



光量子技术与器件全国重点实验室
山西大学激光光谱研究所
Institute of Laser Spectroscopy, Shanxi University

煤质快速分析仪

山西大学-激光光谱研究所



laserspec.sxu.edu.cn



山西-太原



目录 / CONTENTS

01

研发背景

Research & Development
Background

03

行业优势

Industry Advantages

02

产品介绍

Product description

04

应用场景

Application Scenarios



01

研发背景

Research & Development Background



2022年1月27日山西瑞光热电有限责任公司 储煤场

十八大以来，习近平总书记多次赴山西考察，始终围绕能源清洁高效利用作出重要指示、指明实践路径。

2017年6月考察山西时，总书记针对山西煤炭产业发展现状，强调要摆脱传统路径依赖，为能源清洁转型定下总基调；

2020年5月再次考察，聚焦资源型经济转型，要求加快推动能源产业绿色升级，为煤炭清洁高效利用明确发展方向；

2022年1月在考察瑞光热电等企业时，着重强调统筹煤炭清洁低碳发展、多元化利用、综合储运，加快绿色低碳技术攻关，推动传统能源产业向清洁化转型；

2025年7月考察期间，进一步要求推动煤炭由初级燃料向高端高价值产品转化，同步发展新能源与清洁能源，持续深化能源清洁利用，构建清洁低碳、安全高效的能源体系，指引山西在保障能源安全的同时，不断提升能源清洁化、高效化利用水平，走好能源绿色转型之路。

“选煤厂重点推进**高精度煤质在线检测**、智能分选控制，实现全流程智能监测、决策与控制。”

——《关于进一步加快煤矿智能化建设通知》（国能发煤炭〔2024〕38号）

“强化全流程标准化建设，重点突破**精准检测、在线分析**、智能调控等技术，形成动力煤（湿法、干法）、炼焦煤等智能分选模式，提升动态分析决策与全流程智能化运行水平，实现选煤厂提效降耗和生产现场无人作业。”

——《关于开展煤矿智能化技术升级应用试点工作的通知》（国能综通煤炭〔2025〕120号）

“加快现有洗选设施改造升级；**推进煤炭分质分级利用**；加强生产、储运和利用全流程的煤炭质量监管；提高重点行业用煤效能。高质量推进钢铁、水泥、焦化等重点行业超低排放改造。”

——《关于加强煤炭清洁高效利用的意见》（发改运行〔2024〕1345号）

“推广应用燃料全流程智能管控、**入炉煤质在线精准检测**、锅炉燃烧智能优化等技术，实现燃料、制粉、燃烧、环保系统协同优化。降低供电煤耗和碳排放强度，强化煤质精准管控与掺配优化，提升燃料适应能力与燃烧效率。”

——《新一代煤电升级专项行动实施方案(2025—2027年)》（发改能源〔2025〕363号）

“加快**高精度光谱仪**等碳核算、碳监测相关计量仪器的研制。”

——《碳达峰碳中和标准计量体系行动方案(2024—2025年)》（发改环资〔2024〕1046号）

煤炭作为我国主体能源，是保障能源安全、支撑工业发展与电力供应的核心资源，其质量检测贯穿开采、洗选、运输、贸易、燃烧、化工利用全产业链，是实现精准配煤、高效燃烧、清洁利用、公平结算的关键基础环节。

随着煤炭工业智能化转型、“双碳”目标推进及产业链高质量发展需求升级，传统煤质检测技术与模式已难以适配现代产业节奏，效率、精度、安全、实时性、智能化等多重瓶颈日益凸显，成为制约行业提质增效的共性难题，融合光谱煤质快检技术正是在这一行业痛点与产业变革双重驱动下应运而生。

人工采样



【缺点】 耗时耗力 效率低
人为误差 缺乏代表性

人工化验



【缺点】 多台仪器 多人轮班 (~9人)
操作繁琐 时效低 (1~2小时)

