

引用格式:付欣,邱永峰,陈蔚国,等.炼铁厂高炉底滤池智能无人天车控制系统设计与应用实践[J].有色设备,2024,38(4):86-91.

FU Xin, QIU Yongfeng, CHEN Weiguo, et al. Design and application practice of intelligent unmanned crane control system for blast furnace bottom filter in ironworks[J]. Nonferrous Metallurgical Equipment, 2024, 38(4): 86-91.

炼铁厂高炉底滤池智能无人天车控制系统设计与应用实践

付欣¹, 邱永峰^{2*}, 陈蔚国¹, 刘存钱², 王雷雨²

(1. 湖南华菱湘潭钢铁有限公司, 湖南湘潭 411100; 2. 湖南天桥嘉成智能科技有限公司, 湖南株洲 412007)

[摘要] 针对某炼铁厂高炉底滤池无人化升级改造的切实需求,本文设计并研制了一套智能无人天车控制系统,在炼铁厂首次实现了抓渣转运全作业流程下的无人化运行。该系统主要包含天车电控系统、天车定位系统、地面设备控制系统、天车监控系统等,提出了一种新颖的基于双车联动的协同调度安全控制策略,基于线程技术控制天车合理执行等待、避让或移动等调度任务,首次实现同跨两台天车安全稳定协同调度。实践应用效果表明,改造后的炼铁厂高炉底滤池无人抓斗天车自动化和信息化程度高,抓斗运行平稳性、同步性、作业效率、满斗率等关键指标均优于人工操作,作业效率提升约20%,能耗下降约10%,劳动强度降低约70%。

[关键词] 炼铁厂;高炉底滤池;智能天车;无人系统;双车联动;线程技术

[中图分类号] TF341.4

[文献标志码] A

[文章编号] 1003-8884(2024)04-0086-06

DOI: 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2024.04.013

0 引言

目前,以自动化技术和信息技术为基础,结合现场实际的具体需求,融合通信技术,通过设备状态数据实时采集,实现设备互联互通无人化值守,解决信息孤岛和人员管理不便等问题,最终实现生产智能化,已逐渐成为钢铁冶金行业的一种发展趋势^[1]。比如,湛钢炼铁厂通过数字化原料场、智慧烧结、焦炉四大车无人化、高炉炉前作业自动化等智能制造的探索和实践,为企业稳定生产、提升效率、降低成

本提供了一些参考的发展方向^[2]。酒钢炼铁厂基于信息化框架对设备管理功能进行设计,设备管理实现了统一化、智能化和高效化^[3]。山西太钢炼铁厂利用无线通信技术和视频信号智能分析技术,对高炉干煤棚堆料机进行了无人化改造,实现了智能识别料堆高度和料仓,自行堆料、料满自动行走或停止卸料等功能^[4]。另外,通过技术升级改造实现降低能耗、稳定生产也是许多炼铁厂重点关心的问题^[5]。从某种程度讲,渣处理工艺的好坏决定了高炉炼铁厂是否能稳定高产。

目前,炼铁厂高炉渣底滤法渣处理工艺系统的末端,涉及渣粒取出和外运的环节,通常是采用底滤池上方的桥式抓斗起重机将渣抓出外运,这个环节还有优化的空间。优化的核心思路就是:首先对天车进行升级改造实现无人化运行,其次研制相应的控制系统实现对天车的管控,并与其他管理系统实现互联互通,最终实现生产智能化管控。某炼铁厂对于高炉渣底滤池中的渣粒处理,目前主要采用人工操作天车对渣粒进行抓取,这种方式常常会出现人工误操作,一方面,渣池经常出现烟气环绕的情况,严重阻碍了人工操作的准确性;另一方面,由于

[收稿日期] 2024-04-26

[第一作者] 付欣(1980—),男,湖南湘潭人,工程师,硕士研究生,主要从事钢铁智能化、自动化、电气设备相关工作。

[通信作者] 邱永峰(1985—),男,湖南娄底人,高级工程师,博士后,主要从事控制系统、智能制造等方面的研究工作,现任湖南天桥嘉成智能科技有限公司总工程师。

[基金项目] 科技成果转化及产业化计划-高新技术产业科技创新引领计划-5G重载搬运智能装备研发及产业化(2021GK4008);工信部2023年度智能制造系统解决方案揭榜挂帅项目-面向工程机械的柔性智能切割下料分拣产线。

