

电气绝缘子材料耐污性能提升方法

贺庆¹ 刘钊² 黄津² 彭练² 李渊²

1. 江西泰开电力电气有限公司 江西萍乡 337000

2. 江西百新电瓷电气有限公司 江西萍乡 337200

摘要: 电气绝缘子耐污性能提升对于增强电力系统外绝缘可靠性, 防控电网污闪事故十分关键, 而材料改性、表面处理与结构优化属于耐污性能提升的重要部分, 该技术体系的实施质量会左右绝缘子的抗污闪能力以及电网运行安全。绝缘子耐污性能受材料特性、表面状态、结构形式等因素影响, 不同提升方法的作用机理与适配场景存在差异, 所以极易出现技术选型不当和效果不长效的问题, 这成了电力装备外绝缘技术升级的重点与难点, 文章先分析电气绝缘子积污闪络的病害发生原理, 接着全面论述不同的耐污性能提升技术体系以及长效防护体系的新应用情况, 最后归纳出技术应用的主要原则及其后续发展走向, 从而给电力系统防污闪工作赋予技术支持。

关键词: 电气绝缘子; 耐污性能; 材料改性; 表面处理; 结构优化

引言

电网覆盖范围不断扩大, 恶劣气象与复杂污秽环境出现的频次也有所上升, 既有的电气绝缘子其耐污能力和绝缘性能已无法适应电网安全运行需求, 所以绝缘子材料耐污性能提升技术就成了电力装备升级的主要途径, 材料改性、表面处理与结构优化属于耐污性能提升的关键步骤, 要达成材料特性、表面状态与结构形式的协同防污, 不过由于材料成分、工艺标准、运行环境等方面的差别, 绝缘子表面极易产生污秽沉积、水膜附着、沿面闪络之类的病害, 这些病害极大地影响到绝缘子的使用品质及其使用寿命, 以往的耐污技术往往只是采取单一的防护手段, 并不能准确地符合不同污秽环境下绝缘子的耐污需求, 因而很难从根本上解决积污闪络的问题。打破传统耐污思路, 形成适合不同绝缘子类型与污秽特性的技术体系, 更新长效防护模式, 这对改善电力系统外绝缘水平, 保证电网安全稳定运行有着重要意义。

一、电气绝缘子积污闪络的病害演化机制与差异性解析

(一) 绝缘子积污闪络的多维度演化路径

从材料、表面、电场这三维角度去分析电气绝缘子积污闪络病害的发生及其变化情况, 材料方面, 绝缘子基体材料的憎水性、表面能等物理化学性质存在差别, 造成污秽颗粒与水膜的吸附程度不均衡, 从而致使局部导电通道形成。表面方面, 绝缘子表面的光滑度、微观形貌等状态参数存在差异, 受工业粉尘、盐雾、湿度等

环境因素影响很容易出现污秽沉积, 而且进一步发展成水膜导通、沿面闪络之类的病害状况, 电场方面, 绝缘子表面电场分布不均, 长时间承受高电压作用使得污秽区域的电场畸变现象更为严重, 促使闪络故障更快发生, 最终影响到电力系统整体运行的稳固性。

(二) 绝缘子耐污性能的核心差异特性识别

准确识别绝缘子影响耐污性能的差异特性, 是制订针对性提升技术的基础, 关注材料性能的差别, 剖析瓷、玻璃、硅橡胶等不同基体材料在憎水性、耐老化性、机械强度等指标上的差别; 关注表面状态的差别, 考量绝缘子表面的污秽类型、沉积密度、水膜分布等状态参数; 关注电场分布的差别, 比较不同结构绝缘子在运行电压下表面电场的分布规律, 找出绝缘子耐污的薄弱之处。

(三) 差异特性对绝缘子耐污性能的影响机理

绝缘子存在的材料、表面、电场等差异特性, 会影响其耐污性能, 其影响机理如下: 材料性能存在差异, 这会造成绝缘子表面污秽颗粒的吸附能力不同, 局部会出现污秽堆积现象。表面状态也有所不同, 绝缘子表面的憎水性能和微观形貌有所差别, 从而产生水膜附着与导通风险, 电场分布存在差异, 会加重绝缘子表面局部电场畸变的情况, 还可能引发沿面闪络之类的病害, 给耐污性能提升技术的研发给予理论依据。

二、适配差异特性的绝缘子材料耐污性能提升技术体系

(一) 材料本体改性型提升技术

创建材料本体改性型提升技术体系来解决绝缘子基

体耐污性能不足的情况,使用纳米氧化铝、纳米二氧化硅等无机纳米填料,掺入环氧树脂、硅橡胶等基体材料中,可以加强材料的憎水性与耐老化性,做到耐污性能的本质提升,研发配方优化工艺,经由调节生胶、交联剂与填料的配比,加强绝缘子材料的机械强度与抗紫外老化能力,运用陶瓷粉料掺杂技术,对传统瓷质绝缘子基体进行成分改良,从而改善其表面憎水特性与抗污附着能力。

