

基于数字孪生的 锅炉防磨防爆智慧管理系统

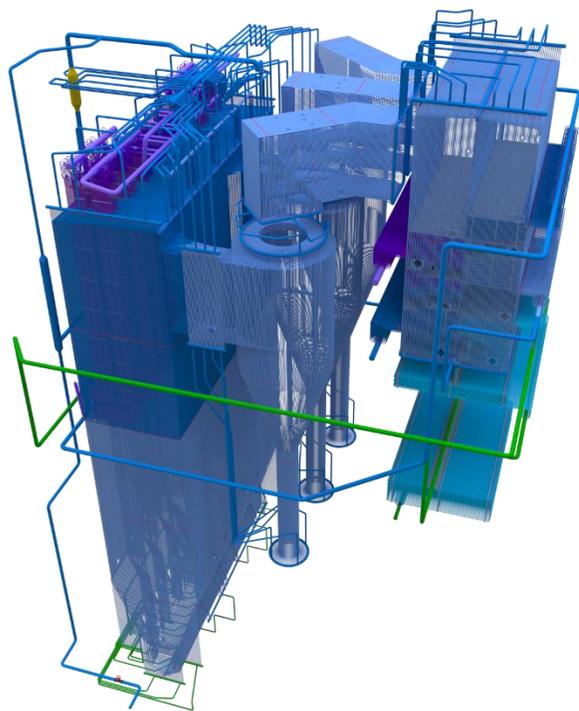
诚信 / 务实 / 创新 / 共赢

目前我国火电厂燃煤机组由于锅炉事故引起的机组非计划停机占全年停机时间的50%以上，国内各火力发电厂因为锅炉防磨防爆造成的非计划停运仍不可控，锅炉防磨防爆管理问题，是长期困扰机组连续稳定运行的难题。

启停监控

燃烧调整

日常巡检



实时监控

故障处理

预防维护



四管泄爆事故  占锅炉事故的70%

锅炉事故停机  占电厂事故的50%

电厂全年停机 

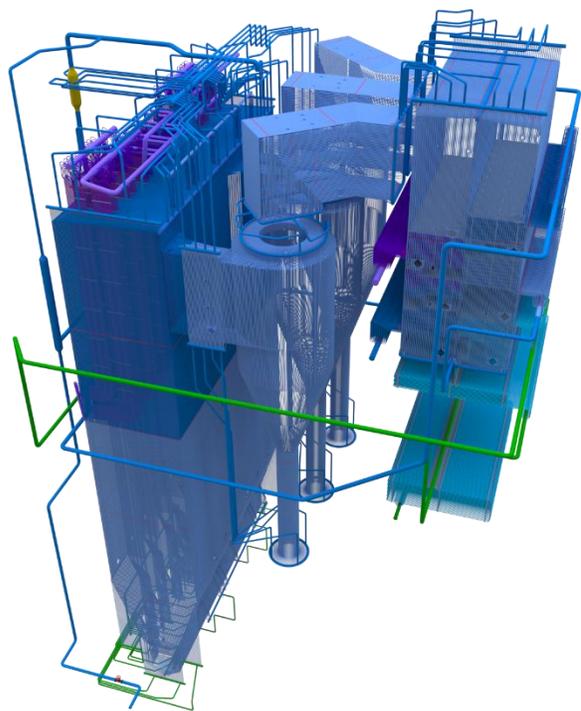
造成经济损失

影响电网安全

威胁人身安全



各电厂通常会成立防磨防爆管理小组，负责全面部署和安排锅炉防磨防爆管理工作。防磨防爆管理主要面向规章制度管理、检修管理、运行管理和金属监督管理等方面；在实际工作中，多数电厂还停留在日常巡检和停炉检修的缺陷检查和消缺上，其数字化和智能化程度不高。

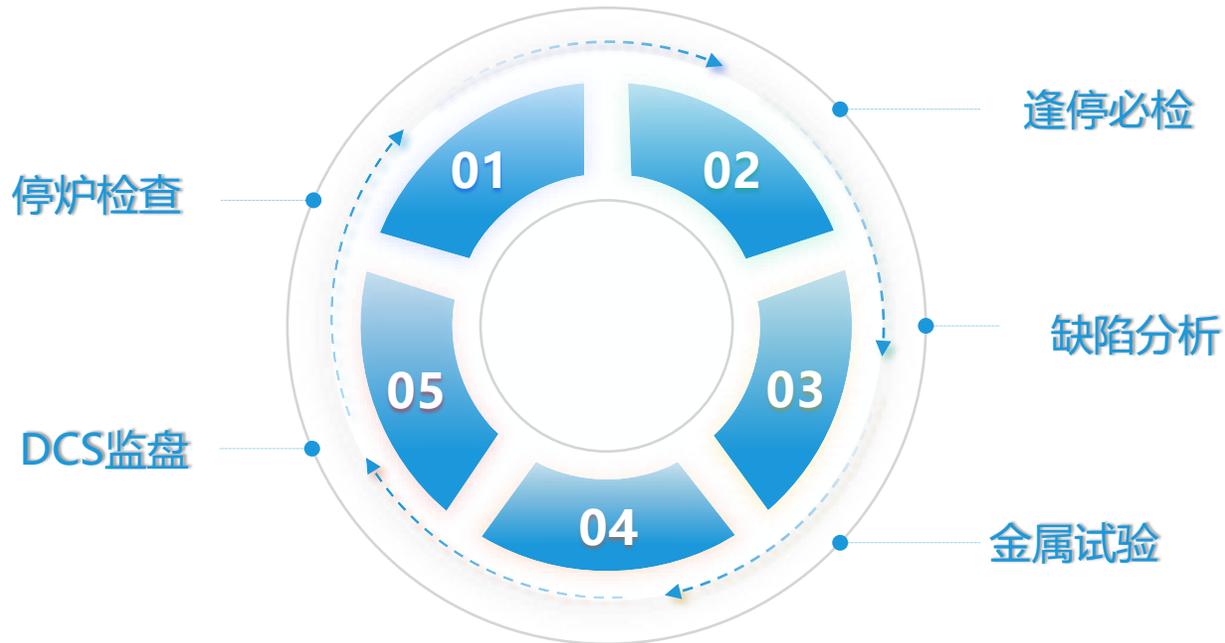


日常巡检

停炉检修

设定防磨防爆管理小组

制定组织机构和职责



虽各厂十分重视锅炉防磨防爆管理工作，但锅炉四管泄爆问题仍时有发生，极大影响了锅炉运行效率。管理体系问题、检查手段问题、人工监盘问题和数据管理问题等的存在导致当前防磨防爆管理工作效果不够理想。每次锅炉非计划性停机，都会给发电企业带来巨大的经济损失。

