

鍛压加热設備



南昌航空工业学院

鍛 石 容 內 熱 設 备

66



期 限 表

下列最后之日期本书必须归还

一九八八年八月一日
一九八八年八月一日

一九八八年八月一日

江苏工业学院图书馆
藏书章

南昌航空工业学院

内 容 提 要

本讲义共分七章。主要叙述锻压加热设备所用燃料的种类、性能及燃烧计算；炉内气体运动原理；炉子热工学基础；筑炉材料与炉子砌筑；炉子（燃料炉、电炉）的结构、设计以及金属加热的温度测量等基本知识。

前

言

金属毛坯的加热，在锻压生产中占有重要地位。因此，我们制定的航空锻压专业的教育计划中，把《锻压加热设备》作为专业课程之一。为了解决教学的急需，编写了《锻压加热设备》这本讲义，作为教学用书，也可供锻压行业的生产工人和技术人员参考。

本讲义吸取了部分高等院校、科研单位及工厂对锻压加热方面的意见，编写中，注重课程内容的系统性和完整性。同时，在阐述加热基本理论的基础上，力求联系我国锻压生产的实际，着重反映锻压加热方面的新技术和新成果，编选了一些比较先进的、典型的炉型结构；也参考和吸收了部分国外资料。在讲授中可根据具体情况，对内容加以取舍和精减。

本讲义经锻压教研室集体讨论，由袁名炎同志执笔，江西工学院锻压教研组杨淳朴、何成宏两同志主审。

在编写过程中，西北工业大学、西安交通大学、哈尔滨工业大学、湘潭大学、农机部天津第二设计院、五机部第六设计院、山东济宁齿轮厂、长沙矿山通用机器厂、国营洪都机械厂和江西省机械科学研究所等单位的有关同志，积极热情地提供了许多技术资料 and 宝贵意见，给予了大力支持，在此一并表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促，水平有限，难免有缺点和错误之处，恳请使用本讲义的同志批评指正。

南昌航空工业学院航空锻压教研室

1980年12月

目 录

概述.....	1
第一章 燃料及其燃烧.....	6
§1 燃料及其特性.....	6
一、燃料的种类和成分.....	6
二、燃料分析及成分换算.....	13
三、燃料的发热值.....	14
四、标准燃料.....	16
§2 燃料的燃烧.....	16
一、煤的燃烧.....	17
二、重油的燃烧.....	17
三、煤气的燃烧.....	20
四、燃料燃烧的空气量.....	23
五、燃料燃烧的产物量.....	27
六、燃烧产物的成分和重度.....	29
七、燃料的燃烧温度.....	30
八、燃烧计算实例.....	33
思考题.....	38
第二章 炉内气体运动原理.....	39
§1 气体力学的基本概念和基本定律.....	39
§2 气体流动时压头损失的计算.....	47
§3 气体力学在炉内的应用.....	52
一、气体通过小孔的流出.....	52
二、炉门溢气.....	56
三、炉内气体的运动.....	56
四、造成炉内气体流动的装置.....	62
五、烟囱、风机计算实例.....	67
思考题.....	74
第三章 炉内传热原理.....	75
§1 传导传热.....	75
一、传导传热的概念.....	75
二、平壁的传导传热.....	76
三、弯曲壁的传导传热.....	78
§2 对流传热.....	80
一、对流传热的概念.....	80
二、对流传热的相似准则.....	83

三、自然对流传热	84
四、强制对流传热	85
§3 辐射传热	86
一、辐射传热的基本概念	86
二、辐射的基本定律	87
三、两固体间的辐射传热	90
四、气体与固体间的辐射传热	92
五、通过孔洞—气体向另一气体的辐射传热	95
六、火焰的辐射与火焰增碳	95
§4 综合传热	97
一、对流和辐射同时存在的综合传热	97
二、通过平壁从一气体到另一气体的综合传热	97
三、通过曲壁从一气体到另一气体的综合传热	98
四、炉膛内的综合传热	101
§5 炉子的热平衡与燃料消耗量	102
思考题	108
第四章 筑炉材料与炉子砌筑	109
§1 耐火材料	109
§2 保温材料	122
§3 炉用金属材料	124
§4 一般建筑材料	125
§5 炉子砌砖和烘炉的基本知识	125
思考题	130
第五章 燃料炉	131
§1 燃煤加热炉	131
I. 明火炉	131
II. 反焰炉	132
一、炉子的基础	133
二、反焰炉的燃烧装置——燃烧室	135
三、反焰炉的炉膛——加热室	142
四、炉门及其启闭装置	147
五、炉前空气管道及送风装置	149
六、废气排出装置	150
七、烟气余热利用装置	160
八、坯料进出炉装置	164
九、炉子砌体固定装置——构架(骨架)	166
十、消烟除尘装置	170
十一、各种典型燃煤反焰炉	171
I. 煤粉炉	174

