

功能评价的一种新方法*

——AHP 在价值工程中的应用

张延欣

(郑州工学院管理系)

摘 要: 本文分析了现行功能评价方法存在的问题, 提出了将层次分析法 (AHP) 应用于功能评价的设想, 并结合企业开展价值工程活动的实际情况和案例, 分别论述了层次分析法的使用技巧及其可行性, 对于价值工程的推广应用有一定参考价值。

关键词: 价值工程, 功能评价, 层次分析法

在价值工程活动中, 如何定量地评价产品或作业的功能, 是一个既复杂又关键的问题。它直接影响着产品目标成本的分配或重点改进对象的确定。目前, 虽然已有很多功能评价的方法, 但大都存在着这样或那样的问题, 因而, 限制了价值工程的应用和发展。而层次分析法 (The Analytic Hierarchy Process, 简称 AHP) 不仅可以弥补现有功能评价方法的不足和解决目前功能评价中的一些难题, 而且还具有其它许多优点 (如简洁性、系统性等), 是一个难得的好方法。

1 现行功能评价方法存在的问题

在价值工程项目的功能评价中, 对功能定量化的方法很多, 应用较为普遍的是“相对值法”, 如直接比较评分法、强制确定法等。这些方法虽然简单易行, 但有很大的局限性。其一, 这些方法与功能系统图联系不密切, 不能充分发挥功能系统图的作用。因此, 这些方法往往对于结构简单的产品还可以, 对于结构复杂的产品, 要计算每个功能的评价系数就困难得多。如大型船舶产品, 不但零件数目达数万之多, 而且各功能之间重要性悬殊也很大, 很难直接给出船舶主机与船舶生活设施 (如沙发、桌椅等) 的功能重要性评分。其二, 这些评价方法自身缺乏一套科学的检验方法, 对计算结果的正确与错误无法作出科学的判断。通常, 进行功能评价的产品都是比较复杂的, 评价项目往往有十几个甚至几十个, 在进行比较评分时, 有时因疏忽或计算错误, 导致评分的不正确是不足为怪的, 问题是如何发现这些错误, 并及时给予纠正。目前, 尚缺乏科学的检验方法。

其三, 这些方法 (如强制确定法) 的计算结果只能粗略地表明功能的相对重要程度,

* 收稿日期: 1989.12.21

并不能反映功能之间的实际重要性比例。因此,把这种功能重要性的简单排序作为分配目标成本的依据,其结果必然是脱离实际的、毫无意义的。

层次分析法能很好地解决上述问题,它自身有一套完整的工作程序,并配备有现成的计算机软件,所以,它特别适应于处理复杂的功能评价问题。

2 层次分析法的基本原理

层次分析法是由美国著名运筹学家匹堡大学教授 T.L.Saaty 于七十年代中期提出的一种多准则决策方法。它把复杂的问题分解为各个组成因素,将这些因素按支配关系分组形成有序的递阶层次结构;通过两两比较的方式确定层次中诸因素的相对重要性;然后综合人们的判断,以决定诸因素相对重要性的顺序。AHP 体现了人们决策思维的基本特征,即分解—判断—综合。

运用 AHP 解决问题,大体可以分为四个步骤,现分述如下:

2.1 建立问题的递阶层次结构

这是 AHP 中最重要的一步。首先,把复杂问题分解为各个组成部分或元素,并把这些元素按属性不同分成若干组,以形成不同层次,如图 1 所示。

它非常类似于功能系统图的结构。图中联线就表示元素间的支配关系。同一层次的元素作为准则,对其下一层的元素起支配作用,同时它又受上一层元素的支配。这种从上到下的支配关系便形成了递阶层次结构。

2.2 构造两两比较判断矩阵,并计算在单一准则下元素的相对权重。

在建立了递阶层次结构以后,上下层之间元素的隶属关系就被确定了。假定上一层的元素 C_j 作为准则,对下一层次元素 A_1, A_2, \dots, A_n 有支配关系,我们的目的是在准则 C_j 下,按照它们相对重要性赋予 A_1, A_2, \dots, A_n 相应的权重。为此,类似强制确定法,首先构造一个包含所有被比较元素的表格即判断矩阵。见下表:

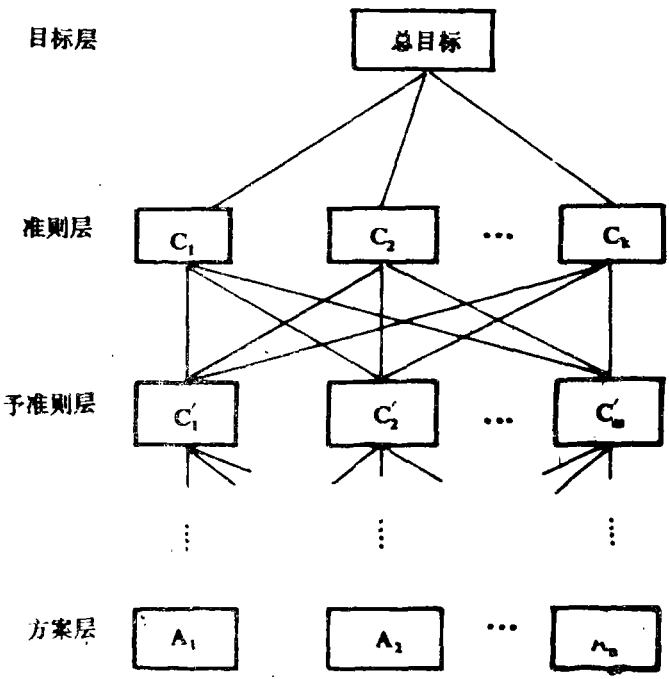


图1 递阶层次结构示意图

C_j	A_1	A_2	\dots	A_n	权重 W
A_1	b_{11}	b_{12}	\dots	b_{1n}	W_1
A_2	b_{21}	b_{22}	\dots	b_{2n}	W_2
\vdots	\vdots	\vdots	\dots	\vdots	\vdots
A_n	b_{n1}	b_{n2}	\dots	b_{nn}	W_n

表中元素 b_{ij} 就表明了准则 C_j 之下, 方案 A_i 相对于方案 A_j 的重要程度。如 b_{12} 就表示在准则 C_j 之下, 方案 A_1 相对于方案 A_2 的重要程度。 b_{ij} 的取值, 在这里采用的是 1-9 的比例标度, 也就是说, b_{ij} 可以为 1-9 中任意一个自然数, 其含义见表 1。

表 1 比例标度的含义

比例标度	含 义
1	表示两个元素相比较, 具有同样重要性
3	表示两个元素相比较, 一个元素比另一个元素稍微重要
5	表示两个元素相比较, 一个元素比另一个元素明显重要
7	表示两个元素相比较, 一个元素比另一个元素强烈重要
9	表示两个元素相比较, 一个元素比另一个元素极端重要

其中 2、4、6、8 为上述相邻判断的折衷值, 且若元素 i 与元素 j 比较得 b_{ij} , 则元素 j 与元素 i 比较为 $1/b_{ij}$ 。

其次, 由上述判断矩阵 $B = (b_{ij})_{n \times n}$ 计算 A_1, A_2, \dots, A_n 的相对权重向量 W 。具体做法是:

- ①、将 B 的元素按行相乘;
- ②、把所得乘积分别开 n 次方, 假设求得的 n 个方根分别为: $\bar{W}_1, \bar{W}_2, \dots, \bar{W}_n$;
- ③、计算 $W_i = \bar{W}_i / \sum_{j=1}^n \bar{W}_j, i = 1, 2, \dots, n$ 即得权重向量 $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)^T$ 。

向量 W 就反映了方案 A_1, A_2, \dots, A_n 在准则 C_j 下的相对重要程度。并且, 随着 C_j 由 C_1 变到 C_m , 我们就可以求得 m 个这样的权重向量。

类似地, 我们也可以求出 m 个子准则在高一级准则 $C_j (j=1, 2, \dots, k)$ 下的 k 个权重向量, 以及 k 个准则 $C_j (j=1, 2, \dots, k)$ 在总目标下的权重向量等。

2.3 对判断矩阵进行一致性检验

尽管在比较过程中我们强调要注意前后的一致性, 但是由于客观事物的复杂性以及人们认识的不同, 所以发生判断不一致的情况是难免的。如出现甲比乙重要, 乙比丙重要, 而丙比甲重要的情况, 这是不允许的。而且, 当 b_{ij} 偏离一致性过大时, 向量 W 作为决策依据将会出现问题。因此得到 W 后, 需要对判断矩阵 B 进行一致性检验。其步骤如下:

- ①、计算 B 的最大特征值 λ_{\max} : $\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(BW)_i}{W_i}$

