

电力系统冬季除冰和防冰问题的研究

刘 琨, 刘 念

(四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065)

摘 要:就每年冬季电力系统遇到的覆冰状况而导致的输电线路故障问题,介绍了国内外电力系统的除冰和防冰的研究成果。分析了各类方法的优缺点,对现有方法存在的问题进行总结并对以后的研究趋势进行展望。

关键词:除冰;防冰;电力系统

Abstract: Because of conductor icing of transmission lines failure almost happens in every winter. De-icing and the anti-icing research results of power system at home & abroad are introduced. Advantage and disadvantage of each kind of methods are analyzed. The problems are summarized and the trend of development is shown.

Key words: power line de-icing; power line anti-icing; power system.

中图分类号: TM751

文献标识码: B

文章编号: 1003-6954(2008)04-0039-04

每逢冬季世界上许多地区的电力系统都会遭受由风雪灾害天气带来的不同程度的损害,而 2008 年初中国南方的冰雪灾害天气则给中国南方的电力系统带来了前所未有的损害。这次风雪灾害天气导致导线覆冰现象严重,导线覆冰厚度超过导线本身的设计抗冰厚度,使导线覆冰后因其质量、风压面积的增加而引发事故;同时还会引起架空线路中相邻档的不均匀覆冰或线路不同期脱冰而引发事故和由于不均匀覆冰或冰、风荷载的作用使导线产生自激振荡和低频舞动而产生事故。这些事故最终会导致金具损坏、导线断股、绝缘子串翻转、导线电气间隙减少,发生闪络,断线和杆塔倾斜或倒塌等严重的机械及电气故障。为此世界各国投入了很大的力量研究线路在冰灾条件下的抗冰融冰技术。

1 输电线路的除冰与防冰

1.1 除冰

线路故障是由于冬季冰冷天气降水使得电线和杆塔上覆冰过重所致,故对线路的除冰成为保证输电通畅的主要手段。对付线路覆冰的方法大致上可以分为两类:第一类是加强线路及杆塔的机械结构;第二类是在线路覆冰达到所能承载极限之前进行有效的除冰。而除冰大致又可分为两类:一是机械除冰,即对覆冰线路进行机械振动、碾压和铲刮等;二是热力除冰,即给覆冰线路通以直流电,短路电流或负载电流等,利用电流的热效应融冰而达到除冰目的。据

有关资料显示,如果将铁塔能够承受的力提高 10%,那么整个铁塔的造价大约要增加 40%。这显然有悖经济性原则,因此第二类方法成了研究的主流。

1.1.1 机械除冰

典型的机械除冰方法是文献 [1] 提出的“ADHOC”方法,就是用起重机、绝缘作业工具车或采取带电直接作业方式机械除冰,有时也采用手工除冰或直升飞机除冰,它耗能小,价格低廉,但操作困难,既不安全,又不十分有效,安全性能亦需完善。文献 [2] 提出的滑轮铲刮技术是一种由地面操作人员拉动一个可在线路上行走的滑轮达到铲除导线上覆冰的方法,此种方法是目前唯一得到实际应用的输电线路除冰的机械方法,但是其被动性强,无防冰效果,工作强度大,效率低,且易受地形限制。文献 [3] 提出一种通过外部振动器使覆冰输电线路的导线和拉线振动的除冰技术,由于要求外加振动源并且振动会加速线缆疲劳,因而难以在实际工程中采用。文献 [5] 将一种用于飞机除冰的方法移植到电力线路除冰上。此方法的原理是将线圈用低阻抗的导线通过可控硅元件连接到高压电容器组上,线路的导通由可控硅元件控制。在线路导通的瞬间事先充满电的电容器组会通过线圈放电产生强大的瞬间电流,此电流可以在靠近线圈的金属导体上感应产生很强的涡流,此涡流与线圈产生的磁场联合作用会对金属导体产生很大的冲击力从而使其产生机械晃动达到除冰目的。此方法的优点是没有运动部件;缺点是不易寻找合适的激励源且造价高、除冰范围有限。文献 [6] 给出一种

电动机装置清除超高压输电线路和架空地线上的覆冰。该装置由一个可移动机架和安装在上面的钢制刀片组成,刀片采用特定的形状和安装方式以取得最大的工作效率,牵引滑车能够产生足够强大的牵引力,该装置由运行人员在地面遥控,通讯范围为 1 km (约为两个跨距),结构紧凑、重量轻,能够安全通过节点且能在低温和潮湿的环境工作,可以带电作业,有比较广阔的应用前景。

1.1.2 热力除冰

最早的电力除冰策略是文献 [11, 12] 于 20 世纪 30 年代提出的,这是而后电力除冰思想的雏形。除冰方案可分为短路电流除冰和负载电流除冰两种,短路电流除冰即将线路的一端短路在另一端通电产生焦耳热达到融冰、除冰目的;负载电流除冰即利用线路上本身的负载电流产生的焦耳热除冰。文献 [11] 第一次提出用负载电流除冰的思想,为后来的带载除冰提供了参考。