§ 2 燃油加热炉	178
一、燃油炉的燃烧装置——喷咀	178
二、燃油炉的炉膛——加热室	197
三、燃油炉的供油系统	198
四、燃油炉的其它部分	203
五、燃油炉的开炉与停炉	203
六、各种典型燃油加热炉	205
§ 3 燃气加热炉	205
I. 煤气加热炉	206
一、煤气炉的燃烧装置——烧咀	206
二、煤气炉的炉膛——加热室	218
三、煤气炉的供气系统	218
四、煤气炉的其它部分	220
五、煤气炉的开炉与停炉	220
六、各种典型煤气加热炉	221
II. 简易煤气(或煤气化)加热炉	224
§ 4 少无氧化火焰加热技术	228
一、快速加热	229
二、敞焰无氧化加热	230
三、敞焰少氧化加热	232
四、少无氧化火焰加热的燃烧装置	233
五、快速无氧化沸腾粒子炉	236
六、采用保护涂层加热	237
思考题	237
第六章 电炉	239
§ 1 电阻炉	239
I. 间接加热电阻炉(箱式电阻炉)	239
一、箱式电阻炉的基本原理与结构	239
二、箱式电阻炉的计算	241
II. 直接接触的电阻炉(接触电热装置)	255
一、接触电热装置的基本原理与结构	255
二、接触电加热的计算	258
§ 2 感应电炉	261
一、感应电炉的基本原理与结构	262
二、感应加热的计算	269
三、工频感应加热	281
思考题	283
第七章 金属加热的温度测量	284
思考题	292

概述

《锻压加热设备》是一门锻压专业课程，主要研究各类锻压加热设备的构造和工作原理以及设计方法。这些设备，实质上就是一些“炉子”，它与锻压变形设备配套使用，因此，又常称为“锻压加热炉”。

一、锻压加热炉的用途

锻压加工前，金属坯料必须进行加热。其目的是为了提高金属的温度，从而改变金属的性能，使之适合于锻压加工。一般说来，随着温度的逐步提高，金属的塑性将逐步增大，变形抗力将显著降低。因而，在热态下按工艺要求对金属坯料进行锻压加工，只需施加较小的变形力，消耗较少的能量，就能获得具有所需形状、尺寸和符合机械性能要求的锻件。

锻压加热炉是锻压车间进行锻压生产时不可缺少的重要设备之一，在很大程度上影响着锻件质量和技术经济指标。

二、锻压加热炉的分类

锻压加热炉按供热方法的不同，可分为燃料炉和电炉两大类：

(一) 燃料炉（或火焰炉）——利用固体、液体或气体燃料燃烧所产生的热能对坯料进行加热；

(二) 电炉——利用由电能转化的热能对坯料进行加热。

燃料炉的应用比电炉广泛得多。但是，电炉有许多独特的优点，例如加热速度快，加热质量好，加热过程容易控制，便于实现机械化、自动化等。所以，尽管电加热设备投资较大，目前国内的电力供应较为紧张，一些有特殊工艺要求的锻件，仍然需要采用电炉，特别是国防工业。

就燃料炉而言，按使用燃料的不同，又可分为三类：

1. 燃煤加热炉——以煤作为主要燃料；

2. 燃油加热炉——以重油作为主要燃料；

3. 燃气加热炉——以煤气作为主要燃料。

在燃料炉中，煤炉用得最多。特别是现阶段，国家在工业燃料方面的方针是多用煤，少用油。所以，燃煤加热炉在今后相当长的一个时期中，仍将是普通工业炉的主要形式。

按锻压工艺的要求不同，燃料炉又可分为三类：

1. 中小型自由锻造用的室式炉；

2. 模锻用的开隙式炉、半连续炉和转底炉；

3. 大型锻造用的车底式炉。

按坯料通过炉内的方式不同，燃料炉又可分为两类：

1. 间歇式炉——间歇式炉也称周期式炉或分批式炉。这种炉子的炉膛温度基本上是一致的，坯料在炉底上一定位置放着不动，直到加热完毕后才取出，并且出料的炉门通常也就是装料的炉门。其示意图如图0—1所示。

2. 连续式炉——连续式炉的炉温从整体来说是非均布的。坯料在炉内由低温区（预热区）向高温区（加热区）逐步移动，在移动过程中，连续地对坯料进行预热和加热。其示意图如图0—2所示。