管理体系问题

在检修工作外包和部分检查外委模式下，自身人员防磨防爆检查及责任主体淡化。正常平均1-2年进行一次停炉检修，防磨防爆检查存在漏检、忘检等现象，无法及时发现和处理潜在的安全隐患。

传统防磨防爆检查主要依赖人工进行，缺乏先进的检测技术和手段，导致检查效率低、准确性差。缺少三维模型等可视化工具，数据展现不直观，新员工培训与检修安排依赖二维图纸，沟通成本高。

检查手段问题

01

传统 防磨防爆管理 工作问题点

03

人工监盘问题

传统的锅炉监控方式往往依赖人工监盘，DCS监盘人员工作压力大，影响工作效率，当前市场上的一些运行监控系统数据分析能力有限，难以满足企业对数据深度挖掘和精细管理的需求。

大量相关数据分散存放，无法有效整合和联系，导致查询、统计分析和预测困难，难以对防磨防爆检查策划起到指导作用。测厚记录不完整且利用效率低下，无法为后续的减薄分析和预防提供有力支持。

数据管理问题

02

04

本系统针对传统防磨防爆管理痛点，结合锅炉各类静态和动态数据，构建锅炉数字孪生管理平台体系；通过1个数字孪生平台、2大业务领域、多种计算模型应用的管理体系建设，利用AI技术和数字孪生技术，做到精准预警，按状态检修，提升电厂管理的规范化、标准化和数字化水平。



数字孪生可视化展现

本系统支持集团或分公司统一推广管理，采用分级部署、统一应用的方式，将各电厂锅炉管理数据在集团侧集中展现，通过六大中心集中管控，实现集团侧锅炉健康管理一体化平台管理体系建设。



电厂1



电厂2



电厂...

