 WY75 挖掘机均要增加一个台班，挖土费增加，亦不经济。如果考虑到提前一天挖完土方可能带来的收益，显然 10 天挖完土方更不经济。

答案：**问题 1：**

解：三种型号挖掘机每立方米土方的挖土直接费分别为：

$$880/401 = 2.19 \text{ 元/m}^3$$

$$1060/549 = 1.93 \text{ 元/m}^3$$

$$1420/692 = 2.05 \text{ 元/m}^3$$

取单价为 1.93 元/m³ 的 WY75 挖掘机。

三种型号自卸汽车每立方米土方的运土直接费分别为：

$$318/28 = 11.36 \text{ 元/m}^3$$

$$458/45 = 10.18 \text{ 元/m}^3$$

$$726/68 = 10.68 \text{ 元/m}^3$$

取单价为 10.18 元/m³ 的 8t 自卸汽车。

相应的每立方米土方的挖运直接费为：1.93 + 10.18 = 12.11 元/m³

问题 2：

解：每天需 WY75 挖掘机的数量为：9 800/(549 × 10) = 1.79 台。

取每天安排 WY75 挖掘机 2 台。

按问题 1 的组合，为使挖掘机不出现因等待自卸汽车而降效，每天需要的挖掘机和自卸汽车的台数比例为：549/45 = 12.2，则每天应安排 8t 自卸汽车 2 × 12.2 = 24.4 台。

取每天安排 8t 自卸汽车 25 台。

由于该公司目前仅有 20 台 8t 自卸汽车，故超出部分 (24.4 - 20) 台只能另选其他型号自卸汽车。

由于已选定每天安排 2 台 WY75 挖掘机，则挖完该工程土方的天数为：

$$9\,800/(549 \times 2) = 8.93\text{d} \approx 9\text{d}$$

因此，20 台 8t 自卸汽车每天不能运完的土方量为：

$$9\,800/9 - 45 \times 20 = 189 \text{ m}^3$$

为每天运完以上土方量，可选择以下四种 15t 和 5t 自卸汽车的组合：

1. 3 台 15t 自卸汽车

$$\text{运土量为：} 68 \times 3 = 204 \text{ m}^3 > 189 \text{ m}^3,$$

$$\text{相应的费用为：} 726 \times 3 = 2178 \text{ 元；}$$

2. 2 台 15t 自卸汽车和 2 台 5t 自卸汽车

$$\text{运土量为：} (68 + 28) \times 2 = 192 \text{ m}^3 > 189 \text{ m}^3,$$

$$\text{相应的费用为：} (726 + 318) \times 2 = 2088 \text{ 元；}$$

3. 1 台 15t 自卸汽车和 5 台 5t 自卸汽车

$$\text{运土量为：} 68 + 28 \times 5 = 208 \text{ m}^3 > 189 \text{ m}^3,$$

$$\text{相应的费用为：} 726 + 318 \times 5 = 2316 \text{ 元；}$$

4. 7 台 5t 自卸汽车

$$\text{运土量为：} 28 \times 7 = 196 \text{ m}^3 > 189 \text{ m}^3,$$

$$\text{相应的费用为：} 318 \times 7 = 2\,226 \text{ 元。}$$

在上述四种组合中，第二种组合费用最低，故应另外再安排 2 台 15t 自卸汽车和 2 台 5t 自卸汽车。

综上所述,为完成该工程的土方施工任务,每天需安排 WY75 挖掘机 2 台,8t 汽车 20 台,15t 自卸汽车和 5t 自卸汽车各 2 台。

问题 3:

解:

按问题 2 所述安排的挖掘机和自卸汽车的数量,每立方米土方相应的挖运直接费为:

$$(1\ 060 \times 2 + 458 \times 20 + 726 \times 2 + 318 \times 2) \times 9/9\ 800 = 12.28 (\text{元}/\text{m}^3)。$$

【案例九】

背景:

某企业生产的某种产品在市场上供不应求,因此该企业决定投资扩建新厂。据研究分析,该产品 10 年后将升级换代,目前的主要竞争对手也可能扩大生产规模,故提出以下三个扩建方案:

1. 大规模扩建新厂,需投资 3 亿元。据分析预测,该产品销路好时,每年的净现金流量为 9 000 万元;销路差时,每年的净现金流量为 3 000 万元。

2. 小规模扩建新厂,需投资 1.4 亿元。据分析预测,该产品销路好时,每年的净现金流量为 4 000 万元;销路差时,每年的净现金流量为 3 000 万元。

3. 先小规模扩建新厂,3 年后,若该产品销路好再决定是否再次扩建。若再次扩建,需投资 2 亿元,其生产能力与方案 1 相同。

据预测,在今后 10 年内,该产品销路好的概率为 0.7,销路差的概率为 0.3。

基准折现率 $i_c = 10\%$,不考虑建设期所持续的时间。

表 2-23

现值系数表

n	1	3	7	10
(P/A, 10%, n)	0.909	2.487	4.868	6.145
(P/F, 10%, n)	0.909	0.751	0.513	0.386

问题:

1. 画出决策树。
2. 试决定采用哪个方案扩建。

分析要点:

本案例已知三个方案的净现金流量和概率,可采用决策树方法进行分析决策。由于方案 3 需分为前三年和后七年两个阶段考虑,因而本案例是一个两级决策问题,相应地,在决策树中有两个决策点,这是在画决策树时需注意的。另外,由于净现金流量和投资发生

在不同时间,故首先需要将净现金流量折算成现值,然后再进行期望值的计算。

本案例的难点在于方案3期望值的计算。在解题时需注意以下几点:

一是方案3决策点Ⅱ之后的方案枝没有概率枝,或者说,销路好的概率为1.0。但是,不能由此推论两级决策点后的方案枝肯定没有概率枝。

二是背景资料未直接给出方案3在三种情况下(销路好再次扩建、销路好不扩建、销路差)的净现金流量,需根据具体情况,分别采用方案1和方案2的相应数据。尤其是背景资料中的“其生产能力与方案1相同”,暗示其年净现金流量为9000万元。

三是需二次折现,即后七年的净现金流量按年金现值计算后,还要按一次支付现值系数折现到前三年初。

答案:

问题1:

解:根据背景资料所给出的条件画出决策树,标明各方案的概率和净现金流量,如图2-1所示。

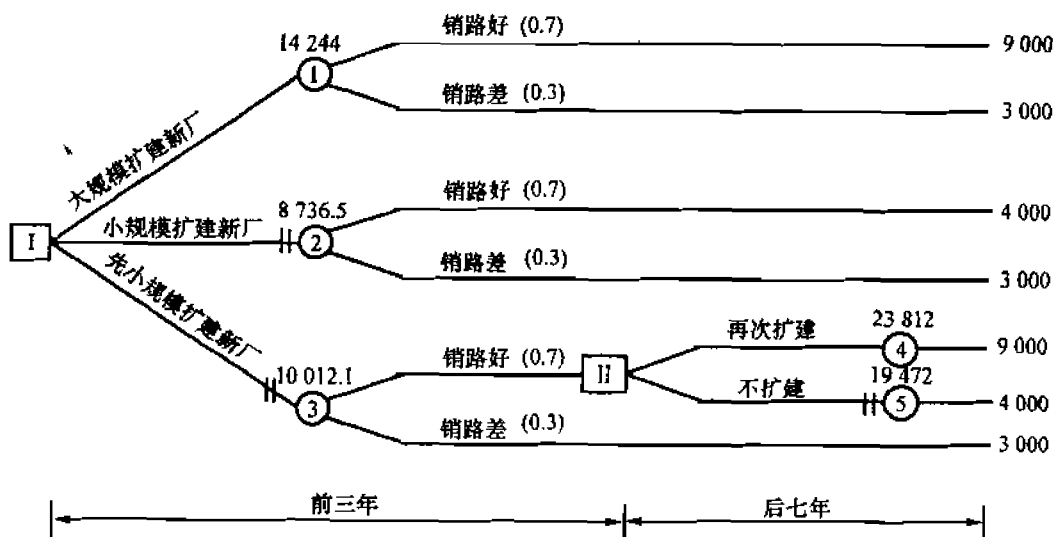


图2-1 决策树

问题2:

解:计算图2-1中各机会点的期望值(将计算结果标在各机会点上方)

$$\begin{aligned} \text{点①: } & (9\,000 \times 0.7 + 3\,000 \times 0.3) \times (P/A, 10\%, 10) - 30\,000 = 7\,200 \times 6.145 - 30\,000 \\ & = 14\,244 (\text{万元}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{点②: } & (4\,000 \times 0.7 + 3\,000 \times 0.3) \times (P/A, 10\%, 10) - 14\,000 = 3\,700 \times 6.145 - 14\,000 \\ & = 8\,736.5 (\text{万元}) \end{aligned}$$

$$\text{点④: } 9\,000 \times (P/A, 10\%, 7) - 20\,000 = 9\,000 \times 4.868 - 20\,000 = 23\,812 (\text{万元})$$

$$\text{点⑤: } 4\,000 \times (P/A, 10\%, 7) = 4\,000 \times 4.868 = 19\,472 (\text{万元})$$

