

一种基于典型接线模式的城市复杂中压配电网的可靠性评估算法

张 顺¹, 文承毅², 何礼鹏², 陈明帆², 吕 懿², 李琳玮²

(1. 中国电力工程顾问集团中南电力设计院有限公司, 湖北 武汉 430071;

2. 海南电网有限责任公司, 海南 海口 572023)

摘要: 随着中国经济由高速增长阶段转向高质量发展阶段, 全社会对电力的依赖程度越来越高, 广大用户对供电可靠性提出了更高的要求。在分析复杂配电网网络结构的基础上, 提出了一种将含有分支馈线的复杂配电网转化为典型接线模型的方法; 在详细分析系统各供电可靠性指标的基础上, 提出了一种基于典型接线模式的供电可靠性算法, 并依托某城区配电网模型进行了仿真验证, 仿真结果表明该算法的有效性。

关键词: 复杂配电网; 典型接线; 简化模型; 可靠性评估

中图分类号: TM732 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2020)04-0020-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2020.04.005

An Algorithm of Reliability Evaluation for Urban Complex MV Distribution Network Based on Typical Connection Modes

Zhang Shun¹, Wen Chengyi², He Lipeng², Chen Mingfan², Lyu Yi², Li Linwei²

(1. Central Southern China Electric Power Design Institute, Wuhan 430071, Hubei, China;

2. Hainan Power Grid Co., Ltd., Haikou 572023, Hainan, China)

Abstract: As the economy in China shifts from a high-speed growth stage to a high-quality development stage, the whole society is increasingly dependent on electricity, and users have put forward higher requirements for power supply reliability. Based on the analysis of the network connection of complex distribution network, a simplified method for transforming a complex distribution network with branch feeders into a typical wiring model is proposed. Based on a detailed analysis of the reliability indicators of the system, a power supply reliability algorithm based on typical wiring modes is proposed. And the simulation verification is carried out based on the distribution network model of an urban area. Simulation results show the effectiveness of the proposed algorithm.

Key words: complex distribution network; typical connection modes; simplified model; reliability evaluation

0 引 言

随着中国经济由高速增长阶段转向高质量发展阶段, 全社会对电力的依赖程度越来越高, 广大用户对供电可靠性提出了更高的要求^[1-5]。因此, 在进行配电网规划和建设时需把提高配电网供电可靠性摆在十分重要的位置。

配电网可靠性评估常用方法为故障模式后果分析法(failure mode and effect analysis, FMEA)。该方法通过对各元件状态失效事件进行分析, 并确定对负荷点的影响, 分析系统故障模式集合, 最终形成负荷

点及系统可靠性指标。FMEA法对简单配电网的可靠性评估较有效。但实际配电网中往往含有多种接线模式或复杂分支馈线的区域配电网系统, 这种网络结构复杂、故障模式多, 如直接用FMEA法搜索复杂系统所有元件的状态, 随着元件数目的增多, 系统故障模式将急剧增加, 计算量呈指数增长^[6-8]。

国内外已有较多文献针对复杂配电网供电可靠性计算做了深入研究。文献[9]结合复杂中压配电网结构特点, 提出可靠性评估的快速分块算法; 但其只适合开环运行的配电网, 对闭环运行的配电网存在局限性。文献[10]根据复杂配电网特点将网络分块, 将块等效为简单支路形成简化网络模型。文

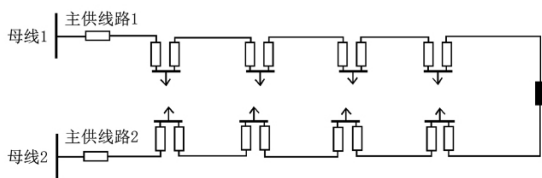
献[11]通过对配电网工作机理的分析,介绍了一种带有复杂分支馈线的配电网可靠性评估的网络等值法;但该模型未考虑含有较多主干馈线的大规模配电网可靠性评估简化问题。

复杂中压配电网架结构尽管含有较多复杂的分支馈线,但主干馈线基本是由典型接线模式构成,下面首先分析了城市复杂中压配电网的接线模式,将复杂配电网依据典型接线模式进行简化,将含有复杂分支馈线的网架结构转化为典型接线模式,同时将配电网系统供电可靠率的计算公式进行相应转化,形成了一种基于典型接线模式的复杂配电网可靠性评估算法。该方法有效解决了大型复杂配电网可靠性计算采用FMEA法所面临的故障模式多、计算量大的问题,对规划阶段的中压配电网可靠性评估具有较强的实用价值。

