

山地光伏集电线路施工质量控制要点

于 浩

中国能源建设集团天津电力建设有限公司 天津 300180

摘 要: 山地光伏电站集电线路承担光伏方阵电能汇集与输送的核心功能, 施工质量直接关系到电站发电效率和运行可靠性。本文针对山地特殊地理条件, 从线路路径优化、基础施工、杆塔组立、导线架设、电缆敷设、接地工程及施工组织等方面阐述了质量控制要点, 提出了强化前期踏勘、优化施工工艺、加强过程监测等系统性措施。研究表明, 质量控制重点在于充分识别山地环境风险因素, 采取针对性技术手段和管理措施, 确保线路全生命周期安全稳定运行。

关键词: 山地光伏; 集电线路; 施工质量; 基础施工

引言: 随着光伏发电应用拓展, 山地光伏电站已成为重要开发形式。集电线路是电站系统中线路最长、覆盖面最广的组成部分, 其施工质量直接决定发电能力和运行安全。然而, 山地施工面临地形起伏大、坡度陡、地质复杂、气候多变等不利因素, 难度远高于平原, 基础持力层不稳定、杆塔倾斜、导线弧垂偏差、电缆接头故障等问题时有发生, 严重时影响电站投运和长期可靠性。本文基于工程实践, 系统梳理集电线路施工关键质量控制要点, 从路径优化、基础施工到架线安装的全过程提出管控要求, 旨在为同类工程提供参考。

1 山地光伏集电线路工程概述

1.1 工程组成与功能定位

光伏集电线路承担着将各光伏方阵电能汇集并输送至升压站的核心功能。山地光伏集电线路通常采用电缆直埋与架空相结合的方式, 分为汇集段和送出段两部分。汇集段指从光伏方阵至集电杆塔的连接线路, 采用电缆敷设; 送出段指从汇集点至升压站的输送线路, 可采用架空或电缆方式。系统构成主要包括电缆线路(含直埋电缆、桥架及保护管)、架空线路(含杆塔基础、杆塔组立、导线、绝缘子、金具及防雷接地)、电缆接头与终端头及标识防护设施等, 电压等级通常为 35kV 或 10kV。

1.2 山地环境施工特点

山地光伏集电线路施工显著区别于平原地区。地形方面, 地面起伏大、坡度陡, 部分区域坡度达 25° 以上, 材料运输和基础施工极为困难, 大型机械难以进场, 大量作业依靠人力和小型机具完成。地质方面, 岩性变化大, 常遇风化岩、碎石土或软硬不均地层, 持力层识别难度大。气候方面, 山地气候多变, 雨雾频繁, 冬季冻土和夏季暴雨

均影响施工。此外, 植被茂密, 通道开辟涉及林木砍伐和水土保持问题。上述特点决定了山地施工必须因地制宜制定质量控制策略, 不能简单套用平原经验^[1]。

2 施工准备阶段质量控制

2.1 现场踏勘与路径优化

施工准备阶段首要任务是详细踏勘和路径优化。踏勘应调查沿线地形地貌, 识别陡坡、冲沟、不稳定边坡等不良地段; 判定地质条件, 排查滑坡、崩塌等隐患; 调查交通条件, 评估运输通道修筑条件。路径优化原则是在满足电气技术要求前提下, 避开地形陡峭段、不良地质区和生态敏感区, 优先沿山脊线或缓坡布线, 减少大高差跨越和连续陡坡, 杆塔位布置于地形平缓、地质稳定处, 避开冲沟边缘和低洼汇水区。无法避开的困难地段应增加杆塔数量缩小档距、调整杆塔和基础型式以适应地形。

2.2 施工组织设计编制

施工组织设计是指导施工的纲领性文件。山地集电线路施工组织设计应包含施工总体部署和进度计划, 充分考虑山地施工效率低、受气候影响大的特点, 预留合理工期裕度; 施工便道修筑和材料运输方案; 主要施工方法和技术措施, 针对山地条件制定基础开挖、混凝土浇筑、杆塔组立和导线架设方案。对高难度作业应单独编制安全专项方案。水土保持和环保方案应明确表土剥离、临时苫盖和植被恢复等措施。

2.3 材料进场检验与保管

材料质量是施工质量的基本保障。进场检验应严格执行国家标准, 重点包括钢筋力学性能和外观检验, 水泥强度等级和安定性检验, 砂石料级配和含泥量检测, 商品混凝土配合比和强度核查。电杆和铁塔构件应检查

外形尺寸、镀锌质量和焊接质量,合格证和质保文件须齐全。现场保管方面,山地场地有限、气候潮湿,钢筋和铁塔构件应分类堆放、底部垫高并覆盖防雨布;水泥存放于干燥通风库房;电缆线盘置于平整场地并垫木方防潮;导线线盘注意防潮防碰撞。所有材料建立台账管理制度,做到入库有记录、领用有手续、使用有追溯。

