

高等学校教学用书

铸造用炉

西安交通大学机械制造系鑄工教研組編



中国工业出版社

高等学校教学用书



鑄 造 用 炉

西安交通大学机械制造系鑄工教研組編

中国工业出版社

本书是根据高等学校鑄造教学大纲編写的。内容包括：燃料及其燃燒、炉内气体运动及炉内热交换、筑炉材料、炉子設計的一般原則及常用的几种加热炉等。

本书可作高等学校鑄造专业的教学用书，亦可供鑄造工程技术人员参考。

鑄 造 用 炉

西安交通大学机械制造系鑄工教研組編

*

中国工业出版社出版（北京佟麟閣路丙10号）

（北京市书刊出版事业許可証出字第110号）

机工印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印張 $13 \frac{5}{8}$ · 字数 305,000

1961年8月北京第一版·1961年8月北京第一次印刷

印数 0001—2,733 · 定价 (10-6) 1.65 元

統一书号: 15165 · 304 (一机-36)

目 次

前言	5	1 概論	56
緒論	7	2 炉膛內的热交換	57
第一章 燃料及其燃燒	10	3 从傳热分析时得出几点結論	66
一、对工业燃料的要求	10	四、冲天炉內热交換	66
二、燃料的化学組成及一般特性	11	1 热交換原理	66
1 燃料的化学成分	11	2 冲天炉內热交換	67
2 燃料的分析方法	14	3 几点結論	69
3 燃料成分的表示方法及其換算	14	第三章 筑炉材料	70
三、燃料概述	15	一、耐火材料	70
1 天然固体燃料	15	1 对耐火材料的基本要求	70
2 人造固体燃料——焦炭	19	2 耐火材料的分类	70
3 液体燃料	20	3 耐火材料的基本性能	70
4 气体燃料	21	4 硅酸鋁质耐火材料	76
四、燃料的发热量	24	5 氧化硅质耐火材料(硅磚)	79
1 发热量的定义	24	6 氧化鎂质耐火材料(鎂磚)	80
2 发热量的确定	24	7 白云石耐火材料	80
五、燃料燃燒計算	25	8 鎂鎂磚	81
1 計算中的几項假定	26	9 碳化硅质耐火制品	81
2 燃料燃燒所必須的理論空气量的計算	26	10 碳质耐火制品	82
3 空气实际消耗量和过剩空气系数	27	11 耐火材料的选用原則	82
4 燃燒产物的成分	27	二、絕热材料	83
5 燃燒产物的热含量	28	三、其他筑炉材料	83
6 燃燒溫度	28	1 耐火混凝土	83
7 提高炉溫的方法	31	2 耐火胶泥	83
六、燃料燃燒設備	31	3 紅磚	83
1 固体燃料燃燒設備	31	4 地基材料	84
2 粉状燃料燃燒設備	34	5 金屬材料	84
3 液体燃料燃燒設備	35	第四章 炉子构件、热平衡計算及炉子	
4 气体燃料燃燒設備	37	設計的一般原則	85
第二章 炉內气体运动及炉內热交換	40	一、炉子构件	85
一、概論	40	1 炉基	85
二、炉內气体运动力学	40	2 炉底	85
1 压头	40	3 炉牆	85
2 各压头間的相互关系(伯努利方程式)	43	4 炉頂	86
3 气体流动性质	45	5 烟道和导管	87
4 气体运动中的压头損失	48	6 砌磚	88
5 烟囱的設計計算	51	7 炉子的金屬构架	89
6 冲天炉內气体的流动	53	8 炉門	90
三、火焰炉炉膛內热交換	56	9 空气預热裝置	90

