

中等专业学校試用教科书

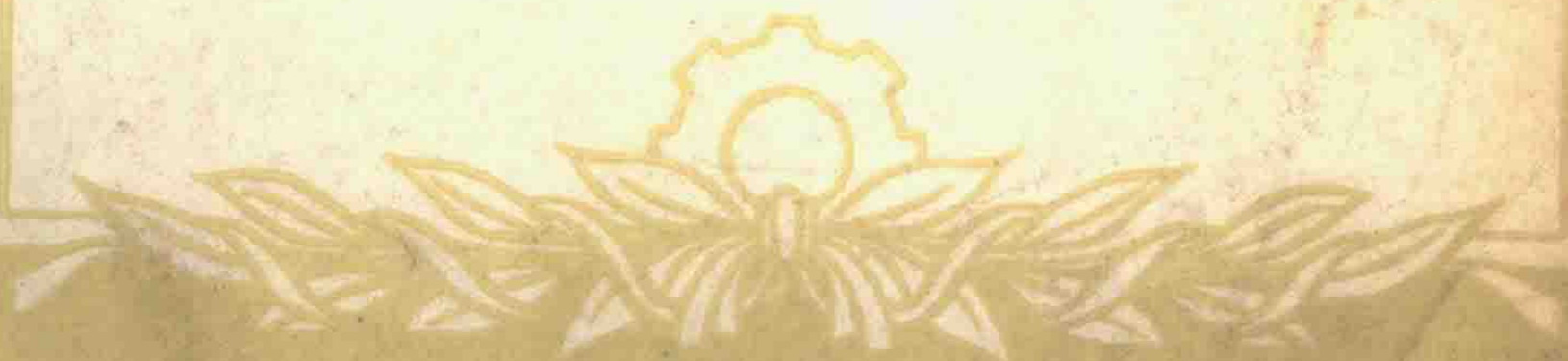
加 热 設 备

太 原 机 械 学 院 鍛 压 教 研 組

太 原 重 型 机 械 学 院 鍛 冲 教 研 組 合 編

南 昌 航 空 工 业 专 科 学 校 第 十 一 专 科 学 科 委 員 会

只 限 学 校 內 部 使 用



中 国 工 业 出 版 社

22
47

中等专业学校試用教科书



加 热 設 备

太原机械学院鍛压教研組

太原重型机械学院鍛冲教研組合編

南昌航空工业专科学校第十一专科学科委员会

中国工业出版社

本书内容包括：燃料燃烧计算；筑炉材料；炉内气体流动及计算；炉内传热；炉子的热平衡和燃料消耗量的计算；火焰加热炉的基本组成部分及其附属设备；火焰加热炉的种类及其结构；加热炉的设计和计算；电加热和炉子工作的测定与控制仪表等十章。

本书可作为中等专业学校锻冲专业的试用教科书，亦可供其它非冶金专业的中等技术学校以及加热炉工作者入门参考之用。

本书由太原机械学院张国斌，太原机器制造学校叶栋勳，南昌航空工业专科学校周光华等同志编写的。

加 热 設 备

太原机械学院锻压教研组
太原重型机械学院锻冲教研组 合編
南昌航空工业专科学校第十一专科学科委员会

*

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

机工印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16·印张 15 1/2，插页 1 字数 354
1961年9月北京第一版·1961年9月北京第一次印刷

印数 0001—1837·定价 (9-4) 1.45 元

统一书号：15165·793(一机—159)

目次

緒論

第一章 燃料及燃燒計算

§ 1—1 概述	7
§ 1—2 燃料的成分及一般特性	7
§ 1—3 燃料的发热量	12
§ 1—4 燃料各論	14
§ 1—5 固体燃料的气化	17
§ 1—6 燃料的燃燒計算	26

第二章 筑炉材料

§ 2—1 概述	41
§ 2—2 耐火材料的物理性能	41
§ 2—3 耐火材料的使用性能	43
§ 2—4 耐火材料的分类	45
§ 2—5 几种常用耐火材料的性質和应用	46
§ 2—6 其他筑爐材料的性質和应用	48

第三章 炉內气体流动及計算

§ 3—1 概述	51
§ 3—2 气体的压头及压头間換算关系	54
§ 3—3 柏努里方程式	56
§ 3—4 气体流动时的压头損失	60
§ 3—5 使爐內气体流动的裝置	62
§ 3—6 爐內气体的流动及其分布原則	70

第四章 炉內傳热

§ 4—1 概述	73
§ 4—2 傳导傳热	73
§ 4—3 对流傳热	77
§ 4—4 輻射傳热	79
§ 4—5 綜合傳热	88
§ 4—6 金屬加热時間的計算	95

第五章 炉子的热平衡和燃料消耗量的計算

§ 5—1 热量的收入	106
§ 5—2 热量的支出	107
§ 5—3 热平衡方程式	114
§ 5—4 燃料消耗量計算	114
§ 5—5 爐子的效率	114
§ 5—6 热平衡表	115

第六章 火焰加热炉的基本組成部分及其 附属設備

§ 6—1 火焰爐的基本組成部分	116
§ 6—2 燃燒裝置	133
§ 6—3 廢气利用設備	144

第七章 火焰加热炉的种类及其結構

§ 7—1 概述	162
§ 7—2 加热小型料坯和中型料坯用的電 狀爐	163
§ 7—3 加热中小型坯料用的机械化爐子	165
§ 7—4 加热大鋼坯和鋼錠用的加热爐	171
§ 7—5 热处理用爐	173

