

# 基于 AHP 和熵权法的中压配电网项目 投资效益综合评价方法

郭晨鋆, 徐笑, 唐晟

(深圳供电局有限公司 规划研究中心, 深圳 518033)

**摘要:** 配电网建设投资巨大, 因此根据建设项目的技术合理性和投资效益, 制定优化的投资规划至关重要。为此, 从技术合理性和经济合理性两方面, 构建中压配电网项目建设效益的评价指标体系, 并基于层次分析和熵权混合方法, 对项目建设的优先级进行综合评价, 为优化配网项目投资提供定量依据。

**关键词:** 配电网; 规划; 综合评价

中图分类号: TM76

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2016)S1-0009-05

## Comprehensive Evaluation for Medium-voltage Distribution System Construction Based on AHP and Entropy Weight Method

GUO Chenjun, XU Xiao, TANG Sheng

(Shenzhen Power Supply Co., Ltd., Shenzhen 518033, China)

**Abstract:** Investment optimization according to technological rationality and investment benefit of projects is an critical issue as the huge investment in construction of distribution system. In this paper, an index system is established for quantitative evaluation of construction projects in distribution system from the aspects of technical rationality and economic rationality. Furthermore, a mixed weighting method based on the ahp and entropy method is proposed for comprehensive evaluation of priority of different projects, so a quantitative basis can be provided for investment optimization in distribution system construction.

**Key words:** distribution system; planning; comprehensive evaluation

近年来, 中低压配电网投资逐步加大, 技术不断优化, 中低压配电网越来越受到重视, 对中低压配电网建设项目进行经济效益评价是电网经营企业的现实需求, 国内逐步开展了电网项目评价工作。

一般而言, 电网建设项目的的评价, 主要包括两个方面的内容。一是技术评价、二是经济评价。前者主要考查项目建设的必要性、紧迫性、技术可行性, 技术标准的合理性等; 后者主要考查项目投产后的经济效益、利用率等。

目前, 层次分析法<sup>[1-3]</sup>、数据包络法<sup>[4-5]</sup>、熵权分析法<sup>[6-7]</sup>等以运筹学为基础的综合评价方法是国内外研究的热点。其中, 层次分析法 AHP 作为一种定性与定量结合的多属性决策分析方法, 能够将决策者的经验判断给予量化, 在指标结构复杂且缺乏数据的情况下尤为实用, 因此, 其在配网规划、黑启动方案评估、配电网运行方式优化等方面得到了广泛的应用。

为此, 本文建立了完整的中压配电网项目投资效益评价指标体系, 并基于 AHP 和熵权法提出了中压配电网项目投资效益综合评价方法, 实现了数据信息的客观性与专家偏好主观性的良好结合, 为优化配网项目投资提供定量依据。在此基础上, 对南方某特大城市的配电网项目进行了定量评价。

# 1 配电网项目技术评价指标

## 1.1 项目分类

目前,配电网建设项目存在的主要问题在于,项目的实施方案仅着眼于其实施目的,而缺乏对整体网架的统筹考虑。例如,网架完善项目仅关注项目实施后线路是否形成标准接线的拓扑结构,而并未考虑所形成馈线组的平均负载率等。

实际上,配电网建设项目往往涵盖了电缆线路、架空线路、杆塔、配变、开关设备及一些附属设施等设备和元件,其立项目的和预期作用各不相同。因此,本文基于配电网项目的分类,针对项目类型不同,提出相应的技术评价指标。配电网项目分类如图1所示。

