

一种基于料位计的燃煤电厂分仓计量方法

徐文辉¹,董春雷¹,郭勇¹,赵德虎¹,陈长和¹,仇永裕¹,
杨勇¹,李济君¹,张进²

(1.浙江浙能温州发电有限公司,浙江 温州 325000)

(2.南京工程学院能源研究院,江苏 南京 211167)

[摘要] 分仓计量是锅炉性能计算的重要依据,也可以为燃烧策略的确定提供指导依据.提出了一种基于料位计读数的燃煤电厂分仓计量方法.为了避免料位计读数的影响,利用加煤偏差值和停止加煤偏差值对料位计读数进行处理,从而获取料位计的峰值,在此基础上利用线性拟合来获取料位计读数随时间的变化,继而利用料位计读数来计算存煤体积.结果表明,在满足给煤量恒定以及煤仓未加煤这两个条件时,短时间内存煤体积基本随时间线下降.本文利用存煤体积的变化趋势,结合给煤量便可获取煤的堆积密度.通过改变给煤量来获取不同工况,并以此验证堆积密度计算方法的可行性.通过煤堆的堆积密度,便可获取当前煤场内存煤量,结合煤仓给煤量的累计值便可获取煤仓的加煤量.本文所提出的分仓计量方法,避免了煤流速度不准确、皮带打滑、犁煤器漏煤等因素的影响,同时也避免了皮带秤的累计误差,有助于煤仓煤量的准确计量.

[关键词] 料位计,煤仓,分仓计量

[中图分类号] O643;X703 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-1292(2024)01-0026-06

A Method of Calculating the Coal Quantity in the Coal Bunker Based on the Level Meter

Xu Wenhui¹, Dong Chunlei¹, Guo Yong¹, Zhao Dehu¹, Chen Changhe¹,
Qiu Yongyu¹, Yang Yong¹, Li Jijun¹, Zhang Jin²

(1.Zhejiang Zheneng Wenzhou Power Generation Co., Ltd, Wenzhou 325000, China)

(2.Energy Research Institute, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, China)

Abstract: The coal quantity in the coal bunker is an important factor used for calculating boiler performance and can also provide guidance for optimizing combustion strategies. In this paper, a new method of calculating the coal quantity in the coal bunker based on the level meter is proposed. In order to avoid the influence of error of the level meter, the linear fitting is used to obtain the relationship between the level meter and the time. The relationship between the level meter and the time is used to calculate the coal quantity. The results show that the coal volume decreases linearly with the time when coal feed rate is constant. The bulk density of coal can be obtained by the change trend of the coal volume and the coal feed rate. Different operating conditions are obtained by changing the coal feed rate, these operating conditions are used to verify the feasibility of the bulk density calculation method. The coal quantity is obtained by the bulk density of coal and the coal volume calculated by the level meter value, then the quantity of the coal added in the coal bunker can be obtained. The new method of calculating the coal quantity in the coal bunker proposed can eliminate errors caused by the inaccurate coal flow speed, belt slippage, coal leakage from the coal plough, and the cumulative error of the belt scale. In another word, the new method can help to accurately measure the coal quantity in the bunker.

Key words: level meter, coal bunker, coal quantity

煤是我国重要的一次能源^[1-2],随着煤价的上涨,我国煤电机组难以在单一煤种下运行. 这一情况下配煤掺烧成为燃煤电厂经济运行的重要手段^[3-4]. 配煤掺烧时,分仓计量可以提供入炉煤信息,从而为燃烧策略的确定提供指导依据. 此外分仓计量也是锅炉性能计算的重要依据,对锅炉分仓计量方法的研究随之展开.

蒙毅等^[5]基于燃料全过程管理系统对配煤掺烧策略展开了研究. 魏勇等^[6]基于输煤系统的实时状态以及煤仓形状构建了煤仓煤种分布模型. 刘华炜^[7]对传统的分仓计量系统构架进行了优化,通过引入SQLServer数据库来优化系统的运行速度. 陈超等^[8]分析了分仓计量模型中误差来源. 浙能乐清电厂通过为煤仓安装负荷传感器来实现电厂的分仓计量^[9]. 徐慧琼等^[10]利用CCD相机获取煤仓内部图像,借助图像识别来获取煤仓料高. 郝忠强等^[11]利用多点测量来实现煤仓料位的智能获取. 3D料位计被用来获取煤仓内物料体积^[12],但是如果采用超声波进行测量,较高的粉尘浓度会对测量精度造成较大的影响. 部分电厂引进了智能燃烧系统^[13-14],对输煤系统进行了监测,但是对于煤仓分仓计量手段仍不完善.

