

系统工程方法及其在国家可持续发展实验区评价中的应用

徐俊

(华中科技大学, 湖北 武汉 430074)

摘要: 分析了系统工程方法的概念及特征; 接着讨论了系统工程方法论, 并从结构模型化、系统分析、系统综合与评价 3 个方面分析了常用的系统工程方法; 运用层次分析法等方法建立了国家可持续发展实验区评价的指标体系; 给出了进一步工作的方向。

关键词: 层次分析法; 可持续发展; 指标体系

中图分类号: F127.9

文献标识码: A

文章编号: 1001-7348(2006)01-0109-03

1 系统工程方法概念及特征

系统概念形成于 20 世纪 40 年代。所谓系统, 就是由相互作用和相互联系的若干组成部分结合而成的整体。而工程就是用掌握的客观规律去改造客观世界。系统工程方法是组织管理系统规划、研究、设计和使用的方法, 是一种对所有系统都具有普遍意义的科学方法。它要求按照系统的思想和观点来分析和处理组织管理所涉及的问题。

系统工程方法是人类在自然科学领域和社会科学领域的不断实践中产生的一系列科学处理问题的方法。系统工程方法具有整体性、综合性、科学性和创新性 4 方面显著特征。

(1) 整体性。就是要用系统的方法研究系统的对象, 立足整体, 统筹全局, 全面规划, 协调处理, 使系统的总体与部分之间、部分之间、系统与环境之间达到辩证统一。组成的整体功能, 即系统功能, 是各部分所不具备的。系统的功能大于各部分功能的和。因此处理问题时, 要从全局着手, 从整体把握。

(2) 综合性。即从系统的总目标出发, 将

相关的经验和知识有机结合, 协调运用, 从而开发出全新的系统概念, 创造出全新的系统结构和功能。综合创造, 集成创新, 获得综合效益。如, 阿波罗登月计划中的登月舱工程, 所采取的单项技术都是现成的, 但综合起来, 效果就不一样了。

(3) 科学性。要求分析问题时按规律办事。即处理问题时, 要有严格的工作步骤和程序, 定性定量相结合, 还要认识到整体与部分的协调与统一。整体是更大系统的部分, 又是本系统的整体。整体具有一定结构、层次和功能, 组成整体部分相互联系、相互作用。

(4) 创新性。要求人们在运用科学技术的同时, 充分发挥人的创新能力, 大胆地进行系统的开发, 实现系统的最优效果, 要超前预测, 持续创新。

2 系统工程方法概述

2.1 系统工程方法论

霍尔方法论是出现最早、影响最大的结构模型方法论^[1]。霍尔结构模型包括三维, 即时间维、逻辑维和专业维。其中, 粗结构时间维划分为 7 个阶段, 即规划、设计、研制(开

发)、生产、安装、运行和更新等阶段。细结构逻辑维又将时间维的每个阶段分为 7 个具体工作步骤, 即摆明问题、确定目标、系统综合、系统分析、决策和实施。专业维是系统工程涉及的专业。钱学森院士 1979 年曾提出系统工程涉及的艺术、社会科学、管理等 14 门专业。时间维与逻辑维组合形成的二维结构, 清楚地界定了在何阶段应做何种工作, 这个矩阵也称之为系统工程的活动矩阵。

霍尔方法论解决的是结构化良好的工程问题, 也称为硬系统方法论。在霍尔方法论的基础上, 根据社会系统工程问题的特点, 英国学者 P.B.Checkland 提出软系统方法论。

其它典型的方法论还有我国学者钱学森院士、顾基发研究员等人在 20 世纪 80-90 年代提出的综合集成法和综合集成研讨体系, 以及“物理—事理—人理”系统方法论。

2.2 常见的系统工程方法

常见的这类方法较多, 下面结合可持续发展实验区综合评价指标体系工作, 从结构化模型、系统分析和综合评价 3 个方面对相关方法进行介绍。

(1) 结构模型化技术方面。系统是由若

干具有一定功能的要素所组成,这些要素之间存在着相互支持或相互制约的逻辑关系。要了解这些要素之间的关系,必须要掌握系统的结构,需要建立系统的结构模型。所谓结构模型,就是应用有向连接图来描述系统各要素之间的关系,以表示作为要素集合体的系统模型。

