

# 案例 1

浙江省能源集团有限公司、太极计算机股份有限公司

主标题：基于工业互联网的能源生产调度中心

副标题：煤炭供应及燃烧优化、闭环应急能力建设

## 目 录

引 言.....	1
一、项目概况.....	3
二、项目实施概况.....	5
三、下一步实施计划.....	12
四、项目创新点和实施效果.....	14

## 引 言

---

浙江省能源集团有限公司成立于 2001 年，总部位于中国杭州，主要从事电源建设、电力热力生产、石油煤炭天然气开发贸易流通、能源服务和能源金融等业务。截至 2018 年 7 月，浙能集团在职员工 23000 人，其中本科以上学历占 46.9%，中高级职称占 18%。总资产 2005 亿元，所有者权益 1067 亿元；控股浙能电力和宁波海运两家 A 股上市公司，管理企业 200 余家。通过近几年的发展，浙能集团已形成由电力、天然气、石油、煤炭及运输、可再生能源、能源化工组成的能源主业，以及由金融产业和能源服务业组成的支持性产业，集团已成长为全国资产规模最大、能源产业门类最全、盈利能力最强、电力装机容量最大的省级能源企业，成为集电、煤、油、气、冷、热等多能为一体的综合能源供应服务商。

太极股份致力于“做中国最优秀的数字化服务提供商”，率先推出 TECO (Taiji Energy Cloud Ec0system) 工业互联网平台，牵手众多的生态合作伙伴，面向工业行业和企业价值需求，提供工业互联网业务顶层设计、平台建设、工业大数据服务、算法模型开发、云平台运营等服务，多年来电力、钢铁、煤炭、化工、军工制造等工业领域有着众多的客户、丰富的业务实践和案例。

随着浙能集团能源产业规模的快速扩张，对集团生产安全工作信息化提出了更高要求，建设以生产数据为基础的调度中心，实现生产实时监控、设备运行优化、产业链协同、应急指挥等功能，是集团保障生产、安全、提高竞争力的重要抓手，也是展示生产经营、改革发展成果的重要窗口。另一方面，云计算、大数据、物联网、移动计算、人工智能等信息技术飞速发展，工业互联网平台技术在国内外能源企业已成功实践。

在此背景下，2018 年，浙江省能源集团委托太极计算机股份有限公司开展浙能集团调度中心建设，采用太极 TECO 工业互联网平台技术，以全面保障生产安全为重要基础，以生产优化、应急调度指挥中心应用为抓手，建设形成“一级调度多级联动”的“一体化调度指挥体系”，旨在提升浙能集团生产、安全管理水平和效率，并助推浙能集团“数字浙能”的全面建设。

本项目在工业大数据、云计算、工业应用、工业设备数据采集、工业设备机理模型、人工智能、可视化 BI 等层面具有深厚的技术积累和丰富的实践经验。通过探索新技术应用，逐步构建“数据-信息-知识-智慧”完整的信息价值链，推进生产调度和安全管理工作的数字化、精益化和智能化，为建设“数字型”浙能集团创造条件。

## 一、项目概况

项目以浙能集团现有及未来业务战略发展为导向，借鉴国内相关能源行业生产调度及应急指挥的最佳实践，建设浙能集团调度中心，以搭建工业互联网平台为基础，建设生产安全监控和应急指挥系统，实现煤炭供应链和锅炉燃烧优化等生产调度优化应用以及闭环的应急能力建设应用。

### 1. 项目背景

当前，我国经济已步入新常态。在新常态下，科技创新已成为能源企业提高竞争力的重要抓手，为此，国家也陆续出台了“互联网+”、“两化融合”、“中国制造 2025”等国家战略。

浙能集团深入贯彻习近平总书记“四个革命、一个合作”的能源战略思想和“五大发展”理念，深入推进“能源立业、科技兴业、金融富业、海外创业”的“四业”发展路径，调整结构、补齐短板，抢抓机遇、开拓进取。在浙能集团“四业”发展的战略转型过程中，保障生产、安全是其中的重要基础环节，建设以生产数据为基础的生产调度中心，实现生产监控、供应链协同、设备运行优化、应急指挥等功能，是集团保障安全生产、提高竞争力的重要抓手，也是展示生产经营、改革发展成果的重要窗口。目前，云计算、大数据、物联网、移动计算、人工智能等信息技术飞速发展，工业互联网平台技术在国内外能源企业已成功实践。在此背景下，基于工业互联网的浙能集团应急调度指挥中心已具备建设条件。

