



# 火电集中监测与分析专家系统(CSASS)

## 开发大数据分析技术，建设世界一流平台

引言：华润电力控股有限公司（简称“华润电力”）是中国效率最高、效益最好的综合能源公司之一，业态涉及火电、煤炭、风电、水电、分布式能源、核电、光伏发电等领域。十九大报告指出，要推进能源生产和消费革命，构建清洁低碳、安全高效的能源体系。能源技术与物联网、云计算、大数据分析、人工智能等技术的深度融合，正在推动火力发电行业和电力企业的数字化转型。为有效应对电力市场改革深化、煤炭成本居高不下、环保标准日益严苛等外部条件的挑战，应用先进的云计算、大数据、物联网、移动互联、人工智能等技术建设一套贯通生产、服务运营、提升价值的火电集中监测与分析专家系统（简称：CSASS）成为华润电力卓越运营“1211”战略的重要平台。

### 一、项目概况

世界能源格局深刻调整、我国电力供需总体宽松、环境资源约束不断加强的新时期，电力工业发展面临一系列新形势、新挑战。构建以数据为核心的数字化平台，成为火电企业应对颠覆环境下激烈竞争的共同之道。华润电力将分布于不同地域、不同项目电厂的数据进行集中采集、处理、存储、挖掘并进行集中监测与分析，形成工业互联网大数据平台。利用人工智能、机器学习等先进大数据算法，打通、整合、协同产业链，从而提升企业产业集群效率。CSASS 是华润电力

落实华润集团“华润汇”战略，打造行业安全可靠生产、高效运行、绿色环保的标杆，构建专业知识和能力高地，引领行业业务模式创新的重要抓手。

### 1. 项目背景

当前，全球新一轮能源变革正在兴起，加快能源行业向清洁、低碳、高效的方向转型发展，已经成为世界各国的自觉行动。在中国经济发展新常态下，对于以火电装机为主的发电企业，面临市场需求放缓、设备利用小时降低、电价下滑、燃煤成本不断攀升、资产运维日益复杂、节能环保要求更加严格等巨大挑战。在面临挑战的同时，火力发电企业也迎来了电力市场化改革的机遇。“十三五”是电力工业加快转型发展的重要机遇期。在世界能源格局深刻调整、我国电力供需总体宽松、环境资源约束不断加强的新时期，电力工业发展面临一系列新形势、新挑战。随着经济发展进入新常态，增长速度换挡，结构调整加快，发展动力转换，节能意识增强，全社会用电增速明显放缓。局部地区电力供过于求，设备利用小时数偏低，电力系统整体利用效率下降。电力供应将进入持续宽松的新阶段。

对于火力发电行业，技术创新与融合将是能源转型的重要推动力量。能源技术与物联网、云计算、大数据分析、人工智能等技术的深度融合，正在推动火力发电行业和电力企业的数字化转型。构建以数据为核心的数字化平台，成为火电企业应对颠覆环境下激烈竞争的共同之道。

中国政府在 2015 年正式提出了“中国制造 2025”和“互联网+”的概念，为中国制造业升级和数字化转型提供了政策支持。国务院印发《中国制造 2025》提出了“通过‘三步走’实现制造强国的战略目标”，并将“推进信息化与工业化深度融合”纳入战略任务重点，电力装备是十大重点发展领域之一。国务院印发《深化制造业与互联网融合发展的指导意见》指出，围绕制造业与互联网融合关键环节，积极培育新模式新业态，强化信息技术产业支撑，完善信息安全保障，夯实融合发展基础，营造融合发展新生态，充分释放“互联网+”的力量，发展新经济，加快推动“中国制造”提质增效升级。当前全球主要国家掀起了新一轮以“信息技术与制造业融合”为共同特征的工业革命，加速发展新一代信息技术，并推动其与全球工业系统的深度融合，以期抢占新一轮产业竞争的制高点。无论是欧美老牌国家制造业的重振，还是中国制造业的转型，工业大数据都将发挥重要作用。创新发展工业大数据必将成为未来提升制造业生产力和竞争力的关键要

素。竞争形态的日趋激烈、商业模式的瞬息万变、对信息透明和网络信息安全史无前例的要求数字化带来的这一切既是企业的巨大挑战又是千载难逢的机遇。如何充分利用这些海量数据，来创造价值，是每一个现代化行业和企业成功的关键因素。

## 2. 项目简介

- 1、华润电力在多年的企业发展过程中，形成了“火电为主、控制上下游、多业态协同、实现低成本竞争”的发展模式。在新的市场竞争条件下，华润电力迫切需要推进创新转型发展，打造企业核心竞争力。火电 CSASS 分析专家系统是华润电力落实集团“华润汇”战略，打造行业安全可靠生产、高效运行、绿色环保的标杆，构建专业知识和能力高地，引领行业业务模式创新的重要抓手。
- 2、CSASS 是基于设备管理、服务运营管理的工业大数据分析与诊断云平台。通过汇集海量生产数据，采用机器学习、人工智能等先进算法，结合行业经验和华润电力的技术积淀，全方位、多维度对机组运行状态进行实时监测、分析与诊断，为机组安全、经济、环保运行提供建议和优化方案。专家系统的特点在于它能够感知人类无法达到的细度，并实现辅助人的判断，我们相信随着技术的发展 CSASS 最终能够代替人实现分析与诊断。
- 3、CSASS 系统整体实施采用工业互联网平台功能架构，利用工业大数据处理、分析技术，采用微服务框架，基于工业大数据系统，PaaS 层得以实现对边缘层、IaaS 层产生的电厂海量数据进行高质量的传输、存储与管理。另一方面，利用工业数据建模与分析技术，将现场海量数据进行模型搭建，支撑电厂各种分析应用场景的实现。通过传感器与数据分析技术，对电厂运行状况、设备自身状态进行实施采集、建模、分析，从而实现在线监测、故障诊断预警等服务，创造新的价值，实现企业转型。

## 3. 项目目标

- 1、在“十三五”业务战略规划指引下，为了更好的应对电力市场改革，打造华润电力核心竞争力。当下阶段必须要推动创新，在电力领域建立标杆示范作用，引领电力行业的运营管理，促进华润电力实现电力生产的有效管控和高效运营。

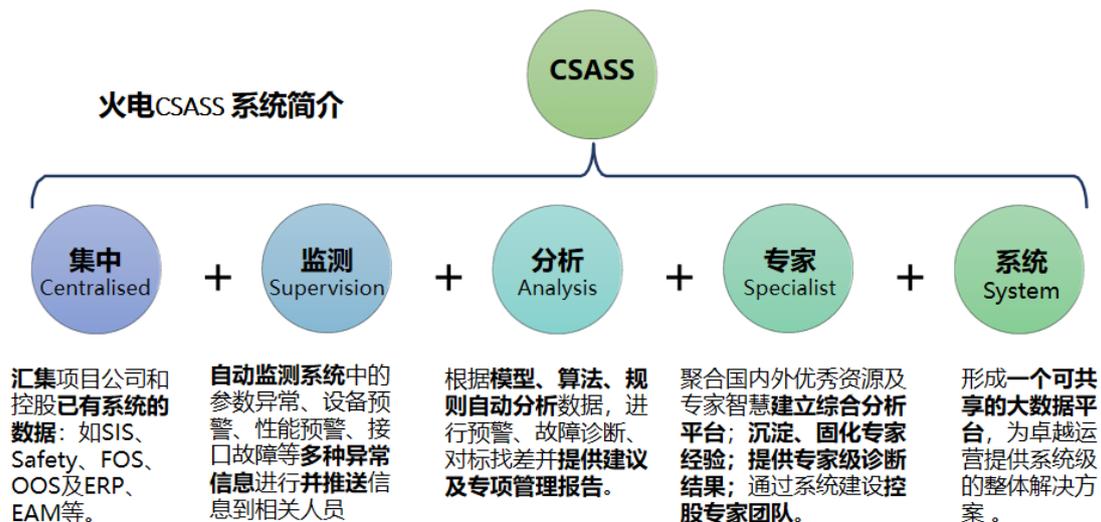
通过建设一个汇集各项目公司离散数据的统一集中监测数据平台，并运用大数据分析、人工智能等高级人工智能算法来辅助专家团队进行集中监测与分析，从而有效推动华润电力运营管理的流程化、标准化、专业化、信息化、移动化、开放化、智能化，达到提升效益、提高效率的目标。

