

特高压输电线路带电作业智能化技术与装备发展

赵 强

南方电网超高压输电公司昆明局 云南 昆明 650000

摘 要：特高压输电线路带电作业是保障电力系统稳定运行的关键技术。随着智能化技术的快速发展，带电作业正逐步向自动化、远程化、智能化转型。无人机机器人在巡检、检测及维修中的应用日益广泛，显著提高了作业效率和安全性。同时，智能感知、监测、决策与防护技术的融合应用，为带电作业提供了全方位的安全保障。未来，技术创新与产业链协同将推动带电作业智能化技术与装备的持续升级与发展。

关键词：特高压输电线路；带电作业；智能化技术；装备发展

引言：随着全球能源需求的不断增长和电力工业的快速发展，特高压输电线路作为电力传输的重要组成部分，其安全稳定运行对于保障国家能源安全 and 经济发展至关重要。近年来，智能化技术各个领域取得了显著进展，为特高压输电线路带电作业提供了新的发展机遇。本文旨在探讨特高压输电线路带电作业智能化技术与装备的发展现状、技术特点、应用前景及面临的挑战，以期为相关领域的科研人员和工程技术人员提供参考和借鉴。

1 特高压输电线路带电作业概述

1.1 特高压输电线路的定义与特点

特高压输电是特殊输电方法的一种，指在500kV交流输电和±500kV直流输电的等级之上，采用更高一级电压等级的输电技术。其特点如下：（1）电压等级与输送容量。特高压输电包括±800kV及以上的直流特高压和1000kV及以上的交流特高压两个部分。特高压输电技术具有输送容量大的特点，100万伏交流特高压输电线路输送电能的能力是50万伏超高压输电线路的5倍。（2）输电距离与线路走廊宽度。特高压输电技术适合大功率、远距离输电，并且线路走廊窄。其经济输送距离可达1000~1500公里甚至更长，有利于解决西部能源往中东部地区输送的问题。并且，建设相同输送能力的特高压线路走廊所占用的土地只相当于超高压线路走廊的一部分，对土地资源稀缺的中东部地区尤其有利。（3）绝缘要求与过电压抑制技术。特高压输电线路杆塔高、塔头尺寸大、导线分裂数多，因此对工器具的机械、电气性能提出更高要求。需要解决研制基于新材料的软质、轻质、高强的工器具等技术难题。

1.2 带电作业的基本原理与技术要求

带电作业是在电气设备带电的状态下进行的检修、安装、调试、改造及测量等工作。特高压输电线路带电

作业原理及技术要求如下：（1）带电作业的安全距离与组合间隙。带电作业的关键技术参数主要包括最小安全距离、最小组合间隙等。这些参数需综合考虑线路杆塔结构、系统参数、实际作业位置及线路走廊海拔高度等，并通过实验方法获取。（2）工具参数选择与绝缘性能要求。带电作业工器具主要包括绝缘工器具、金属工器具和检测工器具，其绝缘性能必须大于系统可能发生的最大过电压值。（3）操作人员安全防护措施。特高压输电线路带电作业具有更高的安全防护要求，包括穿戴符合国家标准的绝缘防护用品、使用绝缘工具、保持足够的安全距离等措施。

2 特高压输电线路带电作业智能化技术

2.1 智能感知与监测技术

智能感知与监测技术是特高压输电线路带电作业智能化的基础。它利用先进的传感器和监测设备，实时收集线路、电场、温度以及作业人员的相关信息，为智能决策提供数据支持。（1）线路状态监测与故障诊断：通过安装在线路上的各类传感器，实时监测线路的振动、张力、弧垂等状态参数，及时发现线路老化、损伤等潜在问题。结合大数据分析技术，可以对线路状态进行精准评估，预测故障发生概率，为维修决策提供科学依据。（2）电场强度与温度分布监测：电场强度和温度是反映线路运行状态的重要指标。利用高精度电场传感器和温度传感器，可以实时监测线路周围的电场强度和温度变化，有效预防因电场强度过高或温度过高引发的安全事故^[1]。（3）作业人员生命体征与行为监测：通过穿戴式设备，如智能手环、安全帽等，实时监测作业人员的心率、血压、体温等生命体征，以及作业过程中的行为轨迹、动作姿态等。一旦发现异常情况，系统将立即发出预警，确保作业人员的人身安全。

