

· 管理纵横 ·

基于 DEMATEL—模糊综合评判的 科学基金项目绩效评价方法

杜元伟 王素素*

(中国海洋大学管理学院, 青岛 266100)

[摘要] 现有科学基金项目绩效评价方法没有考虑指标之间关联影响关系, 忽视专家认知能力会影响绩效评价结果的科学合理性。针对这一问题, 本文首先遵循《科技评估工作规定(试行)办法》中的原则构建了科学基金项目绩效评价指标体系, 随后从定量自评与定性他评相结合、局部精确与整体模糊相结合、独立分析与关联集成相结合三个层面阐述了科学基金项目绩效评价机制。在此基础上采用能够处理指标之间关联影响关系并能对专家评价信息进行综合集成的 DEMATEL—模糊综合评判方法构建了科学基金项目绩效评价的方法。最后以某国家自然科学基金项目的绩效评价问题为例, 演示了应用提出方法解决实际问题的具体操作过程, 验证了方法的应用可行性。

[关键词] 科学基金项目; 绩效评价机制; 绩效评价方法; 决策试行与分析实验室; 模糊综合评判

国家科技部、财政部和发展改革委于 2016 年联合发布的《科技评估工作规定(试行)办法》指出: 政府管理部门及相关方面要委托评估机构或组织专家评估组, 运用合理、规范的程序和方法, 对科技活动及其相关责任主体进行专业化评价与咨询活动, 旨在优化科技管理决策, 加强科技监督问责, 提高科技活动实施效果和财政支出绩效。《国家自然科学基金条例》明确规定: 确定国家自然科学基金(以下简称“科学基金”)资助项目, 应当充分发挥专家的作用, 基金管理机构应当聘请具有较高学术水平、良好职业道德的同行专家, 对基金资助项目申请进行评审, 以保证评审结果的科学有效。由此可见, 由专家评估组按照规范的程序方法, 对包含科学基金项目在内的科技活动开展绩效评价已成为“十三五”科技体制改革的重要内容。

近年来国内外专家学者从机制设计、过程控制等方面对科学基金项目管理问题进行了研究。提出了过程管理体系、精细管理体系、质量问责机制等众多的政策建议, 这为规范管理过程、保障任务实施、实现立项目标具有重要的理论参考价值。无论是从机制设计方面还是从过程控制方面提出的政策建

议, 其实际执行效果最终都要由基金项目的完成绩效予以反映。针对科学基金项目绩效评价问题展开研究对推动基金项目的滚动实施、促进科研成果的转化和应用、完善科技管理的追踪问责机制具有重要意义。值得庆幸的是, 最近几年已有学者对该问题展开研究, 并提出了一些具有重要参考价值的前期研究成果。如: 李兴国等以省级自然科学基金项目为研究对象, 针对项目是否予以结题的问题提出了基于 BP 神经网络的科学基金项目评价模型^[1]; 郑石明等基于样本分析方法构建评价指标体系, 借助层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 确定指标权重, 并通过实证分析验证了评价体系的有效性^[2]; 梁公文等从投入与产出两个方面构建基金项目的评价指标体系, 应用数据包络分析模型进行绩效评估, 从而为管理部门决策和项目实施提供理论参考^[3]; 陈波等以同行评议结果为依据, 从信息集成视角基于证据理论提出了科学基金项目的绩效评价方法^[4]; 黄进从“能力—行为—绩效”视角构建了科学基金项目评审专家科研信誉评价指标体系, 并给出了建立和完善专家科研信誉档案的理论基础^[5]。

