

网络层次分析法研究述评

贺纯纯, 王应明

(福州大学, 福建福州 350108)

摘要: 对网络层次分析法的理论及主要结构进行回顾, 在算法改进与模型结合两方面对 ANP 展开研究, 指出 ANP 中存在的问题及未来改进的方向。

关键词: 网络层次分析法; 层次分析法; 算法改进; 模型结合

中图分类号: F224

文献标志码: A

文章编号: 1000-7695 (2014) 03-0204-06

A Review of the Analytic Network Process

HE Chunchun, WANG Yingming

(Fuzhou University, Fuzhou 350108, China)

Abstract: This paper reviews the theory and main structure of Analytic Network Process, researches on ANP from the perspective of algorithm improvements and model combinations, and points out some problems existing in ANP and the direction of improving ANP in future.

Key words: Analytic Network Process; Analytic Hierarchy Process; algorithm improvements; model combinations

AHP (Analytic Hierarchy Process) 是美国 Pittsburgh 大学著名运筹学家 Saaty T L 教授^[1-2]于 20 世纪 70 年代提出的一种将定性和定量相结合的多准则决策方法, 在系统决策中应用广泛。但层次分析法面对的是独立的递阶层次结构, 只考虑上一层次元素对下一层次元素的支配和影响, 同时假设同一层次元素之间是相互独立, 不存在相互依存的关系, 这种假设在简化了系统内部元素关系的同时, 也限制了它在复杂系统中的应用。许多复杂系统必须考虑层次内部元素的依存关系和下层元素对上层元素的反馈影响, 而且整个系统的结构更类似于网络结构, 针对这种决策问题具有依赖性和反馈性的情况, Saaty T L 教授于 1996 年提出了一种适应复杂结构的决策科学方法——网络层次分析法^[3]即 ANP (Analytic Network Process), 它将系统内各元素的关系用类似网络结构表示, 而不再是简单的递阶层次结构, 是在 AHP 方法的基础上发展而形成的一种新的决策方法, 其理论更准确地描述了客观事物之间的联系, 是一种更加有效实用的决策方法。

1 网络层次分析法 (ANP)

1.1 ANP 结构分析

ANP 将系统元素划成两大部分 (见图 1), 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, 且只受目标元素控制; 控制因素中可以没有决策准则, 但至少有一个目标。控制准则层在网络层次系统结构中是顶层, 是最高准则。控制准则有两种类型: 一种是先准则, 在层次目标结构中, 可以直接地连接到该结构系统中, 也可称为“连接”准则, 还有一种准则不能直接连接到网络系统结构中, 但它能够“诱导”网络的比较, 这种控制准则被称为“诱导”准则。

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, 其内部是相互影响的网络结构。

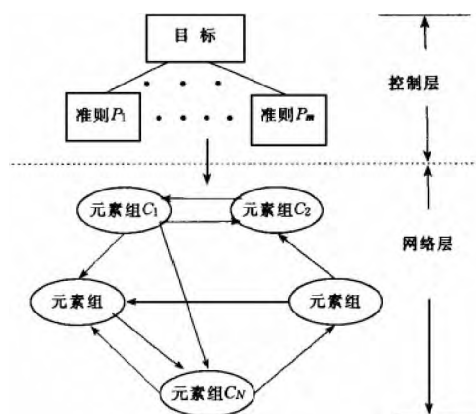


图 1 典型的 ANP 结构模型

1.2 ANP 的优势度

AHP 的一个重要步骤就是在一个准则下, 受支配元素进行两两比较, 由此获得判断矩阵, 但在 ANP 中被比较元素之间可能并不独立, 而是相互影响, 因而这种比较将以两种方式进行。第一种直接优势度, 给定一个准则, 两元素对于该准则的重要程度进行比较; 第二种间接比较优势度, 给出一个准则, 两个元素在准则下对第三个元素的影响程度进行比较。

