

经验公式对全国煤实测发热量的检验*

胡 军¹⁾ 郑宝山²⁾ 吴代赦³⁾ Belkin H E⁴⁾

摘 要 选择一些经验公式对 48 个来自全国的无烟煤煤样的发热量实测值的可靠性进行了检验,发现仅凭一两个经验公式的检验结果很难对实测结果的可靠性作出正确的评价,不同经验公式的检验结果有时具有很大差异. 某个样品实测值在通过经验公式检验时出现了偏差超标值,而在用另一经验公式检验时其偏差却很低. 总的来说,利用元素指标经验公式对样品发热量进行计算检验时,其计算值与实测值偏差一般小于工业分析指标经验公式,而不同矿区经验公式的准确性比一般经验公式高,对来自不同矿区的样品实测发热量采用矿区专用公式进行检验审核会更好.

关键词 煤,发热量,经验公式,检验

中图分类号 TQ533.4

0 引 言

煤的发热量,又称煤的热值,是单位质量的煤完全燃烧所产生的热量. 它是评价煤质的重要指标之一,是煤按热值计价的主要依据,是计算热平衡、热效率和煤耗的依据,同时又是锅炉设计的参数.^[1,2] 煤炭发热量通常在实验室通过“氧弹”法进行测定,这种方法需要精密的仪器设备和相应的实验技术,受环境影响因素多,测定方法繁琐,测定费用昂贵.^[3-5] 长期以来,国内外科技工作者通过煤的工业分析及元素分析结果推导出了很多直接用来计算煤炭发热量的快速简捷的经验公式,同时也可以用来检验实测结果的准确性. 然而,如何在测定发热量后选择合适的经验公式对实测结果进行检验,不同的经验公式检验效果怎样,很少看到相关报道. 我们测定了来自全国 290 个煤样的发热量值,为了了解测定结果是否准确,选择了多个经验公式分别对 22 个褐煤,220 个烟煤和 48 个无烟煤样品的发热量值进行检验,不同的经验公式对测定结果的检验出现了比较大的差异. 本文仅以 48 个无烟煤样品的检验情况进行说明.

1 样品采集与分析测试

按照国标方法(GB481-93),根据中国煤田分

布、煤炭储量和成煤地质时期,兼顾不同变质程度,在全国 26 个省、市、自治区采集了共 290 个样品. 样品中 H, C, N, O 和 S, 以及灰分(A), 挥发分(V), 水分(M)和煤炭高位发热量(Q_{gr})等分别采用 ASTM D5373, D5373, D5373, D3176, D4239, D3174, D3175, D3173 和 D5865 进行,所有测定工作在美国地调所(USGS)丹佛实验室完成. ASTM-D5865 方法对煤炭发热量的测定结果与我国测定标准 GB/T231 的测定结果基本是一致的.^[6]

2 公式选取

选取了 3 个以工业分析为指标的经验公式,两个以元素分析指标和工业分析指标相结合的经验公式对 48 个无烟煤样品的发热量实测结果进行检验. 选取了一个可适用于不同矿区的公式来与前 5 个公式检验情况对比.

公式 1:

$$Q_{\text{net,ad}} = K_o' - 359.62M_{\text{ad}} - 384.71A_{\text{ad}} - 100.36V_{\text{ad}}, \quad \text{J/g}$$

公式 1 中的 K_o' 值从第 2 页表 1 中可以查出. 从公式 1 中可以看出,水分、灰分和挥发分均与发热量成反比.

公式 1 来自陈亚飞等^[7]以国内主要无烟煤矿区的几百个实测煤样的化验结果通过统计计算,推导

* 国家自然科学基金重点基金资助项目(40133010).

1) 博士生; 2) 教授, 博士生导师, 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 550002 贵阳; 3) 副教授, 南昌大学环境科学与工程学院, 330029 南昌; 4) 博士, National Center, US Geological Survey, Reston VA, 20192 USA

收稿日期: 2005-08-10; 修回日期: 2005-10-20

出计算我国无烟煤 $Q_{net,ad}$ 的经验公式,原国家标准局在 GB2589《综合能耗计算通则》中正式推荐其为计算我国煤炭低位发热量的经验公式。

表 1 无烟煤的 K_0' 与 H_{daf} 的对应性

Table 1 K_0', H_{daf} of anthracite

H_{daf}	K_0'	H_{daf}	K_0'
≤ 0.60	32 198	2.01~2.50	34 707
0.61~1.20	33 035	2.51~3.00	34 916
1.21~1.50	33 662	3.01~3.50	35 335
1.51~2.00	34 289	>3.50	35 753

