

科研经费管理决策支持系统若干模型*

邓 苏 张维明 张 彪 代长华

(系统工程与数学系)

摘 要 本文应用多目标决策原理和计算机技术,在分析用户需求的基础上,建立了科研任务项目的预测评价和经费分配模型,并分析了有关模型的关系和解决性质。根据这些模型和决策的特点,简要叙述了该系统的主要功能。我们相信,该系统的应用,将给管理人员提供方便,且使管理进一步科学化,让有限的经费发挥更大的作用。

关键词 决策支持系统,模型,目标规划,科研经费

分类号 O221.1

1 引 言

科研费的分配与管理是一项重要而又经常性的工作。随着经济的发展,用于国防科研的经费必将进一步得到增加。如何充分利用有限的经费,最大限度地满足国防科研的需要,研制出高水平的、实用的设备和科研成果,是一项复杂的系统工程。国防科研费的管理不能照搬工业企业管理办法。它要求管理人员不仅要懂得管理的基本原理、方法,还要懂得科研试验过程、掌握有关科研试验知识,这就对管理人员提出了更高的要求。在此背景下,我们进行了科研费的管理决策支持系统的研制。本文主要介绍该系统的功能及有关模型。

2 经费分配方案模型

一般地,经费分为:水电费、教育训练补助费、专项经费、机动费、科研管理费、维修费、重点实验室建设和科研费。这里我们重点研究科研费的分配方案。

科研费的分配是有关部门根据任务、技术条件和财力物力的可能,编制审核科研费五年计划和年度概算,审核单项任务项目的经费概算,分配科研费年度控制指标。在给定的年度控制指标内,如何按项目下达经费是一项值得研究的事情。鉴于经费分配的特点,我们提出了如下的几种分配方法模型。

2.1 比例核减法

分配的原则是:除任务项目外,未申请和未作技术经济论证的任务和项目不下拨经

* 1993年3月15日收稿

费。如经费充足，可以满足所有经过论证的项目，但多数不是如此。解决的办法是按一定方式分配。

(1) 单位核减法

该方法的思想是：大体上维持上年度的分配比例、确保重点任务项目，且具体分配经费不超过该单位申请数。

设共有几个单位，总科研费为 F ， $(\omega_1, \dots, \omega_n)$ 为上年度的分配比例， a_i 为 i 单位申请经费数， b_i 为 i 单位重点任务项目的经费数。则按“M-1”进行分配：

$$\begin{cases} \min \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{\sum_{j=1}^n x_j} - \omega_i \right)^2 & (M-1) \\ \text{s.t.} \quad b_i \leq x_i \leq a_i & i = 1, \dots, n \\ \sum_{i=1}^n x_i \leq F \end{cases}$$

显然有下述命题：“M-1”有解当且仅当 $\sum_{i=1}^n b_i \leq F$ 。 x_i 作为分配给 i 单位的经费，其中优先保证重点任务项目，余下的部分，可按下述其它方法进行分配。

(2) 申请数核减法

该方法的基本思想是：保证重点任务项目，非重点任务项目按申请比例核减，且各单位的分配数不超过申请数。

假设 $F \geq \sum_{i=1}^n b_i, \quad a_i \geq b_i \quad (i = 1, \dots, n)$

令
$$x_i = b_i + \frac{a_i - b_i}{\sum_{j=1}^n (a_j - b_j)} \left(F - \sum_{j=1}^n b_j \right) \quad (M-2)$$

命题 1 当申请经费大于可分配的经费时，由 M-2 确定的分配方案满足下列条件：

$$\begin{cases} a_i \geq b_i \geq b_i & i = 1, 2, \dots, n \\ \sum_{i=1}^n x_i = F \end{cases}$$