对于决策点Ⅱ,机会点④的期望值大于机会点⑤的期望值,因此应采用3年后销路好

时再次扩建的方案。

机会点③期望值的计算比较复杂,包括以下两种状态下的两个方案:

1. 销路好状态下的前3年小规模扩建,后7年再次扩建;
2. 销路差状态下小规模扩建持续10年。

故机会点③的期望值为:

$$4\,000 \times 0.7 \times (P/A, 10\%, 3) + 23\,812 \times 0.7 \times (P/F, 10\%, 3) + 3\,000 \times 0.3 \times (P/A, 10\%, 10) - 14\,000$$

$$= 4\,000 \times 0.7 \times 2.487 + 23\,812 \times 0.7 \times 0.751 + 3\,000 \times 0.3 \times 6.145 - 14\,000 = 11\,012.1 (\text{万元})$$

对于决策点I的决策,需比较机会点①、②、③的期望值,由于机会点①的期望值最大,故应采用大规模扩建新厂方案。

【案例十】

背景:

某工程双代号施工网络计划如图2-2所示,该进度计划已经监理工程师审核批准,合同工期为23个月。

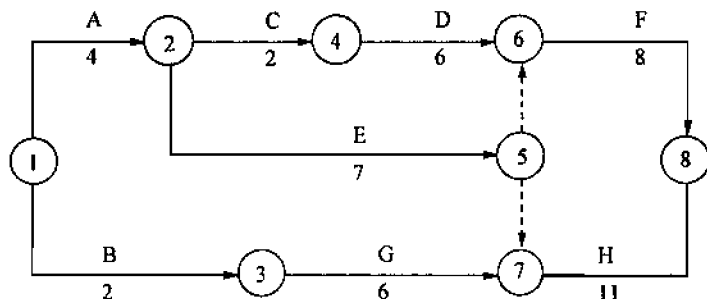


图2-2 双代号施工网络计划

问题:

1. 该施工网络计划的计算工期为多少个月? 关键工作有哪些?
2. 计算工作B、C、G的总时差和自由时差。
3. 如果工作C和工作G需共用一台施工机械且只能按先后顺序施工(工作C和工作G不能同时施工),该施工网络进度计划应如何调整较合理?

分析要点:

本案例考核网络计划的有关问题。

问题1 考核网络计划关键线路和总工期的确定。

问题2 考核网络计划时间参数的计算。

问题3考核网络计划在资源限定条件下的调整以及按工期要求对可行的调整方案的比选。在这一问题中,涉及工作之间的逻辑关系、网络图的绘制原则、节点编号的确定以及虚工作的运用(图2-5)。

网络计划的调整不仅可能改变总工期,而且可能改变关键线路。本案例为了强调这一点,在设置网络计划各工作的逻辑关系和持续时间时,特别使两个调整方案的关键线路和总工期均与原网络计划不同,而且互不相同。

需要特别指出的是,问题3需按要求重新绘制网络计划,通过计算比较工期长短后才能得出正确答案。不能简单地认为,由于在原网络计划中G工作之后是关键工作,因而应当先安排G工作再安排C工作。

答案:

问题1:

解:按工作计算法,对该网络计划工作最早时间参数进行计算:

1. 工作最早开始时间 ES_{i-j} 。

$$ES_{1-2} = ES_{1-3} = 0$$

$$ES_{2-4} = ES_{2-5} = ES_{1-2} + D_{1-2} = 0 + 4 = 4$$

$$ES_{3-7} = ES_{1-3} + D_{1-3} = 0 + 2 = 2$$

$$ES_{4-6} = ES_{2-4} + D_{2-4} = 4 + 2 = 6$$

$$ES_{6-8} = \max \{ (ES_{2-5} + D_{2-5}), (ES_{4-6} + D_{4-6}) \} = \max \{ (4 + 7), (6 + 6) \} = 12$$

$$ES_{7-8} = \max \{ (ES_{2-5} + D_{2-5}), (ES_{3-7} + D_{3-7}) \} = \max \{ (4 + 7), (2 + 6) \} = 11$$