1.3 ANP 网络结构超矩阵

1.3.1 超矩阵的构建

假设某复杂系统 ANP 结构的控制层中有元素 $B_1, B_2, B_3, \dots, B_m$, 即相对目标的准则。网络层元素中有 N 个元素集 $C_1, C_2, C_3, \dots, C_N$, C_i 中有元素 $c_{i1}, c_{i2}, \dots, c_{ij}$ ($i=1, 2, \dots, N$)。对网络层重要程度的确定要通过间接判定方法。首先以控制层 B_s 为准则, 以元素组 C_j 中的元素 c_{jl} 为次准则, 元素组 C_i 中元素按其对于 c_{jl} 的影响力大小进行间接重要程度比较, 得到判断矩阵, 依据判断矩阵可由特征根法得到排序向量 $(w_{i1}^j, w_{i2}^j, \dots, w_{in_i}^j)^T$ 。

同理, 可得元素组 C_i 在控制层 B_s 为准则和以元素组 C_j 中的其他元素为此准则下的判断矩阵, 并得到对应的排序向量。将元素组 C_i 在控制层 B_s 为准则和以元素组 C_j 中的所有元素为次准则下得到的排序向量用矩阵表示得 W_{ij} 。其中, 矩阵的第 k 列表示元素组 C_i 在控制层 B_s 为准则和以元素组 C_j 中的元素 c_{jk} 为次准则下得到的排序向量。将控制层 B_s 下所有元素组的排序向量矩阵构成超矩阵, 得到超矩阵 $W = (W_{ij})$ 。由于控制层有 m 个元素, 因此, 超矩阵有 m 个, 并且所有的超矩阵均为非负矩阵, 每个超矩阵的子矩阵的列均为归一化, 但整个超矩阵的列并不是归一化的。

1.3.2 加权超矩阵的构建

以控制层 B_s 为准则, 以任一元素组 C_j ($j=1, 2, \dots, N$) 为次准则, 对各个元素组的重要程度进行比较的判断矩阵 A , 归一化特征向量 $a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{Nj}$ 。利用加权矩阵 A 对超矩阵 W 中的元素进行加权得 $W'_{ij} = a_{ij} W_{ij}$, $i=1, 2, \dots, N$; $j=1, 2, \dots, N$ 由 W'_{ij} 构成的超矩阵 W' 即为加权超矩阵, 加权矩阵各列之和为 1。为了方便, 以下超矩阵均为加权超矩阵, 并仍然记为 W 。

1.3.3 极限加权超矩阵

由上面步骤计算出加权超矩阵 W 中的元素表示元素间的一次优势度。为了计算元素间的二次优势度, 需要计算 W^2 ; 计算元素间的三次优势度, 需要计算 W^3 。依此类推, 计算得出极限加权超矩阵。极限加权超矩阵的元素表示控制层 B_s 下网络层各元素间的极限优势度。

为方便计算和使用极限加权超矩阵, 给出文献

[4] 已证明的三条定理。

定理 1 设 A 为 n 阶非负矩阵, λ_{\max} 为其模最大特征值, 则有

$$\min \sum_{j=1}^n a_{ij} \leq \lambda_{\max} \leq \max \sum_{j=1}^n a_{ij}$$

定理 2 设非负列随机矩阵 A 的最大特征根 1 是单根, 其他特征根的模均小于 1, 则 A^∞ 存在, 并且 A^∞ 的各列都相同, 都是 A 属于 1 的归一化特征向量。

定理 3 设 A 为非负不可约列随机矩阵, 则 $A^\infty = \lim_{n \rightarrow \infty} A^n$ 存在的充分必要条件是 A 为素阵。