显然由 M-2 式确定的分配方案是 M-1 式的可行解。

2.2 多目标分配模型

利用模型 M-1 和 M-2 虽然能产生满足某些条件的分配方案，但对任务项目本身的属性考虑不够。设经费分配方案应达到的目标为：

- 保证重点任务项目；
- 不突破总的指标控制；
- 总体效果最佳；
- 分配给各单位的经费达到相对平衡；
- 正在进行的任务项目尽量不要下马。

设 f_{ij} 、 f_{ij}^l 、 f_{ij}^u 分别表示 i 单位、 j 任务项目所需经费及其下经费的下界和上界， y_i 为 i 单位上年度分配的科研费用， u_{ij} 为 i 单位 j 任务项目的预测效益值， x_{ij} 为分配给 i 单位

j 任务项目的经费数。

$$\bar{u}_{ij}(x_{ij}) = \begin{cases} u_{ij}, & \text{如果 } x_{ij} \geq f_{ij}^L; \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

$$Z_{ij}(x_{ij}) = \begin{cases} 1, & \text{如果 } x_{ij} \geq f_{ij}^L; \\ 0, & \text{否则.} \end{cases}$$

$$C_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{如果 } i \text{ 单位 } j \text{ 任务项目是新上项目;} \\ 1, & \text{否则.} \end{cases}$$

$$d_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{如果 } i \text{ 单位的 } j \text{ 任务项目是重点项目;} \\ 0, & \text{否则.} \end{cases}$$

(1) 确保重点、力争效益模型

$$\begin{cases} \max \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} \bar{u}_{ij}(x_{ij}) \\ \text{s.t.} \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} \leq F \\ d_{ij} \cdot (x_{ij} - f_{ij}^L) \geq 0 \quad i = 1, \dots, n \\ f_{ij}^L \geq x_{ij} \geq 0 \quad j = 1, \dots, n_i \end{cases} \quad (\text{M-3})$$

M-3 是在总经费不超支和保证重点任务项目的前提下,使效益最优的分配模型。不难证明如下命题:

命题 2 如果 $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} f_{ij}^L \cdot d_{ij} \leq F$, 则 M-3 有可行解, 而且有最优解。

命题 3 如果 $\{x_{ij}\}$ 是 M-3 的一组最优解, 则 $\{\bar{x}_{ij}\}$ 也是 M-3 的最优解。其中

$$\bar{x}_{ij} = \begin{cases} f_{ij}^L, & \text{如果 } x_{ij} \geq f_{ij}^L; \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

(2) 在保证重点, 不超支和使各单位的经费达到相对平衡的前提下, 目标函数为效益的优化模型。(M-4)

M-4 是在 M-3 的基础上, 增加一个如下约束:

$$(1 - \alpha) \cdot \frac{\sum_{i=1}^n f_{ij}}{\sum_{j=1}^{n_i} f_{ij}} \leq \frac{\sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}}{\sum_{j=1}^{n_i} x_{kj}} \leq (1 + \alpha) \frac{\sum_{j=1}^{n_i} f_{ij}}{\sum_{j=1}^{n_i} f_{kj}} \quad (\text{M-4})$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

式中, k 为给定的某单位, α 为允许偏差。如果某个单位没有任务项目, 则不予考虑。

M-4 考虑了各单位所分配经费与申请经费的平衡。如果只考虑各单位所分配经费与上年度的经费平衡。则用模型 M-5 来描述。

M-5 是在 M-3 的基础上增加如下约束。

$$(1 - \alpha) \cdot \frac{y_i}{y_k} \leq \frac{\sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}}{\sum_{j=1}^{n_k} x_{kj}} \leq (1 + \alpha) \frac{y_i}{y_k} \quad (M-5)$$

(3) 在保证重点任务项目, 经费不超支, 且尽量使上年度拨款任务项目继续得到保证的前提下, 目标函数为效益的优代模型 (M-6):

M-6 是在 M-3 的基础上增加如下约束:

$$1 - \beta \leq \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} C_{ij} \cdot Z_{ij}(x_{ij})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} C_{ij}} \quad (M-6)$$

其中 β 为允许误差范围。

对 M-4、M-5、M-6 作如下补充:

① M-4、M-5、M-6 有最优解的必要条件是:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} f_{ij}^L \cdot d_{ij} \leq F$$

② 对 M-4 来说, α 实际上跟 k 有关。如果 $\alpha=0$, 分配的平衡状态是绝对的。

③ 对 M-5 来说, α 也跟 k 有关。 $\alpha=0$ 表明分配是绝对平衡的, 但一般不会出现这种情况。可以说, M-4 和 M-5 中的 α 的大小跟 k 单位权重或信誉成反比。