机器人化验



【缺点】 价格昂贵 体积庞大
耗时长



山西大学激光光谱研究所主要从事光与原子分子的相互作用、精密光谱学及量子信息方面的基础与应用研究。

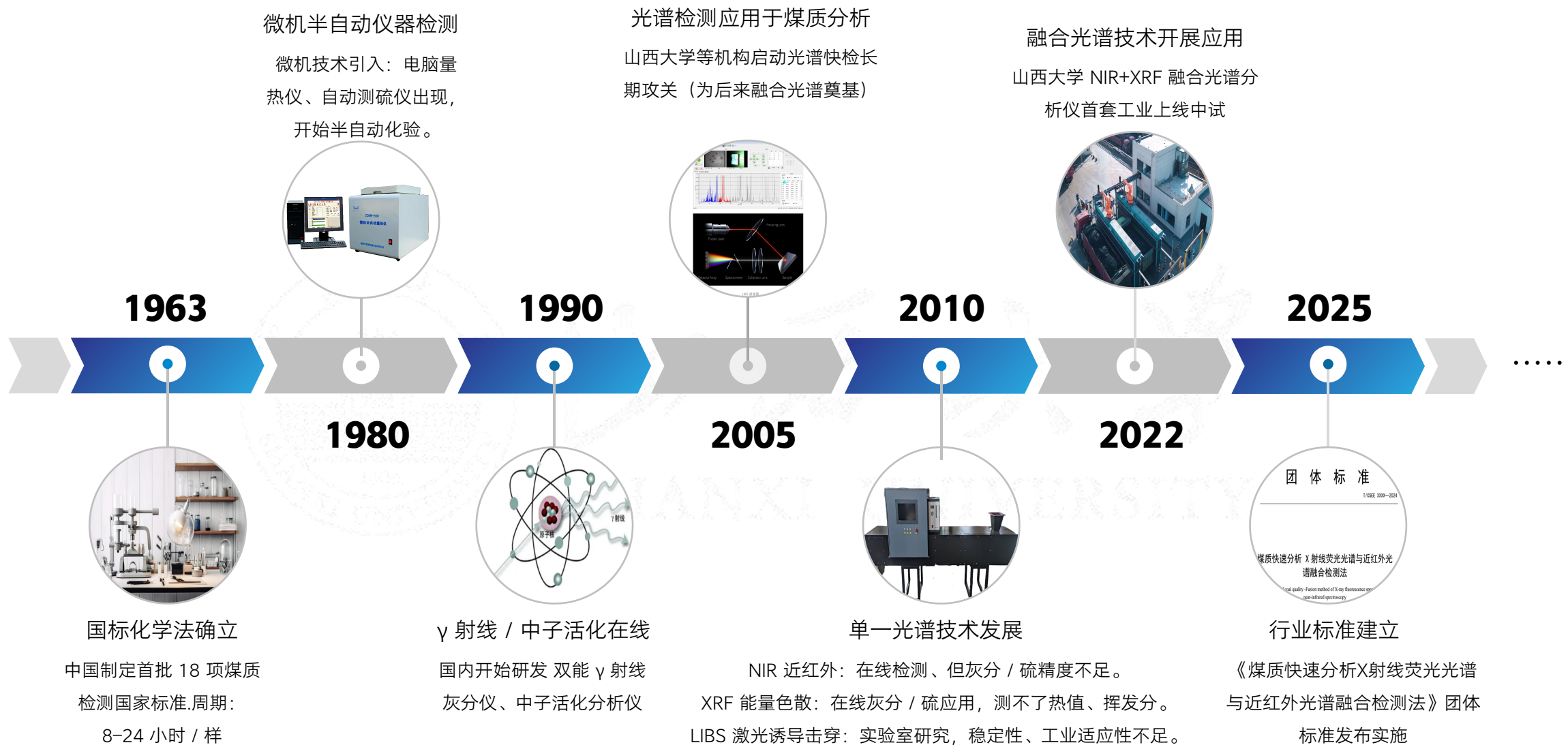
作为山西大学的一级学术研究机构，是组成光量子技术与器件全国重点实验室的核心单位。

研究所先后主持承担国家级项目190余项（含973、863、国家重点研发计划、科技创新2030重大专项、国家基金重点项目等）、省部级项目166项、横向项目117项；发表重要学术论文1000余篇，获授权专利220余项。



研究所张雷教授团队从事激光光谱检测在工业、生物、国防等领域的应用基础研究，在激光诱导击穿光谱、LIBS-XRF-NIRS多光谱融合、机器视觉等方面取得了多项关键技术突破。

作为国内最早开展双光谱融合煤质检测研究的团队之一，张雷教授团队多年来深耕多光谱融合煤质检测、碳监测计量装备研发与产业化，攻克光谱融合、无制样检测、工业抗干扰等关键技术，研发的融合光谱煤质检测系列产品达到国际领先水平，实现了核心技术国产化替代。