2. 工作最早完成时间 EF_{i-j} 。

$$EF_{1-2} = ES_{1-2} + D_{1-2} = 0 + 4 = 4$$

$$EF_{1-3} = ES_{1-3} + D_{1-3} = 0 + 2 = 2$$

.....

$$EF_{6-8} = ES_{6-8} + D_{6-8} = 12 + 8 = 20$$

$$EF_{7-8} = ES_{7-8} + D_{7-8} = 11 + 11 = 22$$

上述计算也可直接在图上进行,其计算结果如图2-3所示。该网络计划的计算工期 $T_c = \max \{ EF_{6-8}, EF_{7-8} \} = \max \{ 20, 22 \} = 22$ (月)。

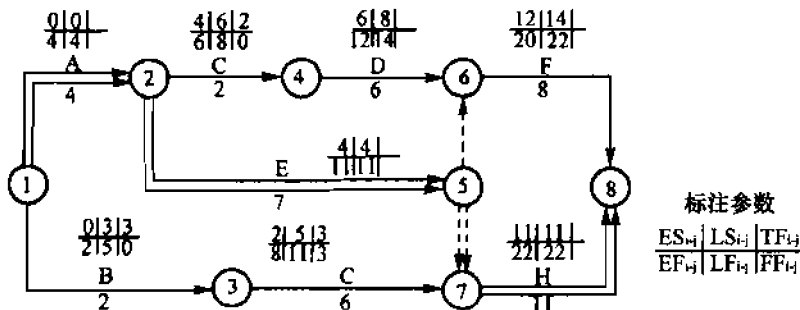


图2-3 施工网络计划工期计算

关键路线为所有线路中最长的线路，其长度等于 22（月）。从图 2-3 中可见，关键路线为 1-2-5-7-8，关键工作为 A、E、H。不必将所有工作总时差计算出来后，再来确定关键工作。

问题 2:

解：按工作计算法，对该网络计划工作最迟时间参数进行计算：

1. 工作最迟完成时间 LF_{i-j} 。

$$LF_{6-8} = LF_{7-8} = T_c = 22$$

$$LF_{4-6} = LF_{6-8} - D_{6-8} = 22 - 8 = 14$$

.....

$$LF_{2-5} = \min \{ (LF_{6-8} - D_{6-8}), (LF_{7-8} - D_{7-8}) \}$$

$$= \min \{ (22 - 8), (22 - 11) \} = \min \{ 14, 11 \} = 11$$

.....

2. 工作最迟开始时间 LS_{i-j} 。

$$LS_{6-8} = LF_{6-8} - D_{6-8} = 22 - 8 = 14$$

$$LS_{7-8} = LF_{7-8} - D_{7-8} = 22 - 11 = 11$$

.....

$$LS_{2-5} = LF_{2-5} - D_{2-5} = 11 - 7 = 4$$

.....

上述计算也可直接在图上进行，其结果如图 2-3 所示。利用前面的计算结果，根据总时差和自由时差的定义，可以进行如下计算：

$$\text{工作 B: } TF_{1-3} = LS_{1-3} - ES_{1-3} = 3 - 0 = 3$$

$$FF_{1-3} = ES_{3-7} - EF_{1-3} = 2 - 2 = 0$$

$$\text{工作 C: } TF_{2-4} = LS_{2-4} - ES_{2-4} = 6 - 4 = 2$$

$$FF_{2-4} = ES_{4-6} - EF_{2-4} = 6 - 6 = 0$$

$$\text{工作 G: } TF_{3-7} = LS_{3-7} - ES_{3-7} = 5 - 2 = 3$$

$$FF_{3-7} = ES_{7-8} - EF_{3-7} = 11 - 8 = 3$$

总时差和自由时差计算也可直接在图上进行，标注在相应位置，如图 2-3 所示，其他工作的总时差和自由时差本题没有要求。

问题 3:

解：工作 C 和工作 G 共用一台施工机械且需按先后顺序施工时，有两种可行的方案：

1. 方案一：按先 C 后 G 顺序施工，调整后网络计划如图 2-4 所示。

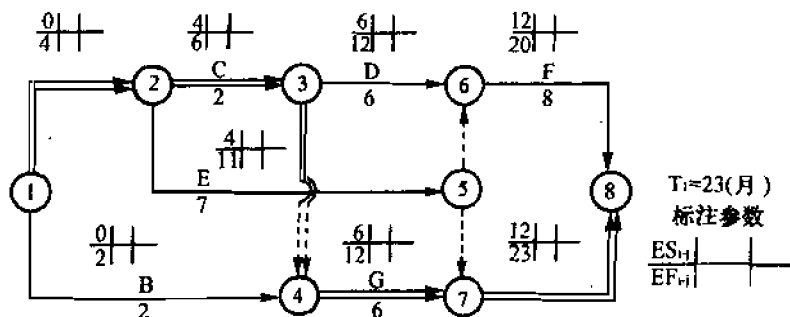


图 2-4 先 C 后 G 顺序施工网络计划

按工作计算法, 只需计算各工作的最早开始时间和最早完成时间, 如图 2-4 所示, 即可求得计算工期:

$T_1 = \max\{EF_{6-7}, EF_{7-8}\} = \max\{20, 23\} = 23$ (月), 关键路线为 1-2-3-4-7-8。

2. 方案二: 按先 C 后 G 顺序施工, 调整后网络计划如图 2-5 所示。按工作计算法, 只需计算各工作的最早开始时间和最早完成时间, 见图 2-5, 即可求得计算工期。

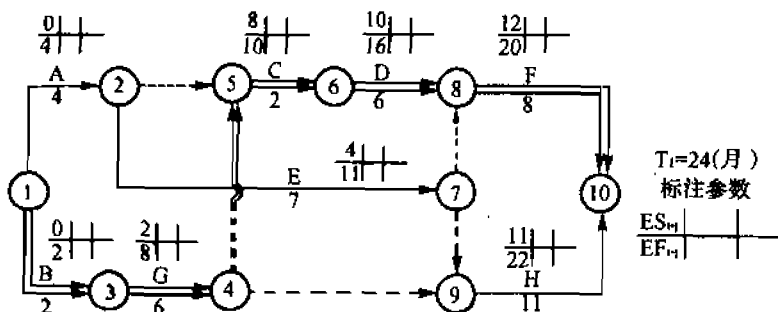


图 2-5 先 G 后 C 顺序施工网络计划

$T_2 = \max\{EF_{8-10}, EF_{9-10}\} = \max\{24, 22\} = 24$ (月), 关键线路为 1-3-4-5-6-8-10。

通过上述两方案的比较, 方案一的工期比方案二的工期短, 且满足合同工期的要求。因此, 应按先 C 后 G 的顺序组织施工较为合理。

【案例十一】

背景:

根据工作之间的逻辑关系, 某工程施工组织网络计划如图 2-6 所示。该工程有两个施工组织方案, 相应的各工作所需的持续时间和费用如表 2-24 所示。在施工合同中约定: 合同工期为 271 天, 工期延误一天罚 0.5 万元, 提前一天奖 0.5 万元。

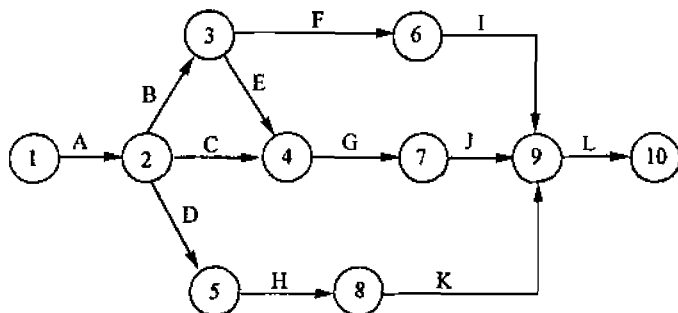


图 2-6 某工程施工组织网络计划

表 2-24

基础资料表

工 作	施工组织方案 I		施工组织方案 II	
	持续时间 (天)	费用 (万元)	持续时间 (天)	费用 (万元)
A	30	13	28	16
B	46	20	42	22
C	28	10	28	10
D	40	19	39	19.5
E	50	23	48	23.5
F	38	13	38	13
G	59	25	55	28
H	43	18	43	18
I	50	24	48	25
J	39	12.5	39	12.5
K	35	15	33	16
L	50	20	49	21

问题:

1. 分别计算两种施工组织方案的工期和综合费用并确定其关键线路。
2. 如果对该工程采用混合方案组织施工, 应如何组织施工较经济? 相应的工期和综合费用各为多少? (在本题的解题过程中不考虑工作持续时间变化对网络计划关键线路的影响) 相应的工期和综合费用各为多少?

