

电力电缆敷设过程中弯曲半径控制对绝缘性能的影响分析

梁栋梁

国网天门市供电公司 湖北 天门 431700

【摘要】：合理控制电力电缆敷设过程中的弯曲半径，是保障电缆绝缘性能稳定、避免绝缘失效的关键。电缆敷设时的弯曲操作会使绝缘层产生机械应力，弯曲半径过小会导致绝缘层出现微观裂纹、结构损伤，破坏绝缘整体性，降低绝缘防护能力，进而引发电缆绝缘老化加速、漏电甚至短路故障。本文明确弯曲半径与绝缘性能的内在关联，分析不合理弯曲对绝缘层的损伤逻辑，提出敷设过程中弯曲半径的合理控制思路，为电缆安全敷设、延长使用寿命提供支撑。

【关键词】：电力电缆；敷设施工；弯曲半径；绝缘性能；控制措施

DOI:10.12417/2811-0722.26.03.072

1 电力电缆敷设中弯曲半径的核心内涵及控制意义

1.1 电力电缆敷设中弯曲半径的定义及核心要求

电力电缆敷设中的弯曲半径，是电缆弯曲时形成圆弧对应的半径长度，也是衡量电缆弯曲程度的核心指标，其取值需与电缆自身结构、规格型号及绝缘材料特性精准匹配。不同类型电力电缆因绝缘层厚度、导体截面积、护层结构存在差异，对应的最小允许弯曲半径也有所不同，确定时需兼顾电缆机械性能与绝缘保护需求，不可单纯为追求施工便捷性而随意缩小^[1]。合理的弯曲半径需保证电缆弯曲时，绝缘层承受的机械应力不超出其耐受范围，确保绝缘层结构完整、性能稳定，同时兼顾施工可行性，适配不同敷设场景的路径要求，平衡施工便捷性与电缆运行安全性。

1.2 弯曲半径控制在电缆敷设施工中的核心意义

弯曲半径控制是电力电缆敷设施工中不可或缺的关键环节，直接关系到电缆敷设后的安全运行状态。电缆敷设完成后需长期承受电压作用，绝缘层的完整性是保障电力传输安全的前提，而弯曲半径是否合理，直接决定绝缘层是否会产生初始损伤。有效的弯曲半径控制能够避免绝缘层因过度弯曲出现裂纹、破损等问题，维持绝缘层的隔绝性能，防止导体与外界接触引发漏电、短路等故障，保障电力传输系统的稳定性。良好的弯曲半径控制还能减少电缆敷设后的运行损耗，避免因绝缘性能下降导致的电能浪费，延长电缆的使用寿命，降低电力系统的维护成本与故障处置成本，为电力传输系统的长效安全运行提供基础保障。

1.3 敷设环境对弯曲半径控制的基础影响

电力电缆的敷设场景多样，不同敷设环境对弯曲半径控制提出了不同要求，也间接影响着弯曲半径控制的效果。地下直埋敷设时，土壤的硬度、地下管线的分布会限制电缆的弯曲空间，若弯曲半径控制不当，不仅会损伤电缆绝缘层，还可能导致电缆与其他管线发生碰撞摩擦，进一步加剧绝缘损伤；电缆沟敷设时，沟体的宽度、深度及内部支架的布置，决定了电缆弯曲的角度与半径范围，需结合沟体结构合理调整弯曲半径，

避免过度弯曲或弯曲不足。高空敷设时，电缆自身的重量会对弯曲部位产生拉力，若弯曲半径过小，拉力与弯曲应力叠加，会显著增加绝缘层的损伤风险。环境温度也会影响绝缘材料的柔韧性，低温环境下绝缘材料易变脆，弯曲时更易出现破损，需适当增大弯曲半径以保障绝缘安全。

2 电力电缆绝缘层的结构特性及性能影响因素

2.1 电力电缆绝缘层的核心结构及功能定位

电力电缆的绝缘层通常由多层结构组成，外层为护层，内层为核心绝缘材料，部分电缆还会设置缓冲层、屏蔽层等辅助结构，共同实现绝缘保护功能。核心绝缘材料多采用交联聚乙烯、聚氯乙烯等高分子材料，具有良好的绝缘性能、机械强度与耐老化性能，能够有效隔绝电缆导体与外界环境，防止电流泄漏，保障电力传输的安全性。缓冲层主要用于缓解电缆弯曲、拉伸时产生的机械应力，减少对核心绝缘层的冲击；屏蔽层则用于均匀电场分布，避免电场集中导致绝缘层局部老化加速。绝缘层的整体结构设计围绕“隔绝、保护、缓冲”三大核心功能，其结构完整性直接决定了电缆的绝缘性能，任何环节的结构损伤都会导致绝缘效果下降，甚至引发电缆故障。