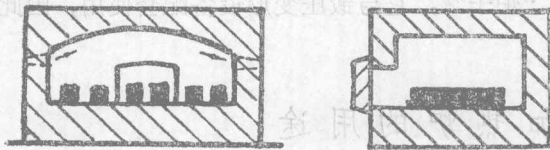


图0—1 间歇式炉

就锻压加热用的电炉而言，按电能转化为热能的方法不同，可分为电阻炉和感应电炉两类：

1. 电阻炉——利用导体（电阻发热体或坯料本身）在交变电流通过时产生电阻热效应的原理，使电能转化为热能而实现坯料加热的装置。生产中常用的

电阻炉有间接加热的电阻炉和直接接触的电阻加热炉两种：

（1）间接加热的电阻炉（例如箱式电阻炉）——利用交变电流通过电阻发热体，使电能转化为热能，然后通过辐射等传热方式对金属坯料进行加热的装置。

（2）直接接触的电阻加热炉——将被加热坯料直接接入电路，利用坯料本身在电流通过时的电阻热效应而实现坯料加热的装置。

2. 感应电炉——利用交变电流的电感应原理，在被加热金属中引起交变涡流，借助涡流发热和磁滞损失发热而实现加热的装置。

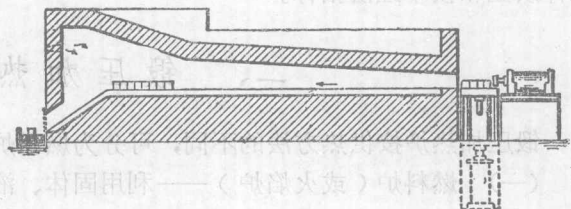


图0—2 连续式炉

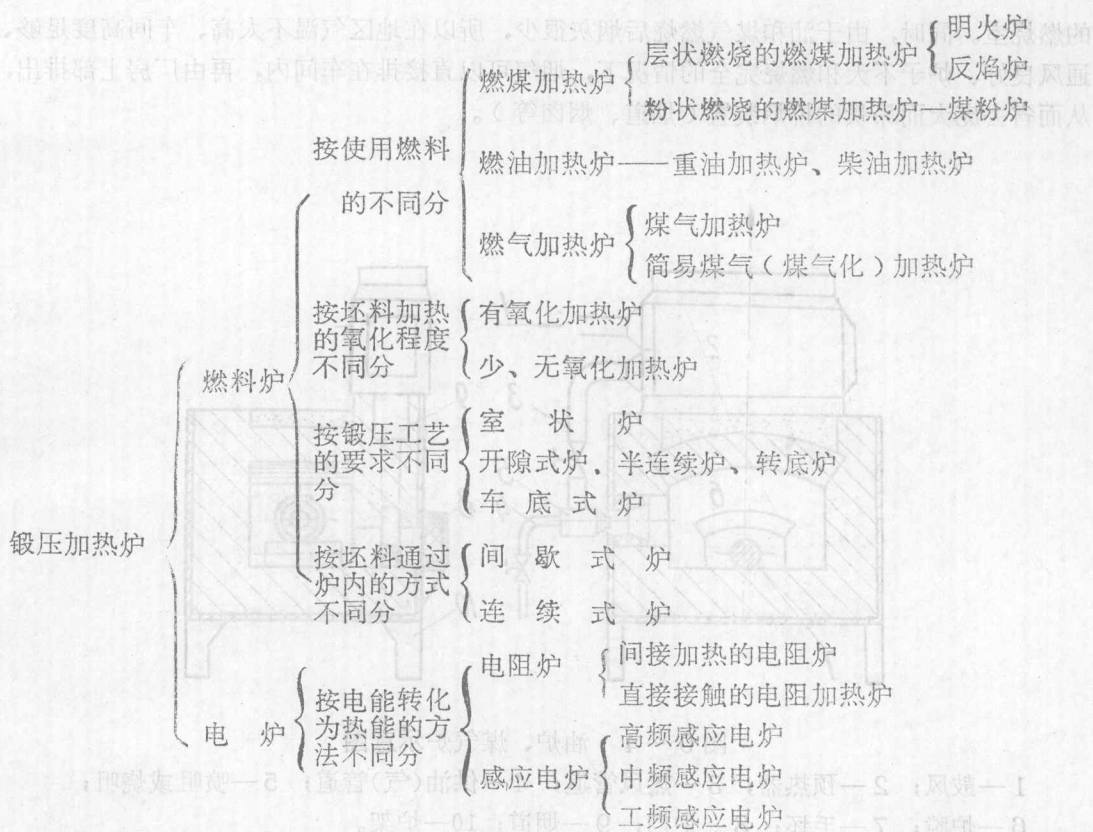
综上所述，锻压加热炉一般可按下表分类（见第3页）。

三、锻压加热炉的组成

目前，锻压生产中燃料炉占绝大多数，这里主要以燃料炉为代表来说明加热炉的组成。

煤（木炭、焦炭）炉是最早使用的炉子，原先毛坯直接放在炽热的煤炭中加热，和现在的明火炉（手锻炉）相似，后来把煤炭和毛坯分开，煤炭放在燃烧室中燃烧，然后将火焰①引入加热室（炉膛）加热金属。这种炉子叫做反焰炉或反射炉。这是加热炉发展史上的一大进步，至今煤炉还基本上保持了这种形式。现以室状煤炉为例（如图0—3）来说明煤炉的构造。图中（1）、（2）为供风装置，如果用预热空气，则风管应先通过预热器后进入燃烧室；（3）~（7）为燃烧室；（8）~（12）为加热室（炉膛），它是炉子的主要部分，其炉底

