



国家电网公司
电力科技著作出版项目

输配电网协调发展 评估理论与方法研究

韩丰 李敬如 李红军 宋毅 著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



国家电网公司
电力科技著作出版项目

输配电网协调发展 评估理论与方法研究

韩丰 李敬如 李红军 宋毅 著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

电网是由不同电压等级输电网和配电网构成的有机整体,各级电网协调发展是电网安全稳定运行的物质基础。本书以多年研究成果为基础,围绕电压序列优化、供电能力评价等输电网协调发展评估关键问题,提出了评价指标体系、综合评估方法,并结合典型案例分析了应用效果。

本书共为5篇,分别为基础理论、输配电电压序列协调优化、输配电网供电能力协调评价、中压配电网升压改造措施和策略、配电网主设备改造与新扩建协同规划。

本书可供从事电网规划的科研工作者、工程技术人员和电力高校师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

输配电网协调发展评估理论与方法研究 / 韩丰等著. —北京:中国电力出版社, 2016.12
ISBN 978-7-5123-8766-9

I. ①输… II. ①韩… III. ①输配电线路-电网-发展-研究-中国 IV. ①TM7

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第098485号

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街19号(邮政编码100005)

网 址:<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:王春娟 chunjuan-wang@sgcc.com.cn

责任校对:郝军燕

装帧设计:张俊霞

责任印制:邹树群

印 刷:北京九天众诚印刷有限公司

版 次:2016年12月第一版

印 次:2016年12月北京第一次印刷

开 本:710毫米×980毫米 16开本

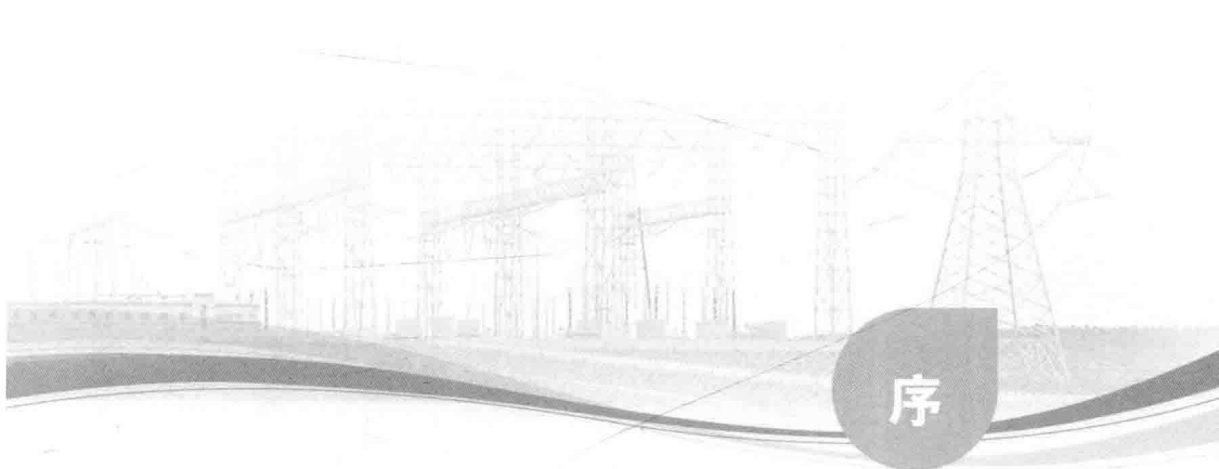
印 张:17.75

字 数:305千字

定 价:72.00元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换



序

输配电网协调发展评估是电网规划研究领域中的重要命题，长期以来，国网北京经济技术研究院进行了坚持不懈的理论与工程咨询实践，取得了许多引人注目的成果。国网北京经济技术研究院在多年研究成果基础上，基于电力系统分析、层次分析法、信赖域法、经济评价等理论方法，系统研究了输配电网协调发展评估理论，着重在输配电电压序列协调发展评价、供电能力协调发展评估以及配电网升压改造、配电网建设与改造协同优化规划等方面进行了探索，提出了输配电网协调发展的理论与方法，并对天津电网和浙江电网进行了实证分析，在输配电网协调发展量化评估领域进行了大胆而有益的尝试。

《输配电网协调发展评估理论与方法研究》专著是国网北京经济技术研究院发挥科研单位优势，结合天津电网、浙江电网的工程咨询成果，支撑输配电网协调发展、提升电网发展规划精益化水平的理论研究和工程实践的总结。

