

DOI:10.3969/j.issn.1674-1951.2019.12.013

火车煤煤质预判系统的开发与运用

Development and application of coal quality prediction system for trains

陈宗辉,张林渠,苟进

CHEN Zonghui, ZHANG Linqiu, GOU Jin

(四川广安发电有限责任公司,四川 广安 638017)

(Sichuan Guang'an Power Generation Company Limited, Guang'an 638017, China)

摘要:传统的火车煤煤质预判,主要依靠人工进行,工作强度高且煤质预判偏差大。某电厂在燃煤管理经验积累的基础上,通过建立数学模型,找到煤质与装车体积的关系,最终通过装车高度实现对煤质的预判,为燃煤堆放和掺烧提供依据。该系统可广泛适用于火车运输的火电厂,实现对火车煤煤质的初判。

关键词:火车煤;煤质预判;热值;燃煤机组;数学模型;燃料系统

中图分类号:TM 621 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-1951(2019)12-0063-05

Abstract:The traditional coal quality prediction for trains is mainly manual, and its labor intensity and the deviation of coal quality prediction is high. Based on coal management experience of a power plant, the relationship between coal quality and loading volume was found out through mathematical model. The prediction of coal quality was finally realized based on loading height, which provided basis for coal stacking and blending burning. It can be widely used in thermal power plants for rail transportation and initial judgment for coal quality.

Keywords:coal for trains; coal quality prediction; Calorific value; coal-fired unit; mathematical model; fuel system

0 引言

某电厂总装机容量2400 MW,由4台300 MW和2台600 MW燃煤机组组成。实行全方位、全过程和全员的煤质管理模式^[1-3]。随着燃煤精益化管理要求的提高,需实现煤炭科学堆放和入炉煤精益化掺配掺烧,但煤质在线分析技术难度大,国内发展较晚,设备多为进口,价格较高,多应用于煤矿选煤厂,在国内电厂的应用业绩较少^[4-8]。传统的煤质预判管理是火车煤到厂后质检人员爬上车厢,逐一对火车煤进行目测,依据目测结果初步判定煤质,以便堆放或掺烧,该方法受人员经验和业务技能影响,预估偏差较大。

该电厂积极寻求更加科学的煤质预判方法,研究开发火车煤预判系统,该系统主要通过红外扫描获取装车三维数据,传输到燃料系统并计算出煤炭装车高度、装车体积和质量信息,与历史数据的煤高、煤体积和煤质进行对比,可提前预判出煤质情况,发现煤质异常^[9]。

1 煤质预判系统的开发

该电厂根据装车高度与堆煤密度成反比的关系,建立数据模型模拟或预测煤质,提高煤质预判准确度。

1.1 建模分析

1.1.1 工作分析

火车运输煤炭运用车厢装运,其主要车型为C60和C70系列,一般载质量为60.0~70.0 t,车厢整体外形为长方体(如图1、图2所示),车厢的长、宽、高因车型不同有所差异,C62型车内尺寸为12.49 m×2.80 m×2.00 m,自质量20.6 t;C70型车内尺寸为13.00 m×2.89 m×2.05 m,自质量23.7 t。

为及时获取火车来煤的质量,需从来煤的信息中找到与质量相关的信息,从而判断或推算出来煤质量。通过激光测距仪获得车厢装煤高度,通过车厢识别器获得车厢型号和参数,火车煤煤质预判系统示意和火车煤煤质预判现场如图3、图4所示。

分析燃煤质量水平以煤炭发热量指标为例进行,找到与发热量变化相关的参数。火车来煤时,根据车厢型号,知道每节车厢车内尺寸,称量后获得每节车厢的质量,如果能够建立来煤密度与发热量间



