

加热炉干燥炉的 原理与构造

期

中等专业学校試用教科書



加热炉干燥炉的 原理与构造

狄玉书編著

中国工业出版社

本書內容包括三部分。第一部分闡述火爐的理論基礎，分別介紹燃料的基本性質，燃料的燃燒計算，燃燒設備，爐內氣體運動原理，傳熱原理，熱平衡與熱回收等問題。第二部分介紹加熱爐與干燥爐的結構，第三部分介紹熱工測量和熱工過程的自動調節。

本書可作為中等專業學校的試用教科書，也可供有關技術人員參考。

加熱爐干燥爐的原理與構造

狄玉書編著

*

中國工業出版社出版(北京修麟閣路丙10號)

(北京市書刊出版事業許可證出字第110號)

地質印刷廠印刷

新華書店科技發行所發行·各地新華書店經售

*

開本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印張 $9^{5/8}$ ·字數215,000

1961年9月北京第一版·1961年9月北京第一次印刷

印數0001—3037·定價(9-4)0.93元

統一書號: 15165·770 (151-151)

前 言

1. 本教材早在 1958 年即曾编写过一次, 在各兄弟学校以交流讲义形式采用过, 后在 1959 年教育计划及大纲修订以后, 把原大纲中的熔炼炉部分并入铸造合金及熔炼课程中讲授, 取消了炉子的课程设计, 加强了习题运算部分, 同时把课程名称也由原来的铸造车间用炉改为加热炉、干燥炉原理与结构。在 1961 年的教材编选会议上, 对本教材又作了进一步的研究修改, 考虑到四年制教育计划中因开设铸造材料分析一课, 故决定把有关燃料的分析试验及气体分析一章的讲授及试验并入铸造材料分析课程中, 本教材不再讲授。

2. 由于编写时间短促和个人水平的限制, 本教材中尚存在一些缺点。如一些设备和仪器的国产规格介绍不全, 又如大跃进后广泛使用的沼气燃料也介绍的不够全面。典型炉的设计举例因选材尚不够成熟故也未编写在教材中去。另外在教材中如尚有未发现的缺点及错误, 请读者指示。

3. 本教材在编写过程中, 承蒙汉口机械学院张景辉同志和陕西机器制造学校易升岁同志提供不少修改意见, 而陕西机器制造学校的易升岁同志还具体参加了三章的修改及编写工作。对这些同志的宝贵意见和有益的帮助, 谨表示衷心谢意。

编 者

1961 年 4 月

天

目次

绪论	7
----	---

第I編 火焰炉的理論基础

第一章 燃料的基本性质	11
一、燃料的概念	11
二、燃料的組成及其分析	11
三、燃料的发热量	14
四、燃料的种类与性質	15
第二章 燃料燃燒計算	21
一、概論; 燃燒的組成分析計算法	21
二、燃燒時所需空氣量和生成煙氣量的計算	22
三、燃燒溫度的計算	25
第三章 燃燒設備	28
一、固体燃料的燃燒及所用設備	28
二、气体燃料的燃燒及所用設備	32
三、液体和粉狀燃料的燃燒及其燃燒裝置	36
第四章 炉內气体运动原理	38
一、气体的性質和气体定律	38
二、炉內气体的自然流动; 格罗姆炉子水力学原理	39
三、气体靜力学; 靜压头和几何压头	40
四、气体动力学和流动方程式	42
五、流动損失計算	44
六、使炉內气体流动的方法; 通风机和烟筒的選擇計算	46
第五章 傳热原理	51
一、概論	51
二、傳导傳热	51
三、对流傳热	54
四、輻射傳热	55
五、炉內的热交換和經過炉牆的热損失計算	60
六、不穩定态傳热	65
第六章 热平衡与热回收	66
一、热平衡	66

二、热回收和預热器	70
-----------	----

第II編 加热炉与干燥炉

第一章 筑炉材料	77
一、金屬材料	77
二、耐火材料	78
三、輕質耐火材料和絕热材料	90
第二章 加热炉的构件和炉膛尺寸的确定	91
一、爐壁	91
二、爐頂	92
三、爐門	94
四、爐底和台車	95
五、烟道	96
六、金屬構架	97
七、爐膛尺寸的确定	98
第三章 火焰式加热炉和烘干炉	99
一、火焰式加热爐	99
二、火焰式烘干爐	106
第四章 电阻式加热炉和干燥炉	112
一、概論	112
二、电热体	112
三、电阻爐的种类与構造	116
四、电阻爐的設計	118

第III編 热工測量和热工过程的自动調节

概 论	121
一、热工測量和調节的意义和发展	121
二、仪表的技术性質和分类	121
第一章 压力測量和測压仪表	122
一、液体压力計	122
二、彈簧式压力計	123
三、电气式压力表	125
第二章 流量測量和流量計	126
一、速度式流量計	126
二、容积式流量計	127

