

从人工到智能: 扒渣系统升级 如何年省钢铁企业千万成本?

Development and Application of Automatic Slag Removal Technology in the Hot Metal Pretreatment Process

供稿|邓力文, 田运辉, 谢卫东, 汪维, 宁湾 / DENG Liwen, TIAN Yunhui, XIE Weidong,
WANG Wei, NING Wan

内 容 导 读

铁水预处理是炼钢工艺的关键环节,其扒渣效果直接影响钢水质量与生产成本。传统人工扒渣依赖操作经验,存在效率低、铁损高、质量不稳定等问题。本研究开发了一套基于智能传感器、机器视觉与闭环控制的自动扒渣系统,旨在实现铁水预处理的全流程自动化作业。系统通过双目视觉相机与液位雷达精准识别铁渣三维坐标,结合智能路径规划算法控制扒渣机精准作业;集成倾角传感器、激光测距仪等设备实现铁水罐的自动运输与倾翻;引入吹气赶渣联动技术优化渣面处理效率,并通过图像分析算法对扒渣效果进行智能评级。实际应用表明,该系统可缩短扒渣时间2~3 min,渣面识别准确率达98%,以武钢四炼钢为例,改造后单罐铁水铁损减少315 kg,年经济效益超千万元。该技术显著提升了铁水预处理环节的自动化水平和工艺稳定性,为钢铁行业智能化转型提供了可靠的技术支撑。

铁水预处理是炼钢的第一道工序,铁渣里的硫化物夹杂易引起铸坯产生裂纹,影响铸坯表面质量,严重时会影响连铸顺行,造成铸坯漏钢,降低铸坯收得率和成材率^[1]。传统人工扒渣随意性较强,扒渣路径及扒渣深度全凭操作工经验,洁净度是否到达工艺要求仅凭肉眼判断。传统扒渣过程主要存在的问题如下:(1)铁水包倾翻由人工控制,速度缓慢,没有过程反馈,可能会发生倾翻不到位的情况,且存在泼铁隐患,影响后续工序;(2)扒渣机无传感装置,没有数据反馈,扒渣过程中无法做加减速处理,经常撞击机械限位,增加扒渣机故障风

险,影响设备使用寿命;(3)扒渣控制由人工操作,速度与效率依赖个人手法与经验,剧烈操作会引起液面震荡,造成扒渣带铁^[2];(4)扒渣板浸入深度控制不一,偶有拖挂罐嘴,撞击罐壁的情况发生,影响扒渣板使用寿命;(5)扒渣过程缺乏数据管控,无法保存目标数据及画面,不利于扒渣工艺改进;(6)扒渣终点依靠人工判定,个人经验水平不一,造成扒渣效果参差不齐,缺乏统一评判标准;(7)整个作业过程未实行全流程控制,没有形成闭环,自动化、智能化程度低。以上的人工操作方式,势必会导致扒渣不净或者过度扒渣的情况^[3],

扒渣不净,影响钢水质量;过度扒渣,造成铁水浪费,增加成本。以前的自动扒渣技术,因为无法识别出铁渣的坐标,只能勉强实现固定路径的扒渣作业,即左、中、右轮番进行扒渣,效果非常有限。而采用机器视觉和雷达测距的识别方式,相当于给自动扒渣系统配上了眼睛,可以精确地识别出铁渣坐标,从而提高扒渣效率。

系统结构的开发

自动扒渣系统,如图1所示,包括视觉相机^[4]、

图像高性能工作站、液位雷达、倾角传感器、可编程控制器(PLC)控制系统、扒渣机控制编码器等,与脱硫站PLC、倾翻车、扒渣机、液压站、吹气赶渣等设备建立通讯。视觉相机数据接入图像高性能工作站,以便进行图像处理。然后再将指令发送给PLC控制系统,其余传感器采用硬线与PLC控制系统进行连接,PLC控制系统再采用以太网形式与脱硫站PLC进行通讯。最终通过视觉相机和液位雷达,确定渣面坐标分布情况^[5],通过扒渣机上的智能传感器,控制扒渣机运动到目标坐标的闭环作业。