分析要点:

本案例考核施工组织方案的比选原则和方法以及在费用最低的前提下对施工进度计划(网络计划)的优化。

问题 1 涉及关键线路的确定和综合费用的计算。若题目不要求计算网络计划的时间参数, 而仅仅要求确定关键线路, 则并不一定要通过计算网络计划的时间参数, 按总时差为零的工作所组成的线路来确定关键线路。在网络计划中线路不多的情况下, 可分别计算各线路的长度, 其中最长的线路即为关键线路。

所谓综合费用, 是指施工组织方案本身所需的费用与根据该方案计算工期和合同工期的差额所产生的工期奖罚费用之和, 其数值大小是选择施工组织方案的重要依据。

问题 2 实际上是对施工进度计划的优化。采用混合方案组织施工有以下两种可能性: 一是关键工作采用方案 II (工期较短), 非关键工作采用方案 I (费用较低) 组织施工; 二是在方案 I 的基础上, 按一定的优先顺序压缩关键线路。通过比较以上两种混合组织施工方案的综合费用, 取其中费用较低者付诸实施。

由于本工程非关键线路的时差天数很多, 非关键工作持续时间少量延长或关键工作持

续时间少量压缩不改变网络计划的关键线路,因此,本题出于简化计算的考虑,在解题过程中不考虑工作持续时间变化对网络计划关键线路的影响。但是,在实际组织施工时,要注意原非关键工作延长后可能成为关键工作,甚至可能使计划工期(未必是合同工期)延长;而关键工作压缩后可能使原非关键工作成为关键工作,从而改变关键线路或形成多条关键线路。需要说明的是,按惯例,施工进度计划应提交给监理工程师审查,不满足合同工期要求的施工进度计划是不会被批准的。因此,从理论上讲,当原施工进度计划不满足合同工期要求时,即使压缩费用大于工期奖,也必须压缩(当然,实际操作时,承包商仍可能宁可承受工期拖延罚款而按费用最低的原则组织施工)。另外还要注意,两种方案的关键线路可能不同,在解题时要注意加以区分。

答案:

问题 1:

解:根据对图 2-6 施工网络计划的分析可知,该网络计划共有四条线路,即:

线路 1: 1-2-3-6-9-10

线路 2: 1-2-3-4-7-9-10

线路 3: 1-2-4-7-9-10

线路 4: 1-2-5-8-9-10

1. 按方案 I 组织施工,将表 2-22 中各工作的持续时间标在网络图上,如图 2-7 所示。

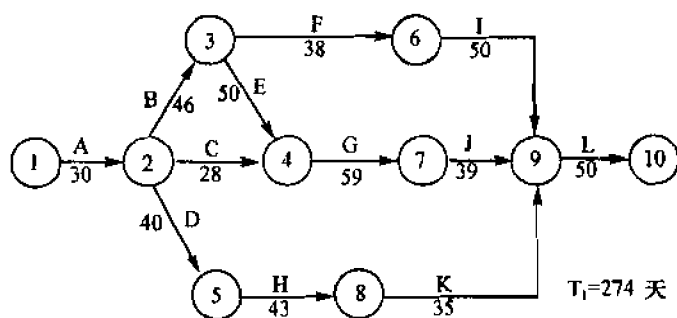


图 2-7 方案 I 施工网络计划

图 2-7 中四条线路的长度分别为:

$$t_1 = 30 + 46 + 38 + 50 + 50 = 214 \text{ 天}$$

$$t_2 = 30 + 46 + 50 + 59 + 39 + 50 = 274 \text{ 天}$$

$$t_3 = 30 + 28 + 59 + 39 + 50 = 206 \text{ 天}$$

$$t_4 = 30 + 40 + 43 + 35 + 50 = 198 \text{ 天}$$

所以,关键线路为 1-2-3-4-7-9-10,计算工期 $T_1 = 274$ 天。

将表 2-22 中各工作的费用相加,得到方案 I 的总费用为 212.5 万元,则其综合费用 $C_1 = 212.5 + (274 - 271) \times 0.5 = 214$ 万元

