

# 浅析电气绝缘子覆冰对电气设备安全运行的危害

颜克 林玉

萍乡市华瑞电瓷电器有限责任公司

**摘要:** 电气绝缘子是电力系统中重要的组成部分,其安全运行直接关系到电力设备和系统的可靠性。电气绝缘子在寒冷气候条件下容易发生覆冰现象,覆冰会对绝缘子的性能造成不良影响,从而危害电气设备的安全运行。文章从绝缘子覆冰方法着手,以家电厂发生的覆冰现象为例,分析了电气绝缘子覆冰对电气设备安全运行的危害,包括造成过荷载、引发闪络事故、降低绝缘子的绝缘水平,针对这些问题提出有防范措施,旨在确保电气设备的安全运行。

**关键词:** 绝缘子;覆冰;电气设备;危害;措施

【DOI】10.12252/j.issn.2096-627X.2023.05.095

## 引言

电力系统作为现代社会的基础设施之一,对其可靠性和安全性要求极高。而在寒冷气候条件下,电气设备往往会面临覆冰的问题,尤其是电气绝缘子容易受到影响。绝缘子覆冰不仅会导致电气设备的绝缘性能下降,还可能引发设备故障,对电力系统的安全运行构成威胁。因此,研究绝缘子覆冰的形成机理和解决方法对提高电力系统的可靠性至关重要。

## 一、绝缘子覆冰方法

绝缘子覆冰方法一般指自然覆冰方法,其是指在寒冷天气中,电气绝缘子表面因受到降水的影响,如雨水或雾气,在低温环境下凝结形成的一层冰层。这种冰层的形成与环境湿度和温度等多种因素密切相关。一旦自然覆冰形成,会引发一系列问题,严重影响电气设备的安全运行。一方面,冰层的存在改变了绝缘子表面的物理特性,使电场分布不再均匀,进而导致电气场强度集中分布在某些区域,增加了电气击穿和电弧放电的风险;另一方面,冰层具有较高的介电常数,其绝缘性能较差,容易导致电气设备的漏电流升高,从而降低整个电力系统的绝缘水平。此外,冰层的额外重量也会对绝缘子结构造成负担,导致机械强度不足,增加设备损坏的风险。

## 二、家电厂发生的覆冰现象

位于内蒙古呼伦贝尔市宝日希勒镇的某电厂,春季干燥风大、夏季温凉短促、秋季气温骤降、冬季漫长又寒冷,气候属于半干旱、寒冷草原气候,昼夜温差大,霜冻早、无霜期短。常年气温平均值为-1.0摄氏度,最低气温平均值为-26.2摄氏度,极端最低气温值为-43.6摄氏度,常年湿度平均值为68%。冬季时节,该地以西北风或西南风为主。该电厂购置的3个湿式辅机冷却塔

和2台600MW级直接空冷机组,结合电厂的实际建设情况和运营需求,将上述设备安置于汽机厂房旁边的厂区西南角,在冬季时该位置位于西风的上风口。该电厂周边有一500kV户外升压站位于辅机冷却塔的正东方向,另有1号机组空冷岛平台位于其东北方向(如图1所示),同时有A列外电气设备被布置于空冷岛平台下方。



图1 冬季辅机冷却塔散发水蒸气

## 三、电气绝缘子覆冰对电气设备安全运行的危害

### (一) 造成过荷载

根据该电厂的实际情况,绝缘子覆冰过荷载是较为显著的一个问题。由于该电厂位于内蒙古自治区呼伦贝尔市宝日希勒镇内,属于寒冷、半干旱草原气候,冬季寒冷漫长,昼夜温差大。在这样的气候条件下,绝缘子表面的冰层形成极易增加电容,改变电气设备的电气特性。一方面,冰层的存在会导致绝缘子电容增加,使得电气设备在工作时处于不稳定状态。由于冰的高介电常数,电场分布不均匀,容易形成高电容区域,进而影响设备的电气性能。这种电容的变化可能导致电气设备在运行中经历频繁的电气参数波动,增加了设备的负载。另一方面,由于冰层的存在导致电容增加,会使电气设备在同样的电压下吸收更多的电能,这无疑会增加设备的负载,引发设备过热、过载,进而威胁电厂设备的正

常运行。考虑到该电厂运行着2台600MW级直接空冷机组和3个湿式辅机冷却塔，这些设备受到绝缘子覆冰影响的可能性较大<sup>[1]</sup>。因此，针对绝缘子覆冰造成的过荷载问题，电厂需要采取相应的防范措施，如增强绝缘子的防冰性能，加强设备监测和维护，以确保电气设备在寒冷气候下的安全稳定运行。

