

煤的发热量和 计算公式

煤炭科学研究院煤化学研究所煤质组著

煤炭工业出版社

V421.1

M519

煤的发热量和计算公式

煤炭科学研究院煤化学研究所煤质组著

煤炭工业出版社

365803

内 容 提 要

本书扼要地介绍煤的各种不同发热量的涵义及其计算公式,并在论述煤的发热量与主要煤质指标间内在联系的基础上,根据我国煤质情况提出了利用工业分析及元素分析结果计算我国各种煤高位发热量的一整套经验公式。此外,还进一步论证了作者过去提出的利用工业分析结果直接计算煤的分析基低位发热量经验公式的精确度。为了供有关部门参考,书中还列出了我国褐煤、无烟煤和弱粘结煤等主要动力用煤的应用基低位发热量。

本书可供煤矿(尤其是中小型煤矿)和铁路、电力、建材等有关用煤单位的煤质管理和化验人员使用,也可供煤炭科研、设计、院校的有关人员参阅。

煤的发热量和计算公式

煤炭科学研究院煤化学研究所煤质组著

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ 印张 $5^{13/16}$ 插页1

字数125千字 印数1—16,160

1979年4月第1版 1979年4月第1次印刷

书号15035·2209 定价0.63元

目 录

第一章 煤炭发热量的定义及其测定的意义	1
第一节 煤炭发热量的定义及其表示方式	1
第二节 煤炭发热量测定的意义	2
第二章 煤炭不同基准发热量的涵义及其互换公式	5
第一节 煤炭不同基准发热量的涵义	5
第二节 不同基准发热量间的换算公式	13
第三章 煤的发热量与其它煤质指标间的关系	17
第一节 煤的可燃基高位发热量和可燃基挥发份的关系	17
第二节 煤的发热量和固定碳的关系	22
第三节 煤的发热量和灰分的关系	23
第四节 煤的可燃基高位发热量和水分的关系	26
第五节 煤的可燃基高位发热量和胶质层最大厚度 y 值 的关系	27
第六节 煤的可燃基高位发热量和元素组份碳含量 (C') 的关系	28
第七节 煤的可燃基高位发热量和元素组份氢含量 (H') 的关系	30
第八节 煤的可燃基高位发热量和元素组份氧含量 (O') 的关系	32
第九节 煤的可燃基高位发热量与若干计算常数的关系	34
第十节 风化煤的发热量 (Q'_{GW} 值) 与其它煤质指标 之间的关系	39
第四章 利用工业分析结果计算各种煤的高位发热量	44
第一节 高特 (Goutal) 公式对计算我国煤发热量的适应性	44

第二节	其它公式对计算我国煤发热量的适应性	61
第三节	适用于计算我国各种煤高位发热量的经验公式 的推导	64
第四节	用查表法计算我国各种烟煤的洗精煤高位发热 量	86
第五节	由公式算出的各种煤的高位发热量换算为低位 发热量	90
第六节	适合于计算我国高灰分煤($A^s > 40\%$)高位 发热量的经验公式	95
第五章	利用工业分析结果直接计算煤的低位发热量	105
第一节	推导低位发热量经验公式的理论依据	105
第二节	计算无烟煤低位发热量的经验公式	106
第三节	计算烟煤低位发热量的经验公式	108
第四节	计算褐煤低位发热量的经验公式	109
第五节	利用水分、灰分含量计算已知矿区煤的低位发 热量的经验公式	111
第六节	利用统检煤样验证计算 Q_{dw} 公式的适应性	113
第六章	利用元素分析结果计算煤的发热量	114
第一节	以前沿用的利用元素分析结果计算煤高位发热量 的经验公式对我国煤的适应性的探讨	115
第二节	适合于计算我国各种煤高位发热量的经验公式 的推导	123
第三节	利用元素分析结果计算我国煤弹筒发热量经验 公式的推导	144
第七章	各公式精确度的验证和对比及本书经验公式的总 结	148
第一节	利用工业分析结果计算各种煤高位发热量 (Q'_{dw})的各种经验公式精确度的对比	148
第二节	利用元素分析结果计算煤高位发热量(Q'_{dw})的 各种经验公式精确度的对比	149

