

# 选煤厂重介密度智能化控制改造实践

王振龙, 张佳彬

(国家能源集团神东煤炭洗选中心, 陕西 榆林 719315)

**摘要:**坑口选煤厂实际生产过程中存在系统洗选密度波动大、精煤灰分过剩率与超标率高、化验周期长、时效性差不能及时有效指导生产、化验样本量小易受人为因素影响、化验结果极易失真、采样与化验中存在劳动力资源浪费及安全隐患等问题。为了提高分选系统应对煤质波动的能力,在精煤输送带上安装无源在线灰分测定仪,增设安装原煤皮带无源在线灰分测定仪,改造升级集中控制系统,将2台测定仪的数据连入集控系统,与其他重选系统参数数据联动控制调节,形成自动化智能化分选系统。实践表明,无源在线测灰仪应用到重介密度控制系统中,可大幅提高重介分选系统应对煤质波动的能力。

**关键词:**重介密度;在线测灰仪;选煤厂改造;密度检测;选煤厂智能化

中图分类号:TD946.2 文献标志码:A 文章编号:1006-6772(2023)S2-0718-05

## Transformation of intelligent control of heavy medium density in coal preparation plant

WANG Zhenlong, ZHANG Jiabin

(Shendong Coal Preparation Center, CHN Energy, Yulin 719315, China)

**Abstract:** In the actual production process of Kengkou coal preparation plant, system exist in the process of practical production methods density fluctuations, plant ash excess rate and poor which is high, the test cycle is long timeliness is not effectively guide the production in time, small test sample size easily affected by man-made factors, the results easy to distortion, sampling and testing problems in labor resources waste and safe hidden trouble. Install passive online ash measuring instrument on the clean coal belt, add and install on-line ash measuring instrument of raw coal belt source, transform and upgrade the centralized control system, connect the data of the two measuring instruments into the centralized control system, and control and adjust the parameter data of other gravity separation systems to form an automatic and intelligent separation system. The practice shows that the application of passive on-line ash measuring instrument to dense medium density control system can greatly improve the ability of dense medium washing system to deal with coal quality fluctuation.

**Key words:** heavy medium density; online ash monitor; transformation of coal preparation plant; density detection; intelligent coal preparation plant

## 0 引言

随着我国工业自动化水平的不断提高,选煤工艺的硬件和软件技术也在相应的不断革新与发展,选煤行业中自动化技术的应用也越来越深入<sup>[1-3]</sup>。选煤厂灰分的检测由人工采样、人工测灰发展为机器采样、制样并测灰<sup>[4]</sup>。近年来,在线灰分检测装置的成熟使选煤厂的自动化水平进一步提高,煤炭灰分的实时检测既可以应用在精煤的质量检测作为精煤煤质的评价指标<sup>[5]</sup>,又可以应用在原料煤入厂

位置来检测入选煤质波动<sup>[6]</sup>。

随着机械化开采的普及,入选原煤煤质波动频繁<sup>[7]</sup>。作为应用最广泛的分选设备,重介质旋流器洗选通过调整分选密度来应对煤质波动,而传统重介质悬浮液密度控制依靠工人经验调节缺乏准确性,若依据精煤灰分进行反馈调节,又需要实时精煤灰分数据作为集控系统的输入参数,无源在线测灰仪技术的成熟使得密度控制问题得以有效解决<sup>[8-10]</sup>。

坑口选煤厂通过在入选原煤输送带和重介精煤

收稿日期:2022-06-22;责任编辑:常明然 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.22062201

作者简介:王振龙(1985—),男,辽宁兴城人,硕士。E-mail: tiantiankln@126.com

引用格式:王振龙,张佳彬.选煤厂重介密度智能化控制改造实践[J].洁净煤技术,2023,29(S2):718-722.

WANG Zhenlong, ZHANG Jiabin. Transformation of intelligent control of heavy medium density in coal preparation plant[J]. Clean Coal Technology, 2023, 29(S2): 718-722.

