

架空地线的绝缘化改造及融冰方法

陈义刚¹ 范松海²

(1. 四川省电力公司, 四川 成都 610041; 2. 四川电力科学研究院, 四川 成都 610072)

摘要:提出了一种架空地线的融冰方法。通过对架空地线进行绝缘化改造,使架空地线沿线对地绝缘,从而使其具备融冰条件,并基于此提出了架空地线融冰电流的计算方法。架空地线由于电阻大,融冰时主要为有功功率消耗,宜采用交流融冰方法,融冰过程中不需停负荷,在实际中具有较强的经济性和可操作性。

关键词:架空地线;融冰;绝缘化改造

Abstract: An ice-melting method for overhead earth wire is presented. The overhead earth wire is insulated to the ground by insulation reconstruction, which makes it possess ice-melting conditions. Then, a calculation method of ice-melting current on overhead earth wire is proposed. Because of the great resistance of overhead earth wire, the active power is the main consumption during the ice melting. So the AC ice-melting method should be adopted for the overhead earth wire. It needs no power supply interruption during the ice melting, so it has a stronger economy and operability in the practice.

Key words: overhead earth wire; ice melting; insulation reconstruction

中图分类号:TM75 文献标志码:A 文章编号:1003-6954(2012)03-0074-04

0 概述

最近几年,输电线路冰灾事故频发,给电力系统带来巨大的经济损失。2008年冰灾,造成全国范围内电网因冰灾停运的电力线路计39 033条,造成了数以千亿的经济损失^[1-3]。2011年年初,连续的冰雪灾害造成四川电网500 kV布坡高压线倒塔两基,使二滩、瀑布沟等重要水电送出通道瘫痪。2011年12月10日,四川月普一、二线发生了因冰灾断线倒塔的事故。2012年年初,布坡线又发生了倒塔断线事故。

2008年年初中国南方大面积冰灾后,通过分析和比较,国家电网公司和南方电网公司均把短路融冰作为防治电网冰灾的主要方法,相继投入了大量的人力、财力和物力研究以及开发短路融冰方法和装备^[5]。四川省电力公司于2011年在普提站和东坡站装设了两套直流融冰装置,2012年又计划新安装3套直流融冰装置。

但是,由于架空地线沿线分布接地特性,不能直接采用短路融冰,这导致架空地路除冰成为难点。而架空地线处在输电线路的上方,其覆冰往往比输电线路更严重。2011年年底,普洪三线实施直流融

冰之后,无法恢复送电,后在巡线时发现,该输电线路的某一段地线出现断线,折断的地线搭在输电线路路上,从而导致输电线路无法恢复供电。在2012年年初,又出现了两次地线断股断线事故。地线除冰已成为当前输电线路防冰减灾的紧迫课题。下面提出了通过对架空地线绝缘化改造,使架空地线具备融冰条件,采用交流电源提供融冰电流,可以实现输电线路带负荷除去架空地线的覆冰。

1 架空地线覆冰的危害性

1.1 架空地线在冰荷载的作用下出现断股、断线

如果冰荷载超过了架空地线的机械强度,架空地线就会出现断股、断线^[6]。折断的地线可能悬空或直接搭在输电线路路上,易造成输电线路对地线放电或直接短路故障,使输电线路无法正常输电。此外,架空地线的断线也会造成输电线路力学体系失衡,为杆塔倾斜甚至倒塌埋下隐患。

1.2 架空地线在冰荷载的重力作用下弧垂过低

由于冰荷载的重力作用,架空地线将比无覆冰时的弧垂要低,弧垂降低的程度取决于冰荷载的重力和架空地线本身的弹性模量。一般来说,架空地线与同走廊的导线的弹性模量不会有太大差别。同

一地段的导线覆冰也相差不大,故在一般情况下,可以粗略地认为地线和导线的弧垂近似一致,二者之间的间距也基本恒定。但是,弧垂过大,再加上覆冰导线特殊的空气动力特性,容易导致导线发生舞动,因而增加了导线之间放电的风险。此外,当导线实施融冰之后,导线因冰荷载的释放而恢复正常弧垂,而地线由于无法实施除冰,其与导线之间的距离可能会小于安全距离,这将会导致导线之间的放电甚至直接放电,如图1所示。