表1 科学基金项目绩效评价指标体系

一级指标	二级指标	指标解释			
		优秀	良好	合格	不合格
项目执行情况 C_1	按计划执行情况 c_{11} 研究目标完成情况 c_{12}	项目结题时项目进程完成度 $\geq 100\%$,项目研究目的100%达成,具有较高研究质量及创新性。	项目结题时项目进程完成度 $\geq 100\%$,项目研究目的实现情况较好,具有一定的研究质量及创新性。	项目结题时项目进程完成度 $\geq 90\%$,项目研究目的基本实现,研究质量及创新性一般。	项目结题时项目进程综合完成度 $< 90\%$,项目研究目的实现情况较差,研究质量及创新性较低。
项目取得成果 C_2	获奖情况 c_{21} 论文与专著 c_{22} 学术报告等 c_{23}	项目结题时目标成果整体完成率 $\geq 100\%$,成果质量较高或影响力较大。	项目结题时目标成果整体完成率 $\geq 85\%$,成果具有一定的质量或影响力。	项目结题时目标成果整体完成率 $\geq 70\%$,成果质量或影响力一般。	项目结题时目标成果整体完成率 $< 70\%$,成果质量较低或不具有影响力。
成果转化应用 C_3	专利/标准/软著 c_{31} 技术转让/技术许可 c_{32} 作价投资/经济效益 c_{33}	项目成果已经取得专利授权,且专利或成果经合法转让或作价投资创造了一定的经济效益,或对社会、经济等方面产生重大影响。	项目成果已取得专利授权,专利或成果经合法转让或作价投资创造了一定的经济效益,或对社会、经济等方面影响较大。	项目成果已取得专利申请受理,或专利、成果等经合法转让或作价投资创造少量经济效益,对社会、经济等方面有一定正面影响。	项目未完成研究目标中的专利成果部分,研究成果无法转化为经济效益或无法对社会、经济等方面产生正面影响。
人才培养情况 C_4	中青年学术带头人 c_{41} 出站博士后/毕业博士 c_{42} 毕业硕士 c_{43}	项目中中青年学术带头人有较大高质量成果产出,其所培养的博士、博士后、硕士在项目中分工明确,表现优异,成果显著。	项目中中青年学术带头人有较高质量的成果产出,其所培养的博士、博士后、硕士在项目中分工明确,表现良好,有一定的成果。	项目中中青年学术带头人有一定的成果产出,其所培养的博士、博士后、硕士在项目中分工明确,表现较好。	项目中中青年学术带头人有一定的成果产出,其所培养的博士、博士后、硕士在项目中表现一般,成果质量一般。
应用前景情况 C_5	应用于学术研究 c_{51} 应用于经济发展 c_{52} 应用于社会建设 c_{53}	项目成果对促进学术、社会、经济发展贡献突出,影响深远,具有较强的延伸性,为后续研究提供高质量的技术、人才储备。	项目成果对促进学术、社会、经济发展有较大的贡献和影响,具有一定延伸性,为后续研究提供一定的技术、人才储备。	项目成果对促进学术、社会、经济发展有一定的贡献和影响,课题延伸性一般,为后续研究提供少量的技术、人才储备。	项目成果对促进学术、社会、经济发展有一定的贡献和影响,课题不具延伸性,无法为后续研究提供技术、人才储备。

上述研究成果无疑对开拓科学基金项目的绩效评价思路、提高评价质量具有重要作用,但是其中仍然存在以下两方面问题。其一,现有方法均假设科学基金项目的绩效评价指标之间相互独立,而在现实评价中各项指标之间可能存在着复杂的关联影响关系,这导致了现有方法会因忽略指标之间关联影响关系而造成指标权重设计不合理的问题。其二,现有方法的评价信息大多是由专家根据自身知识经验主观给出的,而现实中受认知能力、决策成本等主客观条件的限制,专家的认知能力总是有限的,如果科学基金项目的绩效评价机制没有考虑专家的认知能力,那么很有可能带来决策信息失真甚至错误的问题。

为了解决上述问题,本文在分析科学基金项目绩效评价指标体系的基础上构建了能够考虑专家认知能力的绩效评价机制,并结合决策试行与分析实

实验室(Decision Making Trial and Evaluation Laboratory, DEMATEL)与模糊综合评判两种方法,提出了能够处理指标之间关联影响关系并能对专家评价信息进行综合集成的科学基金项目绩效评价方法。

1 科学基金项目绩效评价指标体系

评价指标体系是专家对科学基金项目进行绩效评价的基本依据,其设计的合理与否直接决定着评价结果的有效与否。科学基金项目绩效评价指标既要全面综合地反映项目整体运行情况,充分发挥科技财政宏观调控的导向作用和相关政策的激励作用,又要具备一定的可操作性、降低操作成本、提高数据的可获取性。正因如此,本文在识别科学基金项目绩效评价指标时应遵循系统性、导向性、可操作性、数据易获取性等原则。

《科技评估工作规定(试行)办法》指出,对包括科学基金项目在内的科技活动进行评估时应突出绩效,评估内容一般包括目标完成情况、实施进展、成果产出、知识产权、人才队伍、效果与影响等。以此为导向,在遵循指标体系构建原则并借鉴国内外众多研究成果的基础上^[6-11],本文从项目执行情况、项目研究成果、成果应用转化、人才培养情况、应用前景情况五个方面选取了科学基金项目绩效评价指标。其中,项目执行情况评价的是与项目立项时在申请书或任务书中制定的计划相比,项目在结题时对该计划的执行情况;项目研究成果评价的是项目中产出的成果的数量、质量等相关情况;成果转化应用评价的是项目产出成果的转化及应用情况;人才培养情况评价的是待评项目在对中青年学科带头人、出站博士后、毕业博士以及毕业硕士的培养方面的贡献情况;应用前景情况评价的是待评项目产出的成果在各个方面做出贡献的程度。科学基金项目绩效评价指标体系具体如表 1 中第 1—2 列所示。需要指出的是,为给后文提供评价依据、增强评价结果的科学性,本文以一级指标为对象给出了待评项目绩效表现为优秀、良好、合格、不合格的参照标准,具体如表 1 中第 3—6 列。

2 科学基金项目绩效评价机制

在对科学基金项目进行绩效评价的过程中,指标体系是评价的基础和依据,评审专家是评价信息的来源。在现实评价过程中受认知能力、决策成本等主客观条件的限制,专家的认知能力总是有限的,

