doi:10.3969/j.issn.1007-7545.2022.08.006

基于 AGV 技术的侧吹炉自动捅风眼机器人研制

李传伟[1,2],赵建军[1,2],余群波[1],严凡涛[1,2],尹丰丰[1,2]

(1. 矿冶科技集团有限公司,北京 100160;
2. 矿冶过程自动控制技术国家重点实验室,北京 100160)

摘要:捅打风眼是侧吹熔炼生产工艺的重要操作,目前还没有适用于侧吹炉的自动捅风眼设备。针对侧吹炉特点,基于 AGV 机器人技术,首创出一种适用于侧吹炉的智能化捅风眼机器人装置,实现了自动导航定位、风眼对准、智能化捅打等功能。该装置已经在工业现场得到应用,彻底解决侧吹熔炼生产中风眼自动化捅打难题。

关键词:侧吹炉;自动捅风眼;AGV;气动装置;机器人

中图分类号:TF35　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1007-7545(2022)08-0033-06

Development of Automatic Tuyere Robot Puncher Based on AGV Technology for Side Blown Furnace

LI Chuan-wei[1,2], ZHAO Jian-jun[1,2], YU Qun-bo[1], YAN Fan-tao[1,2], YIN Feng-feng[1,2]

(1. BGRIMM Technology Group, Beijing 100160, China;
2. Beijing Key Laboratory of Automation of Mining & Metallurgy Process, Beijing 100160, China)

Abstract: Punching tuyere is an important operation in side blown smelting process and there is no mature tuyere puncher equipment for side blown furnace at present. Aiming at the characteristics of side-blown furnace tuyere, an intelligent robot puncher was developed based on AGV technology for the first time. The functions such as automatic navigation positioning, automatic tuyere alignment, intelligent punching and so on were realized. This equipment has been applied in the industrial field successfully and solved the problem of automatic punching tuyere in side blown smelting production.

Key words: side blown furnace; automatic tuyere punching; AGV; pneumatic device; robot

侧吹炉熔炼具有工艺成熟、配套设施完善、能耗低、环境保护好等优势,近年来在我国得到快速应用和发展[1]。为了保证富氧空气的压力和鼓入量,需要根据炉况进行捅风眼操作,侧吹炉捅风眼是炉前生产主要操作,目前还是基于人工实现,劳动强度大、劳动条件恶劣。市面上已经有针对转炉的传统的自动捅风眼设备及产品,但不适用于侧吹炉。近年来随着新型的机器人结构、机器人操作系统、感知反馈系统等关键技术的发展,工业领域基于"机器换人"实现生产工艺操作自动化成为发展趋势[2]。AGV(Automated Guided Vehicle)机器人除在仓储业应用外,在传统制造业中也开始大显身手,成为重要的自动化搬运工具。本文基于 AGV 技术研制出一套自动捅风眼机器人装置,并在工业现场进行试验应用,成功解决侧吹炉捅风眼自动化问题,为侧吹熔炼智能化实现奠定了基础。

收稿日期:2022-04-13
基金项目:矿冶科技集团有限公司科研基金项目(02-1904);国家重点研发计划项目(2021YFC2902702)

作者简介:李传伟(1981-),男,硕士,正高级工程师

1　技术现状及问题

1.1　捅风眼机设备

针对转炉的捅风眼技术和设备已经相对比较成熟,已经在工业现场得到应用。

国外在 20 世纪中期就已经研发出 Gaspe 型转炉捅风眼机,设备基于气动装置实现捅风眼操作,需要人工操作,工作环境恶劣。基于该机型日本在 1978 年完成 Mining 型自动化捅风眼机研制,通过自动或遥控控制台车、风眼机的移动和定位,实现自动捅风眼的操作[3]。国内从 20 世纪 70 年代开始气动风眼机的研发工作,1973 年沈阳冶炼厂和东北大学合作制作出一种风动风眼机,包括主机、小车及卷扬三部分,通过工业应用可以用于生产[4]。1998 年江铜贵溪冶炼厂首次成功研制“贵冶牌”机械捅风眼机,在 2020 年对机械捅风眼机进行了升级,研发了自动化捅风眼机,实现自动化捅风眼,完全替代人工操作捅风眼机进行捅风眼[5]。

1.2　侧吹炉风眼特点

当前国内外技术及产品均是基于转炉研发设计,并不适用于侧吹炉的捅风眼要求;相比转炉捅风眼,侧吹炉捅风眼主要有如下特点:

1)风眼结瘤的物质不一样,转炉主要为硫化铜、氧化铜结瘤等,相对更好捅;侧吹炉结瘤的物质主要为四氧化三铁等,比较难捅;

2)风眼的长度不一样,转炉的风眼较短,400 mm 左右,一捅就穿,即使发生结瘤堵塞、钢钎卡钎也容易处理;侧吹炉的风眼很长,将近 1 000 mm,钢钎行程比转炉远很多,如果发生结瘤堵塞,则钢钎卡钎不好拔出;

3)转炉的布置结构简单,操作平台宽敞,捅风眼机的固定行走没有障碍,有存放空间;侧吹炉结构布置相对更复杂,平台空间小,另外侧吹炉布置框架柱,影响捅风眼机的固定轨道布设及在平台上行走与停放。

本文针对侧吹炉以上特点,基于最新的 AGV 机器人技术开展捅风眼机器人装置的研制。

2　设备研发

2.1　整体方案设计

本文针对侧吹炉平台布置及风眼特点,设计出一套基于 AGV 的捅风眼机器装置整体方案。如图 1 所示,机器人装置包含捅风眼机器人设备、控制单元、自动充电单元 3 部分。捅风眼机器人利用 AGV 小车作为移动平台,可以实现在操作平台上的无轨道移动,机器人设备自备电源和气源,不需要连接电缆气管等,在非工作状态可以运行到平台一侧自动充电,完全不占用现场的操作检修平台,解决安装空间的问题。机器人设备利用 AGV 导航定位和二次机械定位技术,实现在风眼前高精度定位,设备搭载气动执行机构实现疏通风眼功能。控制单元固定安装,实现对机器人装置的调度和控制,同时接受工厂 DCS 等信号控制,控制单元与机器人装置通过无线广播通讯。自动充电单元实现对机器人的自动充电,在机器人装置工作完毕后,回到充电单元一侧完成充电。

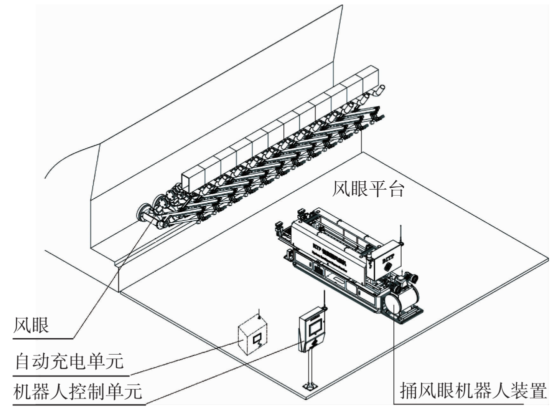

图 1　整体方案

Fig. 1　Overall scheme

2.2　机器人结构设计

捅风眼机器人装置整体由 AGV 机器人小车、气动捅风眼装置、主控箱及气泵等部件装置组成(图 2)。

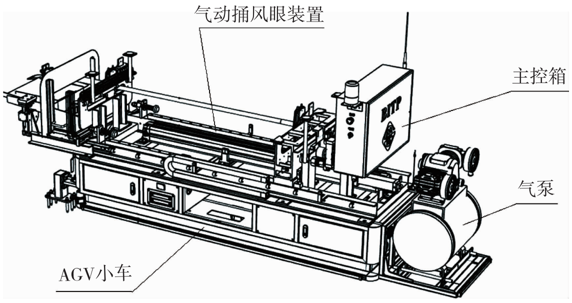

图 2　捅风眼机器人构成

Fig. 2　Structure of the tuyere puncher robot

1)机器人小车

本文定制化设计重载 AGV 机器人小车,在工作过程中 AGV 搭载气动捅风眼装置和气泵,在预设轨道上自动运行及定位,并为装备提供电源。AGV 按照地上预先铺设的磁力导轨路线进行前后或左右运行,进行导航及高精度定位,确保捅杆能够准确捅入风眼中且能够顺利拔出。在捅风眼执行过

程中,小车受到较大的反作用冲击力,本文对 AGV 小车进行了重载化设计。

2)气动插风眼装置

本文设计的插风眼装置整体基于高速气缸驱动,基于 2 个驱动气缸设计实现插杆速度的分段控制,实现对风眼保护的功能;装置设计气动横移装置,插杆可以左右移动,实现同一位置可以插两个风眼的功能;插杆固定端部设计双浮动结构,可以抵消 10 mm 左右位置偏差。装置端部设计机械预定位装置,实现插杆位置误差的补偿功能。插杆端部设计了插杆冷却装置,主要用于对插杆进行冷却。

