

基于熵权和层次分析法的供电可靠性评估研究

供电可靠性评价是电力企业供电可靠性管理的重要工作，其中关键的一项就是对供电可靠性进行分析评估。针对电力系统供电可靠性业务系统数据现状，建立了电力系统供电可靠性评价指标体系。电力系统真实样本数据验证结果表明，基于熵权法与层次分析法构建的电力系统供电可靠性组合权重评价模型具有有效性和实用性，较好地反映了电力系统供电可靠性的整体水平。

李玉杰¹ 张自强¹ 张驰¹ 李志²/1. 国家电网甘肃省电力公司 2. 安徽南瑞继远软件有限公司

0 引言

供电可靠性是反映供电系统持续供电的一种能力，同时也因此成为考核供电系统电能质量的重要指标之一，并且在一定程度上反映了电力工业是否满足国民经济电能需求，供电可靠性已经成为衡量一个国家经济发达程度的标准之一。随着经济水平的快速发展和人们生活水平的持续提高，广大电力用户对供电可靠性水平的要求也越来越高。供电可靠性既是广大电力用户的迫切要求，也是供电企业自身发展的目标^[1,2]。供电可靠性水平直接反映电网的供电和服务能力，是公司服务社会生活，为生产提供电力供应的最终体现，因此从供电可靠性的角度对电网供电能力进行评价分析具有重要意义。

文献[3]从网络结构、元件电力参数两个方面探索供电设备元件可靠性模型；文献[4]从电网供电可靠性指标体系、供电可靠性水平和供电可靠性管理机制3个方面对国内外城市配电网供电可靠性指标体系进行了对比分析，完善

电网供电可靠性评价指标体系；文献[5]从常规维修率和非故障停电、故障停电与故障修复时间等方面分析了影响供电可靠性的因素，同时从运行管理、自动化技术方面阐述了提高供电可靠性的方法；文献[6-8]也研究了电网供电可靠性，总体而言目前涉及电网供电可靠性评估方面的较少。

本文将国内外供电可靠性进行归纳分析，然后结合国内供电可靠性现状水平，基于当前供电可靠性研究成果，设置供电可靠性指标体系，利用组合权重法^[9,10]构建供电可靠性分析模型，遴选现有业务系统数据进行分析挖掘，从供电可靠性的数据角度探索供电可靠性水平的发展规律，找出影响供电可靠性水平的关键影响因素。通过对供电可靠性评价指标的分析挖掘，发现公司在供电方面存在的问题，开展供电风险的预防，指导服务电网的生产活动，及时消除电网存在的缺陷，研究制定提升供电可靠性水平的工作策略，具有实际的指导意义。

1 供电可靠性评价指标体系

1.1 供电可靠性评价指标选取原则

电网供电可靠性评价模型通过对一组关键性指标的监测和分析，从而得出可靠性分析结果，并作为判断电力系统供电可靠性水平情况的依据，因此建立科学的公司供电可靠性评价指标是建立供电可靠性评价模型的重要环节。本文对公司现有业务系统供电可靠性数据现状情况进行了大量的分析研究，根



李玉杰/高级工程师

关键词/Keywords

指标体·

熵权·

层次分析法·

据研究分析结果，依据以下原则建构了供电可靠性评价指标体系：

(1) 全面覆盖、重点突出。供电可靠性评价管理工作范围覆盖供电可靠性管理所有业务数据，不仅包含有各业务系统自动采集的系统业务数据，还包含了各业务部门手工录入的数据；而且重点对系统自动采集数据进行稽查、数据溯源和分析，实现逐步提高系统自动采集接入比例，减少手工录入数据的目标；重点稽查并进行数据支撑供电可靠性评价工作及时有效开展。

(2) 循序渐进、持续优化。在供电可靠性对数据的需求基础上，结合对数据自动采集的实际情况，不断完善数据质量的核查规则，优化和提升相应的评价标准，实时动态的调整评价指标，持续优化评价体系。