第三节	利用元素分析结果计算各种煤弹筒发热量的公式精确度的讨论	151
第四节	利用1977年全国统一检查煤样验证本书公式的精确度	152
第五节	本书提出的利用工业分析和元素分析结果计算各种煤发热量的经验公式的总结	154
第八章	我国主要动力用煤的应用基低位发热量	159
附 录		
一、	中国煤炭分类(以炼焦用煤为主)方案表	165
二、	中国煤炭分类(以炼焦用煤为主)方案图	166
三、	中国煤炭分类方案以外的各种固体可燃矿物的特性 ...	166
四、	常用的主要煤质指标及其代表意义	173
五、	硬煤国际分类表	插页
六、	新旧国家标准的煤的工业分析方法变更情况对照表 ...	175

第一章 煤炭发热量的定义 及其测定的意义

第一节 煤炭发热量的定义及其表示方式

煤^①的发热量是指单位质量（公斤或克，英制质量单位为磅）的煤完全燃烧后产生的热量（千卡或卡，英制热量单位为B.t.u.）。热量单位中的一“卡”，通常是指一克纯水升高1℃时所需要的热量。由于水的比热随水温的不同而稍有差异，因此在热量单位中使用的卡还常分为不同温度下的卡，如20℃卡和15℃卡等。所谓20℃卡（或15℃卡）是指1克纯水从19.5℃（或14.5℃）加热到20.5℃（或15.5℃）时所需的热量。我国采用的热量单位为20℃卡，西德等国则采用15℃卡，而国际蒸汽表热量单位中“卡”的温度比15℃卡还低。在15℃卡中每卡所含的热能比20℃卡的稍高。至于英制热量单位中所采用的平均B.t.u.，是指一磅纯水从32°F加热到212°F时所需的热量的1/180。人们根据1B.t.u.=252卡和1磅=453.6克的近似关系，对表示煤炭发热量的两种单位“卡/克”和“B.t.u./磅”之间可按下表换算：

$$1\text{B.t.u./磅} \approx 252\text{卡}/453.6\text{克} \approx \frac{1}{1.8}\text{卡/克},$$

或 $1\text{卡/克} \approx 1.8\text{B.t.u./磅}.$

注：① 如按过去的概念对煤下的定义是只有 $A^g \leq 40\%$ 的固体可燃矿产，凡 $A^g > 40\%$ 者即称为碳质页岩。而从充分利用热能资源的观点来看，只要具有一定发热量的固体可燃矿产均应属于煤炭产品的范围之内。

如某一煤样的发热量为4000卡/克，换算成英制热量单位时为：

$$4000 \times 1.8 \text{ B.t.u./磅} = 7200 \text{ B.t.u./磅}.$$

目前，在国际标准化组织（ISO）推荐的固体矿物燃料的发热量测定标准中，对燃料的热量单位还建议直接采用热功单位“焦耳”表示，即采用百万焦耳/公斤(MJ/kg)为表示单位。热量单位“卡”与热功单位“焦耳”之间的近似关系为：1焦耳=0.239卡，较为精密的关系为：1卡(20℃卡)=4.1816绝对焦耳，1绝对焦耳=0.2391卡(20℃卡)；或1卡(15℃卡)=4.1855绝对焦耳，1绝对焦耳=0.2389卡(15℃卡)。

国际标准化组织推荐的国际蒸汽表热量单位1卡=4.1868绝对焦耳；1绝对焦耳=0.238846卡= 1×10^7 尔格=1牛顿·米。

英制热量单位1B.t.u.=1055.79绝对焦耳；1绝对焦耳= 9471.58×10^{-7} B.t.u.。

第二节 煤炭发热量测定的意义

煤的发热量是煤质分析的重要指标之一。首先从目前煤作为用途最广、用量最多的动力燃料方面来看，煤的发热量越高，经济价值也越大。煤在燃烧或气化过程中，需根据其发热量计算热平衡、耗煤量和热效率，根据这些计算参数即可考虑改进操作方法和工艺过程，从而设法使其达到最大限度的热利用率。根据煤的发热量还可以估算锅炉燃烧时的空气需要量、废气生成量以及可以达到的理论燃烧温度等。此外，在设计电厂锅炉和蒸发量大的各种高压锅炉时也需要根据煤的平均低位发热量来考虑锅炉种类、型号、燃烧方式以

