基于模糊综合评判理论的配电网运行风险评估

张彩庆, 陈绍辉, 马金莉
(华北电力大学 经济管理系, 河北保定 071003)

摘 要: 本文从配电网运行的内部环境因素和外部环境因素综合考虑了影响其运行风险的各种不确定因素。通过确定风险因素集、指标集以及采用三角模糊数互补判断矩阵确定风险权重集, 建立了配电网运行风险的模糊综合评判矩阵, 并运用于配电网运行的外部风险评估。最后, 通过实例证明了模型的可操作性。

关键词: 配电网; 不确定因素; 模糊综合评判; 风险评估
中图分类号: TM711 文献标识码: A 文章编号: 1002-980X(2010)10-0053-04

为了满足经济发展的要求, 我国电网建设正在朝着高电压、远距离输送, 智能化、覆盖幅度越来越广的方向发展, 这势必给电网带来较大的运行风险。配电网是直接连接消费者的低压电网结构, 只有保证配电网的安全稳定运行, 才能够保证整个电网的安全可靠和电网公司的经济效益。因此, 只有正确识别和评估配电网的风险因素, 才能够行之有效地规避配电网的运行风险。

有关配电网运行的经济性[1-2]的研究中, 有关配电网网架结构设计和资金合理利用优化组合方面的研究已有很多, 并取得了很大的进展。但是, 配电网风险研究方面的文献还是比较欠缺, 只是单纯从电网规划方面[3-5]进行了电网的风险评估, 考虑的风险因素比较少, 没有综合考虑配电网运行风险的所有不确定因素。因此, 本文在现有文献的基础上, 结合前面的研究成果, 综合考虑影响配电网运行的不确定因素, 评估配电网运行风险。

本文采用基于模糊综合评判理论[6], 结合三角模糊数互补判断矩阵的层次分析法对风险指标进行权重赋值, 构建配电网运行风险评估模型, 最后通过算例分析和实例证明, 说明了模型的可操作性, 为电网公司采取有效的技术和管理手段降低配电网运行风险提供了理论指导。

1 配电网运行风险评估模型

1.1 评价原理

模糊综合评判法进行风险评价的基本原理是: 综合考虑所有风险因素的影响程度, 并设置权重区别各因素的重要性, 通过构建数学模型, 推算出风险的各种可能性程度, 其中可能性程度值高者为风险水平的最终确定值。

1.2 风险评价因素集的确定[7]

设为配电网运行风险因素集, 将性质相近的因素分在一组, 即一级风险指标集:

$$S = \{S_1, S_2, \cdots, S_l\}。 \quad (1)$$

式(1)中: S_i 代表 S 中的第 i 组因素, $S = \bigcup_{i=1}^{l} S_i (i = 1, 2, \cdots, l)$。

针对每个 S_i 有 n 个风险因素, 构成二级风险指标集, 表示为 $S_i = \{s_{i1}, s_{i2}, \cdots, s_{in}\}$。这样, 将风险因素集合分为多层次集合。

1.3 风险指标集的确立

风险评价中, 对风险程度的衡量很难用精确数据来描述, 具有一定的模糊性, 因此可根据其模糊性建立风险指标集 $V = \{v_1, v_2, \cdots, v_m\}$。

其中: m 表示风险指标集的数目; v_j 表示风险指标, $j = 1, 2, \cdots, m$。

1.4 模型风险因素权重的确定

考虑到确定权重时, 决策者的思维往往带有模糊不确定性, 采用基于三角模糊数互补判断矩阵的层次分析法对权重赋值[8]。分别将模型各层次相关因素两两比较, 构造各因素权重的三角模糊数互补判断矩阵 $\boldsymbol{Q} = (q_{ij})_{n\times n}$, 其中, 三角模糊数 $q_{ij} = (q_{ij}^l, q_{ij}^m, q_{ij}^u)$, q_{ij}^l、q_{ij}^m 和 q_{ij}^u 分别表示因素 q_i 与 q_j 进行重要性比较, 决策者给出的 q_i 相对 q_j 的最悲观、最可能和最乐观估计。由矩阵 $\boldsymbol{Q}$, 求得模糊权重向量 $\boldsymbol{A}$ =

