

火电智慧优化节能系统

——开启供电燃煤节能新时代——

数字孪生建模, AI优化协同, 精准高效运营





目录 CONTENTS

01

产品背景

Product logic

02

系统详解

System Explanation

03

案例展示

Case presentation

Product
log



01

产品背景



智慧电厂的探索背景

碳达峰、碳中和

在2030年之前实现碳排放达峰，并努力争取在2060年之前实现碳中和。持续优化能源结构，加快推进全国碳市场建设，主动适应气候变化，大力推动数字化、低碳技术创新应用，推进经济社会发展全面绿色转型。



工业革命4.0

国家发展改革委等13部门发布《关于加快推动制造业高质量发展 高质量发展的意见》。提出，要利用5G、大数据、云计算、人工智能、区块链等新一代信息技术，大力发展智能制造，实现供需精准高效匹配，促进制造业发展模式和企业形态根本性变革。



智慧电厂的定义

智慧电厂

INTELUGENT POWER PLANT

智慧电厂是为了建立现代能源电力系统，实现安全、高效、绿色、低碳的发电，其特点表现为生产过程可以自主优化，相关系统能够采集、分析、判断和规划自身行为，智能地在线动态优化配置设备及其参数。

状态感知 | 实时分析 | 自主决策 | 精准执行 | 学习提升



智慧电厂具象化

“国家大数据战略”及“十四五规划建议”中，明确了“着力优化能源系统，引领传统能源向智能化发展”的具体方向。随大数据、5G、云计算、工业互联网技术的迅速发展，火电数字化、智能化已势在必行。



**决策智能化
(云平台技术)**

- 智慧经营
- 智慧决策
- 销售分析

**运行智能化
(人工智能)**

- 运行优化
- 智慧控制
- 操作指导

**环境智能化
(物联网技术)**

- 智能巡检
- 移动穿戴
- 3D及定位

**设备智能化
(大数据技术)**

- 智能预警
- 远程诊断
- 智能传感

“火电智优”系统概况

“火电智优”是专门针对火电发电企业研发的供电燃煤节约智慧系统，是火电行业智慧电厂建设核心模块。

该系统通过全球领先的集成型、系统型、综合型AI智能算法，对火电厂生产过程系统化、全要素监管与智慧化分析进行实时寻优、调优，动态、持续提升机组精益化运行能力与水平，节煤效能卓越，经济价值突出。

- 智慧电厂的核心模块，高度匹配我国火电产业发展战略。
- 可以兼容于所有智慧电厂系统和平台。

- “火电智优系统+SourceDB时序数据库”，打造行业最佳和最具性价比产品形态。
- SourceDB是完全自主知识产权新一代时序数据库，产品性能远超于同类竞品。
- 完美解决了智慧电厂建设过程中可能存在的底层技术支撑性及兼容性风险。



- 核心节能寻优算法行业遥遥领先。
- 系统已完成超50+火电厂区、近100台机组的部署运行，实施效果完全达标。
- 节煤效果突出，机组供电煤耗节约能力高达2g/kwh以上。

- 以“智慧节煤”为核心，综合考量管理、文化等要素，打破推行实施惯性阻力。
- 核心模块筑基，管理模块支撑，考核模块保障，意识习惯塑造，专家经验长效。

- 最优指标库指标数量超过90项。
- 是国内最大、最全、最优的标杆指标库
- 实现了对所有核心设备所有关键目标的智慧化监测与运算。
- 切实保证系统应用效果与效能。

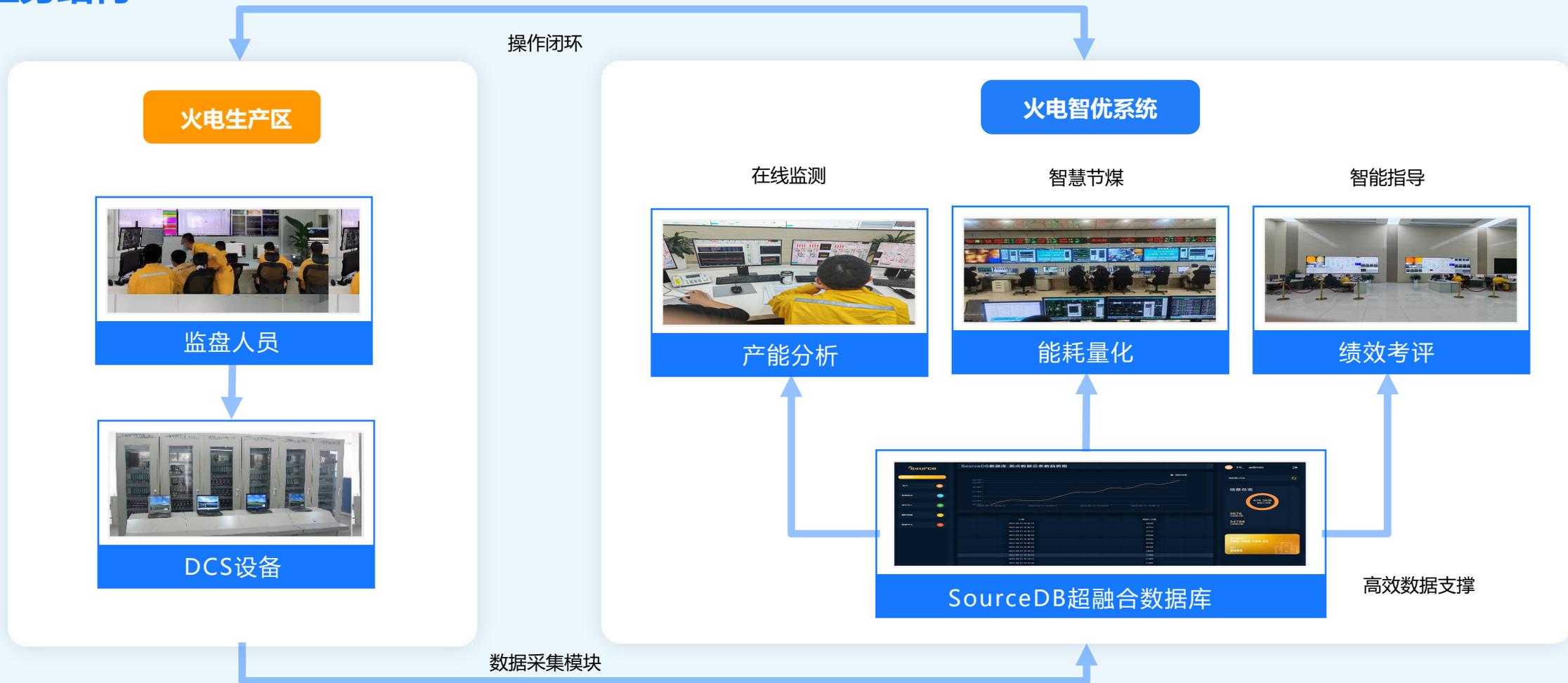
系统化创新代替离散式创新，创新成果应用持续化长效化



02 系统详解



业务结构



智优系统利用最前沿的人工智能、深度学习与大数据分析技术,为企业提供超人工水平的智能运维、数字化管理、全过程可视化监控与节能减排的整体解决方案。并可为企业带来生产效率与发电品质的飞跃提升、煤耗成本的极大降低、低碳环保转型的加速,实现企业运营的全面数字化与智慧化。