二、热平衡計算.....	107	2 平炉熔炼室結構及尺寸的决定.....	150
1 热收入.....	107	四、冲天炉.....	154
2 热支出.....	108	1 冲天炉的构造及設計計算.....	155
三、炉子設計的一般原則.....	111	2 冲天炉熔炼的强化装置.....	160
第五章 加热炉	113	3 特殊結構的冲天炉.....	168
一、概論.....	113	五、反射炉.....	170
二、热处理炉的分类.....	113	六、坩埚炉.....	171
三、热处理炉的构造.....	115	1 固定式坩埚炉.....	171
1 周期作业的室状炉.....	115	2 移动式坩埚炉.....	173
2 連續作业炉.....	118	3 可傾式坩埚炉.....	174
四、热处理炉的計算.....	118	第七章 电炉	176
1 炉子尺寸的确定.....	119	一、概論.....	176
2 热平衡計算.....	119	二、电阻炉.....	176
3 炉气流动阻力損失的計算.....	123	1 直接加热电阻炉.....	176
五、干燥过程.....	124	2 間接加热电阻炉.....	176
六、干燥炉的构造.....	127	3 带金屬电热体的电阻炉的計算.....	183
1 周期作业干燥炉.....	127	三、电弧炉.....	189
2 連續作业干燥炉.....	130	1 电弧炉的分类.....	189
四、干燥炉的計算.....	133	2 电弧炉的构造.....	189
第六章 熔炼炉	139	3 电极.....	194
一、熔炼炉的分类.....	139	4 电气設備.....	195
二、轉炉.....	139	5 直接电弧炉主要尺寸的决定和变压器功 率的計算.....	197
1 直筒形轉炉的构造.....	140	四、感应电炉.....	199
2 直筒形轉炉的炉身断面形状和尺寸的 决定.....	143	1 概述.....	199
3 渦鼓形轉炉的断面形状和尺寸的 决定.....	146	2 鉄芯感应电炉.....	200
三、平炉.....	149	3 无鉄芯感应电炉.....	202
1 平炉的构造.....	149	附录.....	207
		参考文献.....	218

前 言

本书是根据李金和同志所編写的亦即現用的「鑄造用炉」讲义加以修改和补充而編写成的。在編写过程中，吸取了1958年以来在教学改革中的一些体验，在系統性上以1955年哈尔滨工业大学會議上所制訂的教学大綱为基础作了某些变动（例如热工仪表部分我們就將它移至「热工学及傳热学」課程中去讲）。并且在进一步学习苏联先进科学技术成就的基础上注意了結合我国实际情况，同时亦考虑到教学上的要求，使本书能比較适合目前「鑄造工艺与設備」专业的学生在学习中的需要。

学生在学习鑄造用炉課程以前，已学过了水力学及水力机械、热工学及傳热学、物理化学、砂型工艺及鑄造合金的熔炼等先修課程。并且也已經通过了生产劳动和实习。因此为了避免与先修課程相重复，本书在編写过程中就較偏重于应用先修課程的一些概念来闡明常用的鑄造用炉。

本书共分七章：

一、燃料及其燃燒：主要說明燃料的特性以及如何利用燃料。

二、炉内气体运动及炉内热交換：主要說明炉内气体运动的基本規律和炉内热交換特点，为合理建立炉子打下必要的理論基础。

三、筑炉材料：着重說明筑炉材料的基本性能及其选用。

四、炉子构件、热平衡計算及炉子設計的一般原則：闡述在設計炉子及其构件时的一般特点和原則。并通过热平衡計算，树立合理設計和改进炉子时必要的概念。

五、加热炉、六、熔炼炉、和七、电炉这三章主要說明这些炉子的构造特点及其設計計算。

在本书編写过程中，取得了领导的大力支持以及吳之凤教授的許多指导，并有朱振华同志参加对原稿的編审工作，促使了本书的順利編成。

由于時間倉促，同时又由于編者水平的限制，书中难免有許多缺点和錯誤。因此誠懇地希望讀者同志們提出批評与指正，作为今后不断提高教学质量的有力保証。同时希望交流經驗，达到拋磚引玉的目的。

本书在出版过程中，获得了清华大学、北京机械学院等兄弟教研組对本书的审阅与指导，謹在此致以深切的謝意。

西安交通大学鑄工教研組

1961.4

緒 論

用以改变各种材料的性质或制造新的材料的热工装置，称为炉子。在鑄造生产中，用于干燥、熔炼和热处理等生产过程的炉子，则称为[鑄造用炉]。

为了在机械化程度較高的鑄造車間的生产中，更精确地控制型砂中的含水量，就应将粘土和石英砂在配砂前进行干燥。又为了减少不致因砂型中的气体而使鑄件产生气孔的缺陷，以及在澆注重大鑄件时为了增加砂型的强度，则往往采用干型鑄造，以保证鑄件的质量。

在鑄造生产中另一重要工作是要获得液体金屬。如果由于液体金屬的温度不够而使鑄件产生冷隔和澆不到；或者由于化学成分的不合格而影响到鑄件的机械性能和物理性能，因此而造成的廢品，则往往是不可补救的。所以作为熔炼用的炉子，必須保证供应一定温度的、成分合格的液体金屬。

对具有一定要求的或形状較复杂的鑄件，常需运用热处理的方法来改变它的金相組織或消除其內应力，从而满足使用上和加工上的要求。还有一些材料，例如石灰石、白云石和鎂石等在固体状态下經過加热分解，改变了它們的性质，构成了新的材料，使之更适合于生产中使用的要求。