2、CSASS 分析专家系统依托云平台设计了设备预警、高级诊断、RCM、自动优化、能耗分析、负荷优化、燃料分析、技术监控等 8 大功能应用模块和一个大数据分析模块，功能应用模块围绕提高机组运行的经济性、可靠性和快速性等方面设置，使得机组能够在确保安全、环保性的同时提高运营管理水平。

## 二、项目实施概况

### 1. 项目总体架构和主要内容

火电 CSASS 是一套贯通生产、管理的具备自成长能力系统，通过构建海量数据的云平台，汇集国内外专家经验和华润电力的技术沉淀，采用机器学习、人工智能等先进算法进行大数据分析，多参数、多维度实时监测机组运行数据，为机组安全经济运行提供建议和优化方案，为控股、大区、项目公司运营提供综合报告和决策支持。



按照方案合理、责任明确、经济高效、客观务实、便于操作的原则，将 CSASS 划分为下面三个部分：

第一部分、（CSASS 平台-数据采集与集中监测系统）：负责实时数据平台建

设（包括数据接口、数据采集、专用软硬件、画面等），原有实时数据库扩容。

第二部分、（CSASS 平台-系统集成与展示）：负责关系型数据平台建设（包括数据接口、数据整合、专用软硬件等），实现平台整合、环保预警诊断、实时交互系统、实时成本核算、展示、综合报表，含存储、服务器、虚拟化软件等通用软硬件采购。

第三部分、（CSASS 平台-分析专家系统）：负责非结构型数据处理、数据编码原则及编码清单，完成与数据采集与集中监测系统和系统集成与展示系统的数据接口，实现大数据分析、技术监控、设备预警诊断、以可靠性为中心的维护（RCM）、性能分析及优化、燃料分析及优化、自动品质评估、实时负荷调度等功能。

系统主要内容如图 1 所示：



图 1 CSASS 系统架构图

展示层提供 WEB 的统一访问入口；平台服务层主要包括运维专业的智能服务、流程服务以及报表服务；数据层主要包括实施数据服务、关系数据仓库、非

结构化数据集中储存、及服务系统数据部分，此外，服务层还实现于企业各种基础信息系统资源的集成和利用，提高了服务的使用价值和运维工作的协作性。主体技术架构如图 2 所示：

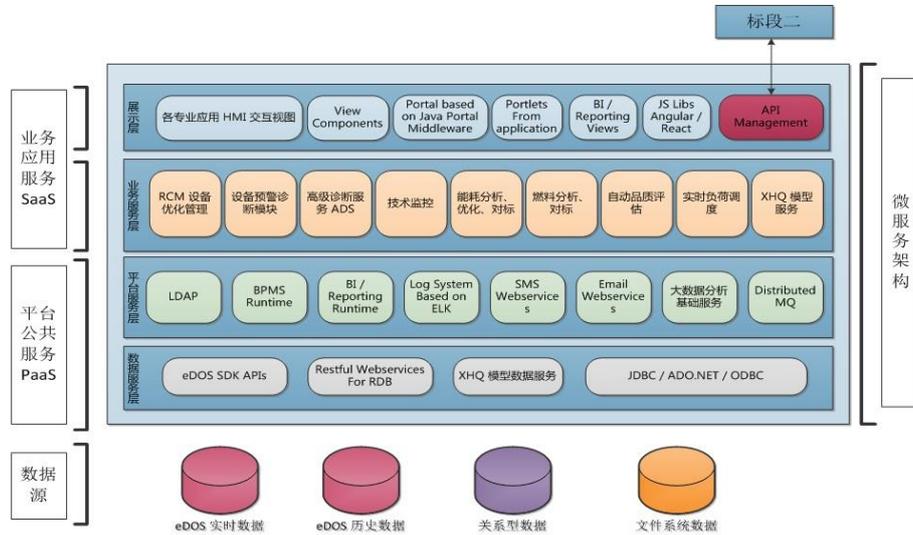


图 2 CSASS 工业互联网平台功能架构图

数据技术架构层级上具体划分如下：

数据采集层，包括时序数据采集与治理、结构化数据采集与治理和非结构化数据采集与实时处理。海量工业时序数据具有 7\*24 小时持续发送，存在峰值和滞后等波动，质量问题突出等特点。针对结构化与非结构化数据，需要构建同时兼顾可扩展性和处理性能的数据采集系统。

数据存储与管理层，包括大数据存储技术和管理功能，构建数据模型管理、数据质量管理、数据资产管理、数据安全管理和数据共享管理技术体系。

数据分析层，包括基础大数据计算技术和大数据分析服务功能，其中基础大数据计算技术包括并行计算技术、流计算技术和数据科学计算技术。在此之上构建完善的大数据分析服务功能来管理和调度工业大数据分析。

数据服务层是利用工业大数据技术对外提供服务的功能层。包括数据访问服务和数据分析服务。其中数据访问服务对外提供大数据平台内所有原始数据、加工数据和分析结果数据的服务化访问接口和功能；数据分析服务对外提供大数据平台上积累的实时流处理模型、机理模型、统计模型和机器学习模型的服务化接口。数据服务层提供平台各类数据源与外界系统和应用程序的访问共享接口，其目标是实现工业大数据平台的各类原始、加工和分析结果数据与数据应用和外部系统的对接集成。

数据应用层，主要面向工业大数据的应用技术，包括数据可视化技术和数据应用开发技术。综合原始数据、加工数据和分析结果数据，通过可视化技术，将多来源、多层次、多维度数据以更为直观简洁的方式展示出来，易于理解分析，提高决策效率。综合利用微服务开发框架，基于工业大数据管理、分析技术快速实现工业大数据应用的开发与迭代，构建面向实际业务需求的，数据驱动的工业大数据应用，实现提质降本与增效。数据应用层生成可视化、告警、预测决策、控制等不同的应用，从而实现智能化设计、智能化生产、网络化协同制造、智能化服务和个性化定制。