收稿日期: 2010-07-05
作者简介: 张彩庆(1964—), 男, 河北唐山人, 华北电力大学经济管理系教授, 博士, 研究方向: 电力市场、电力经济管理; 陈绍辉(1987—), 男, 云南玉溪人, 华北电力大学经济管理系硕士研究生, 研究方向: 电力经济管理; 马金莉(1984—), 女, 河北保定人, 华北电力大学经济管理系硕士研究生, 研究方向: 企业管理。

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$(a_1, a_2, \cdots, a_i \cdots, a_n)$。其中:

$$a_i = (a_i^l, a_i^m, a_i^u) = \frac{\sum_{j=1}^{n} q^{ij}}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} q^{ij}} \tag{2}$$

$$= \left(\frac{\sum_{j=1}^{n} q_{ij}^{i}}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} q_{ij}^{u}}, \frac{\sum_{j=1}^{n} q_{ij}^{m}}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} q_{ij}^{m}}, \frac{\sum_{j=1}^{n} q_{ij}^{u}}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} q_{ij}^{l}} \right)。$$

建立可能度矩阵 $\boldsymbol{P} = (p^{ij})_{n\times n} = p(q^i \geqslant q^j)$,并通过可能度矩阵排序公式得到权重值 a_i:

$$a_i = \frac{1}{n}\left(\sum_{j=1}^{n} p_{ij} + 1 - \frac{n}{2} \right)。 \tag{3}$$

其中:

$$p_{ij} = 0.5\max\left[1 - \max\left(\frac{a_j^m - a_i^l}{a_i^m - a_i^l + a_j^m - a_j^l}, 0 \right), 0 \right] + 0.5\max\left[1 - \max\left(\frac{a_j^u - a_i^m}{a_i^u - a_i^m + a_j^u - a_j^m}, 0 \right), 0 \right]。 \tag{4}$$

最终得到每一性质相近的指标的权重 $A = (a_1, a_2, \cdots, a_n)$,下一级风险指标的权重 $A_i = (a_{i1}, a_{i2}, \cdots, a_{in})$。

1.5　风险综合评估矩阵的确定

假设第个一级指标下有个二级指标,根据各二级指标对风险指标集的隶属度建立单因素模糊评判矩阵:

$$\boldsymbol{R}_i = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}。 \tag{5}$$

式(5)中: $r_{i1} + r_{i2} + \cdots + r_{im} = 1$, r_{mn} 表示第 i 个一级指标下第 m 个二级指标相对于第 n 个风险等级的隶属度。

可以得到风险因素子集 S_i 的综合评估矩阵 $\boldsymbol{B}_i$:

$$\boldsymbol{B}_i = \boldsymbol{A}_i \cdot \boldsymbol{R}_i = (b_{i1}, b_{i2}, \cdots, b_{im})。 \tag{6}$$

然后,确定高层因素的风险模糊综合评估矩阵 $\boldsymbol{B}$:

$$\boldsymbol{B} = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 \cdot R_1 \\ A_2 \cdot R_2 \\ \vdots \\ A_l \cdot R_l \end{bmatrix}_{l\times m}。 \tag{7}$$

2　配电网运行风险识别

配电网风险的根源在于其行为的概率性,设备的随机故障、负荷的不确定性、外部和人为等因素的影响都难以准确预测,这些因素可能导致系统发生局部甚至全网的大面积停电事故。本文从外部环境因素和内部环境因素两个大方面来进行配电网运行风险识别。

