

高炉炉前结合工业机器人技术的控制设计

针对宝钢高炉炉前开口机换钎、泥炮加炮泥人工操作劳动工作强度大以及危险性高的缺点,对炉前工作开口机换钎、泥炮加炮泥工作实施无人智能化改进。用机器人代替人工完成炉前开口机换钎工作及泥炮自动加炮泥工作。重点介绍了炉前开口机换钎工作及泥炮自动加炮泥控制设计方案,并在高炉炉前利用了工业机器人、视觉定位和视觉导航等先进技术。最终实现高炉炉前开口机换钎、泥炮加炮泥工作无人化智能化水平。

贾祥瑞/宝钢工程技术集团有限公司

0 引言

20世纪中期,随着计算机技术、自动化技术和原子能技术的发展,美国开始对工业机器人进行研究,并使其广泛应用于工业生产中^[1]。但在冶金行业,由于工艺、工作环境等原因却一直未被广泛使用,然而工业机器人智能化可以进一步改善产品质量,提高经济效益,减轻劳动强度,保护生态环境,因此是国民经济可持续发展的必然选择,也是发展冶金自动化的必由之路^[2]。本文给出一个高炉炉前开口机自动换钎及泥炮自动加炮泥控制设计的思路及具体控制设计方案。

1 应用背景

炉前出铁口主要设备是液压炮泥机、液压开口机、液压移盖机和电动摆动流嘴^[3],其中液压炮泥机加炮泥、液压开口机换钎工作在宝钢高炉生产过程均为人工添加及更换,工作强度大且危险性高,具体作业如下。

(1) 加炮泥作业

泥炮的炮泥采用人工方式进行填

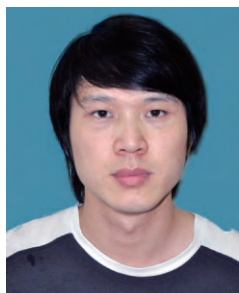
充,且每次只能填充一块炮泥,需人工用小車两次倒运至炮泥填充处进行填充。每次泥炮的炮泥使用量为400~500 kg,约50~60块,中间需进行3次顶泥作业。每次装填炮泥需两人配合,作业时间40 min左右,每天需作业13~15次,合计人工搬运量为每天15 t,人工搬运劳动负荷大,技术含量低,属于重复性作业,对炉前操作人员体力要求较高,且现场作业环境复杂,人机结合界面多,曾出现过安全事故。

(2) 换钎(钻杆及铁棒)作业

开口机钻杆及铁棒更换采用人工方式。每根钻杆及铁棒长6 500 mm,直径40~60 mm,重量约50~100 kg,每次更换需两人配合作业,每次拆装作业时间约20 min,每天正常作业13~15次,异常情况下每天可能进行30次的换钎工作,搬运与安装劳动负荷大,人机结合危险隐患大,曾多次发生换钎过程中机械伤人的安全事故。

2 设计方案

高炉炉前泥炮加炮泥和开口机换钎工作具有劳动负荷大、危险程度大以及健康环境差等缺点^[4],为提高工作效率、改善工作环境以及降低劳动负荷及危险,同时为了保护现场作业人员的身心健康,迫切需要开展高炉炉前开口机换钎、泥炮加炮泥作业无人智能化的探索和实践。本文针对宝钢高炉炉前特点,给出了以机器人控制技术替代人工操作的开口机换钎、泥炮加炮泥控制设计方案。



贾祥瑞/工程师

关键词/Keywords

无人智能化·
自动加炮泥装置·
自动换钎装置·

2.1 总体设计

2.1.1 硬件架构

为满足高炉炉前自动换钎装置、自动加炮泥装置设备与高炉及炉前其他设备自动控制及联锁要求,炉前需设一套集中控制用PLC系统,用于采集炉前设备状态,并对炉前设备进行集中控制管理,实现自动换钎装置自动换钎、自动加炮泥装置自动加炮泥功能。为保证设备运行的稳定性,PLC采用西门子S7-400H冗余系统(以下称“集

控PLC”)作为主站,4个铁口的泥炮机、开口机、移盖机、泥炮自动加泥装置和开口机自动换钎装置等炉前设备自带控制系统作为从站,彼此之间采用工业以太网通信的方式进行控制命令及状态数据交换。此外,在炉前集控室内设置两套HMI操作站,采用WinCC软件制作操作画面,用于操作人员炉前设备状态监视及控制。机旁设置现场操作控制箱,单机自动、手动及检修调试在操作箱上进行操作。具体硬件网络框架如图1所示。

