

输电线路交叉跨越施工绝缘支撑技术研究与应用

刘亚荣 李 晖 何雄飞 牛海涛

国网甘肃省电力公司天水供电公司, 甘肃 天水 741000

[摘要]电力工程建设中,交叉跨越架线是技术难度大、危险系数高的工程。传统的带电作业方式虽然可以减少风险但是会中断供电,文中对输电线路交叉跨越施工绝缘杆支撑技术的研究进展进行了全面梳理,并对绝缘杆支撑结构的力学性能及电气性能理论基础进行了剖析,并以实际应用为例介绍了应用基础,提出了一种包含杆塔结构形式的设计、绝缘支撑件材质的选择以及放线工艺改进的技术措施,确定了发展目标以及实现措施。

[关键词]输电线路; 交叉跨越; 绝缘支撑架构

DOI: 10.33142/hst.v9i2.19155

中图分类号: TM752

文献标识码: A

Research and Application of Insulation Support Technology for Crossing Construction of Transmission Lines

LIU Yarong, LI Hui, HE Xiongfei, NIU Haitao

Tianshui Power Supply Company of State Grid Gansu Electric Power Company, Tianshui, Gansu, 741000, China

Abstract: In the construction of power engineering, cross crossing overhead lines are a technically difficult and high-risk project. Although traditional live working methods can reduce risks, they can interrupt power supply. This article comprehensively reviews the research progress of insulation pole support technology for cross crossing construction of transmission lines, analyzes the theoretical basis of mechanical and electrical properties of insulation pole support structures, and introduces the application basis with practical applications as an example. A technical measure including tower structure design, selection of insulation support material, and improvement of laying process is proposed, and development goals and implementation measures are determined.

Keywords: transmission lines; crossing over; insulation support structure

电力系统的交叉跨越放线是一个技术和危险性都很大的环节,在电网规模越来越大之后,输电线路穿越河面、道路、铁路以及其他输电线路成为常见现象。传统的停电施工虽然风险较低,但是也会造成停电的现象,不能符合现今对于供电稳定性的需求,所以在进行交叉跨越放线等危险程度比较大的施工时怎样能够在不断电又不影响到社会正常秩序的情况下最大限度利用新科技、新工具来保证人员的安全并提升工作效率就是一个值得讨论的问题了。

1 国内外研究水平综述

目前针对绝缘支撑架的设计、生产和使用都有一些研究,在设计部分的研究主要包括结构设计、材料选用以及抗力性能的提高等。合理的结构设计可以使得绝缘支撑架在承受相同的外力时产生更大的形变及更好的稳定性;另外,利用一些性能较好的新型材料,比如高性能复合材料,良好的绝缘材料等也都可以有效提高绝缘支撑架的综合

性能。有研究表明针对 110 kV 输电线路杆型高分子绝缘臂的力学性能作了相应的测试,在一根绝缘臂上集成了普通输电铁塔的钢制塔臂及瓷绝缘子两种功能于一体,是用高分子复合绝缘子模块组成,有两个受 40kN 的纵向力作用的水平单元以及一个受垂直力作用的悬垂单元,安装长度为 2.3m 左右。

2 项目的理论和实践依据

2.1 理论依据

绝缘支撑架的机械特性是检验它是否能在跨线施工环境下可靠有效地使用的重要标准,有强度、刚度和稳定性三个方面。强度是指绝缘支撑架能够承受作业人员质量、施工器具重量及风、雪等外界环境所造成的静态或者动态作用力而不破裂或者产生过大形变的能力;为了使强度达标,绝缘支撑架中的绝缘体要具有较高的拉伸、压缩与弯曲强度,一般采用材料力学试验及有限元分析的方法对此进行检测并加以改善;刚度即绝缘支撑架在受到外力作用