2.2 智能决策与辅助作业技术

智能决策与辅助作业技术基于大数据和机器学习算法,为带电作业提供智能化决策支持和作业辅助。(1)基于大数据与机器学习的故障预测:通过对历史故障数据的挖掘和分析,构建故障预测模型,实现对线路故障的精准预测。这不仅可以提前制定维修计划,减少非计划停电,还可以提高维修效率,降低维修成本。(2)作业方案自动生成与优化:根据线路状态监测结果和故障诊断信息,智能决策系统可以自动生成带电作业方案,并根据实际情况进行实时优化。这可以确保作业方案的科学性、合理性和安全性。(3)远程操控与虚拟现实辅助作业:利用远程操控技术和虚拟现实技术,作业人员可以在安全的环境下进行模拟操作,提高操作技能水平。同时,远程操控技术还可以实现作业现场的实时监控和远程指挥,进一步提高作业效率和安全性。

2.3 智能防护与应急处理技术

智能防护与应急处理技术是保障带电作业安全的重要措施。它包括动态安全防护屏障技术、紧急情况下的自主避险与逃生机制以及智能应急处理装备与救援系统等。(1)动态安全防护屏障技术:利用智能感知和监测技术,实时监测作业现场的环境变化和安全隐患,一旦检测到危险情况,立即启动动态安全防护屏障,隔离危险区域,保护作业人员免受伤害。(2)紧急情况下的自主避险与逃生机制:为作业人员配备智能避险装备,如智能安全绳、逃生滑轨等。在紧急情况下,这些装备可以自动启动,帮助作业人员迅速逃离危险区域^[2]。(3)智能应急处理装备与救援系统:配备智能应急处理装备,如无人机、机器人等,可以在紧急情况下迅速响应,进行故障排查、救援作业等。同时,建立智能救援系统,实现救援资源的快速调度和高效利用。

3 特高压输电线路带电作业智能化装备

3.1 无人机与机器人带电作业装备

无人机与机器人在特高压输电线路带电作业中发挥着重要作用,它们能够执行巡检、检测、维修等多种任务。(1)无人机在带电巡检与作业中的应用:无人机具有机动性强、操作灵活、作业范围大等特点,成为特高压输电线路带电巡检的理想选择。无人机搭载高清摄像头、红外传感器等设备,可以对线路进行精细巡检,及时发现线路老化、损伤等问题。此外,无人机还可以搭载小型维修工具,对线路进行简单的维修作业,如更换绝缘子、清除鸟巢等。(2)机器人带电作业装备的研发与功能特点:随着技术的不断进步,机器人带电作业装备的研发也取得了显著进展。这些机器人能够在复杂的线路上自主移动,进行精确的带电作业。它们具有结构

紧凑、重量轻、操作灵活等特点,能够适应不同线路环境的作业需求。同时,这些机器人还具备智能识别、自主导航、精准作业等功能,极大地提高了带电作业的安全性和效率^[3]。(3)无人机与机器人的协同作业机制:无人机与机器人在特高压输电线路带电作业中可以形成协同作业机制,共同完成任务。无人机负责线路巡检和远程监测,机器人则负责具体的带电作业。两者通过信息共享和实时通信,实现协同作业,提高作业效率和质量。

3.2 智能绝缘操作工具与防护装备

智能绝缘操作工具与防护装备是保障带电作业人员安全的重要措施。(1)高性能绝缘材料的研发与应用:高性能绝缘材料的研发为智能绝缘操作工具的设计提供了有力支持。这些材料具有优异的绝缘性能、耐高温性能和抗老化性能,能够在恶劣的带电作业环境中保持稳定的性能。(2)智能绝缘操作工具的设计与优化:基于高性能绝缘材料,智能绝缘操作工具的设计得到了不断优化。这些工具具有结构简单、操作方便、安全可靠等特点,能够满足不同带电作业的需求。同时,通过智能化技术的应用,这些工具还具备实时监控、故障诊断等功能,进一步提高了作业的安全性和可靠性。(3)防护装备的智能化改造与升级:传统的防护装备在带电作业中起到了重要的保护作用,但随着智能化技术的发展,这些装备也需要进行智能化改造和升级。例如,通过集成传感器和智能控制系统,防护装备可以实时监测作业人员的生命体征和环境变化,及时发出预警信号,确保作业人员的安全^[4]。

3.3 智能检测与维修装备

智能检测与维修装备是特高压输电线路带电作业中不可或缺的工具。(1)在线检测与维修机器人的研发:在线检测与维修机器人能够在不中断电力供应的情况下对线路进行检测和维修。这些机器人具有高精度、高效率、高可靠性等特点,能够准确识别线路故障并进行快速修复。(2)智能检测与维修装备的功能与应用案例:智能检测与维修装备不仅具备高精度的检测能力,还融入了智能化、自动化的操作功能。例如,这些装备能够自主导航到指定的作业位置,通过集成的摄像头、传感器等设备对线路进行全方位、多角度的检测。同时,它们还能根据检测结果自动生成维修方案,并进行精准的作业操作。(3)检测与维修装备的数据处理与分析技术:智能检测与维修装备不仅具备强大的检测与维修能力,还融入了先进的数据处理与分析技术。通过集成的大数据平台、机器学习算法等,这些装备能够实时收集、存储和分析线路运行数据,为线路的运维管理提供