图 1 火车车厢侧面

Fig.1 Side of the train carriage



图 2 火车车厢内部

Fig.2 Interior of the train carriage

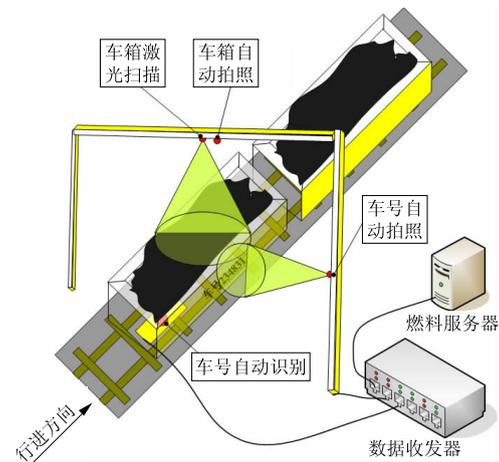


图 3 火车煤煤质预判系统示意

Fig.3 Sketch of the coal quality prediction system for trains

的关系,即可用煤密度测算出其质量,从而快速获知来煤质量水平,火车煤煤质预判原理如图 5 所示。

1.1.2 关系分析

火车衡有 2 种,一是轨道动态衡,火车进厂后可获得每节车厢煤的质量,二是翻车机静态衡,要在称量翻卸后才能获得。2 种获得质量方式不同,建立的预测模型有所区别,其主要目的是在煤炭到厂后未翻卸前获得发热量水平,故分别建立公式。

动态衡

$$Q = \rho(x) , \tag{1}$$

静态衡



图 4 火车煤煤质预判现场

Fig.4 Site of the coal quality prediction for trains

$$Q = f(x) , \tag{2}$$

式中: Q 为收到基发热量, MJ/kg; $\rho(x)$ 为密度函数; $f(x)$ 为数值函数。

该电厂采用翻车机静态衡,应用式(2)对 Q 进行相关性分析。经过分析发现,铁路为保障运输安全,对每节车的载质量有硬性规定,车型的尺寸决定了装载量的大小。根据理论分析,同一煤源在质量一定的情况下,体积与质量呈正相关关系,即质量相同的煤源,体积大的煤炭发热量比体积小的煤炭发热量高。同矿发煤的煤源相对稳定,前后煤源不会相差太大,因此在车厢载质量限定条件下,装载在车厢中的煤炭体积与质量好坏呈一定关系,公式如下

$$Q = V(x) . \tag{3}$$

找到每节、每批煤与发热量 Q 之间的对应关系,建立数据模型,据来煤体积即可预测出每节、每批煤的发热量水平;为方便现场验收,用车厢装煤的高度来判定较为方便,于是将每节、每批煤体积转换为煤的平均装车高度进行比较,公式如下

$$V(x) = lbh , \tag{4}$$

式中: $V(x)$ 为车厢体积, m^3 ; l 为车厢长, m ; b 为车厢宽, m ; h 为车厢高, m 。

通过火车车号识别系统,每节车厢的长和宽可从车厢型号中获取,最后将体积直接置换为高度表示,即

$$h = V(x)/(l \times b) . \tag{5}$$

从而建立式(2)中 $Q = h(x)$ 对应关系。

1.1.3 比重分析

车厢装煤的体积与发热量的关系是建立在假设供煤单位装车习惯前后一致,每节、每批煤装载量相对一致,前后变化不大基础上的。但在实际工作中,要做到每节车装载量稳定,不太容易,因此反映装车