第八章 加热炉的設計和計算

第九章 电加热

§ 9—1 概述	186
§ 9—2 間接加热电阻爐	187
§ 9—3 接触电加热	198
§ 9—4 感应电加热	205

第十章 炉子工作的測定与控制仪表

§ 10—1 溫度的測定	216
§ 10—2 压力的測定	221
§ 10—3 流体流量的測定	225

附录

緒 論

“加热设备”这一门课的研究对象是在炉内进行的热工过程（如燃料的燃烧，气体的运动和传热等），以及这些过程的计算方法和各种炉子构造的一般原理。

加热炉是用来加热金属，即在炉内借燃料的燃烧或电能转化而得到的热把金属加热到一定的温度。金属加热的目的：是为了提高塑性，降低变形阻力，以便于锻造和模锻；或者是改变结晶组织，从而改变物理机械性能和工艺性能。

加热炉是锻工车间的主要设备之一。它对锻造或模锻生产起着很重要的作用。因为炉子工作的好坏，不仅影响到金属加热质量和燃料消耗量；而且直接影响到产品的产量、质量和生产的成本。如果加热炉工作不好，无疑会增加金属的烧损，以致燃烧成废品。因此作为加热设备，它应该满足下列最基本的要求：1)生产率要高；2)燃料消耗量要少；3)加热质量要好。

炉子的发展是随着冶金生产的发展而发展的。篝火是所有炉子的起源；它首先用在饮食和取暖上，然后才用来烧制陶瓷、熔炼金属等。为了保持篝火的燃烧，于是开始在地上挖深坑或用石头砌成窖，这就是炉子的最初形式。

在我国铜器时代，因炼铜的需要，发明了风箱，出现了第一批鼓风炉。鼓风炉一方面用于熔炼金属，另一方面亦用于加热和热处理。早在2500年前我国就有铸铁事业，可见我国冶炼事业远比欧洲发展得早。只是因封建势力的长期统治而一直没有得到应有的发展。

在欧洲，十八世纪末蒸汽机的发明，促使了蒸汽鼓风机的出现，使炉子得到进一步的发展。十九世纪下半叶，随着资本主义生产的发展，机械及冶金等工业企业的规模更为扩大了，对炉子的生产率及热性能提出了更高的要求，这就促使冶金炉及加热炉的容量增加，型式也更加多样化。同时由于对森林和燃料产地的掠夺性的开采，造成了固体燃料不足的恐慌，燃料价格也因而上涨，就迫使人们研究利用比较完善的燃烧方法，以节约燃料的消耗；同时尽量利用废气的热量来予热煤气和空气，来提高燃料的热效率，从而也就创造了各种类型的加热炉。天然煤气及重油等也开始被用来作为炉子的燃料，使得炉子的燃料范围进一步扩大。

廿世纪初，由于电器工业的发展，电加热获得了广泛的应用和发展。现代炉子的特征是：其加热能力进一步地增长，操作上广泛地采用机械化以及热力过程普遍地使用精确的测量仪器，自动地来加以控制等。此外各种类型的快速加热装置的应用和发展，大大缩短了加热过程的时间，因而提高产量和质量。

所以此门科学的发展与其他科学一样，是随着生产的发展而发展的。

炉子的应用虽然很早就开始了，但是炉子的系统理论研究只是在200年前才开始。在1763年伟大的俄国科学家M. B. 罗蒙诺索夫发表了“自然通风下火焰的运动”，这样，就确定了所谓自然通风情况下的炉子工作基本原则。到十九世纪后半期，由于冶金生产飞速发展，因而许多科学工作者对炉子开始了大量的研究工作，如俄国B. E. 格鲁姆—格尔瑞玛依洛夫根据多年对炉子工作的观察，并综合了前人有关炉子方面的工作经验，所提出的“炉子水力学理论”，正确地反映了当时处在自然通风条件下的旧式炉子的工作。1923~

1929年间在苏联形成了以H.H. 道布洛赫托夫为首的炉子一般理论。同时在炉子理论发展过程中，以M.B. 基尔比切夫为首所作的“热设备的模型实验”起了很大的作用，通过模型实验不仅解决了一些复杂的炉子热工计算和炉子构件的设计，而且通过实验还可以进一步认识炉内的热工过程的实质，从而使炉子理论获得更进一步的发展。

现代炉子理论认为热交换是炉子首要的热工过程，因而必须很好地促使炉内燃料的燃烧和气体流动，以为热交换的进行创造最有利的条件。

现代炉子理论的基本内容概括地说有下列几个方面：

1. 加快燃料燃烧过程，加强供入炉内的热能，并在炉内建立起炉气有力的强制运动，以创造最好的热交换条件。
2. 在加热容许的条件下，尽量使燃烧装置和炉膛连成一起，以使灼热的炉气同被加热金属互相作用，以减少入炉前炉气流动中的热损失。
3. 应保持炉膛内具有适当的压力（即炉底静压为零或稍大于零），以防止和减少冷空气吸入炉内和热炉气溢出炉外。

我国解放以来，在党的正确领导下，我国的工业得到了飞速的发展，随着机器制造业和冶金工业的发展，炉子也有很大的发展。特别是在1958年大跃进以来，我国的炉子热工水平得到了迅速的提高，改进了炉子的热工制度，提高了炉子的生产率。此外，还出现了不少结构新型、节省燃料、操作方便的优良的炉子。在燃料方面，煤气得到了更广泛的采用，从而提高了炉子生产率，改善了工人劳动条件。