02

产品介绍

Product description

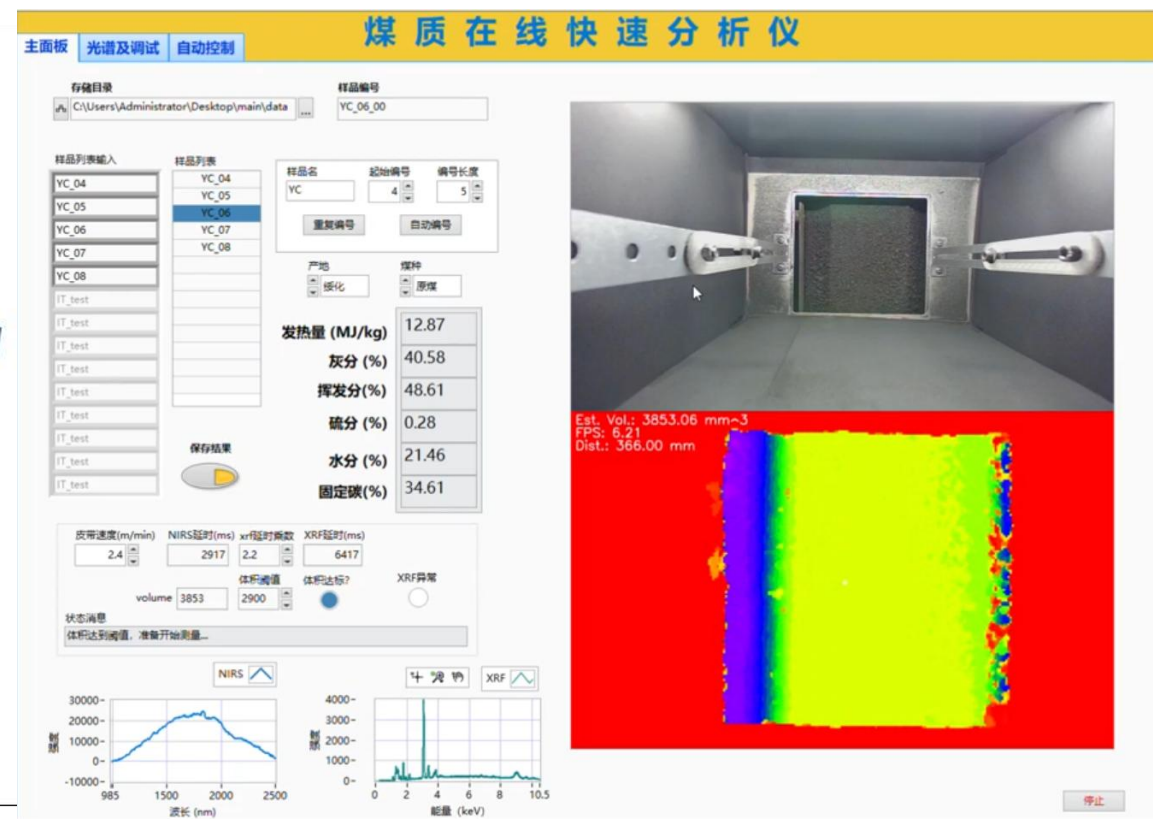
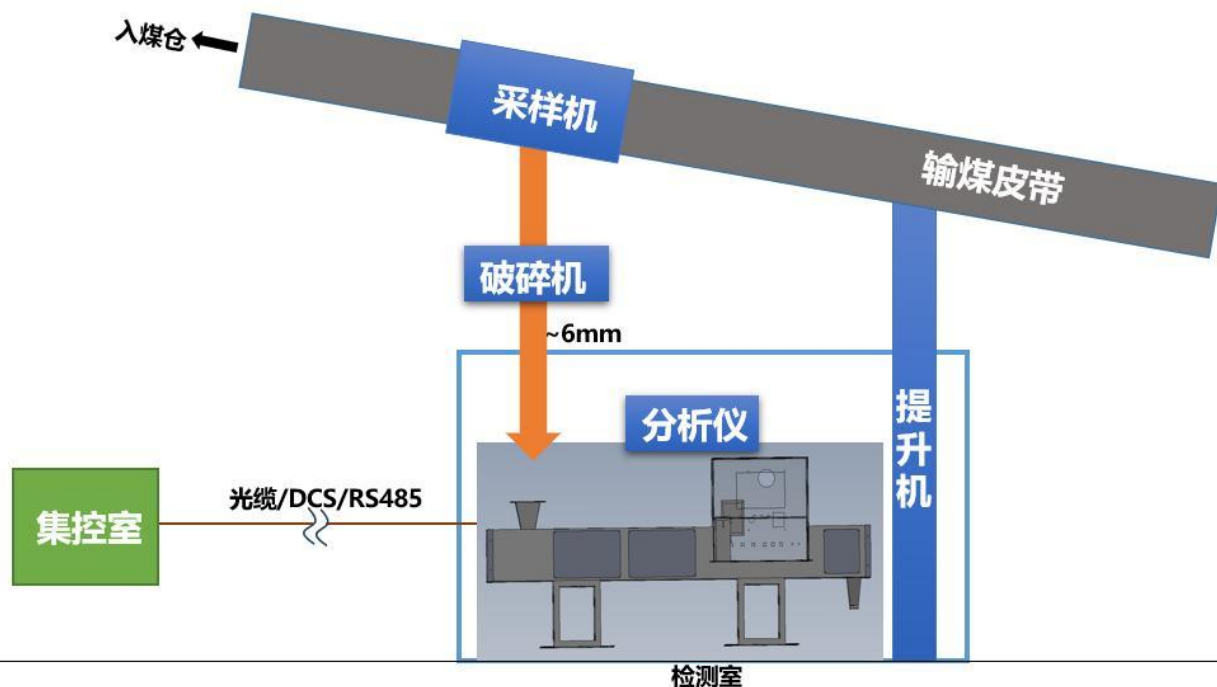
设备采用近红外光谱 (NIRS) 与 X 射线荧光光谱 (XRF) 双光谱融合检测技术, 搭载自主研发 AI 深度学习算法与工业级数据模型, 可对原煤实现在线式快速分析, 每次检测后 2min 内可输出灰分、全硫、发热量、全水分及碳、氢等关键煤质指标, 检测速度快、稳定性强、检测精度达行业领先水平。

