

定向钻敷设 10kV 电缆的设计与工程实践

唐小华

广东省第一建筑工程有限公司，广东 广州 510010

摘 要： 本文深度聚焦 10kV 直埋电缆的定向钻敷设技术，对定向钻机选型、轨迹规划、泥浆配比、电缆输送机适配、直埋电缆选型、电缆机械防护以及电缆绝缘电阻监测等关键技术环节展开深入剖析。通过理论研究与实际工程案例相结合的方式，为提升定向钻敷设 10kV 直埋电缆工程的质量与安全性提供详尽参考，从而有力保障电缆线路的稳定可靠运行。这不仅显著简化了施工流程，降低工程成本，而且减少因保护管带来的潜在故障风险，为 10kV 直埋电缆敷设的可靠性与经济性提供了全新的思路与解决方案。本文创新点：采用电缆直接加拖的定向钻敷设电缆，减少了回拖保护管的环节。

关 键 词： 定向钻；10kV 直埋电缆；设计；工程实践

Design and Engineering Practice of Directional Drilling Installation of 10kV Cables

Tang Xiaohua

Guangdong No.1 Construction Engineering Co., Ltd. Guangzhou, Guangdong 510010

Abstract： This paper focuses deeply on the directional drilling installation technology of 10kV directly buried cables. It conducts in-depth analyses of key technical aspects such as the selection of directional drilling rigs, trajectory planning, mud proportioning, adaptation of cable conveyors, selection of directly buried cables, mechanical protection of cables, and monitoring of cable insulation resistance. By combining theoretical research with practical engineering cases, it provides a detailed reference for improving the quality and safety of the project of installing 10kV directly buried cables by directional drilling, thus effectively ensuring the stable and reliable operation of the cable lines. This not only significantly simplifies the construction process and reduces engineering costs, but also reduces the potential failure risks caused by protective pipes, providing new ideas and solutions for the reliability and economy of 10kV directly buried cable installation. The innovation of this paper lies in the use of direct cable pulling during directional drilling installation, reducing the step of pulling back the protective pipe.

Keywords： directional drilling; 10kV directly buried cable; design; engineering practice

引言

随着城市建设规模的不断扩张以及各类现代化设施的日益增多，社会对电力供应的稳定性与可靠性提出了更为严苛的要求。10kV 直埋电缆作为城市配电网的关键组成部分，承担着向众多区域输送电能的重要任务，其敷设方式的合理选择直接关乎整个电力系统的运行效能。在众多电缆敷设技术中，定向钻敷设技术凭借其显著优势而得到广泛应用。该技术在施工过程中对周边环境的干扰极小，能够大幅降低对城市交通、绿化以及居民生活等方面的影响。与此同时，相较于传统敷设方式，其施工效率得以大幅提升，能够在较短时间内完成电缆敷设任务，有效缩短工程周期，降低建设成本，为城市电力基础设施建设提供了一种高效且环保的解决方案。^[1] 通过理论分析和实践验证，本文为定向钻敷设 10kV 电缆提供了系统的设计和施工指导，对推动该技术在电力供配电工程中的应用具有重要意义。

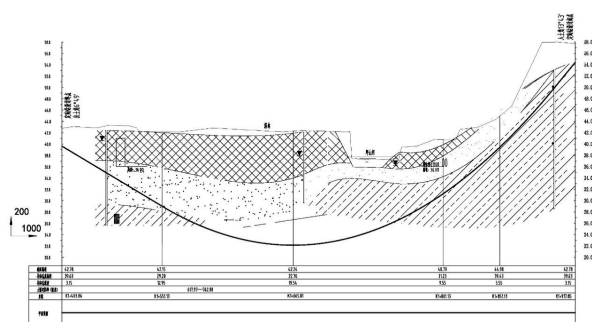
一、路径和轨迹设计

定向钻敷设 10kV 电缆的设计是整个工程的基础，需要综合考虑多方面因素。首先，路径选择是关键环节。设计人员需要仔细

勘察现场地形地貌，避开地下管线密集区、建筑物基础和其他障碍物。同时，要考虑电缆敷设后的运行维护便利性，尽量选择直线路径，减少转弯次数。在城市区域，还需协调相关部门，确保路径符合城市规划要求。

