

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.03.011

输电线路导线及地线复用新型直流融冰装置 技术研究综述

宋宏俊

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: [目的]在雨雪冰冻气候环境下,为了避免输电线路冰雪灾害事故的发生,需对输电线路进行融冰以加强其抵御冰雪灾害的能力,直流融冰装置是一种近年来应用广泛且行之有效的融冰装置。[方法]通过建立一种可行且有意义的技术来解决采用完全独立的两套融冰设备直流融冰装置设备投资大,占地面积增大,运维等费用成倍增加,整体经济性差的问题。提出一种可行的方法,即介绍了一种导线及地线复用新型直流融冰装置的主电路拓扑结构,可以一套装置实现导线和地线复用直流融冰的功能。[结果]获得的结果证明了这种技术是可行的和有效的。[结论]这项技术为进一步研究解决输电线路导线和地线覆冰、降低直流融冰装置投资、提高输电系统抵御自然灾害的能力具有重要参考意义。

关键词: 直流融冰; 电力电子; 整流变压器; 整流阀

中图分类号: TM752

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2018)03-0072-05

Overview on Technology of New Model DC Ice-melting Device for Phase Wire and Ground Wire of Transmission Line

SONG Hongquan

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: [Introduction] In the freezing rain and snow climate environment, it is necessary to heat the transmission line to strengthen its ability of resisting accident caused by snow and ice disaster. DC ice-melting device has been using widely and effectively current years. [Method] This paper aimed to establish a feasible and meaningful technology to solve the problem of DC ice-melting device which adopted two independently sets of ice melting equipment, doubled the O & M cost, had worse economy, and need more investment and floor space. Wherefore, this paper proposed a feasible method which a main circuit topology of new model ice-melting device used for ice-melting and snow on both phase wire and ground wire, then it was introduced in this essay. [Result] The results we obtained prove that this technique is feasible and effective. [Conclusion] This technology provides great significance for further study on solving the problem of snow and ice overage on phase wire and ground wire, in reducing the investment on DC ice-melting device and in improving the capability of transmission system to resist the natural disaster.

Key words: DC ice-melting; power electronics; rectifier transformer; rectifier valve

根据国内历年来气象统计数据以及电网冰雪灾害统计调研结果表明:我国电网在预防雨雪冰冻灾害方面形势严峻,在雨雪冰冻天气环境下,很多输

电线路和电力设施出现冰雪覆盖的情况,线路断路器跳闸、线路杆塔倒塌等现象频繁发生,使得电网的安全可靠运行受到严重的威胁,造成电力中断,损失惨重。自从 2008 年以来,我们国家从北至南发生了大范围的冰冻雨雪气象情况,使得输电网的大量设施覆冰雪严重,许多设施由此受到不同程度的损坏。据统计,在 2008 年的冰灾时期,

收稿日期: 2017-12-15 返回日期: 2018-05-10

基金项目: 中国能建广东院技术标准类项目“《架空输电线路电气设计规程》编制”(ER0418W)

仅湖南省电网区域就有 28 条 500 kV 输电线路发生了冰山故障现象, 占比同等级电压输电线路总数的 87.5%, 220 kV 及以下输电线路发生覆冰闪络故障的线路数量则超过百条; 全省的 500 kV 输电线路发生的跳闸次数高达 89 条次, 14 条回路、174 座基塔发生了倒塔断线情况。可见冰灾天气对电网造成的损害范围之大、数量之多、后果之严重^[1]。

输电线路覆冰不仅危及电力系统的安全稳定运行性, 而且对国民生产生活造成巨大影响。线路覆冰增加了导线、杆塔和金具的荷载, 当覆冰达到一定程度时, 实际荷载超越了设计荷载, 就会导致杆塔倒塌、线路断线等情况发生, 进一步造成输电网架的大范围停电事故^[2]。同时, 线路覆冰雪造成的停电事故发生在严冬季节, 由于大雪封山封路, 交通极为不便, 从而使得故障抢修十分艰难, 无法做到及时抢修, 也就导致了长时间停电, 给社会的生产、生活造成极大的影响, 给国民经济造成重大损失。为了避免此类冰雪灾害事故的重演, 必须加强该重要输电通道的抵御冰雪灾害的能力, 以保证外送通道的安全运行。其中直流融冰装置是一种行之有效且近年来应用广泛的防冰装置。