公式 2:

$$A_d \leq 25\% \text{ 时, } Q_{net,ad} = 33\,323 - 362.9M_{ad} - 417.8A_{ad} + 251.8V_{ad}, \quad \text{J/g}$$

$$A_d \geq 25\% \text{ 时, } Q_{net,ad} = 32\,341 - 397M_{ad} - 355.6A_{ad} + 197.4V_{ad}, \quad \text{J/g}$$

公式 2 为陈亚飞等^[7]几十年来通过收集、整理大量研究煤样推导出的以工业分析结果为参数的回归式。公式 2 中水分和灰分项系数为负,挥发分系数为正,而在公式 1 中挥发分系数为负。

公式 3:

$$Q_{net,ad} = 34\,814 - 24.7V_{ad} - 382.2A_{ad} - 563.0M_{ad}, \quad \text{J/g}$$

公式 3 由北京煤化学研究所陈文敏等^[7]与北京物资学院刘天新教授共同研制完成,以 461 个无烟煤煤样的实测发热量结果为基础推导出的计算无烟煤 $Q_{net,ad}$ 的回归式。公式 3 中水分、灰分和挥发分系数均为负数,与公式 1 中完全一致。

公式 4:

$$Q_{net,ad} = 217.8C_{ad} + 1\,145H_{ad} - 377S_{t,ad} - 151O_{ad} - 124.9A_{ad} - 114.4M_{ad} + 10\,889, \quad \text{J/g}$$

公式 4 由陈亚飞等^[7]以 296 个无烟煤煤样的发热量分析结果推导出的计算无烟煤 $Q_{net,ad}$ 的回归式。

公式 5:

$$Q_{net,ad} = 6\,984 + 275C_{ad} + 805.7H_{ad} + 60.7S_{t,ad} - 142.9O_{ad} - 74.4A_{ad} - 129.2M_{ad}, \quad \text{J/g}$$

公式 5 由北京煤化学研究所陈文敏等^[7]利用元素分析以及工业分析结果推导出计算煤炭 $Q_{net,ad}$ 的回归式。公式 5 中水分、灰分和氧含量系数均为负数,碳、氢和硫含量系数均为正,与公式 4 中为硫系数为负不同。

公式 6:

不同矿区 $Q_{net,ad}$ 的回归式:

$$Q_{net,ad} = K - 359.6M_{ad} - 384.7A_{ad} - 100.4V_{ad}, \quad \text{J/g}$$

公式 6 中 K 随矿区不同而异,从表 2 中可以查出。

表 2 不同矿区与 K 的对应值

Table 2 The K values in different coal mines

Coal mines	K	Coal mines	K
Beijing	33 453	Jincheng	35 125
Furong	35 544	Yangquan	35 753
Songzao	35 753	Longyan	34 289
Jiaozuo	35 125		

3 经验公式的检验效果

3.1 计算值(经验公式)与实测值偏差分布

分别用上述公式对所测量值进行检验,偏差情况见图 1 和第 3 页图 2。由图 1 和图 2 可以看到,不同公式的检验结果不同。在对偏差分析时,参考了一

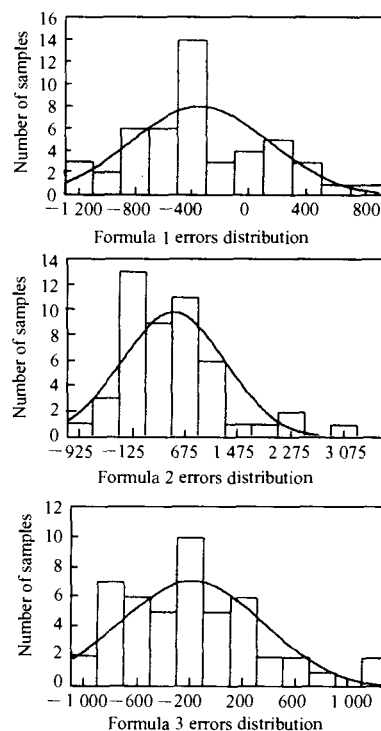


图 1 工业分析指标经验公式计算值与实测值绝对偏差分布

Fig. 1 Distribution of the differences between the measured values and the values calculated by experience formula of industrial indexes

些公式给出的绝对偏差超标范围后,给出两个绝对偏差超标指标以方便进行检验评价。在利用元素分析指标回归式检验时,取“检验绝对偏差 $>400 \text{ J/g}$ ”的实测值为超标值;在利用工业分析指标回归式检验时,取“检验绝对偏差 $>1\,000 \text{ J/g}$ ”的实测值为超

标值.