操作人员处于渣池上方,操作视线容易受到限制,进而导致出现空抓以及漏抓的情况,使得抓渣效率低下。基于此,本文设计并研制了一套智能无人天车控制系统,首次实现了抓渣转运全作业流程下的无人化运行。

1 高炉炉渣处理系统现状

1.1 高炉炉渣处理系统的优化

在炼铁厂,对高炉炉渣处理系统的优化和升级改造一直是很多学者普遍关心的问题。比如,福建三钢采用底滤法对原来的平流沉淀法渣处理系统进行了技术改造^[6];马钢集团通过监控过滤池液位、调控冲渣水压以及调节水平衡的技术手段,使新型底滤法渣处理系统的顺行得到保障,系统运行平稳^[7];四川德钢集团从水渣冲制系统、水渣过滤系统、水渣过滤及粒化系统等3个方面进行技术改造,改造示范效果明显,但其操作智能化及能源梯级利用还未达到国内领先水准,仍有提升空间^[8];福建罗源闽光钢铁高炉环冷底滤法水渣处理工艺存在冲渣沟经常性满渣溢出、过滤池滤石被行车抓出导致过滤效果降低等问题,通过加装冲渣沟补水管、改造底滤池过滤装置等技术升级改造,提高了底滤池的过滤效果^[9]。

1.2 天车的无人化智能化

工业自动化与物联网技术的突飞猛进为天车无人化、数字化管理提供了便利,天车的无人化智能化也逐渐成为一种发展趋势^[10-12]。比如,在铜冶炼行业,贾思柔等^[13]设计并开发了铜矿库无人天车系统,涉及的关键技术包括吊具防摇技术、天车调度技术、三维扫描技术和天车定位技术,该系统实现了无人天车与各生产工序、工单系统、仓库物流、ERP系统等的信息交换,并能根据生产计划动态调节作业进度。李怀逵^[14]在线材生产线成品库设计了无人化控制天车与库管系统,自动化无人天车具有扫描识别、自动定位、无人控制、防摇、调度等功能,升级改造后的系统对线卷的信息跟踪实现了无纸化记录,避免错漏,便于追溯。

本文的智能无人天车控制系统主要包含天车电控系统、天车定位系统、地面设备控制系统、天车监控系统等,是一种新颖的基于双车联动的协同调度安全控制策略,基于线程技术控制天车合理执行等待、避让或移动等调度任务,首次实现同跨两台天车

安全稳定协同调度。

2 底滤法渣处理工艺

底滤法渣处理工艺流程简述如下:高炉熔渣由熔渣沟流入粒化塔,经冲制箱喷出的高速水流快速碎冷、粒化成颗粒状,在粒化塔深水区经过浸泡、二次水碎,其渣水混合物经自重流入水渣沟,经转换流槽进入多个过滤池中的任一池子进行过滤脱水;当一个过滤池内渣堆满后,通过从过滤池底部抽干其积水来实现渣水的分离;然后用底滤池上方的桥式抓斗起重机将渣抓出外运;同时,通过转换流槽的转换,将渣水混合物转换至另一个底滤池进行重复过滤、脱水及抓渣的操作;底滤池内经过过滤层的热水通过热水泵抽吸进入高架冷却塔,冷却后的水贮存于下方的冲渣贮水池备用,依次往复循环,实现水资源的重复利用。

3 智能无人天车控制系统总体架构

智能无人天车控制系统的整体架构如图1所示,该系统集成了先进传感、无线通信、智能优化等多种技术。无人天车硬件系统架构主要包括 PLC、变频器、电机、各种类型的检测传感器等;无人天车软件系统受 WMS 的指挥及调度,并融合了状态监控系统和视频监控系统等其他系统。无人天车智能控制系统由信息域和物理域共同构成。物理域由若干测量设备、反馈设备和执行设备组成,这些元素具有通信能力、感知能力和指令执行能力。其中,传感测量设备感知用户关注的状态属性信息,把测量数据及时地发送给监测端;执行设备根据系统发送的指令完成相应的动作,如起吊、过跨、步进等;反馈设备在执行的过程中进行实时感知和信息反馈。