具体表现在以下几个方面。其一,在给二级指标定量信息的基础上,专家有能力对项目在某几项指标上的局部综合表现做出判断,但在缺乏二级指标定量信息的条件下,专家则难以做出判断。其二,当待评项目数量较少时专家可以非常耐心地进行评价,给出高质量的评价信息,但当待评项目数量较多时专家很可能会受烦躁情绪等主观因素的影响而难以保证评价信息的质量。其三,主管部门一般会邀请多位专家分别对科学基金项目进行评价,但是由不同专家给出的评价信息可能并不一致,倘若仅简单地对评价结果做加权平均处理则很可能会因存在信息损失而影响评价结果的精确性。其四,对于较为简单的科学基金项目评价问题,专家能够做出判断,但对于较为复杂的问题(如既要对项目在某些指标上的表现进行判断,又要考虑指标之间的关联影响关系),专家则难以做出判断,故在评价过程中应尽量保证专家直接评价的问题足够简单。由此可见,在考虑专家认知能力的情况下对科学基金项目进行绩效评价,既要简化评价问题、减少评价次数,又要考虑专家评价信息的不一致性和兼顾指标之间的关联影响关系。

为了解决上述问题,本文从定量自评与定性他评相结合、局部精确与整体模糊相结合、独立分析与关联集成相结合等三个方面设计了如图 1 所示的科学基金项目绩效评价机制。具体如下:

其一,定量自评与定性他评相结合。首先由项目承担者进行项目绩效自我评价。由项目承担者根据

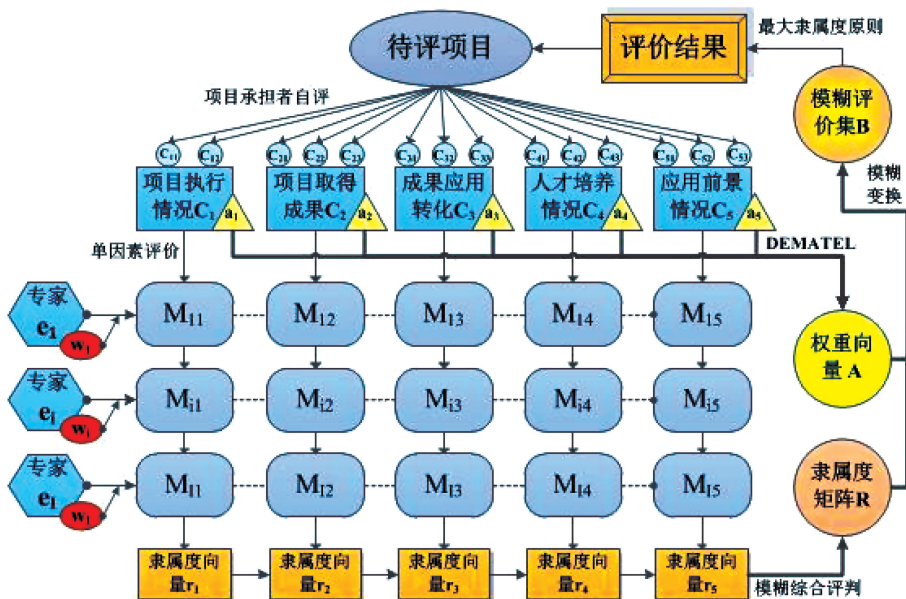


图 1 科学基金项目绩效评价机制图

实际运行情况对项目在“按计划执行情况(c_{11})”、“研究目标完成情况(c_{12})”等14项二级指标上的表现情况进行逐一说明,如实列出项目在各项指标上的绩效数据信息,必要时可以提交相应的成果证明、支撑材料等,上述定量自评的信息可以通过结题报告的形式提供。然后由评审专家进行项目绩效评价。评审专家以待评项目在二级指标上的定量自评信息为依据,对项目在各项一级指标上的局部整体表现情况进行定性评价,评价结果可以通过对照表1中评判标准以等级标度形式给出(如优秀、良好等)。定量自评一方面可以充分发挥项目承担者的主观能动性,对项目的具体绩效表现进行详细说明,另一方面也能为评审专家提供足够的判断依据并减少评价次数(如专家仅需依据一级指标对待评项目的绩效表现做5次判断,而非依据二级指标做14次判断),有利于专家给出高质量的评价信息,提高评价结果的可靠性。

其二,局部精确与整体模糊相结合。局部精确是指每位专家对待评项目在一级指标上的表现情况给出的评价结果是精确的等级标度。但是受知识结构、认知能力等主观因素的影响,不同专家对待评项目在同一指标上表现做出的判断可能并不一致。为了得到待评项目在某一指标上的评价信息,如果仅简单地对各位专家的评价结果做加权平均处理,那么势必因信息损失而影响最终评价结果的精确程度。如:由三位同等重要的专家在“项目执行情况”上对待评项目做出的评价分别是优秀、不合格、不合格,优秀和不合格两个等级标度的分值分别设为100和40,若做平均处理则在该指标上的综合评价结果为 $(100+40+40)/3=60$ 。显然,60分无法反映有 $2/3$ 的专家认为待评项目在该指标上表现不合格的情况,造成了信息损失;与此同时,由等级标度向具体分值进行转换时也可能存在信息损失。为了解决上述问题,本文在对专家评价结果进行综合时采用模糊数学中的隶属度函数(本文称为整体模糊)进行描述。如:上例的综合结果若采用整体模糊形式可以表示为($\mu_{\text{优秀}}=1/3, \mu_{\text{良好}}=0, \mu_{\text{合格}}=0, \mu_{\text{不合格}}=2/3$)。由此可见,本文采用局部精确与整体模糊相结合的方式,有利于提高评价结果的精确性。

