

# 基于动态设计方法的钢铁企业煤气柜容研究

杨靖辉, 蔡九菊, 黄健, 孙文强

(东北大学 国家环境保护生态工业重点实验室, 辽宁 沈阳 110819)

**摘 要:** 针对钢铁企业煤气柜的容积设计问题, 提出在锅炉燃料负荷调节周期配合条件下, 使用动态方法进行设计的方案. 通过建立相关的数学模型, 使该方法得到了很好的应用. 实例计算结果显示, 应用该方法所确定的煤气柜容积在稳定煤气系统生产的基础上, 可以使煤气柜的设计容积大为降低. 运行结果优于目前钢铁企业煤气柜的静态设计方法和经验设计值. 最后给出了对应不同的锅炉燃料负荷调节周期, 使用动态设计方法得到煤气柜容积最佳方案拟合曲线. 解决了钢铁企业剩余煤气的合理分配, 并为钢铁企业缓冲用户的优化设计提供了科学的指导方案.

**关 键 词:** 钢铁联合企业; 副产煤气; 煤气柜; 缓冲用户; 高炉煤气

**中图分类号:** TF 4      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1005-3026(2015)12-1724-05

## Suitable Capacity of the Gasholder Based on a Dynamic Design Method in Steel Plants

YANG Jing-hui, CAI Jiu-ju, HUANG Jian, SUN Wen-qiang

(SEPK Laboratory of Eco-Industry, Northeastern University, Shenyang 110819, China. Corresponding author: SUN Wen-qiang, E-mail: neu20031542@163.com)

**Abstract:** In view of the problem of the gasholder design in steel plants, a dynamic design method was proposed to calculate the rational capacity of gasholders under the boiler fuel load regulating frequency matching condition through establishing mathematical model, which obtained good practice application. The case study showed that the determined volume of the gasholder by the application of this dynamic design method was greatly reduced compared with the previous one on the basis of ensuring stable production of byproduct gas system. The operating results were better than the current gasholder designed by the static methods and empirical design values in steel plants. Finally, the best fitting curve of the suitable capacities of gasholder corresponding to different regulating frequencies of boiler fuel load was given using this dynamic design method. The optimal allocation of surplus gas of the steel plants was solved and scientific guidance was provided for the optimization design of gasholder capacity in buffer users of the steel plants.

**Key words:** iron and steel enterprise; byproduct gas; gasholder; buffer users; blast furnace gas

钢铁企业属于典型的能源密集型行业, 有学者通过建立数学模型对其生产过程和能源系统进行研究<sup>[1-2]</sup>. 钢铁企业的煤气系统因其结构复杂、煤气产生和消耗量波动频繁, 导致各用户之间难以达到协调稳定生产<sup>[3-4]</sup>. 国内外已有多位研究者针对煤气的产耗量进行仿真和预测研究<sup>[5-7]</sup>, 关于煤气的优化分配方面也做了相应的工作<sup>[8-9]</sup>. 为了使整个钢铁企业副产煤气得到更合

理的使用, 研究者使用动态规划方法建立数学模型, 分析钢铁企业剩余煤气优化分配问题, 在当前企业背景下以期得到最大的蒸汽产量<sup>[10]</sup>. 但煤气系统仍然有许多未解决的课题. 以往煤气系统的研究以及设备的设计方案均以静态或经验方法为主, 而煤气系统的生产存在诸多变数, 且煤气系统的动态调配以及煤气剩余量动态消纳等问题均未能得到合理解决, 引起煤气放散造成环境污染.

收稿日期: 2014-11-06

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(N140203002); 国家自然科学基金资助项目(21561122001).

作者简介: 杨靖辉(1982-), 男, 吉林长春人, 东北大学博士研究生; 蔡九菊(1948-), 男, 辽宁凌海人, 东北大学教授, 博士生导师.

## 1 问题描述

图 1 为钢铁企业煤气系统简图. 其中煤气产生模块和消耗模块均有学者进行了相关研究工作<sup>[11-12]</sup>. 煤气缓冲用户如图 1 中的虚线区域所示, 剩余煤气中大部分由锅炉消耗, 煤气柜在煤气系统中起到煤气波动的削峰平谷作用.