产能分析

借助数字化技术手段,产能分析模块实现了对电厂生产要素与关键设备的自动化监测和性能管理。不但可以大幅降低人工参与度和统计成本,而且还可以进行异常预警与数据诊断等功能,为电厂的安全稳定运行提供技术支撑。该模块以其高效的计算能力、灵活的用户定制性和多元的展示方式,很好地体现了火电智优系统“数字化引领,智慧赋能,精益求精”的产品理念



实时在线 监测性能

对设备上传的实时数据能实时加工分析,结合数据分析算法可以实现实时复杂指标生成、实时设备状态评估、实时故障预警等高级需求



异常报警 安全防护

实时收集从生产设备传感器采集的数据,监测设备在某个时间窗口内的异常状态和异常变化,分析存在潜在的安全隐患,提供消息实时警报



高效灵活 计算引擎

智优产能分析模块计算引擎满足每隔3-5秒计算一次的频率,所有的计算均有数据的质量检查以及数据预处理,数据清洗,数据重算功能



降低人员 计算门槛

用以进行事后安全分析,实现事前预警、事后分析、故障预测对生产设备提供信息化的全面安全保护,节约企业数字化建设成本



趋势分析 在线诊断

对设备上传的实时数据能实时加工分析,结合数据分析算法可以实现实时复杂指标生成、实时设备状态评估、实时在线诊断等高级需求



多种方式 灵活展示

支持PC,DCS设备,电视大屏手机APP多种终端显示。附有包含全厂汽机、锅炉、电气、节能、辅机等相关专业工业流程图画面以及自定义画面

智慧节能



能耗量化系统利用原始数据及部分产能分析模块的设备性能结果参数，自动判别机组实时运行工况，运用大数据分析+深度AI学习方法，智能计算出各项指标经济性最优操作量，并实时计算出目前设备运行与最优操作量的差距，实时量化出对煤耗、热耗、电耗的经济性影响，提高设备状态评价诊断的智能化和自动化水平，减少运行人员压力，提升操作人员精益化水平提高机组经济性与环保性。



AI+最优模型库

专家智慧模型



AI机器学习

AI+
专家最优

- 1.模型灰色数据库
- 2.设备特性数值库
- 3.设备出厂设计值库
- 4.专家人工经验库

专家稳定最优

AI+
历史挖掘

- 1.高级统计分析
- 2.大数据和人工智能比对
- 3.结合设计工况
- 4.智能筛选数据因子
- 5.挖掘比对最优值

历史实际最优

AI+
在线优化

- 1.在线挖掘和评价
- 2.实时比对最优工况
- 3.智能选取关键指标
- 4.智能算法分析推荐
- 5.自动持续优化模型库

AI持续最优

在线操作闭环

以最优指标量数据库为基础，分项监视运行实际值、最优操作值，成组显示各指标的人工操作对煤耗影响的差距，同时对运行人员的操作进行指导，促使机组经济、稳定、安全、环保，并将整个过程进行绩效打分形成闭环。

如有数字化“节能专家”实时指导操作,实现闭环管理。利用系统为火电运行管理带来提高工作效率，减轻监盘压力，统一操盘手法，避免恶性竞争造成的经济浪费以及避免不必要的安全隐患等效果。

- ▶ 实时判别机组工况
- ▶ 智能分析推荐最优操作
- ▶ 异常偏差报警
- ▶ 量化考评实时得分



数字指导

数字灵活设置实时指导各项指标

- 减少设备偏离度
- 机组设备稳定，减轻操作压力
- 实时分析操作影响



设备指导

操作行为设置操作方法规范

- 规范设备操作行为
- 深度智能学习
- 自动推荐以往最优操作



绩效考评

项目	浆液泵A	浆液泵B	浆液泵C	浆液泵D	浆液泵总功率	氧化风机A	氧化风机B
实时	运行 465.37	运行 561.84	运行 549.91	运行 638.61	2215.73	停运	运行
标杆	运行 465.37	运行 561.84	运行 549.91	运行 638.61	2215.73	停运	运行
各值月度得分							
	1值	2值	3值	4值	5值		
	99.31	99.31	99.14	99.52	98.69		
当前循泵运行方式							
实时值: 双泵							

The screenshot shows a detailed data table with multiple columns including time intervals, numerical values, and status indicators. The table is organized into several sections, likely representing different operational parameters or performance metrics over time.

KPI 绩效

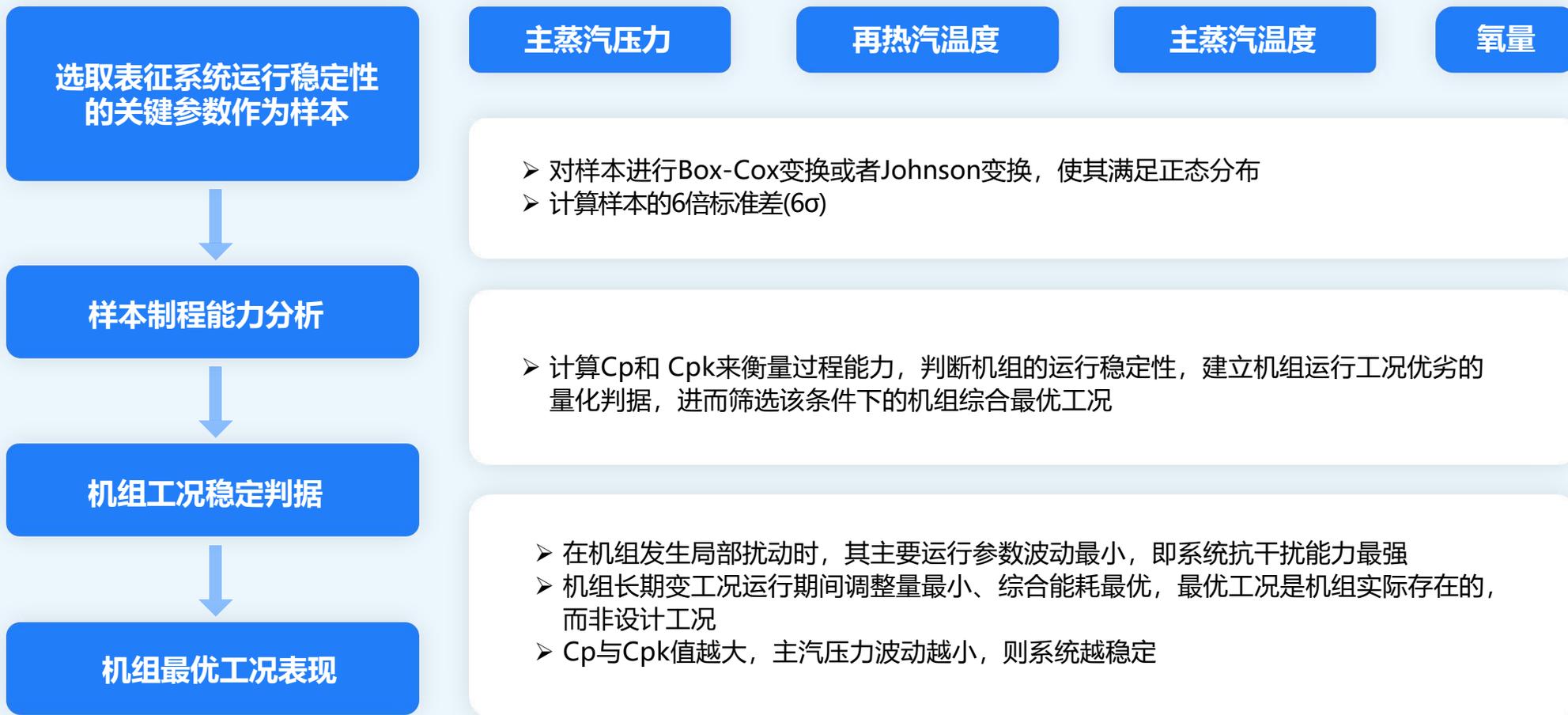
- 基于智优系统提供底层数据支持，KPI绩效考核建立在运行操作得分的基础上，根据客户实际需求进行开发，满足不同客户运行KPI绩效考评管理。
- 使得系统形成一套既包含生产运行指标的经济计算又包括量化指标计算分析及统计的评价系统。同时系统满足运行KPI评价体系，可实时生成最终运行KPI评价结果。
- 经济考评部分由对操作量的考评延伸，是利用操作偏差来实现量化考评的，考评的意义在于**监测**运行人员是否按照最佳操作量进行**相应操作**，确保机组时刻**保持**最经济、安全、稳定、环保等**最优工况运行**。