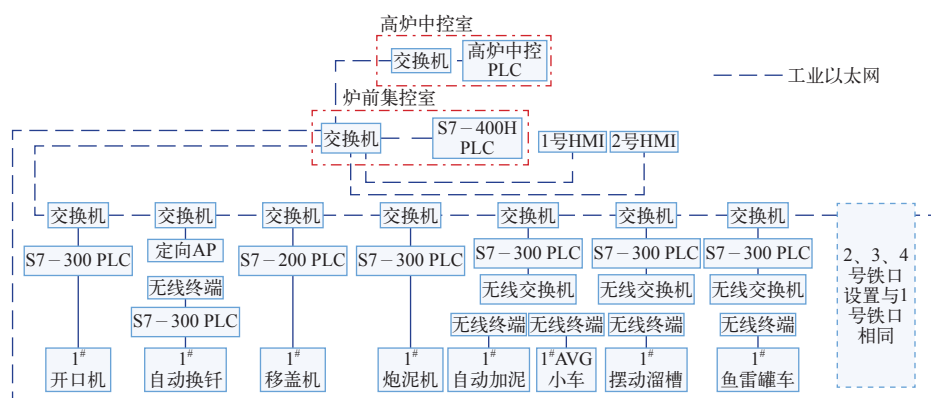


图1 炉前控制系统硬件网络框架图

2.1.2 控制流程

在高炉炉前利用分布式集散控制理论,通过集控PLC收集炉前现场主要设备状态数据,在集控PLC将收集的信息进行数据处理,并将处理结果做出的相应决策命令发送给自动加炮泥装置及自动换钎装置,自动加炮泥装置及自动换钎根据集控PLC发出的命令完成相应工作,使其运转达到无人干预的智能自动化水平。泥炮加泥、开口机换钎工作总体操作流程如图2所示,具体如下:

1) 泥炮机泥量信息先送入集控PLC,集控PLC对数据进行处理,并将加炮泥命令发送给自动加炮泥装置,自动加炮泥装置为泥炮加炮泥,炮泥加满后,自动加炮泥装置发送加泥完成信息给集控PLC,集控PLC再将加炮泥完成信息转送至高炉中控PLC,作为高炉中控PLC控制与决策下次使用几号铁口实施出铁的一个必要条件。

2) 开口机钻钎状态信息先送入集控PLC,集控PLC对数据进行处理,并将换钎命令发送给自动

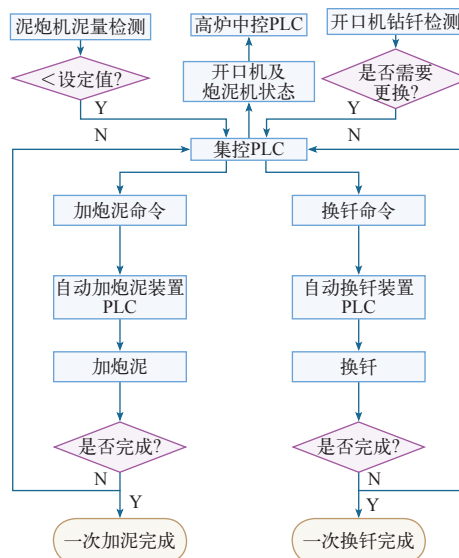


图2 炉前加炮泥及换钎总体流程

换钎装置,自动加换钎装置为开口机换钎,换钎结束后,自动加换钎装置发送换钎完成信息给集控PLC,集控PLC再将换钎完成信息转送至高炉中控PLC,作为高炉中控PLC控制与决策下次使用几

号铁口实施出铁的一个必要条件。

2.2 自动加炮泥装置

2.2.1 系统组成

自动加炮泥装置由加泥机械手、机器人小车（下称“AGV小车”）、炮泥载具、视觉定位系统和终端控制系统组成。根据生产工艺和现场场地布局规划分为三个工作区域：炮泥存放区、炮泥运载区和炮泥装填区。

自动加炮泥装置终端控制系统采用西门子PLC为S7-300系统作为终端主站，用于控制自动加炮泥装置，并布置在炮泥机旁。AGV小车、机器人设置ET200作为终端子站。主站和子站之间通过无线工业以太网方式进行通信。

视觉导航系统^[5]由CCD摄像头、光源和视觉处理软件组成。

2.2.2 控制流程

自动加炮泥流程如图3所示。当高炉泥炮量低于设定值时，回转至待机位发出可以进行装泥作业信号给集控PLC，集控PLC发出加炮泥命令给自动加炮泥装置，AGV小车从炮泥框架存储区取出炮泥框架，通过视觉导航技术按规定路径运输至炮泥填充区，机械手打开泥炮填充口，从炮泥框架上取出炮泥，机械手转到炮泥填充口上方，并放入炮泥填充口，重复上述动作，直至泥炮填满，机械手关闭泥炮填充口，机器人小车视觉导航技术按规定路径将炮泥框架从填充区运回至炮