分仓计量可以为燃烧策略的确定提供指导依据,但是煤流速度不准确、皮带打滑、犁煤器漏煤等因素导致目前分仓计量方法误差较大. 此外分仓计量还面临累计误差难以消除的问题. 针对目前分仓计量方法所面临的问题,本文提出了一种基于煤仓料位计的煤仓分仓计量方法,其通过煤仓料位计读数的变化趋势和给煤信号来计算煤仓加煤量.

1 理论模型

1.1 煤仓几何模型

以浙江浙能温州发电有限公司7号机组的钢煤斗为研究对象,7号机组共计有6个煤仓,煤仓几何价格如图1所示,该煤仓分为四段,从上至下分别为矩形直段、方变圆段、圆柱段和最底部的锥形段. 煤仓顶部的矩形直段(长度为9 m,宽度8.7 m)高度为0.3 m. 方变圆段圆形半径为3.375 m,高4.49 m. 圆柱段高为2 m. 煤仓底部锥形段的高度为9.81 m,最底部半径为0.45 m. 煤仓体积和料位计高度之间的关系:

$$V(h) = \begin{cases} \int_0^h \pi(r_0 + \frac{r_1 - r_0}{h_1}z) dz, & h < h_1, \\ V_1 + \pi r_2^2(h - h_1), & h_1 \leq h < h_2, \\ V_1 + V_2 + \frac{ab(h - h_2)^3}{3} - \left((h_3 - h_2)(h - h_2)^2 - \frac{2(h - h_2)^3}{3} \right) + \\ \quad r_2(a + b) \frac{\pi r_2^2((h_3 - h)^3 - (h_3 - h_2)^3)}{3}, & h_2 \leq h < h_3, \\ V_1 + V_2 + V_3 + ab(h - h_3), & h \geq h_3. \end{cases} \quad (1)$$

式中, V 为体积, h 为料位计高度, r_0 和 r_1 分别为圆锥顶部和底部半径, r_2 为圆柱半径, h_1 、 h_2 和 h_3 分别为圆锥顶部、圆柱顶部以及方变圆顶部高度, a 和 b 分别为矩形段的长宽.

1.2 料位计滤波方法

由于料位计的测试误差以及煤仓内存煤表面的不断变化,实际获取的料位读数(h)呈现较大的波动. 为了减低误差,本文提出了一种料位计读数的滤波方法. 当煤仓开始进煤时,料位计读数开始上升,煤仓进煤起始时间视为一个谷值. 由于犁煤器抬起或者进煤皮带断煤,料位计读数开始下降,此时视为一个峰值.

为避免误差造成峰值和谷值的误判,本文提出了一种料位计读数的峰值和谷值的识别方法,具体如图2所示. 本文按照时间向后依次搜索谷值(h_v)或峰值(h_p),同时引入了料位计读数的两个偏差值:加煤偏差值(h_{vp})和停止加煤偏差值(h_{pp}). 在搜索谷值时,只有当料位计读数(h)与当前谷值(h_v)大于加煤偏差值,才停止本次循环并认为所找到的料位计读数最低值为谷值. 在搜索峰值时,只有当前峰值(h_v)与料位计读数(h)之差大于停止加煤偏差值,才停止本次循环并认为所找到的料位计读数最高值为峰值.

文中料位计读数从pi数据库获取. 当料位计读数变化大于0.01 m时,pi数据库会将此时读数进行存储. 雷达料位计通过雷达波反射来获取料高. 为滤除煤仓壁面反射的雷达波导致错误的料位计读数,本文仅利用料高大于10 m时的读数,此高度上煤仓截面积较大,基本可以保证雷达波由存煤所反射.

