

光伏系统电缆设计选型优化研究

许章波 吴荣毓 王忠剑

云南巨力电缆股份有限公司 云南 昆明 650500

摘要：光伏系统电缆的设计选型直接影响系统运行的安全性、可靠性及经济性。载流量、电压降、环境适应性等因素是电缆选型的关键依据。通过综合考虑多因素优化选型，引入新型电缆材料与技术，结合全生命周期成本分析，可实现电缆选型的精准化与科学化。合理优化电缆设计选型，不仅能提升光伏系统的能效与稳定性，还可降低建设与运维成本，为光伏产业高质量发展提供技术支撑。

关键词：光伏系统；电缆设计；选型优化

引言

随着全球对清洁能源需求的不断攀升，光伏发电作为重要的可再生能源利用形式，其系统设计的精细化程度愈发关键。电缆作为光伏系统电能传输的重要载体，其设计选型关乎系统整体性能。当前，电缆选型过程中存在单一因素考量、材料技术滞后、成本分析不足等问题，影响系统的高效运行与长期收益。本文围绕光伏系统电缆设计选型展开研究，分析不同敷设形式下的选型要点，探讨优化策略，旨在提升光伏系统的综合效益与竞争力。

1 光伏系统电缆设计概述

光伏系统电缆作为电力传输的关键载体，其设计需全面考量系统运行特性、环境条件及电气性能要求，以确保电能安全高效传输并维持系统长期稳定运行。光伏电站中，电缆承担着组件串联并联后的电能汇集、直流侧升压传输及交流侧并网输送等任务。不同环节电缆面临的电气参数、机械应力与环境因素差异显著，电缆设计是涵盖电气、材料、结构等多学科的复杂工程。电气设计上，光伏系统电缆需满足电压等级、载流量及短路耐受能力要求。直流侧电缆电压等级依组件串联后的开路电压峰值确定，并预留安全裕度以应对极端工况。载流量设计需综合考虑材质、线芯截面积、环境温度及敷设方式，精确计算发热情况，确保电缆温度在材料允许范围内，避免绝缘老化或火灾。短路耐受能力设计则依据系统短路电流大小及持续时间，选择具备相应短路热稳定性能的电缆，防止短路故障时电缆损坏导致系统瘫痪。材料与结构设计方面，电缆绝缘材料需具备耐候性、耐紫外线及耐臭氧性能，以适应户外气候。光伏专用电缆多采用低烟无卤聚烯烃材料，兼具电气绝缘性能和火灾时减少有害气体释放的优点。电缆结构设计要兼顾机械强度与柔韧性，优化铠装层、护套层及填充材料

选型与组合，满足机械防护要求且便于敷设安装，降低施工难度与成本。电缆的屏蔽设计对抑制电磁干扰、保障系统通信与控制信号稳定传输至关重要。通过合理设置屏蔽层结构与接地方式，可有效减少电磁干扰对光伏系统电气设备及周边电子设备的影响。

2 光伏系统电缆敷设形式

2.1 架空敷设

架空敷设是将光伏系统电缆通过电杆、支架等支撑结构架设于空中的敷设方式。在开阔的光伏电站场区，当电缆需跨越较大距离、避开地面障碍物或地形复杂区域时，架空敷设展现出显著优势。电缆通过绝缘子固定在横担上，形成有序的空中线路网络，这种方式减少了电缆与地面及地下物质的直接接触，有效降低了土壤腐蚀、地下水浸泡等因素对电缆绝缘层的损害风险，延长了电缆使用寿命。架设过程中，需精确计算电缆的弧垂，依据不同的环境温度、风力荷载等条件，确保电缆在各种工况下既不会因弧垂过大导致与地面或其他物体安全距离不足，也不会因弧垂过小承受过大张力而损坏。电缆的固定点间距需严格把控，防止因间距过大使电缆在风振等外力作用下产生较大摆动，造成绝缘层磨损或连接部位松动。架空敷设的电缆通常需采用具有较高机械强度和耐候性的型号，以抵御紫外线照射、风雨侵蚀等自然环境因素影响，保障电力传输的稳定性和安全性^[1]。

2.2 地埋敷设

地埋敷设是将光伏系统电缆埋设于地下的一种常用敷设形式，广泛应用于对地面景观要求较高、土地资源有限或电缆路径需穿越建筑物、道路等区域的场景。施工前，需根据电缆的规格、数量及预期载流量等参数，合理确定电缆沟或直埋的深度与宽度。电缆沟一般采用混凝土或砖砌结构，内部铺设砂垫层，为电缆提供缓冲和散热空间，直埋方式则需在电缆周围填充细土或砂，

