

· 企业信息化技术 ·

钢铁企业电力系统能源仿真模型研究

黄银祥, 孙彦广

(冶金自动化研究设计院 混合流程工业自动化系统及装备技术国家重点实验室, 北京 100071)

摘要: 为了缓解钢铁工业能耗占全国能源消耗比例逐渐增高的趋势, 以首钢京唐钢铁联合有限责任公司生产历史数据为依据, 通过研究生产过程中的物料平衡和能量平衡方程, 以及逻辑关系算法, 建立钢铁企业电力系统能源仿真模型, 包括消耗、回收和转换模型。对比分析不同工况下电力仿真模型的输出反应, 获得了理想的结果, 可以达到钢铁企业节能降耗的目的。

关键词: 钢铁; 电力系统; 能源仿真模型

中图分类号: TF31; TM61 文献标志码: A 文章编号: 1000-7059(2010)06-0025-04

A simulation model for electrical power system in steel enterprise

HUANG Yin-xiang, SUN Yan-guang

(Hybrid Process Industrial Automation and Equipment Technique National Key Laboratory, Automation Research and Design Institute of Metallurgical Industry, Beijing 100071, China)

Abstract: In order to suppress the growing trend of the proportion of energy volume consumed by the iron and steel industry to the total national energy consumption, a research is carried out to build the simulation models to analyse electrical power system in steel enterprise. The models include consumption model, recycling model and conversion transmission model, which are built upon the principles of material balance, energy balance and logical relations held in steel production processes and the data collected at production sites of Shougang-Jingtang Iron and Steel United Co., Ltd. The models are verified by investigating the output of the models under different operational status. The simulation shows that the modeling work has achieved satisfactory result, and hence can be expected to become a competent tool serving for energy saving purpose in steel enterprises.

Key words: iron and steel; power system; simulation model of energy system

0 引言

冶金自动化研究设计院于2008年承担了国家863计划项目《大型联合企业先进能源管理系统开发与应用》课题。本文在此背景下, 针对目前钢铁工业能耗占全国能源消耗比例逐年上升的问题^[1], 结合首钢京唐钢铁联合有限责任公司能源中心的生产历史数据, 进行钢铁能源仿真系统研究。该能源仿真系统由物流仿真系统、能源调控系统以及能效分析系统组成。物流仿真系统利用

采集到生产历史数据库中的数据^[2], 以生产计划为前提, 采用物流分配算法, 得出各个生产工序的物料分配情况; 能源调控系统由煤气、技术气体、蒸汽以及电等能源介质子系统组成, 采用调度算法, 进行各个能源的调度; 能效分析系统对物流仿真系统和能源调控系统的数据进行分析、统计和处理。本文主要研究钢铁能源调控系统中的电力系统能源仿真模型, 并模拟各种不同工况下各个设备的发电量与耗电量, 取得了理想的结果。

收稿日期: 2009-12-16; 修改稿收到日期: 2010-07-21

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)(2008AA042901)

作者简介: 黄银祥(1984-), 男, 江苏泰州人, 硕士研究生, 主要从事能源仿真优化研究。

1 模型组成

电力系统能源仿真模型主要由3个子模型组成:生产工序电消耗模型、余热余能回收模型和电能转换输配模型^[3]。生产工序电消耗模型计算各个主生产工序对电的需求消耗;余热余能回收模型计算余热余能回收设备各自的发电量,包括干熄焦余能发电(CDQ)、转炉余压发电(TRT)等的发电量;电能转换输配模型计算剩余的燃气(高炉、焦炉、转炉煤气)发电量,如燃气蒸汽循环联合发电(CCPP)、热电联产发电(CHP)等的发电量。

