

电力工程电缆敷设施工技术及防护措施分析

祝冬华¹, 王艳娜², 陈建建³

(1. 山东伸达建设集团有限公司, 山东 菏泽 274000;

2. 山东聊建第四建设有限公司, 山东 聊城 252000;

3. 山东高强建业有限公司, 山东 滨州 256600)

摘要 本文围绕不同环境下电缆敷设方式的选择, 分析了地埋、电缆沟、架空及水下敷设的施工工艺, 探讨了在施工过程中易出现的机械损伤、绝缘老化、外部环境干扰等问题, 并针对这些问题提出了防潮防水、防腐防火、电磁屏蔽及智能监测技术的应用等防护措施, 通过优化电缆敷设施工工艺和防护措施, 以期为提高电力工程施工质量与安全性提供借鉴, 进而促进电力工程的施工管理和技术发展。

关键词 电力工程; 电缆敷设施工技术; 机械损伤防护; 外部环境因素防护; 电磁干扰防护

中图分类号: TM757

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.032

0 引言

在电缆敷设过程中面临诸多挑战, 如施工质量控制难度大、环境因素影响显著、机械损伤与老化问题突出等。电缆敷设工程往往涉及复杂的地质条件, 如软土地基、地下水侵蚀、高温高湿环境等, 如何确保施工的安全性和电缆的长期稳定运行成为亟待解决的问题。研究电力工程电缆敷设施工技术及其防护措施, 对于提升施工质量和降低运维成本具有重要意义。

1 电力工程中电力电缆敷设施工技术

1.1 电缆敷设方式分类

1. 地埋敷设。地埋敷设是指将电缆直接埋设在地下土壤中, 通常适用于中低压电缆的输电系统。该方式施工较为简单, 初期投资相对较低, 且不占用地面空间, 不影响城市景观。地埋敷设受土壤环境影响较大, 如地下水侵蚀、土壤酸碱度变化等会加速电缆护套的老化。电缆埋设深度通常在 0.7 ~ 1.5 m 之间, 需要严格控制回填土的密实度, 以防止外力损伤。电缆故障后排查和维修难度较大, 需要采用电缆故障检测设备进行精确定位。

2. 电缆沟及电缆隧道敷设。电缆沟及电缆隧道敷设方式适用于高压、超高压电缆输送, 特别是在城市核心区域、大型工业园区及电厂等场景中广泛应用^[1]。电缆沟通常采用砖砌或混凝土浇筑, 内部设有支架固定电缆, 并配备排水系统, 以减少积水对电缆的影响。而电缆隧道则用于更高电压等级的电缆敷设, 内部可容纳多回路电缆, 并设置通风、消防及智能监测系统, 确保运行安全。

3. 架空电缆敷设。架空电缆敷设是通过电杆或塔架将电缆悬挂于空中, 多用于输电线路的末端连接或特殊环境下的电缆过渡。该方式施工简便, 造价较低, 适用于短距离输电和山区等地形复杂区域。架空电缆易受到自然环境影响, 如强风、雷击、树木倒伏等, 存在较高的安全风险。架空电缆会影响城市美观, 且在高密度建筑区域难以实施。该方式主要用于乡村电网改造、山地输电以及工业厂区内部供电网络。

4. 水下电缆敷设。水下电缆敷设主要用于跨海、跨江输电、海上风电和海岛供电等应用场景。该方式需要电缆具备良好的耐水、耐腐蚀和抗机械损伤性能, 并在施工过程中采用专业的水下电缆敷设设备, 如水下机器人、浮标牵引系统等。水下电缆敷设的关键挑战包括潮流冲刷、海底地质变化、海洋生物侵蚀等, 需要采取加重护套、埋设保护或铺设防护管等措施以提高电缆的稳定性^[2]。该方式虽然造价高、施工难度大, 但在长距离海上输电、跨江跨河供电中具有不可替代的作用。