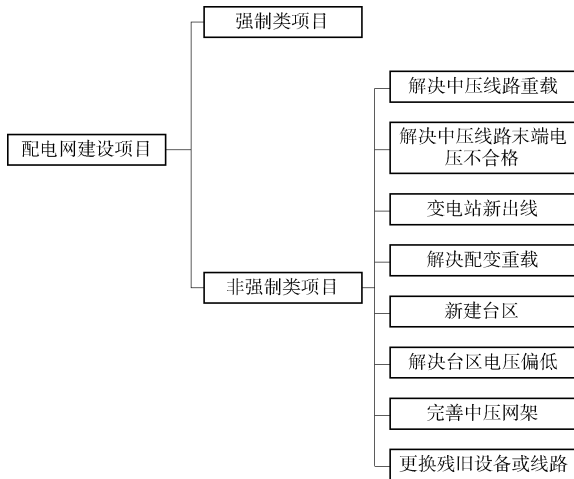


图1 配电网建设项目分类

Fig. 1 Different types of distribution system construction projects

## 1.2 技术评价指标

对于中压配电网的网架结构,作如下定义:

1)一级问题线路:主干线首端联络,其中一条支线用户数占全线80%以上。

2)二级问题线路:主干线中段联络,其中一条支线用户数占全线50%以上。

基于上述定义,根据不同的配网项目类型及其存在的主要问题,提出相应的技术评价指标体系,如表1所示。

## 2 配电项目经济评价指标

### 2.1 项目全生命周期成本分解

根据配电项目的实际情况,可将其全生命周期成本分解为投入成本、技术线损成本、非技术线损成本、故障成本、风险成本。

1)投入成本为项目建设的初始投资,等同于固定资产投资。

2)技术线损成本,是指电网各元件的电能损耗,可以通过更换老旧设备、扩大导线半径,优化网架结构、运行方式等措施改善。

3)非技术线损成本,由于电能计量装置的误差及管理不善,失误等原因造成电量损失,以及线路不规范安装等因素引起的,未来会随着计量自动化、智能配用电的技术成熟而降低。

4)故障成本主要包括故障检修费、中断供电损失费、改变运行方式费用、设备性能及寿命损耗等费用,可通过配网自动化建设等措施改善。

表1 各类项目适用的评价指标

Table. 1 Different types of distribution system construction projects

评价指标	线路重载	线路电压不合格	新增负荷需求	配变重载	新建台区	台区电压不合格	网架完善	残旧设备更换
预期线路负载率	√	√	√	—	—	—	√	—
预期配变负载率	—	—	—	√	√	√ <sup>2</sup>	—	√ <sup>3</sup>
实施后中压线路供电半径	—	√	√	—	—	—	—	—
实施后低压线路供电半径	—	—	—	—	√	√	—	—
是否标准接线	√ <sup>1</sup>	—	√	—	—	—	√	—
主干分段数	√ <sup>1</sup>	—	√	—	—	—	√	√ <sup>3</sup>
一级问题分支数量	√ <sup>1</sup>	—	√	—	—	—	√	—
二级问题分支数量	√ <sup>1</sup>	—	√	—	—	—	√	—
设备达到运行年限	—	—	—	—	—	—	—	√

注:(1)解决中压线路重载项目,若其技术措施涉及到其他线路调荷,则需考核相关指标;(2)解决台区电压偏低项目,若其技术措施涉及及更换高损配电变压器,则需考核相关指标;(3)对于更换残旧设备或线路项目,若更换配电变压器需考核预期的配变负载率,若更换开关设备需考核主干分段数指标。