④ 在 M-6 中, 如果 $\beta=1$, 则 M-6 与 M-3 等价。

⑤ 在 M-6 中, 如果 $\beta=0$ 当且仅当对任意的 i 和 j 有下式成立

$$C_{ij}(1 - Z_{ij}(x_{ij})) = 0$$

这里的 α 和 β 满足: $0 \leq \alpha \leq 1$, $0 \leq \beta \leq 1$

(4) 关于目标函数的说明

M-3 至 M-6 都是以效益为目标函数, 即

$R_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} \bar{u}_{ij}(x_{ij})$ 。由于不同任务项目的效益意义的差别及重要性的差别, 在考虑效益目标函数时, 可用加权求和的办法。

表示超支量:

$$R_2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} - F$$

重点任务项目被保证的程度:

$$R_3 = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} d_{ij} \cdot Z_{ij}(x_{ij})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} d_{ij}}$$

表示对任务项目下拨经费的连续性程序:

$$R_4 = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} C_{ij} \cdot Z_{ij}(x_{ij})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} C_{ij}}$$

表示各单位分配经费数与申请经费之比的相差程度：

$$R_5 = \max_i \{|r_{i1} - r_1|\}, \quad r_{i1} = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}}{n_i}, \quad r_1 = \frac{\sum_{i=1}^n r_{i1}}{n};$$

表示各单位分配数与上年度分配经费之比的相差程序：

$$R_6 = \max_i \{|r_{i2} - r_2|\}, \quad r_{i2} = \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} / y_i, \quad r_2 = \sum_{i=1}^n r_{i2} / n$$

R_1 、 R_3 和 R_4 越大越好，而指标 R_2 、 R_5 、 R_6 越小越好，利用这些指标，对不同的要求，可以给出不同的模型并求得相应的方案。当提的要求不合理时，可能导致模型无解。上面给出了 6 个目标函数，它们的优先等级顺序不同，可得到相应的目标规划模型。

权衡上述六种指标，假设它们的优先等级如下：

- 第一优先级：使重点任务项目达到预定水平；
- 第二优先级：使分配的经费尽可能不超支；
- 第三优先级：尽量保证下拨经费的连续性；
- 第四优先级：总体效益达到一定水平；
- 第五优先级：各单位的分配数达到相对平衡。

设上述五种指标的预定目标分别为 α_1 、 α_2 、 α_3 、 α_4 、 α_5 ，即分别满足：

$$P_1 \geq \alpha_1, P_2 \leq \alpha_2, P_3 \geq \alpha_3, P_4 \geq \alpha_4, P_5 \leq \alpha_5$$

其中 $P_1 = R_3$, $P_2 = R_2$, $P_3 = R_4$

$$P_4 = R_1 / \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} u_{ij}, \quad P_5 = R_5$$

于是经费分配的目标规划模型如下：

$$\left\{ \begin{array}{l} \min \{e_1^-, t_2^+, e_3^-, e_4^-, t_5^+\} \\ \text{s.t.} \cdot \quad P_1 + e_1^- - t_1^- = \alpha_1 \\ \quad \quad \quad P_2 + e_2^- - t_2^+ = \alpha_2 \\ \quad \quad \quad P_3 + e_3^- - t_3^+ = \alpha_3 \\ \quad \quad \quad P_4 + e_4^- - t_4^+ = \alpha_4 \\ \quad \quad \quad P_5 + e_5^- - t_5^+ = \alpha_5 \\ \quad \quad \quad e_k^- \geq 0, t_k^+ \geq 0, e_k^- \cdot t_k^+ = 0, (k = 1, 2, 3, 4, 5) \end{array} \right. \quad (\text{M} - 7)$$

M-7 不是追求单个目标的最优值，而是尽力争取达到决策者希望达到的目标值。 $\alpha_1 \leq 1$, $\alpha_2 \geq 0$, $\alpha_3 \leq 1$, $\alpha_4 < 1$, $\alpha_5 > 0$ 。

2.3 模型求理解的说明

由于 M-1, M-3, M-4, M-5, M-6, M-7 是非线性的，而且 M-7 的目标函

数向量形式，因此可以采用模式搜索请求解。

(1) 当申请数大于总经费 F 时， $M-1$ 的初始可行解可按 $M-2$ 求得；

(2) 由命题 3 可知，求解 $M-3$ 时， x_{ij} 要么取 f_{ij}^* 要么取 0。

(3) 当 α 充分大时， $M-4$ 、 $M-5$ 与 $M-3$ 等价（即有相同的解）。

(4) 若 $M-7$ 的预定指标 α_1 至 α_5 选取适当，所得出的解是按某种意愿的满意解。预定指标的不同会导致不同的解。 $M-7$ 各目标函数的顺序可根据要求作适当的调整。

