

煤炭无人检测系统建设方案探讨

郭万年¹, 傅道赛¹, 林少春¹, 张磊², 郭晓虎²

¹福建华电可门发电有限公司, 福建 福州

²杭州华电双冠能源科技有限公司, 浙江 杭州

收稿日期: 2025年6月19日; 录用日期: 2025年7月12日; 发布日期: 2025年7月24日

摘要

本文结合煤炭检测流程, 阐述了煤炭无人检测系统建设内容, 包括自动计量及接卸、采样、制样、化验、煤样存储及传输、管控中心及燃料管理信息系统、视频门禁等环节。建设煤炭无人检测系统要构建煤炭检测全过程的集中管控, 对燃料流、信息流、资金流进行有效监管。通过升级改造设备, 使相对分散的煤炭检测工作形成统一、高效、智能化的管理, 达到排除人为因素、提高管理效益、有效防范风险、维护企业利益的目的。

关键词

煤炭, 检测系统, 建设方案

Discussion on the Construction Scheme of an Unmanned Coal Testing System

Wannian Guo¹, Daosai Fu¹, Shaochun Lin¹, Lei Zhang², Xiaohu Guo²

¹Fujian Huadian Gate Power Generation Co., Ltd., Fuzhou Fujian

²Hangzhou Huadian Shuangguan Energy Technology Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang

Received: Jun. 19th, 2025; accepted: Jul. 12th, 2025; published: Jul. 24th, 2025

Abstract

This paper elaborates on the construction elements of an unmanned coal testing system by integrating the coal testing process. These elements encompass automatic weighing and unloading, sampling, sample preparation, laboratory analysis, coal sample storage and transportation, a control center along with a fuel management information system, as well as video surveillance and access control systems. The establishment of an unmanned coal testing system aims to achieve centralized control over the entire coal testing process, enabling effective supervision of the fuel flow,

information flow, and capital flow. By upgrading and retrofitting equipment, the relatively decentralized coal testing operations are consolidated into a unified, efficient, and intelligent management framework. This approach is designed to eliminate human interference, enhance management efficiency, effectively mitigate risks, and safeguard corporate interests.

Keywords

Coal, Testing System, Construction Scheme

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

煤炭检测领域主要有煤矿、燃煤发电、港口等，目前煤炭采制化各环节自动化程度还比较低，煤样制样、化验还依赖人员操作，员工劳动强度大、工作环境恶劣，同时容易出现廉政风险点，还有可能发生人为操作错误，一旦煤质检的关键指标和信息不准确，会给企业造成巨大的损失。随着绿色低碳时代的到来，煤炭行业将面临严重的危机和挑战，如何高效利用煤炭资源必将成为影响国家“碳达峰”“碳中和”战略目标实现的关键任务[1]，在煤炭市场化的今天，煤炭质量检验结果作为企业的“支票”直接关系到企业的经济效益，所以提升采制化管理水平，提高煤质检验检测准确度的重要性不言而喻[2]。对于发电企业，燃料占发电企业成本 70%以上，煤炭检测水平的高低直接反映了火电企业管理水平的高低，也直接影响火电企业的经营效益[3]。在燃煤采样、制样、输送、存储、化验全环节中实现智能化、精细化、无人化，此为燃料管理水平提升的必然发展趋势[4] [5]。

随着人工智能、信息技术的进步，燃料智能化在推广中不断完善，其技术装备和管理系统得到了很大发展，人工智能、物联网等新技术在煤炭采制化领域应用价值和场景增加[6] [7]，相关企业及学者已开展煤炭智能化检测系统的相关研究与应用，苏力[8]等研究了智能合样归批设备在采制对接系统中的应用；崔修强[9]、杨勇[10]等人分别研究了不同布局方式的机器人制样系统的功能、性能指标；杨勇[11]、饶华[12]等对无人化验系统的核心技术和特点进行研究，并提出人工智能技术在无人化验系统当中的应用，凌君安[13]等剖析了气动传输系统在燃料智能化管控系统当中的作用。但是主要是针对燃煤发电企业，未考虑该系统对煤矿、港口等企业的应用场景适用性。本文综合考虑各行业实际，通过煤炭无人检测系统建设，实现“人与样品隔离”、“人与数据隔离”，可消除人为因素干扰煤炭检测结果，从源头控制廉洁问题的发生。