第一章 燃料及燃烧计算

§1—1 概 述

燃料 凡是燃烧时能放出大量的热量来，并且此热能够有效地被广泛地应用在现代工业或日常生活中的所有物质统称为燃料。

作为燃料的物质既要能满足工业技术上的要求，又要能符合经济原则，所以在燃料的质和量方面应满足如下要求：

1. 燃烧产物必须是气体，只有是气体才便于在炉内工作空间移动和进行热交换；并且要求生成物少含或不含有害的成分；
2. 所含的可燃物多，惰性物少；
3. 燃烧过程可以控制；
4. 蕴藏量丰富，开采方便；
5. 经长期存放而不改变其根本性质。

由此看来，并非所有燃烧能放热的物质都可做为燃料，如金属钠、镁、铝等虽均能与氧进行强烈作用，但不称作燃料。

燃料的一般分类 工业燃料据来源可分为天然燃料和人造燃料；据物态又可分为固体燃料、液体燃料和气体燃料三种。其一般的分类情况见表1—1。

表1—1 燃料的一般分类

燃料的物态	来 源	
	天 然 燃 料	人 造 燃 料
固 体 燃 料	木柴、泥煤、褐煤、烟煤、无烟煤、可燃页岩等	木炭、焦炭、煤砖、粉、煤等
液 体 燃 料	石油	汽油、煤油、重油及其它石油加工品、酒精、煤焦油、合成燃料、胶体燃料等
气 体 燃 料	天然气	焦炉煤气、高炉煤气、水煤气、发生炉煤气、地下煤气等

加热炉中常用的燃料有烟煤、无烟煤、重油、发生炉煤气等。

燃料在国民经济中占有极重要的地位，它不仅是热能的主要来源，而且也是重要的动力资源和宝贵的化工原料。因此从整个国民经济观点来看，合理地、综合性地利用燃料，使其发挥最大的效能是一个很重要的问题。

§1—2 燃料的成分及一般特性

固体与液体燃料的成分 固体与液体燃料都是由某些较复杂的有机化合物所组成。这些有机物组成的元素有：C、H、O、N、S。此外燃料成分还含有一部分由 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 Fe_2O_3 、 Na_2O 等组成的矿物杂质——灰分(以符号A表示)和一部分水分(以符号W表

示)。

下面分析各成分在燃料内存在的方式和它们对燃料的影响。

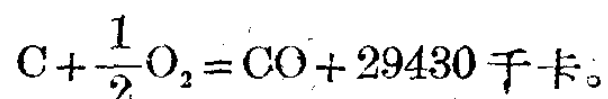
1. 碳(C):

碳是燃料的重要组成部分, 它与氢、氧、氮、硫等组成各种复杂的有机化合物。在燃烧之前, 当燃料受热时这些有机物进行热分解, 然后碳燃烧放出大量的热能来。

空气供给充足时:



空气供给不充足时:

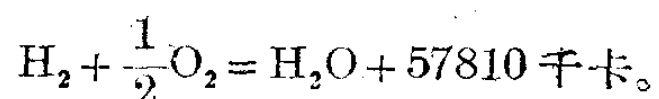


所以碳是热能的主要来源, 也是衡量燃料质量的重要指标, 如煤含碳量为50~99%, 重油含碳量为86%以上。

2. 氢(H):

氢在燃料中以可燃氢和化合氢两种方式存在。前者是和碳、硫组成的化合物; 后者是和氧结合的氢。

可燃氢也是燃料的重要组成部分。1 公斤氢燃烧所放出的热量几乎相当于 3.5 公斤碳燃烧所放出的热量。



但是燃料中含氢量很少, 且有一部分氢已与氧结合成水不能参加燃烧, 所以与碳比较起来意义显得更小了。

3. 氮(N):

氮是燃料有机部分的惰性物, 不参加燃烧反应, 成自由状态全部进入废气中。

燃料中含N是不利的, 它会降低燃料的可燃成分。不过一般燃料中含量甚少(1~2%)。

4. 氧(O):

氧是燃料中的有害成分, 它与碳、氢等化合成各式各样的氧化物存在于燃料中。这样便使可燃物失去了再进行燃烧的可能, 降低了可燃成分的量 and 燃料的发热值。

5. 硫(S):

硫以三种状态存在于燃料中:

1) 有机硫($S_{\text{机}}$): 硫和燃料中的有机物结合在一起。

2) 黄铁矿硫($S_{\text{矿}}$): 硫与燃料中的铁化合成硫化铁状态存在。

以上两种硫都可以参加燃烧并放出热能, 故统称为挥发硫, 即:

$$S_{\text{挥发}} = S_{\text{机}} + S_{\text{矿}}。$$

3) 硫酸盐硫($S_{\text{盐}}$): 硫以各种硫酸盐的形式存在于燃料中, 如 $CaSO_4$, $FeSO_4$ 等, 这些硫不能参加燃烧。

虽然挥发硫能燃烧放出热量, 但它仍然是燃料中的有害成分, 因为:

a. 生成的 SO_2 、 H_2S 侵蚀炉内外的金属部分, 降低了被加热物的质量, 如增加了钢的热脆性;

b. 生成的 SO_2 、 H_2S 的气体对生物均有害;

B. 硫的存在使燃料易于风化, 不便于运输。

因此对所用燃料含硫量只允许为0.5%, 超过1%认为是含硫量过高的燃料, 燃料的使用价值会因此而大大的降低。所以含硫量的多少也是衡量燃料价值的重要指标。

6. 灰分(A):

燃料中不能燃烧的矿物杂质统称为灰分。它是燃料中的有害成分, 因为:

a. 降低了燃料中可燃成分的含量;

b. 燃烧完毕生成的灰渣中, 夹杂着大量的未燃烧完全的可燃物, 造成燃料的损失;