格式

- 利用系统统计结果以现有的报表模板，能按照班组以日、月的纬度进行记录，并可随时调阅报表。
- 其中与智优系统耗差挂钩的报表主要包括：全厂值级月报、全厂个人日报、单机组个人月报，单机组个人日报等进行统计区分值级、个人日报表及月报，个人及班组耗差等。
- 还支持由业主方自定义包含锅炉，汽机，电气等专业的生产报表，系统附赠20幅自定义生产报表。
- 通过智能报表为业主的月底年底等节点数据统计**提供有效快捷手段，大大提升人工统计能力**。

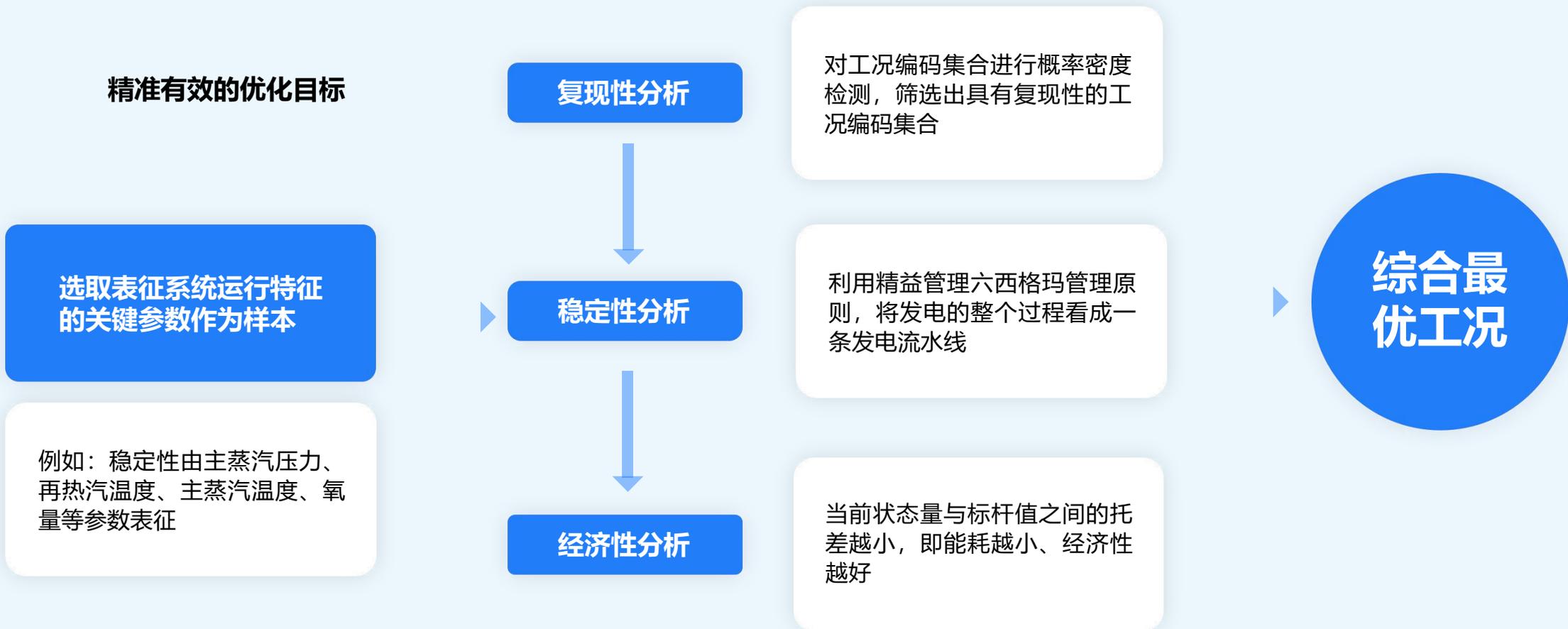
基于火电厂运行动态制程能力研究的综合最优工况判别技术

排烟温度、飞灰含碳量乃至煤耗等单一技术指标作为最优工况判别标准过于片面



判断火电的综合最优工况

历史最优工况挖掘技术



该方法建立了最优工况挖掘原则，解决了如何寻找历史最优工况的问题

人工智能算法的高精度建模与仿真技术