2.1　外部环境因素

(1) 电力体制改革带来的风险。电力体制改革的主要任务是实施厂网分开,重组发电和电网企业实行竞价上网,建立电力市场运行规则和政府监管体系,初步建立竞争、开放的区域电力市场,开展发电企业向大用户直接供电的试点工作,改变电网企业独家购买电力的格局,继续推进农村电力管理体制的改革。电力市场化改革必然与电网运行存在一定矛盾,其风险主要表现在:管理体制的风险。电力体制改革前发电和电网是一个企业,企业在对发电的安全管理上既要考虑发电的安全,又要考虑电网的安全,同时在兼顾企业自身利益的同时,还要考虑电网对社会带来的影响。电力体制改革后,发电与电网企业分离开来,因为不再承担电网安全责任,发电企业更多关心自身利益,因而给电网安全稳定所要求的统一调度、统一协调带来困难,同时对电力调度生产单位对发电企业与电网的协调带来了新的要求和挑战。

(2) 电网运行环境风险。主要表现为运行的不可控制性,其运行生产过程中面临着自然、社会、技术、环境和人身等多种风险。结合电网调度运行的特点,具体分析如下: ①意外事件带来的风险。电力设备运行的自然环境逐年恶化。近年来,由于环境污染日趋严重,因此导致电力设备的污闪等级增加,绝缘等级降低,而目前电网企业对于电力运行设备的运行维护还缺乏行之有效的防范手段和措施。②配电网网架结构风险。体现于电网安全运营,评价这一风险的常用指标如线路绝缘化率、跳闸率、线路负荷率、主干线互供能力等。③备用容量风险,体现在两个方面,一方面是电网负荷过重,输送能力已经达到极限,缺乏必要的裕度;另一方面是电网无功出力和无功补偿装置容量不足。④电力系统装备水平、设备质量风险。⑤法律、法规带来的风险。发达国家关于电网运行方面的法规制度不仅严谨,而且明确,易于执行,而我国则缺乏层次分明、体系清晰的制度体系。

2.2　内部环境因素

配电网运行的内部风险主要包括运行操作风险、管理实践风险及人员素质风险。

配电网运行风险主要是调度操作风险,这也是调度运行部门最难控制的风险之一。通常与调度员违反安全操作规程或调度水平不高有关。电网调度运行人员对电网突发事故的处理也存在风险,如果在事故处理时对电网信息掌握不够,处理不果断,可能造成事故的扩大,延缓停电设备送电,这样造成的不仅是经济上的损失,还将对社会造成恶劣的影响。

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

调度员对发电负荷的控制主要依据调度方式建议给出的发电计划进行调整, 而这种发电调整属于中长期调整方式, 对于发电负荷短期预测和调整较少, 或者基本没有考虑, 因而极易造成发电计划突变(因气候及其他无预见性因素等)。如果再发生全网输电网络结构变化(电网发生输电网事故等), 此时调度员没有采取相关措施或考虑、调整负荷不当, 很可能引起输电断面潮流超稳定运行限额, 设备重载或过载, 存在严重的操作风险。

电负荷流程管理也主要是靠调度员人为进行负荷短期预测, 目前还缺乏有效的科学根据。这样执行用电负荷控制的结果, 可能造成用电负荷分配的不平衡, 严重的话还将造成局部地区窝电的现象即局部地区用电富裕, 而某些地区却用电紧张, 甚至出现因缺电引发的拉闸限电现象。

此外, 内部环境因素除了上述因素外, 还包括因社会制约机制不健全、管理层次过多、管理观念存在差距而导致的管理实践风险, 因员工文化水平、素质差异导致的员工人员风险。

通过以上对电网运行的风险因素识别, 将风险源汇总统计, 建立电网运行风险因素汇总表, 如表 1 所示。

表 **1** 配电网运行风险因素

	风险类别		风险因素
配电网运行风险	外部风险	电力体制改革带来的风险	管理体制变更; 节约成本的措施对电网稳定水平产生负面影响; 潮流剧变引发输电阻塞; 电网运行和控制的复杂性增加, 稳定性降低; 机构重组造成安全生产责任制体系变化
		电网运行环境风险	电网网架结构薄弱; 设备陈旧, 运行可靠性差; 备用容量不足; 电力设施被盗、线下违章作业造成故障; 自然灾害、环境污染及社会经济问题造成设备故障
	内部风险	调度操作风险	调度操作票拟定复杂; 调度员专业知识、经验不足
		发电负荷控制风险	对发电负荷计划变化没有及时应对
		用电负荷控制风险	负荷预测不准确
		管理实践风险	社会制约机制不健全; 管理层次过多; 管理观念存在差距
		员工素质风险	员工道德素质; 员工文化素质; 员工技术素质