及燃烧时的物料平衡等一系列参数的计算。

由于煤的发热量是表征煤的各种特性的综合指标，因此它在煤质研究工作中也是一个十分重要的参数。考虑到在煤燃烧过程中，煤中矿物质分解时要吸收热量而降低纯煤的发热量，且矿物质含量越多，降低的热量也越多，因此在煤质研究中常需采用经比重大于1的重液洗选后的精煤发热量或灰分不超过10%的低灰分原煤发热量。纯煤发热量（最理想是采用镜煤质的发热量）首先是反映各种煤煤化程度的函数。如在各种固体矿产燃料中，煤化程度最低的泥炭的纯煤发热量也最低，一般在5000~6000卡/克之间。煤化程度稍高的褐煤，其纯煤发热量就明显地升高至6000~7400卡/克左右。进入烟煤阶段以后，纯煤发热量继续增高，直到焦煤和低挥发份肥煤阶段，纯煤的发热量达到最高值（一般不大于8900卡/克）。随着煤化程度的进一步增高，纯煤发热量即开始有所下降，进入无烟煤阶段以后，纯煤发热量即有较为明显的下降，而到最年老的无烟煤阶段，纯煤发热量急剧下降到7700~7400卡/克左右。此外，根据纯煤发热量的大小还可以概略地推测一些煤的特征指标。如纯煤发热量高达8700卡/克以上的（特别是达到8800卡/克左右的）几乎都是强粘结性的焦煤或肥煤类，而纯煤发热量低于7500卡/克的则极大多数都是无粘结性的年轻煤。

鉴于年轻煤的纯煤发热量随其煤化程度的变化而常有较明显的变化，同时年轻煤的水分含量也常随其煤化程度的变化而变化，因此一些国家的煤分类中，常用含水无灰基煤的发热量作为划分年轻煤类别的指标。如国际煤分类中，对可燃基挥发份大于33%的年轻煤就采用恒湿（温度30℃，相对湿度96%）无灰基煤的高位发热量作为划分烟煤和褐煤的指

标，以及划分烟煤小类的指标。在美国的煤分类中，对可燃基挥发份大于31%的年轻煤也采用恒湿无矿物质基煤的发热量来划分小类别。在我国，最近也正在研究用含水（最高内在水分）无灰基煤的高位发热量来划分我国年轻煤的牌号。

综上所述，无论从理论上或实用意义上来说，测定煤的发热量都有十分重要的意义。由于在发热量的测定过程中常受其仪器性能和周围环境等一系列因素的影响，经常产生较大的测定误差。为此，在使用发热量指标时，对可疑数据必须及时复查，必要时应予舍弃。

第二章 煤炭不同基准发热量的 涵义及其互换公式

第一节 煤炭不同基准发热量的涵义

尽管煤的发热量指标用途很广，但随其利用角度的不同必须用不同的基准来表示。使用基准不明的发热量指标会给厂矿生产带来不同程度的损失，同样也会使科学研究得出错误的结论。如在锅炉设计时，若把煤的可燃基高位发热量当作应用煤的低位发热量使用，则在锅炉建成投产后必将为其正常运转带来很大的困难。同样，在年轻煤的分类中，如果把煤的发热量基准搞错了，则很易把煤的类别或牌号划错，给煤的合理使用和正确计价造成不应有的损失。为此，任何部门在使用煤的发热量指标时必须要先弄清它的基准。

一、煤的弹筒发热量

煤的弹筒发热量也称为煤的氧弹发热量。它是单位质量的煤样在热量计的弹筒（氧弹）中在过量的高压氧气（约25~35个大气压左右）中燃烧后产生的热量（燃烧产物的最终温度规定为25℃，水成液体状态）。由于煤样是在高压氧气的条件下燃烧的，因此它产生了在空气中燃烧时不能进行的热化学反应。例如：煤中的氮（以及充入氧气前在弹筒空气中含有的氮气）在空气中燃烧时一般都呈气态氮逸出，而在弹筒中燃烧时却能生成 N_2O_5 或 NO_2 等高价氧氮化合物，这些东西溶于弹筒中的水后即变成硝酸，这一化学反应是放热反应。此外，煤中的可燃硫在空气中燃烧时只生成二氧化硫气体，而在弹筒中燃烧时却氧化成三氧化硫，它溶于弹筒的水中即成为硫酸。 SO_2 氧化成 H_2SO_4 以及 H_2SO_4 溶于水生成