要解决剩余煤气合理利用这一问题, 作为缓冲用户的煤气柜的合理设计和燃气锅炉的合理调配作用尤为重要. 为了解决煤气供需间的矛盾, 各企业均建有相应的煤气柜起到煤气产耗的调节与缓冲作用. 对于钢铁企业煤气柜容积设计, 为安全考虑, 经常给煤气柜很高的安全系数, 导致煤气柜的容量偏高, 产生设备投资浪费. 如 800 万 t 生产规模钢铁企业, 高炉煤气柜容积为 30 万 m<sup>3</sup>, 甚至更高.

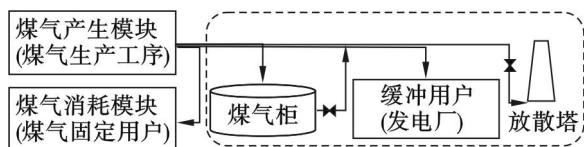


图 1 钢铁企业煤气系统简图

Fig. 1 Schematic diagram of byproduct gas system in steel plants

本文的设计思路是通过锅炉燃气负荷调节周期的配合, 使用动态方法设计煤气柜的合理容积. 由于重点不是对富余煤气在缓冲用户之间优化分配, 而是对煤气柜容积的最优设计工作, 所以模型厂原煤气柜不参与运算, 也不涉及煤气柜的初始柜位问题.

## 2 数学模型

设  $T$  为生产数据样本时间总长度,  $K$  为总的样本点数,  $\Delta t$  为样本点时间间隔,  $f_b$  为锅炉燃气负荷调节周期,  $t$  为生产时间,  $p'_s(t)$  为煤气剩余量的预测值,  $p'_{pro}(t)$  为煤气产生量预测值,  $p'_{con}(t)$  为煤气消耗量预测值, 其中  $p'_s(t)$  的计算方法见文献[13].

$$N = \frac{f_b}{\Delta t}, \quad (1)$$

$$K = T/\Delta t, \quad (2)$$

$$L = t/\Delta t, \quad (3)$$

$$p'_s(t) = p'_{pro}(t) - p'_{con}(t). \quad (4)$$

锅炉燃气负荷计算如图 2 所示.  $B'(t)$  为  $t$  时刻锅炉燃气负荷;  $V_{max}^b$  为锅炉燃气负荷上限; 锅炉燃气负荷调节周期时间段内样本点序列  $n = 1, \dots, N$ .

$$B'(t)H_{gas} + B_{coal}(t)H_{coal} = [H_z f_z(t) - H_w f_w(t)]/\eta_b. \quad (5)$$

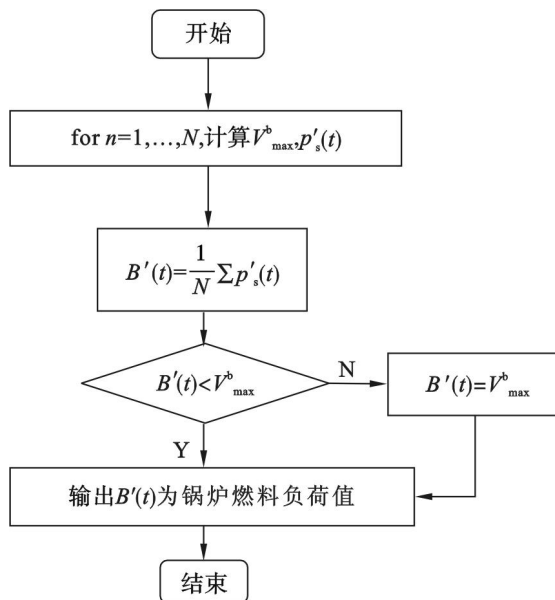


图 2 锅炉燃气负荷计算框图

Fig. 2 Calculation process of boiler gas loads

式(5)表示锅炉消耗煤气总能量与煤粉总能量之和等于蒸汽获得总热量与锅炉效率之商. 该式通过蒸汽需求量确定掺烧煤气燃煤锅炉的燃料供应量.  $H_{gas}$  为副产煤气热值;  $H_{coal}$  为煤粉热值;  $H_z$  为蒸汽焓值;  $H_w$  为锅炉用水焓值;  $B_{coal}(t)$  为锅炉消耗煤粉量;  $f_z(t)$  为锅炉蒸汽产量;  $f_w(t)$  为锅炉水耗;  $\eta_b$  为锅炉效率.