B. 燃烧过程中灰分本身升温, 分解需消耗热量;

Γ. 灰渣多则燃烧过程不易控制, 工人操作困难。

故灰分含量愈少愈好。

燃料中矿物杂质的来源是多方面的, 如燃料从古生物转化过程中, 古生物体内的无机盐便原封不动的保留在燃料中形成原灰分; 另一方面在燃料的生成过程中, 从外界混入的一些砂、石之类的杂质(硅酸盐、氧化物、硫酸盐等)形成了再生灰分; 还有在开采燃料过程中混入的杂质称为三生灰分。

燃料中的灰分除要求含量低外, 还要求它有足够高的熔点。如果灰分的熔点太低, 灰渣易在炉栅上结成大块, 粘结炉栅妨碍通风, 使燃料难于进行完全燃烧。故灰分熔点的高低也是鉴定燃料品质的指标之一。

因灰分是由许多矿物杂质组成的混合物, 所以它没有固定的熔点。一般以灰渣的软化温度作灰分的熔点。

根据灰渣软化温度的高低可将灰渣分为三种:

易熔灰分: 软化温度 $<1200^{\circ}\text{C}$;

可熔灰分: 软化温度在 $1200\sim1350^{\circ}\text{C}$ 之间;

难熔灰分: 软化温度 $>1350^{\circ}\text{C}$ 。

7. 水分(W):

水分是燃料中最有害的成分, 它的存在不仅降低可燃物的含量, 而且需消耗大量的热去加热它和蒸发它。故水分的存在是降低燃料价值的。

固体燃料中水分以三种形式存在:

1) 外部水分: 机械地附在燃料块表面的水, 它可以在空气干燥, 通风良好的地方自然除去;

2) 吸附水: 由于吸附或毛细作用而进入燃料内部的水, 可将燃料加热到 $100\sim110^{\circ}\text{C}$ 之后除掉;

3) 结晶水: 含在燃料矿物杂质中的水, 在高温之下灰分进行分解可以除掉, 但含量极少, 可以忽略不计。

气体燃料的成分 气体燃料是由较简单的化合物所组成的混合物。它是由可燃物 CO 、 H_2 、 CH_4 、 C_2H_4 、 C_mH_m 和 H_2S 等及不可燃物 CO_2 、 N_2 、 SO_2 、 H_2O 、 O_2 等组成。

至于各成分在燃料中的作用与其在固体、液体燃料中的作用分析相同。

燃料的分析 燃料成分是鉴定燃料价值高低和燃料特性的重要标准, 也是进行燃烧计算的必要数据。

1. 固体与液体燃料的分析。

固体与液体燃料通常用元素分析。固体燃料也经常进行工业分析。

a. 元素分析：这是固体燃料与液体燃料最普遍应用的一种分析法。它可以确定出燃料中的 C、H、O、N、S 的重量百分数，但不能分析出燃料是由那些化合物组成及这些化合物的形式如何等问题。

故可根据已分析的结果近似判定燃料的价值和作为燃烧计算时的依据。

6. 工业分析：是为确定燃料中的水分、灰分、挥发物和固定碳的含量及性质，以作为控制燃料质量的标志。

2. 气体燃料的分析。

气体燃料是由较简单的化合物组成的，因而对气体燃料进行分析是较容易的，并且其分析的结果，可以确切的说明燃料的化学组成和燃料的特性。

一般采用吸收法来分析气体燃料，即通过不同的化学试剂而顺序吸收各成分。这样可以直接根据体积的差数求出气体燃料的成分含量，以体积百分数表示。

燃料成分的彼此换算

1. 固体和液体燃料的成分的表示法及其换算：

固体燃料和液体燃料的成分系用各组成物的重量百分数表示。燃料的成分有以下四种表示方法：

1) 供用成分：实际所用的固体燃料和液体燃料系由 C、H、O、S、N、A、W 所组成，以各组成物的总和为 100% 来表示组成物的百分含量，即：

$$C^{\text{用}} + H^{\text{用}} + S^{\text{用}} + O^{\text{用}} + N^{\text{用}} + A^{\text{用}} + W^{\text{用}} = 100\%$$

式中 $C^{\text{用}}, H^{\text{用}}, \dots$ 分别表示 C、H、……组成物的供用成分百分数。

2) 干燥成分：燃料的组成成分不考虑 W 的含量，而以燃料的干燥质 C、H、O、N、S、A 的总和为 100% 来表示组成物的百分含量，即：

$$C^{\text{干}} + H^{\text{干}} + O^{\text{干}} + N^{\text{干}} + S^{\text{干}} + A^{\text{干}} = 100\%;$$

式中 $C^{\text{干}}, H^{\text{干}}, \dots$ 分别表示 C、H、……组成物的干燥成分百分含量。

3) 可燃成分：燃料的组成成分不考虑 A、W 的含量，而以燃料中的 C、H、O、N、S 的总和为 100% 来表示组成物的百分含量，即：

$$C^{\text{燃}} + H^{\text{燃}} + O^{\text{燃}} + N^{\text{燃}} + S^{\text{燃}} = 100\%;$$

式中 $C^{\text{燃}}, H^{\text{燃}}, \dots$ 分别表示 C、H、……组成物的百分含量。

4) 有机成分：燃料是以 C、H、O、N 四种元素的总和为 100% 来表示其百分含量，即：

$$C^{\text{机}} + H^{\text{机}} + O^{\text{机}} + N^{\text{机}} = 100\%;$$

式中 $C^{\text{机}}, H^{\text{机}}, O^{\text{机}}, N^{\text{机}}$ 表示 C、H、O、N 的有机成分的百分含量。