3)主控箱

主控箱内搭载嵌入式控制器,为机器人主控制单元,接受集控单元指令,完成对 AGV 小车及气动插风眼装置的控制。

4)气泵

气泵采用静音气泵,负责对插开风眼机上面的气动元器件提供稳定洁净气源。储气罐电源由 AGV 小车提供。

2.3 控制系统设计

机器人装置采用一套基于嵌入式的自动控制系统,并进行集中控制系统的软、硬件集成开发。

1)控制系统硬件构成

控制系统包括集控主控器、车载控制器及 AGV 小车专用控制器,均采用基于 ARM 的嵌入式控制器自主研究设计,人机界面采用触摸屏电脑,可以显示、设置及配置设备;其中主控器是执行设备的主要流程控制功能,实现 AGV 小车调度功能、插风眼功能配置等,集控主控器预留接口实现与 DCS 系统的远程通讯,在 DCS 系统中可以实时查看装置的状态及对设备进行操作。主控制器通过无线广播通讯的方式实现与车载控制器的通讯。整套控制系统构成如图 3 所示。

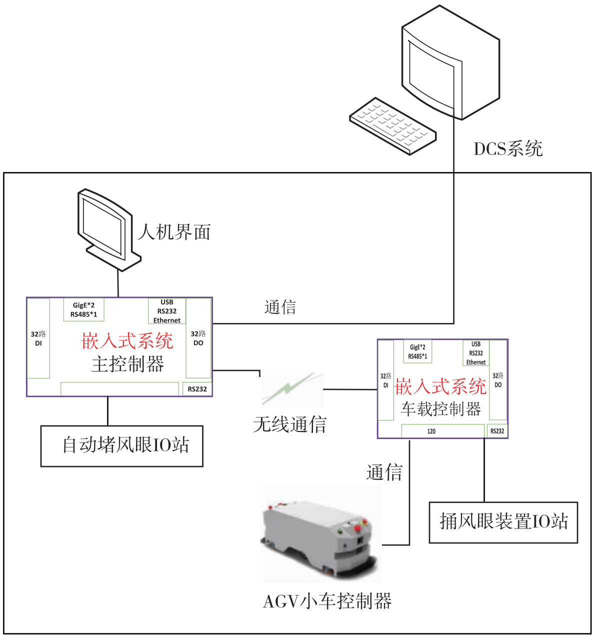

图 3　控制系统构成

Fig. 3　Diagram of control system

2)控制系统软件开发

控制系统软件包含嵌入式控制器软件和 HMI 软件开发;控制器软件包含插风眼流程设计、AGV 调度设计等模块,HMI 软件实现设备的操作及设计等,图 4 为 HMI 软件主界面。

图 4　HMI 软件主界面

Fig. 4　Interface of HMI software

3 关键技术

3.1 定位技术

基于侧吹炉风眼尺寸及捅杆直径，捅风眼时对捅杆及风眼的对准精度要求高。如图 5 所示，捅杆和风眼孔的同轴度(三维精度)要求：轴向倾斜 0.5°、偏移 2 mm，空间定位精度要求很高。

国内侧吹炉风眼平台普遍采用普通花纹钢板铺设，平台平整度比较差，以黑龙江某冶炼厂侧吹炉平台现场为例(图 6)，平台平整度偏差加上风眼安装误差，造成不同风眼与平台距离的相对偏差超过 10 mm。

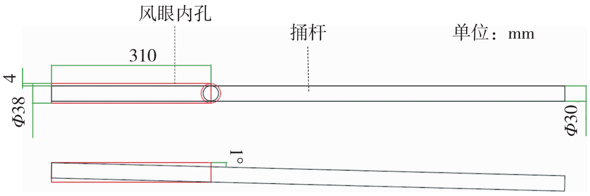

图 5 捅杆与风眼定位精度示意图

Fig. 5 Sketch map of positioning accuracy of rod and tuyere

风眼	距地面高度/mm
1	720
2	735
3	740
4	740
5	750
6	770
7	760
8	745
9	730
10	740
11	730
12	735