其三,独立分析与关联集成相结合。独立分析是指,专家在对待评项目进行评价时只需要对其在各项一级指标上的表现进行独立分析即可,无需考虑指标之间关联影响关系对评价结果的影响。关联集成是指,对于指标之间的关联影响关系可以利用

相关方法(如DEMATEL方法)将其反映在指标权重之中,并采用特定方法(如模糊综合评判)对指标权重与待评项目在各项指标上的评价价值进行综合集成即可做出最终评价。独立分析简化了科学基金项目的绩效评价问题,关联集成反映了指标之间关联影响关系对绩效评价结果的作用,二者相结合有利于提高评价结果的科学性。

3 科学基金项目绩效评价方法

DEMATEL方法由Seyed-Hosseini等人于2006年提出,该方法充分利用专家的知识 and 经验,通过构建反映因素之间逻辑关系的影响关系有向图和综合影响矩阵,计算每个因素对其他因素的影响度以及被影响度,在此基础上通过计算出每个因素的中心度与原因度即可反映元素间的相对重要程度^[12, 13]。模糊综合评判法是一种基于模糊数学的综合评价方法,其根据模糊数学的隶属度理论把定性评价转化为定量评价,用模糊数学对受到多种因素制约的事物或对象做出一个总体的评价,具有结果清晰、系统性强等优点,能够较好地解决模糊的、难以量化的评价问题^[14]。考虑到科学基金项目绩效的评价指标之间存在关联影响关系以及评审专家主观认知能力有限等问题,遵循定量自评与定性他评相结合、局部精确与整体模糊相结合、独立分析与关联集成相结合的评价机制,本文基于DEMATEL和模糊综合评判两种方法提出科学基金项目绩效评价方法。具体步骤如下:

步骤1 构建直接影响关系有向图。科学基金项目的各项绩效评价指标之间可能存在着复杂的关联影响关系,这种影响关系会对指标权重造成一定的影响。由多属性决策理论可知,指标权重是一项指标相对于另一项指标的相对重要程度,反映了管理部门对各项指标的重视程度,也具有目标导向作用。针对上述问题,以图1中各项一级绩效指标为研究对象,它们之间的关联影响关系应由科学基金主管部门结合自身理解和管理需要进行分析,并结合分析结果绘制出直接影响关系有向图。图中不仅应描述出一项指标对其他指标是否存在影响关系,而且还应反映出影响强度的大小(一般按照1—3标度法将其划分为强 $\leftrightarrow 3$,中 $\leftrightarrow 2$,弱 $\leftrightarrow 1$ 三个级别)。具体而言:若指标 C_n 对 $C_{n'}$ 有直接影响,则在二者之间标记一条由前者指向后者的单向箭头,并将影响强度 $\kappa_{n \rightarrow n'}$ 在箭头上标记出来,其中 $n, n'=1, \dots, 5$ 。以此类推,即可得到科学基金绩效评价指标之间的

直接影响关系有向图。

步骤2: 构建直接影响矩阵。为了便于量化处理,还需将直接影响关系有向图转化为直接影响矩阵。基于所构建的影响关系有向图构造科学基金项目绩效评价指标的初始化直接影响矩阵 $X = (x_{m'})_{5 \times 5}$, $n, n' = 1, \dots, 5$, 其中, 当 C_n 对 $C_{n'}$ 有直接影响时令 $x_{m'} = \kappa_{n \rightarrow n'}(n, n' \in \{1, \dots, 5\}, n \neq n')$, 否则即当 C_n 对 $C_{n'}$ 没有直接影响时令 $x_{m'} = 0$ 。

步骤3 求解综合影响矩阵。基于 DEMATEL 方法中的综合影响定理, 利用公式 $T = Y(I - Y)^{-1} = (t_{m'})_{5 \times 5}$ 测度各绩效评价指标在受到其他所有绩效评价指标的直接或间接影响后所形成的综合影响矩阵 T , 其中, I 为单位矩阵, $Y = (y_{m'})_{N \times N}$ 为规范化直接影响矩阵, $y_{m'}$ 的计算公式如式(1)所示。

$$y_{m'} = \frac{x_{m'}}{M} = \frac{x_{m'}}{\max\left\{\max_{1 \leq n \leq 5} \sum_{n'=1}^5 x_{m'}, \max_{1 \leq n' \leq 5} \sum_{n=1}^5 x_{m'}\right\}} \quad (1)$$

