

铁路供电接触网融冰技术的探索与研究

杨竹霖

内蒙古东乌铁路有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 017200

摘要: 本文聚焦铁路供电接触网融冰技术。先分析覆冰特性,涵盖成因、类型、关键影响因素;接着剖析现有电气、机械、热力融冰技术;随后探索基于新能源、智能化、协同及低损伤高效等新型融冰技术;最后阐述融冰过程的安全保障与管理措施,包括设备、人员安全防护及技术管理体系建设,旨在保障列车运行安全。

关键词: 铁路供电; 接触网; 融冰技术; 列车运行安全

1 铁路供电接触网覆冰特性分析

1.1 覆冰成因与形成过程

铁路供电接触网覆冰是多种气象因素共同作用的结果。当环境温度低于 0°C ,空气中的过冷却水滴与接触网导线、绝缘子等部件表面接触时,由于这些部件表面温度通常也低于 0°C ,过冷却水滴便会迅速冻结,从而形成覆冰。其形成过程一般可分为三个阶段。首先是过冷却水滴的碰撞阶段,在风的作用下,空气中的过冷却水滴被吹向接触网部件,与部件表面发生碰撞。接着是冻结阶段,碰撞到部件表面的过冷却水滴部分或全部迅速冻结成冰。最后是积聚阶段,随着时间推移,不断有新的过冷却水滴碰撞并冻结,覆冰逐渐增厚,形成不同形状和尺寸的覆冰层。

1.2 覆冰类型及特征

铁路供电接触网覆冰类型多样,常见的有雨淞、雾淞、混合淞等。雨淞是一种透明或半透明的冰层,质地坚硬,密度较大,通常在气温稍高、降水较大的情况下形成。它附着在接触网部件表面,会使部件的直径明显增大,增加导线的重量和风荷载,对接触网的机械性能产生严重影响^[1]。雾淞则是由过冷却雾滴在接触网部件表面直接凝华形成的白色不透明冰层,质地疏松,密度较小。雾淞虽然重量相对较轻,但会改变接触网部件的表面形状,影响其电气性能,如增加绝缘子的表面泄漏电流,降低绝缘强度。混合淞是雨淞和雾淞的混合物,其形成过程较为复杂,兼具雨淞和雾淞的部分特征,对接触网的影响也较为综合,既会增加机械负荷,又会影响电气性能。

1.3 影响覆冰的关键因素

影响铁路供电接触网覆冰的关键因素众多,主要包括气象因素、地理因素和接触网自身因素。气象因素中,温度、湿度、风速和降水形式对覆冰的影响最为显著。温度是覆冰形成的基本条件,当温度低于 0°C 时才

具备覆冰的可能,且温度越低,覆冰速度可能越快。湿度越大,空气中的过冷却水滴含量越多,覆冰的概率和程度也就越高。风速会影响过冷却水滴的运动轨迹和碰撞接触网的频率,适当的风速有助于过冷却水滴与接触网部件充分接触,促进覆冰的形成。降水形式决定了过冷却水滴的大小和数量,如冻雨会带来大量较大的过冷却水滴,容易导致严重的覆冰。地理因素方面,海拔高度、地形地貌和地理位置都会对覆冰产生影响。海拔越高,气温越低,覆冰的可能性越大。山区由于地形复杂,容易形成局部的小气候,导致覆冰情况更加严重。不同地理位置的气候条件差异很大,一些寒冷潮湿的地区接触网覆冰问题更为突出。接触网自身因素包括部件的形状、尺寸和表面粗糙度等。形状复杂的部件,如绝缘子的伞裙结构,容易使过冷却水滴积聚,增加覆冰的机会。部件尺寸越大,表面积越大,与过冷却水滴的接触面积也越大,覆冰量可能越多。表面粗糙的部件比表面光滑的部件更容易吸附过冷却水滴,从而促进覆冰的形成。

2 现有铁路供电接触网融冰技术分析

2.1 电气融冰技术

电气融冰技术是利用电流通过接触网导线产生的焦耳热来融化覆冰。常见的方法有短路融冰法和带负荷融冰法。短路融冰法是将接触网的一部分线路进行短路,通过调节短路电流的大小来控制融冰速度。这种方法需要专门的短路设备和操作流程,在实施过程中会对铁路供电系统产生一定的影响,需要合理安排停电时间^[2]。带负荷融冰法是在不影响铁路正常运输的情况下,通过调整列车的运行方式和供电模式,使接触网导线上的电流增大,从而产生足够的热量融化覆冰。这种方法对铁路运营的干扰较小,但需要精确的电力调度和控制系统支持,以确保融冰效果和铁路供电的安全稳定。