文献 [7] 考虑到线路电抗与电阻比很大的实际情况,提出一种将欲除冰线路脱离电网再通以高压直流电的除冰方法。此方法是当有冰在电线积累时,由冰冻感应器预警,电力公司将冰冻线路暂时隔离出电网。利用高压电力电子装置将此段线路短路以形成回路,此时再注入直流电(电流大小由线路类型决定),线路因焦耳效应发热除冰。考虑到每年线路只是一小段时间需要除冰,高压电力电子装置在平时正常情况下可作为无功补偿器(SVC)并网运行,这样既增加了其系统的经济效益,又保障了线路的全天候安全可靠。此方法的缺点是操作步骤较复杂,主要包括:(1)将要除冰的线路脱离电网;(2)为除冰进行线路配置;(3)正式除冰;(4)恢复线路正常供电。

文献 [9] 提出了一种用于高压大电网的带载去冰方案。该方法无需断开线路,只需利用移相变压器将线路上的电压相位改变使得两路高压输电线路上的潮流分配改变,从而使得其中一条线路上的电流增加温度升高进而达到除冰目的。该方法的优点是(1)除冰范围广:对于 230 kV 和 315 kV 的高压线路除冰范围可达 900 km;(2)除冰时无需中断供电;(3)为防止线路上覆冰积累可启用暴风雪来临前的预加热机制;(4)无需高压线路与电网断开;(5)只需对现有的断路器进行配置就可达到除冰目的;(6)无论线路长度如何对除冰电流都具有很好的调整性;(7)由于只采用了传统的技术,因此为电力系统的操

作和维护人员所熟悉,无需专业培训。文献 [4] 提出一种可用于 120 kV ~ 315 kV 输电线路的除冰方法。该方法是将输电电流集中于输电线路中的一部分从而在容量不变的情况下增加了该部分线路的发热达到除冰目的。同时文献 [4] 还利用电脑编制了一个程序来模拟在恶劣的天气状况下高压输电线路覆冰的形成过程和由于线路上电流流动产生热量将冰融化的过程,首次给出了一种具有预测功能的方案。通过方案的预测功能利用动态规划算法调整负载电流以使暴风雪对整个电网的影响最小化。此方法的优点是除冰时负载由此“浓缩”的输电线路供电而无需断电。缺点是在除冰运行情况时由于电网并不处于正常的运行状态,所以电网会变得比较脆弱。另外就是在某部分线路上的负载电流可能仍然不能满足除冰的需要。文献 [8] 在前人研究的基础上通过找出覆冰的外表面的简化热平衡方程给出了冰的融化过程。同时还给出了两个新的模型,一个模型是基于电线对水的捕获率和冰层外表面的热交换给出的,这使得模型对线路结冰有了预测能力;另一个是在剔除掉前面模型中某些理想化假设情况下给出的模型,从而使得模型更加准确。

据文献报道,目前国内外关于输电线路覆冰在线监测方面的产品很少。文献 [14] 针对这一现状,在前人研究的基础上提出了一种在线监测方法,该方法基于覆冰载荷计算、覆冰生长机理、导线舞动、杆塔和金具强度校验以及绝缘子冰闪方面的理论研究,并借助现有中国移动或中国联通强大的通信网络进行实时数据传输,从而达到输电线路在线检测的目的。

1.2 防冰

对于新建的输电线路在设计时,有效的防止覆冰事故的方法是避开重覆冰区。然而有些输电线路无法避开重覆冰区,设计时应根据已掌握的气象资料,合理划分冰区,选取不同的设计冰厚进行线路设计,力求做到确保线路安全运行而又不过分增加线路的造价。设计中常用的防覆冰措施主要有:减少线路交叉跨越,若一定要跨越时,在高差不大的情况下,应选择靠近档端,而不要选在弧垂最低点;对重冰区线路的设计档距不易过大;线路的导线应采用水平排列的布置方法。

对于新建的和已建成投入使用的在覆冰区的输电线路则要采取积极的防冰措施。文献 [16] 和 [17] 对导线覆冰过程进行传热分析,建立了导线覆冰过程

的热平衡方程, 导出适合任何条件的导线表面温度表达式, 提出防止导线覆冰临界电流的计算公式。公式充分考虑到风速、含湿量、气温、过冷却水滴直径及导线本身特性等因素。为通过科学调度负荷实现预防导线覆冰提供了理论依据。文献 [18] 采用量纲分析方法导出了收集系数的无因次准则方程式。收集系数与过冷却水滴运动的 Re 数和导线直径与过冷却水滴直径之比的 Dr 数有关。准则方程式的计算结果与实验数据能较好符合, 使覆冰预测模型的计算更为简便和精确。文献 [20] 对几类主要覆冰性质分类为雾凇、雨凇和混合冻结考虑, 并作了定义性论述。介绍了这几类覆冰的实测密度。通过覆冰密度的分析, 揭示出雾凇和雨凇与雾凇混合冻结覆冰的密度随海拔升高而减小的原因。对防冰和除冰有一定的指导意义。