1.3 加煤量计算方法

在获取料位计波谷和波峰后,需进一步对料位计数据进行处理. 根据煤仓的几何模型,可以将料位计读数 h 转换为存煤体积 V . 选取波峰后给煤量变化较小的时间段,此时存煤体积应当随时间线下降:

$$V = At + B. \quad (2)$$

式中, t 为时间, A 和 B 通过最小二乘法进行拟合.

存煤体积 V 和存煤量 m 之间关系为:

$$m = \rho V. \quad (3)$$

式中, ρ 为煤的堆积密度.

煤的堆积密度可以通过给煤量和系数 A 来获取:

$$\rho = \bar{m} / A. \quad (4)$$

加煤量则通过下式获取:

$$m_{\text{add}} = m|_{t_i} - \int_{t_j}^{t_i} \bar{m} dt. \quad (5)$$

式中, t_i 为本次加煤后用来拟合煤的堆积密度时间段的开始时间, t_j 为上次加煤后用来拟合煤的堆积密度时间段的开始时间.

本文中给煤量读数从 pi 数据库获取. 当料位计读数变化大于 0.1 t/h 时, pi 数据库会将此时读数进行存储.

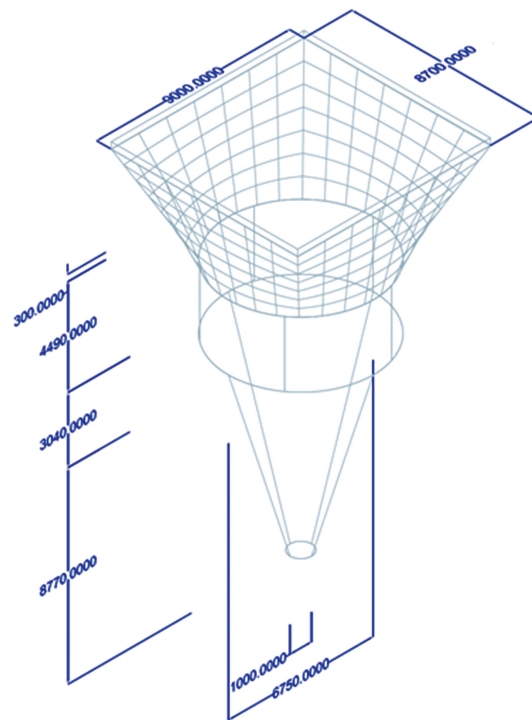


图 1 钢煤斗几何模型

Fig. 1 Geometric model of coal bunker

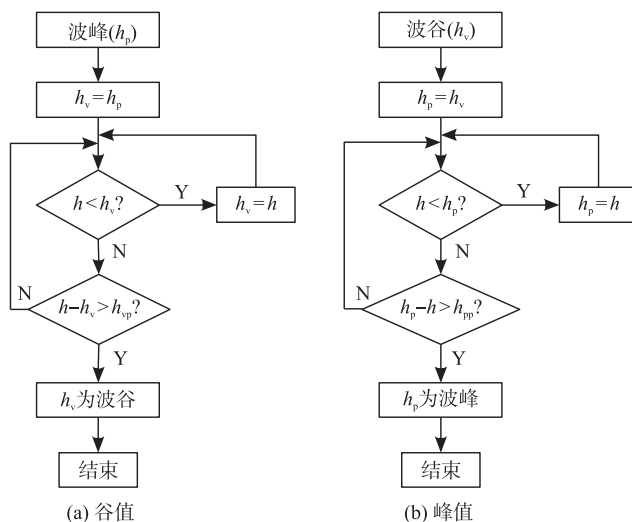


图 2 谷值和峰值的识别方法

Fig. 2 Identification methods for valley and peak values

2 结果及分析

2.1 峰谷识别可行性

为避免误差导致料位计读数的峰值和谷值的误判,本文提出了一种料位计读数的峰谷识别方法. 该方法提出了两个参数:加煤偏差值(h_{vp})和停止加煤偏差值(h_{pp}),通过此来抵消料位计误差所带来的影响. 加煤偏差值和停止加煤偏差值对可识别峰谷数量如图 3 所示. 随着加煤偏差值和停止加煤偏差值的增加,可识别的峰谷数量逐渐变少. 如图 4 所示,当偏差值较小时,料位计的误