该专著体系严谨、结构清晰，是电网规划领域一本很好的参考用书，从事电网规划设计的科研和设计人员，将从书中受益。相信这本专著的出版，会受到我国电网规划领域的欢迎和好评。

天津大学教授 王成山

2016年12月



前言

电网是国民经济和社会发展的重大公共基础设施。随着我国经济社会的持续发展和人民生活水平的日益提高,电网发展面临更大的机遇与挑战,电网规划建设的要求日益提高。1998 年我国启动了城市和农村配电网改造工程,电网规划建设中存在“重发、轻供、不管用”的局面得到改善。2015 年国家启动了《配电网建设改造行动计划(2015~2020 年)》,提出了“加强统一规划、健全标准体系”等十大重点任务和建设“城乡统筹、安全可靠、经济高效、技术先进、环境友好”的配电网设施的发展目标,为未来配电网规划建设指明了方向。

电网是由不同电压等级输电网和配电网构成的有机整体,各级电网协调发展是电网安全稳定运行的物质基础。输配电网协调发展理念逐渐成为我国电网规划建设遵循的基本原则和追求的发展目标。开展输配电网协调发展评估研究有助于促进输配电网的可持续发展,提高电网建设资金和资源投入的效率和效益,对实现输配各电压等级电网统一规划具有极大现实意义。

《输配电网协调发展评估理论与方法研究》将对我国电网规划建设提供有力的理论和实践支撑,可供电网规划,尤其是配电网规划设计、科研人员,电力高校师生研读。

全书共 5 篇,第 1 篇主要介绍了输配电网协调发展评估所涉及的基础理论,包括主要评价方法、供电可靠性、全寿命周期成本分析、聚类分析技术和协同优化技术;第 2 篇围绕输配电压序列协调优化问题,论述了输配电网发展现状、

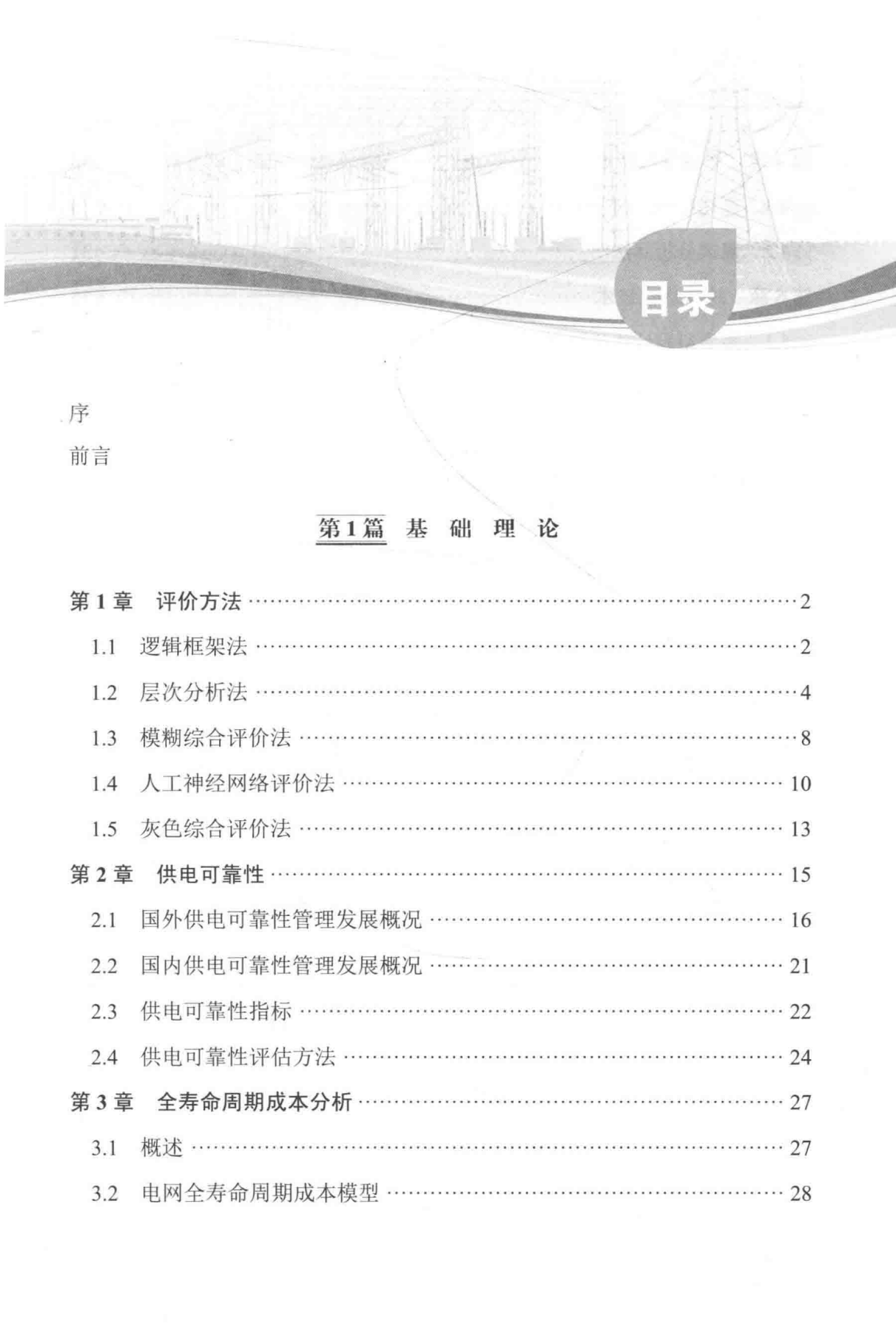
输配电电压序列评价指标选取、输配电电压序列优化综合评价、输配电电压序列优化实践和输配电网结构优化实践；第3篇围绕输配电网供电能力协调评价问题，论述了输配电网供电能力主要影响因素及协调评估指标、基于信赖域法的供电能力计算模型、评估指标的物理特性、输配电网供电能力综合评估和输配电网供电能力评估实践；第4篇论述中压配电网升压改造原则与措施、经济性分析、策略和方案；第5篇针对配电网主设备改造与新扩建协同规划问题，提出了新建改造规划协同优化建模及算法，并介绍了典型地区示范应用实践。