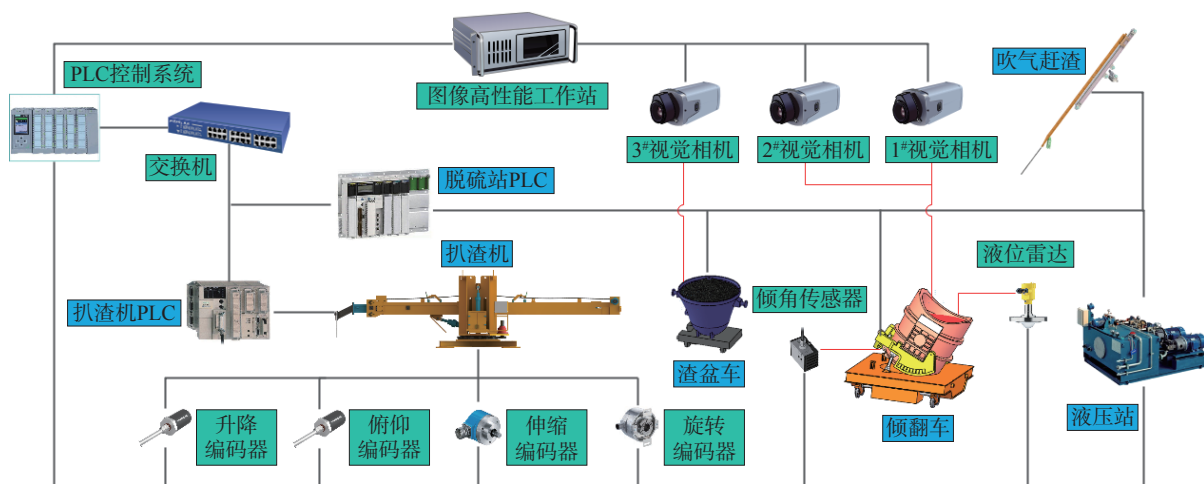


图1 自动扒渣系统结构示意图

系统在脱硫站平台搭建多个传感器,用于系统的检测和控制,主要布局如图2所示。A为倾角传感器,用于检测铁水罐倾翻角度;B为吹气赶渣装置,检测铁水罐倾翻角度;C为液位雷达,用于检测铁水液位高度;D为双目视觉相机,分为1号与2号视觉相机,1号视觉相机用于罐沿识别、渣面识

别和渣面判定,2号视觉相机用于路径规划、倾翻溢出检测和冗余设计;E为智能扒渣机,智能扒渣机采用闭环控制模式,用于各动作带传感器位置检测;F为远程摄像头,用于在操作室远程扒渣及大屏展示;G为3号视觉相机,检测渣盆渣量,确保炉渣不溢出;H为激光测距仪,确保铁水罐车的精准定位。

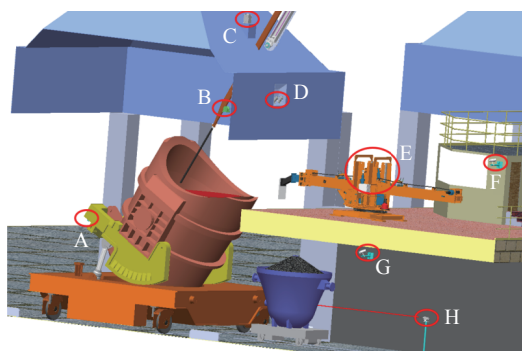


图2 脱硫站平台系统布局示意图

系统功能的开发

为打通全流程自动扒渣作业^[6-7],系统以整个铁水预处理的流程为依托,进行“一键”式操作,其中所包含的功能模块有:铁水罐的自动运输和自动倾翻,扒渣机的智能扒渣,吹气赶渣的联动,渣面的智能评估和渣盆的渣量预警。