由此可见，在鑄造生产过程中，非但少不了炉子，而且它对于提高产品质量和降低产品成本方面，起着重要的作用。作为一个鑄造工作者，应給予足够的重視。

应用于鑄造生产过程中炉子的类型是很多的，大致上可作如下的分类：

按热能来源分：有燃料炉（包括依靠氧化金屬杂质供热的轉炉）和电炉。

按生产用途分：有鑄铁熔炼炉（冲天炉、坩埚炉等）、鑄鋼熔炼炉（轉炉、平炉、直接电弧炉和感应电炉等）、有色金屬熔炼炉（反射炉、坩埚炉和間接电弧炉）以及用于热处理和干燥工作的加热炉。

上述各种类型炉子的出現，都是为了满足生产的需要。因此它的发展也是随着工业和科学技术的发展而不断地被人们在改进着和創造着。

我国是世界上最早发明冶鑄技术的国家。春秋閭閻內傳在描写干将、莫邪二人在当时炼劍的情况中提到[...使重男三百人鼓囊装炭，金鉄乃濡，遂以成劍，...]可見远在公元前六、七世紀的春秋时代，我国人民在冶鑄生产方面，已具备了較大的規模，并且使用了鼓風設備。我国人民这种冶鑄生鉄的技术，比欧洲要早 1700 年。

在东汉初期（公元前 31 年），南阳（今河南省南阳县）太守杜詩，发明了水力鼓風炉，使冶鉄技术大为进步。这种水力鼓風炉的发明，就完全可使人們获得优质高溫的鉄水。它的发明比欧洲要早 1200 年。

在 1000 年以前的北宋时代，水力鼓風炉的結構又有了进一步的发展。鼓風設備由皮囊改为简单的木風箱。这个发明也要比欧洲早五、六百年。

在 300 多年前的明代，鼓風設備又由簡單木風箱改为活塞和活門裝置的木風箱，有时需五、六人才能拉动它。这种結構形式的風箱至今还在許多場合下使用着。这一发明至少也要比欧洲早 100 年。

燃料使用方面，在 1400 多年前的南北朝时代，由于水力鼓風炉的改进，冶鉄所用的燃料，也开始应用石炭（白煤），这比欧洲至少要早 1000 年。至于用白煤作一般燃料，则还要更早些。

不难看出，几千年来，我国人民的这些成就，都是走在世界最前列的。只是到了近代，由于封建統治和本国反动統治以及外国資本主义列强的侵入的結果，才落伍了。特別在鴉片战争后，我国在帝国主义列强的侵略和本国反动統治階級的压榨下，变成了一个半封建半殖民地的国家，經濟命脉为帝国主义所操纵，科学技术越来越落后于其他国家。

十五世紀末，由于当时国外航海事业和工业开始飞跃发展，需要大量金屬，在生鉄生产方面，开始应用高炉和水力鼓風炉。十八世紀末，由于蒸汽机的发明，促使蒸汽鼓風机的出現，再加上焦炭的应用，急剧地提高了生鉄的产量。炼鋼方面，当时是用攪拌法炼鋼，但由于机械制造和造船事业的发展，对于熟鉄和鋼有了进一步的需要，因而促使了轉炉炼鋼的发明（貝塞麦法和托馬斯法）。由于当时技术水平的限制，用轉炉炼出的鋼质量并不好，并且又有大量廢鋼存在，于是就发明了馬丁炉（平炉）。

随着熔炼炉的发展，并为了改善鋼的性能，使其适合于工业上的需要，因此加热炉方面也有了发展。

十九世紀下半叶，由于資本主义生产的发展，促使了工业企业規模的扩大以及冶金炉生产能力的增加，同时也就发生了对燃料产地掠夺性的开采，造成了燃料的涨价，这就必須創造新型的炉子，能够更完善地利用燃料。这样一来，就必须利用廢气的热来預热煤气和空气，以及能使燃料燃燒得比較完善的办法，并設法应用液体燃料和气体燃料。

长期以来，作为与工业生产有密切关系的炉子設備，在設計和建造方面，都还是依靠經驗相傳。而苏联将炉子方面的生产經驗，經過总结提高到理論上来研究，作出了巨大的貢獻。第一个炉子理論的創造者是苏联的格魯姆-格尔瑞馬益洛（В. Е. Грум-Гржимайло）。他远在 1905~1911 年間就发表了炉子水力学理論。随后，苏联有許多科学家在炉子的热工理論方面、炉子的相似原理方面以及在炉子的設計方面均有很大的发展和深入的研究。

