

变压器串联的配电网线路交流融冰方法研究与应用

邓元实¹ 宋静文² 张 燃¹ 薛志航¹

(1. 国网四川省电力公司电力科学研究院 四川 成都 610072;

2. 国网四川省电力公司技能培训中心 四川 成都 611133)

摘要: 冬季配电网线路覆冰时,可以采用交流融冰的方法对线路全线进行融冰作业。传统交流融冰采用变电站内 10 kV 母线作为融冰电源,常出现由于线路阻抗不匹配,导致融冰电流小于最小融冰电流或大于线路最大融冰电流,从而无法进行交流融冰的情况。提出了一种基于变压器串联的配电网线路交流融冰方法,作为传统交流融冰方法的有效补充,提升了配电网线路交流融冰适用率。技术人员应用该方法成功对 10 kV 桃铁线进行现场融冰,取得了较好的工程应用效果,可为类似的配电网线路交流融冰提供参考。

关键词: 配电网线路; 交流融冰; 双变压器串联

Abstract: When the distribution network lines are iced in winter, the AC ice-melting method is usually adopted. 10 kV bus in substation is selected as the power supply of AC ice-melting in the traditional AC ice-melting, but it has some restrictions because of the incompatible line impedance. A new AC ice-melting method using double transformers in series is proposed. As an effective supplement, it can improve the applicability of AC ice-melting. AC ice-melting in 10 kV Taotie line has been successfully completed with the proposed method, which obtains a good application effect. It can provide a reference for the similar distribution network line when AC ice-melting is needed.

Key words: distribution network lines; AC ice-melting; double transformers in series

中图分类号: TM726 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2016)06-0029-03

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2016.06.007

配电网线路交流短路融冰是在线路上设置短路点,形成短路故障,并将短路电流控制在最大允许融冰电流范围内,使导线发热融冰。配电网线路交流融冰线路融冰电压均取自变电站内 10 kV 母线,融冰电源、线路阻抗均是定值。若线路阻抗不匹配,则可能无法进行交流融冰,只能采用效率低且有一定风险性的人工登塔敲冰方式除冰。

根据国网四川省电力科学研究院设备状态评价中心统计,在四川电网有融冰需求的 36 条重要 10 kV 线路中,仅有 3 条线路可直接采用变电站内 10 kV 母线作为交流融冰的电源开展交流融冰,余下的大部分线路由于阻抗不匹配无法融冰,交流融冰适用率很低^[4]。国网湖南省电力公司对线路交流融冰在实际运用中遇到阻抗匹配问题进行了分析,提出了通过串接不同线路的方式提升交流融冰的适用率,但该方法需转移大量负荷,操作繁琐且电量消耗极大^[1-3]。

下面提出的采用“变压器串联”方式融冰方法,无需转移负荷,也无倒闸操作,作为传统交流融冰方

法的有效补充,可提升交流融冰适用率。

1 变压器串联交流融冰理论计算

1.1 变压器串联交流融冰原理

待融冰配电网线路的起始或终端 35 kV 变电站内主变压器高低压侧变比是 35 kV/10.5 kV。采用变电站内 10 kV 母线作为融冰电源,在线路中段或对侧位置短接后,若融冰电流超过了线路最大融冰电流,则可尝试采用变压器串联的融冰方法。

变压器串联方法的主要思想是降低融冰电源电压,从而降低融冰电流。即准备 1 台 35 kV 备用主变并运输至站内,备用主变压器的 35 kV 侧接入 10 kV 电源,二次侧则输出 2.86 kV 融冰电压,如图 1 所示。

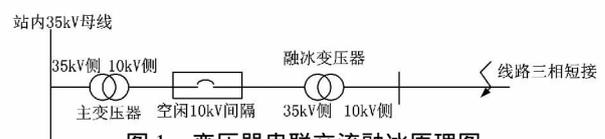


图 1 变压器串联交流融冰原理图

1.2 变压器串联交流融冰原则

利用配电网变压器串联的交流融冰方法主要在

以下3个方面开展可行性分析:

