

运筹学理论在重大施工方案决策中的运用

戴 杰

(北京燕化建筑安装工程公司,102500)

运筹学的决策分析理论,可对决策者的推理过程进行量化描述,有助于人们更加科学地论证、决策和实施重大施工方案。首先,将多个方案按以往的施工经验取得各目标的权系数,经矩阵运算,求得最大特征值,进而得出最优解。运用此方法,可以避免决策者在程序复杂和方案较多时逻辑推理上的失误,更好地进行工程项目重大施工方案决策。

关键词: 运筹学 决策 方案

大型石油化工装置基本建设项目施工中,重大施工方案一般涉及多种专业、多项施工技术,施工程序复杂,相互关联的因素很多,施工方案的优劣直接影响工程进度和工程成本,施工方案选择、优化和决策时必须全面、综合、统筹考虑各方面的因素。以往重大施工方案决策一般都依据施工专业技术知识进行,而对选择方案的推理过程缺乏量化评价。运筹学的决策分析理论,可以辅助重大施工方案决策,并验证决策过程的科学合理性。运筹学的决策分析方法是数学模型,将实际问题的表达高度规范化,对决策者的推理过程进行量化描述;它可以避免决策者在程序复杂和方案较多时逻辑推理上的失误,适合应用于工程项目重大施工方案决策。

在燕化 660 kt/a 乙烯改扩建工程裂解分离项目中,“DA - 101N/DA - 102N 新塔联合基础施工及 DA - 102N 塔安装工艺”是该项目施工中要决策的重大施工方案之一。在研究方案时,运用运筹学的决策分析理论,对决策过程做了全面评估,保证了所选方案的最优程度和科学合理性,为方案正确实施奠定了基础。

1 问题表述和分析

燕化 660 kt/a 乙烯改扩建工程分为 4 个施工阶段,裂解分离项目 DA - 102N 新塔必须在该工程 2000 年大检修后(即施工第二阶段后)投入使用,该塔及塔基础需在原位置拆旧换新;同时,DA - 102N 与 DA - 101N 新塔基础相距很近,DA - 101N 为超大型塔,水压试验时总重达 2.8 kt,为解决 DA - 101N 新基础和 DA - 102N 基础沉降问题,设计图纸将这两台设备基础设计为新的联合基础,而 DA - 102 旧设备基础埋深标高却

在新联合基础底板标高之上;因此,DA - 102 旧塔基础如何处理、新联合基础如何施工以及 DA - 102 旧塔如何更换就成为该施工方案的难点和焦点。另外,联合基础开挖范围内还有 18 个在用框架、在用设备、在用管线支架的基础,对这些在用基础的处理也是要解决的施工技术难题。

经调研和理论验算,决定对在用基础采用“基础托换施工新技术”进行处理,即在联合基础开挖过程中,对在用基础采取整体架空、部分掏空、加固等技术措施,将这些在用基础全部暴露出来,进行加固后,再与新基础连成一体,此项技术施工难度大,风险大。

2000 年大检修只有 15 d 施工期,DA - 102 旧塔 $\phi 1\ 350 \times 23\ 850$,操作重量 32 t(包括附塔管线),其基础重约 43 t;DA - 102N 新塔 $\phi 2\ 200/1\ 000 \times 25\ 400$,净重 18.6 t,22 层塔盘。经研讨,提出 3 个供选择的施工方案。

方案 I:在大检修前,一次施工完联合基础,对 DA - 102 旧塔基础采用基础托换技术进行施工,工期 70 d。该方案特点:工期较短,大检修中设备安装时间充裕,托换 DA - 102 旧塔及基础总重达 75 t,施工难度大,风险大。

方案 II:在大检修前和大检修中,分两次施工联合基础。大检修前,先开挖并浇筑大部分 DA - 101N 新基础,用基础托换技术处理 18 个在用设施基础,但不托换 DA - 102 旧塔基础;大检修期间,将 DA - 102 旧基础拆除,施工另一部分新基础,工期 104 d。该方案特点:联合基础分两次

