中国五矿

MCC 中国恩菲

CHINA ENFI
ENGINEERING CORPORATION

垃圾焚烧电厂
智能燃烧控制系统

目录

CONTENT

01

中国恩菲简介

INTRODUCTION TO CHINA ENFI

公司介绍 03

城市固废介绍 05

02

系统架构

ARCHITECTURE

系统架构 07

03

系统介绍

INTRODUCTION

ICC智能控制系统 09

FCC图像分析系统 14

中国五矿 | MCC 中国恩菲

04

知识产权成果

INTELLECTUAL PROPERTY

05

项目应用

PROJECT APPLICATION

06

系统指标与效益分析

BENEFIT ANALYSIS

知识产权成果 ····· 17

襄阳恩菲 ····· 19

赣州恩菲 ····· 20

效益分析 ····· 23

INTRODUCTION TO CHINA ENFI

中国恩菲简介

[公司介绍]

中国有色工程有限公司暨中国恩菲工程技术有限公司（原中国有色工程设计研究总院，简称“中国恩菲”）成立于1953年，是中华人民共和国成立后，为恢复和发展我国有色金属工业而设立的专业设计机构，现为世界五百强企业中国五矿、中冶集团子企业，拥有全行业工程设计综合甲级资质。

70年来，中国恩菲在30多个国家和地区参与了1.2万个工程项目，立足有色矿冶工程，依靠科技创新驱动，高端咨询引领，发展科学研究、工程服务与产业投资三大业务领域，深耕非煤矿山、有色冶金、水务资源、能源环境、新高材料、市政文旅、城市矿产、智能装备、房产经营九个业务单元，形成核心能力突出、竞争优势明显、国际化运作、特色鲜明的多元业务集群，能够提供总承包、项目管理、工程咨询、设计、造价咨询、监理、环境评价、供货等全生命周期服务，是国内产业领域内少有具备咨询、设计、建设、投资、运营“五位一体”服务能力的企业之一。

质量管理体系认证证书

环境管理体系认证证书

工程咨询单位甲级资信

职业健康安全管理体系认证

工程设计综合资质证书(甲级)

作为行业技术引领者，中国恩菲拥有地质、采矿、选矿、尾矿、冶炼、建筑、结构、电气、热工等工艺及相关公辅配套共计40多个专业的设计力量，形成了包括中国工程院院士和诸多国家级、行业级设计大师、百名博士团队在内的高素质人才团队，搭建了全专业技术研发平台，拥有硅基材料制备技术国家工程研究中心、国家金属采矿工程技术研究中心等8个国家级平台，院士专家工作站、2个博士后科研工作站、恩菲研究院，矿业经济研究院，中冶低碳技术研究院、偃师研发基地和23个省部级平台，依托“833231”（8国家级平台，3站，3院，23个省部级平台，1基地）研发平台，造就了一大批具有高市场价值的技术创新成果，获得了国家级、省部级奖项千余项，取得了近两千项授权专利，其中发明专利占比接近50%，引领行业向智能、生态、智慧、绿色的方向持续发展。

当前，中国恩菲正全力引领行业新基建变革，以国家战略为指引，在“双循环”格局下，加速“数字化、平台化、智慧化、国际化”转型，全力打造有色矿冶国家队、绿色环保排头兵、新兴产业创新者，坚持走高技术、高质量发展之路，为行业进步、产业升级不懈贡献力量，致力于成为最值得信赖的国际化工程综合服务商及能源环境发展商。

城市固废介绍

INTRODUCTION TO WTE BUSINESS

中国恩菲是国内最早进入垃圾焚烧发电行业的企业之一，先后投资建设了无锡、襄阳、哈尔滨、赣州、固安、南康等6个垃圾焚烧发电BOT项目、孝感危废处理项目、固安有机垃圾资源化处置项目；完成近10个垃圾焚烧发电EPC总承包项目；承接了100多个垃圾焚烧发电、固废处置咨询设计项目(其中，千吨级以上项目达30余座），遍布祖国的30多个省市，实现垃圾日处理能力总和近6万吨。

赣州市第二垃圾处理厂（焚烧发电厂）

赣州市第二垃圾处理厂（焚烧发电厂）

中国恩菲全资子公司赣州恩菲环保能源有限公司采用BOT模式投资的环保项目。项目运营期30年（含建于设期），达产后生活垃圾处理能力达1200t/d。项目于2019年投产。

固安生活垃圾焚烧发电项目

中国恩菲全资子公司固安恩菲环保能源有限公司采用BOT模式投资的环保项目。项目运营期30年(含建设期)，达产后生活垃圾处理能力达1800t/d。

固安生活垃圾焚烧发电项目

哈尔滨市双琦生活垃圾焚烧发电厂

哈尔滨市双琦生活垃圾焚烧发电厂

中国恩菲参股子公司哈尔滨市双琦环保资源利用有限公司采用BOT模式投资的环保项目。中国恩菲EPC总承包，达产后生活垃圾处理能力达1200t/d。项目于 2015年12月进入运营期。

襄阳生活垃圾焚烧发电厂

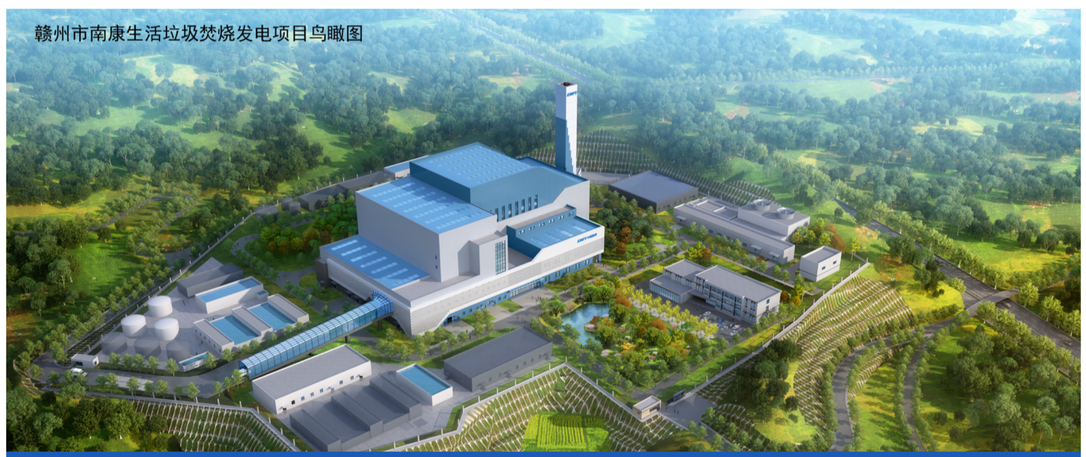
襄阳生活垃圾焚烧发电厂

中国恩菲的全资子公司襄阳恩菲环保能源有限公司采用BOT模式投资的环保项目。中国恩菲EPC总承包，建设期18个月(含调试期)，达产后生活垃圾处理能力达1200t/d。项目于2012年3月进入运营期。

绵阳市生活垃圾焚烧发电厂

中国恩菲EPC总承包。项目建设期14个月（含调试期），达产后生活垃圾处理能力达1500t/d。项目2017年9月投入运营。

绵阳市生活垃圾焚烧发电厂



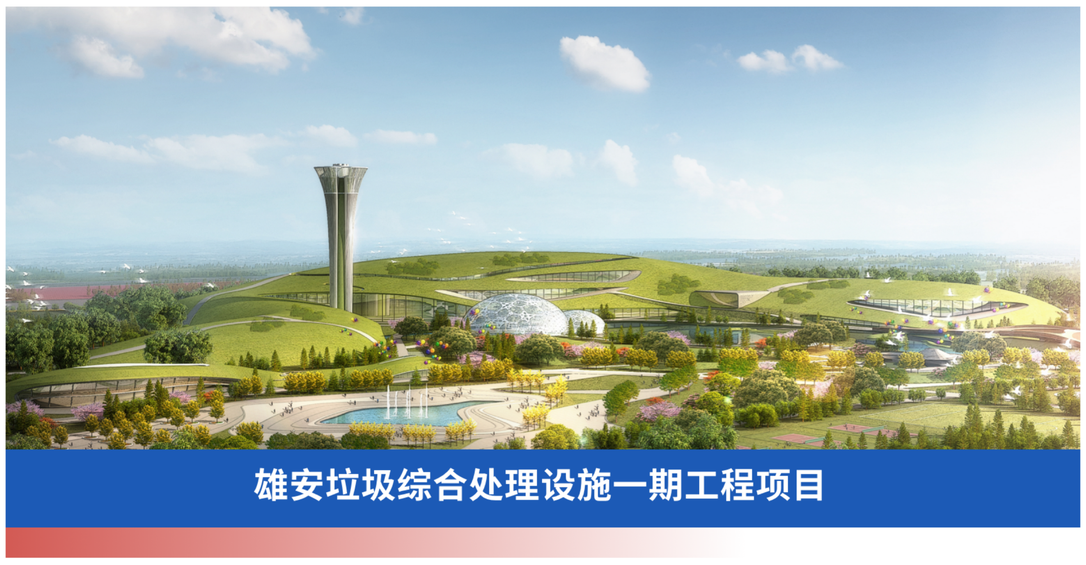
赣州南康生活垃圾焚烧发电厂

赣州南康生活垃圾焚烧发电厂

本项目是江西省重点项目，也是中国恩菲在赣州市投资、建设、运营的第二个生活垃圾焚烧发电项目，特许经营期限30年（含建设期），服务范围涵盖赣州市南康区及周边区域。项目建设规模为处理生活垃圾2000t/d，分两期建设，一期1000t/d，预留二期扩建1000t/d生产线场地。

