

基于工业互联网的燃机电厂全流程数据治理与智慧决策系统

王庆宇¹ 卢炯荣² 马红艳³

1. 东莞深能源樟洋电力有限公司, 中国·广东 东莞 523637

2. 深圳中质安股份有限公司, 中国·广东 深圳 518107

3. 国电投(江门)能源发展有限公司, 中国·广东 江门 529000

摘要: 在数字经济快速发展背景下, 燃机电厂生产运行中存在数据孤岛、设备管理粗放、能源利用率低等问题, 会降低燃机电厂的市场竞争力, 影响其可持续发展。工业互联网为燃机电厂数字化发展提供了技术支持, 可有效解决当前生产运行困境, 提高燃机电厂生产效能和管理成效。本文从燃机电厂数据特点入手, 分析当前数据治理的不足, 提出基于工业互联网的燃机电厂全流程数据治理与智慧决策系统, 明确系统架构、全流程数据治理要点及智慧决策系统功能。将本文系统用于燃机电厂实践, 实践结果表明, 该系统可提升燃机电厂数据质量, 提高经济效益与管理效率, 保障设备可靠运行, 有助于燃机电厂智能化转型。

关键词: 工业互联网; 燃机电厂; 数据治理; 智慧决策系统

Whole process data governance and intelligent decision-making system of gas turbine power plant based on industrial Internet

Wang Qingyu¹, Lu Jiongong², Ma Hongyan³

1. Dongguan Shenyuan Zhangyang Electric Power Co., Ltd., China Guangdong Dongguan 523637

2. Shenzhen Zhongzhi'an Co., Ltd., China Guangdong Shenzhen 518107

3. Guodian Investment (Jiangmen) Energy Development Co., Ltd., China Guangdong Jiangmen 529000

Abstract: In the context of rapid development of the digital economy, there are problems such as data silos, extensive equipment management, and low energy utilization in the production and operation of gas turbine power plants, which will reduce their market competitiveness and affect their sustainable development. The industrial Internet provides technical support for the digital development of gas turbine power plants, which can effectively solve the current production and operation difficulties and improve the production efficiency and management effectiveness of gas turbine power plants. This paper starts with the data characteristics of gas turbine power plants, analyzes the shortcomings of current data governance, proposes a full process data governance and intelligent decision-making system for gas turbine power plants based on industrial Internet, and defines the system architecture, key points of full process data governance and functions of intelligent decision-making system. The system described in this article has been applied in the practice of gas turbine power plants. The results show that the system can improve the data quality of gas turbine power plants, enhance economic and management efficiency, ensure reliable operation of equipment, and contribute to the intelligent transformation of gas turbine power plants.

Keywords: Industrial internet; Gas turbine power plant; Data governance; Intelligent decision-making system

0 引言

在“双碳”战略深化推进与能源转型加速的双重影响下, 智慧电厂成为新型电力系统核心组成部分。对于燃机电厂来说, 在智能化转型升级过程中, 存在运行工况复杂、数据融合难度大、决策响应滞后等问题。在燃机电厂传统管理模式下, 采用离线数据分析方式, 决策依赖管理人员的工作经验, 难以满足新能源并网下燃机电厂运行要求。工业互联网具有数据采集、边缘计算等功能, 可为燃机电

厂数据治理和智慧决策提供技术支撑。就此, 本文以工业互联网为基础, 构建燃机电厂全流程数据治理与智慧决策系统, 可为燃机电厂数据管理、生产运行等工作的优化提供理论和实践参考。

1 燃机电厂数据特点与数据治理不足

1.1 燃机电厂数据特点

在燃机电厂生产运行过程中, 全流程数据包括生产数据、设备数据、能效数据、经营数据四类。其中, 生产数

据是指生产过程中的设备运行参数,如温度、压力、流量等;设备数据是指设备管理相关数据,如设备参数、设备故障数据、备品备件数据等;能效数据是指环保相关数据,如污染物排放浓度、能耗数据等;经营数据是指燃机电厂经营管理相关数据,如燃料成本、发电量、电价等^[1]。根据上述数据类型可以发现,燃机电厂数据具有如下特点:第一,多源异构性,燃机电厂全流程数据类型多、来源不同,数据格式和标准不同;第二,强关联性,燃机电厂各类信息系统和设备参数间联系密切,如某个参数出现变化,可能导致其他参数出现变化;第三,高时效性,燃机电厂机组运行工况复杂,关键参数变化较快,对数据采集时效性提出较高要求。