2. 建设内容

为实现煤炭检测环节“无人值守”、改善工作环境、提高工作效率、促进企业减员增效的目的。本方案结合企业实际，探讨煤炭无人检测系统，主要包括包煤采样系统、归批系统、在线全水测试系统、智能全自动制样系统、煤样传输及存储系统、机器人化验系统、煤质管控系统等。实现煤炭采、制、化自动化验收，降低人为因素干预，使企业管理者更好地掌控入厂验收全过程，有效规避燃料管控风险，打造燃料管理新模式。煤炭无人检测系统流程图见图 1 所示。

2.1. 计量及接卸

对于汽车运输煤炭，需配置车辆识别系统，管理运煤车辆的登记、排队、引导、采样、称重、卸车、

回皮、出厂等过程，实现汽车来煤车辆车号的自动识别、自动计量，入厂计量过程少人值守，计量结果自动采集并上传到系统数据库。采样区配置车辆信息自动识别系统，利用拦车杆、信号灯、语音提示、LED 提示、红外定位等方式引导车辆进入采样规定位置。通过采集来煤批次信息及矿发重量，系统自动选取采样点数，生成采样方案，在布点区域内对来煤进行全深度自动随机采样。采样器应避开车厢拉筋位置，采样过程中的数据自动记录并保存。增加装煤、卸煤监督模块，现场监督人员逐车检查卸煤过程中煤样异常情况，若有掺杂使假，可通过无线终端设备对现场情况拍照取证并留有证据，在来煤结算环节予以扣吨、扣款，实现来煤质量的闭环管理。

对于火车来煤，升级改造火车车号识别系统，通过读取火车携带的射频卡的信息，记录车号及入厂/出厂时间，同时将识别的数据信息自动上传至轨道衡计量系统及燃料智能管控系统。火车大票信息可录入或批量导入系统，实现识别的车号与矿点、供应商信息自动匹配。系统生成批次编号和批次信息，自动归集该批次的车辆数量、车号，并生成采样方案。新增车号识别装置建议包含轮轨识别，可记录火车行驶方向，自动判断车辆入厂和出厂。通过配套磁钢检测系统，实现自动计轴、统计火车节数、测量车速等。对于火车煤混编到厂的情况，应结合本单位接卸条件，利用技术手段跟踪车厢解列信息，通过远程监控及管控系统判断下节车厢与当前卸煤车厢是否为同一批次，若相同则继续按当前方案采样；若不同则提示拉空卸煤槽格栅。可在采样机上煤皮带处安装激光料流检测装置，并与采样机控制系统、燃料智能管控系统交互联动，避免采样机空采和不同批次煤样的混样。

