

691

T/K 228-65
L72

工业锅炉技术标准规范应用大全

刘弘睿 主编



A0919380

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

工业锅炉技术标准规范应用大全/刘弘睿主编.
—北京:中国建筑工业出版社,2000
ISBN 7-112-04092-2

I. 工… II. 刘… III. ①工业锅炉-标准-中国
②工业锅炉-规范-中国 IV. TK229-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 54812 号

本书共分 4 篇 24 章,主要内容有:工业锅炉基础知识及理论、工业锅炉安装、锅炉电气仪表自动化系统的安装与调试、工业锅炉运行管理。书末还附有相关法规及规范选编。本书内容丰富,系统性强,是广大工程技术人员必备的工具书。

本书可供工业锅炉管理、安装施工、监理、监督及运行人员使用,也可供大专院校师生及相关专业人员参考。

* * *

封面题字 宣祥鏊
责任编辑 胡明安

工业锅炉技术标准规范应用大全

刘弘睿 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京市彩桥印刷厂印刷

*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:64 $\frac{3}{4}$ 字数:1608 千字

2000 年 3 月第一版 2000 年 3 月第一次印刷

印数:1—3,500 册 定价:86.00 元

ISBN 7-112-04092-2

TU·3212(9569)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

随着我国社会主义建设事业的高速发展,工业锅炉在各个领域的应用越来越广泛,其性能及安装工艺、运行管理水平越来越高。国家及各有关部门对工业锅炉及辅助设备、设施的规定、标准、规范也越来越严格。工业锅炉是能源消耗、产生大气污染、事关生产、生活和安全的重要设备。工业锅炉安装质量、运行管理水平、运行效率的提高及如何节能、怎样搞好环境保护直接影响到我国的经济发展与建设。据统计,我国 1997 年共有锅炉 65 万台,年耗煤量达 6 亿 t。其耗煤量、烟尘和二氧化碳及其他有害物质排放量约占全国各项总量的 1/3 强。因此,进一步提高工业锅炉的安装质量、增进工业锅炉的运行管理水平、加强工业锅炉的节能及环境保护措施,对国家甚至对整个人类都有着举足轻重的积极作用。

工业锅炉及辅助系统作为安全性能要求极高的设备,其设计、制造、安装、调试、运行等,国家都有严格的要求。为了保证工业锅炉各个环节的质量,国家各部委及地方和企业相应地制定了一些规程和标准。但这些规范、规程有些方面比较零散,有些标准尚未统一,使得在实际工作中,有些工程技术管理人员总有无所适从的感觉。因此,本人整理了近年来国家及各部委有关方面的标准、规范、规程,本书编委会就如何应用这些标准、规范、规程编写了本书,并将相关内容编写成篇。其目的是尽可能方便有关人员掌握与运用。

环境、资源与人口问题已被国际社会公认为影响 21 世纪可持续发展的三大关键问题。改革开放以来我国的经济高速发展,污染物排放量也迅速增加,环境污染及能源的低效高耗已成为制约我国经济与社会发展、提高人民生活与健康水平的重大因素,本书对工业锅炉涉及这方面的问题进行了研究与探讨,并将工业锅炉有关设备、设计及技术方面有关内容展现给广大工程技术人员,以助其思考及应用。

本书对目前国内外工业锅炉方面的新技术、新理论、新设备及新发展进行了研究,并就工业锅炉的一些原理由浅入深地进行了系统地介绍和讲解。其目的是为一些人的领导决策、确定方案,选型及审查设计提供一些基本而又实用的知识。使得领导人员能尽快掌握一些应具备的基本知识,知道哪些是关键问题,应注意或避免出现哪些问题等。以便正确决策。

近年来,国内外的工业锅炉及辅助系统安装工艺水平在不断提高与发展,本书力求尽可能地将新的施工工艺介绍给广大读者,其目的是为进一步提高国内工业锅炉方面的安装水平及施工质量,特别是国内一些大型或特大型安装企业独创或发明的施工安装工艺,诸如在锅炉本体及焊接工艺等方面的一些先进独到之处介绍给广大的工程技术人员。

