

TP242
0215
1991

949149

工程建设中 智能辅助决策系统

国家自然科学基金重大项目
(1991年度论文汇编)

中国建筑工业出版社

工程建设中智能辅助决策系统

国家自然科学基金重大项目

(1991 年度论文汇编)

编委会名单： 刘恢先 刘西拉 江见鲸 那向谦 陈金凤

中国建筑工业出版社

(京) 新登字 035 号

工程建设中智能辅助决策系统
国家自然科学基金重大项目
(1991年度论文汇编)

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本: 787×1092毫米1/16印张: 18 1/2 字数: 456千字

1992年9月第一版 1992年9月第一次印刷

印数: 1—2,000册 定价: 9.70元

ISBN7 112-01705-X/TU·1286

(6737)

出版说明

本项研究工作受国家自然科学基金委员会、国家教育委员会、建设部、国家地震局、铁道部、交通部、冶金工业部、国家环境保护局联合资助。

The Project is supported by National Science Foundation of China, the State Education Commission, The Ministry of Construction, the state Seismological Bureau, The Railway Ministry, the Transportation Ministry, the Ministry of Metallurgical Industry, the National Environmental Protection Agency.

84.11.1/23

前 言

我国是一个发展中的国家，有大量繁重的基建任务。考虑到我国的总人数和“四化”建设的规模，应该说我们正从事的是世界上最大规模的基本建筑。这种发展背景为土木工程各学科的发展提供了优厚的环境，这一优势，甚至许多西方国家目前亦不具备。工程建设项目的最大特点无非在于它们鲜明的个性和综合性。与连续生产的化工产品和离散生产的汽车产品不同，工程建设的项目都是“个体生产”的。针对一个具体的项目，从可行性论证到设计、施工，从正常使用到老化维修都带有它特殊的个性，可统计性很差。因此，工程建设中不确定因素和不确知因素非常多，因素之间相互作用也大。在这种情况下，采用一定的数学物理模型进行描述有相当限制。实际上，大量的工程建设问题是依靠经验解决的。由于工程建设项目的投资巨大，项目持续的时间长，科学的决策变得十分重要：如果主要是依靠经验，这里就有一个如何科学地收集、储存和使用“经验”的问题。近年来，由于计算机科学的发展，特别是知识工程学科的发展使人们科学地利用知识和经验成为可能。

为大力推动知识工程在工程建设中的发展，国家自然科学基金委员会于1987年决定将“工程建设中智能辅助决策系统的应用研究”列为国家自然科学基金重大项目，并会同国家教育委员会、建设部、国家地震局、铁道部、交通部、冶金工业部、国家环境保护局对此项目进行联合资助。

本项研究荟集了我国建筑、环境与结构工程、知识工程、系统工程、计算机软件工程学科内一批知名学者和中青年专家，组成了以工程建设领域专家为首的多学科交叉的联合攻关的研究队伍。拟进行的研究内容包括：工程建设领域内的知识库，工程建设知识表达及不确定因素的处理及方法，适用于工程建设知识系统的开发环境与工具研制，完成一批可使用的知识库及原型系统，发表一批具有国际水平的研究论文。更重要的，希望通过这项研究培养一批从事工程建设知识系统研制的青年人才。

这本论文集是1992年1月在哈尔滨国家地震局工程力学研究所召开的“工程建设中智能辅助决策系统应用研究总结交流大会”（科学基金重大项目1991年度学术交流检查会）会后编辑而成的。在此之前，本项目的学术领导小组曾于1988年10月、1989年12月、1990年11月分别在大连理工大学、北京电子科学院和同济大学召集了三次全国性的学术交流会。会上部分论文先后于1989年5月由“计算结构力学及其应用”学术刊物第6卷第二期以《工程智能决策理论与应用》专刊形式、1990年10月由电子工业出版社以《工程建设中智能辅助决策系统》（1989年度论文汇编）论文集形式、1991年12月由同济大学出版社以《工程建设中智能辅助决策系统》（1990年度论文汇编）论文集形式出版。与前三本论文集相比，这本新论文集具有总结的性质。

本项研究成果已经引起国内外有关学者的普遍注意。它不仅代表了国内在工程建设中研制知识系统的最高水平，而且已赢得国际上的好评。1991年9月，国际桥梁与结构工程学会（IABSE）决定于1993年5月12日至14日在北京清华大学召开“土木工程中的