CSASS 分析专家系统主要技术方案如图 3~图 11 所示：

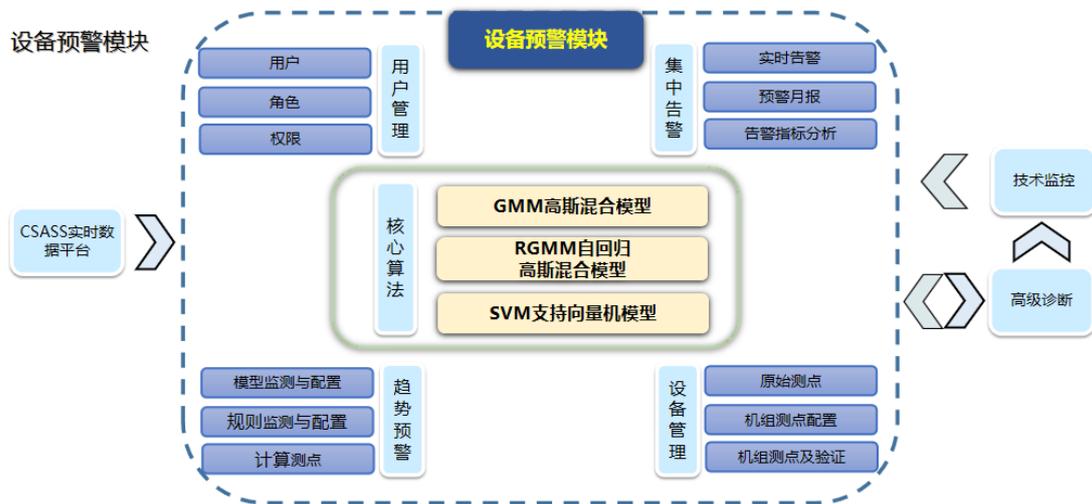


图 3 设备预警模块技术方案

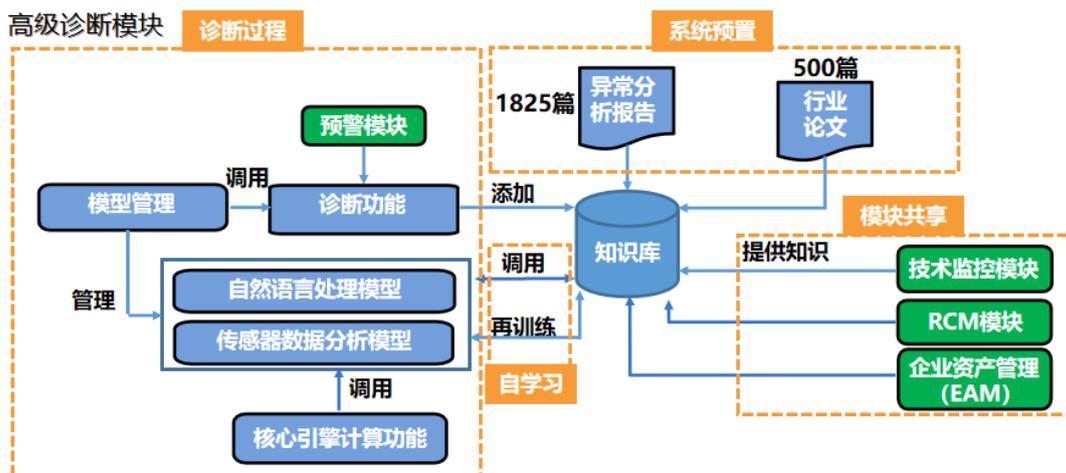


图 4 高级诊断技术方案

以可靠性为中心的检修 (RCM) 模块



图 5 RCM 模块技术方案

能耗分析模块

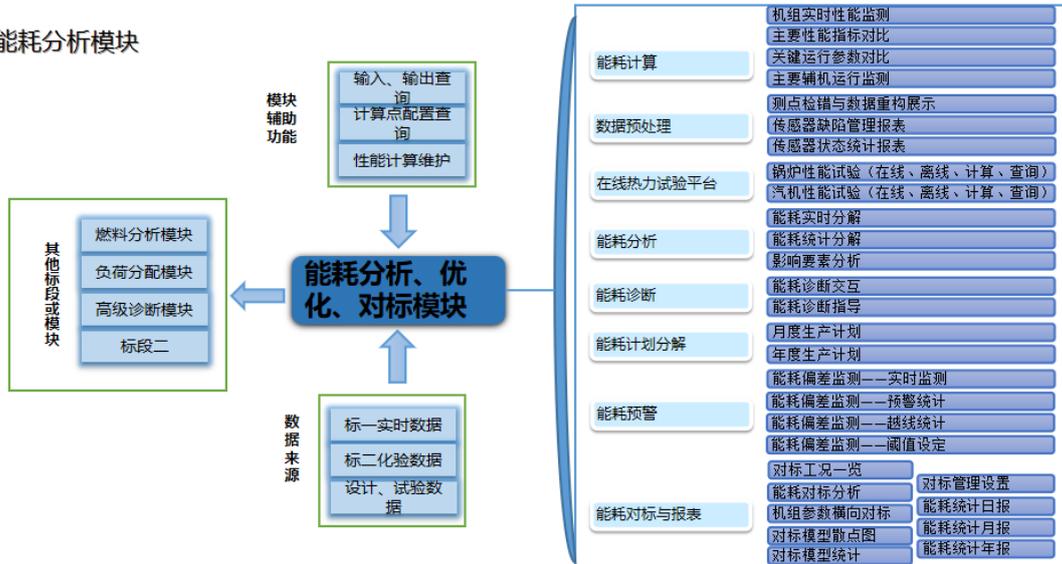
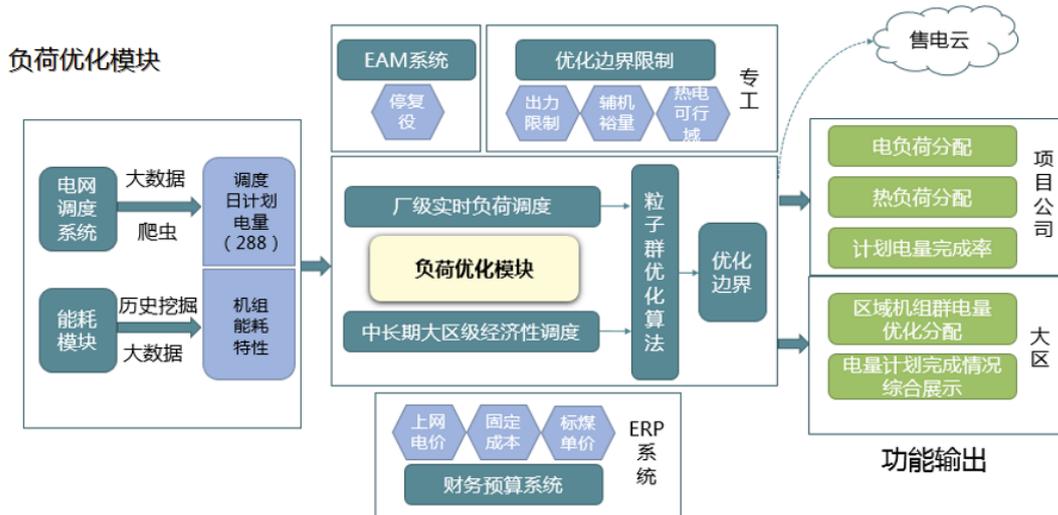
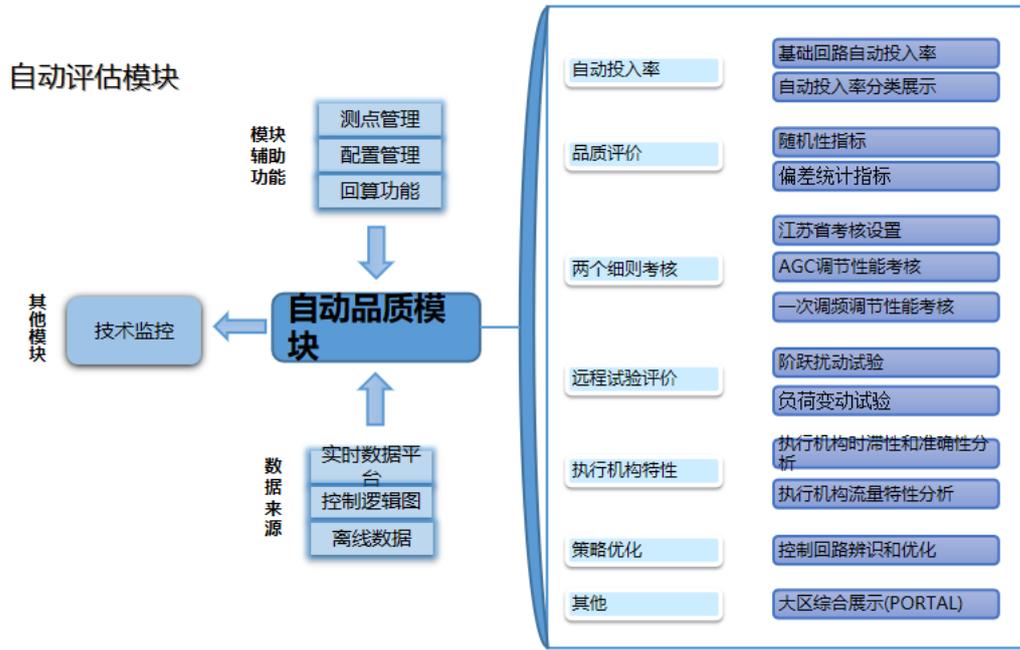


