

建筑一体化光伏屋面防水与电气安全协同技术

杨化磊

中国水利水电第十一工程局有限公司，河南郑州，450001；

摘要：建筑一体化光伏屋面需兼顾防水与电气安全。协同技术旨在通过优化材料选择、构造设计，使防水系统与电气系统相互适配、互不干扰。合理规划线路布局、设置防水保护措施等，可降低渗漏与电气故障风险，保障光伏屋面稳定运行，提高建筑安全性与能源利用效率。

关键词：建筑一体化光伏屋面；防水；电气安全；协同技术

DOI：10.64216/3080-1508.25.09.004

引言

随着建筑一体化光伏屋面的广泛应用，其防水与电气安全问题愈发凸显。两者相互关联，若处理不当，不仅影响屋面防水效果，还可能引发电气事故。研究防水与电气安全协同技术，对保障建筑安全和光伏系统稳定运行具有重要意义。

1 协同技术原理

1.1 防水与电气系统相互影响机制

建筑一体化光伏屋面中，防水系统与电气系统形成紧密的相互作用关系，一方的异常状态会直接威胁另一方的功能安全。若防水系统存在裂缝、密封失效等问题，雨水会渗入屋面内部，接触光伏组件的电气线路、接线盒等关键部件，破坏电气绝缘性能，可能引发短路、漏电等安全事故，严重时还会损坏逆变器等核心设备，导致整个发电系统停运。反之，电气系统安装过程中的不当操作，如线缆敷设时穿透防水层未做有效密封、光伏支架固定件破坏防水卷材完整性，会直接形成防水薄弱点，为雨水渗透提供通道，造成屋面渗漏。同时，光伏组件运行时会持续释放热量，改变屋面局部温度环境，可能加速防水材料老化，缩短防水系统使用寿命。而防水系统若隔热性能不足，会导致屋面温度过高，影响光伏组件的工作效率，降低发电能力。这种双向影响关系要求两者必须协同设计与施工，才能保障屋面整体功能稳定。

1.2 协同设计理念

建筑一体化光伏屋面防水与电气安全的协同设计理念，核心是打破传统分系统独立设计的局限，从项目规划初期就进行整体统筹，实现功能与安全的深度融合。设计需遵循“安全优先、功能协同、寿命匹配”的原则，

在屋面整体布局阶段，同步规划光伏组件安装位置、电气线路走向与防水层敷设范围，避免后期施工出现冲突。比如确定光伏组件排布时，需避开屋面女儿墙根部、管道穿出部位等防水薄弱区域，减少对防水结构的干扰；规划电气线路路径时，优先沿防水层接缝处或预设的防水保护通道敷设，降低线路安装对防水层的破坏风险。在材料选择环节，需确保防水材料 with 电气设备的使用寿命相近，避免因某一系统提前老化更换而破坏另一系统的完整性，减少后期维护成本。此外，设计时还需预留合理的检修通道与操作空间，方便后期同时开展防水维护与电气检修，避免二次施工对屋面系统造成破坏，保障屋面长期稳定运行。

2 材料与构造协同

2.1 防水与电气材料适配性

防水与电气材料的适配性是保障建筑一体化光伏屋面系统长期稳定运行的基础，需从物理性能、化学性能与环境适应性三个维度综合考量。物理性能方面，防水卷材需具备良好的柔韧性与抗穿刺能力，以承受光伏支架固定件的挤压作用，同时抵御电气线路热胀冷缩带来的物理磨损，避免卷材开裂；电气线缆外皮需选用耐候性强、抗老化的绝缘材料，且与防水卷材、密封胶等材料不会发生粘连或相互磨损，确保双方物理性能不受影响。化学性能方面，需确保电气材料与防水材料接触后不发生化学反应，比如接线盒密封胶与防水卷材接触时，不会出现腐蚀、溶解等问题，避免双方化学结构破坏导致性能失效。环境适应性方面，所选材料需共同耐受屋面高温、紫外线照射、雨雪侵蚀等复杂环境因素，比如防水卷材的耐高温等级需与光伏组件运行时的表面温度相匹配，防止高温导致卷材软化变形；电气材料的耐低温性能需满足冬季屋面低温环境的使用要求，避

