

露天煤矿平路机铲刀板自动化焊接工作站设计与应用研究

孙宏建 李鹏飞 薛 清 吴 铎 姜子方
国能北电胜利能源有限公司 内蒙古 锡林郭勒 026000

摘 要：露天煤矿24M平路机铲刀板工况恶劣、磨损严重，传统人工焊修效率低、质量差、安全风险高。针对矿区实际需求，本文研发一体化智能焊接工作站，依托多自由度机器人与焊缝跟踪系统，实现铲刀板坡口加工、转运、双面焊接全流程自动化。应用后，单块铲刀板焊修时长由3.5小时缩短至1小时内，作业效率大幅提升，焊接质量稳定可靠。设备可兼容多种工程机械部件维修，一机多用，年均创造可观经济效益，助力矿山设备维修智能化升级。

关键词：露天煤矿；平路机；铲刀板；自动化焊接；焊接机器人

引言：露天煤矿采、运、排连续稳定作业是保障产能的核心前提，场地平整度直接决定运输效率与设备安全。平路机作为矿区场地整形关键设备，长期在碎石、沙土、油泥复杂工况下作业，铲刀板受持续摩擦与冲击极易磨损。现场多采用废旧铲刀板对接焊修复用，以降低备件成本。针对传统人工焊修效率低、质量不稳定、安全隐患大等问题，本文以胜利能源24M平路机铲刀板为研究对象，搭建智能化焊接工作站，解决人工维修短板，为矿山设备维修自动化、智能化升级提供可推广的技术参考。

1 铲刀板工况及传统焊修工艺分析

1.1 铲刀板使用工况与磨损特性

24M平路机铲刀板采用高强度耐磨钢板制成，标准宽度为350mm，主要承受地面挤压、碎石切削、重载碾压与瞬时冲击作用。在露天煤矿复合路况下，铲刀板刀口磨损速度快，长期作业后板面磨损、局部掉块、弯曲变形，有效宽度快速缩减，通常磨损至190mm左右即达到维修临界值。为控制生产成本，矿区普遍采用两块磨损铲刀板对接拼焊的方式进行修复，使其恢复至可用宽度。由于铲刀板承受载荷大、工作环境恶劣，对焊接接头强度、焊缝成型、表面平整度、变形控制均提出较高要求，焊接质量直接影响铲刀板使用寿命与平路机作业效果^[1]。

2.2 传统人工焊修工艺流程

传统铲刀板焊修以人工操作为核心，流程相对繁琐且连贯性差，主要流程如图1所示。首先对磨损铲刀板进行表面清理，去除油污、锈蚀、杂物；随后由操作人员使用氧乙炔火焰进行手工切割，加工X型对接坡口；接着人工对齐、夹紧、点焊定位两块铲刀板；再采用手工电弧焊完成正面焊接；之后人工翻转工件，对反面进行