苏联在十月革命时，还没有大型的高炉、大型的馬丁炉和机械化的煤气发生炉，加热炉上还只使用固体燃料，用电炉还非常少。但十月革命胜利后，經過几个五年計劃的建設，非但有了世界上最大的高炉，实现了地下煤气化，并且正在向着生产过程的全盘机械化与自动化的方向发展，向人类展示着共产主义的美好远景。

我国在解放后，由于党和毛主席的英明領導，全国人民在三面紅旗的光輝照耀下，經過勤勞奋斗，工业的发展速度可以說在世界上是空前的。1960年鋼产量就达 1845 万吨，比 1950 年的 60 万吨增加了 30 倍。我国鋼产量已从 1957 年占世界第九位上升到第六位。同样在鑄造生产方面，随着工业发展的需要，也取得了很大的发展。从熔炼方面来看，1953 年 3 月机械工业部召开了全国第一次翻砂會議，在学习苏联先进技术的同时，总结我国的生产經驗，并制訂了統一的大炉工艺守則，推行必要的控制仪表，使冲天炉操作趋向于科学化。同时全国还推广了苏联的三排風口冲天炉和热風冲天炉，这对提高冲天炉的生产率、获得高温优质的鉄水以及节约燃料方面，均有了进一步的发展。1958 年大跃进后，为了适应当时形势的要求以及結合我国原材料的特点，在群众性的技术革命和技术革新的运动中，又有多宝炉的出現，發揮了我国人民的独創精神。

解放后，在我国某些高等学校中設置了冶金炉专业，专门培养这方面的人才。在〔鑄造工艺与設備〕专业中設置了鑄造用炉課程，使本专业的学生通过学习本課程后，結合其他先修課程，能具有設計、改进以及合理使用鑄造生产中常用炉子的必要知識。并相应地还設置了科学研究机构。一支理論队伍也在迅速地成长扩大起来。

至于当前的任务，根据薄一波副总理在〔爭取我国工业生产建設的新胜利〕一文中（“紅旗”1960.3~4期23頁）所指出〔工业部門当前的一項重要任务，是要在改进产品质量、增加品种、提高劳动生产率的基础上，进一步减少原料、材料、燃料的消耗，降低生产成本。〕因此，我們还必需进一步系統地总结大跃进以来的許多革新創造，达到优质、高产、长寿、低耗的要求，多快好省地完成党交給我們的任务。

第一章 燃料及其燃燒

一 对工业燃料的要求

在工业上称为燃料的物质，乃是在燃燒过程中能放出大量热能，并且这热能可为人类以各种方式所利用者。

作为燃料的物质，还应满足下列要求：

1. 它的自然蘊藏量应丰富，并且在經濟上具有合理开采的条件。
2. 燃燒产物必須是气体，因为气态的燃燒产物移动起来很方便，可以引向热源以外的其他地方利用燃料放出的热，利用后，要排除它亦非常方便。
3. 燃料的燃燒产物，不論对于燃燒热的利用过程，或者是对于设备、工作人员及周围的动物和植物，都必須是无害的。
4. 燃燒单位重量的燃料（对气体讲，是单位容积）所放出的热量，就現代技术而言，它的利用百分率要相当大。

在燃燒过程中，放出大量的热能，虽然是燃料的主要标志，但不足以說明，它就是适于工业上所用的燃料。选作工业上用的燃料，是那些在燃燒过程中，是以氧气作为氧化剂的物质。因此，燃料是由那些能与氧化合的元素所組成。

但在鋁热过程里，鋁氧化时，高热效应的利用說明了在这个过程中，鋁可以能当作燃料来用。在轉炉炼鋼过程中，生鉄杂质（Si、Mn、S、P）的燃燒，亦只是每一个元素在过程的特殊情况下，才起燃料的作用，因此，不能认为它們是具有一般工业意义的燃料。

燃料的获得方法及燃料的物态是現代燃料的最一般的分类标志。其分类如下表（表 1-1）。

表 1-1

来 源	物 态		
	固 体	液 体	气 体
天 然 的	木柴，泥煤，褐煤，烟煤，无烟煤，可燃頁岩	石油	天然煤气
人 造 的	木炭，焦炭，煤粉，煤磚，热解白煤	重油，焦油，合成液体燃料，悬浮燃料	高炉煤气，发生炉煤气，焦炉煤气，地下气化煤气

在鑄造車間中，应用較多的燃料有：焦炭、烟煤、焦炉煤气、高炉煤气、发生炉煤气、重油等。

为了充分地利用祖国的資源，更好地为建設社会主义服务，从整个国民經济出发，在选用燃料时，必須考虑到下列几点：

1. 合理分配：低級燃料（水分、灰分高、发热量低）供电力用，高級燃料供冶金、运输、工艺、国防用。尽量少用液体燃料；
2. 綜合利用：能够加工的燃料应爭取加工，以得到质量更高的人工燃料和化工产品；

