

# ANP 内部循环依存递阶系统的方案排序新方法<sup>①</sup>

李春好, 孙永河

(吉林大学管理学院, 长春 130025)

**摘要:** 为克服网络分析法(ANP)处理内部循环依存递阶层次系统(HSICD)方案评价问题所存在的权重内涵无清晰定义、加权矩阵难以构造这两方面缺陷,依据非线性复杂系统理论、整体论与还原论相结合的综合集成方法论,通过构建 HSICD 评价问题的新系统分析结构、专家判断信息的提取平台,即概率影响矩阵和方案评价的价值体系,给出系统分析结构稳定的方案排序新方法. 基于实例的对比分析结果表明,新方法不仅在专家判断信息获取上比传统 ANP 更为容易,而且得出的评价结论也比传统 ANP 更科学可靠.

**关键词:** 网络分析法; 内部循环依存递阶层次系统; 分析结构; 概率影响矩阵; 方案排序

**中图分类号:** N94    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1007-9807(2008)06-0025-10

## 0 引言

为分析和评价复杂系统问题, Saaty<sup>[1]</sup> 在层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)的基础上提出了网络分析法(analytic network process, ANP). 由于 ANP 考虑了系统元素之间的反馈和依赖等复杂关系,更有利于反映复杂系统问题的实际情况,因此,人们认为它是较之于 AHP 更加实用的决策工具. 但是,不同于多属性决策理论中内涵明确的摆幅置权(swing weighting, SW)相对重要性(权重)概念<sup>[2]</sup>, ANP 与 AHP 一样,所使用的系统因素相对重要性权重迄今仍是没有明确内涵定义的概念. Belton、Dyer、Schoner 等<sup>[3]</sup> 先后指出 AHP 权重内涵不清晰问题,为直接解决该问题, Choo 等<sup>[4]</sup> 和 Barzilai<sup>[5]</sup> 基于效用理论,从价值权衡、边际效用替代等视角提出了 8 种较为可能的权重内涵理论解释. 例如,从价值权衡视角来看,因素的重要性权重应是反映待比较的层次因素从最差状态值变化到最好状态值对上层因素相对贡献的 SW 权重;从边际效用替代视角来看,两个因素之间的相对权重应是效用偏好无差异曲

线的点边际效用替代率. 但他们也同时指出,运用各种理论解释来确定 AHP 权重都必须依赖于和内涵解释相对应的特定比较程序,而这一要求在传统 AHP 比较判断模式下是很难实现的. 原因在于,在传统 AHP 比较判断中,不仅确定 SW 权重和边际效用替代率所直接依赖的因素状态是未加考虑的、未知的,而且从边际效用替代率上看,因素之间的相对权重是随因素状态变化而变化的,这直接与传统 AHP 因素权重在方案评价中保持固定不变的方法假定发生明显冲突. 因此, Macharis 等<sup>[6]</sup> 最近指出, AHP 的权重重要性定义目前尚存在着不清晰性与模糊性,争论仍在进行之中. 而迄今, ANP 沿用的仍是 AHP 的相对重要性概念,因此其权重内涵也是没有清晰界定的. 另外, ANP 因素集之间比较的加权矩阵难以构造,这是因为,虽然 Saaty 在理论上指出要通过两两比较来构造加权矩阵<sup>[1]</sup>,但在最新版 SuperDecisions (1.6.0) 软件的使用说明中却又指出,当仅有两个因素集需要加权时,它们之间是无法进行比较的,并且没有给出任何原因解释直接武断地

① 收稿日期: 2006-12-06; 修订日期: 2007-12-23.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70471015).

作者简介: 李春好(1966—), 男, 辽宁盖州人, 博士/出站博士后, 教授, 博士生导师. Email: jylichunhao@sina.com

将加权矩阵设为等权矩阵(即保证待比较元素权重相等的矩阵).

Saaty 根据系统因素之间的关系将 ANP 所分析的系统分为内部循环依存递阶层次系统(hierarchy system with inner circular dependence, HSICD)等5种典型系统. 由于 HSICD 系统中因素之间存在着依存与反馈等复杂关系,因此从复杂系统的非线性本质特征上看,对这类系统的方案评价采用非线性思维进行方法构建,是有科学合理性的. 另外,由于整体论与还原论相结合的系统方法论实现了整体论与还原论的辩证统一,因此从反映系统非线性关系上看,采用这种方法论对 HSICD 系统进行分析 and 方案评价方法构建也是合适的,并且是与钱学森先生提出的综合集成方法论思想相一致的<sup>[7]</sup>. 这是因为,如果不从整体上对系统中存在的依存、反馈等复杂关系进行认识,就无法反映因素之间相互作用所涌现出的系统整体层面上的新面貌和新特征;如果不分析系统结构的局部,仅从系统整体上认知 HSICD 系统,那么也只能得出关于方案评价系统的直观性、猜测性和笼统性认识<sup>[8]</sup>.

依据上述认识,本文以 HSICD 系统为研究对象,通过构建新的系统分析结构、专家判断信息的提取平台和方案评价的价值体系,给出可以克服传统 ANP 内在缺陷的方案排序新方法.

### 1 HSICD 系统的新分析结构

HSICD 系统的各种因素按属性可分解为多类因素集,如目标集、准则集(它可以进一步细分为多个子准则集)和方案集. 设  $g_1, \dots, g_n, c_1, \dots, c_m, s_1, \dots, s_l, a_1, \dots, a_R$  分别为目标集、准则集、最低层子准则集(指标集)和方案集中的  $n, m, l, R$  个因素. 与传统 ANP 的分析结构相比,图 1 所示的新分析结构有如下 3 方面的不同:第 1, 因素集(方案集除外)中的每个因素均需要划分为有限个可能的取值水平(状态);第 2, 根据备选方案选择决策的互斥原理,认为方案集内各方案彼此是相互独立的,抛弃了 ANP 原有结构允许方案层因素循环依存的不合理假设;第 3, 基于非线性复杂系统理论、整体论与还原论相结合的系统分析方法论,新分析结构在对系统分解后的局部单元进

行还原综合时,抛弃了传统 ANP 的简单还原论思维,采用层次性整体论思维. 传统 ANP 的简单还原论分析思维是先将系统因素按其属性分解为多类因素集,然后在分解的基础上进行简单的还原综合. 而层次性整体论的分析思维则是在系统分解的基础上,将每个上层因素和对它有直接影响的下层因素看作为一个局部子系统(上层因素视作局部子系统的产出,与之有直接影响的下层因素视作局部系统的投入),采用整体判断模式[如交合分析(conjoint analysis, CA)全景判断法,详见 2]基于下层因素的投入(状态)组合来判断出局部子系统的产出结果(状态),实现对单一局部层次系统投入的整体性集成,并依据各层次子系统的集成综合结果自下而上逐层实现上一层子系统、直到最上层子系统的层次性、整体性集成(参见 2, 这种层次性整体论思维将在新方法构建所依据的专家判断信息提取平台,即概率影响矩阵的构造中具体体现出来). 由于复杂系统不可能一次完成从因素性质到系统整体性质的涌现,需要通过一系列中间等级(层次)的整合逐步涌现出来<sup>[9]</sup>,以及整体论思维方式能够较好地反映复杂系统内在的复杂关系,因而上述层次性整体论思维更易于反映系统不同层次之间以及同一层次不同因素之间的替代、匹配等复杂非线性关系,从而揭示出区别于简单还原论的“部分之和大于整体”的系统突变与涌现行为特征. 由此可见,新结构通过层次性整体论思维既实现了系统逐层还原过程中的局部整体性集成,又充分发挥了整体论在反映系统复杂非线性机理上的方法论优势.