2.2 敷设施工环节对绝缘性能的主要影响维度

敷设施工环节是影响电力电缆绝缘性能的关键阶段，多个施工操作都会对绝缘层性能产生作用，其中弯曲操作、拖拽操作、敷设速度是主要影响维度。拖拽操作中，电缆与地面、管线、支架等的摩擦会导致绝缘层表面磨损，若摩擦力度过大，会造成绝缘层破损；敷设速度过快，会使电缆受到的冲击力增大，尤其是在弯曲部位，冲击力会传递至绝缘层，导致绝缘层产生微观裂纹^[2]。而弯曲操作作为敷设施工中的常规操作，其产生的弯曲应力直接作用于绝缘层，是导致绝缘层初始损伤的主要原因之一。不同施工操作对绝缘性能的影响方式不同，但都会破坏绝缘层的结构完整性，降低绝缘性能，其中弯曲半径控制不当带来的影响具有隐蔽性，初始损伤不易被发现，后续运行中会逐渐加剧，危害更大。

2.3 弯曲作用对绝缘层性能的特殊影响机理

弯曲作用对电力电缆绝缘层的影响,主要通过机械应力的传递实现,其影响机理具有特殊性与隐蔽性。电缆弯曲时,弯曲内侧的绝缘层会受到挤压应力,弯曲外侧的绝缘层会受到拉伸应力,两种应力同时作用于绝缘层,导致绝缘层内部的分子结构发生变化。当弯曲半径过小时,挤压应力与拉伸应力会超过绝缘材料的承受极限,导致绝缘层内部产生微观裂纹,这些裂纹初期体积微小,难以通过常规检测发现,但会破坏绝缘层的整体性,使绝缘电阻下降。弯曲应力还会导致绝缘层与导体、屏蔽层之间出现剥离现象,破坏各层之间的结合紧密性,使电场分布不均,局部电场强度增大,加速绝缘层的老化进程,长期运行后会导致绝缘层破损,引发绝缘失效。

3 弯曲半径不合理对电力电缆绝缘性能的损伤表现

3.1 绝缘层微观结构损伤及整体性破坏

弯曲半径不合理最直接的表现是电力电缆绝缘层的微观结构损伤,进而破坏绝缘层的整体性。当弯曲半径小于最小允许值时,绝缘层受到的机械应力超过其承受范围,核心绝缘材料的分子链会发生断裂,形成微小的缝隙与裂纹,这些微观损伤会贯穿绝缘层的局部区域,破坏绝缘层的连续隔绝结构。对于多层结构的绝缘层,过度弯曲还会导致各层之间出现分层、剥离现象,缓冲层、屏蔽层与核心绝缘层脱离,失去辅助绝缘与保护作用。这种微观结构损伤具有不可逆性,即使后续调整电缆弯曲角度,也无法修复已产生的裂纹与分层,绝缘层的整体性被破坏后,会成为后续绝缘性能下降的隐患,为电流泄漏提供了通道。

3.2 绝缘电阻下降及击穿强度降低的具体表现

绝缘层的微观结构损伤会直接导致其绝缘电阻下降,击穿强度降低,这是弯曲半径不合理对绝缘性能影响的核心表现。绝缘电阻是衡量绝缘层隔绝电流能力的关键指标,当绝缘层出现微观裂纹、分层后,电流会通过这些破损部位形成泄漏通道,导致绝缘电阻显著下降,无法有效隔绝导体与外界^[3]。弯曲半径过小导致的电场分布不均,会使绝缘层局部电场强度增大,长期处于这种状态下,绝缘层的击穿强度会逐渐降低,当电场强度超过绝缘层的承受极限时,会发生绝缘击穿现象,导致导体与外界导通,引发短路故障。这种性能下降通常具有渐进性,初期绝缘电阻下降不明显,随着运行时间的延长,损伤逐渐加剧,性能下降速度会明显加快。