本文所述的天车智能化实现是基于天车 PLC (可编程控制器)、变频器和传感器等硬件系统,融合机器识别、计算机、通讯等信息技术,并开发相应的智能调度与控制算法,实现抓渣天车无人自动化运行以及与上层管理系统的互联互通。本文所述的控制系统,重点解决底滤池中水渣自动抓出和外运的自动控制问题。

4 智能无人天车关键子系统

本文所述的天车是抓斗天车,其主要功能有3项:首先是造堆,天车从渣池的进料口抓渣到堆积

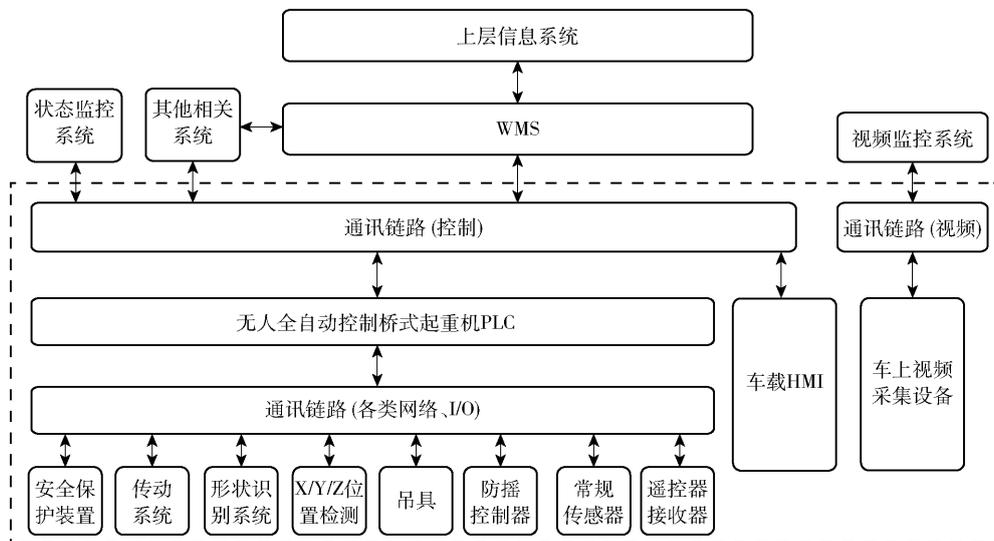


图1 控制系统架构

Fig.1 Control system architecture

区进行滤水;其次是装车,外运车辆停在装车区后,天车从渣池将高炉渣抓至车斗;再次是吊装,在有设备检修、吊运备材需求时,需进行吊装作业。为实现上述作业目标的自动运行功能,智能抓斗天车需要开发相应的硬件和软件系统,并配备多个功能技术模块,关键子系统主要包含:天车电控系统、天车定位系统、地面设备控制系统、天车监控系统等。

4.1 天车电控系统

智能抓斗天车电控系统主要由车载 PLC 系统及各机构驱动变频器等组成。车载 PLC 采用西门子 S7-1500 系列。电机驱动采用西门子高性能变频器控制,速度精度及力矩精度较高,适合天车电机控制。

4.2 天车定位系统

天车的定位包括大车、小车、主钩 3 个方向上的位置检测,X 轴定位用来测量大车行驶距离,Y 轴定位用来测量小车行驶距离,Z 轴定位用来测量天车吊具距地面的高度值。定位的准确性不仅直接影响吊运动作的正确性,还与安全生产密切相关。大车、小车定位系统采用编码电缆对大车和小车位置进行检测。起升机构(Z 方向)及抓斗开闭位置检测采用绝对值编码器,其集成的 PROFINET 接口可以实现与 S7-1500PLC 的完美融合和数据传输。另外,抓斗开闭卷筒端部安装多圈绝对值编码器来实时测量抓斗开闭状态,抓斗上方配置的称重传感装置能够判断物料抓取情况,同时辅助进行抓斗触底判断。

天车自动定位的实现原理如下:天车三维位置

检测系统能实时检测天车的三维位置,通过地面中控系统向天车发送目标位置;车载 PLC 接收到该位置后,控制各机构变频器驱动各机构电机向目标位置运行,通过一定优化算法,当天车停止时,刚好达到目标位置,有效提高定位效率。