三、动压式流量计.....	127	四、电阻温度计.....	142
四、节流式流量计.....	129	五、辐射高温计.....	143
五、浮子流量计.....	134	第四章 热工过程的自动调节.....	147
第三章 温度测量和测温仪表.....	134	一、概述.....	147
一、膨胀温度计.....	135	二、调节器的类别与性质.....	149
二、压力温度计.....	135	三、调节器和执行机构的构造与应用...	151
三、热电偶温度计.....	136		

緒 論

一、工业爐的应用及其发展

用于熔炼、加热和烘干等工艺过程的工业炉，在铸造工业生产中是不可缺少的。铸造工作本身，基本上是一个热加工部门。它的很多生产过程是在高温下进行的。显然，没有熔炼和加热，铸造工作就根本无法进行。合理地选择和使用各种工业用炉，是这一工业部门进行生产和提高产品质量必不可少的重要条件，由炉子的设计、建造到操作管理，都应能满足各种工艺过程的需要。

工业炉的发展和完善，经历了很长的历史阶段。在很久以前，人类为了熟食和取暖，就挖坑为灶，这是最原始的炉子。随着人类的进化，炉子用于制陶方面，并进而用它冶炼金属。到以后，由于采用人工鼓风方法和以焦炭代替木材作燃料，使炉子能获得更高的温度，出现了容量更大的炉子，其应用范围也更加扩大了。我国的冶金技术，有很悠久的历史。在春秋战国时代就会冶铁炼钢，用以制造农具和武器；因而也是工业炉技术发达最早的国家之一。但在奴隶和封建制度的束缚下，生产力发展得很慢，冶金、铸造等工业技术和工业炉的发展都很迟缓；甚至有很多古老的技术淹没而不能留传后世！公元15~16世纪以后，西欧的资本主义兴起，机器工业有了发展。由于工业、造船、航海、贸易和掠夺战争的需要，对金属的需要量大大增加了。发明和使用转炉炼钢法，大大促进了钢铁的生产。又由于马丁炉法炼钢的出现，使钢材质量得到提高。在冶金工业发展的同时，其他各类工业技术也获得相应的发展。随着资本主义经济的发展，工业生产迈进到一个新阶段。但到一定时期，由于资本主义本身矛盾的不断增长，使生产的发展受到新的限制。新技术的采用，当影响到资本家的利益的时候，他宁肯弃而不用；在有廉价劳动力的时候，他也决不用机器代人工作。当然，资本家更不会增添新技术装备来改善工人的劳动条件。随着资本主义矛盾的发展和劳动人民与资本家矛盾的尖锐化使生产技术和科学事业进步很慢或停步不前。

在苏联，十月革命推翻了沙皇的反动统治，也打开了工业技术飞速发展的广阔道路。五年计划一个又一个地超额完成；新的七年计划又指出了工业、农业向全面机械化和自动化迈进的方向。苏联的冶金、铸造、和其他所有工业部门，广泛地使用着新技术和新装备。

我国的第二个五年计划工业生产的主要指标提前完成，这为加速社会主义建设创造了良好的条件。在工业炉方面，我们已进行了巨大的改装和新建工作，并取得很大进展。特别是从58年以来的几年中，热工技术的进步更快。铸铁熔化出现了多室炉；炼钢方面采用新技术和热工过程的强化；铸造新技术的推广以及加热炉、烘干炉的构造与控制的改进和加强，真是日新月异！自动控制和工作条件良好的熔炼炉、加热炉和烘干炉，在我国各地的工厂里获得日益广泛的应用。

在生产中对一个工艺设备的要求是多方面的，对工业炉的要求更是如此。我们不仅要求它能满足工艺过程的技术条件，而且还要经济上合理；此外也须具有尽可能良好的劳动

条件。电气的使用开辟了工业炉的新方向；电热式的工业炉目前已有许多工厂使用了。电热式的加热炉，具有很多工艺性能方面的优点。应用电热和电气控制可以大大改善热加工的各种工艺过程，可以保证更加准确的加热和烘干条件。

在使用燃料加热方面，煤气获得愈来愈广泛的应用。我国天然煤气的开采和各类煤气站的建立几年来都有很大的发展。由于使用煤气能改善炉子的工艺条件，并能更有效地发挥燃料的作用，加热、烘干工作的煤气化是个重要方向。把一些固体燃料式炉改成煤气式炉已变成当前我国技术革新的课题之一。我们用土洋结合的办法大搞煤气化获得了显著的效益。

炉子作业向自动化发展，也是个必然的趋势。自动控制加热和烘干等过程，自动调节炉子的温度和其他参数，现在已有了一定的基础，在我国很多新建和改建的工厂企业里，不少炉子实行了自动化和半自动化。生产自动化可以保证准确的操作条件；减少或消除了因人工操作迟缓而引起的时间浪费，提高了炉子的生产能力。同时自动化也使劳动条件大为改善。

要适应我国机械工业和熔炼技术的飞速发展、配合和指导工业炉建设工作，并解决有关炉子方面的技术关键问题及攀登这门科学的世界高峰等方面的任务，我们对热工过程和炉子技术理论研究，则显得比较落后，是赶不上需要的。这门复杂的技术科学，几年来在党的领导下经过群众队伍和专门人员的不断努力，虽已打下初步的基础；我们已能设计某些大型热工设备并进行了一些理论工作，但和工业发展比较起来，还是很落后的。因此就应努力加强这一理论阵地，以便更好地为我国工业化和整个国民经济的发展贡献力量。