### 2. 项目简介

项目基于工业互联网平台，建设了覆盖集团全产业、生产各专业的纵向贯通、横向协同的生产安全监控系统和应急指挥系统，实现了煤炭供应链调度和燃烧优化应用以及应急管理全流程应用等创新型应用。项目简介如下：

(1) 搭建工业互联网平台，汇集全量生产实时和历史数据、生产相关的管理数据和外部数据，建立海量数据的采集、汇聚、治理、存储、分析、访问和管理的大数据服务体系；提供开发平台和应用市场平台，支持算法、模型、应用的二次开发和集成，为开展应用提供平台支撑。

(2) 实现各产业重要指标、运行参数和生产工艺流程的实时在线监视，提

供综合展示、生产运行监控、安全监控、环保监控等功能，开展煤炭供应及燃烧优化等生产调度和工艺优化应用的建设。

(3) 实现覆盖突发事件的预防、准备、响应、恢复的整个应急全流程的闭环应急能力建设应用。统一接报、收集公司系统各类突发事件信息，统一向集团公司系统发布预警信息，提供事态影响分析、预案推演与应急演练、视讯指挥调度、数字预案、资源共享调配、应急评估和案例归档等功能。

### 3. 项目目标

以集团现有及未来业务战略发展为导向，参考各行业生产调度及应急指挥的最佳实践，采用工业互联网的视野及思维，引入大数据分析挖掘等技术，充分利用和整合现有资源和数据，以安全生产监控和应急指挥为应用方向，实现设备运行监控、综合分析、产业协同、性能优化、风险布控、研判会商、指挥调度、应急演练等主要功能。通过本项目的实施，降低企业生产运行成本，提高生产安全管理水平和管理效率，同时提升浙能集团整体智能化水平。

## 二、项目实施概况

本项目采用物联网、云计算、大数据、微服务等工业互联网平台技术，汇集集团下属各产业约 200 余家生产企业的生产实时数据和生产相关经营管理数据以及外部的气象、船舶 AIS、煤炭价格数据，建成集采集、治理、存储、分析、访问为一体的工业大数据中心和工业 PaaS 平台；并基于工业互联网平台，开发了生产安全监控系统、应急指挥系统。其中，采用基于大数据的机器学习算法，解决了煤炭供应链优化、锅炉燃烧优化等生产优化问题，降低企业运行成本，提高企业经营效益；建立了集自动监测预警、智能研判、科学调度、评估完善等为一体的应急管理应用，初步实现了闭环的应急能力建设体系，提高了企业安全管理水平。

### 1. 项目总体架构

浙能集团调度中心采用分布式、多层体系架构，自顶向下分为展示层、业务应用层、平台层、基础层、接入层（采集层），建立在统一的标准规范体系、安全管理体系、运维保障体系下。

系统总体架构图示如下：



图 1 系统总体架构图

### (1) 数据源层

通过数据接入服务，适配 Pi、OPC、modbus 等设备协议，接入不同来源、异构的生产实时数据；通过 ETL、Webservice 接入 ERP、安健环等经营管理数据；通过 http、爬虫等接入气象、煤价等外部数据。

### (2) 基础设施层

基于集团现有私有云环境为项目提供网络、服务器、存储以及系统软件（操作系统）支持。

### (3) 平台层

建立浙能集团生产大数据中心和工业 PaaS 平台。生产大数据中心由时序数据库、MPP 数据库、HDFS 等组成；工业 PaaS 平台由数据建模和分析、GIS 平台、应用开发和微服务框架、微服务组件、应用市场组成。

平台层提供数据采集、治理、分析、访问、管理等数据服务，提供数据建模、算法分析、可视化等服务，基于微服务架构支撑能源工业领域模型、深度应用、个性化应用的开发和运行，提供应用市场支撑算法、模型、应用的二次开发/集成、共享。