硫酸水合物等也都是放热反应。所以，煤的弹筒发热量要高于煤在空气中、在工业锅炉中等燃烧时实际产生的热量，且煤中的硫含量越高或煤的发热量越高，其高出的热量也越多。为此，在实用中，必须把弹筒发热量折算成符合于煤在空气中燃烧时的发热量，即所谓煤的高位发热量。在我国“煤的发热量测定方法”国家标准（GB213-74）中规定，煤的发热量报出结果必须采用分析煤样的高位发热量。从上述可以看出，煤的弹筒发热量实质上只是测定煤发热量的中间数据。所以，以前还有人常把弹筒发热量叫做最高发热量。

二、煤的高位发热量

煤的高位发热量也叫做煤的高热值，它是指煤在空气中在大气压条件下燃烧后能产生的热量。在这种条件下，煤中的可燃硫只生成二氧化硫，氮则生成游离状态氮，水分呈液体状态冷凝（25℃）。煤在工业锅炉中燃烧时，其水分呈蒸汽状态逸出。由于液态水变成水蒸汽时需要吸收热量（称为汽化热），故由高位发热量减去水的汽化热后即为煤的低位发热量。而煤的高位发热量实际上是由煤的弹筒发热量减去硫酸及硝酸的生成热后得到的。在这里需要指出的是，煤的弹筒发热量是在弹筒的容积（恒定容积）下测定的，因此应叫做恒容弹筒发热量。同样，由它折算出来的高位发热量亦应称为恒容高位发热量。在空气中大气压条件下燃烧时测得的高位发热量实际上是在恒压（大气压）条件下获得的，故应称为恒压高位发热量。在恒容高位发热量和恒压高位发热量之间却有一个微小的差别，这是由于假定煤在恒压状态下燃烧时，煤中的氢元素和氧气生成了几乎不占体积的呈液态的水（燃烧时生成的液态水的体积对气体来说可忽略不计），

因此就使恒压系统的气体体积有了减少(收缩),其减少部分的体积等于煤中氢燃烧时所需的氧气的体积减去煤中的原来呈气体状态部分的氧。而为了保持恒压,大气就需要对它作功。对在恒压状态下燃烧的空气干燥煤来说,其气体体积的减少(收缩)是:

$$0.01\left(\frac{0.5H^f}{2.016} - \frac{O^f}{32.00}\right) \text{ (克分子/克)}, \quad (2-1)$$

大气对它所作的功是:

$$\begin{aligned} & 0.01RT\left(\frac{0.5H^f}{2.016} - \frac{O^f}{32.00}\right) \\ & = 6.15H^f - 0.7750O^f \text{ (焦耳/克)}, \end{aligned} \quad (2-2)$$

式中 R —— 气体常数, $R = 8.315$ 焦耳/克分子·度;

T —— 标准热化学参数, $T = 298.15$ 度;

H^f —— 空气干燥煤的氢含量;

O^f —— 空气干燥煤的氧含量。

所以,由实验室的恒容高位发热量换算成恒压高位发热量应采用下列公式:

$$\begin{aligned} Q^f_{\text{高位(恒压)}} &= Q^f_{\text{高位(恒容)}} + 6.15H^f - 0.775O^f \\ & \text{ (焦耳/克);} \end{aligned} \quad (2-3)$$

或简化为:

$$\begin{aligned} Q^f_{\text{高位(恒压)}} &= Q^f_{\text{高位(恒容)}} + 1.43H^f - 0.19O^f \\ & \text{ (卡/克)}. \end{aligned}$$

计算举例2-1 某一年轻煤的 $Q^f_{\text{高位(恒容)}}$ 为5943卡/克,其它分析指标为: $W^y = 15.0\%$ 、 $W^f = 4.58\%$ 、 $A^f = 6.03\%$ 、 $S^f_0 = 0.18\%$ 、 $C^f = 61.42\%$ 、 $H^f = 5.54\%$ 、 $N^f = 1.02\%$ 。