二、爐子的分类和各种爐子簡述

在这里，说明工业炉的类别，简要介绍常用熔炼炉、加热炉和烘干炉的结构和工作；使同学们了解本课的研究对象，并为系统理论学习提供出研究和探讨的线索。

铸造方法种类很多，铸工生产过程也很复杂。满足不同生产方法中各种工艺过程的炉子是多种多样的。把它们作单一的分类是困难的。铸造用炉可以根据不同特征进行下列分类：

1. 按用途分类：

① 熔炼炉。炉料原料在炉内溶解和精炼工作，如熔铁的冲天炉、反射炉；炼钢的平炉、直接作用的电弧炉等。

② 加热炉。把被处理的材料和工件在熔点以下进行加热，如铸件退火炉、韧化炉；精密铸型加热炉和焊补前及淬火加热炉等。

③ 干燥炉。把材料、工件和设备进行烘干工作，如木材和型芯的烘干炉；造型材料烘干炉及铁水包、钢水包的烘干炉等。

2. 按热源分类：

① 用燃料（固体、液体或气体燃料）为热源的各种火焰炉。

② 利用电能作热源的电炉，如电弧炉、电阻炉和感应电炉等。

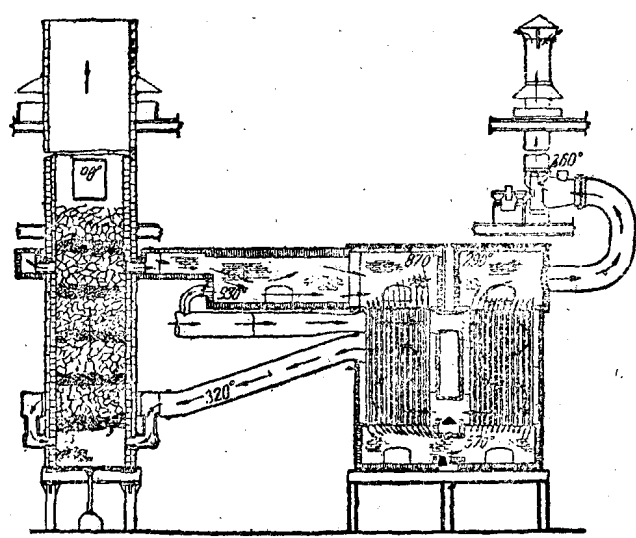
③ 靠炉料本身的反应热作热源的炉子如转炉。

3. 按工作方法分类：

① 间歇式炉。炉子周期地工作。工件定期装满整个炉膛，并定期卸出工件；而且炉

子和工件一齐升温 and 冷却。如每日装卸的铸型烘干炉和退火炉。

② 连续式炉。在工作 的情况下，炉子不断加料和出料；生产过程中的原料或工件经常地加入炉内并经过熔炼、加热或烘干以后接连着从炉中出来。如冲天炉、平炉、铸件和淬火加热炉及某些大量生产条件下的烘干炉等。



总第 1 图 热风冲天炉

下面重点介绍几种铸造用炉的结构和特点。

冲天炉

冲天炉用以熔化各种铸铁。炉料由装料口分批加入，熔化的铁水由下部出铁口不断流出。它连续工作达 10 小时以上，每小时能熔化 1 吨至 20 吨金属；是铸工车间最常用的炉子。

炉料和燃料在炉内直接接触；燃料燃烧生成的热量通过辐射、对流和传导方式，以加热和熔化金属，加热效率很高。高温

气流和炉料相对地运动，使下部熔化带获得最高温度并把炉料逐渐预热到高温。

冲天炉燃料要能承受冲击和压力并应燃烧快、发热多。一般是用结焦煤干馏而成的焦炭；但也有不少工厂用热力无烟煤代焦炭使用。

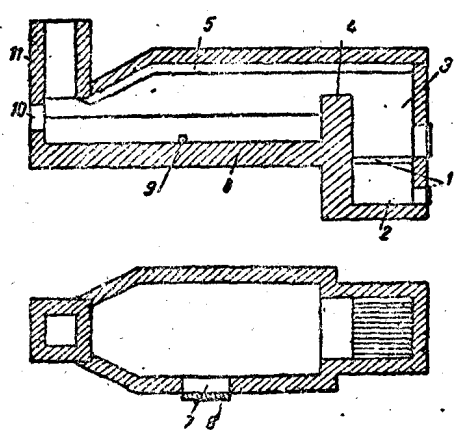
炉壳和金属支架构成坚固的炉体；而内部火砖砌衬，承受着高温、化学作用和机械磨损，并使炉子获得良好的保温条件。

从烟囱排掉的废气，要带走 25~30% 的总热量。有效地利用废气的热能有很大的实际意义。很多工厂利用废气来加热空气而得到很好的效果。图中表示利用预热器以回收热能的方法。把废气中可燃成分再燃烧可以使废气达到 800℃ 以上，从而把冷空气预热到 300~350℃。据说这样可以提高铁水温度 25~30℃ 并节省焦炭 15~20%