上述的几种成分表示法可以相互换算。换算的方法极为简单，例如：

有 100 公斤工作燃料（包括水分、灰分在内的供用燃料），分析结果以供用成分表示， $C^{\text{用}}=50\%$ ， $W^{\text{用}}=20\%$ ， $A^{\text{用}}=10\%$ ……。

今将其换算成为干燥成分，根据定义知：

$$C^{\text{干}} = \frac{C^{\text{用}}}{1 - W^{\text{用}}} \times 100\%,$$

把各量代入并将此式稍加变化，则

$$C^F = \frac{50}{100-20} 100\%$$

$$= C^{\text{用}} \frac{100}{100-W^{\text{用}}}\%$$

同理亦可将其换算成为可燃成分；

$$C^{\text{燃}} = \frac{C \text{ 的重量}}{100 - \text{水的重量} - \text{灰的重量}} 100\%$$

$$= \frac{50}{100-20-10} 100\%$$

$$= C^{\text{用}} \frac{100}{100-W^{\text{用}}-A^{\text{用}}}\%$$

以上各式中的 $\frac{100}{100-W^{\text{用}}}$ 及 $\frac{100}{100-W^{\text{用}}-A^{\text{用}}}$ 等称为成分换算系数。各种成分进行换算时所用的换算系数见表1—2。式中之各量则以 100 公斤燃料中该成分的含量代入。

在进行燃烧计算时，必须将已知成分换算成供用成分。

表1—2 固体、液体燃料的成分换算系数

已知的燃料成分	欲 换 算 的 燃 料 成 分			
	有机成分“机”	可燃成分“燃”	干燥成分“干”	供用成分“用”
有机成分 “机”	—	$\frac{100-S^{\text{燃}}}{100}$	$\frac{100-(S^{\text{干}}+A^{\text{干}})}{100}$	$\frac{100-(S^{\text{用}}+A^{\text{用}}+W^{\text{用}})}{100}$
可燃成分 “燃”	$\frac{100}{100-S^{\text{燃}}}$	—	$\frac{100-A^{\text{干}}}{100}$	$\frac{100-(A^{\text{用}}+W^{\text{用}})}{100}$
干燥成分 “干”	$\frac{100}{100-(S^{\text{干}}+A^{\text{干}})}$	$\frac{100}{100-A^{\text{干}}}$	—	$\frac{100-W^{\text{用}}}{100}$
供用成分 “用”	$\frac{100}{100-(S^{\text{用}}+A^{\text{用}}+W^{\text{用}})}$	$\frac{100}{100-(A^{\text{用}}+W^{\text{用}})}$	$\frac{100}{100-W^{\text{用}}}$	—

2. 气体燃料的成分表示法及其换算

气体燃料的成分系以各组成物的体积百分数表示。具体表示方法有湿成分和干成分两种，湿成分包括水在内，即：

$$CO^{\text{湿}} + H_2^{\text{湿}} + \dots + H_2O^{\text{湿}} = 100\%;$$

干成分不包括水在内即：

$$CO^{\text{干}} + H_2^{\text{干}} + \dots = 100\%;$$

式中 $CO^{\text{湿}}, H_2^{\text{湿}}, \dots$ 与 $CO^{\text{干}}, H_2^{\text{干}}, \dots$ 分别表示 $CO, H_2, \dots$ 在湿气体和干气体中的体积百分数。

气体燃料通常是以干成分表示的，而在使用时，气体燃料的实际成分为湿成分。因而在进行燃烧计算前必须把干成分换算为湿成分，其换算公式叙述如下：

令气体内水分容积成分为 $H_2O^{\text{湿}}\%$ ，而干燥气体内的水分重量成分为 $g_{H_2O}^{\text{干}}$ 克/米³ 干

燥气体。

在 1 米³湿气体内的干燥气成分为:

$$1 - 0.01H_2O^{\text{湿}}$$

包含于 1 米³湿气体内的水蒸汽的重量为:

$$\frac{1000 \times 18}{22.4} \times 0.01H_2O^{\text{湿}} = 8.036H_2O^{\text{湿}} \text{克。}$$

∴水分的成分为

$$\begin{aligned} g_{H_2O}^{\text{干}} &= \frac{8.036H_2O^{\text{湿}}}{1 - 0.01H_2O^{\text{湿}}} \\ &= \frac{8.036}{\frac{100}{H_2O^{\text{湿}}} - 1} \text{克/米}^3 \text{干煤气。} \end{aligned} \quad (1-1)$$

$$H_2O^{\text{湿}} = \frac{100g_{H_2O}^{\text{干}}}{8.036 + g_{H_2O}^{\text{干}}} \% \quad (1-2)$$

故可写出气体燃料干、湿成分的换算公式:

$$\begin{aligned} CO^{\text{湿}} &= CO^{\text{干}} \frac{100 - H_2O^{\text{湿}}}{100} \\ &= CO^{\text{干}} \frac{100}{100 + 0.124g_{H_2O}^{\text{干}}} \% \end{aligned} \quad (1-3)$$

其余各种成分的换算也是一样。

§ 1-3 燃料的发热量

发热量的定义 单位重量或单位体积的燃料在完全燃烧时所放出的热量叫做燃料的发热量(或发热值),以符号 Q 表示。

固体和液体燃料发热量的单位是以千卡/公斤燃料表示;而气体燃料的单位则是以千卡/米³燃料表示。

燃料的发热量越高,它的热价值就越高。

燃料在燃烧时,由于燃烧的条件不同,含在燃料中的氢气和水分可能是液态,或气态存在于燃烧产物中。所以燃料的发热量有高发热量与低发热量之分。

1. 高发热量($Q^{\text{高}}$)

