

架空输电线路的防冰与除冰技术分析

张霄龙

邯郸欣和电力建设有限公司

摘要: 随着供电网建设速度的不断加快, 架空输电线路建设的要求逐渐提高, 尤其一些建设在恶劣环境的输电线路, 其每年都可能遭遇低温冻害的威胁, 以致输电线路出现覆冰问题。为此, 本文以等值电路覆冰过程为例, 利用数据对比法, 文献检索法以及检测法, 探究自然脱水、负荷交融融冰、临界电流等线路防冰除冰方法, 以望为架空输电线路建设提供参考。

关键词: 架空输电线路; 防冰; 除冰技术

【DOI】 10.12252/j.issn.2096-6288.2022.11.095

引言

为了能够更好地满足我国经济建设的需要, 在建设输电线路的过程中, 采取密集性建设方法, 甚至由于受到气候以及地质环境的限制, 在部分地区进行跨区域输电线路建设, 这就导致架空输电线路受到环境因素影响的危害较大, 一旦出现低温冻害等恶劣天气, 就会对电力输送的稳定性造成影响, 提升架空输电线路建设的危险性。

一、架空线路覆冰

架空输电线路覆冰的原因多种多样, 在传输电压以及负荷攀升的状态下, 架空输电线路又处于低温冻害环境下, 就会出现覆冰现象, 导致架空输电线路的安全性以及稳定性被严重影响。

(一) 覆冰原因

架空输电线路覆冰主要是由于受到多种因素影响, 如气象条件、地理条件以及导线直径等。而气候条件是所有条件中影响效果最为显著的, 一旦架空输电线路所处环境出现较大的转变, 温度降低或空气湿度提高, 架空输电线路覆冰的概率就会提升。在我国北方地区, 纬度较高, 年均气温较低, 在冬季架空输电线路覆冰的可能性极大。而且北方地区架空输电线路覆冰类型也具有差异性, 主要由气候现象决定, 如吉林地区雾凇覆冰类型以及雨凇覆冰类型等。

(二) 覆冰危害

覆冰现象对于架空输电线路的影响极大, 能够直接导致架空输电线路的安全性受到破坏, 以致电网超过负载、亦或是绝缘子冰闪等。甚至在温度过低时, 电网还会出现电网脱冰闪络等现象。通过对架空输电线路覆冰现象的研究发现, 过载问题是导致架空输电线路安全性降低的最主要原因, 严重时还会导致架空输电线路出现机械故障, 如倒塔、金具损坏等。而如果在绝缘子部分出现覆冰现象, 则表示绝缘子表面有污垢残留。另外, 在风力作用下, 架空线路的覆冰现象出现极大的不对称性, 以致线路舞动幅度增大, 线路跳闸。

二、架空输电线路覆冰过程

架空输电线路覆冰具有周期性, 密集性的特点, 为了确保除冰防冰技术应用效果达到预期, 设计等值电路实验, 对比各项除冰防冰技术的效果, 以便选择最佳方案, 达到理想的除冰防冰效果。

(一) 等值电路

本次对架空输电线路覆冰研究主要围绕一种常见的等值电路, 其中输电线 T_1 、 T_2 均采用L-300, 架空输电线路电阻为 $0.15 \Omega/\text{km}$, 根据北方城市温度特点可知, 2月气温为 0°C 以下, 年均气温在 $\pm 15^\circ\text{C}$ 左右。

(二) 临界覆冰电流

通过对等值电路覆冰过程的监测可知, 在导线不覆冰时存在电流流经, 且电流值为最小电流值, 该电流可被称之为覆冰临界电流。在低温条件下, 导线电阻、辐射系数、吸热系数等发现改变, 临界电流也会产生一定变化。在低温条件下, 导热功率提升, 而夜间温度又极具下降, 就会引起导线覆冰。通过对导线发热功率计算, 导热对流单位散热为

$$Q = \alpha(L_1 - L_2)F$$

其中 α 为发热系数, F 为风速, 当外部环境风速为 0.15m/s , 空间湍流增大, 导线运行温度将会有所下降, 其对流散热系数 Q 为 0.5 左右。基于导线型号以及辐射系数可知, 导线散热系数常年处于 0.9 范围内。基于上述对等值电路参数的计算, 决定在对线路进行防冰以及除冰的过程中, 将等值线路看作等值电抗为 0 的大容量系统。而为有效解决等值电路覆冰的问题, 选用采用多样的除冰防冰技术, 并对不同防冰除冰技术效果进行对比, 以便选用最优方案。