知识系统”国际学术交流会。这是国际桥梁与结构工程学会（IABSE）这个世界上最大的工程结构国际组织第一次在中国举办由他们主持的学术活动，也是本项目近 200 位科研人员四年努力的成果。通过本项目的完成，填补了我国工程建设中知识系统的空白，并把它提高到国际上有竞争力的水平。

国家自然科学基金委员会
材料与工程科学部
1992 年 4 月

目 录

城镇总体规划用地布局综合评价专家辅助决策系统——EVALUE 系统设计 和功能综合报告	1
基于元逻辑程序的通用知识库系统 MKS 实现技术	21
建筑方案设计智能 CAAD 系统的设计与实现	36
城市现有建筑物震害预测与防御对策专家系统——知识工程的 建造和系统的应用	44
地震危险度智能辅助评估系统 IASHES	52
一个已应用于政府工程咨询部门的专家系统	62
“铁路桥梁建筑物状态评定专家系统”的实用性研究	76
铁路隧道岩溶预报的专家系统	83
知识的自动获取在铁路工程经济评价专家系统中的应用	94
面向对象的工程知识表示和知识库开发环境	102
港口装卸工艺设计专家系统的实现技术	117
公路选线专家系统	127
城市生态调控的决策支持系统应用实例——天津市居住 用地生态规划决策分析	138
区域大气环境质量预测模式选择专家系统	146
城市环境噪声智能辅助决策系统	154
水环境决策支持系统智能化的研究	164
智能数据库支持下的结构概念设计	175
图形交互基础上的高层建筑初步设计专家系统——系统模式及协调策略	188
基于网络技术的工程项目计划及索赔专家系统	195
施工项目管理专家系统应用研究——施工过程管理专家系统 ESCPM	207
钢筋混凝土单层工业厂房可靠性评估与对策专家系统 (RAISE-3)	217
单层混凝土厂房抗震评定专家系统 SASIBR	225
基于知识的有限元模型化系统	233
基于语义知识的框架结构简图的模式识别	244
大规模复杂工程决策的模型与方法	254
钢筋混凝土构件破坏过程模拟仿真技术	262
住宅房屋质量综合评定专家系统	270
用模糊数学方法表示专家综合评价经验知识	278
城市污水处理厂设计专家系统——系统开发和功能实现	286

城镇总体规划用地布局综合评价专家辅助决策系统

——EVALUE 系统设计和功能综合报告

钱兆裕 廖俊平 沈清基 赵民 顾景文 潘海啸 宋小冬
(同济大学)

摘 要

EVALUE 系统是一个用于城镇总体规划用地布局综合评价的智能辅助决策系统,属评价型专家系统。该系统根据城镇总体规划用地布局评价和规划专家思维过程的特征,采用引入变权过程和模糊判别的层次分析评价模型,以及相应的推理机制。系统的知识库和推理机是完全分离的,外壳加进知识即可用于其他内容的评价。

一.系统总体设计思想

EVALUE 系统是一个用于城镇总体规划用地布局综合评价的智能辅助系统或称专家系统。在进行系统总体设计时,我们首先对用于评价目的的专家系统进行了研究,认为EVALUE 属于评价专家系统,并进而分析了评价型专家系统的一些特点。

(一) 评价型专家系统

1.与其他类型专家系统的联系

在现行的专家系统分类中,评价型专家系统与其它各类专家系统都有所区别,从某些方面来说,它兼有解释、预测、诊断三类专家系统的某些特征。

评价型专家系统在工作时,首先遇到的是解释和预测类问题,为了找出评价对象的不足之处,它必须具有诊断的功能。可以说,“解释”是评价型专家系统在进行评价对象预处理阶段的任务。例如,对城市规划方案进行评价的理想方法是先对规划方案图作预处理,用图像分析设备对规划图直接进行分析,解释图上信息,得出原始数据。预测功能则是一种辅助功能,是用来协助作出评价的。诊断任务则是在评价型专家系统对评价结论作后处理阶段的任务,即对评价结论作更全面更细致的补充说明,给出评价结论的产生依据。

但评价型专家系统并非只是上述功能的简单组合体,评价型专家系统的主要功能是评价,也就是对评价对象的状态性能作出结论,这一功能是其它类型的专家系统不能完全替代的。

2.与其他类型专家系统的区别

既然评价型专家系统在任务和功能等性质上有别于其它专家系统,那么,评价型专家系统的与众不同的核心是什么?我们认为,是它的评价模型,也就是评价因素的体系结构。评价模型工作的目标,是对评价对象作出判定。评价模型工作的方式,是将评价总目标逐层分解为评价因素,直到能够得到直接答案的原始数据。