精准有效的优化目标

数据挖掘 边界划分

数据挖掘工具应用

全工况边界智能划分

大数据历史智能寻优

仿真模型 模拟现实

机理建模研究

建模算法研究

系统模型划分

机器学习 智能寻优

遗传算法应用研究

粒子群算法应用研究

模拟退火算法应用研究

实时指导

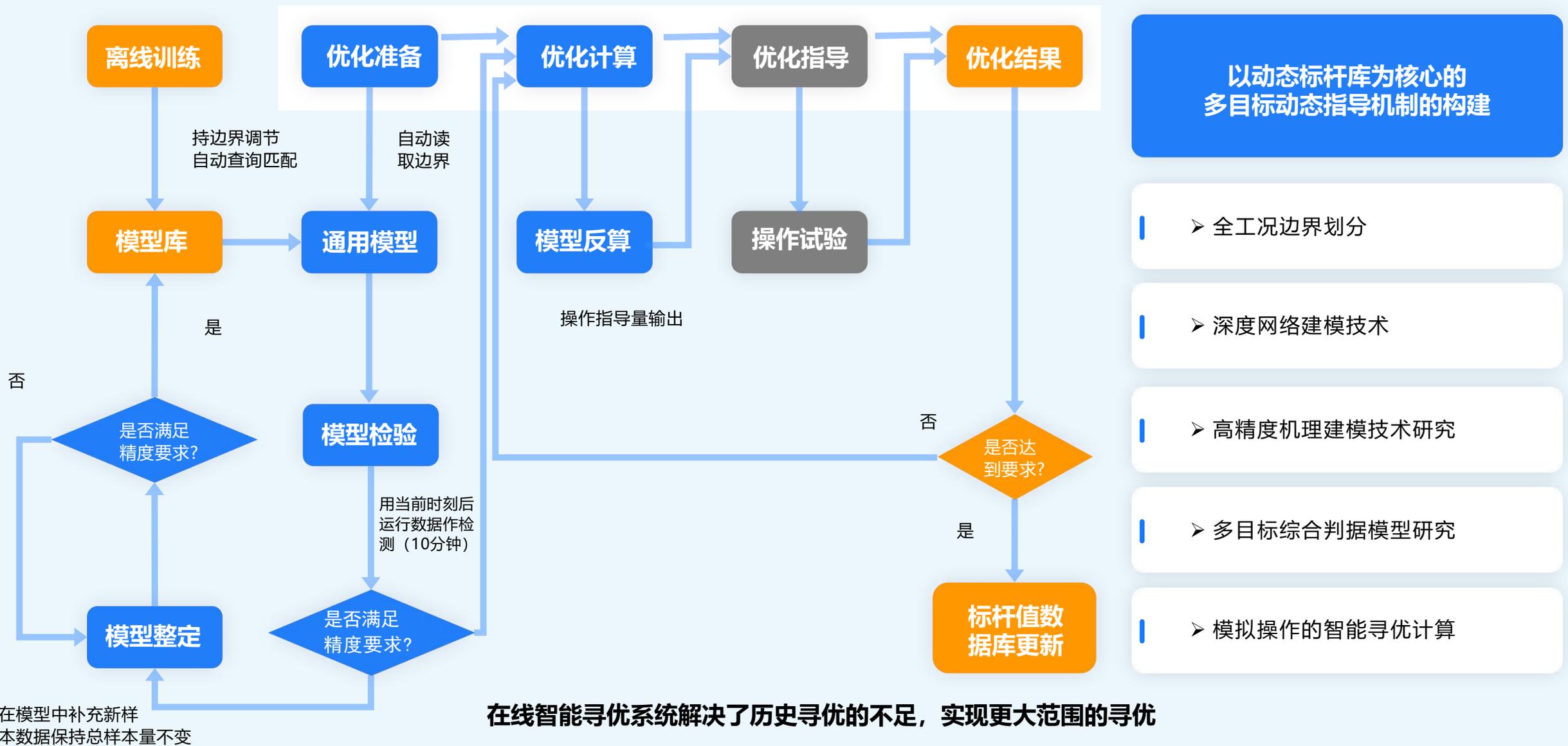
多目标综合判据模型研究

基于灰箱模型技术反算算法

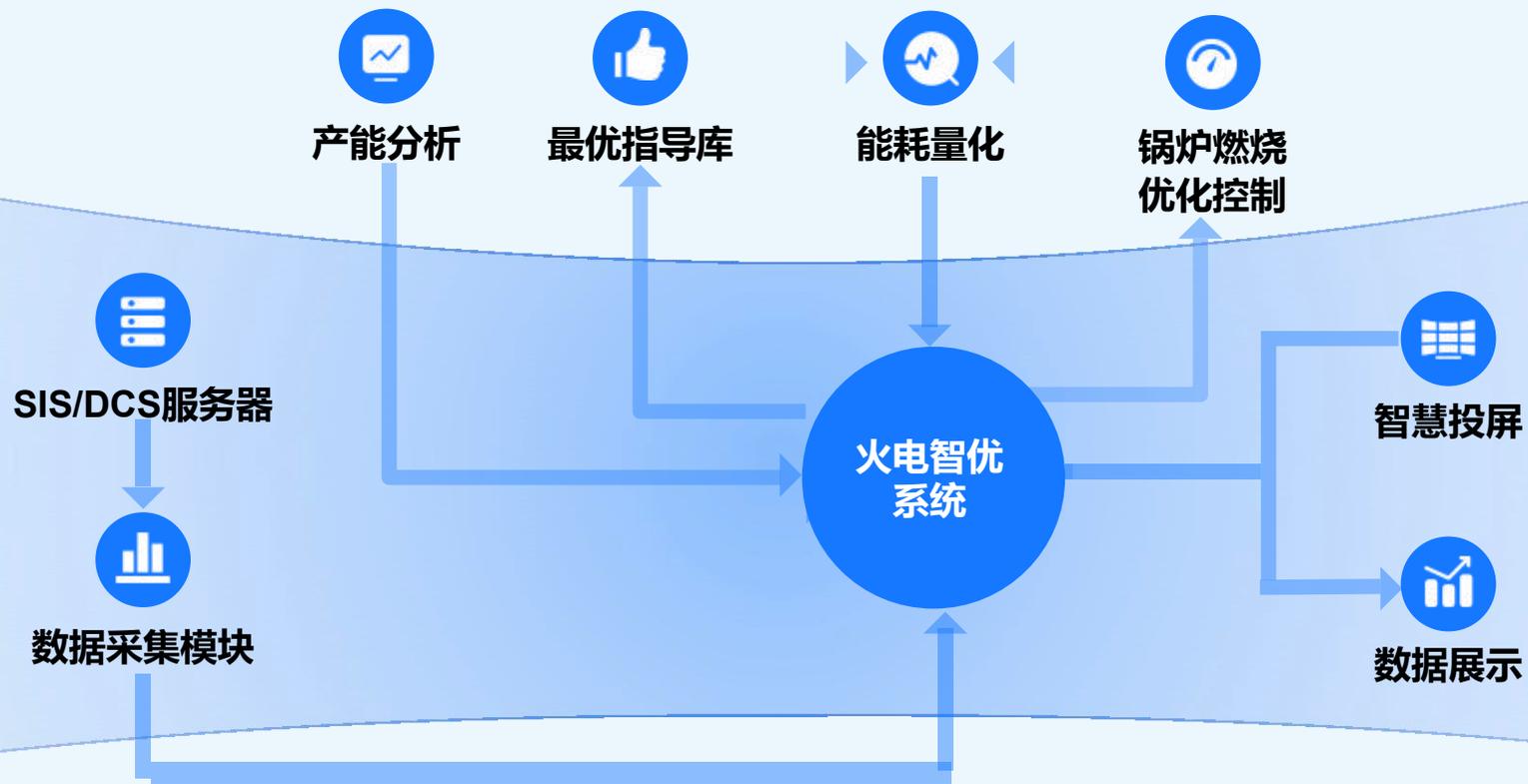
模拟操作智能寻优计算

该方法完善了建模方法，提高了建模精度，改善了数字孪生虚拟寻优精度低的问题

在线智能寻优系统



功能架构



以数据驱动和模型运营为理念,深度挖掘企业的数据价值,最大限度发挥数字化技术在管理提效与成本节约中的作用。这不仅使企业拥有一个高效稳定的管理平台,更拥有一个专注提质增效的战略合作伙伴。