1) 采用2.86 kV作为融冰电源,融冰电流值处于最小融冰电流与最大融冰电流值之间,待融冰线路的覆冰段需在线路可融冰范围内;即要求

$$I_{\min} \leq \frac{U \times 10^3}{\sqrt{3} \times [(R + jX) \times L + R_{\text{短}}]} \leq I_{\max} \quad (1)$$

式中: U 为融冰电压; $R + jX$ 为线路单位阻抗; L 为待融冰线路长度; $R_{\text{短}}$ 为融冰电压器二次侧短路阻抗。

2) 融冰变压器的二次侧最大通流值需大于线路交流融冰电流值。

3) 站内主变压器承担了全部功率负荷,站内主变压器的功率需满足:

$$S_{\text{主变}} \geq S_{10\text{kV I母}} + S_{10\text{kV II母}} + S_{\text{融冰}}^{[4]} \quad (2)$$

若上述条件都满足,则可采用配电网变压器串联的方法开展线路交流融冰。

以国网巴中供电公司10 kV桃铁线交流融冰为例就所提方法进行可行性说明。

2 交流融冰可行性分析实例

10 kV桃铁线起于35 kV桃园变电站,线路全长为8.06 km,整条线路为单回无分支线路,导线型号为LGJ-50,线路阻抗为 $4.49 + j3.19 \Omega$ 。线路上挂接2台配电变压器。线路历史覆冰厚度为10 mm。

2.1 选择融冰电源,计算融冰电流

根据式(1),若采用变电站内10 kV母线作为融冰电源,则融冰电流为832.1 A,大于该线路最大融冰电流491.7 A,因此无法使用10 kV母线进行交流融冰。

根据已运输至变电站内的融冰变压器铭牌参数,计算得到 $R_{\text{短}}$ 为1.77 Ω ,利用式(1)计算得到:

$$|I| = \frac{2.86 \text{ kV} \times 1000}{\sqrt{3} \sqrt{(4.49^2 + 3.19^2 + 1.77)}} = 226 \text{ A} \quad (3)$$

融冰电流有效值为226 A,大于LGJ-50导线的最小融冰电流值165.5 A,小于最大融冰电流值491.7 A,满足要求。

2.2 核实融冰变压器二次侧通流能力

根据融冰变压器铭牌参数可知该变压器二次侧最大通流为219.9 A,小于计算的融冰电流226 A。根据《电力变压器》GB 1094-2008的规定,油浸式

变压器变压器过载30%可持续运行120 min,过载60%可持续运行45 min,短时过载运行。因此,融冰变压器二次侧通流能力也满足要求。

2.3 校核融冰变压器功率

由于该变压器在融冰时为降压运行,实际最大出力为 $S_{\text{max}} = \sqrt{3} \times U_2 \times I_2 = 1.08 \text{ MV} \cdot \text{A}$;融冰消耗有功功率为 $P = 3I^2R = 3 \times 226^2 \times 4.49 = 0.69 \text{ MW}$,融冰需要无功功率为 $Q = 3I^2X = 3 \times 226^2 \times 3.19 = 0.49 \text{ Mvar}$,则融冰消耗视在功率为 $0.84 \text{ MV} \cdot \text{A}$,小于融冰变压器实际最大出力。同时,变电站内1号主变压器容量为 $4 \text{ MV} \cdot \text{A}$,满足 $S_{1\text{号主变}} \geq S_{10\text{kV母线路负荷}} + 0.84 \text{ MV} \cdot \text{A}$ 。

通过上述分析,证明可以采用变压器串联的方法对10 kV桃铁线进行全线交流融冰。

3 变压器串联交流融冰工程应用

3.1 准备工作

融冰前的准备工作主要内容如下:

1) 现场查勘。选择合适的融冰电源间隔,确定融冰变压器摆放位置。要求选择的融冰电源间隔要能尽量减小站内连线改动,间隔的TA量程需大于融冰电流值。

在此次融冰工作中,融冰变压器高压侧电流约61.4 A。10 kV桃电线出线TA变比为150/5,满足融冰电流条件。故选择10 kV桃电线出线间隔作为融冰电源间隔。

2) 准备连接电缆。确定10 kV间隔到融冰变压器、融冰变压器到线路第一杆的电缆长度,并提前准备电缆并制作电缆接头。

此次,准备了一根截面积50 mm²、长度约50 m的交联聚乙烯电缆和一根型号为VJV22-3×300/10,长度约为134 m的交联聚乙烯绝缘电缆。

3) 调整线路保护整定值。融冰时,线路为短路故障运行,原有线路保护整定值就不适用了。为了既能满足合闸瞬间融冰电流冲击峰值时保护不动作,又能在融冰过程中保护融冰变压器不严重过载,需要调整线路保护整定值。融冰时,保护只需投入过流保护、零序保护、减载、重合闸等保护可退出。

此次,设定过流一段保护整定值为2.4 A,确保了融冰变压器一次侧电流最高不超过72 A,二次侧最高不超过239.76 A。

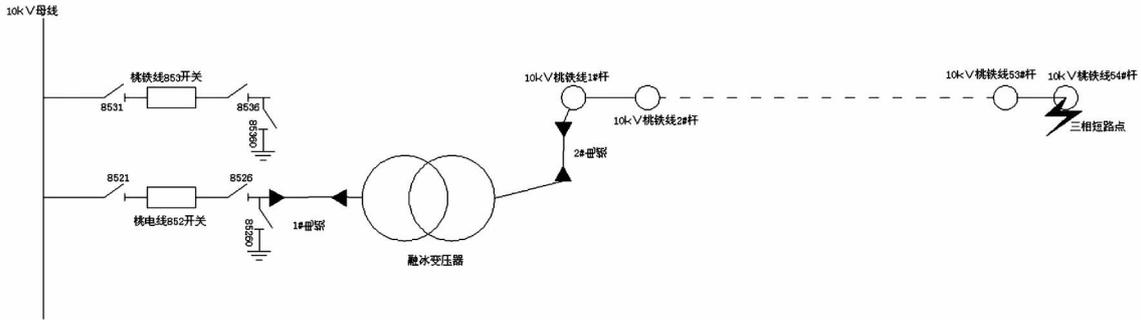


图 2 10 kV 桃铁线交流融冰接线简图

4) 进行全线巡视。此次融冰范围为 10 kV 桃铁线 01 号杆至 54 号杆, 线路全长约 8.06 km, 线路跨越公路 14 次, 跨越溪流 5 次, 档距超过 200 m 的有 20 档, 最大档距达 620 m。需安排对 10 kV 桃铁线进行全线巡视, 此次排除安全隐患 3 处。融冰时, 设立监控点 7 个, 实时监测导线弧垂与温升。

5) 联系地调, 确定线路停电时间。

3.2 现场融冰

基于变压器串联方法的 10 kV 桃铁线全线交流融冰接线简图如图 2 所示。

2014 年 11 月 27 日下午 3:15, 在所有准备工作完成无误后, 合上 10 kV 桃电线 852 开关, 约 252 A 交流融冰电流经过连接电缆注入到 10 kV 桃铁线。随着线路温度升高, 融冰电流略有减小, 并最终稳定在 245 A。线路从初始温度 6℃ 上升到 21℃ 后达到热平衡, 基本保持稳定。交流融冰工作共持续 0.5 h, 融冰变压器运行正常, 变压器油温在融冰过程中无变化, 线路温升约 15℃, 整个融冰过程安全可控。