3.评价专家系统的特征要素

评价型专家系统的任务,是对其工作对象的性能作出综合评价,或更进一步地对评价

对象性能的改进提出意见。

对这类系统的要求是，能在较短的时间内对评价对象的性能作出较全面的评价。

关键问题是：

- (1) 如何将评价目标分解成评价因素，并将其组织成评价模型。
- (2) 如何由评价对象中提取评价所必须的信息或原始数据。
- (3) 由于评价模型常常要求数据计算，因此要求系统有较强的数值计算能力。
- (4) 如何使用户相信评价结论，即要求系统有较完善的解释功能。
- (5) 评价结论和建议最好能以自然语言的形式给出。

(二) EVALUE 系统在建立评价型专家系统方面的实践

根据对评价型专家系统所作的分析研究，在完成 EVALUE 的过程中主要做了下列与建立评价型专家系统有关的工作。

1. 确立评价模型

评价模型是评价专家系统的核心，确定评价模型是建立评价型专家系统的首要工作。根据领域专家意见，EVALUE 采用了层次分析结合模糊评价并辅以变权的评价模型。这一评价模型发挥了层次分析法的长处，用模糊评价和变权弥补了它在实际应用中的不足，能有效的组织专家知识，实用而简洁。由于层次分析法本身所具有的通用性特点，还使得这一评价模型可推广到其他评价型专家系统，特别是用于多对象比较评价的专家系统。

2. 评价所需信息的提取

评价型专家系统的另一个关键问题是由评价对象中提取评价所需的信息。EVALUE 的评价对象是城市规划方案，主要是方案图，因此要考虑的主要问题就是如何从图形中获取评价信息。

一方面 EVALUE 尽量利用现有的一些相关软件，例如利用交通出行可达计算软件的出行方案中与出行可达有关的数据，利用交通节点负荷计算软件的出行节点负荷有关的数据。

另一方面，尽可能让专家帮助用户提取信息的工作。这并不是说让专家直接去帮助用户，这样就失去专家系统的意义了，而是让专家通过专家系统尽可能多地帮助用户。首先要说的是 EVALUE 的用户应该是那些有一定城市规划知识的专业人员，但有些评价信息直接让他们从图形提取困难的，例如，规划路网与原有路网协调程度这样的评价信息就是如此。遇到这种情况，就在建立专家系统的阶段请专家对这样的信息再分解，直到能用一些较容易提取的信息来表达这个评价信息。也就是说，专家做的工作（例如建立评价模型、将评价指标分解）由专家做（在实际评价过程中由专家系统代替专家做），而较容易的工作则由用户做。这也就是说，由人脑加电脑来共同完成工作。城市规划方案的评价应由人脑加电脑共同完成，这本身也是由领域专家提出的一条重要专家知识。

3. 数值计算的实现

EVALUE 有获取层次分析评价知识及评价推理时都要用到大量的数值计算。在评价模型中用到数值计算也是评价型专家系统的又一个特点。由于 EVALUE 主要是用 Turbo-prolog 语言进行设计的，它的数值计算能力不强，为此采用了计算速度较快的 Turbo-basic 语言作为数值计算语言。

二.系统功能说明

(一) 评价功能

EVALUE 系统的评价功能是在其评价指标体系的基础上实现的,系统根据评价指标体系,获取的指标的评价值,经过综合之后得出方案评价值,比较各方案的总评值,即可得出各方案的优劣。

(二) 系统辅助知识获取和知识维护功能

评价指标体系是评价型专家系统知识库的主要内容,由于评价指标体系往往庞大而复杂,也就是说知识库中的知识种类多、数量多、结构复杂,这些知识靠人工编辑方法写入知识库不仅工作量大,而且容易出现各种错误,因此开发了系统辅助知识获取的功能,可以提示用户(此处指专家或知识工程师)用比较简便的方式输入知识,系统自动将获取的知识转换成内部格式。在获取知识时,系统还自动进行新获取知识的检验,对知识库进行维护,以保证知识库的正确性,相容性和无冗余性。