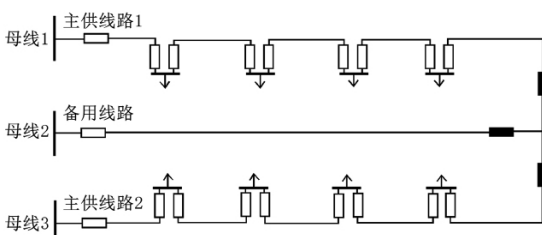
1 复杂中压配电网接线模式分析及简化

城市配电网一般由架空线和电缆线混合组成。通过分析国内外城市中压配电网结构可以发现,城市中压配电网可以分为两层,上层为中压主干馈线,下层为分支馈线。主干线一般采用典型接线模式(分别为单环网、双环网、两供一备、三供一备、花瓣形接线),分支馈线均呈辐射状。主干馈线常用接线方式见图1。

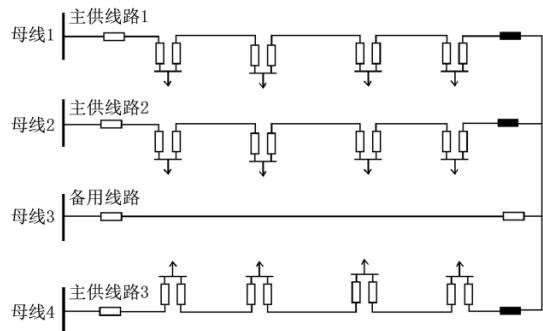
中压配电网一般在馈线上每隔一定距离安装一个分段断路器,而含子馈线的复杂系统在子馈线入口处也会安装断路器。考虑到分支线入口处一般安装有熔断器(或负荷开关),发生故障时熔断器动作,不影响网络其他部分,故将分支馈线连同分支馈线上的设备构成一个分支块。块内元件的故障后果



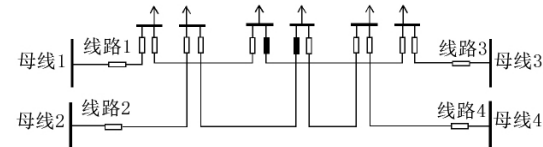
(a) 单环网接线模式



(b) 两供一备接线模式



(c) 三供一备接线模式



(d) 双环网接线模式

图1 中压配电网常用接线方式

相同且具有整体性,运行方式的变化不会打破块的结构。因此,为方便分析整个系统的可靠性,将每个分支馈线等效为一个负荷点。

图2 为复杂配电网的化简流程。

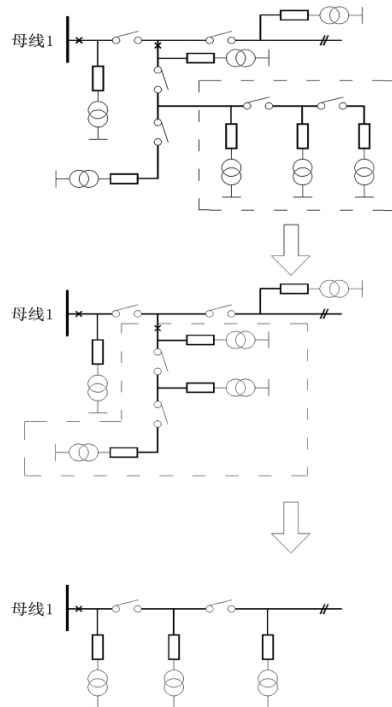


图2 复杂配电网等效网络

2 复杂中压配电网系统可靠性指标

文献[12]给出了中压配电网可靠性评估的相关指标,其定义及计算公式如下:

1) 系统平均故障停电时间期望值,指供电系统用户在单位年度内的平均停电小时数,记作 SAIDI,

单位为 h/(户·年), 计算公式为

$$SAIDI = \frac{\sum \text{用户停电时间期望值}}{\text{系统总用户数}} = \frac{\sum \mu_i N_i}{\sum N_i} \quad (1)$$

式中: μ_i 为负荷点 i 的年停电时间; N_i 为负荷点 i 的用户数。

2) 平均供电可靠率期望值, 指在单位年度内, 对用户有效供电总小时数期望值与单位年度总小时数的比值, 记作 ASAI, 计算公式为

$$ASAI = 1 - \frac{\text{系统平均停电时间期望值}}{\text{单位年度总小时数}} = 1 - \frac{\sum \mu_i N_i}{\sum N_i \times 8760} \quad (2)$$

假设某配电网系统经上节的化简原则化简后包含 m 条主干馈线, 第 i 条主干馈线包含 m_i 个负荷点。则该配电网系统共有 $n = \sum_{i=1}^m m_i$ 个负荷点, 则式

