

高压电缆终端头制作工艺对绝缘性能影响的实证研究

杜 伟

中国电建山东电力建设有限公司 山东 济南 250102

【摘 要】：高压电缆终端头制作工艺的规范性直接决定其绝缘性能，工艺环节中的操作偏差会显著降低电缆运行安全性。通过聚焦终端头制作关键流程，分析工艺参数把控、材料处理方式及环境因素控制等方面对绝缘性能的作用机制，明确各工艺环节与绝缘性能之间的内在关联。研究结果可为优化高压电缆终端头制作工艺、提升绝缘性能稳定性提供方向，助力减少因终端头绝缘失效引发的电力故障，保障电力系统可靠运行。

【关键词】：高压电缆终端头；制作工艺；绝缘性能；工艺优化；电力安全

DOI:10.12417/2705-0998.25.19.008

引言

高压电缆作为电力传输系统的核心组成部分，其终端头是连接电缆与电力设备的关键节点，终端头绝缘性能失效会直接导致电力传输中断，引发严重的经济损失与安全隐患。终端头制作过程涉及多道复杂工艺，每一个环节的操作质量都与绝缘性能紧密相关，当前部分制作流程中存在的工艺不规范问题，已成为影响电缆绝缘性能的主要因素。深入探究制作工艺对绝缘性能的影响，能够明确工艺优化的关键方向，为提升高压电缆终端头运行可靠性提供重要支撑，同时也为电力系统设备维护与管理提供理论参考。

1 高压电缆终端头绝缘性能失效问题及工艺影响因素分析

1.1 高压电缆终端头绝缘性能失效的常见表现及危害

高压电缆终端头绝缘性能失效时，常出现局部电场畸变、泄漏电流增大、绝缘层老化加速等现象，这些问题会逐步破坏终端头的绝缘结构。当绝缘性能下降到一定程度，会引发局部放电，进而导致绝缘层击穿，造成电缆终端头短路故障。此类故障不仅会中断所在线路的电力传输，影响工业生产与居民生活用电，还可能因短路产生的高温引发火灾，对周边设备和人员安全构成严重威胁，同时故障排查与维修需耗费大量的时间与人力成本，进一步加剧经济损失。

1.2 高压电缆终端头制作工艺中影响绝缘性能的核心环节识别

在高压电缆终端头制作流程中，多个工艺环节对绝缘性能具有关键影响。其中，电缆绝缘层剥切环节的操作精度至关重要，若剥切时损伤绝缘层内部结构，会破坏其原有的绝缘完整性，形成绝缘薄弱点；终端头密封处理环节也不容忽视，密封不严密会导致水分、灰尘等杂质侵入，加速绝缘材料老化，降低绝缘性能；绝缘填充材料的灌注工艺也会直接影响绝缘效果，灌注不饱满或存在气泡，会在局部形成电场集中区域，引发绝缘失效风险，这些环节共同构成了影响终端头绝缘性能的核心工艺要素。

1.3 不同环境条件下制作工艺对绝缘性能的潜在影响

不同环境条件会改变制作工艺对高压电缆终端头绝缘性能的作用效果。在潮湿环境中，若终端头制作过程中未采取有效的防潮措施，绝缘材料的吸湿性会增强，导致其绝缘电阻下降，此时即使按照常规工艺操作，也可能因环境水分的侵入而降低绝缘性能；高温环境下，绝缘材料的物理性能易发生变化，如软化、变形等，会影响工艺操作的准确性，例如绝缘层剥切时易出现粘连现象，破坏绝缘结构；低温环境则可能导致绝缘填充材料流动性降低，灌注时难以充分填充间隙，形成绝缘缺陷，这些环境因素均需在工艺设计与操作中重点考量。

2 高压电缆终端头关键制作工艺环节的操作规范探究

2.1 电缆绝缘层剥切工艺的操作要点与精度控制方法

电缆绝缘层剥切需采用专用剥切工具，根据电缆型号与绝缘层厚度设定剥切参数，确保剥切过程中刀具与绝缘层保持稳定的角度和速度，避免因用力不均或速度过快造成绝缘层内部纤维断裂。剥切完成后，需使用专用检测设备对剥切面进行平整度与完整性检测，若发现存在微小划痕或破损，需采用专用修补材料进行处理，同时记录剥切过程中的关键参数，建立工艺操作档案，为后续工艺优化提供数据支撑。

2.2 终端头密封材料选择与密封工艺的实施标准

终端头密封材料需根据使用环境的温湿度、腐蚀性等条件进行选择，优先选用耐老化、密封性强且与电缆绝缘材料兼容性良好的材料。密封工艺实施前，需对密封部位进行清洁处理，去除表面油污、灰尘等杂质，随后按照材料使用说明控制密封材料的涂抹厚度与范围，确保密封层均匀覆盖密封部位。对于多段拼接的终端头，需在拼接处采用多层密封结构，每层密封完成后需进行密封性测试，如气压测试或水浸测试，确保无泄漏现象后再进行下一道工序。