输电线路在正常运行工况下, 线路杆塔两侧受到的架空导、地线所产生的张力是基本保持平衡的。然而在冬季雨雪天气下, 由于线路上覆冰不均匀, 杆塔的这种平衡受力状态被破坏, 引起张力差; 当张力差增大到一定程度时, 杆塔由于承受不住张力便会发生倾斜、弯曲现象。当发生输电线路覆冰雪现象时, 如果输电线路的设备设施诸如导地线、线路金具、绝缘子等所承受的荷载超出其设计承受能力时, 就会导致导地线拉断、金具脱落、绝缘子破损等情况的发生, 从而进一步导致线路杆塔折断、倒塌。

架空地线又称避雷线, 简称地线, 主要用于保护架空输电线路免遭雷闪袭击, 提高线路运行的安全性, 是高压输电线路结构的重要组成部分。在冰雪天气情况下, 虽然架空地线和输电导线一样都处在同样的环境中, 但是输电导线由于自身带有负荷电流发热可以提高抗覆冰能力, 而架空地线却没有导线这样的优势, 所以对于架空地线来说, 相较于导线其抗覆冰能力更差, 即其线上覆冰厚度会远远超过输电导线。当架空地线上的覆冰荷载值超出其设计承受值时, 就会发生弧垂不足而对线路放电或

者直接断裂。同时, 现在大部分输电线路的架空地线都复合了电力通信网, 架空地线断裂也会导致电力通信通道中断, 使得电力控制系统的安全运行受到严重影响。

1 国内外研究水平综述

为了保证电力系统在严冬季节尤其是冰雪天气环境下能够依然安全可靠运行, 国内外技术人员就输电线路的融冰方式和相关技术开展了大量的研究和分析工作。针对输电线路已经形成严重覆冰的情况主要采用机械除冰法和大电流融冰法等主动除冰方式。其中机械除冰法会损伤金属导线, 我国尚没有在工程中应用。大电流融冰法又包括增加覆冰线路负荷电流融冰、采用高强度耐热铝合金线融冰、交流短路电流融冰、应用电力电子技术进行直流电流融冰。其中增加覆冰线路负荷电流融冰受运行方式的限制; 采用高轻度耐热铝合金线融冰需要对线路进行改造, 成本较高且线损大。因此, 采用交流短路电流融冰、直流电流融冰成为两种最有效和可行的融冰方式。

短路电流融冰法在国内外都有成功应用的先例。2008 年湖南冰灾发生期间, 湖南省电力公司采用交流短路融冰技术对运行条件允许的 20 回 220 kV 输电线路进行融冰, 从而确保了部分 220 kV 线路的安全可靠运行, 对湖南电网抗击冰雪灾害发挥了重要作用^[3-4]。500 kV 线路通常采用多分裂导线所需的融冰电流大(一般需要达到几千安培), 而其交流阻抗大, 所需融冰电源电压高、容量大; 再加上, 输电线路导线型式和长度各异, 为了适应融冰电源电压经常需要将几条线路串联起来进行融冰, 给系统的运行方式带来极大影响; 因此, 采用交流短路融冰主要应用于 220 kV 及以下线路融冰, 在 500 kV 及以上电压等级线路进行短路融冰的案例几乎没有^[5]。

众所周知, 500 kV 交流线路的直流电阻不到交流阻抗的 10%, 如果想要在融冰的时候产生相同电流值的融冰电流, 运用直流模式所需要的电源容量相较于交流模式要小得多; 同时在直流融冰模式中普遍采用全控整流桥, 其输出电压、电流可以连续调节, 可以适应不同长度、不同导线类型线路融冰。

直流融冰技术的主要工作原理就是将直流电流施加在覆冰线路上, 即把覆冰线路作为负载, 由此

实现采用较低的电压产生的直流短路电流来加热导线使线路覆冰融化。根据实际的需要,直流电流融冰的解决方法有两种:专用的直流融冰装置、兼顾 SVC 和直流融冰两种用途的复合装置。

在国外,应用电力电子变流技术对线路进行直流融冰已有成功运行的工程。早在 1972 年,受到冰雪影响严重的前苏联就开始采用二极管整流装置进行线路融冰,后来到现在则采用可控硅整流装置。基于可控硅整流技术,俄罗斯直流研究院发明了两个电压等级组合的可控硅整流融冰装置,即由 11 kV 交流母线供电 14 kV 的可控硅整流装置和由 38.5 kV 交流母线供电的 50 kV 的可控硅整流装置。14 kV 和 50 kV 电压等级装置的额定功率分别为 14 MW 和 50 MW。其中在 1994 年对一条 315 km 的 110 kV 电压等级的输电线路采用了 50 kV 的可控硅整流装置(50 MW)装置进行除冰。