轨迹设计是定向钻敷设工程的核心环节之一，需设计时需要考虑电缆的最小弯曲半径、钻孔深度、进出钻角度等因素，同时要紧密结合施工现场的实际地形、错综复杂的地下管线分布状况以及既定的电缆线路规划进行精心谋划。钻孔直径应比电缆外径大30%~50%，以利于电缆敷设和后期维护^[2]。首先，入土点和出土点位置的确定至关重要，必须确保电缆线路严格符合城市电力规划布局要求，同时巧妙避开各类地下障碍物，如给排水管道、给排水管道以及其他通信线缆等。任何与现有地下设施的冲突都可能引发严重的安全事故，导致施工延误与成本增加。

入土角和出土角的设计需要遵循科学合理的原则，一般入土角控制在 $6^{\circ} \sim 20^{\circ}$ ，出土角控制在 $4^{\circ} \sim 12^{\circ}$ 。这一角度范围既能保证钻机在入土和出土过程中的平稳性与可操作性，使其顺利切入地下并安全钻出地面，又能有效降低对电缆产生的拉伸应力，避免电缆因过度受力而损坏内部结构。在穿越各类障碍物时，采用曲线轨迹设计是一种行之有效的方法。通过精确的数学计算得出合适的曲率半径，确保电缆在回拖过程中的弯曲程度在安全范围内，避免因过度弯曲导致绝缘层受损或导体断裂等问题。例如，在某市天然气高压调压站的10kV供电电缆敷设工程中，需穿坪山河和多条已建地下排水管线，通过精心设计曲线轨迹，成功避开了障碍物，且电缆回拖后各项性能指标检测均合格。



二、定向钻机选型

定向钻机的选型是定向钻敷设10kV直埋电缆工程的首要且关键的环节，需要全面、综合地考量多方面因素。工程地质条件是选型的基础依据，不同的地质特性对钻机性能有着显著不同的要求。例如，在粉质黏土等质地相对松软的地质环境中，土体的承载能力与抗剪强度较低，此时选用中小型定向钻机（如美国威猛 D24x40）便能满足施工需求。中小型钻机操作灵活性好，能够在狭窄的施工场地内自由移动，精准定位钻孔位置。而且，其能耗较低，设备成本也相对较低，能够有效削减施工开支^[3]。在某市天然气高压输配系统坪山调压站供电第二回路的电缆敷设工程中，跨越长度约454米，施工区域为粉质黏土地质，选用中型定向钻机后，施工成本相较于预期降低了约15%。而在岩石等坚硬地质区域，岩石的高强度与高硬度给钻进工作带来极大挑战，必须依靠大功率、高扭矩的定向钻机（如徐工 XZ5000）。这类钻机配备了强大的动力输出系统与坚固耐用的钻具，能够在岩石层中稳定钻进，确保施工顺利推进。

此外，穿越距离与管径大小也是影响钻机选型的重要因素。穿越距离越长，对钻机的持续工作能力与推进系统性能要求就越高；管径越大，则需要更大的扭矩与推力来带动钻具旋转与推进。在实际工程中，钻机导向系统的精度同样不容忽视。配备高精度陀螺仪和地磁传感器的先进导向系统，能够实时、精准地监测钻孔轨迹偏差。通过与预设轨迹进行对比分析，及时发出调整指令，确保钻孔始终沿着设计路线前行，从而大幅提高电缆敷设的准确性。在某市天然气高压输配系统坪山调压站供电第二回路的电缆敷设穿越坪山河电缆敷设项目中，由于穿越距离长且对精度要求极高，采用配备先进导向系统的定向钻机，成功将钻孔轨迹偏差控制在极小范围内，保证了电缆敷设的高质量完成。钻杆采用直径89mm，完成导向孔后不需扩孔即可回拖。