上方覆盖保护板，防止外部机械损伤。地理电缆的绝缘防护要求极高，不仅需具备良好的防水性能，还需耐受土壤中酸碱物质的长期侵蚀。为便于后期维护和故障排查，通常会在电缆路径上方设置明显标识，并安装电缆路径探测装置。不同回路的电缆需保持足够的间距，避免相互间电磁干扰影响电力传输质量。在穿越道路、河流等特殊地段时，还需采用穿管保护等特殊措施，增强电缆的防护能力，确保其在复杂地下环境中长期稳定运行。

2.3 桥架敷设

桥架敷设是利用金属或非金属桥架作为电缆支撑和保护结构的敷设方式，常用于光伏电站的配电室、电缆夹层等室内场所，以及厂区内的电缆较为集中的区域。桥架具有多种类型，如梯级式、托盘式、槽式等，可根据电缆的类型、数量及使用环境进行选择。梯级式桥架通风散热性能良好，适用于电力电缆的敷设；托盘式桥架防护性能较强，适合控制电缆等对防护要求较高的电缆；槽式桥架则具有良好的电磁屏蔽性能，常用于对电磁干扰敏感的信号电缆敷设。电缆在桥架内的布置需遵循一定原则，电力电缆与控制电缆应分层敷设，避免相互干扰；不同电压等级的电缆也需分开布置，确保安全距离。桥架的安装需保证牢固可靠，其支撑间距根据桥架类型和电缆重量合理确定，防止桥架因承载过重而变形或损坏。桥架需进行良好的接地处理，以保障人员安全和电气设备的正常运行。为便于电缆的敷设、检修和更换，桥架还需预留一定的空间和通道，提升系统的可维护性和灵活性。

3 光伏系统电缆选型方法

3.1 基于载流量的选型

光伏系统运行时，电缆需承载源源不断的电流，载流量是衡量电缆安全传输电流能力的关键指标。电缆载流量受导体材质、线芯截面积、绝缘材料以及敷设方式等多种因素影响。一般而言，铜导体相较于铝导体具有更高的导电率和载流能力，在相同电流传输需求下，铜芯电缆可选用较小的线芯截面积，从而降低电缆的整体重量与安装空间需求。线芯截面积与载流量呈正相关，但并非简单的线性关系。随着截面积的增大，单位截面积的载流能力会因散热条件等因素逐渐下降。例如，在高温环境或电缆密集敷设的情况下，电缆产生的热量难以散发，会导致电缆温度升高，进而降低其载流量。在基于载流量选型时，需依据光伏系统的实际工作电流、预期环境温度、敷设方式等条件，通过专业的载流量计算图表或公式，精确确定合适的电缆线芯截面积，确保电缆在运行过程中温度不超过绝缘材料的允许工作温

度，避免因过热引发绝缘老化、短路等故障，保障光伏系统的安全稳定运行。

3.2 基于电压降的选型

在光伏系统电能传输过程中，电缆自身存在电阻，电流通过时必然会产生电压降。电压降过大，会导致光伏组件输出电压降低，逆变器输入电压不稳定，影响系统的发电效率与电能质量。基于电压降的选型对于保障光伏系统性能至关重要。电压降的大小与电缆的长度、线芯截面积、导体电阻以及负载电流密切相关。根据欧姆定律，在负载电流一定的情况下，电缆长度越长、线芯截面积越小，电缆电阻越大，电压降也就越大。为了将电压降控制在合理范围内，通常需要结合光伏系统的布局，精确计算电缆的实际长度与负载电流。在大型光伏电站中，由于组件分布广、电缆线路长，对电压降的控制要求更为严格。设计时需根据系统设计规范，将电压降限制在一定比例内，如不超过系统额定电压的5%。通过合理选择电缆线芯截面积，优化电缆敷设路径，减少不必要的线路长度，有效降低电压降，确保光伏系统各组件之间的电压匹配，实现高效稳定的发电运行^[2]。

3.3 基于环境适应性的选型

光伏系统通常安装于户外，电缆长期暴露在复杂多变的环境中，其性能和使用寿命会受到温度、湿度、紫外线、化学腐蚀等多种环境因素的影响。基于环境适应性的选型，旨在确保电缆能够在实际运行环境中保持良好的电气性能和机械性能。在温度方面，不同地区的环境温度差异较大，高温环境下，电缆绝缘材料可能会软化、变形，导致绝缘性能下降；低温环境下，绝缘材料又可能变硬、变脆，容易开裂。需根据安装地区的极端温度条件，选择具有合适工作温度范围的电缆。例如，在寒冷地区，应选用耐寒型电缆，其绝缘材料能够在低温下保持良好的柔韧性。对于湿度较大的环境，电缆需具备良好的防潮、防水性能，防止水分侵入导致导体腐蚀和绝缘失效。紫外线辐射会加速电缆绝缘材料的老化，化学腐蚀物质可能侵蚀电缆护套，针对这些特殊环境，应选用具有抗紫外线、耐化学腐蚀特性的电缆，如添加特殊防护层或采用特殊材质的电缆，以增强电缆在复杂环境下的适应性和耐久性，延长电缆使用寿命，保障光伏系统长期稳定运行。