台账数据
检修数据
运行数据

- 准确落实集团管理思想

三维可视化中心

横向对比各同类型机组结构

机组管理中心

各厂台账数据集中管理

减薄分析中心

随时掌握各厂锅炉减薄情况

分级部署、统一应用

上下联动、功能匹配

离散数据、集中管理



集团监控中心

- 提升各厂平均管理水平

组织管理中心

统一管理各厂组织机构

泄爆监控中心

实时监控各厂锅炉健康状态

运行监控中心

集中监控各厂锅炉运行情况

数据来源

人工录入



台账数据

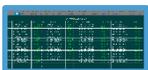
检修记录

物联网设备采集



测厚数据

SIS镜像数据库



金属壁温

吹灰器测点

泄爆指标

燃烧指标

算法模型

锅炉减薄预测模型

烟道热偏差计算模型

四管泄漏监控模型

受热面测点补全算法

班组超温统计算法

金属壁温预测模型

吹灰器运行监控算法

测厚位置智能推荐算法

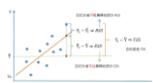
软件基础算法

大数据模型

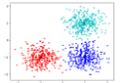
深度学习

机器学习

回归模型



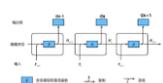
聚类分析



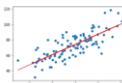
卷积神经网络



门控循环单元



线性回归

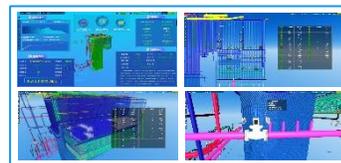


决策树



业务功能展现

数字孪生展现



专用显示屏监控



设备状态监视



多类报表输出



具体实现功能

三类台账

管理台账管理

设备台账管理

检修台账管理

检修领域

测厚位置规划
测厚数据分析
管道减薄预测

测厚智能推荐
测厚数据处理
定点劣化分析

检修策划方案
检修记录报告
测厚记录管理

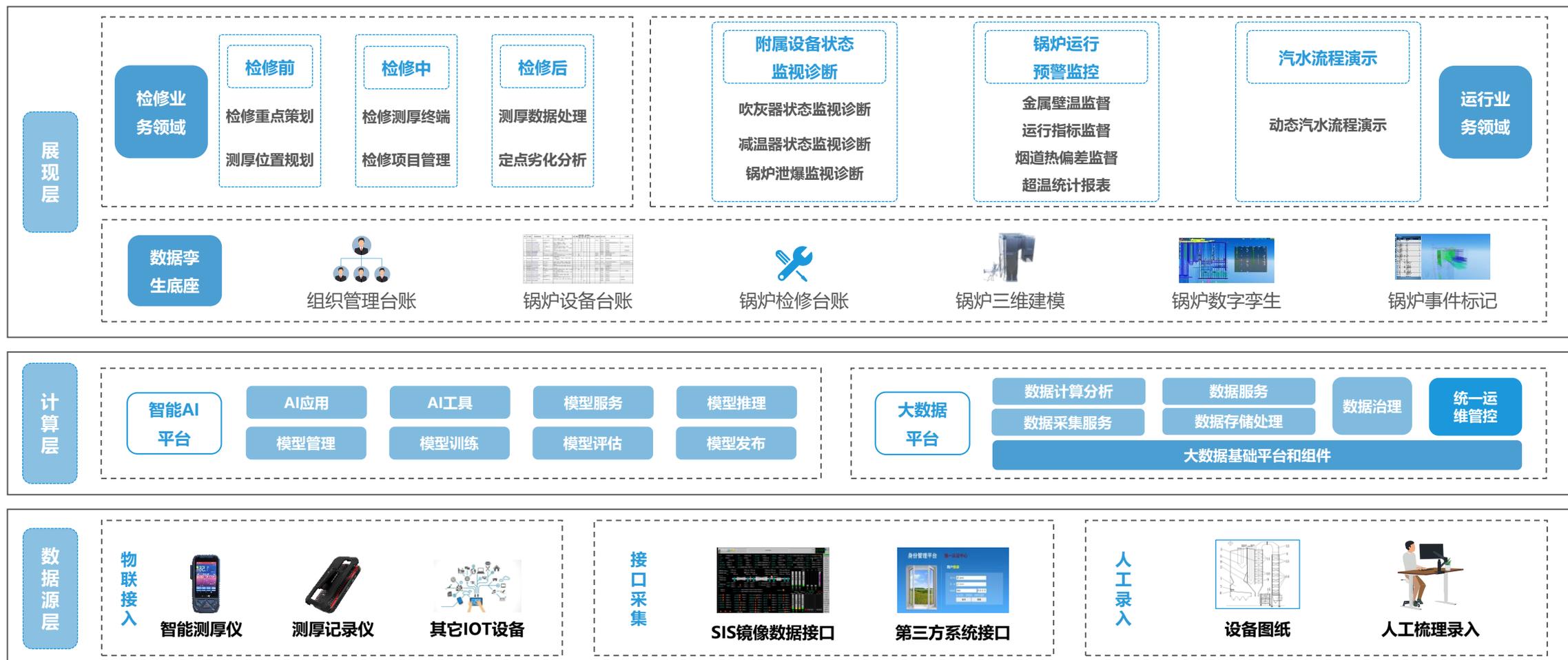
运行领域

金属壁温监督
烟道温差分析

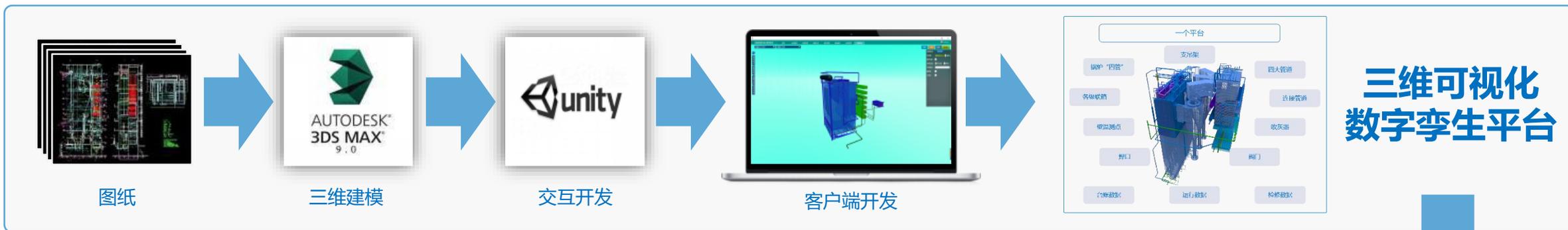
温度超限报表
泄爆辅助监控

运行指标监控
吹灰器状态监视

本系统架构主要分为数据源层、计算层和展现层。基于物联网设备数据、接口数据和人工录入数据，通过多种模型算法计算分析，构建1个数据孪生平台底座、2大业务领域应用的展现方式。其中数字孪生平台基于设备基础数据以及高保真三维建模可实现多种业务数据的动态交互展示；将锅炉防磨防爆管理工作划分为检修和运行两大业务领域，可实现各类实际业务需求的监控和管理。



系统以现场锅炉图纸为基础，利用3DS MAX进行三维建模，通过Unity3D大型游戏级开发引擎实现模型的交互开发，将锅炉台账数据、检修数据、运行数据等融合为一个统一的管理平台



锅炉作为电厂的三大主机之一，空间结构复杂，设备层级繁复，管道布置紧密。无论是通过图纸，还是实地查看，都难以获得一个真实全面的空间感受。通过多种操作视角的选择可以模拟进入锅炉内部的真实场景，便于针对性的问题讨论。

