

机器人在火力发电厂中的应用

文/刘伟 代国良 邱奇志 杨帆
华能荆门热电有限责任公司

随着火力发电厂的自动化和智能化需求不断增加，传统的人工操作和监控已经无法满足现代发电厂的高效、安全运行需求。探讨机器人在火力发电厂中的应用价值，分析机器人在火力发电厂中的具体应用，包括材料搬运、安全监控和危险区域作业等。实现提高工作效率、增强安全保障和优化环境管理的目标。

现代火力发电厂需要应对日益复杂的操作和管理任务，要求实现更高的生产效率、更严格的安全标准以及更有效的环境管理。在此背景下，机器人技术作为一种先进的工具，逐渐在火力发电厂的各个环节中发挥着重要作用。机器人能够执行多种任务，包括材料配送、安全监控、环境监测和设备维修等，这不仅提高工作效率，还减少人为错误的发生。此外，机器人在高危环境中的应用，可以显著降低工人的安全风险，为实现安全生产提供了有力保障。随着火力发电厂对自动化和智能化需求的不断增加，机器人技术在火力发电厂中的应用前景愈加广阔。

机器人在火力发电厂中的应用价值

火力发电厂的运行维护是确保发电效率和连续性的关键环节。机器人技术在此领域的应用显著提升运维工作的效率和设备的可靠性。机器人能够执行定期检查、故障诊断和维修任务，特别是在高温、高压和有害环境中，这些环境对人类工作人员可能构成安全风险。例如，采用高准确度传感器和摄像头的机器人可以对锅炉、涡轮机等关键设备进行详细检查，及时发现裂缝、腐蚀或其他潜在的损坏情况。利用机器人的连续监控和即时反馈，发电厂能够实现对设备状态的实时跟踪和分析，从而预防意外停机和生产中断，确保发电过程的连续性和

设备的长期稳定运行。

火力发电厂的安全管理是机器人应用带来显著价值的另一个领域。在这些工厂中，存在许多高风险作业，如高空作业、接触有害化学物质或在极端环境中工作。机器人能够在这些危险环境中取代人工操作，大大降低工作人员的安全风险。例如，机器人可以在不需要人类直接介入的情况下进行燃料搬运、废物处理和灾害应急操作。此外，机器人可以执行精确的操作，如密封检查和修复工作，这些工作如果由人工执行可能会由于操作不当导致事故。通过利用机器人技术，发电厂能够有效地减少工作场所事故和职业健康问题，提高整体的工作环境安全。

机器人在火力发电厂中的应用

1. 材料搬运

在燃料接收与储存环节，使用全自动化卸煤机器人。这些机器人配备了高准确度传感器和摄像头，能够实时监控煤炭的重量和质量。卸煤机器人使用机械臂进行抓取，每小时搬运量超过500 t，抓取准确度达到1 kg以内。煤炭在卸载后，通过自动传送带系统输送到储煤仓，整个过程由中央控制系统协调，确保每个环节无缝衔接。机器人在执行任务时，首先通过视觉传感器对煤炭进行识别，确定抓取点，然后通过机械臂精确抓取并放置在传送

带上。传送带上的重量传感器实时监测煤炭的总重量，确保传输量符合预定要求。

在燃料输送环节，机器人通过预设轨道和自动导航系统在煤仓和锅炉之间运输煤炭。每台机器人配备实时数据传输系统，将运输过程中的数据传回控制中心，以便及时调整运输策略。具体操作中，机器人根据锅炉燃煤需求，精确控制输送量，每小时输送量可达200 t。导航方面，机器人通过激光雷达和视觉传感器进行路径规划和避障。激光雷达检测前方障碍物的位置和距离，生成实时地图，视觉传感器识别环境特征，调整行驶路径，确保在复杂环境中的安全运行。控制中心通过数据分析和算法优化，实时调整机器人运行参数，以应对变化的生产需求和环境状况。机器人在行驶过程中，激光雷达扫描周围环境，生成实时三维地图，并结合预设轨道进行路径规划，确保在复杂的厂区环境中高效、安全地输送燃料^[1]。

