

北京地区 10 kV 配电网架空线路 自环互联式接线研究分析

刘保全

(国网北京市电力公司亦庄供电公司,北京 100176)

摘要: 针对 10 kV 架空线路普遍采用的树枝式、单电源单环、双电源单环、三电源单环以及分段多联络等传统网络结构进行了研究分析,阐述了它们存在的共性问题,并在此基础上针对性地提出了自环互联式接线方式,从方式灵活性、供电可靠性、异常方式影响以及负载率等方面论证了此种接线方式的优势,为北京地区 10 kV 架空线路规划与改造提供了一种较为科学的参考方案。

关键词: 架空线路; 接线方式; 异常方式; 可靠性; 负载率

中图分类号: TM726.3 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2018)04-0023-05

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2018.04.006

Research and Analysis on Self-ring Inter-connection Mode for 10 kV Overhead Line of Beijing Distribution Network

Liu Baoquan

(Yizhuang Power Supply Company of State Grid Beijing Electric Power Company, Beijing 100176, China)

Abstract: The traditional network structures such as single power branch, single-supply single ring, double-supply single ring, three-supply single ring and multi-segment with multi-contact and so on adopted widely in 10 kV overhead lines are analyzed, and the common problems are explained. On this basis, self-ring inter-connection mode is proposed accordingly. The advantages of this kind of connection mode are demonstrated from the flexibility, power supply reliability, influence of abnormal mode, load rate and so on, which provides a more scientific reference scheme for the planning and reform of 10 kV overhead lines in Beijing.

Key words: overhead line; connection mode; abnormal mode; reliability; load rate

0 引言

10 kV 配电网是电网系统的前沿阵地,直接担负着连接电网系统与电力用户的重任。随着社会的快速发展,用电客户对于电力供应的要求越来越高^[1]。

北京地区配电网的现状呈现出以下特点:城市中心以及其他重要地区以电缆网为主;在郊区尤其是远郊地区,目前仍以架空网为主。可以肯定地预见,在将来的一段时间里,10 kV 架空网仍将继续承担着北京郊区电力供应的重任。因此,对北京地区 10 kV 架空网的研究分析是十分有意义的。

接线方式选择是 10 kV 架空网规划建设与改造的重要方面^[2]。因为它不仅关系到电网建设的经济

性,而且影响着电网供电的可靠性和灵活性^[3]。因此,有必要对当前架空网接线方式进行深入分析对比,并在此基础上设计出更为科学合理的接线模式,以有效促进 10 kV 架空网的规划建设与改造工作。

1 现有架空接线方式对比分析

1.1 单电源无联络的树枝式接线模式

如图 1 所示,此类型接线方式简单,建设成本较低,但是由于接线无联络开关,在故障情况下,故障点之后的非故障区段负荷只能停电,供电可靠性较差^[4-5],仅适用于供电可靠性要求较低、负荷密度较小的偏远地区。目前,由于北京地区供电可靠性的要求较高,单电源无联络(或手拉手)的放射状、树枝式接线模式已基本淘汰,不再作详细分析。

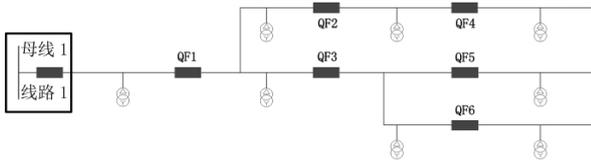


图1 单电源无联络的树枝式接线模式

1.2 单电源单环接线模式

如图2所示,单电源单环接线模式为同变电站同母线出线的环式接线,线路末端装设一常开联络开关,每回线路平均最大负载率为50%。此连接方式十分清晰,运行方式安排灵活^[6],可靠性高于单电源无联络的树枝式接线模式。线路故障情况下,非故障段负荷可通过方式调整快速恢复供电;另外,线路上安排停电检修工作时,无检修工作线路区段不需停电,减少停电影响。但是,此种接线模式同样存在明显的缺点,由于两条线路的电源来自同站同母线,所以在变压器、母线或变压器主开关故障或者停电检修时,两条线路将同时失去电源,损失全部负荷。另外,此类型接线方式需要考虑每条线路的备用容量,单条线路的平均负载率仅为50%,投资高,利用率低。综合上述情况,此类型接线也不符合北京地区配电网高可靠性的要求,目前在北京地区也已经基本淘汰。