## （二）引发闪络事故

在上述电厂的寒冷气候条件下，绝缘子覆冰引发闪络事故的风险会显著增加。冰层的介电性能相对来说较差，容易导致电弧放电和闪络现象。这种电气击穿现象往往会发生于绝缘子的表面，给电气设备带来了潜在的严重危害。当绝缘子覆冰现象发生之后，在冰层表面就会形成湿润的环境，这种环境极易形成导电通道，造成电弧放电。当产生电弧放电问题之后，在冰层的影响下，会在绝缘子表面迅速扩散，进而引发设备的电气故障，甚至导致火灾等更为严重的安全事故。此外，绝缘子覆冰导致的电弧放电和闪络现象还可能会对电气设备的正常运行构成直接威胁。电弧放电会产生高温、高能量的电弧，进而导致设备的局部受到破坏，降低设备的可靠性；而闪络现象则可能损坏设备的绝缘结构，导致绝缘性能遭到破坏，使得电气设备容易发生击穿。由于该电厂中运行的设备长期处于寒冷气候中，绝缘子覆冰引发的闪络事故对电厂设备产生的危害极其严重，绝不容忍。

## （三）降低绝缘子的绝缘水平

由于该电厂长期处于寒冷环境中，绝缘子覆冰导致绝缘子的绝缘水平降低是一个需要重点关注的问题。冰层的存在使得绝缘子表面湿润，增加了漏电现象，电流不受外力阻挡向周边蔓延，导致绝缘水平下降，继而引发严重的电气故障，对整个电力系统的稳定性造成不利影响。首先，绝缘子覆冰会使其表面湿润，无疑会增加绝缘子的漏电电流。湿润的绝缘子表面由于其绝缘性能遭到破坏，形成导电路径，使得电流会在绝缘子表面流动，从而导致漏电电流的增加。这种漏电电流的上升使得绝缘子失去了原有的绝缘特性，增加了电气设备发生故障的概率。其次，漏电电流的增加还会导致绝缘子在电场作用下发生击穿。当漏电电流足够大时，在绝缘子表面就可能形成电弧，引发击穿现象。这种击穿可能导致设备短路、损坏，进而影响整个电力系统的运行稳定性<sup>[2]</sup>。该电厂常见处于寒冷气候下，绝缘子覆冰问

题难以避免，电厂中常年运行的这些设备必然会受到影响，尤其是当绝缘子的绝缘水平降低之后，很容易会造成严重的漏电现象，极易造成人员触电的危害，因此，电厂应根据当地的气候条件和电厂的实际运行情况，采取相应解决措施，确保设备的绝缘水平和整个电力系统的安全稳定运行。

## 四、防范措施的制定

### （一）机械通风冷却塔除雾技术

基于该电厂的具体情况，在制定防范措施的时候应首先采用机械通风冷却塔除雾技术。由于电厂位于内蒙古自治区呼伦贝尔市宝日希勒镇，寒冷的气候条件使得冷却塔易受冰雾的影响，是因为机械通风塔水汽的原因，由此可见，水汽是造成覆冰问题的关键。在解决此问题时，要改变风向和设备布置方式存在极大难度，尤其是方向难以改变，在这种情况下，智能从冷却塔处着手，为此，除雾技术成了首选应对策略。首先，机械通风冷却塔除雾技术通过设备的通风系统，及时去除冷却塔中形成的冰雾，有效防止冰雾在绝缘子上凝结形成冰层，减少绝缘子表面的冰覆盖，从而提高了绝缘子的安全性。通过保持绝缘子表面的干燥状态，可以减轻电场分布不均匀、电容增加等问题，降低了绝缘子覆冰带来的潜在风险。其次，采用机械通风冷却塔除雾技术可以降低冷却塔覆冰的可能性<sup>[3]</sup>。在寒冷气候下，冷却塔中排放的水蒸汽易于在空气中凝结成冰雾，进而覆盖在绝缘子上。通过机械通风冷却塔除雾，能够及时将冷却塔内的湿气排除，减缓冰雾的形成，有效预防冷却塔覆冰问题。机械通风冷却塔除雾技术对于在寒冷气候条件下的电厂极其适用。它不仅有助于维持绝缘子表面的干燥状态，降低冰层的形成概率，还能够减轻电气设备因冰覆盖而导致的安全风险。通过合理运用这一技术手段，电厂能够更好地确保设备的可靠运行和电力系统的安全性。

### （二）绝缘子串涂刷涂料

通过对该电厂所处位置和环境进行了解，分析了其可能存在的绝缘子覆冰对电气设备运行造成的危害，为了最大限度降低危害，可以考虑采用绝缘子串涂刷涂料的措施来解决覆冰问题，尤其是在寒冷气候下，这一方法可以显著提升电气设备的安全性。一是，对电气设备上的绝缘子串进行涂刷防冰涂料可以有效防止冰的附着。在寒冷气候中，水汽易于在绝缘子表面结成冰层，