步骤4 确定指标权重。由综合影响矩阵 T 可以推知绩效评价指标 C_n 的影响度与被影响度分别为 $f_n = \sum_{n'} t_{m'}$ 与 $e_n = \sum_n t_{m'}$, 进而可以推知用于表示 C_n 在所有绩效评价指标中作用大小(重要程度)的中心度 $m_n = f_n + e_n (\forall n)$ 以及用于表示指标体系内部构造的原因度 $r_n = f_n - e_n (\forall n)^{[12]}$ 。由于中心度表示单个指标在整个指标体系中的作用大小, 能够反映指标的相对重要程度, 因此对各指标的中心度进行归一化处理即可得到科学基金项目绩效评价一级指标的权重^[12, 15]。不妨设由此得到指标权重向量为

$$A = (a_n | \sum_{n=1}^5 a_n = 1, 0 \leq a_n \leq 1, n = 1, \dots, 5),$$

其中, a_n 为指标 C_n 的权重。

步骤5 建立评语集。根据科学基金项目现行评价方法, 本文建议采用四级评价标度。若 v_k 表示评语, $v_1 =$ 优秀、 $v_2 =$ 良好、 $v_3 =$ 合格、 $v_4 =$ 不合格, 则用于描述四级评价标度的评语集可表示为 $V = (v_1, v_2, v_3, v_4) = \{\text{优秀, 良好, 合格, 不合格}\}$ 。四级语义标度的评价标准详见表1第3—6列。如: 如果专家认为待评项目在“项目取得成果(C_2)”上的目标成果整体完成率 $\geq 100\%$ 且成果质量较高或影响力较大, 则该专家对待评项目在该指标上的绩效表现可评为优秀。

步骤6 由专家进行单因素评价。首先由项目承担者结合实际情况对项目在表1中14个二级指

标上的具体表现进行定量自评, 自评结果可以考虑在结题报告中予以体现。然后由科学基金主管部门邀请3—5位专家按照四级评价标度参与项目绩效评价工作(为反映最复杂的情况, 本文设专家数量为5位), 每位专家需要结合定量自评结果对项目在各项一级指标上的局部整体表现分别做出定性评价。不妨将专家 e_i 对待评项目在指标 C_n 上做出的判断表示为

$$M_{in} = (m_{in}^k | \sum_{k=1}^4 m_{in}^k = 1; m_{in}^k = 0, 1; k = 1, \dots, 4), \\ i = 1, \dots, 5, n = 1, \dots, 5 \quad (2)$$

其中, m_{in}^k 表示专家 e_i 对待评项目在指标 C_n 上的评语是否为 v_k , 如果是则 $m_{in}^k = 1$, 否则 $m_{in}^k = 0$ 。如: 专家 e_i 对待评项目在指标 C_n 上给出的评语是 $v_1 =$ 优秀, 则其判断可表示为 $M_{in} = (1, 0, 0, 0)$ 。

步骤7 构建隶属度矩阵。因为专业领域、知识背景、经验积累等方面的差异, 不同专家在科学基金项目评价中的重要程度可能是不同的。不妨设用于反映专家重要程度的权重向量为

$$W = (w_i | \sum_{i=1}^5 w_i = 1, 0 \leq w_i \leq 1, i = 1, \dots, 5),$$

其中, w_i 为专家 e_i 的权重。对所有专家在指标 C_n 上做出的判断信息 M_{in} 进行统计即可得到待评项目在单因素上的隶属度向量 $r_n = (r_{nk} | k = 1, \dots, 4), n = 1, \dots, 5$ 。 r_{nk} 表示待评项目在指标 C_n 上隶属于标度 v_k 的概率, 其计算方法如下式所示。

$$r_{nk} = \sum_{i=1}^5 m_{in}^k \cdot w_i, \\ k = 1, \dots, 4, n = 1, \dots, 5 \quad (3)$$

可以证明, $\sum_{k=1}^4 r_{nk} = 1, 0 \leq r_{nk} \leq 1, k = 1, \dots, 4, n = 1, \dots, 5$, 所以 r_n 满足隶属度函数的定义要求。将所有单因素隶属度向量进行组合便可得到待评项目在所有指标上表现的隶属度矩阵 R , 具体如下式所示。

$$R = (r_{nk})_{5 \times 4} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{51} & r_{52} & r_{53} & r_{54} \end{bmatrix} \quad (4)$$

步骤8 计算综合隶属度向量。模糊综合评判法是利用特定算子对一级指标权重向量 A 与隶属度矩阵 R 进行综合集成即 $A \circ R$, 从而得到能够反映待评项目在所有指标上整体表现的综合评价结果 B 。

$$B = A \circ R = (b_1, b_2, b_3, b_4) \quad (5)$$

需要指出的是, 模糊综合评判法给出了多种集成算

子,其中加权平均算子 $M(\cdot, \oplus)$ 具有体现权重作用明显、综合程度强、能充分利用隶属度矩阵 R 的信息等优点,因此本文建议选用该算子进行模糊运算,以此体现科学基金项目绩效评价指标权重的作用,充分利用所有专家给出的评价信息。

步骤 9 根据最大隶属度原则做出评判。综合隶属度向量 B 表示的是待评项目的综合绩效表现在各项评价标度上的隶属概率分布(如 b_k 表示待评项目综合绩效表现为 v_k 概率),根据最大隶属度原则即可对待评项目的综合绩效表现做出最终判断。

