◆产业赋能与业态融合◆

磷矿自动取样与智能分析系统应用研究

郑春来[1]，席军利[1]，屈　伟[1]，郝思语[2]，冷　慧[2]

（1. 湖北宜化磷化工有限公司，湖北 宜昌　443000；2. 湖北宜化化工科技研发有限公司，湖北 宜昌　443000）

［摘　要］针对磷矿人工取样与分析过程中存在的取样效率低、样品代表性不足及人为因素影响较大等问题，湖北宜化磷化工有限公司设计了1套面向连续生产过程的磷矿自动取样与智能分析系统。该系统实现了磷矿连续输送过程中的取样、送样、制样、分析及数据上传全过程自动化。介绍自动取样与智能分析系统结构设计及作业流程，并将自动取样与智能分析系统P_2O_5测定结果与人工取样分析结果进行对比分析。结果显示，自动取样与智能分析系统测定结果与实际生产使用磷矿P_2O_5品位更为接近，其偏差范围为0.05% ~ 0.40%。在经济效益方面，年潜在节约成本2 275万元。自动取样与智能分析系统在提高原矿指标检测准确性、样品代表性及结果稳定性方面具有明显优势。

［关键词］磷矿；自动取样及智能分析系统；结构设计；作业流程；效果评价

［中图分类号］TQ075　　［文献标志码］B　　［文章编号］2097-4566（2026）06-0111-04

Application research on an automatic sampling and intelligent analysis system for phosphate rock

ZHENG Chunlai[1], XI Junli[1], QU Wei[1], HAO Siyu[2], LENG Hui[2]

(1. *Hubei Yihua Phosphorus Chemical Co., Ltd.*, *Yichang* 443000, *China*;
2. *Hubei Yihua Chemical Technology Research and Development Co., Ltd.*, *Yichang* 443000, *China*)

Abstract: To address the problems of low sampling efficiency, poor sample representativeness, and significant human interference in traditional manual phosphate rock sampling and analysis, a phosphate rock automatic sampling and intelligent analysis system for continuous production processes is developed by Hubei Yihua Phosphorus Chemical Co., Ltd. The system realizes full-process automation of sampling, sample delivery, sample preparation, analysis, and data uploading during continuous phosphate rock conveying. The structural design and workflow of the automatic sampling and intelligent analysis system are introduced, and the determination results of P_2O_5 content by the automatic sampling and intelligent analysis system are compared with manual sampling. The results show that the automatic sampling results are closer to the actual P_2O_5 grade during production consumption, with a deviation range of 0.05% - 0.40%. In terms of economic benefits, the potential annual cost savings are estimated to be 22.75 million RMB Yuan. These results indicate that the automatic sampling and intelligent analysis system has significant advantages in improving the accuracy of raw rock grade detection, sample representativeness, and result stability.

Key words: phosphate rock; automatic sampling and intelligent analysis system; structural design; workflow; effect evaluation

磷矿资源作为重要的非金属矿产资源，在农业、建筑材料等领域发挥着重要作用[1]。磷矿P_2O_5品位是生产过程中的核心控制指标，其检测结果的可靠性直接影响生产工艺参数调整，是保障精矿产品指标合格的重要前提[2]。

目前，磷矿取样与分析多采用人工方式[3-4]，操作人员依据经验确定取样位置及频次，并手动完成样品封装、转运及实验分析[5-6]。该方式普遍存在取样效率低、样品代表性不足及人为因素影响较大等问题，从而影响精矿产品质量的稳定性。

为应对上述问题，研发高效、精准、可靠的智能质量控制系统已成为行业发展的必然趋势。李晋蜀[5]通过电液控制系统实现对煤堆场的稳定取样；江洁等[6]采用ANSYS有限元模型，设计了煤

收稿日期：2026-05-24

作者简介：郑春来（1982—　），男，重庆潼南人，工程师，湖北宜化磷化工有限公司总经理，主要从事磷化工生产技术及管理工作。

炭取样机械臂结构；袁建明等[7]设计了一套全自动皮带取样系统。然而，现有研究多局限于局部点位或静态取样，且与在线分析系统联动较少。针对磷矿这类受矿层赋存条件及开采批次变化影响较大的原料[8]，其自动化取样与在线分析的工程应用仍较少见。