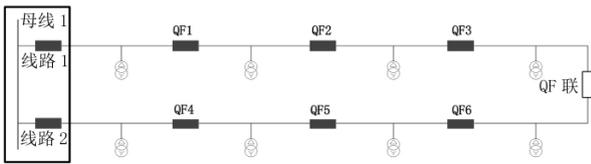


图2 单电源单环接线模式

1.3 双电源单环接线模式

双电源单环接线模式为同变电站不同母线或不同变电站两路出线的环式接线,线路末端装设一常开联络开关,每回线路平均最大负载率亦为50%,如图3所示。在北京地区,这种接线适用于负荷密度较大且供电可靠性要求较高的郊区。其优势与单电源单环接线模式基本相同,可靠性较高,接线清晰,运行方式安排灵活。无论是线路故障还是停电检修时,均可以通过联络开关倒方式减少停电影响。缺点也同样需要考虑线路的备用容量,负载率仅为50%^[7-8],投资高,利用率低。但是,由于两条线路的电源来自不同母线或不同站,有效地避免了因电源侧设备故障或停电检修时两条线路将同时失去电源的情况,因此,除极端情况下,通常不会损失全部负荷。目前,此类型接线在北京郊区尤其是远郊区

县十分常见。

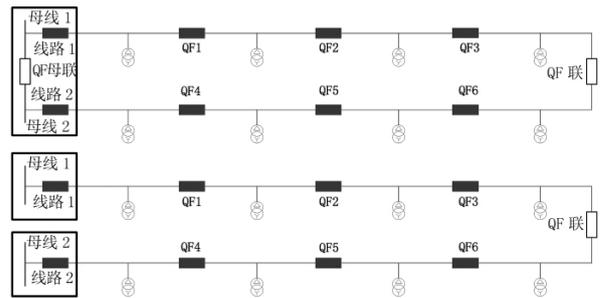


图3 双电源单环接线模式

1.4 三电源单环接线模式

三电源单环接线模式为三路电源的环形接线,线路末端通过两个常开联络开关组成环路,单条线路平均最大负载率亦为50%,如图4所示。此模式接线在负荷密度较大、供电可靠性有较高要求的城市郊区比较适宜。与双电源单环接线模式相比,可靠性略有提高,经济性较之相当,运行方式更加灵活。无论哪条线路故障还是停电检修时,均可以通过联络开关倒方式减少停电影响。此类型接线同样需要考虑线路的备用容量,单条线路的负载率仅为50%,经济性基本同图3接线模式,利用率低。另外,由于3条线路的电源来自不同母线或不同站,所以在非负荷高峰时段,即便因各种原因同时失去两路电源,也不会损失全部负荷。目前,此类型接线在北京郊区尤其是远郊区县也十分常见。

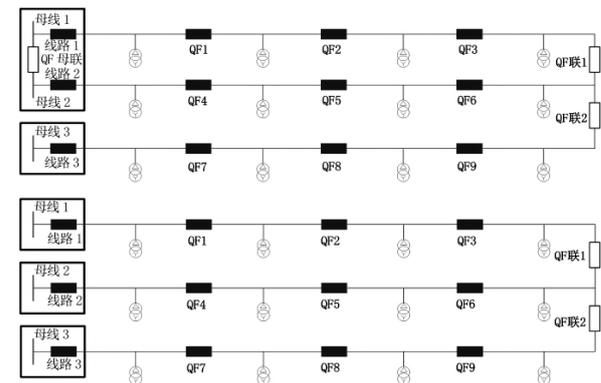


图4 三电源单环接线模式

1.5 分段多联络接线模式

图5为分段多联络接线模式,通过在线路主干线上加装分段开关,将每条线路分成若干段(通常不超过4段),利用联络开关(常开)将每一段线路与其他临近线路互联。当线路的其中一段出现故障时,非故障区段线路可以通过联络开关快速恢复正常供电,这样便有效地缩小了线路的故障停电范围,极大地提高了供电可靠性^[9]。此类型接线模式比

较适用于北京郊区负荷发展比较饱和、供电可靠性要求较高的区域。联络线可以就近引接,这种接线模式提高了架空线路的利用率(三分段三联络模式可达到 75%)。此类型接线模式在架空线路实际建设或者改造时,若线路较短或负荷较为集中,一般将线路进行两分段两联络,利用率可以达到 67%;若线路较长或负荷较为分散,可以将线路分成 4 段、5 段甚至更多,即多分段多联络,但线路分段过多会影响供电可靠性,同时也会相应提高线路建设投资,因此一般情况下,主要采用三分段三联络这种比较经典的接线模式。