5) 风险成本, 是指在工程实施过程中, 由于施工方案、工艺水平以及施工过程中的风险管理水平、环境因素等风险引起的损失。

## 2.2 项目经济评价指标体系

根据上述全生命周期成本的分解, 可构建项目经济评价指标体系, 如图 2 所示。

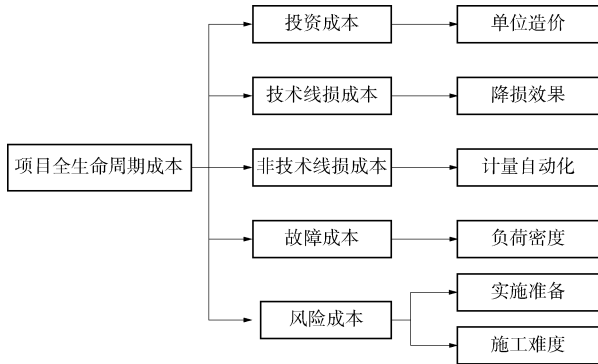


图 2 配电项目经济评价指标体系

Fig. 2 Economical evaluation indexes

图 2 中各项经济评价指标体系如下。

### 2.2.1 单位造价

项目初始投资的合理性, 评价的基准参考南方电网公司典型造价的单位造价指标, 评分指标取项目单位造价和单位造价指标(基准)之比, 若指标大于 1, 则说明项目单位造价超出了南网典型造价水平, 若指标小于 1, 则说明项目单位造价低于南网典型造价水平。

### 2.2.2 降损效果

项目实施后技术线损成本下降程度的影响, 评分指标取降损电量和原有损耗电量之比。

### 2.2.3 计量自动化

项目实施对于非技术线损成本下降程度的影响, 评价基准包括项目来源和项目建设地的实际情况。首先, 就项目设计的技术水平进行评分, 然后根据项目是否来源于网公司批复的专项规划计算得分。项目对计量自动化影响越大、技术水平越先进、其得分越高。

### 2.2.4 负荷密度

配电网项目发生故障造成的影响, 项目所处区域的负荷密度越高, 故障发生后, 同等的停电时间内, 电网企业损失的电量收入也越多, 故障成本也更高。

### 2.2.5 实施准备和施工难度

实施准备和施工难度两个指标评价的是风险成本的高低, 评价基准参照南方电网相关管理规定和深圳供电局配电网项目往年经验。

## 3 技术和经济指标的综合赋权

### 3.1 层次分析法概述

层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 是将决策的有关元素分解成目标、准则、方案等层次, 在此基础上进行定性分析和定量分析的一种决策方法。AHP 将复杂的问题分解为各个组成因素, 并将其按支配关系分组形成有序的递阶层次结构, 确定层次中各个因素的相对重要性, 在此基础上综合判断, 确定各个因素的整体重要性。

### 3.2 熵权法概述

以“熵”表示信息系统的混乱程度, 若某一单一指标的熵值较大, 表明其在信息系统中越无序, 因此应降低其权重系数。与之相反, 若该指标熵值越小, 其权重系数应越高。这是熵权法进行综合评价的基本原理, 已经在诸多领域得到广泛应用, 其客观性和科学性已得到普遍认可。

### 3.3 基于 AHP 和熵权法的混合赋权

由熵权法的原理可知, 各指标的权重系数的确定完全基于各指标在历史数据上的熵。由于熵的计算是客观的, 因此熵权法的优势是能够避免技术人员在开展综合评价时的主观性。然而, 在大部分实际工程中, 对项目的综合评价都应根据实际情况有所侧重。例如, 某些高可靠性示范区的项目的评价需要侧重实施效果而非投资费用; 某些农村配电网的项目可能更加侧重社会效益。因此, 熵权法的客观性使其难以适应评价的倾向性改变而导致权重系数的变化。而利用层次分析法的优势在于, 本领域的专家利用其多年的实际经验和对理论前沿的把握, 能不依赖统计数据而对权重做出及时的调整, 给出权重的大致范围, 但是由于专家的经验各异而不可避免地带有主观性, 同时也具有一定的局限性。综合分析 2 种方法的优缺点, 可以把 AHP 法和熵权法的结果相结合, 得到综合考虑主客观因素的指标权重向量  $W$ 。

$$w_j = \frac{w'_j w''_j}{\sum_{j=1}^m w'_j w''_j} \quad (1)$$

式中： $w_i$ 为 AHP 确定的权重； $w_j'$ 为熵权法确定的权重。

### 3.4 赋权结果

基于上述综合赋权方法，对所提的指标体系进行综合赋权，各经济评价指标的权重系数如表 2 所示，各技术评价指标的权重系数如表 3 所示。

表 2 各经济评价指标的权重系数

Tab. 2 Weights of economical evaluation indexes

指标名称	权重系数取值
单位造价	0.050
降损效果	0.013
配网自动化	0.054
用户投诉	0.059
负荷密度	0.041
开工准备	0.054
施工难度	0.029