图 6 能耗分析模块技术方案



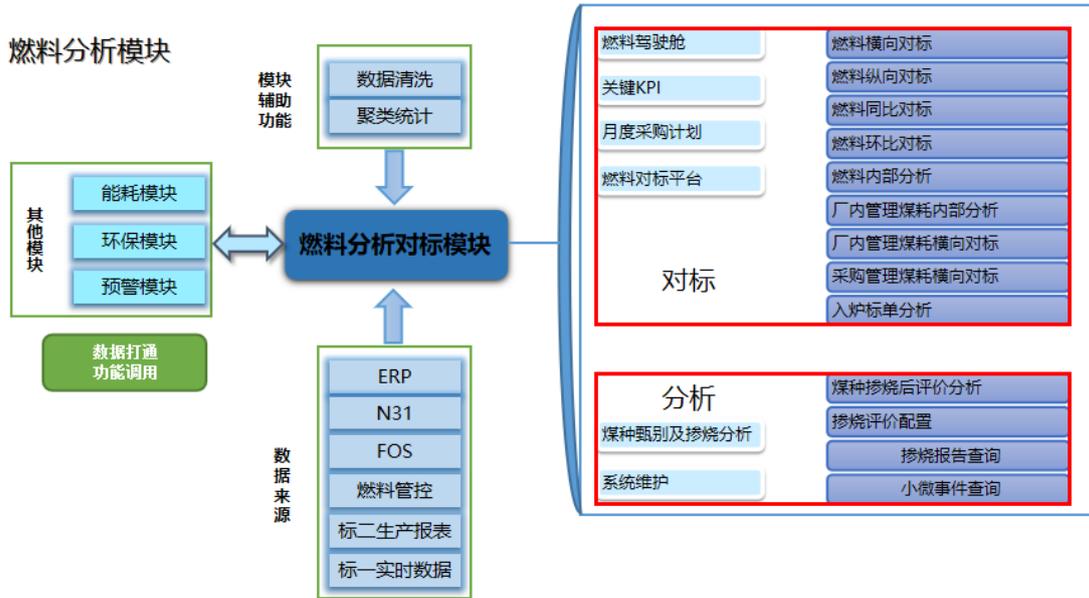


图 9 燃料分析模块技术方案

技术监控模块内部关系图

技术监控模块外部关系图

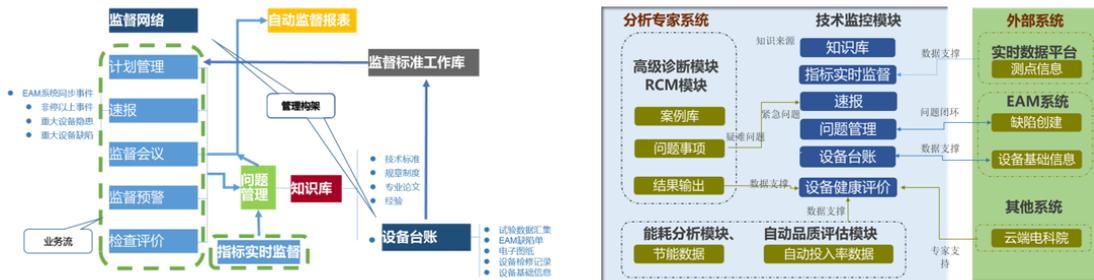


图 10 技术监控模块技术方案

大数据分析模块

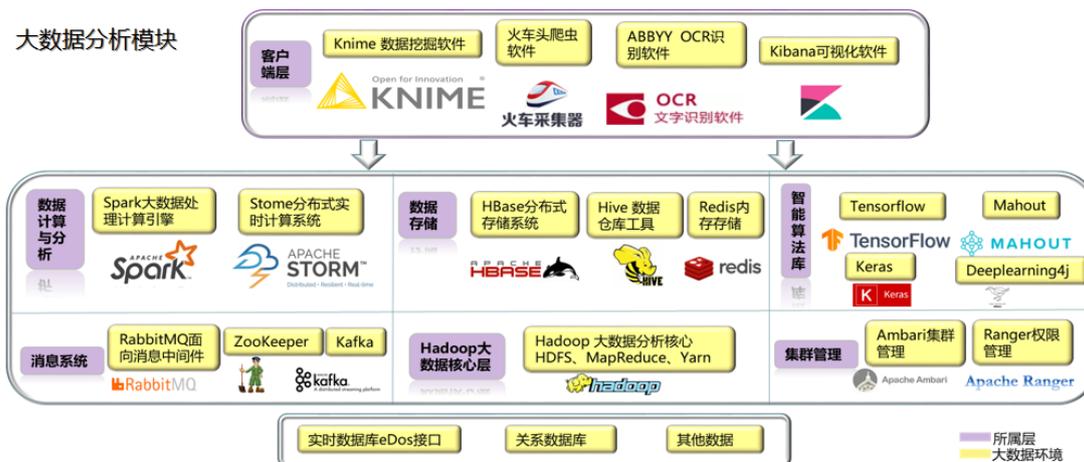


图 11 大数据分析模块技术方案

## 2. 关键技术及重点解决问题

## CSASS 系统重点解决的问题和采用的核心技术

项目重点解决的问题和采用的核心技术包括：

1、通过阈值调优算法及设备模型拆分降低预警系统漏报率、误报率，不断减轻人员工作强度；

2、通过 NLP、SDA 和规则诊断结合的方法，并不断丰富案例库，以合并诊断来提高诊断准确率；

3、通过多重数据重构方法提高性能指标计算的准确率；

4、通过自动回路在线闭环辨识方法建立控制回路仿真提高自动回路参数整定有效性；

5、通过基于实时对照的启停评价方法建立机组启停模型，评价机组启停过程；

6、通过采用粒子群（PSO）等算法对多级在线热负荷分配，满足多目标优化；

7、通过历史检修案例与在线数据结合的方法对火电设备可靠度在线计算，实现设备可靠度在线评估。

并且在后续逐步研究：

8、锅炉结焦预警建模技术；

9、基于故障模式的合并诊断技术；

10、基于历史数据挖掘的动态标杆寻优技术；

11、机组复杂回路在线闭环建模技术；

12、机组在线健康度评价技术；

13、设备模型自适应调优技术；

14、基于数据驱动与规则模型融合的在线诊断技术；

15、机组自动调节回路在线评估技术；

CSASS 系统采用当前人工智能领域的最新成果，融合自然语言处理、智能数据预处理、深度学习等技术，与传统的统计学算法、机理分析相结合，在机组可靠性与经济性两大主线所包含的诸多应用功能中，取得设备预警、高级诊断、以可靠性为中心的维护、数据重构、自动优化、负荷优化等多项行业内的技术突破，并以技术监控为抓手，实现技术与运营的深度融合。后续系统还将逐步迁移

到国际上先进的基于工业物联网工业云平台——MindSphere 平台上，建立实际物理设备与数字对象之间的映射关系，构建实际与虚拟世界的数字双胞胎模型，并以微服务和 MindApp 的形式将各业务功能迁移到 MindSphere 平台上。

### 3. 应用场景和应用效果

应用案例一：

CSASS 系统目前已完成目前 CSASS 项目数据采集与集中监测、系统集成与展示已完成华润电力九个大区共 28 家电厂 69 台机组的数据接入，形成了电力行业世界领先的实时大数据平台，形成统一的实时大数据平台，破除了项目公司间的数据孤岛。数据时间跨度涵盖了一个机组大修周期，并且与 SIS、ERP、FOS、财务预算等系统建立关系型数据库接口，接入项目公司现场测点、燃料、财务等数据。