注：① “火焰”一词是比较通俗的说法，实际上是指“高温的燃烧产物”。本书中常常使用“燃烧产物”、“炉气”、“火焰”和“烟气”等名称，它们基本含意是相同的，有时可以通用，但严格说是不同的。“燃烧产物”是完全燃烧后的气体；“火焰”是正在燃烧的炭粒；“炉气”则是它们的总称，但往往和“火焰”通用；“烟气”则是炉气离开炉膛进入排烟口后的气体。



(10)的面积即代表炉子的规格;(14)~(17)为排烟装置。

油炉和煤气炉(如图0—4)比煤炉前进了一步,以油喷嘴和煤气烧咀代替了煤炉庞大

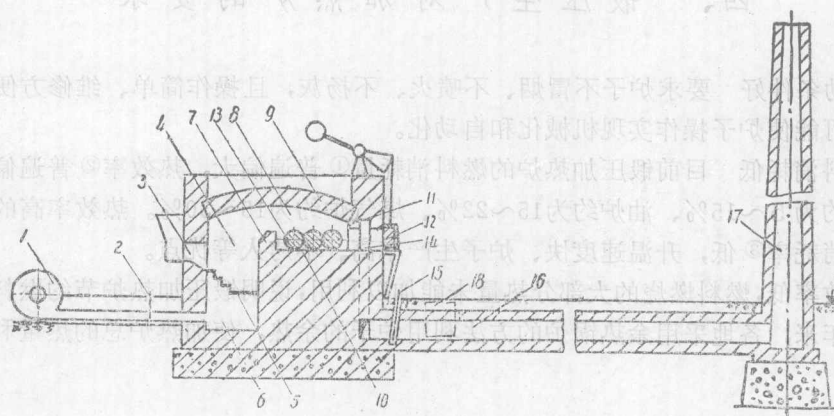


图0—3 室状煤炉示意图

- 1—鼓风机; 2—进风阀; 3—加煤门; 4—燃烧室; 5—炉栅; 6—灰坑;
7—反火墙; 8—炉膛; 9—炉顶; 10—炉底; 11—炉墙; 12—炉门; 13—毛坯;
14—排烟口; 15—烟道闸; 16—烟道; 17—烟囱; 18—预热器的位置。

的燃烧室。同时，由于油和煤气燃烧后烟灰很少，所以在地区气温不太高、车间高度足够、通风良好、炉子不大和燃烧完全的情况下，烟气可以直接排在车间内，再由厂房上部排出，从而省去庞大而昂贵的排烟装置（烟道、烟囱等）。

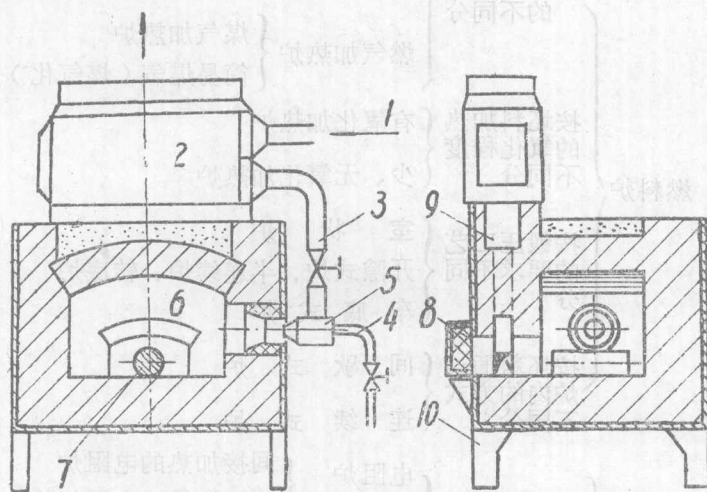


图 0—4 油炉、煤气炉示意图

- 1—鼓风；2—预热器；3—热风管道；4—供油(气)管道；5—喷咀或烧咀；
6—炉膛；7—毛坯；8—炉门；9—烟道；10—炉架。

加热炉是一种非标准设备。根据生产和工艺的要求，可以由燃烧装置、炉膛及排烟装置等部分组合成多种多样的结构形式。

四、 锻压生产对加热炉的要求

1. 劳动条件好 要求炉子不冒烟、不喷火、不扬灰，且操作简单、维修方便，在有必要的场合尽可能使炉子操作实现机械化和自动化。

2. 燃料消耗低 目前锻压加热炉的燃料消耗量①普遍偏大，热效率②普遍偏低，如煤炉的热效率约为5~15%、油炉约为15~22%、煤气炉约为15~30%。热效率高的炉子必然表现出燃料消耗率③低，升温速度快、炉子生产率高、不烤人等优点。