依据极限加权超矩阵, 即可得到各个准则的重要程度、各评价指标的重要程度以及评价方案的排序。

1.4 ANP 主要的网络结构及超矩阵

1.4.1 内部独立的递接层次结构

内部独立的递阶层次结构示意图以及对应的超矩阵如图 2。

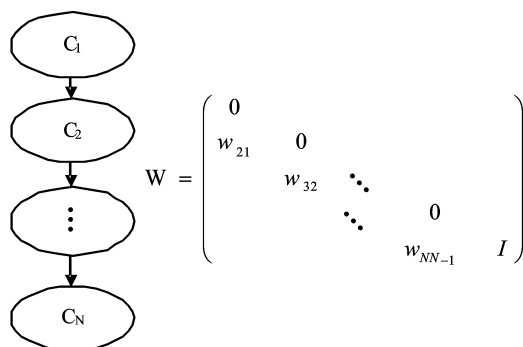


图 2 为内部独立的递阶结构及其超矩阵

1.4.2 内部独立的循环系统结构

内部独立的循环系统结构示意图以及对应的超矩阵如图 3。

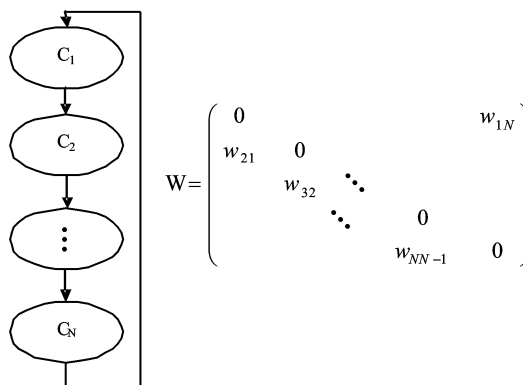


图 3 为内部独立的循环系统结构及其超矩阵

1.4.3 内部依存的递阶层次结构

内部依存的递阶层次结构示意图及对应的超矩阵如图 4。

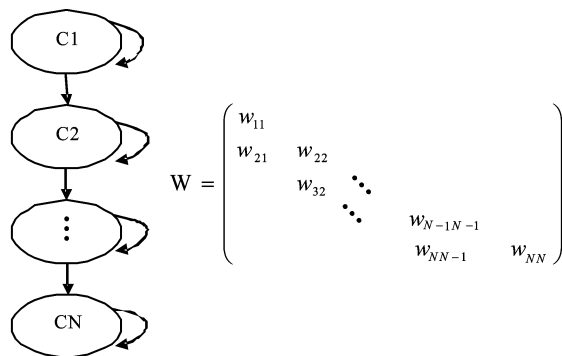


图4 为内部依存的递阶层次结构及其超矩阵

1.4.4 内部依存的循环系统结构

内部依存的循环系统结构示意图及对应的超矩阵如图5。

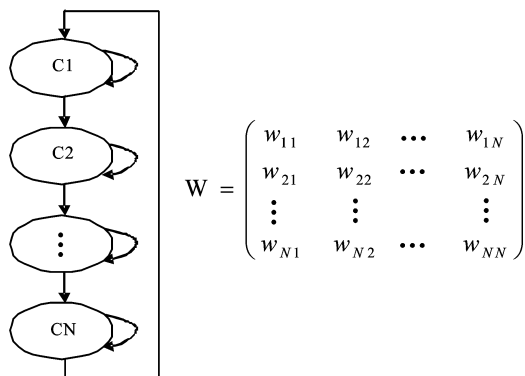


图5 为内部依存的循环系统结构及其超矩阵

一般的网络结构图(图1)总可将元素划分为控制层和网络层两大层次,而任何的网络层均可看成内部依存的结构,经过适当的化简可以转化为上述的四种结构情形之一进行处理。

2 ANP 算法改进

网络层次分析法提出后,国内许多学者对 ANP 进行了研究与改进。2001 年王莲芬教授^[5]对 Saaty 教授提出的循环系统计算进行了改进,用带有原点位移的幂法直接计算超矩阵的极限相对排序向量,改变了过去计算平均极限排序的繁琐算法。

ANP 应用时存在的判断矩阵不一致问题,文献[6]利用最优传递矩阵进行了改进。具体是对专家的意见进行了修正统一,专家打分后计算出总体标准差,当标准差小于 1 可认为专家的意见较为统一,否则筛选出意见分歧较大的专家要求重新判断或将其结果忽略,直到达到要求为止。若专家判断值的算术平均值作为群组判断结果,但平均值矩阵可能不满足一致性,就需要通过最优传递矩阵算法求判断矩阵的拟优传递矩阵。作者把这种方法应用在了典型武器系统的作战能力的评估研究中,研究证实了该方法的有效性和指标体系的合理性。

针对逆序问题,文献[7]提出了一种改进的网络决策分析方法,利用有向图及有向图相关的矩阵、将层次分析法的积因子方法(方案合成排序应用乘积而不是相加)推广到一般的网络决策分析问题。其中加权和容易造成逆序,而积因子是为克服层次分析法中的逆序而提出的改进方法,经证明在一定条件下它是惟一的保序方法。此方法不用超矩阵而用有向图和它相关的矩阵来处理准则之间的关系,不用加权和而用幂指数积处理准则的合成,不仅定义简明、易于实施,且解决了存在于网络决策分析中的逆序问题。