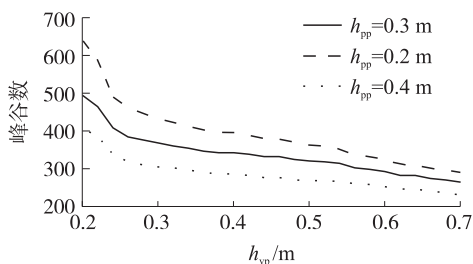


图 3 加煤偏差值和停止加煤偏差值对峰谷数量的影响

Fig. 3 The influence of the deviation value of coal feeding and the stopping coal feeding on the number of peaks and valleys

差可能导致峰谷的误判. 加煤偏差值和停止加煤偏差值过大,虽然可以避免峰谷的误识别,但是其会带来另外一个问题,即峰谷的漏识别. 因此需要谨慎选取 h_{vp} 和 h_{pp} 的数值. 本文根据温州电厂 7 号机组 D 号煤仓 8 月 19 号至 9 月 2 号的运行数据对加煤偏差值 (h_{vp}) 和停止加煤偏差值 (h_{pp}) 进行了优化. 当 h_{vp} 为 0.35 m, h_{pp} 为 0.35 m 时漏识别峰谷数量和误识别峰谷数量最少,漏识别率为 2.8%,误识别率为 1.8%. 从上述数据可以知道,本方法的准确率较高. 考虑到每个班次各仓所加煤种基本保持不变,单个班次时间为 8 h. 漏识别往往是由于短时间内 (10 min 以内) 犁煤器的多次抬起和落下导致的,因此本方法即使可能对少部分峰谷漏识别,但是并不影响后续煤仓煤量的计算以及煤仓煤种的识别.

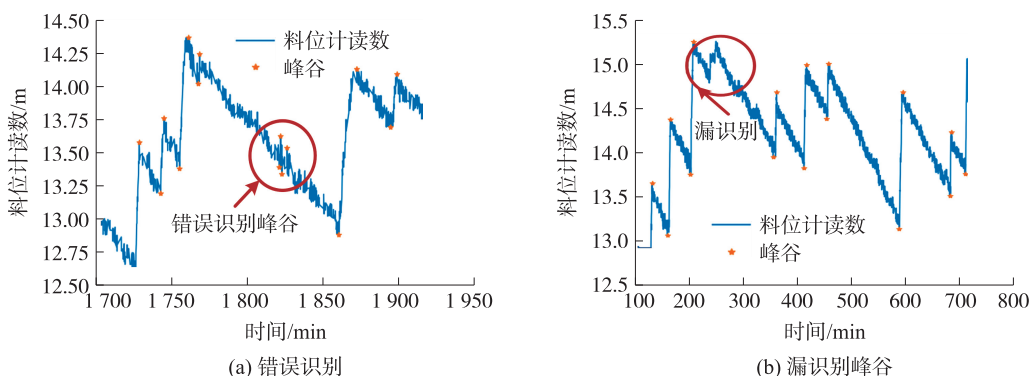


图 4 错误识别和漏识别峰谷

Fig. 4 False identification and missed identification of peaks and valleys

2.2 存煤体积变化趋势

料位计可以读出煤仓某一点的料高,结合煤仓几何模型便可获取料高所对应的体积. 为了验证利用几何体积计算存煤量的可行性,本小节分析了当给煤量恒定时,几何体积随时间的变化趋势. 以温州电厂 7 号机组 3 号煤仓在 2022 年 8 月 19 日 14 时至 15 时的运行数据为例,该时间段煤仓停止加煤,图 5 显示了该时间段煤量的变化趋势,可以发现该时间段给煤量保持在 44.7 t/h 左右. 图 6 显示了该时间段体积随时间的变化趋势. 由于料位计的误差,体积存在较多的波动. 为了降低料位计误差的影响,采用了线性拟合来获取体积的变化趋势. 通过对比测试值与拟合值可以发现,在给煤量恒定时,短时间内存煤体积基本随时间呈线性下降趋势,此时利用堆积密度的修正变可获取存煤体积和实际存煤量之间的关系. 综上所述,利用体积来获取存煤量是可行的.