桃铁线 A 相融冰电流与融冰温升如表 1 和图 3 所示。

表 1 桃铁线 A 相融冰电流

时间	融冰电流有效值/A
15:15 ~ 15:18	252
15:18 ~ 15:22	249
15:22 ~ 15:29	245
15:29 ~ 15:45	244

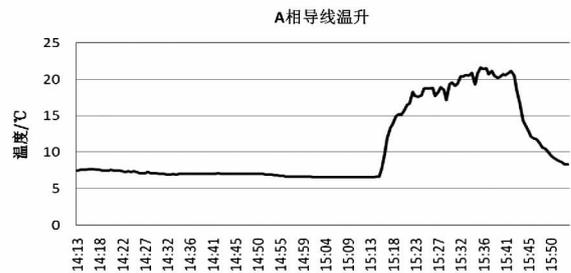


图 3 10 kV 桃铁线 A 相导线温升曲线

4 结 语

基于变压器串联方法的配电网线路交流融冰作为传统交流融冰的有效补充, 提升了配电网线路交流融冰适用率, 保障了配电网线路覆冰季节的安全稳定运行。通过本次融冰工作, 总结了如下经验供线路运维人员融冰时参考。

表 2 传统交流融冰方法适用的导线参数和可融冰线路长度范围

导线型号	线路参数/($\Omega \cdot \text{km}^{-1}$)	临界融冰电流/A	最大融冰电流/A	融冰线路长度范围/km	融冰最小容量/MVA
LGJ-25	1.26 + j0.399	102.0	118.9	38.57 ~ 44.96	1.51 ~ 2.4
LGJ-35	0.9 + j0.389	125.3	355.9	17.37 ~ 49.36	0.76 ~ 17.5
LGJ-50	0.63 + j0.379	165.5	491.7	16.67 ~ 49.82	0.96 ~ 25.3
LGJ-70	0.45 + j0.368	202.8	613.8	16.99 ~ 51.42	1.15 ~ 32.17
LGJ-95	0.332 + j0.356	238.7	724.4	17.19 ~ 52.17	1.36 ~ 38.07

表 3 变压器串联方法配电网线路交流融冰快速可行性分析参考

导线型号	线路参数/($\Omega \cdot \text{km}^{-1}$)	临界融冰电流/A	最大融冰电流/A	融冰线路长度范围/km	融冰最小容量/MVA
LGJ-25	1.26 + j0.399	102.0	118.9	10.5 ~ 12.24	0.42 ~ 0.67
LGJ-35	0.9 + j0.389	125.3	355.9	4.73 ~ 13.44	0.21 ~ 4.89
LGJ-50	0.63 + j0.379	165.5	491.7	4.56 ~ 13.57	0.27 ~ 7.08
LGJ-70	0.45 + j0.368	202.8	613.8	4.62 ~ 14.00	0.32 ~ 9.00
LGJ-95	0.332 + j0.356	238.7	724.4	4.68 ~ 14.21	0.38 ~ 10.65

(注: 表格参数是在环境温度 -5℃、导线覆冰层温度 0℃、环境风速 5 m/s、线路覆冰厚度 10 mm 条件下计算的。)

(下转第 40 页)

1) 常规神经网络模型的输出误差为 10.53% ,改进神经网络模型的输出误差为 6.75% ,改进神经网络模型的输出误差要低于常规神经网络模型。

2) 改进神经网络模型的正确选线个数为 34 ,正确率达到了 94.4% ,常规神经网络模型的正确选线个数为 29 ,正确率为 80.5% 。

参考文献

- [1] 王念彬. 基于小波神经网络的小电流接地系统故障选线方法的研究[D]. 北京: 中国矿业大学(北京) 2010.
- [2] 李震球. 基于概率神经网络的小电流接地系统模式识别故障选线方法及应用[D]. 南昌: 南昌大学 2014.
- [3] 郑帅帅. 基于小波神经网络的小电流接地故障选线方法研究[D]. 淄博: 山东理工大学 2014.
- [4] 韦晓广. 基于机器学习的小电流接地系统单相接地故障选线[D]. 徐州: 中国矿业大学 2014.
- [5] 张海平, 何正友, 张钧. 基于量子神经网络和证据融合的小电流接地选线方法[J]. 电工技术学报, 2009, 24(12): 171 - 178.
- [6] 惠学军. 基于小波神经网络的小电流接地系统单相接