(三) 图形预处理功能

城市总体规划用地布局的综合评价离不开用地布局方案的图形,运用专家辅助决策系统必须得到图形功能的支持。运用计算机输入城市总体规划方案图形,并从输入的图形中提取评价所需的数据、指标等信息,如各类用地及地块面积,道路等级与长度等。同时在评价和辅助决策过程中配合显示有关图形内容,以增强评价和决策的直观性和透明度。

应用 Autocad 是目前微机上使用最普遍的通用图形软件,它具有较强的图形建立的功能,有与高级语言的接口,并便于移植到不同的机型和工作站。

(四) 交通可达性评价功能

交通可达评价是城市总体规划道路系统的一个重要目标。在城市中任选一个点,居民从该点出发,采用某种或几种交通方式,要给定时间内,所能到达的最大范围的边界,在地图中就是交通等时线。

运用计算机产生等时线,在产生等时线的基础上,进一步计算等时线所包络的居住人口,就业岗位等,这就更进一步反映了交通条件,以及城市布局和密度等方面的问题,使可达性评价得到深化,也便于规划方案的比较评定。

三.系统的主要设计技术

(一) EVALUE 的评价模型

EVALUE 作为一个评价专家系统,其核心是评价推理模型,根据专家意见,在规划方案的过程中,采用层次分析法比较理想,既比较符合专家思维的过程,又容易将评价推理过程形式化,有利于计算机模拟。

但仅靠层次分析法尚嫌不完整,为此又引入了变权过程和模糊评价体系。下面就分别介绍组成 EVALUE 评价模型的各个组成部分,以及评价推理的实现。

(二) 层次分析评价模型

层次分析法是一种实用的多准则评判方法,它把一个复杂问题表示为有序统一处理决策中的定性与定量因素,具有实用性、系统性、简洁性等优点,特别适合在社会经济的评

价分析中使用。

层次分析法是这一方法的创始人 Satty 教授在七十年代中期提出的，以后又经过了不断改进和完善，得到了越来越广泛的应用。

尽管层次分析法有深刻的数学原理，但它本质上是一种决策思维方式。层次分析法把复杂的问题分解成各组成因素，将这些因素按支配关系分配形成有序的递阶层次结构，通过两两比较的方式确定层次中诸因素的相对重要性，然后综合人的判断以决定决策诸因素相对重要性的总的顺序。层次分析体现了人们的决策思维的这些基本特征，即分解，判断，综合。

1. 建立递阶层次结构

这是层次分析法中最重要的一步，一个问题能否用层次分析法求解，也就看它是否能划分为递阶层次结构。首先，把复杂问题分解为称之为元素的各组成部分，再把这些元素按属性不同分成若干组，以形成不同层次。同一层次的元素作为准则，对于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。这种从上而下的支配关系形成了一个递阶层次。处于最上面的层次通常只有一个元素，一般是分析问题的预定目标，或理想结果，中间层次一般是准则，子准则，最低一层包括决策的方案。一个典型的层次可以用(图 1) 表示。