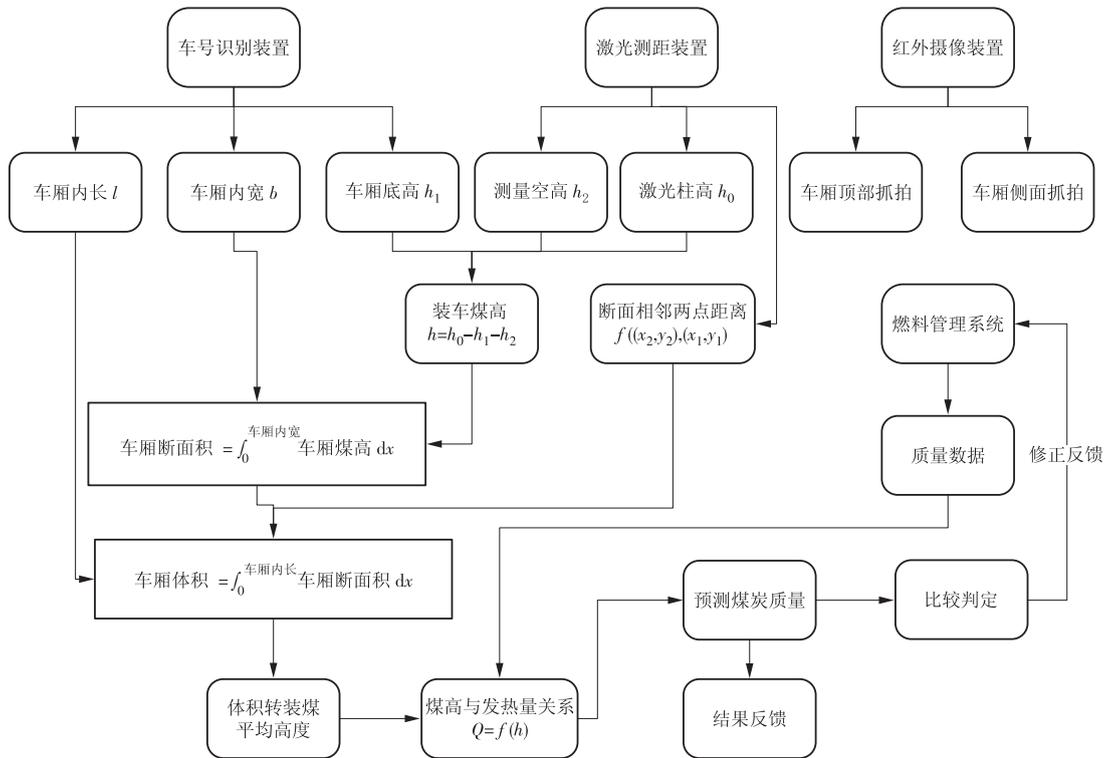


图 5 火车煤质预判原理

Fig. 5 Principle of trains coal quality prediction

水平情况用密度指标比体积指标更具有代表性:

$$\rho = m/V, \quad (6)$$

式中: ρ 为密度, t/m^3 ; m 为质量, t ; V 为体积, m^3 。

从而建立式(1)中 $Q = \rho(x)$ 对应关系。

1.2 体积算法

由于车厢装煤并不规则,顶部不是平面,车厢四周不会全部填满,现场不会出现完全的长方体形状,有时还会遇到车厢前端、后端部分没装满的情况。所以,用长方体公式无法准确计算出装车体积,故对于车厢上顶和四周可能出现曲面的情况,可运用积分向量法计算出整体车厢体积,如图 6 所示。

求车厢内不规则煤堆体积,先将其化为规则物体,然后求出每个子物体体积,最后累加得该物体总体积^[10]。按图 6 中 x 轴方向,将车厢中的煤堆分成若干个等距横截面,先计算出每个横截面面积,再运用棱台公式计算出每个棱台的体积,最后求和得出车厢内煤堆体积。由于图 6 中上顶非平面,即图中所示的线段: ad, df, fe, ea 均为曲线,要计算横截面面积,采用数学多边形向量方法计算,如图 7 所示。

$$S = \frac{1}{2} \left\{ \begin{vmatrix} h_y & h_z \\ g_y & g_z \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} g_y & g_z \\ f_y & f_z \end{vmatrix} + \dots + \begin{vmatrix} e_y & e_z \\ h_y & h_z \end{vmatrix} \right\}, \quad (7)$$