依托快速的检测速度与精度, 可实现在线实时检测、连续检测、大批量样本检测。

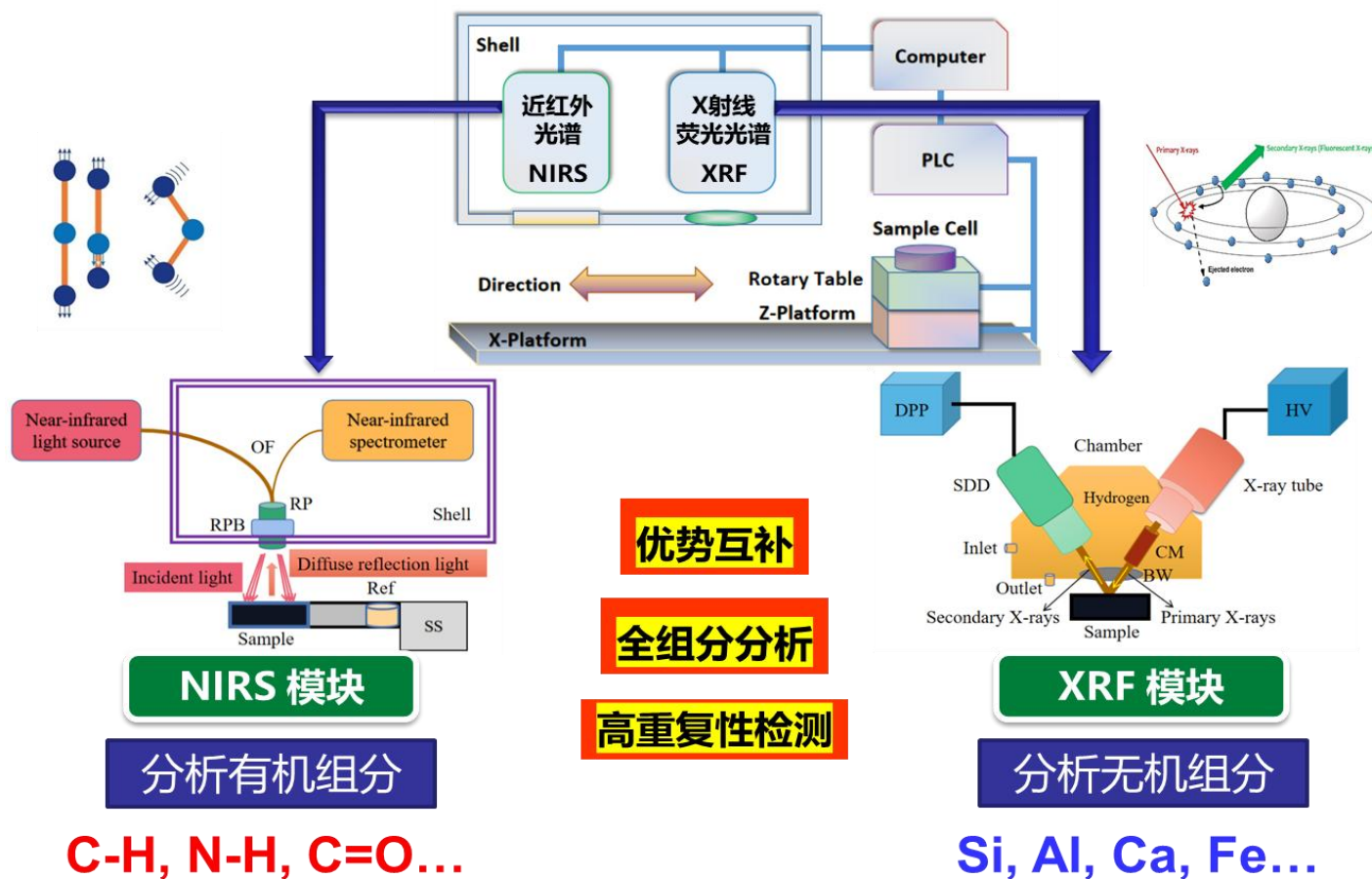
设备专为煤矿、选煤厂、火力发电、钢铁焦化、煤炭贸易等场景设计, 可实现煤流在线实时监测、智能分选调控、精准配煤掺烧与全流程质量闭环管理, 有效提升煤炭利用效率、降低能耗与污染物排放。