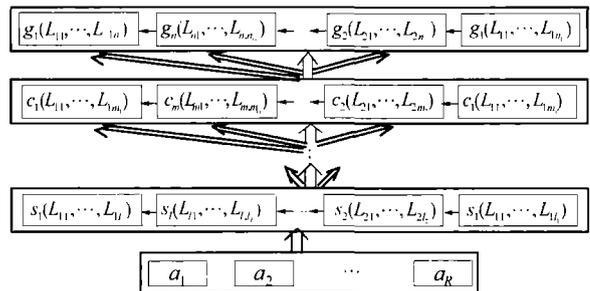


图 1 HSICD 系统的新分析结构

Fig. 1 New analytic structure for the HSICD system

图 1 中,向上的双箭头表示系统自下而上的投入产出过程;单箭头表示箭尾因素对箭头因素的因果影响关系. 符号  $L$  及其下角标表示系统因素(不包括方案)的水平状态,如  $l_{11}, \dots, l_{1n_1}$  表示

目标  $g_1$  的  $n_1$  个水平状态. 对系统因素进行水平状态划分是新分析结构区别于传统 ANP 分析结构的显著特征,也是分析系统因素之间依存、反馈等复杂非线性关系的重要基础. 借鉴 DDM 模型的有关技术思想<sup>[10]</sup>,可以通过设定参照系来确定(划分)因素集中各因素(不包括方案)的水平状态. 具体划分方法如下:首先,选取因素集中各因素水平状态划分的参照系. 参照系是为了便于专家进行层次性整体判断而选定的,实际存在且与待评价方案类似的参照对象(方案)的,一组对应于分析结构各系统元素的具体实际情况(即系统因素状态). 参照系的选取应保证专家能够比较熟悉参照对象的系统实际情况. 然后,邀请多位(比如  $E$  位)专家共同确定出分析结构中各因素相对于参照系的若干水平状态级别(称作因素的水平状态). 根据 Saaty 关于分辨能力的心理学实验结论<sup>[1]</sup>,系统因素的状态划分级别可选定为 3、5、7、9 级. 例如,当选定 3 个级别进行状态划分时,可以将系统因素状态划分为“比参照水平好”、“与参照水平一样”和“比参照水平差”3 个状态. 系统因素状态水平的多少应视被评价方案的数量而定,当方案数量较多时,划分的状态级别即状态数也需相应增加.

需要说明的是,为方便,图 1 中各因素的水平状态均是按相对参照基础由好到差予以排序的.

## 2 专家判断信息的提取平台

与传统 ANP 专家判断信息的提取平台(即两两比较判断矩阵)不同,在新分析结构下判断信息的提取是通过确定因素之间的条件概率影响矩阵(简称作概率影响矩阵)进行的. 根据图 1 中分析结构的层次属性,可以将概率影响矩阵划分为指标集因素之间的概率影响矩阵和指标集以上层各因素集中因素之间的概率影响矩阵两种类型. 这两类概率影响矩阵的确定及调整方法如下.

### 2.1 指标集因素之间概率影响矩阵的确定

结合图 1,针对任意一个方案  $a_r, r = 1, \dots, R$ ,指标之间的概率影响矩阵可以按如下方法予以确定.

邀请  $E$  位专家分别判断出当方案  $a_r$  在指标  $s_1$  上处于状态  $L_{1j_1} (j_1 = 1, \dots, l_1)$  时,它在指标  $s_2$  上所处的水平状态. 设认为  $a_r$  在  $s_2$  上处于状态  $L_{2j_2}$ ,

$\dots, L_{2j_2}$  的专家数分别为  $E_{21,r}^{(1j_1)}, \dots, E_{2j_2,r}^{(1j_1)}$  则根据主观概率理论和 Shafer<sup>[11]</sup> 对主观概率的概念解释(即打赌概率),可以将方案  $a_r$  在  $s_2$  上处于状态  $L_{2j_2}$  的概率  $p_{2j_2,r}^{(1j_1)} (j_1 = 1, \dots, l_1, j_2 = 1, \dots, l_2)$  定义为  $E_{21,r}^{(1j_1)}/E, \dots, E_{2j_2,r}^{(1j_1)}/E$ . 由此定义可以看出,概率  $p_{2j_2,r}^{(1j_1)}$  的本质是主观条件概率,即是以  $a_r$  在  $s_1$  上处于状态  $L_{1j_1}$  为条件的主观概率,因此它可以表示为

$$p_{2j_2,r}^{(1j_1)} = p(s_2 = L_{2j_2,r} \mid s_1 = L_{1j_1,r})$$

$$j_1 = 1, \dots, l_1, j_2 = 1, \dots, l_2$$

类似地,可以邀请专家进行状态判断并得出方案  $a_r$  分别当其在指标  $s_2, \dots, s_{l-1}, s_l$  上处于某一特定状态时它在指标  $s_3, \dots, s_l, s_1$  相应状态上的主观条件概率. 由上述条件概率可以确定出相对于  $a_r$  而言  $s_1$  对  $s_2$  的概率影响矩阵  $M_{12,r}^{(s)}, \dots, s_l$  对  $s_1$  的概率影响矩阵  $M_{1l,r}^{(s)}$ . 其具体表达式为

$$M_{12,r}^{(s)} = \begin{bmatrix} p_{21,r}^{(11)} & p_{21,r}^{(12)} & \dots & p_{21,r}^{(1l_1)} \\ p_{22,r}^{(11)} & p_{22,r}^{(12)} & \dots & p_{22,r}^{(1l_1)} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ p_{2l_2,r}^{(11)} & p_{2l_2,r}^{(12)} & \dots & p_{2l_2,r}^{(1l_1)} \end{bmatrix}, \dots,$$

$$M_{1l,r}^{(s)} = \begin{bmatrix} p_{l1,r}^{(11)} & p_{l1,r}^{(12)} & \dots & p_{l1,r}^{(1l_F)} \\ p_{l2,r}^{(11)} & p_{l2,r}^{(12)} & \dots & p_{l2,r}^{(1l_F)} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ p_{ll_1,r}^{(11)} & p_{ll_1,r}^{(12)} & \dots & p_{ll_1,r}^{(1l_F)} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中,  $p_{2j_2,r}^{(1j_1)}, \dots, p_{lj_2,r}^{(1j_1)} \in [0, 1]; \sum_{j_2=1}^{l_2} p_{2j_2,r}^{(1j_1)} = 1, j_1 = 1, \dots, l_1, \dots, \sum_{j_1=1}^{l_1} p_{lj_2,r}^{(1j_1)} = 1, j_2 = 1, \dots, l_2, r = 1, \dots, R$ .

### 2.2 指标集以上层各因素集中因素之间概率影响矩阵的确定

不失一般性,这里以指标集上一层子准则集中因素之间概率影响矩阵的确定为例来予以说明. 设  $v_1, \dots, v_q$  表示该子准则集中的  $q$  个因素,指标集中因素对  $v_1, \dots, v_q$  的影响关系如图 2 所示.

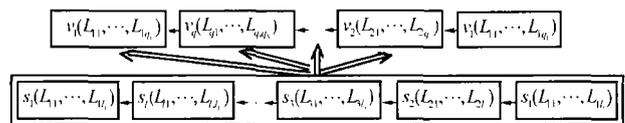


图 2 指标集与其上一层子准则集的因素影响关系  
Fig. 2 Factor influence relations between the index cluster and its above sub-criterion cluster

图3是图2中子准则  $v_1, \dots, v_q$  的循环依存关系的详细描述,它反映的是子准则之间因状态水平不同而呈现出的依存、反馈等复杂非线性关系.该图中的弧形箭头反映的是箭尾因素处于其特定状态下对箭头因素存在影响.