3. 就地取材：避免长途运输，尽可能分区就近使用。

二 燃料的化学组成及一般特性

为了进一步研究有关燃料的价值、燃料在燃烧时的特征以及某种燃料适合于何种工艺过程等一系列问题，表 1-1 中没有表示出来。为了回答这个问题，必须进一步了解燃料的化学组成和燃料的发热量。

1 燃料的化学成分

在组成特点上，可以概括的认为，固体燃料与液体燃料，属于相同类型。它们都是由某些元素的复杂化合物的混合物所组成；尤其是固体燃料，其中某些化合物的形式，至今还不清楚。现在我们只能掌握这些燃料由那些元素组成及含量，从而由元素的种类及含量去近似地观察燃料的性质和进行燃烧计算，亦即近似的把固体燃料和液体燃料看成是由独立自由存在的某些元素所组成（实际上，各种元素在这些燃料中，并非独立自由存在）。气体燃料则是一些极简单的化合物的机械混合物，因而极易分析与确切掌握其化学成分。

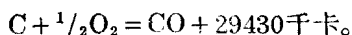
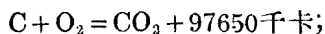
1) 固体燃料与液体燃料的化学组成：

虽然，这些燃料的种类很多，但由于分析的结果，可以近似的认为，它们是由碳、氢、氧、氮和硫等元素所组成。另外，还含一部分水和灰分。

碳(C)——碳是固体燃料和液体燃料的重要组成部分，碳燃烧时产生大量的热，是燃料热能的基本来源。通常按含碳量来判别燃料的质量。

在煤中碳的含量为 50~99%，在重油中碳的含量为 86% 以上。

氧气充足时，碳燃烧成 CO_2 ；氧气不足时，则燃烧成 CO ，而且都放出热量，其反应如下：



即 12 公斤的碳与 32 公斤氧互相作用，生成 CO_2 ，并放出 97650 千卡的热；而用同样重量的碳与 16 公斤的氧互相作用，则生成 CO ，仅放出 29430 千卡的热量。

$$\frac{97650}{12} = 8140 \text{ 千卡/公斤碳};$$

$$\frac{29430}{12} = 2450 \text{ 千卡/公斤碳}。$$

可知碳燃烧成 CO 的热效应约为燃烧成 CO_2 的热效应的 1/3，为了合理的燃烧燃料，则必须建立足以尽可能使所有的碳完全燃烧成 CO_2 的条件。当燃烧成 CO 时，即表示碳的不完全燃烧。若补加氧气时， CO 又燃烧成 CO_2 ，并再次放出热量：



氢(H)——在固体和液体燃料中，含氢量远比含碳量为少，虽然 1 公斤氢燃烧时所放出的热量差不多相当于 1 公斤碳燃烧时放出的热量的 3.5 倍，但作为热能来源来讲，氢的意义比碳为小。

在气体燃烧中，氢是很重要的成分。

氢的燃烧反应如下： $\text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 = \text{H}_2\text{O}_{\text{气}} + 68380 \text{ 千卡}。$

水——液态。

通常燃燒室的牆壁是赤熱的，因此，燃燒氫氣而合成的水，呈水蒸汽狀態，因此：



Π——蒸汽狀態。

該二式中熱效应的差，即是燃料在室溫狀態下燃燒時，水的汽化潛熱。即 1 公斤的水變成水蒸汽所需要的熱量。

氫在燃料中存在的形式有以下兩種：

(1) 自由氫：即指與碳、硫組成化合物的氫。因為這類化合物在燃燒時，具有幾乎和不化合的氫相類似的热效应，所以可以認為這種化合物中的氫為「自由氫」。

(2) 化合氫：這是指與氧化合的氫（水）。它是燃料的有害部分。因為蒸發已形成的水分，要消耗一些其它元素燃燒時所放出的熱量，這種水不同於燃料中的水分含量（吸附的和外部的），因為這結合水，不能用干燥燃料的方法除去，須要在干餾時才能和揮發份一道除去。通常稱這部分水為「灼失水」。

氮(N)——氮在燃燒過程中不參加燃燒，所以叫做燃料的有機部分中的惰性物質。它對燃料是不利的。但是由於在固體燃料中，其一般含量為 1~2%，故對燃料的質量影響不大。但在某些氣體燃料中往往由於含量較多，因而降低了燃料的發熱量。