最终,系统在安全可控和开放协同下,提供一站式智慧能源管理解决方案。通过产量提高和成本节约为企业创造价值,让低碳环保不再是企业的负担,实现企业由管理驱动向数据驱动的转变,迈入工业4.0时代。

产品部署优势



纯软产品
无新硬件



部署安全
无需停机



资深行业
服务团队



最强数据
引擎支撑



显著节能
降耗效果



强大自主
研发技术



强大协同
扩展能力



全栈国产
可控技术



03 案例展示



01

应用效果及典型案例

客户分布

独自
实施



- 全国40+厂区
- 包含300MW、600MW、1000MW等装机容量
- 亚临界，超临界，超超临界，循环化流床等不同类型近百台机组
- 综合评比节省2g/kwh，燃煤成本降低2000万~6000万每年（标煤单价600计算）
- 节约燃煤消耗量**2万吨以上/年**

联合
第三方
实施



典型案例

年份

2018年 (智优V1.0)

2020年 (智优V2.0)

电厂

湖北XX电厂

江苏XX电厂

机组规模

2*1000MW

2*660MW

运行状况

2018年上线运行至今

2020年上线运行至今

实施效果

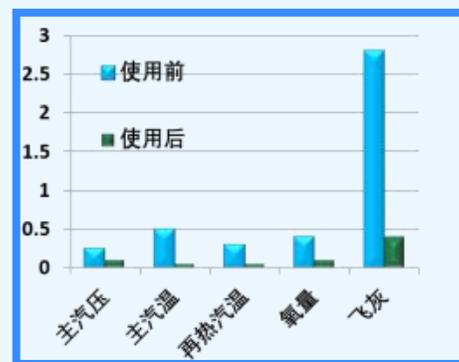
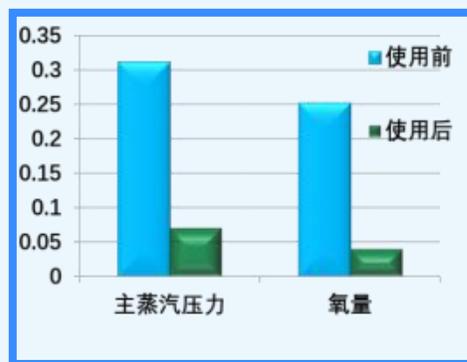
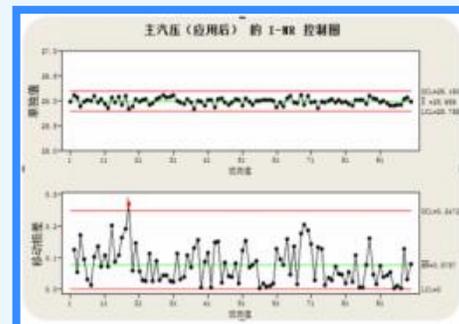
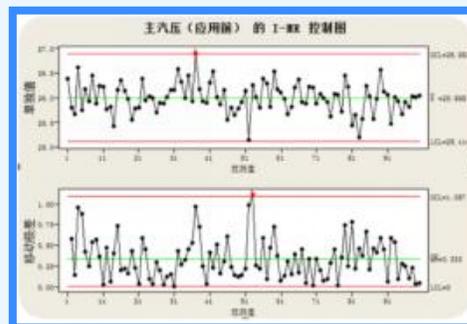
年发电量: 100 亿度电
节约煤耗: 4.05 g/kwh
节约燃煤: 4.33 万吨
节约费用: 2545万元 (标煤680/吨)
减少CO₂ 排放: 123,938吨
减少NO_x,SO_x排放: 8,667吨
减少粉尘排放: 4,334吨

年发电量: 70 亿度电
节约煤耗: 8.23 g/kwh
节约燃煤: 5.76 万吨
节约费用: 5068万元 (标煤880/吨)
减少CO₂ 排放: 160,057吨
减少NO_x,SO_x排放: 11,193吨
减少粉尘排放: 5,596吨

实施效果

目前该技术已广泛应用在亚临界机组、超临界机组及超超临界机组上，在电厂信息三区及信息一区均有应用，实际应用效果如下：

- 机组运行参数指标稳定性提高。系统前主汽压波动幅度在 $\pm 20\%$ 左右，应用后波动幅度下降至 $\pm 5\%$ 之内，运行稳定性得到了显著提升。
- 机组指标经济性提高，煤耗降低。系统投运后，主蒸汽压力与氧量下降幅度高达3倍以上，主汽压、主汽温、再热汽温、氧量和飞灰均有不同程度的下降趋势，效果显著
- 在运行操作指导方面，能给出子系统最优操作建议，如某1000 MW机组90%负荷时启动1台真空泵即可保证运行所需真空度,100%负荷时,系统寻优结果显示启动2台真空泵运行状态最佳



效果总结

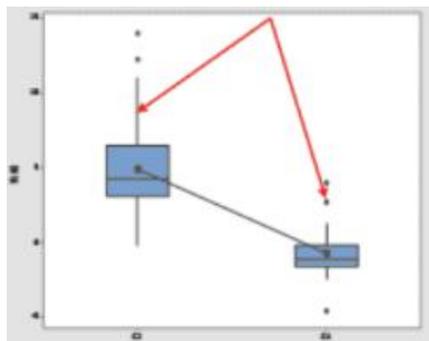
机组/状况	I-MR控制图情况	总耗差均值	总耗差标准差	Ppk指数	Cpk指数
1号机/实施前	4点超控制线	4.91	3.00	0.55	1.0
1号机/实施后	2点超控制线	-0.74	1.83	0.68	1.0
2号机/实施前	1点超控制线	2.29	4.16	0.77	1.0
2号机/实施后	1点超控制线	-2.33	1.17	0.78	1.0

系统实施前后对比

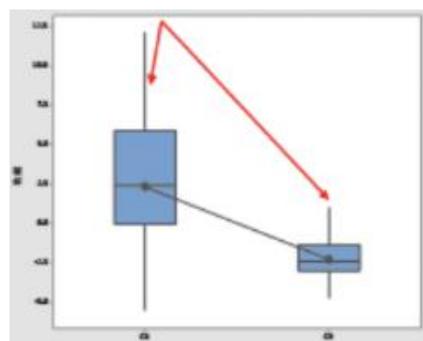
- 控制稳定性方面，在I-MR控制图看出，系统实施后，运行指标控制能力明显提升；
- 总耗差均值：两机组均明显下降，1号机下降 5.65g/kwh，2号机下降4.62 g/kwh；
- 标准差：两机组下降明显，运行指标过程控制精准度显著增加；
- 过程能力指数：两机组短期过程能力指数均有所提升，同时长期过程能力指数稳定保持。