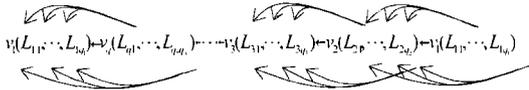


图3 q 个子准则循环依存关系的详细描述

Fig.3 Detailed description of circular dependence relations among q subcriteria

在图3中,由于子准则  $v_1, \dots, v_q$  受下层指标的影响(参见图2),因此,需要专家基于指标集中因素的状态,对受下层指标影响的子准则  $v_1, \dots, v_q$  所处的状态做出层次性整体判断.这种判断方式是与CA全景判断法(即从待评价对象的多个属性整体的角度判断出对评价对象的偏好)完全一致的.由于大量的应用实践证明CA全景判断法是十分有效的分析方法<sup>[12]</sup>,因此选用它对分析结构中各因素所处的水平状态进行层次性整体判断是具有较好可行性的.下面基于系统元素水平状态的层次性整体判断给出子准则  $v_1, \dots, v_q$  之间概率影响矩阵的确定方法.

针对任意一个方案  $a_r$ ,请  $E$  位专家分别基于对  $v_2$  有影响指标的期望水平状态或期望状态区间,应用CA全景法判断出当  $a_r$  在  $v_1$  上处于状态  $L_{1k_1}$  ( $k_1 = 1, \dots, q_1$ ) 时,它在  $v_2$  上所处于的水平状态.设认为  $a_r$  在  $v_2$  上处于状态  $L_{21}, \dots, L_{2q_2}$  的专家数分别为  $E_{21,r}^{(1k_1)}, \dots, E_{2q_2,r}^{(1k_1)}$ ,则与上文类似,可将  $a_r$  在  $v_2$  上处于状态  $L_{21}, \dots, L_{2q_2}$  的主观条件概率  $p_{2k_2,r}^{(1k_1)}$  ( $p_{2k_2,r}^{(1k_1)} = (v_2 = L_{2k_2,r} | v_1 = L_{1k_1,r}), k_1 = 1, \dots, q_1, k_2 = 1, \dots, q_2$ ) 定义为  $E_{21,r}^{(1k_1)}/E, \dots, E_{2q_2,r}^{(1k_1)}/E$ . 类似地,可以得出方案  $a_r$  分别当其在子准则  $v_3, \dots, v_q, v_1$  上处于某一特定状态时它在子准则  $v_3, \dots, v_q, v_1$  相应水平状态上的主观概率,以及相对于方案  $a_r$  而言  $v_1$  对  $v_2$  的概率影响矩阵  $M_{12,r}^{(v)}$ 、 $\dots$ 、 $v_q$  对  $v_1$  的概率影响矩阵  $M_{q1,r}^{(v)}$ . 这些矩阵的表达式为

$$M_{12,r}^{(v)} = \begin{bmatrix} p_{21,r}^{(11)} & p_{21,r}^{(12)} & \dots & p_{21,r}^{(1q_1)} \\ p_{22,r}^{(11)} & p_{22,r}^{(12)} & \dots & p_{22,r}^{(1q_1)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{2q_2,r}^{(11)} & p_{2q_2,r}^{(12)} & \dots & p_{2q_2,r}^{(1q_1)} \end{bmatrix}, \dots,$$

$$M_{q1,r}^{(v)} = \begin{bmatrix} p_{11,r}^{(q1)} & p_{11,r}^{(q2)} & \dots & p_{11,r}^{(q,q_N)} \\ p_{12,r}^{(q1)} & p_{12,r}^{(q2)} & \dots & p_{12,r}^{(q,q_N)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{1q_1,r}^{(q1)} & p_{1q_1,r}^{(q2)} & \dots & p_{1q_1,r}^{(q,q_N)} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中,  $p_{2k_2,r}^{(1k_1)}, \dots, p_{1k_1,r}^{(q,k_N)} \in [0, 1]; \sum_{k_2=1}^{q_2} p_{2k_2,r}^{(1k_1)} = 1, k_1 = 1, \dots, q_1, \dots, \sum_{k_1=1}^{q_1} p_{1k_1,r}^{(q,k_N)} = 1, k_N = 1, \dots, q_N; r = 1, \dots, R$ .

### 2.3 概率影响矩阵的调整

式(1)、(2)中概率影响矩阵的部分元素可能为零.其产生的原因既可能是零元素所对应的条件概率事件客观上确实不会发生,也可能是专家的主观判断不能对客观上的小概率事件予以识别.由于上述两种情况无法予以进一步判别,因此这里从小概率事件的确有可能发生的视角将概率影响矩阵中为零的元素主观设定为小概率事件的概率  $\varepsilon$  (如  $\varepsilon = 0.001$ ).当式(1)、(2)中概率影响矩阵的元素出现  $\varepsilon$  时,需要对  $\varepsilon$  所在列的所有元素进行调整,使其列和归一化.为表达简洁,调整后的概率影响矩阵仍记为  $M_{12,r}^{(s)}, \dots, M_{q1,r}^{(s)}; M_{12,r}^{(v)}, \dots, M_{q1,r}^{(v)}$ .

## 3 新分析结构的稳定性

不失一般性,这里仍以子准则  $v_1, \dots, v_q$  之间的循环依存关系为例来说明新分析结构的稳定性.其内涵是指子准则之间经无限次循环影响后,各子准则的各个取值状态存在稳态概率.

设任意一个评价方案  $a_r$ ,在时刻  $t$  和时刻  $(t + 1)$  时在子准则  $v_1, \dots, v_q$  上处于状态  $L_{1k_1}, \dots, L_{q,k_N}$  ( $k_1 = 1, \dots, q_1, \dots, k_N = 1, \dots, q_N$ ) 的概率分别为  $\pi_{1k_1,r}^{(t)}, \dots, \pi_{q,k_N,r}^{(t)}$  和  $\pi_{1k_1,r}^{(t+1)}, \dots, \pi_{q,k_N,r}^{(t+1)}$ . 根据概率理论可知

$$\pi_{1k_1,r}^{(t+1)}, \dots, \pi_{q,k_N,r}^{(t+1)} \in (0, 1); \sum_{k_1=1}^{q_1} \pi_{1k_1,r}^{(t)} = 1, \dots,$$

$$\sum_{k_N=1}^{q_N} \pi_{1k_N,r}^{(t)} = 1; \sum_{k_1=1}^{q_1} \pi_{1k_1,r}^{(t+1)} = 1, \dots, \sum_{k_N=1}^{q_N} \pi_{1k_N,r}^{(t+1)} = 1$$

为叙述方便,记向量

$$\begin{aligned} \pi_{1,r}^{(t)} &= (\pi_{11,r}^{(t)}, \dots, \pi_{1q_1,r}^{(t)})^T, \dots, \pi_{q,r}^{(t)} \\ &= (\pi_{q1,r}^{(t)}, \dots, \pi_{qq,r}^{(t)})^T \end{aligned}$$

和

$$\begin{aligned} \pi_{1,r}^{(t+1)} &= (\pi_{11,r}^{(t+1)}, \dots, \pi_{1q_1,r}^{(t+1)})^T, \dots, \pi_{q,r}^{(t+1)} \\ &= (\pi_{q1,r}^{(t+1)}, \dots, \pi_{qq_n,r}^{(t+1)})^T \end{aligned}$$

