

# 贵州无烟煤灰分与高位发热量相关性研究

许会军, 吴 威, 宋邦忠

(贵州省煤炭产品质量监督检验所, 贵州 六盘水 553001)

**摘要:** 煤的燃烧性能与煤中各物质的含量有密切关系。灰分的分析是煤工业分析的重要内容。为了快捷、省时、省力确定煤的发热量, 以历年来采集的 400 组贵州无烟煤煤质数据为基础, 通过计算, 得到了灰分与发热量的回归方程。通过相关性检验发现: 相关系数  $R$  为 0.999, 大于相关系数临界值, 表明线性关系特别显著。通过误差检查, 确定回归方程式推算误差置信范围为 0.16。为了进一步验证回归方程的准确性, 用贵州 12 个主要产煤区煤样的实测值与计算值进行比较, 发现最大误差值为 0.18, 最小误差值为 -0.01, 远小于 GB/T 213—2008《煤的发热量测定方法》规定的再现性临界差。

**关键词:** 无烟煤; 灰分; 发热量; 回归方程; 煤的工业分析

中图分类号: TQ533; TD849

文献标识码: A

文章编号: 1006-6772(2012)02-0079-02

## Research on correlation of ash content of anthracite and gross calorific value

XU Hui-jun, WU Wei, SONG Bang-zhong

(Guizhou Agency of Quality Supervision and Inspection of Coal Product, Liupanshui 553001, China)

**Abstract:** Combustion performance of coal is closely relevant to its components. Ash analysis is an important part of coal proximate analysis. In order to get calorific value of Guizhou anthracite with less time and consuming, taking 400 groups coal quality data gathered over years as samples, get the regression equation between ash content and calorific value. The correlation test indicates that the correlation coefficient  $R$  is 0.999, which is greater than critical value. That means the inner relation is quite remarkable. The error confidence interval has been calculated which is plus or minus 0.16 according to error detecting. In order to further test and verify the accuracy, coal samples from 12 main mining area in Guizhou Province are used to compare the measured value with calculated value. The results show that the maximum error is 0.18, the minimum error is -0.01, far less than the reproducibility critical error stipulated in GB/T 213—2008 determination methods of coal calorific value.

**Key words:** anthracite; ash; calorific value; regression equation; proximate analysis

对煤进行元素分析和工业分析可以确定煤中各种物质的含量。元素分析较为复杂, 一般只作工业分析, 即按规定的条件将煤样进行干燥、加热或燃烧, 以测定煤中的固定碳、水分、挥发分和灰分。通过煤的工业分析, 能了解煤在燃烧时的某些特性。实践证明, 煤的灰分是影响发热量的重要因

素。发热量随灰分的增高而降低。根据煤的这一特性, 通过对贵州无烟煤的大量检验数据进行统计, 分析了贵州无烟煤灰分和发热量的相关关系, 并利用已有的灰分和发热量检验数据进行数理统计运算, 并对实验结果进行检验处理, 从而推导出计算贵州无烟煤干燥基高位发热量的回归方程。

收稿日期: 2011-12-15 责任编辑: 宫在芹

基金项目: 六盘水市市级工业攻关计划(52020-2010-06)

作者简介: 许会军(1965—), 男, 贵州水城人, 高级工程师, 贵州省煤检所化验室主任, 从事煤炭质量检验及加工利用相关研究工作。

引用格式: 许会军, 吴 威, 宋邦忠. 贵州无烟煤灰分与高位发热量相关性研究[J]. 洁净煤技术, 2012, 18(2): 79-80, 89.

## 1 回归方程的建立

### 1.1 数据采集

贵州省无烟煤以织纳煤田无烟煤为主,共收集整理了历年来贵州无烟煤煤质检验数据 400 组,以无烟煤灰分和高位发热量作观测对象和研究项。依据贵州无烟煤检验的相关历史资料,对 400 个样本进行数据处理,表 1 为无烟煤样本原始数据。对灰分和发热量进行统计分析,表 2 为无烟煤样本煤质指标范围。

表 1 无烟煤样本原始数据

序号	$A_d / \%$	$Q_{gr,d} / (MJ \cdot kg^{-1})$
1	32.17	23.39
2	28.81	24.53
3	27.65	25.20
4	35.33	22.07
5	18.99	28.38
6	20.33	27.79
7	7.41	33.25
8	9.40	32.38
9	11.98	31.38
10	8.79	32.46
11	12.90	31.05
12	13.73	30.74
13	12.52	31.09
⋮	⋮	⋮
395	24.99	26.24
396	18.28	28.70
397	19.13	28.38
398	13.11	30.81
399	28.14	24.78
400	26.84	25.29