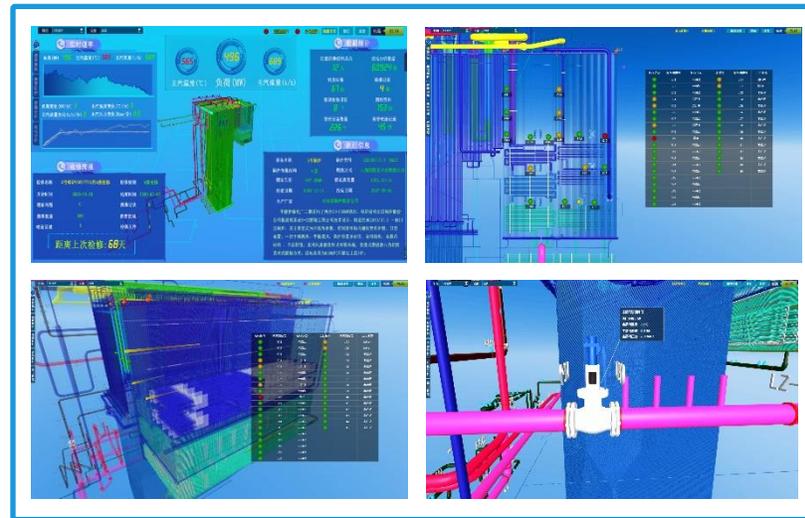
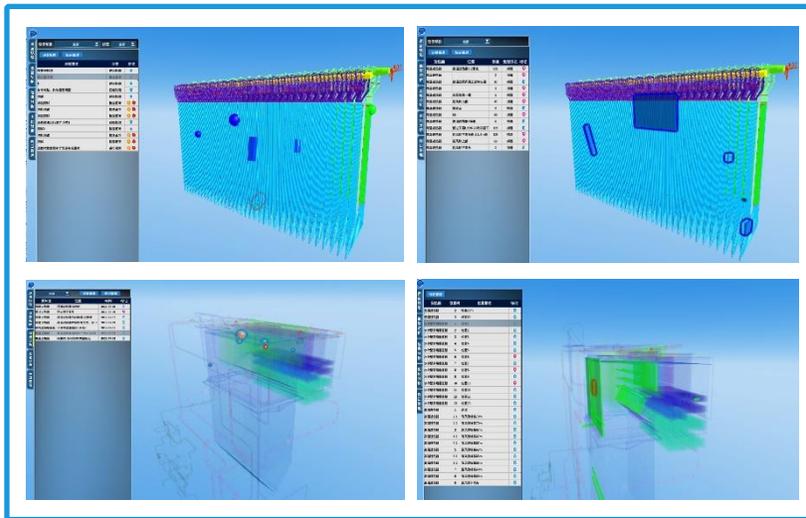
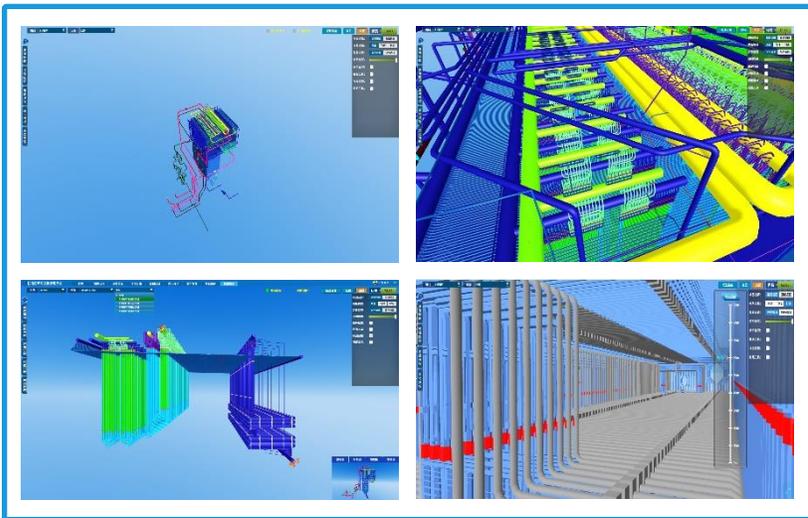
锅炉的各类检修数据，如测厚、换管、缺陷、泄爆等等记录可通过三维模型进行位置标记，有助于数据的直观查看。

锅炉壁温、烟温、压力等实时数据和阀门动作、吹灰动作等实时动作可在模型上直观展现，并能实现数据与模型实时互动。

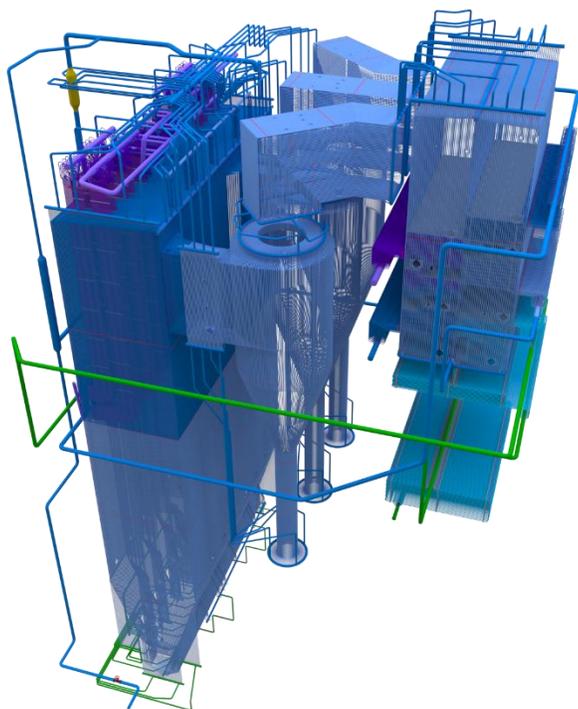
可全面直观感受锅炉受热面结构

可标记各项检修记录

可实现动态模型数据交互



数字孪生平台底座还包括设备资料台账、制度管理台账和检修记录台账，通过对各类台账的记录，有助于加强标准化规范化管理水平，继而对锅炉进行立体管理。



制度管理台账

序号	名称	内容	版本	日期	状态	操作
01	炉内燃烧器检修规程	炉内燃烧器检修规程	01001	2018	有效	查看 编辑 删除
02	炉内燃烧器检修规程	炉内燃烧器检修规程	01001	2018	有效	查看 编辑 删除
03	炉内燃烧器检修规程	炉内燃烧器检修规程	01001	2018	有效	查看 编辑 删除
04	炉内燃烧器检修规程	炉内燃烧器检修规程	01001	2018	有效	查看 编辑 删除
05	炉内燃烧器检修规程	炉内燃烧器检修规程	01001	2018	有效	查看 编辑 删除
06	炉内燃烧器检修规程	炉内燃烧器检修规程	01001	2018	有效	查看 编辑 删除
07	炉内燃烧器检修规程	炉内燃烧器检修规程	01001	2018	有效	查看 编辑 删除
08	炉内燃烧器检修规程	炉内燃烧器检修规程	01001	2018	有效	查看 编辑 删除
09	炉内燃烧器检修规程	炉内燃烧器检修规程	01001	2018	有效	查看 编辑 删除
10	炉内燃烧器检修规程	炉内燃烧器检修规程	01001	2018	有效	查看 编辑 删除



