

Research on Comprehensive Evaluation Model of Grid Structure Based on Analytic Hierarchy Process

Peipei Li, Zhenghua Chen, Jie Deng, Hao Chen

State Grid Yangzhou Power Supply Company, Yangzhou Jiangsu
Email: 1915927299@qq.com

Received: Aug. 29th, 2018; accepted: Sep. 13th, 2018; published: Sep. 20th, 2018

Abstract

Grid structure planning is an important link of power grid construction. The reasonable grid is an effective means to guarantee the safety, stability and economic operation of power grid, and also an important prerequisite to guarantee the reasonable, effective and full utilization of power grid construction funds. This paper mainly takes Yangzhou 110 kV grid structure as an example and adopts the analytic hierarchy process (AHP) to establish the comprehensive evaluation model of grid structure. This method includes four indicators: technical, safety, economic and ease of implementation. This model aims to eliminate subjective factors in the evaluation process and provide a reasonable evaluation method of the grid structure. It plays an important role in improving the adaptability of the grid planning scheme, grasping the development direction of the grid and increasing the economic and social benefits of the grid.

Keywords

Grid Structure, Evaluation Model, Optimize, Hierarchy Process (AHP)

基于层次分析法的电网网架结构综合评价模型研究

李培培, 陈正华, 邓杰, 陈浩

国网扬州供电公司, 江苏 扬州
Email: 1915927299@qq.com

收稿日期: 2018年8月29日; 录用日期: 2018年9月13日; 发布日期: 2018年9月20日

摘要

电网网架规划是电网建设的重要环节,合理的电网网架是保证电网安全、稳定、经济运行的有效手段,同时也是保证电力建设资金合理、有效、充分利用的重要前提。本文主要以扬州110 kV电网网架为例,采用层次分析法,建立网架结构的综合评价模型,该方法包括技术性、安全性、经济性和实施难易程度四方面指标,结合德尔菲法确定各指标权重,并采用模糊隶属度方法确定指标评分标准。该模型旨在排除评价过程中的主观因素,为电网网架结构提供一种合理的评价方法,对于提高电网规划水平、提高电网规划方案的适应性、把握电网发展方向、提高电网的经济和社会效益具有重大作用。

关键词

电网网架,评价指标,优化,层次分析法

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

110 kV 电网网架结构的确定作为配电网规划的主体与很多因素密切相关,应根据技术性、安全性、经济性和实施难易程度等综合因素合理选择并具体确定。目前,江苏省电网网架规划中,对电网各相关因素以定性分析为主,经验性较强,同时难以分析各因素对网架结构的影响程度。主要原因是目前高压电网网架的确定缺少合理且具有较强实用性的综合评价体系[1],导致网架的确定无法实现定量计算,网络结构的选择随意性较大。

鉴于上述情况,本文考虑建立一种网架结构的综合评价模型,模型计及电网的技术性、安全性、经济性和实施难易程度四个方面的指标,并由此形成以这四个指标为基础的指标体系,继而基于层次分析法赋予上述指标各自的权重,形成这种综合评价模型,最后将该模型应用于扬州110 kV电网网架的规划,验证该模型的实用性和可行性。

2. 扬州电网基本情况

扬州电网是苏中电网的重要组成部分,其供电范围包括市区(邗江、广陵、江都)、仪征、高邮、宝应共4个区县,分为扬州城区、江都、仪征、高邮、宝应共5个供电分区。

扬州电网目前以500 kV和220 kV为主网架,维持南、中、北三片格局运行。北部宝应片区由淮安500 kV上河变通过上河~安宜双回线($2 \times 400 \text{ mm}^2$)、上河~黄滕($2 \times 400 \text{ mm}^2$)双回线供电;中部高邮片通过500 kV高邮变电站与泰州北部电网合为一片运行;南部由500 kV江都变、仪征变及扬州电厂供电。为控制500 kV电网短路电流,扬州南片电网与南京江北电网之间联络线(220 kV肖山~宁北双线)正常开断运行,扬州南、中两片内部之间联络线(江都~张套双线)正常开断运行。本文研究的110 kV配电网网架结构主要为扬州电网A类和B类供电分区110 kV网架结构。

3. 电网综合评价体系

在电网的规划和改造过程中,经常面临着从几个可行方案中选取一个实行方案的问题[2]。这就需要

一套切实可行的评价指标，用以对各种方案的电网网架进行技术经济比较。本文提出的评价指标体系见图 1，包括技术性、安全性、经济性和实施难易程度四个一级指标，同时每个指标包含多项量化下属指标。这四项一级指标构成一个整体，既可有效评价电网规划方案的优劣，也可用于现有电网的评价。