以上提出的模型仅是本系统的部分内容。其中效益指标是根据下达方法确定的。

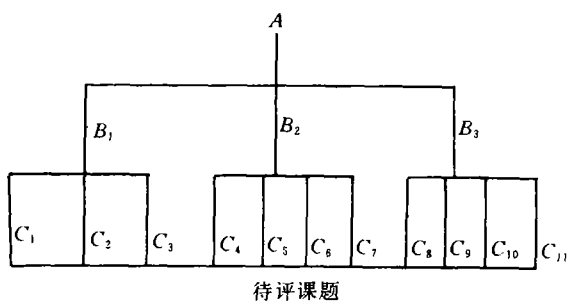
3 任务项目的效用

任务项目技术经济论证是科研费分配的重要依据。对应用开发性课题和基础性课题评价观点是不同的，其中涉及许多定性因素，我们采用层次分析原理来评价任务项目。

3.1 应用开发性课题的评价模型

该模型共分为三层：目标层即对项目进行综合预测；准则层即包括对任务项目进行预测的三大准则和 11 项具体预测指标；最低层即为待评任务项目。

B_1 为效益即实用价值， C_1 为直接经济效益， C_2 为间接经济效益， C_3 为军事效益， B_2 为水平， C_4 为学术水平， C_5 为学术创新， C_6 为技术水平， C_7 为技术创新， B_3 为研制规模， C_8 为调研工作量， C_9 为科学实验量， C_{10} 为协同攻关规模， C_{11} 为研究所需人年。



(M-8)

3.2 基础性课题的评价模型

基础性课题虽然难以直接带来经济效益，但决不可以忽视。主要评价指标除了 B_2 、 B_3 有关的八个项目外， B_1 由下述几个项来衡量即：人材培养、优势发挥、军事意义。限于篇幅，有关指标的计算这里就不详述。当然，基础性课题与开发应用性课题的侧重点不同，模型中的指标权重也会不同，可视具体情况而定。

4 系统功能

该系统的主要功能模块如下：

(1) 任务项目评价模块

该模块主要用来对任务项目进行预测评价，通过人机对话确定有关指标，并为经费分配提供依据。

(2) 分配方案模块

①该模块根据不同的要求，产生相应的分配方案。运用多目标决策原理，为决策者提供有效的方案集。分配方案既可以由用户选择有关模型来得到，还可以允许进行人工干预。对不同的模型提供相应的信息供用户阅读。

②对给定的方案作适当的分析，把有关参数如 P_1 和 P_5 提供给用户。

(3) 任务项目进度控制模块

主要反映任务项目的进度是否按预定计划进行，以图形的方式提供给用户。

(4) 经费监督模块

显示各单位、各课题的经费使用情况，是否符合有关规定。预付款与研制进度是否一致，经费结转的原因等等。

(5) 报表生成模块

按照有关文件规定，输出相应的报表。

(6) 奖励模块

根据各单位、各任务项目经费使用情况、人员投入量、任务完成优劣、设备利用率、实验室管理、成果转化程度等指标确定给各单位的一定奖励指标。

参 考 文 献

- 1 李宗耀，朱福仁·国防科研试验经济核算讲义·国防科工委后勤部财务部，1991
- 2 汪浩·软科学理论方法及其应用·国防科大出版社，1991
- 3 宣家骥·多目标决策·湖南科技出版社，1989
- 4 许树柏·层次分析法原理·天津大学出版社，1988
- 5 Ignizio J P. Goal Programming and Extensim, Heath (Lexington books), 1976

Some Models about Decision Support System in the Scientific Research Expenses Management

Deng Su Zhang Weiming

Zhang Biao Dai Changhua

(Department of System Engineering and Mathematics)

Abstract

In this paper, with the help of multiple objects decision theory and computer technology and on the basis of analyzing user's requirements, some models about scientific research duty forecast and expenses distribution are set up and the property and relation of these models and model's solution are analyzed. According to the features of these models and decision. The main function of the system is described. We believe in that, to use the system will make the scientific research expenses management more convenient and will make fuller use of the limited expenses.

Key words DSS, model, goal programming