结构模型化技术方面也有多种方法,如脚本法、专家调查法、关联树法、解释结构模型、凯恩仿真模型、系统动力学等^[7]。其中,解释结构模型法(Interpretative Structural Modeling, ISM)最负盛名。

ISM 是美国的 J. 华费尔特教授于 1973 年作为分析复杂的社会经济系统有关问题的一种方法而开发的。其特点是把复杂的系统分解为若干子系统(要素),利用人们的实践经验和知识,以及电子计算机的帮助,最终将系统构造成一个多级递阶的结构模型。

ISM 属于概念模型,可以将模糊不清的思想、看法转化为直观的具有良好结构关系的模型,应用面十分广泛。从能源问题等国际性问题到地区经济开发、企事业甚至个人范围的问题等等,都可应用 ISM 来建立结构模型,并据此进行系统分析。IMF 特别适用于变量众多、关系复杂而结构不清晰的系统分析中,也可用于方案的排序等。

实施 ISM 有如下 6 个具体工作步骤:
组织 ISM 的小组。小组成员的人数一般以 10 人左右为宜,小组成员对所解决的问题都要有关心的态度,要保证持有各种不同观点的人员进入小组。如果还有能及时做出决策的负责人加入,则更能进行认真且富有成效的讨论。设定问题。小组的成员有可能站在各种不同的立场来看待问题,如不事先设定问题,小组的功能可能难以充分发挥。在 ISM 实施准备阶段,对问题的设定必须取得一致的意见,并以文字形式做出规定。选择构成系统的要素。既要凭借小组成员的经验,还要充分发扬民主,要求小组成员把各自想到的有关问题都写在纸上,然后由专人负责汇总整理成文。小组成员据此边议论、边研究,并提出构成系统要素的方案。经过若干次反复讨论,最终求得一个较为合理的系统要素方案。根据系统要素方案构思模型,建立邻接矩阵和可达矩阵。对可达矩阵进行分解,建立结构模型。根据结构模型完成解释结构模型的建立。

(2) 系统分析方面。迄今为止,仍没有形成一套特定的、普遍适用的系统分析方面的技术方法。根据分析的对象不同,分析的问题不同,选择的具体方法可能很不相同。系统分析的各种方法可简单划分为定性和定量两大类。

定量方法适用于系统结构清楚,收到的信息准确,可建立相应的数学模型等,如成本效益分析法、量本利分析法等^[8]。

反之,应采用定性的系统分析方法,如目标—手段分析法、因果分析法和 KJ 法^[9]。目标—手段分析法,就是将要达到的目标和所需要的手段按照系统展开,一级手段等于二级目标,二级手段等于三级目标,以此类推,产生一个层次分明、相互联系又逐渐具体化的分层目标系统。因果分析法,是利用因果分析图分析影响系统的因素,并从中找出产生某种结果的主要原因的一种定性方法。KJ 法由日本学者 Kawakida Jir 提出,其原理是将一个个信息做成卡片,将这些卡片平摊在桌面上,依次将“亲近性”的卡片合成为问题,最终求得问题的总体构成。

在考虑定量与定性的综合方面,有著名的兰德分析方法等^[9]。

(3) 系统综合与评价方面。关于系统综合与评价方面的方法也很多。常用的系统综合与评价的数量化方法主要有数理统计法、排队打分法、专家评分法、两两比较法、体操计分法、连环比率法^[9]。将各评价指标数量化,得到各个可行方案的所有评价指标的无量纲的统一得分以后,采用评价指标综合方法进行指标的综合,就可以得到每一方案的综合评价值;再根据综合评价值的高低就能排出方案的优劣顺序。评价指标综合的主要方法有加权平均法、功效系数法、主次兼顾法、效益成本法、聚类分析法、层次分析法、模糊综合评价方法等^[9]。

