

配电网优化开关配置

李浙学, 陈勇志, 程旻奇, 浙江省永康市供电局
史济全, 浙江大学电气工程学院

摘要: 该文综述了配电网开关优化配置的国内外研究现状, 包括数学模型的建立过程, 各种求解算法应用情况及存在的问题, 展望了开关优化配置研究热点和趋势, 包括计算方法的改进、计及多种不确定性因素动态建模等内容。

关键词: 配电网; 优化; 开关

中图分类号: TM643

文献标志码: B

文章编号: 1003-0867(2009)04-0055-03

配电网开关优化配置是配网自动化和配网系统优化的重要部分, 开关优化配置以成本-效益分析为基础, 包括开关设备的投资、运行维护费用以及停电损失等多种因素, 确定配电网开关设备的数量及配置位置, 使系统的可靠性与经济性达到最合理的水平的非线性组合优化。

配电网中, 如果忽略开关故障, 就提高供电可靠性而言, 若开关越多, 每段用户就越少, 则每次故障或计划维修造成停电影响的用户数就越少, 可靠性也就越高。但从经济性上考虑, 设备越多, 其投资也越大, 这样不一定能获得最大的经济效益。由此可见, 可靠性与经济性之间存在一个最佳的平衡点, 这就需要通过技术经济分析, 确定每回线路的最优开关设备配置, 以达到可靠性和经济性的相互协调, 配电网开关优化配置所要解决的正是这一问题。在优化配置中以成本-效益分析原理为基础, 通过确定馈线上断路器、隔离开关及熔断器等开关设备的最佳位置和数量来提高系统供电可靠性和资金的使用效率。

目前, 配电网开关优化配置已成为国内外研究的一个热点问题。开关优化配置是非线性、不可微、离散的组合优化问题, 并且配电网的规模通常比较大, 待求变量的维数非常高, 所以直接用传统的数学规划方法进行求解几乎不可能。本文对近年来国内外开关优化配置的部分相关文献进行分析, 指出了目前较流行的几种开关优化配置算法及影响计算效率的重点和难点, 同时对该领域今后研究方向和内容进行了探讨。

1 配电网开关优化配置数学模型

开关优化配置模型主要从设备投资、运行维护费用和系统停电损失等方面进行考虑。但根据具体需要, 目标函数的侧重点在这三个方面会有所变化。下面分别讨论各费用的计算。

1.1 设备投资费用

开关设备总投资现值对应的等年值 C_s 由下式表示:

$$C_s = \sum_{i=1}^M N_i C_{s_i} i (1+i)^n / ((1+i)^n - 1)$$

式中 M 为开关类型总数 (开关类型有断路器、隔离开关、负荷开关、熔断器以及切换开关等); N_i 为第 i 种开关增装的台数; C_{s_i} 为第 i 种开关的购买费用; n_i 为第 i 种开关使用年限; i_i 为贴现率。

1.2 运行维护费用

开关设备每年的运行维修费用 C_M 按其投资的百分数给出, 即:

$$C_M = C_{s_0} H$$

式中 H 为运行费用占投资的比例系数; C_{s_0} 为开关设备的投资现值。

1.3 系统停电损失费用

停电损失的计算不仅与国民经济的发展、国情以及电力和需求侧管理水平有关, 而且还与法制法规的健全与实施有关, 其涉及面很广, 问题也很复杂^[1]。一般情况下, 系统每年的停电损失费用 C_L 可用下式表示:

$$C_L = \sum_{j=1}^{n_{LP}} \sum_{t=1}^{T_j} EENS_{jt} C_{Loss_{jt}}$$

式中 n_{LP} 为负荷点总数; T_j 为第 j 个负荷点有 T_j 种停电持续时间分类; $EENS_{jt}$ 为负荷点 j 第 t 种停电持续时间对应的失电量; $C_{Loss_{jt}}$ 为负荷点 j 第 t 种停电持续时间对应的单位停电损失。

1.4 开关优化配置的综合目标函数

$$F_{\min} = aC_s + bC_M + cC_L$$

式中 $a + b + c = 1$, 且均在 0 和 1 之间取值, 具体数值可根据不同要求进行调整。

此外在进行优化配置时还需要满足约束条件: 可靠性要求, 节点电压 ($V_{\min} \leq V \leq V_{\max}$), 支路过负荷约束 ($I \leq I_{\max}$, $I_{\max}$ 为支路最大允许电流) 以及配电网辐射状运行等约束条件。

2 求解算法介绍

启发式方法。根据经验确定的逻辑规则配置设备。随着网络结构的复杂化, 这种方法逻辑规则的适应性将会越来越差。文献[2]提出一种以可靠性价值评估为基础, 以系统停电损失最小为目标函数对系统开关设备进行重新配

置的支路交换法,文中用两步确定隔离开关的新配置位置,第一步确定隔离开关的交换方向,在相同故障下,隔离开关交换前后某些负荷节点的故障类型将发生变化,进而系统停电损失也有所不同。第二步用于确定某一开关的交换是否有利。总的来说,启发式方法逻辑规则的提升对不同网络的适应性将是最关键的一个难点。