雄安垃圾综合处理设施一期工程项目

雄安垃圾综合处理设值一期工程项目是特大型隐藏式环卫设施，包含生活垃圾、餐厨、厨余、粪便、污泥、医废等处置设施，集合多种环卫处理工艺，空间布置紧凑，设备及管道布置错综复杂，管线众多，施工难度大。



雄安垃圾综合处理设施一期工程项目

系统架构

ARCHITECTURE

垃圾焚烧电厂智能燃烧控制

给料炉排控制 | 一次风机控制 | 炉膛主控温度控制

干燥炉排控制 | 燃烧炉排控制 | 燃烧炉排控制

主蒸汽流量控制 | 二次风机控制 | 炉膛火焰图像测温

垃圾焚烧炉燃烧段缺料识别 | 垃圾焚烧炉烟雾扬尘识别 | 垃

垃圾焚烧电厂智能燃烧大

机理模型 | 经验模型 | 人工

数据存储 | 数据清洗

数据接口（OPC、MODBUS....）

生产运行数据 | DCS数据 | 烟气数据

主蒸汽流量 | 一次风各段风量 | 二次风机风量

炉渣燃烬率 | 燃烧空气温度 | 干燥炉排速度

展示层

系统大屏

应用层

余热锅炉出口 O_2 控制

燃烧空气温度控制

一次风各段风量控制

炉渣燃烬率控制

炉膛火焰工况识别

垃圾焚烧炉垃圾过厚识别

垃圾焚烧炉停炉识别

炉膛火线检测

算法层

大模型

工智能算法（机器学习、强化学习、深度学习...）

数据层

数据仓库

数据服务

数据源

图像接口（CCD、工业摄像机...）

光电图像

焚烧炉火焰图像

给料炉排速度

炉膛温度

燃烧炉排速度

燃烬炉排速度

系统介绍

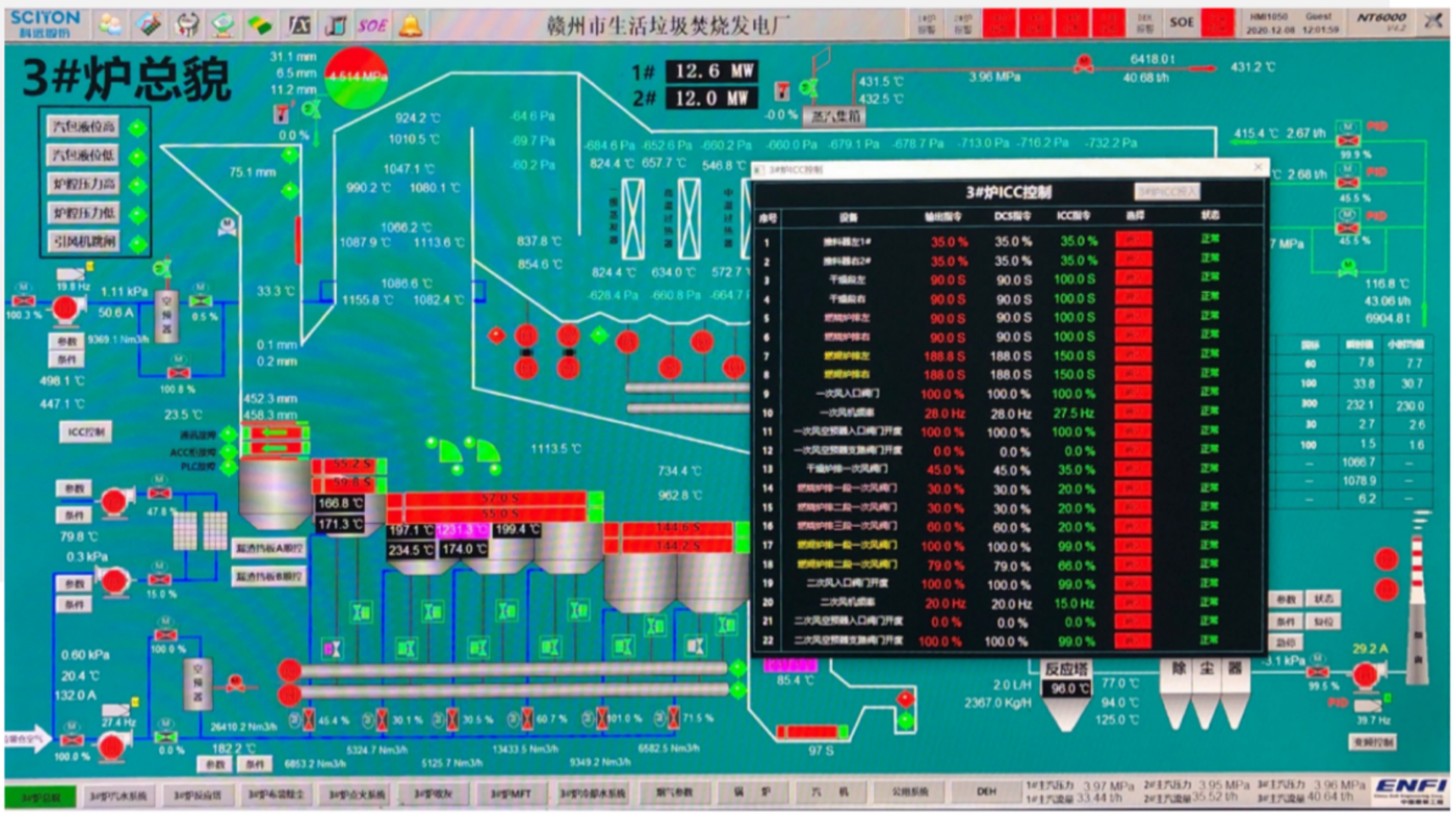
CONTROL SYSTEM

垃圾焚烧炉智能控制系统是搭载前沿的大数据技术和机器学习技术，结合垃圾焚烧“3T+E”控制原则而开发的全新一代垃圾焚烧炉人工智能燃烧控制系统，包括“ICC燃烧核心控制”及“火焰图像测温及燃烧状态诊断”两项关键技术。

01

[垃圾焚烧炉ICC智能控制系统]