实际应用时,应根据具体问题选用适当的系统评价方法。考虑到社会经济系统的复杂性,此领域内普遍采用的是定量与定性相结合的评价方法。

下面结合实验区的综合评价研究,进行层次分析法的运用研究。

3 AHP 方法在国家可持续发展实验区综合评价中的运用

层次分析法(Analytic Hierarchy Process,

AHP)是由美国匹茨堡大学教授 T.L.Saaty 于 20 世纪 70 年代末提出的,是一种定性分析和定量分析相结合的多层次权重的综合评价方法。AHP 方法的基本思路是,将复杂问题分解成各个组成因素,又将组成因素按支配关系分组形成递阶层次结构,通过两两比较的方式确定层次中诸因素的相对重要性,然后综合专家的判断,确定备选方案相对重要性的总的排序。

AHP 法的特点是,将人们的思维过程数学化、系统化,便于接受;所需定量数据信息较少;要求评价者对评价问题的本质、包含的要素及其相互之间的逻辑关系能掌握得十分透彻。这种方法尤其适用于无结构特性的系统评价,以及多目标、多准则、多时期的系统评价。AHP 方法已在社会经济研究的多个领域得到了广泛的应用。

AHP 方法应用包括 4 个主要步骤,即建立递阶层次结构模型、构造判断矩阵和计算相对权重、一致性检验、层次总排序。下面结合国家可持续发展实验区的综合评价应用进行详细分析。

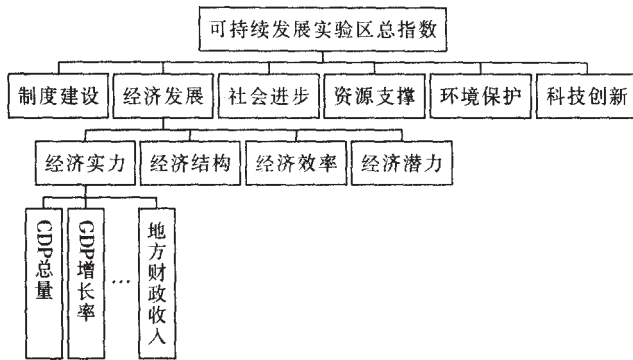
3.1 建立递阶层次结构模型

应用 AHP 方法分析社会、经济以及科学管理领域的问题,首先要把问题条理化、层次化,构造出一个层次分析的结构模型。在这个结构模型下,复杂问题被分解为人们称之为元素的组成部分。这些元素又按其属性分成若干组,形成不同层次。同一层次元素作为准则对下一层次的某些元素起支配作用,同时它又受上一层次元素的支配。这些层次概念上分为 3 类:最高层,该层次只有一个元素,一般它是分析问题的预定目标或理想结果,也称为目标层。中间层,这一层次包括实现目标所涉及的中间环节,可以由若干个层次组成,包括所需考虑的准则、子准则,也称为准则层。最低层,本层是实现目标可供选择的各种措施、决策方案等,也称为措施层或方案层。

由此形成的递阶层次结构的层次数与问题的复杂程度有关。每一层次中各元素所支配的元素一般应在 5~9 个,以便于进行两两的比较判断。

作者根据多年从事实验区的工作经验,参阅国内外众多不同领域的具体指标体系,海选了近 200 个具体指标,在请教相关专家及进行经济、管理分析的基础上,参照前述

介绍的霍尔方法论和解释结构模型 (ISM) 思路, 最终形成近 60 个具体指标的递阶层次结构体系, 其概要结构如附图所示。



附图 国家可持续发展区评价指标体系层次结构

3.2 构造判断矩阵和计算相对权重

判断矩阵由层次结构模型中每层中的各因素的相对重要性的判断数值列表而成, 判断矩阵表示同一层与上一层某因素有关各因素之间相对重要的比较。若 A 层次中因素 A_k 与下层次 B_1, B_2, \dots, B_n 有联系。则判断矩阵:

$$P(A_k) = (b_{ij}) = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nn} \end{bmatrix}$$

b_{ij} 是判断矩阵 P 的元素, 表示对因素 A_k 而言, B_i 与 B_j 相对重要性的数值, 一般都采用 T.L.Saaty 提出的 1-9 标度法表示, 参见表 1。