根据图 3 中  $q$  个子准则依存关系的详细描述和影响矩阵  $M_{12,r}^{(v)}, \dots, M_{q1,r}^{(v)}$  的含义可知

$$\begin{aligned} M_{12,r}^{(v)} \pi_{1,r}^{(t)} &= \pi_{2,r}^{(t)}, \\ M_{23,r}^{(v)} \pi_{2,r}^{(t)} &= \pi_{3,r}^{(t)}, \dots, M_{q1,r}^{(v)} \pi_{q,r}^{(t)} = \pi_{1,r}^{(t+1)} \end{aligned} \text{ 进而有}$$

$$\begin{cases} M_{q1,r}^{(v)} M_{q-1,q,r}^{(v)} \dots M_{12,r}^{(v)} \pi_{1,r}^{(t)} = \pi_{1,r}^{(t+1)} \\ M_{12,r}^{(v)} M_{q1,r}^{(v)} \dots M_{23,r}^{(v)} \pi_{2,r}^{(t)} = \pi_{2,r}^{(t+1)} \\ \vdots \\ M_{q-1,q,r}^{(v)} M_{q-2,q-1,r}^{(v)} \dots M_{q1,r}^{(v)} \pi_{q,r}^{(t)} = \pi_{q,r}^{(t+1)}. \end{cases} \quad (3)$$

式(3)的第 1 个方程中,矩阵  $M_{12,r}^{(v)}, \dots, M_{q1,r}^{(v)}$  均为列和为 1 的矩阵,根据矩阵代数的知识可知  $M_{q1,r}^{(v)} M_{q-1,q,r}^{(v)} \dots M_{12,r}^{(v)} = Q$  也是列和为 1 的矩阵. 若将  $Q$  作为某随机过程的状态转移矩阵,则该随机过程必具有马尔可夫性或者说是一个马尔可夫过程. 因矩阵  $M_{12,r}^{(v)}, \dots, M_{q1,r}^{(v)}$  中的元素都大于 0,故  $Q$  中的元素都大于 0,从而  $Q$  为标准随机矩阵. 结合上述两方面的事实可知,必然存在非零列向量  $\pi_{1,r} (\pi_{1,r} = \lim_{t \rightarrow \infty} \pi_{1,r}^{(t)}), \pi_{1,r} = (\pi_{11,r}, \dots, \pi_{1q_1,r})^T$ , 使

得  $Q\pi_{1,r} = \pi_{1,r}$  又因  $\sum_{k_1=1}^{q_1} \pi_{1k_1,r}^{(t)} = 1$ , 故  $\sum_{k_1=1}^{q_1} \pi_{1k_1,r} = 1$ , 进一步可知  $\pi_{1,r}$  为稳态概率向量<sup>[13]</sup>. 类似地可知,式(3)中的其他方程均有稳态概率向量  $\pi_{2,r}, \dots, \pi_{q,r}$ , 其中

$$\pi_{2,r} = \lim_{t \rightarrow \infty} \pi_{2,r}^{(t)}, \dots, \pi_{q,r} = \lim_{t \rightarrow \infty} \pi_{q,r}^{(t)}.$$

上述推理结论表明,图 3 中的分析结构以及图 1 所示的新分析结构均是稳定的.

### 4 新结构下方案评价的价值体系

新分析结构下方案评价的价值体系是指对应于图 1 中各系统因素(不包括方案)各水平状态的一组效用偏好值(价值). 其构建方法为:请  $E$  位专家共同对图 1 因素集(方案集除外)中各个因素的各个状态进行偏好判断,并予以介于 0 ~ 100 的效用偏好赋值. 价值体系主要有以下两方面作用:①它是实现方案评价的基础;②它与系统因素状态的稳态概率相结合,可计算出方案在各系统因素状态上的期望价值和方案在各系统因素上的期望状态或期望状态区间(详见下文步骤 4).

### 5 方案排序方法

HSICD 系统的方案排序步骤如下所示.

- 步骤 1 建立如图 1 所示的系统新分析结构.
- 步骤 2 构建如第 4 部分所述的价值体系.
- 步骤 3 令  $r = 1$ .
- 步骤 4 针对方案  $a_r$  请专家进行判断,构造

出因素集(不包括方案集)中因素之间的概率影响矩阵(参见第 2 部分)并计算出  $a_r$  在分析结构各因素状态上的期望价值. 若设由对应于  $a_r$  的概率影响矩阵  $M_{12,r}^{(s)}, \dots, M_{li,r}^{(s)}$  计算出的在指标  $s_1$  上状态  $L_{11}, \dots, L_{l1}$  的稳态概率为  $\pi_{11,r}^{(s_1)}, \dots, \pi_{l1,r}^{(s_1)}$ ;在方案评价的价值体系中  $L_{11}, \dots, L_{l1}$  的价值为  $u_{11}^{(s_1)}, \dots, u_{l1}^{(s_1)}$ , 则  $a_r$  在  $s_1$  状态上的期望价值计算公式为

$$U_r^{(s_1)} = \sum_{j_1=1}^{l_1} \pi_{lj_1,r}^{(s_1)} u_{j_1}^{(s_1)}$$

若  $U_r^{(s_1)} = u_{i_2}^{(s_1)}$ , 则可知  $a_r$  在  $s_1$  上的期望状态为  $L_{i_2}$ ;若  $U_r^{(s_1)} \in (u_{11}^{(s_1)}, u_{i_2}^{(s_1)})$ , 则可知  $a_r$  在  $s_1$  上的期望状态区间是  $(L_{11}, L_{i_2})$ . 类似地,可以求出  $a_r$  在其它因素状态上的期望价值,直到得出  $a_r$  在  $g_1, \dots, g_n$  状态上的期望价值  $U_r^{(g_1)}, \dots, U_r^{(g_n)}$ .

步骤 5 令  $r = r + 1$ ,若  $r \leq R$  ( $R$  为待评价方案个数),转步骤 4;若  $r > R$ ,转步骤 6.

步骤 6 邀请专家按照 SW 方法确定目标  $g_1, \dots, g_n$  的规一化权重向量  $(\omega_1, \dots, \omega_n)$ . SW 重要性概念在国外目前已成为被普遍接受的关于多目标权重重要性的规范性解释<sup>[2]</sup>. 采用 SW 方法确定目标权重的具体做法是:首先,根据  $g_1, \dots, g_n$  的状态空间,确定出 2 个假设方案. 其中一个假设方案是在每一个目标上都是最差状态,记作最差方案  $(L_{1n_1}, \dots, L_{n,n_n})$ ;另一个假设方案是在每一个目标上都是最好状态,记作最好方案  $(L_{11}, \dots, L_{n1})$ . 然后,从最差方案出发,让专家从  $n$  个目标中挑选出 1 个最希望首先改进最差方案的目标(设该目标为  $g_h$ ),将其由最差状态  $L_{h,n_h}$  改进成最好状态  $L_{h1}$ ,并将专家进行这一改进的价值偏好(相当于  $u_{h1}^{(g_h)} - u_{h,n_h}^{(g_h)}$ ) 定为 100(称作目标  $g_h$  的初权). 接下来,对余下目标让专家仿照前述方法分别改进最差方案,并对每一个目标改进的价值偏好相对于最希望首先改进目标  $g_h$  的价值偏好(100)做出

0 ~ 100 之间的数值估计(相应目标的初权). 最后,对得出的所有目标初权进行规一化,得出  $g_1, \dots, g_n$  的最终权重向量  $(\omega_1, \dots, \omega_n)$ .