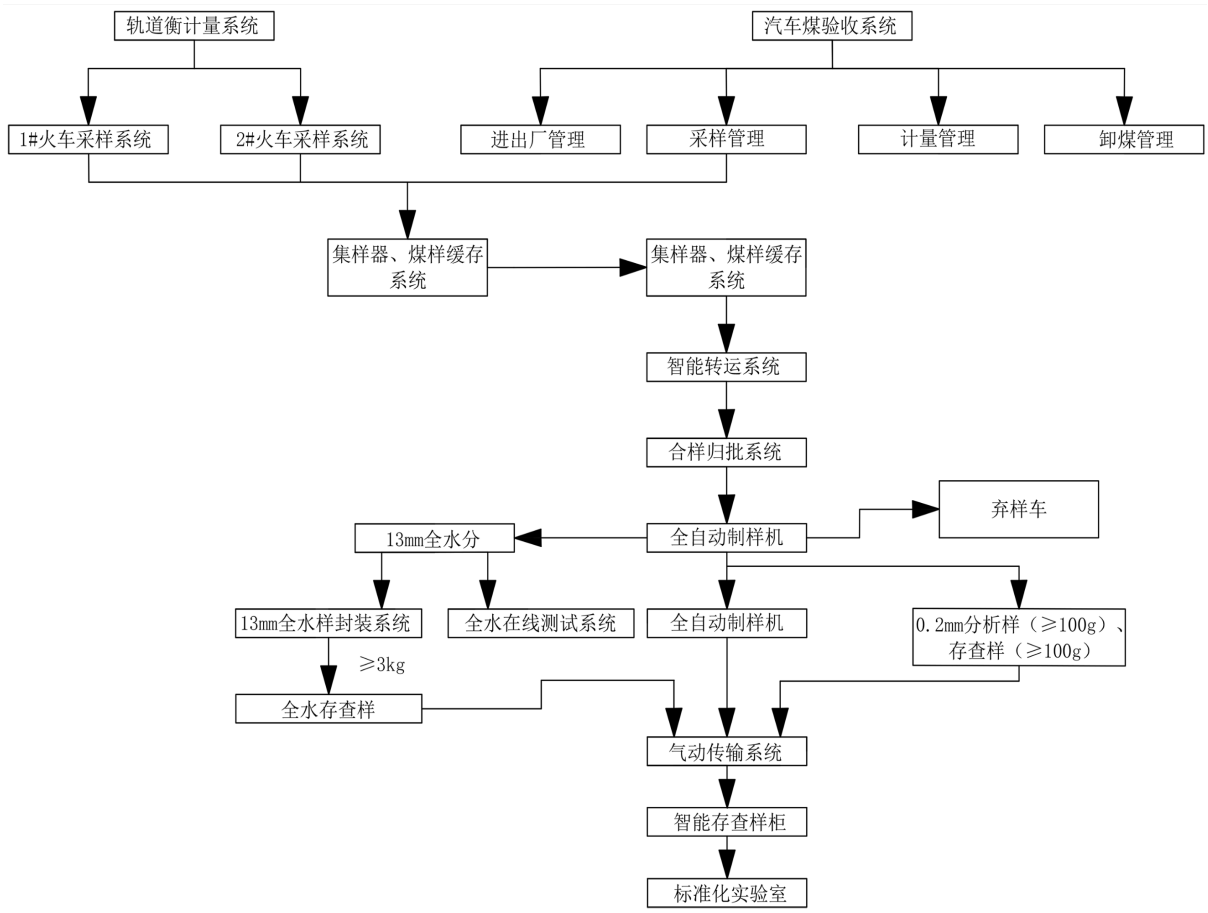


Figure 1. Flowchart of the coal unmanned inspection system
图 1. 煤炭无人检测系统流程图

2.3. 采制一体/采制离线

采制一体系统宜布置在采样机 50 m 的范围内,通过底开门分矿留样装置实现煤样暂存。一个批次来煤采样完毕后,统一经斗提装置和输送皮带送至自动制样机进行在线制样。采制一体底开式留样器改造每套采样装置均为多集样桶方式,同时具备子样称重功能,集样桶为底开门,每套不宜少于 8 个集样桶,每个集样桶容积 ≥ 25 L。底开式旋转收集器根据管控系统识别来煤信息后自动分配集样桶,样桶定位准确,底开门机构灵活、不卡阻。当煤样盛满时,上位机发出指令,自动完成放料处理。一个批次来煤卸完后,集样桶底开门开启,该批次所有子样(包含其他采样机同一批次来煤的多个集样桶内子样)通过皮带输送装置传送到全自动制样系统,全封闭式皮带输煤方式,要求不粘煤、不撒煤、检修方便,与全自动制样系统建立逻辑连锁,具备自动清扫功能,积煤清理方便。

