

·基金纵横·

基于网络分析法的国家自然科学基金资助项目后评价研究

肖人毅

(国家自然科学基金委员会信息科学部, 北京 100085)

1 引言

随着国家对科学基金投入的逐年增大, 科学基金项目的资助数量和强度也随之逐步增加, 加强对科学基金项目的管理显得日益重要。在继续深化科技体制改革的过程中, 对于如何充分发挥科学基金制的作用和科学基金制自身的深化改革, 都提出了新的要求, 现行的各项科学基金管理办法有待进一步科学化、规范化和制度化。

从项目管理的角度出发, 基金项目的中后期管理更待加强, 有些基金资助项目在立项时被评审专家评价为有创新之处, 但往往项目结束时, 并没有达到立项时预期的目的, 因此, 有必要通过加强结题验收及对后续项目跟踪管理来提高项目的完成质量, 其中一项重要举措就是进行项目后评价。所谓项目后评价是指对已完成项目的目的、执行过程、效益、作用和影响所进行的系统的客观的分析。同样, 科学基金项目的后评价是对基金项目完成质量的评判, 其目的是力求准确反映和描述科学基金评审资助与项目执行情况, 保证准确评价结题项目的学术水平, 提高科学基金资助项目的质量和效益, 促进创新成果的产生及科技成果的转化。下面首先对世界各国对项目后评价的 3 种主要方法进行简要回顾及说明。

逻辑框架法 (Logical Framework Approach, LFA)^[1] 是美国国际开发署在 20 世纪 70 年代开发并使用的用于项目设计、计划和评价的工具, 目前已有许多国际组织将 LFA 作为援助项目的计划管理和后评价的方法。LFA 是一种综合而系统的思维框架模式, 有助于对关键因素和问题做出合乎逻辑的分析, 其核心是项目各层次之间的因果逻辑关系。

层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP)

是 Satty 于 20 世纪 80 年代提出来的一种定性、定量相结合的评价工具, 其基本过程是把复杂问题分解成各个组成部分, 按支配关系分组、分层, 形成有序的递阶层次结构, 在此基础上最后确定各元素在整体结构中的权重。目前, 已有一些工作将 AHP 成功地应用于不同项目的后评价中^[2,3,4]。作为 AHP 的延伸, 模糊层次分析法是以模糊数学原理为基础发展起来的决策分析方法, 它的特点是将定性指标数量化, 使定性指标与定量指标有机结合起来。Mikhailov 和 Tsvetinov 应用模糊层次分析法方法解决了多种难以精确度量的问题^[5]。

模糊综合评价法是以 Zadeh 提出的模糊集为基础, 应用模糊关系合成原理, 将一些边界不清, 不易量化的因素量化, 实现综合评价, 适用于处理评估对象及分类不确定的后评估问题。数据包络分析 (Data Envelope Analysis, DEA) 方法是 Charens 等人提出的一种评价相对有效性的决策方法, 现已形成一个数学、经济学、管理科学交叉研究的新领域。Paradi 等人研究了最差表现 DEA, 将 DEA 方法成功应用于风险评价中^[6]。

以上说明了几种项目后评价的主要方法及其应用情况, 但这并不意味着其方法和理论已十分完善, 还有不少的问题有待研究和解决, 尤其是针对具体领域的问题如何形成合适的定制化评价方法尚需进一步探讨。在国家自然科学基金评价中, 由于项目后评价是由项目研究内容的完成情况、研究成果水平、论著发表、人才培养、应用推广转化等多方面因素构成, 具有非线性和复杂性的特征。有鉴于此, 本文根据国家自然科学基金资助项目评价的特点及要求, 结合自己的实际工作背景, 探讨了网络分析法 (Analytic network process, ANP)^[7] 在科学基金资助项目后评价的应用, 以对科学基金项目完成质

本文于 2008 年 6 月 17 日收到。

量进行量化的分析,从而更好地发挥科学基金引领未来的作用。

2 网络分析法的有关说明

多目标综合评价是社会、经济、科学等不同学科领域都普遍存在的一种决策问题。处理多目标综合评价问题的常用方法是美国学者 Saaty 提出的层次分析法(AHP)。AHP 是把决策问题分为多层次的递阶控制关系,最高层为决策的目标层,中间是准则层,根据问题的需要可以有更多的子准则层,最下层为方案层。在递阶的层次关系中,下层元素受上层元素的控制,通过两两比较的方法,决定下层元素对于上层元素的重要度,即权重。在许多实际问题中,各层次内部元素往往是依存的,低层元素对高层元素亦有支配作用,即存在反馈。此时系统的结构更类似于网络结构,网络分析法(ANP)正是适应这种需要,由 AHP 延伸发展得到的系统决策方法。ANP 的决策原理与层次分析法基本相同,所不同的是前者建立的是网络结构模型,而后者建立的是层次结