检修记录台账

检修文件

归档进度: 2/8 合计: 4个文档

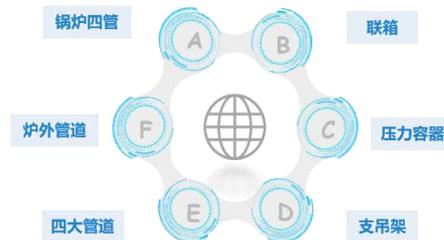
序号	名称	内容	版本	日期	状态	操作
01	炉内燃烧器检修规程	炉内燃烧器检修规程	01001	2018	有效	查看 编辑 删除
02	炉内燃烧器检修规程	炉内燃烧器检修规程	01001	2018	有效	查看 编辑 删除
03	炉内燃烧器检修规程	炉内燃烧器检修规程	01001	2018	有效	查看 编辑 删除
04	炉内燃烧器检修规程	炉内燃烧器检修规程	01001	2018	有效	查看 编辑 删除
05	炉内燃烧器检修规程	炉内燃烧器检修规程	01001	2018	有效	查看 编辑 删除
06	炉内燃烧器检修规程	炉内燃烧器检修规程	01001	2018	有效	查看 编辑 删除
07	炉内燃烧器检修规程	炉内燃烧器检修规程	01001	2018	有效	查看 编辑 删除
08	炉内燃烧器检修规程	炉内燃烧器检修规程	01001	2018	有效	查看 编辑 删除

- 设备资料台帐用于管理设备的基本参数、管排信息、集箱信息、焊口信息、图纸说明书等静态台帐信息。避免重要资料随人员调动而流失。
- 管理台账记录防磨防爆小组的组织架构、行业标准和相关制度。用于防磨防爆组织架构以及相关制度标准的管理管理与展现。
- 检修台账的有效管理为后续的资料查询，数据分析奠定了基础。相关数据可用于检修策划、事故追溯等相关环节。

基础信息	管排信息	集箱信息	焊口信息
锅炉编号: G1 生产厂家: 东方锅炉(集团)股份有限公司 投产日期: 2017-04-01 锅炉类型: 亚临界直流炉(亚临界) 额定蒸发量(MW): 660.0 额定蒸汽压力(MPa): 2973.0 燃烧方式: 前炉膛全燃炉方式 结构型式: 塔式炉型 过热蒸汽温度(℃): 538.5 过热蒸汽压力(MPa): 119.12/89.34 再热蒸汽温度(℃): 338.5 再热蒸汽压力(MPa): 1 再热蒸汽流量(Mt/h): 73.4 排烟温度(℃): 355 送风量(Mt/h): 2639.746 排烟氧量(标准态)(%): 128 (123) 排烟效率(RP): (%) 16~20	设计温度: 本炉膛炉管 过热蒸汽温度(℃): 538.5 过热蒸汽压力(MPa): 119.12/89.34 再热蒸汽温度(℃): 338.5 再热蒸汽压力(MPa): 1 锅炉效率(Qnet,ar): (%) 94.58 一收风压(℃): 592.042 空预出口温度(℃): 972 排烟空气系数(%) 1.14(漏风2.56%)	锅炉四管: A, B, C, D, E, F 炉外管道: F 四大管道: E, D	集箱: C 压力容器: C 支吊架: D

锅炉防磨防爆台账

基础信息 管排信息
集箱信息 焊口信息



组织管理台账

组织机构 计划总结
国家标准 行业标准



检修数据台账

检修项目 检修文件
检修记录 泄爆记录



在锅炉检修业务领域内，按照检修前后顺序，通过**检修策划指导**、**测厚位置规划**、**检修测厚终端工具**、**测厚数据处理**、**定点劣化分析**等的应用，结合相关台账记录功能，并通过IOT设备**智能超声波测厚仪**的应用，可实现检修前针对性策划、检修中便捷性数据采集、检修后数据深度分析的闭环管理，提高检修效率，降低检修测厚工作量，有效解决传统锅炉检修测厚工作的多项难题。



检修策划指导功能可以帮助用户自动检索设备遗留缺陷数据、吹灰卡顿数据、超温数据、金属劣化数据等，并输出图表结合的重点检修策划文件；根据检修策划指导工具可智能推荐本次测量位置，使用**测厚位置规划**功能让测厚位置选择更具科学性。

检修策划指导

创建项目

手动创建检修项目

检修策划

自动引入遗留缺陷数据

自动引入吹灰卡顿数据

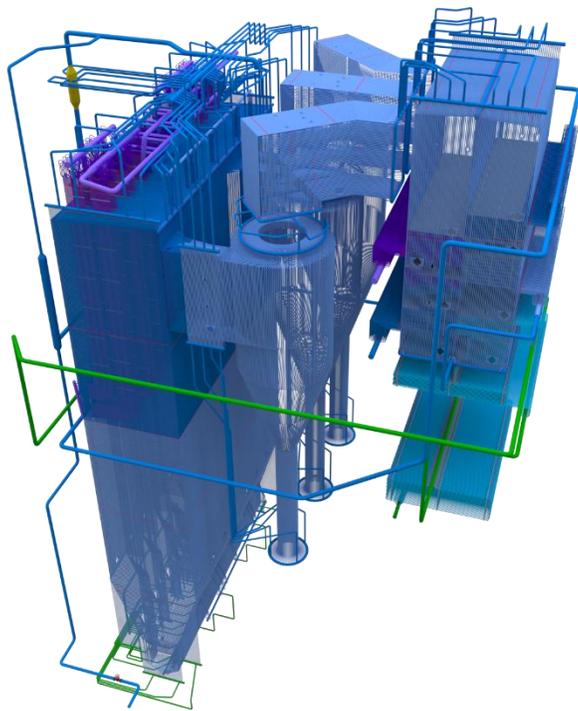
自动引入管道超温数据

自动引入减薄超限数据

策划导出

自动生成检修策划方案

可在线浏览或手动下载



测厚位置规划



历史测厚位置模板套用

受热面管排减薄分析

本次测量位置智能推荐

可视化快速新增测厚位置

快速设定本次检修测厚任务

传统锅炉内部检修测量工作存在测量数据记录不准确、工作量大、互相沟通困难、历史测量数据无法利用等弊端，**检修测厚终端工具**可在检修过程中实现快速数据记录存储、现场对比历史结果、测厚数据和现场缺陷图片无线上传、数据可视化展示、测量结果智能分析、可视化数据处理等功能。