式中: S 为阴影部分面积, m^2 ; h, g, f, e 表示直角坐标系上的点; y, z 表示各点在直角坐标系的坐标值。

依次计算出每个横截面面积,相邻 2 个横截面包围的图形是不规则的棱台,将图 6 中 $abcd$ 与 $ehgf$

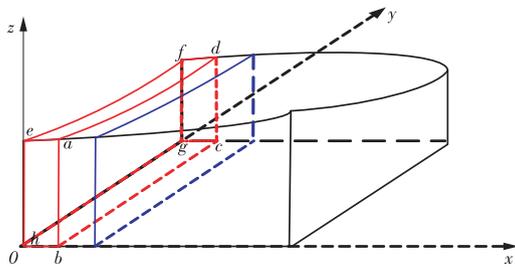


图 6 火车装煤车厢示意

Fig. 6 Sketch of a train carriage loaded with coal

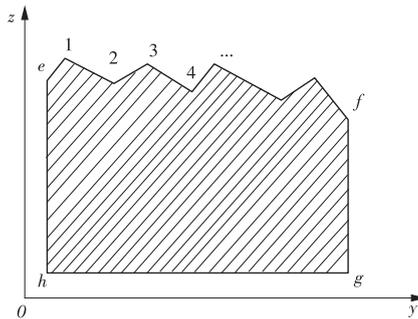


图 7 横截面示意

Fig. 7 The cross-section

包围区域提出形成棱台图,如图 8 所示(该图非标准正棱台,仅方便绘图)。

棱台体积计算公式

$$V_i = (S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \times S_2}) \times \frac{h}{3}, \quad (8)$$

式中: V_i 为棱台体积, m^3 ; S_1 为棱台上底面积, m^2 ; S_2 为棱台下底面积, m^2 ; h 为棱台高(车厢长/均分份

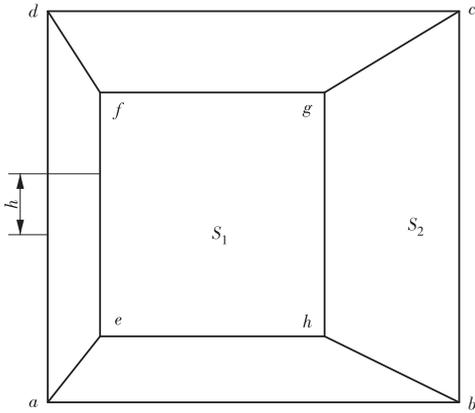


图 8 棱台图

Fig.8 Sketch of shuttle table

数), m。

将所有体积求和, 即得总体积

$$V_t = \sum_{i=1}^n V_i, \quad (9)$$

式中: V_t 为总体积, m^3 ; n 为车厢均分份数, 由实际扫描份数确定。

1.3 密度算法

通过式(9)获得每节车厢装煤体积, 结合每节车厢过衡的质量数据, 用式(6)可计算出每节车的装车密度。

1.4 质量预测

获得每节、每批煤的体积和密度后, 收集与之对应的质量数据, 再分析体积与热值、密度与热值的关系, 观察变化趋势, 最后用最小二乘法拟合出曲线公式(10), 并可用此曲线预测来煤质量。

$$y = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + a_{n-2} x^{n-2} + \dots + a_1 x + a_0, \quad (10)$$

表 1 同发站火车来煤信息

Tab.1 Coal incoming information of trains from the the same departure

批次	总质量/t	体积/ m^3	均煤高/m	密度/ $(t \cdot m^{-3})$	发热量/ $(MJ \cdot kg^{-1})$
1	461.48	361.20	1.474	1.2776	17.16
2	1876.02	1473.50	1.452	1.2732	16.87
3	1663.04	1352.75	1.487	1.2294	16.90
4	1172.36	973.35	1.464	1.2045	17.11
5	1138.66	914.90	* 1.452	1.2446	17.58
6	2513.72	1995.70	* 1.462	1.2596	17.92
7	1187.48	935.20	1.484	1.2698	17.36
8	429.72	344.40	1.406	1.2477	16.27
9	248.38	199.15	* 1.423	1.2472	17.84
10	447.44	360.15	* 1.470	1.2424	16.90
11	313.84	243.25	1.390	1.2902	16.29
12	248.04	200.55	1.433	1.2368	16.91
平均值	—	—	1.450	1.2519	17.09