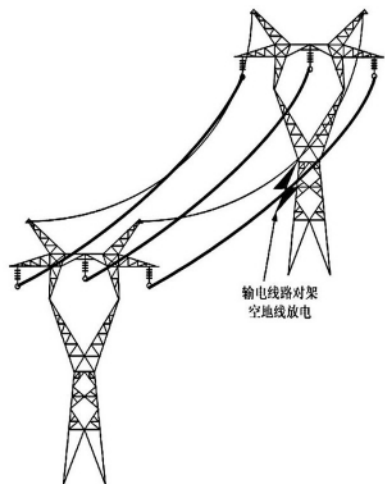


图1 架空地线因弧垂过低与输电线路放电

2 架空地线的融冰方案

由于架空地线与塔直接连接,沿线分布接地,因而不能通过融冰电流。要对架空地线实施融冰的前提条件是要对其进行绝缘化改造^[7-8]。改造的目标是让塔与地线之间相互绝缘。改造的方式是在塔与地线之间安装绝缘子,使架空地线与塔之间通过绝缘子相连,从而隔断了塔与地线之间的电气连接(如图2所示)。在地线两端的变电站,架空地线通过一个开闸后接地。在正常运行时,隔离开关处在合闸位置,使架空线在变电站内接地。而在融

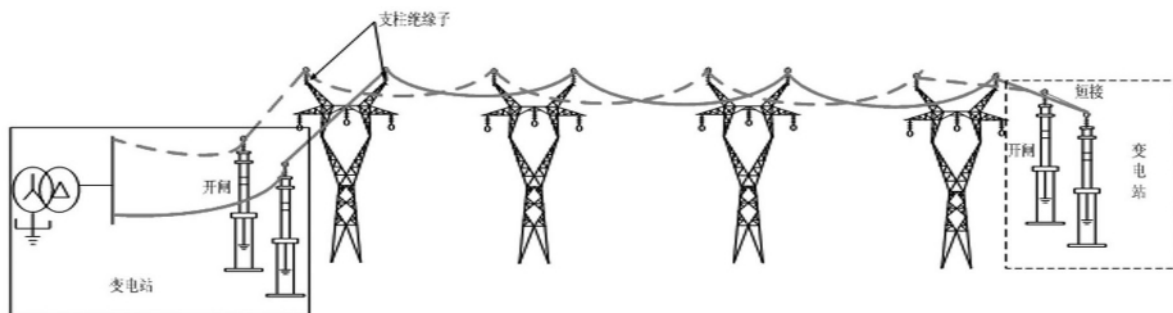


图2 架空地线的绝缘化改造

冰状态,使隔离开关处在断开状态,电源端变电站对架空地线通融冰电流,在对侧变电站使两地线直接短接,融冰电流通过两架空地线形成回路,从而达到融冰的目的。

2.1 架空地线融冰电流的选择

架空地线融冰与导线融冰原理是一致的。如图3所示,架空地线通融冰电流后,将产生焦耳热。焦耳热一部分用于加热地线,使其温度升高。焦耳热的另一部分则传递至冰层内表面。在冰层内表面上,一部分热量用于融冰所吸收的潜热,另一部分则传导至冰层外表面,使冰层外表面的温度上升至 T_i 。由于冰层外表面的温度 T_i 大于环境温度 T_a ,所以,冰表面将以对流传热和辐射散热的方式向周围的空气中散失热量。而对流传热和辐射传热是由风速和环境温度控制的,所以,导线融冰也受风速和环境温度的影响。根据融冰过程中热传递过程,可以得到式(1)~(4)的融冰电流计算公式^[1-5]。

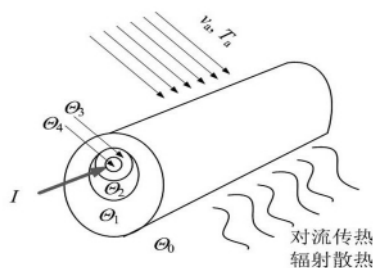


图3 融冰的热平衡示意图

$$h = (0.295R_i)^{-0.534} v_a^{0.466} + 4.39 \times (1 + 0.01T_a) \quad (1)$$

$$T_i = \frac{T_a}{1 + \frac{13.947}{h \ln(R_i/R_c)}} \quad (2)$$

$$t = \frac{x}{I^2 r_T - 2\pi h \Delta TR_i} \times 10^6 \quad (3)$$

$$I = \sqrt{\frac{x + 2\pi h \Delta TR_i t \times 10^{-6}}{r_T t}} \times 10^3 \quad (4)$$

表1 几种型号地线的融冰电流及电源容量
 $v_a = 5 \text{ m/s}; T_a = -5 \text{ }^\circ\text{C}; d_i(\text{覆冰厚度}) = 10 \text{ mm}; t = 60 \text{ min}$