3.1. 评价指标

3.1.1. 技术性指标

电网的技术性指标主要体现电网的供电能力，是衡量电网结构是否合理、输配电传输能力是否匹配的重要指标。电网的技术性一般采用以下指标来评价。

变电站主变压器负载率 λ_{Ti} :

$$\lambda_{Ti} = \frac{P_{Ti}}{S_{Ti}} \times 100\% \quad (1)$$

式中： P_{Ti} 、 S_{Ti} 分别为变压器 i 的最大负荷和容量。

线路负载率 λ_{Li} :

$$\lambda_{Li} = \frac{P_{Li}}{S_{Li}} \times 100\% \quad (2)$$

式中： P_{Li} 、 S_{Li} 分别为流过线路 i 的最大有功潮流和容量。评价等级时按变电站出线负载率最高线路的负载率值计算。

3.1.2. 安全性指标

电网供电安全性指标是用数值大小来衡量电网安全性方面性质的量[3]。本报告从基本网架的“ $N-1$ ”通过率，同塔双回线“ $N-2$ ”情况下的损失负荷以及是否达到目标网架三个方面进行研究。

① “ $N-1$ ”通过率 P_{N-1} :

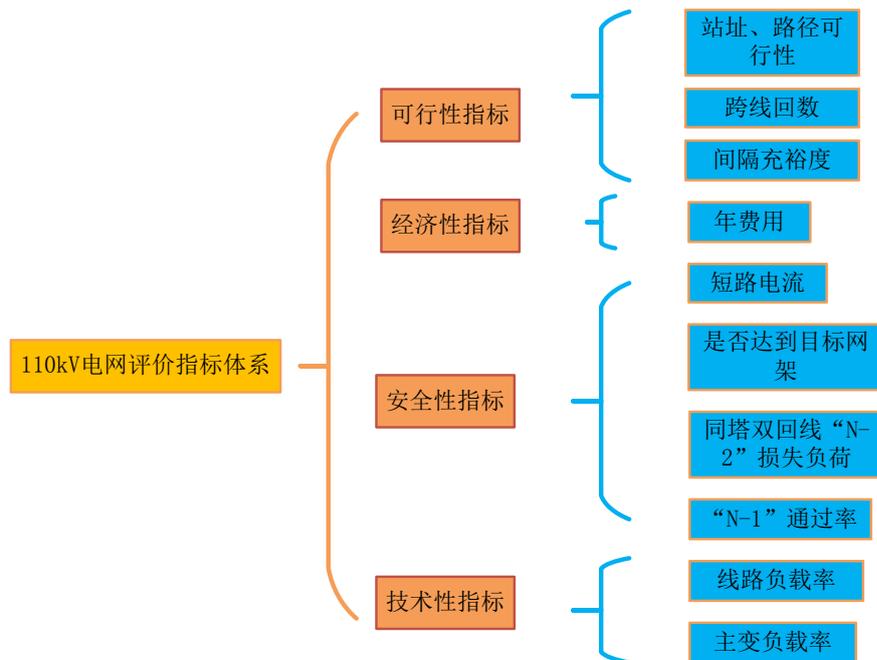


Figure 1. The evaluation index system construction of the 110 kV grid frame

图 1. 110 kV 电网网架评价指标体系结构

$$P_{N-1} = \frac{n_{N-1}}{N} \times 100\% \quad (3)$$

式中： n_{N-1} 、 N 分别为满足“ $N-1$ ”的线路条数和线路总数。

② 同塔双回线“ $N-2$ ”情况下的损失负荷 ΔP_1 ：

该指标表示同塔双回架设的线路发生“ $N-2$ ”故障时，负荷损失的值 ΔP_1 。

③ 是否达到目标网架

110 千伏电网应充分利用现有电网结构的资源，因地制宜，因网制宜，逐步形成以链式结构为主的目标网架，减少辐射方式供电。

④ 短路电流

通过对电网短路电流与短路容量的分析计算，一般是对三相短路电流的计算，评价电网网架结构的合理性、变电站主接线形式以及一次电气设备选型的合理性等，为电网采取限值短路电流措施提供依据。