输送带处增设2台无源在线测灰仪将原煤和精煤灰分纳入重介质悬浮液密度控制系统,大幅提高重介系统分选效果。

## 1 重介洗选工艺智能化发展的趋势

选煤厂重介密度智能化控制系统是全厂自动化的重要环节之一,悬浮液密度、精煤灰分的稳定与否,直接影响精煤产品质量和产率,影响经济效益。因此,目前国内外普遍认为,对悬浮液密度的在线测控以及原煤、精煤灰分的在线检测,对提高分选效率是十分必要。

重介质旋流器的分选效果与控制过程中选用的生产工艺指标密切相关。目前在煤炭分选行业,智能化系统采用的工艺控制指标由以下2部分组成<sup>[11-12]</sup>:①分选指标,如煤炭灰分、煤炭密度等,这一类指标通常在一个区间,算法在处理该类区间指标时应用模糊计算方法,即基于历史分选数据,选用相似煤质所对应的最佳分选参数来保证得到最优分选效果;②工艺控制指标,如有压入料旋流器的入料压力、重介质悬浮液密度、重介质悬浮液中磁性物与非磁性物的含量等,这一类指标需每隔一段时间根据分选指标进行修正,保证预期分选效果。

## 2 工艺流程

坑口选煤厂为矿井型炼焦煤选煤厂,目前入选能力为2.1 Mt/a,小时入选原煤量约为398 t,主导产品为10级冶炼焦精煤。该厂采用有压三产品重介质旋流器分选+干扰床分选机回收粗煤泥+细煤泥浮选的联合分选工艺。入选原煤采用分级入选的方式,采用有压三产品重介质旋流器分选50~1 mm原煤,采用干扰床分选机分选1.00~0.25 mm粗煤泥,采用一次浮选工艺分选细煤泥,细煤泥经压滤脱水后作为精煤对外销售。

## 3 存在问题

重介质选煤作为如今分选效率最高的选煤技术,在选煤行业中应用广泛<sup>[13]</sup>。而重选主要依靠重介质悬浮液的密度控制对煤粒进行分离,基于阿基米德原理。因此,对悬浮液密度进行精准的控制就成为重选效果好坏的关键性因素。在整个重选过程中,需对工艺参数进行持续检测、更新和调整。影响重介质悬浮液密度的因素众多,与精煤灰分、原煤的灰分、入选量波动程度以及液位等参关系紧密,悬浮液密度的设定和调整需多方面综合考虑。目前大多数选煤厂包括坑口选煤厂均依赖人工控制,存在多

种缺陷:首先采用人工化验精煤产品的灰分值作为检验和调节依据实时性差,无法及时发现工艺调节上的失误,导致产率降低,这对于选煤厂的效益是一种损失。不同班组以及不同工作人员在设备操作的过程中会存在差异性,造成精煤灰分波动,同时,操作人员工作强度大,环境恶劣等客观因素也影响整个选煤过程稳定运作。

目前分选煤的灰分控制流程为:首先由作业控制人员根据当天分选指令手动设定密度计密度参数,然后根据在线测灰仪实时反馈的灰分手动修正先前设定密度。这一过程不仅在时间上存在一定滞后性,且需作业控制人员频繁手动调整设定密度,加之灰分与入选密度间的正相关关系有可能随入选煤种的变化而发生变化,因此当煤种发生变化时,测灰仪测得的灰分与密度间的数学关系也会发生变化,使密度调整出现一定的偏差。因此,重介司机不能根据变化趋势及时调整相关生产工艺参数,无法实现重介系统智能控制,无法从根本上解决精煤产率的提升问题。

针对以上人工操作的各种弊端,将坑口选煤厂的人工灰分检测方式开发成为一种重介灰分闭环自动控制系统,克服人工调节的弊端和工作环境干扰,使重介质悬浮液密度稳定精确,大幅提高选煤效率。

## 4 改进措施

### 4.1 总体方案

经充分考察与调研,坑口选煤厂在重介入料输送带和重选精煤输送带端部共安装2台无源在线测灰仪,并将其所测数据纳入集中控制系统,通过实时检测重选入料煤质灰分波动结合已分选好的重选精煤灰分自动控制重介质悬浮液密度。此外,为提高选煤厂密度控制的智能化水平,收集历史生产数据以训练准确性更高的密度预测模型。架设重介密度控制数据专家系统,该系统由历史数据采集软件、重介密度智能预测软件和具有成熟检测技术的硬件设备搭建成。重介密度控制数据专家系统设1个总控制台,1个云服务器,1个数据实时备份数据库,硬件设备主要选技术成熟的无源在线产品、密度计、自动分流箱、自动补水环等,通过软件前端显示、后台数据存储以及对比分析数据,控制分流箱和自动补水设备,提高精煤产率和合格率,从而提升生产效率和经济效益。

