

配电网快速可靠性 评估及重构方法

何禹清 何红斌 彭建春 / 著



非外借



科学出版社

配电网快速可靠性评估及重构方法

何禹清 何红斌 彭建春 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

配电网的可靠性评估是电网可靠运行的重要保障,配电网的最优重构是确保电网安全经济运行的基础。本书总结研究团队多年来在配电网可靠性评估和重构方法的思路与经验,系统介绍配电网的快速可靠性评估和重构的新问题和新方法。全书共 7 章,涵盖常规配电网和含分布式电源配电网的可靠性评估和重构,以及涵盖上述方法的相关软件平台开发等内容。

本书适合从事电网规划和可靠性研究的科研人员、高等院校相关专业师生、电网企业管理及技术人员参考学习。

图书在版编目(CIP)数据

配电网快速可靠性评估及重构方法 / 何禹清, 何红斌, 彭建春著.
—北京: 科学出版社, 2017.8
ISBN 978-7-03-054168-0

I. 配… II. ①何… ②何… ③彭… III. 配电系统-可靠性-评估
IV. TM727

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 197289 号

责任编辑: 魏英杰 / 责任校对: 桂伟利
责任印制: 张 伟 / 封面设计: 陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京中石油彩色印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 8 月第 一 版 开本: 720 × 1000

2017 年 8 月第一次印刷 印张: 10 1/2

字数: 208 000

定价: 85.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)



前 言

配电网是连接输电网和用户的桥梁，其运行状态直接关系到用户的用电质量和供电企业的经济效益。配电网可靠性评估是电网可靠运行的重要保障，配电网最优重构是确保电网安全经济运行的基础。近年来随着分布式电源的迅速发展，配电网在结构和运行上出现许多新问题。利用常规理论和方法来解决这种新型配电网的可靠性和经济运行问题时，出现了许多局限性。研究含分布式电源的新型配电网的快速可靠性评估和重构方法，具有重要的理论和工程实际意义。

本书结合含分布式电源的新型配电网与传统配电网的差异，探讨适用任意结构配电网快速、准确的可靠性评估方法和重构方法。主要内容包括针对含主电源和一个备用电源的配电网，构造主网络和支网络，并基于故障传递特性，提出快速可靠性评估算法；通过对风电功率的概率特性和支网络故障特性的分析，构造风电的供电能力范围、供电次序和供电概率，提出考虑风电能量随机性的配电网可靠性评估新网络模型和快速算法；基于网络简化，给出元环的概念，并构造反映负荷在元环路径上引起有功损耗大小的负荷耗散分量和路径耗散因子，提出配电网重构的最小可行分析对象及其快速分析算法；考虑风电出力的随机性使含风电的配电网重构难以用传统模型来描述，构造含风电的配电网重构的场景模型及高效遗传算法；基于对可靠性指标评价体系的分析，提出考虑系统有功网损、平均供电可用率指标和系统供电量不足指标的配电网重构多目标模型及分阶段算法；以传统配电网和新型配电网的可靠性评估和重构方法等一系列模型和算法为基础，论述配电网快速可靠性评估及重构优化的软件系统的开发框架及实用化。

本书得到国家电网公司科技项目“适应新型城镇化的配电网协调规划关键技术及实证研究”和国网湖南省电力公司科技项目“湖南配

电网低电压治理关键技术装备研究与应用”的资助，在此表示感谢。在写作过程中，参考了国内外出版的相关文献，在此一并感谢。

限于作者学识水平，书中不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

目 录

前言

第 1 章	绪论	1
1.1	背景和意义	1
1.2	配电网可靠性评估的研究现状	4
1.2.1	模拟法	4
1.2.2	解析法	5
1.2.3	人工智能算法	9
1.2.4	含分布式电源的可靠性评估方法	10
1.2.5	各种方法的对比分析	11
1.3	配电网重构的研究现状	11
1.3.1	支路交换法	12
1.3.2	最优流法	13
1.3.3	人工智能算法	13
1.3.4	其他方法	17
1.3.5	含分布式电源的配电网重构方法	18
1.3.6	各种方法的对比分析	18
第 2 章	基于故障传递特性的配电网可靠性快速评估	20
2.1	概述	20
2.2	配电网可靠性评估的新模型	21
2.2.1	主网络和支网络及并列片	21
2.2.2	支网络元件的通用描述	23
2.3	支网络中元件可靠性指标的逆流传递	24
2.3.1	支网络中元件可靠性指标的逆流传递特性	24
2.3.2	支网络中各节点逆流可靠性指标的算法	25
2.4	支网络中片可靠性指标的顺流归并	26
2.4.1	支网络中片可靠性指标的顺流归并特性	26
2.4.2	支网络中各节点顺流可靠性指标的算法	27
2.5	配电网节点可靠性指标的新算法	28
2.5.1	新算法的框图	28
2.5.2	主网络各节点的可靠性指标	29