层次与问题的复杂程度和所需要分析的详尽程度有关。每一层次中的元素一般不超过九个，因为一层中元素的数目过多会给两两比较判断带来困难。

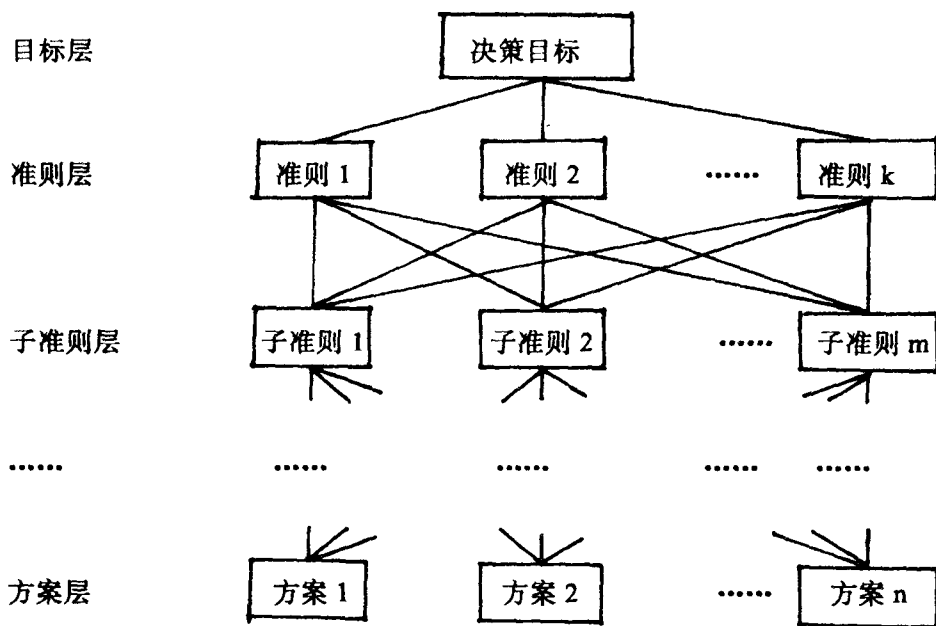


图 1

2. 构造两两比较判断矩阵

在建立递阶层次结构以后，上下层次之间元素关系就被确定了。假定上一层次元素

c_k 作为准则，对下一层次元素 $A_1, A_2, \dots, A_n$ 有支配关系，我们的目的是在准则 C_k 之下按 $A_1, A_2, \dots, A_n$ 的相对重要性赋予它们相应的权重，对于大多数社会经济问题，特别是人们的判断起重要作用的问题，直接得到这些元素的权重并不容易，往往需要通过适当的方法来导出它们的权重，层次分析法用的是两两比较的方法，这也是层次分析方法的特点之一。

在这一步中，需要由决策者回答：针对准则 C_k ，两个元素 A_i 和 A_j 哪一个更重要一些，重要多少。需要对重要程度赋予一定的数值。一般使用 1~9 的比例标度，它们的意义见下表：

标 度 的 意 义

1	表示两个元素相比，具有同样的重要性。
3	表示两个元素相比，一个元素比另一个元素稍重要。
5	表示两个元素相比，一个元素比另一个元素明显重要。
7	表示两个元素相比，一个元素比另一个元素强烈重要。
9	表示两个元素相比，一个元素比另一个元素极端重要。
2, 4, 6, 8, 为上述相邻判断的中值。	

例如，准则是社会经济效益，子准则可分为经济、社会和环境效益，如果认为经济效益比社会效益明显重要，它们的比例标度取 5，而社会效益对于经济效益的比例标度就取 $1/5$ ，对于 n 个元素来说，得到两两比较判断矩阵 A ：

$A = (a_{ij}) n \times n$ 判断矩阵具有如下性质：

- (1) $a_{ij} > 0$
- (2) $a_{ij} = 1 / a_{ji}$
- (3) $a_{ii} = 1$

即 A 为正的互反矩阵。由于性质 (2)，(3)，事实上，对于 n 阶判断矩阵仅需对其上(下)三角元素共 $(n(n-1) / 2)$ 个给出判断。 A 的元素不一定具有传递性，即未必成立等式：

$$a_{ij} \times a_{jk} = a_{ik} \quad (1)$$

但上式成立时，则称 A 为一致性矩阵。

1-9 的标度方法是将思维判断数量化的一种好方法。首先，在区分事物质的差别时，人们总是用相同、较强、强、很强、极端强的语言，再进一步细分，可以在相邻的两级中插入折中的提法，因此对于大多数决策判断来说，1-9 级的标度是适用的。其次，心理学的实验表明，大多数人对不同事物在相同属性上差别的分辨能力在 5-9 级之间，采用 1-9 的标度反映了多数人的判断能力。第三，当被比较的元素处于不同的数量级，一般需要将较高数量级的元素进一步分解，这可以保证被比较元素在所考虑的属性上有同一个数量级或比较接近，从而适用 1-9 的标度。

若因素 A_i 与 A_j 比较得 a_{ij} , 则因素 A_j 与 A_i 比较的判断为 $1/a_{ij}$.

3. 计算单一准则下元素的相对权重

这一步要解决在准则 C_k 下, n 个元素 $A_1, A_2, \dots, A_n$ 排序权重的计算问题, 并进行一致性检验. 对于 $A_1, A_2, \dots, A_n$ 通过两两比较得到的判断矩阵 A , 解特征根问题:

$$A \times W = \lambda_{\max} \times W \quad (2)$$

所得的 W 经正规化后作为元素 $A_1, A_2, \dots, A_n$ 在准则 C_k 下的排序权重, 这种方法称排序向量计算的特征根方法, $\lambda_{\max}$ 存在且唯一, W 可以由正分量组成, 除了差一个常数倍数外, W 是唯一的, $\lambda_{\max}$ 和 W 的计算一般采用幂法, 在精度要求不高的情况下, 也可以用近似方法, 如和法和方根法, 在本课题的模型库中采用的是方根法.