3.3 绝缘老化加速及使用寿命缩短的关联影响

弯曲半径不合理导致的绝缘层初始损伤,会显著加速绝缘层的老化进程,进而缩短电缆的使用寿命。绝缘层的老化主要受电场、温度、机械应力等因素影响,其中初始损伤会成为老化的突破口,外部的水分、杂质等会通过微观裂纹进入绝缘层内部,破坏绝缘材料的分子结构,加速绝缘材料的氧化、降解。

绝缘层损伤后,局部电场集中现象会更加明显,电场作用下绝缘材料的老化速度会大幅提升,导致绝缘层的性能持续下降,破损范围不断扩大。原本能够长期运行的电缆,会因弯曲半径不合理导致的绝缘老化加速,提前出现绝缘失效问题,不仅增加了电力系统的维护成本,还可能因突发故障影响电力传输的连续性。

4 电力电缆敷设过程中弯曲半径的合理控制路径

4.1 施工前弯曲半径控制标准的科学确定

施工前的标准确定是实现弯曲半径合理控制的基础,需结合电缆自身特性与敷设场景,制定针对性的控制标准。首先需明确所敷设电缆的规格型号、绝缘材料类型及结构参数,结合相关施工规范,确定电缆的最小允许弯曲半径,不同规格、不同绝缘材料的电缆,最小允许弯曲半径差异较大,需逐一核实确认,避免统一标准导致控制不当。其次,需对敷设现场进行全面勘察,了解敷设路径的空间限制、环境条件等,结合现场实际情况,在最小允许弯曲半径的基础上,适当调整弯曲半径控制标准,确保弯曲操作既符合规范要求,又适应现场施工条件。需将确定的弯曲半径控制标准明确告知施工人员,开展专项技术交底,确保施工人员准确掌握控制要求,为施工中的弯曲操作提供依据。

4.2 敷设过程中弯曲操作的规范化实施方法

敷设过程中弯曲操作的规范化,是保障弯曲半径控制效果的关键,更是避免绝缘层因操作不当受损、维持电缆绝缘性能的核心环节。弯曲操作时,必须采用与电缆规格匹配的专用弯曲工具,坚决避免人工徒手随意弯折,专用工具可精准把控弯曲角度与半径,有效缓冲弯曲过程中产生的机械应力,最大限度降低应力对绝缘层的挤压与拉伸影响。弯曲操作需遵循循序渐进的原则,杜绝快速、剧烈的弯折动作,应缓慢、平稳地调整电缆弯曲角度,让绝缘层逐步适应应力变化,减少内部微观裂纹的产生,从源头规避绝缘隐患^[4]。弯曲部位需刻意避开电缆接头处,因接头部位的绝缘层经过拼接处理,本身强度较弱、防护性能不佳,弯曲应力作用下极易出现破损、开裂,因此需将弯曲部位与接头保持合理安全距离。同时,弯曲操作全过程需做好防护,避免电缆表面与地面、支架、工具等发生摩擦、碰撞,防止绝缘层表面出现磨损、划痕,进一步保障绝缘层的结构完整性,为电缆绝缘性能筑牢基础。

4.3 施工中弯曲半径的实时检测与调整策略

施工过程中需对弯曲半径进行实时检测,及时发现并调整不合理的弯曲情况,确保预设的弯曲半径控制标准落地执行、不打折扣。检测时可采用直尺、卷尺等适配的常规检测工具,精准对电缆每一处弯曲部位的半径进行实时测量,测量后快速与预设的控制标准进行比对,明确判断弯曲半径是否符合规范要求。对于测量中发现的弯曲半径过小、不符合标准的部位,

需立即停止相关敷设操作, 及时进行调整, 通过缓慢拉伸电缆弯曲部位的方式, 逐步增大弯曲半径, 直至完全符合控制标准, 调整过程中务必避免用力过猛, 防止因应力突变对绝缘层造成二次损伤, 加剧绝缘隐患。同时, 可安排专业人员负责弯曲半径的全程管控, 对敷设过程中的每一处弯曲部位逐一检查, 重点关注空间狭窄、弯曲角度较大等易出现违规弯曲的部位, 全程把控弯曲半径控制效果, 切实规避因弯曲半径不合理引发的绝缘损伤隐患, 保障电缆敷设质量。