在 1998 年,阿海珐(AREVA)公司和加拿大合作开发了一种被称为 HVDC-ice 的直流融冰技术。采用该技术的直流融冰装置系统输出的直流电流高达 7.2 kA,使得更容易将输电线路导线的温度升高,将覆盖在导线上的冰雪融化并滑落。HVDC-ice 系统用在加拿大魁省的主要枢纽 Levis 变电站,系统覆盖约 600 km 输电线路^[5-6]。

在国内,应用电力电子变流技术对 500 kV 线路进行直流融冰也有了成功运行的工程,由中国电科院成功研究设计的亚洲首套大容量直流融冰装置,具备对四分裂 500 mm² 截面导线融冰 180 km 的能力^[7]。2008 年 12 月,该装置在湖南复兴变电站至沙坪 I 回 500 kV 线路上进行现场试验融冰,其输出融冰电流 4 kA,测点最大温升 47 ℃,各项试验数据均达到 500 kV 线路融冰要求。2009 年 1 月,由南瑞集团自主研制的 500 kV 输电线路可移动直流融冰装置在湖北省咸宁 500 kV 变电站进行了咸宁-梦山 50 km 线路进行了融冰。自 2008 年以来,包括中国电科院、南瑞集团、许继、南方电网等单位在内的诸多企业,均研制出了针对各种输电线路的固定式或移动式直流融冰装置(有的直流融冰装置经重构还具备 SVC 无功补偿功能)。

2 研究的理论和实践依据

2.1 直流融冰技术原理

直流融冰技术的原理就是将直流电流施加在覆

冰线路上,即把覆冰线路作为负载,由此实现采用较低的电压产生的直流短路电流来加热导线使线路覆冰融化^[8]。

所需的直流融冰电流可通过两种技术来产生,即发电机电源整流技术和可控硅阀组整流技术。前者虽可减少投资但却受发电机组容量与融冰所需容量的限制,大多情况都不满足需求。因此采用可控硅阀组整流技术进行线路融冰成为目前的主流技术;这种融冰技术的适用工况更广泛,可以根据不同的线路融冰工况来调节所需的直流融冰电压和电流值大小,从而满足不同应用工况的需要,是现有融冰方法中最理想、最有效,也是最为普遍采用的一种直流融冰技术^[9]。

2.2 直流融冰装置

直流融冰装置主要由系统电源、整流变压器、晶闸管整流器、平波电抗器、交直流滤波器及各类开关组成^[8]。其中由可控硅(晶闸管)构成的整流器是直流融冰装置的主要设备,产生覆冰线路发热融冰所需的直流融冰电流。系统电源一般取自融冰线路所在的变电站交流系统,通过整流变压器向晶闸管整流器输送交流电源。可控硅(晶闸管)的控制系统通过改变可控硅(晶闸管)的触发角来调节在线路融冰过程中所需的直流融冰电流。交流滤波器主要用于抑制融冰装置产生的谐波,使其满足国标要求。直流滤波器主要用于滤除同杆并架线路工频感应电流,抑制整流变压器的直流分量^[10]。

现有的大部分直流融冰装置一般都是采用以下两种融冰接线方式:

- 1) 两相导线串联,简称“一去一回”方式。
- 2) 两相导线并联后与第三相导线串联,简称“一去两回”方式。

国内、外已成功运行的诸多直流融冰装置工程,成熟的直流融冰技术和直流融冰装置设备应用于电网,这为文章论及的技术研究的可行性奠定了良好的理论和实践基础。

为了方便对输电线路的导线及地线融冰,通常直流融冰装置被设计及安装成完全独立的两套装置,两套独立的整流变及整流装置^[11-12],控制保护系统也各自独立。这样就增加了设备投入,同时占地面积增大,运维等费用成倍增加。因此,为了更好地实现对输电线路的导线及地线进行融冰,文章介绍一种输电线路导线及地线复用新型直流融冰

装置技术方案, 对解决输电线路导线和地线覆冰、降低直流融冰装置投资、提高输电系统抵御自然灾害的能力具有重要意义。

3 导线及地线复用新型直流融冰装置

文章推介的导线及地线复用新型直流融冰装置的主拓扑结构如图1所示, 该拓扑结构由电网侧母线供电, 主要包括三绕组整流变压器、大电流晶闸管整流器、小电流晶闸管整流器以及断路器、隔离开关等。

如图1所示, 装置对线路导线进行融冰时, 启动三绕组整流变压器大容量、小容量线圈, 以及大电流阀组, 此时小电流阀组处于带电闭锁状态。由交流电源供电, 6脉动大电流晶闸管整流器经过对交流电整流后, 以覆冰线路导线为负载输出直流电流, 直流电流施加在线路上, 产生热量使线路导线覆冰融化。直流融冰装置通过改变晶闸管阀的触发角来调节在线路融冰过程中线路直流电流的大小。