图 12 数据集成与展示

通过设备预警、以可靠性为中心的维护、环保预警等功能提高设备安全可靠，探索状态检修及全周期寿命管理，取得初步成果。

通过燃料分析、能耗分析、负荷优化等模块对提高机组经济性，探索新技术路线对节能的促进作用，积累了相关应用经验。

通过自动优化、高级诊断、综合报表等实现了机组的灵活性提高，并降低现场工作人员劳动强度。

针对现场实际存在的痛点问题，采取了一系列突破性的技术创新，并取得

了初步的成果。如图 13 所示：

模块名称	难点	解决措施	技术创新
设备预警模块	降低漏报率、误报率	设备模型拆分、不断调优阈值	阈值调优算法
高级诊断模块	提高诊断准确率	丰富案例库，合并诊断	NLP、SDA和规则诊断结合
能耗分析、优化与诊断模块	提高性能指标计算准确率	数据重构	多重数据重构方法
自动控制回路优化模块	提高自动回路参数整定有效性	建立控制回路仿真	自动回路在线闭环辨识方法
技术监控模块	如何评价机组启停过程	建立机组启停模型	基于实时对照的启停评价方法
燃料分析模块	如何评价锅炉掺烧效果	分解掺烧评价指标	基于三维指标体系评价掺烧方法
负荷优化分配模块	如何满足多目标优化	采用粒子群 (PSO) 算法	多级在线热负荷分配方法
RCM模块	如何实现设备可靠性在线计算	历史检修案例与在线数据结合	火电设备可靠性在线计算方法

图 13 CSASS 系统取得的初步成果

应用案例二：

通过机器学习、深度学习 (SVM、GMM、RGMM) 等高级人工智能算法建立火电厂各设备、系统不同参数之间的关联关系，并形成实时预警监视，当设备或系统的参数出现与正常规律不一致的情况，产生预警，可以比人更早的发现一些设备早期的故障征兆，对于早发现设备故障、提早处理，防止问题扩大具有显著的作用。

目前设备预警模块已经对华润电力内部多家项目公司的设备早期故障提出了预警信息，模型误报率达到 30%以内，漏报率 0 次/年。防止了多起设备故障的扩大，避免了进一步的经济损失，为设备的可靠性提供了保障。

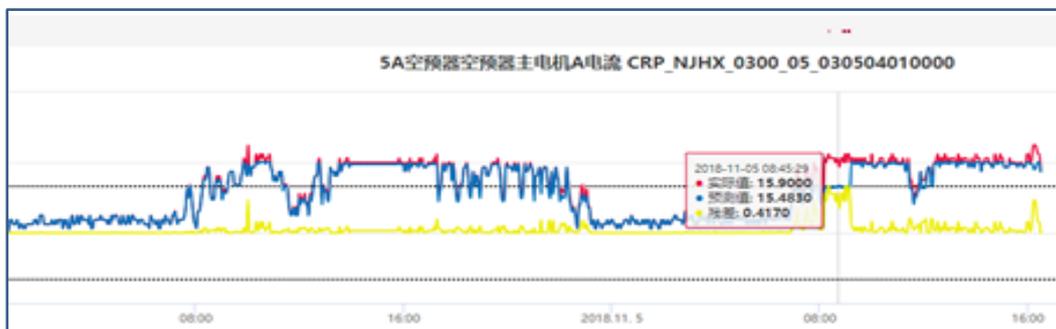


图 14 提前 8 小时发现空预器

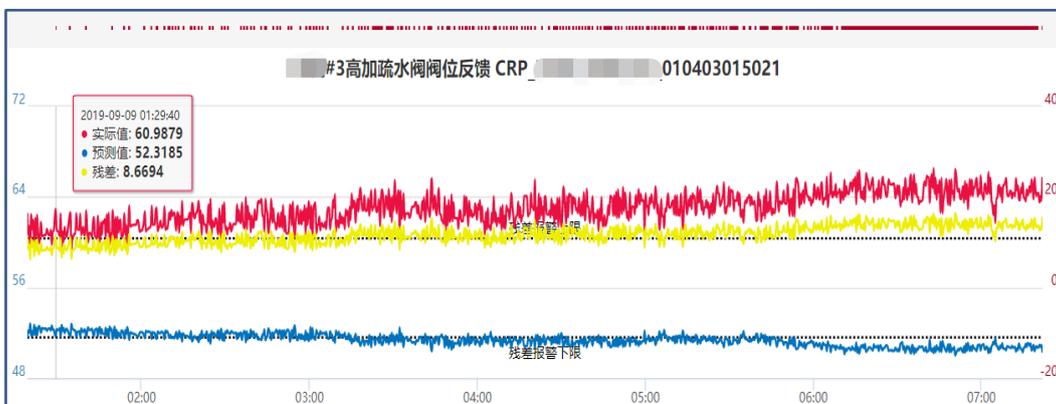


图 15 提前 6 小时发现#3 高加泄漏故障

应用案例三：

诊断模块应用：

### (1) 电机轴承温度高

南京化学工业园热电有限公司 2018 年 10 月 29 日从预警系统推送至诊断系统一条告警信息：“前置泵电机轴承温度高”，诊断系统根据告警信息推荐的案例中详细介绍了前置泵电机轴承温度高的主要原因与处理方法，用户参考推荐案例，判断轴承温度高的原因为润滑油过量，通过调整自动加油装置的加油频率解决了该问题，而这一案例也作为新的案例进入了知识库，当该问题再次发生时，诊断系统会立即推送该案例给用户，起到知识传承的作用，诊断过程参见图 16。



图 16 电机轴承温度高诊断案例

### (2) 低加疏水阀位反馈异常

告警描述：17#低压加热器正常疏水调节门阀位反馈高。

原因分析：负荷快速变化，凝结水流量快速变化，导致低加水位快速波动，低加正常疏水调节阀调节速率跟不上。

解决方案：

- ① 负荷变化时加强调整，减少凝结水波动。
- ② 关注低加水位跟踪情况，若正常疏水调节阀调节滞后，安排就地对调阀进行检查。
- ③ 做好事故预想，防止低加跳闸。

具体诊断过程参见图 17。



图 17 低加疏水阀位反馈异常诊断

(3) 一次风机轴承振动大

告警描述: 一次风机轴承 X、Y 方向振动大; 一次风机电机轴承 X、Y 方向振动大。

原因分析: 低负荷时两侧风机并列运行, 调整时偶有抢风现象, 导致振动小幅波动, 目前已正常。

解决方案: 运行人员在机组低负荷时, 加强对风烟系统设备的运行参数监视, 及时调整两侧风机运行风量。

具体诊断过程参见图 18。



图 18 一次风机轴承振动大

应用案例四：

通过制定各设备的拆解结构关系，失效原因分类，不同部件的可靠性寿命时间，检修成本等，并与实际检修记录相结合，建立以可靠性为中心的维护优化策略，通过调整和比对不同的检修方案，优化现有的检修策略，达到消除设备欠修，避免设备过修的目的，在整体保障设备可靠性的同时，降低检修费用。为设备的经济性提供了支撑。

机组费用概览		返回到索引
		#51循环水泵
维修 & 资源	¥/yr	283861.27
• 修复性维修(CM)	¥/yr	12487.50
▶ 维修费用	¥/yr	12487.50
○ 备件	¥/yr	0.80
201010102117循环-循环叶轮密封环 88LKXA-28.8-0022B	¥/yr	0.00
提供的平均零件数		0.0045
采购费用	¥/yr	0.00
000000000000-循环-叶轮	¥/yr	0.00
提供的平均零件数		0.0013
采购费用	¥/yr	0.00
201010102687循环-循环轴套 XB16B-2006-245-1	¥/yr	0.00
提供的平均零件数		0.0003
采购费用	¥/yr	0.00
201010102688循环-循环填料轴套 XB17-2006-245	¥/yr	0.12
提供的平均零件数		0.1188
采购费用	¥/yr	0.12
000000000000-循环-连接键	¥/yr	0.08
提供的平均零件数		0.0765

