

# 智慧能源管理系统的设计与实现

石宏图, 李桂海, 马 振, 芦 海, 赵金元, 唐海亮

(北京瑞太智联技术有限公司, 北京 100102)

**摘要:**为了实现对铜冶炼企业能源优化管理,建立智慧能源管理系统的技术架构及功能,运用信息化技术对铜冶炼企业各类生产数据进行监控、分析、整合,通过对能耗指标的科学管理,实现科学调度、节能增效、减少事故的效果,实现生产精细化管理、节能减排及降低能耗,促进经济效益的提升。

**关键词:**铜冶炼企业;能源管理;优化调度

**中图分类号:**TF35      **文献标志码:**A      **文章编号:**1671-1807(2021)08-0276-05

铜冶炼企业是一次能源和二次能源的消耗大户,其能源消耗量在全国能源总产量中占很大的比例<sup>[1]</sup>。铜冶炼企业作为工业之路最具代表性的传统行业,对于国家的基础建设以及工业建设具有重要的意义<sup>[2]</sup>。铜冶炼企业作为一个高耗能企业,能源的合理管控是企业节能降耗的重要手段<sup>[3]</sup>。目前,铜冶炼企业能源管理存在着工艺流程复杂、耗能设备庞大、管理流程不规范等问题,给能源管理带来巨大的挑战。

随着互联网技术与通信技术的持续发展,在国家大力推动智能制造背景下,铜冶炼企业要求自身在生产现场数字化和互联互通模式下,实现现场数据的自动采集和监控报警,进而实现能源管理业务的精益化管理。利用能源优化调度和智能建模算法技术,为上层决策分析提供有力的支撑,大力提升企业的生产精益水平、能源管控水平和企业经济效益。

## 1 能源管理系统架构

### 1.1 能源管理系统

能源管理系统主要基于底层 DCS 系统实时数据的采集、归集,实现能源消耗的统计、能源平衡的测算、能源预测及能源的优化调度等功能<sup>[4]</sup>。该系统主要是针对企业内部的电、生产水、生活水、天然气、氧气、氮气、柴油、重油等介质进行耗量采集、分析、管控,为能源管理和调度人员提供强大的生产事件追踪和分析的工具,为企业能源决策提供重要依据。

### 1.2 能源管理应用架构

通过对铜冶炼企业的全面调研,根据企业对系

统功能的需求,以企业在能源管理与信息化建设的实际情况为出发点,从总体的应用架构与实现架构进行整体的设计,搭建可实施落地的符合当下铜冶炼企业的能源管控工业应用框架。

应用架构主要分为数据采集监控、管控一体化、智能决策分析的三层架构<sup>[5]</sup>,构建互联互通、综合应用集成、数据分析支撑的应用系统,如图 1 所示。数据采集与监控层主要是通过工业物联网实现工厂的人、机、料、法、环数据的全面采集。通过全面完整的数据支撑,精准执行实现能源计划、能源平衡、智能决策的落地实现,最终实现能源的预测与能源的优化调度,实现底层数据为企业决策分析提供强有力支撑的核心价值。

管控一体化主要基于当下主流的开发框架与开元软件,进行能源管理系统的开发,实现企业从能源计划的制定、能源指标统计以及能源优化调度等全方位的管控。以当下企业能源管理的痛点为切入口,实现能源管控一体化,为企业的节能降耗提供强大的支撑<sup>[6]</sup>。智能决策分析主要是通过对采集数据和业务数据的归类、分析,形成能源消耗、能源指标的柱状图、饼状图、折线图等基础分析图,同时利用能源优化调度模型与神经网络的能源预测模型,实现管理层决策有据可依。