三、架空输电线路的防冰技术

在输电线路运行过程中, 防冰技术较为常见, 且通过近几年对防冰技术的研究, 其已经取得较大突破。在本次实验中, 将等值电路作为一个无限大容量系统, 并采用防冰技术从外部干涉线路覆冰现象的形成, 以便等值线路表面温度提升至理想状态。

(一) 涂抹防冰涂料

涂抹防冰材料是最直接的防冰手段。目前,在对输电线路进行防冰过程中最常用的是发热型涂料,根据等值电路运行温度值可知,其线路运行常年在 -5°C 以下,且处于光照充足的环境中,为此在涂抹防冰材料时,选用光热型防冰材料,在将其涂抹至等值电路表面后,涂料中吸热物质会将其中的光热进行转换,以达到良好的防冰效果。利用光热型防冰材料进行防冰,技术性以及成本都较低,但是工程的建设成本却较高,而且等值电路外部涂层仅在3-5年内有效,且该项防冰技术后期维护成本较高。

(二) 科学规划线路

规划电力线路是所有防冰方法中是唯一在线路建设阶段就采用的方法,在对架空输电线路系统进行规划时,通过对线路区域气候以及地质条件的调查,综合海拔、地形以及风速等影响因素,划定线路规划区域。同时,根据对导线自身特性的研究,为了有效降低输电线路覆冰的影响,对等值电路进行差异化设计,选择规避一些重冰路段,如果该区域是线路设计中必不可少的区域,则选择机械强度较高的钢芯铝绞线作为导线材料,以便缩小架空输电线路的档距,降低覆冰的风险。在实际工程建设中,输电塔之间的衔接主要依靠连接螺栓,但是由于螺栓具有松动的风险,为此在建设时采用防松动措施,以便能够有效降低架空输电线路覆冰概率。该种防冰手段虽然从源头上就起到防冰效果,但是会受到极大的限制,气候以及地质条件不是一成不变的,如果后续出现较大的变化,前期的防冰手段则无法发挥效用,而且更改线路设计区域,还会增加工程的建设成本。

(三) 利用临界电流

在本次对等值线路研究的过程中,其出现覆冰现象最为主要的原因就是临界电流出现变化,为此在采用防冰措施时就利用线路的临界电流。在实际操作过程中,为了保证临界电流防冰的效果,还将临界电流防冰技术与气象监测系统相结合。在防冰前期,通过对电网潮流的合理调控,降低重冰区的输电电流,并利用电流焦耳热效应确保电路表面温度一直在零度以上^[1]。在气象监测系统的协助下,一旦监测系统检测外部温度降低至 0° 亦或 0° 以下就会发出预警,输电线路系统将立即启用该项防冰措施,以便达到防冰目的。该方法既可用于防冰也可用于除冰,治理覆冰现象较好,但是相较于其他防冰手段操作复杂,成本较高。

(四) 利用防冰导线

在对监控输电线路进行防冰的过程中,在钢芯和铝绞线之间添加绝缘层,使其发挥防冰导线的效果,以便达到防冰的目的。在不融冰阶段,铝线表面会存在线路电流经过,以此达到平衡线路内外层电流的目的。但是

如果处于融冰阶段,则要保证线路电流全部经过钢芯,且在绝缘层的作用下,能制止铝线表面的电流。同等单位的铜芯电阻大于铝线电阻,有效提高了输电线路产生的热量,其能够达到融化线路覆冰的效果。

