

输电线路智能带电检修关键技术研究

耿春杰

国网临汾供电公司

摘要:随着电力系统规模的不断扩大和技术水平的提升,输电线路的安全运行和及时维护成为确保电力系统稳定运行的重要环节。传统的线路检修往往需要停电作业,影响用户正常用电,同时也存在一定的安全风险。为了解决这一问题,智能带电检修技术逐渐受到关注。通过引入先进的智能装备,可以在保障带电状态下完成线路的检修和维护,提高了电力系统的可靠性和运行效率。

关键词:输电线路;智能带电检修;关键技术

【DOI】10.12252/j.issn.2096-627X.2023.03.106

引言

近年来,随着科技的进步,智能带电检修技术逐渐崭露头角,它能够实现在输电线路带电状态下进行检修,大大提高了检修效率,降低了安全风险。然而,智能带电检修技术的研究和应用还处于初级阶段,存在许多关键技术需要进一步研究和解决。据统计,我国输电线路的总长度已经超过100万公里,其中高压输电线路占比较大。这些输电线路的运行状态直接影响到电力系统的稳定运行和电能的有效传输。然而,由于输电线路的特殊性,其检修工作难度大,风险高,对技术人员的要求也较高。因此,如何提高输电线路的检修效率和安全性,降低检修成本,成了电力行业亟待解决的问题。

一、输电线路带电检修的需求分析

带电检修作为一项重要的电力系统维护工作,对于不间断供电和电网运行的稳定性至关重要。本节将对架空线路、电力电缆和GIL等不同类型的输电线路进行需求分析,以全面了解带电检修的操作条件和要求。

(一) 架空线路的操作条件和带电维修的要求

架空线路是电力传输中常见的一种形式,其操作条件受到气候、地形等多方面因素的影响。带电维修对于架空线路具有重要意义,因为传统的停电检修会对用户造成不便。因此,需要在不停电的情况下进行带电维修,确保电网的连续供电。此时,带电维修工作人员需要具备高度的技术水平和安全意识,以适应不同气候和地形条件下的工作环境。

(二) 电力电缆的工作环境和带电维修的要求

电力电缆作为输电线路的一种形式,在城市和地下环境中广泛应用。电缆线路的工作环境相对封闭,且受到地下管道、交通等因素的制约。带电维修需要克服空间狭窄、通风不良等困难,确保在不影响周围环境的情况下完成线路的检修。对于电缆线路的带电维修,除了技术要求外,还需要具备对环境的适应能力和高度的协同合作精神。

(三) GIL的工作环境和设备维护要求

GIL(气体绝缘输电线路)作为一种高压输电线路

形式,其工作环境相对封闭且涉及气体绝缘。带电维修对于GIL线路的设备维护具有重要意义,因为传统的检修方法可能涉及设备的停用,影响电网的正常运行。带电维修需考虑GIL的气体绝缘特性,确保在高压环境下进行安全有效的设备维护,提高线路的可靠性和运行效率。

二、输电线路智能带电检修装备

为满足带电检修的需求,现代技术为输电线路提供了多种智能化的带电检修装备。这些装备不仅能够提高带电检修的效率,还能确保在保持线路运行的同时进行必要的维护工作。

(一) 电力无人机

电力无人机是一种灵活、高效的带电检修工具。它能够飞越架空线路,实时监测线路的状态,进行检查和维护工作。电力无人机配备各种传感器和摄像设备,可对线路的外观和设备进行全面的检测。此外,无人机还能够携带相应的工具,执行简单的维修任务,如更换绝缘子等。

(二) 架空线路机器人

1. 导线机器人

导线机器人是专为架空线路设计的智能带电检修装备。它能够沿着输电线路移动,执行检查和修复任务。导线机器人通常具备足够的机动性和抓握能力,可以在输电线路自由移动,实现对导线的实时检测和维护。

2. 绝缘子机器人

绝缘子机器人专注于维护输电线路上的绝缘子设备。它们配备先进的视觉系统和机械臂,能够在带电状态下检查和更换绝缘子。这种机器人可以灵活操作,减轻了维护人员的工作负担,提高了维修效率。

3. 车载式机器人

车载式机器人是一种能够在输电线路移动的智能装备。它们通常搭载在专用车辆上,通过遥控或自主导航完成检修任务。这些机器人具备足够的稳定性和承载能力,可以在不同地形和环境执行多样化的带电检修工作。

（三）电力电缆机器人

电力电缆机器人是专门设计用于电力电缆的智能带电检修装备。由于电缆通常布设不同环境下，包括陆地和水中，因此电力电缆机器人分为陆地电缆机器人和水中电缆机器人，以满足不同工作环境的需求。

1. 陆地电缆机器人

陆地电缆机器人是为在陆地环境下进行电缆维护而设计的智能机器人。这些机器人通常配备有足够的机动性，可以在各种地形条件下自由移动。其任务包括对陆地电缆的外部状况进行检测、定位故障点、进行简单的修复和维护。陆地电缆机器人还可能搭载摄像设备，以提供实时的视觉信息，帮助运维人员进行远程监控和决策。