3 基础工程施工质量控制

3.1 基坑开挖与持力层验收

基坑开挖质量决定基础承载能力。开挖前依据设计图纸现场放样定位。岩石地基采用风镐或小型爆破开挖,须严格控制装药量和方向,爆破后清理松散石块并修整坑壁。开挖中逐层观察地质变化,接近设计深度时由地质人员和监理共同验槽。持力层验收核心是确认基底地质条件与设计一致、承载力满足要求,风化岩层应判别风化程度和完整性,土层地基应检查密实度和含水率^[2]。地质条件不及预期时应进行设计变更,采取加深基础、扩大底面积或换填垫层等方式。验收合格后及时浇筑垫层混凝土,避免基底长时间暴露。

3.2 钢筋工程与预埋件安装

钢筋加工须依据设计图纸,主筋搭接长度、弯钩角度和锚固长度满足规范,绑扎保证间距均匀、位置准确。保护层厚度采用专用垫块均匀布置,确保满足设计值。地脚螺栓预埋是最关键环节,其定位精度决定杆塔能否顺利安装。预埋时应采用定型定位模具将各螺栓相对位置和露出高度一次固定,模具须有足够刚度抵抗浇筑扰动。安装完成后逐个测量螺栓间距、对角线和标高,偏差超标须在浇筑前调整。浇筑中安排专人看护预埋件,防止振捣造成位移,浇筑后及时清理螺栓丝扣上混凝土浆液并涂抹防锈油脂保护。

3.3 混凝土浇筑与养护

山地条件下应优先采用商品混凝土泵送方式确保均匀性。现场搅拌须严格计量配合比,控制水灰比和坍落度,每班制作试件进行强度检验。浇筑中分层下料、分层振捣,振捣遵循快插慢拔原则,以表面泛浆、不再冒气泡为准。养护是保证混凝土强度增长的必要条件,浇筑后及时覆盖保湿养护,保持表面持续湿润。大体积混凝土应采取内部降温措施或使用低水化热水泥,防止温度裂缝。养护龄期不少于7天,重要部位延长至14天。养护期间设置围护和警示标志,防止人员和机械过早踩踏或碰撞。

3.4 基础回填与排水处理

基础回填是影响长期稳定的关键工序。回填应选用无腐蚀性、无杂物的原土或级配良好的砂石料,分层回填,每

层虚铺厚度不超过300mm,采用小型夯机或人工夯实,确保压实系数满足要求。回填土表面略高于原地坪并形成排水坡度,防止地表水汇集于基础根部。位于斜坡上的基础,上游侧设置截水沟或排水沟,将坡面来水引离基础范围,避免长期浸泡。回填土经历雨季沉降后及时补填夯实,保持基础顶面高出地面不少于设计要求。

4 杆塔组立与导线架设质量控制

4.1 杆塔组立施工控制

混凝土电杆组立前进行外观检查,确认无纵向裂缝、横向裂纹不超限,杆身平直。焊接连接时焊缝饱满均匀、无夹渣气孔,焊后防腐处理。铁塔组立前逐件检查构件,确认镀锌层完好、无变形扭曲。组立方法因地制宜,平缓地段采用起重机整体组立;陡坡地段采用抱杆分件组立或倒落式人字抱杆组立。组立后及时校正垂直度,直线杆塔倾斜度不大于全高3‰,转角杆塔向受力反方向预留预倾斜。螺栓紧固是关键环节,所有螺栓按设计扭矩逐颗紧固并做标记,防止漏紧和松动^[3]。

4.2 导线架设与弧垂控制

导线架线前精确测量各档距长度和相邻高差值,综合导线型号、档距、高差、张力和温度计算安装弧垂,经设计确认。导线展放中防止磨损和扭伤,放线滑轮选用匹配的铝滑轮或MC尼龙滑轮。导线接续采用液压压接,压接管和模具与导线规格匹配,压后管径和握力满足规范。一个档距内每根导线接续管数量不超过限值。弧垂调整在全线导线挂完后统一进行,使用经纬仪或全站仪在夜间或阴天无风条件下观测,确保各档弧垂符合设计值且三相基本一致,偏差不超规定范围。

4.3 绝缘子与金具安装质量控制

绝缘子安装前进行外观检查和绝缘电阻测试,瓷绝缘子无裂纹、缺釉和破损,钢化玻璃绝缘子无自爆,复合绝缘子伞裙和护套无损伤。绝缘子串组装严格按设计图纸进行,弹簧销安装到位且有足够弹性。金具安装中悬垂线夹与导线垂直对中;耐张线夹压接使用配套模具,压接顺序和压力符合工艺要求;防振锤安装位置和间距按设计设置。所有金具连接螺栓按规定扭矩紧固并采取防松措施,开口销双向开口且开口角度不小于60°。

4.4 接地工程施工质量控制

山地岩石地区接地电阻难达标是常见难题。接地体埋深不小于0.6m,岩石地区可适当减小但须采取降阻措施,如增加接地体长度、使用降阻剂或设置外引接地。接地体采用热镀锌钢材,截面和厚度满足设计要求。接地体间焊接连接,焊接长度不小于扁钢宽度2倍或圆钢

直径 6 倍,焊接处防腐处理。接地电阻测量在工程全部完成后、天气干燥时进行。超标时及时补充降阻措施。接地引下线安装平直美观,与杆塔连接处接触良好、电气连通可靠。所有隐蔽部位留存影像和验收记录。