$$\Delta p(t) = p_s(t) - B'(t), \quad (6)$$

$$P(t) = \sum_{k=1}^L [\Delta p(t)]. \quad (7)$$

其中:  $\Delta p(t)$  为需煤气柜吞吐的瞬时煤气量;  $p_s(t)$  为煤气实际剩余量;  $L$  为计算时刻到达  $t$  时的样本点数, 且  $L \leq K$ ;  $P(t)$  为剩余煤气量从起始时刻到  $t$  时刻的累计值.  $V_G(t)$  为运行时间到达时刻  $t$ , 累计计算得到的煤气柜所需容积. 煤气柜容积计算流程如图 3 所示.

## 3 实例分析

某钢铁企业年产钢 800 万 t, 1 800, 2 000 和 2 500 m<sup>3</sup> 高炉各一座; 本文以 BFG 为例进行计算, 结果如图 4 ~ 图 6 所示.

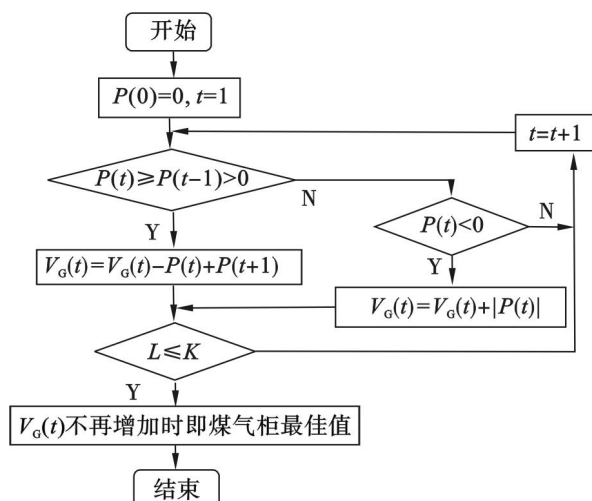


图 3 煤气柜容积计算流程

Fig. 3 The calculation of the gasholder volumes

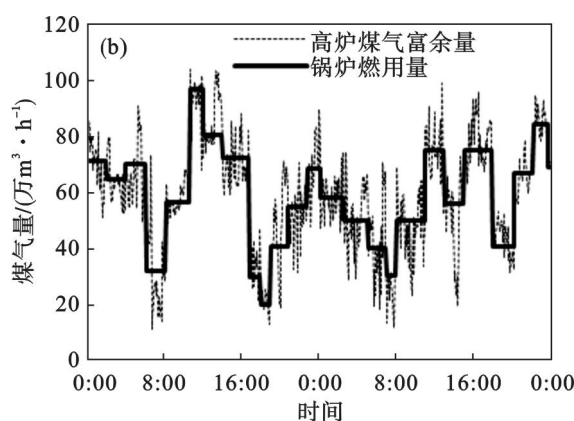
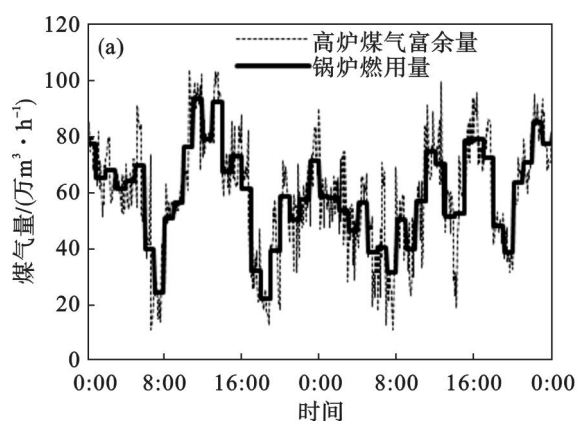


图 4 煤气富余量及锅炉燃用煤气量

Fig. 4 Amount of surplus gas and gas consumption of boiler

(a)—锅炉群调节周期 1 h; (b)—锅炉群调节周期 2 h.