(上接第 31 页)

1) 表 2 为采用传统交流融冰方法下配网线路融冰长度范围与融冰需要的最小功率, 表 3 为采用变压器串联方法进行配网线路交流融冰时计算的不同导线的融冰范围及最小容量, 可供线路运维人员对线路交流融冰电源及融冰长度进行快速判断。

2) 采用所提方法融冰时, 建议尽量选用有载调压变压器作为融冰变压器。因为采用有载调压变压器, 则可在融冰开始之前将其高压侧分接开关调整至最大, 这样在高压侧施加 10 kV 电压时, 其二次侧电压小于 2.86 kV, 可以降低起始融冰电流。在融冰过程中, 操作人员可根据实际融冰电流大小调整分接开关。这样融冰比较安全, 同时能够一定程度缓解变压器二次侧电流过载。

3) 更改线路保护定值时, 建议把一段保护定值设定为计算短路融冰电流值的 1.25 倍。该值满足了合闸瞬间融冰电流冲击峰值时保护不动作, 又能在融冰过程中保护融冰变压器不严重过载。

地故障定位研究[D]. 南京: 河海大学 2002.

- [7] 郝金陵, 袁振海. 基于小波 - 神经网络的小电流接地选线的研究[J]. 电测与仪表, 2007, 44(11): 1 - 5.
- [8] 曹运刚. 基于人工神经网络的小电流接地故障选线方法研究[D]. 淄博: 山东理工大学 2015.
- [9] 宋国峰, 梁昌勇, 梁焱, 等. 改进遗传算法优化 BP 神经网络的旅游景区日客流量预测[J]. 小型微型计算机系统, 2014, 35(9): 2136 - 2141.
- [10] 董升伟. 基于改进 BP 神经网络的轨道交通短时客流预测方法研究[D]. 北京: 北京交通大学 2013.
- [11] 陈奎, 韦晓广, 陈景波, 等. 基于样本数据处理和 AD-ABOOST 的小电流接地故障选线[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(34): 6228 - 6237.
- [12] 曹运刚, 陈平, 杨茂亭, 等. 基于人工神经网络的小电流接地故障选线方法研究[J]. 国网技术学院学报, 2015, 18(1): 21 - 25.

作者简介:

罗浩杰(1971), 助理工程师, 主要从事配电运行管理等技术领域的研究工作。

(收稿日期: 2016 - 08 - 30)

4) 融冰变压器的阻抗电阻和待融冰线路参数(线路正序阻抗值) 尽量实测, 避免因为线路实际长度可能与台账不符, 或变压器实际短路阻抗与铭牌值不符, 导致融冰电流计算不准确。

参考文献

- [1] 陆佳政, 李波, 张红先, 等. 新型交直流融冰装置在湖南电网的应用[J]. 南方电网技术, 2009, 3(4): 77 - 79.
- [2] 雷洪才, 陆家政, 李波, 等. 可调电容串联补偿式交流融冰装置在湖南电网的应用[J]. 湖南电力, 2009, 29(5): 28 - 29.
- [3] 朱远, 周秀东, 李波, 等. 配网交流融冰仿真分析及工程应用研究[J]. 湖南电力, 2015, 35(6): 32 - 34.
- [4] 李宏力, 朱镜勋. 35kV 交流融冰变压器的改造方案[J]. 贵州电力技术, 2011, 14(7): 58 - 59.

作者简介:

邓元实(1985), 硕士研究生, 主要从事线路抗冰防冰研究、线路专业生产技术管理。

(收稿日期: 2016 - 09 - 21)