表 3 各技术评价指标的权重系数

Tab. 3 Weights of technical evaluation indexes

评价指标	线路重载		线路电 压不 合格	新出线 满足新 增负荷	配变 重载	新建 台区	台区电压不合格		网架 完善	残旧设备更换	
	仅更换 线路	新出 线调荷					不涉及变 压器更换	更换 变压器		不涉及变 压器更换	更换 变压器
预期线路负载率	0.700	0.224	0.385	0.252	0	0	0	0	0.147	0	0
预期配变负载率	0	0	0	0	0.700	0.385	0	0.385	0	0	0.315
实施后中压线路供电半径	0	0	0.315	0.350	0	0	0	0	0	0	0
实施后低压线路供电半径	0	0	0	0	0	0.315	0.700	0.315	0	0	0
是否标准接线	0	0.147	0	0.147	0	0	0	0	0.224	0	0
主干分段数	0	0.112	0	0.112	0	0	0	0	0.112	0	0
一级问题分支数量	0	0.126	0	0.126	0	0	0	0	0.126	0	0
二级问题分支数量	0	0.910	0	0.280	0	0	0	0	0.910	0	0
设备达到运行年限	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.700	0.385

表 4 对示例项目的评分结果

Tab. 4 Evaluation results of sample projects

配电网项目	项目类型	单位 造价	降损 效果	配网 自动化	用户 投诉	负荷 密度	开工 准备	施工 难度	经济 评分	综合 得分
南山区海印长城中低压线路整改工程	完善中压网架	83	10	0	70	81	100	100	67	77
宝安宝城共乐站 F4、F5 残旧分接箱更换工程	更换残旧设备(不涉及配变)	98	0	0	94	97	100	100	76	93
荃岗站新一回调帝堂站 F63 负荷工程	解决中压线路重载(新出线调荷)	73	10	0	94	97	100	100	72	68
梅沙站 F01、F04、F24 网架完善工程	完善中压网架	69	40	0	21	26	100	100	49	58
后海二站新出线 19 与后海站 F03 组网工程	完善中压网架	92	40	0	70	81	100	100	70	81
罗芳站新出线调莲塘站 F61 负荷工程	完善中压网架	54	80	0	67	48	100	100	60	86
秀丽站新出 FA 并与高新站 F3、F4、南头站 F14 组网工程	完善中压网架	99	40	0	70	81	100	100	71	82

## 4 实例分析

以南方某市配电网的典型项目为例进行综合评价，其结果如表 4 所示。

可见，基于本文所提出的配电网项目经济评价指标，能够直观评价项目的经济效益，避免了评价指标的大量收资和复杂计算，从而极大地提高了经济评价的可操作性。

## 5 结论

本文建立了完整的配电网建设项目评价指标体系，并提出了基于层次分析法和熵权法混合赋权的综合评价方法，实现了数据信息的客观性与专家偏好主观性的良好结合。以南方某城市的配电网建设项目为例进行了示例分析。结果表明，本文所提方法使不同网格划分方案的综合比较更为客观准确。

## 参考文献:

- [1] 赵云飞, 陈金富. 层次分析法及其在电力系统中的应用 [J]. 电力自动化设备, 2004, 24(9): 85-89.  
ZHAO Y F, CHEN J F. Analytic hierarchy process and its application in power system [J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(9): 85-89.
- [2] 袁昕. 基于 AHP 的北京城区电网可靠性评价体系研究与应用 [D]. 华北电力大学, 2012.
- [3] 李金芳. 基于 AHP/DEA 的 20 kV 中压配电方案研究及评估 [D]. 华北电力大学, 2009.
- [4] 柳顺, 杜树新. 基于数据包络分析的模糊综合评价方法 [J]. 模糊系统与数学, 2010, 24(2): 93-96.  
LIU S, DU S X. Fuzzy comprehensive evaluation based on data envelopment analysis [J]. Fuzzy Systems and Mathematics, 2010, 24(2): 93-96.
- [5] 林济铿, 李童飞, 赵子明, 等. 基于熵权模糊综合评价模型的电力系统黑启动方案评估 [J]. 电网技术, 2012, 36(2):

51-54.