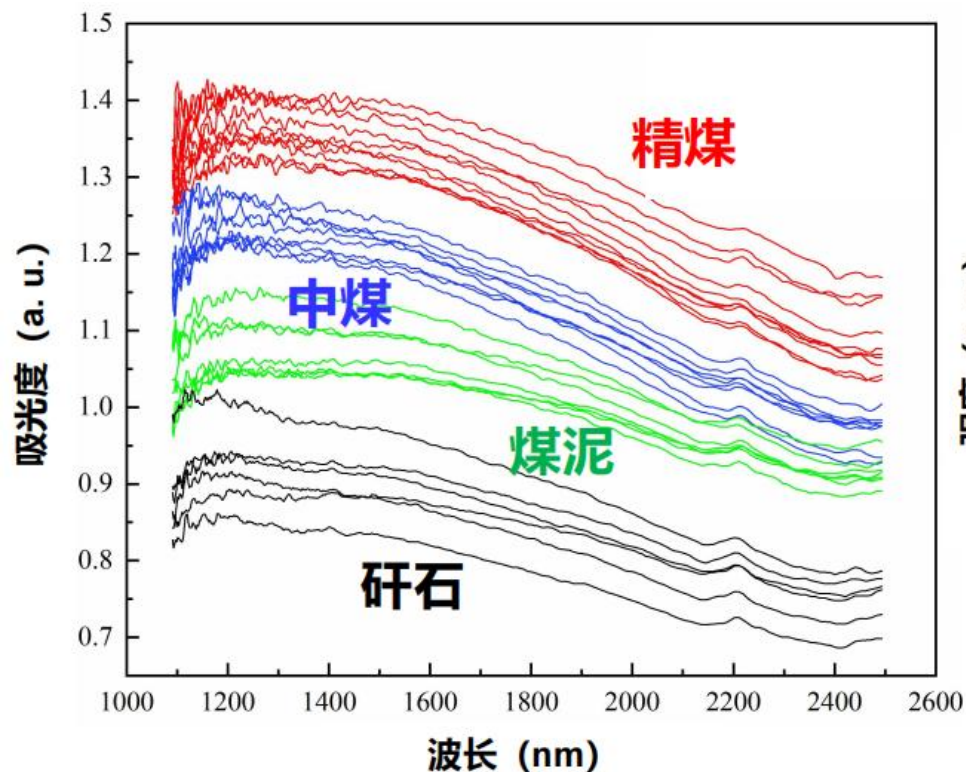
新一代融合光谱-煤质快速分析仪



以皮带采样为例，经破碎处理后的煤流进入检测单元，分析仪通过融合光谱技术快速采集煤质特征信号，经智能算法解析后，实时输出灰分、全硫、发热量、水分等关键煤质指标。

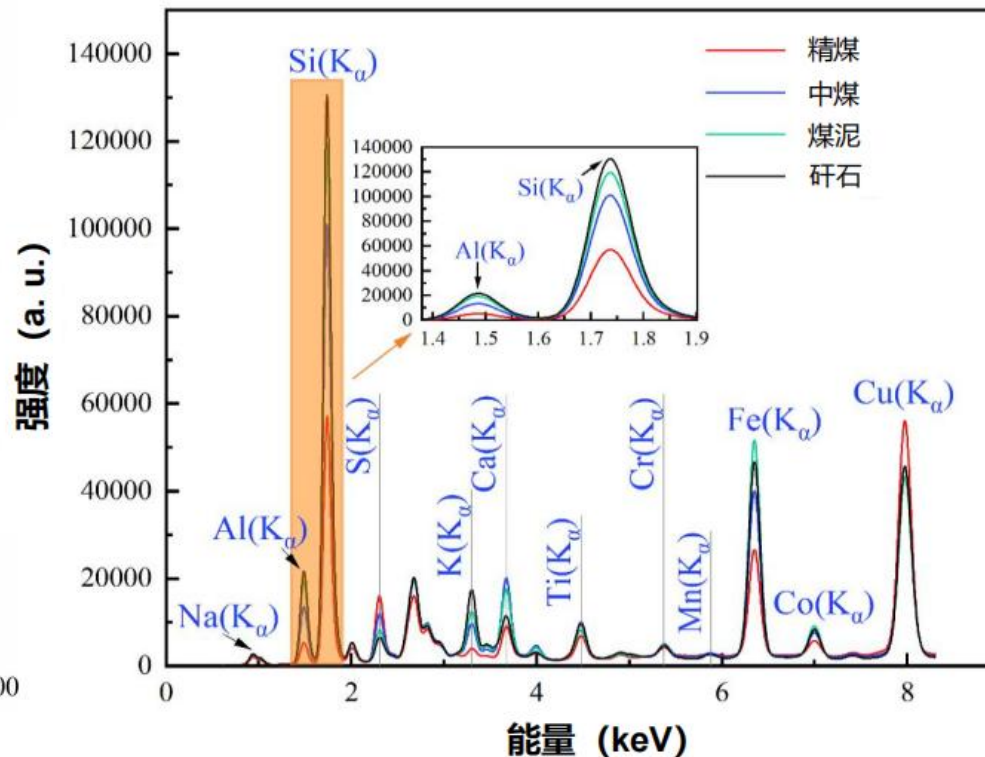


核心技术：首次采用NIRS-XRF双谱融合，AI深度学习模型解析煤质指标，精准洞察煤质。



NIRS光谱

C-H, N-H, C=O...



XRF能谱

Al、Ca、Si、Fe、Mg、
K、Ti、Mn、S

1

发热量

单位质量的煤完全燃烧时所释放的热量，是煤炭计价、锅炉设计的核心依据

2

全水分

煤中内在水分与外在水分的总和，直接影响煤的有效热值、运输与储存特性

3

灰分

煤在规定条件下完全燃烧后所得的残渣占试样质量的百分比，表征煤中无机矿物质含量



4

挥发分

煤在隔绝空气的条件下，于规定温度加热一定时间后，析出的气体和液体产物（扣除水分）占煤样质量的百分数。

5

全硫

煤中有机硫、无机硫（硫化铁硫、硫酸盐硫）、单质硫的总和，是环保与煤质核心指标

6

灰熔点

煤完全燃烧后所得的煤灰，在高温条件下随温度升高发生软化、熔融、变形的特性，用于判断煤灰在锅炉内的结渣、沾污和流动特性。

设备检测指标	检测准确度（平均绝对误差限值）	团体标准要求（T/CSEE 0527—2025）	备注
全水分	$\leq 0.9\%$	≤ 1.2	
灰分	$\leq 0.4\%$ （测量范围 $\leq 15\%$ ） $\leq 0.9\%$ （测量范围 $15\%-30\%$ ） $\leq 1.0\%$ （测量范围 $30\%-45\%$ ） $\leq 1.5\%$ （测量范围 $>45\%$ ）	$\leq 1.6\%$ （测量范围 $\leq 15\%$ ） $\leq 2\%$ （测量范围 $15\%-30\%$ ） $\leq 2.4\%$ （测量范围 $30\%-45\%$ ）	
发热量	$\leq 70\text{kcal/kg}$	$\leq 0.6\text{MJ/kg} \approx 143\text{ (kcal/kg)}$	kcal（大卡）
挥发分	$\leq 0.7\%$	—	
硫分	$\leq 0.1\%$ （测量范围 $\leq 1\%$ ） $\leq 0.2\%$ （测量范围 $1\%-4\%$ ） $\leq 0.3\%$ （测量范围 $\geq 4\%$ ）	$\leq 0.2\%$ （测量范围 $\leq 1\%$ ） $\leq 0.35\%$ （测量范围 $1\%-2\%$ ） $\leq 0.5\%$ （测量范围 $\geq 2\%$ ）	
元素	相对误差 $<5\%$	—	
灰熔点	$\leq 4\%$	—	绝对误差 $\leq \pm 60^\circ\text{C}$

