

0223863

中等专业学校教学参考书

ZHONGDENG ZHUANYE XUEXIAO JIAOXUE CANKAOSHU

狄玉书 编著

加热炉、干燥炉的 原理与构造



机械工业出版社

江南大学图书馆



91107918

0223863

77-109-1

中等专业学校教学参考书



加热炉、干燥炉的原理与构造

狄玉书 编著

机械工业出版社

（北京）

（中国工业出版社）

（机械工业出版社）

（机械工业出版社）

（机械工业出版社）

（机械工业出版社）

（机械工业出版社）



机械工业出版社

本书内容包括三部分。第一部分阐述火焰炉的理论基础，分别介绍燃料的基本性质，燃料的燃烧计算，燃烧设备，炉内气体运动原理，传热原理，热平衡与热回收等问题。第二部分介绍加热炉与干燥炉的结构，第三部分介绍热工测量和热工过程的自动调节。

本书可作为中等专业学校的教学参考书，也可供有关技术人员参考。

加热炉、干燥炉的原理与构造

狄玉书 编著

(根据中国工业出版社纸型重印)

*

第一机械工业部教材编审委员会编辑 (北京复兴门外三里河第一机械工业部)

机械工业出版社出版 (北京阜成门外南礼士路北口)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $9\frac{5}{8}$ · 字数 215 千字

1966 年 6 月北京新一版 · 1966 年 6 月北京第一次印刷

印数 001—800 · 定价 (科四) 0.93 元

(1961 年 9 月北京第一版)

*

统一书号: K15033 · 3856

前 言

1. 本教材早在 1958 年即曾編写过一次，在各兄弟学校以交流講义形式采用过，后在 1959 年教育計劃及大綱修訂以后，把原大綱中的熔炼炉部分并入鑄造合金及熔炼課程中講授，取消了炉子的課程設計，加强了习题运算部分，同时把課程名称也由原来的鑄造車間用炉改为加热炉、干燥炉原理与构造。在 1961 年的教材編选會議上，对本教材又作了进一步的研究修改，考虑到四年制教学計劃中因开设鑄造材料分析一課，故决定把有关燃料的分析試驗及气体分析一章的講授及試驗并入鑄造材料分析課程中，本教材不再講授。

2. 由于編写時間短促和个人水平的限制，本教材中尚存在一些缺点。如一些設備和仪器的国产規格介紹不全，又如大跃进后广泛使用的沼气燃料也介紹的不够全面。典型炉的設計举例因选材尚不够成熟故也未編写在教材中去。另外在教材中如尚有未发现的缺点及錯誤，請讀者指示。

3. 本教材在編写过程中，承蒙汉口机械学院张景輝同志和陝西机器制造学校易升岁同志提供不少修改意見，而陝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編写工作。对这些同志的宝贵意見和有益的帮助，謹表示衷心謝意。

編 者

1961 年 4 月

目 录

緒 論	1	第二章 加热炉的构件和炉膛尺寸的 确定	87
第 I 編 火焰炉的理論基础		一、炉壁	87
第一章 燃料的基本性质	6	二、炉頂	89
一、燃料的概念	6	三、炉門	90
二、燃料的組成及其分析	6	四、炉底和台車	91
三、燃料的发热量	9	五、烟道	92
四、燃料的种类与性质	10	六、金属构架	92
第二章 燃料燃烧計算	16	七、炉膛尺寸的确定	93
一、概論；燃烧的組成分析計算法	16	第三章 火焰式加热炉和烘干炉	94
二、燃烧时所需空气量和生成烟气量的 計算	17	一、火焰式加热炉	94
三、燃烧溫度的計算	20	二、火焰式烘干炉	101
第三章 燃烧設備	23	第四章 电阻式加热炉和干燥炉	107
一、固体燃料的燃烧及所用設備	23	一、概論	107
二、气体燃料的燃烧及所用設備	28	二、电热体	107
三、液体和粉状燃料的燃烧及其燃烧装置	31	三、电阻炉的种类与构造	111
第四章 炉內气体运动原理	33	四、电阻炉的設計	113
一、气体的性质和气体定律	33	第 II 編 热工測量和热工过程的自 动調节	
二、炉內气体的自然流动；格罗姆炉子 水力学原理	34	概 論	116
三、气体靜力学；靜压头和几何压头	35	一、热工測量和調节的意义和发展	116
四、气体动力学和流动方程式	37	二、仪表的技术性质和分类	116
五、流动損失計算	39	第一章 压力測量和測压仪表	117
六、使炉內气体流动的方法；通风机和 烟筒的选择計算	41	一、液体压力計	117
第五章 传热原理	46	二、彈簧式压力計	119
一、概論	46	三、电气式压力表	120
二、传导传热	46	第二章 流量測量和流量計	121
三、对流传热	49	一、速度式流量計	122
四、輻射传热	51	二、容积式流量計	122
五、炉內的热交換和經過炉端的热損失 計算	56	三、动压式流量計	123
六、不稳定态传热	60	四、节流式流量計	124
第六章 热平衡与热回收	61	五、浮子流量計	129
一、热平衡	61	第三章 溫度測量和測溫仪表	130
二、热回收和預热器	65	一、膨胀溫度計	130
第 II 編 加热炉与干燥炉		二、压力溫度計	130
第一章 筑炉材料	73	三、热电偶溫度計	132
一、金属材料	73	四、电阻溫度計	137
二、耐火材料	74	五、輻射高溫計	139
三、輕质耐火材料和絕热材料	86	第四章 热工过程的自动調节	143
		一、概述	143
		二、調节器的类别与性质	144
		三、調节器和执行机构的构造与应用	146