### (4) 业务应用层

应用层：包括实时监测、产业协同、性能优化、运行分析、环保分析、节能分析、可靠性分析等生产监控应用，包括风险防控、监控预警、预案管理、应急演练、分析研判、辅助决策、指挥调度、应急评估等应急管理应用。

### (5) 门户层

提供大屏、桌面、移动多种门户；提供应用市场，支持数据、算法、模型、应用的分享和运营。

## 2. 项目物理架构

项目物理架构图示如下：



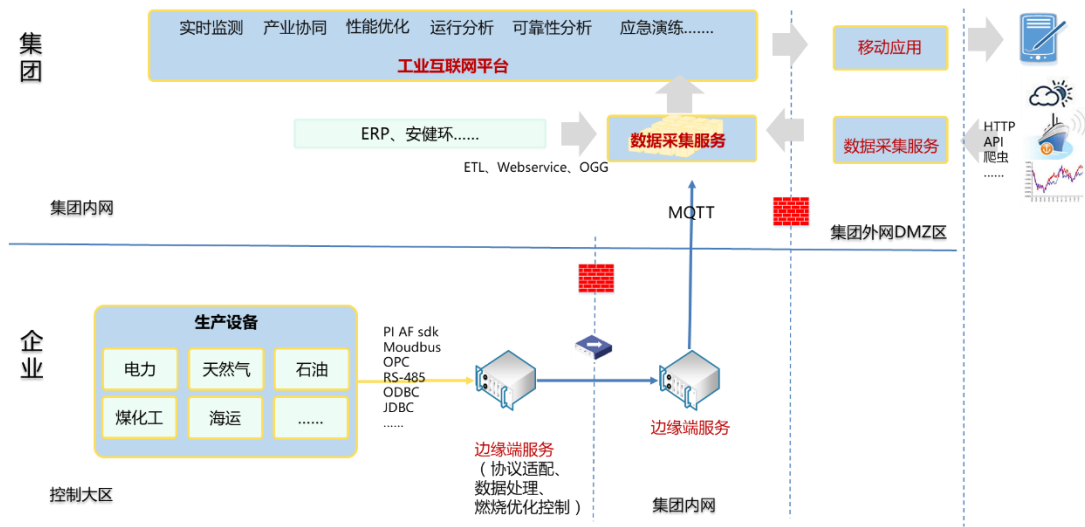


图 2 物理架构示意

工业互联网平台和生产安全监控、应急指挥系统部署到集团数据中心，分为集团内网、外网两部分。外网部分部署到集团安全隔离 DMZ 区，面向移动用户提供 APP 服务。

在集团工业互联网平台中，部署数据采集服务，接入内网的 ERP、安健环等经营管理类数据，接入通过单向隔离网闸摆渡的生产实时数据和外部数据。通过企业端部署的边缘端服务安全地采集生产实时数据；通过外网 DMZ 部署的数据采集服务，安全接入外部的气象、船舶 AIS、煤炭价格指数等数据。

### 3. 具体应用场景和应用模式

#### (1) 热电全流程智能协调优化（生产工艺优化方向）

在项目中，开展了燃煤电厂燃烧装置的自动优化控制研究，实现了热电全流程智能协同优化。通过优化，使燃料充分燃烧，低氮燃烧，在一定程度上抑制污染物的排放，降低污染物后处理费用；降低产汽煤耗或发电煤耗，显著提高生产效率。