式中: a 为拟合系数; n 为拟合阶数。

1.5 装车高度与热值模拟

装车高度与热值拟合主要方便现场直观判定煤质好坏, 主要用于来煤时还不知每节车的吨位时, 在火车轨道行进方向上部安装激光测距仪, 定时扫描, 获取激光源与车厢煤高点距离, 换算后即得到一横截面上顶每点煤高度, 再根据式(7)、式(8)计算出体积, 通过式(5)计算出车厢装煤平均高度, 分析高度与热值的关系。为便于问题的阐述和综合分析, 采用该电厂部分煤炭采购和验收数据, 收集到该电厂同发站火车来煤信息见表 1。

通过分析以上数据, 发现煤高和密度的变化均很小, 相对稳定, 剔除异常数据(表中带 * 值), 运用 Matlab 软件进行拟合, 拟合密度与发热量的关系见式(11); 同理, 拟合煤高与发热量的关系见式(12); 至此, 通过建模分析和 Matlab 软件拟合, 实现由煤高对发热量的预判^[11]。

$$Q = -2.9570\rho + 20.7944, \quad (11)$$

$$Q = 11.6502h + 0.0383, \quad (12)$$

式中: Q 为发热量, MJ/kg ; ρ 为密度, t/m^3 ; h 为煤高, m 。

2 煤质预判系统的运用

火车来煤后, 通过高度和密度回归, 对来煤质量进行预判, 考虑到火车车号自动识别与激光测距仪 2 个设备存在共性及互补性, 将 2 个设备整合到一起, 并增加了 1 个图像抓拍功能。把车号扫描仪、红外测高装置、抓拍摄像头都安装到一个垂直面上, 火车通过此垂直面时 3 个装置同时工作, 并将各自获

取的数据、图像生成到设定的表格中,值班人员可通过值班电脑查看此表及抓拍图像,及时发现装车异常,装车异常电脑截图如图 9 所示。图中表格第 3 列为扫描火车平均高度,第 4 列为发运煤炭质量,第 3 列设定报警值为 1.50 m,低于该报警高度则显示煤质异常,便于值班员提前发现并预警。

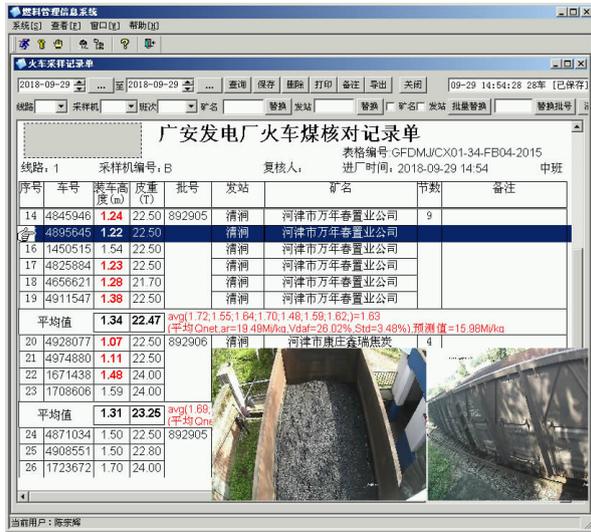


图 9 装车异常图(截图)

Fig.9 Abnormal loading (screenshot)