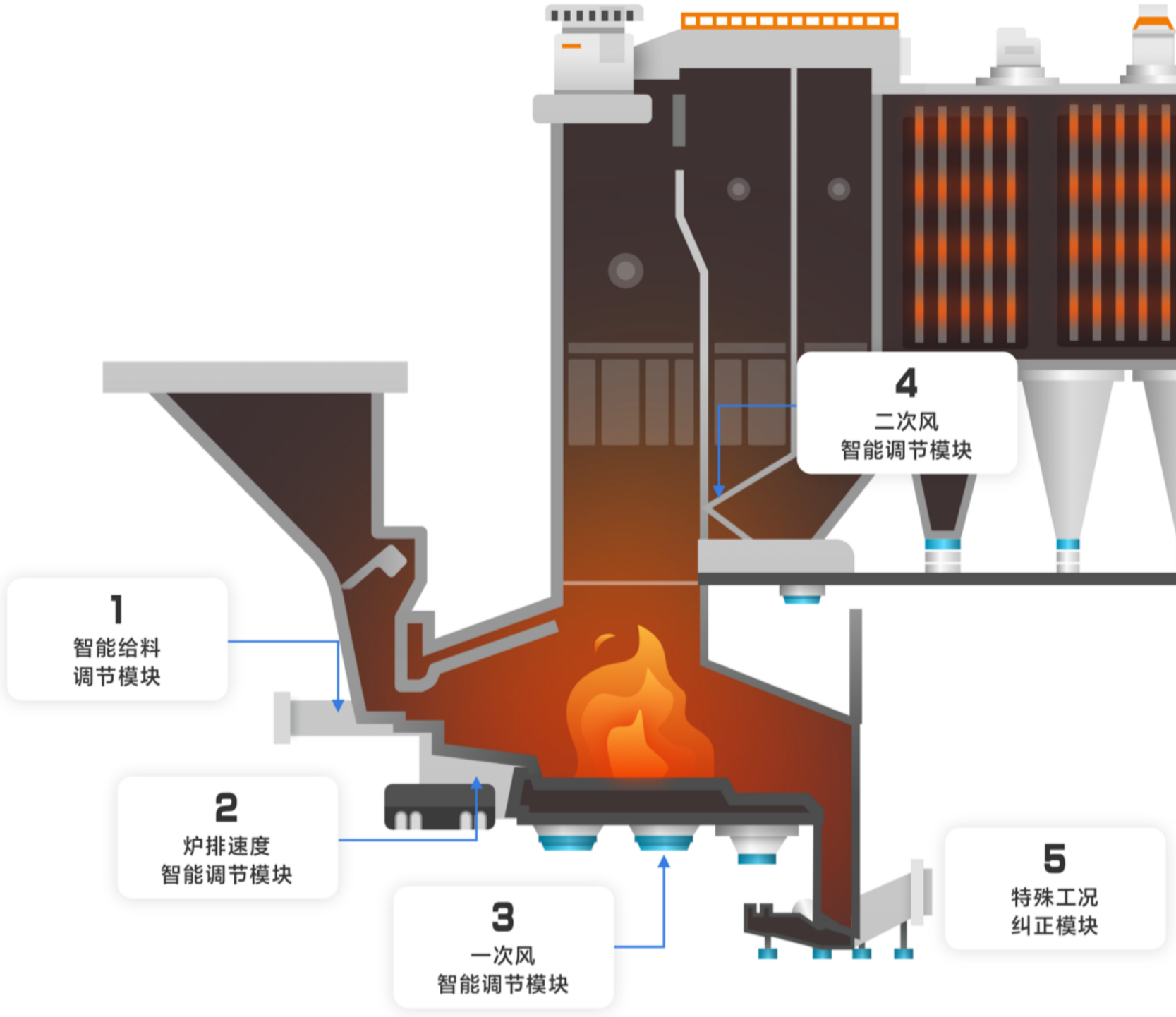
ICC（Intelligent Combustion Control），是中国恩菲基于大数据和人工智能技术，并结合自身三十余年的垃圾焚烧工程经验自主开发的新一代垃圾焚烧炉燃烧控制系统。它将垃圾焚烧复杂的工艺原理、现场运行的海量工况数据和操作人员的人工智慧结合，运用大数据挖掘和人工智能深度学习技术”，建立垃圾焚烧炉核心控制算法库，是独立运行的软件系统。该系统克服了传统ACC系统逻辑控制复杂、投用难度大等缺点，是非常适合我国垃圾焚烧特性、具有国际领先水平的控制系统。



DCS总貌图

垃圾焚烧炉ICC智能控制系统功能

给料炉排控制	一次风机控制	炉膛主控温度控制
干燥炉排控制	二次风机控制	余热锅炉出口O_2控制
燃烧炉排控制	燃烧空气温度控制	炉渣燃烬率控制
燃烬炉排控制	一次风各段风量控制	主蒸汽流量控制



垃圾焚烧炉ICC^{ENFI}智能控制系统组成

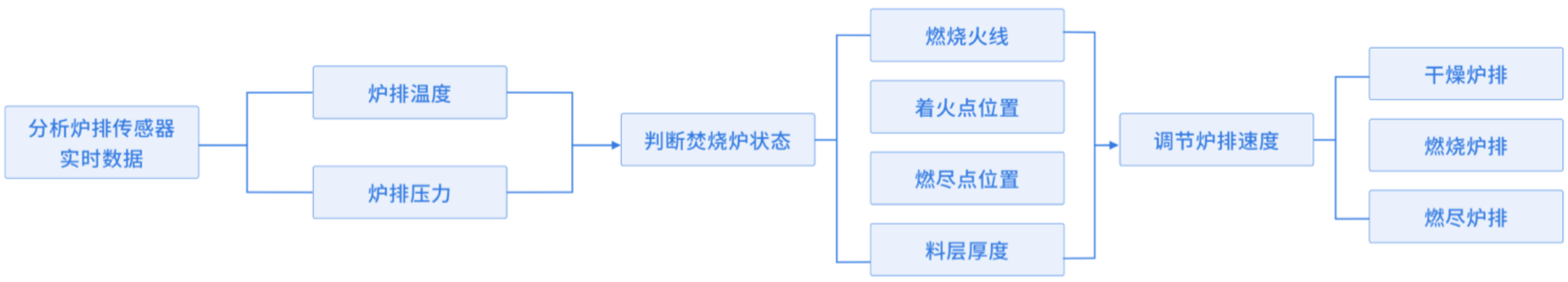
垃圾焚烧炉控制模块

（1）智能给料调节

智能给料功能调节垃圾焚烧炉的给料装置，ICC系统根据每台炉子一段时间内的效益要求，结合当前的垃圾燃烧情况判断垃圾料的热值波动智能给料，保证负荷的稳定。

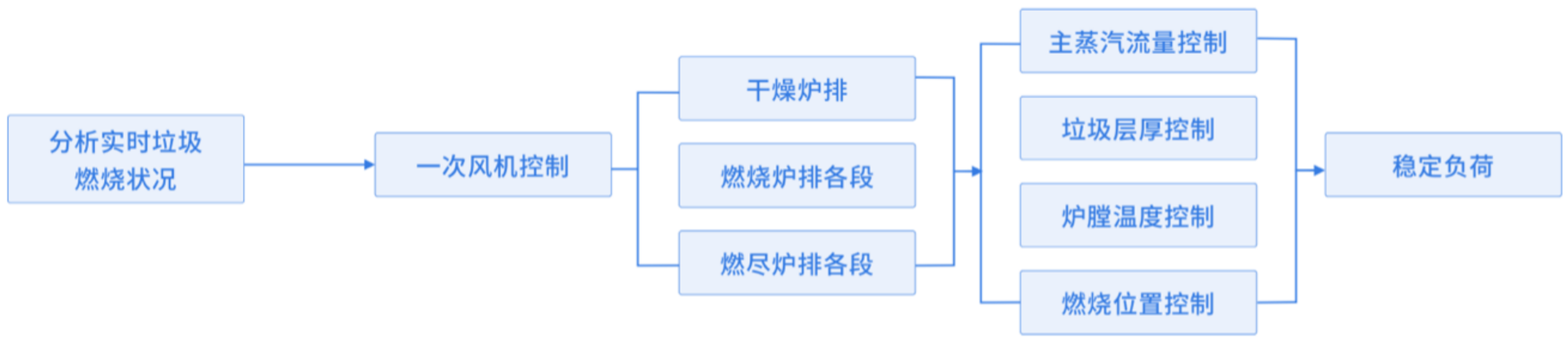
（2）炉排速度智能调节

炉排速度调节功能根据各类传感器测点的实时数据，判断整个垃圾焚烧炉的燃烧火线长度、着火点位置、燃尽点位置与料层厚度情况。ICC智能调节垃圾焚烧炉各个部位的料层厚度，使料层厚度保持在有利于燃烧的最佳水平，炉排速度调节将燃烧火线长度控制在合适的范围，既能防止火线过短造成炉温下降，又能防止火线太长造成垃圾燃烧不完全。