4 案例分析—以某科学基金项目为例

国家自然科学基金是我国支持基础研究的主渠道之一,其在推动我国自然科学基础研究的发展,促进基础学科建设,发现和培养优秀科技人才等方面取得了巨大成绩^[16, 17]。作为该类基金项目的主管部门,国家自然科学基金委员会在项目立项方面严格实行“依靠专家,发扬民主,择优支持,公正合理”的评审原则,采用同行专家通讯评审和会议评审两级评审制度。但在项目结题方面,尚缺乏行之有效的绩效评价机制,并未考虑指标之间的关联关系和专家主观认知能力对项目绩效评价结果的影响。为此,本文以某国家自然科学基金项目的绩效评价问题为例,结合本文提出的理论方法进行案例模拟应用研究。

本文以关于知识网络的一个国家自然科学基金项目为例进行说明,该项目于 2012 年立项,其预期

目标是通过借鉴吸收知识管理、行为科学、管理决策、信息融合等理论的基本观点和技术方法,针对知识网络中知识数量庞大、知识类型多样、知识主体复杂等特点,对知识网络中决策信息的提取问题开展研究,以期能够明确知识网络中关键知识主体的识别方法、揭示多元决策信息智能提取机理、建立多元决策信息智能提取模型。经过四年的努力,该项目取得了一定的研究成果。遵循本文的方法步骤,首先应由国家自然科学基金委的相关管理部门,结合该类项目的具体特点和管理需要,分析表 1 中各项一级绩效指标之间的关联影响关系并绘制直接影响关系有向图。此处不妨假设由主管部门经过分析之后绘制出的直接影响关系有向图如图 2 所示。遵循前文步骤 2—步骤 4,先将图 2 所示的直接影响关系有向图转化为直接影响矩阵,然后通过计算综合影响矩阵并求解各项一级指标的影响度、被影响度,进而计算指标的中心度,再对中心度进行归一化处理即可得到各项一级指标的权重向量 $A=(0.223, 0.222, 0.205, 0.214, 0.136)$ 。

邀请项目承担者结合实际情况对项目在表 1 中 14 个二级指标上的具体表现进行定量自评,自评结果参见表 2 中第 3—4 行。我们邀请了曾在管理学部下设方向主持过国家自然科学基金项目的 5 位专家参与项目绩效评价工作,请每位专家结合表 2 中的定量自评信息按照四级评价标度对项目在各项一级指标上的局部整体表现进行评价,评价结果参见表 2 中第 5—9 行。