为此，湖北宜化磷化工有限公司（简称公司）自行设计并建设一套磷矿自动取样与智能分析系统。该系统以全过程自动化为核心，实现磷矿取样、制样、送样及分析的连续化运行。本文介绍了该系统的结构设计、工作流程及实际应用效果评价，以验证其在磷矿连续化生产中的应用可行性与工程价值。

1　自动取样与智能分析系统结构设计

磷矿自动取样与智能分析系统主要由样品取样制备系统、气力输送系统和智能实验室系统组成。其中，样品取样制备系统包括皮带中部取样机、斗式提升机、自动制样系统以及自动装样与发送系统；智能实验室系统包括自动接收系统、自动压片系统以及自动分析系统。

1.1　样品取样制备系统

1.1.1　皮带中部取样机

皮带中部取样机采用仿型锤头取样斗（见图1），对输送皮带料流进行连续全断面截取，相较于传统平板式取样，可有效降低矿石局部富集对检测结果的影响，提高样品代表性与结果一致性。

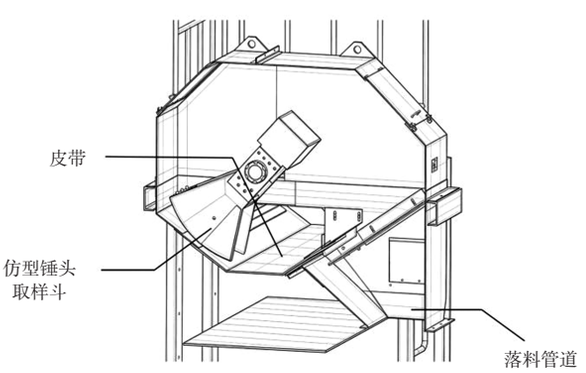

图1　皮带中部取样机

Fig. 1　Belt middle sampler

1.1.2　斗式提升机

斗式提升机用于将皮带采集的样品连续输送至顶部集样仓。系统底部设有称量装置，当样品达到预设质量后，斗提仓自动提升并完成物料转运。

1.1.3　自动制样系统

自动制样系统由颚式破碎机、对辊破碎机及缩分器组成（见图2）。样品经破碎后进入缩分器，通过连续等概率切割获得具有代表性的最终样品，多余物料通过弃料皮带返回主输送带循环利用。

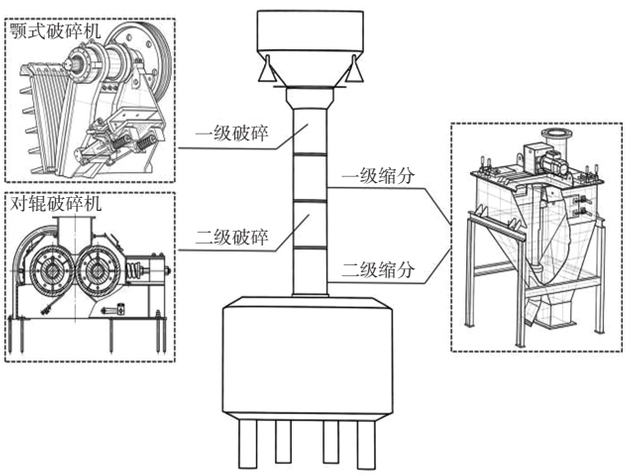

图2　自动制样系统

Fig. 2　Automatic sample loading and delivery system

1.1.4　自动装样与发送系统

自动装样与发送系统主要由自动装样机、机器人及自动发送站组成（见图3）。破碎缩分完成后，机器人将取样罐放置于自动装样机底座，系统根据下料指令自动完成样品装填。随后，自动发送站与机器人协同完成样品罐的开盖、密封、输送及接收等操作，实现样品全过程自动化流转。