030017	山西华宁焦煤有限责任公司	瘦焦煤	9.66	9.82	9.39	-0.16	0.16	0.27	0.27	19.40	18.07	18.96	-1.33	1.33	-0.44	0.44	0.55	0.52	0.53	0.03	0.03	0.02	0.02
030018	山西华宁焦煤有限责任公司	瘦焦煤	8.70	9.55	9.18	-0.85	0.85	-0.48	0.48	18.86	18.10	19.00	-0.76	0.76	0.14	0.14	0.55	0.66	0.55	-0.11	0.11	0.00	0.00
030024	长治县聚兴洗煤有限公司	贫瘦煤	9.53	9.73	10.07	-0.20	0.20	-0.54	0.54	13.94	13.67	13.47	-0.27	0.27	-0.47	0.47	0.36	0.40	0.34	-0.04	0.04	0.02	0.02
030026	山东晋乾晟能源有限公司	肥煤	11.08	10.44		0.64	0.64			36.59	35.07		-1.52	1.52			0.25	0.39		-0.14	0.14		

数据分析：今日质管部查找6个煤种，共计143个进厂煤与山大系统1#、2#进行指标对标，具体情况如下：

- 灰分：全天山大系统1#对比了143次灰分、2#分别对比了142次灰分，满足再现性限范围占比98.9%；
 1#：有141次满足波动范围要求，占比98.6%，其余2次为山大比质管部分分析结果偏高，最大偏差1.29%；
 2#：有141次满足波动范围要求，占比99.3%，其余1次为山大比质管部分分析结果偏低，偏差1.25%。
- 挥发分：全天山大系统1#对比了143次灰分、2#分别对比了142次灰分，满足再现性限范围占比97.9%；
 1#：有140次满足波动范围要求，占比97.9%，其余3次有2次山大比质管部分分析结果偏高，最大偏差2.05%；有1次山大比质管部分分析结果偏低，偏差2.17%；
 2#：有139次满足波动范围要求，占比97.9%，其余3次有1次山大比质管部分分析结果偏高，偏差2.23%，有2次山大比质管部分分析结果偏低，最大偏差6.06%。
- 硫分：全天山大系统1#对比了143次灰分、2#分别对比了142次灰分，满足再现性限范围占比97.5%；
 1#：有140次满足波动范围要求，占比97.9%，其余3次为山大比质管部分分析结果偏高，最大偏差0.38%；
 2#：有138次满足波动范围要求，占比97.2%，其余4次为山大比质管部分分析结果偏高，最大偏差0.52%。
- 煤种分析：
 焦煤：共化验12次，全部满足再现性范围（即占比100.0%）；瘦煤：共化验42次，全部满足再现性范围（即占比100.0%）；贫瘦煤：共化验204次，有202次满足再现性范围，占比99.0%；肥煤：共化验255次，有250次满足再现性范围，占比98.0%；瘦焦煤：共化验144次，有141次满足再现性范围，占比97.9%；气煤：共化验198次，有192次满足再现性范围，占比97.0%。
- 平均绝对误差：
 灰分： 1#：0.33%， 2#：0.31%
 挥发分： 1#：0.63%， 2#：0.65%
 硫分： 1#：0.07%， 2#：0.06%

结论：从上述表格中可以看出，

- 从单项指标准确率来看，灰分（98.9%）>挥发分（97.9%）>硫分（97.5%）；
- 从煤种的准确率来看，焦煤（100.0%）>瘦煤（100.0%）>贫瘦煤（99.0%）>肥煤（98.0%）>瘦焦煤（97.9%）>气煤（97.0%）；
- 从山大系统的准确率来看，山大1#（98.14%）>山大2#（98.12%）。