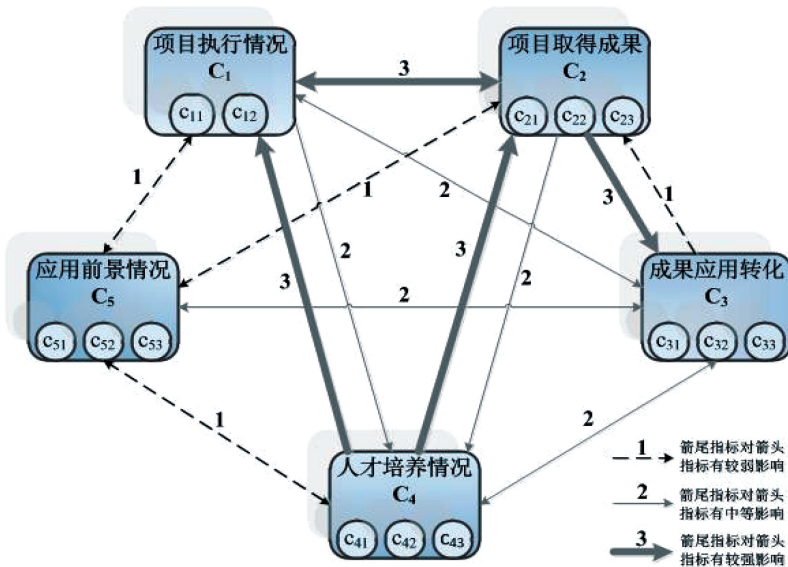


图 2 案例中直接影响关系有向图

表 2 自评与他评信息表

一级指标	项目执行情况 C ₁		项目取得成果 C ₂			成果转化应用 C ₃			人才培养情况 C ₄			应用前景情况 C ₅			
二级指标	C ₁₁	C ₁₂	C ₂₁	C ₂₂	C ₂₃	C ₃₁	C ₃₂	C ₃₃	C ₄₁	C ₄₂	C ₄₃	C ₅₁	C ₅₂	C ₅₃	
自评	计划情况	第 1 年完成主体识别方法,第 2 年完成信息提取机理,第 3 年完成信息提取模型,第 4 年完成案例应用;每年撰写论文 3 篇	构建知识网络信息提取机理和模型	省级奖励 1 项	论文 10—12 篇,其中 SCI 2—3 篇,国家自然科学基金委定期刊论文 3—5 篇	1 次	本研究属于基础研究,成果主要以论文和专著形式体现,无此计划	本研究属于基础研究,成果主要以论文和专著形式体现,无此计划	本研究属于基础研究,成果主要以论文和专著形式体现,无此计划	培养青年教师 1—2 人	出站博士后/业士 1—2 人	业士 2—3 人	本研究对知识管理具有重要作用	本研究属于基础研究,成果主要以论文和专著形式体现,无此计划	本研究属于基础研究,成果主要以论文和专著形式体现,无此计划
	完成情况	各年度均完成任务;第 1—4 年发表论分别是 8、5、7、7 篇;出版专著 1 部	面向网络构建了一套决策信息智能提取型方法体系	省级哲社三等奖 2 项	论文 30 篇,SCI 2 篇,EI 7 篇,中文核心期刊 7 篇,CSSCI 11 篇;学术专著一部	4 次	研究提出的关键知识主体识别方法、主观知识融合方法可以申请软著	拟将研究成果开发成决策支持系统,并以转让、许可等方式进行转化应用	决策支持系统开发后,能够产生一定的经济效益	3 人,其中 1 名副教授晋升为教授,2 名讲师晋升为副教授	5 人,其中 2 名成员获博士学位	5 人,其中 1 名成员取得硕博连读资格,2 名成员取得硕士学位	研究成果被知识管理领域多篇论文引用	拟开发的决策支持系统,可以辅助企业做出科学决策,创造经济价值	拟开发的决策支持系统,可以辅助政府部门做出科学决策,创造社会价值
他评	e ₁	优秀		优秀			良好			优秀			优秀		
	e ₃	优秀		优秀			良好			良好			优秀		
	e ₂	优秀		优秀			合格			良好			合格		
	e ₄	良好		优秀			优秀			优秀			良好		
	e ₅	优秀		优秀			良好			良好			良好		

按照前文步骤 6,将专家评价信息转化为式(2)所示的表达形式,限于篇幅,此处仅以专家 e₁ 的评价信息为例进行说明(详见式(6)),其他 4 位专家的评价信息可类似得出。假设 5 位专家的权重向量是 W=(0.30,0.15,0.20,0.25,0.10),则按照前文式(3)和式(4)可以构造出如式(7)所示的隶属度矩阵。

$$\begin{cases} M_{11} = (1,0,0,0) \\ M_{12} = (1,0,0,0) \\ M_{13} = (0,1,0,0) \\ M_{14} = (1,0,0,0) \\ M_{15} = (1,0,0,0) \end{cases} \quad (6)$$

$$R = \begin{bmatrix} 0.75 & 0.25 & 0.00 & 0.00 \\ 1.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.25 & 0.55 & 0.20 & 0.00 \\ 0.55 & 0.45 & 0.00 & 0.00 \\ 0.45 & 0.35 & 0.20 & 0.00 \end{bmatrix} \quad (7)$$

按照前文步骤 8,利用加权平均算子 M(•, ⊕)对一级指标权重向量 A 与隶属度矩阵 R 进行综合集成,得到综合隶属度向量 B=A·R=(0.619,0.312,0.068,0.000)。由综合隶属度向量可知,在综合所有专家在各项一级指标上的评价信息之后,该项目被评为优秀、良好、合格、不合格的概率分别是 61.9%、31.2%、6.8%、0.0%。遵

循最大隶属度原则,该项目最终绩效评价结果应该为优秀。

上述评价过程体现了科学基金项目绩效评价机制中三条原则。具体而言:定量自评与定性他评相结合原则体现在,评价信息先由承担者对项目绩效完成情况在二级指标上做出定量自评(表2中第3—4行),再由5位专家对项目在一级指标上进行定性他评(表2中第5—9行)。局部精确与整体模糊相结合原则主要体现在,每位专家都对项目在一二级指标上的绩效表现按照四级标度给出了精确的判断信息(表2中第5—9行),在此基础上将专家评价信息和专家权重进行综合即可得到能够反映所有专家评价信息整体模糊分布的隶属度矩阵(式(7))。独立分析与关联集成相结合原则主要体现在,专家和管理部门各司其职,专家只要对待评项目在一二级指标上的绩效表现进行判断即可(表2中第5—9行),而管理部门则只需要对指标之间的关联影响关系进行分析即可(图2),利用本文方法对二者进行综合集成便可得到待评项目的最终评价结果(综合隶属度向量B)。由此可见,上述案例模拟分析过程验证了本文提出的理论方法具有应用可行性。

5 结束语

现有科学基金项目绩效评价方法因为没有考虑指标之间关联影响关系、忽视专家认知能力,所以会影响绩效评价结果的科学合理性。为了解决上述问题,本文首先遵循《科技评估工作规定(试行)办法》中的原则构建了科学基金项目的绩效评价指标体系,然后遵循定量自评与定性他评相结合、局部精确与整体模糊相结合、独立分析与关联集成相结合三项原则设计了科学基金项目的绩效评价机制,在此基础上采用能够处理指标之间关联影响关系并能对专家评价信息进行综合集成的DEMATEL—模糊综合评判方法构建了科学基金项目绩效评价的方法步骤,最后以某国家自然科学基金项目的绩效评价问题为例演示了应用提出方法解决实际问题的具体操作过程,验证了方法的应用可行性。本文理论方法的优势在于能够反映专家主观认知能力和指标之间关联影响关系对科学基金项目绩效评价结果的影响,相对于现有研究成果而言,应用本文理论方法进行绩效评价所得出的评价结果更具科学合理性。需要说明的是,为了能够做出系统全面的评价,本文从项目执行情况、项目取得成果、成果转化应用、人才

