



山东能源集团赵楼煤矿及选煤厂工厂鸟瞰图

山东能源集团选煤厂智能化建设探索与实践

孙希奎 范建国 王学民 马新涛 戴长官 赵帅 高沐翔 田亮

山东能源集团有限公司（以下简称山东能源集团）所属的选煤厂共计62座，按照原煤性质和产品用途分为炼焦煤选煤厂和动力煤选煤厂两大类。由于选煤厂数量多，入选煤种齐全，产品结构多样，因此采用的工艺基本涵盖了国内所有主导选煤工艺。

发展战略，把握煤矿智能化发展趋势，将煤矿智能化工作作为集团战略发展的重要组成部分，取得了重大进展和明显成效。2020年9月，山东能源集团承办了全国煤矿智能化建设现场推进会，推动了全国重点煤炭企业加快煤矿智能化建设的进度。

选煤厂智能化建设背景

山东能源集团为深入贯彻落实国家八部委联合发布的《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》，在国家及上级部门的指导下，根据《山东能源集团有限公司关于加快推进煤矿智能化建设的指导意见》，从战略高度、治理和管理视角坚决贯彻国家

选煤厂智能化建设理念

选煤厂智能化建设的出发点是解决现场问题，提高生产效率，降低生产成本，最终为企业带来经济效益，应避免为了追求智能化技术而进行智能化建设，更要警惕为了追求“高大上”而进行智能化建设。自动化、信息化、智能化只是手段，最终是要实现选煤厂智能化的建设目标，因此围绕为选煤厂