2.5.3	支网络各节点的可靠性指标	30
2.6	有效性分析	30
2.6.1	准确度和适用性	30
2.6.2	计算量	31
2.7	算例分析	31
2.7.1	实例计算	32
2.7.2	准确性对比分析	39
2.7.3	计算效率对比分析	40
2.8	小结	40
第3章	考虑风电随机性的配电网可靠性快速评估	42
3.1	概述	42
3.2	配电网可靠性评估的网络模型	43
3.2.1	开关-区域块网络	43
3.2.2	主网络和支网络模型	45
3.3	风电功率的概率模型及供电能力范围	45
3.3.1	风电功率的概率模型	45
3.3.2	风电功率的供电能力范围	46
3.4	考虑风电随机性的快速可靠性评估算法	48
3.4.1	支网络中元件可靠性指标的逆流传递	48
3.4.2	主网络节点的可靠性指标	49
3.4.3	支网络节点可靠性指标的顺流传递	50
3.4.4	考虑风电随机性的顺流可靠性指标修正	52
3.4.5	支网络各节点的可靠性指标	53
3.5	快速可靠性评估算法的流程	53
3.6	算例分析	54
3.6.1	风电系统对可靠性的影响	57
3.6.2	风电系统接入位置的影响	58
3.6.3	风速参数和额定容量对可靠性的影响	62
3.6.4	新方法的计算效率	66
3.7	小结	67
第4章	基于最小可行分析对象的配电网快速重构	68
4.1	概述	68
4.2	辐射型配电网重构的最小可行分析对象	69
4.2.1	辐射型配电网的结构分析	69
4.2.2	负荷功率与支路有功损耗的关系	71

4.2.3	元环-配电网重构中的最小可行分析对象	73
4.3	基于路径耗散因子的配电网重构	75
4.3.1	负荷耗散分量和路径耗散因子	76
4.3.2	路径耗散因子的性质	77
4.3.3	支路交换的启发式规则	78
4.4	算法步骤	79
4.5	算例分析	80
4.6	小结	86
第 5 章	考虑风电随机性的配电网重构场景模型和算法	87
5.1	概述	87
5.2	含风电机组配电网重构的特点	88
5.3	含风电的配电网重构策略	89
5.3.1	单个风电的场景策略	89
5.3.2	多个风电的场景策略	91
5.3.3	场景电压	92
5.3.4	风电机组的无功补偿策略	93
5.4	含风电的配电网重构的场景模型	94
5.4.1	目标函数	94
5.4.2	约束条件	94
5.5	求解重构场景模型的高效遗传算法	95
5.5.1	染色体编码	95
5.5.2	初始种群生成	96
5.5.3	交叉操作	96
5.5.4	优生操作	97
5.5.5	终止条件	98
5.5.6	多场景潮流计算的简化	98
5.5.7	算法流程	99
5.6	算例分析	100
5.6.1	单个风电接入	100
5.6.2	多个风电接入	101
5.6.3	算法性能	104
5.7	小结	106
第 6 章	考虑可靠性的配电网重构	107
6.1	概述	107
6.2	考虑可靠性的配电网重构目标函数	108

6.2.1	传统配电网重构的目标函数	108
6.2.2	新型配电网重构的目标函数	108
6.2.3	目标函数的归一化	111
6.3	考虑可靠性的配电网重构新模型	113
6.3.1	目标函数	113
6.3.2	约束条件	114
6.4	考虑可靠性的配电网重构模型求解	115
6.4.1	目标函数的处理	115
6.4.2	模型求解	117
6.5	算例分析	119
6.5.1	不含风电机组的情况	119
6.5.2	含有风电机组的情况	123
6.6	小结	126
第7章	配电网快速可靠性评估及重构优化系统	127
7.1	概述	127
7.2	系统总体结构	128
7.2.1	系统开发平台	128
7.2.2	系统数据结构	128
7.2.3	系统功能结构	129
7.3	核心功能模块	134
7.3.1	可靠性评估分析模块	134
7.3.2	网络重构分析模块	136
7.3.3	综合网络优化模块	137
7.4	使用方法	139
7.4.1	实际配电网简介	139
7.4.2	可靠性评估分析模块的应用	139
7.4.3	网络重构分析模块的应用	140
7.4.4	综合网络优化模块的应用	141
7.5	小结	142
参考文献		143
附录A	RBTS-BUS6 测试系统数据	152
附录B	IEEE 33 节点配电系统数据	153
附录C	IEEE 69 节点配电系统数据	155