反射炉

在火焰反射炉中，燃料和原料并不接触，燃料在独立的火室中燃烧。燃烧的火焰是加热的媒介。热能通过炉膛内反射，更主要的是借火焰和炉顶等辐射作用加热和熔化炉料。从理论上分析，火室中应该使用烟煤进行“半煤气”式的燃烧。

反射炉（见总第 2 图）是由火室、炉膛、烟道和烟囱组成。火室包括炉栅 1、灰坑 2、和燃烧室 3 三部分，空气经灰坑送入。炉膛是材料加热和熔化的地方。炉膛和火室之间有火墙，它能促使炽热气体和空气更好混合。炉膛除炉

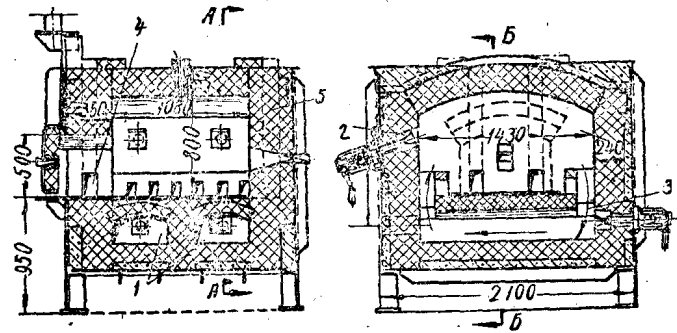


总第 2 图 反射炉

顶5和炉底6之外，还设有装料孔7、炉门8、金属液出口9和排渣孔10，废气经烟道（图中未表示）从烟囱排出。烟囱的设计要保证产生足够的负压，使顺利地排除废气，并吸入空气到火室燃烧。

因燃料和原料不相接触，反射炉的热效率和生产率比冲天炉低很多。同时废气排出温度常在1000℃以上，热能损失很大；有时损失达总热量的60%。利用废气余热是很重要的。

反射炉有特设的炉膛，便于进行熔炼工作。而且可以使用任何形状和任意大小的炉料，来熔炼有色金属和铁铸件材料。



总第3图 煤气加热罐

加热炉
特种铸造和热处理使用的加热炉，温度由200℃到1300℃以上；小的如箱式炉，大的如窑式炉；种类繁多。

总第3图是一种中型加热炉，温度达1000℃，用以加热精密铸型或工件淬火等使用。

炉子上部是加热室；它由炉壁、炉门和拱顶等部分组成。煤气火室在下半部，共两条火道。煤气由喷嘴喷入火道，高温气流在炉膛中加热，并且造成上下气流循环的条件，达到良好的加热效果。炉子火室设计和喷嘴位置布局，应当利用气流和传热的规律；这个加热炉对此点考虑得比较周到。

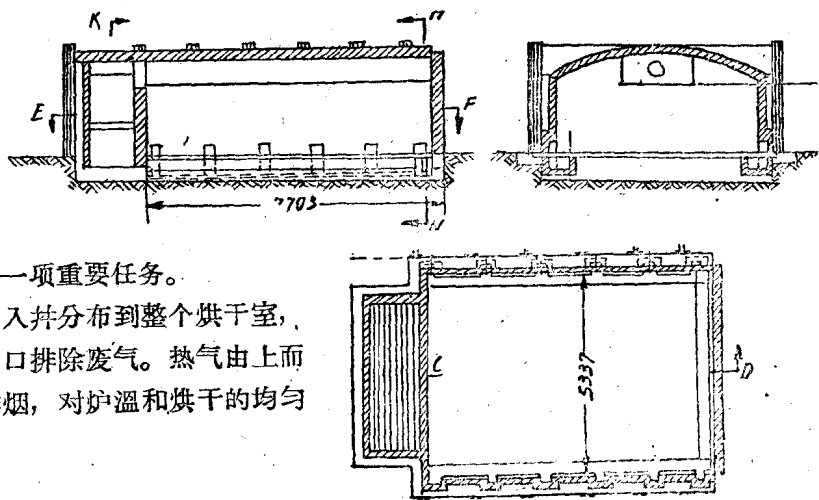
用煤气作热源进行加热，可保证顺利燃烧和容易控制。广泛应用煤气来代替某些固体燃料，给炉子加热技术和自动化创造了有利的条件。

烘干炉

总第4图是烘干炉的简图，炉子由火室、烘干室、烟道和烟囱（图中未表示）等部分组成。工作周期地装入，并在烘干后卸出。一般烘炉每昼夜完成一次循环。

这是个较大型的烘炉，可用以烘烤中大件铸型和型心。为此，炉内安装钢轨并使用料

车是合理的，这样可以便于装、卸工件并大大提高烘炉生产率。尽可能地提高生产率，并改善工作条件，是炉子设计者和工作者的一项重要任务。



总第4图 烘干罐

热气流由上角流入并分布到整个烘干室，然后由下部很多出烟口排除废气。热气由上而下的流动以及多孔排烟，对炉温和烘干的均匀性是有好处的。

第 I 編 火焰爐的理論基礎

第一章 燃料的基本性質

一、燃料的概念

燃料是一种可燃物质；它是被用来取得热能的。燃料燃燒是可燃物质与氧化合；这个化合过程是放热反应。有很多物质慢慢氧化也产生热量，但不一定能用作燃料。工业上或生活上应用的燃料应满足以下几点要求：

