

科技项目完成情况的模糊综合评价研究^①

梁吉业¹, 褚成缘², 胡建龙¹, 李德玉¹

(1. 山西大学计算机与信息技术学院系统工程研究所, 山西太原 030006;

2. 中国科学院计算技术研究所, 北京 100080)

摘要: 对照科技项目合同的预定目标, 提出了一种评判科技项目完成情况的模糊综合评价方法. 对定量指标, 提出的改进对比打分公式(contrast evaluation formula, CEF) 不仅能体现超额工作的贡献, 同时能够通过指标的互补性适度地体现额外贡献. 本文还提出了指标赋权的动态调整方法以解决评价过程中遇到的指标不完整问题. 通过对实际科研项目的评价, 验证了该方法的有效性.

关键词: 科技项目评价; 模糊综合评价; 对比评价公式(CEF); 权重动态调整

中图分类号: C931 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-5781(2008)05-0636-05

Research on fuzzy integrative evaluation for implemented situation of technological projects

LIANG Ji-ye¹, CHU Cheng-yuan², HU Jian-long¹, LI De-yu¹

(1. Institute of Systems Engineering, School of Computer & Information Technology, Shanxi University, Taiyuan 030006, China;

2. Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: Collating the anticipative aims of technological contracts, a fuzzy integrative evaluation method for implemented situation of technological projects is proposed. For quantitative indicators, an improved contrast evaluation formula is suggested. In this formula not only the contribution of the excess can be incarnated but also the additional contribution can be moderately incarnated by means of the complementary indicators. A method for dynamically adjusting indicator weights is presented to solve the problem of indicator incompleteness. The validity of the method is verified by the evaluation of many actual technological projects.

Key words: evaluation of technological project; fuzzy integrative evaluation; contrast evaluation formula; dynamic adjustment of weight

0 引言

近年来, 随着我国科技强国战略的推进, 各级

各类科研项目资助额度和数量不断增加, 社会各界对科研项目的完成情况及其所产生的效益越来越关注. 通过对项目的完成情况进行评价, 可以为完

① 收稿日期: 2006-02-06; 修订日期: 2006-07-17.

基金项目: 国家 863 计划资助项目(2004AA115460); 国家自然科学基金资助项目(60773133; 70471003; 60573074); 山西省自然科学基金资助项目(20041040); 教育部科学技术研究重点项目(200718; 200617); 教育部博士点专项基金资助项目(20050108004); 山西省科技攻关资助项目(051129); 山西省重点实验室开放基金资助项目(200603023).

善和调整相关方针、政策和管理程序提供科学依据,同时对提高科技项目的投资效益具有重要意义。

科技项目目标评价^[1]作为科技项目实施效果评价的主要任务之一,是指依据合同任务书的预期目标与数据和项目完成后的实际情况与实得数据进行对比分析以评判科技项目立项时原来预定的目标和目标的实际达到程度。

现行的目标评价广泛应用于科研及工程项目评价中^[1~9],但多采用简单直观的定性评议或使用粗糙的比较评价打分方法,尚未形成公认统一的理论和方法。目前的方法过分依赖于专家的主观经验和知识积累,很大程度上影响了评价结论的客观性。模糊综合评价方法^[10~12]是一种用于涉及模糊因素的综合评价方法,其优点是可以较好地解决综合评价中的模糊性(如事物类属间的不清晰性,评价专家认识上的模糊性等),根据不同可能性得出多个层次的问题解,符合现代管理中“柔性管理”的思想。

本文旨在结合模糊综合评价方法,对照科技项目合同任务书的预定目标,提出一种评判科技项目完成情况的模糊综合评价方法。

本文讨论了科研合同指标体系的系统分析、定量指标的对比打分(contrast evaluation)模型、定量指标的模糊化、定性指标的模糊评价模型,指标权重的动态调整和多级模糊综合评价模型,并对本方法的应用情况作了说明。