2 仿真模型

2.1 生产工序电消耗模型

在不考虑余热回收的情况下,计算生产工序在时刻*i*的电净需求量,即将某一时刻每个生产工序电需求量相加(各个生产工序所需要的电量由物流仿真系统计算得出),得出生产工序电净需求方程如下:

$$D[i] = x_1[i] + x_2[i] + \dots + x_n[i] \quad (1)$$

式中, $D[i]$ 为生产工序在时刻*i*的电净需求量, $\text{kW}\cdot\text{h}$; $x_1[i] \sim x_n[i]$ 为各个生产工序和设备(焦化、石灰窑、烧结、球团、高炉、喷煤、细粉、铁水预处理、转炉、钢包精炼、RH精炼、CAS精炼、连铸、加热炉、热轧、冷轧、热处理、钢管等)在时刻*i*的电需求量, $\text{kW}\cdot\text{h}$; n 为生产工序和设备编号。

由于生产过程在不同时刻的电需求量不同,所以本仿真系统以1h为一个周期来计算。

2.2 余热余能回收模型

余热余能回收设备主要是CDQ余能发电和TRT余压发电,回收的余热余能统一转换为热量^[4]。该热量一部分转换为高、中、低压蒸汽,另一部分转换为电。计算余热余能回收设备可以提供的发电量即可供发电量。当可供发电量大于回收设备的发电容量时,回收设备产生的电量为回收设备的容量;当可供发电量小于回收设备的发电容量时,回收设备产生的电量为可供发电量。我们将上述这些约束条件描述成余热余能回收模型方程如下:

$$E_{ij} = \begin{cases} 0 & R_{ij} < C_{ij} \\ P_{ij} & (R_{ij} - C_{ij})/\alpha < P_{ij} < M_j \\ M_j & P_{ij} \geq M_j \end{cases} \quad (2)$$

其中, $C_{ij} = a_1 \cdot x_{1ij} + a_2 \cdot x_{2ij} + a_3 \cdot x_{3ij}$

式中, E_{ij} 为发电量, $\text{kW}\cdot\text{h}$; j 为余热余能回收设备编号; R_{ij} 为回收的热量, kJ ; C_{ij} 为第*j*个余热余能回收

设备在*i*时刻产生的蒸汽热量, kJ ; P_{ij} 为可供发电量, $\text{kW}\cdot\text{h}$; α 为电的热值, $\text{kJ}/\text{kW}\cdot\text{h}$; M_j 为第*j*个余热余能回收设备的额定发电容量(最大发电量), $\text{kW}\cdot\text{h}$; $a_1 \sim a_3$ 为高、中、低压蒸汽的热值, kJ/kg ; $x_{1ij} \sim x_{3ij}$ 为回收的高、中、低压蒸汽量, kg 。

2.3 电能转换输配模型

电能转换输配模型包括CCPP发电模型和CHP发电模型。

2.3.1 CCPP发电模型

CCPP燃气蒸汽循环联合发电使用高炉和焦炉煤气,对煤气的成分要求较高,产生蒸汽的同时可以发电。其计算过程为:计算理想CCPP高焦比(高炉煤气量/焦炉煤气量)和实际高焦比,由煤气模块接口得出可供CCPP使用的高炉、焦炉、转炉煤气的量,进而得出可供使用的煤气热量,计算CCPP产生中压蒸汽的热量,当满足启动条件时,判断电的需求量与CCPP发电容量之间的关系。当电的需求量大于CCPP发电容量时,CCPP的发电量为CCPP发电容量;当电的需求量小于CCPP发电容量时,CCPP的发电量为电的需求量。同时,计算高炉煤气和转炉煤气的使用量。我们将上述约束以及判断条件描述为CCPP的模型方程如下:

$$\xi = (b_2 - \sigma) / (\sigma - b_1)$$

$$\varphi = V_1 / V_2$$

$$H = b_1 V_1 + b_2 V_2 + b_3 V_3$$

$$S = a_2 s_1$$

$$P = (b_1 \xi V_2 + b_2 V_2 - S) / \alpha \times \eta_1$$

$$B = \begin{cases} 0 & H \leq 0.5M \\ C\xi & \varphi > \xi, H > 0.5M \\ C/\xi & \varphi \leq \xi, H > 0.5M \end{cases} \quad (3)$$