1. 儲藏量大，而且容易获得；
2. 便于运输；
3. 久存而不变质；
4. 具有较高的燃燒速度，产生集中的热量，能达到高温；
5. 燃燒产物对人和设备无害而且易于清除；
6. 燃燒过程便于管理和控制。

只有满足上述几个条件，才能算作一种合用的燃料。例如烟煤，它既儲藏多、易开采，而又可由矿区远运；可存放一年或更长的时间；燃燒起来产生熊熊火焰而可达到 1000°C 以上的高温。所以烟煤是一种常用的燃料。例如金属铁，它与氧化合成氧化铁，在化合过程中也产生热量，但这种热量就不能供一般工业上使用。同时，铁也还有其更重要的用途，不能用作燃料。又如金属镁，它在常温下和氧激烈化合，生成集中的热量，但镁获得不易，而且不便于存放和管理，也不能作为燃料使用。

二、燃料的組成及其分析

1. 燃料的組成：各組成与燃料燃燒的关系

仅有机成份的物质，才能满足作为燃料的条件。常用的各种燃料，主要是有机成份的物质。这种物质由碳、氢、氧、氮各元素所组成。除去上述各有机成分外，燃料中尚含有水份及 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 Na_2O 、 Fe_2O_3 和硫化物等等，这些矿物杂质结合成所谓灰份。

现把各组成成份在燃料燃燒上的作用分述如下：

① 碳(C) 碳是燃料中最重要的组成成份。(有很多种气体燃料含有碳的化合物—— CO) 它常是燃料热能的主要来源。在燃料中碳成游离状态单独存在或与其他元素成化合状态存在。

② 氢(H) 氢也是燃料的重要组成成份。氢燃燒时所生的热量约等于同重量碳素燃燒放热量的三倍半。然而在大部分燃料中，氢的含量远比碳量少，故它对一些燃料（特别是固体燃料）的品质影响不如碳素大。氢在燃料中成游离状态或化合在碳氢化合物中存在着。这些是可以燃燒生热的。也有一部分氢与氧结合，在燃燒时不能生热。前者的这一部

分，我们统称为游离氢，而后者叫它化合氢。二者之和是燃料中的总含氢量。

③ 氧 (O) 氧助燃而不能自燃。燃料中含氧多，对燃料燃烧生热没有一点好处。氧的存在，不仅使其他可燃烧的物质含量相应地减少，而且它还与氢等元素化合而降低了可燃物质的发热能力。燃料的含氧量高是局部氧化的标志，也就表示燃料的品质不好。

④ 氮 (N) 氮是燃料中有机部分的惰性物质。它在燃烧过程中并不参与反应，也不生热。游离状态的氮全部进入燃烧产物中，并带走一些热量。在一些气体燃料中，有的含氮很多因而影响燃料的品质。但在固体燃料和液体燃料中，氮含量甚少 ($0.05\% \sim 2\%$)，可以说对燃料品质没有影响。

⑤ 硫 (S) 硫成以下三种化合形式存在于燃料中：

- A. 金属硫化物，主要是和铁的化合物。 (S_K)
 - B. 有机硫，即各种有机化合物中的硫。 (S_O)
 - C. 硫的氧化物，各种硫酸盐中的硫。 (S_C)
- 挥发性硫 (S_{π})

前两种形式的硫 (S_K 和 S_O)，能燃烧生热，产生 SO_2 气体，而被统称为挥发性硫 (S_{π})。后一种形式的硫 (S_C) 则不能再燃烧生热。

挥发性硫虽能燃烧生热，但其燃烧产物 SO_2 会与水份化合生成亚硫酸而对人身或很多装备有损害作用，故硫的含量愈低愈好。

⑥ 水份 (W) 水份是燃料中的惰性物质。它不仅不参予燃烧，而且还要化汽吸热。燃料中含水份太多，会使燃料品质大为降低。

在固体燃料中，水份可能有四种存在。外部水份是机械地存在燃料中的一种水份，可以在自然条件下干燥去除。湿存水份是燃料从外界吸入而不能在自然条件下去除的那一部分水份。湿存水份的多少和自然条件（大气的湿度）有关；它可用人工干燥的办法去除。结晶水是燃料的矿物分子中所固有的水份，在高温下可以烧掉。化合水则是化合氢与氧结合而成的那一部分水份。

在这四种水份中，外部水份含量最大，也最容易去除。有些材料（如木材）在使用前须在露天中晒干使用，以去除外部水份，提高燃料的发热量。

燃料中水份过多会影响燃料品质，已如上述。但燃料中有少量的湿存水存在却是有益的，因为这些水份能起催化作用，加速燃烧过程。

⑦ 灰份 (A) 大多数固体燃料和一些液体燃料都含有许多矿物杂质；燃料完全燃烧后这些杂质变成固态残渣遗留下来，称为灰份。燃料中矿物杂质来源有两方面。一种是生成燃料的植物或低级动物机体中的矿物质；另一种是燃料形成时或采掘时从外部混入的杂质。