铁水罐的自动运输

系统对铁水罐车进、出站进行自动定位^[8]。除定

位传感器外, 还通过激光测距仪实时检测倾翻车行走的位置, 做到精确定位停车^[9]。如图 3 所示, 当激光测距仪检测到铁水罐车从左侧开过来时, 系统会进行减速处理, 铁水罐车继续向右缓慢行走, 当激光测距仪检测到铁水罐车的系统会立即下发停车命令, 保证铁水罐中心与扒渣机的相对位置稳定。铁水罐车行走定位控制过程采用快-慢-停的方式进行, 消除行走时前进方向的惯性, 保证停车精度, 同时防止铁水在停车时出现震荡而造成后续控制困难。

铁水罐的自动倾翻

系统通过雷达检测铁水液面高度^[10], 结合铁水包参数, 自动计算出倾翻角度, 从而控制铁水包的



图 3 铁水罐车自动行走示意图

倾翻角度处于有利扒渣的位置, 自动倾翻策略如图 4 所示。通过视觉相机实时监测铁水液面和铁水包边沿的位置, 达到阈值位置, 强制停止倾翻, 以保证系统安全。

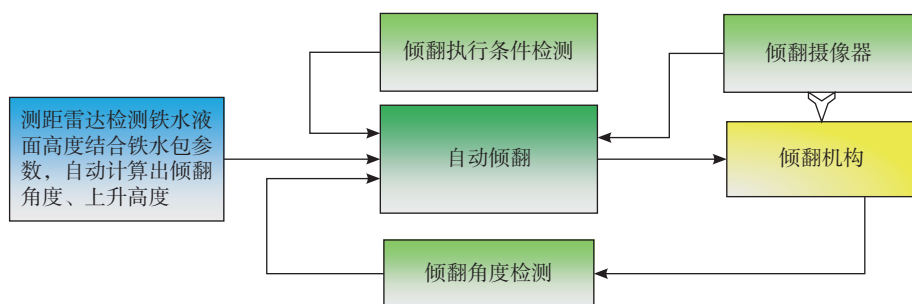


图 4 自动倾翻策略图

扒渣机的智能扒渣

扒渣机的所有动作均采用闭环控制模式^[11], 如图 5 所示, 该控制方式既能保证设备平稳可靠运行, 又能保证定位精度。在伸缩液压马达对侧, 主动链轮轴上搭载非接触式编码器, 根据编码器的旋转圈数和半径, 检测出伸缩距离。在俯仰油缸上搭载内置式线性位移传感器, 检测油缸的俯仰行程。在扒渣机回转轴承中部, 搭载有绝对值编码器, 检

测出旋转角度。在两侧升降油缸内部加装线性传感器, 检测出扒渣臂的整体升降高度。

系统通过视觉相机实时采集铁水表面图像, 智能分析铁渣分布情况^[12]。将扒渣区域分为若干等分, 计算每个区域的扒渣权重, 取一次转折所经过区域的权重和最大的路径, 设为当前扒渣路径。系统再将规划的路径坐标传递给 PLC, PLC 通过扒渣机上的各传感器控制扒渣机的伸缩、俯仰、旋转等