本书作为国家电网公司电力科技著作出版项目，是国网北京经济技术研究院配电网规划设计研究团队多年来科研和咨询成果的结晶。在研究过程中，国网天津市电力公司张军、刘聪，国网浙江省电力公司潘弘、董元龙等相关领域的专家给予了大力支持，中国电力出版社王春娟女士提出了许多很有新意的想法，并给予了很大帮助，在此一并表示衷心的感谢！

限于作者学识水平，书中错误和不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

作 者

2016年12月于北京未来科技城



目录

序
前言

第1篇 基础理论

第1章 评价方法	2
1.1 逻辑框架法	2
1.2 层次分析法	4
1.3 模糊综合评价法	8
1.4 人工神经网络评价法	10
1.5 灰色综合评价法	13
第2章 供电可靠性	15
2.1 国外供电可靠性管理发展概况	16
2.2 国内供电可靠性管理发展概况	21
2.3 供电可靠性指标	22
2.4 供电可靠性评估方法	24
第3章 全寿命周期成本分析	27
3.1 概述	27
3.2 电网全寿命周期成本模型	28

第4章 聚类分析技术	30
4.1 概述	30
4.2 聚类分析算法	31
第5章 协同优化技术	35
5.1 多学科设计优化模型	35
5.2 协同优化方法	38
5.3 协同优化算法	40

第2篇 输配电电压序列协调优化

第1章 输配电网发展现状	44
1.1 国外输配电网发展概况	44
1.2 中国输配电网发展概况	48
第2章 输配电电压序列评价指标选取	53
2.1 主要影响因素	53
2.2 评价指标的内涵和作用原理	55
2.3 评价指标选取的思路和原则	56
2.4 评价指标的内容	57
2.5 电压序列评价指标的内容	69
第3章 输配电电压序列优化综合评价	72
3.1 综合评价方法	72
3.2 综合评价流程	73
第4章 输配电电压序列优化实践	76
4.1 计算条件	76
4.2 计算步骤	76

4.3 典型地区应用结果及分析	78
第5章 输电网结构优化实践	85
5.1 输电网结构发展面临的形势	85
5.2 国外典型输电网结构	86
5.3 各级电网典型结构分析	89
5.4 输电网结构协调发展模式	91

