

目前输电线路带电作业工器具研究和使用的现状

李圣乾

国网泰安供电公司 山东 泰安 271000

摘要：本文综述了输电线路带电作业工器具的研究和使用情况。在研究方向上，重点探讨了轻量化与高强度材料、智能化与自动化技术、多功能一体化设计以及环保与可持续发展。关键技术包括绝缘技术、机械性能技术、电气连接技术和人机工程等技术。使用规范涉及检查与试验、操作方法、安全防护措施和维护保养。这些内容对于确保带电作业的安全和效率至关重要。

关键词：输电线路；带电作业；工器具研究；使用

引言

输电线路带电作业工器具在电力行业中扮演着关键角色，其性能和使用规范直接影响作业安全和效率。随着技术进步，工器具研究不断深入，从材料选择到设计制造，再到使用维护，每个环节都需精心考量。本文旨在全面梳理输电线路带电作业工器具的研究现状、关键技术和使用规范，为行业发展提供参考。

1 输电线路带电作业工器具的研究方向

1.1 轻量化与高强度材料研究

输电线路带电作业工器具研究在材料领域聚焦轻量化与高强度方向。传统带电作业工器具因重量大、携带不便，给作业人员造成较大体力负担，研究轻量化且高强度材料迫在眉睫。碳纤维复合材料凭借密度小、强度高、耐腐蚀等特性，在带电作业工器具制造中展现出显著优势，将其应用可大幅减轻工器具重量，提升作业人员操作灵活性。此外，新型合金材料研究也在持续推进。通过深入研究合金成分，精确调整各元素比例，优化制备工艺，如采用先进的铸造、锻造、热处理等技术，能够有效改善材料的微观结构，进而提高材料的力学性能，如强度、韧性等，同时提升电气性能，如绝缘强度、导电性等，这些新型材料为带电作业工器具提供了更可靠的材料支撑，有助于推动带电作业工器具向更高效、更安全的方向发展。

1.2 智能化与自动化技术研究

在智能化方面，重点聚焦开发具备智能传感功能的工器具，通过在工器具中集成多种传感器，可实时精准获取作业过程中的关键参数，涵盖电压、电流、温度等。这些传感器能将采集到的数据及时、准确地传输给作业人员或监控系统，使相关人员能够实时掌握作业状态，快速发现潜在安全隐患，提前采取应对措施，保障作业安全。自动化技术则侧重于自动化作业设备的研

发。自动攀爬机器人是其中的典型代表，它具备自主攀爬输电线路的能力，可按照预设程序到达指定作业位置，执行相关作业任务。智能绝缘操作杆也取得一定进展，能依据作业需求自动调整操作角度和力度。这些自动化作业设备能够替代人工完成部分危险或复杂的作业任务，降低作业人员的劳动强度和安全风险，同时自动化作业设备操作精度高、稳定性好，可有效提高作业效率和质量，推动带电作业向智能化、自动化方向迈进^[1]。

1.3 多功能一体化设计研究

在带电作业领域，为提升作业效率与便捷性，多功能一体化设计成为工器具研究的关键方向。传统带电作业中，作业人员需携带多种功能单一的工器具，这不仅增加了携带负担，还使作业流程复杂化，而多功能一体化设计旨在打破这一局限，将多种功能整合于一个工器具上。以多功能绝缘操作杆为例，其集成了绝缘、测量、操作等多种功能。绝缘功能确保作业人员与带电体有效隔离，保障作业安全；测量功能可实时获取电压、电流等参数，为作业提供数据支持；操作功能则能完成线路的搭接、紧固等任务。作业人员只需携带这一工器具，即可完成多种作业，大大减少了工器具携带数量，降低了作业复杂度。而且多功能一体化设计还能对工器具的结构和布局进行优化。通过合理规划各功能模块的位置和连接方式，提高工器具的整体性能。

1.4 环保与可持续发展研究

(1) 在材料选择方面，应注重环保材料的应用，优先采用可降解或可回收的材料制造工器具。可降解材料在自然环境中能够逐渐分解，不会长期残留对环境造成污染；可回收材料则可经过处理后再次利用，减少资源浪费，降低新材料开采对环境的破坏。(2) 在工器具设计与制造过程中，要全面考虑能源节约与效率提升。通过优化工艺流程，减少不必要的生产环节，降低能源

消耗。(3)还应关注生产过程中的碳排放问题,采取有效措施降低碳排放量,如推广使用清洁能源,减少对传统化石能源的依赖;优化运输方案,降低物流环节的碳排放。通过这些举措,实现带电作业工器具在全生命周期内的环保与可持续发展,为构建绿色、低碳的电力作业环境贡献力量,推动整个行业向更加环保、高效的方向迈进。