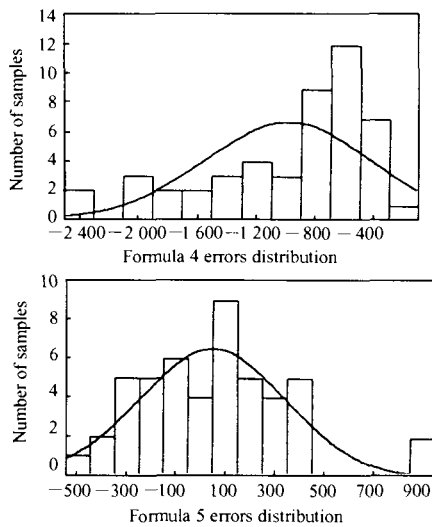


图 2 元素分析指标经验公式计算值与实测值绝对偏差分布

Fig. 2 Distribution of the differences between the measured values and the values calculated by experiential formula of element indexes

公式 1 的检验绝对偏差分布范围:

-1 143.95 J/g ~ +867.77 J/g. 绝对偏差基本成正态分布, 总体上计算值较实测值偏低. 在 48 个无烟煤样品中, 绝对偏差基本分布在 ±800 J/g 之间, 超过 1 000 J/g 的样品仅有 3 个. 因此, 利用公式 1 对无烟煤发热量实测值检验, 需要验证的实测结果有 3 个.

公式 2 的检验绝对偏差分布范围:

-985.53 J/g ~ +3 016.92 J/g. 此公式的检验绝对偏差明显高于公式 1. 计算值比实测值总体偏

高. 48 个无烟煤样品中, 检验绝对偏差超过 1 000 J/g 的样品共 9 个, 最高绝对偏差高达 3 000 J/g 以上, 其来自芙蓉局白皎矿, 样品编号 052077.

公式 3 的检验绝对偏差分布范围:

-1 017.16 J/g ~ +1 197.24 J/g. 此公式的检验绝对偏差与公式 1 较为接近. 48 个煤样样品中, 绝对偏差超过 1 000 J/g 的样品共有 4 个. 对于芙蓉局白皎矿的 052077 样品, 公式 1 检验绝对偏差为 -1 125.16 J/g, 公式 2 检验绝对偏差为 +3 016.92 J/g, 公式 3 检验绝对偏差为 -204.44 J/g, 此样品实测值与公式 3 计算值非常接近.

公式 4 的检验绝对偏差分布范围:

-2 497.92 J/g ~ -215.63 J/g. 绝对偏差均为负, 绝对偏差 < 400 J/g 的样品只有 4 个, 即将有约 92% 的样品绝对偏差为超标.

公式 5 的检验绝对偏差分布范围:

-542.04 J/g ~ 898.92 J/g. 由图 5 可以看出, 绝对偏差总体呈正态分布, 仅有 3 个绝对偏差 > 400 J/g, 检验效果非常好. 公式 4 和公式 5 均是以元素分析和工业分析指标相结合推导出的经验公式, 两者检验效果具有很大的差别.

因此, 在选择经验公式对发热量进行计算或检验时, 公式的选择对结果会有很大的影响.

3.2 公式 1~3 和公式 5 对 48 个无烟煤煤样实测发热量检验情况比较

由上面可以看到不同的经验公式对这批样品检验会出现不同的效果. 表 3 是公式 1~3 和公式 5 对 48 个无烟煤样品实测发热量进行检验时出现的绝对偏差超标值比较情况. 由于公式 4 检验偏差太大, 其结果没有被列入表 3.

表 3 公式 1~3 和公式 5 计算值与 48 个无烟煤煤样实测发热量之间的绝对偏差超标值比较

Table 3 Comparison of super differences between measured values of 48 anthracite samples and the values calculated by formula 1,2,3,5