2. 按方案 II 组织施工,将表 2-22 中各工作的持续时间标在网络图上,如图 2-8

所示。

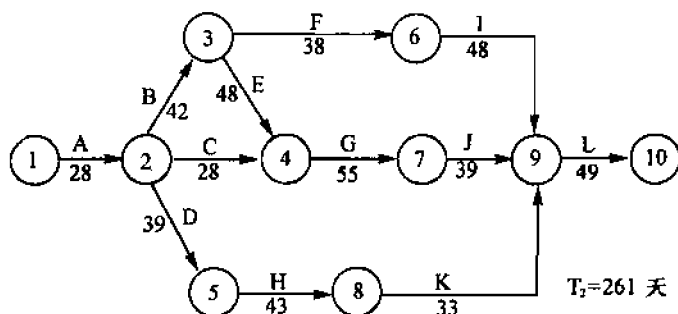


图 2-8 方案 II 施工网络计划

图 2-8 中四条线路的长度分别为：

$$t_1 = 28 + 42 + 38 + 48 + 49 = 205 \text{ 天}$$

$$t_2 = 28 + 42 + 48 + 55 + 39 + 49 = 261 \text{ 天}$$

$$t_3 = 28 + 28 + 55 + 39 + 49 = 199 \text{ 天}$$

$$t_4 = 28 + 39 + 43 + 33 + 49 = 192 \text{ 天}$$

所以，关键线路仍为 1-2-3-4-7-9-10，计算工期 $T_2 = 261$ 天。

将表 2-22 中各工作的费用相加，得到方案 II 的总费用为 224.5 万元，则其综合费用 $C_2 = 224.5 + (261 - 271) \times 0.5 = 219.5$ 万元

问题 2：

解：

1. 关键工作采用方案 II，非关键工作采用方案 I

即关键工作 A、B、E、G、J、L 执行方案 II 的工作时间，保证工期为 261 天；非关键工作执行方案 I 的工作时间，而其中费用较低的非关键工作有： $t_D = 40$ 天， $c_D = 19$ 万元； $t_I = 50$ 天， $c_I = 24$ 万元； $t_K = 35$ 天， $c_K = 15$ 万元。则，按此方案混合组织施工的综合费用为：

$$C' = 219.5 - (19.5 - 19) - (25 - 24) - (16 - 15) = 217 \text{ 万元}$$

2. 在方案 I 的基础上，按压缩费用从少到多的顺序压缩关键线路

(1) 计算各关键工作的压缩费用

关键工作 A、B、E、G、L 每压缩一天的费用分别为 1.5、0.5、0.25、0.75、1.0 万元。

(2) 先对压缩费用小于工期奖的工作压缩，即压缩工作 E 2 天，但工作 E 压缩后仍不满足合同工期要求，故仍需进一步压缩；再压缩工作 B 4 天，则工期为 268 (274 - 2 - 4) 天，相应的综合费用

$$C'' = 212.5 + 0.25 \times 2 + 0.5 \times 4 + (268 - 271) \times 0.5 = 213.5 \text{ 万元}$$

因此，应在方案 I 的基础上压缩关键线路来组织施工，相应的工期为 268 天，相应的综合费用为 213.5 万元。

【案例十二】

背景：

某施工单位决定参与某工程的投标。在基本确定技术方案后，为提高竞争能力，对其某关键技术措施拟定了三个方案进行比选。若以 C 表示费用（费用单位为万元）， T 表示工期（时间单位为周），则方案一的费用为 $C_1 = 100 + 4T$ ；方案二的费用为 $C_2 = 150 + 3T$ ；方案三的费用为 $C_3 = 250 + 2T$ 。

经分析，这种技术措施的三个比选方案对施工网络计划的关键线路均没有影响。各关键工作可压缩的时间及相应增加的费用见表 2-25。

在问题 2 和问题 3 的分析中，假定所有关键工作压缩后不改变关键线路。

表 2-25 三种方案参数表

关 键 工 作	A	C	E	H	M
可压缩时间 / 周	1	2	1	3	2
压缩单位时间增加的费用 / (万元 / 周)	3.5	2.5	4.5	6.0	2.0

问题：

1. 若仅考虑费用和工期因素，请分析这三种方案的适用情况。
2. 若该工程的合理工期为 60 周，该施工单位相应的估价 1 653 万元。为了争取中标，该施工单位投标应报工期和报价各为多少？
3. 若招标文件规定，评标采用“经评审的最低投标价法”，且规定，施工单位自报工期小于 60 周时，工期每提前 1 周，按其总报价降低 2 万元作为经评审的报价，则施工单位的自报工期应为多少？相应的经评审的报价为多少？
4. 如果该工程的施工网络计划如图 2-9 所示，则压缩哪些关键工作可能改变关键线路？压缩哪些关键工作不会改变关键线路？为什么？