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，在鑄造工业生产中是不可缺少的。鑄造工作本身，基本上是一个热加工部門。它的很多生产过程是在高温下进行的。显然，沒有熔炼和加热，鑄造工作就根本无法进行。合理地选择和使用各种工业用炉，是这一工业部門进行生产和提高产品质量必不可少的重要条件，由炉子的設計、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縛下，生产力发展得很慢，冶金、鑄造等工业技术和工业炉的发展都很迟緩；甚至有很多古老的技术埋沒而不能留传后世！公元 15~16 世紀以后，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、貿易和掠夺战争的需要，对金属的需要量大大增加了。发明和使用轉炉炼钢法，大大促进了钢铁的生产。又由于馬丁炉法炼钢的出现，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増加，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。

我国的第二个五年計劃工业生产的主要指标提前完成，这为加速社会主义建設創造了良好的条件。在工业炉方面，我們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1958年以来的几年中，热工技术的进步更快。鑄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；鑄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。我們不仅要求它能滿足工艺过程的技术条件，而且还要經濟上合理；此外也須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。

鑄造方法种类很多,鑄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。鑄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。炉料原料在炉内熔解和精炼工作,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,如鑄件退火炉、氧化炉;精密鑄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。

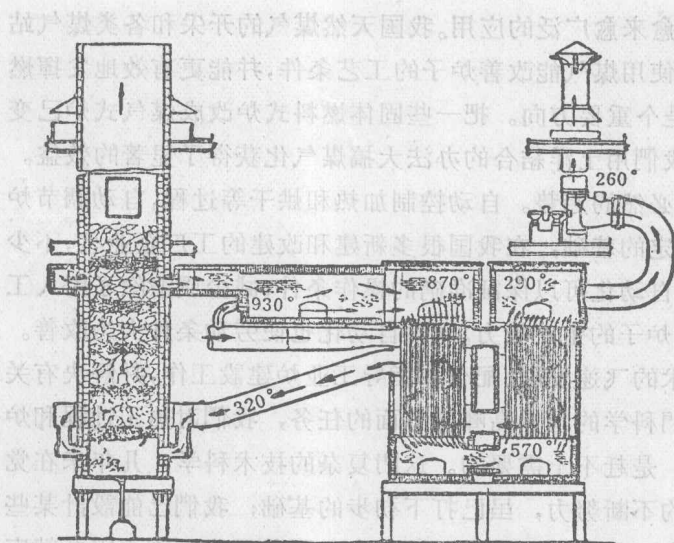
(3) 靠炉料本身的反应热作热源的炉子如轉炉。

3. 按工作方法分类:

(1) 間歇式炉。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和冷却。如每日装卸的鑄型烘干炉和退火炉。

(2) 連續式炉。在工作的工作下,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經熔炼、加热或烘干以后接連着从炉中出来。如冲天炉、高炉、連續淬火加热炉及某些大量生产条件下的烘干炉等。