3.1.3. 经济性指标

经济性指标由年费用 F_{ann} 描述，与电网络损耗和建设成本有关。电网络损耗指电网在运行期间所造成的损耗，主要考虑电网运行的有功功率损耗；电网建设成本指电网在建设、改建过程中，需要建设变电站和线路而产生的成本。

$$F_{ann} = F_{tot} \times \eta + F_{op_ann} \quad (4)$$

$$F_{tot} = F_{T_tot} + F_{L_tot} \quad (5)$$

$$\eta = \frac{i(1+i)^y}{(1+i)^y - 1} \quad (6)$$

$$F_{op_ann} = F_{con_ann} + F_{los} \quad (7)$$

$$F_{con_ann} = 0.042 \times F_{T_tot} + 0.022 \times F_{L_tot} \quad (8)$$

$$F_{los} = a \times W_{ann} \quad (9)$$

$$W_{ann} = \Delta P \times t \quad (10)$$

式中， F_{tot} 为工程建设总投资， F_{T_tot} 、 F_{L_tot} 分别为变电投资和线路投资； η 为资金回收系数， i 为投资收益率，按8%计算， y 为计算期，按25年计算，由此可查表得 η 值为0.146； F_{op_ann} 为年运行费用， F_{con_ann} 、 F_{los} 分别为维护费和网损费， W_{ann} 为全年电能损耗， ΔP 为最大负荷时功率损耗， t 为损耗小时数。

3.1.4. 可行性指标

工程实施的难易程度通常需要从接入母线间隔是否充裕，是否需跨越其他线路或铁路、高速、河流等因素决定，并考虑站址和路径的可行性。

3.2. 指标得分标准

指标的定性描述须通过量化转换成规范的定量数据，这是由不同的底层指标是基于不同含义和目的的设计而决定的。另外，量化后的数据往往具有不同的量纲和数量级，需要规范化后才能进行比较或者综合。这种利用一定的标度体系将各种原始数据转化为可用于直接比较的规范化格式就是指标得分标准[4]。

制定指标得分标准的方法采用最为广泛的是模糊隶属度法，利用隶属度函数反映被考察对象某种模糊性质或隶属某个模糊概念的程度，即建立一个从论域(被考察对象的全体)到[1, 5]上的映射。实际工程中，隶属度函数通常可以分为成本型、效益型和适中型三类。指标的得分标准实际就是该指标的隶属度

函数。隶属度函数多为单点模糊评估，在计算得到指标的具体数值后，直接对照该指标的隶属度函数，便可获得指标的得分，即某项指标对应其隶属度函数上的一个确定隶属度。

本报告将典型网架分为 5 级，分级标准见表 1。

3.3. 评估指标权重

指标权重是指各项考察指标的相对重要性程度及其在整体中所占价值比例的量化数据。平级指标权重之和必等于 1，平级指标的权重大小反映其相对于其他指标重要性的高低，一般可用向量表示，如具有 n 项指标的某层权重可表示为 $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ ，且 $X_1 + X_2 + \dots + X_n = 1$ 。指标数量不多时，通常由专家直接确定其权重；指标数量较多时，专家很难兼顾全局，此时通常按照两两比较的方式确定其权重大小。

输入收集到的指标原始数据，依据指标的计算公式，以指标的评估判据作为判断阈值计算指标数值，对照指标的评估标准将指标数值规范化。

3.4. 综合模型评分

单项指标只能够从不同侧面描述评估对象的特征，在完成各底层指标计算的基础上说明评估对象的整体状况，逐层向上计算，直至得到整个评估对象的综合评分。

$$A_j^{m+1} = \sum_{i=1}^n A_i^m W_i^m \quad (11)$$

式中， A_j^{m+1} 表示结构中第 $m+1$ 层中某指标 X_j^{m+1} 的得分， n 表示指标 X_j^{m+1} 的下一层 (m 层) 指标个数， A_i^m 表示 X_j^{m+1} 下属 m 层的第 i 个指标 X_i^m 的得分， W_i^m 则表示指标 X_i^m 权重值。

根据表 1 指标得分标准，计算得综合得分值范围为 1 分~5 分，分值越高优化方案越好。

4. 层次分析法

采用层次分析法对指标权重进行赋值和优化，可以将定性和定量相结合，将决策者对复杂系统的决策思维过程模型化、数量化，将复杂问题分解为若干因素，在各因素之间进行比较判别，得到主观与客