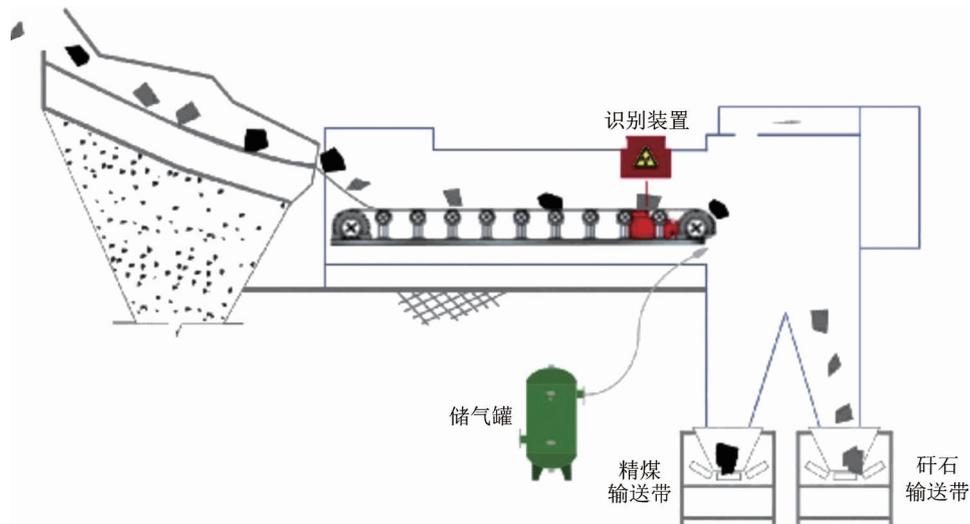


图1 大块智能分选技术流程示意

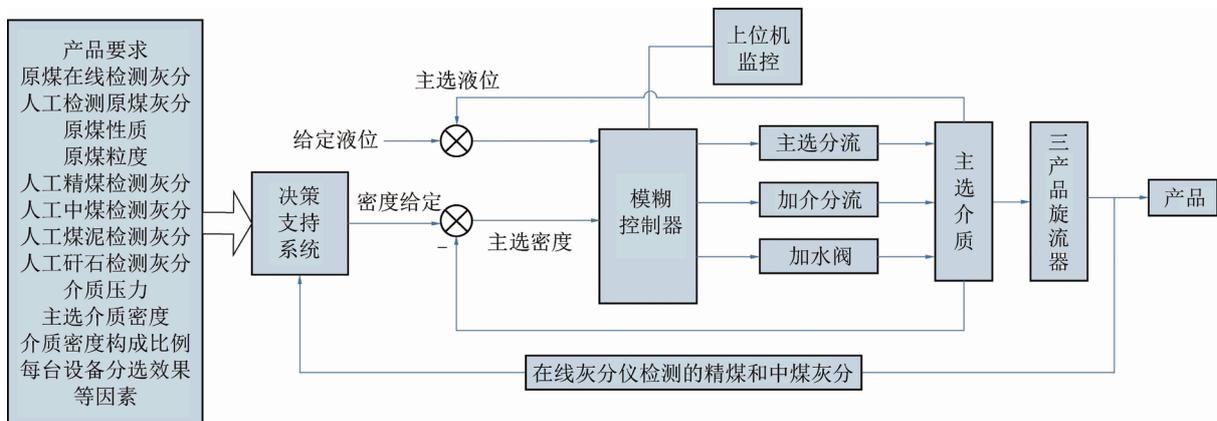


图2 重介密度智能控制原理

创造价值而开展智能化建设，是首先要树立的意识。

山东能源集团按照“搭建1个基础传输网络（万兆环网）、建成6大智能生产系统（采煤、掘进、机电、辅运、通风、分选）、打造1个煤矿工业互联网应用平台（智慧云网）”的基本思路，全面推进智能化矿井建设。2021年，山东能源集团共申报了9个国家级智能化示范煤矿（选煤厂），集团所属一类煤矿全面建成了采煤、机电、辅运、分选智能化系统，选煤厂作为煤矿的一个生产系统，与其他系统同步建设，同步验收。

山东能源集团在近些年的选煤厂智能化建设过程中，本着“实际、实用、实效”原则，从解决现场实际问题出发，以装备升级为基础，逐步从自动化、信息化向智能化方面迈进，着力建设智能、绿色、高效、本质安全型选煤厂。依据国家相关部门

及行业协会颁布的相关技术规范要求，以现场需求为落脚点，主要围绕原煤大块分选、重介密控、浓缩加药、煤泥压滤及汽车装车等主生产环节开展智能化建设，同时对其他辅助系统也展开智能化方面的试点研究。

主要分选系统的智能化技术

原煤大块智能分选技术

传统的原煤分选工艺粒径大于200 mm的煤块采用人工分拣（或全粒级破碎至200 mm以下），粒径为50~200 mm的煤块采用动筛跳汰或重介浅槽（斜轮）分选，传统的原煤分选技术存在工艺系统复杂、占用人员多、次生煤泥量大等问题。



原煤大块智能分选技术用于原煤准备环节，对大块物料（粒度 $\geq 25\text{mm}$ ）进行预分选，取代传统的人工手选和动筛分选作业环节，降低了工人劳动强度，提高了智能化作业水平。原煤大块智能分选技术由给料、布料、识别、执行等主要系统组成，采用智能识别方法，建立大数据煤质分析模型，通过执行系统（高压风或机械装置）将矸石或块煤排出。大块智能分选技术流程如图1所示。

与传统湿法分选工艺相比，大块智能分选技术可使大块物料入水量减少20%~40%，并减少矸石泥化，以缓解后续分选压力，从而提高选煤厂生产能力；此外，该技术还具有生产系统简单、设备布置数量少、占用厂房空间小等特点。原煤大块智能分选技术已在山东能源集团多座选煤厂应用，在提高分选设备处理能力、降低生产成本、减轻职工劳动强度等方面发挥了重要作用，并逐步应用于井下预排矸环节。

重介密度智能控制技术

重介密度智能控制是选煤厂重介分选作业中最核心的环节，直接决定了产品质量和分选效率。重介密度智能控制技术通过在线测灰仪实时获取精煤灰分，结合人工检验数据加以修正，利用大数据分析，建立精煤灰分变化和分选密度的数学模型关系，对分选密度进行调整，以达到精确控制精煤灰分区间的目的，实现精煤产率最大化。同时使用模糊PID解耦控制方法，解决了密度与分流、补加水之间强耦合关系的问题，使悬浮液密度能够稳定在需求区间内，为选煤厂的分选环节提供了更精确高效的密度控制方法。重介密度智能控制原理如图2所示。

重介密度智能控制技术的主要优点：①可实现智能化调节分选密度，最大产率生产符合要求的产品；②在原煤性质可比条件下商品煤产率可提高1%；③可提高悬浮液密度和桶位控制的响应速度、精度和稳定性；④完成智能化分选控制系统的应用，可稳定精煤产品质量，并提高精煤回收率 and 经济效益。