采制离线适用于存在多套汽车煤采样机或皮带煤流采样机,且现场不具备与全自动制样系统就近布置的情况。煤样经桶装、封盖和标识后运送到制样室。原煤样桶再经过合样归批后与全自动制样系统对接。自动分样封装系统配有称重装置,可在线称重并自动累积子样重量,样桶内煤样重量数据可传输至管控中心。传输方式可选用智能送样车、轨道车等方式,选用智能送样车适合多个取样点之间的转运,并不受传输距离限制,建议配套自动装车、卸车装置,实现司机全程不与煤样接触。选用轨道车适合有一定落差的远距离煤样输送,通过变轨岔道装置实现多个位点的取样。

2.4. 全自动制样系统

智能全自动制样系统是制样全过程无人干预自动完成,既可单机运行,代替传统人工制样设备,又可与自动采样系统、在线全水自动测试系统、样瓶气送系统等智能化装备进行无缝对接,实现采、制、传、存、化一体式布局,并可接受燃料智能管控系统的远程集中管控,是整个燃料智能化建设的核心设备。

智能全自动制样系统一般分为制样模块、输送模块、电气控制保护系统、其他附件等 4 大模块。制样模块包括上料单元、13 mm 破碎缩分单元、6 mm 破碎缩分单元、3 mm 破碎缩分单元、干燥单元、0.2 mm 制粉单元、存查样封装单元、一般分析样封装单元等。输送模块主要包括机械手、弃料输送机、样罐输送机。智能全自动制样系统性能要求:13 mm 粒度、6 mm 粒度破碎机出料粒度过筛率 $\geq 95\%$,3 mm 粒度破碎机出料粒度要求采用圆孔筛进行筛分试验,过筛率为 100%,0.2 mm 粒度破碎机出料粒度过筛率应达到 100%;实际制样精密度[以干基灰分(A_d)制样化验方差表示],不超过 0.12。灰分偏倚:实际制样偏倚应小于最大允许偏倚[以干基灰分(A_d)表示],不允许存在实质性偏倚。最大允许偏倚 0.20%~0.40%,宜不超过 0.30%。全水分损失率不超过 5.0%,且全水分损失不超过 0.40%。一般分析试验煤样制备单元煤样质量损失率不超过 2.0%,其他煤样制备单元煤样质量损失率不超过 1.0%。

2.5. 送样及存样

全自动存查柜系统以样品存取过程“人样分离,盲存盲取”为目标,能实现存查样和分析样的自动暂存,煤样编码信息化、自动化管理、取样人员权限管理、实时记录煤样存取过程、实时监控存查样状态、自动提醒清理到期煤样等功能。

全自动制样机、智能存取样柜、化验室之间的煤样传输优先考虑气送传输方式。室内传输管道采用统一管径的 PVC 材料;室外传输可选用不锈钢管,寒冷地区室外管道应配置保温措施或加热装置,防止结冰、卡瓶等现象。气送传输系统与全自动制样机、智能存查柜、制样室、化验室实现互通,可完全杜绝样品转运过程人为换样的风险,有效提高了燃料采制化工作效率,同时降低了劳动强度。气动传输系统一般包括:中央控制单元、风机动力单元、管道换向器、发送工作站、接收工作站等。发送工作站位于全

自动制样间内，与全自动制样机的封装标识装置实现物理对接，封装标识后的煤样瓶自动进入发送工作站，通过传输管道自动传输至智能存查样柜内存储或送至化验室天平间。

2.6. 全自动化验系统

全自动化验系统是融合先进机器人技术，替代传统煤质化验人工操作的高端智能化验设备。可实现开瓶、取样、称量、装样、测试、结果计算等操作，全过程无人干预。全自动化验系统主要组成包括：智能机器人、自动化分析设备(量热仪、测硫仪、工业分析、元素分析)、样瓶自动开盖及取样装置、自动称量装置、氧弹装样及清洗装置、电气控制系统、化验结果分析和配套软件等。机器人一般由两部分组成：机械手和控制器。操作人员通过控制器操作机器人。机械手是由六个转轴组成的空间六杆开链机构，各轴的转动范围相互配合，不同的运动方式相互组合，使得机械手灵活控制，到达运动范围内的目标位置。