4 光伏系统电缆选型优化策略

4.1 综合考虑多因素的选型优化

(1) 光伏系统电缆选型需全面考量电气性能与环境适应性。电缆额定电压需与光伏系统直流电压匹配，确保在开路电压、短路电流工况下维持绝缘性能稳定，避

免因电压等级不足引发的击穿风险。环境温度、湿度、紫外线辐射等因素对电缆材料老化进程影响显著，需选用耐候性强的护套材料，以抵御极端气候条件对电缆寿命的侵蚀。（2）电缆载流量的精准计算是选型关键。根据光伏阵列实际输出电流、电缆敷设方式及环境散热条件，运用热平衡原理建立载流量计算模型，避免因过载运行导致电缆过热加速绝缘层老化。电缆长度与系统拓扑结构紧密相关，长距离传输需考虑线路阻抗引起的电压降，确保末端设备获得稳定供电，避免因压降过大造成发电效率损失。（3）机械性能也是选型不可或缺的要素。在光伏电站建设与运维过程中，电缆可能承受拉伸、弯曲、挤压等机械应力，需选择具备高柔韧性和抗机械损伤能力的电缆，保障其在复杂安装环境下的完整性。电缆的阻燃性能需满足电站消防安全需求，防止因电缆故障引发火灾蔓延，确保光伏系统安全可靠运行^[3]。

4.2 新型电缆材料和技术的应用

（1）新型高分子复合材料在光伏电缆领域展现出显著优势。通过将纳米技术与高分子材料相结合，研发出具有优异耐候性、耐化学腐蚀性的电缆护套材料，可有效延长电缆使用寿命。例如，添加纳米级抗氧剂和紫外线吸收剂的聚烯烃材料，能大幅提升电缆在户外环境下的抗老化性能，减少因材料老化导致的维护与更换成本。（2）超导电缆技术为光伏系统电缆选型提供了新方向。超导材料在临界温度下电阻近乎为零，可极大降低电缆传输过程中的能量损耗，尤其适用于大规模光伏电站的长距离电力输送。虽然目前超导电缆的制冷技术和成本仍需突破，但随着高温超导材料的研发进展，未来有望在光伏系统中实现大规模应用，显著提升系统整体效率。（3）智能电缆技术融合传感器与监测系统，为电缆运行状态评估提供实时数据支持。在电缆内部集成温度、应变、局部放电等传感器，通过物联网技术将监测数据传输至控制中心，实现对电缆运行状态的动态监测与故障预警。这种智能化技术不仅能及时发现电缆潜在隐患，还可指导运维决策，优化电缆使用寿命周期管理。

4.3 电缆选型的全生命周期成本分析

（1）全生命周期成本分析涵盖电缆采购、安装、运

维及退役处理等阶段。采购成本受电缆规格、材料、品牌等因素影响，需在满足性能要求的前提下进行多供应商比选，选择性价比高的产品。安装成本涉及施工难度、人工费用及辅助材料费用，优化电缆敷设方案，减少复杂施工环节，可有效降低安装成本。（2）运维成本是电缆全生命周期成本的重要组成部分。通过建立电缆状态监测系统，实时掌握电缆运行参数，可精准预测电缆故障，减少非计划停机时间，降低维护费用。采用预防性维护策略，定期对电缆进行检查与保养，虽增加一定维护成本，但可显著延长电缆使用寿命，从长期来看降低了总体运维成本。（3）电缆退役处理成本同样不容忽视。环保型电缆材料的选用，可降低退役后处理对环境造成的污染，减少废弃物处理费用。建立电缆回收再利用体系，将退役电缆的金属导体和绝缘材料进行再生处理，既能实现资源循环利用，又可产生一定经济效益，从而降低电缆全生命周期成本，提升光伏系统的整体经济性^[4]。

结语

综上所述，光伏系统电缆设计选型优化是一项系统工程。通过综合分析载流量、电压降、环境适应性等因素，应用新型电缆材料与技术，结合全生命周期成本分析，能够有效提升电缆选型的科学性与合理性。这不仅有助于保障光伏系统安全稳定运行，还能降低综合成本，推动光伏产业的可持续发展。未来，随着技术进步与行业标准完善，光伏系统电缆设计选型的优化研究将迎来更多创新方向与发展机遇。

参考文献

- [1] 李永胜. 新型农业系统中光伏系统设计与安装[J]. 安装, 2022(12):66-68.
- [2] 张伟. 光伏新能源发电站橡胶电缆故障检测系统设计[J]. 粘接, 2023, 50(12):193-196.
- [3] 潘红润. 屋顶光伏系统中电缆压降计算与优化设计[J]. 建筑工程与设计, 2024, 3(7):70-72.
- [4] 胡继宗. 分布式光伏发电系统电气设计分析[J]. 电力设备管理, 2023(15):84-86.