

电缆不停电技术在配网带电作业中的应用研究

黄 凯 田 亮 王 洋
国网哈密供电公司 新疆 哈密 839000

摘要：传统的计划停电检修模式已难以满足现代城市电网“零感知”、“高可靠”的供电需求。在此背景下，电缆不停电技术作为配网带电作业的核心组成部分，其重要性愈发凸显。本文系统阐述了电缆不停电技术的基本内涵、核心原理与关键技术体系，深入分析了旁路作业、T接作业、负荷转移等主流技术的应用场景、操作流程及优缺点。同时，结合当前技术发展现状，指出了设备智能化程度不足、标准规范体系尚不完善、人员技能要求高等现实挑战。最后，文章前瞻性地探讨了该技术未来的发展趋势，并提出了加强技术创新、完善标准体系、强化人才培养等策略建议，旨在为提升我国配电网供电可靠性、推动智能电网建设提供理论参考与实践指导。

关键词：电缆不停电技术；配网带电作业；供电可靠性；旁路作业；负荷转移

引言

电力是现代社会基石，其供应的连续性与可靠性关乎国计民生、经济发展及国家安全。近年来，新型城镇化加速、数字经济蓬勃发展，各行业和居民对“不停电”“少停电”的期望空前高涨。国家能源局《“十四五”现代能源体系规划》提出，持续提升供电可靠性，中心城市（区）用户年均停电时间力争降至1小时以内，这对传统依赖计划停电的配电网运维模式带来挑战。配电网连接主网与用户，结构复杂、设备多样，电缆线路因占地少、安全性高、抗干扰强，在城市核心区等广泛应用。但电缆故障或维护时，传统停电方式影响范围广、社会反响大。在此背景下，电缆不停电技术应运而生。它是在保证用户侧持续供电的前提下，借助特殊技术手段、专用装备和标准化流程，对电缆线路进行检修等作业的综合性技术体系，是配网带电作业向电缆网络发展的必然，也是配电网精益化、智能化运维的核心支撑技术。深入研究并推广该技术，对提升供电服务质量、优化营商环境、保障社会经济平稳运行意义重大、价值深远。

1 电缆不停电技术概述

1.1 基本内涵与核心原理

电缆不停电技术的本质是在物理上构建一个临时的、可靠的“电力通路”，绕过需要作业的目标区段，从而将负荷电流安全地转移至该临时通路上。在此过程中，目标区段被有效隔离并退出运行，作业人员可以在无电或等电位状态下进行安全操作，而用户侧则感受不到任何供电中断^[1]。其核心原理可以概括为“隔离-转移-作业-恢复”四个步骤：（1）隔离：通过使用绝缘工具或设备，在目标作业点的两端建立可靠的电气隔离点，

确保作业区域与带电系统完全断开。（2）转移：利用旁路系统（如柔性电缆、旁路开关、移动箱变等）将原线路的负荷电流引导至临时搭建的旁路通道中，实现负荷的无缝切换。（3）作业：在确认作业区域无电后，按照标准化流程进行检修、更换、接入等具体作业。（4）恢复：作业完成后，将负荷电流平稳地切换回原线路，拆除旁路系统，恢复电网正常运行方式。整个过程的关键在于确保电流转移的平滑性、旁路系统的可靠性以及作业过程的安全性，任何一个环节的失误都可能导致用户停电甚至安全事故。

1.2 技术体系构成

一个成熟且高效的电缆不停电技术体系，是由专用装备、标准化流程与专业人才三者有机融合而成的综合系统。其中，专用装备是技术落地的物质载体，涵盖了柔性旁路电缆、旁路负荷开关、快速连接终端、移动式箱变、绝缘斗臂车以及各类绝缘防护与检测仪器等。这些装备不仅需要具备良好的电气性能和机械强度，还需满足现场灵活部署与快速操作的需求。标准化作业流程则是技术实施的行为准绳，针对不同类型的作业任务，如环网柜更换、新用户T接、电缆终端头检修等，均需制定详尽、严谨、可执行的操作规程，明确每一步骤的技术要点、安全措施、风险辨识与应急处置方案，以最大程度降低人为失误带来的风险。而专业人才队伍则是整个体系运转的核心驱动力，从事此类高风险作业的人员必须经过系统化的理论学习与实操训练，不仅要精通电力系统基础知识，还需熟练掌握各类专用工具的操作技巧，并具备高度的责任心、团队协作能力和突发状况应对能力。唯有三者协同配合，方能确保电缆不停电作业的安全、高效与可靠。