Table 1. The classifying standards
表 1. 分级标准

| 一级指标 | 二级指标 | 评价等级 | | | | | |
|-------|-----------------|----------|------------|------------|------------|------------|---------|
| | | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| 技术性指标 | 主变负载率 | 0%~20% | 20%~40% | 40%~60% | 60%~80% | 80%~100% | >100% |
| | 线路负载率 | 0%~20% | 20%~40% | 40%~60% | 60%~80% | 80%~100% | >100% |
| | “N-1”通过率 | 90%~100% | 70%~90% | 50%~70% | 30%~50% | 10%~30% | <10% |
| 安全性指标 | 同塔双回线“N-2 损失负荷” | 0~10 MW | 10~20 MW | 20~30 MW | 30~40 MW | 40~50 MW | >50 MW |
| | 网架结构 | 是 | | | | | 否 |
| | 短路电流 | 0~5 kA | 5~10 kA | 10~15 kA | 15~20 kA | 20~25 kA | >25 kA |
| 经济性指标 | 年费用 | <100 万元 | 100~150 万元 | 150~300 万元 | 300~450 万元 | 450~500 万元 | >500 万元 |
| 可行性指标 | 剩余间隔充裕度 | ≥5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| | 是否跨线 | 0 | 1~2 | 3~4 | 5~6 | 6~7 | >7 |
| | 站址、路径可行性 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |

观相结合、经验性与科学性相统一的权重集合。

具体步骤如下：

1) 指标分层

根据第三章所提的指标体系将所有指标分层，以本文指标体系为例，可分为 3 层，第一层具有 4 个向下隶属元素，第二层依次具有 3、1、4、2 个向下隶属元素，第三层无向下隶属元素。

2) 构造判别矩阵

对每个具有向下隶属元素的元素构造判别矩阵[5]。判别矩阵的行数和列数均为向下隶属元素的个数，设判别矩阵为

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & x_{ij} & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nn} \end{bmatrix} \quad (12)$$

根据如表 2 所示的标度表，对判别矩阵赋值。

3) 一致性检验

对上述判别矩阵 X 进行一致性检验。当 $n < 3$ 时，判别矩阵具有完全一致性；当 $n > 3$ 时，根据检验数据判定其一致性。

首先定义一致性指标 CI：

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (13)$$

式中， λ 为矩阵 X 的最大特征根， n 为矩阵 X 的阶数。

然后，引入随机一致性指标 RI，RI 随阶数的变化值如表 3 所示。

Table 2. The table of grades meaning

表 2. 标度含义表

| 值 | 强烈程度 |
|-----|--------------------|
| 1 | 相等 |
| 3 | 元素 i 稍元素 j |
| 5 | 元素 i 明显好于元素 j |
| 7 | 元素 i 比元素 j 好得多 |
| 9 | 元素 i 极端好于元素 j |
| 1/3 | 元素 i 稍次于元素 j |
| 1/5 | 元素 i 明显次于元素 j |
| 1/7 | 元素 i 比元素 j 次得多 |
| 1/9 | 元素 i 绝对次于元素 j |

注：2，4，6，8 及 1/2，1/4，1/6，1/8 表示强烈程度在相邻等级之间。

Table 3. The standard value of the stochastic consistency index

表 3. 随机一致性指标标准值

| 矩阵阶数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------|---|---|------|-----|------|
| RI | 0 | 0 | 0.58 | 0.9 | 1.12 |

最后，计算检验系数 CR：

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (14)$$

若计算结果 $CR < 0.1$ ，则认为矩阵 X 通过一致性检验，否则需调整矩阵 X 的元素取值。

4) 计算权重向量

计算矩阵 X 各行元素的几何平均值，并将集合平均值归一化，即得各元素相对权重。

5. 算例分析

根据第四章所述层次分析法计算得综合评价体系中各指标权重，见表 4。

根据变电站的优化方案计算综合评价指标，评价方案优劣。由表 1 的指标等级和表 4 的指标权重，计算方案一和方案二的综合评分，如表 5、表 6 所示。

由表 5~6 可见，变电站 A 方案一综合评分高于方案二，方案一优于方案二。

Table 4. The weight of each index in the comprehensive evaluation system

表 4. 综合评价体系各指标权重

| 一级指标 | 权重 | 二级指标 | 权重 |
|-------|--------|-----------------|--------|
| 技术性指标 | 0.3634 | 主变负载率 | 0.5 |
| | | 线路负载率 | 0.5 |
| | | “N-1”通过率 | 0.2595 |
| 安全性指标 | 0.3766 | 同塔双回线“N-2 损失负荷” | 0.1893 |
| | | 是否达到目标网架 | 0.4837 |
| | | 短路电流 | 0.0675 |
| 经济性指标 | 0.0519 | 年费用 | 1 |
| | | 间隔充裕度 | 0.2354 |
| 可行性指标 | 0.2080 | 跨线回数 | 0.3521 |
| | | 站址和路径的可行性 | 0.4125 |