图 19 调整循环水泵的检修项目，对检修费用进行优化

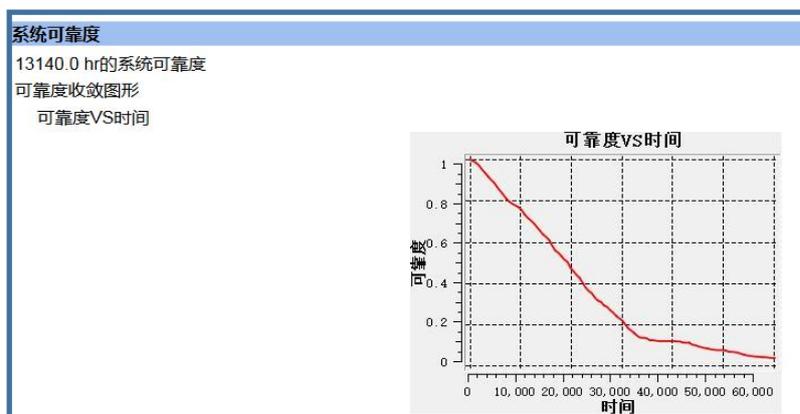


图 20 对比优化后的设备可靠度随时间变化的关系

应用案例四：

通过建立热控调节回路模型，对电厂的控制回路参数进行在线辨识及优化，实现解决调节回路无法投入或调节效果不佳的问题。使机组调节更迅速、准确，提高机组的安全稳定性、经济性与灵活性。



图 21 优化前与优化后的调节性能变化，调节更迅速准确

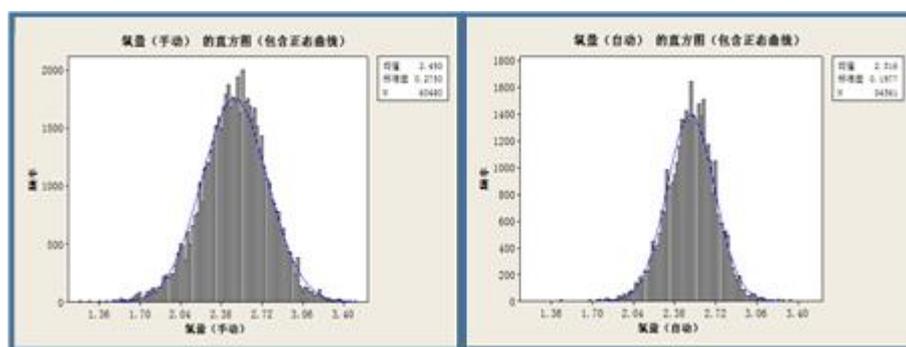


图 22 优化前后的氧量分布，优化后氧量控制更准确

应用案例五：

负荷分配采用粒子群算法对负荷进行优化分配，从而获得最优的负荷分配，现阶段各厂采用等微增的方式对负荷进行分配，但等微增方式无法对多个优化目标进行分配输出，且要求分配函数单调，容易陷入局部最优，粒子群算法则可以实现多目标优化，且能够更大限度的寻找到全局最优。针对江苏电网暂不能实现厂级电负荷调度情况，专门开发了锁定电负荷，分配热负荷的优化模式，以满足供热机组节能要求。负荷分配模块还可根据大区各机组进行自定义配置，灵活划分机组群，以实现负荷的灵活分配。

实时负荷分配模块 2019 年 8 月 22 日在化工园的#4 和#5 机组进行了实时负荷分配的试验，分别进行了单机电负荷 210MW、230MW 下供热负荷转移的实时负荷优化效果验证。试验效果如下表所示，结果表明：扣除供热变化因素，优化节能量折合标煤 1.8t/h，210MW 下供热负荷转移的试验结果，优化后的约合全厂发电煤耗下降 4.25g/kWh，230MW 下供热负荷转移的试验结果表明，优化后的约合全厂发电煤耗下降 2.05g/kWh。实际节能量根据负荷、工况不同，较平均

分配有 1~5g/kWh 的下降。

第一次验证	单位	#4机组		#5机组	
		调整前	调整后	调整前	调整后
电功率	MW	211.5	211.5	212	212
一级供热流量	t/h	84.2	131.3	113.9	69.9
二级供热流量	t/h	69.9	109.9	166.7	156.3
机组平均热耗率	kJ/kWh	7935.9	7580.6	7717.0	7481.5
机组发电煤耗	g/kWh	292.14	279.30	285.57	276.48

图 23 第一次验证图

第二次验证	单位	#4机组		#5机组	
		调整前	调整后	调整前	调整后
电功率	MW	230.5	230.5	230.3	230.2
一级供热流量	t/h	98.2	133.7	96.3	62.4
二级供热流量	t/h	74.6	118.5	168.3	130.7
机组平均热耗率	kJ/kWh	7686.6	7322.2	7328.57	7585.1
机组发电煤耗	g/kWh	283.15	270.53	270.99	280.85

图 24 第二次验证图

应用案例六：

CSASS 技术监控模块收录现行常用技术监督标准 851 项，和 ADS 模块共享经验 2668 条，为用户提供快速高效资料支撑。辅助项目公司完成线上问题闭环管理 1805 项。完成线上重要离线数据报告填报共 1079 项。项目公司进行线上技术监督活动或会议共 628 次，完成会议待办任务建立和跟踪 105 项。

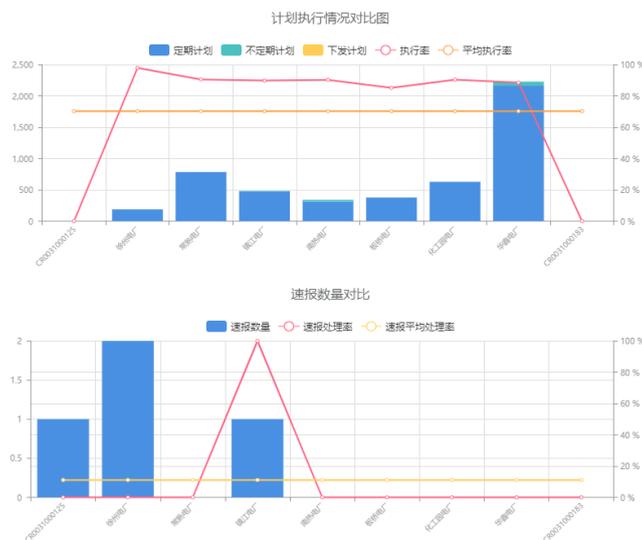


图 25 计划执行情况对比图及速报数量对比

## 三、下一步实施计划

### 1. 计划 1

后续系统还将逐步迁移到国际上先进的基于工业物联网工业云平台——MindSphere 平台上，建立实际物理设备与数字对象之间的映射关系，构建实际与虚拟世界的数字双胞胎模型，并以微服务和 MindApp 的形式将各业务功能迁移到 MindSphere 平台上。

### 2. 计划 2

将推广 CSASS 至华润电力全部大区，实现作业网络协同化，监督管理统一化，数据创值智能化，提升华润电力整体效益和效率。

### 3. 计划 3

目前已对现有 2400 多个预警模型进行归纳、分析，总结出相对标准化的设备模型，可作为以后扩展电厂的建模的指导，提高建模的质量、速度，便于新建机组建模人员的水平快速提高。同时随着更多电厂人员加入预警建模工程，将预警模型的标准化工作持续推进，实现模型质量的螺旋式上升，持续改善模型质量，以更好地服务于现场生产过程的智能化监测。