表 2 无烟煤样本煤质指标

$A_d / \%$	$\bar{A}_d / \%$	$Q_{gr,d} / (MJ \cdot kg^{-1})$	$\bar{Q}_{gr,d} / (MJ \cdot kg^{-1})$
5.85 ~ 47.78	20.21	17.11 ~ 33.81	27.97

### 1.2 回归方程

根据贵州无烟煤煤质指标,以干燥基灰分  $A_d$  为自变量,干燥基高位发热量  $Q_{gr,d}$  为因变量,设置信水平为 95%,利用 Excel 统计功能进行数据统计处理,通过计算得到回归方程<sup>[1]</sup>:

$$L_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (1)$$

$$L_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (2)$$

$$L_{yy} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (3)$$

$$b = L_{xy} / L_{xx} \quad (4)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (5)$$

通过对式(1)~式(5)计算得:

$$a = 36.051 \quad b = -0.4 \quad \text{直线回归方程 } y = a + bx。$$

因此贵州无烟煤干燥基灰分  $A_d$  对干燥基高位发热量  $Q_{gr,d}$  的一元回归直线方程为:

$$Q_{gr,d} = 36.051 - 0.4A_d \quad (6)$$

## 2 回归方程的检验

### 2.1 相关性检验

通过对统计量相关系数  $R$  的计算,可检验干燥基灰分与干燥基高位发热量之间是否存在线性相关关系。统计量相关系数  $R$  越接近 1,则说明自变量与因变量线性相关程度越显著。表 3 为无烟煤回归方程判定系数。

表 3 无烟煤回归方程判定系数

煤种	$R^2$	$R$	$R_{0.05, 2, 400}$
无烟煤	0.998	0.999	0.098

由表 3 看出,回归方程的判定系数  $R^2$  为 0.998,在设置的置信水平(0.95)以上,相关系数  $R$  为 0.999,大于相关系数临界值( $R_{0.05, 2, 400} = 0.098$ )。所以贵州无烟煤的灰分与发热量的线性相关性特别显著。

### 2.2 误差检验

误差检验是通过计算,确定回归方程推算的置信范围,从而检验回归方程推算的准确度,推算误差由式(7)计算<sup>[2]</sup>:

$$S_r = \sqrt{1 - r^2} \sqrt{\frac{\sum (y - \bar{y})^2}{n - 2}} \quad (7)$$

$r = R$ ,由表(3)可知  $r = -0.999$   $n = 400$ 。

通过计算,得出贵州无烟煤  $A_d$  对  $Q_{gr,d}$  的回归方程式的推算误差  $S_r = 0.16$ ,从而确定回归方程式推算误差置信范围为 0.16。

### 2.3 实测值与推算值的比较

用贵州 12 个主要生产无烟煤县市的煤样,进行干燥基灰分对干燥基高位发热量的实测值与推算值的比较,见表 4。由表 4 可以看出,最大误差值为 0.18,最小误差值为 -0.01,远小于 GB/T 213—2008《煤的发热量测定方法》规定的再现性临界差(300 J/g),有 8 个在 GB/T 213—2008 规定的重复性限(120 J/g)以内,说明对贵州无烟煤 400 个样本灰分的干燥基高位发热量的观测值是正确的,因此,利用此回归方程推算贵州无烟煤干燥基高位发热量的准确度较高,有很大的适用性。

(下转第 89 页)

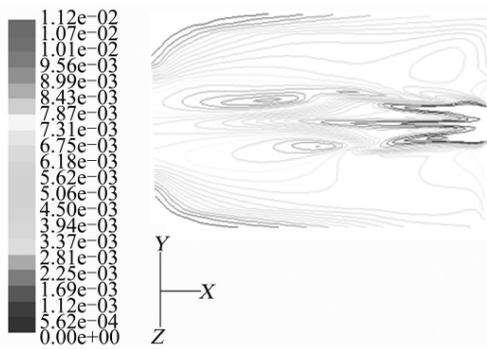


图9 标准工况下 $\text{NO}_x$ 质量分数等值曲线( $Y=Z$ )