下面重点介绍几种鑄造用炉的结构和特点。



总第1图 热风冲天炉

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°C以上，从而把冷空气预热到300~350°C。据说这样可以提高铁水温度25~30°C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。炉膛除炉顶5和炉底6之外，还设有装料口7、炉门8、金属液出口9和排渣口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。

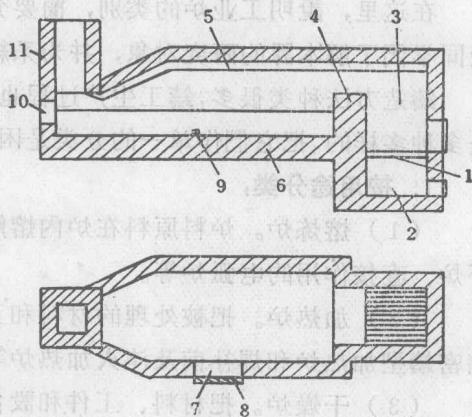
因燃料和原料不相接触，反射炉的热效率和生产率比冲天炉低很多。同时废气排出温

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吨金属料；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。



总第2图 反射炉

1—炉栅；2—灰坑；3—火室；4—火墙；5—炉顶；6—炉底；7—装料口；8—炉门；9—液体金属出口；10—排渣口；11—烟囱

度常在 1000°C 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。

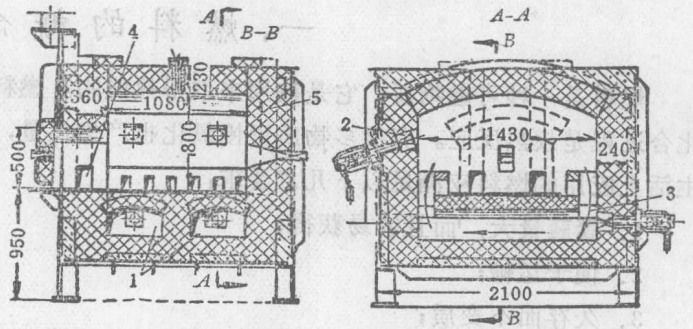
反射炉有特設的炉膛,便于进行熔炼工作。而且可以使用任何形状和任意大小的炉料,来熔炼有色金属和鉄鑄件材料。

加热炉

特种鑄造和热处理使用的加热炉,温度由 200°C 到 1300°C 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°C ,用以加热精密鑄型或工件淬火等使用。

炉子上部是加热室;它由炉壁、炉門和拱頂等部分组成。煤气火室在下半部,共两条火道。煤气由喷嘴噴入火室,进行燃烧,并造成上下气流循环的条件,达到良好的加热效果。炉子火室設計和喷嘴位置布局,应当利用气流传热的規律;这个加热炉对此点考虑得比較周到。加热室上部还設有附加喷嘴使利于温度均匀和气流循环。



总第3图 煤气加热炉

1—火室; 2—喷嘴; 3—气流; 4—排烟口; 5—炉墙

用煤气作热源进行加热,可保証順利燃烧和容易控制。广泛应用煤气来代替某些固体燃料,給炉子加热技术和自动化創造了有利的条件。

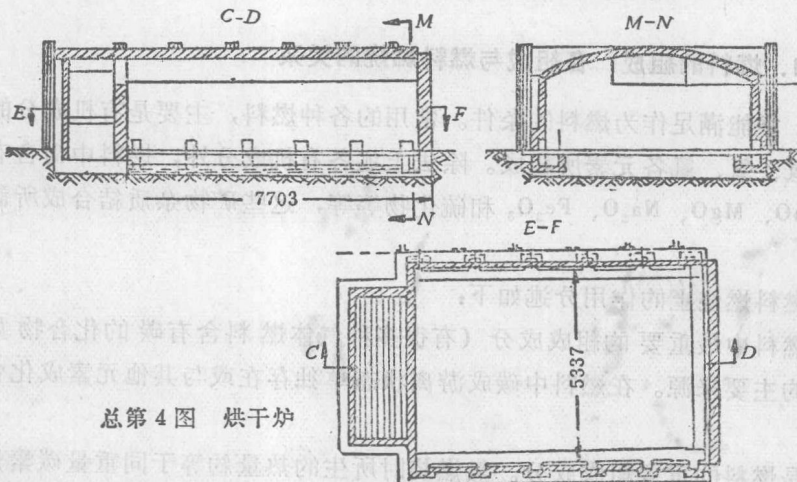
烘干炉

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

这是个較大型的烘炉,可用以烘烤中大件鑄型和型芯。为此,炉內安装鋼軌并使用料車是合理的,这样可以便于装、卸工作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,是炉子設計者和工作者的一项重要任务。