第1章 绪 论

1.1 背景和意义

过去几十年,我国电力规划和建设中普遍存在着“重发,轻输,不管供”的偏向。配电网作为直接面向用户的重要纽带长期缺乏合理的规划与资金投入,致使很多地区呈现出有电送不进、送进用不上、用上质量差等典型矛盾。进入21世纪,国家对配电网的投入比例不断加大,配电网结构和运行水平得到了极大改善,但由于历史欠账太多,配电网运行的可靠性和经济性仍处于较低水平。配电网发展的滞后已经严重阻碍了国民经济的发展和人民生活质量的提高,成为我国实现智能化电网的重要障碍。

配电网作为电力系统中规模最大、分布最广、最具多样性的一个子系统^[1],遍布于人们生产和生活的每一个角落,是为生产和生活提供营养和动力的“毛细血管”,其重要性主要体现在以下几个方面。

① 它是直接与用户相连的系统,是电力系统向用户提供电能和分配电能的重要环节。由于当前阶段电能不可能大规模地储存,因此一旦配电网出现故障,不但会造成用户停电,而且会使处于系统上游的发、输电系统也不能正常工作,产生连锁性反应。从这点看,其重要性不亚于发、输电系统。

② 配电网是对用户用电影响最大的子系统。配电网的设备数量多、分布广,其线路长度和元件数目远多于发、输电系统,并且这些元件一般是采用辐射式网络进行连接,故障概率大。据不完全统计,用户停电故障中80%以上是由电力系统中的配电环节的故障引起的。

③ 随着经济的发展和人们生活水平的不断提高,大量的电器设备和电子产品进入千家万户,人们对电能的要求已不仅仅局限于有电可用的层面,对配电网的可靠性和电能质量的要求越来越高。为满足这些需求,加大对配电网的资金投入是必不可少的。

④ 随着电力市场的发展,电力企业的经营和管理策略逐步从生产管理转移到以用户为中心的层面上来。提高供电可靠性和供电质量,加强用户对企业的信任对电力企业自身发展非常重要。同时,提高配电网的供电效率、减少网络损耗,也是从另一个方面提高电力企业的效益和竞争力,为国家的“节能减排”战略尽到应有的责任。

配电网的重要性密切关系到人们的生活、企业的效益和国家的长远发展,但由于长期“重发轻供”局面的存在,我国的配电网,特别是农村配电网的现状极其落后,很多地区基本的供电可靠性和供电质量都得不到满足。这一方面是由于资金投入不足导致的设备陈旧问题,另一方面则是由于配电网规划和运行理念的落后及执行力不够导致的网络结构混乱问题,主要体现在以下方面。

① 在规划过程中,很多线路出现明显的“卡脖子”现象,如在主干线中出现小段的小截面导线,大大降低了线路的供电能力。

② 在可以形成手拉手供电的情况下,未形成手拉手式的弱环网结构,使线路出现故障无法实现负荷的转供,大大降低了供电的可靠性。

③ 在不需要形成手拉手供电的情况下(一般为两条长的配电线路),形成了手拉手式的弱环网结构。这种弱环网结构本质上是一种假互联,实际并不具备转供负荷的能力,不仅加大了配电网的投资成本,同时元件数目的增多也降低了线路的可靠性。

④ 没有实现就近的分区供电,部分地区出现迂回供电的情况,具体表现在不同变电站出现交互供电,这种情况在降低可靠性的同时也增加了损耗。

⑤ 配电线路上不设开关或者开关装设的位置不合理,一旦出现故障便造成整条线路或大部分线路失电。

配电网存在的上述问题导致我国配电网供电可靠性和经济性低下。先进国家和地区的配电网供电可靠率普遍达到 99.9986%及以上水平,而我国 2014 年城市电网供电可靠率为 99.9710%、农网供电可靠率为 99.9350%。美国全国平均年户停电时间为 58min,日本全国平均年户停电时间为 90min,而我国全国平均年户停电时间长达 3.14h。同时,我国配电系统目前线损率很高,均值达 7%以上,仅 10kV 网络的