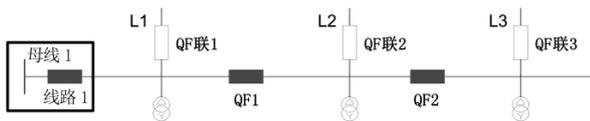


图 5 分段多联络接线模式

2 传统 10 kV 架空线路联络方式存在的共性缺陷

通过前面分析可以发现,以上几种传统 10 kV 架空线路联络方式存在着共性缺陷:线路本身不同区段之间无联络,线路发生故障或者线路上有停电工作时,只能将非故障区段或者非停电区段线路负荷转移到其他线路。

2.1 负荷转移计算

单条线路的总负荷设定为 M ,分段数量设定为 N ,假定负荷和分段开关沿线路均匀分布,且同一线路不同分段的运行环境基本相同。则线路故障或计划停电发生在某一区段的概率为

$$P = 1/N \quad (1)$$

传统 10 kV 架空线路联络方式在故障或计划停电情况下的平均负荷转移量计算模型为

$$M_{\text{转}} = \sum_{n=1}^N (1 - n/N) M/N = (N - 1) M/2N \quad (2)$$

以经典的三分段为例,计算结果为

$$M_{\text{转}} = (3 - 1) M / (2 \times 3) = M/3 \quad (3)$$

通过上述模型计算可以发现,前述各模式线路发生故障或者线路上有停电工作时,都将有 $(N - 1) M/2N$ 的负荷转移到其他线路。

2.2 共性缺陷的弊端

前述共性的缺陷有以下几个弊端:

1) 由于北京地区作为首都,经常有重大活动保电任务。保电期间,如果对端联络线路电源带有保电线路,不允许通过联络开关将负荷倒至对端线路。

2) 如果对端联络线路或对端线路的电源侧设备重载、过载,不允许通过联络开关将负荷倒至对端线路。

3) 配电网架空线路异常方式(故障或计划停电工作)运行情况下,将本条线路的全部或部分区段通过联络开关倒至与其联络的线路上,会使与其联络的线路增长,从而导致其可靠性下降。

4) 如果对端联络线路属于其他调控机构管辖范围,通过联络开关将负荷倒至对端线路时,需要提前通知相关调控机构,并获得对方同意后方可进行,严重影响故障处置效率,并为其他调控机构带来诸多麻烦。

5) 相互联络的不同线路可能由不同的运维队伍负责运维,通过联络开关将负荷倒至对端线路时,负责对端线路的运维队伍需要临时掌握线路调整后的异常运行方式,无形中增加了管理难度。

6) 其他情况,比如有些封闭区域无可联络线路,无法形成双电源或多电源联络网;再者,有些地区变电站 10 kV 开关间隔数量受限,在变电站增容或扩建之前,亦无法形成双电源或多电源联络网。

3 自环互联式接线模式研究分析

自环互联式接线模式为同变电站不同母线或不同变电站出线的互联联络接线方式,其最主要结构特点是:每条线路自身呈环形结构,在线路首端靠近出站第一号杆处分为两枝,在线路末端装设一常开联络开关,在线路自身开环点两侧主干线上分别装设与相邻线路互联的常开联络开关,形成环与环之间互联的架空网,如图 6 所示。

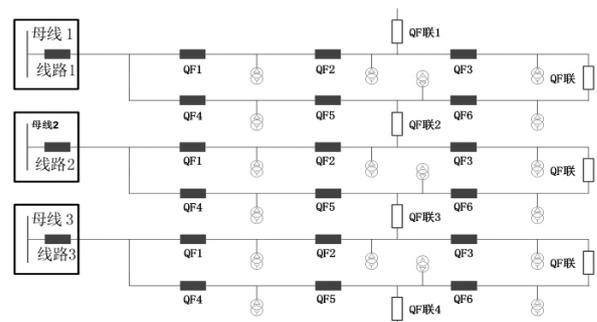


图 6 自环互联式接线模式

3.1 方式灵活、可靠性高

自环互联式接线模式在线路任一区段发生故障

时,非故障区段均可通过联络开关调整运行方式,快速恢复供电;同样道理,线路任一区段安排计划停电时,非工作区段均不需要停电,只要在工作开始前调整运行方式即可。从运行灵活性和供电可靠性方面来讲,自环互联式接线模式与分段多联络模式基本相当。