免低温导致线缆外皮脆裂。

2.2 屋面构造综合设计

屋面构造综合设计需将防水结构与电气系统安装构造有机结合,形成相互支撑、相互保护的整体结构体系。在屋面基层处理阶段,需先施工找平层与防水层,确保基层平整、防水层连续完整;在光伏组件安装区域,需额外增设加强防水层,可采用双层防水卷材叠加或涂刷高弹性防水涂层的方式,提升该区域防水等级,应对光伏组件安装带来的额外防水压力。安装光伏支架时,需使用专用的防水固定件,在固定件与屋面接触部位设置弹性密封垫,避免金属支架直接摩擦防水层造成破损;固定完成后,需用高性能密封胶对固定件周边进行密封处理,形成完整的防水密封环,阻断雨水渗透通道。屋面排水构造设计中,需确保排水坡度与排水口位置避开电气线路与接线盒,防止雨水在电气部件周边积聚;在光伏组件阵列之间需预留足够宽度的排水沟槽,引导雨水快速排出屋面,减少雨水对防水层与电气系统的长期侵蚀。

3 线路布局与防水措施

3.1 电气线路防水设计

电气线路防水设计需贯穿线路规划、材料选择与敷设工艺全过程,确保线路在屋面复杂环境下长期保持绝缘可靠。线路路径规划时,需优先选择屋面高处或预设的防水桥架敷设,避开屋面低洼积水区域,降低雨水浸泡线路的风险;线路走向需与屋面排水方向保持一致,方便雨水顺坡排出,避免雨水在线路周边积存形成长期潮湿环境。材料选择上,需采用专用防水型线缆,线缆外皮选用交联聚乙烯或聚氯乙烯等耐水绝缘材料,且具备优异的抗紫外线能力,防止户外环境导致外皮老化;对于需要埋设在屋面构造层内的线路,需额外套设金属防水套管,套管接口处采用焊接密封处理,确保套管内部完全防水,避免雨水渗入套管内部接触线路。线路连接部位需使用防水型连接器,连接器外壳防护等级需达到 IP67 及以上,连接完成后需在接口处缠绕高强度防水胶带,并涂刷防水密封胶,形成双重防水保护,彻底阻断雨水从连接缝隙渗入线路内部引发短路或漏电故障。

3.2 线缆敷设与防水保护

线缆敷设过程需采取针对性的防水保护措施,既要避免敷设操作破坏屋面防水结构,又要确保线缆自身不

受雨水侵蚀。采用明敷方式的线缆,需沿屋面防水卷材的搭接缝或光伏支架的防水卡槽敷设,敷设过程中需轻拉轻放,避免线缆拖拽摩擦防水层造成破损;线缆转弯处需设置圆弧过渡,转弯半径需符合规范要求,避免锐角弯折导致线缆外皮开裂,破坏绝缘与防水性能。采用暗敷方式的线缆,需在屋面保温层或找平层施工前预设专用的防水线管,线管需选用耐腐蚀的 PVC 管或镀锌钢管,线管之间采用承插式密封连接,接口处需涂抹专用防水密封胶,确保线管内部完全密封;线管敷设完成后,需对管槽进行防水填充处理,采用防水砂浆或柔性密封胶填充管槽缝隙,防止雨水在管槽内积聚形成渗漏通道。线缆敷设完成后,需在屋面表面设置明显的线缆保护标识,提醒后期维护人员避开线缆敷设区域,避免误操作破坏线缆与防水层;同时需定期检查线缆敷设部位的防水状况,发现防水层破损或线缆外皮损伤时及时修复,确保线路长期防水安全。

3.3 接线盒防水处理

接线盒作为光伏屋面电气系统的关键连接部件,其防水处理质量直接影响整个电气系统的安全运行,需从结构设计、安装工艺与密封处理三方面强化防水措施。接线盒自身需具备优良的防水结构,外壳需采用高强度工程塑料注塑成型,防护等级需达到 IP68,确保完全防尘防水;盒盖与盒体之间需设置弹性橡胶密封圈,密封圈压缩量需严格符合设计要求,确保盒盖盖合后形成紧密的密封面,阻断雨水渗入路径。接线盒安装时,需选择在屋面防水层完好且排水通畅的位置,避免安装在低洼积水区域;安装前需在屋面基层涂刷专用基层处理剂,增强接线盒与屋面的粘结强度,防止后期因粘结失效出现缝隙;接线盒底部与屋面接触部位需铺设防水卷材附加层,附加层尺寸需比接线盒底部尺寸大 150mm 以上,附加层与屋面防水层需采用热熔焊接方式连接,形成完整的防水覆盖层,确保接线盒周边无防水薄弱点。接线盒固定完成后,需在盒体与屋面的接缝处连续涂刷高性能防水密封胶,密封胶需覆盖接缝两侧各 50mm 以上,形成连续的密封带;同时需在盒盖螺栓处缠绕防水胶带,防止雨水从螺栓缝隙渗入盒内,通过多重防水措施确保接线盒整体防水可靠。