构模型。网络模型的表示以及权重的合成是 ANP 中最重要的两个问题。由于网络结构模型要比层次结构模型复杂,因此在权重合成方面,ANP 应用到了超矩阵和极限排序矩阵的概念和计算^[8],ANP 最终的结果是要获得极限排序矩阵 W^∞ ,其第 j 列就是网络层中各元素对元素 j 的极限相对排序向量。

下面介绍 ANP 的网络结构并分析其解决复杂决策的可行性,ANP 的基本原理和计算过程详见文献^[7,8]。

2.1 ANP 结构分析

ANP 首先将系统元素划分为两大部分,第一部分称为控制因素层,包括问题目标及决策准则。所有的决策准则均被认为是彼此独立的,且只受目标元素支配。控制因素中可以没有决策准则,但至少有一个目标。控制层中每个准则的权重均可用传统 AHP 方法获得。第二部分为网络层,它是由所有受控制层支配的元素组组成的,其内部是互相影响的网络结构,图 1 就是一个典型的 ANP 结构。

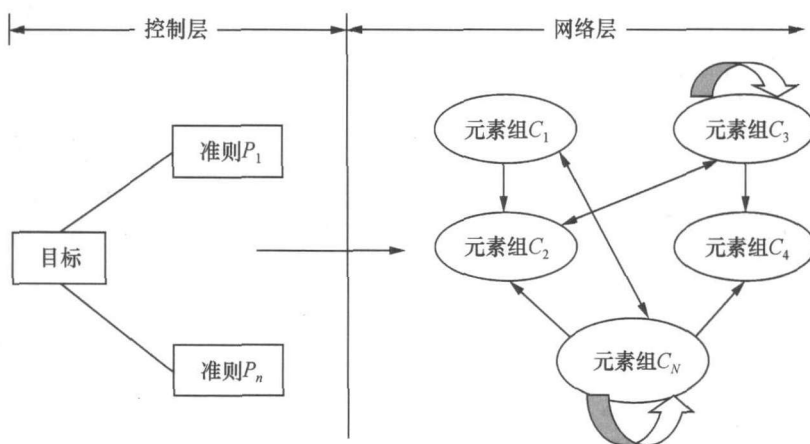


图 1 ANP 基本结构图

2.2 ANP 解决复杂决策问题的可行性

(1) 从理论上讲,ANP 是在 AHP 的基础上发展起来的。AHP 是一种多目标综合评价方法,它将系统划分层次,并假定系统内不存在反馈,且同层次内部元素相互独立。ANP 则取消了这些假定,从而更符合实际情况,在理论上具有了解决复杂动态系统问题的可能性。

(2) 从结构上看,ANP 由控制层和影响网络两部分组成。ANP 控制层的结构与 AHP 控制层的结构相同,而影响网络则由所有受控制层支配的元素组成,其内部是相互依存反馈的网络结构。根据图 1 所示,我们不难发现,其影响网络对现实世界中复杂的动态系统作了较为准确的描述。

(3) 从功能实现上看,Satty 设计出了构造超矩阵计算权重的算法,且该算法现在已可在计算机上实现,如专门计算 ANP 的软件 Super Decisions^[9]就具备了这种计算能力。

综上所述,采用 ANP 来解决科学基金项目后评价这类复杂决策问题,具有充分的可行性。

3 ANP 在国家自然科学基金资助项目后评价中的运用

基金项目验收评估的目标是对项目的执行情况进行考察与评价,因而其内容主要应包括学术性和管理性两个组成部分。其中学术性的重点有以下几个方面:(1) 将项目结题时得到的成果与原定研究

目标进行比较,看是否达到预定目标;(2)对项目产出成果的数量、质量及创新程度进行判断;(3)人才培养方面的情况;管理性评价的重点在于:(1)将项目实际执行情况与原定计划进度和费用预算进行比较;(2)对项目资料的文档化情况进行考察。