1.2 电力电缆敷设施工的关键技术

1. 电缆选择与布线规划。电缆的选择应根据电压等级、传输容量、敷设环境以及长期运行条件进行合理匹配。铜芯电缆导电性能优越, 适用于高负荷场景, 铝芯电缆则因成本较低而广泛用于中低压输电系统。电缆的绝缘层、护套材料和屏蔽结构也需要考虑, 尤其是在潮湿、高温、腐蚀性环境下, 需选用耐腐蚀、耐高温或低烟无卤电缆。在布线规划方面, 需要综合考虑电缆的载流能力、热效应、电磁干扰以及维护便

捷性。布线路径应尽量避免交叉重叠、高温区域和机械外力影响区域,合理设计电缆桥架、电缆沟或电缆隧道的布局。

2. 电缆接头及终端处理技术。电缆接头包括直通接头和终端接头,施工时需采用专业的冷缩或热缩工艺,以保证接头密封性和电气性能。直通接头的施工需严格按照工艺流程,确保导体对接良好,并使用绝缘胶带、热缩套管或环氧树脂进行绝缘处理^[3]。接头处应加强屏蔽和接地措施,以降低局部放电和电磁干扰的风险。终端接头主要用于电缆与设备的连接,其施工需确保电缆剥离长度合适,铜铝过渡接头需做好防电化腐蚀处理。对于高压电缆终端,还需安装应力锥,以均匀电场分布,防止绝缘击穿。户外终端接头需采取防水密封措施,如采用硅橡胶涂层或防潮密封剂,以提高耐候性。

1.3 特殊环境下的施工工艺

1. 高温、高湿环境敷设技术。在高温、高湿环境下,电缆的绝缘性能和散热能力受到严峻考验,常规敷设方式容易导致绝缘老化加速、导体载流量下降,甚至引发短路和火灾事故。在此类环境中,需采用耐高温、耐湿的特种电缆,例如交联聚乙烯电缆或低烟无卤电缆,并选用具有良好防水性能的护套材料,如聚氯乙烯或聚乙烯。在施工过程中,应采取通风降温措施,如在电缆沟、隧道内安装强制通风设备,或在电缆周围填充导热性能良好的材料,以提高散热效率。在高湿环境中,电缆接头和终端必须进行严格的密封处理,采用防水密封胶或热缩管进行包裹,以防止潮气侵入,降低绝缘击穿的风险。可采用防潮套管或特殊护套材料,以进一步提升电缆的耐湿性能。

2. 城市高密度管线区域施工难点及优化方案。城市高密度管线区域内,地面下往往布满供水、燃气、通信等各种管道,电缆敷设受限较大,施工难度高,且容易发生交叉施工干扰,影响施工进度和安全性。在施工前需进行详细的地下管线探测,可采用探地雷达、电磁探测等技术对现有管线进行测绘,并结合 BIM 和 GIS 技术建立三维地下管网模型,以优化电缆布线路径^[4]。在施工过程中可采用非开挖技术,如顶管、水平定向钻等工艺,在不破坏地表结构的情况下进行电缆穿越施工,减少对城市交通和周边环境的影响。为确保电缆的安全性,建议使用高强度护套或金属铠装电缆,提高抗机械损伤能力。应在施工完成后进行精准测量,确保电缆位置与其他管线不发生冲突,并采用智能监测设备进行实时监控,以减少后期维护难度。

2 电缆敷设过程中的防护措施

2.1 机械损伤防护

1. 施工中电缆保护管的使用。电缆保护管可以有效隔离电缆与外部环境,防止因外力挤压、冲击或腐蚀造成的电缆损伤。常见的电缆保护管材料包括 PVC 管、玻璃钢管和钢管等,不同材料的保护管具有不同的力学性能和耐腐蚀特性,可根据施工环境进行选择。例如,在机械损伤风险较高的区域,如交通道路下方或施工频繁的工业园区,可以采用钢管进行加强保护,以提高抗冲击能力。保护管的接头部位应采取密封措施,防止泥沙、积水进入管道内,影响电缆运行。