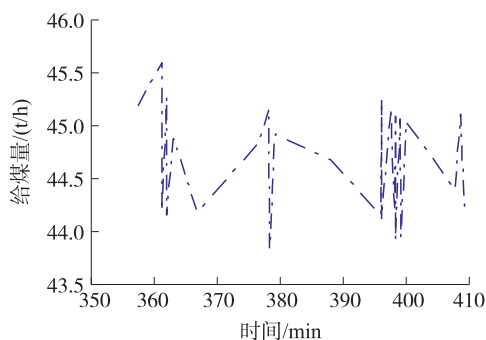


图 5 煤仓给煤量变化趋势

Fig. 5 Trend of the coal supply change

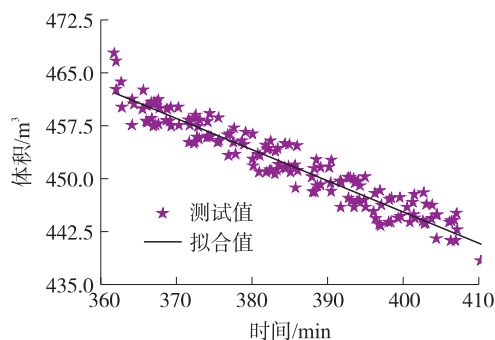


图 6 体积随时间变化趋势

Fig. 6 The change of the volume over time

上文计算了 7 号机组 3 号煤仓在 2022 年 8 月 19 日 14 时至 15 时的堆积密度为 1.69 t/m^3 ,这一数值大于经验值 ($0.5 \sim 1 \text{ t/m}^3$). 该现象主要是由于温州电厂 7 号机组采用了侧煤仓设计,煤仓内存煤的上表面存在较大的梯度,因此利用料位计读数所获取的体积并不能反应实际的存煤体积. 但是通过堆积密度的修正,尽管存煤的实际体积仍然无法获取,但是可以获取存煤的重量,借此为锅炉的燃烧优化提供帮助.

2.3 堆积密度变化趋势

图 7 用来分析堆积密度随时间的变化趋势. 图 7(a) 显示了给煤量随时间的变化,该时间段内给煤量并未保持恒定. 根据给煤量选取了 3 个时间段,这些时间段内尽管给煤量存在一定波动,但是基本在平均

值附近却波动值较小,可以认为其保持恒定. 图 7(b) 计算了 3 个时间段内的煤堆积密度. 第三个时间段内煤的堆积密度为 0.657 t/m^3 , 该数值远低于第一个时间段和第二个时间段. 第三个时间段内煤的堆积密度快速下降可以通过煤堆表面的变化来解释, 加煤后煤仓内存煤的上表面为一个斜坡, 随着煤从煤仓底部流出, 存煤的上表面的坡度会降低. 图 7(b) 圆圈内的数据则显示, 在一个较短时间段内, 煤体积变化速率变平缓, 这可以从侧面反应存煤上表面发生了较大变化. 此时则需要以此为基准, 重新开始计算存煤量.

尽管存煤上表面的形状变化会导致堆积密度产生变化, 但是若时间较短, 该变化并不明显. 图 7(b) 中数据显示, 第一个时间段内煤的堆积密度为 1.94 t/m^3 , 第二个时间段内煤的堆积密度为 1.88 t/m^3 , 堆积密度的变化小于 3%. 该数据证明, 利用体积随时间的变化和给煤量是可以推导出堆积密度. 但是在使用煤的堆积密度来计算存煤量时应当注意时间, 若时间间隔过长则应重新计算煤的堆积密度来保证结果的准确性.