三、泥浆配制

泥浆在定向钻施工中起着举足轻重的作用，具备护壁、携渣、润滑和冷却钻头四大核心功能。泥浆配方并非一成不变，需要依据不同的地质条件进行灵活、精准的调整。在黏土质地的施工区域，黏土本身具有一定的黏性和可塑性，此时可适当减少膨润土的用量，同时增加降失水剂。降失水剂能够有效控制泥浆在钻进过程中的失水现象，防止因失水过多导致泥浆性能恶化，影响护壁效果。例如，在某黏土含量较高的区域施工时，通过调整泥浆配方，减少了20%的膨润土用量，并添加适量降失水剂，泥浆的失水性能得到了良好控制，护壁效果显著提升^[4]。

而在砂土等颗粒松散的地质条件下，由于砂土的稳定性较差，易发生坍塌，因此需要增加膨润土的含量，提高泥浆的黏度和切力。较高的黏度和切力能够使泥浆在钻孔壁形成一层坚固的泥皮，增强护壁效果，防止孔壁坍塌。常用的泥浆添加剂羧甲基纤维素（CMC）和聚丙烯酰胺（PAM）在改善泥浆性能方面发挥着重要作用。CMC能够有效提高泥浆的黏度和稳定性，PAM有助于增强泥浆的絮凝性能，提高携渣能力。

在实际施工中，泥浆的密度和黏度是关键性能指标，需要严格控制。泥浆密度一般控制在 $1.05 \sim 1.2 \text{ g/cm}^3$ ，在此密度范围内，泥浆既能有效支撑孔壁，又能保证良好的携渣效果。黏度控制在35~60s，合适的黏度可确保泥浆在钻孔内形成稳定的循环流动，实现高效的护壁、携渣与润滑功能。施工过程中，需要定期利用泥浆密度计、黏度计等专业检测设备对泥浆性能指标进行检测，根据检测结果及时调整泥浆配方，确保泥浆始终处于最佳性能状态，为施工的顺利进行提供坚实保障^[5]。

四、电缆输送机选型

电缆输送机在电缆回拖过程中承担着辅助牵引的重要职责，其核心作用是减轻电缆所承受的拉伸应力，确保电缆回拖过程的安全性及完整性。在选型时，需要综合考虑电缆的重量、直径以及回拖距离等关键因素。电缆的重量和直径直接决定了回拖过程中所需的牵引力大小，而回拖距离则影响着输送机的持续工作能

力与数量需求。

一般来说，对于10kV直埋电缆，选择输送能力为5~10kN的电缆输送机较为适宜。这一输送能力范围能够满足大多数10kV直埋电缆的回拖需求，既不会因输送能力过小而无法拖动电缆，也不会因过大而对电缆造成不必要的损伤。在输送机的布置方面，间距应保持均匀，使电缆在回拖过程中受力均匀，避免局部应力集中现象。尤其在电缆线路的转弯处，由于电缆在此处受到的弯曲应力较大，需要适当加密输送机的布置，为电缆提供额外的支撑与牵引，确保电缆在转弯过程中安全、平稳地回拖^[8]。

同时，为适应电缆回拖过程中速度和张力的动态变化，电缆输送机应配备先进的自动调速功能。该功能能够实时监测电缆的回拖速度与张力大小，当速度过快或张力过大时，自动调整输送机的运行速度与牵引力，保证电缆回拖过程的稳定性。例如，在某市燃气高压调压站穿越坪山河电缆敷设工程中，采用具备自动调速功能的电缆输送机，有效避免了因回拖速度不均导致的电缆损伤问题，提高了施工质量与效率。

五、直接回拖的电缆选型

直接回拖的电缆在选型时需要重点关注机械性能和绝缘性能两个方面，同时要考虑长期水泡的工作环境。在机械性能方面，电缆的外护套作为抵御外界机械损伤的首道防线，应选用高强度、耐磨损的材料。聚乙烯（PE）和聚氯乙烯（PVC）材料因其具有良好的物理机械性能，如较高的抗拉伸强度、耐磨性和耐腐蚀性，成为外护套材料的理想选择。这些材料能够有效承受回拖过程中地面摩擦力、岩石刮擦以及其他外力的作用，保护电缆的内部结构不受损坏。