地线型号	I_{dc} /A	I_{ac} /A	S_{dc} /(kVA·km ⁻¹)	S_{ac} /(kVA·km ⁻¹)	U_{dc} /(kV·km ⁻¹)	U_{ac} /(kV·km ⁻¹)
GJ-70	110.385 2	110.382 7	16.510 53	17.963 26	0.149 572	0.162 736
GJ-80	129.766 6	129.763 0	20.744 29	22.840 25	0.159 859	0.176 015
GJ-100	142.758 8	142.752 6	19.767 63	22.931 05	0.138 469	0.160 635
GJ-135	178.743 2	178.729 4	23.276 42	29.382 36	0.130 223	0.164 396

式(1)~(4)中 h 为散热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; T_i 为冰表面温度, $^\circ\text{C}$; v_a 为风速, m/s ; T_a 为环境温度, $^\circ\text{C}$; R_c 为地线半径, m ; R_i 为地线覆冰后的半径, m ; r_T 为地线的电阻率, Ω/m ; t 为融冰时间, s ; I 为直流融冰电流, A ; $x = 341.18(R_c + R_i)^{1.5} R_c^{0.5} + 3.01(R_i^2 - R_c^2) \Delta T$; $\Delta T = T_i - T_a$ 。

对于交流,由于存在趋肤效应,地线的线电阻率计算式为

$$r_{ac} = r_{dc} (1 + y_s) \quad (5)$$

式中 r_{dc} 为地线的直流电阻率, Ω/m ; r_{ac} 为地线的交流电阻率, Ω/m ; y_s 的计算式为

$$\begin{cases} y_s = \frac{x_s^4}{192 + x_s^4} \\ x_s^2 = \frac{8 \times 10^{-7} \pi f k_s}{r_{dc}} \end{cases} \quad (6)$$

式中 f 为电流的频率, Hz ; k_s 为导线的结构系数,对于地线 $k_s = 1$ 。

将地线的直流电阻率 r_{dc} 和交流电阻率 r_{ac} 分别代入式(1)~(4),即可分别得到地线的直流融冰电流 I_{dc} 和交流融冰电流 I_{ac} 。

直流融冰电源的容量(S_{dc})可由以下公式确定。

$$S_{dc} = I_{dc}^2 r_T L_c \quad (7)$$

式中 S_{dc} 为直流融冰的电源容量, $\text{V} \cdot \text{A}$; r_T 为地线在温度 T $^\circ\text{C}$ 时的电阻率, Ω/m ; L_c 为融冰导线的长度, m 。

交流短路融冰电源容量为

$$S_{ac} = I_{ac}^2 L_c \sqrt{r_T^2 + \omega^2 l^2} \quad (8)$$

式中 l 为单位长导线电感, H/m 。

根据以上计算方法,可得到几种型号地线的融冰电流及电源容量,如表1所示。由表1数据可知,由于地线的电阻较大,采用交流融冰时,有功消耗为主,无功消耗相对较小。故从成本和方便的角度考虑,架空地线融冰宜采用交流融冰。

3 架空地线融冰改造的实施方案及其

影响

3.1 架空线路绝缘化改造的方法

由表1数据可知,对于架空地线融冰,线路压降不大,100 km 线路压降小于 20 kV,故线路改装相对较为容易,可以考虑采用输电线路不停电改造。

但是,带电改造过程中,要考虑到地线可能会折断并与输电线路短路。在短路瞬间,地线会有短路电流通过。大短路电流可能会使地线瞬间温度上升,从而可能会烧伤操作人员,故线路改造技术人员一定要带防烧伤手套。

3.2 架空线路绝缘化改造后对防雷的影响

架空线路绝缘化改造后,除在两端变电站接地外,中间塔位处不再接地,当雷落在输电线路中间断的地线上时,会增加线路反击雷的概率。因此,为防止落在地线上的雷反击导线,在不覆冰的季节,建议将雷区地线恢复接地。

4 结 语

(1) 要对地线进行融冰,要对其进行绝缘化改造,改变其沿线分布式接地特性,使地线具备通融冰电流的条件;

(2) 由于地线电阻远大于同走廊导线电阻,故在通融冰电流的情况下,电源容量主要提供有功消耗。考虑到经济成本和方便性等因素,建议采用交流融冰方法;

(3) 地线绝缘化改造后对防雷有一定的影响,因此在雷季的多雷区线路,建议将绝缘化改造的线路恢复接地。

参考文献

- [1] Songhai Fan, Xingliang Jiang, Caixin Sun, et al. Temperature Characteristic of DC Ice-melting Conductor [J]. Cold Regions Science and Technology, 2011, 65 (1): 29-38.

[2] Songhai Fan ,Xingliang Jiang ,Lichun Shu , et al. DC Ice - melting Model for Wet - growth Icing Conductor and Its Experimental Investigation [J]. Science in China Series E: Technological Sciences , 2010 , 53 (12) : 3248 - 3257.