### 4.2 软件方案

#### 4.2.1 密度智能化控制算法

重介密度智能化控制流程如图1所示:首先根

据入选原煤的浮沉数据确定原煤灰分设定值及分选密度设定值,并将其输入到选煤智能控制系统中;接下来,密度控制系统根据生产环境中的密度与设定值的差值操纵分流箱、自动补水装置等来调节生产系统的重介密度;在执行机构发出动作指令一段时间后,系统将根据预先设定好的最大偏差值判定重介系统是否受控,如果重介密度偏差值在可接受范围,则通过模糊推理的方法进行密度预测,并将预测值作为密度设定值进行下一轮密度控制循环,如果生产环境重介密度偏差超过设定值,则结束重介密度预测程序,向集控中心发出重介密度失控预警信号。

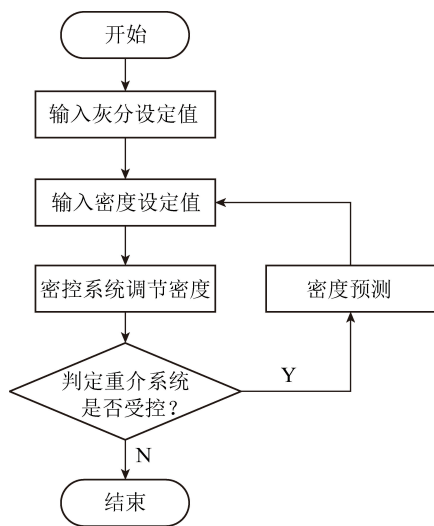


图 1 密度智能化控制算法流程

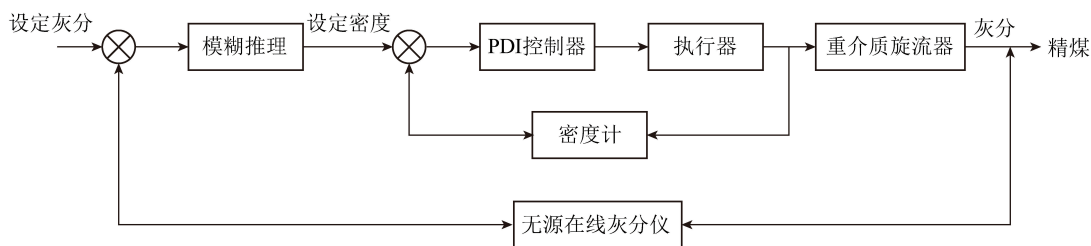


图 2 重介灰分智能控制系统框图

### 4.3 硬件方案

项目实施主要控制的硬件设施要求能够接入软件控制系统,本项目要求采用 4~20 mA 信号控制,结合系统设计要求,主要选取的硬件设备如下:

1) 2 台无源在线灰分仪。项目需要配备 2 台无源在线灰分仪(图 3),实现前测后控的技术目标。无源在线灰分仪主要用以实时检测原煤及精煤的灰分含量,同时通过 4~20 mA 通讯(图 4)将检测结果送到洗选控制系统。2) 1 台密度计。用以实时监测原煤密度,并提供密度储存功能,可以接收在线灰份

### 4.2.2 灰分智能控制系统原理

坑口选煤厂灰分智能控制系统由密度智能控制、灰分自动采集、密度模糊推理 3 个部分构成。该系统运行时,仅需设置原煤灰分、初始分选密度,系统即可通过模糊推理逻辑算法,自动计算最优重介分选密度,并将密度设定值与生产值偏差输入 PID 控制器,最终操纵执行机构改变实际悬浮液密度。无源在线灰分仪将产品灰分连续输送到比较器,使得灰分智能控制可以连续运行。重介灰分智能控制系统框图如图 2 所示。