### 1.3 能源管理技术架构

能源管理技术架构由用户展示层、接入系统层、业务系统层和基础设施层 5 部分组成,如图 2 所示。

**收稿日期:**2021-03-25

**基金项目:**部中央财政资金支持重点项目(0714-EMTC02-5377/2)。

**作者简介:**石宏图(1971—),男,河北沧州人,北京瑞太智联技术有限公司,智能应用部总经理,高级工程师,应用经济学硕士,研究方向为自动化、智能制造。

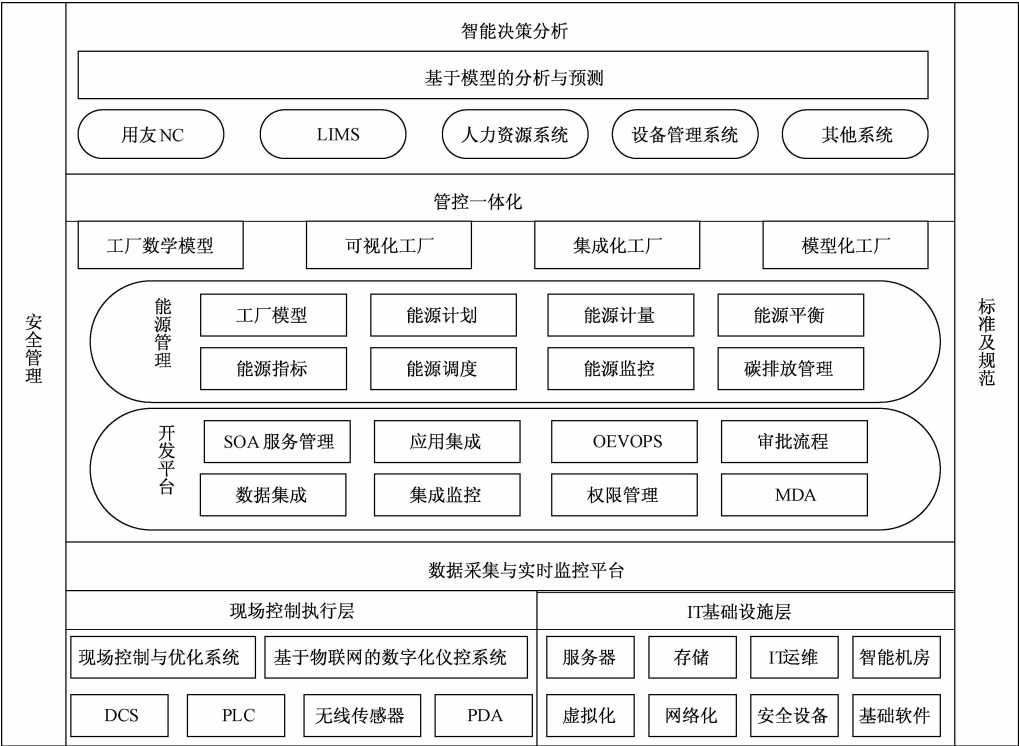


图 1 能源管理应用架构

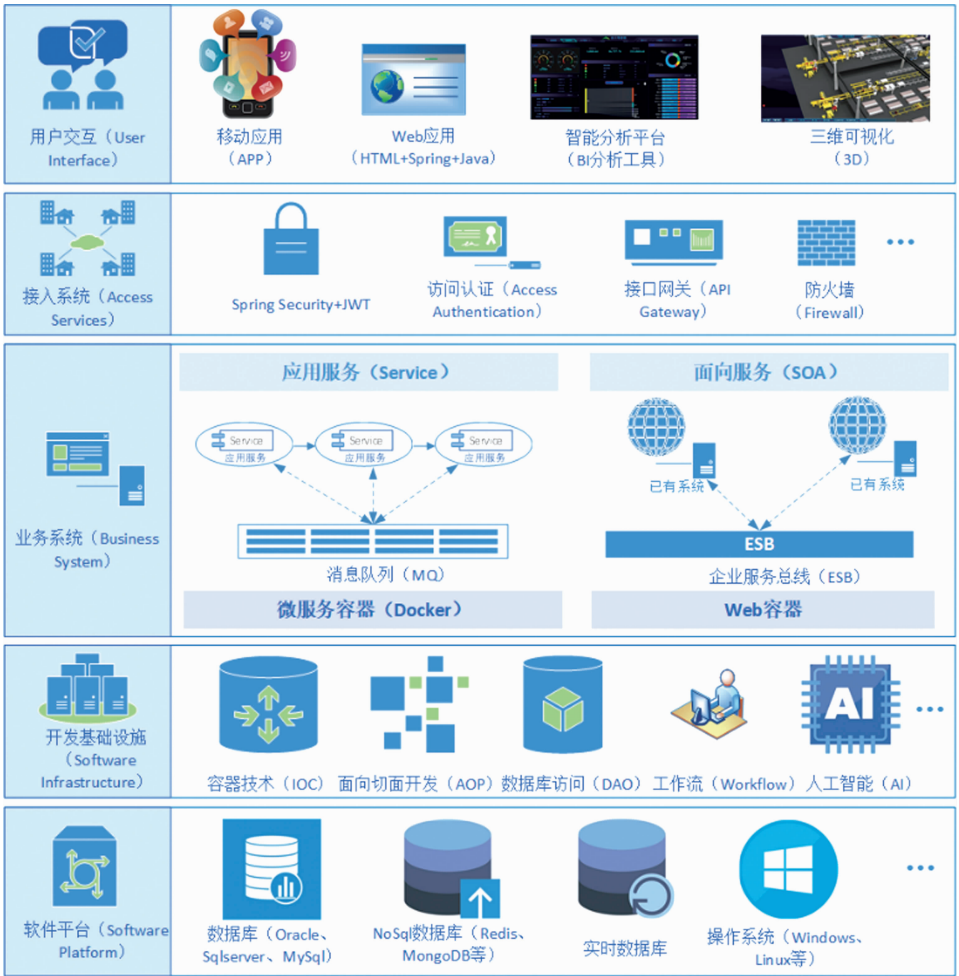


图 2 能源管理技术架构

1)用户展示层。Web Server 采用 Spring Rest Controller 开发,View 采用 HTML 进行开发,让前端与后端实现松耦合。前端通过 Restful Web API 与后台服务进行通讯,采用 JSON 格式进行数据传输。移动端采用 App 和手机网站形式进行,后端架构不变。

2)接入系统层。通过安全协议、认证访问授权、接口网关提供安全的用户接入服务。用户访问通过 SSL 协议进行数据加密后与后端数据进行交互,通过 API Gateway 对外提供统一的服务接口,用户经过认证后才能访问相关接口服务,通过接入层提供安全可靠的用户接入。