在判断矩阵的构造中, 并不要求判断具有一致性, 即不要求 (1) 式成立, 这是为客观事物的复杂性与人的认识的多样性所决定的. 但要求判断有大体的一致性却是应该的, 出现甲比乙极端重要, 乙比丙极端重要, 而丙比甲极端重要的情况一般是违反常识的, 而且, 当判断偏离一致性过大时排序权重向量计算结果作为决策依据将出现某些问题. 因此在得到 $\lambda_{\max}$ 后需要进行一致性检验, 其步骤如下:

(1) 计算一致性指标 CI .

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (3)$$

式中 n 为判断矩阵的阶数.

(2) 平均随机一致性指标 RI .

平均随机一致性指标是取多次重复进行随机判断矩阵的特征值的算术平均值. 据文献得出的 RI 如下:

阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RI	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.46	1.52

(3) 计算一致性比例 CR

$$CR = CI / RI \quad (4)$$

当 $CR < 0.1$ 时, 一般认为判断矩阵的一致性是可以接受的.

4. 计算各层元素的组合权重

为了得到递阶层次结构中每一层次中所有元素相对于总目标的相对权重, 需要把第三步的计算结果进行适当的组合, 并进行总的评价一致性检验. 这一步骤是由上而下逐层进行的, 最终计算结果得出最底层元素即决策方案相对于总目标的优劣程度排序权重, 以

及整个递阶层次模型的判断一致性检验。

假定已经计算出第 $K-1$ 层元素相对于总目标的组合排序权重向量 $a^{k-1} = (a_1^{k-1}, \dots, a_m^{k-1})^T$ ，第 K 层在 $K-1$ 层的第 j 个元素作为准则下，元素的排序权向量为 $b_i^k = (b_{1j}^k, b_{2j}^k, \dots, b_{nj}^k)^T$ ，其中不受支配（即与 $K-1$ 层第 j 个元素无关）的元素权重为零。令 $B^k = (b_1^k, b_2^k, \dots, b_m^k)$ ，则第 k 层第 n 个元素相对于总目标的组合排序权重向量由下式得出：

$$a^k = B^k \times a^{k-1} \quad (5)$$

更一般地，有排序的组合权重公式：

$$a^k = B^k \times \dots \times B^3 a^2 \quad (6)$$

a^k 为第二层次元素的排序向量， $3 \leq k \leq h$ ， h 为层次数。

对于递阶层次组合判断的一致性检验，需要类似地逐层计算 CI 。若分别得到了第 $K-1$ 层次的计算结果 CI_{k-1} ， RI_{k-1} 和 CR_{k-1} ，则第 K 层的相应指标为：

$$CI_k = (CI_k^1, CI_k^2, \dots, CI_k^m) \times a^{k-1} \quad (7)$$

$$RI_k = (RI_k^1, RI_k^2, \dots, RI_k^m) \times a^{k-1} \quad (8)$$

$$CR_k = CR_{k-1}, CI_k / RI_k \quad (9)$$

此处 CI_k^i 和 RI_k^i 分别为在 $K-1$ 层第 i 个准则下判断矩阵的一致性指标和平均随机一致性指标，当 $CR_k < 0.10$ 时认为递阶层次在 K 层水平上整个判断有满意的一致性。

AHP 的最终结果是得到相对于总的目标各决策方案的优劣排序权重，并给出这一组合排序权重所依据的整个递阶层次结构所有的总一致性指标，据此可以作出决策。

(三) 变权的引入

在一般的 AHP 求解过程中，同一层次相关因素的相对权重是确定的，这是因为它们对上层因素的“影响”是确定的，考虑到 EVALUE 要适用于评价不同类型城市的规划方案，不同城市的建设和发展有不同的要求，因此，对不同的规划方案进行评价时也要用不同的评价标准，这就决定了某些因素的权重在不同情况下会有所改变。

为了体现这一要求，在评价模型中作了变权处理。例如，对于风景旅游类型的城市，它的城市景观和道路交通的权重要有所增加等等。

变权知识属于元知识的范畴，它的工作对象是评价模型中的知识，通过调用这些知识，可以对评价模型中的知识进行调整。

权重的改变是通过相对权重增加或减去常量来实现的。举例说明如下：

例如在某一层中的相关因素集为 A_j ($j=1, 2, \dots, 5$)，判断矩阵为：

$$\begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 2 & 1/5 & 3 \\ 3 & 1 & 4 & 1/7 & 8 \\ 1/2 & 1/4 & 1 & 1/5 & 7 \\ 5 & 7 & 5 & 1 & 9 \\ 1/3 & 1/8 & 1/7 & 1/9 & 1 \end{bmatrix}$$