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。



总第4图 烘干炉

第 I 編 火焰炉的理論基础

第一章 燃料的基本性质

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。燃料燃烧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. 具有較高的燃烧速度，产生集中的热量，能达到高温；
5. 燃烧产物对人和设备无害而且易于清除；
6. 燃烧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；燃烧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；各組成与燃料燃烧的关系

仅有机成分的物质，才能满足作为燃料的条件。常用的各种燃料，主要是有机成分的物质。这种物质由碳、氢、氧、氮各元素所組成。除去上述各有机成分外，燃料中尚含有水分及 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 Na_2O 、 Fe_2O_3 和硫化物等等，这些矿物杂质結合成所謂灰分。

现把各組成成分在燃料燃烧上的作用分述如下：

① 碳(C) 碳是燃料中最重要 的組成成分（有很多种气体燃料含有碳的化合物如 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化合状态存在。

② 氢(H) 氢也是燃料的重要組成成分。氢燃烧时所生的热量約等于同重量碳素燃烧放热量的三倍半。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。这些是可以燃烧生热的。也有一部分氢与氧结合,在燃烧时不能生热。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,不仅使其他可燃物质的含量相应地减少,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(0.05~2%),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_M)

前两种形式的硫(S_K和S_O),能燃烧生热,产生SO₂气体,而被统称为挥发性硫(S_M)。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SO₂会与水分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 水分(W) 水分是燃料中的惰性物质。它不仅不参与燃烧,而且还要汽化吸热。燃料中含水分太多,会使燃料品质大为降低。

在固体燃料中,水分可能有四种存在。外部水分是机械地存在燃料中的一种水分,可以在自然条件下干燥去除。湿存水分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分。湿存水分的多少和自然条件(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分,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分。

在这四种水分中,外部水分含量最大,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,以去除外部水分,提高燃料的发热量。

燃料中水分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,因为这些水分能起催化作用,加速燃烧过程。

⑦ 灰分(A) 大多数固体燃料和一些液体燃料都多少含有矿物杂质;燃料完全燃烧后这些杂质变成固态残渣遗留下来,称为灰分。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。

灰分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,不能燃烧的灰分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。在燃烧过程中灰分有的要分解吸热;低熔点的灰分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,鑑別燃料的好坏,須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組成,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。元素分析也包括水分和灰分的分析。这种分析法常使用在固体和液体燃料分析上。

因为鑑別燃料的要求不同,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用%, H用%.....A用% (或 C^P%, H^P%.....A^P%) 表示出来。而且,

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

② 絕對干燥燃料組成表示法:实用燃料的水分受自然条件的影响,含量变动很大,不便分析比較。把用人工方法去掉水分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于%.....或C^C% 等符号表示,而且

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

③ 可燃质組成表示法:燃料的灰分也会受外界条件(如运送、儲存等)影响而变化。为了确定燃料性质,常在去除水分和灰分以后,分析燃料的可燃质,并以 C燃%.....或C^r%等表示。

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

④ 有机质組成表示法:可燃质去掉硫分是为有机质。分析有机质組成能更好地說明燃料的化学性质。分析结果以 C机%.....或C^O%.....表示。

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

固体燃料所有这几种不同的表示法,主要是为了分析和鑑別方便。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^O% > C^r% > C^C% > C^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质的重量为

$$100 - (W^P + A^P) \text{ 克}$$

在这些可燃质中含碳量是: C^r% · [100 - (W^P + A^P)] 克

而实用燃料中的含碳量为: C^P% · 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,

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	$\frac{100 - S_{总}^r}{100}$	$\frac{100 - (S_{总}^C + A^C)}{100}$	$\frac{100 - (S_{总}^P + A^P + W^P)}{100}$
可燃的, r	$\frac{100}{100 - S_{总}^r}$	1	$\frac{100 - A^C}{100}$	$\frac{100 - (A^P + W^P)}{100}$
干燥的, C	$\frac{100}{100 - (S_{总}^C + A^C)}$	$\frac{100}{100 - A^C}$	1	$\frac{100 - W^P}{100}$
实际的, P	$\frac{100}{100 - (S_{总}^P + A^P + W^P)}$	$\frac{100}{100 - (A^P + W^P)}$	$\frac{100}{100 - W^P}$	1