2.2 机械除冰技术

机械除冰技术是利用机械设备或工具直接去除接触网上的覆冰。常见的方法有人工除冰、机器人除冰和振动除冰等。人工除冰是最传统的方法,由工作人员使用绝缘杆、木锤等工具敲击覆冰部位,使覆冰脱落。这种方法简单直接,但效率低下,劳动强度大,且存在一定的安全风险。机器人除冰是利用专门设计的机器人在接触网上行走,通过机械臂或除冰工具去除覆冰。机器人除冰具有自动化程度高、安全性好的优点,能够适应不同的接触网结构和覆冰情况,但目前机器人的研发和应用还处于发展阶段,成本较高,技术还不够成熟。振动除冰是通过在接触网部件上施加振动,使覆冰与部件之间的附着力减小,从而使覆冰脱落。振动除冰可以采用电磁振动、机械振动等方式,具有除冰效率较高、对接触网损伤较小的特点,但需要合理的振动参数设计和精确的控制,以确保除冰效果和设备安全。

2.3 热力融冰技术

热力融冰技术是利用热源对接触网进行加热,使覆冰融化。常见的方法有红外线融冰、热风融冰和电热丝融冰等。红外线融冰是利用红外线加热器发射红外线,直接照射接触网覆冰部位,使覆冰吸收红外线能量而融化。这种方法加热速度快,融冰效率高,但红外线加热器的能耗较大,且需要精确的瞄准和定位,以确保加热效果。热风融冰是通过热风发生器产生热风,将热风吹向接触网覆冰部位,使覆冰受热融化。热风融冰设备相对简单,操作方便,但热风的散热较快,在寒冷环境下融冰效果可能会受到一定影响。电热丝融冰是在接触网导线或部件内部或表面安装电热丝,通过通电使电热丝发热,将热量传递给覆冰,从而实现融冰。电热丝融冰具有加热均匀、融冰效果好的优点,但电热丝的安装和维护较为复杂,且长期使用可能会影响接触网的电气性能和机械强度。

3 新型铁路供电接触网融冰技术探索

3.1 基于新能源的融冰技术

随着新能源技术的蓬勃发展,利用太阳能、风能等清洁能源为铁路供电接触网融冰提供能源,已然成为极具潜力的新探索方向。太阳能融冰系统有着独特优势,可在接触网周边合理位置安装太阳能电池板,借助光伏效应将太阳能高效转化为电能。转化后的电能经储存装置存储起来,在接触网覆冰需要融冰时,为融冰设备稳定供电。该系统环保无污染,且能源可持续,在光照资源丰富的地区优势尽显。不过,它也存在明显短板,在光照不足的阴天或者夜间,太阳能电池板的发电能力大幅下降。为保障融冰设备正常运行,必须配备性能优良

的储能装置,如先进的锂电池组等,在光照充足时储存多余电能,在光照不足时释放电能,确保融冰工作不受影响。风能融冰则是利用风力发电机,将大自然的风能转化为电能,为融冰设备提供动力支持。风能作为清洁能源,在风力资源丰富的地区,如沿海地区或高原山地,具有极大的应用潜力。但风能具有不稳定性和间歇性的特点,风速随时可能变化,导致发电功率波动较大。这就需要通过合理的储能和调峰技术来解决风能供应与融冰需求之间的矛盾。

3.2 智能化融冰技术

智能化融冰技术是多种先进技术的融合创新,它巧妙结合了传感器技术、物联网技术、人工智能技术等,实现了对接触网覆冰情况的实时精准监测和智能融冰控制。在接触网上科学安装各类传感器,温度传感器能实时感知环境温度和导线温度变化,湿度传感器可准确获取空气湿度信息,覆冰厚度传感器则能精确测量覆冰的厚度。这些传感器就像接触网的“神经末梢”,全方位收集接触网的环境信息和覆冰状态数据。这些数据通过物联网技术迅速传输到监控中心,利用先进的人工智能算法进行深度分析和处理^[3]。人工智能算法能够根据历史数据和实时数据,准确判断覆冰的发展趋势,并根据覆冰情况自动调整融冰设备的运行参数,如电流大小、加热温度等,实现精准融冰。智能化融冰技术还具备远程监控和操作功能,工作人员只需在监控中心,就能实时掌握接触网的覆冰情况和融冰设备的运行状态,及时发现和处理异常情况,大大提高了融冰效率和安全性。通过对海量历史数据的分析和挖掘,还能预测接触网的覆冰趋势,提前采取防范措施,有效减少覆冰对铁路供电的影响。

3.3 协同融冰技术

协同融冰技术是一种创新性的融冰策略,它将多种融冰方法有机结合,充分发挥各自的优势,实现协同融冰的良好效果。以电气融冰和机械除冰相结合为例,电气融冰通过在接触网导线中通入电流,利用电流的热效应使覆冰软化。当覆冰软化后,覆冰与接触网部件之间的附着力显著降低。此时,再运用机械除冰方法,如使用机器人携带除冰工具或人工使用绝缘杆敲击覆冰部位,就能快速、轻松地去除覆冰,大大提高了融冰效率。另外,将热力融冰与智能化控制技术相结合也是一种有效的协同融冰方式。热力融冰通过热源对接触网进行加热使覆冰融化,而智能化控制技术则能根据覆冰的厚度和分布情况,精确控制热源的加热位置和强度。在覆冰较厚的部位,适当增加加热强度;在覆冰较薄的部