4.3 地面设备控制系统

由于智能抓斗天车处于无人驾驶状态,自动化程度高,地面运输车辆等地面设备需与无人天车系统产生信息交互,实现联动控制。因此,该部分设备涉及一定程度的改造。改造后的地面设备需具备以下功能:首先是地面设备与无人天车系统的信息对接功能,包括停车到位、任务触发、任务修正、作业结果反馈等;其次是安全受控功能,包括作业与停靠规则、报警与响应规则等。

为满足上述功能需求,需要在现场地面设计部署相应的设备设施。首先是部署就地电控系统,司机可通过就地电控系统按钮输入“装车请求”“紧急停止”“补充装料”“装车完成”等信号,系统也可向车辆(司机)发出“车辆姿态错误”“渣池欠料”“系统启动请离开”等语音提示、声光报警、指示灯点亮及语音告警等信号。其次是装车请求处部署网络电话机,便于司机和控制中心人员沟通。中控台上安装网络寻呼话筒,同时具备点对点拨号通话功能;然后是天车上安装功放扩音器,可以利用中控台上的网络寻呼话筒对天车作业区域进行广播喊话,如滞留人员的驱离等,进一步强化天车自动化运行时的

安全。最后是作业区出入口通道设置电子围栏,当自动化作业期间有人、车异常闯入时,系统能自动停车,并发出声光或语音告警。

4.4 天车监控系统

如图2所示,为设计开发的天车状态监控和操作系统上位机软件,实现了对天车 PLC、地面控制 PLC 及调度控制接口的整体集成,并形成了统一的监视控制平台。首先,该应用软件编制了系统调度服务,对作业次序、作业路径、资源分配、堆位分配等,通过智能调度系统按预设的策略或算法,实现自

动决策;其次,编制了作业控制服务,通过与 PLC 动作控制数据的对接,以及现场状态的感知或操作管理终端的输入,输出驱动 PLC 动作的指令,实现无人天车作业控制;再次,编制了作业模式管理服务,通过上位机系统可实现手动、现场遥控与全自动控制模式的一键切换;最后,根据客户现场的作业与管理需要,编制了前端界面,实现设备监控、作业监控、作业管理以及必要的系统设置功能,编制了相关安全响应程序,确保现场作业安全保护,提供渣场即时库存状态评估,以及装车信息等各类统计报表。

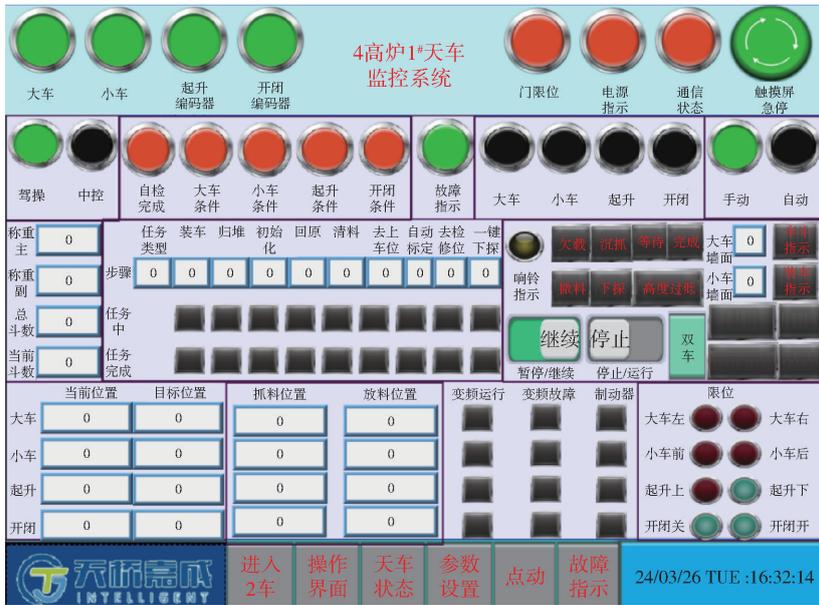


图2 天车监控系统

Fig.2 Overhead crane monitoring system

上位机人机界面及监控系统程序的主要功能还包括:实时报警及故障记录,天车运行数据及状态指示,天车运行模拟、工作流程及数据显示,主要执行机构的实时和历史数据曲线显示,系统工作状态、网络状态指示。采集上传至天车监控系统上位机软件的天车运行数据及状态信息主要包括:重量信息、大小车行走速度、大小车及抓斗位置实时数据、主起升速度反馈、主令控制器档位反馈、大小车限位信号、主起升高度反馈、主起升重锤信号、抱闸信号、变频器温度电流等。