$$C^F \% \cdot [100 - (W^P + A^P)] = C^F \% \cdot 100$$

即

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

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。

元素分析是比較費時費事的。燃料在工业上使用，有时不需要或来不及进行这种分析。为了使分析簡便易行和更切实用，可以使用所謂工业分析。

固体燃料作工业分析是确定燃料中水分、揮发分^①和灰分的含量。有时也包括发热量的測定在內。液体燃料的工业分析測定，水分、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）：一种煤的分析結果是： $C^F 88\%$ ， $H^F 4.5\%$ ， $O^F 2.9\%$ ， $N^F 15\%$ ， $S^F 3.1\%$ ， $A^C 16.5\%$ ， $W^P 3\%$ 。試把它換算成实用燃料組成。

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該燃料的发热量。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。則它們的发热量也各不相同，而分为 Q^P 、 Q^C 、 Q^R 和 Q^O 。

燃料中如果有氢、氢的化合物或水分存在时，則它燃烧以后，要有水分产生。燃烧生成物中的水分可能成气体状态排除，也可能成液体的水珠存在。我們知道，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。同一种燃料，如果它燃烧后生成物中的水分在汽态下排除，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

- ① 固体燃料的揮发分：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，故有揮发分之称。燃料中的碳分包括化合和游离状态的两种，前一种包含在揮发分中，后一种不能挥发而留存下来故名爲固定碳分。固体燃料各种组成的关系可參閱 I—1—1 图。

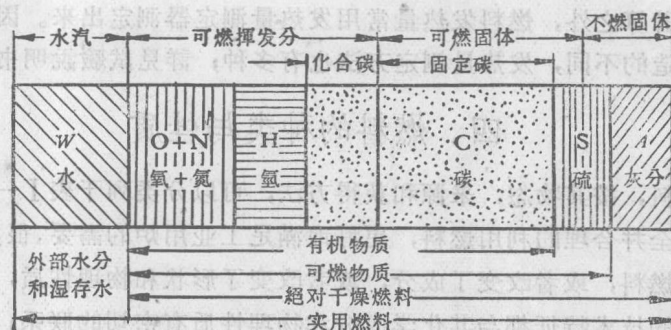


图 I—1—1 固体燃料的組成

之分。所謂高发热量是包括了水的潜热在內的一种发热值，通常以 Q_B 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。燃烧計算多用低发热量。

鑑別燃料的好坏，常常拿发热量的高低作一个重要的标志。为了便于比較固体燃料的品质，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。所謂热当量，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，則它的热当量为 $= \frac{6555}{7000} = 0.94$ 。也許另外有一种燃料，它的热当量是 1.05；那么我們很容易看出，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。当我们知道它的各組成的含量以后，就可根据組成成分，含量及各組成本身的发热能力进行計算，求得燃料的发热量。

我們已知 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，在实际計算时，問題往往沒有这么簡單。組成燃料的各元素間的复杂化合关系，使我們不好进行精确的計算。因此，在发热量計算方面經常使用經驗公式。这些經驗公式都是把类似上述的那种計算式，加以实际系数的修正而得出的。用它来計算既簡便而且还足够准确。

固体、液体燃料发热量計算公式——門得列耶夫公式。

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

式中 Q_H^P ——实用燃料的低发热量；

$C^P, H^P, \dots$ ——表示燃料中碳氢等的实用組成含量。

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

$$Q_H = 30.5 CO + 257 H_2 + 84.65 CH_4 + 145.6 C_2H_2 + 61 H_2S \text{ 大卡/标米}^3$$

式中 $CO, H_2, \dots$ ——各該組成的体积百分数。

除用公式法計算之外，燃料发热量常用发热量測定器測定出来。因燃料种类的不同，以及由于仪器构造的不同，发热量測定方法也有多种；詳見試驗說明书。

四、燃料的种类与性质

現在工业燃料，按其物态，来源和获得方法，可以分类列于表 I—1—2。

为了能够完全并合理的利用燃料，更好地滿足工业用炉的需要，很多燃料要加工处理。經過加工的人造燃料，或者改变了成分，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分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。下面講解常用燃料和它們的性质。