由于热效率低，燃料燃烧的大部分热量未能加以利用，说明锻压加热炉节约燃料的任务还很大。近几年来，各地采用余热锅炉的方法利用炉子的余热，使加热炉总的热量利用率有了显著提高。

注：① “燃料消耗量”是指炉子在每小时里所消耗的燃料量，对燃煤炉、燃油炉来说，用公斤/小时表示，对煤气炉来说，用米³/小时表示。本书中的米³指的是标米³。

② “热效率”是指热量的利用率，也就是加热金属坯料的有效热量与燃料所放出的总热量之比。

③ “燃料消耗率”是指加热每公斤坯料所需要的燃料量，对于煤炉和油炉以公斤/公斤表示，习惯上叫做煤铁比和油铁比。对于煤气炉，则用米³/公斤表示，它们都能间接地表示炉内燃料燃烧时热量的利用程度。

3. 加热质量好 加热炉应该使炉温能迅速升到规定温度、金属加热快、温度控制方便、炉内温度分布均匀、金属氧化脱碳少。这样,才能保证正确地实现预定的加热规范,达到较高的加热质量。

4. 炉子生产率高 加热炉的生产率必须大于锻压设备的生产率,以保证锻压设备不致停工待料。为此,应该有足够的炉底面积和较高的炉底强度①。

5. 炉子寿命长 锻压加热炉一般在1300~1400℃的高温下工作,比较容易损坏。所以必须正确设计炉子的结构和合理选用炉用耐火材料,尽量提高炉子的使用寿命。

6. 氧化脱碳少 金属加热时产生氧化皮,不但烧损了大量金属,而且,严重影响模具寿命和锻件质量,尤其对精密模锻和锻压生产自动线,金属的氧化和脱碳影响更大。为此,必须大力发展各种少、无氧化加热技术,以适应四化建设的需要。

然而,目前国内使用的相当一部分锻压加热炉还比较落后,技术经济指标很低,还不能很好地满足上述要求,需要我们不断地总结经验,加以改进。

注:① 炉底强度是指单位炉底面积的生产率,用公斤/米²小时表示。

第一章 燃料及其燃烧

凡在燃烧时能放出大量热量,并且这些热量能有效地被工业或其他方面所利用的物质,统称为燃料。

今天,我们已经进入原子时代,国民经济的许多领域里正在利用原子能做为能量的来源,而且还直接利用太阳能为人类服务。但总的来说,应用范围还不够广泛,所以在今后一段时期内,能量的主要来源仍然还是燃料。

燃料不但是重要的热能资源,而且也是宝贵的化工原料。

§ 1 燃料及其特性

一、燃料的种类和成分

锻压加热炉的燃料按其来源可分为两大类:

(一) 天然燃料:自然界中天然存在的燃料,如泥煤、褐煤、烟煤、无烟煤,以及石油和天然气等。

(二) 人造燃料:天然燃料经过加工后得到的燃料产品,如木炭、焦炭、粉煤、重油、焦炉煤气、高炉煤气、发生炉煤气等。

按燃料的物质形态,可分为三大类:

(一) 固体燃料:锻压加热炉用的固体燃料主要是煤和煤的加工产品焦炭等。

我国幅员辽阔,煤的资源分布很广,蕴藏量极为丰富。

目前,我国出产的煤主要是无烟煤和烟煤。无烟煤的主要特点是固定碳多,而挥发物少,烟煤则挥发物较多。烟煤根据其挥发物含量的多少,可分成长焰煤、气煤、弱还原煤、半炼焦煤、肥煤、结焦煤、瘦煤、贫煤等。焦炭分一般焦炭和铸造焦炭等。

煤和用煤加工得到的焦炭,在实际应用的情况下,均由下列成分组成:

碳(C)、氢(H)、氧(O)①、氮(N)②、硫(S)、水分(W)③和灰分(A)④

注:① 氧是燃料中的有害组成物,常和其他元素结合成为化合物,如 H_2O 、 CO_2 等,所以,它的存在会降低燃料的发热值。

② 氮是燃料有机部分中的惰性物质,虽然在燃烧过程中不参与燃烧反应,但它的存在,亦会降低燃料的发热值,

③ 水分是燃料中的有害组成物,燃料中存在水分,会减少其它可燃元素的含量,并且水分的蒸发还要消耗大量的热。但是,生产实际中使用的燃煤炉通常都要在煤中洒入一定量(10%左右)的水,调匀后,再送入燃烧室。这是因为煤的粘结性较差,容易被风机强制送来的风所吹跑,造成加热室(炉膛)灰尘弥漫,炉底灰分成层(严重时坯料会被灰尘所覆盖),影响炉内传热。在煤中加入适量的水分后,煤的粘结性就会增加,煤层的燃烧就较为稳定。同时,水分蒸发后,可起消烟防尘作用。气化的 H_2O 分子,与炽热碳粒相遇,产生一部分水煤气,提高了燃烧效果。