1.2 数据治理不足

在目前的燃机电厂数据治理中,普遍存在如下不足:第一,数据孤岛。燃机电厂管理系统繁多,包括 DCS 系统、SCADA 系统、财务系统、业务系统等。不同系统的数据格式、接口标准不同,同个设备在多个系统中的属性信息不同,系统间数据共享难度大,存在数据孤岛现象。第二,数据质量偏低。由于燃机电厂机组运行工况复杂,全流程数据采集影响因素较多,原始数据中存在异常数据、冗余数据、缺失数据或错误数据,数据整体质量偏低,对后续数据挖掘与利用产生负面影响。第三,决策支撑薄弱。就燃机电厂数据治理现状而言,各类系统主要负责数据采集与展示,数据治理以事后统计为主,对数据的深入挖掘较少,难以为燃机电厂生产运行决策提供科学参考,决策支撑能力较弱,不利于燃机电厂的智能化发展^[2]。

2 基于工业互联网的燃机电厂全流程数据治理与智慧决策系统架构

根据燃机电厂生产运行特点、全流程数据治理现状和智慧决策需求,本文构建的系统采用三层架构,涉及数据采集、数据治理和数据应用三个环节。系统从上自下分为三个层级,具体如下:

第一,边缘感知层。该层级负责数据采集工作,部署采集终端、工业网关和边缘计算节点。其中,采集终端是指各类传感器设备,可采集温度、压力、流量等机组运行参数;工业网关部署 Modbus、OPC UA 等工业协议,确保该系统与各类管理系统有效对接,获取燃机电厂各类管理系统数据;边缘计算节点内置各类算法,负责数据格式转变、数据压缩等工作,为后续数据运算提供便利,也能提高数据传输效率,避免数据传输过程中出现数据丢失、数据篡改等问题。

第二,平台治理层。该层级负责数据治理工作,部署在工业互联网 PaaS 平台,负责接收边缘感知层的数据,对数据进行分析、存储等操作^[3]。在数据分析中,通过各类智能算法,对接收数据进行清洗、加工、建模、可视化等处理,为数据的智慧应用提供可靠支撑,将多源异构数据转变为燃机电厂的数据资产;在数据存储中,按照统一标准处理数据,存储元数据与主数据,并应用安全防护技术,保障数据安全。

第三,智慧应用层。该层级对治理后的数据进行实践应用,为智慧决策提供科学依据。根据燃机电厂生产运行需求,部署运行优化决策、设备健康管理、能效碳排放管理、安全生产管控等功能模块。考虑到不同应用人员对系统的使用需求,应用层支持 Web 端、移动端和可视化大屏等多种界面,适配不同管理场景。

3 燃机电厂全流程数据治理要点

3.1 统一数据标准

通过上述分析可知,燃机电厂全流程数据具有多源异构特点,为满足数据应用需求,应统一数据标准,便于后续各类数据挖掘与应用。根据燃机电厂全流程数据特点,数据标准应涵盖数据元、编码、接口、质量四个层面。其中,数据元统一是指统一燃机电厂设备参数、数据类型、计量单位、数据精度要求等内容;编码统一包括设备编码、监测点编码、区域编码、人员编码等,确保每个要素有专属编码;接口统一是指燃机电厂各类管理系统采用统一的数据传输协议、传输方式与数据安全认证要求;质量统一是指所有数据按照统一的质量标准要求进行采集、存储与传输,保障数据的完整性、准确性与时效性。

3.2 全面采集数据

根据燃机电厂全流程数据的来源,采取不同采集与接入方式,保障系统全面整合燃机电厂全流程数据。对于生产管理系统实时产生的数据,如 PLC 控制系统、DCS 系统等,利用工业网关对其进行格式转变,将其传输至平台治理层;对于业务管理系统数据,通过标准化 API 接口同步至边缘感知层;对于生产现场的图片、视频或各类文档资料,采用对象存储方式接入。