$$C = \begin{cases} 0 & H \leq 0.5M \\ (E\alpha/\eta_1 + S) / (b_1 \xi + b_2) & P > M, H > 0.5M \\ V_2 & P \leq M, P \leq D, H > 0.5M \end{cases}$$

$$E = \begin{cases} 0 & H \leq 0.5M \\ M & D > M, H > 0.5M \\ D & D \leq M, H > 0.5M \end{cases}$$

上述式中, ξ 为CCPP理想的高焦比; $b_1 \sim b_3$ 为高炉、焦炉、转炉煤气的热值, kJ/m^3 ; σ 为CCPP最小热值需求量, kJ ; φ 为CCPP实际的高焦比; $V_1 \sim V_3$ 为高炉、焦炉、转炉煤气的量, m^3 ; H 为可供CCPP使用的煤气热量, kJ ; S 为CCPP产生蒸汽的热量, kJ ; s_1 为CCPP产生的蒸汽量, kg ; P 为CCPP可能的发电量, $\text{kW}\cdot\text{h}$; η_1 为CCPP发电效率; B 为高炉

煤气的使用量, m^3 ; M 为 CCPP 的发电容量, $kW \cdot h$; C 为焦炉煤气的使用量, m^3 ; E 为 CCPP 实际发电量, $kW \cdot h$; D 为发电需求量, $kW \cdot h$ 。

2.3.2 CHP 发电模型

CHP 热电联产发电要求相对宽松, 可供使用的煤气有高炉、焦炉、转炉煤气, 以及动力煤等, 既产生蒸汽也可发电。其计算过程为: 从蒸汽接口计算中压和低压蒸汽的热量, 并计算 CHP 可能的发电容量, 当电的需求量小于可能的发电量时, 发电量为电的需求量; 当电的需求量大于可能的发电量时, 发电量为可能的发电量。同时, 需要外购电量为电的需求量减去可能的发电量。由 CHP 产生的蒸汽和电得出 CHP 总共需要的热量, 计算 CHP 可供使用煤气的热量。由热量总需求、煤气可供热量、外购电量得出需要外购动力煤的量。另外, 还要计算高炉、焦炉、转炉煤气的使用量。我们将上述约束以及判断条件描述为 CHP 的模型方程如下:

$$\begin{aligned}
 B &= \begin{cases} 0 & H' \leq b_2 V_2 \eta_2 + b_3 V_3 \eta_2 \\ (H' - b_2 V_2 \eta_2 - b_3 V_3 \eta_2) / b_1 / \eta_2 & H' > b_2 V_2 \eta_2 + b_3 V_3 \eta_2 \end{cases} \\
 C &= \begin{cases} H' / b_2 / \eta_2 & H' \leq b_2 V_2 \eta_2 \\ V_2 & H' > b_2 V_2 \eta_2 \end{cases} \\
 C_{\text{coal}} &= \begin{cases} (H' - H_{\text{gas}} \eta_2 - I \alpha) / b_4 / \eta_2 & H' - H_{\text{gas}} \eta_2 - I \alpha > 0 \\ 0 & H' - H_{\text{gas}} \eta_2 - I \alpha \leq 0 \end{cases} \\
 E' &= \begin{cases} D & D \leq P' \\ P' & D > P' \end{cases}
 \end{aligned}$$