3 配电网运行风险评估实例

以配电网外部因素为例, 利用建立的综合评估模型, 综合计算评估外部因素对配电网的运行风险。影响配电网运行风险的外部因素 S 有两组, $S=(S_1, S_2)=$ (电力体制改革带来的风险, 电网运行环境风险)。此外, 由表 1 可知, $S_1=(s_{11}, s_{12}, s_{13}, s_{14}, a_{15})$, $S_2=(s_{21}, s_{22}, s_{23}, s_{24}, s_{25})$。

采用三角模糊数互补判断矩阵的层次分析法对权重的赋值见表 2。

根据其模糊性构建风险因素集, 这里将风险因素集划分为五个等级, $m=5$: $V=(v_1, v_2, v_3, v_4, v_5)=$ (低, 较低, 中, 较高, 高)

本文根据专家的专业知识和经验, 运用德尔菲法对风险指标赋予针对风险因素集的隶属度, 建立单因素模糊评估矩阵:

表 **2** 配电网外部风险因素权重的确定

	S_1	S_2	权重			
S_1	(0.50 0.50 0.5)	(0.20 0.30 0.5)	0.25			
S_2	(0.50 0.70 0.8)	(0.50 0.50 0.5)	0.75			
	s_{11}	s_{12}	s_{13}	s_{14}	s_{15}	权重
s_{11}	(0.50 0.50 0.5)	(0.40 0.50 0.6)	(0.30 0.40 0.6)	(0.40 0.60 0.7)	(0.30 0.50 0.6)	0.1867
s_{12}	(0.40 0.50 0.6)	(0.50 0.50 0.5)	(0.40 0.60 0.7)	(0.40 0.70 0.8)	(0.30 0.40 0.6)	0.2688
s_{13}	(0.40 0.60 0.7)	(0.30 0.40 0.6)	(0.50 0.50 0.5)	(0.30 0.60 0.7)	(0.40 0.50 0.6)	0.2273
s_{14}	(0.30 0.40 0.6)	(0.20 0.30 0.6)	(0.30 0.40 0.7)	(0.50 0.50 0.5)	(0.30 0.40 0.6)	0.0727
s_{15}	(0.40 0.50 0.7)	(0.40 0.60 0.7)	(0.40 0.50 0.4)	(0.40 0.60 0.7)	(0.50 0.50 0.5)	0.2602
	s_{21}	s_{22}	s_{23}	s_{24}	s_{25}	权重
s_{21}	(0.50 0.50 0.5)	(0.40 0.50 0.6)	(0.30 0.60 0.8)	(0.30 0.60 0.7)	(0.30 0.60 0.9)	0.2666
s_{22}	(0.40 0.50 0.6)	(0.50 0.50 0.5)	(0.40 0.60 0.8)	(0.20 0.60 0.8)	(0.30 0.60 0.8)	0.2666
s_{23}	(0.20 0.40 0.7)	(0.20 0.40 0.6)	(0.50 0.50 0.5)	(0.40 0.50 0.6)	(0.30 0.40 0.7)	0.1311
s_{24}	(0.30 0.40 0.7)	(0.20 0.40 0.8)	(0.40 0.50 0.6)	(0.50 0.50 0.5)	(0.30 0.40 0.7)	0.1548
s_{25}	(0.10 0.40 0.7)	(0.20 0.40 0.7)	(0.30 0.60 0.7)	(0.30 0.60 0.7)	(0.50 0.50 0.5)	0.1808