(3) 定性与定量相结合的原则。电力系统供电可靠性评价中，相应的评价指标是根据评价内容的不同特点设置的，能够更准确地反映电力系统的供电可靠性现状和未来趋势。

(4) 实用性与可比性原则。设计电力系统供电可靠性评价指标需要具有以下特点：可行性、可操作性、实用性以及纵向比较和横向比较的可操作性，指标要简化以及数据易于获取。

1.2 供电可靠性指标分析

影响供电可靠性的原因可以归纳为电网结构适宜性、设备装备水平、电网运行方式、运维管

理水平、作业方式和综合计划管理六个方面。

在每个方面选取若干指标为代表，共26个指标作为影响供电可靠性的关键要素，形成26维随机向量 $X = (x_1, x_2, \dots, x_{26})^T$ ，具体如下：

(1) 在电网结构方面，选取平均供电半径、配电线路联络率、线路每线段平均用户数、 $N-1$ 通过率 and 单线单变比例5个指标。

(2) 在设备装备方面，选取变电站综合自动化率、配电自动化终端在线率、电缆化率、架空线绝缘化率和断路器无油化率5个指标。

(3) 在电网运行方面，选取负荷备用容量、事故备用容量、继电保护正确动作率和自动装置动作正确率4个指标。

(4) 在运维管理方面，选取危急严重缺陷及时消除率、故障抢修到达现场平均时长、故障平均修复时间和周期内重复检修数4个指标。

(5) 在作业方式方面，选取带电作业率、状态检修覆盖率、开关遥控率、无效停电时间和施工时间偏差率5个指标。

(6) 在综合计划管理方面，选取计划停电重复率、计划外执行时户数和计划执行率3个指标。

根据以上原则和供电可靠性原理，结合电力企业供电可靠性管理的实际情况，本文依据电力企业供电可靠性管理的现有实际情况，结合上述原则和文献^[3,5]的研究成果，得出电力企业供电可靠性评价指标体系如下图所示。

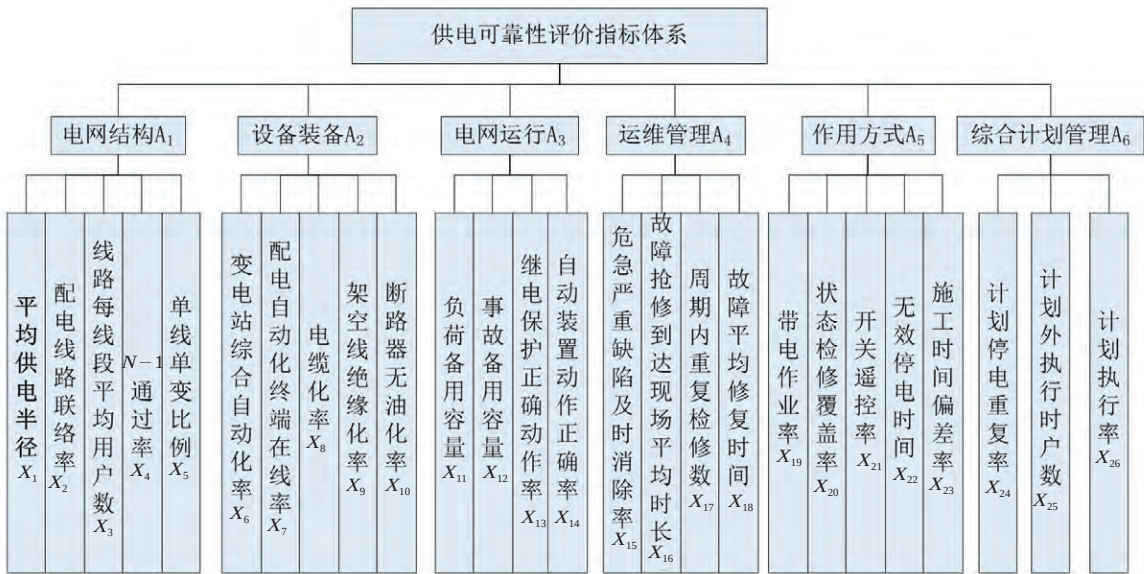


图 供电可靠性评价指标体系

2 供电可靠性评价模型

2.1 层次分析法及应用

美国匹茨堡大学教授T.L.Saaty提出的一种关于定性与定量相结合的决策分析方法,即层次分析法,此方法是将决策者的决策思维过程与经验判断实现模型化和数量化的过程。层次分析法在电力企业客户评价、供应商选择等领域得到广泛应用^[9,11]。层次分析法就是将目标问题进行分层逐步的分解细化,同时在不同的层次中引入专家经验知识。问题分解的最低层元素是电力系统供电可靠性评价的各个单项指标,但是这些单项指标要求是可以明确获取和度量的,以相对标度作为电力系统供电可靠性评价度量的测度,从而回避了绝对量求解的困难。