3.1 基金项目后评价模型的构造

根据上述分析,将验收评估指标分为两层,具体层次结构如图2。第一层:项目总目标层,即系统的控制层,它既是评价目标又是评价准则。第二层为网络层,即系统的受控层,它包括三个元素集:项目研究水平 C_1 ,项目研究成果 C_2 以及项目管理 C_3 。图2中的发表论著、成果水平、学术创新、获奖与专利等则构成了影响网络中的元素。分析可以发现,在不同元素集中的元素间相互影响,如完成情况元素,应含有论著发表的情况和获奖与专利的数目等内容,这就与发表论著元素中的发表论文数目及获奖与专利元素中的内容间存在了相互影响的关系。同时,在一个元素集里的元素间也存在着相互影响的关系,如图3所示,例如在项目研究水平集中,发表论著的情况就对学术创新元素中的一个主要评价因子,即论著被引用次数产生了一定的影响关系,而成果水平的高低又在一定程度上反映了学术创新的层次。

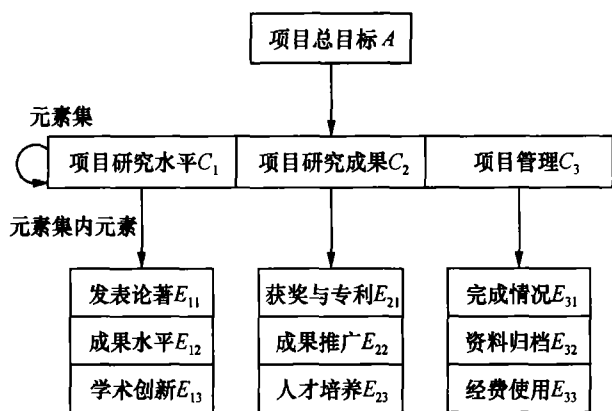


图2 项目评估指标结构图

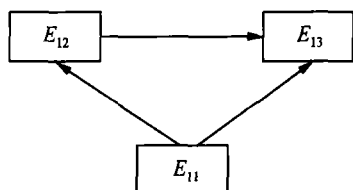


图3 元素集内元素间相互影响结构

3.2 构造 ANP 的超矩阵计算权重

以 A 为准则,以 C_1 中元素 E_{11} 为次准则,元素集 C_1 中的元素按照其对 E_{11} 的影响大小进行间接优势度比较,即构造判断矩阵:

E_{11}	E_{11}	E_{12}	归一化特征向量
E_{11}	*	*	W_{11}^{11}
E_{12}	*	*	W_{12}^{11}

由特征根法得出排序向量 $(W_{11}^{11}, W_{12}^{11})^T$,即 C_1 中的元素 E_{11} 、 E_{12} 对 C_1 中的元素 E_{11} 的影响程度排序向量。

类似地,可求出 E_{11} 、 E_{12} 对 E_{12} 的影响程度排序向量 $(W_{11}^{12}, W_{12}^{12})^T$,记

$$W_{11} = \begin{bmatrix} W_{11}^{11} & W_{12}^{11} \\ W_{11}^{12} & W_{12}^{12} \end{bmatrix}$$

重复以上步骤,还可以求出 $W_{12}, W_{13}, W_{21}, \dots, W_{23}, \dots, W_{33}$;这样最终可以求出准则 C_1 下的超矩阵 W_1 :

$$W_1 = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & W_{13} \\ W_{21} & W_{22} & W_{23} \\ W_{31} & W_{32} & W_{33} \end{bmatrix}$$

其中,若 C_i 中的元素对 C_j 中的无影响,则 $W_{ij} = 0$ 。

超矩阵 W_1 不是列归一化的,因而用加权矩阵 A 对超矩阵元素进行加权得到加权超矩阵,用符号 \bar{W}_1 表示。

加权矩阵 A 中列向量表示的是在评价准则下各元素集对某一元素集的影响程度排序向量,其求法与前述排序向量的算法类似,在此不再赘述。

设 A 中元素用 a_{ij} 表示,超矩阵 W_1 中的子块用 W_{ij} 表示,加权超矩阵中的子块用 \bar{W}_{ij} 表示,则 $\bar{W}_{ij} = a_{ij} * W_{ij}$ 。

由于本模型讨论的是内部依存的循环系统,所以加权超矩阵的极限排序矩阵 W_j^∞ 存在,其中 W_j^∞ 的第 j 列表示在准则 B_1 下各元素对第 j 个元素的极限相对排序向量。本模型中有三个准则,故得3个极限排序矩阵,按三个准则的权重将其综合可求得综合的极限排序矩阵,从而可知各元素对项目评估总目标的影响程度排序向量。

3.3 实例分析

ANP 模型的计算较为复杂,在不借助于计算软件的情况下,很难将 ANP 模型应用于解决实际决策问题,国内将 ANP 模型用于实际的例子尚不多见,原因就在于 ANP 计算过于复杂。目前美国推出了超级决策 (Super decisions) 软件,该软件基于 ANP 理论已成功地将 ANP 的计算程序化,是 ANP 的强大的计算工具,为 ANP 的推广奠定了基础^[9]。本小节以某学科基金资助项目为例,阐述国家自然科学基金资助项目后评价中应用 ANP 方法的评价过程。