损耗就占全网损耗的 22.25%，而发达国家线损率仅为 5.6% 左右。

配电网除结构混乱等历史遗留问题，还面临着分布式电源并网带来的一系列新问题。近年来分布式电源，特别是风力发电、生物能发电、燃气轮机、太阳能发电和光伏电池、燃料电池、微型燃气轮机、内燃机等清洁能源在我国得到了迅速发展，大量的分布式电源从配电网接入系统。这些新型电源为缓解当前电力紧张、改善我国的能源结构作出了巨大经济贡献，并产生了良好的社会效益，同时这些新型电源的并网使配电网在结构和运行特性上与传统电网有明显的区别，给电网的规划和运行带来了新的问题和挑战。这主要体现在以下两个方面。

① 在传统配电网(含备用电源)中，主电源和备用电源虽在结构上相连(环网结构)，但总是开环运行(正常时备用电源不供电)。在含分布式电源的配电网中，主电源和分布式电源不但在结构上相连，而且往往环网运行，即负荷由主电源和分布式电源同时供电。当系统侧电源故障时，配电网中的分布式电源不能像备用电源那样在容量上满足所有区域的电力需求，往往只能满足部分区域的电力供应，而且这种可供区域的大小具有很强的随机性。

② 分布式电源的出力直接受自然环境等外界随机因素的影响，这使线路潮流与含备用电源的传统配电网中的情况不同，不但方向变化频繁，而且大小也变化频繁。线路和系统的网损和电压受这种随机性影响很大，在一种确定的分布式电源出力条件下得到的规划和运行方案，在其他出力状态下不一定是最优方案，有时甚至是一种威胁系统安全稳定运行的不可行方案。

鉴于配电网在电力系统和国民经济发展中的重要性及其面临的问题和系列挑战，在进行大量资金投入的同时，还需要从理论上指导配电网的规划和运行。配电网的可靠性评估作为识别网络结构薄弱环节的基本评估手段，是电网可靠运行的重要保障，而配电网的最优重构是确保电网安全经济运行的基础，对这两个问题进行深入的研究具有重要的理论和现实意义。

1.2 配电网可靠性评估的研究现状

配电网可靠性的研究始于 20 世纪 60 年代,美国、英国、加拿大、日本、法国及俄罗斯等工业技术发展较快的先进国家都成立了专门的研究机构,开展配电系统可靠性方面的研究。这个时期所做的主要工作是配电网可靠性评估原始数据的收集和整理工作,配电网可靠性评估的指标体系在这个阶段也得到建立和完善。我国在 20 世纪 80 年代以前,由于电力工业的规模、统计数据和分析方法的匮乏,可靠性评估这一领域发展非常缓慢。直至 1985 年,我国成立了电力可靠性管理中心,颁布了《配电系统供电可靠性统计办法(试行)》,才真正开展了设备可靠性统计等基础性工作。进入 90 年代以来,国家对配电系统可靠性的研究更加重视,10kV 用户供电可靠性开始被列入供电安全考核项目中;2003 年 6 月电力可靠性管理中心正式颁布了《供电系统用户供电可靠性评价规程》;2007 年 7 月又编制了《用户供电可靠性管理工作手册》,对可靠性管理工作进行了详细规范,配电网可靠性的研究工作得到了进一步的发展^[2-7]。配电网可靠性评估是可靠性研究中最重要环节,目前配电网可靠性评估方法综合起来可以分为模拟法、解析法和人工智能算法。

1.2.1 模拟法

配电网可靠性评估的模拟法一般采用蒙特卡罗仿真法。蒙特卡罗仿真法^[8-13]通过模拟元件的故障、老化过程,统计在仿真时间内网络的故障次数和影响范围来获取可靠性指标。该方法能够模拟元件的复杂寿命过程和复杂系统行为,可以充分计及元件的非指数分布的修复时间和重叠故障,为客观评价不同状态下网络的可靠性提供良好的工具。采用蒙特卡罗仿真法既可以提供可靠性指标的期望值,又能得到指标的概率分布,易于察觉某些发生概率小但对系统影响大的事件。