[3] Songhai Fan ,Xingliang Jiang ,Lichun Shu , et al. DC Ice - Melting model for Elliptic Glaze Iced Conductor [J]. IEEE Transactions on Power Delivery , 26 (4) : 2697 - 2704.

[4] Xingliang Jiang , Songhai Fan , Zhi jin Zhang , et al. Simulation and Experimental Investigation of DC Ice - Melting Process on an Iced Conductor [J]. IEEE Transactions

on Power Delivery , 2010 , 25 (2) : 919 - 929.

[5] 蒋兴良 范松海 胡建林 等. 输电线路直流短路融冰的临界电流分析 [J]. 中国电机工程学报, 2010 , 30 (1) : 111 - 116.

[6] 文聪. 输电线路导线覆冰断股分析 [J]. 云南电力技术 , 2009 , 37 (5) : 24 - 25.

[7] 周鹏 李光辉. 架空地线的融冰方法及改进措施 [J]. 湖南电力, 2008 , 28 (4) : 47 - 48.

[8] 许树楷 赵杰. 电网冰灾案例及抗冰融冰技术综述 [J]. 南方电网技术 , 2008 , 2 (2) : 1 - 2.

(收稿日期:2012-04-01)

(上接第22页)

重要程度分批次恢复是必须遵循的原则。负荷恢复方案可参考低频减载方案。一般来说低频减负荷方案中没有涉及的负荷定为第1级,低频减负荷轮次为“后备”的负荷定为第2级,低频减负荷轮次为“特2”、“特1”轮的分别为第3、第4级,低频减负荷轮次为第6、5、4、3、2、1的分别定为第5、6、7、8、9和第10级。每1级还可按50 MW进行轮次划分^[2]。

在负荷恢复中省地两级调度应做好配合,由省调根据子网的备用及潮流分布情况向地调下达负荷指标,地调根据省调下达的负荷指标,按级别轮次进行负荷恢复,待频率及电压恢复到正常运行水平时,再开始下一轮的恢复。负荷恢复不仅是黑启动的最终目的,也是建立一个稳定运行电网的必要手段。

省调负责省级电网发电和用电的平衡,负责省内500(330) kV及220 kV环网及所辖发电厂的调度运行管理。将子网做大做强是省调的主要职责。根据收集来的信息迅速确定黑启动路径是省调调度员的首要任务。启动路径应由电源到负荷的电压转换的次数尽量少、路径长度尽可能短为原则,并先启动离重要负荷近的机组,主网架先恢复单线联系。在子网做大做强的过程中和地调密切配合保证频率的稳定,同时密切关注电压情况,利用电容电抗及电厂进行调压,并合理分布子网的潮流。在子网运行稳定的情况下,尽快同步电气孤岛,扩大子网的规模。

网调调度管辖的主要是500 kV系统的骨干网络,在黑启动中负责各黑启动路径中网调调度设备的送电,为各省、市调相关地区提供启动电源。省、市调选择网调黑启动电源对其负荷供电后,与省调协调进行频率、电压调整。对于从220 kV系统开始

启动的子网,500 kV系统主要承担了子网间并列的任务。因此网调的主要责任在于省调将子网启动起来后,选择并列点,加强子网间的联系,提高电网运行的稳定性。根据各省调子网恢复的程度及先后次序研究省网黑启动子系统并列点和并列次序是网调调度的主要责任。

国调是电网调度的最高一级调度机构,国调调度管辖的主要设备以网间联络线及直流系统为主,这已经是黑启动过程中最后的一个环节。网间交流联络线主要视送受端的负荷平衡情况来恢复,对系统稳定性的提高并不具备显著效应。直流系统的恢复应在系统送、受端的发电和负荷都恢复到停电前一半的水平以上,并根据送受端的电力电量平衡情况来考虑是否有必要恢复。

6 结 语

一个稳定运行的子网的建立需要电厂、变电站及各级调度机构间的协调配合。黑启动操作是由上级调度对下级调度实施统一协调,实现了分区启动和分区协作的恢复调度。厂网间协调配合才能在尽可能短的时间内建立一个稳步运行的电网,将对社会经济的影响降到最低。

参考文献

[1] 陈明. 对电网黑启动中试验电源容量问题的探讨 [J]. 华中电力, 2009 , 22 (5) : 55 - 57.

[2] 杨春雨 李永锋. 地区电网“黑启动”方案研究 [J]. 云南电力技术, 2008 , 36 (1) : 14 - 16.

作者简介:

王莉丽(1977),女,硕士,工程师,长期从事电网调度工作。
(收稿日期:2012-02-13)