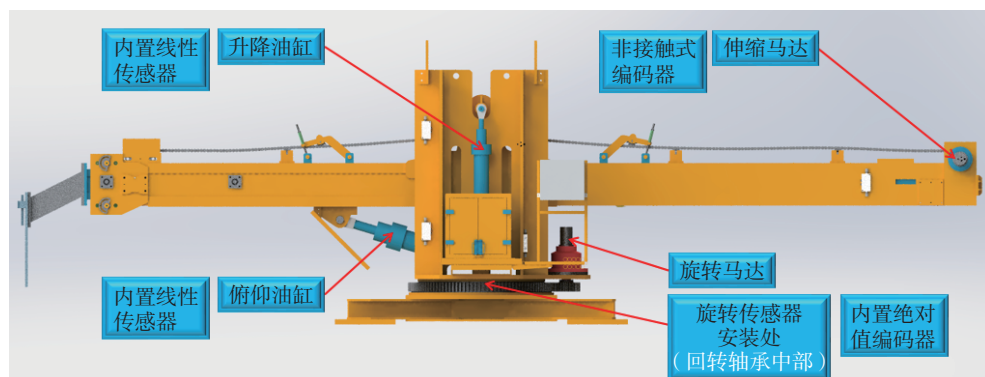


图 5 扒渣机传感器分布图

动作，最终按照系统给定的路径进行扒渣作业。路径规划示意图如图 6 所示，扒渣机首先到达 (x_1, y_1) 坐标上方，然后进行下俯，将扒渣板侵入铁水液面，沿路径到达 (x_2, y_2) 坐标，接着到达 (x_0, y_0) 坐标，最后扒出罐外，完成既定路径的扒渣。由于扒渣过程的坐标明确，因此扒渣板可每次行进到指定位置，如此循环，直至扒渣结束。

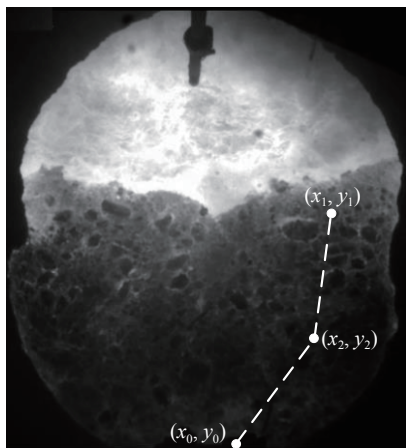


图 6 路径规划示意图

吹气赶渣的联动

扒渣后期，渣面变得稀薄，扒渣效率会降低^[13]。此时，系统会根据渣面占比情况进行吹气赶渣枪的自动作业控制。若铁渣面积占比低于 30%，则系统判定吹气赶渣枪开始作业，系统会根据赶渣的效果，自动控制下枪的深度和吹气的流量，将漂浮的渣（尤其铁水罐后部的渣）聚集到罐口，便于扒出^[14]。在系统控制下枪的同时，程序会进行长短路径的切换，让扒渣机行程避开赶渣枪位置。如图 7 所示，蓝色为系统规划的作业区域，铁渣在吹气赶渣的作用下，会聚集到罐口区域，红色的扒渣路径只需规划在渣面区域内，就能达到良好的扒渣效果。待到铁渣面积占比低于 10% 后，系统判定达到目标阈值，吹气赶渣作业结束，系统自动提枪，并关闭氮气。该操作方式不仅提高了扒渣效率，缩短了扒渣时间，减少了铁损的浪费，同时还节约了吹气赶渣枪的能量介质消耗。