$$H' = S' + E' \alpha \quad (4)$$

$$H_{\text{cap}} = C_{\text{ap}} \alpha$$

$$H_{\text{gas}} = b_1 V_1 + b_2 V_2 + b_3 V_3$$

$$I = \begin{cases} 0 & D \leq P' \\ D - P' & D > P' \end{cases}$$

$$L =$$

$$\begin{cases} 0 & H' \leq b_2 V_2 \eta_2 \\ (H' - b_2 V_2 \eta_2) / b_3 / \eta_2 & b_2 V_2 \eta_2 < H' \leq b_2 V_2 \eta_2 + b_3 V_3 \eta_2 \\ V_3 & H' > b_2 V_2 \eta_2 + b_3 V_3 \eta_2 \end{cases}$$

$$P' = (H_{\text{cap}} - S') / \alpha$$

$$S' = a_2 s_2 + a_3 s_3$$

上述式中, H' 为 CHP 产生蒸汽和电所需要的热量, kJ ; η_2 为 CHP 的发电效率; C_{coal} 为外购动力煤的量, kg ; H_{gas} 为可供 CHP 使用的燃气热量, kJ ; I 为外购的电量, $kW \cdot h$; b_4 为动力煤的热值, kJ/m^3 ; E' 为 CHP 实际发电量, $kW \cdot h$; P' 为 CHP 可能的发电量, $kW \cdot h$; S' 为 CHP 产生蒸汽的热量, kJ ; H_{cap} 为 CHP 发电容量的热量, kJ ; C_{ap} 为 CHP 发电容量, $kW \cdot h$; L 为 CHP 转炉煤气的使用量, m^3 ; s_2, s_3 为中压蒸汽和低压蒸汽的量, kg 。

3 仿真结果

我们以年产钢 900 万 t 的首钢京唐钢铁公司为研究对象^[5], 通过电力能源仿真系统任意设置该钢厂各种不同生产工况, 模拟不同工况下的生产数据, 得到各种电力系统设备发电情况, 以指导实际生产。同时通过系统仿真, 找出提高余热以及煤气的利用率、减少外购能源的可行节能途径。图 1 为动态模拟的实际生产情况。

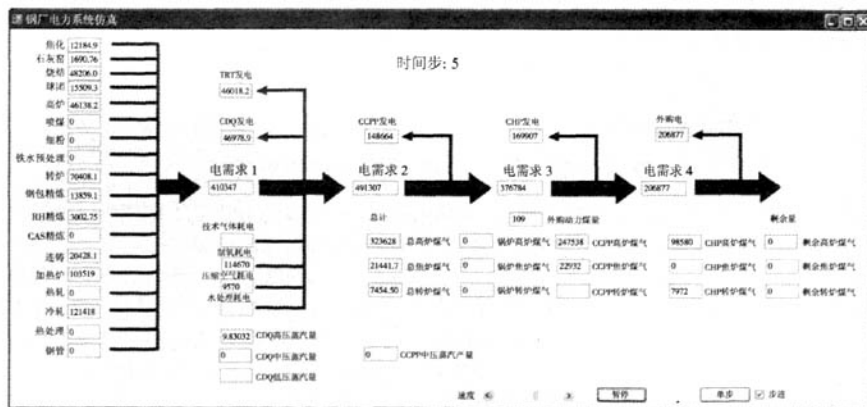


图1 电力能源仿真系统实时数据显示

Fig. 1 Real-time data display of power simulation system

图2为电力能源仿真系统在几种不同工况下对电的需求量以及各个发电设备发电量的连续变化曲线,1~4 h为正常生产,5~8 h为热轧检修,9~12 h为轧钢停产,13~16 h为CDQ检修,17~20 h为CCPP全停,21~24 h为CHP全停的情况。

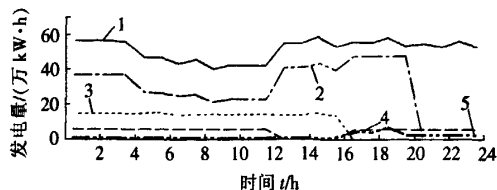


图2 不同工况下各种设备的发电量

Fig. 2 Generating capacity of various types of equipment under the different conditions