3.3 保障数据质量

为确保全流程数据符合数据开发利用需求,燃机电厂应在全流程数据治理时保障数据质量。根据智慧决策需求,明确数据质量标准要求,如数据完整性、数据准确性、数据及时性等,以详细的规则内容落实各类标准要求,约束边缘感知层的数据采集,确保采集数据质量符合要求。在

数据接入时,自动检验接入数据,识别接入数据中的异常数据、缺失数据、冗余数据,对其进行清洗加工处理。

3.4 规范数据存储

在数据存储时,为提高数据治理效率,燃机电厂应采取分级分类存储方案。根据数据类型、需求程度、保留周期等因素,采取差异化存储方案,既能提高数据存储工作效率,也能为数据应用提供便利。对于采集频率较高的设备运行数据,通过专用时序数据库存储,可实现高并发接入,支持数据快速查询,为数据采集与应用提供技术支持;对于结构化业务数据,通过关系型数据库存储,可同步更新业务数据,为各类业务数据分析提供便利;对于历史数据和非结构化数据,通过数据湖架构存储,既能保持数据原始状态,也能支持离线数据分析。

3.5 做好安全防护

燃机电厂全流程数据可体现电厂运行情况、所辖区域用电情况,对数据安全治理提出较高要求,系统应做好安全防护工作。针对不同数据治理环节,采取不同安全防护措施。在数据采集环节,应用身份认证技术,明确数据采集人员的权限;在数据传输环节,应用加密传输技术,避免数据在传输过程中出现丢失或篡改问题;在数据存储环节,在分级分类存储的基础上,提取其中的敏感数据,对其进行加密处理,并进行容灾备份;在数据应用环节,根据燃机电厂工作人员的岗位,设定相应的数据访问权限,做到数据查阅、调用等全程留痕,提高数据安全防护水平,保障数据安全合规应用。

4 燃机电厂智慧决策系统功能

4.1 设备管理功能

设备管理功能是对燃机电厂生产设备进行智能管控,管控对象包括燃气轮机、蒸汽轮机、发电机等,管理内容包括故障管理、运维管理两个维度。在故障管理中,根据边缘感知层采集的设备运行参数,了解当前设备运行状态。系统内置机器学习算法,通过设备历史运行数据对其进行训练,根据设备当前运行情况,预测早期故障。在发现设备运行参数即将达到故障阈值时,提前预警,及时处理故障设备,避免燃机电厂因设备故障出现非计划停机。在运维管理中,根据设备历史运行数据,应用 LSTM 编码器和解码器网络构建设备寿命评估模型,评估关键设备部件的剩余寿命,如燃烧室、透平叶片等,为设备运维管理和备品备件管理提供决策支持。

4.2 运行决策功能

在燃机电厂生产运行中,需频繁进行调峰、机组运行

工况变动较大,机组难以始终保持最优运行状态。就此,在智慧决策系统中,部署运行决策功能,以机组全工况最优运行行为目标,构建智慧决策模型,模型应用深度学习算法,以机组历史运行数据和燃烧机理为训练数据,根据机组实时运行数据,动态调节设备运行参数,提高运行经济效益与环保效益。针对不同优化对象,智慧决策目标不同。在负荷分配时,会根据电网调度情况和机组运行特点,优化燃气-蒸汽联合循环负荷分配,提高机组运行效率;在燃烧优化时,调整燃气调节阀开度、燃烧器配风等运行参数,在提高燃烧稳定性的同时,减少氮氧化物排放、节约天然气。

4.3 能效管理功能

为实现燃机电厂可持续发展,应树立绿色生产理念,在智慧决策系统部署能效管理功能,实时监测机组能效和碳排放情况,为“双碳”战略落实提供助力。根据生产数据与能耗间的关系,构建计算模型,实时统计燃机电厂的发电量、设备能耗等数据,计算模型可自动计算供电煤耗、厂用电率和汽耗率等能效指标。通过各项能效指标的对比分析,可明确燃机电厂能效管理的薄弱部分,提高燃机电厂运行能效。同时,燃机电厂可构建碳足迹追踪模型,自动计算碳排放数据,明确碳排放较高的部分,针对性优化生产工艺,减少碳排放,提高环保效益。