数据分布有明显变化

1号机组的箱线图对比

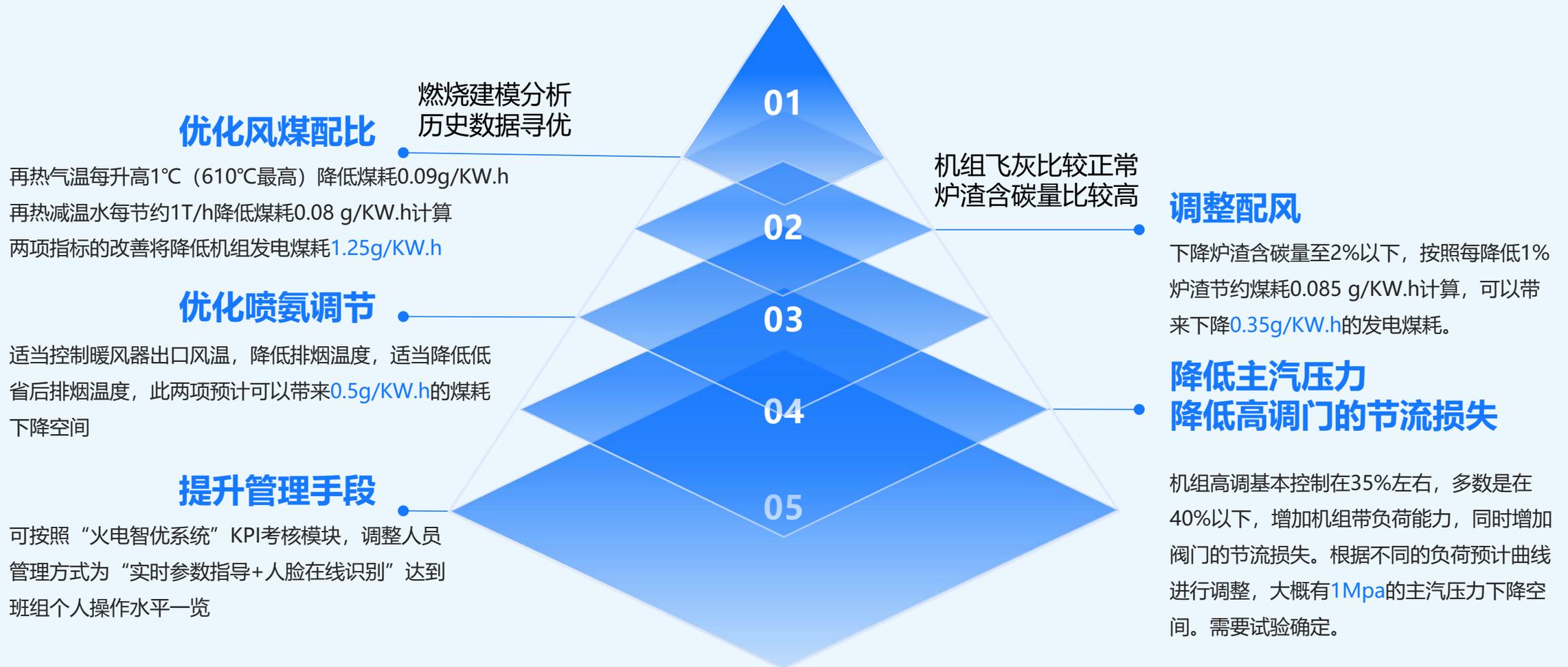


2号机组的箱线图对比



系统实施前后效果显著,稳定性和经济性均有较大提升

节能分析-举例说明 (2X1000MW)



通过以上对锅炉燃烧系统、配风和风烟系统的优化调整。预计可以达到**2.1g/KW.h**左右的发电煤耗下降空间

验证方法及结果

工况划分维度表

主蒸汽流量 (t/h)	热值 (J/kg)	环境温度 (°C)
<450	<18186	<0
450~511	18186~18907	0~4
511~568	18907~19549	4~9
568~630	19549~20143	9~14
630~703	20143~20730	14~20
703~769	>20730	20~25
769~820		25~29
820~863		>29
863~903		
903~940		
940~973		
973~1002		
>1002		

各参数单位耗差影响表

耗差指标	参数变化
主蒸汽温度	降低 1°C
高压缸效率	降低 1 个百分点
再热蒸汽温度	降低 1°C
生产厂用电率	升高 1 个百分点
排烟温度	升高 1°C
锅炉氧量	升高 1 个百分点
给水温度	降低 1°C
1 号高加下端差	升高 1°C
2 号高加下端差	升高 1°C
3 号高加下端差	升高 1°C
5 号低加下端差	升高 1°C
6 号低加下端差	升高 1°C
再热器减温水总量	升高 1t/h
过热器减温水总量	升高 1t/h

各运行指标节煤量影响汇总表

运行指标	节煤量 (投入后-投入前)
01 机组 5 号低加下端差	0.0065
01 机组 6 号低加下端差	-0.1607
01 机组 2 号高加下端差	0.0006
01 机组 3 号高加下端差	-0.0166
01 机组给水温度	-0.0474
01 机组过热器减温水总量	0.0857
01 机组再热器减温水总量	-0.0730
01 机组锅炉氧量	-0.4795
01 机组 1 号高加下端差	-0.2205
01 机组主蒸汽温度	-1.0202
01 机组再热蒸汽温度	-1.0741
01 机组排烟温度	-0.4173
01 机组高压缸效率	0.5690
01 机组生产厂用电率	-1.0359
总耗差	-3.8835

此次验收过程，原始数据采集真实可信、工况边界划分合理，数据对比方法科学。根据上表系统投入前后各项运行指标耗差影响汇总数据分析，通过系统投运前后耗差对比，对比机组在火电智优系统投运后，供电煤耗下降 **3.88 g/kWh**。