位,减少加热强度,实现高效、节能的融冰。协同融冰技术能够充分发挥不同融冰方法的特点,弥补单一融冰方法的不足,提高融冰的可靠性和适应性,为铁路供电接触网的安全运行提供有力保障。

3.4 低损伤高效融冰技术

低损伤高效融冰技术的核心目标是在快速融化覆冰的同时,最大程度地减少对接触网部件的损伤。脉冲电流融冰技术便是其中的典型代表,该技术通过向接触网导线施加短时间的高强度脉冲电流。在极短的时间内,导线迅速发热,使覆冰快速融化。由于脉冲时间极短,导线所承受的热冲击较小,对导线的性能和结构影响也较小,从而有效保护了接触网导线。开发新型的融冰材料也是实现低损伤高效融冰的重要途径。这些新型融冰材料具有诸多优良特性,它们不仅具有良好的导热性能,能够快速将热量传递给覆冰,加速覆冰融化;还具备环保性能,不会对环境造成污染。同时,这些融冰材料在使用过程中不会腐蚀接触网部件,能够在不损伤接触网部件的情况下快速融化覆冰,为铁路供电接触网的安全稳定运行提供了可靠保障。

4 铁路供电接触网融冰技术的安全保障与管理措施

4.1 融冰过程中的设备安全保障

在融冰过程中,要确保接触网设备的安全运行。首先,对融冰设备进行定期检查和维修,确保设备的性能良好。例如,对于电气融冰设备,要检查电流互感器、电压互感器等设备的准确性和可靠性,防止因设备故障导致电流过大或过小,影响融冰效果或损坏接触网导线。其次,在融冰操作过程中,要严格按照操作规程进行操作,避免因操作不当引发设备故障。例如,在进行短路融冰时,要准确控制短路时间和短路电流,防止因短路时间过长或电流过大导致接触网部件过热损坏。另外,还要加强对接触网设备的监测和预警,及时发现设备的异常情况并采取相应的措施。例如,通过安装在线监测装置,实时监测接触网导线的温度、张力等参数,当参数超过正常范围时及时发出预警信号,以便工作人员及时处理。

4.2 人员安全防护措施

融冰作业是一项具有一定危险性的工作,必须采取有效的人员安全防护措施。工作人员在进行融冰作业前,要接受专门的安全培训,熟悉融冰作业的流程和安

全注意事项,掌握必要的安全防护技能。在作业现场,要设置明显的安全警示标志,划定安全作业区域,防止无关人员进入^[4]。工作人员要佩戴齐全的个人安全防护用品,如绝缘手套、绝缘靴、安全帽等,确保在作业过程中的人身安全。对于高空作业,要搭建牢固的脚手架或使用升降平台,并设置安全防护栏和安全网,防止工作人员坠落。同时,要配备必要的应急救援设备和药品,以便在发生意外事故时能够及时进行救援和处理。

4.3 融冰技术管理体系建设

建立健全融冰技术管理体系是确保融冰工作顺利进行的重要保障。要制定完善的融冰技术管理制度和操作规程,明确各部门和人员的职责和权限,规范融冰作业的流程和标准。加强对融冰技术的研发和创新管理,鼓励技术人员开展融冰技术的研究和探索,不断推出新的融冰技术和方法。同时建立融冰技术档案,对每次融冰作业的情况进行详细记录,包括融冰时间、融冰方法、融冰效果等信息,为后续的融冰工作提供参考和借鉴。还要加强与气象、电力等部门的沟通与协作,及时获取气象信息和电力供应情况,为融冰决策提供科学依据。通过建立完善的融冰技术管理体系,提高融冰工作的管理水平和技术水平,确保铁路供电接触网在覆冰情况下的安全稳定运行。

结束语

铁路供电接触网融冰技术对保障列车运行安全意义重大。现有技术各具优劣,新型技术不断涌现,为融冰工作带来新契机。在实践应用中,需综合考量多方面因素,合理选用融冰技术。同时,强化安全保障与管理措施,构建完善体系,才能有效应对接触网覆冰问题,确保铁路供电系统稳定可靠运行,推动铁路事业持续发展。

参考文献

- [1]李俊波,包云,史维峰,等.铁路接触网覆冰分析及防治措施[J].中国铁路,2025,(01):134-139.
- [2]陈睿豪.铁路接触网防冻策略:创新技术与可持续发展[J].科技视界,2024,14(27):108-111.
- [3]邵诗鹏.高速铁路牵引供电接触网雷电防护措施研讨[J].大众标准化,2023,3(02):105-107
- [4]李军.试论高速铁路牵引供电接触网雷电防护策略[J].中国设备工程,2022,3(24):197-199