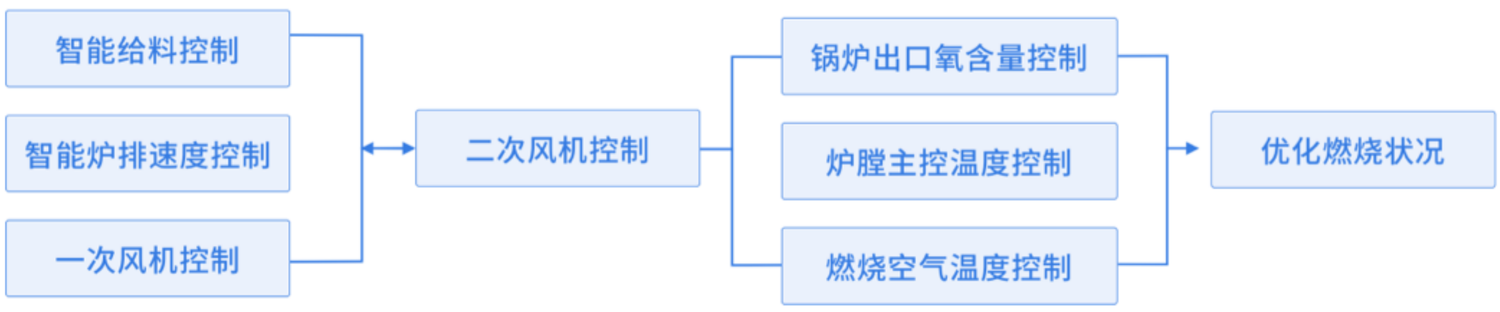
（3）一次风系统智能调节

一次风系统将燃烧空气合理分配至焚烧炉的各个工艺段，配合炉排行进速度智能地控制垃圾燃烧强度，实现负荷的稳定。

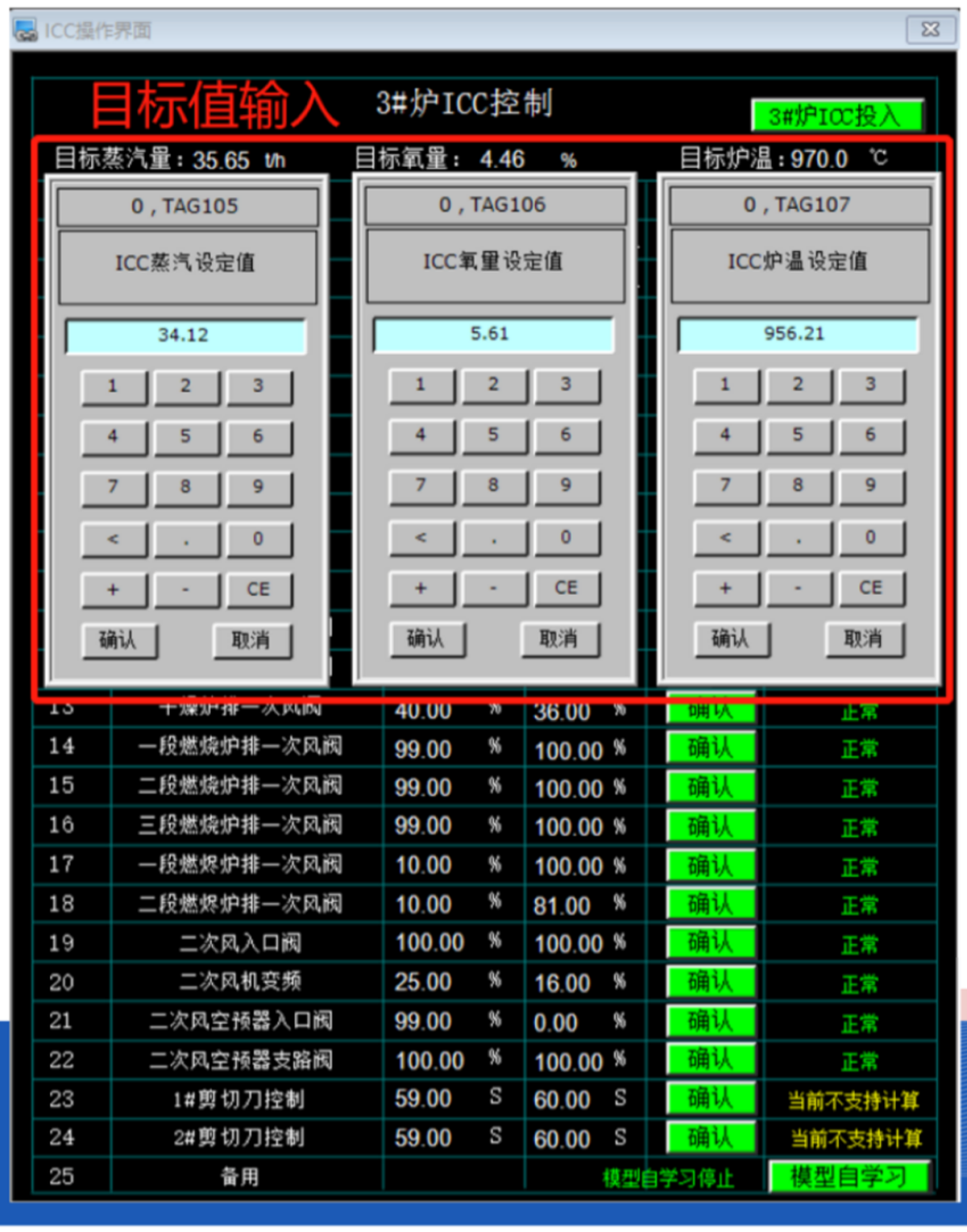


（4）二次风系统智能调节

二次风系统调节主要配合一次风系统进行焚烧炉出口氧含量控制与炉温控制，使锅炉出口氧含量与炉膛各测点温度控制在合适的范围。



焚烧指标自定义与参数稳定模块



界面上方手动输入框，可自定义输入目标蒸汽量、目标氧含量、目标炉均温度等用户目标值。

特殊工况纠正模块

对于垃圾组分波动、巡检操作等引起的某些特殊工况，ICC系统能自动识别并及时给出解决措施，使工况逐渐恢复至稳定水平。

数据自学习模块

系统具备自学习功能，适应性更强，可抵抗仪器仪表或季节变化的干扰。

自学习算法研究

垃圾焚烧炉ICC ENFI 智能控制系统优势

- **智能化控制：**控制系统附加运行人员经验与智慧，多参数同步参与控制决策。
- **自主学习功能：**系统投用后可自动学习生产数据和工人操作过程，自主优化更新操作控制。
- **无缝对接现有系统：**ICC系统可百分百替代ACC控制系统，可实时在手动模式、ACC模式、ICC模式之间切换。
- **主要控制指标波动小：**与人工控制相比，主要控制指标运行数据标准差可减小20%以上。
- **系统投用率高：**24h投用率可达95%～100%。

02

[FCC焚烧火焰温度数字化动态分析系统]

FCC焚烧火焰温度数字化动态分析系统是由中国恩菲自主开发的新一代焚烧炉燃烧诊断系统。它通过垃圾焚烧火焰特性研究和CCD图像技术，结合光电图像检测技术、数字图像处理技术和热辐射理论，运用人工智能算法实现对燃烧情况的定量分析。解决了传统接触式测温方法在恶劣环境下安装维护困难的问题，解决了传统焚烧炉火焰焚烧状态只能依靠人工肉眼判断的难题，非常适合我国垃圾焚烧特性是具有国际先进水平的焚烧炉诊断系统。