##### ① 问题提出

在锅炉热效率损失中，主要因素包括：排出烟气所带走的热量、化学不完全燃烧热损失、机械不完全燃烧热损失，见下图通用燃烧曲线：

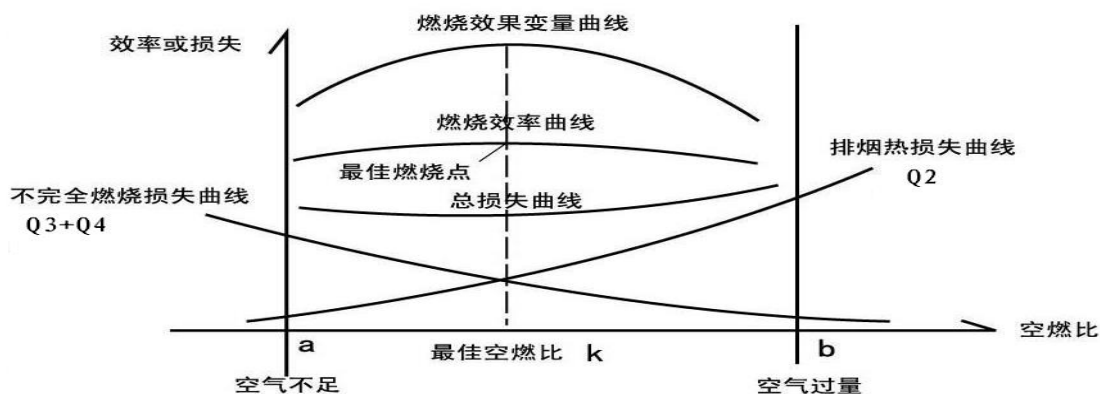


图 3 通用燃烧曲线

因此，我们重点针对这些主要因素开展优化工作。

##### ② 解决方案

通过以下路径，进行优化设计：

保证燃烧装置负荷稳定的情况下，寻找最少的燃料消耗（燃料优化）；

在燃料的热值、水分发生变化的情况下，寻找最匹配的助燃风量（风量优化）；

在负荷、设备性能发生变化的情况下，寻找最佳的控制点（控制点优化）。

### ③ 采用技术

基于先进的动态专家系统、燃烧效果软测量模型、多维动态优化模型以及大系统协调优化技术等实现了锅炉侧负荷快速响应与稳定功能、最少燃料量和最佳二次风量自寻优及滚动优化功能、最佳负荷自动分配以及运行炉与调节炉的自动转换功能等。优化模式下的负荷控制点（多炉母管制系统）、床温控制点、氧含量控制点、二次风量控制点等随工况而浮动。

### ④ 模型构建和应用模式

图示如下：

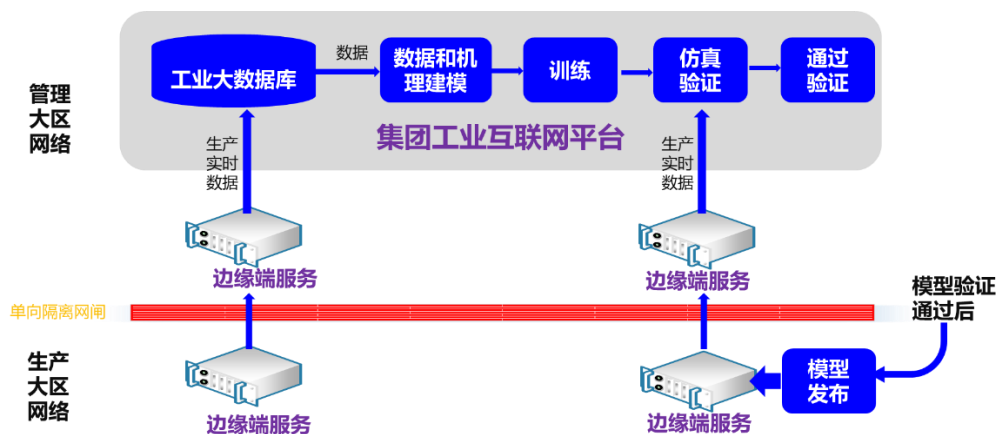


图 4 模型构建和应用过程

边缘端服务负责采集生产实时数据（负荷、给煤量、主蒸汽压力等），并通过单向隔离网闸接入数据到集团工业互联网平台。在集团工业互联网平台端，基于历史和新增生产实时数据进行建模和训练；并通过仿真手段，与实时数据进行比较验证。一致时，表示通过验证。