**步骤7** 计算出方案  $a_1, \dots, a_R$  的相对总效用偏好评价排序值  $U_1, \dots, U_R$ , 并依据  $U_1, \dots, U_R$  的大小对各方案排序.

设  $\delta_1, \dots, \delta_n$  为在目标  $g_1, \dots, g_n$  上的状态效用变化(即  $u_{11}^{(g_1)} - u_{1n_1}^{(g_1)}, \dots, u_{n1}^{(g_n)} - u_{n,n_H}^{(g_n)}$ ) 相对于某一共同的效用价值尺度的当量系数, 则反映方案  $a_r (r = 1, \dots, R)$  优劣的总效用偏好值  $U_r$  可表述为

$$U_r = \delta_1 (U_r^{(g_1)} - u_{1n_1}^{(g_1)}) + \dots + \delta_n (U_r^{(g_n)} - u_{n,n_H}^{(g_n)}) \quad (4)$$

另外,由 SW 相对重要性权重概念可知

$$\frac{\delta_2 (u_{21}^{(g_2)} - u_{2n_2}^{(g_2)})}{\delta_1 (u_{11}^{(g_1)} - u_{1n_1}^{(g_1)})} = \frac{\omega_2}{\omega_1}, \dots, \frac{\delta_n (u_{n1}^{(g_n)} - u_{n,n_H}^{(g_n)})}{\delta_1 (u_{11}^{(g_1)} - u_{1n_1}^{(g_1)})} = \frac{\omega_n}{\omega_1} \quad (5)$$

令  $\lambda = \delta_1 (u_{11}^{(g_1)} - u_{1n_1}^{(g_1)}) / \omega_1$  (显然  $\lambda > 0$ ), 则由式(4)和式(5)可知如下表达式成立

$$U_r = \left[ \frac{U_r^{(g_1)} - u_{1n_1}^{(g_1)}}{u_{11}^{(g_1)} - u_{1n_1}^{(g_1)}} \omega_1 + \frac{U_r^{(g_2)} - u_{2n_2}^{(g_2)}}{u_{21}^{(g_2)} - u_{2n_2}^{(g_2)}} \omega_2 + \dots + \frac{U_r^{(g_n)} - u_{n,n_H}^{(g_n)}}{u_{n1}^{(g_n)} - u_{n,n_H}^{(g_n)}} \omega_n \right] \lambda \quad (6)$$

在式(6)中,由于  $\lambda$  的取值并不影响  $U_1, \dots, U_R$  之间的排序,因此可定义方案  $a_r$  的相对总效用偏好评价排序值(即相对效用)  $U_r$  为

$$U_r = \frac{U_r^{(g_1)} - u_{1n_1}^{(g_1)}}{u_{11}^{(g_1)} - u_{1n_1}^{(g_1)}} \omega_1 + \frac{U_r^{(g_2)} - u_{2n_2}^{(g_2)}}{u_{21}^{(g_2)} - u_{2n_2}^{(g_2)}} \omega_2 + \dots + \frac{U_r^{(g_n)} - u_{n,n_H}^{(g_n)}}{u_{n1}^{(g_n)} - u_{n,n_H}^{(g_n)}} \omega_n \quad (7)$$

$r = 1, \dots, R.$

## 6 实例应用对比分析

本文结合某大学 2006 年管理科学与工程专业免试推荐硕士生优选评价问题进行了案例应用对比研究. 在该优选评价问题中有 3 位学生(视作方案  $a_1, a_2, a_3$ ) 和 5 位评价专家(这些专家均为研究生指导教师). 显然,该实例的评价目标是选择免试研究生( $g$ ). 根据规定的考评要求,评价准则设为学习能力( $c_1$ ) 和科研能力( $c_2$ ),影响学习能力的指标因素包括勤奋程度( $s_{11}$ )、专业成绩( $s_{12}$ )、数学成绩( $s_{13}$ ) 和外语成绩( $s_{14}$ ),反映科研

能力的指标包括逻辑思维与表达能力( $s_{21}$ ) 和科研潜质( $s_{22}$ ). 经分析认为,指标集因素(即指标)之间是相互独立的,而准则集因素(即学习能力准则和科研能力准则)存在循环依存关系.

运用本文给出的方法步骤,首先建立如图 4 所示的分析结构,并通过选定 5 位专家都熟悉的一位 2005 年入学的在读研究生作为参照对象,将参照对象对应方案评价分析结构的各因素实际状态作为参照系,在此基础上对分析结构中各目标和指标可能的取值状态均予以“比参照学生强”、“与参照学生差不多”和“比参照学生差”3 个状态级别划分. 然后,请专家判断出各方案在各个指标上所处的状态,从而得出了  $a_1, a_2, a_3$  在各指标上各个状态的概率(由于该实例中指标之间是相互独立的,因此它们也是稳态概率,见表 2 第 3 ~ 5 行及 8 ~ 10 行前半部分). 根据方案  $a_1, a_2, a_3$  在各指标上各状态的稳态概率及价值体系中各指标的状态价值(见表 1 第 3 行后半部分和第 6 行),计算出了  $a_1, a_2, a_3$  在各指标状态上的期望价值(见表 3),在此基础上确定出了  $a_1, a_2, a_3$  在各指标上相应的期望状态或期望状态区间. 接下来,针对每个方案,请专家分别基于对  $c_1, c_2$  有影响的指标期望状态或期望状态区间,判断出了对应于各方案的概率影响矩阵  $M_{12,r}$  和  $M_{21,r}$  (见表 4),求出各方案在  $c_1, c_2$  上的稳态概率(见表 2 第 8 ~ 10 行后半部分). 由各方案在  $g_1, g_2$  上的稳态概率和价值体系中  $c_1, c_2$  的状态价值(见表 1 第 3 行前半部分) 计算出方案  $a_1, a_2, a_3$  在  $c_1, c_2$  状态上的期望价值(见表 5 第 2、第 3 列). 最后,请专家按照 SW 的方法确定出了  $c_1, c_2$  的规一化权重(其结果是  $\omega_1 = 0.58, \omega_2 = 0.42$ ),并将得出的上述信息代入到式(7)中,求出了各方案的排序值(见表 5 第 4 列). 由此可知,基于新方法得出的方案优劣次序为  $a_2 > a_3 > a_1$ .

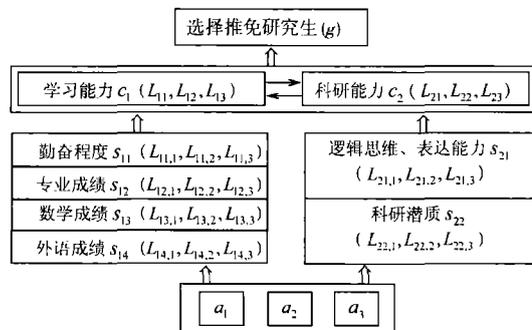


图 4 方案评价的分析结构

Fig. 4 The analysis structure of alternatives

考虑到传统 ANP 存在权重内涵无清晰定义的缺陷,下文采用 Choo 等人关于权重内涵的 SW 权重解释和 SW 具体估计程序,基于上文得出的有关数据信息来构造案例对比分析的 ANP 超矩阵,以保证新旧方法对比在基础信息上的可比性。此外,考虑到传统 ANP 存在加权矩阵难以构造的缺陷,作者在下面对比分析中按 Super- Decisions 软件说明运用等权法来构造加权矩阵。