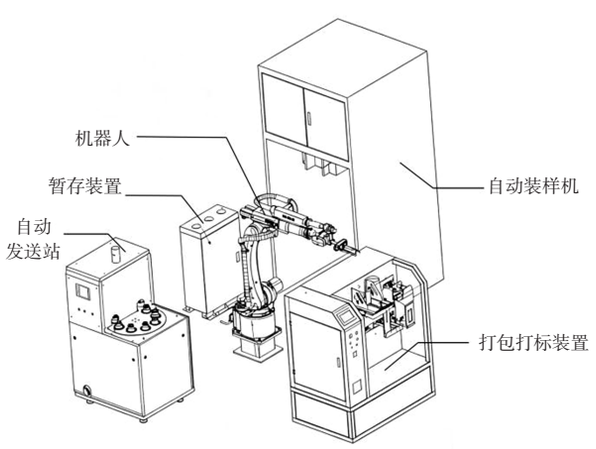

图3　自动装样与发送系统

Fig. 3　Automatic sample loading and delivery system

1.2　气力输送系统

气力输送系统采用管道输送方式，完成现场发送站与智能实验室间的样品快速传输。系统可自动识别样品信息，对输送过程进行全程追踪，取样罐清洁后自动返回原发送站，等待下一次取样。

1.3　智能实验室系统

1.3.1　自动接收系统

气力输送管道将取样罐输送至自动接收站，取

样罐到达指定位置后自动完成开盖、取样及卸样操作。系统利用传感器与机械手协同控制，实现试样的自动识别、定向输出与转运。

1.3.2　自动研磨压片系统

自动研磨压片系统通过地轨机器人、破碎定量装置及研磨压片一体机协同运行，实现样品破碎、除铁、定量、研磨及压片全过程自动化处理。系统可自动完成样品转运、黏结剂添加及压片成型，并配备自动清扫与除尘功能，有效降低交叉污染，提高制样稳定性与分析结果一致性。同时，自动视觉识别系统可自动检测压片样品表面缺陷，判断有效分析点数量及分析区域位置；当样品质量不满足分析要求时自动报警并重新压片制样。

1.3.3　自动分析系统

自动分析系统通过机械手将压片合格的样品转移至X荧光光谱仪中进行成分分析，分析结果由数据管理计算机自动上传至分析系统网络。

2　自动取样及智能分析系统工作流程

2.1　样品取样制备作业流程

样品取样制备作业流程见图4。设置取样间隔并启动系统后，当皮带料流满足条件时，皮带中部取样机自动完成物料截取，样品经落料管进入斗提仓；当斗提仓内样品达到设定质量后，由斗式提升机输送至试样集料仓。样品在振动给料机控制下依次进入一级颚式破碎机、一级缩分器、二级对辊破碎机以及二级缩分器，随后进入混匀缩分机。最终样品被分为保留试样和分析试样，保留试样自动封包打码保存，分析试样经风送系统输送至智能实验室进行自动分析，多余试样则通过弃料皮带返回主皮带。

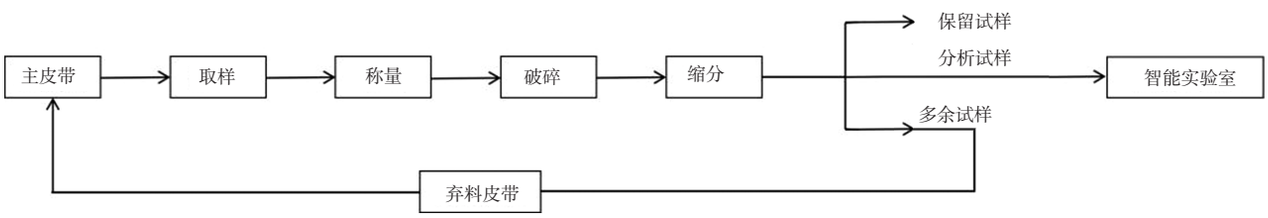

图4　样品取样制备作业流程

Fig. 4　Workflow of sample sampling and preparation system

2.2　智能实验室样品检验流程

智能实验室样品检验流程见图5。智能实验室中的机器人取出试样放入破碎定量装置与研磨压片一体机进行加工处理。压片成型的样品被机器人夹取并进行压片质量检测和缺陷识别。合格品夹取至分析仪器自动分析；不合格品则重新加工处理。分析完成后的样品由机器人进行清扫，同时系统自动上传分析结果。