全自动化验系统能够实现发热量、全硫、水分、灰分、挥发分含量等指标的自动测定，具备化验数据自动采集、平行样判定、基准转换、化验结果审核、化验报表等功能。可无缝对接自动制样、气动传输等前级系统，实现全流程自动化运行。接受智能管控系统远程集中管控，通过配套软件系统，可对化验过程数据进行分析，判断测试结果是否超差，支持数据联网传输至化验室管理系统。系统性能要求化验数量不少于此期间化验总数的 95%，系统机械手重复定位精度不低于 $\pm 0.2\text{ mm}$ ，手腕部最大负载不低于 12 kg。全自动化验设备的检定/校准证书应符合国家、行业及集团相关标准要求。精密度、准确度及稳定度试验结果应满足国家、行业及集团公司相关标准和本细则要求。

2.7. 标准化实验室系统

化验仪器实现联网运行管理。化验数据自动采集、自动传输，化验原始记录、化验报告自动生成，数据自动上传，并实现网上审批。化验网络管理系统从软件结构上主要分成三个部分：服务器端、化验室网络集中管理机和客户端。数据中心具备数据库存储、计算、上传的各项化验指标数据。化验室网络集中管理机为系统主要操作端主要提供查询化验结果、汇总、审核、保存数据、打印报表、报表上传等功能。标准化验室管理系统如图 2 所示。

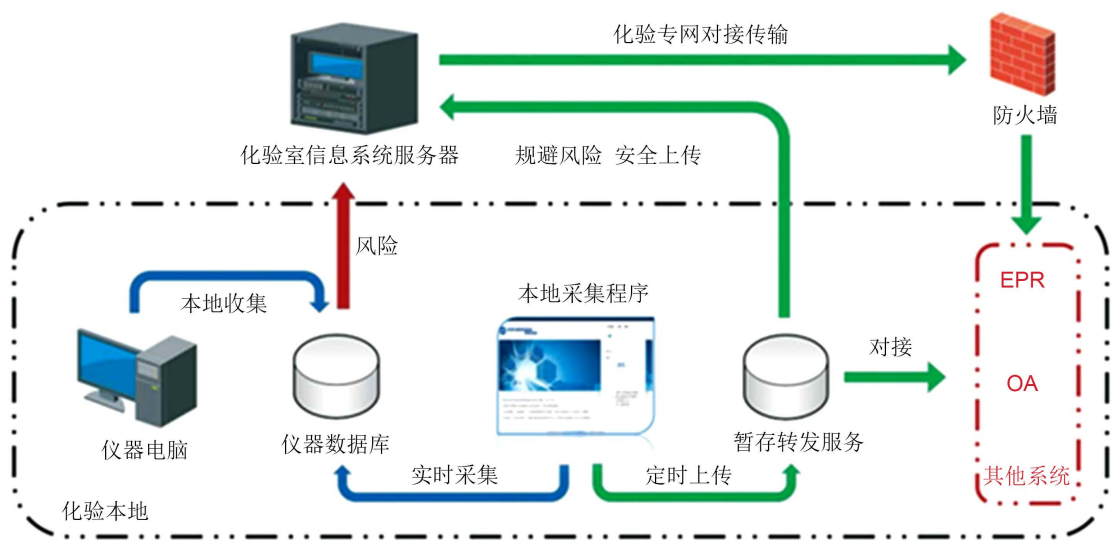


Figure 2. Standardized laboratory management system
图 2. 标准化验室管理系统

服务器端部署在燃料管控中心与后台数据库进行交互，实现对所有连接的测量仪器的化验数据直接远程查询、采集，并可根据需要将采集的数据进行汇总处理后与企业的其他信息系统进行对接。客户端安装于化验仪器上，用于读取仪器上所保存的化验数据，并与化验室网络集中管理机进行通信，将查询结果进行反馈。