平均绝对误差：

灰分： 1#：0.33%， 2#：0.31%
 挥发分： 1#：0.63%， 2#：0.65%
 硫分： 1#：0.07%， 2#：0.06%

山西阳光焦化集团股份有限公司
 2024年9月29日



按质论价 降本增效

实现煤质秒级在线检测，相对传统2小时以上人工化验，**检测效率提升90%以上**

配煤精度提升，灰分、挥发分控制偏差 $\leq \pm 0.3\%$ ，**年节约优质煤 2000 吨以上**

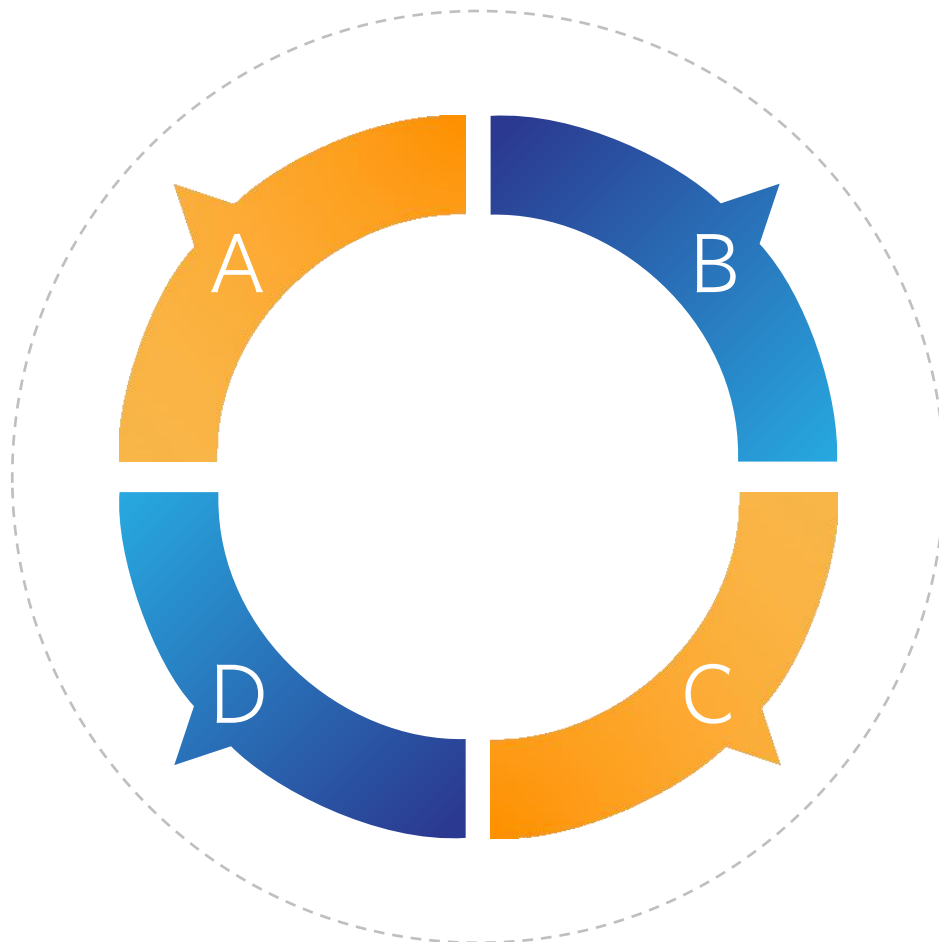
热值精准检测，购销结算误差降低，**单万吨煤减少亏卡损失3000-10000元**

环保合规 减排增益

全硫精准监测，优化脱硫药剂投加，药剂消耗降低5%-15%

稳定控制污染物排放，避免环保超标罚款20万-100万元/次

实现燃烧工况精细化调控，综合能效提升2%-5%



管理风控 提质增效

全煤流连续在线分析，数据代表性较人工抽检提升100倍以上

杜绝人为误差与煤质作弊风险，质检纠纷处理效率提升90%

数据自动上传、自动生成报表，煤质管控效率提升60%以上

安全生产 设备防护

实时监测灰熔点、全硫指标，有效降低锅炉结焦、高温腐蚀风险

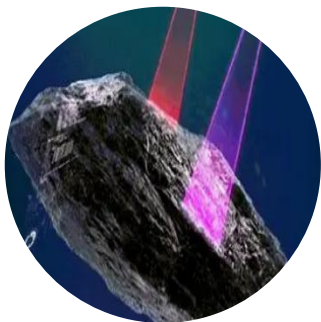
减少非计划停炉1-3次/年，避免单次50万-200万元生产损失

降低受热面磨损与堵灰概率，设备维修费用年均减少20万-50万元

03

行业优势

Industry Advantages



真正双光谱原生融合， 指标更全更准

可一次同时测出全套煤质指标。
无放射性源、安全环保，无需
办理辐射安全许可，无人员防
护与环保管控风险

同类产品多为单光谱，指标不
全、精度有限。



精度更高、长期更稳定

设备检测精度更高、长期运行稳
定性突出，月度漂移量小，标定
周期长，无需频繁现场校准，有
效降低运维强度与人工干预。在
连续复杂工况下仍可保持优异的
数据一致性与可靠性，各项关键
指标显著优于行业常规水平。



全场景部署，灵活性强

独有粒度补偿、形貌校正、粉
尘抗干扰模型，6mm原煤可
直接检测，无需烘干、无需研
磨，即装即用。

同类设备普遍依赖制样，现场
适应性差、误差大、维护复杂。

01

科研平台支撑

国家重点实验室支撑：依托量子光学与光量子器件国家重点实验室。

教育部/省级平台：激光碳监测教育部国际联合实验室、山西省先进光谱检测技术工程研究中心

02

全谱系光谱技术

覆盖所有主流光谱技术，多技术融合创新。

吸收 / 红外光谱 (NIR)

X 射线荧光谱 (XRF)

激光诱导击穿光谱 (LIBS)

光声光谱 (PAS)

03

国产化自主可控

核心器件、算法、模型全部自主研发，无国外技术壁垒，交付快、维护响应及时、整体拥有成本低，在精度接近甚至超越进口设备的同时，工程适配性、现场服务能力显著更优。

04

联合科研与项目共建

根据用户特殊工况与个性化需求，支持以科研立项、联合攻关、产学研协同等形式与企业开展深度合作。为企业提供从技术攻关到产品落地的全链条科研支撑，实现产学研用一体化共赢。

煤质检测、智能质检关键技术及设备

- ZL202011459922.0 一种无人干预快速煤质智能检测计量系统
- ZL201910021334.X 一种基于共振与非共振双线测量元素含量的方法
- ZL202023338434.2 一种入炉煤质快速智能分析装置
- ZL202023313339.7 一种脱水失重智能快速分析仪
- ZL201811199681.3 共心多径腔增强激光诱导击穿光谱高灵敏检测装置及方法
- ZL201611113795.2 一种基于均匀物质的激光诱导击穿光谱校正方法
-

专利24项

工业系统集成和分析软件

- 入厂煤激光智能计量系统
- 入炉煤煤质激光在线分析系统
- X射线辅助激光诱导击穿光谱的煤质预测软件
- 燃料智能管控系统
- 智慧燃料信息管控系统
- 燃料采样制样分析一体化系统
-