科学依据。

4 特高压输电线路带电作业智能化技术与装备的发展前景

4.1 技术创新趋势与研究方向

(1) 人工智能与大数据技术在带电作业中的应用前景。随着人工智能和大数据技术的飞速发展,它们在特高压输电线路带电作业中的应用前景愈发广阔。通过集成先进的人工智能算法和大数据分析平台,带电作业装备能够实现更加精准的检测、预测和决策。例如,利用深度学习算法对线路运行数据进行挖掘和分析,可以预测线路的故障趋势,提前制定维修计划,从而大大降低故障发生的可能性。同时,大数据技术还可以帮助电力企业优化资源配置,提高运维效率^[5]。(2) 新型绝缘材料与智能化装备的研发趋势。新型绝缘材料的研发是推动带电作业智能化装备发展的关键。这些材料不仅具备更高的绝缘性能和耐候性,还能够适应更加复杂多变的作业环境。随着材料科学的不断进步,未来将有更多高性能、低成本的绝缘材料被应用到带电作业装备中。此外,智能化装备的研发也将更加注重人机交互和远程操控功能,使操作人员能够在安全距离外对装备进行精准操控,进一步降低作业风险。(3) 无人机与机器人技术的融合与创新。无人机与机器人技术的融合将成为带电作业智能化装备发展的重要趋势。通过集成先进的传感器、控制器和执行器,无人机和机器人可以实现更加协同、高效的作业。例如,无人机可以负责高空巡检和作业前的准备工作,而机器人则负责具体的线路检测和维修工作。这种融合不仅提高了作业效率,还进一步降低了人力成本和安全风险。

4.2 产业发展与政策环境分析

(1) 国内外带电作业智能化装备市场概况。当前,国内外带电作业智能化装备市场呈现出快速增长的态势。随着电力行业的发展和技术的进步,越来越多的电力企业开始重视带电作业智能化装备的研发和应用。这些装备在提高作业效率、降低安全风险等方面具有显著优势,因此市场需求不断增长。同时,国内外众多知名企业也纷纷涉足这一领域,推动了市场的繁荣和发展。

(2) 相关政策与法规对智能化技术与装备发展的影响。相关政策与法规对带电作业智能化技术与装备的发展具有重要影响。一方面,政府出台了一系列鼓励科技创新和产业升级的政策,为智能化技术与装备的研发提供了有力支持;另一方面,针对带电作业的安全规范和标准也逐步完善,为智能化装备的应用提供了法律保障。这些政策与法规的出台,有力推动了带电作业智能化技术与装备的快速发展。(3) 产业链协同与跨界融合的发展机遇。产业链协同与跨界融合为带电作业智能化技术与装备的发展带来了新机遇。通过加强产业链上下游企业的合作与交流,可以推动技术创新和产业升级;同时,跨界融合也能够带来新的技术和商业模式,为带电作业智能化技术与装备的发展注入新的活力。例如,将物联网、大数据等技术与带电作业相结合,可以构建更加智能、高效的运维管理体系。

结束语

综上所述,特高压输电线路带电作业智能化技术与装备的发展是电力行业技术创新的重要方向。随着智能化、自动化技术的不断融合与应用,带电作业的效率 and 安全性将得到大幅提升。未来,我们应继续加强技术研发与创新,推动智能化技术与装备的持续优化与升级,为电力行业的高质量发展贡献力量。同时,加强国际合作与交流,共同推动特高压输电线路带电作业智能化技术的全球发展。

参考文献

- [1] 王玉.交流特高压输电线路运行维护现状综述[J].电子测试,2020,(12):135-136.
- [2] 黄富源.浅议特高压交流输电线路的运行维护与带电作业[J].通讯世界,2020,(13):176-177.
- [3] 黄国铨.特高压交流输电线路的运行维护与带电作业[J].中国新技术新产品,2021,(04):33-34.
- [4] 刘志强.特高压交流输电线路的运行维护与带电作业[J].科技风,2021,(02):17-18.
- [5] 孙忠慧,王惠中.浅谈特高压交流输电线路运行维护及带电作业[J].科技与企业,2020,(17):193-194.