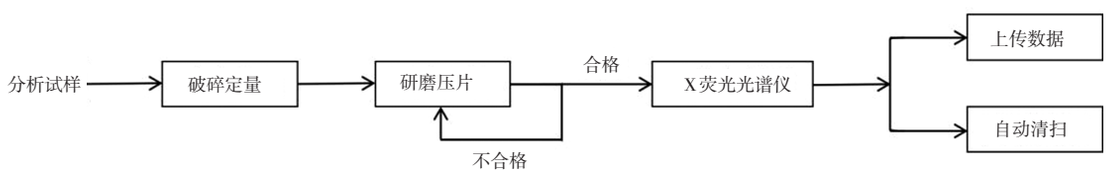

图5　智能实验室样品检验流程

Fig. 5　Workflow of sample inspection in the intelligent laboratory

3　应用效果评价

为评价自动取样与智能分析系统的准确性，公司在该系统调试完成后，于2025年11月至2026年3月开展了自动取样与人工取样的偏差对比分析。以同一生产系统下的磷矿原矿为研究对象，分别采用两种取样方式进行样品采集及P_2O_5含量检测。同时，对生产过程中的原矿样品进行P_2O_5含量检测，并将其作为参考基准值，采用绝对偏差法对自动取样与人工取样结果进行评价，偏差按式（1）计算。

$$D=|X_1-X_2|。\tag{1}$$

式中　D——检测结果偏差；

X_1——自动取样或人工取样所得磷矿P_2O_5质量分数平均值；

X_2——生产过程中原矿P_2O_5质量分数。

3.1　取样代表性评价

自动取样与人工取样检测结果偏差见表1。由表1可知，自动取样P_2O_5含量测定结果与生产过程中原矿样品的P_2O_5含量更为接近，而人工取样结果整体偏高且波动较大，取样偏差为0.40%～1.89%，明显高于自动取样的0.05%～0.40%。其中，2026年1月和2月自动取样偏差仅为0.05%和0.09%，表明自动取样能够较准确地反映实际生产过程中原矿P_2O_5品位变化。相比之下，人工取样易受取样位

置、取样频次及人为操作等因素影响，导致检测结果偏离实际指标。综合来看，自动取样系统具有更好的样品代表性与结果稳定性，可为生产工艺调控及精矿产品质量稳定提供更加可靠的数据支撑。

表1 自动取样与人工取样检测结果偏差

Table 1 Result deviation of automatic sampling and manual sampling

时间	$w(P_2O_5)$平均值/%		生产原矿	人工取样	自动取样
	人工取样	自动取样	$w(P_2O_5)$/%	偏差/%	偏差/%
2025-11	23.88	22.21	21.99	1.89	0.22
2025-12	23.34	21.87	22.27	1.07	0.40
2026-01	22.21	22.76	22.81	0.60	0.05
2026-02	22.69	23.00	23.09	0.40	0.09
2026-03	22.85	22.47	22.21	0.64	0.26

3.2 效益评价

公司采用自动取样与智能分析系统后磷矿P_2O_5含量测定结果与生产过程中原矿品位偏差由0.45%降低至0.11%，降幅约为0.34百分点。结合磷矿进厂均价（700元/t）及年处理量进行经济效益测算。

年节省原矿：220万t（年原矿处理量）×（0.45%－0.11%）÷23%($w(P_2O_5)$平均值）=3.25万t。

年节约成本：3.25万t×700元/t= 2 275万元。

结果表明，自动取样系统能够有效降低因测定品位偏差造成的潜在经济损失。

此外，在原矿验收与生产管理过程中，人工取样易导致检测数据与实际生产消耗不一致，从而增加质量争议及结算协调成本。相比之下，自动取样结果与实际生产情况更为接近，可提高质量评价与结算数据的客观性和可信度