蒙特卡罗仿真法直接运用于配电网的可靠性评估时仍存在较多的缺陷和不足^[14-16],主要表现在运用该方法仿真所得的可靠性指标的可靠

信度与仿真计算时间和抽样样本数量密切相关,通常为了获得足够的可靠性指标精度,需要大量增加抽样次数,导致计算量增大,计算时间变长,难以满足在线评估的要求。针对蒙特卡罗仿真法的不足,大量的学者进行了研究,并提出许多有效的改善方法。Goel 等^[17]探讨了蒙特卡罗法参数对可靠性评估速度和准确性的影响,提出考虑评估速度和准确性的折中参数选择方法。丁明等^[18]采用改进的控制变量法来减少样本方差,以提高蒙特卡罗法仿真效率。王成山等^[19]提出准区域仿真和简化区域仿真两种非序贯蒙特卡罗法,通过对分区系统进行状态抽样,获得分区系统的可靠性参数,该方法大大提高了蒙特卡罗法的仿真效率。万国成等^[20]将蒙特卡罗法与解析法相结合来减少故障区域的数量,减少仿真时间。

1.2.2 解析法

相对模拟法仿真时间过长的不足,解析法以此快速性和准确性在工程中得到了更加广泛的运用。解析法的主要思路是通过对各元件故障产生的影响分析,列出全部可能的故障影响事件,再据此综合得出各负荷点的可靠性指标,以及系统的可靠性指标。解析法的主要优点是物理概念清楚、模型精度高。

当然,解析法也存在一些不足,主要表现在以下方面。

① 不能模拟具有多种故障特性的电力元件,仅适用电力元件的状态概率呈指数分布。

② 不能计及节点负荷特性的变化。

③ 计算量随着系统的增大、元件数目的增多而急剧增加。

④ 不易求解频率指标等。

目前对于解析法的改良主要针对第三个缺陷。针对这个问题的研究非常多,根据考虑元件故障影响范围和配电网网络简化思路的不同,可细分为故障模式影响分析法、最小路法、最小割集法、网络等值法、区域分块法等。

1. 故障模式影响分析法

故障模式影响分析(failure-mode-effect-analysis, FMEA)法^[21-27]是

一种原理简单、清晰的可靠性评估算法。该方法的具体分析步骤是根据各元件的可靠性参数列出系统可能出现的全部状态,然后对各元件故障产生的影响分析,列出全部可能的故障影响事件表,再据此综合得出各负荷点和系统的可靠性指标。该方法已广泛用于小型配电系统的可靠性评估中。但是,从其分析步骤可以看出,对元件多、结构复杂的配电网,不但基本故障事件表的规模随元件数的平方增长,而且电网结构的复杂性使基本故障事件表的建立深度和广度搜索量剧增,因此 FMEA 法计算量大、速度慢。

很多学者提出解决故障事件表搜索的改进方法,最具代表性的方法是故障遍历法和故障扩散法。李志民等^[28]首先提出故障遍历法,该算法根据配电系统的结构特点,将树的先根优先遍历和后根优先遍历技术分别用于配电网潮流的功率前推和回代计算,实现与可靠性评估算法的结合。李卫星等^[29]的基础上,提出适应配电网拓扑结构变化的改进故障遍历算法,该算法利用父向搜索法确定故障的影响范围,并利用广度优先遍历搜索法将系统的故障分为故障修复区前向故障恢复区和后向故障恢复区。徐珍霞等^[30]利用数据结构中的深度搜索方法对故障后果相同的设备进行合并,然后对合并后的最小隔离块设定可靠性参数,只需对最小隔离块进行一次枚举分析即可实现对所有隔离块的参数赋值。该方法减少了设备枚举数量,同时避免了由于设备故障类型不同造成的重复枚举。

2. 最小路法

最小路法的基本思想是通过对配电网中每个负荷点求取最小供电路径,并将非最小路上元件故障对负荷点可靠性的影响折算到相应的最小路节点上,然后对其最小路上的元件与节点进行计算,便可得到负荷点相应的可靠性指标。相对于故障模式影响分析,最小路法可以大大减少故障事件表的维数。但该算法对由主馈线和分支馈线组成的较复杂的系统,其最小路的求解和简化工作非常复杂。