FCC焚烧火焰温度数字化动态分析系统优势

非接触测温：利用CCD图像技术与火焰发射特性图像的火焰温度测量方法，实现了对火焰温度的非接触式测量。

二维温度场展示：相比传统的单点接触式测温，本系统能够展示火焰的二维温度场信息， 更好地反应锅炉火焰的燃烧情况。

智能识别：采用人工智能图像识别技术，实现对火焰是否处于正常燃烧、偏烧、垃圾层过厚、烟雾异常、火焰面积过小等工况进行快速诊断，准确率大于95%。

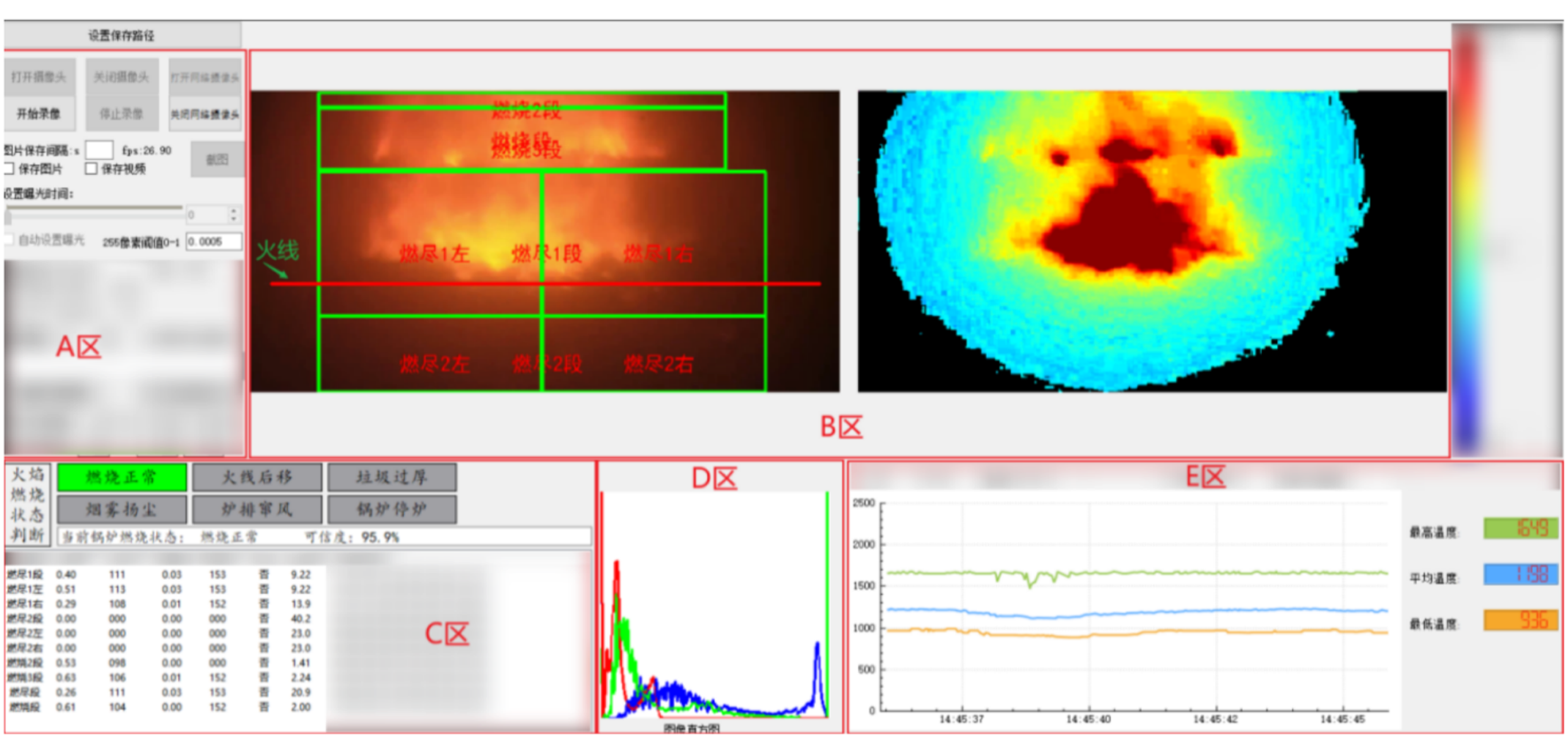
在线实时监测：本系统能够24小时实时运行，减少运维人员压力。

摄像头高温保护：当摄像头镜杆温度高于75℃或冷却空气气压低于0.4MPa时，配套图像传感器将自动退出，以保障系统的安全。

本系统通过智能控制系统研发，形成可靠的专有技术和成套装备，显著提升工厂焚烧的各项指标、经济效益和盈利能力。

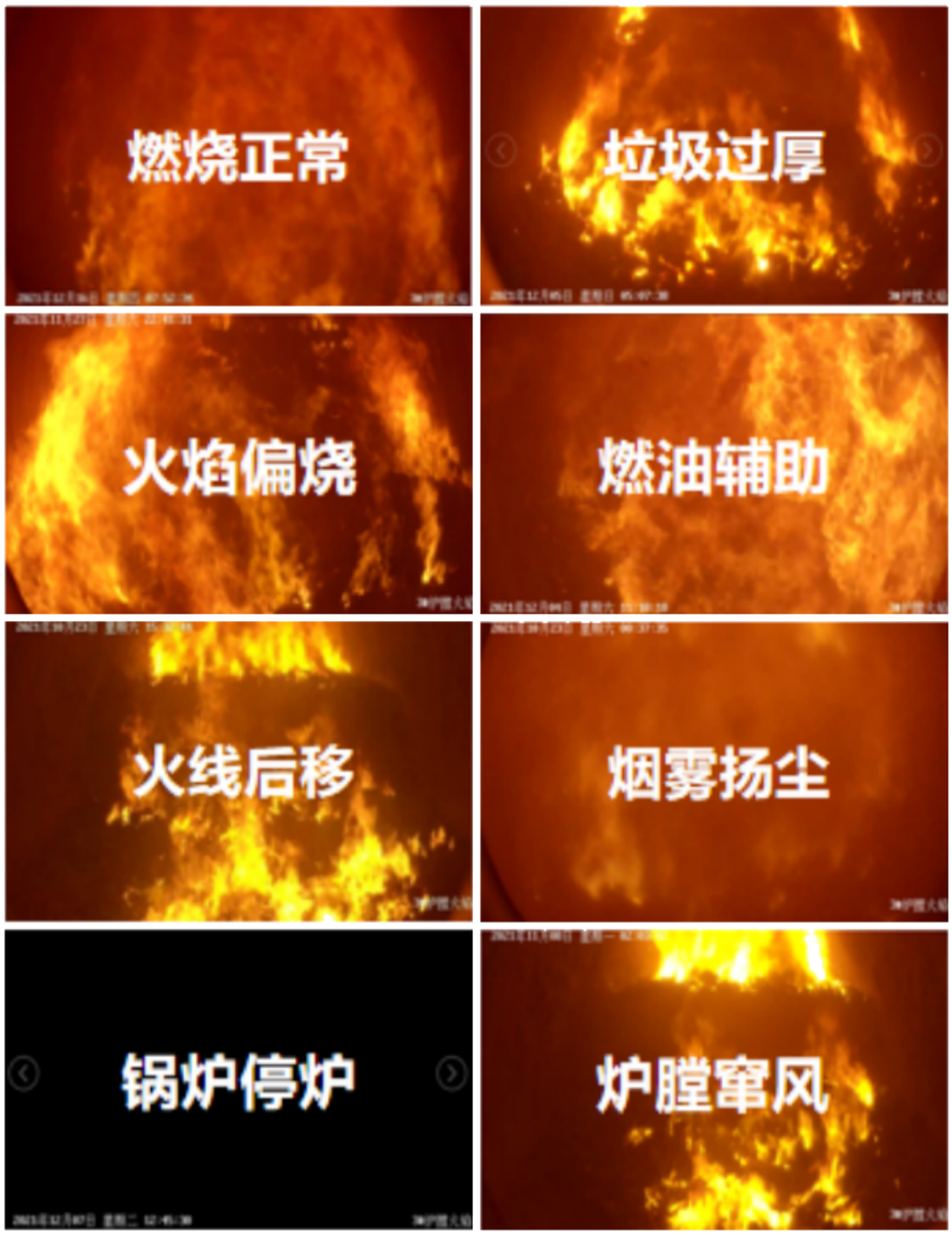
火焰温度数字化动态分析系统

对焚烧炉膛火焰温度进行快速诊断，利用数字图像技术与辐射测温原理构建火焰特性测温模型，实现对火焰温度的非接触式测量与燃烧情况的实时定量分析，相比传统的单点测温，本系统能够获取焚烧炉火焰的二维温度场分布数据信息，更好地反应当前炉膛火焰的燃烧情况，进一步提高智能控制的精度。



多种燃烧状态识别系统

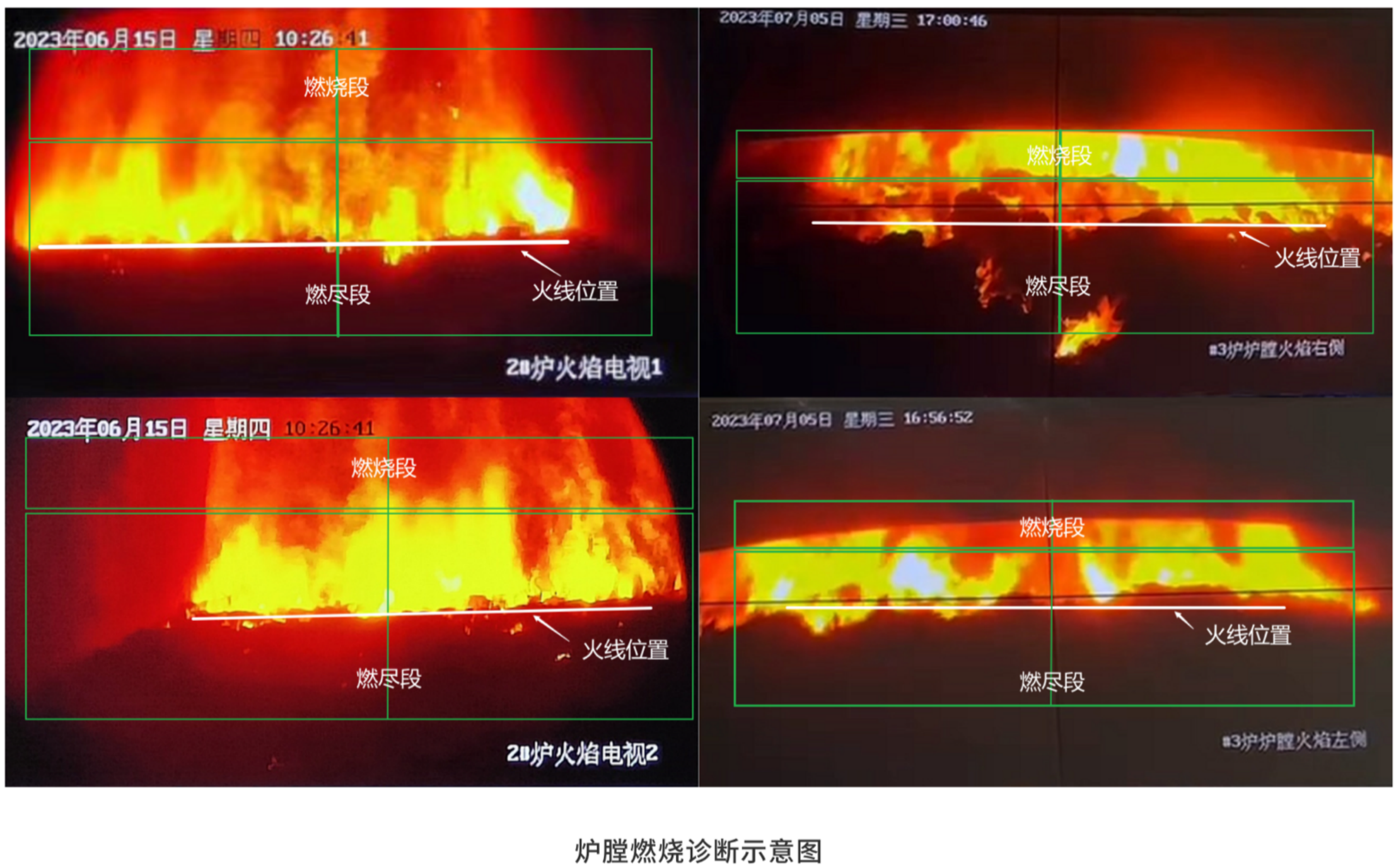
对焚烧炉的多种燃烧状态进行快速识别，为控制策略提供调整依据，提高垃圾焚烧炉的自动控制水平，保证焚烧炉的高效稳定运行。智能识别的工况状态包括：正常燃烧、缺料、偏烧、垃圾厚度异常、火线后移、烟雾扬尘异常等(可根据业主需求定制），识别帧率可达20fps以上，实现多种燃烧状态精细化实时判断，进一步提高智能控制的精度。