氧(O)——氧是燃料中的有害部分，因為它是燃料中有機部分的惰性物質。不但由於氧的存在而降低了其他元素的含量，並且由於它和其他元素形成了一系列的化合物（ H_2O ，CO 等），而部分的降低了這些元素的發熱值，這是它和氮的區別。

硫(S)——硫在燃燒時放出熱量與硫在燃料中存在的形態有關。在燃料中，硫呈以下三種形態存在：

(1) 有機硫 ($S_{\text{有機}}$)：是與燃料中有機部分的其它元素相結合的硫；

(2) 黃鐵礦硫 (S_{Fe})：和鐵化合成 FeS_2 ，

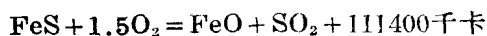
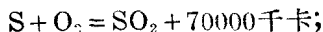
(3) 硫酸鹽硫 ($S_{\text{鹽}}$)：硫成硫酸化合物，如 CaSO_4 ， FeSO_4 等。因此，總硫量應為：

$$S_{\text{總}} = S_{\text{有機}} + S_{\text{Fe}} + S_{\text{鹽}}$$

有機硫與黃鐵礦硫，屬於燃料中的發熱元素，即所謂可揮發硫，它含於燃料的可燃物中。

$$S_{\text{揮發}} = S_{\text{有機}} + S_{\text{Fe}}$$

其燃燒反應如下：



燃料中的硫酸鹽硫，不參加燃燒過程。

雖然，燃料中一部分硫在燃燒中放出熱量，但由於燃料燃燒後，生成 SO_2 與 H_2S ，它會侵蝕燃燒室中的金屬部分。同時，這些燃燒產物，經煙囪排至大氣中，對人、家畜與植物等均有損害作用；另外，含硫高的燃料不適於加熱和冶煉金屬，因在這些加工過程中，硫會使金屬質量變壞。因此，硫就變成了燃料中的有害部分。

所以不希望燃料中有較高的硫量。若燃料中含硫達 5~7% 時，在工業上用處不大。

水分(W)——燃料中的水分，可以說成是有害部分。由於它的存在，不僅降低了燃料的可燃部分，而且汽化時還要消耗一部分熱量。因此，燃料中的水分愈多，則其使用價值亦愈低。

燃料中水分呈三种形态存在:

(1) 外部水分: 即机械地附着在燃料块表面的水分, 自然干燥时, 即可将该水分除去;

(2) 吸附水: 由于毛细作用而被吸附于燃料内部的水分称为吸附水。它仅在加热时 ($100^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{C}$) 才能除去;

(3) 结合水: 这是指在燃料的矿物组成中所存在的一部分结晶水 (例如 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), 其含量很少, 燃烧计算时, 一般不加考虑, 因此燃料的含水量是指 $W_{\text{总}} = W_{\text{外}} + W_{\text{内}}$ 。

结晶水很难除去, 只有在高温下, 这些矿物组成进行分解时, 才能逸出。

液体燃料中, 水分含量极微, 一般不加考虑。

但在燃料中含有少量的吸附水是有好处的, 因为它对燃烧起催化作用, 能加速燃烧过程。

灰分(A)——燃料中不能燃烧的矿物组成, 统称为灰分。在不同的燃料中, 所含的灰分量变动亦很大。

气体燃料=0; 褐煤10~25%;

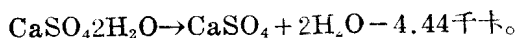
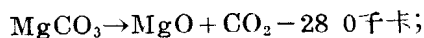
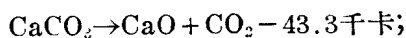
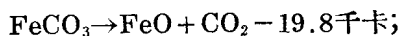
液体燃料<1%; 木柴1~3%;

烟煤5~10%; 可燃页岩50~60%。

灰分的有害作用表现在下列几方面:

(1) 灰分是燃料中的废物, 它降低了燃料的发热量。

(2) 灰分中某些化合物的融熔和分解, 要消耗掉一些热量, 例如:



(3) 在燃烧过程中由于灰分的融熔, 容易粘附在燃烧室的耐火材料上或堵塞炉栅上空气通路, 破坏了燃烧过程。

灰分熔点高低分为下列三类:

易溶的 熔点 $<1150^{\circ}\text{C}$;

中等熔点的: 熔点为 $1150^{\circ}\sim 1200^{\circ}\text{C}$;