4 检测与维护协同

4.1 防水与电气检测方法

建筑一体化光伏屋面防水与电气系统的协同检测需采用同步化、针对性的方法,确保全面排查潜在隐患。

防水系统检测时,可结合目视检查与专业仪器检测,目视检查重点关注防水层搭接缝、光伏支架固定件周边、接线盒底部等易渗漏部位,查看是否存在卷材开裂、密封胶脱落、防水层起鼓等问题。专业仪器检测可采用红外热成像仪扫描屋面,通过温度差异识别防水层下的积水区域,或使用超声波检测仪检测防水层完整性,判断是否存在内部破损。电气系统检测需同步开展,采用绝缘电阻测试仪检测线缆与接线盒的绝缘性能,确保绝缘电阻值符合规范要求,避免漏电风险。同时使用红外测温仪检测光伏组件接线端子、线缆接头等部位的温度,排查是否存在接触不良导致的局部过热现象。检测过程中需建立协同记录机制,将防水薄弱点与电气隐患点的位置、类型同步记录,为后续维护提供精准依据,避免单独检测导致的隐患遗漏。

4.2 定期维护策略

防水与电气系统的定期维护需制定协同化策略,结合屋面使用环境与系统运行特点确定维护周期与内容。日常维护每月开展一次,重点检查光伏支架固定件密封胶是否老化、接线盒防水胶带是否脱落、防水层表面是否有异物堆积,及时清理屋面杂物,避免尖锐物体划伤防水层,同时紧固松动的接线端子,补充老化的密封材料。季度维护需开展针对性检查,雨季来临前重点强化防水密封部位的维护,重新涂刷老化的密封胶,更换破损的防水附加层;冬季来临前检查电气线路绝缘层是否因低温变硬脆裂,及时更换受损线缆,确保低温环境下电气系统安全运行。年度维护需进行全面检修,邀请专业团队使用检测仪器对防水与电气系统进行全面评估,修复防水层破损区域,更换老化的电气部件如连接器、接线盒密封圈。同时根据维护记录分析系统薄弱环节,如某区域频繁出现防水层渗漏,需在次年维护中增设加强防水层;某段线缆反复出现绝缘问题,需排查敷设路径是否存在物理磨损,调整维护重点,确保维护策略持续优化,延长屋面系统整体使用寿命。

5 技术应用效果

5.1 安全性提升表现

建筑一体化光伏屋面防水与电气安全协同技术的应用,显著提升了屋面系统的整体安全性。从防水安全角度,协同设计与施工减少了电气安装对防水层的破坏,加强防水层与防水密封措施的应用,使屋面渗漏率大幅

降低,避免雨水渗入引发的室内装修损坏、结构腐蚀等问题。同时协同检测与维护及时排查渗漏隐患,防止长期渗漏导致的屋面结构安全风险。从电气安全角度,线缆防水设计、接线盒密封处理与定期绝缘检测,有效避免了雨水接触电气部件引发的短路、漏电事故,降低了火灾与人员触电风险。此外,协同技术通过优化光伏组件排布与线缆敷设路径,减少了电气线路与防水薄弱点的交叉,降低了单一隐患引发连锁故障的概率。实际应用中,采用协同技术的屋面系统,电气安全事故发生率与防水渗漏投诉率均明显低于传统独立设计的屋面,为建筑整体安全运行提供了可靠保障。

5.2 经济效益分析

协同技术的应用从短期投资与长期运维两方面带来显著经济效益。短期来看,协同设计减少了因系统冲突导致的返工成本,如避免电气线路敷设后发现破坏防水层需重新施工的费用,或防水施工完成后需调整光伏组件位置的额外支出,降低了初期建设成本。长期来看,协同维护策略减少了单独维护的人力与材料消耗,如同步开展防水与电气维护,避免重复搭设脚手架、重复进场施工的费用,降低运维成本。同时,协同技术延长了防水与电气系统的使用寿命,减少了系统更换频率,如传统屋面防水层平均使用寿命较短,协同技术应用后防水层寿命延长,减少了中期更换防水层的大额支出;电气系统因绝缘性能稳定,部件更换周期延长,降低了电气维修成本。

6 结束语

建筑一体化光伏屋面防水与电气安全协同技术可有效解决两者间的矛盾。通过优化设计、合理施工及定期维护,能保障光伏屋面防水性能与电气安全。持续探索和完善该技术,对推动建筑光伏一体化发展、提升建筑整体性能具有积极作用。

参考文献

- [1]莫雄清,厂房屋面光伏建筑一体化(BIPV)安装关键技术研发与应用.广西壮族自治区,广西建工集团第二安装建设有限公司,2020-08-18.
- [2]姜斌.基于厂房屋面改造的光伏建筑一体化施工技术[J].施工技术,2019,48(03):49-51.
- [3]张扬,王京波,戴力,等.基于绿色建筑理念的房建光伏系统施工优化与能效评估[J].中国建筑装饰装修,2025,(03):103-105.