火焰状态识别

炉膛燃烧诊断系统

对焚烧炉可视范围内的的燃烧状态进行分析和判断，解析当前各区火焰的燃烧情况（火焰面积、燃烧强度、火线位置等），以及历史操作时间内的火焰燃烧变化情况，从而对当前炉膛燃烧情况及后续变化趋势进行判断，为控制策略提供调整依据。将诊断信息提供给智能控制系统，进一步提高垃圾焚烧炉的整体智能控制水平。



炉膛燃烧诊断示意图

知识产权成果

INTELLECTUAL PROPERTY

[垃圾焚烧炉ICC智能控制系统知识产权]

专利

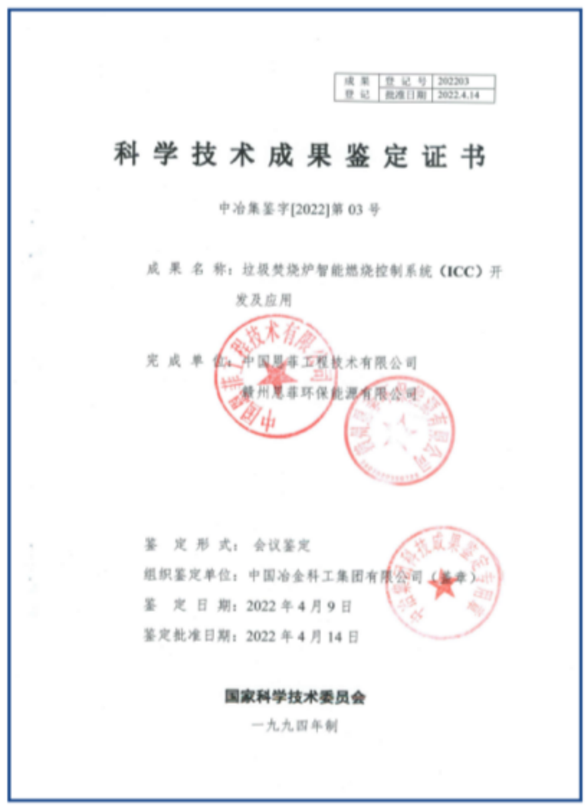
- 一种结合图像测温与诊断的垃圾焚烧炉ICC智能燃烧控制系统
- 烟气氧浓度的控制方法、装置、设备及可读存储介质
- 一种用于过程控制的基于机器学习建模的样本筛选方法
- 垃圾焚烧炉ICC智能燃烧控制系统
- 一种垃圾焚烧炉内垃圾料层厚度的智能检测和控制方法
- 垃圾焚烧炉排炉

论文

- 基于垃圾焚烧运行参数的主蒸汽参数预测研究
- CFD在垃圾焚烧炉膛设计上的应用
- 基于神经网络的生活垃圾低位热值计算模型的研究与应用
- 生活垃圾焚烧发电厂运营监管探讨

软件著作权

- 垃圾焚烧电厂烟气净化计算软件
- 垃圾焚烧炉自动燃烧的模糊控制系统
- 垃圾焚烧炉火焰温度测量与燃烧诊断系统V1.0
- 垃圾焚烧炉火焰温度测量与燃烧诊断系统V2.0
- 垃圾焚烧炉火焰温度测量与燃烧诊断系统V3.0
- 智能燃烧控制系统



科学技术成果鉴定证书
国际领先水平

中国有色金属工业科学技术
一等奖

[垃圾焚烧炉ICC智能控制系统知识产权]

授权（申请）项目名称	知识产权类别	国（区）别	授 权 号
垃圾焚烧炉控制方法、系统、电子设备及存储介质	发明	中国	ZL 2021 1 0839384.6
炉排垃圾焚烧炉自动燃烧系统	发明	中国	ZL 2015 1 0005149.3
处理烟气的方法和系统	发明	中国	ZL 2013 1 0049943.9
烟气氧浓度的控制方法、装置、设备及可读存储介质	发明	中国	CN111271714 A
数据处理方法、系统、电子设备及存储介质	发明	中国	CN113570066 A
反应炉的运行控制方法、装置、介质与电子设备	发明	中国	CN113532137 A
垃圾焚烧炉智能燃烧控制方法和装置、设备和存储介质	发明	中国	CN15059924 A
反应炉自动控制系统和反应炉状态监控装置	发明	中国	CN113551531 A
垃圾焚烧炉排炉	实用新型	中国	ZL 2019 2 1836972.9
烟气氧浓度的控制装置	实用新型	中国	ZL 2020 2 0389000.6
垃圾池温度压力实时监测系统	实用新型	中国	ZL 2022 2 0781353.X
《垃圾焚烧电厂烟气净化计算软件V1.0》	软件著作权	中国	2021SR1543305
《垃圾焚烧炉自动燃烧的模糊控制系统V1.0》	软件著作权	中国	2020SR0479190
《智能燃烧控制系统》	软件著作权	中国	2021SR0664283
《垃圾焚烧炉火焰温度测量与燃烧诊断系统V1.0》	软件著作权	中国	2021SR0660556
《垃圾焚烧炉火焰温度测量与燃烧诊断系统V2.0》	软件著作权	中国	2022SR0559426
《垃圾焚烧炉火焰温度测量与燃烧诊断系统V3.0》	软件著作权	中国	2023SR0411506

项目应用

PROJECT APPLICATION

01 襄阳恩菲环保能源有限公司

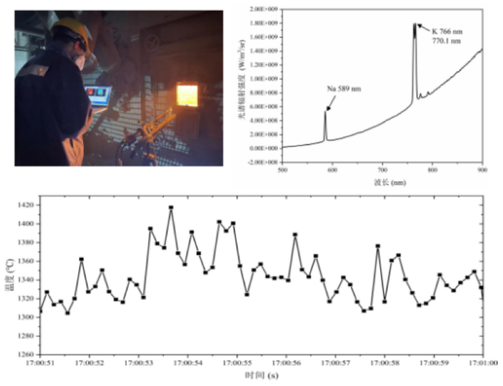
襄阳恩菲环保能源有限公司于2012年建成。一期工程规模为日处理生活垃圾800t；二期扩建规模为日处理生活垃圾400t。目前，全厂日焚烧处理生活垃圾总规模达到1200t，年焚烧处理生活垃圾43.8万t，发电机组容量总和为24MW。

ICC智能燃烧控制系统已于2022年6月成功在襄阳恩菲上线投用。系统的24小时平均投用率为96.53%，ICC上线过程统计标准差均小于未上线时标准差，火焰燃烧状态诊断可达十种，燃烧状态诊断、测温的准确率分别为99.51%及95%。