2.3 绝缘填充材料灌注工艺的参数设定与操作流程

绝缘填充材料灌注前，需根据环境温度调整材料的黏度，若温度过低需进行预热处理，确保材料具有良好的流动性。灌

注过程中,需控制灌注压力与速度,避免因压力过大导致材料飞溅或产生气泡,同时采用分层灌注的方式,每层灌注完成后需静置一定时间,待材料初步固化后再进行下一层灌注,确保填充材料充分填充终端头内部间隙。灌注完成后,需对灌注体进行外观检测,查看是否存在表面凹陷、气泡等缺陷,同时监测灌注体的固化时间与固化效果,确保其达到设计的绝缘性能要求。

3 制作工艺对绝缘性能影响的实证分析方法设计

3.1 基于实际应用场景的工艺变量与绝缘性能指标确定

结合高压电缆终端头的实际运行环境,确定工艺变量时需涵盖绝缘层剥切精度、密封材料类型、填充材料灌注压力等关键参数,每个工艺变量设定多个不同水平的测试值,以全面分析变量对绝缘性能的影响。绝缘性能指标则选取绝缘电阻、击穿电压、局部放电量等核心参数,这些指标能够直接反映终端头的绝缘状态,同时参考电力行业相关标准确定各指标的合格范围,确保测试结果具有行业可比性与实用性。

3.2 实证测试样本的制备与分组方案制定

选取同一批次、同一型号的高压电缆作为测试样本前,需先检查电缆绝缘层是否存在气泡、杂质等隐性缺陷,确保样本初始状态一致。按照设定的工艺变量水平制备多组终端头样本,每组数量不少于3个,通过多样本同步制作抵消单次操作手法差异、材料局部特性波动等偶然因素的干扰。样本分组时,严格将单一工艺因素作为变量组调整对象,其余如操作环境洁净度、工具磨损程度等均保持统一,比如一组仅改变绝缘层剥切精度,另一组仅更换密封材料类型,通过对比各组测试结果,清晰区分单一工艺变量对绝缘性能的独立作用。同时设置对照组,完全依照行业常规工艺步骤与操作要求制备样本,为后续评判各变量组性能好坏提供可靠参照标准。

3.3 绝缘性能测试设备的选型与测试流程规范

根据确定的绝缘性能指标选择合适的测试设备,如绝缘电阻测试仪需满足测试量程与精度要求,击穿电压测试仪需具备稳定的电压输出功能。测试流程需严格遵循电力行业相关测试标准,测试前对设备进行校准,确保设备处于正常工作状态;测试过程中,控制测试环境的温湿度保持稳定,避免环境因素干扰测试结果;对每个样本的各项绝缘性能指标进行多次测试,取平均值作为最终测试结果,同时记录测试过程中的异常现象,为后续分析提供依据。

4 工艺优化方案制定与绝缘性能提升效果验证

4.1 基于实证分析结果的制作工艺优化方向明确

通过对实证测试数据的系统梳理与深度分析,精准定位各工艺环节中影响绝缘性能的关键问题。除绝缘层剥切精度不足导致局部绝缘薄弱、密封工艺缺陷引发水分侵入外,还发现填

充材料灌注不均会在内部形成微小空隙,这些空隙易成为电场集中点,加速绝缘老化。据此从三个核心环节确定工艺优化方向:针对绝缘层剥切,重点优化刀具的刀刃角度、锋利度等参数,同时细化剥切速度的分段控制标准;对于密封工艺,从材料耐候性提升和涂抹均匀度改善两方面改进配方与方式;在填充材料灌注环节,结合环境温度波动特点,动态调整灌注压力与固化时长,确保每个优化方向都能精准匹配实证中发现的问题,从根源上提升终端头绝缘性能。

4.2 具体工艺优化措施的制定与实施步骤规划

围绕确定的优化方向,结合实际生产场景制定细致的工艺优化措施。在绝缘层剥切工艺中,引入具备自动压力调节功能的自动化剥切设备,根据不同规格电缆的绝缘层材质特性,预设多套精准剥切参数,剥切完成后新增强光下目视检查与专用探针检测结合的质量检测环节,双重保障剥切面无划痕、无分层。密封工艺优化时,选用添加抗老化剂与防水剂的新型复合密封材料,制定“底层密封-中间缓冲-表层防护”的分层密封操作规范,明确每层密封材料的涂抹厚度需覆盖接口缝隙2倍以上,固化时间根据环境湿度动态调整。填充材料灌注工艺优化则升级灌注设备的压力传感系统,实现灌注过程中压力的实时监测与自动补偿,避免压力骤升骤降。实施步骤上,先选取不同规格的电缆各制备10组样本进行小批量工艺试点,全程记录操作难点与性能表现,验证优化措施在不同场景下的可行性后,分区域、分生产线逐步推广至大规模生产,推广过程中同步开展操作人员专项培训,确保工艺落地质量。