2.8. 视频与门禁

视频系统建设确保燃料验收全过程监控全覆盖、无死角，视频保存时间不少于 2 个月。视频系统设计符合视频监控国际标准规范，采用网络高清摄像机采集图像，所有环节无监控死角，通过视频监控网络汇集到管控中心进行集中监控。各子系统进入核心交换机之前宜采用独立网络，视频监控系统不宜与其他子系统共用网络。系统具备与燃料智能化集中管控系统的接口，方便监控人员进行数据的收集与整合。

门禁系统包括门禁控制器、门磁、读头、电磁锁、出门按钮、电源及机箱等。均采用单门控制器，实现一对一控制，提高安全性，所有要求通过的人员，必须先校验其人脸信息，当人脸信息读取有效时，控制器能根据事先的登录情况对该身份作出判断：合法有效则放行，并发出指令给电磁锁进行解锁开门；非法或无效则不放行，同时向系统发出警报。对有效或无效的身份验证均进行日志记录，以便查询以及分析数据。

2.9. 管控中心

管控中心应整合现有煤炭检测相关设备、应用及操作系统、视频监控及门禁系统，实现主要验收设备远程管控、视频监控、信息分析、数据展示等功能。建议具备在线和离线两种操控模式，在线模式是通过远程管控系统统一联动联动；离线模式是各业务环节自身可独立运行操控。管控中心集成信息和数据平台，实现对入厂煤自动采样、自动制样、自动存取样、气动传输、全自动化验等环节设备运行状态的实时监控。同时对设备运行状况在线分析与诊断，设备异常时自动报警提示。

智能管控系统将煤炭检测人员和计量及采制化所有环节的设备通过信息流有机连接起来，实现人机分离、人样分离、采制化一体，层层加密的燃料验收一体化管理。主要利用无线传感技术、定位技术、自动控制、通信和计算机等成熟可靠的技术，实现对燃料计量、接卸、采制、化验等关键环节的远程监管和设备操控。系统架构图 3 如下。

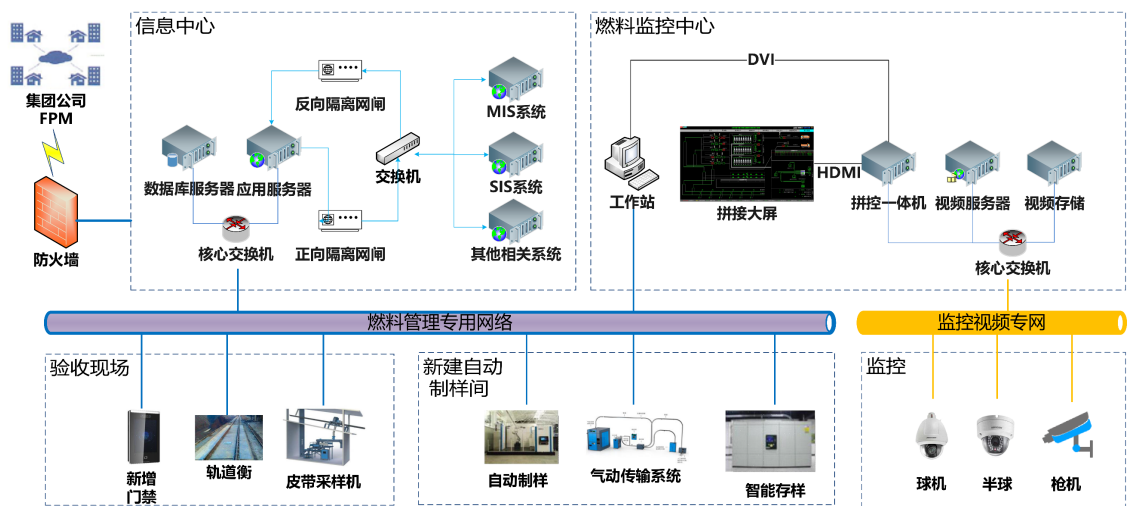


Figure 3. Architecture diagram of remote control and management system
图 3. 远程管控系统架构图