2. 机械牵引力度控制与监测。在机械牵引施工中,通常采用张力传感器实时监测牵引力,确保牵引力度不超过电缆制造商推荐的安全范围。电缆牵引张力应控制在电缆允许最大张力的 50% 以内,在拐弯、转向或地形变化较大的区域,应适当降低牵引力,并使用牵引滑轮或导向装置减少电缆与地面的摩擦^[5]。为了进一步降低机械损伤的风险,可采用智能牵引控制系统,通过无线监测设备实时传输牵引数据,确保牵引力始终处于安全范围内。在电缆牵引完成后,需进行电缆外观检查,确认护套和绝缘层无破损,并进行绝缘电阻测试,确保电缆未因机械损伤而影响其电气性能。

2.2 电缆过载与绝缘老化防护

1. 载流能力计算与优化。载流能力是指电缆在长期稳定运行状态下,能够安全通过的最大电流值。如果载流能力计算不准确或未充分考虑环境影响,会导致电缆运行时温度过高,进而加速绝缘老化。根据负荷需求选用适当截面的电缆,避免电缆长期处于接近额定负荷的状态,从而降低发热量。电缆在电缆沟、管道或密集布置时,其散热能力降低,可采用分层敷设、增设散热装置或使用强制风冷措施,以提高散热效率。在智能电网环境下,可利用负荷管理系统对电缆的电流进行动态调节,避免短时间内的过载对电缆造成损害。

2. 绝缘材料的耐久性提升措施。采用耐高温绝缘材料,如交联聚乙烯绝缘电缆,其耐热性能优于传统的 PVC 绝缘材料,能承受更高的工作温度,减少因过热导致的绝缘老化。在绝缘材料中添加抗氧化剂、紫外线稳定剂等,可以有效减缓绝缘材料在长期运行中的氧化降解,提高电缆的使用寿命。采用多层复合绝缘结构或纳米填充材料,可提升绝缘层的电气性能和抗湿热能力,降低绝缘老化风险。对于敷设在潮湿或水下环境中的电缆,可采用防水绝缘材料,如乙丙橡胶绝缘电缆,同时外层增加防水屏蔽层,以防止水分

侵入导致绝缘性能下降^[6]。利用在线监测技术,如局部放电检测、红外测温等手段,实时掌握电缆的运行状态,及时发现绝缘老化隐患,提前采取维护措施。

2.3 外部环境因素防护

1. 防潮、防水、防腐技术。选用防水性能优良的电缆,如交联聚乙烯电缆或乙丙橡胶绝缘电缆,这些材料具有较强的抗水解能力,可有效降低水分侵入的风险。外护层是电缆防潮防水的第一道屏障,可采用双层护套或带有金属屏蔽层的铠装电缆,提高防护能力,对于海底电缆,还可采用特制的防水密封层,以防止海水侵蚀。在电缆沟、隧道等敷设环境中,应做好排水设计,如设置防水槽、安装排水泵,避免积水影响电缆运行。对于可能受到化学腐蚀的环境,如工业区或含酸碱气体的区域,可采用具有耐化学腐蚀性能的护套材料,如聚氯乙烯或聚乙烯护套,同时增加抗腐蚀涂层,或使用套管保护电缆免受腐蚀性介质侵害。