一类备受研究者的广泛关注的防冰措施 (也称被动除冰法) 是往输电线路涂抹憎水性固体涂料。利用风、地球引力、温度变化等自然条件脱冰。此法虽不能保证可靠除冰, 但无需附加能量。

2 存在的问题

现有的除冰、防冰方法虽多种多样, 但到目前为止, 尚无一成熟有效而经济的方法应用于工程实践。在现有的除冰防冰方法中, 机械除冰普遍存在着操作困难、劳动强度大、安全性能不完善、受外界条件影响大、设备造价高和除冰效果不佳等问题。热力除冰则存在能耗高的突出问题, 其能耗要比机械除冰法高出一百多倍。在求防冰的热力学方程时还存在热交换模型不准确等问题。

3 结束语

尽管经过多年的发展, 国内外在除冰和防冰方面取得了不少成果, 但各种方法都因为做了不同程度的理想化假设而使其有了适用的局限性。被认为减少覆冰的较理想方法是提高输电导线传输容量, 加大线路冬季运行潮流, 同时采用强固定电容串补偿既可以提高平时的传输能力使暂稳极限尽可能接近热稳极限, 又可以提高应急运行时输电导线的温度。这是一举多得的方案, 可能成为以后研究的趋势。由于热力除冰的高能耗特点, 这将会刺激了机械除冰法的发

展。但这还面临一些技术难题, 需要较长的路要走。在国内外众多文献中关于绝缘子串和架空地线的防冰除冰问题一直都缺乏报道, 是今后应对此类灾害天气的一个重要的发展方向。

参考文献

- [1] James W. Hall Ice storm management on an electrical utility system. Proceedings of the 7th IWAIS Canada 1996, 225-230
- [2] Mulherin Donaldson Modeling of the ice Accretion on Wires Journal of Climate and Applied Meteorology 1998, Vol 23
- [3] 能源部武汉高压研究所. 输电线路导线除冰方法综合研究 (第三集) [J]. 高压技术, 1988, 1.
- [4] M. Huneault C. Langheit R. St-Amant J. Benny J. Audet and J.-C. Richard "A dynamic programming methodology to develop de-icing strategies during ice storms by channeling load currents in transmission networks" IEEE Trans Power Del vol 20, Apr 2005, pp 1604 - 1610.
- [5] Robert I. Egbert Robert L. Schnag Walter D. Bemhart Glen W. Zumwalt Thomas J. Kendrew. "An investigation of power line de-icing by electro-impulse methods" IEEE Transactions on Power Delivery Vol 4, No. 3, July 1989, pp 1855-1861.
- [6] Montambault S. Cote J. St. Louis M. Preliminary results on the development of a teleoperated compact trolley for live-line working Proceedings of IEEE 9th International Conference on Transmission and Distribution Construction, Operation and Live-line Maintenance 2000, 21-27
- [7] Davidson C. C. Howill C. Ganger M.; Dery A. "A Power-Electronics-Based Transmission Line De-icing System" AC and DC Power Transmission 2006. ACDC 2006. The 8th IEE International Conference on 28-31 March 2006 Page(s): 135-139
- [8] Maurice Huneault Christian Langheit and Josée Caron "Combined Models for Glaze Ice Accretion and De-icing of Current-Carrying Electrical Conductors" IEEE transactions on power delivery Vol 20, No. 2, April 2005, pp 1611-1616.
- [9] René Cloutier André Bergeron and Jacques Brochu "On-Load Network De-Icer Specification for a Large Transmission Network" IEEE Transactions on Power Delivery Vol 22, No. 3, July 2007, pp 1947-1955.
- [10] Habin Liu Rachel A. Davidson and Tatiyana V. Apanasovich "Statistical Forecasting of Electric Power Restoration Times in Hurricanes and Ice Storms" IEEE Transactions on Power systems Vol 22, No. 4, November 2007, pp 2270-2279.
- [11] H. B. Smith and W. D. Wilder "Sleet melting practices- Niagama Mohawk system" Trans AIEE, vol 71, no III pp 631 - 634, 1952.
- [12] J. E. Clem. "Currents required to remove conductor sleet" Elect World pp 1053-1056, Dec 6th, 1930.
- [13] D. C. Stewart "Removal of ice from transmission line conduc-