现要对甲、乙、丙 3 个基金资助项目进行后评价,我们根据图 2 建立的后评价模型,通过项目结题报告及管理文档等资料获取有关数据,利用 Super Decisions 软件计算超矩阵最后得到各项目的后评价排序结果。

按照图 2 首先确定各个元素集并把项目甲、乙、丙作为一个备选元素集,利用 Super Decisions 软件建立各元素集的网络模型(见图 4);然后按照图 2 建立起 ANP 网络模型(见图 5),该模型包括 4 个元素集,各元素集下又包含各自相关的元素,其中,元素集 1 是各备选项目:甲、乙、丙,元素集 2,3,4 是与项目评估相关的各个指标。建立 ANP 网络模型需

要表达出各元素间的影响关系,图 4、图 5 中箭头表示各个元素集之间相互影响的关系。另外,还要建立各指标元素的相互影响关系,如 E_{11} 可以影响的指标元素已在图 5 中得到显示。

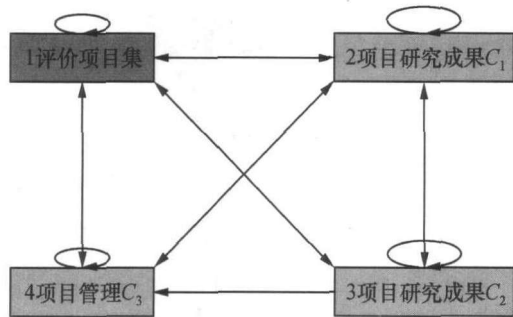


图 4 元素集结构模型

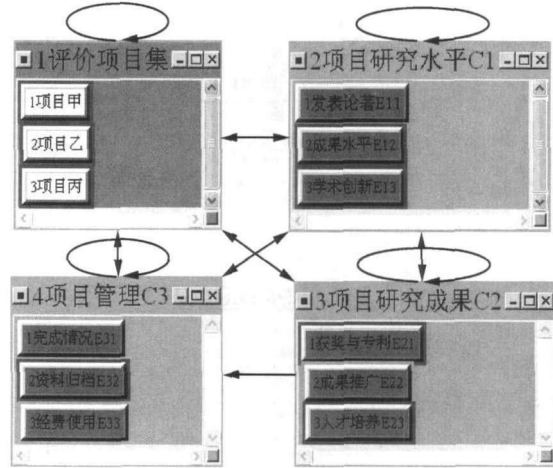


图 5 ANP 网络结构及 E_{11} 所影响的元素

以某项标准为参照,给出各元素影响关系的间接优势度,此项由参加后评价的专家商讨后确定并输入,如图 6 所示,由此可以产生两两判断矩阵,可以在 1—9 之间选择进行两两比较。

1. 1项目甲	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	2项目乙
2. 1项目甲	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3项目丙
3. 2项目乙	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3项目丙

图 6 专家输入数据界面

计算加权超矩阵,结果见表 1。

表 1 加权超矩阵

因素	评价项目集			项目研究水平 C_1			项目研究成果 C_2			项目管理 C_3		
	甲	乙	丙	E_{11}	E_{12}	E_{13}	E_{21}	E_{22}	E_{23}	E_{31}	E_{32}	E_{33}
甲	0	0.042	0.062	0.083	0.1	0.178	0.166	0.309	0.122	0.100	0.365	0.178
乙	0.05	0	0.188	0.091	0.138	0.140	0.145	0.043	0.101	0.086	0.302	0.182
丙	0.2	0.208	0	0.076	0.096	0.182	0.19	0.148	0.111	0.147	0.332	0.140
E_{11}	0.041	0.102	0.075	0	0	0	0	0	0.067	0.333	0	0
E_{12}	0.074	0.060	0.072	0.05	0	0	0	0	0	0	0	0
E_{13}	0.135	0.088	0.104	0.2	0.333	0	0	0	0.267	0	0	0
E_{21}	0.047	0.127	0.083	0.042	0.111	0	0	0	0.333	0	0	0
E_{22}	0.020	0.028	0.091	0	0.222	0	0.5	0	0	0	0	0
E_{23}	0.183	0.095	0.076	0.208	0	0.5	0	0	0	0	0	0
E_{31}	0.125	0.085	0.062	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5
E_{32}	0.063	0.033	0.033	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0
E_{33}	0.063	0.131	0.156	0	0	0	0	0.5	0	0.333	0	0