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、可燃頁岩	木炭、焦炭、热力无烟煤、煤球及粉末燃料
液 体	石 油	汽油、輕油、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、裂化及氧化煤气等

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。植物纖維的分解过程，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分（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分

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

我国煤矿儲量非常大。随着探矿事业的飞速发展，新的矿区續有发现。同时我国煤产分布也广，遍及华北、东北、华东、中南和西南各省区。我国不仅煤多而分布广，而且大多质量优良。結焦煤所占比重很大。这是我国工业发展和国民經济建設中的一个良好条件。

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，着火点約 300°C；灰分很少且不含硫分，而且絕不熔結；木材的发热量主要决定于水分含量，經风干以后，它的发热量可达 4500 大卡/公斤。因木材一般比重都較小，故其单位体积的发热能力（即所謂热密度）較小。而且木材容易腐烂，所以不宜于多量儲存和远途运输。在工业上木材只作輔助燃料（如作引火物）使用。

B. 褐煤：古代植物埋在地下，經长期高温高压的作用，其纖維质逐步分解而成煤。褐煤是植物矿物化程度較低的一种燃料，褐煤成分中，有机物质的挥发分含量已經减少很多；这种煤暴露在空气中，常因“风化”（即在自然条件下緩慢氧化）引起自燃；而且煤块碎裂。所以儲存时要尽量减少它和空气的接触表面，防止风化和自燃現象的发生，褐煤发热量不高，約 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、德意志民主共和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。这种煤质地致密；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。其中长焰煤矿化程度较低，瘦煤矿化程度较高；而结焦性的烟煤是炼焦的主要原料。我国东北、华北和西南都产这种煤。

D. 无烟煤：无烟煤的矿物化程度最高，其含氧和挥发分含量也最少。成分接近于纯碳。它的质地坚硬，不会风化，便于储存和运输。因为挥发分含量少，故无烟煤不易点火，其着火点达 700°C；且在燃烧时容易粉碎。一般工业和家庭都可以使用。

E. 可燃页岩：可燃页岩也叫油母页岩。其成分： C^r 65~75%、 H^r 7~10%、 O^r 13~18%、 W^P 10~20%。可燃质发热量 (Q_H) = 6000~8000 大卡/公斤。不过由于它含石渣很多，含油尚不及 10%。这种页岩可以直接作燃料使用。但工业上则多用来作炼油原料，故有油母页岩之称。也有的把它作成气体燃料使用的。我国的页岩储藏量很大。每年有大量油料、燃料和其他贵重化工原料，从页岩中提炼出来。

② 加工固体燃料：

为了满足对燃料的各种不同需要，提高燃料的利用价值，而把燃料进行加工。因加工原理的不同，加工方法又可分为机械加工和化学加工两大类，前者仅改变燃料形态，而不改变其化学成分，后者则包括成分的改变。

机械加工包括煤的洗选、团块的粉碎。化学加工则包括干馏(如炼焦)、分解及合成等。

A. 洗选加工：借煤中无用岩石和可燃物质比重的不同，可用洗选的方法加以分离，从煤中去除岩石杂质，提高燃料的燃烧价值。

B. 团块加工：把不坚固的，易风化而松散以及其他燃料碎屑。用机械压力压成煤块或煤球。在压制的原材料中加入一些焦油或沥青作为粘合剂。

C. 粉碎加工：将块状燃料粉碎成粉末，增加了燃烧时与氧的接触面积，因而可以大大加速燃烧过程。这种加工一般都包括两个步骤：粗碎和磨粉；而在磨粉同时要烘干。

D. 干馏：干馏是固体燃料化学加工最主要的方法之一。木材经过干馏而成木炭；烧结性的煤经过干馏而成焦炭。焦炭是冶金工业上最重要的固体燃料。焦炭的生成及其性质，特别是焦炭的性质，铸造工业者必须要了解。

a. 炼焦原理：把结焦性的煤经粉碎和洗选以后，放入炼焦炉进行干馏。炼焦炉由很多单独的小室组成，每个小室中装入粉煤，并从小室两旁把它加热。煤粉受热以后，首先把水分慢慢排除。当温度升到 320~450°C 时，煤中的挥发分开始排出，而炉内的煤渐成糊状。温度再高，挥发分继续穿过煤层而排出炉外，并把煤糊穿成很多气孔。随着煤中挥发分的减少，煤糊转而开始结块。直到 900~1000°C 挥发分已基本除净，煤的焦结过程也已完成，生成多孔的焦炭。红热的一炉焦炭被推出炉外以后，用水喷洒，在激冷的作用下焦炭碎裂为一般焦块。