式中 $(BW)_i$ 表示 BW 的第 i 个元素。

- ②、计算一致性指标 C.I. $C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$

式中 n 为判断矩阵 B 的阶数。

- ③、计算一致性比例 C.R. $C.R. = \frac{C.I.}{R.I.}$

式中 $R.I.$ 为平均随机一致性指标, 对于 1~9 阶矩阵其取值如下:

阶 数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R.I.	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46

计算结果, 当 $C.R. < 0.1$ 时, 则认为矩阵 B 的一致性是可以接受的。否则, 应调整 B , 使其具有满意的一致性。

2.4 计算各层元素的组合权重

上述第二步只是得出了每相邻两个层次中, 下层元素在上层元素作为准则下的相对权重, 而层次分析法最终是要求出各层元素在总目标下的相对权重, 即组合权重。为此, 需把第二步的计算结果进行组合。这一步骤是从上至下逐层进行的, 最终求得 A_1 、 A_2 、 \dots 、 A_n 等 n 个方案在总目标之下的权重。

假定已计算出第 $K-1$ 层元素对于总目标的权重向量 $W^{k-1} = (W_1^{k-1}, W_2^{k-1}, \dots, W_m^{k-1})^T$, 且又知在 $K-1$ 层第 j 个元素作为准则下, 第 K 层 n 个元素的权重向量为 $b_j^k = (b_{1j}^k, b_{2j}^k, \dots, b_{nj}^k)^T$, 其中没有支配关系 (即与第 $K-1$ 层第 j 个元素无关) 的元素的权重为零。令 $B^k = (b_1^k, b_2^k, \dots, b_m^k)$, 则第 k 层次中 n 个元素对于总目标的重要性系数即组合权重为:

$$W^k = B^k W^{k-1} \quad (3 \leq k \leq h, h \text{ 为层数})$$

上式展开即:

$$\begin{bmatrix} W_1^k \\ W_2^k \\ \vdots \\ W_n^k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11}^k & b_{12}^k & \dots & b_{1m}^k \\ b_{21}^k & b_{22}^k & \dots & b_{2m}^k \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1}^k & b_{n2}^k & \dots & b_{nm}^k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_1^{k-1} \\ W_2^{k-1} \\ \vdots \\ W_m^{k-1} \end{bmatrix}$$

3 应用分析

目前, 我国企业的价值工程活动按采用的评价对象分类, 大体有三种情况。

3.1 第一类是直接产品的零部件作为评价对象, 也就是根据各零部件对实现产品功能的重要性或者各零部件生产的难易程度, 分别赋予它们不同的评分值; 然后, 把各零部件的评分值加总, 并以这个和分别去除以各零部件的评分值, 即得到各零部件的功能评价系数。不可否认, 即使在以产品零部件为评价对象的价值工程活动中, 实质上人们的评价标准仍然是零部件的功能。

但是, 它比以功能为评价对象要简单得多, 也容易取得经济效益, 特别是在一些价值工程活动刚刚起步的企业。在这种情况下, 可以把产品或产品功能作“总目标”, 视各个零部件为“方案”, 构造如图 2 所示的产品层次结构图; 然后, 直接利用本文所介绍的方法, 以确定各零部件的重要性系数或功能评价系数。

当然, 对于较复杂的大型产品, 也可以直接根据产品结构图进行分析评价。越是复杂产品的评价, 越能显示出层次分析法的优越性。下面我们将着重讨论第二类型。

3.2 第二类是: 先以功能或功能域为评价对象, 求出各功能的评价系数; 然后, 再把各功能的评价系数按照一定比例分配给有关的零部件, 进而算出各零部件的功能评价系

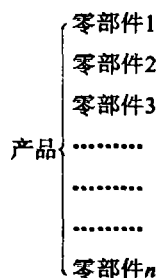


图2 产品层次结构图

数,并据此计算各零部件的目标成本和价值系数等。在这种情况下,层次分析法大有用武之地。我们可以建立包括产品功能系统图和主要零部件在内的递阶层次结构,即将功能系统图作为层次结构的上半部分,把各相关的零部件放在最下一层;然后,通过比较和计算,直接求出各主要零部件的重要性系数即功能评价系数。

例如,某皮革机械厂应用价值工程改进其八吨裁料机的设计,通过选择对象和功能分析,确定了 15 种关键零部件(占零件总数 7.8%,成本占总成本的 75.67%),并绘制了该产品的功能系统图如图 3 左半部分所示。