5 电缆敷设与接头制作质量控制

5.1 电缆路径选择与沟槽开挖

电缆路径应充分考虑地形和运维便利性,尽量沿道路边缘或地势平缓地带敷设,避开陡坡、冲沟、滑坡体和岩石开挖量大的区域。沟槽深度和宽度满足设计要求,直埋电缆埋深不小于 0.7m,穿越农田时不小于 1.0m。沟底平整夯实,清除尖锐杂物,必要时铺垫 100mm 厚细砂垫层。岩石地段可采用机械破碎或静态膨胀剂破碎成沟,避免爆破。沟槽开挖后验收沟底宽度、深度和平整度。坡度较大地段设置电缆防滑措施。穿越道路或排水沟时设置保护钢管或水泥盖板加固防护。

5.2 电缆敷设施工控制

电缆敷设宜采用机械牵引和人工配合,牵引机设置牵引力监控装置,牵引力不得超过电缆允许最大牵引强度。电缆弯曲半径不小于规范最小值,一般不低于电缆外径 15 倍(三芯)或 20 倍(单芯),转弯处设置导向滑轮减少摩擦。电缆在沟槽内排列整齐,蛇形敷设预留长度裕度补偿热胀冷缩。多根电缆同沟敷设时不同回路按设计保持足够间距并采取隔离措施。敷设中防止外护套机械损伤,发现破损及时修补。敷设完成后在电缆两端和接头处预留足够长度,为检修提供操作裕度。

5.3 电缆中间接头与终端头制作

电缆接头是线路中最薄弱环节,制作质量决定长期可靠性。接头制作应在干燥、清洁环境中进行,环境温度不低于 0℃。雨雪天气或相对湿度大于 70%时,须搭设防雨棚、除湿等措施改善环境。接头制作严格按厂家工艺说明书执行。关键控制要点:外护套、屏蔽层剥切尺寸精确,不得损伤主绝缘;导体连接管压接使用专用压接钳,接触电阻和握力满足要求;主绝缘恢复使用原厂配套带材,保证足够厚度和搭接率;接地线连接保证良好电气连通。制作完成后进行交流耐压试验和局部放电检测,合格后方可投运^[4]。

5.4 电缆标识与防护

电缆敷设完成后在路径转角处、接头处、进出建筑物处和直线段每隔一定距离设置清晰的路径标识桩或标识带,标明电压等级、走向和用途。直埋电缆上方覆盖保护板或铺设警示带,防止后续施工开挖造成损伤。中间接头处设置接头保护盒,具有良好的机械强度和防水密封性能,埋地时设置接头标识桩便于日后查找。电缆

进出地面部位设置保护钢管,管内径不小于电缆外径 1.5 倍,管口光滑无锐边并做防水封堵处理。

6 施工过程管理与质量验收

6.1 工序质量控制与验收

每道工序完成后须经验收方可进入下道工序。建立完整的工序质量验收体系,明确验收标准、检查方法和责任人。隐蔽工程是验收控制重点,基坑验槽、钢筋绑扎、预埋件安装、接地体埋设和电缆接头制作等隐蔽项目,须在隐蔽前由施工单位自检合格后报监理验收,合格并签署隐蔽工程验收记录后方可覆盖或进入下道工序。质量验收形成完整文档记录,包括验收申请单、验收记录表、测量数据和影像资料。发现质量问题开具整改通知单,明确整改要求和期限,整改后复查确认。质量文件管理做到及时、完整、规范,为竣工资料归档和运维提供可靠依据。

6.2 质量通病预防

山地光伏集电线路常见质量通病及预防措施:基础沉降不均匀——加强持力层验收、确保回填压实质量、完善排水设施;杆塔倾斜——严格控制组立垂直度、地脚螺栓紧固到位、基础沉降观测;导线弧垂偏差——精确测量档距和高差、准确计算安装弧垂、统一观测调整;电缆接头故障——严格控制制作环境条件、严格执行工艺规程、逐头试验检测;接地电阻超标——优化接地体布置、使用降阻剂、增加外引接地。

结束语

山地光伏集电线路施工质量控制是确保电站长期稳定运行的关键环节。本文从路径优化、基础施工、杆塔组立、导线架设、电缆敷设及施工管理等维度,系统阐述了山地条件下的质量控制要点。通过严控每道工序质量、强化隐蔽工程验收和预防质量通病,可有效提升线路施工质量,降低后期运维风险。随着山地光伏开发规模的持续扩大,标准化、规范化的质量控制体系将在保障线路安全运行中发挥更加重要的作用。

参考文献

- [1] 魏刚,张轩,金昌,等.山地光伏场区集电线路安装施工技术[J].工程建设与设计,2025(2):122-124.
- [2] 张福平.山地光伏接地环网施工技术研究[J].电工技术,2026(7):87-90.
- [3] 李利飞.山地光伏发电项目升压站选址的优化设计[J].模型世界,,2025(27):78-80.
- [4] 李丹,王炜贵,孙浩杰,等.山地光伏升压汇集站电气安装施工技术[J].工程建设与设计,2024(20):181-183.