当模型验证通过后，在边缘端发布模型，启动锅炉燃烧优化控制程序。

### ⑤ 优化结果

煤量优化爬山图：寻找最少的燃料量

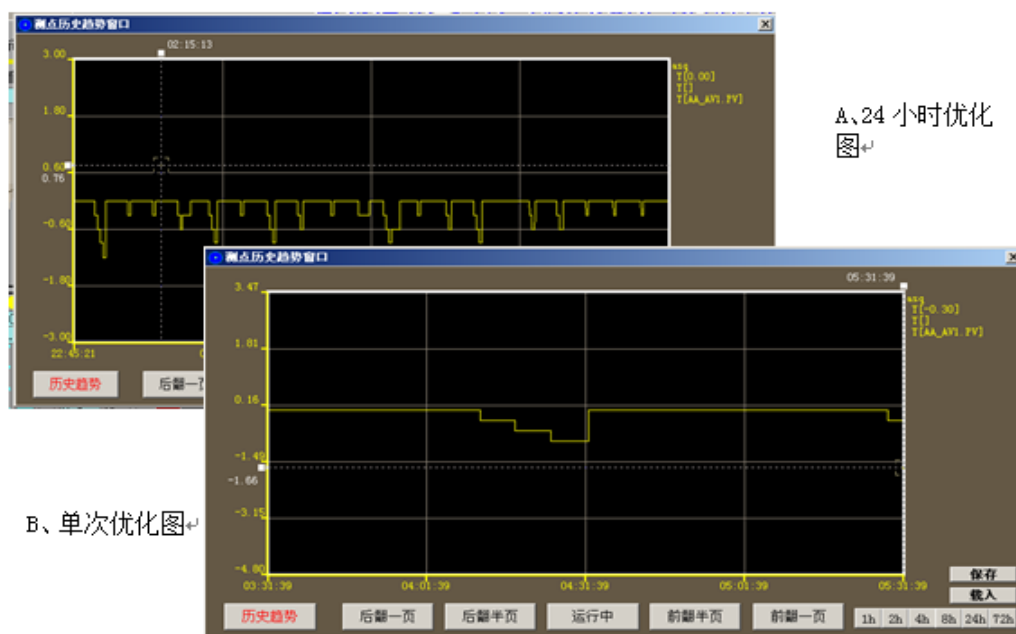


图 5 煤量优化爬山图（寻找最少的燃料量）

风量优化爬山图：寻找最佳的风煤配比

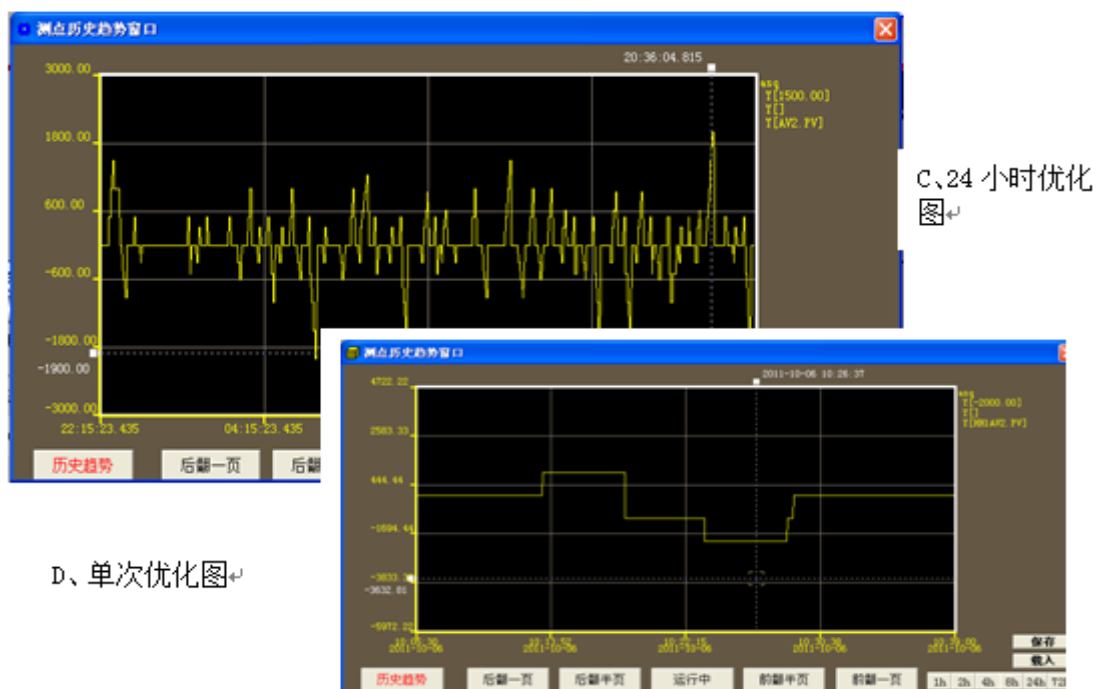


图 6 风量优化爬山图—寻找最佳的风煤配比

(2) 打通集团各产业链，实现煤电供应链的协同优化

由于煤电企业的特殊性，一方面，煤电生产对煤炭安全库存提出较高要求，另一方面，电煤成本占燃煤电厂发电成本在 80%左右。因此，为降低企业电煤资

金占用，提出优化需求：优化煤炭供应链，实现集团电煤的最优库存。

在集团产业板块中，煤炭产业板块负责集团核心电力主业的上游延伸业务，依托旗下营运企业在港口、岸线、市场、海运资源优势和管理优势，负责煤炭采购、运输、煤检、储存、掺配、港口码头及中转设计管理，并在满足集团对电煤安全库存要求的前提下，开展煤炭的市场化销售工作。因此，煤炭供应链优化即优化煤炭产业各企业的生产调度流程，基于最优库存形成各企业的最优生产调度计划。

上述问题是一个典型的多目标调度优化问题，采用基于大数据的多目标优化的动态规划模型实现。

输入：1) 煤炭库存，包括各电厂煤炭库存、港口堆存及海运船只在途库存；2) 企业生产计划和能力，包括各燃煤电厂的发电计划、运力（海运、内河运输）、港口泊位和堆存能力、煤炭检验能力；3) 外部行情数据，包括煤炭价格指数（CCI/CCTD/NEWC）、运价指数等，并综合特殊季节特殊需求等因素。