(1) 可以做如下转化:

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i N_i}{\sum_{i=1}^n N_i} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{i=1}^{m_i} \mu_i N_i}{\sum_{i=1}^m \sum_{i=1}^{m_i} N_i} = \sum_{j=1}^m \frac{\sum_{i=1}^{m_j} \mu_i N_i}{\sum_{i=1}^{m_j} N_i} \times \frac{\sum_{i=1}^{m_j} N_i}{\sum_{i=1}^n N_i} = \sum_{j=1}^m \frac{\sum_{i=1}^{m_j} \mu_i N_i}{\sum_{i=1}^{m_j} N_i} \times k_j \quad (3)$$

$$SAIDI = \sum_{j=1}^m SAIDI_j \times k_j \quad (4)$$

式中: $SAIDI_j$ 为第 j 条主干接线的平均故障停电时间期望值; k_j 为接线模式负荷点占比, 即第 j 条接线模式的用户数与全区域配网的用户总数的比值。

$$k_j = \frac{\sum_{i=1}^{m_j} N_i}{\sum_{i=1}^n N_i} \quad (5)$$

同样, 系统平均供电可靠率期望值可做如下转化:

$$ASAI = 1 - \frac{\sum \mu_i N_i}{\sum N_i \times 8760} = \sum_{j=1}^m k_j - \sum_{j=1}^m \frac{\sum_{i=1}^{m_j} \mu_i N_i}{\sum_{i=1}^{m_j} N_i \times 8760} \times k_j = \sum_{j=1}^m \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{m_j} \mu_i N_i}{\sum_{i=1}^{m_j} N_i \times 8760} \right) \times k_j \quad (6)$$

$$ASAI = \sum_{j=1}^m ASAI_j \times k_j \quad (7)$$

式中, $ASAI_j$ 为第 j 条主干接线的平均供电可靠率期望值。

3 可靠性评估算法描述

利用前面介绍的模型简化方法将待评估系统简化为多种典型接线模式后, 就可以典型接线为单位对系统进行可靠性评估。基于典型接线模式的复杂中压配电网可靠性评估算法可描述为:

- 1) 读入原始数据;
- 2) 统计数据 统计各典型接线模式所带用户数量, 计算各典型接线模式负荷点占比;
- 3) 网络简化 将带分支馈线的复杂中压配电网转化为典型接线的配电网;
- 4) 利用 FMEA 法计算不同接线模式馈线的可靠性指标;
- 5) 利用所提的复杂中压配电网可靠性指标计算公式计算系统可靠性指标。

因此经过上述分析, 针对复杂中压配电网的可靠性评估可以简化为对几种典型接线的可靠性评估。需要说明的是, 以上供电可靠性公式的转化过程是基于以下 2 个假设:

- 1) 该区域的各主干馈线的相同设备的故障率和修复时间一致。这是因为对于某一特定地区的配电网来说, 其设备水平、管理水平等对于不同的接线并无差异化。
- 2) 该区域的分支馈线入口处需安装有熔断器或负荷开关, 分支馈线的故障只对该馈线的可靠性有影响, 对主干馈线的供电可靠性无影响。

4 算例分析

以某城区中压配电网为例进行仿真验证, 图 3 给出了 2018 年该城区中压电网网架结构图。该城区共有 10 kV 线路 42 回, 其中架空线路 2 回, 电缆线路 40 回。从拓扑图可以发现, 河西站、河口站、卓达站的部分 10 kV 线路为非典型接线, 需将其简化为典型接线。可以发现, 凤凰岛 I、II、III、IV 线为分支线, 可将其等效为负荷点, 同样, 凤西线和海岸线可以等效为负荷点; 吉祥线、解放 I 线、T12 线、解放