表1 方案评价的价值体系

Table 1 The value system of alternatives

|      |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 元素状态 | $L_{11}$   | $L_{12}$   | $L_{13}$   | $L_{21}$   | $L_{22}$   | $L_{23}$   | $L_{11,1}$ | $L_{11,2}$ | $L_{11,3}$ | $L_{12,1}$ | $L_{12,2}$ | $L_{12,3}$ |
| 状态价值 | $u_{11}$   | $u_{12}$   | $u_{13}$   | $u_{21}$   | $u_{22}$   | $u_{23}$   | $u_{11,1}$ | $u_{11,2}$ | $u_{11,3}$ | $u_{12,1}$ | $u_{12,2}$ | $u_{12,3}$ |
|      | 100        | 50         | 0          | 100        | 50         | 0          | 100        | 50         | 0          | 100        | 50         | 0          |
| 元素状态 | $L_{13,1}$ | $L_{13,2}$ | $L_{13,3}$ | $L_{14,1}$ | $L_{14,2}$ | $L_{14,3}$ | $L_{21,1}$ | $L_{21,2}$ | $L_{21,3}$ | $L_{22,1}$ | $L_{22,2}$ | $L_{22,3}$ |
| 状态价值 | $u_{13,1}$ | $u_{13,2}$ | $u_{13,3}$ | $u_{14,1}$ | $u_{14,2}$ | $u_{14,3}$ | $u_{21,1}$ | $u_{21,2}$ | $u_{21,3}$ | $u_{22,1}$ | $u_{22,2}$ | $u_{22,3}$ |
|      | 100        | 50         | 0          | 100        | 50         | 0          | 100        | 50         | 0          | 100        | 50         | 0          |

表4 针对方案的概率影响矩阵  $M_{12,r}$  和  $M_{21,r}$

Table 4 Probability influence matrices  $M_{12,r}$  &  $M_{21,r}$  for alternative

| 方案    | $M_{12,r}$                                |                                 | $M_{21,r}$                                |                                 |
|-------|---|---------------------------------|---|---------------------------------|
|       | 调整前                                       | 调整后                             | 调整前                                       | 调整后                             |
| $a_1$ | $3/5 \ 2/5 \ 1/5$                         | $0.599 \ 4 \ 0.4 \ 0.2$         | $1/5 \ 1/5 \ \varepsilon$                 | $0.2 \ 0.2 \ 0.001 \ 0$         |
|       | $2/5 \ 2/5 \ 2/5$                         | $0.399 \ 6 \ 0.4 \ 0.4$         | $3/5 \ 2/5 \ 1/5$                         | $0.6 \ 0.4 \ 0.199 \ 8$         |
|       | $\varepsilon \ 1/5 \ 2/5$                 | $0.001 \ 0 \ 0.2 \ 0.4$         | $1/5 \ 2/5 \ 4/5$                         | $0.2 \ 0.4 \ 0.799 \ 2$         |
| $a_2$ | $4/5 \ 3/5 \ 1/5$                         | $0.799 \ 2 \ 0.599 \ 4 \ 0.2$   | $3/5 \ 2/5 \ 2/5$                         | $0.599 \ 4 \ 0.399 \ 6 \ 0.4$   |
|       | $1/5 \ 2/5 \ 3/5$                         | $0.199 \ 8 \ 0.399 \ 6 \ 0.6$   | $2/5 \ 3/5 \ 2/5$                         | $0.399 \ 6 \ 0.599 \ 4 \ 0.4$   |
|       | $\varepsilon \ \varepsilon \ 1/5$         | $0.001 \ 0 \ 0.001 \ 0 \ 0.2$   | $\varepsilon \ \varepsilon \ 1/5$         | $0.001 \ 0 \ 0.001 \ 0 \ 0.2$   |
| $a_3$ | $\varepsilon \ \varepsilon \ \varepsilon$ | $0.001 \ 0 \ 0.001 \ 0 \ 0.001$ | $1 \ 4/5 \ 3/5$                           | $0.998 \ 0.799 \ 2 \ 0.599 \ 4$ |
|       | $2/5 \ 1/5 \ \varepsilon$                 | $0.399 \ 6 \ 0.199 \ 8 \ 0.001$ | $\varepsilon \ 1/5 \ 2/5$                 | $0.001 \ 0.199 \ 8 \ 0.399 \ 6$ |
|       | $3/5 \ 4/5 \ 1$                           | $0.599 \ 4 \ 0.799 \ 2 \ 0.998$ | $\varepsilon \ \varepsilon \ \varepsilon$ | $0.001 \ 0.001 \ 0 \ 0.001 \ 0$ |

表5 方案在目标  $g_1$  和  $g_2$  各状态上的期望值与方案的排序值

Table 5 Expected values of alternatives on states of  $g_1$  and  $g_2$  and ranking values of alternatives

| 方案    | $U_r^{(s_1)}$ | $U_r^{(s_2)}$ | $U_r$ |
|-------|---------------|---------------|-------|
| $a_1$ | 35.74         | 54.28         | 0.44  |
| $a_2$ | 76.98         | 85.29         | 0.80  |
| $a_3$ | 83.26         | 16.74         | 0.55  |

由表3第2~7列数据可计算出在  $s_{11}, \dots, s_{22}$  上各方案相对于零方案(即在各指标上的取值均

表2 方案在指标与目标上的稳态概率

Table 2 Stable state-probabilities of alternatives on indices & goals

| 方案    | 稳态概率         |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|       | $\pi_{11,1}$ | $\pi_{11,2}$ | $\pi_{11,3}$ | $\pi_{12,1}$ | $\pi_{12,2}$ | $\pi_{12,3}$ | $\pi_{13,1}$ | $\pi_{13,2}$ | $\pi_{13,3}$ | $\pi_{14,1}$ | $\pi_{14,2}$ | $\pi_{14,3}$ |
| $a_1$ | 0.6          | 0.4          | 0            | 0.4          | 0.4          | 0.2          | 0.4          | 0.4          | 0.2          | 0            | 0.6          | 0.4          |
| $a_2$ | 0.2          | 0.4          | 0.4          | 0.2          | 0.8          | 0            | 0.6          | 0            | 0.4          | 0.2          | 0.6          | 0.2          |
| $a_3$ | 0.6          | 0.2          | 0.2          | 0.4          | 0.4          | 0.2          | 0.2          | 0.6          | 0.2          | 0.4          | 0.4          | 0.2          |

| 方案    | 稳态概率         |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|       | $\pi_{21,1}$ | $\pi_{21,2}$ | $\pi_{21,3}$ | $\pi_{22,1}$ | $\pi_{22,2}$ | $\pi_{22,3}$ | $\pi_{11,1}$ | $\pi_{12,r}$ | $\pi_{13,r}$ | $\pi_{21,r}$ | $\pi_{22,r}$ | $\pi_{23,r}$ |
| $a_1$ | 0.2          | 0.6          | 0.2          | 0.6          | 0.4          | 0            | 0.149        | 0.417        | 0.434        | 0.343        | 0.400        | 0.257        |
| $a_2$ | 0.6          | 0.4          | 0            | 0.4          | 0.4          | 0.2          | 0.541        | 0.458        | 0.001        | 0.707        | 0.292        | 0.001        |
| $a_3$ | 0.2          | 0.6          | 0.2          | 0.2          | 0.2          | 0.6          | 0.666        | 0.333        | 0.001        | 0.001        | 0.333        | 0.666        |

表3 方案在各指标状态上的期望值

Table 3 Expected values of alternatives on index-states

| 方案    | $U_r^{(s_{11})}$ | $U_r^{(s_{12})}$ | $U_r^{(s_{13})}$ | $U_r^{(s_{14})}$ | $U_r^{(s_{15})}$ | $U_r^{(s_{16})}$ |
|-------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| $a_1$ | 80               | 60               | 60               | 30               | 50               | 80               |
| $a_2$ | 40               | 60               | 60               | 50               | 80               | 60               |
| $a_3$ | 70               | 60               | 50               | 60               | 50               | 30               |