测试地点：襄阳恩菲环保能源有限公司二期工程3#炉

测试时间：2022年6月21日-2022年6月27日

测试方案：现场光谱仪测温对比分析

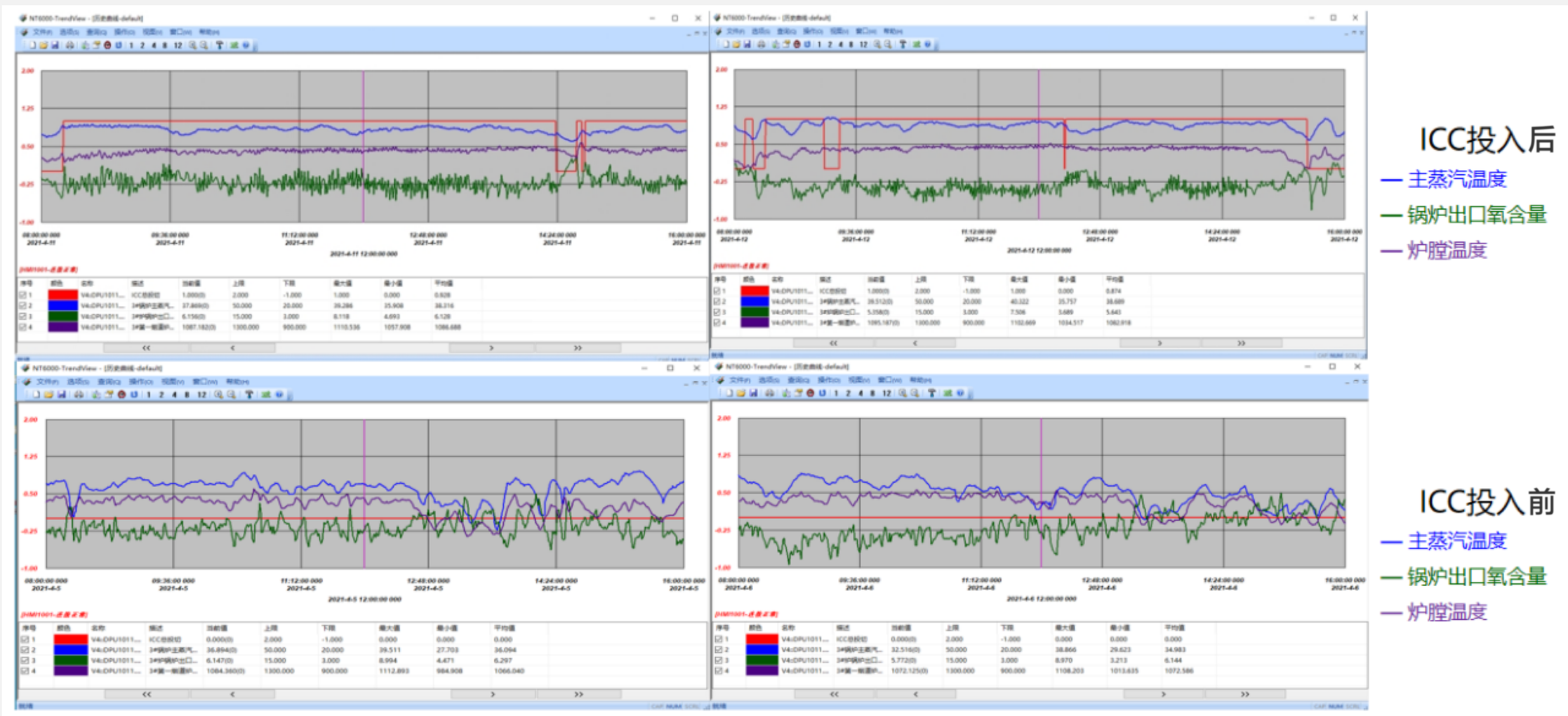


温度测量值误差基本在5%以内！

测量点	测量时间	图像测温值（℃）	光谱测温值（℃）	误差
1	6月22日16:57:37-16:57:53	1366.58	1381.81	1.10%
2	6月22日17:00:51-17:01:00	1407.81	1341.96	4.90%
3	6月23日17:05:11-17:05:43	1258.23	1287.2	2.25%
4	6月23日11:20:11-11:20:45	1330.36	1360.5	2.22%
5	6月23日11:23:08-11:23:54	1341.18	1415.55	5.25%
6	6月24日16:31:26-16:32:25	1152.47	1193.28	3.42%
7	6月24日10:23:44-10:24:07	1714.92	1713.08	0.69%