培养情况、应用前景情况构建了科学基金项目绩效评价指标体系,而在实际评价过程中可能存在因项目产出侧重点不同而导致其在个别指标上并无计划产出(称之为无计划指标)的情形,此时在邀请专家进行评价时可按以下规定执行——如果项目在无计划指标上并无绩效产出,那么专家评价结果应为合格;如果项目在无计划指标上实际上有一些绩效产出,那么专家可视产出情况将评价结果定为良好或优秀。

致谢 本文工作得到国家自然科学基金(项目批准号:71462022)、中央高校基本科研业务费专项(201762026)、泰山学者工程专项经费资助。

参 考 文 献

- [1] 李兴国,宁平. 基于BP神经网络的省级自然科学基金项目评价模型研究. 科技进步与对策, 2008, 25(3): 144—146.
- [2] 郑石明,任柳青. 青年科学基金项目绩效评价及其影响因素. 中国科学基金, 2016, 30(3): 255—261.
- [3] 梁公文,傅媛媛,王丹蕾,等. 数据包络分析法在国家自然科学基金项目结题评估中的应用: 2011第三届全国医学科研管理论坛暨江苏省医学科研管理学术年会,中国江苏南京, 2011.
- [4] 陈波,朱卫东. 基于证据理论的科学基金项目绩效评估方法研究. 中国科技论坛, 2009, 07: 35—39.
- [5] 黄进. 科学基金项目评审专家科研信誉综合评价体系研究: 基于“能力—行为—绩效”的视角. 中国科学基金, 2012, 26(1): 57—60.
- [6] 骆嘉琪,匡海波. 高校科技创新团队科研资源绩效评价指标体系. 科研管理, 2015, S1: 116—121.
- [7] 孙凯,钱昊. 基础研究项目产出绩效的量化评价体系研究——以浙江省自然科学基金为例. 科技管理研究, 2016, 36(6): 58—62.
- [8] 朱卫东,刘芳,王东鹏,等. 科学基金项目立项评估: 综合评价信息可靠性的多指标证据推理规则研究. 中国管理科学, 2016, (10): 141—148.
- [9] 刘兰剑,应海涛. 基于立法的日本科研评价体系研究. 科研管理, 2017, 38(4): 145—153.
- [10] 汪雪峰,陈云,王志楠,等. 基于学科交叉与目标一致性的重大研究计划资助绩效评价. 科研管理, 2017, 38(4): 132—144.
- [11] 杜鹏,李凤. 是自上而下的管理还是科学共同体的自治——对我国科技评价问题的重新审视. 科学学研究, 2016, 34(5): 641—646.
- [12] 唐雨艳,周建林,王国红. 基于DEMATEL-ANP的产学研集成创新评价研究——以大连双D港企业为例. 科学学与科学技术管理, 2013, 34(12): 87—96.

- [13] 王群伟, 杭叶, 于贝贝. 新能源企业技术创新的影响因素及其交互关系. 科研管理, 2013, S1: 161—166.
- [14] 余顺坤, 周黎莎, 李晨. ANP-Fuzzy 方法在电力企业绩效考核中的应用研究. 中国管理科学, 2013, 1: 165—173.
- [15] 王婉娟, 危怀安. 协同创新能力评价指标体系构建—基于国家重点实验室的实证研究. 科学学研究, 2016, 34(3): 471—480.
- [16] 孙晓玲, 丁堃. 管理科学研究主题及其演化趋势—基于 NS-FC 基础研究知识库的分析. 科学与科学技术管理, 2017, 38(6): 3—11.
- [17] 宋志红, 郭艳新, 李冬梅. 科学基金资助提高科研产出了吗? —基于倾向得分分层法的实证研究. 科学学研究, 2016, (1): 116—121.

Performance assessment method for science foundation project based on DEMATEL and fuzzy comprehensive evaluation

Du Yuanwei Wang Susu

(Management College, Ocean University of China, Qingdao 266100)

Abstract There are several problems existing in current performance assessment methods for science foundation project, such as the scientific rationality of assessment results are affected because of ignoring the association between indices and cognitive abilities of experts. In order to solve the above problems, a performance assessment index system is constructed firstly by following the principle described in “Measures for the assessment of scientific and technological work (trial version)”. Then, a performance assessment mechanism is designed from three aspects that the combination of quantitative self-rating and qualitative others-rating, the combination of partial precision and integral fuzziness, the combination of independent analysis and associative integration. The steps of the performance assessment method are given by means of DEMATEL and fuzzy comprehensive evaluation, which can integrate index weights with fuzzy evaluation values. Finally, the performance of a national natural science fund project is simulatively assessed to demonstrate the process of the proposed method and prove its applicable feasibilities.

Key words Science found project; performance assessment mechanism; performance assessment method; DEMATEL; fuzzy comprehensive evaluation