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$R_1 = \begin{pmatrix} 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.2 & 0.2 \\ 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.1 \\ 0.1 & 0.1 & 0.2 & 0.4 & 0.2 \\ 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.1 & 0.1 \end{pmatrix};$$

$$R_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0.1 & 0.1 & 0.5 & 0.3 \\ 0 & 0.1 & 0.1 & 0.4 & 0.4 \\ 0 & 0.2 & 0.2 & 0.4 & 0.2 \\ 0.1 & 0.2 & 0.2 & 0.3 & 0.2 \\ 0.1 & 0.1 & 0.2 & 0.4 & 0.2 \end{pmatrix}。$$

根据式(6)计算得到 B_i:

$B_1 = A_1 \cdot R_1 = (0.1545, 0.2219, 0.3243, 0.1875, 0.1275)$;

$B_2 = A_2 \cdot R_2 = (0.0336, 0.1286, 0.1467, 0.4111, 0.2800)$。

根据式(7),得到综合风险模糊评估矩阵 B:

$B = (0.0940, 0.1752, 0.2355, 0.2993, 0.2037)$。

进行归一化处理得到:

$B = (0.0933, 0.1739, 0.2337, 0.2970, 0.2021)$。

根据隶属度最大化原则,外部风险因素对配电网运行风险影响是较高的。

4 结论

本文综合考虑了配电网运行风险的各种不确定因素,运用模糊数学的方法建立配电网运行风险评估模型,通过算例计算与实际例子证明,证明了模型的可操作性。考虑到模型的简化,在实际问题中还有一些有待改进的方面:(1)在考虑影响配电网运行风险的不确定性因素时,影响配电网风险的指标还不够完善,也不能保证各风险指标没有存在关联性,有待进一步改进;(2)为了简化模型,将某些风险指标直接作为底层因素,而一些指标还可以进一步细分,这样有助于更好的把握影响配电网风险的风险指标,防护措施还能够更加的具体;(3)确定风险指标权重时采用三角模糊数互补判断矩阵的层次分析法对权重赋值,可以有进一步的改进,使得各风险指标的权重更加精确。

参考文献

[1] 熊振东,程鹏. 中压配电网供电方案经济性分析[J]. 电力系统及其自动化学报, 2010, 22(1): 150-155.

[2] 卢志刚,韩彦玲,常磊. 基于组合权重的配电网运行经济性评价[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(18): 1-5.

[3] 杨高峰,康重庆, Li Furong, Kirschen D. 电网规划方案的适应性与风险评估[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(23): 1-7.

[4] 刘铠滢,蔡述涛,张尧. 基于风险评判的电网规划方法[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(22): 69-73.

[5] 鞠非. 电网项目风险的系统评价研究[J]. 华东电力, 2009, 37(11): 1864-1867

[6] 汪培庄. 模糊系统理论与模糊计算机[M]. 北京: 科学出版社, 1996.

[7] 梁丁相,陈曦. 基于模糊综合评判理论的电力信息系统安全风险评估模型及应用[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(5): 61-64.

[8] 代曼,陈云翔,向玲. 不确定多属性决策中的一种模糊赋权方法[J]. 数学的实践与认识, 2007, 37(15): 60-64.

Assessment on Operation Risk of Distribution Network Based on Fuzzy Synthetic Evaluation Theory

Zhang Caiqing, Chen Shaohui, Ma Jinli

(School of Economics and Management, North China Electric Power University, Baoding Hebei 071003, China)

Abstract: According to internal and external environment factors, this paper considers comprehensively uncertain factors affecting operation risk of distribution network. And it establishes a fuzzy synthetical assessing matrix on operation risk of distribution network through building risk factor set, index set and risk weight set based on triangular fuzzy complementary judgment matrix, and applies the matrix to assess external operation risk of distribution network. Through the numerical example, it verifies that this model is feasible.

Key words: distribution network; uncertain factor; fuzzy synthetic evaluation; risk assessment

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net