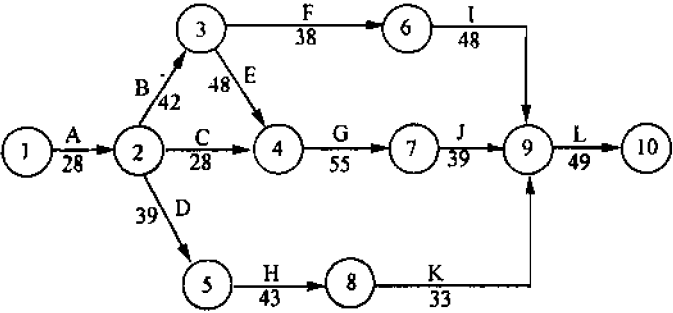


图 2-9 施工网络计划图

分析要点:

本案例主要考核技术方案的比选、工期和报价的关系、经评审的投标价、关键线路压缩等有关问题。

问题1采用的技术经济分析方法是工程领域常用的基本方法,在实践中关键在于要能运用适当的方法(如线性回归分析方法)建立费用函数的数学模型。在本题的解题过程中,不需要直接比较方案一和方案三(或者说,比较方案一和方案三没有意义),从三个方案费用函数曲线之间的关系可以清楚地看出这一点。

问题2相对而言较为简单,也是常见的压缩工期类的问题。

问题3是“经评审的最低投标价”的具体运用。所谓“经评审的投标价”,涉及多种因素,可以将价格以外的因素转化为价格来评价,其中最容易实现这种转化的就是工期。工期较长的最低报价未必是“经评审的最低投标价”,而工期较短的较高报价却可能是“经评审的最低投标价”。需要注意的是,如果没有问题2的铺垫而直接解问题3,很可能出现的错误是忽略压缩工期所减少的技术方案本身的费用。

问题4是考核对关键线路和关键工作的正确理解。如果有具体的数据通过计算来确定关键线路是否变化,容易得出正确的结论;而像本题这样的定性分析,却不容易得出正确的结论。一般笼统地说,“压缩关键工作的持续时间可能改变关键线路”,可以认为是正确的。但是,这样的表述其实是不严谨的,应当进行深入的具体分析。

答案:

问题1:

解:令 $C_1 = C_2$, 即 $100 + 4T = 150 + 3T$, 解得 $T = 50$ 周。

因此,当工期小于等于50周时,应采用方案一;当工期大于等于50周时,应采用方案二。

再令 $C_2 = C_3$, 即 $150 + 3T = 250 + 2T$, 解得 $T = 100$ 周。

因此,当工期小于等于100周时,应采用方案二;当工期大于等于100周时,应采用方案三。

综上所述,当工期小于等于50周时,应采用方案一;当工期大于等于50周且小于等于100周时,应采用方案二;当工期大于等于100周时,应采用方案三。

问题2:

解:由于工期为60周时应采用方案二,相应的费用函数为 $C_2 = 150 + 3T$, 所以,对每压缩1周时间所增加的费用小于3万元的关键工作均可以压缩,即应对关键工作C和M进行压缩。

则自报工期应为: $(60 - 2 - 2)$ 周 = 56 周

相应的报价为: $[1653 - (60 - 56) \times 3 + 2.5 \times 2 + 2.0 \times 2]$ 万元 = 1650 万元

问题3:

解:由于工期每提前1周,可降低经评审的报价为2万元,所以对每压缩1周时间所增加的费用小于5万元的关键工作均可压缩,即应对关键工作A、C、E、M进行压缩。

则自报工期应为： $(60 - 1 - 2 - 1 - 2) = 54$ 周

相应的经评审的报价为： $[1653 - (60 - 54) \times (3 + 2) + 3.5 + 2.5 \times 2 + 4.5 + 2.0 \times 2]$ 万元 = 1640 万元

问题 4：

答：压缩关键工作 C、E、H 可能改变关键线路，因为如果这三项关键工作的压缩时间超过非关键线路的总时差，就会改变关键线路。

压缩关键工作 A、M 不会改变关键线路，因为工作 A、M 是所有线路（包括关键线路和非关键线路）的共有工作，其持续时间缩短则所有线路的持续时间都相应缩短，不改变原非关键线路的时差。