④ 灰分是指矿物杂质 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 Na_2O 、 K_2O 等,这是燃料中的一种有害成分,燃料中含灰分愈多,其也可燃元素的含量就相对减少。同时燃烧时灰分也要吸收一定的热量,灰分含量多,燃烧过程就难于控制,而且随灰分带出去的未燃炭粒(机械不完全燃烧)也愈多。

等。我国部分地区煤的特性和焦炭的某些数据见表1—1、表1—2。

(二) 液体燃料：锻压加热炉用的液体燃料主要是重油、重柴油、轻柴油、废机油和残渣油等。各种燃料油的特性见表1—3。

重柴油和轻柴油成本较高，除少数工厂外，锻压加热炉上一般很少使用。用重油作燃料，不仅能保证加热质量，而且价钱便宜，是一种较经济的炉用燃料。

重油^①的主要成分是以烷类为主的各种碳氢化合物，也有少量的水分和灰分，所以液体燃料的元素组成成分和表示符号同固体燃料一样。生产中衡量重油质量的优劣，一般考虑下面一些质量指标：

1. 恩氏粘度（恩格尔粘度）：粘度是燃油的重要质量指标，对运输、储存、管道输送和燃烧有很大的影响。所谓粘度，是指一部分液体对另一部液体在相对移动时给予阻力的性

表1—1 我国部分地区煤的特性

煤 的 名 称	工业分析 (%)			元素分析 (%)					$Q_{\text{用低}}$ (千卡/公斤)	灰分软化温度 (℃)
	$W_{\text{用}}$	$A_{\text{干}}$	$V_{\text{燃}}$	$C_{\text{燃}}$	$H_{\text{燃}}$	$N_{\text{燃}}$	$O_{\text{燃}}$	$S_{\text{燃}}$		
大同弱粘性烟煤	2.28	4.69	29.59	83.38	5.24	0.64	10.21	0.53	7090	1304
抚顺气煤	3.5	7.89	44.46	80.2	6.1	1.4	11.6	0.63	6642	1395
抚顺原煤	14.0	15.0	46.0	—	—	—	—	0.80	5200	—
阳泉无烟煤	2.44	16.61	9.57	89.78	4.37	1.02	4.37	0.38	6636	>1500
京西门头沟无烟煤	2.5	22.0	6.4	—	—	—	—	0.24	5773	—
鹤岗气煤	2.79	19.43	35.22	82.8	5.67	1.5	9.87	0.12	6059	1343
焦作无烟煤	4.32	20.0	5.62	92.29	2.87	1.05	3.32	0.38	5999	—
开滦肥煤	5.0	28.0	32.0	—	—	—	—	1.73	5577	—
萍乡无烟煤	5.5	16.0	10.0	90.35	4.37	—	—	1.0	6370	>1200
山东枣庄煤	5.0	20~25	34.0	86.51	5.05	—	—	$S_{\text{总}}$ 2.5~3	5600~ 6000	—
淮南气煤	4.6	18.6	3.61	84.1	6.24	6.5	1.42	1.37	5964	>1500

表1—2 焦炭的特性

焦炭种类	$W_{\text{用}}$	$A_{\text{干}}$	$V_{\text{燃}}$	$C_{\text{燃}}$	$H_{\text{燃}}$	$N_{\text{燃}}$	$O_{\text{燃}}$	$S_{\text{燃}}$	$Q_{\text{用低}}$ (千卡/公斤)
一般焦炭 (平均值)	3.2~ 5.7	10~ 12.6	0.6~ 0.7	96~ 96.5	0.3~ 0.6	1.1~ 1.3	1.3	0.6~ 0.7	~6500
铸造焦炭 (要求值)	<4.6	10~14	块度>40mm, 小块<40%, 孔隙度~40%					0.5~ 1.4	—

注：① 重油是由原油（石油）蒸馏出汽油、煤油、柴油以后留下来的重残留物。

质。加热炉常用的燃油粘度为恩氏粘度。所谓恩氏粘度是指200厘米³的油在指定温度下，自恩格尔粘度计中流出的时间秒数，与同体积的水在20℃时流出的时间秒数之比，用°E表示。