值班员通过此系统可提前了解来煤情况,当装车高度明显低于平均值,或来煤质量低于历史值时,会自动报警,提醒质检人员及时就地确认,及时发现煤质异常,并将预测值反馈给卸煤和上仓人员,指导卸煤区域科学堆煤和配煤上仓操作。为降低预判偏差,系统以每矿、每发站、每时间段数据为基础,通过剔除异常数,收集有效数,对测量值和预测值进行自动修正,形成每个单位和发站新的预测函数,从而有效降低预测值偏差,提高准确度。当然,根据堆积体积来计算煤质密度,进而对煤质进行判断是不严谨的,因为每次的堆密度之间,以及堆密度和实际密度之间都会有较大偏差,故存在误判的可能性。

3 结束语

煤质全过程管理要求强化煤炭质量管理,实施

(上接第 57 页)

[9]姚敏杰,高雅芬. 洪屏抽水蓄能电站内加强月牙肋钢管原型水压试验研究[J]. 水力发电, 2016, 42(6): 92-94.

[10]王康生,杨雄,熊涛,等. 洪屏抽水蓄能电站钢管水压试验[C]//中国水力发电工程学会电网调峰与抽水蓄能专业委员会 2015 年学术交流会论文集. 北京:中国电力出版社, 2015:379-384.

[11]水电站压力钢管设计规范:NB/T 35056—2015[S].

全过程煤质管理创新。传统火车煤质预判主要依靠质检人工开展,工作量大且预判偏差大,本文通过摸索试验,建立数学模型,找出煤质与装车高度之间的关系,根据煤高对煤质粗略判断,对火车煤质进行预判,为精益化燃煤管理提供依据和方法。

参考文献:

[1]高美萍. 浅谈强化煤炭企业全过程煤质管理的措施[J]. 煤质技术, 2009(2): 35-36.

[2]朱昊. 煤质全过程管理的创新与实践[J]. 中国煤炭, 2011(3): 39-40.

[3]陈波. 电厂燃料管理及煤质优化的措施[J]. 低碳世界, 2016(5): 62-63.

[4]王胜海. 燃煤电厂煤质检验工作中问题探讨[J]. 科技经济导刊, 2018, 26(24): 59.

[5]潘晶. 燃煤电厂应用煤质在线监测技术的现状及前景[J]. 东北电力技术, 2007(1): 43-47.

[6]傅望安,田维一. 在线煤质辨识系统在华能玉环电厂的应用[J]. 电力勘测设计, 2010(5): 38-42.

[7]孙永. 火车入厂煤采样装置机械结构优化设计[J]. 华电技术, 2015, 37(12): 10-14.

[8]张伟,魏晓云,李海柱,等. 电厂入炉煤煤质成分在线监测[J]. 科技资讯, 2017, 15(29): 80-81.

[9]亢丹. 煤炭企业煤质全过程管理信息系统的研究[D]. 西安:西安科技大学, 2016.

[10]刘震. 逆向工程对不规则表面物体的体积测量[J]. 机电技术, 2009(3): 22-23.

[11]于湛麟,王立颖,毛少苗. 求解一元高次方程数值解的并行计算方法[J]. 计算机应用研究, 2017(11): 126-128, 133.

(本文责编:齐琳)

作者简介:

陈宗辉(1974—),男,浙江镇海人,统计师,从事火电厂燃煤采、制、化、计量等全过程管理方面的工作(E-mail: 1400392518@qq.com)。

张林渠(1976—),男,四川渠县人,工程师,从事火电厂运行管理方面的工作。

苟进(1979—),男,四川阆中人,工程师,从事火电厂运行管理方面的工作。

(本文责编:刘芳)

作者简介:

朱晨(1986—),男,河南西峡人,工程师,从事机电设备和金属结构设备质量检测工作(E-mail: zhuc@chec.com.cn)。

刘凤维(1986—),男,河北衡水人,工程师,从事水电金属结构制作与安装工作(E-mail: 355791761@qq.com)。

张文科(1970—),男,甘肃天水人,高级工程师,从事水工金属结构技术管理工作(E-mail: 569623072@qq.com)。