现由专家经验,认为其中的 A3 较为重要,应增加权重 3,而 A1 较为不重要,应减少权重 2。

先看 A3 增权重 3 的问题,即要改变第三行和第三列的权数。因为在 AHP 中引入变权的计算问题尚未见诸资料介绍,所以我们根据 AHP 的基本原理对此作了一些初步尝试,对变权的规则作了一些规定。这些规定是否符合实际需要,有待实际进一步检验。

例如对第三行权数进行变权操作,原来为 7 的,加 3 以后将变成 10,但相对权重的最大值为 9,因此规定,最大权重不得超过 9,故 7 在变权后变成 9。

原为 1/5 的,则在分母上减去 3,即为 1/2。

至于原权重为 1/2 和 1/4 的情况,则比较复杂,可以这样考虑:

若是权重增加 1,1/2 将变成 1,再增加 1,变成 2,再增加 1,则变成 3。也就是说,1/2 增加 3 将变成 3。同样,1/4 增加 3 将变成 1。

如果我们用负数来表示为分数的权数,例如权重 1/2 和 1/4 分别表示为 -2 和 -4。那么上述规则可以这样表述:

(1) 若原来权重为正值,则直接加上增加的权重;

(2) 若原来权重为负值,当增加的值大于或等于原权重的绝对值减 1 时,将原权重加上增加的值后再加上 2,即为新的权重,否则直接加上增加的权值。

例如, -2 的绝对值减 1 为 1,比要增加的值 3 要小,故新权值为: $-2+3+2=3$ 。又如 -4 的绝对值减 1 为 3,与增加的值 3 相等,故新权值为 $-4+3+2=1$ 。

因为判断矩阵为正互反矩阵,因此,完成行的权重变动后,对应取倒数即可得到相应列的新权重。

再看 A1 减 2 的问题,仿照上面增权的规则不难得出下面的减权规则:

(1) 若原权重为负值,则直接减去减少的权值;

(2) 若原权重为正且等于或小于要减去的权值时,则新权值为原权值减去要减少的值再减 2,否则直接减去要减少的值。

例如,原权值为 1,减少 2 后为: $1-2-2=-3$,即 1/3。原值为 2,减少 2 后为: $2-2-2=-2$,即 1/2。

上述规则在程序中的 PROLOG 表现形式为:

new d (Rw, D, D): -

Rw / abs (Rw) = D / abs (D); Rw > 0. abs (D) < Rw; Rw < 0,

D < abs (Rw) - 1.

new d (Rw, D, D1): -

$$R_w < 0, \text{abs}(D) \geq R_w$$

$$D1 = D - 2$$

new d (Rw, D, D1): -

$$R_w < 0, D \geq \text{abs}(R_w) - 1,$$

$$D1 = D + 2$$

依照上述规则，变权的先后次序对变权结果没有影响。例如上例，先进行 A1-2 再进行 A3+3 操作，或是相反，最后的结果都是相同的，这也说明了上述规则的可行性。

$$\begin{array}{ccc} \text{原矩阵} \xrightarrow{A3+3} \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/3 & 1/5 & 3 \\ 3 & 1 & 1 & 1/7 & 8 \\ 3 & 1 & 1 & 1/2 & 9 \\ 5 & 7 & 2 & 1 & 9 \\ 1/3 & 1/8 & 1/9 & 1/9 & 1 \end{bmatrix} & \xrightarrow{A1-2} & \begin{bmatrix} 1/3 & 1/5 & 1/5 & 1/7 & 1 \\ 5 & 1 & 1 & 1/7 & 8 \\ 5 & 1 & 1 & 1/2 & 9 \\ 7 & 7 & 2 & 1 & 9 \\ 1 & 1/8 & 1/9 & 1/9 & 1 \end{bmatrix} \\ \\ \text{原矩阵} \xrightarrow{A1-2} \begin{bmatrix} 1 & 1/5 & 1/2 & 1/7 & 1 \\ 5 & 1 & 4 & 1/7 & 8 \\ 2 & 1/4 & 1 & 1/5 & 7 \\ 7 & 7 & 5 & 1 & 9 \\ 1 & 1/8 & 1/7 & 1/9 & 1 \end{bmatrix} & \xrightarrow{A3+3} & \begin{bmatrix} 1/3 & 1/5 & 1/5 & 1/7 & 1 \\ 5 & 1 & 1 & 1/7 & 8 \\ 5 & 1 & 1 & 1/2 & 9 \\ 7 & 7 & 2 & 1 & 9 \\ 1 & 1/8 & 1/9 & 1/9 & 1 \end{bmatrix} \end{array}$$