2.2 熵权法及应用

在确定各层次评价指标的权重过程中使用层次分析法,对专家的经验水平要求极高,同时人为主观因素对评价结果影响较大,因此要尽量消除人为主观因素对应用层次分析法实现过程中计算各评价指标权重的影响,应用熵权法^[12,14]就是一种尽可能消除人为因素影响的方法,可以使评价结果更为实际。熵权计算方法如下:

设有 m 个待评对象, n 个评价指标,则原始数据矩阵为

$$X = (x_{ij})_{m \times n} \quad (1)$$

对于某个评价指标,信息熵为

$$E_j = - \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} / \ln m \quad (2)$$

其中

$$p_{ij} = x_{ij} / \sum_{j=1}^m x_{ij}$$

评价指标的信息效用价值为 $D_j = 1 - E_j$,则该评价指标的熵权为

$$W_j = D_j / \sum_{j=1}^m D_j \quad (3)$$

2.3 组合评价模型

基于直接计算电力系统供电可靠性评价的困难及采用层次分析法的不足,本文运用组合权重法对电力系统供电可靠性进行度量,主要步骤如下所示。

步骤1:电力系统供电可靠性评价识别,确定电力系统供电可靠性评价指标 x_1 ,建立电力系统供电可靠性评价指标体系。

步骤2:应用层次分析法获得电力系统供电可靠性指标的主观权重 $W_j, j=1, 2, \dots, n$ 。

步骤3:根据式(1)、式(2)和式(3),应用熵权法计算电力系统供电可靠性评价指标的客观权重 $W_j, j=1, 2, \dots, n$ 。

步骤4:计算综合权重

$$\omega = \left\{ \frac{W_1 W_1}{\sum_{i=1}^n W_i W_i}, \frac{W_2 W_2}{\sum_{i=1}^n W_i W_i}, \dots, \frac{W_n W_n}{\sum_{i=1}^n W_i W_i} \right\} = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n) \quad (4)$$

$$\text{s.t.} = \sum_{i=1}^n \omega_j = 1; \omega_j > 0$$

步骤5:计算评价结果。利用式(4)可得第 i 个电力系统供电可靠性评价 A_i ,其中 ω_j 为综合权重, $X^* = (x_{i1}, x_{i1}, \dots, x_{in})$ 为预处理后的电力系统供电可靠性评价指标度量值。

$$A_i = \sum_{j=1}^n \omega_j X^* \times 100 \quad (5)$$

式中, $i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$ 。

3 算例分析

根据本文所建立的电力系统供电可靠性评价模型,模型要求在电网结构适宜性、设备装备水平、电网运行方式、运维管理水平、作业方式和综合计划管理6个方面选择关键指标,共计26个子指标建立模型。

受数据限制,可在测试中对原模型进行简化,分别在以上6个方面各选取1个代表性指标。其中,在电网结构方面,选取城市配电线路联络率;在设备装备方面,选取配电自动化终端在线率;在电网运行方面,选取继电保护正确动作率;在运维管理方面,选取抢修到达现场平均时长;在作业方式方面,选取带电作业率;在综合计划管理方面,选取计划停电重复率。针对这6个指标,搜集某电力公司下属8家单位相关数据开展仿真测试(见下表)。