图 6 侧吹炉平台风眼高度偏差

Fig. 6 Height deviation of tuyere of side blowing furnace

本文重点解决普通地面条件及风眼安装高度误差的情况下，实现装置自动定位及空间对准风眼的功能。当前技术条件下，AGV 小车受到导航定位精度、停车精度的双重限制，技术上仅仅能够达到±10 mm的定位精度，无法满足侧吹炉捅风眼的高精度要求。本文根据实际需求设计出一种基于机械二次定位的技术，成功解决 AGV 自身停车定位的精度极限，进行结构设计及实际测试，成功实现 AGV 停车、定位精度达到±2 mm 的要求。同时本文设计出一种基于弹簧装置的双浮动支撑装置，解决了捅杆和风眼轴孔存在角度偏差(空间偏差)，捅杆安装在浮动装置上，可以弹性移动配合机械强制定位设计，成功解决空间定位偏差问题(地面平整度等问题)。

3.2 自动导航技术

AGV 导航分为电磁导航、激光导航、惯性导航和视觉导航等方式，其中电磁导航和激光导航的技术比较成熟[6]。本文根据实际应用场景特点及功能需求，选择采用磁条导航方式，主要优点是现场施工简单，成本低、技术成熟可靠，对于声光无干扰性，适用于冶炼车间复杂的环境场合。主要通过测量路径上的磁场信号来获取车辆自身相对于目标跟踪路径之间的偏差，实现对装置的控制及导航。AGV 小车分别在小车的前、后、左、右布置 6 套磁性传感器(图 7)，用于探测磁条信号实现位置校准、调整。控制系统实时检测各个传感器检测的磁条信号强度，根据强度强弱信号，自动调节车体车轮电机机构，调整车体位置及姿态，调节到磁条到传感器的中心位置，位置调节算法采用增量式 PID 控制算法实现。磁条布设设计专用 PTFE 的保护带，保护磁条不受损害，保证磁条使用寿命，同时也解决碳钢地面对磁导航的干扰问题。

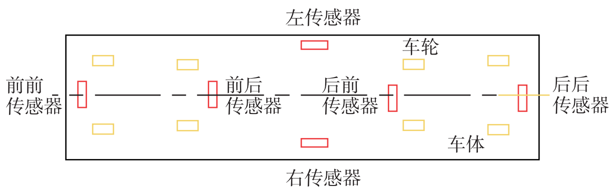

图 7 磁传感器布置图

Fig. 7 Layout of magnetic sensor

设备导航系统设计基于功能卡方式实现，导航

路径设置存储在控制器内,导航系统采用嵌入式控制程序设计实现;设计规划车体运行路径、路线,通过程序预设和功能卡功能设置,实现小车的导航控制(图 8)。

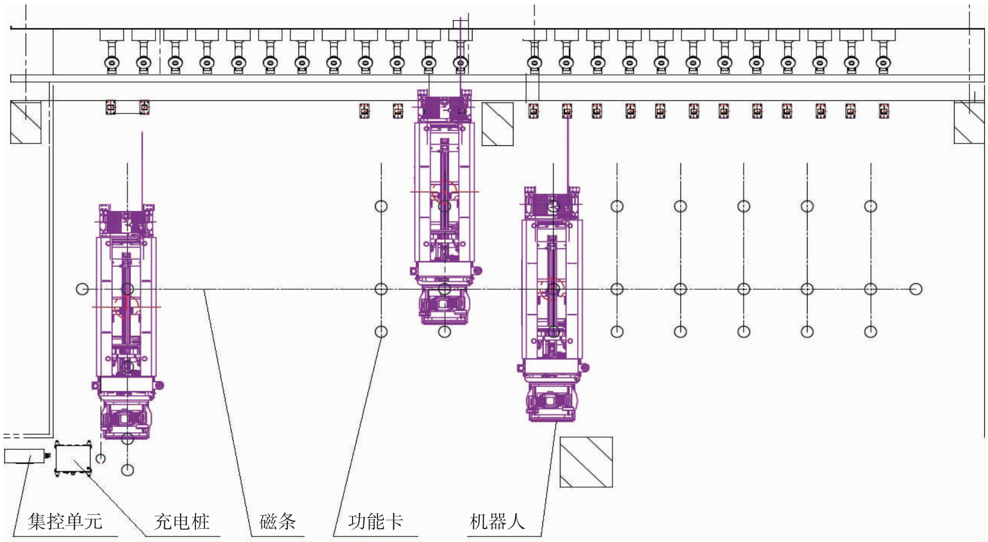

图 8　导航路径规划图

Fig. 8　Planning diagram of navigation path

4　工业试验

2021 年 10 月份,捅风眼机器人样机在黑龙江某冶炼厂完成了安装及调试(图 9),包括磁条导航系统的布设、控制箱安装、二次定位的安装等工作,并进行了工业试验。