### 4.2.3 软件方案总体架构

软件采用 B/S 架构和 C/S 架构相结合进行,其中登录、界面前端、数据存储采用互联网云平台 B/S 架构,从而保证 24 h 服务不间断,各管理界面采用 WEB 负载均衡保证系统运行稳定以及登录记录。数据保存以及内循环采用 C/S 架构,保证内循环稳定性和可操作性。

系统设计登录及密码保护,权限管理等措施保证系统安全可靠,系统数据可接入 DCS 系统,实现数据共享。

登录系统后可查看硬件设施工作实时动态,同时设定各设备的控制数据组。当精煤灰分在设定的上下限范围内运行时各参数保持稳定;当精煤灰分超过设定上下限时系统自动发出硬件工作指令,实时调整分流箱、补水环的作业参数及密度计的设定密度,使精煤灰分回到设定范围。

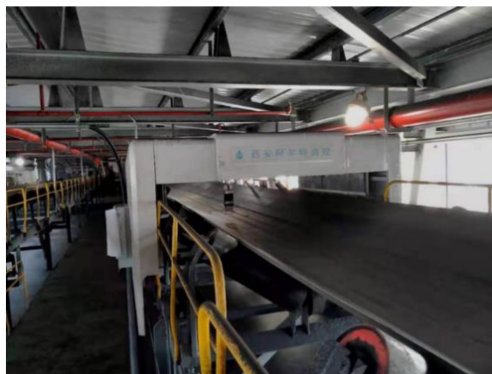


图 3 无源在线灰分仪

仪传送过来的4~20 mA密度调整信号,并将其自动设置为“设定密度”。3)1台可自动调整流量的分流箱。4)1台自动补水环。

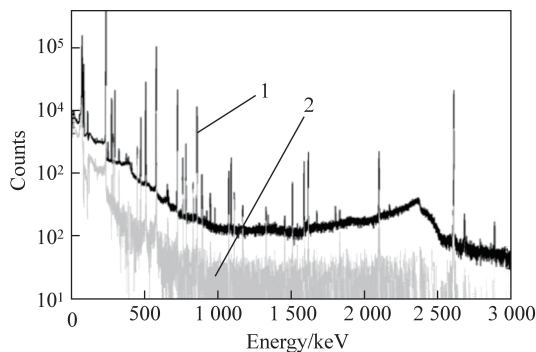


图4 放射性元素脉冲图谱

## 5 改造效果及效益分析

### 5.1 改进效果

改造后,选煤生产过程中精煤灰分合格性和稳定性增强,上仓精煤灰分的稳定率可由目前的80%提高到95%,精煤产率提高约0.5%,按选煤二车间全年入选原煤260万t计算,每年可增加精煤产量1.3万t,增加经济效益1625万元(按1250元/t精煤)。

### 5.2 效益分析

安装在线测灰仪,实时在线连续监测精煤的灰分,及时分析调整分选密度,及时测定反馈精煤灰分,指导调整分选密度,稳定精煤灰分,使精煤煤灰

分合格率由45.19%提升到77.04%、提高了31.85%,精煤灰分质量过剩率由30.21%降至14.58%、降低15.63%,精煤灰分质量超标率由21.88%降至8.33%、降低13.55%。具体各项指标对比差异分析见表1。

1)由表1可知,合格销精灰分提高0.01%,换算至原煤相当于精煤产率提高0.008%,按2020年计划原煤入选量196.41万t计算,同煤质条件下预计2020年可多产精煤157t( $196.41\text{万t} \times 0.008\% = 157\text{t}$ ),可增加经济效益12.56万元( $157\text{t} \times 800\text{元/t} = 12.56\text{万元}$ ,每吨精煤与中煤销售差价按800元计算)。

2)由表1可知,销精灰分超标率降低12.5%,按2020年计划精煤生产量144.69万t计算,理论上计算2020年预计可减少客户扣罚90.43万元( $144.69\text{万t} \times 12.5\% \times 5\text{元/t}$ ,按灰分超标销精每吨扣罚5元计算)。

3)为达到减员增效或减轻化验室劳动强度的目的,及时发现管理漏洞,消除安全隐患。每班减员1人,3班减员3人,可降低人力资源成本约20.14万元(按2019年煤质车间平均每人每年工资福利保险支出6.71万元计算)。