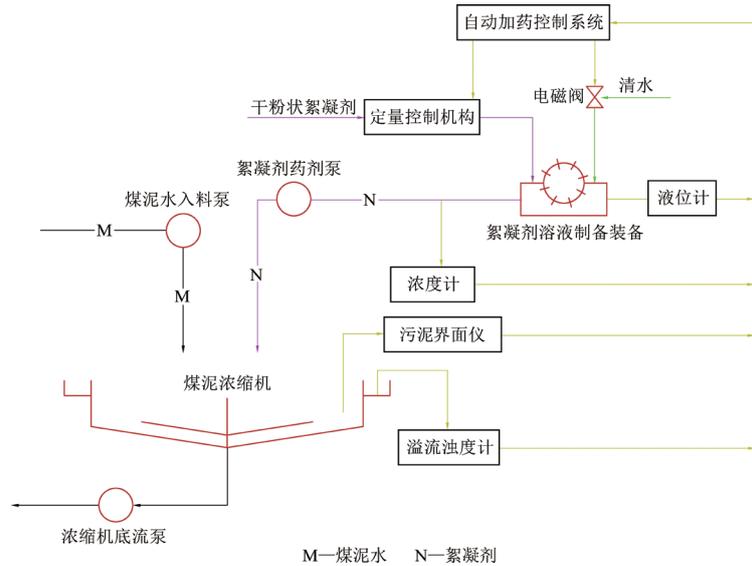


图3 自动加药系统控制原理

智能浓缩加药技术

传统的浓缩加药环节采用人工添加的方式，岗位工根据原煤入选量、浓缩池溢流水澄清度、浓缩机运行参数等，结合生产经验，调节配药比例和添加量，存在经验依赖性强、工作强度大、加药系统功效低等问题。智能浓缩加药技术通过实时监测浓缩机入料浓度、流量、药剂添加量、澄清水高度等工艺参数，并进行检测分析，自主预测药剂添加量，实时调节加药量及加药比例，可实现精准加药。智能浓缩加药技术设计有移动端加药机远程监控、加药机自动启停、自动配药以及药量自动添加等功能；主要使用流量计、浓度计以及污泥界面仪等监测仪器仪表。

智能浓缩加药技术方案包括前馈和反馈2个环节。前馈控制器的控制策略是凭以往絮凝剂添加沉降试验而建立数学模型，以煤泥水总流量、浊度作为前馈控制器的输入信号，使用污泥界面仪前馈控制，利用试验数学模型依据煤泥量计算出需要添加的絮凝剂溶液的量，再转化为由变频控制的电机转速，通过控制泵的转速达到控制药剂流量的目的。反馈环节以煤泥水絮凝沉降试验在线试验仪的沉降试验曲线为输入信号，调控药剂浓度，保证溢流水质达到循环标准。通过煤泥水絮凝沉降试验在线试



图4 智能压滤检测系统控制界面

仪，得出1组加药量和浊度数据，绘制两者关系曲线，在曲线上通过梯度下降算法修正加药系统的算法，找到最佳沉降效果对应的药剂量。自动加药系统控制原理如图3所示。

智能浓缩加药技术通过采集入料煤泥水和浓缩底流性质，参考浓缩设备实时运行参数，结合大数据分析及软件后台算法，实现了加药机智能控制加药量，以及加药量和加药比例的智能、合理控制，节省药耗，降低洗水浓度，实现无人值守。

智能压滤控制技术

传统的压滤生产主要依靠人工操作，存在的主要问题有2个：①智能化程度有限，需人工查看并判断压榨程度，工作效率低下，产品水分无法得到保证；②人工现场操作，存在液压系统破损或压滤喷料伤人的安全隐患。

智能压滤控制技术通过实时监测系统内压滤机状态信息，包括松开、压紧、进料等各进程状态信息，可远程控制切换压滤机手动/自动模式、松开、压紧、进料等信号指令的下达，实现压滤机自动入料、排队卸料功能，可取代传统的人工操作。

智能压滤控制技术包括移动端远程监控、自动补料、自动结束进料、排队卸料、转载设备自动启停、压滤生产闭锁以及压滤生产统计等功能，主要

配置包括流量计（超声波液位计）、自动控制阀门以及压滤机信号通信模块等。该技术配备各压滤机移动端集中监控、运行参数监测压滤进料结束时机、压滤机生产过程自动控制等控制单元。智能压滤检测系统控制界面如图4所示。

智能压滤检测系统各控制单元功能如下：

(1) 各压滤机移动端集中监控

通过增加移动终端及无线网络系统，将智能压滤检测系统内的多台压滤机及相关主要设备信息集中展示在智能操作终端上，打破压滤机与压滤机之间、压滤机与智能压滤检测系统相关辅助设备之间的信息孤岛，可实现智能压滤检测系统内所有设备及相关信息的统一集中监管，降低岗位巡检工的劳动强度，方便生产监管。