软著17项



04

应用场景

Application Scenarios

煤矿、洗选企业

煤矿开采煤质波动大，系统实时在线检测发热量、灰分、硫分等全指标，支撑开采策略调整、洗选工艺优化；出厂前快速检测，保障煤质达标，减少质量纠纷，实现“车车即检、即检即结”。

煤化工企业

煤质直接决定产品质量与生产稳定性，系统秒级出检测结果，助力采购快速判定煤质、优化议价；实时掌握煤质特性，精准匹配生产工艺，提升煤炭转化率，降低次品率，为煤制油、煤制烯烃等工艺提供全流程数据支撑。

钢铁、焦化企业

钢铁厂主要在炼焦、高炉炼铁、烧结矿制备、自备电厂等环节大量用煤，设备可精准检测炼焦煤、动力煤，实现配煤精准控制、降低焦比、减少结渣、稳定烧结工况，为钢铁企业降本增效提供关键数据支撑。





火电厂

电厂煤炭进货量大，系统2分钟内出全指标结果，快速完成入厂验收，避免生产停滞；实时掌握煤质数据，精准调整锅炉燃烧参数，保障充分燃烧，提升发电效率、降低煤耗，助力低碳安全运行。



港口、发运站

港口、发运站煤炭吞吐量巨大，系统在装卸间隙完成检测，快速掌握煤质、缩短在港停留时间，加快物流周转；以快速、无损、自动化优势，保障贸易公平，提升装卸效率，助力物流链高效运转。





01

入厂汽车采样机联动部署

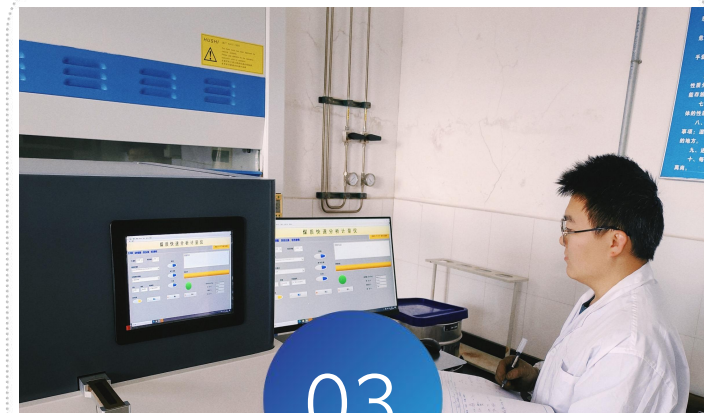
设备与汽车采样机无缝对接，实现入厂煤样自动采集、自动传输、自动检测一体化运行。采样机完成取样后，煤样直接进入检测单元进行快速分析，全程无需人工干预，可实时生成单车煤质报告，实现入厂煤质量精准把关、按质计价，有效杜绝掺假作弊，提升煤炭贸易结算公正性与管理智能化水平。



02

输煤皮带/煤粉管道部署

依托皮带输煤场景实现在线连续、实时监测，设备直接对接皮带采样装置，对输送煤流进行不间断采样与快速检测。可实时反馈灰分、硫分、发热量、水分等关键指标，为智能分选、配煤掺烧、过程质量控制提供即时数据支撑，真正实现煤质“边采边测、边测边调”，大幅提升生产稳定性与资源利用率。



03

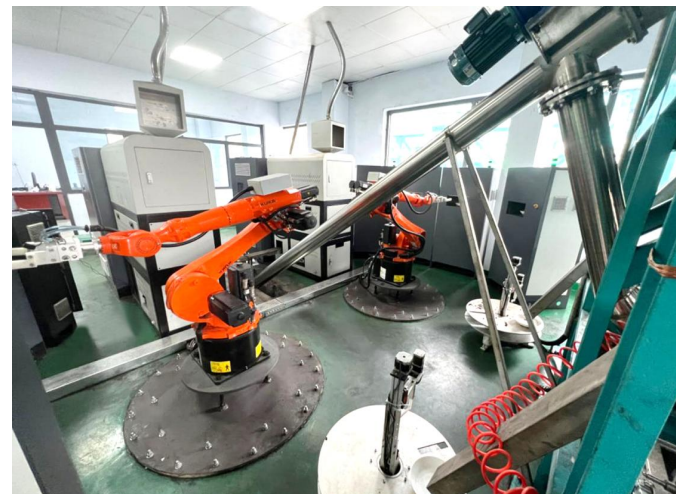
实验室标准化部署

作为实验室高精度快检设备，采用标准化柜式安装，满足批量样品集中检测、结果复核、数据溯源等需求。设备操作简便、检测速度快、精度稳定可靠，可替代传统繁琐制样流程，显著缩短检测周期、减轻实验室人员高强度重复操作，同时为企业碳核算、能耗分析、质量管控提供权威、可追溯的煤质数据支撑。

山西阳光焦化集团选煤厂-入厂煤采制样检测一体化项目



山西阳光焦化集团选煤厂-入厂煤采制样检测一体化项目



山西国锦煤电有限公司-入炉煤检测



山西晋城沁和端氏洗煤厂-化验中心



内蒙古大唐国际煤制天然气有限责任公司-质检中心



同步已完成对大唐集团托克托、阳城、唐热、绥化等7家电厂褐煤/烟煤/无烟煤等2000余份煤样的系统性测试，设备性能稳定，已通过性能验证，目前签订新协议进行电厂试点。

THANK YOU
谢谢



laserspec.sxu.edu.cn

山西-太原