### 3 结 论

(1) 燃气燃烧器的燃烧三维数值模拟研究得出了试验无法得到的数据,与传统试验相比,不但降低了研究费用,具有单纯试验无法比拟的优势,还为改善试验和现场操作提供了可靠依据。

(2) 燃烧器数值模拟选用多种数学模型,查看温度分布云图、速度矢量图、 $\text{NO}_x$ 分布云图,清晰地、全面地反映炉膛内甲烷和空气的流动特性。进气量过大,炉膛温度降低,设备成本增加;进气量过小,炉膛温度也降低,燃烧不充分,热效率低。

(3) 在该燃烧器中燃料基本能完全燃烧的前提

(上接第80页)

表4 实测值与推算值的比较

序号	$A_d/\%$	$Q_{gr,d}/(\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1})$		
		实测值	计算值	差值
1	24.23	26.43	26.36	0.07
2	28.72	24.42	24.56	-0.14
3	22.47	23.16	22.98	0.18
4	27.25	25.29	25.15	0.14
5	20.88	27.62	27.70	-0.08
6	20.03	27.96	28.04	-0.08
7	26.29	25.53	25.54	-0.01
8	27.80	25.02	24.93	0.09
9	33.03	22.75	22.84	-0.09
10	11.83	31.49	31.32	0.17
11	26.15	25.69	25.59	0.10
12	14.81	30.25	30.13	0.12

### 3 结 语

(1) 煤发热量是煤质研究和评价工作的重要指标<sup>[3]</sup>。通过对贵州无烟煤灰分与发热量回归分析得到的经验公式,可用来以灰分测定值预报发热量,也可用来对发热量测定结果进行审查,加强煤

下,可以通过增大一定量的空气进气量或者优化炉膛水冷壁来降低炉膛中温度,消除局部火焰高温区,减少 $\text{NO}_x$ 的排放,有利于节能减排。

参考文献:

- [1] 林阿彪,方月兰. 旋流燃烧器空气动力场的数值模拟[J]. 东北电力技术, 2007(8): 5-6.
- [2] 赵坚行. 燃烧的数值模拟[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [3] 韩占忠,王敬,兰小平. FLUENT-流体工程仿真计算实例与应用[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2010.
- [4] 王淑勤,张佩佩. 流化床燃烧脱硫模型及速度场模拟的研究[J]. 洁净煤技术, 2008, 14(1): 48-52.
- [5] 郝雪梅. 空气分级燃烧技术中两级燃尽风技术试验研究[J]. 洁净煤技术, 2007, 13(2): 70-72.
- [6] 欧俭平,吴青娇,赵迪,等. 高效低污染燃气燃烧器燃烧特性的数值模拟[J]. 金属热处理, 2009(4): 105-109.
- [7] 王家楣,彭峰. 燃烧器三维流动和燃烧的数值模拟及优化结果[J]. 武汉理工大学学报, 2004, 26(3): 79-82.
- [8] 钟北京,洪泽恺. 微燃烧器内甲烷催化燃烧的数值模拟[J]. 热能动力工程, 2003, 18(6): 584-588.
- [9] 冯良,洪彦. 低氮氧化物燃气燃烧器的CFD研究[J]. 上海煤气, 2004(5): 1-6.

炭实验室的质量管理。在衡量煤炭质量控制方面,可以指导广大中小型无烟煤企业的生产活动,提高其生产效率。对没有实测能力的中小型煤炭经营企业来说,用经验公式来预测发热量,在煤炭交易活动中可起到合理的验证作用。

(2) 回归方程的建立虽然具有很大的实际意义,但是由于贵州煤层的含煤层数较多,大部分煤层赋存于碎屑岩地层中<sup>[4]</sup>,特别是它们在变质程度上的区别,导致各种煤具有不同的化学组成及特性,因而应该建立对于贵州无烟煤不同矿井的回归方程。

参考文献:

- [1] 李英华. 煤质分析应用技术指南[M]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [2] 罗振青. 坪湖煤矿精煤灰分与高位发热量相关关系[J]. 煤质技术, 2006(6): 21-22.
- [3] 刘晓国,赵志根,黄文辉. 汝箕沟煤矿煤发热量的回归分析研究[J]. 洁净煤技术, 2011, 17(2): 51-53.
- [4] 黄培. 贵州省煤层气地质条件及开发利用现状[J]. 洁净煤技术, 2011, 17(5): 104-105.