Table 5. The comprehensive score of Project 1

表 5. 方案一综合评分

| 二级指标 | 权重 | 值 | 等级 | 得分 | 一级指标 | 权重 | 综合评分 |
|-----------------|--------|----------|----|------|-------|--------|------|
| 主变负载率 | 0.5 | 51% | 3 | 3 | 技术性指标 | 0.2014 | 4.17 |
| 线路负载率 | 0.5 | 47% | 3 | | | | |
| “N-1”通过率 | 0.2595 | 100% | 5 | | | | |
| 同塔双回线“N-2 损失负荷” | 0.1893 | 35.5 MW | 2 | 4.87 | 安全性指标 | 0.4314 | |
| 是否达到目标网架 | 0.4837 | 是 | 5 | | | | |
| 短路电流 | 0.0675 | 19.75 kA | 2 | 0 | 经济性指标 | 0.0507 | |
| 年费用 | 1 | 1768 万元 | 0 | | | | |
| 间隔充裕度 | 0.2354 | ≥5 | 5 | | | | |
| 是否跨线 | 0.3521 | 1 | 4 | 4.65 | 可行性指标 | 0.3165 | |
| 站址和路径的可行性 | 0.4125 | 5 | 5 | | | | |

Table 6. The comprehensive score of Project 2
表 6. 方案二综合评分

| 二级指标 | 权重 | 值 | 等级 | 得分 | 一级指标 | 权重 | 综合评分 |
|--------------------|--------|----------|----|------|-------|--------|------|
| 主变负载率 | 0.5 | 59% | 2 | 3 | 技术性指标 | 0.2014 | 3.35 |
| 线路负载率 | 0.5 | 47% | 3 | | | | |
| “N-1”通过率 | 0.2595 | 100% | 5 | | | | |
| 同塔双回线“N-2 损失负荷” | 0.1893 | 35.5 MW | 2 | 4.87 | 安全性指标 | 0.4314 | |
| 是否达到目标网架 | 0.4837 | 是 | 5 | | | | |
| 短路电流 | 0.0675 | 19.16 kA | 2 | 4 | 经济性指标 | 0.0507 | |
| 年费用 | 1 | 126 万元 | 4 | | | | |
| 间隔充裕度 | 0.2354 | 1 | 1 | | | | |
| 是否跨线 | 0.3521 | 5 | 1 | 1.41 | 可行性指标 | 0.3165 | |
| 站址和路径的可行性 | 0.4125 | 2 | 2 | | | | |

6. 总结

基于扬州电网现状网架和远景规划，计及 A、B 类供电区域优先优化的原则，以变电站 A 为例，设计优化方案，通过计算分析其技术和经济上的合理性；针对上述方案，通过现场踏勘，分析相关变电站站址和线路路径的可行性；最后，考虑各方案的实施难易程度和电网可靠性。兼顾考虑上述各项因素，建立基于层次分析法的综合评价模型，计算综合评价指标，并根据指标判断方案优劣，具备客观性和科学性。

基金项目

国家自然科学基金项目(51475246)，《磁流变悬架系统电磁干扰机理与抑制方法研究》。

参考文献

- [1] 张绕钢. 怒江电网 110kV 网架结构优化研究[J]. 中国电业(技术版), 2011(10): 25-27.
- [2] 周瑞臣, 王宏, 李秀花. 廊坊 110kV 电网存在的主要问题及对策[J]. 华北电力技术, 2007(S1): 43-45.
- [3] 谭伟球. 基于 110KV 电网网架结构优化研究[J]. 中国新技术新产品, 2011(7): 139-140.
- [4] 史雨春, 曾亮. 110kV 电网目标网架结构适应性分析[J]. 湖北电力, 2010, 34(4): 40-41.
- [5] 秦梁栋, 宋静, 徐海东, 等. 河北南网高压电网网架综合评价方法探讨[J]. 电力系统及其自动化学报, 2011, 23(3): 89-94.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2333-5394, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: jee@hanspub.org