灰份也是燃料中的惰性物质。它的存在相对地减少了可燃物质的含量而使燃料的燃烧价值降低。同时，不能燃烧的灰份随燃料的燃烧而集聚在炉栅上，会阻碍通风和影响燃烧过程的正常进行。在燃烧过程中灰份有的要分解吸热；低熔点的灰份会粘在燃烧设备上而很难清除，甚至会因此而损坏设备。所有这些，对炉子工作都是不利的。但也应知道，固体燃料燃烧层下保持一定厚度的灰层，对稳定燃烧过程却是有好处的。

2. 燃料的分析

为了掌握燃料的性能，鉴别燃料的好坏，须对燃料进行分析实验。燃料的分析有两

种：元素分析（完全分析）和工业分析。

元素分析是把燃料不同的组成，按元素一个个分析出来，确定 C、H、O、N、S 等元素的百分含量。元素分析也包括水份和灰份的分析。这种分析法常使用在固体和液体燃料分析上。

因为鉴别燃料的要求不同，固体和液体燃料的元素分析还有几种不同的表示方法。計

① 实用燃料組成表示法：实用燃料是一般使用的而不事先加工处理的燃料。把这种燃料进行元素分析，并分別以含量百分率 $C^{\text{用}}\%$ ， $H^{\text{用}}\%$ …… $A^{\text{用}}\%$ （或 $C^{\text{P}}\%$ ， $H^{\text{P}}\%$ …… $A^{\text{P}}\%$ ）表示出来。而且，

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

② 絕对干燥燃料組成表示法：实用燃料的水份受自然条件的影响，含量变动很大，不便分析比較。把用人工方法去掉水份的燃料进行元素分析，得出 C、H、O、N、S 及 A 的含量。这种分析用在样品分析方面。这种分析的结果用 $C^{\text{干}}\%$ ……或 $C^{\text{O}}\%$ 等符号表示，而且

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

③ 可燃質組成表示法：燃料的灰份也会受外界条件（如运送、儲存等）影响而变化。为了确定燃料性質，常在去除水份和灰份以后，分析燃料的可燃質，并以 $C^{\text{燃}}\%$ ……或 $C^{\text{r}}\%$ 等表示。

$$C^{\text{r}}\% + H^{\text{r}}\% + O^{\text{r}}\% + N^{\text{r}}\% + S^{\text{r}}\% = 100\%。$$

④ 有机質組成表示法：可燃質去掉硫份是为有机質。分析有机質組成能更好地說明燃料的化学性質。分析結果以 $C^{\text{机}}\%$ ……或 $C^{\text{O}}\%$ ……表示。

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

固体燃料所有这几种不同的表示法，主要是为了分析和鉴别方便。很明显，就同一种燃料的同一种元素分析來說，其所得到的含量数值是不相同的；而且： $C^{\text{O}}\% > C^{\text{r}}\% > C^{\text{燃}}\% > C^{\text{P}}\%$ ；依此类推。同时它們中間都存在着一定的数学关系，用相互的关系式，我們可以进行各种組成表示法之間的換算。下面介紹一个換算关系式：

在 100 克重的实用燃料中含可燃質的重量为

$$100 - (W^{\text{P}} + A^{\text{P}}) \text{ 克}$$

在这些可燃質中含碳量是： $C^{\text{r}}\% \cdot [100 - (W^{\text{P}} + A^{\text{P}})]$ 克

而实用燃料中的含碳量为： $C^{\text{P}}\% \cdot 100$ 克

因为是同一种燃料，則 100 克的燃料总量中含碳量也是固定不变的；所以：

$$C^{\text{r}}\% \cdot [100 - (W^{\text{P}} + A^{\text{P}})] = C^{\text{P}}\% \cdot 100$$

即

$$C^{\text{r}}(\%) = \frac{100 \times C^{\text{P}}}{100 - (W^{\text{P}} + A^{\text{P}})} (\%)$$

用同样方法，我們可以求出其他各关系式。茲綜合列于表 I—1—1：

表 I—1—1 燃料的換算系数

已知組成、	換 算 中 所 欲 求 的 組 成			
	有 机 的	可 燃 的	干 燥 的	实 用 的
有机的，O………	1	$\frac{100 - S^{\text{r}}_{\text{总}}}{100}$	$\frac{100 - (S^{\text{O}}_{\text{总}} + A^{\text{O}})}{100}$	$\frac{100 - (S^{\text{P}}_{\text{总}} + A^{\text{P}} + W^{\text{P}})}{100}$
可燃的，r………	$\frac{100}{100 - S^{\text{r}}_{\text{总}}}$	1	$\frac{100 - A^{\text{O}}}{100}$	$\frac{100 - (A^{\text{P}} + W^{\text{P}})}{100}$
干燥的，C………	$\frac{100}{100 - (S^{\text{O}}_{\text{总}} + A^{\text{O}})}$	$\frac{100}{100 - A^{\text{O}}}$	1	$\frac{100 - W^{\text{P}}}{100}$
实际的，P………	$\frac{100}{100 - (S^{\text{P}}_{\text{总}} + A^{\text{P}} + W^{\text{P}})}$	$\frac{100}{100 - (A^{\text{P}} + W^{\text{P}})}$	$\frac{100}{100 - W^{\text{P}}}$	1