2 电缆不停电技术的主要应用模式

2.1 旁路作业法

旁路作业法是应用广泛且技术成熟的电缆不停电作业模式，用于检修、更换或升级改造电缆线路中的关键节点设备，如环网柜、分接箱等。以更换存在安全隐患的环网柜为例，传统停电方式会导致大面积用户供电中断，社会影响大，而旁路作业法可有效避免。具体实施时，作业人员先在待更换设备上下游可靠节点接入柔性旁路电缆，用旁路开关构建临时供电回路；用核相仪确认相序一致后，合上旁路开关，将负荷电流转移至旁路系统；断开原设备进、出线开关并验电接地，使其退出运行，为拆除与安装工作创造安全条件；新设备安装调试验收合格后投入运行，断开旁路开关，将负荷切换回原线路，最后拆除旁路系统。实际操作中，该流程对现场条件要求高。旁路柔性电缆多采用交联聚乙烯绝缘材料，额定电压10kV或20kV，载流量依实测负荷精确匹配，单根一般达400A以上。连接接口采用符合IEC60502标准的可分离式肘型头或T型头^[2]。作业前要用红外热成像仪评估原环网柜状态，作业中持续监测旁路电缆升温。不过，该方法也有局限，对作业空间要求高，通常需至少3米×3米的平整区域；依赖相邻设备有标准电缆进出线接口，老旧非标设备需加装过渡适配器，增加复杂度。且作业周期通常4-6小时，多安排在负荷低谷时段以降低系统运行风险。

2.2 T接作业法（不停电接入技术）

T接作业法，亦称不停电接入技术，主要服务于新增用户或新增负荷点的电源接入需求，其最大优势在于无需中断主干电缆的正常供电即可完成分支引接。该技术实现的关键是采用特殊可分离连接器，如T型电缆接头。这类连接器设计独特，无需切断主缆导体，借助专用液压或机械工具，就能在主缆绝缘层精准“刺入”或“搭接”，形成可靠电气连接与完整绝缘密封。具体施工时，技术人员先用高精度电缆路径探测仪和局放检测仪对目标主干线定位与状态评估，确认作业点无局部放电、水树老化等缺陷。接着，小心剥除约60-80cm长外护套、金属屏蔽层及半导体层，露出洁净光滑的主绝缘表面，此过程不能损伤主绝缘。之后，把预制式T型连接器主干部分套入主缆，用专用液压钳施加约12吨压力，让内部应力锥结构紧密贴合主绝缘，同时内置导电触指刺穿绝缘屏蔽层与导体形成低阻连接。整个安装要在干燥洁净环境进行，必要时搭建防尘防潮工棚。安装完成后，要进行严格测试，包括绝缘电阻测试（通常 $\geq 500M\Omega$ ）、直流耐压试验（如25kV/5min），并用超声波

局放仪复测连接点有无放电信号。该技术虽便利，但对施工工艺精度要求极高，微小绝缘损伤、界面污染或压接力不足都可能埋下隐患，对作业人员专业技能和责任心要求极高。

2.3 负荷转移法（移动电源法）

负荷转移法，也叫移动电源法，是灵活性突出的电缆不停电作业模式，适用于作业点上下游无合适旁路接入点，或作业周期长、负荷复杂的场景。其核心是引入外部移动电源，如移动式箱式变电站或大功率发电车，临时承担用户全部或部分负荷。比如更换位于线路末端的老旧电缆，无法构建电网内旁路时，就可调用移动箱变。作业前，将移动电源置于用户侧附近，敷设临时电缆连接其输出端与用户进线；之后把用户负荷切换到移动电源供电，再断开原线路作业；原线路修复或更换后，将负荷切回原系统，撤走移动电源^[1]。工程实践中，选移动电源要综合考量负荷容量、电压等级、续航时间及运输条件。常见10kV移动箱变容量在630kVA至2500kVA之间，以柴油发电机或接入外部电网为输入源，内部集成高低压开关柜等设备，有自动同期合闸功能。临时电缆多选铠装型YJV22电缆，截面依负荷计算确定，敷设要避开交通要道和地下管线并做好防护。切换操作是关键风险点，要严格遵循“先投后切”原则，先合移动电源至用户开关，确认供电稳定再断开原线路开关，避免短暂失电；恢复时顺序相反，还要严格核相与检测电压差，防止冲击电流。这种方法的优势在于不受既有电网拓扑结构的限制，适应性强，但其代价也较为明显：移动电源的租赁、运输和部署成本较高，且其容量和续航能力有限，难以支撑超大负荷或超长时间的作业需求，因此通常作为其他方法不可行时的补充方案。

