

移动式干冰智能清洗设备在电气原件快速清洗中的应用研究

胡家亮

国家电投内蒙古公司矿山机电设备检修公司，内蒙古 通辽 029200

摘 要： 电气设备在现代工业中起着至关重要的作用，其性能和稳定性直接影响生产效率和产品质量，电气原件作为电气设备的重要组成部分，其表面经常会堆积各种污垢，如灰尘、油脂、积碳等，不仅影响原件的散热性能，还可能导致电气故障。因此，定期清洗电气原件是保证电气设备正常运行的关键，随着科技的进步和环保意识的提高，寻找一种高效、环保、无损的清洗方法成为当前研究的热点。移动式干冰智能清洗设备应运而生，以其独特的清洗原理和显著的清洗效果，广泛应用于电气原件清洗领域。

关 键 词： 移动式干冰智能清洗设备；电气原件；快速清洗；应用研究

Research on the Application of Mobile Dry Ice Intelligent Cleaning Equipment in the Rapid Cleaning of Electrical Components

Hu Jialiang

State Power Investment Inner Mongolia Company mine mechanical and electrical equipment maintenance company, Tongliao, Inner Mongolia 029200

Abstract： electrical equipment plays a vital role in modern industry, its performance and stability directly affect the production efficiency and product quality, electrical original as an important part of electrical equipment, its surface often piled up all kinds of dirt, such as dust, oil, carbon, etc., not only affect the cooling performance of the original, but also may lead to electrical failure. Therefore, regular cleaning of electrical components is the key to ensure the normal operation of electrical equipment. With the progress of science and technology and the improvement of environmental awareness, looking for an efficient, environmental protection, non-destructive cleaning method has become a hot topic of current research. Mobile dry ice intelligent cleaning equipment arises as the historic moment, with its unique cleaning principle and significant cleaning effect, widely used in the field of electrical original cleaning.

Keywords： mobile dry ice intelligent cleaning equipment; electrical components; quick cleaning; application research

引言

伴随工业化进程的加快和电气设备在各行各业的广泛应用，电气原件的清洗显得尤为重要，传统的清洗方法存在效率低、对原有的破坏大等问题。近年来，移动式干冰智能清洗设备以其高效、环保、无损清洗的优势，逐渐在电气原件清洗领域崭露头角，介绍了移动式干冰智能清洗设备的工作原理，分析了其在电气原件快速清洗中的应用优势，并通过具体案例验证了其清洗效果，对该设备未来的发展方向进行了展望。

一、移动式干冰智能清洗设备的工作原理

（一）固体二氧化碳升华现象及能量转换

移动干冰智能清洗设备的核心驱动力来自于固体二氧化碳（干冰）接触常温环境时特有的升华现象，这个过程不仅仅是简单的物质状态转变，还包含着复杂的物理和化学能量转换机制。当干冰颗粒被高压空气加速，以极高的速度撞击350KW 电气原件表

面时，其表面温度迅速下降，导致干冰颗粒的升华过程直接由固态变为气态。在这个转化过程中，干冰颗粒吸收了周围环境的热量，导致局部温度急剧下降，这种低温效应在污垢的脆化和剥落中起着至关重要的作用。^[1]在升华过程中，干冰颗粒吸热，其内部能量结构发生显著变化，从稳定的固态能级变为气态高能级，释放出大量潜热，这种能量转换不仅为清洗提供动力，还巧妙地利用了环境热量，实现了能量的高效利用。升华产生的二氧化碳

作者简介：胡家亮（1994.05-），男，蒙古族，河北省滦县人，大学本科，助理工程师，研究方向：机械专业。

气体体积迅速膨胀，形成高压气流，对污垢有很强的冲刷作用，进一步增强清洗效果，这种能量转换机制不仅使清洗过程更加高效，而且降低了能耗，体现了绿色清洗的理念。^[2]