(五) 利用磁铁合金

当前对输电线路进行防冰最为常用的方法是铁磁材料法,尤其对于低居里点的输电线路,铁磁材料能够发挥较大的效用,利用磁铁合金制成的导线材料进行防冰,其原理是确保磁铁合金能够发挥与防冰器件相同的作用,在一定范围内提升线路覆冰的难度,从内部提高架空线路的温度,使架空输电线路在覆冰过程中难以形成冷水滴,即便形成冷水滴,也无法形成覆冰,从源头上达到除冰目的^[2]。但是,该项除冰技术操作具有一定复杂性,仍处在研究状态中。

四、架空输电线路的除冰技术

相较于防冰技术,除冰技术的成本更低,且在治理覆冰现象方面能够产生显著的效果,治理覆冰的速度更快。目前在国内较为常用的除冰法为热力除冰法、机械法以及自然脱冰法等。不同方法具有不同的特征,产生的效果也不一而同,为此在本次研究中选用几种适合等值线路的除冰技术,并对比各项技术的优劣。

(一) 自然脱水法

自然脱水法本质是借助部分装置达到线路除冰的目的,如在输电线路系统上安装抑冰环、平衡锤等装置,以便保证覆冰可以自动脱离。就供电系统来看,自然脱水法是大多数除冰方法中最为常用的方法,且能够切实应用于实践中。从自然脱水实践结果来看,需要保证电路的覆冰荷载与电网线路功率与负载功率相平衡。并且要想部分设备达到覆冰效果,应当在操作时按照以下关系式对设备进行操作

$$P_1 + P_{2d} = P_a + P_{es}$$

其中 P_1 为线路功率, P_{2d} 为负载功率, P_a 、 P_{es} 为输电线路覆冰荷载。通过对上述方法的叙述可知,在应用过程中,无论导线属于何种类型都要满足上述关系,如长距离导线需要进行除冰,需将导线参数代入上述关系式,然后进行除冰操作,达到除冰的目的。自然脱水法相较于其他除冰手段,是相对成熟的一种除冰手段,成本低廉,能耗较低。

(二) 负荷直流除冰

直流除冰技术在应用过程中,需要更换输电线路系统中的继电器。当线路压值达到500KV,由多个脉冲整流桥组成时,在去除覆冰时则要考虑直流除冰技术,以便能够适应输电线路的功率电压要求。尤其高电压线路工作方式较为复杂,覆冰线路变化多样,在进行处理时要事先更换换流桥。在北方城市,温差较大,在应用直

流除冰时,要利用多个双桥达到除冰效果。

首先,选用与线路参数适配的晶闸管,将晶闸管的额定电压调节至4kV,当内部电流达到3kA,利用换流变压器变更母线电压,以便将500kV电压变为5.3kV,而晶闸管在这时会承受相同的电压,但是该电压仍旧在晶闸管的正常工作电压范围内。其次,加装平衡电抗器,调节电感负载,在电抗器一端添加电感滤波,在另一端加装平衡电抗器,确保电抗器两端负载相等,进而提高整流桥电量。

最后,平衡电抗器发出无功量 Q ,并吸收线路无功量后,通过切断晶闸管就可以达到改变线路电流的目的,自动补偿无功,提高导线热量^[3]。

从本次研究来看,晶闸管额定定压为1.5kV,且直接通过更换换流站提高导线热量的方式去除覆冰,大幅节约了投资,并且该高压线路还在串联电路的条件下,构成了电抗器的静止无功补偿。