4.4 安全管理功能

安全生产是燃机电厂高质量发展的关键,在智慧决策系统中部署安全管理功能模块,可及时发现生产过程中的安全风险,缩短安全事故响应时长,提高燃机电厂安全管理水平和应急处置能力。在安全风险识别方面,通过生产现场的摄像头和采集终端,及时发现违章作业、环境安全隐患、设备异常运行等情况,并绘制安全风险热力图,实现安全风险智能化管控。在应急处置方面,在出现安全事故后,系统可自动调取事故区域的监控视频、设备运行数据,并展示燃机电厂当前应急物资储备情况,自动推送相应的处置预案,为指挥人员决策提供参考。

5 系统应用实践

5.1 燃机电厂概况

某燃机电厂配备两套 9F 级燃气-蒸汽联合循环发电机组,总装机容量为 900MW,负责电网调峰与供热。在 2025 年,为开展智慧电厂建设,该燃机电厂部署了基于工业互联网的全流程数据治理与智慧决策系统,与该厂 23 套业务系统对接。按照上述系统建设要点,该厂共整合数据数量约 8.6 万个,建立的数据元标准体系涉及 1200 余项内

容,数据质量规则超过 3000 条,部署并应用设备管理、运行决策、能效管理、安全管理功能模块。

5.2 系统应用效果

在系统投入使用一年后,进行系统应用检测,验证系统应用成效。在数据质量层面,核心运行数据准确率从 84.7% 提升至 98.3%,跨系统数据查询效率提升约 60%,有效解决了数据孤岛问题;数据完整率为 99.2%,数据质量显著提升。在运行效益层面,运行决策功能可动态调整机组运行参数。现场实测数据显示,机组额定工况下热效率提升约 0.8 个百分点,烟囱出口位置的氮氧化物排放浓度下降约 $8\text{mg}/\text{m}^3$,单位发电量天然气消耗减少约 $1.2\text{Nm}^3/\text{MWh}$,按年发电量 20 亿 kWh 计算,每年可节约天然气成本约 360 万元。在设备管理层面,一年内系统累计预警 17 起早期故障,故障预警准确率达 92%,可有效减少电厂非计划停机时长,降低设备运维成本。在管理效率层面,系统可自动生成各类统计报表,提高管理工作效率;现场违章识别率提升约 80%,安全生产水平显著提升,实现燃机电厂精细化管理,解决了管理粗放问题。

6 结语

综上所述,燃机电厂全流程数据治理需求包括数据共享共用、提高数据质量、为决策提供支撑三项。为满足该

需求,燃机电厂可构建“边缘—平台—应用”三层架构的全流程数据治理与智慧决策系统,将数据治理覆盖标准统一、数据采集、质量提升、数据存储、安全防护五个层面,并在智慧决策系统部署设备管理、运行决策、能效管理、安全管理四项功能,发挥燃机电厂数据价值,更好地为燃机电厂运行管理服务。在未来的研究中,可在燃机电厂全流程数据治理和智慧决策中应用人工智能、数字孪生等技术,深化数据治理和燃机电厂业务的融合,进一步提升燃机电厂的智能化水平,实现智慧电厂建设目标。

参考文献:

- [1] 郝宗鹏. 基于大数据的智慧电厂智能决策支持系统研究[J]. 中国新技术新产品, 2026(10):22-24.
- [2] 徐仁虎, 李锟, 刘旭东等. 智慧电厂运行监测管理平台建设关键技术研究[J]. 自动化技术与应用, 2025,44(8): 174-177.
- [3] 杨卫国. 基于改进决策树算法的智慧电厂设备故障数据特征融合研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2024(8):90-94.

作者简介:王庆宇(1972.09-),男,汉族,黑龙江哈尔滨人,大专,工程师,研究方向:从事电厂安全管理、施工安全管理、小散工程安全管理研究。