（二）高速冲击和微爆炸效应的结合及其复杂的动力学分析

当干冰颗粒以超过300 m/s的速度撞击350KW电气原件表面的污垢时，其强大的机械冲击力足以打破污垢与基板之间的粘附，使其与表面分离，这个过程不仅仅是简单的物理碰撞，还涉及到复杂的动力学机制。高速冲击产生的应力波在污垢层中传播，导致污垢结构的破坏和分离，干冰颗粒在撞击瞬间释放的能量，使污垢层在接触面局部变脆，进一步降低其附着力。此外，微爆效应在清洗过程中起着重要的作用，干冰颗粒升华时，其体积的快速膨胀在污垢层内部形成微小的爆炸力，有助于彻底清除基板表面的顽固污垢。微爆效应与干冰颗粒的升华过程密切相关，在升华过程中，干冰颗粒中的气态二氧化碳分子在极短的时间内迅速膨胀，形成高压气团，当这种高压气团与污垢层接触时，会产生强烈的冲刷和剥离作用，从而加速污垢的清除，这种高速冲击和微爆炸效应的结合，使得移动式干冰智能清洗设备在清洗过程中能够全面、均匀、快速地清除污垢。

（三）智能调节和精确清洗的先进技术和算法实现

该系统采用先进的传感器技术和算法实现，可以根据350KW电气原件的材质、污垢的种类和厚度等因素，精确调节干冰颗粒的喷射速度、角度和压力等参数，这种智能调节不仅提高了清洗的准确性和效率，还避免了因参数设置不当而损坏电气原件的风险。智能控制系统的核心在于其强大的数据处理和分析能力，通过内置的传感器，系统可以实时监控清洗过程中的各种数据，如温度、压力、流量等，这些数据实时传输到中央处理器，经过复杂的算法处理和分析，得到最优的清洗参数，这些参数被快速反馈到控制系统，实现干冰颗粒喷射参数的精确调节。^[3]此外，智能控制系统还具有自学习和优化能力，通过积累清洗过程中的数据，系统可以逐步优化其算法和参数设置，提高清洗效率和精度。这种智能控制机制不仅使清洗过程更加高效可靠，而且降低了人工干预的成本和风险。通过智能控制系统的精确控制，移动式干冰智能清洗设备可以实现对电气原件表面的全面、均匀、快速清洗，同时保证清洗质量的一致性和可靠性。

二、移动式干冰智能清洗设备在电气原件快速清洗中的应用优势

（一）高效清洗和立即恢复电气性能

传统的清洗方法往往需要长时间浸泡、刷洗或化学处理，不仅费时费力，还可能对350KW电气原件造成不必要的损坏，干冰清洗，以其独特的物理清洗机理，能在短时间内快速去除污垢，避免对电气原件的任何化学腐蚀或物理损伤。在清洗过程中，干冰颗粒高速撞击电气原件表面，其强大的冲击力能迅速瓦解并剥离污垢，使电气原件表面恢复原有的光滑度，这种高效的清洗方式不仅缩短了清洗周期，而且提高了清洗质量，保证了电气原件清洗后能立即恢复原有的电气性能，这对于需要经常清洗维护的

电气设备来说，无疑是一大优势。^[4]此外，干冰清洗过程中产生的二氧化碳气体升华后会迅速消散，不会留下任何残留物，避免了传统清洗方式中可能存在的二次污染问题，这使得电气部件能够在清洗后立即投入使用，无需额外的处理或等待时间。

（二）环境保护、节能和可持续发展

干冰清洗作为一种物理清洗方法，不依赖于任何化学溶剂和清洗剂，因此不会产生有害的废水、废气和固体废物。这不仅降低了环境污染的风险，也降低了企业的环保成本。同时，干冰清洗过程中产生的二氧化碳气体经过升华后将返回大气，实现资源的循环利用，这符合目前全球倡导的绿色低碳、可持续发展的理念。此外，干冰清洗设备在运行过程中消耗的能源相对较少，不会产生额外的碳排放，对于推动电气行业的绿色转型和可持续发展具有重要意义。