02

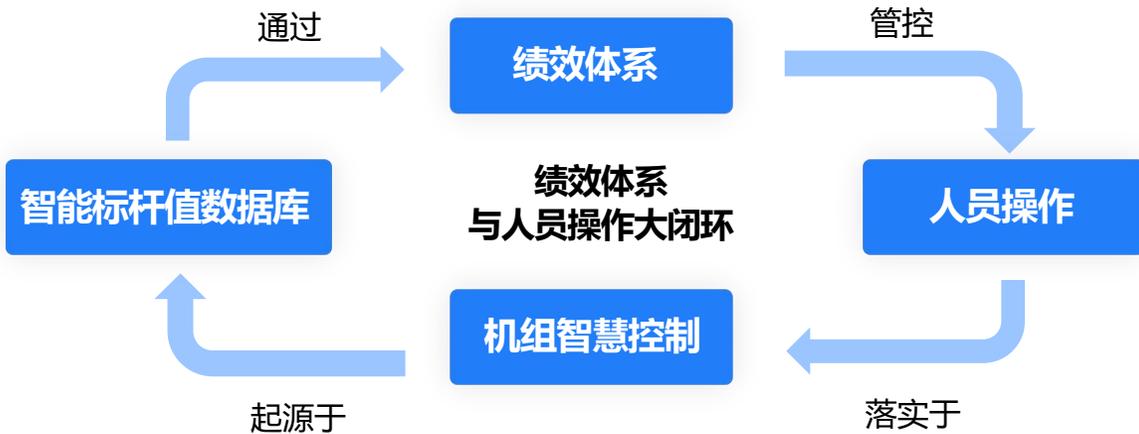
部分项目现场效果

安全三区、绩效管理系统

对火电厂运行人员的操作进行大量的统计、离线计算与分析，通过KPI考评实现对运行人员的实时管控，改善运行效果，将运行寻优同精益管理完美的结合起来。



通过绩效体系与实行优化落地



安全一区、内置于ICS (智慧电厂控制系统)

嵌入某电厂ICS中形成能效分析寻优计算模块，代表传统优化系统从安全Ⅲ区(SIS) 进入安全I区(DCS) 的重大转变，使 ICS (智慧电厂控制系统)可以进行运行优化、操作指导及闭环管控，实现智能控制的重大突破。这一突破将对电力行业在智慧电厂建设领域的发展形成深远影响。

智慧电厂控制系统



通过ICS控制系统实行优化落地

能效与工况深度分析，
掌握全面信息：煤耗、
热耗率、耗差等

能效实时分析

保持过程全局量优状态

多目标寻优得到：
最优氧量、最优真空等
最优控制目标值

运行定值与方式寻优

生产过程“能效大闭环”

预测控制、内模控制等
智能控制算法及策略，
实现最优控制目标值

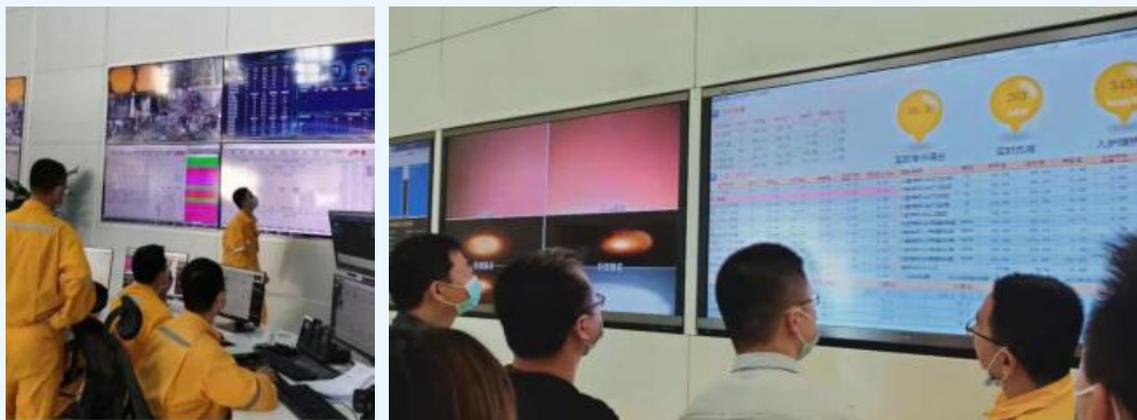
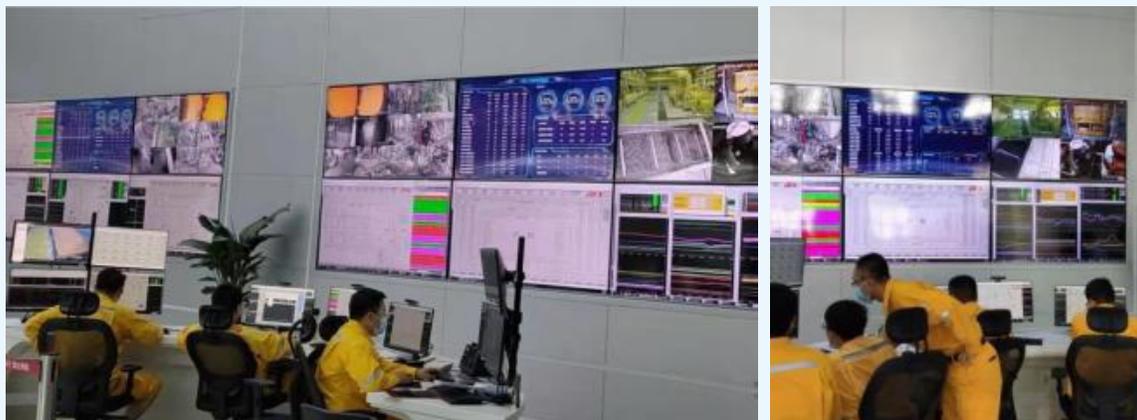
智能控制

高品质控制跟踪目标值

项目现场

实施效果图 (沧州XX厂2×350MW超临界)

现场三区操作指导建议



实施效果图(新疆XX电厂2×660MW超超临界)