第3篇 输电网供电能力协调评价

第1章 输电网供电能力主要影响因素及协调评估指标	102
1.1 主要影响因素	102
1.2 输电网供电能力协调评估指标	103
第2章 基于信赖域法的供电能力计算模型	111
2.1 输电网供电充裕度数学模型	111
2.2 信赖域法基本原理	112
2.3 基于信赖域法的电网供电裕度评估模型	114
2.4 算例验证和分析	116
第3章 评估指标的物理特性	124
3.1 电网供电裕度类指标特征函数分析	124
3.2 电网结构类指标评价特征函数分析	130
3.3 电网匹配类指标评价特征函数分析	135
第4章 输电网供电能力综合评估	138
4.1 综合评价方法	138
4.2 综合评价流程	139

第5章 输配电网供电能力评估实践	140
5.1 输电网供电能力评价	140
5.2 配电网供电能力评价	143
5.3 输配电网供电能力协调评价	148

第4篇 中压配电网升压改造措施和策略

第1章 中压配电网升压改造原则与措施	152
1.1 电网升压改造原则	152
1.2 中压配电网升压改造策略	152
1.3 中压配电网升压改造措施	154
第2章 中压配电网升压改造经济性分析	156
2.1 经济评价方法	156
2.2 公用网改造的费用分析	159
2.3 客户侧经济性分析	163
第3章 中压配电网升压改造策略和方案	172
3.1 升压改造策略	172
3.2 升压改造方案	177
3.3 实施中的问题	183

第5篇 配电网主设备改造与新扩建协同规划

第1章 影响因素分析	190
1.1 主设备改造影响因素	190
1.2 电网新扩建规划影响因素	194
1.3 主设备改造与新扩建规划协同影响因素	199

第2章 新建改造规划协同优化建模及算法	201
2.1 基于配电网拓扑结构聚类的改造分区	201
2.2 改造与新扩建协同规划建模	218
第3章 典型地区示范应用实践	223
3.1 典型地区电网现状分析	223
3.2 典型地区电网主设备改造与规划协调优化	226
附录A 主要电压等级和电压序列	247
附录B 变电工程改造及过渡费用一览表	248
附录C 10kV 配电设备的性能参数	250
附录D 典型地区新建项目汇总	257
附录E 典型地区改造项目汇总	260
参考文献	263
索引	266

第1篇

基础理论



第1章 评价方法

1.1 逻辑框架法

逻辑框架法(logic frame analysis, LFA)是美国国际开发署在1970年开发并使用的一种设计、计划和评价方法^[1]。该方法按照因果逻辑关系从投入、产出、直接目的、宏观影响四个层面对项目进行分析和总结。该方法是将几个内容相关、必须同步考虑的动态因素组合起来,通过分析其间的关系,来评价一个设计完整、目标明确的投资项目。逻辑框架法为项目计划者和评价者提供一种分析框架,通过分析项目目标和达到目标所需手段间的逻辑关系,确定工作范围和任务。

逻辑框架法的核心是事物层次间的因果逻辑关系,即“如果”提供了某种条件,“那么”就会产生某种结果;这些条件包括事物内在的因素和事物所需的外部条件。逻辑框架法把目标及因果关系划分为目标、目的、产出和投入四个层次。逻辑框架法基本模式见表1-1-1。

表 1-1-1

逻辑框架法基本模式

层次	客观验证指标	验证方法	重要外部条件
目标	目标指标	检测和监督手段及方法	实现目标的主要条件
目的	目的指标	检测和监督手段及方法	实现目的的主要条件
产出	产出物定量指标	检测和监督手段及方法	实现产出的主要条件
投入和活动	投入物定量指标	检测和监督手段及方法	落实投入的主要条件

(1) 目标(goal)。通常是指高层次的目标,即宏观计划、规划、政策和方针等,该目标可由几个方面的因素来实现。宏观目标是指国家、地区、部门或投资组织的整体目标,一般均超越了项目的范畴。宏观目标的确定和指标的选择一般由国家或行业部门负责。

(2) 目的(objectives or purposes)。目的是指“为什么”要实施这个项目,即项目直接的效果和作用。一般应考虑项目为受益目标群带来什么,主要是社会和经济方面的成果和作用。这个层次的目标由项目和独立的评价机构来确定,

指标由项目确定。

(3) 产出 (outputs)。这里的“产出”是指项目“干了些什么”，即项目的建设内容或投入产出物。一般要提供项目可计量的直接结果。

(4) 投入和活动 (inputs and activities)。该层次是指项目的实施过程及内容，主要包括资源的投入量和时间等。

以上四个层次在垂直方向上，自下而上形成了三个逻辑关系。即：第一级是若保证一定的资源投入，并加以很好的管理，则预计有怎样的产出；第二级是项目的产出与社会或经济变化之间的关系；第三级是项目的目的对整个地区甚至整个国家更高层次目标的贡献关联性。