（三）电气部件的精确清洗和保护

移动式干冰智能清洗设备在快速清洗电气原件的同时，还具有精确清洗和保护电气原件的能力，传统的清洗方式往往难以精确控制清洗强度和范围，容易对电气原件造成不必要的损坏，干冰清洗可以通过智能控制系统精确控制干冰颗粒的喷射速度、角度、压力等参数，实现对电气原件表面的精确清洗。^[5]在清洗过程中，干冰颗粒高速撞击电气原件表面，其冲击力能准确作用于污垢层，不会损伤电气原件基板，这种精准的清洗方式不仅提高了清洗质量，还保护了电气原件的完整性和稳定性，这对于需要保持高精度和稳定性的电气设备来说，无疑是一个重要的优势。此外，干冰清洗过程中产生的低温效应也能在一定程度上冷却电气原件表面，有助于降低清洗过程中的热应力，进一步保护电气原件的完整性和可靠性。

（四）适应性强，应用灵活

干冰清洗可以为复杂的电路板、精密的电子原件或大型电气设备提供有效的清洗解决方案，干冰清洗设备的设计小巧轻便，便于携带和移动，使其能够适应各种复杂的清洗环境和场景。同时干冰清洗的清洗范围广，可以清洗各种类型的污垢，如油脂、灰尘、氧化物等，这种广泛的适应性使得干冰清洗设备在电气原件的快速清洗中发挥了最大的作用。^[6]此外，干冰清洗设备还具有智能操作界面和控制系统，操作人员可以轻松掌握设备的运行状态和清洗参数，这种灵活的应用能力不仅提高了清洗效率和质量，还降低了操作难度和成本。

三、移动式干冰智能清洗设备在电气原件快速清洗中的应用路径分析

（一）从人工低效到智能高效的飞跃

在电气制造和维修领域，350KW电气原件的清洗度是保证其高效运行和延长使用寿命的关键因素，传统的人工清洗方式，如溶剂擦拭、高压水枪冲洗等，不仅效率低，而且难以保证清洗质量的一致性，还可能对电气原件造成潜在的损坏，如腐蚀、短路等风险。西门子电气作为全球电气行业的领先企业，面对清洗电气原件的严峻挑战，正在积极寻求创新的解决方案。西门子电气

推出移动式干冰智能清洗设备，标志着其从人工低效清洗向智能高效清洗的跨越，干冰清洗技术利用干冰颗粒在高速冲击下瞬间升华的物理特性，有效剥离电气原件表面的污垢，同时避免化学溶剂残留和水侵入的风险，该技术的引入不仅显著提高了清洗效率，而且保证了清洗质量的一致性和稳定性。以西门子一系列高压开关柜的清洗为例，传统的清洗方式需要大量的人力和时间，很难彻底去除油污和灰尘。^[7]使用干冰清洗技术后，清洗效率提高了近50%，清洗质量明显提升，干冰颗粒的精确喷射确保了电气原件表面的污垢被完全清除，避免了对电气原件的潜在损坏，干冰清洗的环保性也符合西门子电气对可持续发展的承诺。

（二）满足多样化需求的定制解决方案

ABB作为全球电气领域的巨头，其变压器广泛应用于各种工业场景，对清洗技术的要求尤为严格，ABB选择与移动干冰智能清洗设备供应商合作，共同开发变压器清洗定制解决方案，满足不同场景下的清洗需求。在定制解决方案的开发过程中，ABB与设备供应商密切合作，深入分析变压器结构、污垢类型和清洗要求，基于这些分析，设备供应商为ABB定制了干冰清洗设备，包括专门设计的喷嘴和清洗路径规划，这种定制化的解决方案不仅考虑了变压器结构的复杂性，还针对不同类型的污垢设计了不同的清洗策略。^[8]以ABB一台大型变压器的清洗为例，定制化解决方案的实施保证了清洗过程的高效和安全，干冰颗粒的精准注入，有效去除了变压器油箱外的油污和灰尘，避免了对油箱壁的损伤，针对油箱内的油泥和沉积物，定制解决方案采用软性清洗方式，确保油箱的清洗和安全。