(2) 监测压滤进料结束时机

每台压滤机增设微小流量监测传感器或滤液水液面高度超声波监测仪，通过实时监测压滤机滤液水质，结合本台压滤机历史进料结束时的参数值，以及动态修正进料结束时的基准数据，并结合压滤机进料时长，可自动判断压滤机是否达到进料结束时机，摆脱人工经验判断，实现压滤机自动结束进料。

(3) 压滤机生产过程自动控制

通过智能化设计改造实现了压滤系统从补料到压滤机进料、压滤机卸料、生产闭锁等诸多环节的自动控制，基本摆脱了人工干预，实现了生产全自动控制，并可结合历史生产数据实现各环节的准确判断。

智能压滤控制技术通过各控制单元实现了自动补料、自动判断结束进料、自动排队卸料、压滤生产统计、煤泥运输系统闭锁、底流泵自动切换等功能，实现了压滤生产全流程无人操作，压滤机工作效率提高15%以上，现场实现无人值守。

智能汽车装车技术

传统的汽车装车采用人工操作装车，装车站设有岗位工，人工调度车辆位置和放料闸板开关，存

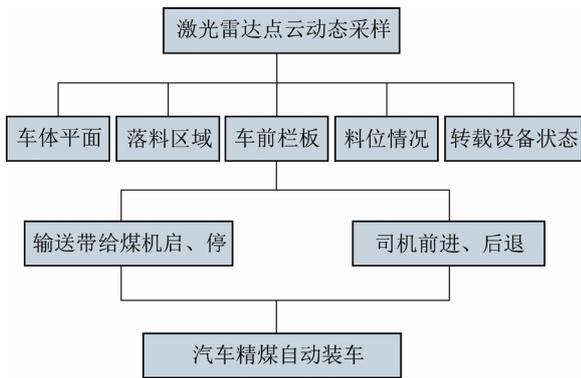


图5 智能汽车装车控制流程

在人车精准配合难度大，容易出现溜槽磕碰、撒煤、超偏载等问题，装车工作效率低下，且所需岗位人员多，职工劳动强度大。

智能汽车装车技术基于以PLC控制器为核心的控制终端和以组态软件为核心的上位机控制终端，安装了高精度激光雷达，实现对车辆状态、料位状态、装载设备状态等关键信息的采集，智能汽车装车系统对采集数据进行分析，判断装车设备及车辆的下一步动作，并对设备进行控制和对司机进行提示；安装了刷卡终端、车牌识别终端，获取车辆及任务信息，与发运系统原信息核对，避免错装或作

弊行为，实现了装车关联业务的对接与管控；并配备电铃、显示屏、语音终端等信息提示设备，提示司机下一步动作，实现定量无人自动装车控制。智能汽车装车控制流程如图5所示。

智能汽车装车技术的成功应用，提高了装车效率，提升了装车质量与安全性，实现了由传统人工操作向“无人操作、有人巡检”的跨越，整体装车效率提高100%以上，减少人员50%以上。

结 语

山东能源集团不但对选煤厂主要生产环节的智能化控制进行了升级改造，而且建设了设备故障在线监测系统、设备自动润滑系统、智能加介系统、智能巡检系统、智能供配电系统等一系列辅助环节的智能化控制。这些技术的成功应用，提升了系统安全系数，提高了综合效益，降低了工人劳动强度，大部分岗点实现了现场无人值守，确保现场环境更安全可靠、职工工作环境更优化，让职工真正体会到智能化建设所带来的益处，促进了企业的安全、高质量发展。

■ 责任编辑：李艾酥

作者简介

孙希奎

研究员，博士，现任山东能源集团技术总监、技术研究总院院长

山东省泰山学者特聘专家，兼任中国煤炭学会资深会员、中国煤炭学会第八届理事会副理事长、中国煤炭学会开采委员会第八届委员会副主任等，享受国务院特殊津贴。长期致力于复杂条件矿井建设、煤炭安全高效绿色智能开采等重大领域关键技术的创新与实践。主持研发了厚表土层厚煤层条件下的曲线段铁路下放顶煤开采及其铁路加固和维护技术，在国内首次实现矿区铁路站场道岔群下放顶煤开采，解放煤量110多万t；研究应用矸石巷道充填、膏体充填、无煤柱开采、高水材料充填等技术，设计开发一整套国际领先的充填开采技术与装备，使充填开采成本降低了1/2；主持或参与完成国家自然科学基金3项，国家“973计划”“863计划”、国家科技支撑计划、山东省自然科学基金等项目10余项；研究成果获得国家科技进步奖1项，省部级科技奖励30余项；发表论文30余篇，出版专著5本，获得授权专利11项，参与制定行业标准4项，团体标准2项。