馈线的简单分段法。该方法是线路分段的一种简化计算方法,刚提出时它仅能确定线路分段的数量^[3],而未对分段位置作深入讨论。文献[4]分析分段开关的设置与否对用户停电损失所带来的影响,给出了一个关于配电网主馈线各段分段开关是否应该设置的判定定理:仅在某段不设分段开关与所有段均设分段开关两种情况下,系统的年停电损失之差小于分段开关的年费用时,应该在该段馈线首端装设分段开关。该定理并不具备必要性,对主馈线末端的分段开关的设置必要性,文献[5]认为仅当馈线末端装设分段开关后,对应分支馈线减少的停电损失大于分段开关等年值成本时,馈线末端才有必要装设分段开关。简单分段类方法易解得局部最优,可用其来求初始解。

直接计算法^[4]。通过切换操作元件不同配置和不同切换方式对可靠性影响的比较研究,确定可能的候选方案。

Bellman方法。为减少求解时收敛于局部最优解的情况,文献[6]应用动态规划最优性原理及模型特点缩小了求解范围,但因缺乏对可靠性影响的分析,其解空间缩小的程度不大。文献[7]根据动态优化的规划原则,提出开关配置分步最优的优化方法,以开关配置前后系统的停电损失之差必须大于开关本身的成本为条件进行开关配置。针对实际网络,文献[8]将开关优化配置问题定义为阶段不确定性的动态规划问题,建立了动态规划与开关优化配置模型的联系,基于等年值法给出了配电网开关优化配置模型的动态规划算法。这类方法的核心思想是最优策略的子策略也应该最优,其优点是精确度高,难点在于面临组合爆炸,随着网络规模的增大,求解将十分困难。

3 开关优化配置未来研究方向

3.1 建立不确定因素的动态模型

当前开关优化配置中的数学模型一般都未考虑设备可靠性参数、天气条件影响以及网络改造、负荷变化等动态因素的影响,大都采用静态建模。

在设备使用年限内,故障率、修复时间等可靠性参数也可能会发生变化,若只采用一种运行方式进行分析计算,其结果会有一定的偏差。在实际应用中,开关配置应如实反应电力系统的发展变化状况,根据不同时期内的负荷预测^[9],在模型中计算不同时期的用户停电损失费用。

在动态模型中还应增加实际配电网的运行约束,例如

当配电网元件故障需转移负荷时,由于负荷重要性差别,转移策略也会不同,应在此条件下保证系统损失最少。另外,配电网开关优化配置的模型中还需增加短路电流这一约束。在网络适当位置配置开关设备以减小短路电流^[10]。短路电流大小不同就要求开关设备性能不同,设备投资费用也就不同。今后应研究这些因素变化对数学模型目标函数值影响的程度,增加因素变化引起的函数值变化冗余度,使求解模型更符合实际应用。

3.2 改进求解算法

开关优化配置的数学模型是非线性、不可微、连续-离散混合的组合优化问题,其计算十分复杂。目前的各种计算方法均存在着一定的缺陷,并不能保证快速、精确地找到全局最优解。在算法方面的研究方向主要有算法的计算速度、收敛到全局最优精度、可靠性评估等方面。

求解算法的组合优化。国外部分算法有些具有较强的全局搜索能力,但收敛速度欠缺,而有些收敛较快却易早熟,文献[11]结合这两种算法的优点来求解开关优化配置问题,不但提高了收敛速度,且不容易陷入局部最优。

提高可靠性评估速度和准确度。可靠性评估方法是影响算法整体计算速度的重要因素。对于小系统,采用普通方法计算,结果会很精确,但对于大系统,应用解析法较为复杂且费时,一般采用模拟法即蒙特卡罗法(Mont Carlo Method)^[12]对故障模拟进行近似,其缺点是计算复杂网络可靠性的过程中需要模拟大量的枚举故障,而每次模拟故障后又都需要进行相应的负荷转移分析。另外人工智能、模糊数学聚类分析以及区间数学^[13]也引入到配电网可靠性评估中。

建立专家知识库。利用配电网实际运行特点与工程经验,对开关配置建立一些常识性的知识库。例如开关配置的位置应尽量使线路各段所带负荷均匀,在进行多个联络开关的配置时应避免可能出现环网,隔离开关要结合切换开关进行配置等。这些经验性的结论往往可以减少问题的求解范围,节约大量的计算时间。

4 结束语

开关优化配置一方面可提高配电系统的可靠性,另一方面可使电力部门得到更大的经济效益,使系统的可靠性与经济性得到统一。本文介绍了开关优化配置的数学模型,不同求解算法的特点,探讨了今后这一领域的发展趋势和研究方向。随着电力市场体制的不断完善,如何通过开关优化配置来提高系统供电可靠性已成为焦点。

参考文献

- [1] 张焰. 电网规划中的可靠性成本-效益分析研究[J]. 电力

35 kV输电线路合成绝缘子 与定型图纸技术配合问题

芦素苇, 甘肃省景泰县电力局

摘要: 35 kV输电线路在设计中合成绝缘子选型尺寸与直线杆定型图纸的配合上存在技术问题, 使线路在大风低温季节, 多次跳闸。该文对线路跳闸的原因进行了分析, 并结合实际提出了一些有针对性的整改措施。