针对最小路法的不足^[31],不少学者提出改进思想。别朝红等^[32]采用最小路法分析分支线保护、隔离开关、分段断路器及计划检修的影

响, 计算效率与 FMEA 法相比有了较大的提高。文献[33], [34]也提出基于最小路的配电系统可靠性评估算法, 该算法将系统中的元件分成最小路元件和非最小路元件, 分别研究它们对负荷点可靠性的影响。谢开贵等^[35]基于图论的思想提出一种确定任意节点至电源点或任意两节点间最小路的算法, 提高了最小路的寻找效率。

3. 最小割集法

最小割集法是研究可靠性的一种经典方法。一个最小割集是指包含最少数量, 而又最必需的底事件的割集, 全部最小割集的完整集合则代表了给定系统的全部故障。最小割集法将待研究的电力元件失效集合限制在最小割集以内, 减少了需要分析的故障事件数。

许多学者把最小割集法引入配电网可靠性评估领域, 并针对配电网的特殊性, 提出一些改良方法。姚李孝等^[36]提出将各元件对负荷点可靠性指标的影响分为直接割集和间接割集, 将元件的故障模式对系统的后果影响限制在最小割集范围内, 提高了评估的效率。杨文字等^[37]采用最小割集理论, 提出一种通用的可计算机实现的配电系统可靠性评估算法。Ozdemir 等^[38]通过确定基本最小割集来简化故障的模拟, 提高了计算效率。张鹏等^[39]提出一种结合最小割集法的 FMEA 法, 使 FMEA 可应用大规模配电系统可靠性评估, 使最小割集算法适用于大规模配电网。别朝红等^[40]提出由最小路求取最小割集思路, 并将负荷点供电的路径分为正常供电路径和备用源路径, 通过判断两种路径事件是否相重, 得到可靠性的主要指标。

相比故障模式影响分析法和最小路法, 最小割集法的计算量有所减少, 但是对于复杂的大型配电系统来说, 最小割集法仍然非常费时。

4. 网络等值法

网络等值法是对复杂网络进行等效简化的方法。该方法首先由 Billinton 提出^[41], 其基本原理是: 首先利用一个等效元件来代替最底层的子馈线, 并利用这一思想逐级向上等效直到等效后的网络不存在支网络为止, 对最后得到的等效网络利用 FMEA 法或最小路法计算各节点的可靠性指标, 完成上行等效过程。然后, 将所得到的可靠性指

标代替等效前的子馈线,计算该子馈线的可靠性指标,重复这一过程直到最底层的子馈线,完成下行等效过程。最后,综合各个负荷点的可靠性指标得到系统的可靠性指标。

网络等值法的基本思想得到很多学者的认同,他们 also 对该方法的某些方面进行了补充和发展。文献[42]指出文献[41]在考虑各分支馈线首端所设断路器的影响的不足,给出了修正的网络等值法数学模型,该模型能充分计及熔断器、断路器、备用变压器等设备的影响。Wang等^[43]提出多状态等效模型,并将复杂配电系统的等效模型用支路等效模型和多状态串联元件等效模型来描述,该算法能够确定负荷点的可靠性指标和整个电力系统的用户因停电而遭受的损失。夏岩等^[44]将网络元件和分支子馈线分类组合成节点和线路两种集合元件,采取分层结构描述它们之间的拓扑关系,通过对各层集合元件的宽度优先搜索,使网络结构得到简化。沈亚东等^[45]提出一种单向等值方法,该方法首先将整个网络中相连的断路器/隔离开关之间的所有元件/负荷点等值成一个负荷点,然后通过不断的由下而上的网络等值将整个配电网逐步等值成一个节点。该方法在整个等值过程中,所有元件只需遍历一次,从而避免冗余计算。

网络等值法不需要建立故障事件表,计算量大大减少,对辐射状配电网而言,该方法具有很好的适应性,但是该方法还存在两方面的不足。

① 需要对子馈线进行连续等值。

② 只能得到等效负荷和系统的可靠性指标,不能直接得到各负荷点的可靠性指标,若需求取负荷点的指标值,则必须从等效负荷出发,用FMEA法来求取,计算量将呈指数增大。

5. 区域分块法

陆志峰等^[46]采用故障模式影响分析法对网络结构进行故障后果区域划分,找出与负荷点停电模式相关的不同元件集合,并得出以下结论:配电系统中负荷点可靠性指标不但与故障元件有关,而且也与故障后隔离故障,以及恢复供电的开关装置有关。这一结论是区域分块