运用 ANP 评价复杂问题时, Saaty (2001)^[8]不仅考虑了近期收益(B)、成本(C)因素,而且也考虑了远期的机会(O)和风险(R)因素(即从B、C、O、R四个方面对决策问题进行分析,简称BOCR模型分析),但现有文献[9-12]中,BOCR评价综合集成时因评价价值之间的不匹配而可能得出错误的方案排序和绩效,为克服这种缺陷,李春好等(2010)^[13]提出了一种基于数据包络分析理论针对 ANP/BOCR 评价价值的综合集成方法,用摆幅置权区间估计方式反映出决策者在判断 BOCR 相对权重时所面临的不精准性和模糊性。与传统方法相比,基于 DEA 提出的 ANP/BOCR 评价价值的新集成方法,由于 DEA 的有效性与输入、输出的量纲无关,新方法最后的排序结果不受 BOCR 评价价值是否匹配的影响,且新方法基于 DEA 理论对各方案的“相对效率”进行评价,因而无需对 BOCR 权重值之间的客观联系机理予以主观假设,最后通过实例表明新方法比传统的方法更具有科学性。此外,利用 BOCR 模型计算最终排序时一般采用 $P = B * O / (C * R)$ 来进行最终的排序值,而实际情况,可能只有 B、C、R 几方面则采用 $P = B / (C * R)$ 进行计算,具体的应用依决策需要来决定。

ANP 模型的计算较为复杂,不借助于计算软件的情况下,很难将 ANP 模型用于解决实际的问题。2003 年 Rozann W Saaty 和 William Adams 在美国推出了超级决策(Super decision,简称SD)软件,该软件基于 ANP 理论,成功的将 ANP 的计算程序化。文献[14]从应用的角度介绍 ANP 应用软件(SD 软件),利用该软件对水利水电项目导流施工方案进行了评价。王莲芬教授等^[15]通过对 Saaty 教授的典型的汉堡案例详解了 SD 软件的操作细节和使用规则,为学习和使用 SD 软件提供了良好的文献资料。ANP 强大的计算工具,简化了 ANP 的计算,为 ANP 的推广^[16]奠定了基础。

3 模型结合与应用

3.1 ANP 与运筹学的结合

在解决信息不完备的群组决策问题时,因为判

断矩阵有缺失, 文献 [17] 将评价图引入信息不完备的群组决策问题, 并在此基础上提出二次规划问题解决在这种情况下的权重确定问题, 最后通过 ANP 的超矩阵得到总排序; 同样在解决反馈结构的集中典型超矩阵及其极限相对排序向量问题时, 文献 [18] 也是将权重求解问题转化为二次规划问题, 而使这类信息不完备的群组决策问题得到了有效的解决。除二次规划外, 曾敏刚^[19] 利用自然灾害的特点建立定位 - 路径问题 (Location - routing problem, LRP) 数学模型, 通过两阶段启发式求解该模型。利用最小包络法进行聚类分析确定应急救援中心的定位配给问题。运用最近邻点法思想下求出 K 条较短路径; 考虑以紧急救援运输的时间、安全性、经济成本和环境成本等多目标, 应用网络层次分析法 (ANP 法) 确定最优运输路径。以某地发生台风灾害救援为例进行分析和计算, 结果显示 LRP 模型与 ANP 结合具有可行性和有效性。

3.2 ANP/TOPSIS 模型

ANP 虽能准确地描述客观事物之间的联系, 但仍具有一定的主观性, 而理想点 TOPSIS 法能够通过评价各方案与理想解的接近程度来解决指标相互竞争问题。ANP/TOPSIS 模型通过 ANP 计算收敛的总排序权重, 利用得出的总排序作为 TOPSIS 法的初始矩阵构造加权单位化矩阵, 计算确定最理想指标和最不理想指标加权评价集合, 再通过计算备选方案到最理想和最不理想指标的距离, 最后计算相对接近度来确定最终排序。ANP 与 TOPSIS 的结合相互弥补了一些不足, 为决策提供更可靠的依据。文献 [20, 21] 对供应商的选择利用 ANP/TOPSIS 模型进行了实证分析, 文献 [22] 对 VLBI 台站电磁兼容性进行评估, 证实该模型比单独的使用 ANP 能更有效的解决类似的问题。