元素分析是比较费时费事的。燃料在工业上使用,有时不需要或来不及进行这种分析。为了使分析简便易行和更切实用,可以使用所谓工业分析。

固体燃料作工业分析是确定燃料中水份、挥发份^①、固定碳份^②、和灰份的含量。有时也包括发热量的测定在内。液体燃料的工业分析测定;水份、粘度及发热量等。对气体燃料,要分析它所含 CO 、 H_2 、 N_2 、 O_2 、 CH_4 (甲烷) 及其他气体的体积百分数。对气体燃料没有什么元素分析和工业分析的区别。

习题(1): 一种煤的分析结果是: $\text{C}^r 88\%$, $\text{H}^r 4.5\%$, $\text{O}^r 2.9\%$, $\text{N}^r 15\%$, $\text{S}^r 3.1\%$, $\text{A}^r 16.5\%$, $\text{W}^r 3\%$ 。試把它换算成实用燃料组成。

三、燃料的发热量

1. 发热量的定义、种类和热当量

固体、液体燃料 1 公斤或气体燃料 1 标米³完全燃烧后所发生的热量叫作该燃料的发热量。发热量以符号 Q 表示, 它的单位是: 大卡/公斤或大卡/标米³。

因固体燃料有实用、干燥、可燃质和有机质之分。则它们的发热量也各不相同, 而分为 Q^p 、 Q^c 、 Q^r 和 Q^q 。

燃料中如果有氢、氢的化合物或水份存在时, 则它燃烧以后, 要有水份产生。燃烧生成物中的水份可能成气体状态排除, 也可能成液体的水珠存在。我们知道, 同样数量的水汽和水珠, 其含热量是各不相同的。水汽含热比水珠多, 因它含蓄着一部分汽化潜热。同样一种燃料, 如果它燃烧后生成物中的水份在汽态下排除, 无疑就带走了一部分潜热, 而使燃料燃烧发生的有效热能减少了。基于这一点, 燃料的发热量又有高发热量和低发热量之分。所谓高发热量是包括了水的潜热在内的一种发热值, 通常以 Q_H 表示。而低发热量则不包括水汽带走的那些潜热; 因此这一种发热量的数值比前一种发热量的数值小。低发热量通常以 Q_H 表示。燃烧计算多用低发热量。

鉴别燃料的好坏, 常常拿发热量的高低作一个重要的标志。为了便于比较固体燃料的品质, 就采用了一种理想燃料, 并以它的发热量 7000 大卡/公斤作为标准。所谓热当量, 是指某一燃料的发热量和理想燃料发热量的比值。例如某一燃料发热量为 6555 大卡/公斤,

- ① 固体燃料的挥发份: 是燃料中的碳氢及碳氢氧等有机化合物的总称。因为这一部分可燃物质在燃料受热时逐步化汽, 从燃料中分离出来, 故有挥发份之称。燃料中的碳份包括化合和游离状态的两种, 前一种包含在挥发份中, 后一种不能挥发而留下来故名固定碳份。固体燃料各种组成的关系可参阅 I-1-1 图。

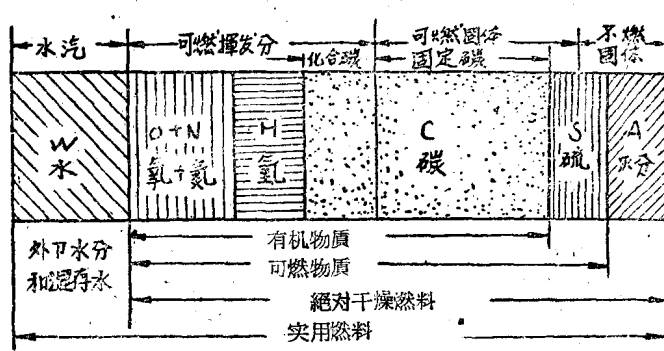


图 I-1-1 固体燃料的组成。

则它的热当量为 $=\frac{6555}{7000}=0.94$ 。也许另外有一种燃料，它的热当量是1.05；那么我们很容易看出，后一种燃料比前一种要好。

2. 发热量的求得

某种燃料发热量的高低，和它所含可燃物质的种类和数量有直接关系。当我们知道它的各组成的含量以后；就可根据组成成份，含量及各组成本身的发热能力进行计算，求得燃料的发热量。