Samples	MV ¹⁾	Formula 1		Formula 2		Formula 3		Formula 5	
		CV ²⁾	AD ³⁾	CV	AD	CV	AD	CV	AD
051585	32 115.08	31 446.79	-668.29	32 021.28	-93.80	31 097.91	-1 017.16	31 730.28	-384.80
054581	31 035.28	30 137.83	-897.45	31 412.27	376.99	30 023.52	-1 011.77	30 851.75	-183.53
051588	29 495.92	28 535.22	-960.70	30 663.69	1 167.77	28 837.92	-658.00	28 953.91	-542.02
054583	27 932.30	27 460.49	-471.81	30 092.72	2 160.42	27 689.56	-242.75	27 746.56	-185.74
052077	25 042.29	23 917.14	-1 125.16	28 059.21	3 016.92	24 837.86	-204.44	25 332.37	290.07
051437	27 309.33	27 363.45	54.12	28 332.88	1 023.55	27 215.37	-93.96	27 291.67	-17.66
060794	26 283.72	26 660.33	376.61	27 715.63	1 431.91	26 397.11	113.40	26 469.03	185.31
052012	20 740.84	20 763.78	22.94	21 806.21	1 065.36	20 956.57	215.73	20 893.15	152.31
060864	24 354.49	24 852.74	498.24	26 225.19	1 870.69	24 591.18	236.68	24 475.00	120.50
051438	24 738.29	25 232.93	494.64	27 135.12	2 396.82	25 237.17	498.87	24 590.97	-147.32
060626	24 768.63	23 661.25	-1 107.39	25 183.32	414.69	25 392.66	624.02	25 138.93	370.29
060627	26 187.74	25 043.79	-1 143.95	26 713.70	525.96	27 380.93	1 193.18	27 086.66	898.92
051833	26 794.73	26 073.66	-721.08	27 862.55	1 067.81	27 991.98	1 197.24	27 171.99	377.25

Note: 1) MV — Measured values; 2) CV — Calculated values; 3) AD — Absolute differences.

由表3可以看到,不同的公式检验情况有很大的不同,出现的超标值有的为正,有的为负,如对051558号样品,公式1,3,5检验结果绝对偏差均为负,而公式2则为正,而且相当高(1 167.77)。同样的情况在表3中多次出现。由于发热量经验公式只是多数的样品通过统计分析得出的回归式,对某个单一样品来说,其计算值绝不可能完全可靠。如果仅用一个经验公式对48个测量结果校验,出现的绝对偏差超标的样品有多个,但是利用公式1与公式5,或公式2与公式5,或公式3与公式5相结合来对所有无烟煤实测发热量值进行检验,均只出现了一个绝对偏差超标值。

3.3 无烟煤矿区经验公式与一般公式的检验绝对偏差比较

对来自不同的煤田、矿区和地层的煤炭,煤质之间会有很大的差异,单一的经验公式很难准确计算出其发热量值。为了更加准确地审核计算煤炭发热量,很多研究者推导出了某些特定矿区的专用经验公式。下面是利用矿区专用公式(公式6)对特定地区煤炭发热量实测值进行检验的结果,并将其与公式1,2,3对相同样品的检验情况进行比较(见表4)。

由表4可知,公式6对14个煤样品的发热量检验偏差均小于1 000 J/g,而且除了一个芙蓉矿区样品绝对偏差为916.7 J/g外(此样品采用公式1和

表4 三种不同无烟煤经验公式与各矿区专用公式计算值与实测值偏差比较

Table 4 Comparison of differences between the measured values and the values calculated by three anthracite experience formulas and a special mine formula

Samples	MV	Formula 1		Formula 2		Formula 3		Formula 6	
		CV	AD	CV	AD	CV	AD	CV	AD
Beijing	26 794.74	26 073.66	-721.08	27 862.55	1 067.81	27 991.98	1 197.24	26 491.61	-303.13
Furong	25 042.30	23 917.14	-1 125.16	28 059.21	3 016.92	24 837.86	-204.44	24 125.60	-916.70
Songzao	24 281.30	24 331.62	50.33	24 483.91	202.62	24 006.40	-274.89	24 331.50	50.20
Songzao	27 916.14	28 070.37	154.23	28 840.88	924.73	27 741.03	-175.11	28 070.13	153.99
Jincheng	30 760.38	29 951.18	-809.20	31 576.02	815.64	30 345.36	-415.02	30 159.90	-600.48
Jincheng	29 900.83	29 498.77	-402.07	30 476.79	575.95	29 655.32	-245.51	29 707.58	-193.26
Yangquan	32 115.08	31 446.79	-668.29	32 021.28	-93.80	31 097.91	-1 017.16	31 446.51	-668.57
Yangquan	27 103.78	27 306.11	202.33	27 559.44	455.67	26 978.84	-124.94	27 305.93	202.15
Yangquan	20 874.75	21 118.27	243.52	21 792.57	917.82	20 932.21	57.46	21 118.18	243.43
Yangquan	29 495.92	28 535.22	-960.70	30 663.69	1 167.77	28 837.92	-658.00	28 952.85	-543.07
Yangquan	28 628.76	28 348.51	-280.25	28 991.86	363.10	28 385.09	-243.67	28 766.32	137.55
Yangquan	29 190.88	29 332.53	141.65	29 500.61	309.73	28 900.01	-290.86	29 332.34	141.46
Jiaozuo	24 108.42	24 130.98	22.56	23 984.42	-124.00	24 100.73	-7.69	23 920.96	-187.47
Longyan	24 429.64	24 046.75	-382.90	24 214.53	-215.11	24 522.39	92.74	24 046.81	-382.83