3.3 效率评价

传统人工取样与分析需经过人工挖取、样品转运及研磨压片等多个环节，劳动强度大，检测结果易受现场环境及人为操作等因素影响。相比之下，自动取样与智能分析系统可按照预设程序自动完成取样与分析，实现全封闭、无人值守运行，显著提高了检测效率与结果反馈速度。

同时，系统具备样品自动封装、编码及数据自动上传功能，能够实现样品与检测数据全过程追溯，可为企业质量管理、生产调度及智能化选矿提供可靠的数据支撑，在磷矿连续化生产及智能质量控制领域具有良好的工程应用价值与推广前景。

4 总结

本文针对磷矿连续生产过程中人工取样存在样品代表性不足、人为因素影响大等问题，设计并构建了一套磷矿自动取样与智能分析系统，实现了取样、制样、送样及分析全过程自动化运行。应用结果表明，自动取样及智能分析系统测得的磷矿$w(P_2O_5)$结果与实际生产消耗磷矿$w(P_2O_5)$真实值更接近，偏差范围为0.05%～0.40%，明显低于人工取样，说明该系统能够有效提高样品代表性与检测结果稳定性。在经济效益方面，自动取样可降低潜在成本2 275万元/a。同时，系统的全过程自动化可提高检测效率与结果反馈速度，实现样品与检测数据全过程追溯。综上，该系统在提高磷矿检测准确性、生产管理效率及智能化质量控制方面具有良好的应用价值。

［参考文献］

［1］ 张苏江,夏浩东,唐文龙,等.中国磷矿资源现状分析及可持续发展建议[J].中国矿业,2014,23(S2):8-13.
ZHANG S J, XIA H D, TANG W L, et al. Current status and sustainable development of phosphorite resources in China [J]. China Mining Magazine, 2014, 23(S2): 8-13.

［2］ 张晓晴.中低品位磷矿的合理开发与利用[J].资源开发与市场,2009,25(10):922-923.
ZHANG X Q. Rational Development and Utilization of Medium and Low-grades Phosphate [J]. Resource Development & Market, 2009, 25(10): 922-923.

［3］ 邓功,黄启斌,杨卫国,等.磷矿产品取样方法研究[J].检验检疫科学,2005(4):9-10,14.
DENG G, HUANG Q B, YANG W G, et al. The study about the phosphorite sampling method [J]. Inspection and Quarantine Science, 2005(4): 9-10, 14.

［4］ 李安虎.统计方法在钙镁磷肥原料采样分析中的应用[J].磷肥与复肥,2001,16(2):21-23.
LI A H. Application of statistical method for sampling analysis of FCMP raw materials [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2001, 16(2): 21-23.

［5］ 李晋蜀.大中型焦化厂煤堆场布置堆取作业的优化设计和管理[J].山西煤炭,2000,20(2):39-40,44.
LI J S. Optimum design of the layout and operation of coal store-field in large coke plan [J]. Shanxi Coal, 2000, 20(2): 39-40, 44.

［6］ 江洁,张文辉,叶晓平,等.基于ANSYS的煤炭取样机械臂多目标优化设计[J].煤矿机械,2016,37(1):173-175.
JIANG J, ZHANG W H, YE X P, et al. Multi-objective Optimization Design for Coal Sampling Manipulator Based on ANSYS[J]. Coal Mine Machinery, 2016, 37(1): 173-175.

［7］ 袁建明,周成,张子悦.皮带取样系统设计[J].中国矿业,2022,31(S1):289-293,320.
YUAN J M, ZHOU C, ZHANG Z Y. Design of belt sampling system [J]. China Mining Magazine, 2022, 31(S1): 289-293,320.

［8］ 崔海容,陈建华.出口磷矿石的取制样方法探讨[J].云南化工,2000,27(6):27-29.
CUI H R, CHEN J H. Preparation of Samples of Export Phosphate Rock[J]. Yunnan Chemical Technology, 2000, 27(6): 27-29.