2 输电线路带电作业工器具的关键技术

2.1 绝缘技术

工器具设计与制造环节,必须选用先进绝缘材料并运用合适绝缘工艺。先进绝缘材料是保障绝缘性能的基础,高绝缘性能的环氧树脂、硅橡胶等材料常被用于制作绝缘部件。环氧树脂具有优良的电气绝缘性、机械强度和耐化学腐蚀性;硅橡胶则具备优异的耐高低温、老化及憎水性能,能有效适应复杂作业环境。合理结构设计能优化电场分布,减少局部电场集中,提高绝缘部件的电气强度。加工工艺也至关重要,精确的成型、固化等工艺可保证绝缘部件的尺寸精度和内部质量。完成设计与制造后,需对工器具绝缘性能开展严格检测和试验^[2]。检测内容包括绝缘电阻、介质损耗因数等电气性能指标,以及外观质量、尺寸偏差等,试验涵盖耐压试验、局部放电试验等,模拟实际作业中的高电压环境,检验绝缘部件的耐受能力。

2.2 机械性能技术

带电作业工器具在作业时承受拉力、压力、扭矩等机械载荷,良好的机械性能是其稳定工作的基础,能避免作业中出现断裂、变形等故障。设计制造阶段,合理结构设计和材料选择是提升机械性能的关键,结构设计上要依据工器具的使用场景和受力特点,优化各部件形状、尺寸及连接方式,对于承受较大拉力的部件,可采用加强筋、增厚壁厚等设计,增强其抗拉能力。材料选择方面,要综合考虑材料的强度、韧性、硬度等机械性能指标。高强度合金钢具有出色的抗拉、抗压性能,适用于制造承受重载的工器具部件;铝合金则具有重量轻、强度适中的特点,可用于对重量有要求的工器具。完成设计制造后,需对工器具进行严格的机械性能检测和试验,拉伸试验可以测定材料在拉伸载荷作用下的强度和塑性;弯曲试验能检验材料抵抗弯曲变形的能力;扭转试验则用于评估材料承受扭矩的性能。

2.3 电气连接技术

一方面,可靠的连接方式是建立良好电气连接的基础,压接连接通过专用压接工具,对连接部位施加足够压力,使导体与工器具紧密结合,降低接触电阻,保证

电流稳定传输。其操作简便,连接强度高,适用于多种规格导线和工器具的连接。焊接连接则利用高温使导体与工器具金属熔化融合,形成牢固的电气连接,具有连接电阻小、导电性能好的优点,尤其适用于对电气连接质量要求极高的场景。另一方面,在完成电气连接后,严格的检测和试验不可或缺。接触电阻测试能准确测量连接部位的电阻值,判断连接是否紧密,若接触电阻过大,会导致局部发热,影响作业安全。绝缘电阻测试用于检测连接部位与周围环境的绝缘情况,防止漏电事故发生。

2.4 人机工程学技术

从工器具物理属性看,其形状、尺寸和重量要契合人体工程学。形状设计要贴合人体手部自然形态,使作业人员握持时手掌、手指受力均匀,避免局部压力过大造成不适。尺寸设计要兼顾不同作业人员手部大小差异,确保多数人能舒适操作,重量控制需合理,过重会增加作业人员体力负担,过轻则可能影响操作的稳定性和精准度。而且设计还要考量作业人员操作习惯与作业环境。操作方式要符合日常操作逻辑,如常用操作动作应设置在便于发力的位置,减少不必要的手部移动和姿势调整。控制界面布局要清晰,功能按键、显示屏等的位置和标识要易于识别和操作。针对不同作业环境,工器具设计要有相应适应性调整,如在寒冷环境中,可增加防滑、保暖设计,通过这些优化设计,能有效减少作业人员疲劳和误操作,使其在长时间作业中保持良好状态,提高带电作业的安全性和效率。

3 输电线路带电作业工器具的使用规范

3.1 使用前的检查与试验

检查工作需细致入微,涵盖外观、绝缘性能和机械性能等方面。外观检查要仔细查看工器具表面,查看是否有裂纹、磨损、变形等损坏或缺陷迹象,确保其整体结构完整。绝缘性能检查关乎作业人员生命安全,需确认绝缘部件无破损、老化,绝缘层厚度符合标准。机械性能检查则关注工器具各部件连接是否牢固,活动部件是否灵活,有无卡滞现象。试验环节同样不可或缺,分为电气试验和机械试验。电气试验中,绝缘电阻测试能检测工器具绝缘性能是否达标,耐压试验可模拟高电压环境,检验其绝缘耐受能力。机械试验里,拉伸试验用于测定工器具承受拉力的能力,弯曲试验则检验其抵抗弯曲变形的性能,只有通过全面检查和严格试验,确认工器具无损坏、无缺陷,各项性能指标均符合相关标准和要求,才能投入使用^[3]。