废料处理方面，自动清渣机器人发挥重要作用。在火力发电过程中，会产生大量炉渣和飞灰，这些废料需要及时清理和处理，以确保生产的连续性和环境的安全性。清渣机器人使用智能路径规划系统，在复杂环境中自主导航，对炉膛和灰仓进行全面清理。这些机器人配备高强度耐磨材料的机械臂，能够承受高温和腐蚀，每小时处理量可达100 t左右。机器人通过激光雷达和超声波传感器实时监测环境，进行路径规划和避障，如图1所示。激光雷达扫描周围环境，生成实时地图，超声波传感器检测近距离障碍物，从而调整清理路径，避免碰撞。清理出的炉渣和飞灰通过自动输送系统运输到指定废料处理站，整个过程仅需少量人工干预，大大提高了工作效率和安全性。具体操作时，

机器人首先在炉膛和灰仓区域进行环境扫描，确定清理路径和障碍物位置，然后通过智能算法规划最佳清理路线，并启动机械臂进行清理操作。废料被机械臂抓取并放置在输送带上，输送系统将废料自动传送到废料处理站，整个过程由中央控制系统进行实时监控和调整。在日常设备维护中，机器人同样具有不可替代的作用。火力发电厂的设备维护通常需要搬运大量零部件和工具，这些工作可以由移动机器人来完成。移动机器人通过预设路线和任务规划，在不同工作区之间来回穿梭，搬运重量可达200 kg，误差不超过0.5 kg。机器人配备高精度定位系统和避障系统，确保在复杂厂区环境中安全高效运行。定位系统使用GPS和惯性导航技术，实时确定机器人位置，避障系统使用激光雷达和视觉传感器，检测周围环境和障碍物，从而调整路径，避免碰撞。机器人通过中央控制系统接收任务指令，按照预定路线进行零部件和工具搬运，提高维护效率。例如，机器人将维护工具和零部件精确送达指定位置，专业人员随后进行安装和维修，实现人机协同工作。具体操作时，机器人首先通过定位系统确定起始位置和目的地，然后通过激光雷达扫描路径上的障碍物，规划最佳行驶路线。在行驶过程中，视觉传感器实时监测环境变化，避开动态障碍物，确保安全抵达目的地^[2]。

火力发电厂材料搬运机器人的应用，通过高精度传感器、智能路径规划平台，实现了燃料接收与储存、燃料输送、废料处理以及日常设备维护的高效、安全和自动化运作。每个环节的具体操作细节和数据支持，确保了这些机器人的实际可操作性和高效性，为火力发电厂的平稳运行提供了坚实保障。

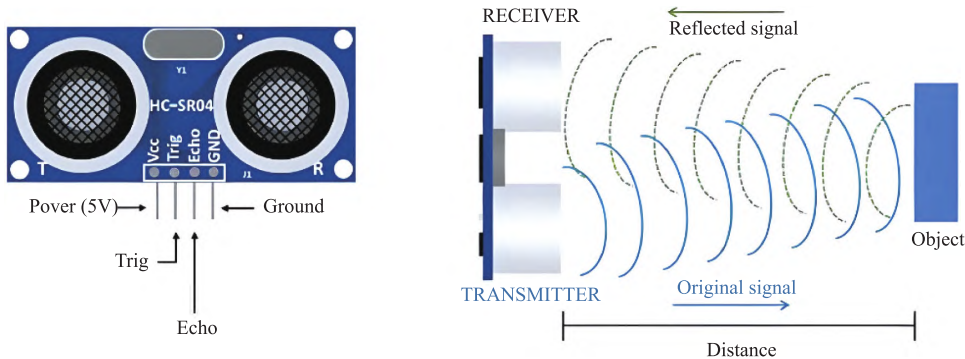


图1 超声波传感器示意图

2. 安全监控

火力发电厂机器人在安全监控中的应用日益广泛且技术日益成熟。在视频监控方面，机器人配备高分辨率摄像头及热成像仪，用于实时监控发电厂内的关键设备和区域。摄像头的分辨率达到4 K，每秒帧数不低于30帧，确保捕捉到清晰、连续的画面。热成像仪能够检测到温度变化，灵敏度在0.1℃以内。采用机器学习算法，机器人能够自动识别设备的异常情况，如设备过热、火花及烟雾等。数据利用光纤网络实时传输至控制中心，延迟时间小于100 ms，确保及时发现和响应潜在的安全隐患。