我们已知1公斤碳燃烧要发生8137大卡的热量，而1公斤氢燃烧（生成水汽）要生成28905大卡的热量。假如有一种燃料含碳90%，含氢10%，那么它的发热量就可用下式求得：

$$8137 \times 90\% + 28905 \times 10\% = 10214 \text{ 大卡/公斤}$$

然而，在实际计算时，问题往往没有这么简单。组成燃料的各元素间的复杂化合关系，使我们不好进行精确的计算。因此，在发热量计算方面经常使用经验公式。这些经验公式都是把类似上述的那种计算式，加以实际系数的修正而得出的。用它来计算既简便而且还足够准确。

固体、液体燃料发热量计算公式——门得列耶夫公式。

$$Q_H^P = 81C^P + 246H^P - 26(O^P - S^P) - 6W^P \text{ 大卡/公斤}$$

式中 Q_H^P ——实用燃料的低发热量；

C^P 、 H^P ……——表示燃料中碳氢等的实用组成含量。

气体燃料是各种元素化合物的机械混合体，而这些组成的热效应又是已知的。故气体燃料发热量计算公式是：

$$Q_H = 30.5CO + 257H_2 + 84.65CH_4 + 145.6C_2H_4 + 61H_2S \text{ 大卡/标米}^3$$

式中 CO 、 H_2 ……——各该组成的体积百分数。

除用公式法计算之外，燃料发热量常用发热量测定器测定出来。因燃料种类的不同，以及由于仪器构造的不同，发热量测定方法也有多种；详见试验说明书。

四、燃料的种类与性质

现在工业燃料，按其物态，来源和获得方法，可以分类列于表 I—1—2。

表 I—1—2 燃料按物态和来源分类

物 态 \ 来 源	天 然 的	加 工 的
固 体	木材、褐煤、烟煤、无烟煤、可燃页岩	木炭、焦炭、热力无烟煤、煤球、及粉末燃料
液 体	石 油	汽油、轻油、煤油、柴油、裂化汽油、裂化重油、重油、合成及胶体燃料
气 体	天 然 煤 气	焦炉煤气、高炉煤气、发生炉煤气、混合煤气、裂化及氯化煤气等

为了能够完全并合理的利用燃料，更好地满足工业用炉的需要，很多燃料要加工处理。

经过加工的人造燃料，或者改变了成份，或者改变了形状和物理性质，从而改变了其使用性质。每种燃料的技术特征都与其化学成份和物理性质有密切的联系；同时也和它的来源及制造方法有关。下面讲解常用燃料和它们的性质。

1. 固 体 燃 料

① 天然固体燃料:

所有天然的固体燃料都是植物在地下分解而生成的。植物纤维的分解过程，被称为矿物化过程。在矿物化过程中，植物有机体中的含碳量增高，而惰性物质（水、氧、氮）及氢的含量降低。因此固体燃料矿物化的程度，要影响燃料的燃烧价值。从表 I—1—3 可以看出：固体燃料矿物化程度和成份（平均含量）的关系；表中褐煤矿化程度最低，而无烟煤最高。

表 I—1—3. 不同矿物化的煤的平均成份

燃料种类 元 素	木 材	褐 煤	烟 煤	无 烟 煤
C ^r	50	70	85	92
H ^r	6	4.5~5	4.5	2.5
O ^r	40	25	6	2.5

我国煤矿储量非常大。随着探矿事业的飞速发展，新的矿区续有发现。同时我国煤产分布也广，遍及华北、东北、华东、中南和西南各矿区。我国不仅煤多而分布广，而且大多质量优良。结焦煤所占比重很大。这是我国工业发展和国民经济建设中的一个良好条件。

现在就各天然固体燃料的性质分述如下：

A. 木材：作为燃料用的木材——木柴，其燃烧性能的主要优点为：易燃烧，着火点约 300℃；灰分很少且不含硫分，而且绝不融结；木材的发热量主要决定于水分含量，经风干以后，它的发热量可达 4500 大卡/公斤。因木材一般比重都较小，故其单位体积的发热能力（即所谓热密度）较小。而且木材容易腐烂，所以不宜于多量储存和长途运输。在工业上木材只作辅助燃料（如作引火物）使用。

B. 褐煤：古代植物埋在地下，经长期高温高压的作用，其纤维质逐步分解而成煤。褐煤是植物矿物化程度较低的一种燃料，褐煤成分中，有机物质的挥发分含量已经减少很多；这种煤露暴露在空气中，常因“风化”（即在自然条件下缓慢氧化）引起自燃；而且煤块碎裂。所以储存时要尽量减少它和空气的接触表面，防止风化和自然现象的发生，褐煤发热量不高，约 3000~4500 大卡/公斤。且因强度低，故褐煤不易远运，而是一种地方性燃料。苏联、德国等都大量出产褐煤。

C. 烟煤：烟煤的矿物化程度比褐煤高，它具有很多优点，是主要工业燃料之一。烟煤含挥发分 20~30%，碳分 (C^p) 50~60%，发热量 5000~7000 大卡/公斤。这种煤质地緻密；表面有乌光，不易风化而便于运输和储存。它可以直接用来燃烧，也可以加工处理后使用。烟煤因成分和性质的不同，又有长焰煤、瓦斯煤、肥煤、结焦煤和瘦煤之分。其