收稿日期: 2001 - 11 - 06。

作者简介: 戴杰,高级工程师,副总工程师。1985 年毕业于重庆建筑大学,长期从事石化装置基本建设施工管理工作。

施工,工期长,大检修中设备安装时间紧张,不托换 DA - 102 旧塔基础风险小,较安全。

方案 III:在大检修中,一次施工完联合基础,不托换 DA - 102 旧塔基础,工期 25 d,检修前可先开挖联合基础土方。该方案特点:工期短,大检修中基础施工和设备安装时间紧张,不确定因素较多,不可控制变量较多。

这三个方案在技术上都是可行的,为比较和选定最优方案,我们运用决策理论的层次分析法,对 3 个方案做了全面分析和比较。层次分析法的基本方法是:首先根据问题的性质和要求,提出总的目标;然后将问题按层次分解成子目标,对同一层次的诸因素通过两两比较的方法确定相对于上层目标的各自的权系数,最后求出所有因素相对于总目标而言的按重要程度的排序。

制定此施工方案的总目标是:在保证裂解装置正常开车及施工安全的前提下,按时完成 DA - 101N/DA - 102N 新联合基础施工,按时完成 DA - 102 塔的拆旧换新。必须全面、综合、统筹考虑的因素有 5 个子目标:工期、安全、质量、施工技术和施工成本。

2 建立模型

层次分析方法是每个目标的权系数来反映各目标间的相对重要程度,越重要的目标,相应的权系数就越大。在解决实际问题中,决策的基本问题实际上就归结为权系数的确定问题。一般可用特征向量法确定权系数。

将问题的目标(n 个),根据重要程度进行比较,将第 i 个目标对第 j 个目标的相对重要程度估计值记为 a_{ij} ,并认为:

$$a_{ij} = \frac{w_i}{w_j}$$

其中 w_i 和 w_j 为目标 i 、 j 的权系数,对所有目标经过两两比较后,可得到一个判断矩阵 A :

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix}$$
$$= \begin{pmatrix} 1/1 & 1/2 & \cdots & 1/n \\ 2/1 & 2/2 & \cdots & 2/n \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ n/1 & n/2 & \cdots & n/n \end{pmatrix}$$

矩阵元素满足 $a_{ij} = 1/a_{ji}$, a_{ij} 的值规定为 1 ~ 9,其定义和解释见表 1。

表 1 a_{ij} 的定义和解释

相对重要程度 a_{ij}	定 义	解 释
1	同等重要	目标 i 和 j 同等重要
3	略微重要	目标 i 比 j 略微重要
5	相当重要	目标 i 比 j 重要
7	明显重要	目标 i 比 j 明显重要
9	绝对重要	目标 i 比 j 绝对重要
2,4,6,8	介于两相邻重要程度间	

矩阵 A 即为对实际问题各目标重要程度的量化描述,一般可由决策者根据以往的施工经验进行研讨,将 3 个方案的 5 个目标进行成对比较后,即可得到判断矩阵。

此项目中 5 个目标的成对比较分析如下:

工期/安全 = 1/1。在生产装置内进行改扩建施工,安全是头等大事,施工工期也不能拖后,故工期和安全同等重要。

工期/质量 = 4/1。采取相应技术措施后,土建和安装专业的施工质量完全可以保证,此项目的质量保证问题并不突出,故工期比质量重要。

工期/施工技术 = 2/1。此项目施工技术难题主要为:基础托换、DA - 102 塔的拆旧换新吊装施工,必须进行技术攻关,采取技术手段保证工期,故工期比施工技术略微重要。