3)业务系统层。业务系统通过微服务 (Microservice)提供业务服务,通过将服务从应用集成、流程、数据 3 个方面对外提供服务,通过 Restful API 和消息事件提供服务协同通信,将服务通过 Docker 部署在服务器集群;对已有的系统通过 ESB 总线进行通信和集成。保护现有信息资产和技术发展趋势结合在一起,并可以实现现有系统的过渡和升级改造。

4)基础设施层。提供对软件开发支持,通过集成先进开发框架和技术,对业务领域的服务开发进行技术支持。采用 IoC 容器技术和 AOP 开发技术,集成 DAO 数据库访问技术支持企业级服务的开发。采用 Spring 为集成框架,通过集成 JDBC、Haibernate、MyBaits、Log4j 等技术框架支撑整个软件开发, Spring 还可以融合其他组件如邮件、短信提供服务支持。提供软件的运行环境和数据存储软件,主要是各种数据库软件,包含关系数据库 (Oracle、MySQL、SqlServer)、NoSql 数据库 (MongoDB)、内存数据库 (Redis)、实时数据库。

2 系统功能

2.1 能源计划管理

从生产系统信息提取导入各周期对应生产计划信息,自动生成各种能源实物量年、季度、月的消耗计划量,同时提取各周期对应生产计划信息、节能项目实施预测信息,自动生成各种能源实物的预测消耗计划量,节能项目实施预测信息,制定好各部门能源计划后按照能源计划审批流程进行逐级推送,已完成所属提交或审批动作的部门可以查看该任务的整个流程完成情况。同时生成各种根据能源消耗计划、指标变化趋势等数据,自动生成能源目标指标的建议值,结合实际情况对自动生成的目标指标进行调整。能源计划管理流程如图 3