绝缘层采用交联聚乙烯（XLPE）材料，XLPE材料以其卓越的电气绝缘性能、优异的热稳定性以及良好的化学稳定性而著称。在正常运行条件下，能够有效阻止电流泄漏，确保电能的高效传输；在高温等恶劣环境下，依然能够保持稳定的绝缘性能，保障电缆的安全运行。电缆的导体一般优先选用铜导体，铜具有较高的电导率，能够降低电能传输过程中的损耗，提高输电效率。^[7]同时，铜导体还具备良好的机械强度，能够承受电缆在敷设与运行过程中的拉伸、弯曲等机械应力。

在确定电缆的截面面积时，需要依据电缆的载流量要求进行合理选择。载流量是指在规定条件下，电缆导体能够连续承载且不致使其稳定温度超过规定值的最大电流。在正常运行和可能出现的过载情况下，必须确保电缆的温度不超过允许值。通过精确计算电缆的负载电流、环境温度、散热条件等参数，并结合电力工程电缆设计标准 GB50217-2018 和相关标准规范，选择合适的电缆截面面积，既能满足电力传输需求，又能保证电缆长期稳定运行，避免因过热引发安全事故。如在某市天然气高压输配系统某调压站供电按一级负荷考虑，计算负荷为800kVA，计算电流46.2A，南方夏季高温可能出现地表土壤温度达35℃，土壤热阻系数按最严峻考虑，经计算三芯铜芯电缆的载流量应不小于45.2A，结合 GB50217-2018，选25满足要求，并有一定的裕量。考虑到

地下水位较高，电缆可能经常水泡，外护层选用聚乙烯，考虑到定向钻直接回拖电缆的敷设方式，应选用粗钢丝铠装，并考虑防鼠蚁，综合以上因素，经计算选用FSY-YJV33-10KV-3*25的电缆，外径范围约为48~52mm。^[8]

六、电缆机械防护

为有效防止电缆在回拖过程中遭受机械损伤，需要采取一系列全面且有效的防护措施。在电缆的外表面缠绕玻璃纤维增强塑料防护带是一种常用且有效的方法。玻璃纤维增强塑料防护带具有高强度、高模量以及良好的耐磨性和抗划伤性能，能够在电缆与地面、岩石等物体接触时，为电缆提供可靠的防护，减少因摩擦和刮擦导致的外护套破损。

在电缆与钻机钻杆的连接处，由于此处受力情况复杂，容易因受力不均而损坏电缆，因此安装专用的电缆保护套至关重要。保护套采用特殊的设计与材料制造，能够均匀分散连接处的应力，避免局部应力集中对电缆造成损伤。在穿越障碍物或地质条件复杂的区域时，在电缆周围设置保护套管是进一步增强电缆机械防护的重要手段。钢管或玻璃钢套管具有较高的强度和刚性，能够为电缆提供坚固的外部保护，有效抵御来自障碍物的挤压、碰撞以及复杂地质条件下的外力作用，确保电缆在回拖过程中的安全。例如，在某穿越坪山河的电缆敷设工程中，使用玻璃纤维增强塑料防护带缠绕电缆，成功避免了电缆因孤石刮擦而受损，保障了工程的顺利进行。^[9]

七、电缆绝缘电阻监测

在电缆敷设的全生命周期中，持续、有效地监测电缆的绝缘电阻是确保电缆运行安全的关键举措。在电缆敷设前，必须利用专业的绝缘电阻测试设备，对电缆进行全面的绝缘电阻测试。通过施加规定的直流电压，测量电缆绝缘层的电阻值。只有当绝缘电阻值符合相关标准规范要求时，方可判定电缆的绝缘性能良好，允许进行敷设施工。这一环节能够提前发现电缆在生产、运输过程中可能出现的绝缘缺陷，避免将有问题的电缆投入施工使用。