LIN J K, LI T F, ZHAO Z M, et al. Assessment on power system black-start schemes based on entropy-weighted fuzzy comprehensive evaluation model [J]. Power System Technology, 2012, 36(2): 51-54.

- [6] 李志铿, 杨海森, 陈超. 计及转供电概率的配电网可靠性评估 [J]. 南方能源建设, 2014, 1(1): 30-33.  
LI Z K, YANG H S, CHEN C. Reliability evaluation for distribution system considering supply probability [J]. Southern Energy Construction, 2014, 1(1): 30-33.
- [7] 梁赞, 冯永青. 基于可信性理论的有源配电网可靠性分析 [J]. 南方能源建设, 2015, 2(2): 62-65.  
LIANG Y, FENG Y Q. Reliability assessment of distribution networks with distributed generators based on credibility theory [J]. Southern Energy Construction, 2015, 2(2): 62-65.

(责任编辑 高春萌)

## (上接第 4 页 Continued from Page 4)

CHEN X, WANG Z Q. Overview of theory and methods of decision support systems [J]. Control and Decision, 2006, 21(9): 961-968.

- [3] 蒋良孝, 蔡之华. 基于数据仓库的数据挖掘研究 [J]. 计算机技术与自动化, 2003(3): 102-105.  
JIANG L X, CAI Z H. The Research of data mining based on data warehouse [J]. Computing Technology and Automation, 2003(3): 102-105.
- [4] 王珊, 王会举, 覃雄派, 等. 架构大数据: 挑战、现状与展望 [J]. 计算机学报, 2011, 34(10): 1741-1752.

WANG S, WANG H J, QIN X P, et al. Architecting big data: challenges, studies and forecasts [J]. Chinese Journal of Computers, 2011, 34(10): 1741-1752.

- [5] 孟小峰, 慈祥. 大数据管理: 概念、技术与挑战 [J]. 计算机研究与发展, 2013, 50(1): 146-169.  
Meng X F, C X. Big data management: concepts, technique and challenges [J]. Journal of Computer Research and Development, 2013, 50(1): 146-169.

(责任编辑 张春文)

## (上接第 8 页 Continued from Page 8)

- [2] 张植华, 李健, 林毓, 等. 网格化城市配电网目标网架动态构建方法 [J]. 陕西电力, 2015, 43(2): 23-29.
- [3] 李海涛, 孙波, 王轩. 配电网网格化规划方法及其应用 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2015(S1): 33-37.
- [4] 沈健, 盛佳蓉, 张麟, 等. 基于 AHP 的北京城区电网可靠性评价体系研究与应用 [D]. 北京: 华北电力大学, 2012.
- [5] 李金芳. 基于 AHP/DEA 的 20 kV 中压配电方案研究及评估 [D]. 北京: 华北电力大学, 2009.
- [6] 柳顺. 基于数据包络分析的模糊综合评价方法及其应用 [D]. 杭州: 浙江大学, 2010.

- [7] 林济铿, 李童飞, 赵子明, 等. 基于熵权模糊综合评价模型的电力系统黑启动方案评估 [J]. 电网技术, 2012, 36(2): 51-54.
- [8] 龚剑, 胡乃联, 崔翔, 等. 基于 AHP-TOPSIS 评判模型的岩爆倾向性预测 [J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(7): 1442-1448.
- [9] 侯志东, 吴祈宗. 基于 Hausdauff 度量的模糊 TOPSIS 方法研究 [J]. 数学的实践与认识, 2005, 35(3): 233-237.

(责任编辑 郑文棠)