下能维持其自身形态大小不变的能力,在施工中若刚度过小就会导致支撑架出现较大的变形或者位移从而给工作带来不稳定的风险。设计应根据具体情况选用合适的材料与截面形式,使用高强度、高模量绝缘材料,并增大截面惯性矩等方式均可提高其刚度性能;稳定性是指绝缘支撑结构在复杂的受力情况下仍维持稳定而不发生倾倒或滑动的能力,在进行交叉跨越施工时,该结构可能会受到来自不同方向上的力、力矩的影响,例如:风力等,如果它的稳定性较差,则会发生倒塌或者侧向移动的风险;电性能指电气方面的一些参数对判断绝缘支撑结构是否安全具有决定作用,这对保证输电线路交叉跨越安全起到重要的作用,主要有绝缘电阻、击穿强度、泄漏电流等。绝缘电阻为评价绝缘支撑框架电气性能的主要参数,在施工中必须具有较高的绝缘电阻,以此达到隔绝电流通路的目的是避免作业人员在接线过程中接触到带电体而导致产生触电危险。击穿电压表征绝缘支撑框架耐受电压冲击而不发生破裂的程度,提升击穿电压有利于保证它的安全性。泄漏电流也不能够忽略,过大的泄漏电流会对绝缘材料造成伤害,并削弱其绝缘强度,严重时也会给作业者带来安全隐患^[1]。

2.2 实践依据

绝缘支撑架构对于高压输电线路的维护、检修以及改造工作至关重要,在此期间绝缘支撑架构给检修工作人员营造了一个安全的工作环境,使检修人员能够带电检修、维修或者更换设备,极大的提高了工作效率的同时也减少了因停电造成的经济损失与社会影响;绝缘支撑架构在跨越放线工程中的作用也不可忽视。输电线路在跨越河流、公路、铁路等障碍物时,传统的放线方法常常给当地的交通与电力造成困扰,而通过采用绝缘支撑架构的方式可以保证当地交通畅通及电力供应正常的情况下顺利完成跨越放线工程的任务。国网白银供电公司在秦川变 330kV 线路送出工程中,首次应用移动式伞形跨越架完成对 110kV 子徐一线的带电跨越施工,在此项目上,它以模块化的设计、绝缘材料的应用使整个装置呈现出了装备更轻便、拼装更便捷以及对作业全程的全面防护的特点,它的伞状结构能够迅速地打开,形成一个立体的保护网来避开带电电缆;三人组的操作下就能完成全部工作,节省了近一半的人力支出。面对恶劣天气或者极端气候条件下施工时,其绝缘支撑架子也有很好的表现能力。在高温,潮湿,强风等恶劣条件下,传统的方式很容易带来危险因素,而绝缘支撑框架凭借良好的绝缘性和可靠的支撑强度给工作人员创造了比较安全的操作空间,减少发生安全事故的

风险。

3 项目研究内容和实施方案

3.1 支撑架的结构设计研究

结构型式改进设计方面,利用 ANSYS、ABAQUS 等成熟的有限元分析工具对许多传统与新颖的支承结构形式进行仿真建立。建立具有不同的几何尺寸及连接方式的模型,仿真各种复杂的工况下力学行为表现,包括不同的风向风速的风载荷,分布不均的导线拉力以及不同地形条件下支点处反作用力等。通过仔细观察应力、应变云图来准确判断结构的薄弱环节,选取力学性能良好的基础结构类型。

根据具体施工需要进行精确化的设计中,我们将会进一步分析输电线路交叉跨越放线的施工现场情况,比如不同电压等级线体之间的安全距离标准以及对于各种不同的障碍物进行跨越的方式、施工场地的空间制约情况等。结合以上内容对被选择的基础构造尺寸做适当调整,以满足结构坚固、稳固的要求为条件,在此基础上尽可能地支撑框架做的小巧轻盈一些,便于搬运移动;并且创造性开发接头部位,采取通用型或可互换组合的设计,使装置能够在现场恶劣环境中迅速准确安装、拆除。

稳定性加强设计中,使用结构动力学及稳定性理论研究支撑脚手架在不同的高度,不同的地势下稳定性问题,在此过程中增加支撑脚的数量,调整支撑脚之间的展开角度与分布形式,加装辅助性稳定性设施例如:抗风缆绳、防滑垫片等增强支撑脚手架抵抗倾倒以及滑动的能力,根据不同的工作环境制定相应稳定的检查指标与计算规则。

3.2 支撑架的材料选择及其性能研究

材料选择及初步判断:对国内国外绝缘材料的相关市场以及最新的研究进展进行调查研究,搜集各种有潜在使用价值的材料的信息,例如高性能工程塑料聚醚醚酮、聚苯硫醚;新型纤维增强复合材料碳纤维增强环氧树脂,玻璃纤维增强不饱和聚酯等^[2]。根据所选材料基本性能参数、耐环境能力、经济评价的结果来进行初步选择满足项目需求的材料类型。