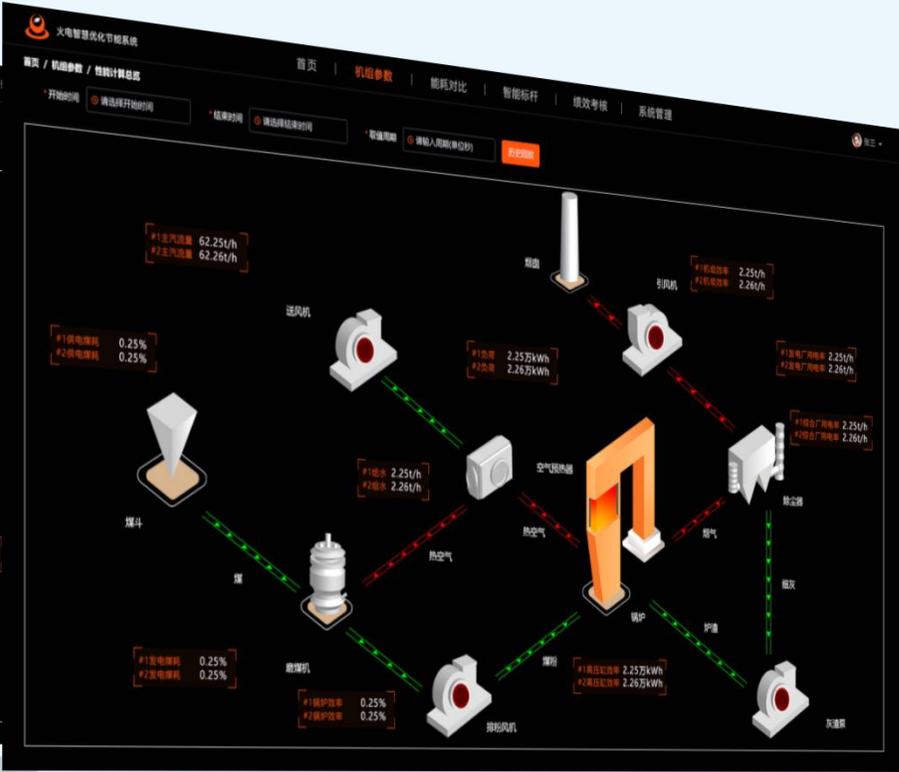
现场一区智慧闭环运行



最新V3.0版本系统界面展示

汽水系统

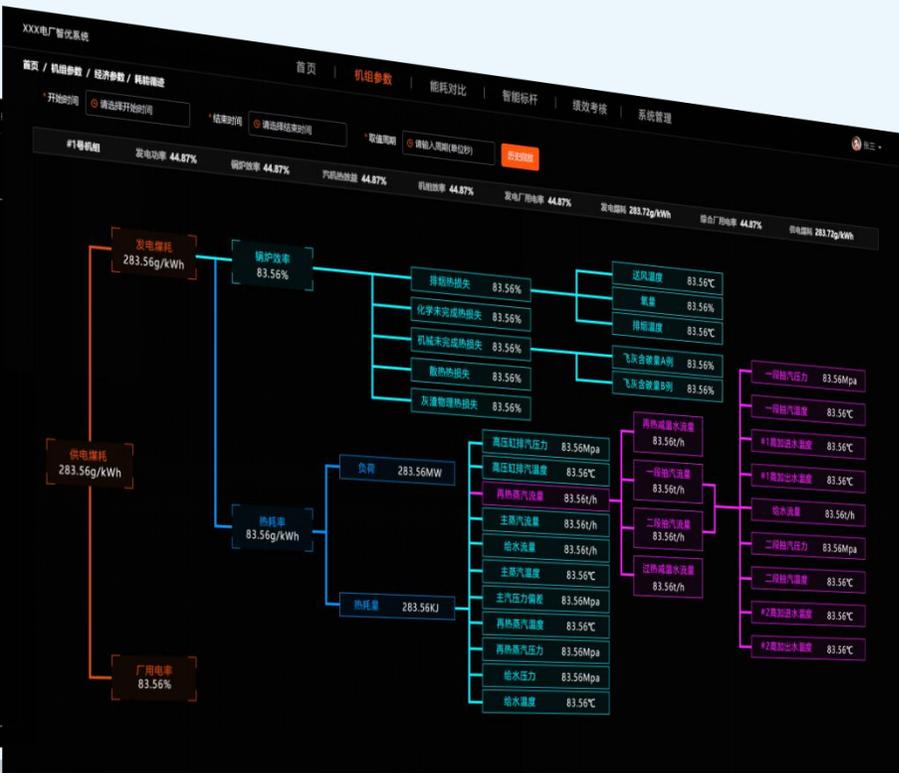
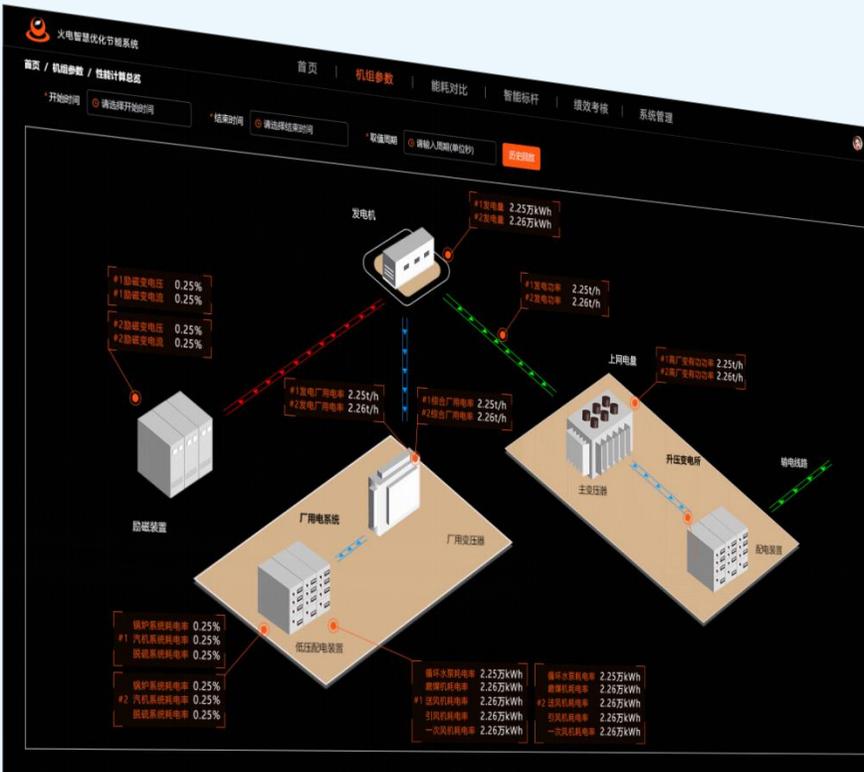
燃烧系统



最新V3.0版本系统界面展示

电气系统

耗能循迹



展望---以少人值守为目标的智慧电厂新模式

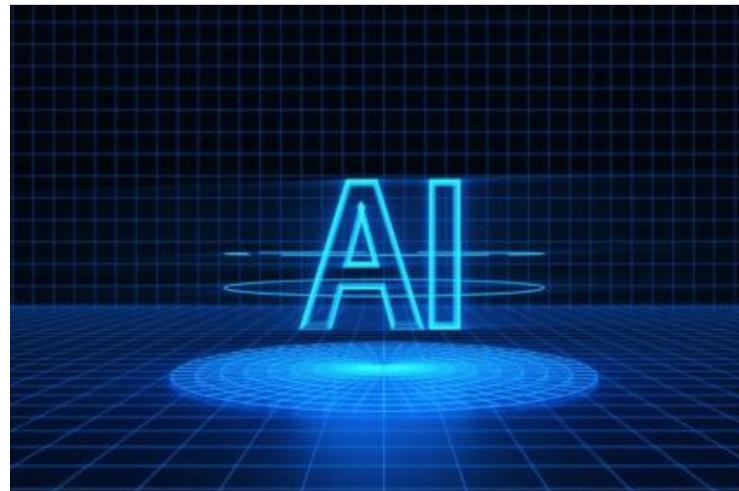
运用经验数字化

- 将运行经验数字化，为电厂提供必要的的数据资源，实现在线实时监控、调整、优化。能够动态适应电网的调度和发电环境的变化,实现全局优化目标



数字信息智能化

- 打造具备自诊断、自修正、自寻优功能，建设安全、绿色、经济、灵活的智慧电厂。根据数字信息智能化，形成自主的感知、学习、分析、管理、决策、协调控制等能力



火电智优AI+赋能智慧电厂 开启供电燃煤节能新时代

期待成为贵公司高质量发展征程
上的合作伙伴