（三）智能监控和数据分析优化清洗过程

施耐德电气对其智能工厂中电气原件的清洗提出了更高的智能化要求，在施耐德电气的智能工厂中，移动式干冰智能清洗设备不仅承担了清洗电气原件的任务，还融入了工厂的智能监控系统，实现了清洗过程的智能化管理和优化。随着智能监控系统的引入，清洗过程中的关键参数，如干冰用量、清洗时间、清洗效果等，被实时采集并上传至云端。施耐德电气的数据分析团队利用这些数据不断优化清洗过程，例如，通过分析干冰用量与清洗

效果的关系，团队发现适当的干冰用量可以保证清洗效果，降低成本，基于这一发现，该团队调整了清洗设备，以实现对于冰消耗量的精确控制。^[9]此外，智能监控系统还能及时发现和预警潜在的清洗问题，比如当清洗设备出现故障或者清洗效果不达标时，系统会立即发出预警信号，提醒操作人员及时处理，该功能的实现保证了电气原件的清洗质量始终保持在最高水平，也提高了清洗设备的可靠性和稳定性。

（四）践行环保与可持续发展理念

在电气行业，环保和可持续发展已成为不可逆转的趋势，通用电气作为全球知名的电气设备制造商，积极响应这一趋势，将移动式干冰智能清洗设备作为其绿色清洗战略的重要组成部分。干冰清洗作为一种物理清洗方式，不产生任何有害废弃物，干冰颗粒在清洗过程中直接升华为二氧化碳气体，实现了资源的循环利用，这一特点使得干冰清洗技术在环保方面具有明显的优势。在电气原件清洗过程中，通用电气全面采用干冰清洗技术，不仅显著降低了清洗过程中的碳排放，还减少了化学溶剂的使用和环境污染。^[10]通用电气通过优化清洗工艺和提高清洗效率，进一步降低了清洗过程中的能耗，例如，通过智能监控系统的数据分析，通用电气发现清洗设备的运行效率与能耗之间有着密切的关系，基于这一发现，通用电气对清洗设备进行了优化调整，提高了设备运行效率，降低了能耗。

四、结语

综上所述，移动干冰智能清洗设备在电气原件快速清洗中的应用，不仅实现了从人工低效到智能高效的跨越，还通过定制化的解决方案满足了多样化的需求，通过智能监控和数据分析优化了清洗流程，践行了环保和可持续发展的理念，该技术的广泛应用不仅提高了电气设备的清洁度和运行效率，也为电气行业的绿色发展提供了有力支撑。未来，随着技术的不断进步和创新，移动式干冰智能清洗设备将在清洗电气原件领域发挥更加重要的作用，为电器行业的可持续发展注入新的活力。

参考文献

- [1] 龙斯玮. 浅谈干冰清洗技术的应用 [J]. 科技展望, 2019(30).
- [2] 王鸿晓. 干冰清洗技术与市场现状 [J]. 洗净技术, 2020(03).
- [3] 郑莉; 李梦佳. 干冰清洗机清洗原理及使用注意事项 [J]. 清洗世界, 2018(02).
- [4] 刘溟, 王家礼, 马心良, 喻剑辉, 黄杨珏, 周文俊. 干冰清洗变电站绝缘子试验 [J]. 高电压技术, 2011, 07: 1649-1655.
- [5] 郑俊杰, 邹建明, 姜锋, 喻剑辉, 韩军杰, 何小新, 徐和璋. 220kV变电站绝缘子带电干冰清洗车载系统 [J]. 中国电力, 2014, 04: 118-122.
- [6] 朱正国, 钟建灵. 变电站绝缘子清洗试验数据分析 [J]. 高压电器, 2008, 05: 472-473.
- [7] 王志谦, 汤清正. 干冰清洗技术在余热锅炉中的应用 [J]. 水泥, 2020, (01): 73.
- [8] 苏德, 丁永平. 燃煤锅炉空气预热器堵塞防治技术浅析 [J]. 石化技术, 2019, 26(09): 39-40.
- [9] 季小红, 占刚. 锅炉空气预热器防堵改造可行性研究 [J]. 轻工科技, 2019, 35(09): 41-42.
- [10] 苏春洲, 栾晓雨, 王海军, 袁晓东, 叶亚云. 激光清洗技术的初步研究和应用 [J]. 科技资讯, 2013(26).