

电力工业中配电电缆施工技术的应用研究

诸德文 李保润

国网江苏省电力有限公司宿迁供电分公司

摘要: 本文深入探讨了电力工业中配电电缆施工技术的应用, 并对其技术特点和实施过程进行了综合研究。本文首先介绍了配电电缆的基础知识, 包括电缆的分类、构造以及电气特性, 比较了国内外的施工标准, 探讨了施工规范的发展趋势。在配电电缆施工技术的关键环节中, 本文详细介绍了电缆敷设技术、电缆接头和终端头的制作技巧, 以及施工后电缆试验和故障定位的方法, 供参考。

关键词: 电力工业; 配电电缆施工; 直埋敷设; 管道敷设; 电缆接头

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2024.08.081

引言: 随着电力市场的快速发展和技术的不断进步, 配电电缆施工技术在保障电力系统稳定运行中扮演着至关重要的角色。配电电缆作为输电和分配电能的重要媒介, 其施工质量直接关系到电力系统的安全与经济运行。在电力系统的安全性、可靠性以及环保性要求日益提高的背景下, 传统的配电电缆施工技术已无法满足现代电力工业的需求。因此, 研究和应用先进的配电电缆施工技术, 对于提升电能供应质量, 减少电力损失, 优化能源结构具有重大意义。随着智能化、自动化技术的融入, 配电电缆施工正逐步向着更高效、更环保的方向发展。

一、配电电缆施工技术基础分析

(一) 配电电缆基础分析

1. 电缆的分类与构造

如图1所示, 电力工业中使用的电缆主要可以分为两大类。第一类是按照用途分类, 包括输电电缆、配电电缆以及装置用电缆^[1]。第二类是按照绝缘材料分类, 包括油浸纸绝缘电缆、橡塑绝缘电缆以及交联聚乙烯绝缘电缆。电缆一般由以下几个部分构成, 对施工人员来说, 必须充分了解相关信息, 才能在施工期间做好细节控制工作。具体来说: 其一, 导体。导体是电缆的核心

部分, 用于传输电能。它通常由铜或铝材质制成, 铜导体由于其优越的导电性能而更为常见。导体可以是单根实心导线, 也可以是多根细导线绞合而成, 后者可以提高电缆的柔韧性。其二, 绝缘层。紧包覆在导体外部, 防止漏电, 确保电能安全有效地通过导体。常见的绝缘材料包括油浸纸、橡胶、塑料(如PVC)、交联聚乙烯(XLPE)等。不同的绝缘材料有不同的电气性能和适用环境。其三, 护套层。覆盖在绝缘层外部的保护层, 可以防止水分、化学物质、机械伤害等对绝缘层和导体的损害。护套材料通常为PVC、聚乙烯、橡胶或其他特种材料。其四, 屏蔽层。用于防止电磁干扰, 保证信号的清晰传输。屏蔽可以是金属箔片、金属丝编织或金属带等形式。在高压电缆中, 屏蔽层也有助于控制电缆内部和外部的电场分布。其五, 铠装层。是电缆的机械保护层, 常见于地下电缆或海底电缆, 能够抵抗外界的压力和其他物理损害。铠装材料通常为钢带或钢丝。其六, 外护套。覆盖在最外层的保护层, 提供额外的机械防护和环境防护。它也能防止水分和化学物质的侵蚀, 保护内部结构免受损害。

2. 电缆的电气特性与选型标准

电缆的电气特性是决定配电电缆能否满足特定应用要求的关键因素之一。电缆的选型标准基于其电气特性, 包括导体电阻、绝缘性能、电容以及额定电压等。为确保电缆在不同工况下都能可靠运行, 要求施工人员根据电缆的电气特性和应用场景仔细选择合适的类型和规格^[2]。如表1所示为几种电缆的基础参数。在选型时, 施工人员还需考虑电缆的热特性、机械特性以及环境条件等因素, 以确保电缆在整个设计寿命期内能够稳定工作。此外, 根据应用环境的不同, 如户内、户外、地下或水下等, 还需要考虑电缆的防水、防火等附加性能。选型时应结合多方面的电气特性和工程实际需求, 确保最终选定的电缆类型和规格最适合其应用场景。

