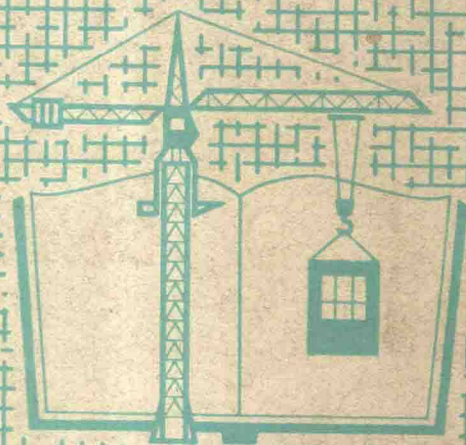


锅炉与锅炉房设备

黑龙江省建筑工程学校
内蒙古自治区建筑学校 编
吉林建筑工程学院



中等专业学校试用教材

中国建筑工业出版社

中等专业学校试用教材

锅炉与锅炉房设备

黑龙江省建筑工程学校

内蒙古自治区建筑学校 编

吉林建筑工程学院

中国建筑工业出版社

本书是中等专业学校水暖与通风专业的试用教材。

本书系统地叙述了工业锅炉的种类、构造、工作原理和施工安装等知识,并且详细地叙述了工业锅炉房的运煤除灰、送风引风、烟气除尘、锅炉给水处理、送汽给水等系统的设备和工艺设计方面的知识。

本书也可供从事锅炉设备施工安装和管理运行的技术人员参考。

中等专业学校试用教材
锅 炉 与 锅 炉 房 设 备

黑龙江省建筑工程学校
内蒙古自治区建筑学校 编
吉林建筑工程学院

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 17³/₄ 字数: 432 千字
1981年7月第一版 1981年7月第一次印刷
印数: 1—27,200册 定价: 1.45元
统一书号: 15040·4123

前 言

本书是为中等专业学校水暖与通风专业学生学习“锅炉与锅炉房设备”课程而编写的。

全书共计十三章，基本上可以分为两大部分内容。

第一部分主要是叙述关于锅炉方面的内容。首先简要介绍了有关锅炉的基本知识、锅炉用燃料的特性、燃料的燃烧计算和锅炉热平衡等内容；其次，以中等容量的工业锅炉为对象，分别叙述其“锅”（汽水系统）和“炉”（燃烧设备）的种类、构造和工作原理。在此基础上，介绍了国产的工业锅炉和热水锅炉的常用类型和构造，以及锅炉设备的施工安装知识。

第二部分叙述关于锅炉房运煤除灰系统、送风引风系统、排烟除尘设施、锅炉给水处理和水汽系统等内容，分别介绍了各工艺系统所用的设备的种类、构造和选型计算等知识。在此基础上，还简要介绍了工业锅炉房工艺设计方面的知识。

关于锅炉设备施工安装的内容，建议在工地上以现场教学的方式进行学习。关于锅炉的炉型，建议结合各地实际，补充介绍一些当地使用的热水采暖锅炉炉型。

本书由黑龙江省建筑工程学校朱聘珊主编，各章分工如下：

第一、二、三、四、五、七和十章 内蒙古自治区建筑学校高昆生、赵立新；

第八和十一章 吉林建筑工程学院张雅杰；

第六、九、十二和十三章 黑龙江省建筑工程学校王凤君、张鸿斌、朱聘珊。

本书由长春冶金建筑工程学校范惠民、千正一负责主审。

目 录

第一章 锅炉设备概述	(1)	第六节 沸腾炉	(59)
第一节 锅炉设备的分类和组成	(1)	第七节 燃油炉	(60)
第二节 锅炉的基本特性	(2)	第八节 炉膛尺寸的确定	(65)
第三节 锅炉的型号	(4)	第六章 工业锅炉的炉型	(68)
第二章 燃料及其燃烧	(6)	第一节 锅炉构造的演变过程	(68)
第一节 锅炉的燃料	(6)	第二节 立式锅炉	(70)
第二节 煤的成分分析	(8)	第三节 卧式火管及水、火管锅炉	(72)
第三节 煤的分类及发热量	(11)	第四节 水管锅炉	(75)
第四节 燃料的燃烧计算	(13)	第五节 热水锅炉	(82)
第三章 锅炉机组的热平衡	(18)	第七章 锅炉房的运煤和除灰	(86)
第一节 锅炉机组热平衡方程	(18)	第一节 锅炉房的运煤方式及设备	(86)
第二节 锅炉的效率	(19)	第二节 锅炉房的除灰方式及设备	(92)
第三节 锅炉的各项热损失	(20)	第三节 煤场和灰渣场	(98)
第四节 锅炉的燃料消耗量	(22)	第四节 运煤除灰系统的布置示例	(100)
第四章 工业锅炉构造	(24)	第八章 锅炉的消烟除尘	(103)
第一节 汽包及汽包内部装置	(24)	第一节 烟尘的危害及排放标准	(103)
第二节 水冷壁及对流管束	(27)	第二节 消烟除尘的简易措施	(104)
第三节 蒸汽过热器	(30)	第三节 烟尘沉降室	(106)
第四节 省煤器	(32)	第四节 双级蜗旋除尘器	(109)
第五节 空气预热器	(34)	第五节 管式水膜除尘器	(111)
第六节 炉墙和拱	(35)	第六节 其他型式的除尘器	(114)
第七节 锅炉钢架	(37)	第七节 除尘器的选用	(119)
第八节 吹灰器	(38)	第九章 锅炉的通风	(122)
第九节 压力表	(39)	第一节 锅炉的通风方式	(122)
第十节 水位计	(40)	第二节 风烟管道设计	(123)
第十一节 水位警报器	(42)	第三节 风烟系统的阻力计算	(126)
第十二节 安全阀	(43)	第四节 烟囱的构造和计算	(131)
第十三节 测温仪表	(45)	第五节 送、引风机及其选择	(136)
第五章 锅炉的燃烧设备	(48)	第六节 送、引风机的布置	(142)
第一节 锅炉燃烧设备的分类	(48)	第十章 锅炉给水处理	(147)
第二节 手烧炉	(50)	第一节 水中的杂质及其危害	(147)
第三节 链条炉	(52)	第二节 水质指标和水质标准	(148)
第四节 往复推动炉排炉和振动炉排炉	(55)	第三节 锅炉给水的过滤	(151)
第五节 抛煤机炉	(57)	第四节 离子交换软化及脱碱	(152)
		第五节 离子交换设备及其运行	(157)