然后,逐级对各功能评分,以确定各功能的评价系数(重要性系数)。比如:对一阶功能采用直接打分法,分别求出它们的评价系数,如图 3 中数字所示。而二阶功能的评价系数就等于它的上位功能的评价系数与其评分的乘积。如切料是承受压力、施加压力和固定打板的上位功能,其功能评价系数为 0.779。通过对三个并列的下位功能采用“0-4 两两比较法”,得出各自的评分为:承受压力 0.30,施加压力 0.63,固定打板 0.07。由此可以计算

出三个功能的功能评价系数分别为:承受压力 $0.779 \times 0.30 = 0.234$;施加压力 $0.779 \times 0.63 = 0.491$;固定打板 $0.779 \times 0.07 = 0.055$ 。

最后,将二阶功能的评价系数,按其与零部件的关系,再分摊到 15 种关键零部件上去。如承受压力,其功能评价系数为 0.234。该功能由机身和丝杆底座共同完成。经分析,机身起的作用大,占 90%;丝杆底座起的作用小,占 10%。因此,机身分得的功能评价系数为 $0.234 \times 0.9 = 0.211$;丝杆底座分得的功能评价系数为 $0.234 \times 0.1 = 0.023$ 。其余类推,最终分配结果:A(机身) 0.302;B(打板) 0.079;C(油泵) 0.120;D(电磁阀组件) 0.070;E(立柱部件) 0.088;F(油罐) 0.037;G(活塞部件) 0.059;H(电动机) 0.096;I(塑料垫板) 0.014;J(滑动轴承) 0.014;K(冲压板) 0.013;L(丝杆底座) 0.050;M(按钮手柄) 0.005;N(手孔盖) 0.004;O(飞轮) 0.037,并据此,计算出了各零部件的价值系数和目标成本,进而确定出了重点改进对象,以及成本降低的期望值。

如果采用层次分析法,上面的工作两步就可以完成。

第一步,首选建立包括产品功能系统图和主要零部件在内的层次结构图,如图 3 所示。

第二步,计算各零部件的功能评价系数。首先视“裁料”为总目标,中间“功能”为准则,产品零部件为方案,由上而下,先计算出每两层次之间,下层元素在上层某元素作为准则下的重要性系数或功能评分。例如,对于第三层次中的承受压力、施加压力和固定打板三个元素,已知它们与第二层中的“切料”有关,因此,可以构造如下判断矩阵:

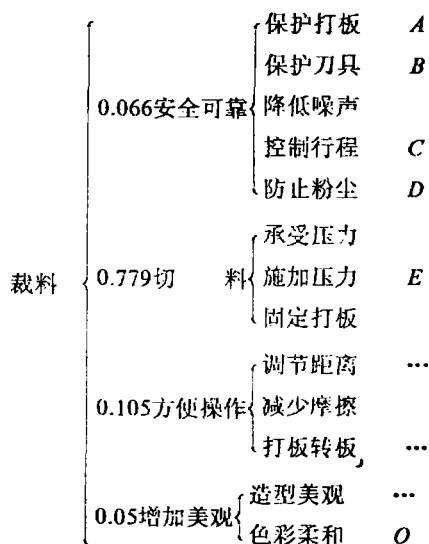


图 3 产品功能和主要零部件层次结构图

切料	承受压力	施加压力	固定打板	重要性系数
承受压力	1	1/3	6	0.2926
施加压力	3	1	7	0.6406
固定打板	1/6	1/7	1	0.0668

通过计算, 得出在“切料”作为准则下, 承受压力、施加压力和固定打板的相对权重或评分分别为: 0.2926、0.6406 和 0.0668。这个结果与该厂所给的评分极为接近, 并经检验, 上面判断矩阵完全符合一致性要求 ($CR = 0.096 < 0.1$)。

再如, 对于最下层中的零部件 A (机身) 和 L (丝杆底座), 已知它们对第三层中的承受压力有贡献, 可构造判断矩阵如下:

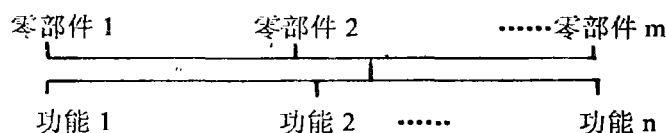
承受压力	A(机身)	L(丝杆底座)	重要性系数
A	1	9	0.9
L	1/9	1	0.1