2. 水中电缆机器人

水中电缆机器人是为在水中环境中进行电缆维护而设计的智能机器人。水中电缆通常铺设在海底，因此维护工作需要专门的水中设备。水中电缆机器人具备防水设计和高度灵活的机动性，能够在水中执行复杂的检修任务。这些任务可能包括定位和修复水中电缆的故障，清理附着在电缆上的污物，以及监测电缆的性能。

（四）GIL机器人

GIL（气体绝缘输电线路）机器人是为适应气体绝缘输电线路环境而设计的智能带电检修工具。其主要任务包括定期监测、设备维护和修复。机器人搭载先进传感器，实时监测线路状态，包括温度、压力等参数，提供全面的线路健康状况反馈。在带电状态下，机器人执行设备维护任务，如更换绝缘体、修复气体泄漏，无须停电，确保电力系统连续供电。设计考虑高压和气体绝缘特性，机器人具备优异的环境适应性，安全稳定地操作于复杂多变的工作环境。GIL机器人的引入不仅提高了线路维护效率，还降低了维护风险，为电力系统的可靠运行提供了创新性解决方案。

三、输电线路智能带电检修关键技术

（一）取能技术

带电状态下的输电线路要求检修设备在执行任务时保持充足的能量，而先进的取能技术通过创新性的设计和应用，显著提升了设备的可靠性和效率。

无线充电技术是取能领域的重要突破之一。通过无线充电技术，设备无须物理连接即可从远距离获取能源，实现了在输电线路带电状态下的连续运行。这一创新不仅提高了带电检修设备的灵活性，还降低了对设备的人工干预，使得维护作业更为便捷。感应充电技术是另一项取能技术的重要进展。通过感应充电，设备只需接近充电设备或充电站，即可实现对能源的无线感应获取，无须直接插接电源。这种技术极大地简化了带电检修设备的能源供应链路，提高了设备的操作灵活性和适

应性。这些先进的取能技术不仅在提供足够能源的同时，还大幅度降低了设备因为充电而需要停机的频率，从而显著提高了带电检修的工作效率。通过在带电状态下实现设备的持续运行，取能技术为电力系统的维护提供了可行而创新的解决方案，为推动智能带电检修技术的进一步发展打开了新的可能性。

（二）控制技术

在智能带电检修中，控制技术的演进是确保设备安全、高效运行的关键所在。先进的控制系统在带电检修设备中的应用，实现了对机器人的高精度控制，使其能够在复杂多变的输电线路环境中执行各类任务。高精度控制系统通过采用先进的控制算法和精密传感器技术，确保机器人能够准确响应操作指令，完成精细化的操作任务。这种技术不仅提高了带电检修设备的操控精度，还为设备在高压带电环境中执行维修任务提供了必要的灵活性。远程遥控技术是控制技术领域的一项创新。通过远程遥控，操作员可以在安全的地方远程监控和操控带电检修设备，无须直接进入高压区域。这种技术的应用不仅提高了操作员的安全性，同时降低了操作风险，使得带电检修任务更为高效、可控。自主导航系统的应用使带电检修设备具备了在不同条件下进行智能化操作的能力。通过搭载先进的传感器和导航算法，设备能够感知周围环境并做出自主决策，实现自主规划和导航。这使得设备能够适应不同的输电线路环境，提高了整个带电检修过程的可控性和安全性。

（三）传感技术

在智能带电检修中，传感技术的应用是确保设备监测和感知环境的关键。先进的传感器系统具备实时获取线路各项数据的能力，包括温度、湿度、振动等多种参数。这为运维人员提供了全面的线路状态信息，有助于及时发现问题，进行精准的维护工作。温度传感技术是其中一项重要的传感技术。通过实时监测输电线路的温度变化，运维人员能够迅速识别潜在的故障点或异常情况。这种及时的温度数据反馈，有助于提前采取措施，避免设备过热导致损坏，确保电力系统的稳定运行。湿度传感技术是对电力电缆工作环境的敏感监测手段。通过实时测量湿度，运维人员可以了解电缆周围环境是否存在潜在的水分渗透问题。及时发现湿度异常可预防电缆绝缘层的受损，防止电力系统因潜在漏电问题而受到影响。振动传感技术用于检测输电线路的振动情况。异常振动可能是由于设备故障、外部干扰或不稳定工作环境引起的。传感器实时监测振动数据，有助于确定异常情况并及时采取纠正措施，维护设备的稳定运行。