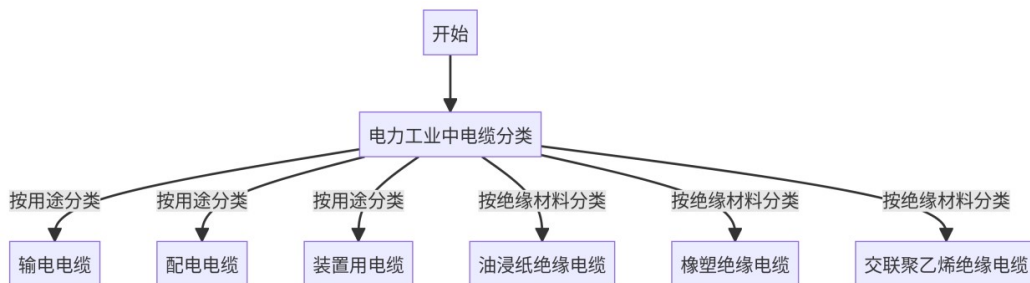


表 1 几种配电网线的参数

电缆特性	电阻 (Ω/km)	绝缘电阻 (MΩ·km)	电容 (nF/km)	额定电压 (kV)
铜芯电缆	≤ 1.72	≥ 500	0.6-0.8	0.6/1
铝芯电缆	≤ 2.82	≥ 500	0.6-0.8	0.6/1
高温超导电缆	接近 0	≥ 500	0.6-0.8	110
交联聚乙烯绝缘电缆	≤ 1.91	≥ 500	0.6-0.8	0.6/1-35

(二) 现行配电电缆施工标准和规范

1. 国内外施工标准对比

配电电缆施工中的标准和规范对确保电缆系统的可靠性与安全性起着至关重要的作用。现行的施工标准如 IEC 60287 和 IEEE 525 提供了全面的施工、测试及验收准则。国家标准如 GB/T 12706 规定了电缆的敷设、连接及终端处理的具体要求。这些规范详细描述了电缆选择、敷设方式、弯曲半径、埋深、间距、接地和接线方法等关键施工细节。具体而言，敷设方式必须根据电缆类型和使用条件选择，直埋敷设的电缆需满足一定的最小埋深标准（如 GB/T 12706 中规定直埋敷设的电力电缆，最小埋深应不小于 0.7 米），以抵御外部伤害。电缆的弯曲半径不得小于电缆外径的指定倍数（一般不小于 15 倍电缆外径），以防止电缆绝缘被过度扭曲损坏。接地和接线方法必须遵守规定的电气安全规范，确保系统在故障时能够迅速断电，保护设备和人员安全。在国际上，IEC 60287 和 IEEE 525 等标准被广泛应用于电缆施工，强调了测试和监控在施工过程中的重要性。例如，IEEE 525 提供了包括电缆敷设前的检查、敷设过程中的监控以及敷设后的测试与验收在内的一系列指导原则。在中国，GB/T 12706 规定了电缆的选型、敷设、连接和保护措施，与国际标准在技术要求上保持一致，但更加注重与国内实际情况相结合的操作细节。这些标准虽然在具体参数和实施细节上可能存在差异，但共同的目标是确保电缆施工的质量，保障电力系统的稳定运行。

2. 施工规范的发展趋势和改进方向

随着技术进步，配电电缆施工规范逐步向智能化、精细化方向发展。基于大数据和物联网技术的施工监控系统得到了越来越多的应用，这些系统能够实时监控电缆施工状态，及时发现施工偏差，减少人为或技术错误，提高施工质量和效率^[3]。在材料方面，随着新型绝缘和护套材料的出现，施工规范也在不断更新，以适应这些材料的特性。例如，高温超导电缆的使用要求更新了敷设和冷却系统的相关规范。未来，施工规范的改进也将越来越多地考虑环境因素，如减少施工过程中对环境的影响，以及提高材料的可回收性。此外，规范将进