关键词: 合成绝缘子; 定型图纸; 配合

中图分类号: TM216

文献标志码: B

文章编号: 1003-0867(2009)04-0057-02

景泰县电力局3516环喜线是经过农网改造的新建线路, 线路长38 km, 导线型号采用LGJ-95 mm²的钢芯铝绞线。投运后运行时间不足一年, 在2007年3月10日、2007年4月9日春季大风多发季节发生了两次线路故障跳闸, 在2007年12月27日大风低温时又发生一次线路故障跳闸。故障跳闸给景泰县电力局电网安全稳定运行造成了较大的影响, 为此, 景泰县电力局高度重视, 积极组织力量, 对该线路进行了认真的巡视检查, 找准线路故障跳闸原因, 落实反事故措施, 对影响设备安全运行的隐患从根本上进行了彻底整改处理, 提高了该线路安全运行水平。

1 3516环喜线几次线路故障跳闸的查巡结果

2007年3月10日11时21分, 3516环喜线速断保护动作, 开关跳闸, 重合闸成功。当时天气情况为6级左右大风。待风势略有减弱后, 由于当时线路带电, 技术人员根据故障现象, 组织人员对线路利用望远镜进行了地面巡视检查, 全线路未发现明显的放电痕迹。在11时21分线路开关跳闸重合闸成功, 到17时42分线路巡视结束之后, 线路一直运行正常, 再无异常现象出现。根据运行情况和巡视结果, 组织相关人员分析, 初步判定为88#、89#杆均为ZS1杆型, A、C相横担间距离为2900 mm, 88#~89#杆

导线档距大, 为357 m, 由于大风造成A、C相瞬间弧光短路, 致使线路开关跳闸。

2007年4月9日12时46分、12时48分、12时50分, 3516环喜线分别过流保护动作, 开关跳闸, 重合闸两次成功, 最后一次不成功。当时天气情况为7级大风, 扬沙天气。接到线路故障跳闸的通知后, 组织相关人员根据线路保护动作情况进行了分析, 待风势略有减弱后, 将线路申请为检修状态, 开始查寻线路。改造投运的新线路为什么会这样频繁跳闸, 技术人员带着疑问对全线路进行了地面检查, 发现143#杆A相(ZS1杆型)、148#(ZS2杆型)A、B相、158#(ZS2杆型)A、B相悬垂线夹处导线有放电痕迹, 然后对这几基杆登杆检查, 发现由于大风造成合成绝缘子串严重倾斜, 使ZS1杆型风向吹过来的这侧导线对杆体本身、下横担的斜拉杆放电, ZS2杆型风向吹过来的这侧导线除对杆体本身、下横担的斜拉杆放电外, 对本体拉线也放电, 致使不同相两点同时接地短路, 造成线路跳闸。并对88#~89#杆的导线A、C相进行落地检查, 发现没有放电痕迹, 因此, 3月10日的跳闸也是由这一原因造成。

由于春季只对线路故障跳闸的杆基进行了整改处理。在2007年12月27日13时30分, 3516环喜线过流保护动作,

系统自动化, 1999, 23(15).

- [2] Jen-Hao Teng, Chan-Nan Lu. Feeder-switch relocation for customer interruption cost minimization[J]. IEEE trans. On power Delivery, 2002, 17(1): 254~259.
- [3] 万善良. 配电线路的分段数量优化计算的简单说明[C]. 中国供电国际会议论文集, 上海, 2000.
- [4] 万国成, 任震, 荆勇, 等. 主馈线分段开关的设置研究[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(4).
- [5] 万国成, 郭晓玉, 任震. 配网馈线上分段开关的设置[J]. 继电器, 2002, 30(11).
- [6] Celli G, Pilo F. Optimal sectionalizing switches allocation in distribution networks[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1999, 14(3): 1167~1172.
- [7] 沈晓东, 刘俊勇, 孙毅. 改进的分步最优法在配电网开关

配置中的应用[J]. 电力自动化设备, 2003, 23(12).

- [8] 谢开贵, 刘柏私, 赵渊, 等. 配电网开关优化配置的动态规划算法[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(11): 29~34.
- [9] 余健明, 燕飞, 杨文字, 等. 基于模糊多目标多人决策的配电网空间负荷预测[J]. 电网技术, 2006, 30(7).
- [10] 刘思革, 崔文佳, 范明天, 等. 城市电网短路电流水平控制对策[J]. 华东电力, 2007, 35(3): 49~52.
- [11] 王赛一, 王成山. 配电网中辐射线路的最优分段处理[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(8).
- [12] 邱生, 张焰, 徐洋, 等. 复杂配电网的供电可靠性定量评估[J]. 上海交通大学学报, 2005, 39(12).
- [13] 徐荆州, 李扬, 陈霄. 基于G0法的配电网可靠性评估[J]. 电力系统及其自动化学报, 2006, 18(5).

(责任编辑: 袁航)