材料性能准确性检测及检测分析工作中运用专业材料检测仪器设备:绝缘电阻测量仪、耐电压测量仪、万能材料试验机、热重分析仪等对经过初步挑选出来的材料进行完整的性能检测,在检测过程中严格遵守国内外有关检测的相关规定,保证测试结果的真实性以及有效性。对于不同的批号、不同的生产厂家生产的相同种类的材料,对其进行性能的比较分析,研究材料在各方面存在差异的原因。

材料强度与寿命的研究中,在材料强度的研究过程中会采用表面处理手段比如等离子体处理法,化学涂层处理法以及材料复合手段比如纳米粒子增强、纤维混杂增强等方法来提升所选材料的强度;通过对实验结果及微观结构进行观察了解表面处理方式对于材料强度的作用机理,并找到适合的表面处理工艺条件;通过对加速老化实验及寿命预测方法例如阿伦尼乌斯方程、威布尔分布函数来进行材料使用寿命预测。

3.3 对交叉跨越放线技术的研究

放线工艺优化研究:对目前交叉跨越放线方式中张力放线、拖地放线等进行详细的探讨,同时针对新型绝缘架空杆塔所具有的优良的机械与电气性能特征,寻求与其相适应的新颖的放线工艺,在构建导线展放动力学模型的基础上,分析导线在不同的支吊结构下的运动轨迹及受力状况,来改善放线方式的设计。过跨放线支撑架包括主杆、连接器、支撑脚、底托板以及绝缘滑轮组成,主体选用玉树脂玻璃纤维板,具有较强的机械强度和较好的电绝缘属性,利用螺纹杆可使绝缘滑轮升降,与传统竹梯登高等绑扎方法相比,支撑架仅需要在地面上摇动手柄就可改变过跨导线的高度,省去了登高及绑扎固定的工作量。

导线对支撑架实时监测压力方面,将会以现代控制理论和传感技术为基础,与绝缘支撑架无线控制系统中的控制相结合,在进行交叉跨越放线过程中应用。使用高灵敏的压力传感器及时采集导线对绝缘支撑架压力值的变化情况并加以保持使之处于一个相对稳定的、安全的状态来提升放线质量以及操作的安全水平。

安全保障的技术体系的建立,在此基础上要从工作人员的安全保护、机械设备的安全运转以及应急处置等几个方面来建立一个系统的交叉跨越放线安全保障技术体系,制定严密的安全操作规程和施工流程标准,确定出每一步骤中存在安全隐患及防范方法。

3.4 实施方案

建立跨学科联合攻关科研团队,在电力工程项目上有着较高学术水平及实际工作经验的老教授做该课题带头人,从公司内部挑选土木工程、材料科学、电气工程、自动化控制等多个学科的工程技术骨干作为主要研究人员^[3]。对各研究人员的任务以及分工进行落实,并制定出相互之间联系协作制度,定期开展项目碰头会,及时沟通交流解决课题中存在的各种问题。并且加强与高等院校、科研院所之间的产学研合作,聘请行业内顶尖专家担任项目的指导老师。

建立立体化试验研究平台。实验室基本性能检测平台

以公司设立的专业实验室为基础,拥有完备的材料物理性能检测设备、电气特征性能检测仪器以及结构力学试验设备;模拟现场工况实验平台构建模拟线路跨越放线施工实验台,重现不同现场施工环境及工况,设置模拟导线、障碍物、风源、雨源等装置,对支撑架的结构承载能力、放线工艺、张力施加技术进行全面检验和校准。现场试验基地结合电力施工单位,在典型输电项目中选取有代表性的输电塔基作为现场试验场地,应用于施工现场实际作业环境并进一步完善提升。

加强项目管理和质量管理体系建设。项目进度管理编制周密详尽的项目进度表,利用项目管理软件进行实时跟踪监测以及及时调整;质量管理健全完善质量保证体系,加强对重要技术参数和实验结果反复校验核查;风险管理充分辨识项目研制过程中的各类技术、市场、安全等风险因素,拟定切实可行的风险防范策略及应急方案。

增强同产业链各环节之间的沟通联系。加强同上下游企业的合作协作关系,在新型绝缘材料研究方面进行联合攻关并推进其应用进程;参与电力相关产品标准的制订、修编等事宜,把项目成果经验提炼成行业标准或指南;组织项目组成员积极参加国内外电力领域的学术交流会、科技论坛及展会等一系列活动,掌握电力领域前沿科技成果和技术发展方向。