3.3 Fuzzy_ ANP 模型

对于分类标准不明确, 边界不太清楚的问题一般采用模糊评价方法, 用模糊线性变化原理和最大隶属度原则从低依次上升对各个因素进行综合评价, 而结合 ANP 对各元素之间关系的客观描述, 提供相对科学的评价指标权重, 解决了评价指标难以精确界定的问题。文献 [23 - 31] 是国内一些学者对安全文化、员工软实力、安全风险评估等一些比较难以界定的问题利用 Fuzzy_ ANP 模型进行的定量分析和研究, 研究表明这种定量与定性相结合的方法提高了评价的科学性。

3.4 G - ANP 模型

G - ANP 是 ANP 与 GRAP 灰色关联分析法、ANP 与 GCDM 灰色聚类分析的结合。灰色关联分析 (GRAP) 方法一般多用于分析和处理纵向序列, 而 ANP 是一种系统化、层次化分析问题的多目标决策方法; 该模型利用 ANP 求综合权重, 利用这些权重

作为参考序列与选择目标构成的指标序列构成灰色样本评价空间, 通过求差序列获得两级差, 最后通过公式计算关系数得出关联数来对目标进行最终排序, 两种方法集成进行评价, 可以对复杂系统的各层次子系统进行评估, 能在子系统评估的基础上进行综合评价, 该模型的结合为多层次的复杂系统提供了一个好的参考方法, 文献 [32 - 34] 就通过构建 ANP - GRAP 评价模型进行评价决策。同样 GC - DM 可以对同类因素归并, 使复杂系统简化, 文献 [35] 使用 ANP - GCDM 对风电项目经济外部性进行评价, 并取得了一定的效果。

3.5 ANP 与熵权相结合

ANP 与熵权相结合: 利用 ANP 求出各因素的主观权重排序, 同时根据熵权法确定各因素对目标的影响, 求出其影响的客观权重, 通过网络层次分析法和熵权加权以确定综合权重。这样确定的权重提高了定性分析与定量分析的客观性和全面性, 为选择较优的目标决策提供了比较可靠和科学的方法, 从而也增加了决策的有效性和权威性。文献 [36 - 38] 将 ANP 与熵权相结合的方法在选择运输商和物流运输能力的评估等决策问题中进行应用, 通过熵权科学的量化各种影响因素的权重, ANP 进行计算与排序, 在这些实际的案例中取得了较理想的效果。

3.6 DEA/ANP 模型

DEA 方法的主要研究对象是决策单元 (DMU), 通过比较一组同质的 DMU, 并结合 DUM 线性的输入和输出, 分析每个 DMU 的相对有效性, 可以得到有效活动的包络曲面。这个模型处理输入和输出中不确定的权重信息问题, 防止人为主观地给定权重; 但是由于它反映的是一个相对有效性, 有些指标有效, 而大多数无效的目标有时候具有较强的优势, 最后做出不科学的决定。ANP 反映了指标间的相互影响和关联, 为做出科学有效的决策, 将 ANP 与 DEA 相结合, 通过将决策偏好的客观考虑和决策过程的主观分析相结合优化有效指标, 建立一个快速有效的综合权重评价系统。文献 [39] 中姜建华学者为综合权重采取了线性加权的方法确定综合权重, 充分的体现和结合了 ANP 与 DEA 优点。

3.7 ANP - ER 模型

此模型的测度方法是通过 ANP 确定测度指标权重, 再利用证据推理理论 (ER) 构建测度方法。证据推理方法本质上是非线性集成方法, 包括递归算法和解析算法两种, 文献 [40] 由于计算量相对较大, 使用解析算法对区域经济协调发展水平进行测度。网络层次分析法在确定指标权重时充分考虑指标间的相互关系, 而 ER 方法有效集成定性指标和定量指标, 两者的结合使指标的权重确定更客观, 作者通过宁波区域相关数据实例证实了 ANP - ER 模型的有效, 为衡量区域经济发展水平提供选择依据。