输出：综合厂存量、市场价格趋势及堆存能力、运输能力等情况，采用基于大数据的多目标优化模型，预测最优可用库存天数，优化并生成煤炭经营企业的采购计划、电煤保供计划、销售计划，生成煤炭运输企业的海运和内河运输计划，生成港口企业的靠离泊计划和装卸计划以及配煤作业计划，生成煤检企业的煤检计划和电厂的装卸计划。

通过煤炭供应链优化模型的应用，实现最优的安全可用库存，极大减少燃料资金占用成本。同时，在保障电煤供应的前提下，煤炭板块可以进行市场售煤，获取最大运营效益。

### （3）覆盖应急全流程的闭环应急能力建设体系（安全管理优化）

项目建成了覆盖集团各层级、全产业的应急管理、指挥体系，实现涵盖突发事件的预防、准备、响应、恢复的整个全流程的应急管理系统。以大数据驱动的工业互联网平台为支撑，利用其丰富的智能算法，实现各类重大风险的预测预警，并以桌面、大屏、移动端等多种告警方式及时、自动通知到各级调度中心领导和应急值守人员；基于应急预案和各类应急资源数据，结合产业领域知识，建立智能研判模型，提供抢险救援方案以支撑应急指挥决策；实现了 GIS、音视频等多媒体手段，来提供可视化的应急资源调配、应急响应调度和全程可追溯；并通过

应急恢复阶段的评估分析、案例归档来完善应急管理体系。因此，通过应急指挥系统，建立起涵盖从监测预警到研判、响应、总结的闭环的应急能力建设体系。

### 依托工业互联网平台，实现自动预警、科学决策、精准调度



图 7 从监测预警到研判、响应、总结的闭环能力建设体系

通过项目建设，支撑起集团各行业的差异化预警和响应处置需求，形成覆盖全集团企业的应急预警和处置“一张网”，建成集团统一的监测预警中心、应急发布中心、应急指挥中心、应急值守中心；依托大数据、工业互联网技术、移动APP、现场移动终端等手段，打通信息共享、调度协同的“最后一公里”，实现自动预警、科学决策和无延时、零距离的精准调度。