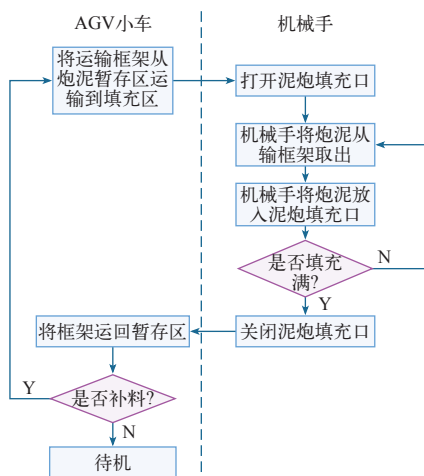


图3 自动加炮泥流程

泥框架存储区，并将加泥完成信息送入集控PLC，一次加泥工作完成，整套系统进入待机状态，从而实现炮泥机加炮泥无人干预智能自动化。

在运行过程中，AGV小车上的CCD摄像头拍摄路面图像，检测机器人运动中心是否偏移，通过运动控制器控制左右两轮差速，从而使机器人沿设定路线运行，当拍摄到在路径上设定位置的标签后通知机器人到达设定位置，此时机器人可在车载计算机控制下完成停靠、转向、加减速和设备检测等动作^[5]。

2.3 自动换钎装置

2.3.1 系统组成

自动换钎装置是一个电、液驱动的可移动设备。自动换钎装置包括机械手、小车、钎架、视觉定位系统、终端控制系统及配套设施，机械手安装在移动式小车上，钎架采用固定式安装，用于存放新钎。

换钎装置终端控制系统采用西门子PLC S7-300系统，用于控制自动换钎装置，安装在自动换钎装置机架上。

视觉定位系统由CCD摄像头、光源和视觉处理软件组成。

2.3.2 控制流程

自动换钎流程如图4所示。高炉开口机钻钎损坏后，回转至待机位给出可以进行卸钎、装钎作

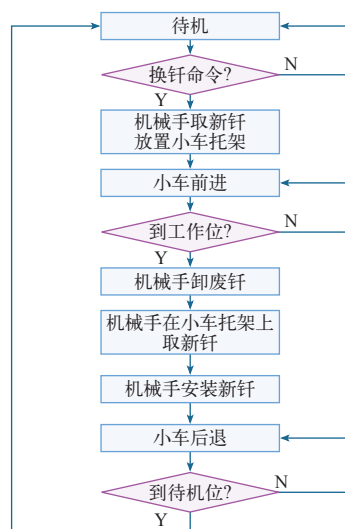


图4 自动换钎流程

业信号给集控PLC，集控PLC发出换钎命令给自动换钎装置，机械手从钎架取钎放置小车的托架上，小车带动机械手至换钎工位，机械手抓住开口机上废钎，配合开口机动作，拆卸废钎，废钎直接落到废钎收集盒内；机械手从小车托架上抓取一根钻杆，通过视觉定位功能将钻杆的钻杆举升到开口机钻杆接套处，配合开铁口机动作安装钻杆；安装作业完成后自动换钎装置返回到钻杆放置点待机，并将换钎完成信息送入集控PLC。实现取钎、运钎、卸钎和装钎无人干预智能自动化。

3 同类产品对比

3.1 加炮泥装置

3.1.1 同类产品应用

在日本神钢加古川制铁所与新日铁住金和歌山制铁所高炉均采用了加装炮泥装置，具体操作流程如下。

(1) 日本神钢加古川制铁所机器加炮泥主要流程

首先将炮泥装入斗中，用吊车将炮泥斗吊至风口平台，用叉车将其摆放整齐，加装炮泥之前再用叉车将其倒入漏斗内，经由溜管进入泥炮，漏斗与泥炮之间由阀门控制。

(2) 新日铁住金和歌山制铁所机械加炮泥主要流程

通过叉车将炮泥斗运送到指定位置，炮泥斗内分割成若干小格，每个小格为一次加装炮泥量，将其推入输送带后，经由漏斗溜管进入泥炮。整套设备都在风口平台下方。

3.1.2 产品对比

上述两种产品均需设置炮泥斗及辅助加泥装置，对空间要求比较大，泥炮结构需更改，加泥量控制准确度低，灵活性差，加泥过程中需人工干预。具体对比如表1所示。

3.2 换钎装置

3.2.1 同类产品应用

北京冶金设备研究总院（简称北冶院）曾

表1 加炮泥装置同类产品对比

	神钢方案	新日铁方案	本方案
空间	垂直空间大	垂直空间较大 水平空间大	垂直空间要求小 水平空间灵活
结构	需漏斗溜管	需漏斗溜管	不需要漏斗溜管
人工干预	需要	需要	不需要
准确度	低	低	高
灵活性	差	差	好