数据分析是机器人安全监控的重要环节。机器人中央处理单元内置高性能处理器和大容量存储器，用于实时处理传感器和摄像头采集的数据。利用大数据分析技术，机器人能够对设备运行状态进行趋势分析和预测。对历史数据的分析，机器人能够建立设备的健康状态模型，对设备的异常情况进行早期预警。例如，某设备的正常振动频率为50 Hz，当振动频率偏离 ± 10 Hz时，机器人立即向控制中心发送警报信号^[3]。与控制中心的专家系统结合，机器人能够生成具体的维修建议和操作步骤，指导维护人员进行精准维修。

3. 危险区域作业

在火力发电厂中，机器人在高温区域、化学品储存区 and 高压电气区的作业方法包括一系列具体的操作步骤和技术手段，以确保其在这些危险环境中的安全与高效运行。在高温区域，如锅炉房和涡轮机房，机器人需要使用耐高温材料和冷却系统。机器人的外壳由耐高温合金制成，能够承受高达600℃的温度。内部安装的液冷系统通过循环冷却液将热量带走，确保内部电子元件的温度保持在正常范围内，通常不超过80℃。进入锅炉房时，机器人依靠激光雷达和红外传感器扫描环境，生成精度为厘米级的三维地图。巡检过程中，机器人利用红外热像仪拍摄设备表面的热辐射图像，检测温度分布。红外热像仪的检测范围为 $-20\sim 1\,500$ ℃，精度为 ± 2 ℃。这些温度数据和热图像通过无线通信系统实时传输到中央控制室，供技术人员分析设备状态，识别可能的故障点。

在化学品储存区，机器人采用防爆设计和防化学腐蚀材料，确保其在有毒有害环境中的安全运

行。外壳由防爆铝合金和防腐蚀涂层制成，能够抵御化学品的腐蚀和爆炸冲击。作业时，机器人配备气体检测传感器，实时监测环境中的有害气体浓度，如氯气和氨气，检测范围为0~1 000 ppm，准确度为 ± 1 ppm。当检测到气体浓度超过安全阈值（例如氯气浓度超过5 ppm）时，传感器立即发送警报信号，机器人停止作业并撤离至安全区域。同时，机器人使用高准确度摄像头和红外传感器检查储罐和管道的完整性，识别泄漏点和腐蚀情况。摄像头和传感器采集的图像和数据通过无线网络实时传输到中央控制室，供操作人员进行分析和处理。

在高压电气区，机器人使用高强度绝缘材料和防电磁干扰设计，确保其在强电磁场环境中的安全工作。外壳由高强度绝缘材料制成，内部电路采用屏蔽设计，以防止电磁干扰。机器人进入高压电气设备区时，使用电气传感器（如图2所示）实时监测设备的电流、电压和电阻等参数。电气传感器的电流检测范围为0~5 000 A，电压检测范围为0~1 000 kV，精度为 $\pm 0.5\%$ 。当传感器检测到异常（如电流过大或电压不稳定）时，系统立即发出警报，机器人停止当前作业。此外，机器人配备高准确度摄像头和红外传感器，检查电气设备的外观和热分布情况，识别过热点和损坏部位，所有检测到的数据和图像实时传输到中央控制室，供技术人员分析和处理。在高温区域作业中，机器人通过耐高温设计和液冷系统有效应对极端温度。红外热像仪在每次巡检过程中每秒采集10次温度数据，确保设备表面的温度变化能够被迅速捕捉和处理。在化学品储存区，机器人通过防爆设计和防化学腐蚀材料确保安全运行。气体检测传感器每分钟采集20次数据，实时监测有害气体浓度变化。当检测到氯气浓度超过5 ppm时，机器人立即停止作业并撤离。在高压电气区，机器人依靠高强度绝缘材料和防电磁干扰设计，确保在强电磁场环境中的安全工作。电气传感器的检测频率为每秒50次，实时监测电流、电压等参数的变化。当检测到电流过大或电压不稳定时，机器人立即停止作业，系统发出警报，通知中央控制室^[4]。