ANP 不单算法得到改进, 在与其他决策方法的结合上也得到很大发展, 不仅与以上一些定量模型进行结合, 更与一些定性模型进行了结合应用。如文献 [41] 与管理分析 SOWT 方法相结合, 文献 [42-46] 与企业绩效评价 BSC (平衡积分卡) 相结合, 文献^[47]与柔性协商相结合 (对教师的评估) 等。这些方法的结合不仅弥补了定性方法评估的缺陷同时也拓展了 ANP 应用的范围。对于 ANP 的应用文献^[48], 针对 ANP 应用形式的多样性问题进行了分析论证, 通过比较 ANP 矩阵的特点, 得出不同条件下比较矩阵的不同表现形式, 为解决不同 ANP 问题提供了依据。Saaty 教授作为 ANP 的提出者一直致力于相关研究。于 2009 年和 2010 年分别对 ANP 的使用规则^[49]和决策应用^[50]进行了系统性的总结, 使决策方法更适应现实问题, 其科学性和准确性也得到了更大的提高。

4 总结与展望

本文对 ANP 的发展历程进行了综合的述评。ANP 方法被用来分析一些具有相互影响的决策标准和决策方案问题, 但一般主要用于解决一些较复杂的决策分析问题。尽管 ANP 的原理简单, 但应用仍然有一些困难。从 96 年提出并开始研究到现在依然有些值得深究的地方^[51]: (1) 网络结构的标准化问题, 对于什么形式的网络结构不需要加权随机化处理; 对于什么形式的网络结构其超矩阵的乘幂会唯一收敛; 什么样的网络结构其超矩阵会出现周期性, 而什么样的超矩阵的权重无法合成, 这些标准需要进一步的研究来完善。(2) 在建立判断矩阵上, AHP 的研究相对较成熟, 发展了多种构造判断矩阵的方法, 为提高 ANP 的科学性, ANP 可借鉴参考 AHP 的相关方法, 形成较合理的判断矩阵。(3) 对利用超矩阵求幂进行合成的问题上, 出现周期性后简单平均的方式处理似乎有待进一步的商讨, 其他方法是否能进行处理也有容商榷。

ANP 的这些不足并没有阻碍它的应用与发展, 面向用户的超级决策 (SD) 软件对 ANP 计算问题进行了规范化, 尽管确定的因素权重具有一定的主观性, 但通过算法改进或模型的结合 ANP 仍能为决策者提供科学的决策方法, 所以简化 ANP 算法、优化结合模型, 是解决 ANP 实践应用困难的良好方法。

参考文献:

- [1] SAATY T L. Multicriteria Decision Making [M]. RWS Publications, Pittsburgh, PA, 1990
- [2] SAATY T L. Inner and outer Dependence in the Analytic Hierarchy Process: The Supermatrix and Superhierarchy [A]. Proceeding of the 2nd ISAH [C]. Pittsburgh, 1991
- [3] SAATY T L. Decision with the Analytic Network process [D]. University of Pittsburgh, USA, ISAH' 96 CANADA, 1996
- [4] SAATY T L. The Analytic Network process [M]. RWS publications, Pittsburgh, USA, 2001
- [5] 王莲芬. ANP 的原理与算法 [J]. 系统工程理论与实践, 2001 (3): 44-50
- [6] 王巧珍, 杨凡德. 面向典型武器系统的作战能力评估研究 [J]. 2011, 22 (12): 125-128
- [7] 刘奇志. 网络决策分析的积因子方法 [J]. 系统工程理论与实践, 2004 (9): 90-97
- [8] SAATY T L. Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs, and Risks, third ed [M]. RWS Publications, Pittsburgh, 2005
- [9] WIJNMALEN D J D. Analysis of benefits, opportunities, costs, and risks (BOCR) with the AHP/ANP: A critical validation [J]. Mathematical and Computer Modelling, 2007, 46 (7-8): 892-9051
- [10] ERDOGMUS S, KAPANOGLU M, KOC E. Evaluating high-tech alternatives by using analytic network process with BOCR and multi-actors [J]. Evaluation and Program Planning, 2005, 28 (4): 391-3991
- [11] LEE A H L. A fuzzy supplier selection model with the consideration of benefits, opportunities, costs and risks [J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36 (2): 2879-28931
- [12] LIANG C, LI Q. Enterprise information system project selection with regard to BOCR [J]. International Journal of Project Management, 2008, 26 (8): 810-8201
- [13] 李春好, 孙永河, 段万春. 基于 DEA 理论的 ANP/BOCR 方案评价价值综合集成新方法 [J]. 中国管理科学, 2010 (4): 56-61
- [14] 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 [J]. 系统工程理论与实践, 2003 (8): 141-143
- [15] 孙宏才, 田平, 王莲芬. 网络层次分析法与决策科学 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2011
- [16] 田平, 孙宏才. ANP 计算软件 (SD) 简述 [M]. 北京: 海洋出版社, 2005
- [17] 张良欣, 徐岩山, 王晓林. 信息不完备群组决策问题的 ANP 方法 [J]. 海军工程大学学报, 2006 (1): 42-46
- [18] 靳欣, 杨都, 张欢. ANP 理论与算法研究 [J]. 商业时代, 2012 (2): 30-31
- [19] 曾敏刚. 基于 LRP 模型的灾害应急物流研究 [J]. 华中科技大学学报, 2009, 23 (2): 42-45
- [20] 郭伟, 白丹, 单飞, 等. ANP/TOPSIS 应用于制造企业供应商选择研究 [J]. 武汉理工大学学报, 2011 (2): 147-155
- [21] 董福贵, 刘慧美. 基于 ANP/TOPSIS 的燃煤供应商选择 [J]. 现代电力, 2012 (2): 82-85
- [22] 刘奇. VLBI 台站电磁兼容性评估 [J]. 天文研究与技术, 2011, 8 (4): 239-333
- [23] 赖志向, 叶家伟. 基于 ANP 模糊综合评判法的分段生产流程优化 [J]. 科学技术与工程, 2009 (23): 7251-7253
- [24] 朱琳. 基于 Fuzzy-ANP 的供电企业员工软实力研究 [J]. 华东电力, 2012 (4): 0710-0702
- [25] 杜红兵, 李晖, 袁乐平, 等. 基于 Fuzzy-ANP 的空管安全风险评估研究 [J]. 中国安全科学学报, 2010 (12): 79-85
- [26] 周黎莎, 于新华. 基于网络层次分析法的电力客户满意度模糊综合评价 [J]. 电网技术, 2009 (17): 191-197
- [27] 李俊松, 仇文革. 基于网络层次模糊综合评价的铁路隧道岩溶风险分析 [J]. 铁道建筑, 2011 (10): 22-25
- [28] 张卫, 陆宝春, 吴慧中. 基于网络分析法的虚拟样机模糊决策模型 [J]. 南京理工大学学报, 2006 (2): 153-156
- [29] 余顺坤, 石玉峰, 宋伟光. 企业人工成本效益综合模糊评价研究 [J]. 经管空间, 2012 (1): 107-108

(下转第 213 页)

形成全国统一的科技服务业统计调查体系, 为政府对科技服务业的管理和决策提供真实的数据支持, 为科技服务业提供较好的发展环境, 提高政府对我国科技服务业的宏观管理作用。

参考文献:

- [1] 程梅青, 杨冬梅, 李春城. 天津市科技服务业的现状和发展对策 [J]. 中国科技论坛, 2003 (3): 70-75
- [2] 朱卫东, 谭清美. 基于系统构成要素功能的科技服务业评价指标体系研究 [J]. 科学学研究, 2009 (2): 373-375
- [3] 王永顺. 加快发展科技服务业提升创新创业服务水平 [J]. 江苏科技信息, 2005 (8): 1-2
- [4] 王晶, 于建宇, 刘会宁, 等. 南京科技服务业发展问题研究

- [J]. 科技进步与对策, 2006 (3): 94-97
- [5] 陈先荣. 大力发展科技服务业积极推进 CBD 建设 [J]. 今日科技, 2005 (9): 26-28
- [6] 孟庆敏, 梅强. 科技服务业在区域创新系统中的功能定位与运行机理研究 [J]. 科技管理研究, 2010 (8): 74-78
- [7] 李建标, 汪敏达, 任广乾. 北京市科技服务业发展研究 [J]. 科技进步与对策, 2011 (4): 51-56
- [8] 陈岩峰, 于文静. 基于因子分析法的广东科技服务业能力研究 [J]. 科技管理研究, 2009 (9): 4-7

作者简介: 赵三武 (1986—), 男, 陕西渭南人, 硕士研究生, 主要研究方向为经济统计; 孙鹏举 (1988—), 男, 河南新乡人, 硕士研究生, 主要研究方向为经济统计。

(上接第 208 页)