b. 焦炭的性质：经干馏后的焦炭，其成分中主要是碳；其余是水分、灰分和残留的挥发分。质量较好的焦炭成分是： C^0 96~98%、 H^0 0.4%、 O^0 ~1.6%。其外表为暗黑而至银灰色，音响略有金属声。

冶金上使用的焦炭，除有合格的成分外，还要具备有以下的技术性质：多孔性、机械强度和适用的块度。

焦炭是多孔的燃料。孔洞多可以增加表面积，促使它更好地燃烧，同时也促进了 CO_2 的还原反应。因此，对不同的工作条件，应对其孔洞的多少作出规定。焦炭孔洞的多少以其“孔隙度”来表示。所谓孔隙度，是指它的孔洞体积与焦炭总体积二者间的比值。

不论用焦炭作高炉炼铁或者冲天炉化铁的燃料，它都要经受炉料的冲击、强烈的摩擦和高的压力，因此它应具有足够的机械强度，而不致在熔炼过程中粉碎。确定焦炭机械强度可利用滚筒试验法。其方法是：用 $\phi 2$ 米 $\times 0.7$ 米的鸟笼形滚筒（其圆周接着 175 根铁棍，棍间距离各为 25 毫米），装入 410 公斤焦炭，然后以 10 转/分的速度转动 15 分钟。在滚筒转动时，其中的焦炭受冲击磨损而有些破碎，凡破碎后块度在 25 毫米以下的都要从筒里落出。焦炭强度愈差的，则落出来的数量会愈多。最后，称量筒内余留焦炭的数量，用以鉴别其强度的好坏。一般指标是 290~320 公斤。

按焦炭用途不同，而分为冶金焦和铸造焦两种。它们的技术条件见表 I—1—4。

木炭也是用干馏方法制成的。不过干馏过程的具体温度有所不同。

无烟煤也可经“干馏”加工来改善技术性质。无烟煤在受热时易破裂成碎块，因而妨害它在工业上的应用。在技术革命运动中，国内很多工厂试用无烟煤化铁，并取得一定成就。为了改善熔化过程，防止因燃料破碎而引起的故障，常把无烟煤事先加工处理。方法是：先慢慢把煤加热到 1000°C 以上，保温 12 小时然后经 6~8 小时慢慢冷却。

这样处理可以除去煤内的结晶水、挥发分和一些硫化物。结果可以得到耐热性能良好的热炼无烟煤，以代替焦炭在熔铁时使用。

表 I—1—4 焦炭的规格

用 途 规 格	冶 金 用	熔 化 用
固定炭分(CP)	80%以上	80%以上
挥发分(HP)	1~1.5%	1~1.5%
硫 分(SC)	1.75%以下	1%以下
灰 分(AC)	12%以下	14%以下
水 分(W)	4~12%	4 %
孔 度	40~50%	25~40%
滚 筒 试 验	290以上	290 以上
块 度	25毫米以上	25 以 上

2. 液 体 燃 料

① 天然液体燃料：

天然液体燃料只有石油(原油)。石油是低级动物埋藏地下分解而成。它是多种碳氢化合物的混合物，并含有少量氮及硫的有机化合物。其平均成分： $\text{C}^\circ 86\%$ 、 $\text{H}^\circ 13\%$ 、 $\text{O}^\circ 1\%$ 、 Q_H 约 10000 大卡/公斤。

从成分和发热量上来看，它无疑是一种好燃料，不过石油中含有的一些组成，在经济上和国防上有更重要的使用价值，假如完全当作燃料一齐烧掉，是不应该的。所以现在已经不把它直接作为燃料使用，而用以作为提炼更为宝贵的液体燃料（如汽油等）和很多重要化学药剂和其他工业用品的原料了。

② 加工的液体燃料：

石油加工，是得到加工液体燃料的主要来源；此外加工焦油或应用裂化和合成等方法也可以得到液体燃料。