逻辑框架法中用于阐述各层次的目标内容及其上下间因果关系的垂直逻辑 (horizontal logic)，如图 1-1-1 所示。

逻辑框架法的垂直逻辑分析了评价项目的层次关系。每个层次目标的水平逻辑关系 (horizontal logic) 则由客观验证指标、验证方法和重要假定条件构成，从而形成了逻辑框架法的框架。水平逻辑的三项内容主要包括以下内容。

(1) 客观验证指标 (objective verifiable indicators)，各层次应尽可能有客观、可度量的验证指标。包括数量、质量、时间及人员。

(2) 验证方法 (means of verification) 包括主要资料来源 (监测和监督) 和验证所采用的方法。

(3) 重要假定条件 (important assumptions)，可能对项目的进展或成果产生影响，项目管理者无法控制的外部条件。这种失控风险的发生有多方面的原因。首先是项目所在地的特定自然环境及其变化；其次是政府在政策、计划、发展战略等方面的失误或变化给项目带来严重的影响；第三是管理部门体制所造成的问题，使项目的投入/产出与其目的/目标分离。

项目的假定条件很多，一般应选定其中几个最主要的因素作为假定的前提条件。通常情况下，项目的原始背景和投入/产出层次的假定条件较少；而产出/目的层次间所提出的不确定因素往往会对目的/目标层次产生重要影响；由于宏观目标的成败取决于一个或多个项目的成败，因此，最高层次的前提条件是十分重要的。

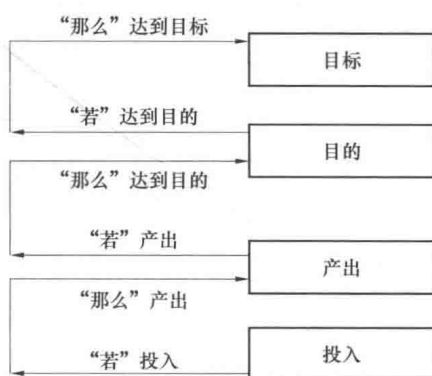


图 1-1-1 逻辑框架法的垂直逻辑

改进逻辑框架法的框架结构在垂直方向与一般的逻辑框架法相同;在水平方向将验证指标分为原定指标和实际实现情况两方面数据,来反映项目设计或者规划时目标与项目工程实施后目标实际实现程度,便于直观看出项目的实施是否达到原定指标数据(用以检验项目目标的实现程度),从而通过对比分析,找出产生差异的原因。持续性分析与传统的逻辑框架法中的重要外部条件相似,主要侧重于从国家政策法规、宏观调控、管理体制以及项目本身运行管理方面,来分析影响项目持续运行的主要原因。改进的逻辑框架法基本模式见表 1-1-2。

表 1-1-2 改进的逻辑框架法基本模式

目标层次	验证指标		数据来源	原因分析	持续性分析
	原定指标	实际实现情况			
宏观目标	原定目标指标	实际实现指标	资料来源	目标差异原因	实现目标持续条件
项目目的	原定目的	实际实现目的	资料来源	目标差异原因	实现目标持续条件
项目产出	原定产出	实际产出	资料来源	目标差异原因	实现目标持续条件
项目投入	原定投入	实际投入	资料来源	目标差异原因	实现目标持续条件

1.2 层次分析法

层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)^[2]是对定性问题进行定量分析的一种简便、灵活而又实用的多准则决策方法,是一种定性与定量相结合解决复杂的社会、经济、技术等决策问题的一种简单而行之有效的决策方法。层次分析法由美国运筹学家、匹兹堡大学萨蒂(T.L.Satty)教授在 20 世纪 70 年代初期提出。它的特点是把复杂问题中的各种因素通过划分为相互联系的有序层次,使之条理化,根据对一定客观现实的主观判断结构(主要是两两比较)把专家意见和分析者的客观判断结果直接而有效地结合起来,将一层次元素两两比较的重要性进行定量描述。利用数学方法计算反映每一层次元素的相对重要性次序的权值,通过所有层次之间的总排序计算所有元素的相对权重并进行排序。