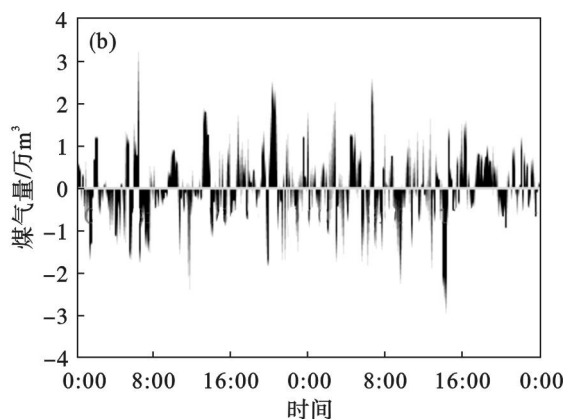
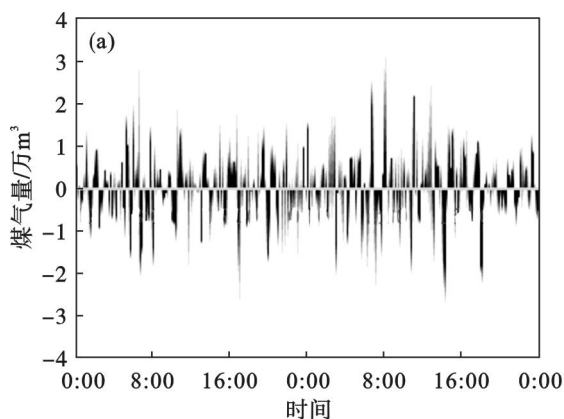


图 5 需煤气柜吞吐的瞬时煤气量

Fig. 5 Instantaneous amount that are required to be throughput by gasholder

(a)—锅炉群调节周期 1 h; (b)—锅炉群调节周期 2 h.

如果计算程序在 48 h 计算结束煤气柜容积变化仍未收敛, 可视为该方法不能解决煤气柜的合理设计问题; 如果煤气柜容积趋于平稳, 如图 7 所

示, 经过 35 h 以后, 煤气柜容积已达到收敛. 所求的结果即为对应于不同的锅炉燃气负荷调节周期的煤气柜容积最佳值.

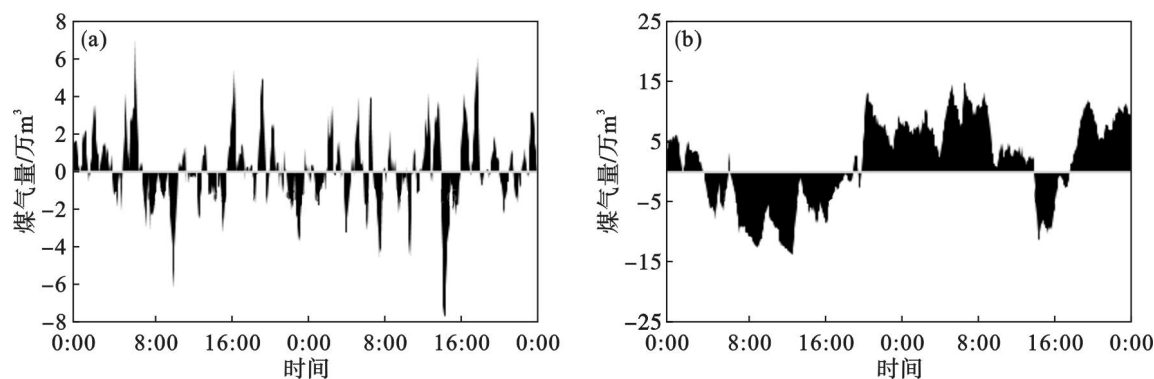


图 6 需煤气柜缓冲的煤气量累计值

Fig. 6 Accumulated value of surplus gas needed to be buffered in gasholder

(a)—锅炉群调节周期 1 h; (b)—锅炉群调节周期 2 h.