4.5 双车联动协同调度

如图3所示,为底滤池无人天车项目示意图。改造前,2台天车覆盖1个大的底滤池;改造升级后,为了提高工作效率,将底滤池分成2个小底滤

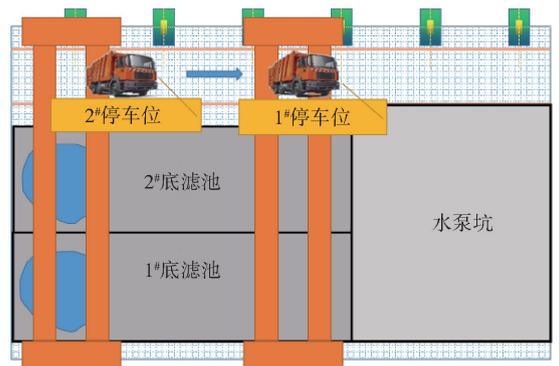


图3 底滤池无人天车项目示意

Fig.3 Schematic diagram of the bottom filter crane project

池,当其中的1个小底滤池进行冲渣过滤时,另1个小底滤池可以进行抽水、造堆、过滤干燥、装车转运

等作业,反之亦然。相应地,对2台天车的任务也进行了分工,为提高2台无人天车协调作业的运行效率,并保证安全运行,在控制层面上,设计了一种基于双车联动的协同调度安全控制策略,双车由各自线程控制,设计为“移动”与“避让”两种状态,2个线程共同抢夺1个优先级指令,保证同一时刻只有1台天车判断是否可运行。抢到优先级指令的线程,判断其目标位置是否与另1台车的目标位置冲突。若冲突,则当前天车状态为避让;若不冲突,则当前天车状态为移动。

5 智能无人天车应用实践

改造后的炼铁厂高炉底滤池无人抓斗天车,平均90 s可以抓一斗料,无人天车1 d可工作20 h,则1台天车可抓料800斗,天车1次抓渣4 t左右,也就是说无人抓斗天车1 d可以转运3 200 t的底滤池渣,而2台抓斗天车1 d可以转运6 400 t。改造后的炼铁厂高炉底滤池无人抓斗天车自动化和信息化程度高,原有的普通电机改成节能型变频电机加上变频器,能耗下降约10%;抓斗运行平稳性、同步性、作业效率、满斗率等关键指标均优于人工操作,作业效率提升约20%,可完全替代人工作业,劳动强度降低约70%。

6 结语

本文设计并研制了一种智能抓斗无人天车控制系统,提出了一种新颖的基于双车联动的协同调度安全控制策略,并在实际项目现场实施应用,首次实现了炼铁厂高炉底滤池天车吊运全自动作业,按工艺要求进行渣料捞取、平堆、转堆、装车外发等作业,实现了抓斗天车的智能抓渣控制和设备运行智能化,节省了人力资源,提高了管理水平,降低了安全风险,延长了设备使用寿命,将高炉底滤池改造成信息集成管理、集约中控的现代化智能渣场。

从2019年开始,华菱湘钢开始大力推进智慧工厂建设,在5G工业互联网领域先行试水,创新应用场景在湘钢成功使用,实现了天车远程控制、天车无

人驾驶等诸多应用场景。项目的建设与应用为无人天车技术在国内的发展奠定了基础,起到了良好的示范性作用。

未来将结合大数据、云计算、物联网、人工智能等新兴技术,聚焦行业共性痛点问题,继续引领无人天车控制系统和搬运装备的升级改造,努力实现天车全场景无人化作业,推动多类型多场景智能无人天车系统的研发与应用,在现场自动化、管理数字化、系统智慧化等方面,持续努力突破。

[参考文献]