5 弯曲半径控制与绝缘性能保障的实践应用优化

5.1 不同敷设场景下弯曲半径的适配调整

不同敷设场景的环境条件、空间限制存在差异, 需结合场景特点对弯曲半径进行适配调整, 确保弯曲半径控制与绝缘性能保障相适配。地下直埋敷设时, 需结合土壤质地、地下管线分布情况, 适当增大弯曲半径, 避免电缆与土壤中的硬物、其他管线发生摩擦, 同时预留一定的缓冲空间, 应对土壤沉降可能带来的额外弯曲应力, 保护绝缘层不受损伤。电缆沟敷设时, 需结合沟体支架的布置间距, 调整电缆的弯曲半径, 使电缆弯曲后能够平稳放置在支架上, 避免弯曲部位受力不均, 同时利用支架固定电缆, 减少弯曲部位的位移, 维持弯曲半径的稳定性。高空敷设时, 需考虑电缆自身重量带来的拉力影响, 适当增大弯曲半径, 减少拉力与弯曲应力的叠加, 同时采用专用夹具固定弯曲部位, 防止电缆因自重发生过度弯曲。

5.2 绝缘性能实时监测与弯曲半径的联动管控

将绝缘性能实时监测与弯曲半径控制相结合, 实现联动管控, 能够更精准地保障电缆绝缘安全。敷设过程中, 可采用绝缘电阻测试仪等设备, 对电缆的绝缘性能进行实时检测, 重点检测弯曲部位的绝缘电阻值, 若发现绝缘电阻下降, 需及时检查弯曲半径是否合理, 判断是否因弯曲半径过小导致绝缘层损

伤^[5]。可建立联动管控机制, 将弯曲半径的检测数据与绝缘性能的监测数据相结合, 分析两者之间的关联规律, 当弯曲半径出现异常波动时, 提前预判绝缘性能可能受到的影响, 及时调整弯曲半径控制策略。通过联动管控, 能够及时发现弯曲半径控制不当引发的绝缘隐患, 提前采取处置措施, 避免绝缘性能进一步下降。

5.3 敷设施工中绝缘保护与弯曲控制的协同推进

弯曲半径控制与绝缘保护并非孤立存在, 两者需协同推进, 才能最大限度保障电缆绝缘性能。敷设施工中, 在控制弯曲半径的需采取针对性的绝缘保护措施, 减少其他施工操作对绝缘层的损伤。弯曲操作前, 可在电缆弯曲部位包裹缓冲垫层, 缓解弯曲应力对绝缘层的冲击, 减少微观裂纹的产生; 拖拽电缆时, 可在电缆表面铺设防护垫, 避免电缆与地面、支架摩擦导致绝缘层磨损。需规范施工流程, 合理安排敷设顺序, 避免因施工流程混乱导致电缆反复弯曲, 减少弯曲应力对绝缘层的累积影响。通过弯曲控制与绝缘保护的协同推进, 形成全方位的防护体系, 有效维持绝缘层的完整性, 保障电缆敷设后的安全运行。

6 结语

本文围绕电力电缆敷设过程中弯曲半径控制对绝缘性能的影响展开分析, 明确弯曲半径合理控制是保障电缆绝缘完好、规避绝缘失效的关键。梳理了弯曲半径的核心内涵与控制意义, 剖析了弯曲作用对绝缘层的损伤机理, 阐述了不合理弯曲引发的绝缘损伤表现, 并提出了针对性控制路径与实践优化方法。弯曲半径控制贯穿敷设全过程, 需结合电缆特性与敷设场景科学管控, 实现施工便捷性与绝缘安全性的平衡, 为电力电缆安全长效运行提供支撑, 助力提升电力敷设施工整体质量。

参考文献:

- [1] 张煜, 吴啟俊, 李颖慧, 等. 机械化电缆敷设方式在水泥工程项目机电安装中的应用与分析[J]. 水泥技术, 2026, (01): 57-62.
- [2] 莫福源. 电力电缆敷设技术及其应用[J]. 光源与照明, 2025, (12): 195-197.
- [3] 陈泉金. 电力电缆敷设面临的问题及其应对策略[J]. 光源与照明, 2025, (10): 221-223.
- [4] 林霖. 电力电缆敷设安装方法研究[J]. 光源与照明, 2025, (06): 199-201.
- [5] 张强, 董豪杰, 孙晓盼, 等. 电力电缆敷设滑轮的侧压力测量配置方案研究[J]. 自动化应用, 2025, 66(10): 181-184.