第六节	离子交换设备的选择和 计算	(164)	第二节	锅炉类型的确定	(209)
第七节	还原液制备系统及选型 计算	(169)	第三节	锅炉房的热负荷和锅炉台数 确定	(210)
第八节	锅炉给水的其它软化法	(173)	第四节	锅炉房在总图上的位置	(214)
第九节	锅炉给水的除氧	(177)	第五节	锅炉房的布置	(215)
第十节	锅炉排污及设备	(183)	第六节	锅炉房对有关专业的技术 要求	(220)
第十一章	锅炉房的汽水系统	(187)	第七节	锅炉房设计布置示例	(222)
第一节	锅炉房的给水系统	(187)	第十三章	锅炉施工安装	(233)
第二节	给水系统的设备	(190)	第一节	施工前的准备工作	(233)
第三节	凝结水系统	(196)	第二节	锅炉钢架和平台安装	(234)
第四节	蒸汽系统	(200)	第三节	汽包的安装	(240)
第五节	汽水管道的水力计算	(201)	第四节	受热面管子的安装	(243)
第六节	锅炉房的热力系统图	(204)	第五节	其它设备及附件安装	(252)
第十二章	工业锅炉房的工艺 设计	(208)	第六节	水压试验	(255)
第一节	设计的原始资料	(208)	第七节	烘炉、煮炉和定压	(257)
			附录		(260)

第一章 锅炉设备概述

第一节 锅炉设备的分类和组成

锅炉设备是将燃料的化学能转化为热能，又将热能传递给水，从而产生一定温度和压力的蒸汽或热水的设备。锅炉设备包括锅炉本体和辅助设备两大部分。

锅炉在现代工农业生产和人民生活的各个领域中的应用广泛，按其用途基本上可分为两大类，即动力锅炉和工业锅炉。

动力锅炉生产的蒸汽是用来驱动原动机的，如火电站的蒸汽锅炉、蒸汽机车用锅炉等。

工业锅炉生产的蒸汽或高温热水，是作为工农业生产或采暖通风用的载热体，也就是向各用热部门供应热能。例如在化工、纺织、食品、造纸、医药等行业中，需要大量蒸汽用于蒸煮、加热和烘干等工艺上；又如现代化温室需用蒸汽或高温热水的热能，来创造农作物和蔬菜良好生长的人造气候环境；再如在我国北方广大地区，用蒸汽和热水来满足各类工业和民用建筑采暖通风的用热；随着国民经济的发展，人民的物质福利水平也将逐步提高，在城市中集中供应生活用热水，也要耗用热能。

现代的动力锅炉，每小时产生的蒸汽量很大，压力也很高。与动力锅炉相比，工业锅炉的每小时产汽量和蒸汽压力都比较低。

锅炉本体是由“炉”和“锅”两大部分组成的。所谓“炉”，就是将燃料的化学能转化为热能的燃烧设备；所谓“锅”，就是将高温烟气的热量传给低温的水，将其加热为热水或蒸汽的汽水系统。

炉子是由炉墙、炉排和炉顶组成的燃烧空间，其作用是使燃料不断地充分地燃烧。由于燃料的种类和性质的不同，炉子的构造也不一样。

汽水系统是由汽包和管束组成的一个封闭的热交换器，在炉膛周围布置的排管称为水冷壁管，在炉膛后面的排管称为对流管束。汽水系统的作用是使管束内的水不断吸收烟气的热量，以产生一定压力和温度的热水或蒸汽。