表 1 Saaty 的 1-9 标度法

标度 b_{ij}	定义
1	i 因素与 j 因素同等重要
3	i 因素比 j 因素略重要
5	i 因素比 j 因素重要
7	i 因素比 j 因素重要得多
9	i 因素比 j 因素绝对重要
2, 4, 6, 8	介于以上两种判断之间的状态的标度
倒数	若 i 因素与 j 因素比较, 结果为 $b_{ij} = 1/b_{ji}$

根据判断矩阵 $P = (b_{ij})_{n \times n}$ 求出这 n 个元素 B_1, B_2, \dots, B_n 对 A_k 的相对权重向量 $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)^T$, 即计算判断矩阵的最大特征值及对应的特征向量^[10]。

3.3 一致性检验

设 λ_{\max} 为判断矩阵的最大特征根, 定义一致性指标为:

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

一般情况下, 判断矩阵的阶次 n 越大, 估计的偏差会随之增大, 一致性也就越差。研究人员引入与 n 相关的随机指标 R.I., 在此基础上, 重新定义随机一致性指标:

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.}$$

来评价判断矩阵的一致性, 这适当放宽了要求。

理论上, 当 $C.R. < 0.10$ 时, 可以接受判断矩阵; 否则, 要对判断矩阵做修正。如, 在国家可持续发展实验区评价指标体系的制度建设、经济实力、社会进步、资源支撑、环境保护和科技创新 6 个子系统权重确定方面, 作者依据 10 个专家的比较分析确定了相应的判断矩阵, 并按上述方式求出最大特征值对应的标准特征向量, 由此确定了相应子系统对应的权重。所得随机一致性指标 $C.I. = 0.086 < 0.10$, 这表明所得结论满足一致性要求, 结论是可以接受的。

表 2 随机一致性指标

$n \rightarrow$	R. I.	$n \rightarrow$	R. I.	$n \rightarrow$	R. I.
1	0	2	0	3	0.58
4	0.90	5	1.12	6	0.24
7	1.32	8	0.41	9	1.45
10	1.49	11	1.51		

3.4 层次总排序

层次总排序就是基于层次单排序得到的结果计算组合权重, 然后, 通过比较各指标要素的权重大小, 得到要素的相对重要性顺序。

实际应用时, 在计算不同实验区的可持续发展综合指数时, 要先对不同量纲的各指标实际值进行标准化处理, 在此基础上与相应的权重求积, 将所得的所有乘积求和, 从而得到具体实验区的可持续发展综合指数值。

根据得到的具体综合指数值, 我们便能对不同地区的实验区工作进行比较, 进而分析具体工作中存在的问题, 从而帮助我们不断提高可持续发展实验区的管理工作水平。

4 结束语

本文对系统工程思想、方法等进行了简要介绍, 重点对 AHP 方法及其在国家可持续发展实验区综合评价指标体系的建立进

行了研究, 从作者的实际管理工作看, 建立的指标体系是有效的。

进一步的工作: 一是考虑用 Delphi 方法、主成份分析等方法确定相应的权重, 并与 AHP 方法得到的结果进行比较、验证; 二是研究系统工程理论的其它方法, 如遗传算法、神经网络算法, 并在工作实践中自觉运用。

参考文献:

- [1] 钱学森. 论系统工程(修订版)[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1988.
- [2] 许国志. 怎样学习系统工程——答读者问[J]. 系统工程理论与实践, 1985, (1).
- [3] 顾基发. 评价方法综述[J]. 科学决策与系统工程, 1990.
- [4] 乔迪. 兰德决策[M]. 天地出版社, 1998.
- [5] 姜启源. 数学模型[M]. 北京: 高等教育出版社, 1987.
- [6] 孙东川, 林福永. 系统工程引论[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [7] 汪应络. 系统工程理论、方法与应用(第 2 版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [8] 梁军, 赵勇. 系统工程导论[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [9] 吴广谋. 系统原理与方法[M]. 南京: 东南大学出版社, 2005.
- [10] 徐南荣, 仲伟俊. 科学决策理论与方法[M]. 南京: 东南大学出版社, 1996.

(责任编辑: 汪智勇)