通过计算, 得出机身和丝杆底座的重要性系数分别为 0.9 和 0.1。它们表明了两个零部件对承受压力这一功能的贡献的大小, 其结果与该厂求得的数值完全相同。

其次, 计算组合权重即元素相对于最上位功能的重要性系数或功能评价系数, 其计算过程也是自上而下进行的。例如, 已知第二层四个元素相对于最上位功能“裁料”的重要性系数或功能评价系数为 $W^2 = (0.066, 0.779, 0.015, 0.05)^T$ 。又如第三层 13 个元素在第二层某元素 j 作为准则下的重要性系数为 $b_j^3 = (b_{1j}^3, b_{2j}^3, \dots, b_{13j}^3)^T$, $j=1, 2, 3, 4$ (注意, 在向量 b_j^3 的元素中, 有许多元素为零。零元素表明下层功能与上层功能无关。如在切料作为准则下, 13 个并列的下位功能的重要性系数向量为 $b_2^3 = (0, 0, 0, 0, 0, 0.2926, 0.6406, 0.0668, 0, \dots, 0)^T$)。令 $B^3 = (b_1^3, b_2^3, b_3^3, b_4^3)$, 则第三层 13 个元素相对于最上位功能 (总目标) “裁料”的重要性系数, 即功能评价系数 $\hat{W}^3 = B^3 W^2$ 。类似地, 我们也可以求出最下层 15 个零部件相对上位功能“裁料”的重要性系数 $W^4 = B^4 W^3$, 其计算结果与该厂给出的数值完全一致。

3.3 第三类是直接把功能作为评价对象, 通过分析和计算, 找出价值低的功能或功能域, 并以此作为重点改进对象。它在新产品设计中用得较多。对于老产品, 还需要把各零部件的目前成本分摊给有关的功能, 以求出各功能的目前成本。在这种情况下, 可以直接按照功能系统图进行分析评价。事实上, 功能系统图就是一个典型的层次结构图, 视最上位功能为“总目标”, 最下层功能为“方案”, 中间功能为“准则”, 利用层次分析法, 可以顺利地求出各阶功能的评价系数。

至于老产品成本的分摊问题, 可以再构造一个包含产品主要零部件和有关功能的层次结构图, 如下图所示。



然后, 依次求出在上层某零部件作为准则下, 下层 n 个功能的相对重要性系数, 设

$b_j = (b_{1j}, b_{2j}, \dots, b_{nj})^T$, $j=1, 2, \dots, m$ 为下层 n 个元素 (功能) 在第 j 个零部件为准则下的重要性系数向量 (其中与第 j 个零部件无关的功能的重要性系数为零), 且 m 个零部件的目前成本分别为 d_1, d_2, \dots, d_m , 则各功能的目前成本可由下式求得:

$$C = B \cdot \text{diag } D \cdot E$$

$$\text{或: } \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1m} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_1 & 0 \\ & d_2 \\ & & \ddots \\ 0 & & & d_m \end{bmatrix} \cdot E$$

其中, $C = (c_1, c_2, \dots, c_n)^T$ 为各功能的成本所组成的向量, $B = (b_1, b_2, \dots, b_m)$ 为功能重要性系数矩阵, $\text{diag } D$ 为 m 阶对角矩阵; $E = (1, 1, \dots, 1)^T$ 为全部元素都是 1 的 m 维列向量。

4 结束语

由于层次分析法要求把被比较元素按照支配关系排列成为有序的递阶层次结构, 所以, 它特别适应于对功能系统图的计算和分析, 它使功能评价系数的计算变得简洁、系统、程序化。因而, 不失为一种有效的方法, 尤其对于大型的复杂产品, 其优越性更明显。

关于 1~9 的比例标度, 有它的优点, 但也不是尽善尽美的。国内已有不少学者对它提出了改进方案。在具体使用时, 根据问题的特点也可以采用其他标度方法, 如 0-1 标度, 指数型标度等。

参 考 文 献

- (1) 许树伯编著. 层次分析法原理. 天津大学出版社, 1988
- (2) 朱绵田等. 价值工程在XJIAI/Y-8裁料机上的应用. 高校价值工程研究会第一届年会交流资料, 1988

A New Method for the Function Evaluation

--The Application of AHP to Value Engineering

Zhang Yanxin

(ZhengZhou Institute of Technology)

Abstract: Having analysed the problems in the present methods of Function Evaluation, this paper suggests the application of AHP to Function Evaluation, and discusses the applying techniques as well as the feasibility of AHP in the light of the practical situations and cases of using VE in some enterprises. It will be of some help to the use of VE.

Keywords: Value Engineering (VE), Function Evaluation, Analytic Hierarchy Process(AHP)