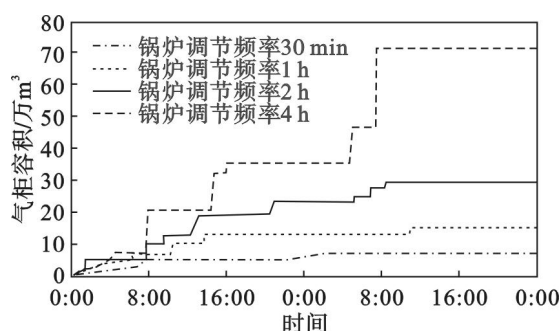


图 7 煤气柜的容积需求量随时间的变化曲线

Fig. 7 The curves of gasholder capacity changes with time

煤气柜的最佳设计容积随锅炉燃料负荷调节周期的变化拟合曲线如图 8 所示. 图中随着调节周期时间间隔的增加, 如 4 h 调节一次燃料负荷, 相当于锅炉群长时间未能发挥调节能力, 为稳定剩余煤气波动, 煤气柜容积要随之增大到约 70 万  $\text{m}^3$ ; 当锅炉发挥动态调节功能, 调节周期为 30 min 和 1 h 时, 通过动态设计方法得到煤气柜的设计容积约为 8 万和 15 万  $\text{m}^3$ . 可见通过缓冲用户协调配合方法进行设计, 可以明显降低煤气柜的设计容积, 从而减少建筑费用, 缓冲用户调节更加灵活.

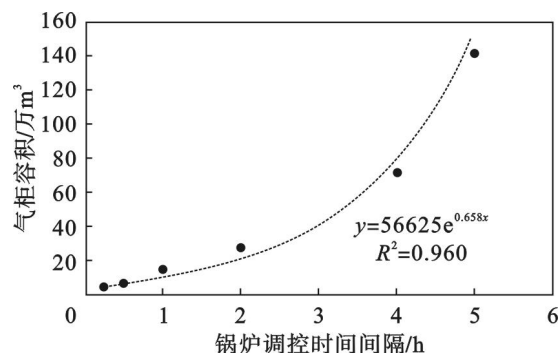


图 8 煤气柜的设计容积随锅炉调节周期的变化

Fig. 8 Fitting curve of gasholder capacity and adjusting period of boiler

## 5 结 论

针对钢铁企业煤气柜容积难以合理确定这一问题, 本文提出通过缓冲用户配合作用, 使用动态设计的方法对煤气柜容积进行确定. 首先对钢铁企业剩余煤气量和锅炉燃气负荷进行分析. 通过模型求解得到煤气柜容积的合理值优于当前静态设计方案和经验方法的设计值. 本方法适用于高炉煤气和焦炉煤气两类气源及相应煤气柜容积的确定.

案例分析中, 当锅炉燃气负荷调节频率小于或等于 1 h 时, 年产钢量 800 万 t 的钢铁企业高炉煤气柜容积可由 30 万  $\text{m}^3$  降低到 15 万  $\text{m}^3$ . 该设计方案的提出使煤气系统的优化配置存在更大的调整空间, 实现企业建设成本降低的目标, 为钢铁企业煤气柜容积的合理设计提供科学的参考.

## 参考文献:

- [1] Cai Y P, Huang G H, Yang Z F, et al. Identification of optimal strategies for energy management systems planning under multiple uncertainties [J]. *Applied Energy*, 2009, 86 (4): 480–495.
- [2] Ashok S. Peak-load management in steel plants [J]. *Applied Energy*, 2006, 83 (5): 413–424.
- [3] Yi H S, Han C H. Industrial application of MILP-based simultaneous compensation to a large-scale byproduct gases network in an iron- and steel-making plant [J]. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2004, 43 (1): 119–126.
- [4] Kong H N, Qi E S, He S G, et al. MILP model for plant-wide optimal by-product gas scheduling in iron and steel industry [J]. *Journal of Iron and Steel Research, International*, 2010, 17 (7): 34–37.

(下转第 1747 页)