机器人在高温区域、化学品储存区 and 高压电气区的具体作业方法包括一系列精密的技术手段和步骤。在高温区域，机器人进入锅炉房后，首先使用

激光雷达和红外传感器扫描环境，生成三维地图。红外热像仪拍摄设备表面的热辐射图像，检测温度分布，识别过热点或故障点。所有温度数据和热图像实时传输到中央控制室，供技术人员分析。在化学品储存区，机器人进入作业区域时，首先使用气体检测传感器监测环境中的有害气体浓度。当检测到气体浓度超过安全阈值时，传感器立即发送警报信号，机器人停止作业并撤离。机器人还使用高精度摄像头和红外传感器检查储罐和管道的完整性，识别泄漏点和腐蚀情况。所有图像和数据实时传输到中央控制室，供操作人员进行分析和处理。在高压电气区，机器人进入设备区后，使用电气传感器实时监测电流、电压和电阻等参数。当检测到异常时，系统立即发出警报，机器人停止作业。机器人同时使用高精度摄像头和红外传感器检查设备的外观和热分布情况，识别过热点和损坏部位。所有数据和图像实时传输到中央控制室，供技术人员分析和处理。

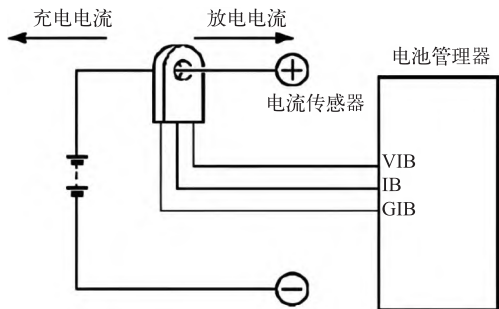


图2 电流传感器示意图

通过这些具体的操作步骤和技术手段，机器人能够在火力发电厂的高温区域、化学品储存区和高压电气区进行安全、高效的作业。耐高温设计和液

冷系统、气体检测传感器和防爆设计、高强度绝缘材料和防电磁干扰设计，这些技术的结合确保了机器人在极端环境中的稳定运行^[5]。

结束语

本文对机器人在火力发电厂中应用的详细分析，展示了机器人在提高工作效率、增强安全保障和优化环境管理方面的巨大潜力。本研究为火力发电厂的管理和技术人员提供了有益的实践参考，期望在未来能够进一步推动机器人技术在发电行业中的广泛应用，为实现更高效，更安全，更环保的火力发电厂贡献力量。EA

(收稿日期：2024-07-25)

参考文献

- [1] 刘聪. 机器人在火力发电厂中的应用[J]. 模具制造, 2024, 24 (04): 210-212.
- [2] 蓝青. 火力发电厂输灰带式输送机廊道智能巡检系统的设计及应用[J]. 中国高新科技, 2023, (08): 84-87.
- [3] 孙伟鹏, 陈斌, 孙伟生. 火电厂爬壁机器人研究进展[J]. 机械设计与制造, 2023, (04): 135-138+143.
- [4] 朱佳斌, 金宇航, 程波. 国内火力发电厂数字化转型探讨[J]. 现代工业经济和信息化, 2023, 13 (01): 161-162.
- [5] 田志飞, 洪盛勇. 火力发电厂煤流状态实时监测方法的研究及应用[J]. 电力学报, 2021, 36 (06): 564-572.