(1)对下表所示的6个指标应用层次分析法计算电力系统供电可靠性评价指标的主观权重向量为

$$W = (0.2, 0.16, 0.18, 0.15, 0.18, 0.13)$$

(2)应用熵权法,运用式(1)、式(2)和式(3)计算电力系统供电可靠性评价指标的客观权重向量为

$$w = (0.25, 0.15, 0.18, 0.16, 0.14, 0.12)$$

表 公司供电可靠性评估的指标值

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8
X_2	0.85	0.80	0.86	0.75	0.70	0.50	0.74	0.65
X_7	0.75	0.70	0.65	0.68	0.60	0.75	0.74	0.72
X_{13}	1.00	1.00	1.00	0.90	0.95	0.85	0.93	0.90
X_{16}	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95	0.90
X_{19}	0.85	0.80	0.82	0.75	0.70	0.50	0.78	0.65
X_{24}	0.75	0.70	0.65	0.68	0.60	0.75	0.74	0.72

(3) 应用式 (4) 计算得到电力系统供电可靠性评价指标的综合权重为

$$\bar{\omega} = (0.292, 0.140, 0.190, 0.140, 0.147, 0.091)$$

(4) 计算电力系统供电可靠性综合评价结果, 应用式 (5) 可得各单位电力系统供电可靠性综合评价度量值

根据上述结果可以得到公司的8家下属单位电力系统供电可靠性综合评价排序为

$$A = (87.63, 84.28, 85.17, 79.72, 76.62, 69.42, 81.13, 74.86)$$

该评价结果和公司下属8家单位的电力系统供电可靠性综合评价结果与实际情况较为一致, 从而证明了该评价模型的有效性。

$$A_1 > A_3 > A_2 > A_7 > A_4 > A_5 > A_8 > A_6$$

4 结束语

本文分别介绍了层次分析法和熵权法的优缺点, 并对二者进行取长补短组合起来建立了电力系统供电可靠性综合评价模型, 充分发挥二者的优势, 使构成的模型更能够体现供电可靠性。并结合电力企业业务系统支撑信息系统的数据进行案例分析, 验证了该评价模型的适用有效, 并能够较全面地反映电力系统供电可靠性的总体水平。

参考文献

[1] Q/GDW156-2006, 城市电力网规划设计导则[S].
[2] 蓝毓俊. 现代城市电网规划设计与建设改造[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004: 64-66.
[3] 杨慧. 供电可靠性研究[J]. 科技创新与应用, 2012, 7: 105-106.
[4] 宋云亭, 张东霞, 吴俊玲, 等. 国内外城市配电网供电可靠性对比分析[J]. 电网技术, 2008, 32(23): 13-17.

[5] 梁荣波. 影响供电可靠性的因素, 加强配电运行管理[J]. 项目管理与质量控制, 2013(8): 256-257.
[6] 郭永基. 电力系统可靠性分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003: 124-132.
[7] 郭永基. 可靠性工程原理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002: 10-16.
[8] 宋云亭. 发输电合成系统可靠性综合评估的智能模型和算法研究[D]. 北京: 清华大学博士学位论文, 2003.
[9] 冯义, 李洪东, 田廓, 等. 基于熵权和层次分析法的电力客户风险评估及其规避[J]. 继电器, 2007, 35(24): 67-73.
[10] 陈文斌, 龚代圣. 基于AHP熵权法的信息化厂商评价模型及应用[J]. 现代电子技术, 2012, 35(12): 102-106.
[11] 刘宁, 高飞燕. 基于AHP-FCE的供应商选择问题研究与应用[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(11): 11-13.
[12] 朱强, 阎子刚. 基于AHP与TOPSIS算法的供应商选择决策方法[J]. 物流与信息, 2008, 17(02): 197-199.
[13] 王道平, 王煦. 基于AHP/熵值法的钢铁企业绿色供应商选择指标权重研究[J]. 软科学, 2010, 24(8): 117-122.
[14] 罗军刚, 解建仓, 阮本清. 基于熵权的水资源短缺风险模糊综合评价模型及应用[J]. 水利学报, 2008, (9).

(收稿日期: 2015-05-26) EA

作者简介

李玉杰 (1970-), 男, 硕士, 正高级工程师, 多年从事电力信息化工作, 现从事电力公司运营监测工作。
张自强 (1975-), 男, 高级工程师, 多年从事电力生产调度工作, 现从事电力公司运营监测工作。