公式2进行检验时,偏差分别为-1 125.16 J/g, +3 016.92 J/g),其他矿区煤样实测发热量检验偏差均在±700 J/g以内,10个样品偏差都在±400 J/g以内,几乎与以元素分析结果推导出的经验公式检验偏差相当。因此,在对全国范围的煤样实测发热量进行检验时,某些样品出现的绝对偏差很大,可采用不同的矿区经验公式进行核实。

4 结 论

1) 在选择经验公式对所测发热量值进行检验

时,某些经验公式计算结果与实测结果偏差非常大。仅凭一个经验公式的检验结果很难对实测结果的可靠性作出正确的评价。

2) 利用元素分析指标经验公式对样品发热量进行计算或检验时,其偏差一般小于工业分析指标经验公式,但也有例外。不同矿区经验公式的准确性比一般经验公式高很多,因此,对不同矿区的样品采用矿区专用公式进行检验审核会有比较好的效果。

3) 对本次测定的48个无烟煤发热量,公式1和公式5计算的发热量值与实测值比较接近。

参 考 文 献

- [1] 中国民. 用煤质分析灰分、水分数据计算煤炭热量的经验公式及查表算法[J]. 煤质技术, 2003(4): 49-51.
- [2] 檀双英, 易德礼, 赵志根等. 煤炭发热量含义及其相互关系[J]. 标准化报道, 2000, 21(4): 15-16.
- [3] 罗颖都. 谈谈如何确保发热量测值的准确[J]. 煤质技术与科学管理, 1997, 4(增刊): 18-22.

- [4] 丁 玉. 谈谈煤炭发热量的测定[J]. 煤质技术, 2000, 1(1): 30-31.
 [5] 张 洪, 王 超, 周 敏等. 矿物组分对煤炭发热量的影响[J]. 中国矿业大学学报, 1998, 27(3): 280-284.
 [6] 朱雄伟. 关于发热量测定标 GB/T213 与 ASTM D3286 的比较[J]. 煤质技术, 1999(2): 18.
 [7] 陈亚飞, 姜 英, 陈文敏等. 煤炭化验结果的审核与计算[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2003. 154-155.

IDENTIFYING AND APPRAISING OF COAL CALORIFIC EXPERIENCE FORMULA

Hu Jun Zheng Baoshan Wu Daishe* and Belkin H E**

(State Key Lab of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, CAS, 550002
 Guiyang, Guizhou; * College of Environmental Science and Engineering,
 Nanchang University, 330029 Nanchang Jiangxi; * National Center,
 U. S. Geological Survey, Reston VA, 20192 USA)

ABSTRACT In this paper, we chosed some experience formulas from some coal experts to check up our measured calorific values of 48 anthracites, and found we can't give the correct appraising for the measured calorific values only by one experience formula because the errors distribution from different experience formulas have large difference. The error is too high tested by a formula, but it can be eligible or even very low by other formulas. Commonly, the differences between the measured values and the values calculated by experience formula of elemental indexes are much higher than by experience formula of industrial indexes, and the differences are lowest by experience formula of mines. So, it will be better when checking-up the measured calorific values of some samples from different mines by the special formulas of different mines.

KEY WORDS coal, calorific value, experience formula, test

中国煤化学与碳一化学学术研讨会会议通知

由中国科学院和日本学术振兴会(JSPS)共同发起、主办的系列双边学术会议“中日煤化学与碳一化学学术研讨会”在双方同行的努力下,已经成功举办了8届。这一系列研讨会对于促进中日两国同行之间的学术交流与合作发挥了积极作用,成效显著。根据第8届研讨会上双方的商定,第9届研讨会将于2006年10月22日—28日在成都举办。欢迎国内同行与企业界人士参加。如需了解会议的详细情况,请与会议组委会联系。

中日煤化学与碳一化学学术研讨会组委会

2005.12

e-mail: hanyz@sxicc.ac.cn; tel: 0351-4049747

<http://www.sxicc.ac.cn/xueshuhuodong/zhr9.htm>