## 4. 安全及可靠性

项目建立在集团统一的信息安全体系下，集团信息网内系统符合信息安全二级等保要求，生产控制网系统符合信息安全三级等保要求，从生产控制网采集数据严格符合单向传输的安全要求。项目采用基于角色的访问控制、访问控制黑白名单以及基于端口的管控，实现细粒度的访问授权和控制，实现了设备接入、平台和应用的安全访问控制，保障数据在采集、传输、存储、访问中的安全性。

平台采用 Hadoop 分布式文件系统(HDFS)，提供高可用、高可靠性；基于微服务架构和容器技术，支撑应用的高可用和高可扩展性。

## 三、下一步实施计划

针对本项目应用成果，开展延伸建设和推广工作。

1. 热电全流程智能协调优化的推广建设

- (1) 目前应用到一个火电厂；
- (2) 今年推广到集团 20 多个燃煤电厂；
- (3) 明年推广到其它集团燃煤电厂。

2. 应急指挥系统的延伸和推广建设

- (1) 已完成 3 类突发事件的应急管理体系建设；
- (2) 今年延伸到集团重点关注的其它 13 类突发事件；
- (3) 明年推广到其它能源企业。

## 四、项目创新点和实施效果

### 1. 项目先进性及创新点

#### 1) 实现泛在感知能力。

利用物联网、数据交换等技术，泛在连接各类设备、设施、系统信息，进行高效采集和云端汇聚，实现从板块、行业、设备类型等多维度的全景展示，以电子地图等方式直观展示具体设备、设施的实时信息。

#### 2) 提升综合分析能力。

在设备管理、生产安全、运行优化、风险评估及决策方面，应用大数据计算能力、知识图谱分析能力、分析挖掘能力、自助式分析能力，实现电力、石油、天然气、化工、海运、港口等行业生产决策和安全应急的智能应用。

#### 3) 提升管控决策能力。

基于大数据、机器学习算法建立了煤炭供应链优化和锅炉燃烧优化的数据和机理模型，优化了煤电生产工艺和产业协同水平，提升集团生产经营工作的管控决策能力。

#### 4) 打造应用创新能力。

采用工业互联网平台技术，将云计算、大数据、物联网、移动计算、人工智能、微服务开发等先进技术融为一体，实现一个开放的应用创新载体，提供平台级的数据服务、算法服务、模型开发服务、应用运行服务、跨企业工业知识共享服务，降低企业应用创新门槛，为各专业创新应用的开发、建设、运行、分享构建起良性发展生态圈。以平台为支撑，各板块、营运企业可发挥各自积累的专业化优势，不断开发各类智能化微应用，积聚起日益丰富的专家知识库、经验库、计算规则库、应用算法模型库，并随着各领域知识在整个集团的不断分享、应用，打造出整个集团的全面创新能力。

### 2. 实施效果

#### (1) 促进生产的稳定运行、经济运行

通过热电全流程智能协调优化，实现了以下经济技术指标：

①主汽温度控制精度： $R \pm 2^{\circ}\text{C}$ ；



②主汽压力控制精度： $R \pm R * 3\%$  (90%时间)；

③二氧化硫和 NO<sub>x</sub> 每小时均值的控制指标在  $R \pm 5\text{mg}/\text{m}^3$ ，实现卡边运行并使脱硫剂和脱硝剂减少 5~10%以上；

④综合能耗降低 0.5%以上(60 万以上机组)；

⑤使 AGC 或 ACE 的调峰速度和精度提高一倍以上；

⑥长期可用率大于 90%，人工效率提高 100%以上。

(2) 降低发电运营成本，提高煤炭产业经营效益

通过煤炭板块各企业的生产调度优化，实现集团电煤供应链优化，在保电前提下，实现最优化电煤库存，最大限度降低电煤资金占用，从而减小发电运营成本。同时，适时市场售煤，获取经营收益最大化。

通过煤炭供应链优化应用，集团安全库存从过去的 14 天降低到目前的 7 天左右。