层次分析法的主要步骤包括 6 个方面。

(1) 构建层次结构:将复杂的问题层次化,形成由目标层、准则层、指标层和方案层组成的递阶层次结构(如图 1-1-2 所示),其中指标中的元素均隶

属于准则层中的一个或多个元素构造层次分析结构。具体如下：

- 目标层， A
- 准则层， $B_1, B_2, B_3, \dots$
- 指标层， $C_1, C_2, C_3, \dots$
- 方案层， $D_1, D_2, D_3, \dots$

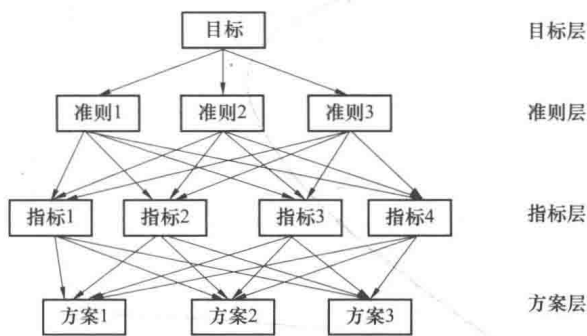


图 1-1-2 层次分析法结构

(2) 建立判断矩阵：充分考虑定性因素影响，结合专家的经验判断，将其融入递阶层次结构中，从而对问题进行综合分析评判，再运用简单易懂的数学方法形成判断矩阵，经过计算后得出量化的结果。每一层中的元素一般不宜超过 9 个，判断矩阵 D 如表 1-1-3 所示。

表 1-1-3 层次分析法判断矩阵

D_k	D_1	D_2	...	D_n
D_1	D_{11}	D_{12}	...	D_{1n}
D_2	D_{21}	D_{22}	...	D_{2n}
...	...	...	...	...
D_n	D_{n1}	D_{n2}	...	D_{nn}

判断矩阵 D 具有如下的性质：

$$D_{ij} > 0$$
$$D_{ij}=1/D_{ji} \text{ (} i \text{ 不等于 } j \text{)}$$
$$D_{ii}=1 \text{ (} i, i=1, 2, \dots, n \text{)}$$

这类矩阵 D 称为正反矩阵，对正反矩阵 D ，若对于任意 i, j, k 均有 $D_{ij} \cdot D_{jk}=D_{ik}$ ，此时该矩阵为一致矩阵。

判断矩阵标度及其含义如表 1-1-4 所示。

表 1-1-4 层次分析法判断矩阵标度及其含义

序号	重要性等级	D_{ij} 赋值
1	i, j 两元素同等重要	1
2	i 元素比 j 元素稍重要	3
3	i 元素比 j 元素明显重要	5
4	i 元素比 j 元素强烈重要	7
5	i 元素比 j 元素极端重要	9
6	i 元素比 j 元素稍不重要	1/3
7	i 元素比 j 元素明显不重要	1/5
8	i 元素比 j 元素强烈不重要	1/7
9	i 元素比 j 元素极端不重要	1/9

注 D_{ij} 赋值 = (2, 4, 6, 8, 1/2, 1/4, 1/6, 1/8), 表示重要性等级介于 D_{ij} 赋值 = (1, 3, 5, 7, 9, 1/3, 1/5, 1/7, 1/9) 中两相邻判断的中值。

(3) 判断矩阵一致性检验。判断矩阵一致性检验是指专家在判断指标重要性时, 各判断之间协调一致, 不致出现相互矛盾的现象和结果。

根据矩阵理论可以得到这样的结论, 即如果 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ 是满足式 $D_{ij} = \lambda_{ij}$ 的数, 即矩阵 D 的特征根, 并且对于所有的 $D_{ii} = 1$, 有

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = n \quad (1-1-1)$$

当矩阵具有完全一致性时, $\lambda_1 = \lambda_{\max} = n$, 其余特征值为零; 当矩阵 D 不具有完全一致性时, 则有 $\lambda_1 = \lambda_{\max} > n$, 其余特征根 $\lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ 有

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = n - \lambda_{\max} \quad (1-1-2)$$

上述结论显示, 当判断矩阵不能保证具有完全一致性时, 相应判断矩阵的特征根也将发生变化, 这样就可以用判断矩阵特征根的变化来检验判断的一致性程度。因此, 在层次分析法中引入判断矩阵最大特征根以外的其余特征根的负平均值, 作为度量判断矩阵偏离一致性的指标 CI (consistency index), 检验决策者判断思维的一致性。即

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (1-1-3)$$