1—电需求量;2—CHP发电量;3—CCPP发电量;4—CDQ发电量;5—外购电量

(1)当工况热轧检修和轧钢停产时比正常时段需要的电量多,导致CHP发电量下降;

(2)当提高回收能力,如CDQ正常时比CDQ检修时,要少外购动力煤16.283 64 t/h,按动力煤市场价440元/t计算,可节约成本17.2万元/d;

(3)当采取合理电调控时,如在有CCPP和有CHP参与发电的情况下,将极大地降低煤气和蒸汽损失,分别可减少外购电4.048 9万kW·h/h和1.973 1万kW·h/h,分别可减少购买动力煤186.21 t/h和177.22 t/h,经济效益十分可观。

4 结论

本仿真系统通过计算机程序,模拟钢铁电力运行过程,对涉及到的能源介质的产生、消耗情况进行实时动态展示,与实际生产数据比较接近。通过对钢铁生产的不同设备故障异常事件所

进行的模拟,其动态性、及时性是以往静态方式所无法达到的^[6]。

在研究钢铁企业自身的节能措施时,通过仿真可以节约开支。不需要经过实际工况下的生产,而是直接使用本系统即可深入了解设备层面上的生产数据,对决策层具有实际意义。

利用本系统模拟各种故障情况,对指导各种工况下的生产,以及计算其他能源介质的替补量,更加简单直接,科学高效。目前的研究还未涉及到无用功、功率因数这些问题,将来可以对潮流计算以及如何削峰填谷进行相关的研究^[7]。

参考文献:

- [1]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.
- [2]李文兵,纪扬.钢铁企业能源仿真系统初探[C]//2007中国钢铁年会论文集.北京:冶金工业出版社,2007:372-377.
- [3]凌振华.钢铁企业能源管理系统的研究[D].长沙:中南大学,2005.
- [4]李洪福.炼钢转炉烟气余热回收利用研究[D].济南:山东大学,2006.
- [5]孙彦广.钢铁企业能量流网络信息模型及多种能源介质动态调控[R].北京:香山科学会议,2009.
- [6]杨家荣.昆钢系统节能潜力研究[D].昆明:昆明理工大学,2006.
- [7]袁张伟,杜秀华.工业企业用户短期负荷预测的仿真研究[J].计算机仿真,2005,22(9):192-194.

YUAN Zhang-wei, DU Xiu-hua. Short-term load forecast for industry enterprise's customer [J]. Computer Simulation, 2005, 22(9): 192-194.

[编辑:初秀兰]

江苏伟屹电子有限公司抗振型涡街流量计荣获2010年中国仪器仪表学会科学技术奖一等奖

2010年9月6日,由中国仪器仪表学会主办的第21届多国仪器仪表学术会议暨展览会在北京国家会议中心隆重开幕,江苏伟屹电子有限公司抗振型涡街流量计获得该学会的最高奖——科学技术奖一等奖。

江苏伟屹电子有限公司抗振型涡街流量计在此次获奖前,通过了由中国仪器仪表学会组织的中国工程院院士、中国计量科学研究院首席研究员张钟华,中国计量测试学会常务理事、中国计量测试学会专家咨询委员会第一副主任施昌彦研究员等权威专家和用户代表组成的鉴定委员会的新产品成果鉴定,鉴定结果如下:“目前国内外涡街流量计的弱点是抗振干扰能力差,该产品在此方面获得重大突破,在10~110 Hz范围内,两倍重力加速度的振动干扰下,产品对介质为气体的全向抗振干扰能力超过国外同类产品。该产品量程比宽、灵敏度高、计量漏损小,且具有比国内外同类产品更小的压损,节能效果好,优于国外同类产品。该产品实现了原始创新,拥有多项自主知识产权,达到国际领先水平,且已通过计量器具新产品的形式批准,得到用户好评,市场前景广阔。”

(江苏伟屹电子有限公司)