(三) 交流除冰技术

交流除冰技术的原理是通过提高覆冰线路的电流起到去除覆冰的效果。这种除冰方法在应用过程中不需要暂停线路运行,只需更改线路潮流即可。其一,调度技术,增加覆冰线路的传输功率。在线路并行时,利用调度极速改变线路带电潮流,以便提高线路终端开机容量,实现对电压的无功传输。其二,改变线路的负荷自然分布,当电网稳定性受到限制时,只通过调度技术很难改变100kV电网的潮流,需通过改变电流方式达到除冰效果。将线路系统调整至低功率因素,在保证负荷正常供电的前提下,为除冰线路增加无功功率传输。其三,借助移相变压器更改线路回路,使双回线路实现有功循环,确保电流在线路中实现正向传播,而另一端线路要反向传播电流,通过反向设置提高线路的正向电流,当移相器电流与双回线路电流相等时,就能够起到除冰作用。这种交流除冰方式对于操作具有较高的要求,需在操作期间增加移相变压器,以便形成对线路系统的保护。

(四) 短路除冰技术

在本次实验过程中,对等值电路采用短路除冰技术,人为造成三相短路,使电网系统形成短路电流,以便在保证导线稳定性的前提下,能够使导线产生最大电流,加热导线起到除冰作用。在人为制造短路的过程中,要保证临界电流小于短路电流,并小于最大允许电流。

在实际操作过程中,在等值线路变压器侧制造三相短路,即在线路末端制造短路,如果其中两条等值线路皆为一般线路,则只需对其中一条线路造成短路即可。根据对短路电路标幺值、电流值以及基准值的检测,计算短路电流的有效值,当短路电流的有效值大于

临界电流值时,表示线路短路制造成功,能够达到较大的除冰效果。短路除冰技术相较于其他技术可实施性较强,但是对线路系统的影响较大,只能暂停线路运行才能达到除冰效果。

(五) 电脉冲除冰技术

电脉冲除冰技术本身应用于飞机除冰,将其转移至电力线路除冰,主要是通过整流器上添加触发脉冲,实现电容器放电进而对电脉冲进行放电达到除冰效果。在电容器中存在较多的电荷,电压幅值较大,当增加脉冲后,会在线路线圈周围添加交变磁场,形成放电回路,而导线和线圈会产生几秒中的幅值,使目标物达到收缩或扩张的效果,脱落覆盖在导线表面的冰粉。同时,为了避免电容器出现反向放电的现象,还会在电容器旁边并联二极管,并在塔杆上安装执行单元以及执行器,一旦接收到导线覆冰信号,就会触发电力脉冲设备,自脉冲线圈发出脉冲电流,利用脉冲产生的冲击力震落导线上的冰粉。脉冲除冰技术可以在电网系统运行的过程中发挥作用,相较于交流除冰技术操作便捷。但是由于增加脉冲的方式,会在增加脉冲线圈后增加电网系统阻尼,如果距离塔杆较远就无法达到震落覆冰的效果。在该次等值电路实验中,距离等值线路100m的位置安装脉冲线圈只能去除导线表面1-3m后的覆冰,虽然不影响去除覆冰的长度,但会降低去除覆冰的厚度,且增加导线晃动。

结语

总而言之,通过对防冰除冰技术的对比,分析各项防冰除冰技术的优劣势,在导线覆冰期利用直流除冰、交流除冰技术对于减缓覆冰速度能够产生一定作用。而短路除冰在该次等值电路实验中可以满足除冰要求,是其中性价比较高的一种方式,相较于直流融冰所需容量较少,为此在除冰过程中优先采用短路除冰。防冰技术,在本次实验中实用性不强,其需在电网设计阶段采取防冰措施,无法在本次实验中应用。为此,要想达到良好的除冰效果,不仅要考虑各项除冰防冰技术的优劣,还要考察电力线路的特点,以便基于线路覆冰节点以及温度变化,选择最为合适的除冰防冰方案,最好在覆冰初期就达到除冰效果,确保电力线路的除冰强度。

参考文献

- [1] 王勇, 苗虹, 莫思特等. 高压架空输电线路防冰、融冰、除冰技术研究综述[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(18): 178-187.
- [2] 罗梦维. 架空输电线路的防冰与除冰技术[J]. 现代工业经济和信息化, 2017, 7(10): 81-82.
- [3] 刘顺新, 罗浩东, 邓小磊. 架空输电线路除冰技术分析[J]. 高压电器, 2011, 47(03): 72-76.