图 9　捅风眼机器人在工业现场

Fig. 9　Tuyere puncher robot using in site

试验场地侧吹炉单侧有 24 个风眼,机器人装置对 24 个风眼进行自动化疏通;在设备调试完毕后,设备在现场投入使用,操作工只需要在集控单元输入指令,机器人装置根据人工设定的风眼疏通命令自动导航前往风眼侧进行捅风眼操作,通过实际测试,捅风眼机器人达到性能指标如表 1 所示。从表 1可以看出,该装置实际功能基本达到设计目标,实现自动化捅风眼功能。经过 1 个月设备调试及改进,该套机器人样机能够满足现场使用,基本能够替代人工捅风眼的操作。通过该装置的应用,大大降低捅风眼操作工的劳动强度,同时避免人员高温作业风险。如图 10 所示,在机器人使用前,工人需要几人配合抡捶来开风眼,工作强度很大;机器人使用后,工人只需要输入指令,监控设备运行即可。该装置产品化并可靠应用后,预计减少炉前操作人员 2～3 名,实现减员增效。

表 1　工业试验性能指标

Table 1　Industrial experimental performance indexes

序号	性能指标名称	设计目标	工业试验指标
1	捅风眼操作自动化	全自动化	实现全自动化
2	实现多个风眼疏通/个	0～24	24
3	自动定位精度/mm	±2	±2
4	捅杆驱动力/kN	1.8	2
5	捅杆最大速度/($m \cdot s^{-1}$)	1.2	1.5
6	捅杆速度分段控制	2 段调速	无极调速
7	单个风眼疏通时间/s	30	20～60
8	24 个风眼疏通时间/min	15	20～30

图10 捅风眼机器人应用效果

Fig. 10 Application effect of tuyere puncher robot

工业试验还暴露出一定问题需要改进:1)设备运行速度方面,特别在AGV运行速度偏慢,导致整个捅风眼流程时间过长;2)设备功能方面,该装置设计的插入力量和方式还不够,在针对熔炼炉内异常情况如风眼结渣太厚的情况下,该设备还无法捅开风眼,还需要人工来干预处理。

5 结语

针对侧吹炉的捅风眼难点及实际需求,基于AGV技术,创新性研制出国内外首套适用于侧吹炉的自动通风眼机器人装置,工业试验证明该装置性能达到设计目标,满足现场的实际需求,填补了市场上对该产品的需求,同时该技术及产品可以适用于转炉等其它工艺的捅风眼需求。后续应针对工业试验暴露出的问题,尽快进行技术改进,加快产品化进程。

参考文献

[1] 黄文华,刘涛.侧吹炉的应用现状和发展前景[J].铜业工程,2017(3):54-56.
HUANG W H, LIU T. Side blowing furnace application situation and development prospect[J]. Copper Engineering,2017(3):54-56.

[2] 计时鸣,黄希欢.工业机器人技术的发展和应用综述[J].机电工程,2015,32(1):1-11.
JI S M, HUANG X H. Review of development and application of industrial robot technology[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering,2015,32(1):1-11.

[3] TAKEDA K,扬家富.转炉作业的自动捅风眼机[J].中国有色冶金,1984,13(5):45-48.
TAKEDA K, YANG J F. Automatic tuyere puncher for converter[J]. China Nonferrous Metallurgy,1984,38(5):45-48.

[4] 佚名.风动捅风眼机[J].有色金属(选冶部分),1975(5):65-69.
Anonymous. Pneumatics tuyere puncher[J]. Nonferrous Metals(Process and Metallurgy Section),1975(5):65-69.

[5] 贺磊.贵溪冶炼厂自动捅风眼机的研发和设计[J].世界有色金属,2020(10):26-27.
HE L. R&D and design of automatic piercing eye machine for Guixi Smelter[J]. World Nonferrous Metals,2020(10):26-27.

[6] 钟钜斌.基于多种导航技术混合的AGV系统设计[D].杭州:浙江大学,2016.
ZHONG J B. Design of an AGV system combining multiple navigation technology[D]. Hangzhou: Zhejiang University,2016.