当燃烧产物的温度冷却到参加燃烧反应物质的原始温度,而且燃烧产物中的水蒸汽冷凝成 0°C 的小时单位燃料完全燃烧所放出的热量叫做高发热量。

高发热量只是一个在实验室内鉴定燃料的指标,在实际燃烧过程中,燃烧产物中的水蒸汽不可能凝成水,所以得不到高发热量。

2. 低发热量($Q^{\text{低}}$)

燃烧产物中的水分不是冷凝成 0°C 的水,而是冷却成 20°C 的水蒸汽,这时单位燃料完全燃烧所放出的热量叫做低发热量。

这样一来,高低发热量之间在数值上有一个差值,其大小可根据二者之间含热量的差额计算出来。

如果1公斤燃料中含氢量为 $H^{\text{H}}\%$ 公斤，含水分 $W^{\text{H}}\%$ 公斤。

燃烧1公斤氢生成9公斤水，则燃烧 $H^{\text{H}}\%$ 公斤的氢之后生成 $\frac{9H^{\text{H}}}{100}$ 公斤的水。

所以1公斤燃料燃烧生成的水为：

$$\frac{W^{\text{H}} + 9H^{\text{H}}}{100} \text{ 公斤。}$$

在热工计算时，1公斤水蒸发需消耗热为600千卡，则1公斤燃料燃烧生成的水的蒸发需耗热为：

$$\frac{W^{\text{H}} + 9H^{\text{H}}}{100} \times 600 = 6(W^{\text{H}} + 9H^{\text{H}}) \text{ 千卡。} \quad (1-4)$$

发热量的求法 燃料的发热量可用实验法和计算法求得。前者是用热量计直接测量，其结果精确可靠；后者是根据参与燃烧的各组成物的热效应进行计算，其结果是一个概数。

1. 实验法

固体燃料或液体燃料的发热量的测定是用弹式量热计，其构造见（图1—1）示。

测量的方法是将已知重量的煤饼或液体燃料放入坩埚中，坩埚放在弹式筒的金属架上。然后将弹式筒盖严，通入25个大气压的氧气，当通电点火时，燃料迅速燃烧，放出的热量由弹式筒传给内筒中定量的水及仪器本身。根据它水温度的升高就可求出燃烧所放出的热量，其计算方法如下：

燃料燃烧所放出的热量

$$Q = Q^* + Q^{\alpha} \text{ 千卡。}$$

式中 Q^* ——代表一定量的水升高温度 Δt 所吸收的热量， $Q^* = GC\Delta t$ ，这里 G 为水的重量， C 为比热， Δt 为升高的温度；

Q^{α} ——仪器升高温度 Δt 所吸收的热量， $Q^{\alpha} = W\Delta t$ ，这里 W 为水当量，是仪器的重量与比热的乘积。

$$\begin{aligned} \therefore Q &= GC\Delta t + W\Delta t \\ &= (GC + W)\Delta t \text{ 千卡。} \end{aligned} \quad (1-5)$$

在弹式量热计中测得的发热量 Q^{H} 实际比 Q^* 还要高，因为在这种实验条件下，在高达25个大气压的纯氧环境中；燃料中的硫不仅是生成 SO_2 ，而且还进一步生成 SO_3 ，并与冷凝下来的水生成 H_2SO_4 ；燃料中的氮也生成 HNO_3 。这两种酸的生成过程都是放热反应，且点火用的电热丝燃烧也要放热，所以 $Q^{\text{H}} > Q^*$ 。故欲求 Q^* ，则必须对 Q^{H} 修正。

测定气体燃料和低沸点 ($< 250^\circ\text{C}$) 液体燃料的发热量是用容克式热量计，其原理是把所测的燃料连续地通过热量计并在其中燃烧，燃烧后放出的热量传给在热量计中连续流动，当水温稳定后，根据同一时间内燃料和水的流量及水温的升高，就可求得燃料的发热量。用这种方法测得的是高发热量。

2. 计算法

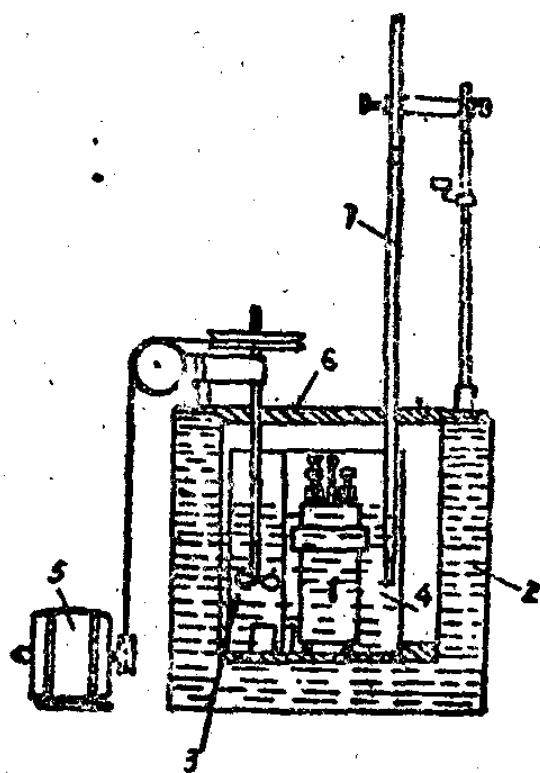


图1—1 弹式量热计：

- | | |
|---------|---------|
| 1. 弹式角； | 2. 外水套； |
| 3. 搅拌器； | 4. 水容积； |
| 5. 马达； | 6. 胶盖； |
| 7. 温度计。 | |