重油的牌号是指重油在50℃时的粘度值，例如200号重油是指该重油在50℃时粘度为200°E。

重油的粘度随着温度的升高而急剧降低，因此，可用加温的方法降低其粘度，使之便于输送和雾化。重油的粘度(°E)与温度的关系如图1—1所示。

为了使重油卸出时有良好的流动性，同时为了管道输送和在喷嘴内进行良好的雾化，要

表1—3 各种燃料油的特性

序号	质 量 指 标	重 油 标 号				重 柴 油 标 号			轻柴油
		20	60	100	200	1	2	3	
1	恩氏粘度 20℃(°E)	—	—	—	—	—	—	—	1.2-1.67
	50℃(°E)≤	20	60	100	200	3.0	4.0	5.0	—
	80℃(°E)≤	5.0	11.0	15.0	—	—	—	—	—
	100℃(°E)	—	—	—	5.5~9.5	—	—	—	—
2	闪点(开口)(℃)≥	80	100	120	130	65	65	65	65
3	凝固点(℃)≤	15	20	25	36	10	20	30	10
4	灰分(%)≤	0.3	0.3	0.3	0.3	0.04	0.06	0.08	0.025
5	水分(%)≤	1.0	1.5	2.0	3.0	0.5	1.0	1.5	痕迹
6	硫分(%)≤	1.0	1.5	2.0	3.0	0.5	1.0	1.5	0.5
7	机械杂质(%)	1.5	2.0	2.5	2.5	0.1	0.1	0.5	无
8	碳分(%)≥	—	—	85	—	—	—	—	—
9	氢分(%)≥	—	—	12.5	—	—	—	—	—
10	氧分(%)≤	—	—	1	—	—	—	—	—
11	氮分(%)	—	—	0.2	—	—	—	—	—
12	热含量(20—100℃) (千卡/公斤)	—	0.45~0.5	—	—	—	—	—	—
13	熔化潜热(千卡/公斤)	—	40~60	—	—	—	—	—	—
14	重度(吨/米 ³)	—	0.85~1.0	—	—	—	—	—	—
15	发热值 $Q_{\text{用低}}$ (千卡/公斤)	—	9400~9800	—	—	10000~10500	—	—	10000~10800

求重油粘度在3~8°E范围内。目前，普遍采用预热的方法来达到粘度要求。由图1—1可以很容易地确定各种重油达到规定粘度所需的预热温度。显然，预热温度不够会使输送和燃烧条件恶化，预热温度过高则会引起剧烈的气化和起泡，甚至引起火灾。预热温度过高的重油在燃烧时还会使火焰产生跳动，造成燃烧不稳定。因比，在使用过程中，必须保证重油的粘度要求。

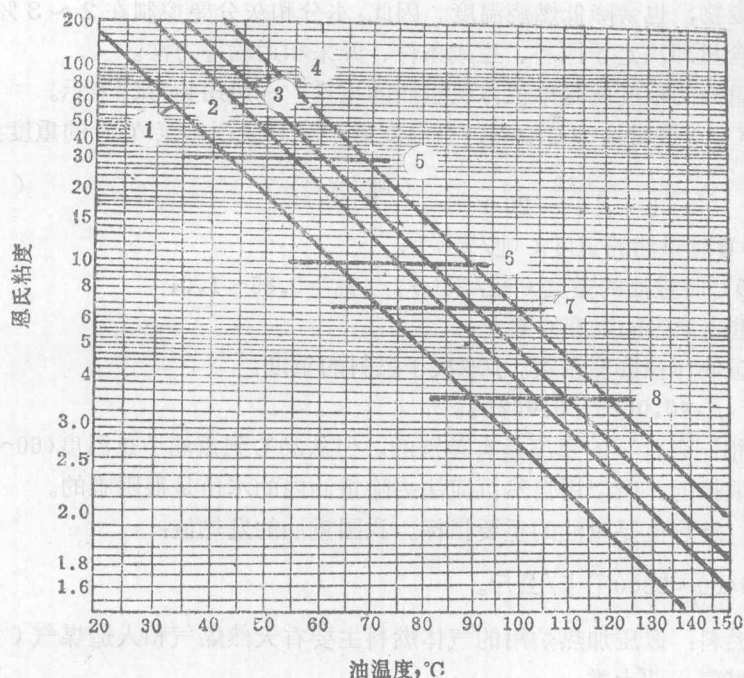


图 1—1 重油粘度与温度的关系图表

- 1—20号重油；2—40号重油；3—60号重油；4—100号重油。
 5—用于油泵及卸出时的平均粘度；6—用于主要循环系统的最大粘度；
 7—用于低压喷咀的平均粘度；8—用于低压喷咀的最大粘度。

2. 闪点：在某一特定温度下燃料放出大量油蒸汽，当火焰移近它时具有爆发燃烧的能力，当火焰远离时燃烧熄灭，这个温度称为闪点。闪点表示燃料油的易燃程度。当闪点低于着火温度时，燃料在着火温度下会自动着火，若条件良好，还能继续自燃。重油的着火温度一般为500~600℃。