为“0”的最差方案)的规一化 SW 权向量分别为  $(80/190, 40/190, 70/190)^T = (0.421, 0.211, 0.368)^T$ ;  $(60/180, 60/180, 60/180)^T = (0.333, 0.333, 0.333)^T$ ;  $(60/170, 60/170, 50/170)^T = (0.353, 0.353, 0.294)^T$ ;  $(30/140, 50/140, 60/140)^T = (0.214, 0.357, 0.429)^T$ ;  $(50/180, 80/180, 50/180)^T = (0.278, 0.444, 0.278)^T$ ;  $(80/170, 60/170, 30/170)^T = (0.471, 0.353, 0.176)^T$ 。依据这些权向量可得出方案集对指标集的影响矩阵 ( $W_{43}$ ) 为

$$\begin{pmatrix} 0.421 & 0.333 & 0.353 & 0.214 & 0.278 & 0.471 \\ 0.211 & 0.333 & 0.353 & 0.357 & 0.444 & 0.353 \\ 0.368 & 0.333 & 0.294 & 0.429 & 0.278 & 0.176 \end{pmatrix}$$

基于表3数据和SW权重定义,计算出  $s_{11}, \dots, s_{14}$  之间以及  $s_{21}, s_{22}$  之间的相对权重分别为

$$w_{11}/w_{13} = (60 - 50)/(80 - 40) = 0.25$$

$$w_{11}/w_{12} = (60 - 60)/(80 - 40) = 0$$

$$w_{11}/w_{14} = (60 - 30)/(80 - 40) = 0.75$$

$$w_{21}/w_{22} = (80 - 50)/(80 - 30) = 1.667$$

由此得出  $s_{11}, \dots, s_{14}, s_{21}, s_{22}$  的规一化权向量分别为

$$K_1 = (w_{11}, w_{12}, w_{13}, w_{14})^T$$

$$= (0.158, 0, 0.632, 0.210)^T$$

$$K_2 = (w_{21}, w_{22})^T = (0.625, 0.375)^T$$

由  $K_1$  和  $K_2$  可知,指标集对准则集的影响矩阵 ( $W_{32}$ ) 应为

$$\begin{pmatrix} 0.158 & 0 & 0.632 & 0.210 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.625 & 0.375 \end{pmatrix}^T$$

由于准则集中仅有两个相互依存的因素,因此按 ANP 规定可知准则集内部依存矩阵 ( $W_{22}$ ) 为

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

由于在前文新方法应用中准则  $c_1, c_2$  的权重 (即  $\omega_1 = 0.58, \omega_2 = 0.42$ ) 本身就是利用 SW 程序得出的,因此根据它们可知,准则集对目标集的影响矩阵(向量)  $W_{21} = (0.58, 0.42)^T$ .

由矩阵  $W_{22}, W_{32}, W_{43}, W_{21}$ 、零矩阵和单位阵可构造出如表6所示的未加权超矩阵 ( $W$ ). 依据 SuperDecisions 软件说明可知,针对案例问题的 ANP 因素集加权矩阵为等权矩阵 ( $Z$ ),即

$$Z = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

由  $W$  和  $Z$ ,可得出列随机超矩阵,对其取极限可得出方案  $a_1, a_2, a_3$  的规一化权向量为  $(0.342, 0.369, 0.289)$ . 由此可知,基于传统 ANP 方法得出的方案优劣排序结果为  $a_2 > a_1 > a_3$ .

表6 未加权超矩阵  $W$   
Table 6 Unweighted supermatrix  $W$

|          | $g$  | $c_1$ | $c_2$ | $s_{11}$ | $s_{12}$ | $s_{13}$ | $s_{14}$ | $s_{21}$ | $s_{22}$ | $a_1$ | $a_2$ | $a_3$ |
|----------|------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|-------|-------|
| $g$      | 0    | 0     | 0     | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0     | 0     | 0     |
| $c_1$    | 0.58 | 0     | 1     | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0     | 0     | 0     |
| $c_2$    | 0.42 | 1     | 0     | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0     | 0     | 0     |
| $s_{11}$ | 0    | 0.158 | 0     | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0     | 0     | 0     |
| $s_{12}$ | 0    | 0     | 0     | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0     | 0     | 0     |
| $s_{13}$ | 0    | 0.632 | 0     | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0     | 0     | 0     |
| $s_{14}$ | 0    | 0.210 | 0     | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0     | 0     | 0     |
| $s_{21}$ | 0    | 0     | 0.625 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0     | 0     | 0     |
| $s_{22}$ | 0    | 0     | 0.375 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0     | 0     | 0     |
| $a_1$    | 0    | 0     | 0     | 0.4210   | 0.3330   | 0.3530   | 0.2140   | 0.2780   | 0.4710   | 1     | 0     | 0     |
| $a_2$    | 0    | 0     | 0     | 0.2110   | 0.3330   | 0.3530   | 0.3570   | 0.4440   | 0.3530   | 0     | 1     | 0     |
| $a_3$    | 0    | 0     | 0     | 0.3680   | 0.3330   | 0.2940   | 0.4290   | 0.2780   | 0.1760   | 0     | 0     | 1     |

值得说明的是,在上述 ANP 超矩阵构造过程中,未加权超矩阵 ( $W$ ) 是基于新方法得出的状态价值信息 (即  $U_r^{(s_{11})}, \dots, U_r^{(s_{22})}$  和  $U_r^{(c_1)}, U_r^{(c_2)}$ ) 按照与两两比较相对重要性权重内涵解释即 SW 权重相对应的 SW 特定程序构造出来的,但若直接使用传统 ANP 的两两比较信息获取模式,则由于上述状态信息并不可知,因此 SW 特定估计程序便失去了可操作性,相应地相对重要性权重的内涵也就失去了清晰性. 在这种情况下超矩阵 ( $W$ ) 显然是很难甚至更可能是无法予以合理构造的. 即使专家能够给出关于  $W$  的判断结果,也显然会因上述原因而具有很强的主观随意性. 换句话说,若使用传统 ANP 得出合理的判断结果,则必须与新方法一样给出有关因素的状态信息. 另外,传统 ANP 不仅需要新方法得出的状态价值信息来构造超矩阵 ( $W$ ),而且还需要获取其它判断信息,以构造事实上难以构造的加权矩阵 ( $Z$ ) 或者需要获取其它信息 (至于是何种类型的信息从 ANP 理论和实际应用文献上看迄今并不可知) 以证实加权矩阵 ( $Z$ ) 为等权矩阵这一假定的科学合理性. 综合上述两方面可以看出,为得出合理的分析结论,即使传统 ANP 能够分析出各因素的价值状态 (迄今为止传统 ANP 并没有给出相应方法),那么它不仅需要新方法所依赖的判断信息,而且还需要依赖其他的、新方法不需使用的相关判断信息;因此,从判断信息获取难易程度上看,新方法比传统 ANP 方法更为容易.

比较新旧方法对方案的最终排序结果可知, 虽然由两种方法得出的最优方案均为  $a_2$ , 但对方案  $a_1$  和  $a_3$  的排序却不同. 因此, 仅比较上述排序结果并不能判定哪种方法更为合理. 为进一步分析两种方法的相对合理性, 下文从能否反映决策者价值偏好角度对新旧方法予以敏感性分析.

由于在实际问题中不同专家对同一问题的看法会不尽相同, 因此基于这一考虑, 本文将准则因素 ( $c_1, c_2$ ) 的权重之比 (即  $\omega_1/\omega_2$ ) 分别设置为 0.1/0.9、0.2/0.8、...、0.9/0.1, 并基于这些偏好信息来考察新旧方法在方案排序上的反应敏感性. 对应于上述偏好设置, 由新旧方法得出的方案排序结果如表 7 所示.