一步细化，以适应特殊环境下的施工要求，如极端气候条件或地震频发地区的特殊设计规范。综上所述，配电电缆施工标准和规范正向着更加智能化、环保化和精细化的方向发展，以满足更为复杂和多变的电力系统需求。

二、配电电缆施工技术的关键环节

(一) 电缆敷设技术

1. 直埋敷设与管道敷设的比较

电缆敷设技术作为配电电缆施工的基础，对于整个电力系统的稳定性和安全性具有决定性影响。敷设技术主要包括直埋敷设和管道敷设两种方法，每种方法都有各自的应用条件和技术要求^[4]。直埋敷设是一种常见的电缆敷设方法，其主要特点是施工简便、成本相对较低。根据 GB/T 12706 规定，直埋敷设的电缆应保持一定的最小埋深和土壤覆盖厚度，以确保电缆免受外部力学损伤和温度变化的影响。然而，直埋敷设在维护和故障定位上存在不便，一旦发生问题，可能需要大面积开挖，修复成本和时间成本较高。相比之下，管道敷设虽然初期投资较大，但维护和替换工作则相对容易，适合于高密度城市区域或可能需要未来升级的场合。管道内的电缆可以通过吹风方式敷设，减少人力物力的消耗，同时提供了更好的保护。根据不同的地质和使用条件，管道材料可选用 PVC、HDPE 或金属等，每种材料都有其对应的标准和规范。

2. 特殊环境下的敷设挑战与解决方案

特殊环境如多雨、多湿地区或海洋气候影响区域，敷设电缆时需考虑到土壤的水分含量和化学腐蚀性。例如，在这些区域，直埋电缆需要采用抗腐蚀的外护层，如聚乙烯或特殊合金材质，并且可能需要增加排水系统以防止水分积聚。在岩石地质或冻土层中敷设电缆，传统的挖掘方法可能变得不可行或成本过高。这时，可以采用水平定向钻进技术（Horizontal Directional Drilling, HDD），这种无开挖技术可以减少对环境的影响，并提高敷设效率。此外，在冻土地区，还必须考虑土壤冻融循环对电缆的物理损害。在高温环境或靠近热源的地区，如工厂或电站附近，电缆的散热问题变得尤为重要。在这些条件下，电缆的敷设必须采用高耐温材料，并设计合理的散热系统。例如，可以使用具有高导热系数的填充材料，并在电缆周围留有充足的空间以促进空气流通。对于地震频发区域，电缆敷设应采取抗震设计，如选择具有足够韧性和伸缩性的电缆，以及灵活的接头和固定装置，以减少地震波动对电缆的损害。综上所述，电缆敷设技术需要根据不同的环境条件进行细致地规划和选择。通过采用适当的敷设方法和材料，结合先进的技术手段，可以克服特殊环境下的敷设挑

战，保证配电电缆系统的可靠性和长期稳定运行。

（二）电缆接头和终端头的制作

1. 接头和终端头的重要性

电缆接头和终端头是连接电缆与电缆、电缆与电气设备的关键部件，其可靠性直接影响到配电系统的稳定性和安全性。不当的接头或终端头制作是电力系统故障的常见原因之一，因此，其制作工艺和质量控制是施工中的重点环节。接头和终端头的制作质量决定着电缆系统的绝缘性能和机械强度，直接关系到整个系统的运行寿命和可靠性。接头需确保电缆之间的电气连接性和机械固定性，而终端头则需确保电缆与其他电气设备的连接。根据国际电工委员会（IEC）标准，接头和终端头的电气性能应至少与电缆本体保持一致。不良的接头可能导致接触电阻增大，引起发热和能耗上升；而终端头的失效则可能导致系统短路或开路，甚至可能引发电气火灾。