- tors" Proc Edison Elect Inst, pp 343-346, May 1936.
- [14] 黄新波, 孙钦东, 等. “导线覆冰的力学分析与覆冰在线监测系统” [J]. 电力系统自动化. Vol 31 No 14 July 25. 2007.
- [15] 龙小乐, 鲍务均, 等. “输电导线覆冰研究” [J]. 武汉水利电力大学学报, Vol 29 No 5 Oct 1996.
- [16] Heyun Liu, Di Zhou. “Heat transfer analysis on wire icing and the current preventing from icing” Vol 12 Electricity - Csee No 1 2001. pp 28-30.
- [17] 刘和云, 周迪, 等. “防止导线覆冰临界电流的传热研究” [J]. 中国电力, Vol 34. No 3 Mar 2001. pp 42-44.
- [18] 刘和云, 付俊萍, 等. “导线覆冰时收集系数的量纲分析” [J]. 华中科技大学学报, Vol 29 No 10 Oct 2001.
- [19] 陈及时. “掌握导线覆冰临界电流做好预防措施” [J]. 中国电力. 1997, 1051-52.
- [20] 廖祥林. “导线覆冰性质分类和密度浅析” [J]. EPC Vol 15 No 9.
- [21] 蒋兴良, 易辉著. 输电线路覆冰及防护 [M]. 北京: 中国电力出版社.

(收稿日期: 2008-06-15)

云南变压器电气股份有限公司简介

云南变压器电气股份有限公司于 1999 年 1 月 4 日在云南变压器厂 (建于 1936 年) 的基础上成立, 属国有大二型企业、国家二级企业, 是国家定点生产 220 kV 及以下电压等级的变压器专业制造厂家之一。

云南变压器电气股份有限公司占地面积 116 126 m², 现有职工 750 人, 其中工程技术人员 113 人。公司技术力量雄厚, 拥有一批从事变压器研制工作三十年以上, 经验丰富的工程师、技术人员及管理人员。

公司拥有各类设备 400 台 (套), 其中引进的生产线和专业加工关键设备 68 台 (套)。先进设备有: 从德国乔格公司引进的硅钢片自动纵、横剪切线和德国海德里希公司的 300 m³ 煤油气相干燥设备、美国数控高速冲床、美国数控高速绕线机、意大利数控箔式绕线机、先进的表面处理车间、数控等离子切割机、500 t 折弯机、立式绕线机、片式散热器生产线、160 t 吊车、2 800 kV 冲击电压发生器、2 000 kVA 中频试验机组、7 5000 kVA 工频试验机组及其全套试验设备。

公司目前年生产能力 600 万 kVA, 主要生产和经营 10~240 000 kVA / 10~220 kV 电力变压器、铁道电气化用牵引变压器、特种变压器、H 级绝缘干式变压器及组合变压器, 计有十几大系列, 650 多个规格容量, 全部采用国家标准和等效采用国际 IEC 标准。由法国 TRANSFIX 公司引进的专利技术, 经消化吸收, 二次开发出高原型 H 级绝缘“赛格迈 (SECURAN ID)”干式变压器, 达到国际 20 世纪 90 年代末先进生产, 投放市场后, 即获得用户的好评和欢迎, 且已通过两部鉴定。

为满足海拔 4 500 m 有以下高原地区的环境要求, 公司特别设计了高原型系列变压器, 该类变压器普遍运行于云、贵、川以及青海、西藏等地区, 并赢得了良好的信誉; 此外, 公司还专门研制了耐雷变压器、矿用变压器、农用变压器和最新型的 S9、S10、S11 系列全密封配电变压器系列产品。

云南变压器电气股份有限公司多年来十分注重计算机应用与管理, 在全国同行业中处于领先地位。目前拥有计算机 100 多台, CAD 及 CAPP 已广泛应用于产品设计与工艺、企业管理信息系统, MIS 已成熟应用多年, 实现了管理信息联网、自动控制、绘制图表和数据处理。目前, 公司四分之一的员工普及了计算机技术。

公司在巩固国内市场的同时, 还积极开拓国际市场, 且在多次国际招标中中标, 产品出口巴基斯坦、缅甸、越南、也门、苏丹、喀麦隆等国家和地区 (其中 1988 年一次就出口巴基斯坦 1850 台小型全密封配电变压器)。

公司已取得 ISO 9001 质量体系认证, 但此认证仅是一个起点。公司将本着“用户至上”的原则及“品质为本、不断创新、持续改进、增进顾客满意”的企业质量方针, 积极向广大用户提供技术先进、性能优良、质量可靠、价格合理的产品及周到、及时的售前、售后服务; 同时, 公司坚持以“满足客户的需求”为中心, 致力于与客户共同开发、研制新产品, 使公司的产品具有广泛的适用性, 且能更好地满足广大客户的需求; 另外, 公司也期望与广大海内外客商就产品销售、技术合作和资金引进等方面建立长期友好的合作关系。