进而影响绝缘子的绝缘性能。通过使用防冰涂料，可以形成一层防护膜，减缓冰层的形成，降低绝缘子被冰覆盖的可能性。二是，防冰涂料的使用还能减少绝缘子表面的湿度。这种涂料通常具有防水特性，可以阻止湿气渗透到绝缘子表面，减少湿度的积聚。维持绝缘子表面的干燥状态有助于降低漏电电流，提高绝缘子的工作效能，减少电气设备发生故障的风险<sup>[4]</sup>。三是，串涂刷涂料还要注重材料的选择。单组分RTV涂料作为新型涂料具有良好的憎水性，以及憎水性迁移的特点，能够增强电气设备的耐污闪能力。考虑到电厂运行环境，目前有2台600MW级直接空冷机组和3个湿式辅机冷却塔正处于运行状态中，这些设备在寒冷气候下容易受到冰覆盖的影响。因此，对绝缘子串涂刷涂料成为一项关键的措施，能够提高电气设备的抗冰能力，降低冰覆盖带来的安全风险。

### （三）隔离湿式辅机冷却塔的水蒸汽汽源

在上述电厂环境下，基于对绝缘子覆冰问题进行深入了解，得知其对电气设备运行造成了一些严重的影响和危害，为了降低影响和危害，除了采取机械通风冷却塔除雾技术和绝缘子串涂刷涂料之外，隔离湿式辅机冷却塔的水蒸汽汽源也是一项有针对性的防范措施。由于该电厂位于内蒙古呼伦贝尔市宝日希勒镇的特定气候条件下，其中冬季寒冷漫长，湿气易于形成冰覆盖，特别是在湿式辅机冷却塔的运行中，水蒸汽是主要的湿气来源，因此，解决覆冰问题首先就要隔断水蒸汽。采取隔离湿式辅机冷却塔的水蒸汽汽源可以有效避免湿气直接接触到绝缘子表面。在湿气充足的情况下，水蒸汽容易在绝缘子表面凝结成冰，导致绝缘子的覆冰问题。通过控制水蒸汽的来源，可以减少湿气的直接接触，降低绝缘子表面的湿润程度，有助于减缓冰的形成。除此之外，通过降低绝缘子的湿润程度，可以减轻冰层对绝缘子的影响，提高绝缘子的工作效能。湿润的绝缘子表面易于形成导电路径，增加了漏电电流的可能性。隔离水蒸汽来源有助于保持绝缘子表面的相对干燥，减少漏电电流，提高绝缘子的绝缘水平。考虑到电厂的运行环境，湿式辅机冷却塔紧邻500kV户外升压站，冷却塔的湿气可能对升压站的绝缘子产生直接的影响。因此，采取隔离水蒸汽来源的措施有助于降低绝缘子覆冰的风险，提高电气设备的可靠性。

### （四）对电气设备加强维护管理

在确保电气设备运行不受绝缘子覆冰影响方面，不仅要采取相应的技术，降低覆冰发生率，还要加强对电气设备的维护管理，尤其是在面对绝缘子覆冰问题的影响时，更要建立定期维护管理制度来提升设备的运行性能和安全性能。第一，定期维护管理制度能够确保电气设备的定期检查、清理和维护。通过定期检查，可以及时发现绝缘子表面是否存在覆冰现象，以及其他潜在的安全隐患。同时，定期清理可以去除已形成的冰层，保持绝缘子表面的干燥状态，降低绝缘子被冰覆盖的概率。做好维护操作，及时修复或更换受损的绝缘子，确保其正常工作。第二，对电气设备加强维护管理，及时处理可能导致绝缘子覆冰的问题。维护人员可以根据维护记录和设备运行状况，分析绝缘子的工作状态，及时识别潜在的冰覆盖风险因素，并采取相应的防范措施。这种主动性的维护管理可以提前消除潜在的安全隐患，确保电气设备在寒冷气候下的可靠运行。考虑到电厂运行的设备在寒冷气候中容易受到绝缘子覆冰的影响，对电气设备加强维护管理必不可少。通过建立完善的维护管理制度，保障电厂设备的可靠运行，及时发现和处理绝缘子覆冰问题，降低电力系统的故障风险，提高电气设备的安全性。

### 结束语

综上所述，绝缘子覆冰是电力系统中常见的问题，会对电气设备的正常运行产生严重的影响和危害。尤其是针对处于寒冷环境下的电厂，更容易发生绝缘子覆冰问题，需要采取机械通风冷却塔除雾技术、绝缘子串涂刷涂料、绝缘子串涂刷涂料、对电气设备加强维护管理等措施来改变这些不良影响，确保电气设备和其他设备可以安全稳定运行。

### 参考文献

- [1] 陈雅芳. 输电线路绝缘子覆冰预测及防护方法综述[J]. 山东电力技术, 2023, 50(03): 48-56.
- [2] 胡聪, 王岩, 石俏等. FXBW4-35/70绝缘子覆冰特点及污秽闪络特性研究[J]. 电力学报, 2021, 36(04): 315-324.
- [3] 范宜凯. 基于图像序列的三维重建技术在电气设备覆冰检测中的研究与应用[D]. 福建工程学院, 2021.
- [4] 曹云东, 冯宇宁, 李静等. 直流覆冰绝缘子电气特性及伞裙结构抗冰性能优化研究[J]. 电瓷避雷器, 2021, (01): 177-186.