2. 现场制作技术细节和质量控制

现场制作接头和终端头时，必须遵循严格的工艺流程，包括电缆的剥皮、绝缘层的去除、导体的连接、绝缘层的重建以及护套的密封等步骤。每一步骤都需精确控制，以确保制作出的接头和终端头符合技术标准。在电缆剥皮阶段，剥除长度必须精确，以免损伤电缆内部的导体或绝缘层^[5]。剥皮后，需要使用专用工具对导体进行精确地切割和清理，确保导体端面平整，无毛刺。导体连接时，采用机械压接或焊接等方式，连接点需做到接触良好，且连接强度应满足相关标准的要求。绝缘层的重建是确保接头和终端头电气性能的关键步骤。使用的绝缘材料必须与电缆原材料相匹配，以保证绝缘性能的一致性。重建过程中，需避免空气泡的产生，确保绝缘层的完整性。最后，护套的制作对于保护接头和终端头免受外部环境影响至关重要，需要使用耐候性和机械强度合适的材料，并确保密封性能。在质量控制方面，施工前应制定详细的施工方案和质量标准，并进行严格的施工人员培训。现场制作过程中，应持续监控制作参数，如温度、压力等，确保每个制作环节都符合设计要求。完成后，需通过电气测试、绝缘性能测试和耐压试验等一系列检测手段，验证接头和终端头的质量。例如，接头的直流电阻测试值应低于电缆制造标准中规定的最大电阻值，绝缘电阻应高于规定的最小值，耐压试验应无击穿和闪络发生。

（三）电缆试验和故障定位

1. 施工后的电缆试验方法

在配电电缆施工完成后，电缆试验和故障定位是确保电缆系统可靠运行的关键步骤。此环节需要应用多种检测技术，旨在验证电缆及其附件的绝缘强度，并在投

运前识别及修复潜在缺陷。施工后电缆试验主要包括直流耐压试验、交流耐压试验和部分放电测试。直流耐压试验通过施加高于电缆正常工作电压的直流电压，检测绝缘是否存在潜在弱点。根据IEEE标准，测试电压通常设定为额定工作电压的1.5至2倍，持续时间不少于15分钟。交流耐压试验则模拟电缆的实际工作条件，测试电压通常是工作电压的2倍以上，持续一定时间，以验证绝缘材料的性能。

2. 电缆故障定位技术及其应用

在电缆系统投入运行后，若发生故障，快速准确地故障定位对于缩短停电时间和减少经济损失至关重要。电缆故障定位通常采用的技术包括时间域反射法（TDR）、电桥法和音频信号法。时间域反射法（TDR）基于发送一定形式的脉冲信号，通过分析反射脉冲来确定故障位置。数据表明，TDR方法可以在误差范围±1%内准确定位电缆故障点。电桥法适用于低阻故障定位，其通过测定故障点两端的电阻差异，计算故障位置。音频信号法则适用于高阻或闪络故障，通过在电缆中传递特定频率的音频信号，并使用接收器沿电缆路线搜索最强信号点，以此判断故障位置。

结语：随着科技的不断发展，配电电缆施工技术将继续朝着智能化、高效化、环保化的方向发展。实践应用表明，先进的高效敷设技术和智能化电缆故障监测系统，能显著提升施工效率和监测精度，绿色施工方法和环境影响评估则为施工过程中的环境保护提供了新的思路。此外，经济性分析证明了成本控制在施工过程中的重要性。展望未来，随着材料科学的进步和信息技术的革新，配电电缆施工技术有望实现更高级别的自动化和信息化，为电力系统的可持续发展注入新的动力。此外，未来研究可侧重于新材料、新技术在配电电缆施工中的应用，以及如何更好地整合可再生能源，推动电力工业的绿色转型。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 田栓科. 建筑工程中配电电缆施工技术要点探究[J]. 中国建筑装饰装修, 2023, (14): 56-58.
- [3] 苏天渭. 10kV配电电缆敷设施工技术分析[J]. 大众用电, 2022, 37(02): 50-51.
- [4] 赵昌鹏, 杜群, 魏子舒, 等. 电力工程中配电电缆施工技术要点探究[J]. 数字通信世界, 2021, (07): 253-254.
- [5] 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.