图1-1所示为工业锅炉房的设备简图。

在锅炉本体中，除了由水冷壁和对流管束组成的主要受热面外，还有辅助的受热面，包括蒸汽过热器、省煤器和空气预热器。蒸汽过热器的作用是将锅炉中的饱和蒸汽加热成为过热蒸汽。省煤器的作用是将锅炉排烟余热用来加热锅炉的给水。空气预热器的作用是将锅炉排烟的余热用来加热送入炉内的冷空气。

锅炉房的辅助设备，是保证锅炉本体正常运行所必须的附属设备，它们分别组成锅炉房的运煤除灰系统、通风系统、汽水系统和控制系统。

锅炉房的运煤除灰系统，是将燃料连续地供给锅炉燃烧，同时又将生成的灰渣及时地排走。在图1-1的锅炉房中，运煤系统是由多斗提升机、皮带运输机和炉前煤斗组成；除

灰系统则由锅炉灰斗、除渣器和运灰小车组成。

锅炉房的通风系统，就是向锅炉供给燃烧需要的空气，以及排走燃烧后生成的烟气。通风系统常由送风机、引风机和烟囱组成。为了减少烟气中烟尘对环境的污染，在排烟系统上还设置了除尘器。

锅炉房的汽水系统，是不断地向锅炉供给符合质量要求的水，并将蒸汽或高温水分送到各用热部门。汽水系统是由水处理设备、水泵、分汽缸、水箱及管道所组成。

为了使锅炉设备安全和经济地运行，在锅炉房中还装设各种附件和控制仪表，如温度表、压力表、水位计、安全阀、水位报警器、风压表、水表、蒸汽流量计，以及各种自动控制设备。

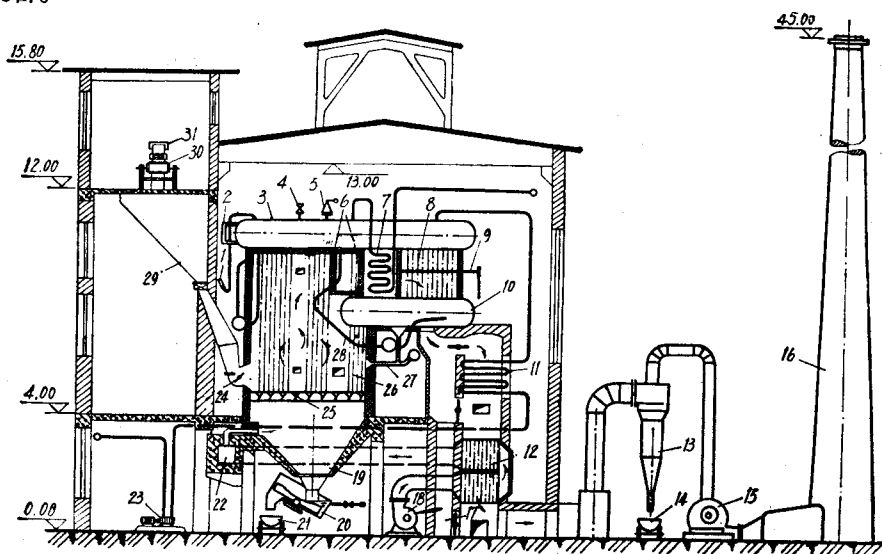


图 1-1 工业锅炉房的设备简图

1—压力表；2—水位计；3—上汽包；4—空气阀；5—安全阀；6—挡火墙；7—蒸汽过热器；8—对流管束；9—吹灰器；10—下汽包；11—省煤器；12—空气预热器；13—除尘器；14、21—灰车；15—引风机；16—烟囱；17—旁通烟道；18—送风机；19—灰渣斗；20—斜轮除渣器；22—风道；23—给水泵；24—抛煤机；25—炉排；26—侧水冷壁；27—飞灰复燃器；28—后水冷壁；29—煤斗；30—皮带输送机；31—多斗提升机

锅炉设备运行时包括三个同时进行的工作过程，即燃料的燃烧过程，燃烧生成的高温烟气向水传递热能的过程，以及蒸汽的产生过程。其中任何一个过程是否正常运行，都会影响锅炉运行的经济性和安全性。

第二节 锅炉的基本特性

锅炉的特性，是表明锅炉的容量、参数和经济性的指标，通常用下述指标来表明锅炉的特性。

一、蒸发量或产热量

对于蒸汽锅炉来说，锅炉每小时产生的额定蒸汽量，称为锅炉的蒸发量，又称为锅炉的出力，它表明锅炉容量的大小。蒸发量常用符号“ D ”来表示，单位是“ t/h ”或“ kg/h ”。工业锅炉的蒸发量一般为 $0.2 \sim 20t/h$ 。

在旧式小型蒸汽锅炉上,过去常用“锅炉马力”来表示锅炉的出力。所谓一个锅炉马力,是指锅炉每小时能将15.65kg的100°C热水汽化成为同温度饱和蒸汽的能力,相当于该锅炉的受热面每小时能传热8440kcal。