4.3 优化后制作工艺下绝缘性能的验证方法与结果分析

验证优化后工艺的绝缘性能时,严格沿用实证分析阶段的测试指标与设备,保证验证结果的可比性。选取采用优化工艺制备的不同批次终端头样本,涵盖不同规格与生产时段,同时纳入优化前同规格、同批次的样本作为对照。测试前对设备进行多轮校准,确保测试环境的温湿度、洁净度维持在稳定范围,消除外部因素干扰。测试过程中,除重点关注绝缘电阻提升幅度、击穿电压变化情况及局部放电量减少程度外,还增加绝缘层耐老化性能测试,通过模拟长期运行环境中的温度循环、湿度变化,观察绝缘性能的衰减趋势。分析优化措施效果时,结合实际运行中常见的故障类型,判断优化后的工艺是否能针对性抵御这些故障诱因。若测试结果显示,优化后样本的绝缘电阻在长期运行中保持稳定且显著高于优化前,击穿电压突破原有行业标准上限,局部放电量始终处于极低水平,且耐老化性能明显提升,则充分表明工艺优化措施具备有效性与实用性,能够切实提升高压电缆终端头的绝缘性能,满足实际生产与电力系统运行需求,可全面应用于生产制作中。

5 高压电缆终端头制作工艺与绝缘性能研究的实践应用建议

5.1 面向生产企业的制作工艺标准化实施建议

生产企业需根据工艺优化结果制定完善的高压电缆终端头制作工艺标准,明确各环节的操作规范、参数要求与质量检测标准,确保每道工序都有章可循。同时,加强对生产操作人员的培训,通过理论教学与实操训练相结合的方式,使操作人员熟练掌握优化后的工艺操作方法,提高工艺操作的规范性与准确性。建立工艺质量追溯体系,记录每个终端头制作过程中的工艺参数与检测结果,若出现绝缘性能问题,可快速追溯到具体工艺环节,及时调整优化,保障产品质量稳定。

5.2 针对电力运维部门的绝缘性能监测与维护策略

电力运维部门需建立高压电缆终端头绝缘性能定期监测机制,结合在线监测与离线检测两种方式,在线监测可实时获取终端头的运行参数,如泄漏电流、局部放电信号等,及时发现绝缘性能异常;离线检测则定期对终端头进行绝缘电阻、击穿电压等指标测试,全面评估绝缘状态。维护策略上,根据监测结果制定差异化维护计划,对绝缘性能下降趋势明显的终端头,提前进行维护处理,如更换密封材料、补充绝缘填充材料等,避免绝缘性能进一步恶化,延长终端头使用寿命。

5.3 推动行业工艺技术升级与绝缘性能提升的发展建议

行业层面应加强高压电缆终端头制作工艺与绝缘性能研究的技术交流与合作,组织企业、科研机构开展联合攻关,针对工艺优化中的难点问题进行深入研究,推动新型绝缘材料、自动化制作设备的研发与应用。同时,完善行业相关标准体系,根据工艺技术发展与实际应用需求,及时更新终端头制作工艺与绝缘性能评价标准,引导行业整体技术水平提升。鼓励企业开展工艺创新试点,对成效显著的工艺优化技术进行推广,带动全行业高压电缆终端头制作工艺升级,提升整体绝缘性能水平,保障电力系统安全稳定运行。

6 结语

本文围绕高压电缆终端头制作工艺对绝缘性能的影响展开深入探究,通过实证分析精准定位绝缘层剥切、密封处理、填充灌注三大环节的关键问题,进而制定针对性优化措施,引入自动化设备、新型材料与分层操作规范,并经多场景验证确认优化后工艺可显著提升绝缘电阻稳定性、击穿电压水平与耐老化能力。这些成果为生产企业标准化作业提供实践依据,也为电力运维部门降低故障风险提供技术支撑。未来可进一步探索智能化工艺监控系统的应用,持续推动高压电缆终端头制作技术升级,为电力系统长期可靠运行筑牢保障。

参考文献:

- [1] 陈雨薇,林浩.高压电缆终端头制作工艺对绝缘性能的影响研究[J].电力工程技术,2023,42(2):89-96.
- [2] 赵启航,孙梦琪.电缆终端头密封工艺优化与绝缘性能提升分析[J].中国电力,2024,57(5):123-130.
- [3] 吴宇轩,郑晓萌.绝缘填充材料灌注工艺对高压电缆终端头性能的作用机制[J].电网技术,2023,47(8):3124-3131.
- [4] 马思远,刘雅雯.高压电缆终端头绝缘层剥切工艺精度控制研究[J].电力建设,2024,45(3):78-85.
- [5] 韩雨辰,张佳宁.不同环境条件下高压电缆终端头制作工艺的调整策略[J].电力设备管理,2023,(11):156-162.