经设计一套换钎装置，主要由机械本体、液压系统和电控系统组成，设备的主体部分设置在炉前开铁口机的退避位置处，进行钎杆的装卸更换动作。液压系统由油箱、电动机、油泵、泵头组件和7个叠加阀块等元件组成，所有元件均布置在油箱上。通过液压软管和托链与机械本体上6组油缸相连，驱动其实现所要求的动作。通过设置在机械本体上的线控操作盘，由人工操作控制换钎机的动作^[6]。

3.2.2 产品对比

上述换钎装置存在操作比较复杂、定位准确度不高以及过程中需人工干预等缺陷，具体缺陷如下：

- 1) 每次换钎时换钎位置需重新定位，并需人工干预。
- 2) 每次取钎需送钎机构与机械夹配合取钎、操作复杂。
- 3) 每次开铁口机退回至退避位置时的位置有误差，需人工干预。
- 4) 每次卸钎需人工干预操作，不能实现全自动卸钎。

与本方案对比情况如表2所示。

表2 换钎装置同类产品对比

	北冶院方案	本方案
结构	复杂	简单
人工干预	需要	不需要
安全风险	存在	无
准确度	低	高

4 先进应用

为实现开口机自动换钎、泥炮自动加炮泥

功能,本控制方案的部分先进技术首次在高炉前使用,具体如下:

1) 自动加炮泥装置、自动换钎装置首次在高炉炉前应用工业机器人技术。

2) AGV小车达到无人自动化水平,利用视觉导航技术完成从炮泥框架取、还炮泥框架工作。

3) 为使换钎装置能够准确定位,引入了视觉定位系统。

4) 由于机器人小车为移动设备,避免了有线通信设置网线的弊端,引入无线通信技术。

5 结束语

改进宝钢每台高炉的工作可以减少炉前6个人工工作岗位,正常生产情况每天减少人工搬运及添加炮泥约15 t,减少人工换钎13~15次,同时可以大量降低炉前人工劳动强度及负荷,降低安全事故发生几率,保护现场工作人员的身心健康。自动加炮泥装置、自动换钎装置自动化程度高,与同类产品相比有明显优势。在炉前提出了无人智能化的一个新概念,首次将工业机器人、

视觉定位和视觉导航系统等先进技术应用到高炉炉前,为今后同类高炉炉前无人智能化的推广提供了设计经验。

参考文献

- [1] 孙英飞,罗爱华.我国工业机器人发展研究[J].科学技术与工程,2012(12):2912.
- [2] 蔡自兴.人工智能在冶金自动化中的应用[J].冶金自动化,2015,39(1):1-8.
- [3] 王天球,余樟勇.宝钢1号高炉自主集成国产化设备生产实践[J].炼铁,2011,30(3):33-35.
- [4] 黄晓弟.高炉炉前作业危害辨识及安全管理[J].现代冶金,2015,43(2):33-36.
- [5] 王金波,姜伞,徐鹏.自主移动机器人巡线控制研究[J].自动化技术与应用,2011,30(7):17-21.
- [6] 李伟.大型高炉新型换钎机介绍[J].冶金设备,2007(5):16,53-55.

(收稿日期:2016-03-18) **EA**

(上接第72页)

- Sixth International Conference on Electrical Machines and Drives, Oxford, UK, 1993.
- [4] 花为,程明,Zhu Z Q,等.新型磁通切换型双凸极永磁电机的静态特性研究[J].中国电机工程学报,2006,26(13):129-134.
 - [5] 朱瑛,程明,花为,等.磁通切换永磁电机的空间矢量脉宽调制控制[J].电机与控制学报,2010,14(3):45-50.
 - [6] 陆炜,程明,花为.新型两相磁通切换型永磁电动机调速系统建模与仿真研究[J].微电机,2007,40(7):1-6.
 - [7] Zhu Z Q, Thomas A S, Chen J T, et al. Cogging torque in flux-switching permanent magnet machines

[J]. IEEE Transactions on Magnetics, 2009, 45(10):4708-4711.

- [8] Wang Y, Jin M J, Fei W, et al. Cogging torque reduction in PM flux-switching machines by rotor teeth axial pairing [J]. IET Electric Power Applications, 2010, 4(7):500-506.
- [9] 贾红云,程明,花为,等.磁通切换永磁电机等效模型与控制策略分析[J].电机与控制学报,2009,13(5):631-637.
- [10] Chau K T, Chan C C, Chunhua Liu. Overview of permanent-magnet brushless drives for electric and hybrid electric vehicles [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2008, 55(6):2246-2257.

(收稿日期:2015-05-09) **EA**