在电缆敷设过程中，引入在线监测系统能够实时、动态地监测电缆绝缘电阻的变化情况。一旦发现绝缘电阻出现异常下降趋势，系统立即发出警报信号，施工人员可迅速停止施工，深入查找原因。可能导致绝缘电阻下降的原因包括电缆外护套破损、绝缘层受潮、施工过程中的机械损伤等。^[10]针对不同的原因，采取相应的修复措施，如对外护套破损处进行修补、对受潮部位进行干燥处理等，确保电缆的绝缘性能恢复正常后再继续施工。

电缆敷设完成后，定期对电缆的绝缘电阻进行检测是保障电缆长期稳定运行的必要手段。建立完善的绝缘电阻数据库，详细记录每次检测的数据并进行分析。通过对数据的长期跟踪与对比，能够及时发现电缆绝缘性能的潜在变化趋势，提前预判可能出现的绝缘故障，为电缆的维护和检修工作提供科学依据，合理

安排维护计划，确保电缆始终处于良好的运行状态。

八、结论

定向钻敷设10kV直埋电缆的设计与工程实践涵盖了多个紧密关联、相互影响的关键环节。从定向钻机选型时对地质条件、穿越距离等因素的综合考量，到轨迹设计中对入土点、出土点的精心规划；从泥浆配制根据地质变化进行的精准调整，到电缆输送机选型与布置对电缆回拖安全的保障；从直接回拖直埋电缆选型对机械与绝缘性能的严格要求，到电缆机械防护措施全面实施以及电缆绝缘电阻监测体系的构建，每个环节都对工程质量和

电缆运行安全起着决定性作用。总的来说，定向钻直接回拖敷设10kV电缆技术为城市电网建设提供了一种创新解决方案，具有良好的应用前景。

通过合理选型、科学设计、严格施工和有效监测等一系列举措，能够确保定向钻敷设10kV直埋电缆工程顺利实施，显著提升电缆线路的可靠性和稳定性，为城市电力供应提供坚实有力的保障。然而，随着城市建设的不断发展与电力需求的持续增长，在未来的工程实践中仍需不断总结经验，积极引入新技术、新工艺，进一步优化设计与施工流程，以更好地适应日益复杂多变的电力建设需求，推动城市电力基础设施建设迈向更高水平。

参考文献

- [1]倪超；高庆有；刘月舟；赵刚；刘帅. 管道定向钻穿越登陆发生抱管应急处理方法 [J]. 石油和化工设备, 2024(12).
- [2]宋佳朋. 定向钻穿越中管道外防腐层的保护策略分析 [J]. 全面腐蚀控制, 2021(09).
- [3]游赞；刘俊；郎明春；钟一杰. 大直径长距离定向钻穿越管道回拖设计与施工 [J]. 石油工程建设, 2023(04).
- [4]王洁；詹川孟. 管道定向钻穿越弥缝技术及施工难点分析 [J]. 化工管理, 2017(13).
- [5]蒋静萍. 忠武管道48处定向钻穿越完工 [J]. 天然气工业, 2005(01).
- [6]李沁桢；邹复民；刘吉顺. 中型电动装载机驱动电机试验台研究 [J]. 工程机械, 2024(08).
- [7]孙慧莹；安鲁陵；任益；张琳琳. 机械传动系统电加载技术研究 [J]. 现代制造技术与装备, 2024(02).
- [8]李志杰；曾聪；杨善；董顺. 非开挖水平定向钻钻杆全尺寸疲劳试验研究 [J]. 地下空间与工程学报, 2020(03).
- [9]张振芳. 减速器加载试验台的设计与研究 [J]. 计算机产品与流通, 2019(12).
- [10]徐源俊；黄晓艳；卢海林；滕飞. 装载机超越离合器可靠性试验台设计 [J]. 工程机械, 2016(05).