- [30] 田水承, 李磊, 王莉, 景兴鹏, 等. 基于 ANP 法的企业安全文化模糊综合评价 [J]. 中国安全科学学报, 2011 (7): 15-20
- [31] YÜKSEL I, DAG DEVIREN M. Using the fuzzy analytic network process (ANP) for balanced scorecard (BSC): a case study for a manufacturing? rm [J]. ExpertSyst. Appl, 2010, 37: 1270-1278
- [32] 田卫东, 宋哲, 王树恩. 基于 ANP-GRAP 集成方法的产业集群发展中政府作用的评价研究 [J]. 科技管理研究, 2010 (17): 58-62
- [33] 宋哲, 王树恩, 柳洲, 张芹, 等. ANP-GRAP 集成方法在企业技术创新风险评价中的应用 [J]. 科学学与科学技术管理, 2010 (1): 55-58
- [34] 安雪彤, 杨育, 贾建国, 张峰, 等. 基于 G-ANP 方法的大型化工项目风险评价研究 [J]. 科技管理研究, 2010 (14): 240-244
- [35] 赵高强, 郭森, 李泓泽, 乞建勋, 等. 基于 ANP-GCDM 模型的风电项目经济外部性评价 [J]. 华北电力大学学报, 2012 (4): 59-64
- [36] 张瑞鹏, 何世伟, 崔莉莉. 基于熵权和 ANP 的物流中心规划布局方案综合性能评价 [J]. 物流技术, 2008, 27 (2): 38-40
- [37] 张瑞鹏, 何世伟, 宋瑞. 基于网络层次分析法和熵权的运输商选择方法 [J]. 北京交通大学学报, 2007 (4): 38-42
- [38] 崔莉莉, 马学谦, 马小平, 等. 一种综合权重计算方法在军队选择运输商中的应用 [J]. 军事交通学院学报, 2007, 9 (2): 58-61
- [39] 姜建华. 敏捷制造的汽车产品研发的评价分析 [J]. 汽车工程, 2009 (8): 788-792
- [40] 左振宇, 叶春华, 何建敏, 等. 基于 ANP-ER 的区域经济协调发展水平的测度 [J]. 统计与决策, 2012 (8): 123-126

- [41] YÜKSEL I, DAG DEVIREN M. Using the analytic network process (ANP) in a SWOT analysis: a case study for a textile firm [J]. Inform, 2007, 177: 3364-3382
- [42] 钟良, 赵国杰. 基于 ANP&BSC 建构企业绩效评价体系 [J]. 西北农林科技大学学报, 2006, 6 (4): 69-72
- [43] 王举颖, 汪波, 赵全超. 基于 BSC-ANP 科技型中小企业成长性评价研究 [J]. 科学学研究, 2006, 24 (4): 581-585
- [44] 张水波, 侯晓文, 杨秋波. 基于 BSC 与 ANP 的工程承包商项目绩效测量 [J]. 统计与决策, 2012 (1): 175-178
- [45] 曹萍, 陈福集. 网络环境下基于 BSC-ANP 的企业技术创新能力评价 [J]. 华中农业大学学报, 2011 (6): 96-102
- [46] 赵盼红, 王利, 孟庆良. 基于平衡积分卡的食品供应链绩效动态测评研究 [J]. 科技管理研究, 2012 (5): 52-56
- [47] 宋哲, 胡彩霞. 基于柔性协商与 ANP 集成方法的高校教师专业发展能力评价研究 [J]. 黑龙江教育学报, 2011, 30 (11): 240-241
- [48] 王娟, 李华. 网络层次分析法应用形式的多样性 [J]. 预测, 2007 (6): 64-68
- [49] SAATY T L. Principia Mathematica Decernendi: Mathematical Principles of Decision Making, RWS Publications [M]. Pittsburgh, 2009
- [50] SAATY T L, VARGAS LUIS G. Decision Making With the Analytic Network Process [M]. Spring, USA, 2010
- [51] 唐小丽, 冯俊文. ANP 原理及运用展望 [J]. 统计与决策, 2006 (6): 138-140

作者简介: 贺纯纯 (1988—), 女, 湖北天门人, 硕士研究生, 研究方向为管理系统工程; 王应明 (1964—), 男, 江苏海安人, 教授, 博士研究生导师, 研究方向为管理系统工程、决策理论与方法、规则库推理、质量功能展开 (QFD)。