(二) 表面功能化处理型提升技术

针对绝缘子表面易积污、水膜易导通的情况,研发出表面功能化处理型提升技术,对绝缘子表面执行超憎水涂层涂覆,在其表面构建仿生微纳双级结构,改善其表面自洁能力,减小与污秽颗粒的附着力,采取等离子体、表面氟化等化学改性工艺,在绝缘子表面设置低表面能功能层,达成污秽颗粒与水膜的快速滚落,减轻积污程度,并推行环保型功能涂层,综合考虑耐污效果和生态环保需求。

(三) 结构协同优化型提升技术

针对绝缘子结构形式影响电场分布与积污规律的差别,更新结构协同优化型提升技术,利用大伞径、错位伞裙结构设计优化绝缘子外形,增加沿面爬距,控制其表面污秽沉积与水膜搭桥,研发装配式绝缘子结构,凭借预制伞裙构件达成绝缘子结构的快速组装,优化电场分布与施工效率;运用凹凸微结构表面设计,在绝缘子表面构建空气垫效应,积极适应重污秽、高湿度的运行环境。

三、全生命周期长效耐污防护管控体系

(一) 应用前的技术选型与方案优化

应用前要做好技术选型并改良方案,这是绝缘子耐污性能提升与长效防护的关键步骤,主要目的是准确匹配不同运行环境的污秽特性,制订有针对性的耐污提升方案,从而防止污闪故障发生,给后续安装和运维阶段的耐污防护打下根基,做技术选型时,要创建起“多源数据融合+多模型耦合”的选型系统,把绝缘子运行区域的污秽类型、气象条件、电压等级以及材料特性参数统统整合起来,塑造起完备的选型数据基础。运行区域的环境数据包含历年的污秽密度记录、湿度温度统计情况、盐雾降雨分布等,这些数据能精确显示它在运行期间的积污规律和耐污需求;电压等级资料应当覆盖绝缘子的运行电压、电场强度、绝缘配合要求等信息,清楚表明电气条件对耐污性能的影响;材料特性参数还要对比不同改性材料、功能涂层的憎水性、耐老化性、使用寿命等指标,量化技术差别给耐污效果带来的影响程度。

在选型方法方面,采取数值模拟和现场试验关联的办法来改善选型结果的准确性,利用电场仿真软件创建绝缘子表面电场与积污分布的三维数值模型,模拟不同污秽状况、电压条件下的闪络情形,预估不同耐污技术的防护效果、使用寿命以及运维成本的分布规律;而且,在典型污秽区域展开绝缘子挂网试验和耐污性能检测,得到真实的耐污反应数据,以此来验证并修正数值模拟模型,保证选型结果符合工程实际情况。

(二) 应用过程的性能监测与动态调控

应用过程对于绝缘子耐污性能保持而言非常关键,在此期间开展耐污性能的即时检测并执行动态调节,可以及早察觉性能衰减,并经由调整防护参数来做到耐污效果的精确控制,免除因性能退化逐步增多而产生的闪络病害,形成起“全域覆盖,随时感知,精准提示”的性能即时检测体系,这是达成动态调节的前提所在。该检测体系应牵涉绝缘子的运行表面、关键连接部位以及周边环境区域,要设置各类自动化检测装置,比如憎水性检测仪、污秽密度监测仪、电场传感器等,从而达成对憎水性等级、污秽沉积量、表面电场强度的实时监测。创建智能化的数据分析模型,对即时监测得来的数据执行即时处理,比较绝缘子初始性能与运行后的性能衰减速率,以此来判断耐污效果是否达标。设置多级警报阈值,按照性能衰减的严重程度划分出黄色、橙色、红色的警报等级,一旦监测数据到达警报阈值,控制平台就会自动发出警报,通知运维人员及时采取干涉措施,如果绝缘子憎水性等级下降达到黄色警报值,就要暂停该区域的负荷调整,探究性能衰减的原因;而要是达到红色警报值,那就立刻启动应急预案,采取涂层修复、表面清洁等手段来阻止性能的进一步恶化。根据监测警报结果,执行防护参数的动态调控,针对性能衰减产生的原因,精准调整防护工艺,如果是因为涂层磨损造成的性能衰减,就要及时补涂耐污涂层,加大涂层厚度;如果是由于污秽堆积致使绝缘性能下降,就要改进清洁标准,使用带电清扫设备执行去污作业;要是因为结构设计缺陷引发电场畸变,就要调整绝缘子伞裙结构,加强电场均匀性,而且,还要创建起“监测-分析-调控-验证”的闭合式运作流程,每次完成调控以后,不断跟进监测数据,考察调控措施是否有效,按照验证结果进一步改良调控方案,保证绝缘子的耐污性能一直维持在协可控的范围内。