4)精煤产率提高、合格率提高、人员减少3项增加经济效益2020年预计共123.13万元,安装无源在线测灰仪投入49.6万元,当年投入当年回收后可净增加经济效益73.53万元。

表1 安装无源在线灰分测定仪前后销精指标对比分析

时间段	总样数	灰分<9%			9%≤灰分≤9.5%			灰分>9.5%			合格率/%
		样数	灰分	占比/%	样数	灰分	占比/%	样数	灰分	占比/%	
2019年07月	9	5	8.49	55.56	2	9.24	22.22	2	10.36	22.22	22.22
2019年08月	15	1	8.60	6.67	8	9.27	53.33	6	9.73	40.00	53.33
2019年09月	31	9	8.74	29.03	16	9.20	51.61	6	9.81	19.35	51.61
2019年10月	24	10	8.78	41.67	11	9.30	45.83	3	9.75	12.50	45.83
2019年11月	17	4	8.67	23.53	9	9.30	52.94	4	9.73	23.53	52.94
安装前合计	96	29	8.66	30.21	46	9.26	45.19	20	9.88	21.88	45.19
2020年01月	35	4	8.89	11.43	29	9.27	82.86	2	9.65	5.71	82.86
2020年02月	28	5	8.97	17.86	22	9.21	78.57	1	9.70	3.57	78.57
2020年03月	33	5	8.90	15.15	23	9.33	69.70	5	9.55	15.15	70.85
安装后合计	96	14	8.92	14.58	74	9.27	77.04	8	9.63	8.33	77.04
安装前后差异	0	-15	0.264	-15.63	28	0.01	31.85	-13	-0.24	-13.55	31.85

## 6 结 语

选煤厂重介密度智能化控制系统是选煤厂智能化的重要环节之一,重介质悬浮液密度的稳定性以及精煤灰分的波动区间与产品质量直接相关,影响

经济效益。坑口选煤厂对重介密度智能化改造后,精煤灰分合格率提高了31.85%,精煤灰分质量过剩率降低15.63%,精煤灰分质量超标率降低13.55%,工人劳动量减少,取得了良好的经济效益和社会效益。实践表明,无源在线测灰仪在重介密



度控制系统中的应用可大幅提高重介分选系统应对煤质波动的能力。

### 参考文献:

- [1] 孙小路,周春侠,张永志,等.选煤生产过程标准数据平台建设及其关键技术[J].煤炭工程,2021,53(1):38-42.
- [2] 王国法,任世华,庞义辉,等.煤炭工业“十三五”发展成效与“双碳”目标实施路径[J].煤炭科学技术,2021,49(9):1-8.
- [3] 王世斌,于水,刘长来.以系统化思维打造智能化开采建设新模式[J].煤炭科学技术,2021,49(S1):1-7.
- [4] 刘路矿.山西汾西选煤系统创新管理实践[J].煤炭工程,2019,51(2):158-160.
- [5] 匡亚莉.智能化选煤厂建设的内涵与框架[J].选煤技术,2018(1):85-91.
- [6] 边岗亮.煤炭行业智能化转型对劳动力结构的影响及对策研究[J].煤炭工程,2021,53(9):182-186.
- [7] 孙春升,宋晓波,弓海军.煤矿智慧矿山建设策略研究[J].煤炭工程,2021,53(2):191-196.
- [8] 汪杰,王春华,李晓华,等.煤炭行业大数据分析云平台设计研究[J].煤炭工程,2021,53(9):187-192.
- [9] 李辉.在线测灰仪的应用及影响因素分析[J].化学工程与装备,2020(7):205-206,196.
- [10] 代文飞,高文宇,仇庆敏,等.基于视觉识别的浮选尾矿在线测灰仪的应用[J].选煤技术,2021(3):76-80.
- [11] 李红军,宋拥强,申瑞红.天然 $\gamma$ 射线测灰仪在邯郸洗选厂原煤检测中的应用[J].选煤技术,2019(5):77-80,85.
- [12] 郭永存,何磊,刘普壮,等.煤矸双能X射线图像多维度分析识别方法[J].煤炭学报,2021,46(1):300-309.
- [13] 李明远,赵建章,郭玉成.三产品重介质旋流器流场的数值模拟研究[J].煤炭科学技术,2020,48(S2):277-281.