渣面的智能评估

系统采用特定算法，依据既定的规则，将铁水液面图像信息进行阈值分割^[15]，通过与后台模型进行权重对比，将扒渣结果进行智能评判定级。不同的钢

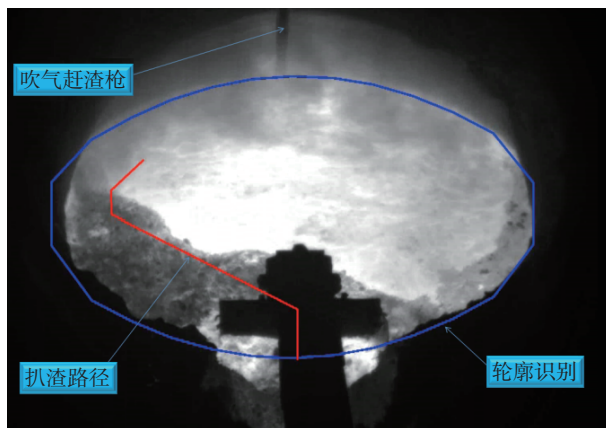


图 7 吹气赶渣联动示意图

种所要求的渣面洁净度不同，以硅钢为例（见图 8），洁净度达到 95% 以上，则系统认定达到目标阈值，判定合格，自动退出扒渣程序，铁水罐自动回倾。

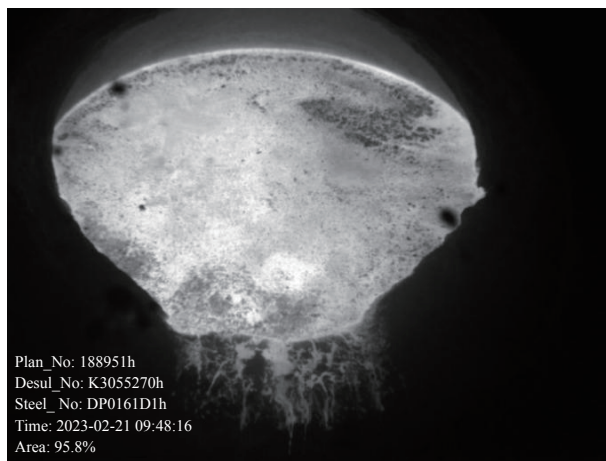


图 8 智能评估示意图

渣盆的渣量预警

视觉相机可以收录整个渣盆内铁渣的图像信息，每次扒渣结束后，相机都会识别铁渣容积情况^[16]与系统后台模型进行比对。视觉相机识别渣盆渣量达到最高点阈值，同时满足高出渣面设定厚度 a 和渣盆边缘设定距离 b 时（如图 9 所示），系统发出指令，以界面弹窗的形式提醒操作人员更换渣盆，并发出报警。

系统的应用效果

截至 2024 年底，自动扒渣技术已经服务了 29 家钢铁企业，系统投用的脱硫站个数达到了 60 个，方案和技术已较为成熟。自动扒渣技术应用之后，既

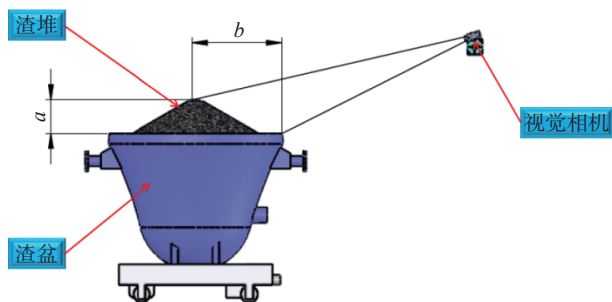


图9 渣量预警示意图

可以紧跟智慧制造步伐,规范工艺与流程操作,又可以起到稳定下游出钢质量、减少铁损、降低成本、稳定生产节拍和固化产能的目的。总体的应用效果可以归纳为以下5个方面:

(1) 作业自动化——减员:全流程自动化作业^[17],解放操作工双手,降低劳动强度,缩减作业人员,提高人员与设备安全;

(2) 流程标准化——增效:缩短行走流程与扒渣时间 2~3 min,既能稳定铁水预处理工序周期^[18],又能减少铁水温降造成的影响^[19];

(3) 扒渣精准化——降本:扒渣动作精准自动控制,降低扒渣铁损消耗^[20],吨铁约节省成本 3 元;

(4) 判渣统一化——提质:渣面积识别准确率达 98%,统一的渣面判定标准,杜绝了人工经验的随意性,保证转炉铁水供应量,提升转炉出钢质量^[21-22];

(5) 数据信息化——管控:自动保存生产过程数据,进行 100% 质量追溯,自动截取生产终点画面,助力工艺升级和数字化转型。

以武钢四炼钢为例,每罐铁水 200 t,原平均铁损为 1.760 t,系统改造之后,平均铁损为 1.445 t,每吨铁水按 2000 元计算,四炼钢年产量 400 万 t,则年可节约 1260 万元。