（四）导航技术

先进的导航技术通过多种手段实现对带电检修设备的高精度定位，包括全球定位系统（GPS）、惯性导航

系统、激光雷达等。这些技术的综合应用使得设备能够在输电线路复杂的空间结构中实现精准导航，从而执行各类维修和检修任务。全球定位系统（GPS）作为导航技术的先锋，通过卫星信号实现设备的全球定位。在带电检修中，GPS系统为设备提供了高精度的地理位置信息，使得运维人员能够准确掌握设备所处的空间位置，从而更好地规划和执行维修任务。惯性导航系统则通过测量设备的加速度和角速度等信息，实现对设备位置的实时更新。这种导航技术在带电检修中尤为关键，因为它能够在缺乏卫星信号的环境下，如输电线路附近的高楼大厦、树木密集区域等，提供可靠的导航支持。激光雷达技术通过发射激光束并测量其反射时间，实现对周围环境的高精度三维地图构建。这种技术在复杂的输电线路结构中发挥着关键作用，帮助设备准确识别障碍物、维持安全距离，并规遍复杂的维修任务。导航技术的不断进步将为带电检修设备提供更高的自主性和适应性。这意味着设备能够在不同环境条件下实现精准导航，提高整体的工作效率和安全性，为电力系统的维护注入了更为智能和可持续的元素。

（五）防护技术

在智能带电检修领域，防护技术的发展是确保设备在高电压和危险环境下安全运行的关键。先进的防护技术包括了绝缘设计、防爆设计和抗电磁干扰等多方面的应用，为带电检修设备提供了全方位的安全保障。首先，绝缘设计是防护技术中的基础。通过选择高绝缘性能的材料和合理的结构设计，绝缘技术能够有效地隔离设备与高电压环境之间的电场，防止电流流过设备，从而减小电击的风险。这项技术的成功应用确保了带电检修设备在作业中的安全性，为运维人员提供了重要的电气保护。其次，防爆设计考虑到设备在有害气体或潜在的爆炸性环境中的工作安全性。采用防爆设计，带电检修设备能够在危险环境中安全运行，降低了火灾和爆炸的风险。这对于电力系统在各种复杂环境下的应用提供了重要的技术支持，确保了设备的稳定性和可靠性。此外，抗电磁干扰技术的应用也是防护的一部分。在带电检修中，设备可能受到来自输电线路或其他电磁源的干扰，影响设备的正常运行。抗电磁干扰技术通过采用屏蔽和抑制干扰的技术手段，确保设备能够稳定运行，不受外界电磁干扰的影响。这些先进的防护技术的应用，使得带电检修设备能够在高风险环境中安全可靠地工作。通过综合利用绝缘设计、防爆设计和抗电磁干扰技术，电力系统的维护工作能够在复杂多变的条件下顺利进行，为电力系统的可靠性和安全性提供了坚实的保障。

（六）人机交互技术

在智能带电检修领域，人机交互技术的先进应用是保障设备操作高效性和操作员体验的重要方面。这些技

术，如触控屏、语音识别和虚拟现实等，构成了设备与操作员之间高效沟通的桥梁，直接影响着带电检修任务的实施质量和操作员的工作体验。触控屏技术的应用使得操作员能够以直观、便捷的方式与带电检修设备进行交互。通过触摸屏界面，操作员可以直观地操作设备的各项功能，实时地获取设备的状态信息，提高了操作的实时性和准确性。这种直观的交互方式使得操作员能够更快速地响应任务需求，降低了人为因素对任务执行的干扰。语音识别技术为操作员提供了一种更为自然的交互方式。操作员可以通过语音指令来操控设备，而无须通过物理接触。这种无接触的操作方式不仅方便，还减少了操作员与设备接触的机会，降低了潜在的安全风险。虚拟现实技术在人机交互中具有突出的优势。通过搭载虚拟现实设备，操作员可以远程监控和操控设备，获得高度沉浸感的视觉体验。这种远程操控方式降低了操作员在高压、危险环境中的风险暴露，同时提高了操作的便捷性和安全性。人机交互技术的不断发展将为智能带电检修提供更加友好、智能的操控方式。

结束语

通过对架空线路、电力电缆、GIL等工作环境和设备要求的深入分析，我们更好地理解智能带电检修的迫切需求。同时，电力无人机、架空线路机器人、电力电缆机器人和GIL机器人等智能带电检修装备的介绍展示了技术创新在实际应用中的广泛应用。在关键技术方面，我们论述了取能技术、控制技术、传感技术、导航技术、防护技术以及人机交互技术的重要性和应用。这些技术的不断演进，使得带电检修设备能够更智能、更高效地执行任务，为电力系统的维护注入了新的活力。在未来，随着科技的不断发展，我们可以期待更多先进技术的涌现，为输电线路智能带电检修提供更为全面、高效的解决方案。

参考文献

- [1] 张楚谦, 吴嘉琪, 尹玟璇等. 一种升级后的带电更换高压输电线路绝缘子机器人[J]. 电气技术与经济, 2023, (01): 111-113+124.
- [2] 严宇, 刘夏清, 邹德华等. 输电线路带电检修机器人双轴联动控制研究[J]. 高压电器, 2017, 53(11): 92-98.
- [3] 严宇, 邹德华, 刘夏清等. 高压输电线路带电检修机器人的研制[J]. 现代制造工程, 2017, (09): 29-35.
- [4] 江维, 吴功平, 樊飞等. 高压输电线路带电检修机器人作业臂运动优化[J]. 工程科学学报, 2016, 38(11): 1643-1651.
- [5] 刘夏清. 创新智能带电巡检技术服务能源互联网[J]. 中国电力企业管理, 2016, (10): 69-70.