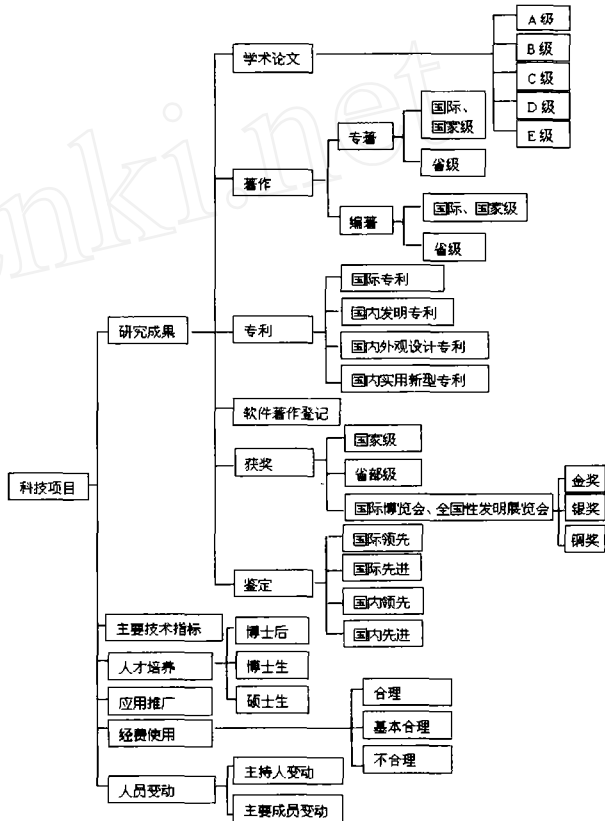
1 评价指标体系及其相关基本概念

通过对科技项目合同的仔细分析,建立了如图 1 所示的项目评价指标的层次结构模型。该模型依据通常科技合同要求,将评价指标由底层到高层逐层考虑其隶属关系,最终形成一个具有层次结构的评价指标体系树。下面是与其相关的三个基本概念。

1)评价指标的父子关系。如果两个评价指标所对应的节点在评价指标树中有父子关系,则称这两个评价指标有父子关系,如图 1 中“鉴定”与“国际领先”两个指标就有父子关系。在评价中,子指标只对其父指标的评价提供直接贡献。

2)原子指标。如果一个评价指标没有子指标,则称该指标为原子指标。显然,原子指标对应

于指标树中的叶子节点,如图 1 中的“国际专利,国内发明专利”等。在评价中,原子指标本身并不被评价。



3)互补指标。若某些同类原子指标对其父指标的贡献可以相互弥补,则这些指标称为互补指标,如图 1 中“学术论文”的子指标“A 级,B 级,C 级,D 级,E 级”就是互补指标。

2 定量指标的对比打分模型

模糊评价对定量指标的处理一般采用两种方法^[2]:一是隶属函数法,比如有 m 个指标, n 个评语,则该方法需要确定 $m \times n$ 个隶属函数,当指标个数较多时,这种方法工作量大,在实际应用中未被普遍采用;二是频率法,该方法操作简便,工作量大,但比较粗糙。另外,用频率作为隶属度需要大量的历史数据,时间跨度大,因而评价的意义值得怀疑^[2]。对比打分公式(contrast evaluation formula, CEF)充分利用了合同信息和实际完成情况对定量指标给出合理的评分,对各个定量指标只需要统一确定分值相对于各评语的隶属函数

即可,它不仅结合了上述两种方法的优点,又弥补了各自的不足.

在给出定量指标的对比打分模型之前,首先介绍对互补指标的处理方法.有些科技项目完成了合同中未作要求的其它互补指标,显然,这种额外的工作对其父指标的整体完成情况有一定的贡献.但由于该指标的合同要求量为“0”,为了在 CEF 中适度体现对额外贡献的鼓励,采用该指标的所有互补指标的合同要求数量总和来衡量其贡献.

需要说明的是,在本节中出现的 p_i (或 p_j) 均定义为

$$p_i \text{ (或 } p_j) = \begin{cases} 1, & \text{若指标 } u_i \text{ (或 } u_j) \text{ 在合同} \\ & \text{中有要求} \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (1)$$

$i \text{ (或 } j) = 1, 2, \dots, m$

本文所提出的评价方法采用 150 分制,恰好完成合同要求得满分 100 分,最多得分为 150 分,超过 100 的分值体现超额完成的工作对项目评价的贡献.