关于变权的知识是由专家确定的，专家或用户在使用过程中也可以进行修改。

(四)模糊评价体系

通过引入层次评价模型，将评价目标逐层分解成子因素，求得子因素的评价值，就可逐层向上最终求得目标的评价值。

但是有些因素无法继续分解，或是很难直接分解成更原始的子因素，这些因素就构成了 AHP 评价模型的底层节点或即叶节点。

这些叶节点的评价值，有的可由用户较方便地直接给出，例如“道路的面积指标”，并且，这些因素将来还考虑通过与其他软件的接口，增加模型库的功能，由系统自己直接求出。

但还有些节点的求解则较为复杂，例如“路网形式选择合理性”被评价的方案可能是方格式路网，也可能是放射式路网，也可能是自由式路网，也可能是部分方格式部分自由式路网，不能绝对的说，某种形式的路网是合理或是不合理，要作进一步的分析，判断。这进一步的分析判断工作是由 EVALUE 系统中的模糊评价推理部分来完成的。

模糊集合的概念是美国 California 大学的 L.A.Zadeh 教授在《Fuzzy Sets》一文中提出来的。二十多年来，模糊学理论发展非常迅速，应用相当广泛。

模糊集合的一个重要概念是隶属度，而在模糊逻辑推理中，隶属度则表现为置信度或真值的形式。

我们所采用的模糊评价推理体系，由带置信度的 Horn 子句组成，模糊事实、规则和目标的表现形式分别为：

(1) 模糊事实。说明有关对象及对象之间关系的事实（或断言）。形式为：

$$A \leftarrow [\mu(A)].$$

表示事实 A 的置信度为 μ 或真值为 μ 。

(2) 模糊规则。定义一些对象之间互相关系的规则。形式为：

$$R: A \leftarrow [\mu(R)] - B_1, B_2, \dots, B_n.$$

表示条件 $B_1 \wedge B_2 \wedge \dots \wedge B_n$ 对结论 A 的蕴涵强度为 $\mu(R)$ ，即如果 B_i 的真值为 $\mu(B_i)$ ， $i=1, 2, \dots, n$ ，则条件的真值 $t = \min \{ \mu(B_i) \mid i=1, 2, \dots, n \}$ ，进而结论的真值 $\mu(A) = \mu(R) \times t$ 。

规则的左边为规则的“头”，右边为规则的“体”。

(3) 模糊目标。提出对象与对象之间是否具有某种关系的问题。形式为：

$$? - [\mu] - A_1, A_2, \dots, A_n.$$

意为：“当阈值为 μ 时， $A_1, A_2, \dots, A_n$ 是否全为真？”

例如，模糊事实：

$$\text{路网形式合理性 (方案 A)} \leftarrow [0.85].$$

表示方案 A 的路网形式选择合理这一事实的置信度为 0.85。

又如模糊规则：

$$\text{路网形式合理性 (X)} \leftarrow [0.9] - \text{采用方格式路网 (X)},$$

地形规整 (X),

地势平坦 (X)。

表明，若方案 X 采用方格式路网，且采用方格式路网的区域地形规整，地势平坦，则路 X 的路网形式选择合理，且置信度为 0.9。

再如模糊目标：

$$? - [0.89] - \text{地形规整 (方案 A)}.$$

即提出问题：当一值为 0.89 时，是否有“方案 A 的地形规整”？

在 EVALUATE 中模糊含义就是：某一因素的评价由若干模糊因素子集确定，这些模糊因素子集各对应一个模糊评价值，取所有这些评价值的最大值，即为该因素的评价值。

而上述模糊因素子集的评价值，或者是由原始数据直接确定，或者再由别的模糊因素子集确定，如此递推。

一个模糊知识库由因素和规则组成，这些因素和规则构成的推理网络，为一与或图。如(图 2)所示。