所示。

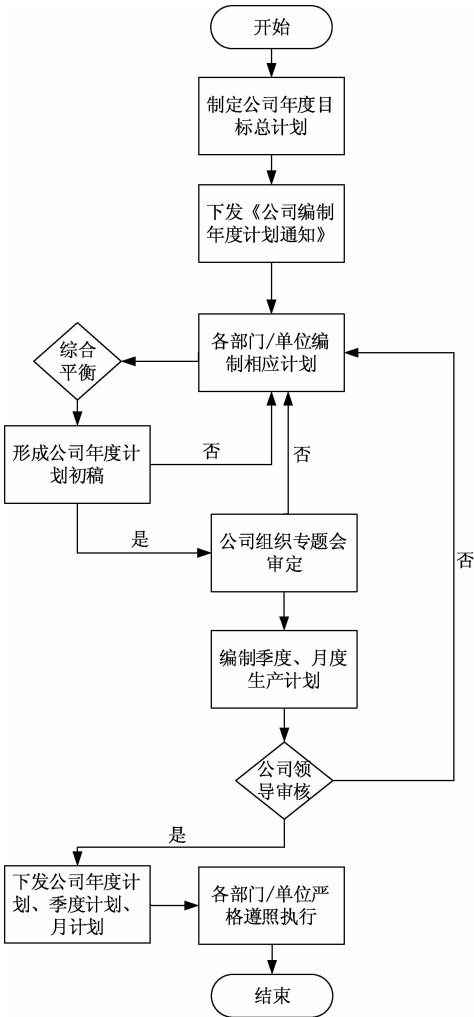


图 3 能源管理流程

2.2 能源计量管理

2.2.1 数据采集点维护

能源数据采集点的设置、计量器具的配置和计量精确度均符合国家标准《用能单位能源计量器具配备与管理通则》(GB 17167—2006)要求,能源计量器具采用唯一性编码和识别标签管理。根据铜冶炼企业介质平面图分布情况,包括针对各种不同能源介质类别的点位的数据维护、用户人工数据录入、从其他系统数据的导入功能。系统数据库按“系统—区域站点—能源设备—属性点”来组织数据。

2.2.2 数据采集处理

针对现场数据采集的实际情况,设计自动采集和手工录入两种方式,对于具备自动采集条件的实行自采,不具备条件或自采仪表故障时通过手工录入保证数据不丢失。同时结合现场生产实时数据波动很大的情况,设计科学的数据抖动处理等功能。

数据采集周期、汇总类型、时间间隔以及时间跨度,均可用系统管理工具进行配置。对于不变化的数据且未超过指定时间间隔的数据,系统自动滤除,对于不变化且超出指定时间间隔的数据,系统给出报警提示。系统提供能源数据补偿处理,系统可根据流量、压力及温度,利用历史数据进行补充处理,尤其对于超过设计量程的数据。

2.2.3 数据归档与系统日志

能源系统的信息主要包括监控信息、优化调度及分析信息和管理信息等。通过对实时数据进行处理,形成一定时域的历史数据,作为优化调度及能源分析的基础<sup>[7]</sup>。

能源计量管理可为相关工作人员提供方便、快捷、准确的能源计量结果,可以得到更多、更全面、更详细的工业能源消耗的实际情况,便于在生产各个环节中有效地落实能源计量管理的工作水平,促进企业提升自身的能源计量管理的工作质量以及工作效率。

2.3 能源平衡管理

能源平衡主要是指采用能量守恒的原则,针对指定系统一段时间内输入能量与输出能量的平衡关系进行分析,为定量分析耗能情况、提高能源利用水平提供支撑<sup>[8]</sup>。针对铜冶炼企业的用能特点,采用以能源介质为分析对象的方式进行平衡分析,其可以分为电平衡、热平衡、气平衡等。

建立铜冶炼企业的能源平衡主要实现能源合理利用、合理分配、消耗可追溯,为企业能源优化与预测提供支撑。建立能源平衡模型的主要工作是建立各个参数系统,基于已有的参数模型,建立各个子系统的平衡模型,从而建立全企业的平衡模型<sup>[9]</sup>。能源平衡模型设计方案如图4所示。