工期/施工成本 = 7/1。施工预算已将特殊施工技术措施费考虑在内,保证工期可以降低总的施工成本,故工期比施工成本明显重要。

安全/质量 = 1/1。此项目的施工特点决定了安全和质量不能出任何事故,施工作业质量必须一次合格,不允许返工,故安全和质量同等重要。

安全/施工技术 = 2/1。施工安全问题涉及面广,包括施工技术、施工管理、车间配合、外部环境条件等,必须全面考虑,故安全比施工技术略微重要。

安全/施工成本 = 6/1。必须加大安全措施费用的投入,购置报警器材,设置安全防护栏,增加夜间值班,确保生产和施工安全,故安全比施工成本明显重要。

质量/施工技术 = 1/2。此项目施工技术涉及岩土工程、结构工程、吊装工程、设备安装工程,技术难点多;而施工质量控制难度并不大,故施

工技术比质量略微重要。

质量/施工成本 = 2/1。必须采取技术措施控制施工作业质量,保证砼浇筑质量和设备安装精度,故质量比施工成本重要。

施工技术/施工成本 = 4/1。基础托换之前,必须对在用基础和设备采取刚性加固措施;为保证 DA-102N 塔的顺利更换,可采用大型吊车吊装;这些技术措施会增加特殊技术措施费用。但与总体工程进度相比,由此而适当增加施工费用也是值得的,故施工技术比施工成本略微重要。

5 个目标的成对比较结果列于判断矩阵 A。

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{工 期} \\ \text{安 全} \\ \text{质 量} \\ \text{施工技术} \\ \text{施工成本} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{工 期} \\ \text{安 全} \\ \text{质 量} \\ \text{施工技术} \\ \text{施工成本} \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 1 & 4 & 2 & 7 \\ 1 & 1 & 1 & 2 & 6 \\ 1/4 & 1 & 1 & 1/2 & 2 \\ 1/2 & 1/2 & 2 & 1 & 4 \\ 1/7 & 1/6 & 1/2 & 1/4 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

矩阵 A 表明,此项目在确定最优方案时,最重视安全,最不重视施工成本。同理,可求出 3 个方案对上述 5 个目标中每一个目标的权系数,成对比较结果为:

$$\begin{matrix} & \begin{matrix} \text{工 期} \\ \text{方 案 I} & \text{方 案 II} & \text{方 案 III} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{方 案 I} \\ \text{方 案 II} \\ \text{方 案 III} \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 1/4 & 1/3 \\ 4 & 1 & 2 \\ 3 & 1/2 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} & \begin{matrix} \text{安 全} \\ \text{方 案 I} & \text{方 案 II} & \text{方 案 III} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{方 案 I} \\ \text{方 案 II} \\ \text{方 案 III} \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 2 & 2 \\ 1/2 & 1 & 3 \\ 1/2 & 1/3 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} & \begin{matrix} \text{质 量} \\ \text{方 案 I} & \text{方 案 II} & \text{方 案 III} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{方 案 I} \\ \text{方 案 II} \\ \text{方 案 III} \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 1/3 & 1 \\ 3 & 1 & 3 \\ 3 & 1/3 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} & \begin{matrix} \text{施工技术} \\ \text{方 案 I} & \text{方 案 II} & \text{方 案 III} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{方 案 I} \\ \text{方 案 II} \\ \text{方 案 III} \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 2 & 4 \\ 1/2 & 1 & 2 \\ 1/4 & 1/2 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} & \begin{matrix} \text{施工成本} \\ \text{方 案 I} & \text{方 案 II} & \text{方 案 III} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{方 案 I} \\ \text{方 案 II} \\ \text{方 案 III} \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 1/3 & 1/2 \\ 3 & 1 & 2 \\ 2 & 1/2 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

列出各目标层的权系数是建立模型的关键。

权系数具有两重性,一方面它从客观的角度反映每个评价指标的相对重要性;另一方面,它又反映决策者对各类评价指标主观上的偏好程度,也就是说,它的准确性还与决策者的实际施工经验,以及决策者对工程特点的把握程度有直接关系。

3 求解模型和一致性检验

一般用特征向量法求解模型,求解总目标层判断矩阵和子目标层判断矩阵的最大特征值及相应的特征向量,得到总目标层和子目标层的权向量,进而求出子目标层相对总目标层的组合权向量 W,即可得出所评价方案相对总目标而言的最优程度的量化值。