## 四、项目创新点和实施效果

### 1. 项目先进性及创新点

1、企业级工业互联网大数据平台，实现海量数据采集、处理、分析、存储、展示一体化。

2、CSASS 项目整体基于先进的工业物联网云平台-MindSphere 平台构建，拥有开放的标准和接口，供用户进行数据的深度分析和价值提炼。

3、突破传统技术监督局限，在线监督国家、行业标准的执行情况，创新性地融合 CSASS 各功能模块输出，实时监测和分析与关键设备健康有关的参数、指标，保障火电机组安全、优质、经济运行。

4、技术进步带动管理理念的创新，构建智能智慧电厂。

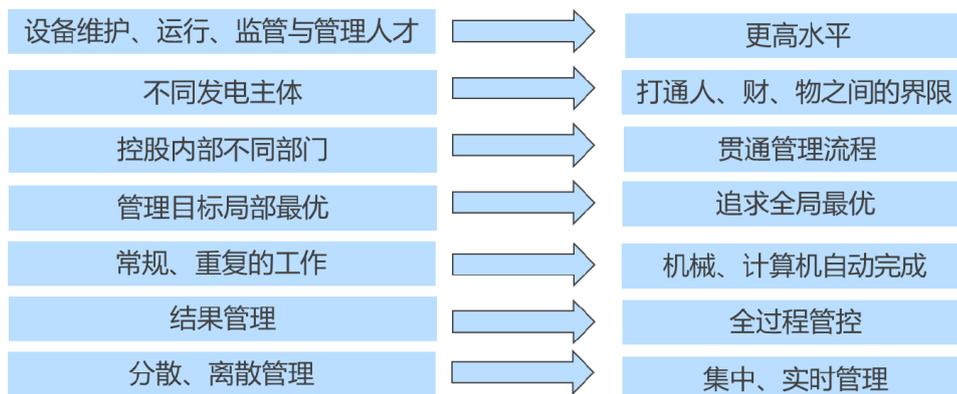


图 26 管理理念的创新

5、整合现有资源，形成统一互联网平台，完成数据驱动、功能融合的统一管控、整合原有系统并开发统一系统、实现集团级智能化电厂的解决方案、电厂虚拟化指导生产。

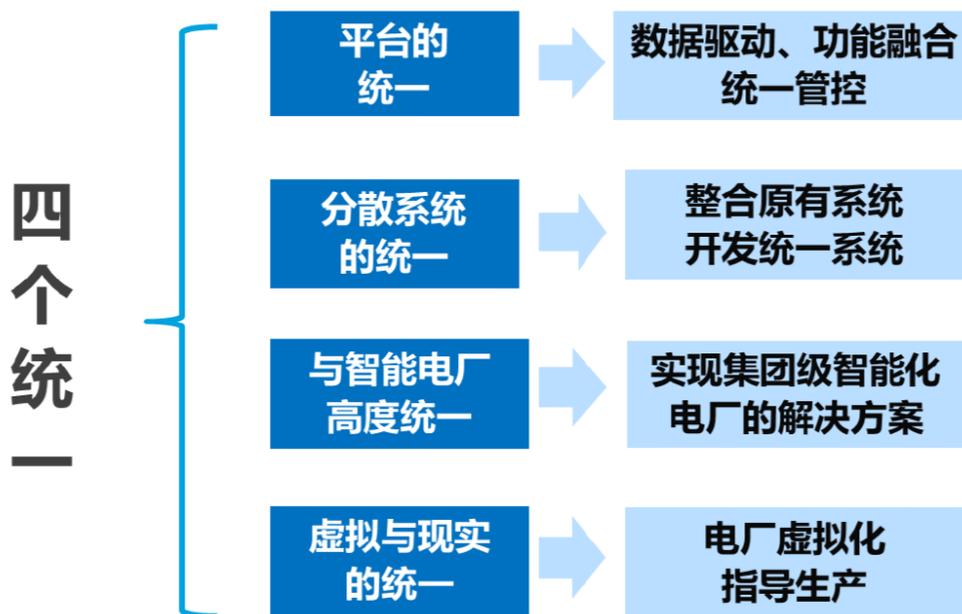


图 27 四个统一

## 2. 实施效果

### 一、应用效果

#### 1、提高设备运行可靠性：

保证生产稳定可靠是第一要务，设备预警模块模块采用多种人工智能算法，利用正常运行的历史数据建立预警模型，当数据间联系发生异常时就预示

着故障的可能性。它的优势在于能比人更早地发现潜在的问题征兆，并能总体提前预警 1 小时至数天，为调整与处置或者提前准备检修创造条件，避免故障扩大，造成更大的损失。

预警模型搭建趋势模型超 2400 个，规则模型 1000 个，模型上线率达 90%，误报率 30% 以内，故障漏报率为 0，形成预警报警信息 25 万条，正确预测设备劣化超 550 例以上，其中化工园、南热、铜山等项目公司成功的预测出空预器密封片碰磨、高加泄漏、旁路泄漏、疏水阀内漏、空预器堵塞、振动异常、轴承温度异常等早期劣化现象，将设备异常消灭在萌芽状态。正确预测较大设备劣化超过 500 例；诊断系统知识库案例数量超过 2600 个，形成规则数量 750 个，理论上可诊断 278 种设备故障；预测 22 类设备可靠性的发展趋势。

(1) 减少键盘人员，降低劳动强度，预警模块实现辅助键盘功能，可减少每年每家项目公司运行人员 1 人。

(2) 减少设备的检修及备件费用。预警诊断模块 2019 年在江苏大区共提前预警 500 多次事故隐患。

(3) 减少机组非计划停运次数。江苏大区 2018 年非计划停运次数 8 次，2019 年非计划停运 5 次。

除了发现潜在的问题外，系统还希望能够帮助技术人员进一步找出“病因”并开出“药方”。高级诊断模块中采用了自然语言处理（NLP）、词向量、传感器数据分析（SDA）等智能诊断技术的最新成果，以“中西医结合”的方法实现对故障的诊断，并推荐以往处理方案。目前的诊断成功率超过 85%，通过诊断系统的应用，形成华润电力统一的知识库，使知识得以分享和传承。

既要保证系统可靠性，又要降低检修费用，是 RCM 模块所需要解决的问题。模块采用统计方法对检修历史数据分析，结合设备结构分析不同故障的可能性和设备总体可靠性，并能够采用模拟的方法计算不同检修方案的费用及可靠度变化情况，以风险矩阵的方式提示不同检修方案处于的欠修或过修状态，为设备检修提供量化的数据支撑。

通过对给水泵在线模拟不同的检修方案，按照风险矩阵的提示状态，发现在现有的检修方案基础上，还可以进一步优化检修策略，实现更好的综合经济效益。

## 2、经济性：

通过经济性线相关模块实施与应用，一方面降低江苏电网的考核费；同时，江苏大区各项目公司煤耗普遍下降，循泵优化模型为每家项目公司带来节能收益约 20 万元/年。低省优化模型为一台 60 万机组降低煤耗 0.2g/kWh。建立对标或优化模型近 10 类，其中 4 类已产生明显效果。其中板桥减温水优化模型投运后，煤耗下降 0.7g/KWh，化工园负荷分配优化模型，煤耗下降 4.25g/kWh。

经济性的基础起源于能耗分析模块，模块通过统一算法，给出各机组较为全面的实时能耗数据，并向其它模块输出。模块提供了灵活开放的二次计算能力和全面的对标能力，为项目公司提供能耗横向、纵向对标工具及问题深入分析的手段。已在多机组供热分配优化、循环水泵运行优化等问题上取得较好的效果。