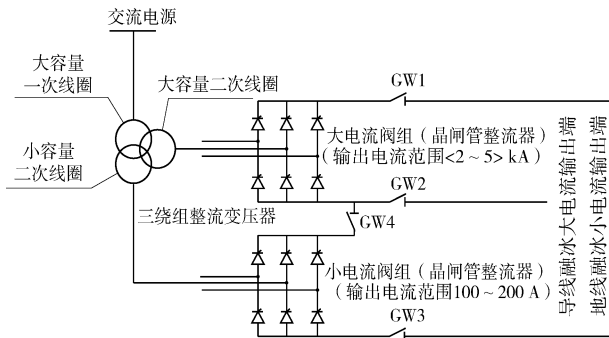


图1 导线及地线复用新型直流融冰装置原理图

Fig. 1 Schematic diagram of new model dc ice-melting device for phase wire and ground wire

装置对线路地线进行融冰时, 启动三绕组整流变压器大容量、小容量线圈, 以及大电流、小电流晶闸管整流器, 此时大电流及小电流晶闸管整流器串联同时工作, 由交流电源供电, 6脉动大、小电流晶闸管整流器串联组合经过整流以覆冰线路地线为负载输出直流电流, 直流电流施加在线路上, 产生热量使线路地线覆冰融化。直流融冰装置通过改变晶闸管阀的触发角来调节在线路融冰过程中线路直流电流的大小。

该装置的大电流晶闸管整流器、小电流晶闸管整流器, 两者共用一套水冷却装置, 利用隔离开关串联组合连接, 通过对线路导线和地线隔离开关的

操作以及控制保护系统的闭锁功能, 对电流晶闸管整流器、小电流晶闸管整流器进行拆分重组, 对小电流晶闸管整流器带电闭锁控制选择, 构成不同的拓扑结构, 从而实现其在导线直流融冰功能和地线直流融冰功能之间进行切换, 解决大电流、低电压、大容量导线直流融冰装置问题和小电流、高电压、小容量导线直流融冰装置问题。

4 结论

如今, 导线融冰和地线融冰独立装置已经广泛的应用, 现有成熟技术在对输电线路的导线及地线融冰时, 通常直流融冰装置被设计及安装成完全独立的两套装置, 如图2所示。

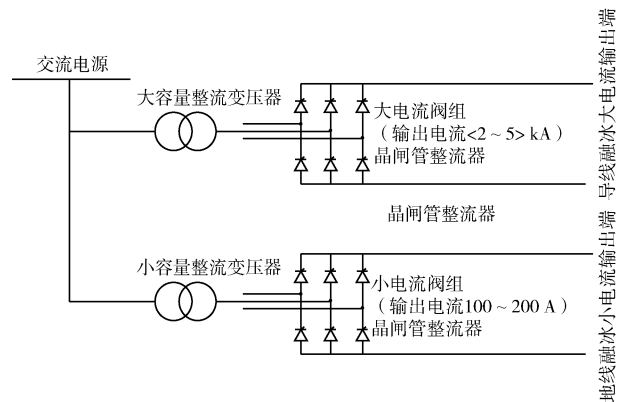


图2 导线、地线直流融冰装置原理图

Fig. 2 Schematic diagram of DC ice-melting device for phase wire or ground wire

与现有技术比, 该复用新型装置有以下优点:

1) 本装置中导线及地线复用新型直流融冰装置主拓扑, 利用主要设备在不同应用状态下的重构, 可以分别实现线路导线和线路地线直流融冰功能。

2) 本装置的主拓扑结构, 在不影响装置效果的情况下, 相比较于导线地线独立融冰装置技术, 节省了一台整流变、一套控制器、一套水冷却装置、一套控制保护系统, 减少了装置整体占地面积, 降低了噪声和装置整体的投资, 较大增强了装置整体的经济性。

3) 本装置的大电流、小电流晶闸管整流器, 可以在导线和地线两种直流融冰模式下实现设备及其参数全部兼容, 包括整流变压器、晶闸管阀组、水冷却系统、断路器、隔离开关及控制系统等设备完全通用。

4) 本装置的导线和地线两种直流融冰快速切换

方式,可以通过控制晶闸管阀组及整流变压器的刀闸分合快速简便地实现导线融冰、地线融冰功能的切换,完成整个装置的构造。

5)本装置的整流变压器和大电流、小电流晶闸管整流器组合配置方案,在进行优化设计的基础上,可以整流输出不同直流电流值,分别满足导线和地线融冰需求不同电流值的需求,同时可以优化阀正常运行时触发角范围,保证整流阀组在最优工况下运行,提高装置运行的可靠性。