解决传统测量工作弊端



检修测厚终端工具

检修测厚数据
自动存储

历史测量数据
实时对比

现场缺陷信息
拍照留存

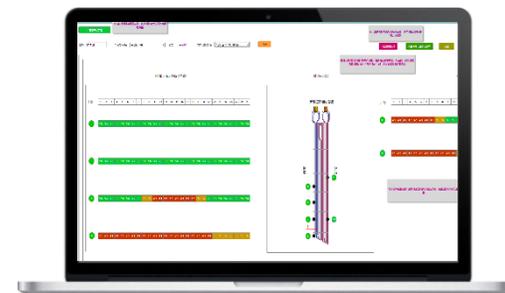
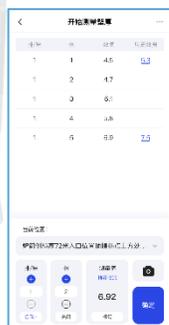
测量数据
可视化展示

测量结果
智能分析

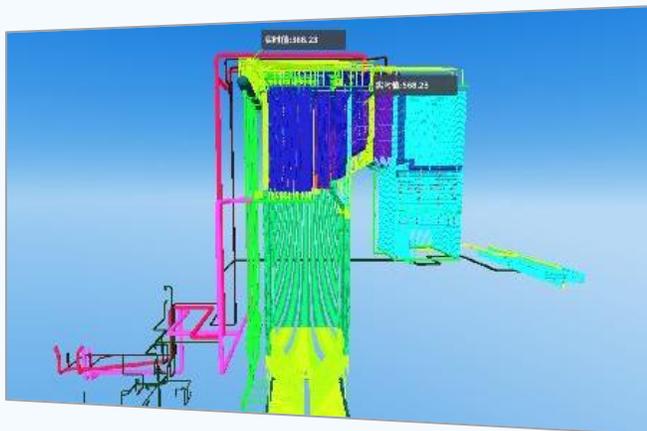


检修任务无线下载

测量记录自动上传



在锅炉运行业务领域，重点针对锅炉DCS运行监盘工作和锅炉基础培训工作，通过对**防磨防爆培训方面、设备状态监视方面、锅炉运行监视方面**等进行模型计算，可实现锅炉运行智能监控和告警，模块化建立数据分析模型，精准计算，自动生成超温报表，极大降低相关人员工作压力。



防磨防爆培训

动态汽水流程演示

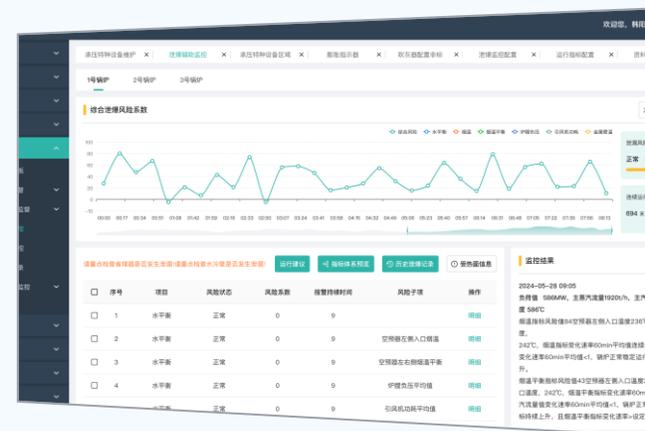


设备状态监视

吹灰器状态监视诊断

减温器状态监视诊断

锅炉泄爆监视诊断



锅炉运行监视

金属壁温监督

超温统计报表

烟道热偏差监督

运行指标监督

在防磨防爆培训方面，动态汽水流程演示模块可搭配锅炉高保真三维模型，通过动画模拟的形式直观展现锅炉一次汽循环系统、二次汽循环系统和水循环系统的走向，清晰了解各级设备出入口汽水循环方式，对新人学习培训来说极有价值。