2. 防火防爆措施。耐火电缆采用云母带等高耐火材料作为绝缘层,在高温环境下仍能保持一定的电气性能,确保火灾发生时电力供应不中断,适用于消防设备、电力控制系统等关键设施。在普通电缆表面涂覆防火涂料,可显著提高电缆的耐火性能,防火涂料在高温下会膨胀形成隔热层,降低火焰对电缆的直接影响,延缓火势蔓延,为消防救援争取时间^[7]。在电缆沟、竖井等高密度布线区域,可设置防火隔板或防火封堵材料,防止火势沿着电缆蔓延。在电缆密集敷设区域,可安装温度传感器、烟雾报警器等设备,实时监测电缆温度和烟雾浓度,一旦发现异常情况,能够及时采取应对措施。对于易燃易爆环境,如石化厂区、煤矿等,应采用无火花电缆接头,同时电缆敷设应遵循防爆标准,如采用防爆密封接头和耐压防护管,避免因电缆故障引发爆炸事故。

2.4 电磁干扰防护

1. 电缆屏蔽措施。屏蔽电缆在导体外层包覆一层金属屏蔽层,如铜网、铝箔或金属编织层,可有效阻挡外部电磁波干扰,并减少电缆自身产生的电磁辐射。特别是在通信电缆、高压电缆及变频电缆敷设中,屏蔽层能显著降低干扰影响。为确保屏蔽效果,屏蔽层必须正确接地,通常采用单端接地或两端接地方式,使感应电流通过屏蔽层导向地面,避免干扰信号传输到电缆内部。在电磁干扰严重的环境,如变电站、工业控制系统区域,可采用双层屏蔽结构,即在电缆外部增加第二层屏蔽层,提高抗干扰能力,减少外部电磁场的影响。在敷设电缆屏蔽层过程中,应结合现场

电磁环境,合理选择单端接地或双端接地方式,以减少屏蔽层感应电流带来的干扰。

2. 交联与布线优化技术。三相电缆采用三角形排列方式,可有效降低相间电磁场的相互影响,并减少环流效应,提高电缆系统的稳定性。在高密度布线环境中,可采用分层交错敷设方式,避免同相电缆集中在同一层,减少电磁感应影响^[8]。控制电缆容易受到高压动力电缆的电磁干扰,因此在敷设时,应保持一定的间距,或采用独立的金属桥架和保护管道进行隔离,以降低干扰影响。在电缆敷设过程中,应尽量远离高频设备、变压器、大型电机等强电磁场区域,避免电磁干扰源对电缆的影响,也要避免长距离并行敷设高低压电缆,以减少感应干扰。对于弱电信号传输电缆,如通信电缆和信号控制电缆,可采用扭绞线设计,使相邻导体的电磁场相互抵消,从而降低干扰影响,提高信号传输质量。

3 结束语

在电缆敷设施工技术中,合理选择电缆敷设方式、优化布线规划及施工工艺,可有效提升供电系统的稳定性和安全性。在防护措施中,通过机械损伤防护、过载与绝缘老化防护、防潮防腐及电磁干扰抑制等综合防护措施,可显著增强电缆的耐久性和运行可靠性。针对高温、高湿、城市高密度管线区域及水下敷设等特殊环境,提出了针对性的优化方案,提高了电缆施工的适应性和安全性。

参考文献:

- [1] 宗鹏鹏. 电力工程施工中电力电缆敷设技术分析[J]. 电工材料, 2024(05):33-35.
- [2] 王薇, 答启文. 10kV 线路施工中电缆的敷设施工技术研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024(17):13-15.
- [3] 王文波. 配电电缆施工技术在电力工业中的应用[J]. 电气技术与经济, 2023(10):168-170.
- [4] 陈峰. 10kV 配电电缆敷设施工技术研究[J]. 中国科技投资, 2021(32):103-106.
- [5] 关悦海. 电力工程中配电电缆敷设技术[J]. 科技与创新, 2021(09):153-154.
- [6] 尹江峰. 电力工程中配电电缆施工技术要点探究[J]. 中国设备工程, 2021(02):212-214.
- [7] 姜晔. 浅谈电力配电工程中电缆敷设技术的应用[J]. 绿色环保建材, 2020(09):177-178.
- [8] 朱锋伟. 电缆敷设施工新技术的研究与应用[J]. 四川水泥, 2019(10):282.