对于热水锅炉来说,用锅炉每小时的产热量来表明锅炉的容量大小,常用符号“Q”来表示,单位是10⁴kcal/h或10⁶kcal/h。

二、压力

蒸汽锅炉出汽口处或热水锅炉出水口处的蒸汽或热水的额定压力(表压力),称为锅炉的工作压力,常用符号“P”表示,工程制单位是“kg/cm²”或“at”。

在国际单位制中,压力单位用帕斯卡表示,符号为Pa,1Pa=1N/m²。在国际单位制中,表压力都称为“工作压力”,凡不注明“工作压力”者,都应理解为“绝对压力”。

三、温度

生产饱和蒸汽的锅炉只要标明锅炉工作压力的大小,不要再标明蒸汽的温度。对于生产过热蒸汽的锅炉或热水锅炉,还必须标明蒸汽过热器出口过热蒸汽的温度,或热水出口处的热水温度。

温度用符号“t”表示,单位是“°C”。

四、受热面蒸发率或受热面发热率

锅炉的受热面积,是指烟气与水或蒸汽进行热交换的汽水系统的传热面积,常用烟气一侧的面积来计算受热面积,并用符号“Hg”表示,单位是m²。

每小时1m²锅炉受热面所产生的蒸汽量,称为锅炉的受热面蒸发率,它是锅炉的工作强度和经济性的指标,用D/Hg表示,其单位是kg/m²·h。

由于锅炉生产的蒸汽的压力和温度各不相同,为了便于比较,常把锅炉的实际蒸发量D换算成标准蒸发量D₀,在这里我们把标准蒸汽的焓值取为640kcal/kg,则标准蒸发量为

$$D_0 = \frac{D(i_2 - i_1)}{640} \text{ kg/h} \quad (1-1)$$

式中 i_2 是该锅炉生产的蒸汽的焓值, i_1 是锅炉给水的焓值。

因此,锅炉受热面的标准蒸发率就以 D_0/Hg 表示。一般的工业锅炉的受热面标准蒸发率为 $D_0/Hg < 40 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$ 。

热水锅炉每小时1m²受热面所能传过的热量,称为锅炉受热面的发热率,用 Q/Hg 表示,单位为“kcal/m²·h”。

一般热水锅炉的受热面发热率为 $Q/Hg < 2000 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}$ 。

五、锅炉的效率

锅炉的效率是指炉内燃料燃烧后发出的热量有百分之几十被有效利用了,所谓有效利用,对于蒸汽锅炉就是生产蒸汽,对于热水锅炉就是用来提高水温。因此,锅炉的效率是锅炉的最重要的经济指标,常用符号“ η ”表示。

一般工业锅炉的效率在60~80%左右。

六、煤水比

锅炉单位时间内的耗煤量和该段时间内产生的蒸汽量之比,称为该锅炉的煤水比。此比值可以大致表明锅炉运行的经济性。煤水比和锅炉型式、燃煤品种和运行管理质量有

关,工业锅炉的煤水比一般为1:6~1:7.5。

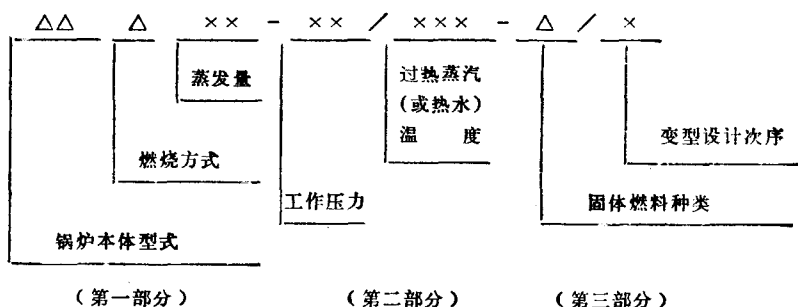
七、锅炉金属耗率

锅炉制造时耗用的金属重量与其额定蒸发量之比,称为锅炉金属耗率,俗称钢水比。

现代的工业锅炉的金属耗率为2~6,即制造一台蒸发量为1t/h的锅炉,大约需用2~6t钢材。

第三节 锅 炉 的 型 号

我国工业锅炉产品的型号已有统一的规定,锅炉型号由三部分组成,各部分之间用短横线隔开。锅炉符号的完整形式如下:



锅炉型号的第一部分包括三段。

第一段用两个汉语拼音字母表示锅炉本体型式,表1-1列出锅炉型式的代号。

锅炉型式的代号 表 1-1

锅炉本体型式	代 号	锅炉本体型式	代 号
立式水管	LS	单汽包纵置式	DZ
卧式内燃	WN	双汽包纵置式	SZ
卧式快装	KZ	热水锅炉	RS
分联箱横汽包式	FH	废热锅炉	FR
双汽包横置式	SH		

第二段用一个汉语拼音字母表示该锅炉的燃烧方式,表1-2列出锅炉燃烧方式的代号。

第三段用阿拉伯数字表示锅炉的蒸发量(t/h),热水锅炉则表示其产热量(10⁴kcal/h),废热锅炉则表示其受热面积(m²)。

锅炉型号的第二部分表示蒸汽(或热水)的参数,共分两段,中间用斜线分开。

第一段用阿拉伯数字表示额定工作压力的大小;第二段用阿拉伯数字表示过热蒸汽(或热水)温度的大小。对于生产饱和蒸汽的锅炉,则没有斜线和第二段数字。

锅炉型号的第三部分由两段组成,中间用斜线分开。

第一段用汉语拼音字母表示燃用的固体燃料的种类,常用字母H、L、P、W、G分别代表褐煤、劣质烟煤、贫煤、无烟煤、甘蔗渣;