综上所述,本书为一本集工业锅炉理论、选型、安装、水处理、运行、自控及计算机应用、节能与环保、及事故分析与处理等诸项内容为一体的大型综合性工具书。目前国内尚缺一本适合于锅炉用户、工程技术人员和管理人员的综合性书籍。本书如能为填补这方面的空白而感到欣慰。本书内容丰富,系统性强,是广大工程技术人员必备的工具书。本书可供工业锅炉管理、安装施工、监理、监督及运行等方面人员使用,也可供大中专师生及相关人员参

考,也可作为相关专业的培训教材。

本书在编写过程中得到了一些大专院校、科研单位及设计单位和施工安装方面有关专家与领导的大力支持与帮助。特别是中国建筑工程出版社的胡明安先生对本书的编辑投入了极大的精力,并在本书的编写过程中给予了极大的帮助与支持。北京锅炉冷冻安装公司的总工程师康强先生也对本书提出了许多建设性意见。本编委会在此表示衷心地感谢。

《工业锅炉技术标准规范应用大全》工作量很大,参与人员较多,加之编写时间十分仓促,我们的理论、技术水平和经验亦有所限。书中疏漏甚至谬误之处在所难免,恳请亲爱的读者能随时予以赐教。

主编:刘弘睿

1999年9月

第一篇

工业锅炉基础知识及理论

第1章 工业锅炉概述

1.1 锅炉的工作过程及设备组成

1.1.1 锅炉的功用及工作过程

锅炉的功用是使燃料燃烧产生热能,利用产生的热能加热水,使水变成符合参数要求的蒸汽或热水,供生产、供暖或生活用。锅炉的工作包括三个同时进行着的过程:燃料的燃烧过程;烟气或火焰向工质(水或汽)的传热过程;水的受热和汽化过程。

锅炉房也可以视为一个生产车间,水、燃料和空气(为燃料燃烧提供氧气)是原料;蒸汽或热水是产品;锅炉房设备是生产设备。与一般生产车间不同之处,就是锅炉房的产品通常是不贮存的,而是需要多少就生产多少。因此,锅炉运行要经常调节,工况也在不断变化,要能安全经济运行,必需要掌握运行管理的知识与技能。

1.1.2 工业锅炉的范围

锅炉按蒸汽压力区分为:低压锅炉(蒸汽压力 $\leq 2.5\text{MPa}$); 3.8MPa 的锅炉为中压锅炉; 9.8MPa 的锅炉为高压锅炉; 13.7MPa 的锅炉为超高压锅炉; 16.7MPa 的为亚临界压力锅炉。

原来仅将低压锅炉划为工业锅炉的范围,由劳动部门监督管理,这类锅炉又称供热锅炉,主要生产工艺用汽或供暖与生活用汽或热水,其系列种类繁多。蒸汽锅炉参数系列,额定出口蒸汽压力 $0.4\sim 2.5\text{MPa}$;额定蒸发量 $0.1\sim 65\text{t/h}$ (见表1-1)。过去实际生产的锅炉其额定蒸发量一般都在 35t/h 以下,基本上燃煤锅炉都为层燃炉,尤以链条炉排占最主要的地位。其水处理、除氧、除尘等设备的种类也繁多,水处理一般仅要求软化或软化、除碱。

蒸汽锅炉参数系列

表 1-1

额定蒸发量 ^① (t/h)	额 定 出 口 蒸 汽 压 力 (MPa) (表压)										
	0.4	0.7	1.0	1.25		1.6		2.5			
	额 定 出 口 蒸 汽 温 度 (℃)										
	饱和	饱和	饱和	饱和	250	350	饱和	350	饱和	350	400
0.1	△										
0.2	△										
0.5	△	△									
1	△	△	△								
2		△	△	△			△				
4		△	△	△			△		△		
6			△	△	△	△	△	△	△		
8			△	△	△	△	△	△	△		
10			△	△	△	△	△	△	△	△	△
15				△	△	△	△	△	△	△	△

续表

额定蒸发量 ^① (t/h)	额 定 出 口 蒸 汽 压 力 (MPa) (表压)										
	0.4	0.7	1.0	1.25		1.6		2.5			
	额 定 出 口 蒸 汽 温 度 (℃)										
	饱和	饱和	饱和	饱和	250	350	饱和	350	饱和	350	400
20				△		△	△	△	△	△	△
35				△			△	△	△	△	△
65										△	△