- [1] 谭天雷. 炼铁厂变电站智能化监测系统的应用[J]. 设备管理与维修, 2023(14):146-147.
- [2] 韩仁义,梁利生. 宝钢湛江炼铁厂智慧制造探索与实践[C]//中国金属学会. 第十四届中国钢铁年会论文集. 2023,6.
- [3] 程桂林. 酒钢炼铁厂设备管理信息化系统架构体系与功能设计研究[J]. 中国设备工程,2023(22):137-139.
- [4] 王宏伟. 炼铁厂6号高炉长期焖炉后快速开炉达产实践[J]. 山西冶金, 2023(10):137-140,145.
- [5] 罗剑冰,孙宝芳,尹芳,等. 某炼铁厂1#高炉降低燃料消耗实践[J]. 甘肃冶金,2024,46(01):51-53.
- [6] 唐宇,郭帅,王林. 福建三钢6#高炉渣处理工艺改造[J]. 天津冶金,2020(5):14-16.
- [7] 王海鹏,侯玉伟,李洪. 马钢1#高炉渣处理改造实践[J]. 工业炉,2020,42(5):70-72.
- [8] 徐小刚,刘华,刘仕桃,等. 3#高炉炉渣处理系统改造实践及思考[J]. 四川冶金,2022,44(3):21-24,28.
- [9] 邱道钦. 罗源闽光二期1#高炉冲渣系统的应用和改造[J]. 甘肃冶金,2023,45(1):70-73.
- [10] 刘洋,王晓晨,邵健. 无人天车与智能库管系统的应用与研究[J]. 冶金自动化,2021,45(S1):6-11.
- [11] 戈帅珍. 无人化智能天车安全防护系统分析[J]. 冶金自动化,2022,46(S1):421-424.
- [12] 李志亮,李树丰. 智能无人天车系统在钢铁行业的应用及展望[J]. 河北冶金,2023(S1):44-45,66.
- [13] 贾思柔,邓焯堃,谢云. 铜矿库无人天车系统的研究与应用[J]. 制造业自动化,2022,44(8):114-117.
- [14] 李怀逵. 天车无人化控制与库管系统的应用[J]. 冶金自动化,2023,47(S1):19-23.

Design and application practice of intelligent unmanned crane control system for blast furnace bottom filter in ironworks

FU Xin¹, QIU Yongfeng^{2*}, CHEN Weiguo¹, LIU Cunqian², WANG Leiyu²

(1. Hunan Valin Xiangtan Iron & Steel Co., Ltd., Xiangtan 411100, China;

2. Hunan Tianqiao Jiacheng Intelligent Technology Co., Ltd., Zhuzhou 412007, China)

Abstract: In response to the practical need for unmanned upgrading and renovation of the bottom filter of a blast furnace in a certain ironmaking plant, this paper designs and develops an intelligent unmanned overhead crane control system, which has achieved unmanned operation under the full operation process of slag grabbing and transportation for the first time in the ironmaking plant. The system mainly includes the overhead crane electrical control system, overhead crane positioning system, ground equipment control system, overhead crane monitoring system, etc. A novel collaborative scheduling safety control strategy based on dual vehicle linkage is proposed. Based on threading technology, the overhead crane is controlled to reasonably execute scheduling tasks such as waiting, avoiding, or moving, achieving safe and stable collaborative scheduling of two overhead cranes across the same span for the first time. The practical application results show that the automation and informatization level of the unmanned grab bucket crane for the bottom filter of the blast furnace in the renovated ironmaking plant is high. Key indicators such as the stability, synchronization, operation efficiency, and full bucket rate of the grab bucket are better than manual operation. The operation efficiency is increased by about 20%, the energy consumption is reduced by about 10%, and the labor intensity is reduced by about 70%.

Key words: ironworks; blast furnace bottom filter; intelligent overhead crane; unmanned systems; dual-vehicle linkage; threading technology ▲

敬告读者

为了加快稿件处理速度,缩短稿件出版周期,方便广大作者投稿及查询稿件处理情况。本刊开通由中国知网提供的“腾云”网络采编系统,作者投稿请注册并登录本刊主页上的“作者投稿系统”进行相关操作,网址 <https://yssb.cbpt.cnki.net/>。注册登录后可以向本刊投稿并查询稿件处理状态。请勿重复注册,否则可能导致您的信息查询不完整。

本刊文章数字版可在中国知网(<http://www.cnki.net>)、万方数据知识服务平台(<https://www.wanfang-data.com.cn/>)、维普网(<http://www.cqvip.com/>)下载使用。本刊从未委托任何单位或个人组稿或代收、代转稿件,作者咨询投稿事宜请拨打编辑部办公电话 010-63936591、63933053 联系。

《有色设备》编辑部