6)本装置的三绕组整流变压器和双套晶闸管整流器组合配置方案,在优化设计的基础上,可以在省去一台整流变、一套直流融冰控制器、一台晶闸管整流器用水冷装置的同时保证导线和地线直流融冰功能的实现以及仍然可以保证直流融冰电流不出现断续情况,提高了整套装置的经济性。

7)本装置的导线融冰功能和地线融冰功能在同一套装置上实现的方法,可以有效快速地利用三绕组整流变压器和双套晶闸管整流器的重构实现装置功能的变化,导线、地线融冰功能的运行方式转换方便快速,节省了成本。

参考文献:

- [1] 刘文涛,和识之,陈亦平,等.基于直流融冰的电网大面积冰灾防御策略[J].电力系统自动化,2012,36(11):102-107.
LIU W T, HE S Z, CHEN Y P, et al. Defensive strategy for wide area ice disaster of power grid based on deicer [J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(11): 102-107.
- [2] 张迅,曾华荣,文贤旭,等.直流融冰装置常见问题及对策研究[J].贵州电力技术,2012,15(2):8-9+39.
ZHANG X, ZENG H R, WEN X K, et al. The common problems of the DC de-icer and its countermeasures [J]. Guizhou Electric Power Technology, 2012, 15(2): 8-9+39.
- [3] 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):1-5.
XU S K, ZHAO J. Review of ice storm cases impacted seriously on power systems and de-icing technology [J]. Southern Power System Technology, 2008, 2(2): 1-5.
- [4] 黄新波,刘家兵,蔡伟,等.电力架空线路覆冰雪的国内外研究现状[J].电网技术,2008,32(4):23-28.
HUANG X B, LIU J B, CAI W, et al. Present research situation of icing and snowing of overhead transmission lines in China and foreign countries [J]. Power System Technology, 2008, 32(4): 23-28.
- [5] 申国华.直流融冰装置的工作原理及融冰方式探讨[J].贵州电力技术,2011,14(7):26-28.

SHEN G H. Discussion on the principles of DC ice-melting device and ice-melting methods [J]. Guizhou Electric Power Technology, 2011, 14(7): 26-28.

- [6] 王敦青,张厚荣,罗望春,等.强寒潮下超高压输电线路直流融冰效果差异分析[J].广东电力,2016,29(12):110-114.
WANG X Q, ZHANG H R, LUO W C, et al. Analysis on differences in DC de-icing effects on EHV power transmission lines under strong cold wave weather [J]. Guangdong Electric Power, 2016, 29(12): 110-114.
- [7] 武守远,荆平.输电线路直流融冰关键技术[M].北京,中国电力出版社,2014:10-15.
WU S Y, JING P. Key technologies of DC ice melting for transmission line [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2014: 10-15.
- [8] 赵国帅,李兴源,傅闯,等.线路交直流融冰技术综述[J].电力系统保护与控制,2011,39(14):148-154.
ZHAO G S, LI X Y, FU C, et al. Overview of de-icing technology for transmission lines [J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(14): 148-154.
- [9] 姚致清,刘涛,张爱玲,等.直流融冰技术的研究及应用[J].电力系统保护与控制,2010,38(21):57-62.
YAO Z Q, LIU T, ZHANG A L, et al. Research & application on DC de-icing technology [J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(21): 57-62.
- [10] 陈璨.架空线路中PGW融冰技术的研究[J].南方能源建设,2016,3(2):82-87.
CHEN C. Research on overhead line OPGW ice-melting technology [J]. Southern Energy Construction, 2016, 3(2): 82-87.
- [11] Risk Management solution Inc. The 1998 ice storm: 10-year retrospective [R/OL]. U. S. A; RMS Special Report, 2008. http://www.rms.com/Publications/1998_Ice_Storm_Retrospective.pdf.
- [12] 孙栩,王明新.交流输电线路大容量固定式直流融冰装置的设计方案[J].电力自动化设备,2010,30(12):102-105.
SUN X, WANG M X. Design scheme of large-capacity fixed DC de-icing device for AC transmission lines [J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(12): 102-105.

作者简介:



SONG H Q

宋宏全(通信作者)

1981-,男,广西陆川人,硕士,主要从事智能电网工程、电力电子技术应用研究、项目管理等工作(e-mail) songhongquan@gedi.com.cn.