3.2 正确的操作方法

作业人员使用带电作业工器具时，严格遵循操作规程是保障作业安全与质量的前提。使用前，作业人员需全面熟悉工器具性能、使用方法及注意事项。了解工器具性能可明确其适用场景与作业能力，掌握使用方法能确保正确操作，知晓注意事项则能提前规避风险。操作过程中，作业人员要始终保持高度注意力，全身心投入作业，避免因分心导致误操作，带电作业环境复杂，一个小小的疏忽都会引发严重后果，所以集中注意力至关重要。作业人员还需留意工器具的使用范围和限制条件。每种工器具都有其特定的使用场景和承载能力，不得超范围使用，如果超出规定范围，工器具可能无法正常发挥作用，甚至引发故障，危及作业人员生命安全，严格遵守操作规程，熟悉工器具相关情况，集中注意力操作，并遵守使用范围和限制条件，才能确保带电作业安全、高效进行。

3.3 安全防护措施

一是作业人员需穿戴合格绝缘防护用具，这是抵御电击伤害的关键防线。绝缘手套能隔离手部与带电体，防止电流通过手部造成伤害；绝缘靴可防止脚部触电，同时起到防滑等作用；绝缘服则能全面包裹身体，降低身体其他部位触电风险。这些防护用具应符合相关标准，定期进行检查和维修，确保其绝缘性能良好。二是设置安全监护人，监护人要具备丰富带电作业经验和专业知识，对作业过程进行全程监护。在作业中，监护人需密切关注作业人员操作情况，及时发现并纠正不规范行为，处理突发安全隐患，确保作业按规程进行。三是作业现场还应设置明显安全警示标志，以警示无关人员。标志要清晰、醒目，包含禁止进入、高压危险等信息，防止无关人员误入作业区域，避免因不知情而发生触电事故。

3.4 使用后的维护与保养

(1) 清洁环节，要使用干净柔软的布仔细擦拭工器具表面，去除灰尘和污垢。不可使用腐蚀性清洁剂，因其可能对工器具材料造成损害，影响其性能和结构稳定

性。比如，腐蚀性清洁剂可能腐蚀金属部件表面，降低其机械强度；也可能破坏绝缘部件的绝缘层，导致绝缘性能下降。(2) 对于绝缘部件，要定期开展绝缘性能检测，绝缘性能直接关系到作业安全，若检测发现其性能下降，需及时修复或更换。修复可采用专业绝缘处理工艺，恢复其绝缘能力；若无法修复或损坏严重，则必须更换新的绝缘部件。(3) 存放时要将工器具置于干燥、通风、清洁的专用库房^[4]。干燥环境可防止工器具受潮，避免因水分侵入导致电气性能降低或金属部件生锈；通风良好能减少库房内湿气积聚，降低霉菌滋生风险；清洁环境可防止灰尘等杂质对工器具造成污染，同时要避免工器具受热和受压，防止其变形或损坏，确保工器具始终处于良好状态。

结语

综上所述，输电线路带电作业工器具的研究和使用是一个多维度、跨学科领域。从材料的创新到智能化技术的应用，从多功能设计到环保理念的融入，每一步的进步都为电力行业的安全和效率带来了显著提升。正确的使用规范和维护保养更是保障工器具性能和延长使用寿命的关键。未来，随着技术的不断进步，我们期待带电作业工器具能够更加智能化、环保化，为电力行业的发展作出更大贡献。

参考文献

- [1]唐崇旺,曾文远,汪志刚,等.输电线路耐张塔更换第一片绝缘子工器具的研制[J].机电信息,2022(2):24-28.
- [2]陶留海,孙超,李雪奎,等.±1100kV特高压直流输电线路带电作业实用化技术研究[J].中国电机工程学报,2020,40(z1):134-139.
- [3]刘毅,李国栋.高压输电线路带电作业安全管理探析[J].百科论坛电子杂志,2022(21):61-63.
- [4]李斌,王鹏.带电安装500kV紧凑型输电线路覆冰在线监测装置专用工具的研究与应用[J].云南电力技术,2024,52(5):50-52,56..