若记 B_K 为第 K 层次上所有因素相对于上一层上有关因素的权向量按列组成的矩阵,则第 K 层次的组合权向量 W^K 满足:

$$W^K = B_K \cdot B_{K-1} \cdot \dots \cdot B_2 \cdot B_1$$

其中 $B_1 = (1)$ 。

在得到矩阵 A 时,有时免不了出现判断上的不一致性,因而还需利用一致性指标 C.I. 进行检验,其中:

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

对于判断矩阵的最大特征值和相应的特征向量,可利用线性代数方法进行计算。但从实用角度来看,一般采用近似计算的方根法即可。

(1) 计算 \bar{w}_i

$$\bar{w}_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}} \quad i = 1, 2, 3, 4, 5$$

$$\bar{w}_1 = (11 \times 12 \times 13 \times 14 \times 15)^{1/5} = 2.237$$

$$\bar{w}_2 = (21 \times 22 \times 23 \times 24 \times 25)^{1/5} = 1.647$$

$$\bar{w}_3 = (31 \times 32 \times 33 \times 34 \times 35)^{1/5} = 0.758$$

$$\bar{w}_4 = (41 \times 42 \times 43 \times 44 \times 45)^{1/5} = 1.149$$

$$\bar{w}_5 = (51 \times 52 \times 53 \times 54 \times 55)^{1/5} = 0.312$$

(2) 将 \bar{w}_i 规范化,得到 w_i (即特征向量的第 i 个分量)

$$w_i = \frac{\bar{w}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{w}_i}$$

$$\begin{aligned} \max_{i=1}^5 \frac{1}{i} &= 6.103 \\ 1 &= \frac{1}{5} = 0.367 \\ 2 &= \frac{2}{5} = 0.270 \\ 3 &= \frac{3}{5} = 0.124 \\ 4 &= \frac{4}{5} = 0.188 \\ 5 &= \frac{5}{5} = 0.051 \\ B &= (0.367, 0.270, 0.124, 0.188, 0.051)^T \end{aligned}$$

(3) 求 $\max_{i=1}^n \frac{1}{i} = 1.866$

$\max_{j=1}^5 \frac{1}{j} = 1.866$

$\max_{j=1}^5 \frac{2}{j} = 1.443$

$\max_{j=1}^5 \frac{3}{j} = 0.682$

$\max_{j=1}^5 \frac{4}{j} = 0.959$

$\max_{j=1}^5 \frac{5}{j} = 0.257$

$\max_{i=1}^5 \frac{ij}{i} = 5.214$

$C.I. = \frac{\max_{i=1}^n \frac{1}{i} - \frac{n}{n-1}}{n-1} = 0.054 < 0.1$

一般,只要 $C.I. < 0.1$,就可认为判断矩阵 A 是满意的;所以,该矩阵 A 通过一致性检验。

同理可求得各属性的最大特征值(见表 2)和相应特征向量,按列组成矩阵 B_3 。

表 2 各属性的最大特征值

属 性	工期	安全	质量	施工技术	施工成本
max	3.231	3.369	3.017	3.227	3.018

方案 I $\begin{pmatrix} 0.122 & 0.484 & 0.200 & 0.571 & 0.492 \end{pmatrix}$

$B_3 =$ 方案 II $\begin{pmatrix} 0.558 & 0.349 & 0.600 & 0.286 & 0.540 \end{pmatrix}$

方案 III $\begin{pmatrix} 0.320 & 0.168 & 0.200 & 0.143 & 0.297 \end{pmatrix}$

$W^3 = B_2 \times B_3 = (0.333, 0.454, 0.230)^T$

即施工方案 II 为最优,应选择施工方案 II。

4 方案实施

在总体施工方案确定之后,编制了 3 个详细施工方案,以细化总体方案的意图。

(1) DA - 101N/DA - 102N 联合基础施工方案。

(2) DA - 102N 塔吊装施工方案。

(3) DA - 102N 塔安装施工方案。

施工关键工序进度控制点为:

- (1) 用型钢加固在用设施 6 月 1 日 ~ 15 日
- (2) 基础托换 6 月 15 日 ~ 7 月 15 日
- (3) DA - 101N 新旧基础连接锚固筋施工 6 月 20 日 ~ 7 月 20 日
- (4) DA - 101N 新基础浇筑砼 7 月 28 日
- (5) DA - 102 旧塔拆除 8 月 31 日
- (6) DA - 102 旧基础拆除 9 月 1 日
- (7) DA - 102N 新基础浇筑砼 9 月 4 日
- (8) DA - 102N 新塔吊装 9 月 8 日

此方案既应用了基础托换新技术,又避免了托换总重达 75 t 的 DA - 102 旧设备和旧基础,可以降低施工风险,保证在用裂解装置的正常生产。方案决策既是大胆的、科学的,也是慎重的、周密的。

在方案的准备和实施过程中,对施工方案 5 个子目标(工期、安全、质量、施工技术、施工成本)所做的量化对比分析及结论,对现场指挥者判断和处理实际问题起到了很好的参谋和指导作用。

实践证明,运筹学的决策分析理论,可以辅助重大施工方案的论证、决策和实施,使人们进一步深化认识施工技术质量、安全和经济效益等问题,把握决策的科学性,有助于提高工程项目施工管理水平。

参 考 文 献

1 胡运权. 运筹学教程. 北京:清华大学出版社,1998

(下转第 24 页)



4 改进措施及效果

针对烟机叶片的损坏程度和三旋分离效率低的情况,我们陆续采用了以下相应措施:

1) 为降低维修费用,将一级动叶片受损部位修整为圆弧状,消除棱角,并对转子进行动平衡试验,对二级静叶片受损部位重新补焊,修整成型并重新喷涂耐磨层。

2) 对受损三旋单管进行更换,消除制造中的缺陷,保证筒体与锥体连接处内壁光滑过渡。

3) 对三旋吊筒焊口重新补焊,并进行探伤,保证焊接质量,提高操作平稳率,减小因温度变化快

而产生的巨大应力。

4) 临界流速喷咀及催化剂收集罐改为洛阳三旋免维护系统,减少阀门、法兰数量,杜绝了系统的泄漏。

改造后,我厂烟气轮机已累计运行 310 d,每天可节电 30×10^3 kW·h,按每度电 0.486 元计算,累计节电 451.98 万元,除去三旋免维护系统及烟机叶片修复费用共计 62 万元,改造后烟气轮机可增效 390 万元。在 2001 年 1 月对其进行解体检查,发现烟机动、静叶片无明显的新的冲刷痕迹,机组目前运行平稳。

Reasons of Blade Being Damaged of Smoke Turbine Unit and Measures Therefor

Zhao Jiong, Zhang Qingjun, Yan Yong, Li Jiangang and Li Tinggang

(General Petrochemical Works of Zhongyuan Oil Field Branch Company, Puyang 457165)

ABSTRACT

The causes of blade being damaged are analyzed. Some factors which reduce the particle collection efficiency of the 3rd - stage cyclone separator were proposed and improved. Now the unit run perfectly well.

Key words: smoke turbine unit, blade, 3rd - stage cyclone separator

(From page 7)

The Application of Operational Research Theory in Decision of the Great Construction Scheme

Dai Jie

(Construction & Installation Engineering Company of Beijing Yanshan Petrochemical Co., Ltd., 102500)

ABSTRACT

The decision analysis theory of operational research can make a quantificational description on the inference by a policymaker which contributes to demonstrate scientifically, and the great construction scheme being carried.

Firstly, to gain the weighting coefficient of each objective according to the construction experience passed, and obtain the biggest characteristic value, and then the yield optimal solution through matrix operation with many schemes.

By use of this method, an error in logic - inference can be avoided when the program is complicated and project more, there by the decision on great construction scheme will be made preferably.

Key words: Operational research, policy decision, scheme