II 线、儿童线、通港 II 线构成较为复杂的非典型接线,依据等效原则,可将此 6 回线等效为 3 组单环网。简化后的拓扑图如图 4 所示。

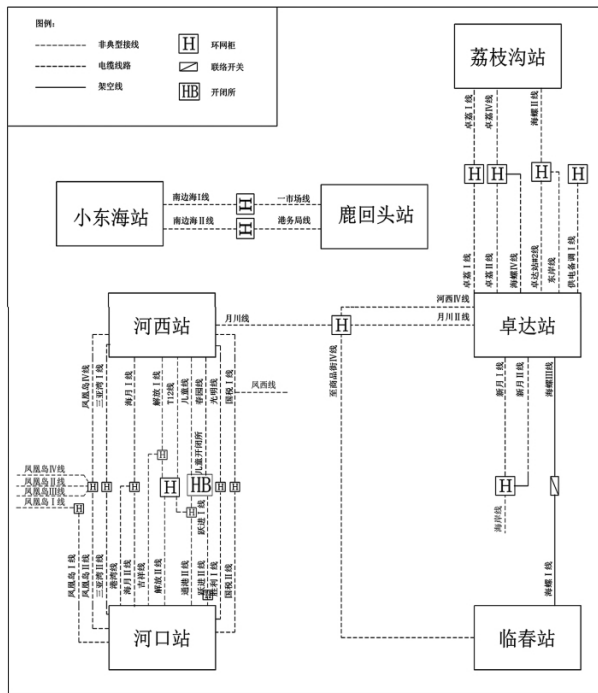


图 3 某城区中压配电网等效网络

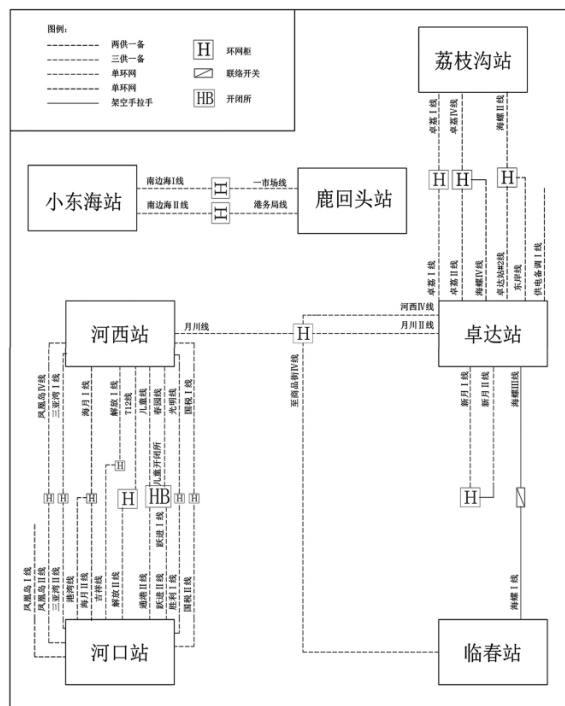


图 4 某城区中压配电网简化等效网络

对城区典型接线情况进行统计,结果见表 1 所示。

根据电网公司调度运行日志,整理出城区的供电可靠性参数如表 2 所示。表中: λ_1 为单台设备或

每公里线路故障率,次/(年·km)或次/(年·台); λ_2 为单台设备或每公里线路预安排停电率,次/(年·km)或次/(年·台); r_1 为设备或线路的平均故障修复时间 h /次; r_2 为设备或线路的平均预安排停电时间 h /次; s 为平均故障隔离和倒闸切换时间 h 。

表 1 城区典型接线基本情况

接线形式	组数	线路总条数/回	负荷点占比/%
两供一备	3	9	21.95
三供一备	1	4	9.76
单环网	12	24	58.54
单辐射	2	2	4.88
架空手拉手	1	2	4.88

表 2 城区供电可靠性参数表

设备分类	λ_1	λ_2	r_1	r_2	s
架空线路	8.20	0.002 0	2.5	7.92	0.5
电缆线路	2.20	0.127 9	5.5	7.92	0.5
配电变压器	1.24	0.030 0	4.0	7.92	0.5
断路器	0.04	0.180 0	4.0	7.92	0.5
负荷开关	1.64	1.940 0	4.0	7.92	0.5
隔离开关	0.07	0.290 0	4.0	7.92	0.5

采用文献[12]所提供的 FMEA 法,分别计算出城区中压电网各典型接线模式的可靠性指标,结果如表 3 所示。

表 3 城区典型接线模式可靠性指标

分析指标	两供一备	三供一备	单环网	单辐射	架空手拉手
理论供电可靠率/%	99.997 9	99.997 9	99.955 5	99.748 8	99.996 8
城区各接线模式负荷点占比/%	28.57	9.52	52.38	4.76	4.76

根据表 3 计算结果和式(7),可计算得到该城区供电可靠率理论计算值为

$$ASAI = \sum ASAI_j \times k_j = 99.960 8\%$$

依据电网公司提供相关资料,2018 年该市城区停电时间为 3.36 h,转化为供电可靠率为 99.961 6%,说明所提出的算法有效可靠。

5 结 论

在分析复杂配电网网络接线的基础上,出了一种基于典型接线模式的复杂配电网的可靠性评估算(下转第 83 页)

改造完成后应做以下试验,验证改造的正确性:

1) 在 902、904 开关柜内对 902、904 断路器保护、备自投电流回路进行通流,观察对应装置采样是否正确。

2) 在 2 号主变压器低 1 后备保护对 902、904 断路器进行传动试验,验证主变压器保护低压侧跳闸回路的正确性。

3) 使 902、904 断路器处于各种位置,观察 10 kV 备自投装置合后位置、跳闸位置的开入是否正确。

4) 进行 10 kV 备自投的传动试验,验证 902、904 断路器的出口回路。

3 结 语

前面提出了一种主变压器采用双分支接线方式的改造方案。当 10 kV 负荷增大,需要启用 904 断路器对 2 号主变压器低压侧 902 断路器上流过的电流进行分流时,选择了一种相对最优的一次解决方案以及对应的继电保护部分的改造方案。在 3 号主变压器投运前能够有效地解决断路器负荷过大的问题。

参考文献

[1] 邱志强. 110 kV 变电站由内桥接线改为线变组接线的

(上接第 23 页)

法。该算法首先将复杂配电网依据典型接线模式进行简化,然后计算各典型接线模式的供电可靠率,最后计算整个系统的供电可靠率。

该算法将含有分支馈线的复杂配电网转化为典型接线模式的配电网,简化了配电网拓扑结构,减少了计算量,对规划阶段的中压配电网可靠性评估具有较强的实用价值。

参考文献

[1] 国网运检部. 实施“1135”战略 打造现代配电网[N]. 国家电网报, 2018-8-28(007).

[2] 肖白, 郭蓓. 配电网规划研究综述[J]. 电力自动化设备, 2018, 38(12): 200-211.

[3] 孔涛, 程浩忠, 李钢, 等. 配电网规划研究综述[J]. 电网技术, 2009, 33(19): 92-99.

[4] 苏海峰, 张建华, 梁志瑞, 等. 基于 LCC 和改进粒子群算法的配电网多阶段网架规划优化[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(4): 118-125.

[5] 张建. 中压配电网典型接线理论供电可靠性研究[J]. 云南电力技术, 2019, 47(5): 24-27.

[6] 李可, 马孝义, 邢化玲, 等. 基于网络等值的复杂中压

保护整定方案分析[J]. 机电信息, 2014(27): 31-31.

[2] 国家电网公司运维检修部. 国家电网公司十八项电网重大反事故措施(修订版) 考试题库[M]. 2018.

[3] 李雄春. 无人值班站主变低后备保护动作分析及处理[J]. 山东工业技术, 2019(1): 164-164.

[4] Ming Li, Jingqiang Li. A Wide Area Standby Power Supply Automatic Switching Scheme Based on Smart Grid[J]. Power System Protection & Control, 2013, 41(11): 129-133.

[5] 金鑫锋. 变电站备自投动作条件分析及改进[D]. 北京: 华北电力大学, 2015.

[6] 袁文. 某 110 kV 变电站备自投装置拒动异常分析[J]. 通讯世界, 2017(22): 142-143.

[7] 张新来. 110 kV 变电站母线保护与备自投配合关系分析[J]. 电工技术, 2017(11): 86-87.

[8] 樊占锋, 刘星, 刘益青, 等. 利用站域信息的智能变电站变压器后备保护方案[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(19): 140-146.

作者简介:

邹经鑫(1988), 博士, 工程师, 研究方向为电力设备故障与老化状态诊断及继电保护。

(收稿日期: 2020-05-06)

配电网修正的可靠性评估模型[J]. 电力学报, 2010, 25(2): 103-106.

[7] 张启亮, 刘倩影. 基于故障模式后果分析法的配电网网架结构可靠性研究[J]. 黑龙江电力, 2017, 39(3): 220-223.

[8] 姚孝李, 彭金宁, 伍利, 等. 复杂配电系统的可靠性评估[J]. 西安理工大学学报, 2004, 20(1): 44-48.

[9] 刘柏私, 谢开贵, 马春雷, 等. 复杂中压配电网的可靠性评估分块算法[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(4): 40-46.

[10] 卫志农, 周封伟, 肖川凌, 等. 基于简化网络模型的复杂中压配电网分析可靠性评估算法[J]. 电网技术, 2006, 30(15): 72-77.

[11] Billinton R, Wang P. Reliability - network - network - equivalent Approach to Distribution - system - reliability Evaluation[J]. IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution, 1998, 145(2): 149-153.

[12] 中压配电网可靠性评估导则: DL/T 1563—2016[S], 2016.

作者简介:

张 顺(1992), 硕士, 工程师, 主要从事电网规划设计工作。

(收稿日期: 2020-04-28)