计算各元素集的权重矩阵,结果见表2。

表2 元素集权重矩阵

元素集	评价项目集	项目研究水平 C_1	项目研究成果 C_2	项目管理 C_3
评价项目集	0.140	0.147	0.166	0.299
项目研究水平 C_1	0.251	0.271	0.168	0.287
项目研究成果 C_2	0.097	0.211	0.155	0
项目管理	0.512	0.371	0.510	0.414

根据加权超矩阵和权重矩阵,最后得出综合结果,从而最后的排序结果依次为项目丙、项目甲、项目乙,如表3所示。

表3 评价项目总排序

评价项目	总值	加权值	理想值	总排序
1 项目甲	0.1183	0.3182	0.8448	2
2 项目乙	0.1134	0.3051	0.8099	3
3 项目丙	0.1400	0.3767	1.0000	1

从排序表即可看出,综合研究水平、研究成果及项目管理三者考虑,项目丙综合评价结果最好,项目甲,乙次之。从评价结果来看,与专家的直观判断在定性上保持一致,表明本文方法的评价是有效的。

4 结束语

本文针对国家自然科学基金资助项目后评价问题,提出采用 ANP 进行分析求解,建立了 ANP 方法

的后评价模型,给出了后评价的指标集合,最后通过实例分析验证了 ANP 方法在国家自然科学基金资助项目后评价中应用的过程及有效性。在 ANP 的求解中,建立元素集和确定元素的归类是关键的一环,而本模型的影响网络在结构上还有尚待改进之处,实际应用时可以采用多轮会议讨论、专家填表等方式进行完善。

参 考 文 献

- [1] 刘丹平,江冰. 逻辑框架法在实验室建设项目后评估中的应用. 实验室研究与探索, 2004(12):92-95.
- [2] Al-Harbi M. Al-Subhi. Application of the AHP in project management. International Journal of Project Management, 2001, 9(1): 19-27.
- [3] Z S Stern. Project-evaluation via AHP. Production Planning & Control, 1994, (4): 337-341.
- [4] G A Forgionne. An AHP model of DSS effectiveness. European Journal of Information Systems, 2001, 8(2).
- [5] L Mikhailov, P Tsvetnikov. Evaluation of Services using a fuzzy analytic hierarchy process. Journal of Applied Soft Computing, 2004, 5: 23-33.
- [6] J C Paradi, M Asmild, P C Simak. Using DEA and Worst Practice DEA in Credit Risk Evaluation. Journal of Productivity Analysis, 2004, 21(2): 153-165.
- [7] T L Saaty. Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process. RWS Publications, Pittsburgh, 1996.
- [8] 王莲芬. 网络分析法(ANP)的理论与算法. 系统工程理论与实践, 2001, 21(3):44-50.
- [9] 刘睿,余建星,孙宏才等. 基于 ANP 的超级决策软件介绍及其应用. 系统工程理论与实践, 2002, 22(8):141-143.

POST-ASSESSMENT RESEARCH ON NSFC FUNDED PROJECTS BASED ON ANALYTIC NETWORK PROCESS

Xiao Renyi

(Department of Information Sciences, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085)

·资料·信息·

抗老年痴呆新药开发完成 I 期临床

近日,由中国科学院昆明植物研究所作为第一主持单位完成的具有自主知识产权的一类创新药物芬克罗酮,由首都医科大学宣武医院和军事医学科学院毒物药物研究所完成了 I 期临床试验和临床药代动力学实验。该药是我国批准进入临床研究的第二个抗老年痴呆的一类新药。

据了解,芬克罗酮是一种新的神经元保护剂,临床适用于中、轻度早老性痴呆,血管性痴呆及各种记忆障碍治疗和改善,具有易合成、起效快、稳定性好、毒性低等特点。该药研究历时十余年,由中科院昆明植物所研究员郝小江和中科院昆明动物所研究员蔡景霞主要负责,贵州省-中科院天然产物化学重点实验

室、中科院上海药物研究所、天津药物研究院、军事医学科学院毒物药物研究所参与研发,先后获得科技部 1035 专项,“863”专项,国家杰出青年科学基金,国家自然科学基金重点项目,中科院“九五”、“十五”重大项目专题,云南省重点项目等资助。主要研究了芬克罗酮的药物化学、原料药的合成、药理研究、药代动力学研究、毒理研究、药物质量研究和制剂研究等一系列临床前的研究试验。该药在 2004 年完成了全部的临床前试验,并于 2005 年经国家食品药品监督管理局批准进行临床 I 期试验。该项研究已授权发明专利 5 项。

(张雯雯 钱洁 供稿)