硬件包括拼接大屏、操作台、服务器等配套设施。具有燃料智能化管理和控制软件平台功能,集设备管控、视频监控、数据分析、图形展示、燃料信息应用、管理业务流程于一体,将燃料采样、制样、存样、传输、化验等环节设备进行统一监控,对各设备运行情况及参数实时监视。设备发生异常时具有自动报警提示功能,同时可对报警点进行自动跟踪监视。燃料管控中心可以远程对设备进行启动和紧急停机等相关操作。软件标准接口与其他生产管理系统实现数据共享。

3. 结论和建议

在煤炭无人检测系统建设过程中,要打通不同系统之间的数据孤岛,实现不同平台、燃料相关业务的互联互通。建立煤炭检测数据中心,为燃料远程监督平台和分析数据、智能报表做好数据来源。加强信息平台建设和燃料数据的共享。目前智能管控系统软件多为设备厂家自行开发,对软件的服务和后期升级能力不足。企业需要软件商提供更全面和个性化的功能,但大多设备厂家难以完成燃料管理不同层面的信息系统数据融合。建设单位应积极组织相关专业技术管理人员、技术人员全过程参与燃料智能化项目可研、方案设计、实施管理,组织一线操作人员积极参与到项目建设全过程,加深对技术的理解、对设备设施的熟悉,提高对燃料智能化认知水平、对智能化设备自主维护管理能力。

参考文献

- [1] 张茜芸,仲兆平,姚杰. 双碳背景下我国能源产业降碳的主要路径[J]. 能源科技, 2021, 19(3): 3-6.
- [2] 国家发展改革委,国家能源局,工业和信息化部. 关于推进“互联网+”智慧能源发展的指导意见[J]. 城市燃气, 2016(4): 4-9.
- [3] 张博,张连强. 煤炭品质检测中的技术风险及应对措施探讨[J]. 煤炭加工与综合利用, 2023(9): 55-59.
- [4] 唐德强. 火力发电厂燃料智能化应用[J]. 中国设备工程, 2021(2): 24-25.
- [5] 钮星星. 智能化采制化技术发展趋向及应用探析[J]. 山西冶金, 2021, 44(3): 259-261.
- [6] 王宇. 对工业机器人应用与发展的探讨[J]. 中国科技信息, 2022(7): 134-136.
- [7] 魏继添,王林,杨华清,等. 工业机器人在自动化领域的应用路径探析[J]. 产业创新研究, 2022(4): 36-38.
- [8] 苏力,张明庆. 智能合样归批系统在燃料智能化管控领域的应用研究[J]. 煤质技术, 2022, 37(4): 63-68.
- [9] 崔修强,孟凡科. 机器人燃煤智能制样系统的研究与应用[J]. 煤炭加工与综合利用, 2018(9): 56-60.
- [10] 杨勇,任率. 机器人制样系统关键技术研究及性能试验[J]. 煤质技术, 2022, 37(3): 64-71.
- [11] 杨勇,任率. 煤质无人化验系统的关键技术及性能试验[J]. 煤质技术, 2022, 37(2): 54-60.
- [12] 饶华,杨勇,任率,等. 火电企业燃料智能化项目中燃料管理楼的功能与布局研究[J]. 煤质技术, 2023, 38(2): 90-96.
- [13] 凌君安,陈燕,陈康. 剖析气动管道传输系统在燃料智能化管控中的具体应用[J]. 机电产品开发与创新, 2021, 34(5): 89-91.