清渣、补焊；最后进行焊后修整、检查。全过程依赖操作人员经验与技能，工序衔接慢、辅助时间长、连续性差，如下图1所示。

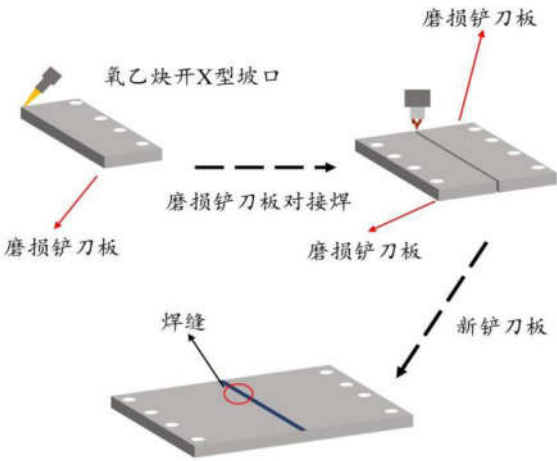


图1 铲刀板焊修流程图

2 自动化焊接工作站总体设计

2.1 设计思路

传统铲刀板焊修需要对磨损铲刀板开X型坡口，将磨损铲刀板对接后进行焊接。该过程需要至少3名工作人员协同作业，每次焊修至少需要3.5小时，焊修工作效率低，并且对焊修人员技术有较高要求。为了高效智能焊接，自动化焊接工作站设计前期就提出相应设想，焊接中必须满足切割、移动载体自动上下料、焊接、三步流程。首先，根据焊接流程配合计算机智能系统进行控制编程撰写，自动化焊接工作站通过控制系统操控切割机机器人进行物料的切割，利用移动载体运送需要焊接的物料到翻转机，再由控制系统操控焊接机器人进行焊接工作，焊接完成移动载体自动卸料。根据上述流程进行综合性智能化焊接工作站的设计与制作，焊接工作站具体

流程如图2所示。

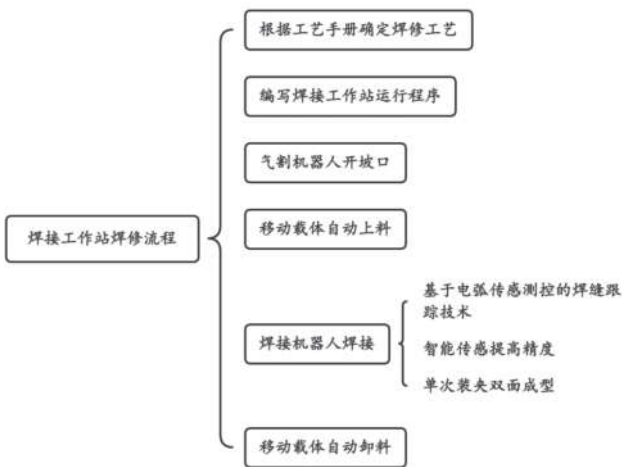


图2 焊接工作站焊修铲刀板流程图

2.2 自动化焊接工作站焊接方案

2.2.1 创建自动化焊接工作站系统

根据焊接需求，设计自动化焊接工作站系统整体方案。具体设计方案如图3所示。根据设计方案，引进移动载体控制系统，对接CLOOS多自由度焊接机器人及火焰切割机器人。系统硬件配置主要包括：CLOOS多自由度焊接机器人，具备六个旋转关节，可实现复杂空间轨迹的精确控制，重复定位精度达 $\pm 0.05\text{mm}$ ，最大负载能力满足铲刀板焊接需求；火焰切割机器人，配备高精度割炬和自动点火装置，可实现X型坡口的自动加工，切割精度控制在 $\pm 0.5\text{mm}$ 以内；移动载体系统，采用伺服电机驱动，配备气动或电磁夹持装置，实现工件的自动抓取、转运和精确定位；翻转机构，采用伺服电机驱动，可实现180度自动翻转，翻转精度高，定位准确；控制系统，采用工业级PLC和工控机，配备人机交互界面，实现全过程自动化控制和参数监测^[2]。

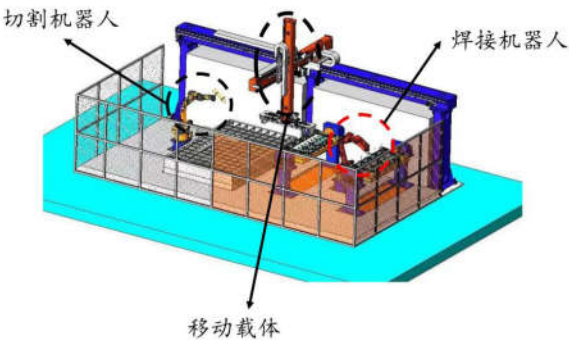


图3 自动化焊接工作站示意图

2.2.2 调试预设路径

焊接路径调试阶段，首先根据铲刀板材质和厚度，确定焊接工艺参数，包括焊接电流、电压、焊接速度、

送丝速度、保护气体流量等；然后在离线编程软件中规划焊接轨迹，考虑焊缝起弧、收弧、接头处理等细节，生成焊接程序；接着进行试焊，观察焊缝成型情况，测量焊缝宽度、余高、熔深等参数，检查是否存在咬边、气孔、未熔合等缺陷；最后根据试焊结果优化焊接参数和路径，调整焊枪姿态和角度，确保焊缝成型均匀、美观，满足质量要求。预设切割24M平地机铲刀板的路径与焊接路径，对预设路径进行调试。调整焊接参数与焊接角度，保证焊缝成型良好^[3]。