动态汽水流程演示

一次汽循环系统

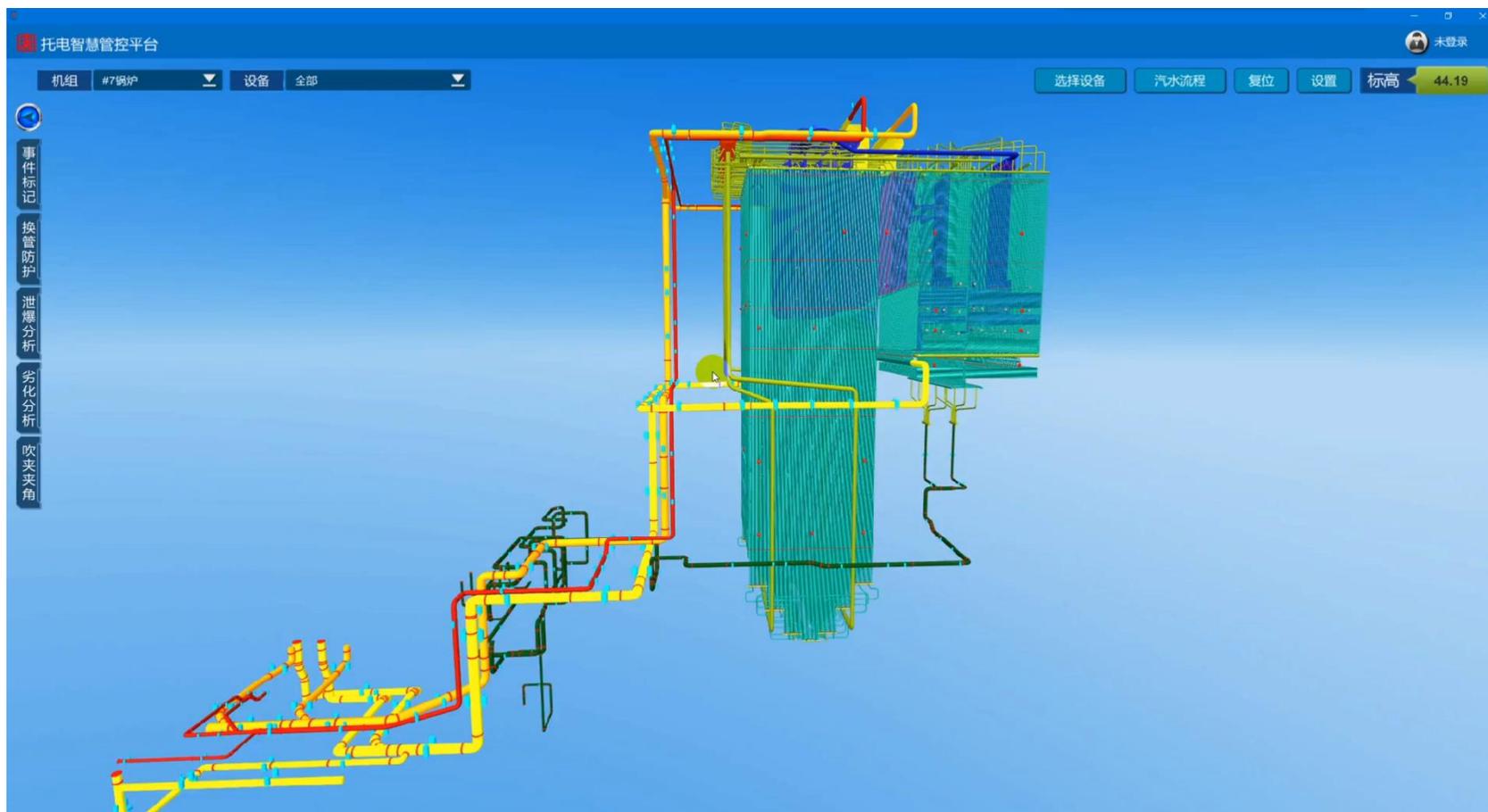
顶棚过热器 → 包墙过热器 → 低温过热器
主蒸汽管道 ← 高温过热器 ← 屏式过热器

二次汽循环系统

低温再热管道 → 低温再热器
高温再热管道 ← 高温再热器

水循环系统

主给水管道 → 省煤器 → 汽包
顶棚过热器 ← 水冷壁



在锅炉运行监视方面，优化传统DCS监控页面，数字化、可视化的直观展现各类监控数据，并对数据深度应用分析，降低运行管理工作量；**金属壁温监督**功能将壁温数据采用热力图形式可视化展现，并能进行热力补全，直观展示受热面温度分布，同时采用AI计算模型对壁温测点未来变化趋势进行预测；**超温统计报表**功能通过配置好排班规则可将系统监控的超温记录自动生成统计报表。

金属壁温监督



壁温数据可
可视化展现



壁温测点热
力补全



壁温测点趋
势预测



历史曲线横
向对比

超温统计报表

传统超温
统计方式

- 每次超温，手动记录各班组长超温台账
- 表格导出历史数据，根据条件筛选统计

超温统计
报表工具

设备超温报表

班组超温报表

自动记录历史超
温数据

自动筛查班
组超温记录

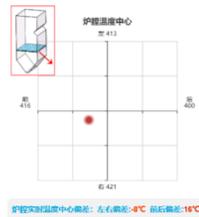
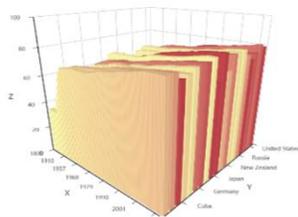
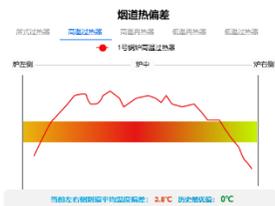
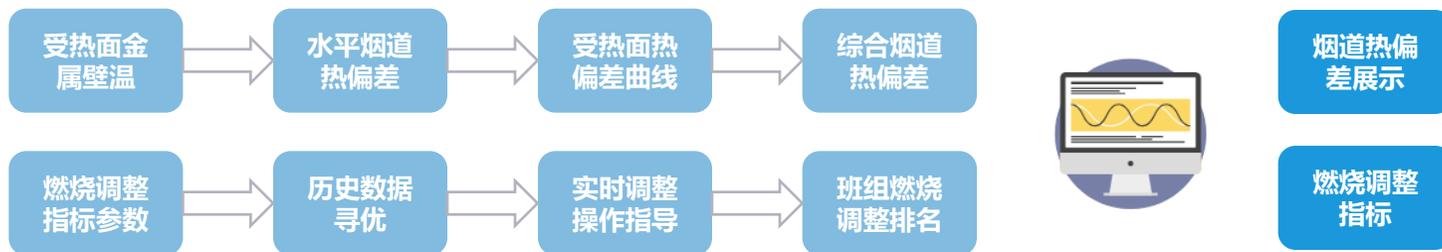
设定管理条
件自动统计

设置排班规则



烟道热平衡分析功能可计算并展示各工况下烟道热偏差分布情况以及历史最优值，将最优时间节点形成快照记录燃烧调整参数指标，对当前运行情况提供对比建议；**运行指标监控**功能可对锅炉运行主要监控指标的变化情况进行监控，有助于锅炉稳定运行。

烟道热平衡分析



序号	指标名称	实时数值	1年内最优数值	操作建议
1	炉气挡板开度1	2.18	2.13	下调
4	炉气挡板开度2	2.08	2.55	上调
7	炉气挡板开度3	2.95	2.63	下调
10	炉气挡板开度4	2.22	2.91	上调
13	一次风流量A1	71.87	69.16	下调
16	一次风流量A2	71.87	69.16	下调
19	磨煤机二次风挡板开度	2.18	2.13	下调
22	燃尽风挡板	2.08	2.55	上调