由减差法 $100 - W^f - A^f - S^f_0 - C^f - H^f - N^f$ 求得 $O^f = 21.23\%$; 另 $Q^y_{\text{高位(恒容)}} = 5294$ 卡/克; 那么 $Q^f_{\text{高位(恒压)}} =$

$$5943 + 1.43 \times 5.54 - 0.19 \times 21.23 = 5947 \text{ 卡/克}。$$

对一般煤来说，由于恒容高位发热量仅比其恒压高位发热量低 2 ~ 5 卡/克左右，故在实用上一般可不予校正，只是在要求较精确时，才加以校正，但这时尚需已知元素分析中的碳、氢和氮的测定结果。鉴于固定矿区的煤可燃基氮含量接近于固定的常数，故不用经常测定；由于计算低位发热量也要测定煤中碳、氢的含量，故实际上不必为了计算恒压高位发热量的需要而单独进行煤的元素分析。但必须测定工业分析中 W^f 和 A^f 的结果。

三、煤的低位发热量

煤的低位发热量也叫煤的低热值或净热值，它是指煤在空气中大气压条件下燃烧时产生的热值扣除水分的汽化热（或叫蒸发热）后，剩余的实际上可以使用的热值。因为煤在高温燃烧后，其有机质中的氢元素均氧化成水（另外还有煤中原有的水分以及煤的矿物质中的结合水和结晶水），而水分在高温下立即吸热而变成水蒸汽与烟道气一起逸出，所以从煤的高位发热量中减去所有水分的汽化热即为低位发热量。同样，由实验室恒容高位发热量算得的低位发热量也叫恒容低位发热量，它与在空气中大气压条件下燃烧时获得的恒压低位发热量之间也有一个较小的差别。空气干燥煤样可按下列公式将恒容高位发热量换算成恒容低位发热量：

$$\begin{aligned} Q^f_{\text{低位(恒容)}} &= Q^f_{\text{高位(恒容)}} - 0.01(L - RT) \left(\frac{H^f}{2.016} + \frac{W^f}{18.0154} \right) \\ &= Q^f_{\text{高位(恒容)}} - 205.96H^f - 23.05W^f \text{ (焦耳/克)}, \end{aligned} \quad (2-4)$$

式中 L —— 水在恒压下 (25℃) 的汽化热, $L = 44$ 千焦耳/

克分子；

R —— 气体常数， $R = 8.315$ 焦耳/克分子·度；

T —— 标准热化学参比温度， $T = 298.15$ 度；

RT —— 煤在恒压状态下燃烧，每克分子水蒸汽变成恒容状态时因体积减少而作的功。

当热量单位以卡/克表示时，公式2-4可改写为：

$$Q^f_{\text{低位(恒容)}} = Q^f_{\text{高位(恒容)}} - 49.22H^f - 5.51W^f.$$

煤的恒压低位发热量，同样也可采用恒容高位发热量或恒压高位发热量来进行计算。由煤的恒压高位发热量计算恒压低位发热量的公式为：

$$\begin{aligned} Q^f_{\text{低位(恒压)}} &= Q^f_{\text{高位(恒压)}} - 0.01L \left(\frac{H^f}{2.016} + \frac{W^f}{18.016} \right) \\ &= Q^f_{\text{高位(恒压)}} - 218.25H^f - 24.42W^f \\ &\quad (\text{焦耳/克}); \end{aligned} \quad (2-5)$$

$$\text{或 } Q^f_{\text{低位(恒压)}} = Q^f_{\text{高位(恒压)}} - 52.16H^f - 5.84W^f \quad (\text{卡/克}), \quad (2-6)$$

上述二式中代表符号的意义与公式2-4相同。

由煤的恒容高位发热量计算恒压低位发热量的公式为：

$$\begin{aligned} Q^f_{\text{低位(恒压)}} &= Q^f_{\text{高位(恒容)}} - 212.10H^f - 0.775O^f - \\ &\quad - 24.42W^f \quad (\text{焦耳/克}), \end{aligned} \quad (2-7)$$

$$\begin{aligned} \text{或 } Q^f_{\text{低位(恒压)}} &= Q^f_{\text{高位(恒压)}} - 50.7H^f - 0.19O^f - 5.84W^f \\ &\quad (\text{卡/克}). \end{aligned}$$