设有定量指标 $u = (u_1, u_2, \dots, u_m)$, 其中, $u_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 为从属于指标 u 的原子定量指标,合同中对各原子定量指标的数量要求为 $X = (x_1, x_2, \dots, x_m)$, 对应各指标的实际完成值为 $Y = (y_1, y_2, \dots, y_m)$, 那么,该定量指标 u 通过如下 CEF 给出打分.

$$S = \min \left\{ \frac{\sum_{i=1}^m \omega_i (h_i + c_i)}{t} \times 100, 150 \right\}, i \leq m \quad (2)$$

其中: $h_i = \frac{\min\{x_i, y_i\}}{x'_i}$ 表示按照原子定量指标 u_i 实际完成量相对于调整后的合同要求量的完成程度; $c_i = s_i l_i$ 表示按照原子定量指标 u_i 实际完成值的超额完成度; $l_i = \sum_{j=1}^m \left(\frac{\omega_j p_j}{\omega_i p_i} \right) \left(\sum_{j=1}^m p_j \right)^{-1}$ 表示指标 u_i 相对于所有合同要求的互补指标的相对平均权重; $s_i = \max\{y_i - x_i, 0\} / x'_i$ 表示按照指标 u_i 超额部分相对于调整后的合同要求量的超额率; $t = \sum_{i=1}^m \omega_i p_i$ 表示合同要求的 u 的子指标的权重和; $x'_i = x_i + (1 - p_i) \sum_{k=1}^m x_k$ 表示调整后指标 u_i 的合同

要求量. 需要注意的是,若 u_i 在合同中有要求,即 $p_i = 1$, 则 $x'_i = x_i$; 若 u_i 在合同中未作要求,但实际有一定的完成量,则采用 u_i 的所有互补指标的合同要求量的总和 $\sum_{k=1}^m x_k$ 作为 u_i 调整后的合同要求量.

若指标 u_i 未超额完成,即 $y_i \leq x_i$, 则超额完成度 $c_i = 0$, u_i 对其父指标 u 的贡献为 $\omega_i h_i / t$; 若指标 u_i 超额完成即 $y_i > x_i$, 则 $h_i = 1$, 超额部分 $y_i - x_i$ 相对于调整后的合同要求 x'_i 的超额率为 $s_i = (y_i - x_i) / x'_i$, s_i 与其相对平均权重 l_i 的乘积就是 u_i 相对于被评价指标 u 的相对超额度 $\omega_i (1 + c_i) / t$ 就是 u_i 对其父指标 u 的贡献.

3 定量指标的模糊化

在许多评价问题中,评价指标往往被赋以模糊值如“领先”,“先进”和“合理”等,而且用户所要求的最终评语也常为模糊型结论.因此需要将定量指标模糊化.

设评语集 $V = \{\text{超额完成, 完成, 基本完成, 未完成}\}$, 对应的等级模糊集分别记为 H, I, J, K . 因为定量指标的打分 $x \in [0, 150]$, 所以模糊概念 H, I, J, K 的论域为 $[0, 150]$. 下面分别构造它们的隶属函数 $\mu_H(x), \mu_I(x), \mu_J(x), \mu_K(x)$.

1) $\mu_H(x)$. 显然, x 越大则对 H 的隶属度越大, 因此可考虑采用偏大型半哥西分布^[10]

$$\mu_H(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{(x - a)^\beta}{(x - a)^\beta + \alpha}, & x > a \end{cases} \quad (3)$$

其中, $\alpha, \beta > 0, a$ 可取为 100, 即若打分不高于 100, 则 x 隶属于超额完成 H 的隶属度为 0, 打分高于 100 时才对 H 有非 0 隶属度, 并且打分越高对 H 的隶属度越大, 考虑到 $x = 150$ 时应有 $\mu_H(x) = 1$, 故可将式(3)修正为

$$\mu_H(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 100 \\ \frac{(x - 100)^\beta}{(x - 100)^\beta + \alpha}, & 100 < x \leq 135 \\ kx + b, & 135 < x \leq 150 \end{cases} \quad (4)$$