系统温度测量值误差基本在5%以内

如下图为ICC投入前后炉膛三个主要参数主蒸汽流量、锅炉出口氧含量、炉均温度的趋势对比图，从图中可以看出ICC投入后指标的波动水平大大减小。



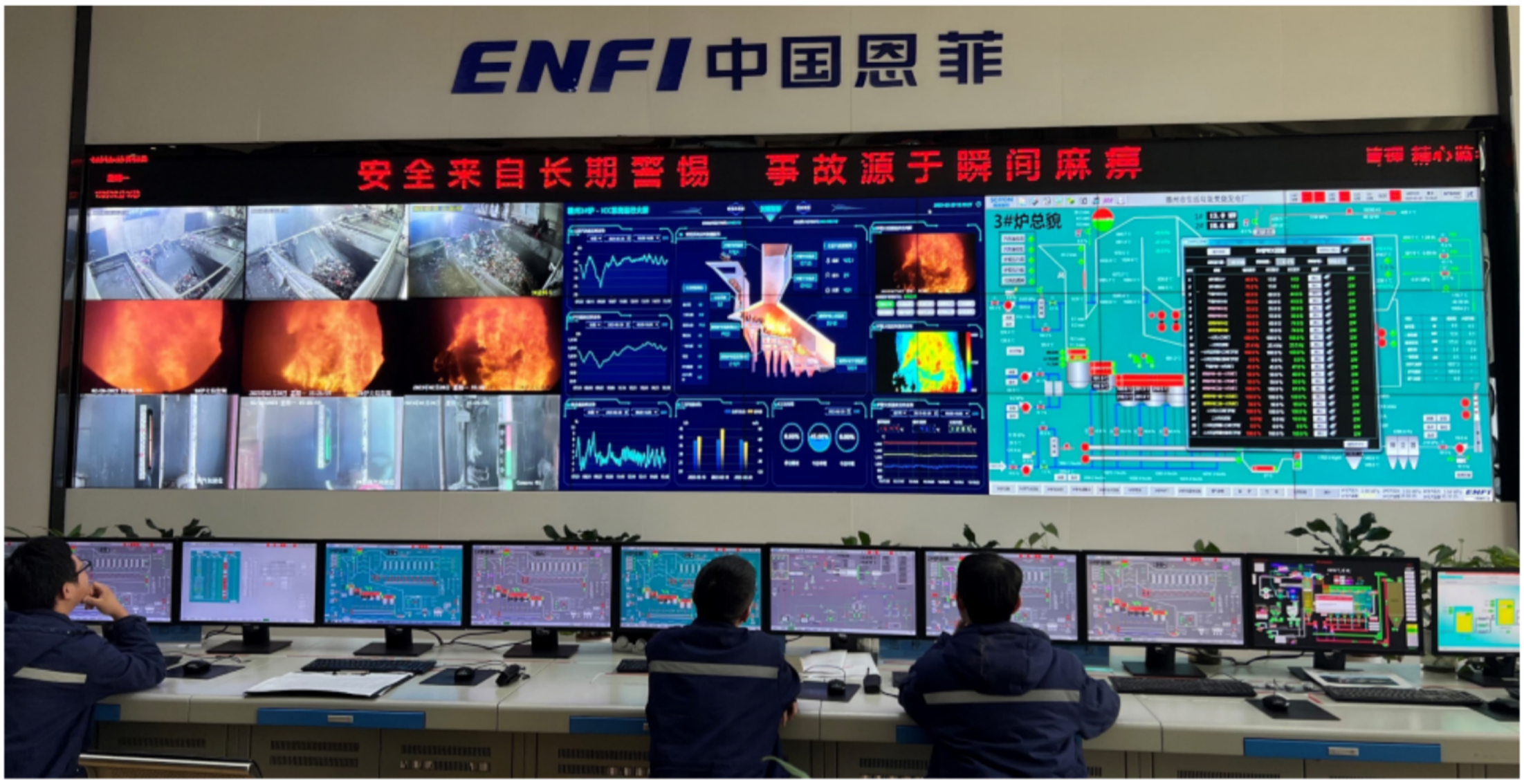
ICC系统投用前后指标对比

02

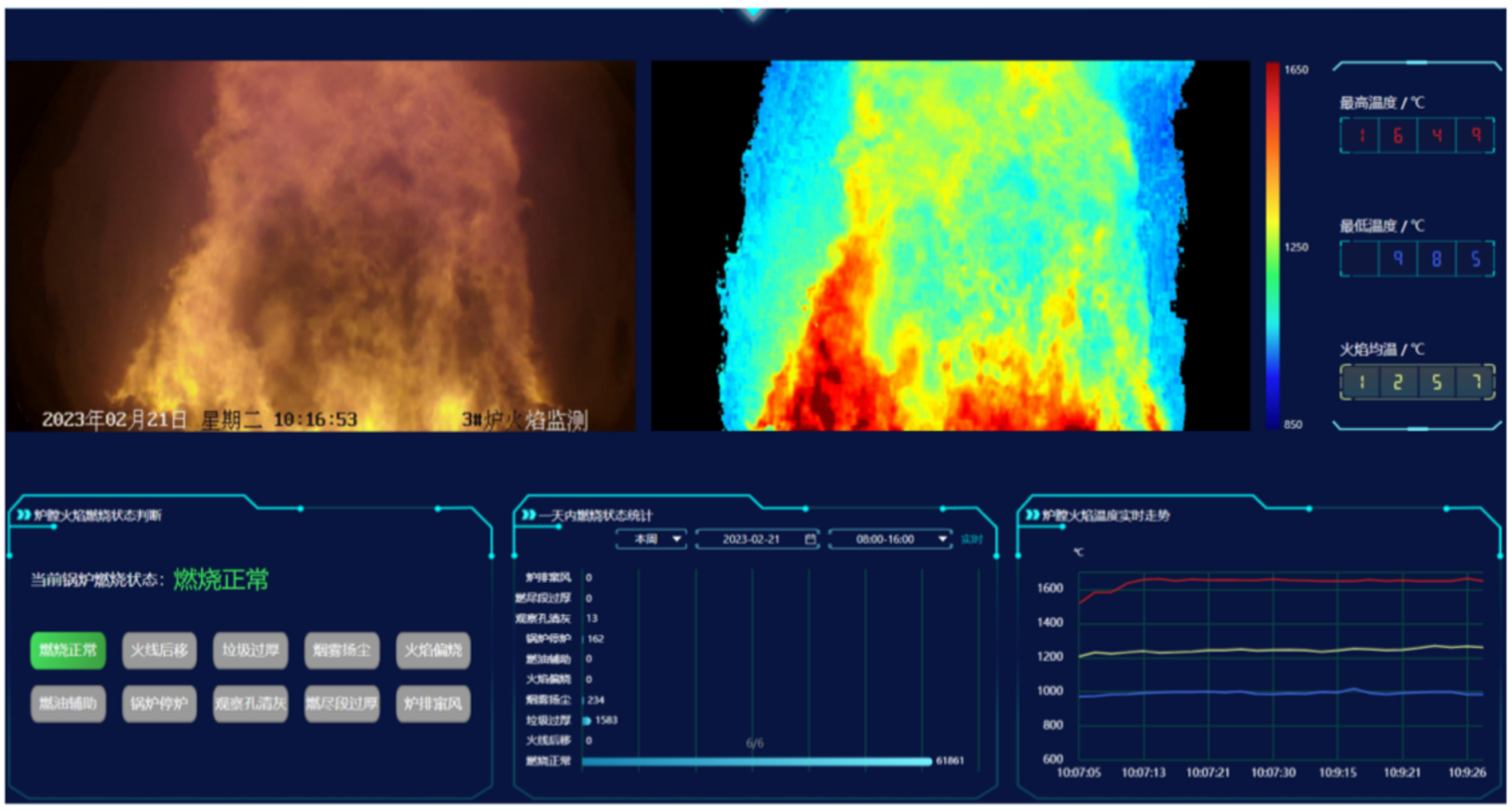
赣州恩菲环保能源有限公司

赣州垃圾电厂的工程建设规模为日处理生活垃圾1200t，分两期建设。其中一期建设规模为焚烧处理生活垃圾800t/d，配置2×400t/d生活垃圾焚烧线，配1台15MW汽轮发电机组；二期扩建1×400t/d生活垃圾焚烧线，增配1台15MW汽轮发电机组，年可处理进厂原生垃圾40万t。项目运营期30年，2018年底正式投产。

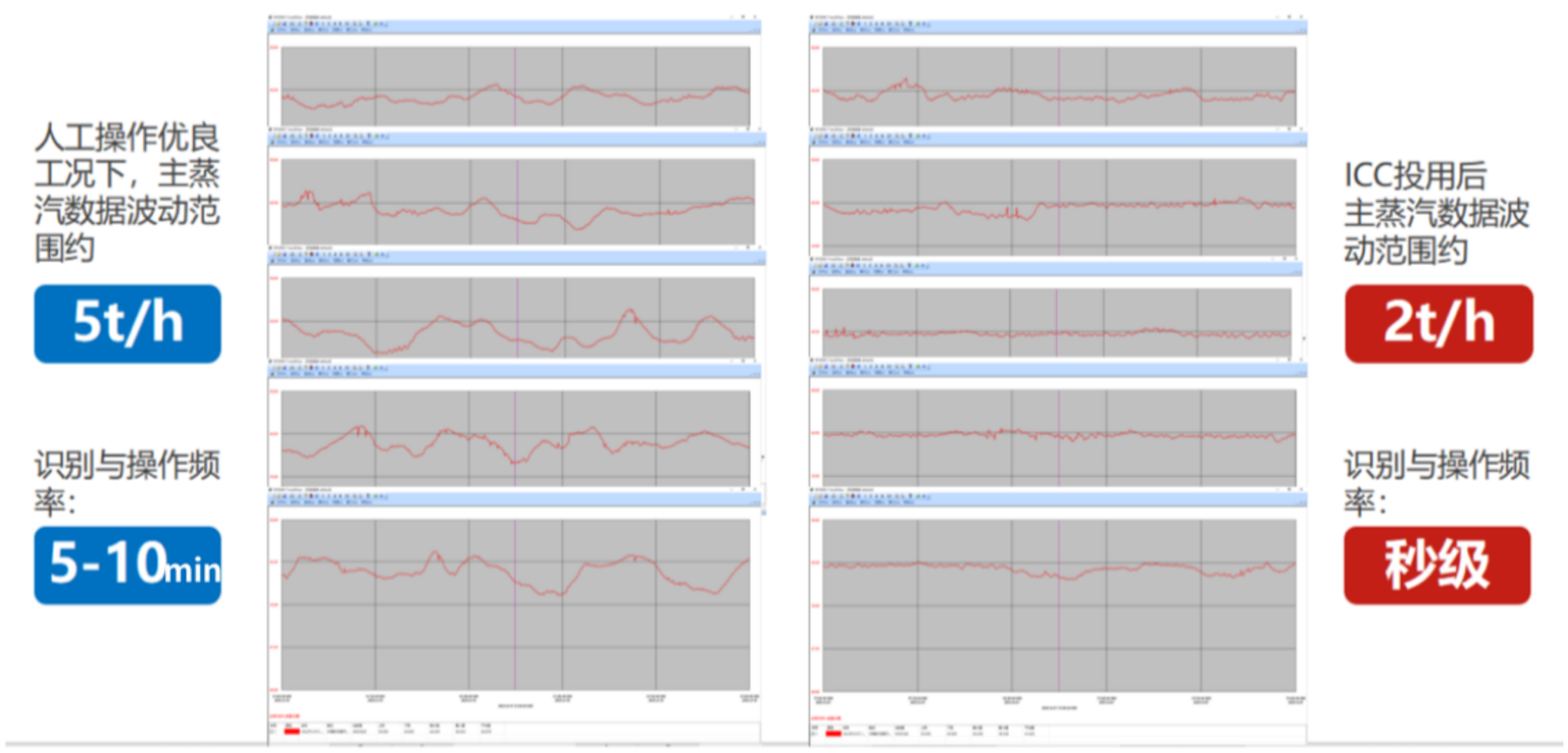
ICC智能燃烧控制系统于2021年10月在赣州恩菲3#炉正式投入使用，并于2023年2月在赣州恩菲1#炉、2#炉同时上线，较之传统的ACC系统，24小时投用率极高，最高可达到99%。ICC上线过程中，主蒸汽流量、炉均温度、氧含量等主要指标稳定性较优于人工控制，火焰燃烧状态诊断准确率为98.9%。



ICC系统运行大屏



图像测温界面



ICC系统投用前后对比

系统指标与效益分析

SYSTEM INDICATORS
AND BENEFIT ANALYSIS

	以赣州电厂为例 （处理量400t/d×3台）
减人增效 有效减少操作工人的工作强度和人力负荷	4(四班三倒) ×2（当前每班平均4人，投入智能系统可减去2人） ×15万元（平均每人每年工资成本) =120万元/年
降低电耗 智能调节变频风机等系统降低能源消耗	降低一次风机、引风机等运营能耗， 节省约15万kW·h×0.65元/kW·h =9.75万元/年
提高稳定性 提高设备运行寿命减少停车检修时间	炉温稳定性： 与人工控制相比，ICC控制的运行数据标准差 以上
提升运行效率 通过ICC系统焚烧控制优化有望提升整体效率1.5%～5.0%	10（万元/台)×3(台)×330(天)×3% (提升效率)=297 万元/年

[系统指标]

(1)系统经过1-3月短时间大数据学习即可投入使用，24小时系统平均投用率高于90%；

(2)燃烧状态识别准确率高于95%；

(3)主蒸汽流量指标波动性降低5%-15%；

(4)炉排炉平均温度波动范围控制在850～1100℃之间，指标波动性降低5%-15%；

以常规电厂为例 （处理量500t/d*2台）	以大城市电厂为例 (处理量750t/d*4台)
4 (四班三倒) ×1（当前每班平均3人，投入智能系统可减去1人） ×15万元（平均每人每年工资成本) =60万元/年	4(四班三倒) ×3（当前每班平均5人，投入智能系统可减去3人） ×15万元（平均每人每年工资成本) =180万元/年
降低一次风机、引风机等运营能耗，节省约10万kW·h×0.65元/kW·h =6.5万元/年	降低一次风机、引风机等运营能耗，节省约20万kW·h×0.65元/kW·h =13万元/年
主蒸汽流量稳定性： 与人工控制相比，ICC控制的运行数据标准差可减小15%以上	
差可减小20%	
10(万元/台)×2(台)×330(天)×3% (提升效率)=198 万元/年	10(万元/台)×4(台)×330(天)×3% (提升效率)=396万元/年

(5)烟气氧含量波动范围控制在4%-6%，指标波动性降低5%-15%；

(6)降低司炉人员劳动强度20%以上；

(7)提高系统稳定性，延长单炉运行周期；

(8)增加整体效益提升。

中国有色工程有限公司

中国恩菲工程技术有限公司

电话Tel：+86-10 63936720　+86-10 63936872

邮箱E-mail：yaoxin@enfi.com.cn

地址：北京市复兴路12号

邮编：100038