3 自动化焊接工作站的应用

3.1 自动化焊接工作站的应用

确定自动化焊接工作站方案设计及个步骤参数，24M平路机铲刀板焊修步骤如下：

第一步：X型坡口处理

自动化焊接工作站可以用于材料切割，通过程序编写对火焰切割机器人进行控制。预设切割方向与切割点位后，可以实现对不同维修设备、材料的切割工作。标准24M平地机铲刀板为35厘米，铲刀板使用磨损后，变为19cm左右。需要对磨损铲刀板对接焊处理。首先由切割机器人处理工件，切除多余部分并开X型坡口，如图所示，为切割X型破口，如图4所示。



图4 切割X型破口

第二步：抓取、移动

技术人员使用移动载体与翻转机对切割完成的铲刀板进行固定后，移动载体将会稳定的转移铲刀板至翻转机上，翻转机将再次平整的安置铲刀板，以便进行铲刀板的焊接工作，如图5所示。



图5 移动载体抓取移动铲刀板

第三步：单次装夹双面成型焊接

自动化焊接是实现高效焊接制造的重要方式。自动化焊接工作站包括初始焊修工件智能传感，如图7所示；通过电弧跟踪，电弧测控焊缝跟踪、熔池计算及焊接成形质量控制策略等提高焊修质量^[4]。

技术人员首先预设好焊接线路与补偿焊缝误差，然后开始对切割完成的24M平路机铲刀板进行焊接。在这过程中将使用焊接机器人对预设好尺寸的两块铲刀板进行对接焊接，焊接将采用双面焊的方式，确保路线规划完整对应铲刀板拼接对缝，避免出现焊缝平整无空焊、漏焊等情况。焊接机器人通过寻位进行焊接。完成正面焊接后，翻转机自动旋转，焊接机器人再进行反面焊接。

如表一所示，工作站投入使用后，焊修效率大幅提高：维修效率由3.5h/件提高到1小时/件，提高了350%。

表1 工作站实施前后焊修效率变化

类型	维修	用时/小时
设计前	#1	3.5
	#2	3.2
	#3	2.9
	#4	3.7
	#5	3.1
	#6	3.2
设计后	#7	0.9
	#8	1.1
	#9	1

续表：

类型	维修	用时/小时
设计后	#10	1

工作站投入使用后，焊修效率大幅提高。对比数据显示，设计前单块铲刀板焊修时间分别为3.5小时、3.2小时、2.9小时、3.7小时、3.1小时、3.2小时，平均约3.3小时；设计后单块铲刀板焊修时间分别为0.9小时、1.1小时、1小时、1小时，平均约1小时。维修效率由3.5小时/件提高到1小时/件，效率提升达350%。

在经济效益方面，全年完成6台24M平路机铲刀板焊修216件，创造价值25.92万元；完成厢斗调整垫焊修约200件，创造价值10万元；完成其他标准件制作，按2023年效益估算2024年可创造价值约15万元。扣除设备运维成本5万元，年均创造综合经济效益45.92万元。

参考文献

[1] 裴学强. 超长复杂的光伏支撑架自动化焊接工作站系统设计[J]. 粘接, 2026, 53 (01): 73-76.

[2] 冯静. 应用于机器人自动化电极板焊接工作站[J]. 石油和化工设备, 2024, 27 (09): 148-150.

[3] 车柏乐. 车身零部件焊接工作站自动化控制装置. 吉林省, 长春森西科技有限公司, 2024-05-06.

[4] 易冉, 杨卫东, 王彦元, 黄志勇, 宋柳义, 李春明. 铁路货车端墙部件双机器人自动化焊接技术[J]. 焊接技术, 2023, 52 (11): 81-84.