用待定系数法来确定 k 和 b , 特别地取 $\mu_H(135) = 0.8, \mu_H(120) = 0.2$ 可求得 $k =$

0.013, $b = -1, \alpha = 1.1 \times 10^7, \beta = 4.95$, 从而有

$$\mu_H(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 100 \\ \frac{(x-100)^{4.95}}{(x-100)^{4.95} + 1.1 \times 10^7}, & 100 < x \leq 135 \\ 0.013x - 1, & 135 < x \leq 150 \end{cases} \quad (5)$$

2) $\mu_K(x)$. 显然, x 越小, 则对 K 的隶属度越大, 因此可考虑采用偏小型半哥西分布^[10]

$$\mu_K(x) = \begin{cases} 1, & x \leq a \\ \frac{1}{1 + \alpha(x-a)^\beta}, & x > a \end{cases} \quad (6)$$

取 $a = 50$, 即若实际完成额度未达合同要求的一半时, 该指标执行失败, 按未完成处理, x 隶属于超额完成 K 的隶属度为 1. 取 $\mu_H(60) = 0.8, \mu_H(80) = 0.05$ 可得 $\alpha = 2.5 \times 10^{-5}, \beta = 3.94$. 从而有

$$\mu_K(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 50 \\ \frac{1}{1 + 2.5 \times 10^{-5}(x-50)^{3.94}}, & x > 50 \end{cases} \quad (7)$$

3) $\mu_I(x)$. 可考虑采用中间型哥西分布^[10]:

$$\mu_H(x) = \frac{1}{1 + \alpha(x-a)^\beta}, \quad \alpha > 0, \beta \text{ 为正偶数} \quad (8)$$

因为得分恰为 100 分时, 隶属于完成的隶属度为 1, 故 $a = 100$. 取 $\mu_H(80) = 0.07, \mu_H(60) = 0.005$, 可得 $\alpha = 8 \times 10^{-5}, \beta \approx 4$. 从而有

$$\mu_I(x) = \frac{1}{1 + 8 \times 10^{-5}(x-100)^4}, \quad 0 \leq x \leq 150 \quad (9)$$

4) $\mu_J(x)$ 也可考虑采用中间型哥西分布^[10],

$$\mu_H(x) = \frac{1}{1 + \alpha(x-a)^\beta}, \quad \alpha > 0, \beta \text{ 为正偶数} \quad (10)$$

当得分为 80 分时, 认为隶属于“基本完成”的隶属度为 1, 故 $a = 80$. 取 $\mu_J(50) = 0.02, \mu_J(60) = 0.3$, 可得 $\alpha \approx 8.9066 \times 10^{-8}, \beta \approx 6$. 从而有

$$\mu_J(x) = \frac{1}{1 + 8.9066 \times 10^{-8}(x-80)^6}, \quad 0 \leq x \leq 150 \quad (11)$$

4 定性指标的模糊评价模型

模糊统计试验是确定定性指标模糊隶属函数简单有效方法, 本文采用模糊统计试验为依据的等级比重法来确定其隶属度, 即待评价的定性指标 u 隶属于第 j 个评语 v_j 的隶属度为

$$q_j = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{u \in \{v_j\} \text{ 的次数}}{n} \approx \frac{\text{认为 } u \text{ 的评语为 } v_j \text{ 的人数}}{\text{参评总人数}} \quad (12)$$

其中, n 为试验次数.

5 指标权重的动态调整

即使是同类项目, 其合同在指标要求上也会有差异, 此差异指的是有些非原子指标在某个项目合同中有要求, 而在另一个同类的项目中未作要求, 在评价时, 就这些具体项目而言, 如何针对指标的变化来确定其权重是一个重要问题. 本节中提出了基于“同类指标之间的相对重要性保持不变”的指标权重动态调整方法.

设有 m 个指标, 对应权重分别为 $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m$, 假设合同只要求 m' ($m' < m$) 个指标 $\omega'_1, \omega'_2, \dots, \omega'_m$. 以下讨论如何用 $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m$ 来确定 $\omega'_1, \omega'_2, \dots, \omega'_m$. 设 $\omega'_1, \omega'_2, \dots, \omega'_m$ 在指标集 $\{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m\}$ 中对应指标的下标分别为 l_1, l_2, \dots, l_m . 假设同类指标之间相对重要性保持不变, 即 $\omega'_i/\omega'_j = \omega_{l_i}/\omega_{l_j}, 1 \leq i, j \leq m'$, 则有

$$\begin{cases} \omega'_i/\omega'_1 = \omega_{l_i}/\omega_{l_1}, & i = 2, 3, \dots, m' \\ \omega'_1 + \omega'_2 + \dots + \omega'_m = 1 \end{cases} \quad (13)$$