(三) 运营阶段的性能长期跟踪与养护干预

绝缘子处于运营阶段时,其耐污性能会因环境侵蚀

和荷载作用长时间影响而出现衰减现象,如果不展开长期追踪并给予养护干预,就极易造成耐污能力逐步下降,从而致使污秽沉积、沿面闪络等病害发生,进而影响到绝缘子的使用品质以及电网运行安全,所以,形成起运营阶段的性能长期追踪及养护干预体系十分关键,这对于保证绝缘子耐污性能具有长久的稳定性而言非常必要。该性能长期追踪体系应包含绝缘子运行的整个生命时段,而且要制订出科学的追踪检测方案,在运营初期,因为绝缘子性能衰减速度较快,所以检测频率应当加大,每月都要做一次性能观察,这样就能及时把握后期性能的变动规律;等到运营3到5年之后,如果性能趋于稳定,就可以酌情减小检测频率,改为每季度或者半年执行一次观察任务;还要创建起长期的检测档案,把所有的检测数据汇集起来,剖析性能衰减的长期存在趋向,评判绝缘子能否长久稳固运行。监测内容除了憎水性、污秽密度之外,还要包含表面裂缝、机械强度等,从而全方位了解性能衰减给绝缘子运行带来的影响,创建依靠性能状态的病害警报与养护干预机制,做到“尽早察觉,尽早解决”,按照长期监测的数据,并结合绝缘子运行病害的情况来制定养护干预的触发标准;对于污秽堆积问题,实施带电水冲洗或者干冰清扫;对于结构损伤问题,执行局部构件更换。养护干预期间,要重视技术的适配性与环保性,首先选择绿色环保的养护材料与工艺,缩减对周边环境的影响,还要依照电网的运行负荷状况,恰当规划养护施工时间,采用停电检修、带电作业等方法,最大程度地减轻养护作业对电网运行的影响,也要创建起养护效果评价机制,养护施工完毕之后,持续跟进监测性能变化和运行状态,考量养护措施是否有效,归纳养护经验,以保障绝缘子的长久稳定运行,电网得以安全供电。

(四)全周期耐污防护的协同管理体系

全时段耐污防护要想高效落实,离不开创建“多方协作,权责明晰,流程闭合”的协同运作体系,达成应用前、应用时、运维阶段耐污防护工作的无缝对接和高效互动。该协同运作体系以电力运维单位为关键点,融合设计单位、施工单位、监测单位、材料供应商等诸多主体,明确各个参与方的责任与分工,设计单位承担耐污技术选型模型的塑造以及提升方案的改良任务,给予

技术支持;施工单位负责执行性能监测及动态调节举措,依照改良后的方案开展施工;监测单位承担全时段的数据收集、分析并发出警报,保证数据的准确性与可靠性;材料供应商则在运维期间跟进材料性能变化并提供技术服务,以维持绝缘子的长期耐污能力。形成常态化的协同沟通机制,经由定时举办协同会议,搭建线上协同平台等途径,做到各方信息即时共享,并快速商讨问题,对于应用过程中产生的性能异常、技术难点等情况,召集各方一同分析,制订解决办法,防止由于信息不对称引发防护迟缓,稳固绝缘子的长期耐污性能,改善电力系统外绝缘的总体品质。

结语

电气绝缘子耐污性能提升工作当中,技术实施的重点在于解决由材料特性、表面状态与结构形式差异引发的耐污能力不足状况,要想达成此目标,首先要准确识别这些差异特性,然后创建恰当的耐污提升技术体系以及覆盖整个使用期限的性能监测体系。经由采用材料本体改性、表面功能化处理以及结构协同优化这三种提升技术并行使用,可以有效地改善绝缘子的耐污性能,缩减污闪事故产生的几率,而全生命时段耐污防护体系做到了从应用之前就预先选型、应用期间实施调控一直到运营阶段加以跟进这样一种全方位的控制,保证绝缘子的耐污性能保持稳定。日后,伴随着新材料、新技术不断更新换代,电气绝缘子耐污性能提升技术将会向着智能化、绿色化、高效化的方向去发展,从而给电力系统防污闪工作的质量改良给予更为牢靠的技术支撑。

参考文献

- [1]向平,向鹏,周敏,等.车载式电力绝缘子清洗装置的设计及特点分析[J].重庆电力高等专科学校学报,2022(04):129-132.
- [2]罗毅.低温,高污染地区接触网绝缘子清洗装置研究[J].西南交通大学,2024(02):117-119.
- [3]张涛,毕睿华,张云翔,等.基于化学清洗剂与气动清洗机的绝缘子带电清扫技术的研究[J].四川电力技术,2021(03):103-106.