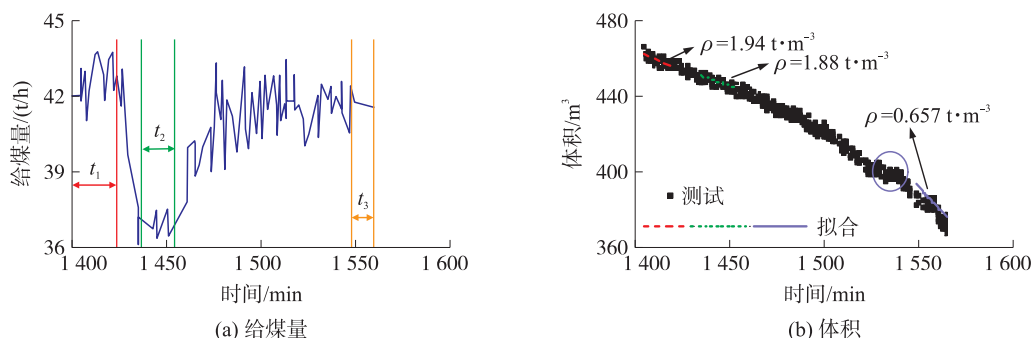


图 7 给煤量和体积随时间变化趋势

Fig. 7 The change of the coal supply and the volume over time

3 结论

煤流速度不准确、皮带打滑、犁煤器漏煤以及皮带秤累计误差等因素导致传统煤仓计量方法的误差较大. 为避免上述因素的影响, 本文提出了一种基于料位计读数的燃煤电厂分仓计量方法. 为了避免料位计读数的影响, 利用加煤偏差值和停止加煤偏差值对料位计读数进行处理, 从而获取料位计的峰谷值. 在此基础上利用线性拟合来获取料位计读数随时间的变化, 继而利用料位计读数来计算存煤体积. 结果表明, 在满足给煤量恒定以及煤仓未加煤这两个条件时, 短时间内存煤体积基本随时间线下降. 利用存煤体积的变化趋势, 结合给煤量便可获取煤的堆积密度. 通过改变给煤量来获取不同工况, 并以此验证堆积密度计算方法的可行性. 需要特别指出的是, 存煤上表面有可能会发生较大变化从而导致堆积密度的突变, 堆积密度的突变往往发生在犁煤器抬起后较长一段时间, 而加煤量的计算是采用犁煤器抬起后短时间内的堆积密度, 因此存煤上表面的突变并不影响加煤量的计算.

[参考文献] (References)

- [1] 陆洋, 王宏成, 顾中铸, 等. 脉冲电源对静电除尘性能影响的实验与理论研究[J]. 南京师范大学学报(工程技术版), 2022, 22(3): 15-20.
- [2] 王文康, 卜昌盛, 熊金琴. 流化床 O_2/CO_2 气氛对烟煤焦反应速率的影响研究[J]. 南京师范大学学报(工程技术版), 2017, 17(4): 53-58.
- [3] 胡涛, 茅大钧, 程鹏远, 等. 基于煤质预测的多目标优化配煤方法研究[J]. 热能动力工程, 2021, 36(12): 151-156.
- [4] 高建强, 全国兴. 掺烧煤质差异较大煤种对“W”火焰炉运行参数的影响[J]. 热力发电, 2022, 51(4): 18-22.
- [5] 蒙毅, 赵越, 李仁义, 等. 基于燃料全过程的在线配煤掺烧系统[J]. 热力发电, 2019, 48(6): 128-133.
- [6] 魏勇, 江学文, 寿志杰. 燃煤电厂煤仓动态监测及其在智能燃料系统中的应用[J]. 中国设备工程, 2020(18): 151-153.
- [7] 刘华伟. 燃煤电厂入炉煤分炉分仓计量的优化设计与实现[J]. 自动化仪表, 2019, 40(11): 14-18.
- [8] 陈超, 徐瑶, 王晨杰, 等. 输煤系统分仓计量设计与应用[J]. 设备管理与维修, 2016(增刊1): 106-109.
- [9] 周洪元, 管海民, 阮光, 等. 基于动态修正的原煤仓分炉煤计量系统关键技术研究[J]. 衡器, 2019(6): 11-14.

- [10] 徐慧琼,王庆福. 基于图像识别的井下煤仓煤位监测系统[J]. 煤炭技术,2022,41(8):212-214.
- [11] 郝忠强,杨文国. 斜沟选煤厂储煤仓智能测仓仪应用实践[J]. 山西焦煤科技,2022,46(7):54-56.
- [12] 张贤,纪佳玉,季念存. 原煤仓料位监测方式的现状和发展[J]. 科技与创新,2022(5):17-19.
- [13] 冯佐江,李红建,杨勇,等. 1 000 MW 燃煤机组燃料智能管控系统整体解决方案及应用[J]. 综合智慧能源,2020,42(2):22-27.
- [14] 张兰庆,柯波,杨柏依,等. 智能燃料系统信息安全监管[J]. 电力设备管理,2022,2(3):111-113.

[责任编辑:陈 庆]