如该锅炉的设计煤种是烟煤或是几种燃料都可以燃用时,则没有第一段及斜线。

锅炉燃烧方式的代号 表 1-2

燃烧方式	代号	燃烧方式	代号
固定炉排	G	沸腾炉	F
活动手摇炉排	H	下饲式	A
链条炉排	L	推饲式	S
倒转炉排加抛煤机	D	旋风炉	X
抛煤机	P	燃气炉	Q
振动炉排	Z	燃油炉	Y
半沸腾炉	B		

第二段表示锅
和第二段。

例如型号为 SI
量为20t/h，蒸汽压
计制造。

又如型号为 Sz
h，生产13at和250‘

第二章 燃料及其燃烧

第一节 锅炉的燃料

经过燃烧将化学能转变为热能的物质称为燃料，燃料是锅炉工作的基本物质。

锅炉的任务首先是使燃料充分燃烧，也就是使燃料中的可燃物与空气中的氧气进行剧烈的化学反应，同时放出大量的热能，其次才是将热能传递给水，以产生需要的水或蒸汽。

如何更经济合理地利用燃料资源，如何使燃料得到充分的燃烧，这是从事锅炉改造和运行工作，以及锅炉房设计工作的技术人员必须了解和掌握的问题。由于燃料的种类很多，燃料的性质差异也很大，因此要达到上述要求，先应了解燃料的种类和基本性质。

燃料按物理状态可分为固体燃料、液体燃料和气体燃料，按获得来源可分为天然燃料和人造燃料。主要燃料的分类情况列于表2-1中。

燃 料 的 分 类

表 2-1

种 类	天 然 燃 料	人 造 燃 料
固体燃料	木柴、泥煤、褐煤、烟煤、无烟煤、煤矸石、油页岩	木炭、半焦炭、焦炭、煤砖、煤粉
液体燃料	石 油	汽油、煤油、重油、渣油、煤焦油、酒精
气体燃料	天 然 气	高炉煤气、发生炉煤气、炼焦炉煤气、水煤气、地下气化煤气

表中列举的燃料都是有机化合物，故称为有机燃料，其用途很广。在选用锅炉燃料时，应对燃料的综合利用进行全面地考虑，使其得到合理的利用。

一、固体燃料

固体燃料包括木柴、煤（泥煤、褐煤、烟煤、无烟煤）、煤矸石和油页岩。工业锅炉和采暖锅炉燃用的燃料主要是煤炭。关于煤和煤矸石的性质将在后面讨论。

目前在南方一些省分，将油页岩用于沸腾燃烧锅炉，已取得很好的效果。油页岩是古代生物受地质变动而分解形成的含油岩石，呈片状，发热量较低，工作质的低发热量只有1500~2600kcal/kg，灰分高达70%以上，水分约为10~20%，是一种劣质地方性燃料。

固体燃料中的人造燃料，都是由天然燃料加工制得的，除煤粉可用于煤粉炉外，在工业锅炉和供热锅炉上一般都不燃用人造固体燃料。

二、液体燃料

液体燃料中的天然燃料——石油，也就是原油，一般不应作为锅炉的燃料。

作为锅炉燃料的通常是石油提炼出汽油、煤油、柴油和润滑油等产品后的分馏残余物，即重油或渣油，统称为燃油。

燃油中碳和氢的含量很高，水分较低，灰分极少，发热量大约是煤的两倍。

燃油的主要物理和化学性质有以下几项：

1. 比重 石油的比重一般是0.75~1.0，重油的比重接近水的比重，约为0.92~1.00，在不同温度下其比重也不一样。

2. 粘度 这是液体流动性的指标，燃油的运输、装卸、雾化条件与粘度特性有很大关系。粘度与温度有关，重油加热后，可使粘度降低。

燃油的粘度用恩氏粘度表示，符号为 $^{\circ}\text{E}$ 。

3. 闪点和燃点 燃油温度升高时，液面上析出的油蒸汽就增加，如用火焰接近油液表面，可能出现短暂的闪火，燃油的这个温度就称为闪点。

如继续加热燃油使其升温，以致燃油闪火后能持续燃烧，该温度就是燃油的燃点或着火点。燃油的闪点和着火点越高，燃油储存的起火危险性就越小。燃油的预热温度必须低于其闪点 10°C 。

4. 凝固点 这是指燃油丧失其流动性时的温度。燃油凝固点的高低与燃油所含石蜡成分的多少有关。石蜡含量多，凝固点就高。在燃油系统中，为了使燃油粘度较低而具有良好的流动性，使用时需要将燃油加热。

5. 杂质含量 燃油中含有的泥砂和碳粒等含量称为机械杂质含量。杂质会引起输油管道和雾化设备喷油孔眼的磨损和堵塞，因此要求燃油的杂质含量越少越好，或者在系统中采用燃油过滤装置。