每种可燃元素或可燃化合物，当它完全燃烧时均能放出一定的热量。例如1公斤碳完全燃烧时放出8137千卡热量。因此根据每种可燃元素完全燃烧所放出的热量和该种元素在燃料中的含量就可算出燃料的发热量。这就是一切发热量计算公式的基础。下面介绍能求得比较准确值的Д.И. 门捷列夫经验公式：

固体和液体燃料的计算公式：

$$Q^{\text{高}} = 81C^{\text{H}} + 300H^{\text{H}} - 26(O^{\text{H}} - S^{\text{H}}) \text{ 千卡/公斤}, \quad (1-6)$$

$$Q^{\text{低}} = 81C^{\text{H}} + 246H^{\text{H}} - 26(O^{\text{H}} - S^{\text{H}}) - 6W^{\text{H}} \text{ 千卡/公斤}。 \quad (1-7)$$

式中 $C^{\text{H}}, H^{\text{H}}, O^{\text{H}}, S^{\text{H}}, W^{\text{H}}$ 等代以100公斤燃料中各元素含量的绝对值。

气体燃料的计算公式：

$$Q^{\text{高}} = 30.5CO + 30.5H_2 + 95.3CH_4 + 152.5C_2H_4 + 60H_2S \text{ 千卡/米}^3。 \quad (1-8)$$

$$Q^{\text{低}} = 30.5CO + 25.8H_2 + 85.9CH_4 + 143C_2H_4 + 55.2H_2S \text{ 千卡/米}^3。 \quad (1-9)$$

式中 CO, H_2 等代以100米³燃料中含量的绝对值。

为了评价各种燃料的发热能力，通常选定一种标准燃料 ($Q = 7000$ 千卡/公斤) 以资比较，并用它来作为表示燃料用量的单位。

这样便可以把任何燃料换算成为标准燃料。例如1公斤烟煤的发热量为5780千卡/公斤，因此它相当于 $\frac{5780}{7000} = 0.83$ 公斤标准燃料，可以用这一比值来评价燃料。

§1-4 燃料各論

燃料的种类繁多 (见表1-1)，现分别介绍如下：

固体燃料

1. 天然的固体燃料

木质燃料：包括木柴、刨花、锯末屑、碎木片、树皮和树桩等。

木柴的元素分析成分如下：

$$C = 49.4 \sim 50.4\%; H = 5.9 \sim 6.1\%; O = 42.7 \sim 43.9\%; N = 0.7 \sim 1.0\%;$$

$$A^{\text{F}} = 0.7 \sim 2.0\%。$$

木质燃料的发热量 $Q^{\text{高}} = 4500$ 千卡/公斤。含硫和灰分少，容易燃烧。但含水分多 (新伐木柴含水量达40~60%)，需风干的时间长；体积大，不易远地输送，同时放久了易腐。故木质燃料在现代工业上很少应用，它已被矿物燃料所代替。木质燃料仅只用来制造木炭和发生炉煤气。

矿物燃料：煤是由古代植物经过长期的化学演变而成的。根据变化年代不同，煤可分泥煤、褐煤、烟煤和无烟煤等。下面分别介绍各种煤的特性。

泥煤：泥煤是各种植物分解的产物和来不及分解的植物原质所组成的含水混合物。

泥煤元素成分平均值如下：

$$C^{\text{H}} = 57.8\%; H^{\text{H}} = 6.0\%; N^{\text{H}} = 2.5\%; O^{\text{H}} = 33.4\%; S^{\text{H}} = 0.3\%; A^{\text{F}} = 9.7\%;$$

$$Q^{\text{高}} = 5240 \text{ 千卡/公斤}。$$

泥煤分布广，易开采；含硫量少，易气化；容易燃烧，且燃烧稳定。但泥煤含水多 (新伐泥煤最高含水量达85~91%)，且开采有季节性；发热量低；机械强度差，不便于运输。所以泥煤仅作为地方性燃料和制造发生炉煤气。

我国泥煤分布在华北平原、东北、河南和内蒙古河套一带。

褐煤：是泥煤经过进一步变化而成的，碳化过程较完善。在性质上与泥煤有很大的不同，其优点是挥发物多；水分减少，含碳量增加；机械强度较大；发热量较高。

褐煤元素分析成分如下：

$C^{\text{干}} = 72 \sim 78\%$ ； $H^{\text{干}} = 4.4 \sim 5.6\%$ ； $N^{\text{干}} = 1.3 \sim 1.5\%$ ； $S^{\text{干}} = 0.4\%$ ；

$W^{\text{干}} = 35 \sim 50\%$ ； $A^{\text{干}} = 11 \sim 33\%$ ； $Q_{\text{低}}^{\text{干}} = 3000 \sim 4000$ 千卡/公斤。

褐煤除供应直接燃烧外，还用来制造发生炉煤气和液体燃料。它是目前重要的工业原料。

我国褐煤产地很多，云南，内蒙古，东北，山西，湖南，河北，广西等省(区)都有。

烟煤：是褐煤再经过进一步变化而成，碳化程度较褐煤完善。其元素分析成分如下：

$C = 76 \sim 91\%$ ； $H = 3.3 \sim 6.0\%$ ； $O = 2 \sim 1.9\%$ ； $N = 1.1 \sim 2.7\%$ ；