4 预期目标与项目条件

4.1 总体技术路线

该项目总体技术方案采用的是以“理论研究→结构设计→材料选择→样机制作→试验检测→推广应用”技术流程^[4]。先通过对电绝缘体的力学特性以及电气属性的研究来确定绝缘支撑结构框架的设计准则,在此基础上运用有限元分析软件对结构进行优化设计并进行有关材料的选择及测试工作;在得到上述结果之后进行产品的制作并通过实验室测试、现地试用以检验产品质量;从而获得一种拥有自己专利权的电绝缘支撑结构及其相关的施工方法。

4.2 关键技术创新点

本项关键技术突破主要有三大方面:一是在结构方面的创新上:提出了模块化、可扩展的绝缘支撑架设计思路,在于解决以往所采用的传统的跨越结构缺乏灵活性、不方便携带的问题,二是在材料上进行了创新,尝试对高性能复合材料的应用,达到轻质高强的效果,三是在生产工艺方面进行突破,开发了基于压力监测智能放线的方法,提升跨越施工的安全可靠程度。

4.3 技术指标预期

本工程的设计目标是实现的主要的技术性能指标有:

绝缘支撑结构的额定工作电压为 110kV 及以下, 试验耐压值不小于 220kV; 最大承重要求不少于 20kN, 最大支撑长度不少于 6m; 总质量不大于 200kg, 最小部件的质量不大于 30kg, 安装施工时间不超过 30min。

4.4 项目保障条件

项目实施主体国家电网甘肃省电力公司天水供电公司一直从事输电线路运行维护及检修相关业务, 有着深厚的现场工作经验。项目主持人曾主持过多项科研项目, 从事科学项目的研发管理已经多年, 在此期间积累了足够的经验和知识储备。项目组成员均为高水平技术人员构成的研究人员队伍, 涉及公司规划设计、管理、生产运维等各业务条线和领域, 其中高工 7 名、工程师 3 名、高级技师 4 名、技师 2 名, 覆盖工程技术所有学科。

在实验场地方面, 单独设立了约 100m² 左右的实验室, 有较为完善的软件硬件设施, 可以满足各课题组人员进行正常的试验任务, 在理论环境方面, 承担项目的单位多年来一直从事着此项目类似的工作, 积累了大量的现场经验, 项目组成员对其专业的理论知识有一定的见解, 能保障好理论研究部分的研究工作。

5 结束语

输电线路交叉跨越绝缘支撑架装置属于交叉跨越放线施工作业的重要设备之一, 在交叉跨越作业技术以及电力系统安全稳定方面有着非常重要的作用, 本文通过对输

电线路交叉跨越绝缘支撑架进行合理的设计和完善可以有效加强作业安全性, 提高工作效率, 也能使电力系统保持良好稳定的运行状况。在对交叉跨越放线作业的实施过程中, 使用输电线路交叉跨越绝缘支撑架装置能大大降低停电时间, 提升了供电的连续性及稳定性, 对于加强作业的安全程度, 保证电网的安全平稳运行都起到重要作用, 还能够促进技术进步和技术的发展, 增强施工能力及节约成本等有很重要的意义。将来, 在技术发展的同时伴随各种新型的应用不断的出现, 绝缘支撑结构会越来越完善, 性能也会更强, 应用效果自然就更好了。

[参考文献]

- [1]孙海峰,陈路,李静.浅谈新建输电线路交叉跨越施工方法及管理措施[J].内蒙古科技与经济,2023(17):94-96.
- [2]王亚祥,刘松涛,蔡玉龙,等.运行工况下特高压 GIL 三支柱绝缘子机械应力分布仿真研究[J].高压电器,2025,61(6):85-91.
- [3]张泽林.电力工程 220kV 输电线路交叉跨越施工技术研究[J].电气技术与经济,2025(7):55-57.
- [4]赵侃坤.220kV 变电站与输电施工中的技术分析[J].集成电路应用,2022,39(5):222-223.

作者简介: 刘亚荣 (1979.2—), 工作单位: 国网天水供电公司, 性别: 男, 民族: 汉, 籍贯: 甘肃陇西, 学历: 本科, 职称: 高级工程师, 研究方向: 输电线路运检。