表2-2中列出我国的重油牌号和质量指标，该牌号是按 50°C 时的运动粘度来划分的。

我国的重油指标

表 2-2

项 目		质 量 指 标			
		20号	60号	100号	200号
恩氏粘度 $^{\circ}\text{E}$	50°C	20	60	100	200
	80°C	5.0	11.0	15.5	—
	100°C	—	—	—	5.5~9.5
闪 点(开口) $^{\circ}\text{C}$	不低于	80	100	120	130
凝 固 点 $^{\circ}\text{C}$	不高于	15	20	25	36
灰 分 %	不大于	0.3	0.3	0.3	0.3
水 分 %	不大于	1.0	1.5	2.0	2.0
含 硫 量 %	不大于	1.0	1.5	2.0	3.0
机械杂质 %	不大于	1.5	2.0	2.5	2.5

三、气体燃料

锅炉用气体燃料分为天然气和人造煤气两大类。

天然气是碳氢化合物、硫化氢和某些惰性气体的混合物。天然气又分为气田天然气和油田天然气两类。

气田天然气是从地下气层中开采出来的，其主要成分是甲烷(CH_4)，按体积百分数大约占85~95%，其次还有乙烷(C_2H_6)等其他碳氢化合物。气田天然气的比重约为

0.5~0.7kg/Nm³。气田天然气从地下引出时，常具有很高的压力，便于直接输送。

油田天然气是从油井中开采石油时同时喷出的可燃气体，也称油气，其主要成分甲烷约占75~87%，其重度为0.6~0.8kg/Nm³。就我国的油田生产情况分析，平均每开采1.0t石油，大约可获得50Nm³油田天然气。

天然气是一种很好的燃料，可以远距离输送，开采成本也不高。天然气燃烧方便，燃烧完全。目前，我国除了在天然气产地附近外，天然气的使用还不普遍，随着我国石油化学工业的发展，其使用范围将会逐步扩大。

人工煤气的种类很多，用于锅炉燃烧的主要是高炉煤气和炼焦炉煤气。

高炉煤气是炼铁高炉的副产物，其中主要成分是一氧化碳，其重度约为1.3kg/Nm³，发热量很低，约为950~1150kcal/Nm³。高炉煤气中含有大量的灰尘，需要净化后才能使用。

炼焦煤气是冶金工业中炼焦的副产物，它含有大量的氢（约占40.0~61.0%）和甲烷（约占21~30%），杂质不多，发热量较高（可达3800kcal/Nm³），重度约为0.51kg/Nm³。从炼焦煤气中可以提炼出苯、焦油、氨等多种化工产品，因而它适于作为化工原料。

其他类型的气体燃料（如发生炉煤气等），很少在锅炉中燃用。

使用气体燃料应严格遵守有关的安全规程，防止引起爆炸和中毒等事故。

第二节 煤的成分分析

我国煤炭资源十分丰富，品种繁多。现在国家已规定我国的燃料应以煤为主，因此对于从事供热事业的设计、施工和运行管理人员，必须了解有关煤炭的基本知识。

煤的基本成分有碳（C）、氢（H）、硫（S）、氧（O）、氮（N）等元素和水分（W）、灰分（A），其中碳、氢和挥发性硫是可燃成分，其余的都是不可燃成分。应该指出，这些成分在煤炭中不是简单的机械混合，而是以极为复杂的化合物存在于煤中。

煤中的碳、氢、硫、氧、氮、水分、灰分，称为煤的元素分析成分。测定煤的元素分析成分需要比较复杂的仪器和设备，一般单位没有条件进行这项分析工作。为此，可以用煤的工业分析的方法，也就是测定煤中所含的水分（W）、挥发分（V）、固定碳（C）和灰分（A），水分、挥发分、固定碳和灰分称为煤的工业分析成分。煤的工业分析方法需用的仪器和设备比较简单，分析过程也较易掌握。

一、煤的元素分析

由于煤炭产地和品类的不同，其成分也不尽相同。下面着重介绍各元素分析成分在煤中所占的比例，以及对煤的性质的影响。

碳（C） 碳是煤中主要的可燃成分，1kg纯碳完全燃烧时放出8100kcal热量。质量好的煤，含碳量都比较高。碳的着火点较高，含碳量多的煤，着火和燃烧都比较困难，如无烟煤含碳多，着火燃烧都比较差。

氢（H） 氢也是煤中重要的可燃成分。1kg氢完全燃烧放出的热量大约是碳的4.2倍。由于煤中氢的含量较少，所以对煤的发热量的影响不是很大的。氢在煤中大多以碳氢化合物的形式存在，后者是挥发分中的主要成分，受热后即以气体的形式析出。挥发分比