3.2 异常运行方式负荷转移量小

同样设定单条线路的总负荷为 M ,分段数量设定为 $N(N > 3)$,假定负荷和分段开关沿线路均匀分布,且同一线路不同分段的运行环境基本相同。则自环互联式接线模式故障或计划停电情况下的平均负荷转移量计算如下:

线路故障或计划停电发生在某一区段的概率为 $P = 1/N$ (4)

当某次线路故障或计划停电发生在图6中 QF1 与 QF4 分段开关之间时:

$M_{转} = (1 - 1/N)M = (N - 1)M/N$ (5)

当某次线路故障或计划停电发生在图6中 QF1 与 QF4 分段开关之后的任意区段时,可以通过线路末端联络开关调整故障线路自身的运行方式,将非故障区段负荷恢复供电,不需向其他线路转移负荷,故

$M_{转} = 0$ (6)

由此,可得自环互联式接线模式故障或计划停电情况下的平均负荷转移量计算模型为

$M_{转} = P(1 - 1/N)M = (N - 1)M/N^2$ (7)

自环互联式接线模式与传统联络接线方式在故障或计划停电下的平均负荷转移量对比见表1和图7。

表1 平均负荷转移量对比

N	传统联络接线方式	自环互联式接线模式
3	2M/6	2M/9
4	3M/8	3M/16
5	4M/10	4M/25

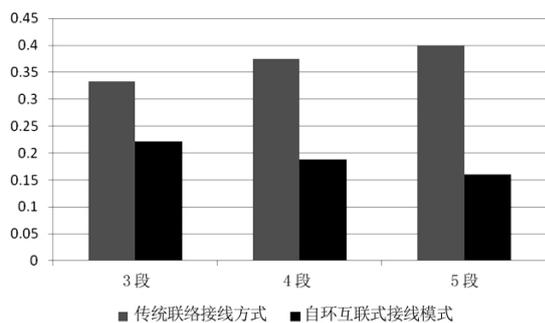


图7 平均负荷转移量对比

通过以上理论计算对比可以发现,同样分段数量的情况下,自环互联式接线模式比传统联络接线方式在故障或计划停电情况下的平均负荷转移量小得多。

实际情况中,北京地区10 kV架空线路往往都会在出站一号杆位置装设一个分段开关。电网故障或停电工作极少发生在线路首段或线路电源侧设备上。以北京经济技术开发区配电网为例,近5年来,10 kV架空线路首段或电源侧设备发生故障的次数在10 kV架空配电网故障总次数中的占比不足2%;架空线路首段或电源侧设备安排停电工作的次数仅占10 kV架空线路计划停电工作的3%左右。因此可以认为,除了极端情况下,10 kV电网故障或停电工作绝大多数发生在非首段线路或非电源侧设备上。由前述分析,当10 kV架空网故障点发生在非首段线路或非电源侧设备时,可以通过线路末端联络开关调整运行方式将非故障区段负荷恢复供电,无需将负荷转移至其他线路,从而有效克服前面所提到的10 kV架空线路传统联络方式存在的共性缺陷。同样道理,当10 kV架空线路非首段或非电源侧设备安排停电工作时,同样可以有效地克服所提到的10 kV架空线路传统联络方式存在共性缺陷。

3.3 负载率

极端情况下,自环互联式接线模式在电源侧设备或线路首段失电时,需要通过其他线路将负荷转移以恢复供电。以图6中的两联络为例,线路全部负荷由与之联络的另外两条线路带出,线路的负载率可以达到67%。通常情况下,故障或计划停电发生在线路非电源侧设备或非线路首段位置,调整线路本身的运行方式即可将非故障或非停电区段负荷转移。因此,一般情况下可以不用考虑备用容量的问题,即线路运行的最大负载率允许达到100%。若线路电源侧设备或线路首段安排计划停电工作,可以考虑将停电时间安排在夜间负荷低谷时段,此时段相互联络的线路存在充足的备用容量,可以灵活地安排线路运行方式。