3 当前应用面临的挑战与瓶颈

尽管电缆不停电技术取得了长足进步，但在大规模推广应用过程中仍面临诸多挑战。（1）设备与工器具的智能化、集成化程度不足。目前的旁路装备多为分体式，体积大、重量重，现场组装耗时费力。缺乏集状态感知、自动投切、远程监控于一体的智能化旁路系统，作业效率和安全性有待进一步提升。（2）标准规范体系尚不健全。虽然已有部分行业标准，但在具体作业工艺、装备性能参数、安全距离、风险评估等方面，缺乏统一、细化、可量化的国家标准或国际标准，导致不同地区、不同单位的操作水平参差不齐，存在安全隐患。（3）对作业人员的综合技能要求极高。电缆不停电作业是一项高风险、高技术含量的工作，要求作业人员不仅要有扎实的理论功底，还要有丰富的实操经验和临场应

变能力。高水平人才的培养周期长、成本高，成为制约技术普及的瓶颈。(4)成本效益平衡问题。相比于简单的停电作业，不停电作业需要投入昂贵的专用装备和更多的人力资源，单次作业成本显著增加。如何科学评估其带来的社会效益(如减少停电损失、提升企业形象)并与直接成本进行平衡，是电网企业决策时需要考虑的重要因素。

4 未来发展趋势与对策建议

4.1 技术发展趋势

一是装备智能化与模块化：未来的旁路系统将集成传感器、通信模块和智能控制器，能够实时监测电流、温度、绝缘状态等参数，并支持远程遥控和自动故障诊断。装备设计将趋向轻量化、模块化，便于快速部署和收纳。二是机器人化与自动化作业：随着人工智能和机器人技术的发展，有望出现能够在地下管廊或狭窄空间内自主完成电缆剥切、连接器安装等高危、高精度作业的特种机器人，从根本上降低人身安全风险^[4]。三是数字孪生与仿真预演：在作业前，利用数字孪生技术构建作业现场的虚拟模型，对整个作业流程进行全要素、全流程的仿真预演，提前发现潜在风险，优化作业方案，提高一次成功率。

4.2 对策与建议

(1)加强顶层设计与标准引领：国家层面应加快制定和完善电缆不停电作业的技术标准、安全规程和评价体系，为行业的规范化、高质量发展提供制度保障。

(2)加大研发投入与协同创新：鼓励电网企业、科研院所和装备制造企业联合攻关，重点突破核心装备的国产化、智能化瓶颈，降低应用成本。(3)构建专业化人才培养体系：建立国家级或区域级的电缆不停电作业实训基地，开发标准化的培训课程和考核认证体系，打造一

支技术精湛、作风过硬的专业化队伍。(4)探索合理的成本分摊与激励机制：政府和监管机构可考虑将供电可靠性指标与电价或补贴政策挂钩，激励电网企业加大对不停电作业技术的投入；同时，也可探索向受益的大用户提供有偿的不停电接入服务，形成良性的商业模式。

5 结语

电缆不停电技术是现代配电网迈向高可靠性、高服务水平的必由之路。它通过巧妙的“隔离—转移—作业—恢复”技术路径，成功破解了电缆线路运维中“保供电”与“搞检修”的固有矛盾，实现了用户“无感”状态下的电网升级与维护。本文系统梳理了该技术的内涵、体系、主要应用模式，并客观分析了其在设备、标准、人才和成本方面面临的挑战。展望未来，随着智能装备、机器人技术和数字化平台的深度融合，电缆不停电技术将迎来新一轮的变革与飞跃。通过加强顶层设计、推动技术创新、夯实人才基础并完善市场机制，我们有理由相信，这项技术将在构建世界一流城市配电网、服务国家经济社会高质量发展中发挥更加不可替代的关键作用，最终让“不停电”成为常态，让“优质电”惠及万家。

参考文献

- [1]叶少帅,张云相.配网带电作业中电缆不停电技术的应用研究[J].云南电力技术,2024,52(05):24-26+36.
- [2]黄伟秀.配网带电作业中电缆不停电技术的应用研究[J].电子测试,2022,36(14):103-105.
- [3]张森.配网带电作业中电缆不停电技术的应用研究[J].技术与市场,2021,28(06):121-122.
- [4]秦文川.电缆不停电技术在配网带电作业中的应用分析[J].中国科技投资,2021,(14):108-109.