较容易着火，容易点燃，但当燃烧不完全时，碳氢化合物容易析出碳黑而冒黑烟，污染环境，并使锅炉耗煤增多。

硫(S) 硫能燃烧发热，但放热较少，只及碳的30%左右。煤中的硫分为两类，即有机硫和无机硫。两类中一部分是可燃的，称为可燃硫，包含有机硫和硫化铁硫；另一部分是不可燃的，是以硫酸盐化合物的形式存在的，是灰渣的组成部分。在后面的有关公式中所指的硫都是可燃硫。可燃硫燃烧后生成的二氧化硫和三氧化硫与水蒸汽形成亚硫酸和硫酸，后者会腐蚀锅炉设备，并污染空气，因此，硫是一种有害的燃料成分。

氧(O)和氮(N) 氧和氮都不能燃烧，由于它们的存在，使燃料中可燃成分降低，因而降低了燃料燃烧时放出的热量。煤中含氮量不多，一般不超过1~2%。在大气压下，氮不氧化，在烟气中呈游离状态。煤中含氧量随煤的种类不同而变，变化范围较大。

水分(W) 水分是煤的主要杂质，水分不但不放热，在煤燃烧时还要吸热而汽化，带走一部分热量，还增加烟气体积。水分多的煤着火也困难。煤中的水分可分为内水分和外水分。内水分是吸附在煤内孔隙里的水分，比较稳定，内水分需要将煤加热后才会从煤中析出。外水分是受外界因素（如雨、雪、空气湿度）影响而变化的存在于煤粒表面的水分，外水分在空气中可以自然地风干。

灰分(A) 灰分是煤中不可燃烧的固体物质，它是由许多化合物组成的，其中有 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、 CaO 、 MgO 等矿物质。煤中灰分多，相应地可燃成分就降低了，也就使煤的发热量减少了。在煤的燃烧过程中，灰分还会使氧气与固体碳隔绝，因而影响固体碳的燃烧。由于灰的成分不同，其熔点也不一样。熔点过低的灰分会在受热面或炉排上结渣，影响传热和燃烧。灰分高的煤，增加了煤的运输费用。飞灰还对设备造成磨损，并且污染周围环境。因此，含灰分高的煤是劣质煤。

灰的熔化温度可以在实验室中测得。将灰制成底边为7mm的等边三角形，高为20mm的锥体，放在电炉内逐渐加热。当灰锥顶端开始变圆或倾斜的温度称为变形温度，见图2-1a。继续加热灰锥直到锥顶弯垂到锥底或瘫落成球形时的温度称为软化温度，见图2-1b。再继续加热直到锥体熔化成液体并能沿底面自由流动时的温度，称为熔化温度或灰的熔点，见图2-1c。

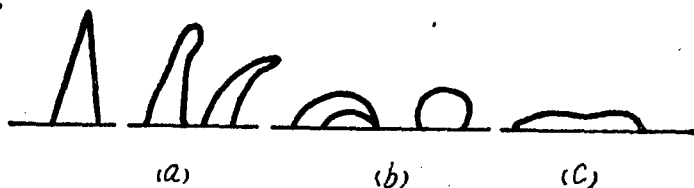


图 2-1 灰的熔化温度的测定

灰的熔化温度一般在1100~1600°C之间，熔化温度大于1425°C的灰分称为难熔灰分，熔化温度小于1200°C的灰分是易熔灰分。

现代锅炉的炉膛温度几乎都超过各种煤的灰分的熔点，为了不使熔化的灰在温度较低的炉墙上和对流管束上结渣，在炉膛四周布置了水冷壁管，靠着水冷壁管的吸热，使灰分碰到炉墙前就冷却到软化温度以下，并且使烟气离开炉膛时的温度就降低到低于软化温度，通常温度相差50~100°C，以防止对流管束上结渣。

上述七种成分在各种煤中所占的比例差别很大，所以各种煤的性质也有很大的区别。

煤的元素分析成分是用重量百分率来表示的。

运入锅炉燃烧又未经过任何处理的煤，称为工作燃料。按重量百分数计的工作燃料的元素分析可以写成：

$$C^g + H^g + S^g + O^g + N^g + W^g + A^g = 100\% \quad (2-1)$$

式中角标“g”表示工作质的燃料，而 C^g 称为工作质含碳量、 H^g 称为工作质含氢量…… A^g 称为工作质灰分，等等。

由于工作燃料是炉前即将燃用的燃料，对于煤来说，煤中含的水分和灰分随着开采、运输、贮存条件的不同而变化很大，而同一种煤的其他成分的绝对含量是不变的，因而采用燃料工作质的组成式，在科学研究上就不够确切，所以在实验分析上燃料还应该采用其他的组成式来表示。

如将煤磨碎又经过干燥，达到可以进行实验室分析测定成分的状态，也就是燃料失去外水分(W_w)，只含有内水分(W_n)的各成分分析，称为分析质组成，并改用角标“f”表示，燃料的分析质元素分析式为：

$$C^f + H^f + S^f + O^f + N^f + A^f + W_n^f = 100\% \quad (2-2)$$

燃料失去全部水分的各元素成分分析，称为干燥质元素分析，用角标“z”表示，可写成：

$$C^z + H^z + S^z + O^z + N^z + A^z = 100\% \quad (2-3)$$

燃料除去水分和灰分后的成分分析，称为可燃质元素分析，用角标“r”表示，可写成下面的表达式：

$$C^r + H^r + S^r + O^r + N^r = 100\% \quad (2-4)$$

煤的工作质、分析质、干燥质和可燃质的表示方法，各有其用途，根据不同的情况来选用。如对于锅炉的设计计算和运行，就要用工作质成分来计算和分析比较；为了说明燃料的特性，就用比较稳定的可燃质成分。