以分析煤样的恒容高位发热量计算应用煤的恒压和恒容低位发热量时可分别采用下列公式：

$$Q^y_{\text{低位(恒压)}} = (Q^f_{\text{高位(恒容)}} -$$

$$-212.1H^f - 0.775O^f) \times \frac{100 - W^y}{100 - W^f} - 24.42W^y, \quad (2-8)$$

式中 W^y ——应用煤的水分，%。

公式 2-8 计算结果的单位为焦耳/克，除以 4.1816 焦耳 (20℃卡)，即为应用煤的恒压低位发热量，单位为卡/克。

$$Q^y_{\text{低位(恒压)}} = (Q^f_{\text{高位(恒容)}} - 205.96H^f) \times \frac{100 - W^y}{100 - W^f} - 23.05W^y. \quad (2-9)$$

公式 2-9 的热量单位也为焦耳/克，除以 4.1816 后即以为以卡/克表示的应用煤的恒容低位发热量。

仍以计算例题 1-1 中计算恒压高位发热量的年轻煤样为例，分别计算其应用煤的恒压和恒容低位发热量如下：

$$\begin{aligned} Q^y_{\text{低位(恒压)}} &= (5943 \times 4.1816 - 212.1 \times 5.54 - 0.775 \times \\ &\quad \times 21.23) \frac{100 - 15}{100 - 4.58} - 24.42 \times 15.0 \\ &= 20709.8 \text{ 焦耳/克} = 20709.8 / 4.1816 = 4952.6 \text{ 卡/克} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q^y_{\text{低位(恒容)}} &= (5943 \times 4.1816 - 205.96 \times 5.54) \frac{100 - 15}{100 - 4.58} - \\ &\quad - 23.05 \times 15.0 = 20775.3 \text{ 焦耳/克} \\ &= 20775.3 / 4.1816 = 4968.3 \text{ 卡/克} \end{aligned}$$

从以上计算结果可以看出，应用煤的恒压低位发热量要比其恒容低位发热量低十余卡之多，这正好与恒压高位发热量要比恒容高位发热量稍高的情况相反。所以工业上似以采用应用煤的恒压低位发热量较为合理。

此外，应用煤的恒压低位发热量也可用分析煤样的恒压高位发热量来计算，其计算公式如下：

$Q^y_{\text{低位(恒压)}}$

$$= \left[Q^f_{\text{高位(恒压)}} - \left(\frac{21825 - 6.15W^y - 212.1W^f}{100 - W^f} \right) H^f + \right. \\ \left. + 0.775 \left(\frac{100 - W^y}{100 - W^f} \right) O^f \right] \cdot \frac{100 - W^y}{100 - W^f} - \\ - 24.42W^y \text{ (焦耳/克)} . \quad (2-10)$$

四、煤的恒湿（含水）无灰基高位发热量

煤的恒湿（含水）无灰基高位发热量是用分析煤样的恒容高位发热量除去其灰分后算出的发热量。它主要用于年轻煤的分类，故常需用重液洗选后的精煤或低灰分原煤来测定。对于各种恒湿（含水）无灰基煤的高位发热量均可用下列通式来换算：

$$Q_{GW}^{-A} = Q_{GW}^f \frac{100 - W}{100 - W^f - A^f + \frac{A^f W}{100}}, \quad (2-11)$$

式中 Q_{GW}^{-A} ——恒湿（含水）无灰基煤的高位发热量，卡/克；

Q_{GW}^f ——分析煤样的高位发热量，卡/克；

W ——恒湿（含水）条件下测得的水分含量。

在国际煤分类中，恒湿（含水）水分 W 系在温度为30℃，相对湿度为96%时测得的煤的水分；此外， W 也可以是最高内在水分或分析煤样水分。

计算举例 2-2 某一褐煤样的 W^f 为7.98%， A^f 为17.93%， Q_{GW}^f 为4944卡/克， W^{GN} （最高内在水分）为19.42%，求其 $Q_{GW}^{-A \cdot GN}$ （含最高内在水分的无灰基煤高位发热量）。