重油的闪点是一个很重要的数据，闪点温度高不会使操作产生困难，并可以毫无危险地采用较高的预热温度，以便降低重油的粘度，增加其流动性。闪点温度很低的重油，在操作中必须特别注意，因为当它予热至接近闪点温度时，着火危险增大，而且放出有害蒸汽会恶化劳动条件。此外，油泵吸油条件也变坏，当燃料被蒸汽所饱和时，油泵的吸油可能中断或完全停止，火焰可能出现波动，甚至熄灭。特别是含水重油易产生泡沫，敞开油罐中产生的泡沫可能由油罐边缘溢出而着火。根据上述理由重油予热温度应低于闪点。

3. 凝固温度（凝点）：重油失去流动能力时的温度称为凝固温度。一般炉用重油的凝点为15~36℃，当重油冷却至凝固温度时，特别粘稠，使卸油、管道输送与喷咀雾化受到阻碍。我国重油凝点较高，加之气温变化，更容易出现上述情况。所以在重油的整个使用过程中都应有加温与保温的措施。

4. 水份和灰份：水份和灰份都是燃料中的废物，它们的存在会使燃料中的可燃成份相对减少，使发热值降低，废气量增加，同时水分蒸发时还需要消耗约600千卡/公斤^①的热量，使理论燃烧温度下降。更重要的是因为它会引起敞口油罐中的油液起泡，使喷咀火焰跳动。

灰分是“惰性”废物，也会降低燃烧温度。因此，水分和灰分要控制在2~3%以下。但燃料中水分和灰分的含量却决定于原料、生成条件、开采和运输等方法。

5. 重度：重油的重度就是单位体积重油的重量，一般用吨/米³表示。

重油的重度(γ)通常按20℃给出，当温度低于20℃或预热至 t ℃时的重度为：

$$\gamma_t = \frac{\gamma_{20}}{1 + \beta(t - 20)} \quad (\text{吨/米}^3) \quad (1-1)$$

式中 γ_t —— t ℃时重油的重量(吨/米³)；

γ_{20} ——20℃时重油的重量(吨/米³)， $\gamma_{20}=0.85\sim1.0$ ；

t ——重油预热的温度(℃)；

β ——重油体积膨胀系数。 β 取决于燃料的重度：

$$\beta = 0.0025 - 0.002\gamma_{20}$$

重油与水在相同条件下的重度是有差别的。但从20℃到重油予热温度(60~80℃)之间，重油与水的重度很接近，所以用自然沉淀法去除重油内的水份是很困难的。

6. 发热值：发热值是重油的重要指标。我国重油的发热值：

$$Q_{\text{低}}^{\text{用}} = 9400 \sim 9800 \text{ 千卡/公斤。}$$

(三) 气体燃料：锻压加热炉用的气体燃料主要有天然煤气和人造煤气(焦炉煤气、高炉煤气和发生炉煤气)两大类。

1. 天然煤气：天然煤气是直接由地下开采出来的可燃气体，一般发生在地下煤层或油层附近。它的主要成分是甲烷(CH_4)，含量高达80~98%，还有少量重碳氢化合物及 H_2 、CO等可燃气体，不可燃成分很少，所以发热值高达8000~11000千卡/米³，是一种经济价值很高的工业炉用燃料。

天然煤气是一种无色、稍带腐烂臭味的气体，重度约为0.73~0.80公斤/米³，比空气轻。天然煤气容易着火，着火温度在640~850℃之间，与空气混合到一定比例(容积比4~15%)，遇到明火立即着火或爆炸。天然煤气燃烧所需的空气量很大，约为9~14米³/米³天然煤气，燃烧时火焰光亮，辐射能力强，这是因为燃烧时甲烷及其碳氢化合物分解析出大量碳粒的缘故。

2. 人造煤气：人造煤气可分为焦炉煤气、高炉煤气和发生炉煤气三种。

(1) 焦炉煤气：焦炉煤气是炼焦的副产品，它是炼焦时煤在干馏过程中所排出来的挥发物，经洗涤并去除焦油后所得到的气态物，所以又称炼焦煤气。

煤在炼焦过程中得到的产品(按重量百分数计)有焦炭——73~78%；焦炉煤气——15~18%；焦油——2.5~4.5%和少量其它化工产品。

焦炉煤气的成分(干成分)大致如下(%)：

H_2	CH_4	C_2H_6	CO	CO_2	O_2	N_2
55~60	24~28	2~4	6~8	2~4	0.4~0.8	4~7

由于焦炉煤气内的主要可燃成分是高发热值的 H_2 和 CH_4 ，故发热值高达3800~

注：① 因为水蒸汽的平均比热为0.48，水的汽化热为539千卡/公斤。1公斤0℃的水变成103℃的水，吸热100千卡；100℃水变为100℃蒸汽，吸热539千卡；100℃蒸汽变为20℃蒸汽，放热 $0.48 \times 80 = 38.4$ 千卡。所以，1公斤0℃的水变为20℃的蒸汽，共吸热 $100 + 539 - 38.4 \approx 600$ 千卡。