结束语

自动扒渣技术通过采集渣面信息,构建空间立体坐标,自动规划扒渣路径;通过检测扒渣机运行状态,收集扒渣机传感器数据,形成闭环控制;通过实时比对扒渣画面和后台模型,实现扒渣终点自动判定。这一系列技术的应用,有效地缩短了扒渣时间,降低劳动强度,削减了对操作人员的依赖,系统的自动判定方式,统一了渣面评定标准,提升了铁水冶炼品质,大幅降低了铁水损失,夯实了铁

水预处理环节的生产基础。

参考文献

- [1] 黄彩云. KR 搅拌法脱硫工艺. 金属世界, 2012(6): 6
- [2] 白小伟, 吴胜才, 罗斌. 铁水扒渣设备综述. 冶金设备, 2013(4): 48
- [3] 王勇, 胡建光, 孙玉军, 等. 智能制造在梅钢炼钢厂的应用实践. 中国冶金, 2018, 28(1): 32
- [4] 颜发根, 刘建群, 陈新, 等. 机器视觉及其在制造业中的应用. 机械制造, 2004(11): 28
- [5] 邹贤珍, 田立, 田陆. 一种基于图像处理的铁水扒渣检测与控制系统及其方法: 中国专利, 195353654, 2016-02-24
- [6] 马传凯, 李镇, 张志文, 等. 鞍钢铁水脱硫扒渣发展综述. 中国冶金, 2004(8): 12
- [7] 刁焱尧, 杨晶, 陈可汉. KR 法铁水脱硫自动控制的应用实践. 现代冶金, 2016, 44(4): 52
- [8] 郝晓静. 铁水预处理生产线配套设备——铁水包倾翻车. 金属世界, 2010(6): 80
- [9] 邓力文, 田祖光, 王跃进, 等. 升降式激光测长装置: 中国专利, 214467150, 2021-10-22
- [10] 田祖光, 邓力文, 周礼荣, 等. 一种铁水液位检测装置: 中国专利, 213842310, 2021-07-30
- [11] 同国庆, 陈爱秀, 付春婵. 液压扒渣机的结构分析与控制. 中国冶金, 2017, 27(1): 65
- [12] 韩鲁明, 宋宝庆, 王元, 等. 基于图像识别技术的铝精炼炉全自动扒渣机. 世界有色金属, 2019(22): 29
- [13] 刘小卿, 陶勇钢, 王清方, 等. 铁水罐吹气辅助扒渣工艺开发与改进. 炼钢, 2007(4): 14
- [14] 赵新宇, 张炯明, 孙兴洪. 铁水包扒渣过程的数值模拟. 钢铁, 2008(9): 29
- [15] 田立, 周永辉, 贺遵亮, 等. 铁水扒渣检测系统的研究与实现. 工程科学学报, 2016, 38(S1): 119
- [16] 郑俊. 基于图像识别的钢水连铸下渣检测方法的研究 [学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2007
- [17] 李照鹏, 王学峰, 唐凤敏. 预处理过程控制系统的开发及应用. 世界有色金属, 2018(8): 40
- [18] 廖明, 李碧春, 赵知祥, 等. 铁水预处理脱硫工艺参数的优化. 四川冶金, 2002(5): 18
- [19] 覃德波, 许亮, 李梦飞, 等. 铁水从高炉到转炉或电炉载运过程中的温降规律. 金属世界, 2022(5): 31
- [20] 李伟东, 何海龙, 舒耀. 降低铁水预处理扒渣铁损的生产实践. 鞍钢技术, 2013(1): 47
- [21] 于宏武. 铁水扒渣工艺提高转炉冶炼质量. 河北冶金, 2007(4): 36
- [22] 殷瑞钰. 以质量、品种、效益为中心, 强调科技进步积极发展铁水预处理和钢的二次冶金技术. 炼钢, 1992(1): 1

作者简介: 邓力文 (1988—), 男, 湖南省衡阳市人, 产品研发高级工程师。2011 年毕业于湖南工学院机械设计制造及其自动化专业, 主要研究方向: 铁水预处理工艺、智能冶炼设备等。通信地址: 湖南省衡阳市蒸湘区芙蓉路 21 号; E-mail: 812711872@qq.com。