$W = 1 \sim 4\%$ ； $Q_{\text{低}}^{\text{干}} = 5000 \sim 8000$ 千卡/公斤。

按含挥发物多少，烟煤可分为长焰煤、瓦斯煤、肥煤、结焦煤和瘦煤等。

长焰煤和瓦斯煤的挥发物含量高，在燃烧时，火焰长且亮，冶金炉中需要长焰时采用，它还可作加热炉燃料及制造煤气；肥煤适于直接燃烧，作一般冶金炉燃料用；结焦煤用来炼焦。

如果按煤的外表分，烟煤又可分为如下四种：

a) 丝煤：有丝绸光泽，象木炭一样质脆，有杂污，不结焦，含灰分多，含碳量为93%。

b) 镜煤：有玻璃光泽，性脆，呈贝壳状断面，结焦性中等，含灰分少。

B) 暗煤：无光泽，比镜煤坚固，结焦性强。

r) 亮煤：半发光，结焦性能强。

烟煤是近代化学工业重要原料，也是冶金工业和动力工业不可缺少的燃料。因此必须合理地利用它。

无烟煤：是烟煤再进行碳化而成的，它的碳化程度最高最完善。含固定碳最多，达90%以上；挥发物极少；机械强度高；不易吸水，便于长期存放；发热量达7000千卡/公斤左右。

无烟煤一般用来作锅炉燃料和化工原料及制造发生炉煤气。

我国的煤储藏量丰富，遍布全国各地，其中尤其是烟煤，分布广且品质优良。如华北平原以山西为中心，包括河北、河南、陕西及内蒙古一部分的煤藏区。其中以山西大同为世界有名的大煤田。还有东北区，西南区、西北区、中南区、华东区等都有煤田。

解放后，在党的正确领导下，我国煤炭工业有了飞跃的发展，从1942年618万吨，经过1958年大跃进，“1958年煤产量远远超过英国，1960年跃居于世界第二位”（见煤炭工业部北京科学研究所：“综合利用煤炭，扩大燃料来源”一文，载于1961年4月1日人民日报）。

2. 人工固体燃料

煤砖：用机械方法把易自燃，不易保存和运输的碎煤，加入一些粘结剂用高压压成坚固的大块，每块大约为0.5~1.0公斤。

煤粉：将煤球磨成0.05毫米以下颗粒使之成粉。用喷燃法燃烧，它比块煤燃烧有很多优点：与空气混合较完善，便于运输等。

焦炭：将固体燃料隔绝空气加热至一定的温度（550~1100℃）而得到的产物。若在温

度下限称低温干馏，上限则称高温干馏。

低温干馏所得的焦炭易碎不适于冶金工业，仅作为锅炉燃料和制造水煤气，或供给民用。

高温干馏所得的焦炭机械强度高，坚硬耐磨，完全适于冶金工业的炼铁需要。

液体燃料 液体燃料较固体燃料发热量高，燃烧完全，便于运输。

1. 天然液体燃料

石油：是各种不同族及不同分子量的碳氢质的液体混合物，其中含有少量的氧、氮及硫化物。

石油发热值高， $Q_{\text{低}} = 9800 \sim 10500$ 千卡/公斤。比重愈小，其发热值愈大。石油一般不作燃料，因为它的蒸馏物（如汽油、轻挥发油等）比原油有更高的价值。

2. 人工液体燃料——重油

重油是从石油中直接蒸馏或裂化过程中得到的残余物。它是一种极好的燃料。但国民经济的高速发展，石油加工技术的提高，因而重油在化学工业使用价值更高，所以用重油作为燃料是不经济的。

气体燃料 在近代工业中，气体燃料已愈来愈广泛地被应用。它较固体与液体燃料有如下优点：

- 1) 与空气混合完善，燃烧完全；
- 2) 气体燃料可以预热，从而提高燃烧温度；
- 3) 燃烧过程易控制，可以随时调节炉内温度、压力与火焰长短；
- 4) 运输方便，燃烧干净，且不要太大的劳动力。

下面分别介绍几种常见的气体燃料。

1. 天然煤气

天然煤气是天然的可燃气体，其中含有丰富的碳氢化合物。

天然煤气的主要成分是甲烷(CH_4)，其含量为 75~98%，另外还含有少量的重碳氢化合物和氢及一氧化碳，非可燃成分(CO_2 与 N_2)极少，故发热量很高，达 8000~8500 千卡/米³。

天然煤气一般用来作为工业燃料及日常生活中的燃料，或作为化工燃料。

2. 人工气体燃料

1) 高炉煤气：是高炉炼铁时所产生的副产品。它的可燃成分是由 CO（含量为 26~30%）和少量的氢组成。其发热量低（ $Q_{\text{低}} = 850 \sim 950$ 千卡/米³）。

一般高炉煤气用来加热炼焦炉、热风炉、加热炉等低温炉。

如果高炉煤气与焦炉煤气混合使用，可以提高发热值， $Q_{\text{低}} = 1500 \sim 2000$ 千卡/米³。

2) 焦炉煤气：是焦炉中炼焦时所得到的副产品。它所含的主要成分是 H_2 （含量为 48~55%）和 CH_4 （含量为 22~26%）组成的。因为 H_2 和 CH_4 均为发热能力较高的可燃成分，故焦炉煤气发热值 $Q_{\text{低}} = 4000 \sim 4500$ 千卡/米³。

冶金用的焦炉煤气是经过提取副产品后的焦炉煤气。焦炉煤气还可以作为化工原料或日常生活中的燃料。

3) 发生炉煤气：是用固体燃料在煤气发生炉中经过气化而得的人工气体燃料。其种类较多，详见§1—5“固体燃料”的气化。