解式(13), 可得

$$\omega'_i = \frac{\omega_{l_i}}{\omega_{l_1} + \omega_{l_2} + \dots + \omega_{l_m}}, \quad i = 1, 2, \dots, m' \quad (14)$$

在实际评价过程中, 为便于计算, 可采用式(1)定义的 p_i , 这样, 式(14)就变为如下的动态指标权重计算公式

$$\omega'_i = \frac{\omega_i p_i}{\omega_1 p_1 + \omega_2 p_2 + \dots + \omega_m p_m}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (15)$$

6 多级模糊综合评价模型

某个指标的子指标已被评价可获得一簇模糊评价向量,利用单级模糊综合评价方法,就可以获得该指标的模糊评价向量,依次自底向上,最终可以得到对根指标的模糊评价向量^[2,10].

7 应用情况

在实际的科技项目评价中,经过多次计算最终可以得到该项目的模糊评价向量

$$e = (e_1 \quad e_2 \quad e_3 \quad e_4)$$

由此向量的分量即可按如下公式求得项目的总评分.

$$\text{评分} = e_1 \times 150 + e_2 \times 100 + e_3 \times 80 + e_4 \times 50$$

利用本文所提出的方法对对国家 863 计划计

算机软硬件技术主题项目中的 335 个项目合同的完成情况进行了评价,评价结果得到了有关管理部门和专家们的认可,取得了良好效果.

8 结束语

本文针对科技项目的完成情况,提出了模糊综合评价方法.评价指标体系采用层次结构,提出了指标父子关系、原子指标、互补指标等概念,对指标的赋权采用动态调整方法,有效地解决了评价过程中的指标不完整问题.改进了对比打分公式,体现了项目超额成果对项目评价的贡献,同时能够通过指标的互补性适度地体现额外贡献.本文所提出的模糊综合评价模型对各种科技项目合同的制定具有一定的指导作用,亦可为科技项目管理部门的决策提供有力的参考依据.

参考文献:

- [1]王凭慧. 科技项目评价方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [2]胡永宏, 思辉. 综合评价方法[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [3]梁吉业, 李德玉. 信息系统中的不确定性与知识获取[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [4]王宗军. 综合评价方法问题及研究趋势[J]. 管理科学学报, 1998, 1(1): 75—79.
- [5]陈衍泰, 陈国宏, 李美娟. 综合评价方法分类及研究[J]. 管理科学学报, 2004, 7(2): 69—79.
- [6]骆品亮. 主观绩效评价与客观绩效评价的优化组合[J]. 系统工程学报, 2001, 16(2): 100—105.
- [7]张宏元, 黄德云, 朱东华. 科技评价的智能信息处理方法研究[J]. 预测, 2002, 21(4): 28—29.
- [8]Carrizosa E, Conde E, Fernandez R, *et al.* Multi-criteria analysis with partial information about the weighting coefficients [J]. *European Journal of Operational Research*, 1995, 81(2): 291—301.
- [9]Cook W, John D, Rodney G, *et al.* Multi-criteria modeling and ordinal data: Evaluation in terms of subsets of criteria [J]. *European Journal of Operational Research*, 1997, 98(3): 602—609.
- [10]汪培庄. 模糊集合论及其应用[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1983.
- [11]张吉军. 模糊层次分析法(FAHP) [J]. 模糊系统与数学, 2000, 14(2): 80—88.
- [12]王浩, 庄钊文. 模糊可靠性分析中的隶属函数确定[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2000, 10(4): 2—7.

作者简介:

梁吉业(1962—), 男, 山西晋城人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向: 计算智能与智能决策;

褚诚缘(1962—), 男, 天津武清人, 高级工程师, 研究方向: 智能决策与管理;

胡建龙(1981—), 男, 山西中阳人, 硕士生, 研究方向: 综合评价理论与方法, Email: weilong@sxu.edu.cn;

李德玉(1965—), 男, 山西曲沃人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向: 信息系统工程.