表 7 基于  $\omega_1/\omega_2$  的方案排序敏感性分析

Table 7 Sensitivity analysis to alternatives ranking based on  $\omega_1/\omega_2$

|                     |                                       |  |
|---------------------|---------------------------------------|--|
| $\omega_1/\omega_2$ | 0.1/0.9; 0.2/0.8;<br>0.3/0.7; 0.4/0.6 | 0.5/0.5; 0.6/0.4;<br>0.7/0.3; 0.8/0.2; 0.9/0.1 |
| 基于新方法的方案排序          | $a_2 > a_1 > a_3$                     | $a_2 > a_3 > a_1$                              |
| 基于传统 ANP 方法的方案排序    | $a_2 > a_1 > a_3$                     |  |

由表 7 可知, 当  $\omega_1/\omega_2 \geq 1$  时, 由新方法得出的排序结果为  $a_2 > a_3 > a_1$ , 当  $\omega_1/\omega_2 \leq 2/3$  时, 方案优劣排序结果变为  $a_2 > a_1 > a_3$ ; 而由传统 ANP 得出的排序结果则无论  $\omega_1/\omega_2$  在区间  $[0.1/0.9, 0.9/0.1]$  上取何值均保持不变. 参见表 3 可以看出, 在反映学习能力和科研能力的 6 个指标中, 方案  $a_1$  和  $a_3$  仅在反映学习能力的指标  $s_{14}$  和反映科研能力的指标  $s_{22}$  上, 其状态取值存在明显差异, 而在其他指标上两方案的取值状态或完全相同或非常接近. 因此, 若决策者单独从学习能力或更侧重考核学习能力 (即  $\omega_1/\omega_2 \geq 1$ ) 来评价方案  $a_1$  和  $a_3$ , 则在指标  $s_{14}$  上状态取值明显较大的方案  $a_1$  应优于方案  $a_3$ ; 反之, 若决策者单独从科研能力或更侧重于考核科研能力 (如  $\omega_1/\omega_2 \leq 2/3$ ) 来评价方案  $a_1$  和  $a_3$ , 则在指标  $s_{22}$  上状态取值明显较大的

方案  $a_3$  应优于方案  $a_1$ . 从与这一理论分析结论是否吻合的角度上看, 前述由新方法得出的方案排序结果具有完全一致性, 而由传统 ANP 得出的方案排序结果则存在较明显的冲突. 由此可见, 在能否合理有效地反映决策者价值偏好方面, 新方法较之于传统 ANP 具有更高的敏感性和科学合理性.

综合上述对比分析结果可以看出, 新方法不仅在判断信息获取上要比传统 ANP 方法更为容易可行, 而且其得出的评价结论较之于传统 ANP 方法也更具有科学合理性.

## 7 结 论

传统 ANP 对 HSICD 系统方案评价时存在判断矩阵元素 (权重) 内涵无清晰定义和加权矩阵难以构造两方面缺陷. 为克服上述缺陷, 本文通过构建新的系统分析结构、专家判断信息的提取平台和新分析结构下方案评价的价值体系, 给出一种系统分析结构稳定的方案排序新方法. 新分析结构在对系统元素状态进行划分的基础上, 采用层次性整体论思维方式对系统状态自下而上逐层予以判断, 从而较好地反映了系统不同层次之间以及同一层次不同因素之间的替代、匹配等复杂非线性关系, 揭示出复杂系统突变与涌现行为特征. 另外, 由式 (7) 可知, 方案排序值  $U_i$  和方案  $a_i$  是一一对应的, 因此在新方法应用中增加新方案或删除个别原有方案均不会改变其余方案的优劣排序, 从而在本质上实现了方案评价保序. 基于案例应用的对比分析结果表明, 从为获得合理分析结论上看, 新方法所需的判断信息不仅比传统 ANP 少, 而且在判断信息获取上要比传统 ANP 更为容易可行. 从能否反映决策者价值偏好上看, 新方法较之于传统 ANP 法具有更高的敏感性和方案评价排序的科学可靠性. 当然, 与其他新方法一样, 本文所提出的新方法还需今后在大量的实际应用中对其优越性予以进一步检验.

### 参 考 文 献:

[1] Saaty T L. Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process[M]. Pittsburgh: RWS Publications, 2001.  
 [2] Winterfeldt D V, Edwards W. Decision Analysis and Behavioural Research [M]. Cambridge: Cambridge University

- Press, 1986.
- [3] Schoner B, Wedley W C. Ambiguous criteria weights in AHP: Consequences and solutions[J]. *Decision Sciences*, 1989, 20(3): 462—475.
- [4] Choo E U, Schoner B, Wedley W C. Interpretation of criteria weights in multicriteria decision making[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 1999, 37(3): 527—541.
- [5] Barzilai J. On the decomposition of value functions[J]. *Operations Research Letter*, 1998, 22(4-5): 159—170.
- [6] Macharis J, Springael K, Brucker D. PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis [J]. *European Journal of Operational Research*, 2004, 153(2): 307—317.
- [7] 戴汝为, 操龙兵. 综合集成研讨厅的研制[J]. *管理科学学报*, 2002, 5(2): 10—16.  
Dai Ru-wei, Cao Long-bing. Research of hall for workshop of meta-synthetic engineering[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2002, 5(2): 10—16. (in Chinese)
- [8] 王毅, 吴贵生. 基于复杂理论的企业动态核心能力研究[J]. *管理科学学报*, 2007, 10(1): 18—28.  
Wang Yi, Wu Gui-sheng. Complex theory based dynamic core competence of corporation[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2007, 10(1): 18—28. (in Chinese)
- [9] 许国志. 系统科学[M]. 上海: 上海科技教育出版社, 2000.  
Xu Guo-zhi. System Science[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technique Education Press, 2000. (in Chinese)
- [10] Badiru A B, Pulat P S, Kang M. DDM: Decision support system for hierarchical dynamic decision making[J]. *Decision Support System*, 1993, 10(1): 1—18.
- [11] Shafer G, Gillett P R, Scherl R B. A new understanding of subjective probability and its generalization to lower and upper prevision[J]. *International Journal of Approximate Reasoning*, 2003, 33(1): 1—49.
- [12] Scholl A, Manthey L, Helm R, *et al.* Solving multiattribute design problems with analytic hierarchy process and conjoint analysis: An empirical comparison[J]. *European Journal of Operational Research*, 2005, 164(3): 760—777.
- [13] 牛映武. 运筹学[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2006.  
Niu Ying-wu. Operational Research[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2006. (in Chinese)

## New ranking approach to alternatives of ANP system with inner circular dependence

LI Chun-hao, SUN Yong-he

School of Management, Jilin University, Changchun 130025, China

**Abstract:** With respect to the alternative evaluating problem of hierarchy system with inner circular dependence (HSICD), analytic network process (ANP) has two drawbacks, i. e., the concept of weights being undefined and the cluster matrix being difficult to be constructed. To overcome these drawbacks, a new alternative ranking approach with stable analytic structure based on the nonlinear complex-system theory and the meta-syntheses methodology of combining holism and reductionism is proposed. The new approach is derived by way of constructing the new analytic structure for the evaluating problem of HSICD, the new expression means of experts' judgment information (i. e., probability influence matrix), and the value system for evaluating alternatives. The results of comparison analysis by a real case application show that the judgment information can be more easily obtained and the derived alternative ranking is more reliable and scientific, compared with the conventional ANP.

**Key words:** ANP (analytic network process); HSICD (hierarchy system with inner circular dependence); analytic structure; probability influence matrix; alternative ranking