3.4 经济性

对于同一供电区域,在负荷密度相同的情况下,10 kV配电架空自环互联式接线模式的经济性与三分段三联络接线模式基本相同^[10]。在供电可靠性要求较高的城市郊区,选择架空自环互联式接线模式可以满足经济性要求。

3.5 线路保护配置

自环互联式接线模式不会造成线路过长,分段较多的情况,保护配合比较容易。可以在线路两个分支的第1级分段开关处安装保护装置,在故障情况下减少停电影响。

4 建议

通过对自环互联式接线模式的研究分析,可以看出在负荷较为密集且饱和的地区比较适合建设和发展此类型的10 kV 互联接线模式,尤其是用户分布按块状结构划分的地区。在城市新开发地区可按照自环互联式网架结构进行规划,电网建设初期,若暂时无条件形成多路互联的网架结构,可以先期建成单路自环结构(开环运行),后期逐步发展成为自环互联式网架结构。在发展较为成熟区域,可以通过工程改造逐步将传统的互联结构发展为成熟的自环互联式网架结构。

5 结语

通过对北京地区传统10 kV 架空线路联络方式的研究,指出了它们的共性缺陷,并在此基础上提出了自环互联式架空线路接线模式,从可靠性、异常方式对互联线路的影响(负荷转移)、负载率等方面论证了自环互联式架空线路接线模式的优势。关于自环互联式架空线路接线模式的分析研究对城市地区

10 kV 架空线路网络的建设和发展具有重要的指导与参考意义。

参考文献

- [1] 姚福生,杨江,王天华. 中压配电网不同接线模式下的供电能力[J]. 电网技术, 2008, 32(22): 93-95.
- [2] 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.
- [3] 陈庭记,程浩忠,何明,等. 城市中压配电网接线模式研究[J]. 电网技术, 2000, 24(9): 35-38.
- [4] 谢晓文,刘洪. 中压配电网接线模式综合比较[J]. 电力系统及其自动化学报, 2009, 21(4): 94-99.
- [5] 李历波,王玉瑾,王主丁,等. 规划态中压配网供电可靠性评估模型[J]. 电力系统及其自动化学报, 2011, 23(3): 84-88.
- [6] 吴涵,林韩,温步瀛,等. 中压配电网接线模式技术性研究[J]. 电网与清洁能源, 2011, 27(9): 16-20.
- [7] 胡列翔,王伟,麻秀范,等. 中压配电网的衍生接线模式[J]. 现代电力, 2006, 23(3): 26-30.
- [8] 姚莉娜,张军利,刘华,等. 城市中压配电网典型接线方式分析[J]. 电力自动化设备, 2006, 26(7): 26-29.
- [9] 王伟,张粒子,麻秀范. 基于结构元理论的中压配电网接线模式[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(11): 35-39.
- [10] 王成山,王赛一,葛少云,等. 中压配电网不同接线模式经济性和可靠性分析[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(24): 34-39.

作者简介:

刘保全(1986), 硕士、工程师, 研究方向为电力调度、电力系统。

(收稿日期: 2018-01-02)

(上接第22页)

- [7] 常晓荣,张春光,王思宁,等. 电网云测试服务平台的设计与应用[J]. 电信科学, 2017, 33(7): 176-182.
- [8] 陈俊,王录通,胡悦. 云平台调度能耗测量研究[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(17): 272-276.
- [9] 张素芹. 云计算任务资源高效调度算法研究[J]. 计算机仿真, 2016, 33(11): 410-413.
- [10] 罗滇生,王新坤. 基于云计算的智能电网负荷预测平台架构研究[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2016, 43(2): 101-108.
- [11] 林伟伟,吴文泰. 面向云计算环境的能耗测量和管理方法[J]. 软件学报, 2016, 27(4): 1026-1041.
- [12] 彭小圣,邓迪元,程时杰,等. 面向智能电网应用的电

力大数据关键技术[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(3): 503-511.

- [13] 曹子健,林今,宋永华. 主动配电网中云计算资源的优化配置模型[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(19): 3043-3049.

作者简介:

蔡玺(1982), 高级工程师、硕士, 研究方向为电力系统及其自动化;

屈伟(1980), 助理工程师、本科, 研究方向为电力系统自动化;

李秋燕(1986), 工程师、大专, 研究方向为电力企业信息化建设与运维。

(收稿日期: 2018-06-11)