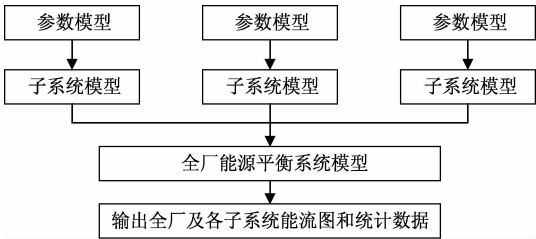


图4 能源平衡模型设计方案

规划用能企业多级计量体系模型,将每种介质的流向节点定义为用能单元,构建完整的能源流向图。依据能源流向图中各个父节点与子节点的关系,采用能源平衡模型自动计算出各个子节点平衡后的能源消耗量,同时与实际消耗量对比生成差

值,以便企业追溯哪些环节能源的损失值较大,为能源结构的优化提供一定的数据依据。

2.4 能源预测

通过对线性回归和BP神经网络预测模型的对比分析,BP神经网络对于能源的预测具有较好精度<sup>[10]</sup>。BP神经网络基本遵循梯度下降最快法,其主要通过调整权值实现整体预测误差最小。

采用BP神经网络算法学习时,正向与反向传播的两个阶段构成这个学习过程。正向传播时,输入数据从输入层进入,经过隐含层进行一层一层处理,并且指向输出层,每层神经元状态只与上层神经元的状态有关。若最终输出值不能达到预期,则进行反向传播,通过之前连接通道将信号返回处理,为了保证最小误差,通过调整各层神经元的权值来实现。其拓扑结构如图5所示。

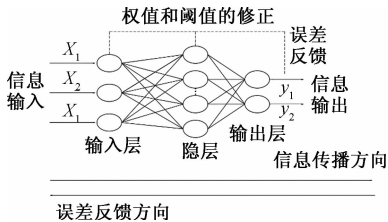


图5 神经网络拓扑图

对相关能源预测值进行相应分析处理,进而对能源管理工作进行指导,能源预测实现能源管理由“事后管理”向“事前管理”转变<sup>[11]</sup>。

3 能源优化调度

根据生产计划及生产实际以及能源单耗,在满足生产用能的情况下,以综合能耗成本最低为目标,实现能源优化调度。为同种能源介质提供不同供应渠道,根据不同介质的成本差异进行选择调配。

实时优化调度需要结合产能/耗能单元的能源管网运行情况、重点耗能/产能设备关键工艺参数情况、优化调度目标及历史最优工况模式等参数建立能源优化调度模型,得出能源调度人员或设备操作人员切实可行的方案供其参考<sup>[12]</sup>。同时在此基础上将相关调度人员及设备操作人员的绩效指标纳入考核评估范围内,以使优化调度模块真正实现有激励能落地<sup>[13]</sup>。

优化调度是基于对全企业能源数据的统筹管理,依据全企业能效策略,设定相应的优化目标,以设备情况、生产情况、能源介质种类及市场价格等多因素为约束条件,采用特定算法,根据用户需要,可设定时间间隔进行效益测算<sup>[14]</sup>。对于同类型机

组,机组效率高的优先安排使用,若满负荷生产仍不能满足需求时,则安排效率较低的机组启动<sup>[15]</sup>。

能源优化调度管理中以减少能源消耗为目的,综合考虑原料流、产品流(物质流)和能量流的耦合关系,建立高能耗设备的能源投入产出模型和面向操作的实绩能效评估方法,结合投入产出模型和能效评估实现面向能效提高的高能耗设备操作优化,能源优化调度流程如图 6 所示。