在由一种质换算成另一种质时，可采用表2-3的换算系数。

燃料分析的换算系数

表 2-3

已 知 质	所 求 质			
	工 作 质	分 析 质	干 燥 质	可 燃 质
工 作 质	1	$\frac{100 - W^f}{100 - W^g}$	$\frac{100}{100 - W^g}$	$\frac{100}{100 - W^g - A^g}$
分 析 质	$\frac{100 - W^g}{100 - W^f}$	1	$\frac{100}{100 - W^f}$	$\frac{100}{100 - W^f - A^f}$
干 燥 质	$\frac{100 - W^g}{100}$	$\frac{100 - W^f}{100}$	1	—
可 燃 质	$\frac{100 - W^g - A^g}{100}$	$\frac{100 - W^f - A^f}{100}$	$\frac{100 - A^g}{100}$	1

二、煤的工业分析

煤的工业分析成分包括水分(W)、灰分(A)、挥发分(V)和固定碳(C)。

水分和灰分如元素分析中所介绍的，下面介绍挥发分和固定碳在煤中的组成及对煤的

性质的影响。

取一定量的煤，破碎成1~3mm的颗粒，放在干燥的空气中自然风干，这样煤中的外水分就会失去，将失去外水分的煤颗粒再磨碎，放在102~105°C的条件下干燥，这时煤就失去剩下的水分（内水分）。然后，把失去全部水分的煤放在隔绝空气的条件下继续加热到850°C，这时煤就放出由氢、一氧化碳和碳氢化合物组成的气体，这些气体称为煤的挥发分，用符号V表示。

燃料的挥发分大小是燃料的重要特征，对锅炉的运行有很大的影响。挥发分的含量和析出温度随着煤种的不同而异。如烟煤的挥发分含量较高，在170°C的温度条件下就开始析出挥发分；而无烟煤的挥发分含量就很少，要加热到400°C时才开始析出挥发分。

挥发分很容易着火，所以挥发分高的煤，很容易点燃，燃烧过程比较稳定，并且燃烧完全。由于挥发分是气态可燃物，燃烧是在炉膛内进行的，因此，炉膛应有足够大小的空间，以保证挥发分的完全燃烧。如炉膛空间过小，挥发分未烧尽即随烟气排走，会造成燃料的浪费。此外，也应指明，挥发分高的煤，其发热量不一定高。

失去全部水分和挥发分后剩下的固态物质称为焦炭，它是由固定碳和灰分组成的。固定碳是煤中除去一氧化碳和碳氢化合物后的元素碳，因此固定碳比煤所含的总碳量少。

固定碳比挥发分难以引燃和烧透。对于固定碳多的煤，如无烟煤，应保证炉膛内有足够高的温度，以创造良好的燃烧条件。一般说来，固定碳含量高的煤，相应地其发热量也比较高。

图2-2表示煤的元素分析成分和工业分析成分的组成情况，各种成分的大致比例和相互关系，也可由图中看出。

煤的挥发分析出后剩下的焦炭的物理特性，随煤种的不同而有很大的差异。有些焦炭呈粉末状，有些是松散的焦粒，有些则是坚硬的焦块，这就是煤的焦结性。因此，煤的焦结性可以根据焦炭的外形和强度来判别，呈粉末状的是不焦结煤，呈坚硬焦块的是强焦结性煤，两者之间的为弱焦结性煤。

煤的焦结性对锅炉的正常运行有很大影响。如不焦结的煤形成的焦末易被烟气带走或漏到炉排下面去，强焦结性的煤常在炉排上形成坚硬的焦块，使通风受阻，造成燃料的不完全燃烧，对于层燃炉是不适宜的。在实际运行中可以将不焦结煤和强焦结煤按一定的比例混合燃用，或采用适合的燃烧设备，如选用往复推动炉排来燃烧强焦结性的煤。

由此可见，煤的挥发分和固定碳的特性，除了用来判别煤的性质、分类和用途外，也是选择燃烧设备和改进燃烧方法应考虑的因素。

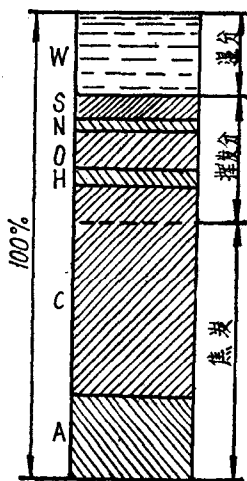


图 2-2 煤的元素组成

第三节 煤的分类及发热量

根据煤的可燃质挥发分（V_r）的多少，煤可分为三大类，即无烟煤、烟煤和褐煤。此外，还有一种在工业锅炉上很少燃用的泥煤。