经济性更大的效益空间来自未来的电力现货交易，负荷优化模块提前为这一趋势而准备，模块通过大数据挖掘产生机组历史能耗规律，结合机组电、热负荷的可运行区域及安全、环保约束条件，对不同机组的电、热负荷分配方案进行在线优化。通过对大量历史数据的分析，某一供热机组按照优化后的热负荷分配方案，进行实际切换，并由在线能耗计算发现能耗降低约 1%。

燃料分析模块提供不同项目公司的燃料对标平台，通过对关键燃料指标的对比，促进燃料管理水平提高。同时，通过采集各模块的安全、环保、经济数据，建立各机组的不同掺烧方式的事后评价档案，帮助项目公司积累经验，优化掺烧方案。

### 3、响应快速性：

改善各机组自动回路投运效果，提高 AGC 变负荷率；自动生成生产需要的各类报表，提高工作效率；实时制定设备检修策略，能更快出具故障诊断方案。机组自动投入率从 82%提升到 89%，提高机组自动化水平，使机组调节更灵活快速。提前数分钟至数天发现设备或系统存在的隐患，快速发现设备异常。快速获取全控股专家经验，迅速给出故障原因以及解决方案。

#### （1）机组反应的快速性

技术监控模块将传统的技术监督工作与线上数据相结合，创造性地提升了固有的技术监督模式。模块提供专业知识、资料支持；自动生成各项监督任务并实现全程管理；通过采集数据完善监督指标数据和实时告警体系；通过捕捉

重点指标，在线分析重要设备的劣化趋势状态；在线比对优化机组启动过程数据，在保证启动安全性的同时，控制启动消耗；建立设备健康档案，实现设备全寿命周期健康管理。保证机组处于健康状态，随时准备应对升降负荷。一方面，提高项目公司运行水平，另一方面提高机组设备监测维护水平。

利用能耗模块搭建不同设备配合模型，合理切换设备，提升现场人员操作水平，提升机组反应速度。利用自动模块提高机组自动投入率，使机组使机组自动化水平，使机组调节更灵活快速。

### （2）运营效率的快速性

企业级工业互联网大数据平台，实现海量数据采集、处理、分析、存储、展示一体化。自动报表、自动报告等减轻日常的工作量。对标工具、自定义组件等加快用户的使用效率。CSASS 平台多个远程离线试验平台，用户可以利用工具快速获发起试验并得出结果。自动生成工作任务计划功能、系统间自动流转。

### （3）售电反应的快速性

系统已经和后续的售电等环节对接，从一开始就考虑到了相关信息化的共享与打通。准确、及时计算生产成本提高机组响应快速性，并给售电云提供全面支撑，为开拓电力市场打牢基础。

通过系统快速计算每台机组每个项目公司的度电成本，缩短成本核算周期，为售电市场开辟提供有力支撑，提高对市场变化反应的快速性，有效提高售电的竞争力。

## 4、运营管理水平：

建立项目公司与控股之间线上实时业务通道，提升管理效率 50%左右；CSASS 已辅助项目公司完成线上问题闭环管理 1805 项，降低了管理成本。建立了规范的工作标准与流程，全控股共享的知识库、策略库、案例库，辅助运营管理智慧决策。构建数据中心，便于数据统一管理监控。CSASS 各功能与现场岗位职责相结合，形成 CSASS 标准应用场景，并结合日志对系统使用人员进行监督管理。无人干预下发现技术监督隐患，并依托平台实现问题的闭环管理，降低管理成本。

### （1）认知与应用深化

通过认知培训、操作培训、实际应用、使用验证、理论培训、使用优化提

升项目公司用户管理水平、技术水平。

### （2）组织与管理的探索

以预警模块为例，通过实践+经验分享模式探讨，统一采用专工+模型主人的管理方式，让具有技术高度、模型统一有责任人落实、模型具有生命力。

### （3）克服固有习惯

采用管理指标、激励机制、员工培训三种方式克服一些固有的习惯。

管理指标包括案例、经验贡献量、预警诊断问题处理及时率、自动投入率、设备性能指标。

激励机制包括展示工作标兵、树立学习标杆、量化工作、物质奖励、模型经验冠名实施精神鼓励。

员工培训包括副监控中心培训、项目公司分模块，分阶段培训、项目公司全员培训等。

### （4）管理路径缩短

以往技术信息获取通过异常发生-运行人员确认-专业获知及确认-领导获知及指挥-控股、大区获知的方式。通过 CSASS 系统，信息获取方式得到优化，各级可根据权限不同及时有效获取信息。通过系统的自动获取、处理及分发，管理者可以更快速的获取到各项目公司的生产技术数据、状态等信息，提高了管理层获取重要信息的便捷程度，较之以往的逐级信息传递更快速，能够帮助对现场的管理更全面、更扁平。

## 二、综合效果

分析专家系统功能来源于机组实际运行需求，能有效提高设备运行的可靠性和经济性，提高运营响应的快速性。

**预警模块：**全面、全时监测、预警，提前发现设备运行隐患。

**高级诊断模块：**在线分析预警原因，制定对策。

**以可靠性为中心的检修：**优化检修策略，减少检修费用。

**能耗分析模块：**设备性能计算，性能劣化分析、诊断，运行优化指导。能耗计算实现线上试验比对，试验工况计算精度小于 1%，并验证了标杆库的有效性。实时分析电网辅助服务指标，帮助项目公司减少考核损失，提高经济效益。采用仿真优化的技术路线替代人工经验，实现控制回路参数优化。

**自动模块：**提高自动控制回路调节品质，参数稳定，达到设计值；提高机

组变负荷性能，减少两个细则（一次调频、自动发电控制（AGC））被考核量）。提高自动控制回路调节品质，提高机组变负荷性能，在辅助服务中创造更大价值；为电力市场竞争提供强大支撑。

负荷优化模块：区域、厂内电负荷、热负荷优化调度，减少整体煤耗。

燃料分析模块：指标对比，降低管理煤耗；在线评价掺烧方案；给燃料采购提供耗用量预测。

技术监控模块：在线监督、评价生产过程主要参数和指标，数据、指标准确、及时，提高运营决策快速性。在线监督、评价生产过程主要参数和指标，避免设备故障。突破传统技术监督局限，在线监督国家、行业标准的执行情况，创新性地融合 CSASS 各功能模块输出，实时监测和分析与关键设备健康有关的参数、指标，保障火电机组安全、优质、经济运行。

（1）本产品的应用，为发电行业设备状态监测与故障诊断专家系统的应用提供了一个标杆，特别是基于大数据机器学习算法（GMM、RGMM、SVM 核心算法模型）改变了传统的依靠人员管理经验进行设备状态监测与故障诊断，在系统使用过程中专家经验得到继承与发展。

（2）发电部、技术支持部专工对于设备状态监测的实时性提高，及早发现设备隐患，并通过运行调整、设备维护、设备检修等快速反映提高隐患处理的周期，避免异常的扩大，较少检修的工作量，工作效率得以提高。

（3）帮助火电厂提高了设备劣化、缺陷监测与故障诊断水平，从而提高发电设备的可靠性，减少机组非计划停运事件的发生。

（4）构建了火力发电行业的知识库，使得专家经验得以继承与发展，为后续人才培养提供了丰富的案例资源。

CSASS 系统已汇集华润电力火电项目多年生产实时数据，形成了统一大数据平台，体现了工业互联网发展方向。通过汇集各系统不同数据，建立统一、标准的指标库，采用商业智能技术，通过图形化分析工具，实现快速智能分析。

CSASS 系统采用当前人工智能领域的最新成果，融合自然语言处理、智能数据预处理、深度学习等技术，与传统的统计学算法、机理分析相结合，在机组可靠性与经济性两大主线所包含的诸多应用功能中，取得设备预警、高级诊

断、以可靠性为中心的维护、数据重构、自动优化、负荷优化等多项行业内的技术突破，并以技术监控为抓手，实现技术与运营的深度融合。