序号	指标名称	实时数值	1年内最优数值	操作建议
2	二次风流量A1	2.18	2.13	下调
5	二次风流量A2	2.08	2.55	上调
8	燃烬风量A1	2.95	2.63	下调
11	燃烬风量A2	2.22	2.91	上调
14	偏置风	71.87	69.16	下调
17	一次风流量A2	71.87	69.16	下调
20	燃烬挡板开1	2.18	2.13	下调
23				

序号	指标名称	实时数值	1年内最优数值	操作建议
3	燃烬挡板开2	2.18	2.13	下调
6	燃烬挡板开3	2.08	2.55	上调
9	燃烬挡板开4	2.95	2.63	下调
12	燃烬挡板开5	2.22	2.91	上调
15	燃烬挡板开6	71.87	69.16	下调
18	过热器左侧一级减温水量	71.87	69.16	下调
21	过热器左侧二级减温水量	2.08	2.55	上调
24				

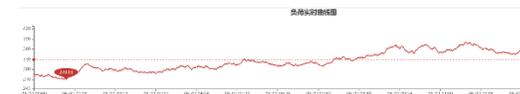
当前工况燃烧调整参数对比建议

本年度当前工况最优操作Top10

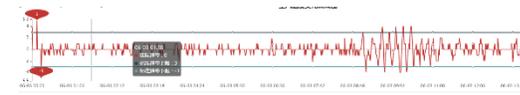
排名	偏差值	发生时段	所属班组
1	2.7	2023/02/01 8:00-16:00	一值
2	-2.8	2023/01/12 16:00-24:00	二值
3	3.1	2023/02/01 00:00-08:00	一值
4	-3.2	2023/02/01 8:00-16:00	三值
5	3.3	2023/01/12 16:00-24:00	一值
6	3.3	2023/02/01 00:00-08:00	四值
7	3.4	2023/02/01 8:00-16:00	五值
8	3.5	2023/01/12 16:00-24:00	一值
9	3.6	2023/02/01 00:00-08:00	五值
10	3.7	2023/02/01 8:00-16:00	二值

运行指标监控

主要运行
监控参数



运行参数
变化速率



提高锅炉
安全性

保障锅炉
稳定运行

提高锅炉
的热效率

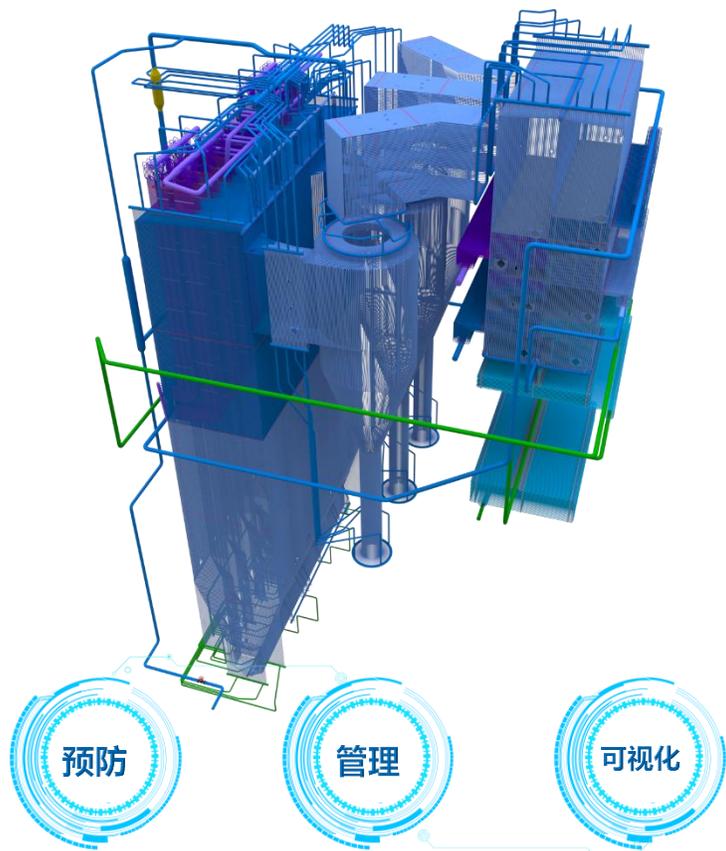
停炉后快速冷却

锅炉升温速率过快

变化速率超限运行

锅炉运行不稳定

本系统的特点是全面、智能、科学和高效，利用数据孪生技术，软硬件结合，通过多种大数据计算模型的应用，采取科学有效的管理办法，协助电厂专业人员，做好锅炉防磨防爆管理工作。

**全面**

管理覆盖全面，包括制度管理、台账管理、检修管理、运行管理等

智能

根据海量检修数据、运行数据智能分析，自动判断主辅机运行状态

科学

基于现场业务需求，结合物联网技术、数字孪生技术、AI机器学习技术等构建多种计算模型，科学可靠

高效

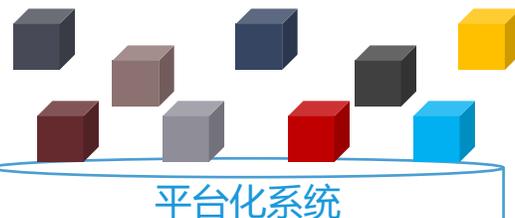
精准预警，按状态检修，减少重复率高的工作，软硬件结合，高效率的做好锅炉防磨防爆管理工作

锅炉智慧管理产品生态群



- 锅炉智慧管理产品生态群，是基于锅炉防磨防爆三维数字孪生智慧管理平台衍生出来的一系列小型产品，既能依附于锅炉防磨防爆管理平台整体使用，也能单独成立项目使用。
- 未来，我们将基于物联网平台底座，结合各类物联网设备，不断进行系统优化，集中多项技术和产品，建设一个电厂集运行、检修、巡检于一体的智慧管理平台。

独立设备或软件



基于数字孪生的锅炉防磨防爆智慧管理系统

谢谢观看！

诚信 / 务实 / 创新 / 共赢