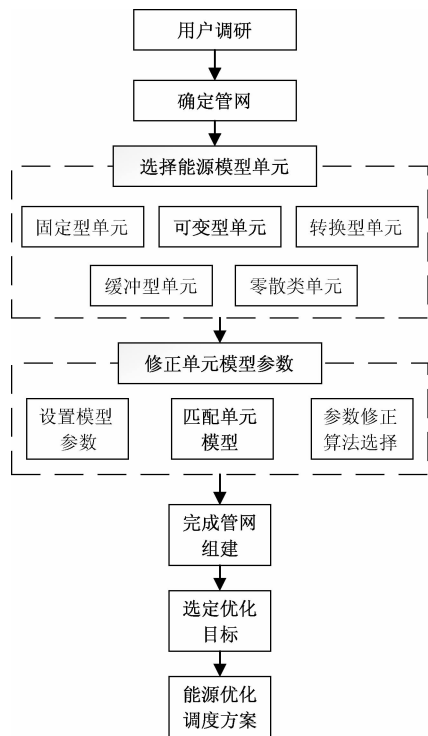


图 6 能源优化调度流程

4 结论

该智慧能源管理系统实现企业对生产过程中能源消耗分析、能源统计、能源调度和能源预测等功能,有助于企业实现精细化管理与节能减排,提

高能源利用效率,对提高企业经济效益,缓解经济社会发展面临的能源和环境约束具有极为重要的作用。

参考文献

[1] 丁皓,郭新有. 关于我国钢铁工业二次能源利用的思考[J]. 科技进步与对策,2004(10):102—104.

[2] 王培. 中国信息安全市场投资现状浅析[J]. 中国信息安全, 2013(10):62—63.

[3] 戴海波. 大型钢铁企业能源成本管理信息系统研究[D]. 武汉:华中科技大学,2014.

[4] 罗先喜,苑明哲,徐化岩,等. 面向钢铁企业的先进能源管理系统研究新进展[J]. 信息与控制,2011,40(6):819—828.

[5] 聂秋平. 钢铁企业能源实绩平衡与优化调度策略及应用研究[D]. 长沙:中南大学,2011.

[6] 郑忠,黄世鹏,龙建宇,等. 钢铁智能制造背景下物质流和能量流协同方法[J]. 工程科学学报,2017,39(1):115—124.

[7] 陈辉,刘贤堂,吴宝健. 钢铁企业能源管理系统的应用研究[J]. 自动化与信息工程,2011,32(4):20—23,29.

[8] 蒋育翔,黄全福,洪小和. 基于钢铁企业能源特点及相互关系的能源管理信息系统的研究[J]. 冶金自动化,2011,35(2):18—23,49.

[9] 王树颜. 能源互联网中能源优化调度的研究[D]. 天津:天津理工大学,2018.

[10] 赵金元,马振,唐海亮. BP 神经网络和多元线性回归模型对碳排放预测的比较[J]. 科技和产业,2020,20(11):172—176.

[11] 杜友武. 钢铁企业能源管理与数据校正系统设计及实现[D]. 长沙:中南大学,2010.

[12] 何维. 钢铁企业能源管理系统智能优化调度研究[D]. 湘潭:湘潭大学,2010.

[13] 徐化岩,杨涛. 钢铁企业能源优化调度模型及应用[J]. 冶金自动化,2019,43(2):35—41.

[14] 江文德. 钢铁企业能源动态平衡和优化调度问题研究和系统设计[D]. 杭州:浙江大学,2006.

[15] 贺东风,刘平泽,冯凯,等. 钢铁企业轧制计划与能源调度协同优化[J]. 中国冶金,2019,29(4):75—80.

Design and Implementation of Smart Energy Management System

SHI Hong-tu, LI Gui-hai, MA Zhen, LU Hai, ZHAO Jin-yuan, TANG Hai-liang

(Beijing Ruitai Zhilian Technology Co.,Ltd., Beijing 100102, China)

**Abstract:** Introduces the technical architecture and functions of the smart energy management system, expounds the use of information technology to monitor, analyze, and integrate various production data of copper smelting enterprises, and realize scientific dispatch, energy conservation and efficiency through scientific management of energy consumption indicators, reduce the effect of accidents, realize refined management and energy saving and emission reduction, reduce product energy consumption, and promote economic efficiency.

**Key words:** copper smelting enterprise; energy management; optimized dispatch