难溶的: 熔点 $>1200^{\circ}\text{C}$ 。

(4) 排除灰分时, 要带走一部分热量, 以及夹带着一些未烧尽的煤, 一起和灰被排出。

但在实际燃烧过程中, 尤其是燃烧高发热量的固体燃料时, 为了保护炉栅不被高温所烧坏, 且使鼓入空气有预热作用, 因此在炉栅上留有一层灰渣还是有好处的。

2) 气体燃料的化学组成:

气体燃料是由几种简单的化合物所组成。气体燃料中的可燃成分主要是 CO 、 H_2 、 CH_4 、 C_2H_4 、 C_2H_6 、 H_2S 等。气体燃料中不可燃部分主要是 CO_2 、 N_2 、 SO_2 、 H_2O 、 O_2 等。

在可燃成分中以 CH_4 、 C_2H_6 、 C_2H_4 等发热能力最大, H_2 次之, CO 最低。

不可燃成分的含量，希望愈少愈好。 H_2S 的含量亦希望要少，因它与在固体液体燃料中的硫一样，燃烧时，产生有害的燃烧产物。

2 燃料的分析方法

为了鉴定燃料的使用价值，以及燃料的特性，因此，对燃料必须进行分析。分析的方法有两种，即元素分析和工业分析。

1) 元素分析：对于固体燃料和液体燃料进行元素分析，可确定这些燃料是由哪些元素所组成以及燃料中碳、氢、氧、氮、硫、水分和灰分量，虽然这种分析不能确切地表示这些组成在燃料中真正的存在形式，但可用它来近似的评价燃料的价值。在进行燃料的燃烧计算时，元素分析还是不可缺少的。

2) 工业分析：在工业上常对煤进行工业分析。工业分析主要是测定其中的水分、挥发物和固定碳的含量及其性质，以作为控制燃料质量的指标。

当煤在隔绝空气的情况下加热时（干馏），随着温度的升高，煤将发生如下变化：

温 度	所 发 生 之 变 化
100°~150°C	蒸发出水
150°~200°C	放出被燃料吸收的 CO_2
200°~250°C	燃料中的化合物开始明显的分解
300°C	开始放出含焦油很多的气体物质
350°~400°C	燃料开始激烈的分解，猛烈的放出 (H_2, H_2, C_2H_2) 及焦油很多的气体物质
450°C	放出大量的焦油汽，再继续加热时，焦油汽减少，最后停止放出
500°C	焦油汽逐渐减少
1000°~1100°C	完全停止逸出一切气体，最后剩下固体焦炭

在上述条件下，除水外，逸出之全部气体物质，统称为燃料的挥发物。这是燃料很贵重的一部分，因为从挥发物中可以提炼出一系列的化工产品。

所以煤的工业分析是将一定重量的煤加热到110°C，再在隔绝空气的情况下，加热至850°C，令其水分和挥发物分别全部逸出，测得水分和挥发分含量。然后通以空气，令固定碳全部燃烧，测出灰分和固定碳的含量。

固定碳的性质是炼焦的重要资料。

3 燃料成分的表示方法及其换算

1) 固体与液体燃料：一般表示方法有四种。

实用燃料：

即一般使用的未曾经过处理的燃料，以 (P) 表示：

$$C + H^P + N^P + O^P + S^P + A^P + W^P = 100\%$$

干燥燃料：

即用人工方法除去水分的燃料，以 (C) 表示：

$$C^C + H^C + N^C + O^C + S^C + A^C = 100\%$$

可燃质：

燃料在除去水分和灰分后剩下的物质，称为可燃质，以 (k) 表示：

$$C' + H' + N' + O' + S' = 100\%。$$

有机质:

去掉S的可燃质, 以(O)表示。

$$C^O + H^O + N^O + O^O = 100\%。$$

现将实际燃料的组成, 用下图表示

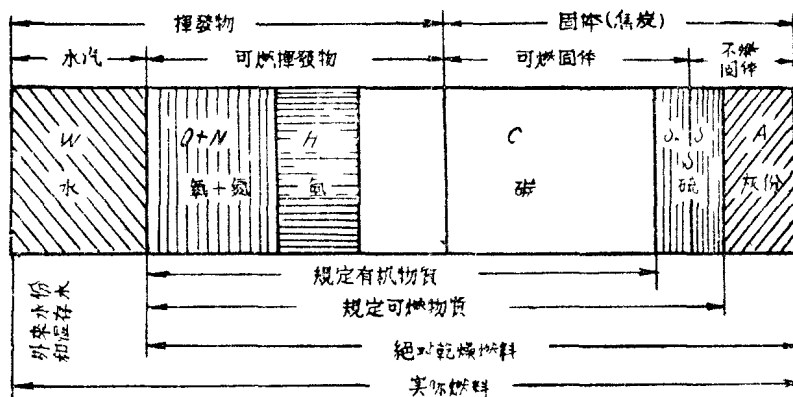


图1-1 实际燃料的组成。

上述几种燃料成分的表示方法的换算, 可归纳如表 1-2

表 1-2

已知 燃料成分	欲 换 算 的 燃 料 成 分			
	有 机 质	可 燃 质	干 燥 质	实 用 质
有机质	1	$\frac{100-S}{100}$	$\frac{100-S+A}{100}$	$\frac{100-(S^p+A^p+W^p)}{100}$
可燃质	$\frac{100}{100-S^p}$	1	$\frac{100-A}{100}$	$\frac{100-(A^p+W^p)}{100}$
干燥质	$\frac{100}{100-(S^p+A^p)}$	$\frac{100}{100-A}$	1	$\frac{100-W^p}{100}$
实用质	$\frac{100}{100-(S^p+A^p+W^p)}$	$\frac{100}{100-(A^p+W^p)}$	$\frac{100}{100-W^p}$	1

2) 气体燃料: 其表示方法有两种, 即湿成分和干成分。

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

干成分 $CO^{\text{干}}\% + H_2^{\text{干}}\% + N^{\text{干}}\% + \dots = 100\%$ 。

因在气体燃料中的水分含量和在該温度下的饱和水蒸汽含量有关, 即使是同一种气体燃料, 而因为温度不同, 所含水分亦就不同。因此气体燃料的湿成分, 只能代表某一个固定温度下的气体燃料成分。

以干成分表示气体燃料的组成时, 则不受水分波动的影响。

三 燃料概述

1 天然固体燃料

这里所指的天然固体燃料, 即是工业上常用的煤。

煤是由于古代植物，因地壳的变迁而被埋藏在地层下（或沼泽下），在隔绝空气的条件下，由于受细菌、高温、高压的作用，使其纤维质分解，逸出气体与液体，留下固体物质，即变为煤。这一变化过程称为矿化作用。由于矿化年代的长短，使煤中含碳量发生变化，矿化年代愈长，则含碳量愈高，燃料燃烧价值亦就愈高。

由于矿化年代不同，就形成了泥煤、褐煤、烟煤与无烟煤。泥煤最年轻，依次则烟煤最古老。

表 1-3 即可看出矿化程度和成分间的关系。明显的看出，随着矿化年代的增长，煤中的 N、O、H 相对减少，而含碳量相对增加。

表 1-3

元 素	木 材	泥 煤	褐 煤	烟 煤	无 烟 煤
C°	50	60	70	82	94
H°	6	6	5	5	3
O°	43	32	24	12	3
N°	1	2	1	1	
	100	100	100	100	100

1) 木柴：分布较广，且较易获得。木柴是由纤维素($C_6H_{10}O_5$)_n和木质素所构成，它们都是含水很多的碳氢化合物。另外在木柴中还含有少量的碱土金属的氧化物，是木柴的灰分。

木柴的含水量较高，且变动范围大（湿木柴含 30~50%、风干木柴含 15~25%），因此木柴的发热量变化也很大。为了避免水分对发热量的影响，则采用其有机质的发热量来表示。

木柴的元素分析成分大致为：

C°%	H°%	O°%	N°%	A°%
49.4~50.4	5.9~6.1	42.7~43.9	0.7~1.0	0.7~2.0

木柴的工业分析结果，得知其中含挥发物为 85% 左右，因此易燃着（着火点为 300℃）。木柴的优点是灰分少（一般为 1~2%），且难燃，便于清除。没有硫化物。缺点是发热量低，不宜远途运输，且占体积较大，所以通常作为地方性燃料。

木柴除在炉子上用来预热、点火外，还可制成木炭或作为发生炉煤气的燃料。

2) 泥煤：质轻，呈褐黑色或黑色，没有光泽。刚开采出来的泥煤含水量达 80~90%，如果把它加热或用压力榨去水分，即可当作燃料应用。一般不采用人工干燥，因这样消耗燃料太多，常用自然干燥。

泥煤化学成分变化较大，泥煤的平均成分，大致如下：

C°%	H°%	O°+N°%	S°%	A°%	发 热 量
57%	6.0%	6.9%	0.3%	10%	1770~5500 千卡/公斤

泥煤的自然温度较低，易燃着，含硫量亦低，特别适用于制造煤气，缺点是开采有季节性，同时发热量低，机械强度亦差，因此，只能作为地方性燃料。

泥煤可用来制造发生炉煤气，地方性发电站可用来烧锅炉或炼成焦炭，供小型炼铁炉