① 表中的额定蒸发量,对于小于 6t/h 的饱和蒸汽锅炉是 20℃ 给水温度情况下锅炉的额定蒸发量,对于大于或等于 6t/h 的饱和蒸汽锅炉及过热蒸汽锅炉是 105℃ 给水温度情况下锅炉的额定蒸发量。

随着生活条件要求的提高和城镇集中供热的发展,逐渐形成热水锅炉的参数系列,其允许工作压力 0.4~2.5MPa;供水温度 95~180℃;额定热功率 0.1~116.0MW(见表 1-2)。目前已生产使用的国产热水锅炉,其最大额定热功率为 29MW,其燃烧设备,以及水处理、除氧和除尘设备的采用与低压蒸汽锅炉相似。热功率大于 29MW 的国产热水锅炉,目前很多锅炉厂都在研制中,其燃烧设备、水循环方式及辅助设备的选用等问题,将在第二篇第 6 章中阐述。

热水锅炉参数系列

表 1-2

额定热功率 (MW)	额 定 出 口 / 进 口 水 温 度 (℃)									
	95/70			115/70		130/70		150/90		180/110
	允 许 工 作 压 力 (MPa) (表压)									
	0.4	0.7	1.0	0.7	1.0	1.0	1.25	1.25	1.6	2.5
0.1	△									
0.2	△									
0.35	△	△								
0.7	△	△		△						
1.4	△	△		△						
2.8	△	△	△	△	△	△	△	△		
4.2		△	△	△	△	△	△	△		
7.0		△	△	△	△	△	△	△		
10.5					△		△	△		
14.0					△		△	△	△	
29.0							△	△	△	△
46.0									△	△
58.0									△	△
116.0									△	△

原来蒸汽压力大于 2.5MPa 的锅炉都称为电站锅炉,出口的蒸汽均为过热蒸汽,其额定蒸发量与发电机组的容量配套,系列比较单纯。电站锅炉由电业部门监督管理。但近年来发电厂已逐渐淘汰 ≤ 2.5 MW 的小型机组和相应的中压锅炉,但在企业的小型自备热电站,或城镇供热部门建立的小型热电站,仍采用小型发电机组和中压锅炉。中压锅炉的监督管理有逐步由劳动部门监督管理的趋向。

中压锅炉的蒸汽压力为 3.8MPa;蒸汽温度为 450℃;给水温度有 150℃ 及 172℃ 两种;额定蒸发量分为三档:35t/h 的与 6MW 机组配套;65t/h 和 75t/h 的与 12MW 机组配套;120t/h 和 130t/h 的与 25MW 机组配套。中压锅炉多用煤粉炉,给水需脱盐,多采用热力除

13;烟气中的飞灰由除尘器 6 收集落至灰车 13。灰车将灰渣及飞灰送至贮灰场。图中锅炉房外的输煤及除灰渣设备未表示。

冷空气由送风机 9 送经空气预热器 5,加热成为热空气。热空气由链条炉排 2 下穿过炉排进入炉膛 14,炉膛四周均布有水冷壁。烟气由炉膛 14,逐次流经过热器 3、对流管束 15、省煤器 4 及空气预热器 5。烟气再流过除尘器 6 除尘后,流经引风机 7 及烟囱 8 排至大气。

给水由水处理间(水处理设备在图 1-1 中未表示)经给水泵 10 流经省煤器 4 再送至锅筒 1,然后一路由下锅筒流向炉膛 14 四周的水冷壁的下集箱,流至各水冷壁管在管内受热形成辐射受热面,汽水混合物再流经水冷壁上集箱而流回锅筒 1。在锅筒 1 中汽水分离,水再经下锅筒而进入水冷壁形成水循环。另一路水流经对流管束 15 中水温较低的管束流至下锅筒,再经水温较高并形成汽水混合物的管束流回锅筒 1,而形成对流受热面,并构成水循环。汽水混合物同样在锅筒 1 中分离。锅筒 1 的上半部为分离出来的饱和蒸汽,饱和蒸汽再经过热器 3 成为过热蒸汽送至分汽缸(图 1-1 中未表示),分送至各用户。

图 1-1 中锅炉安全附件,炉墙、钢架和平台扶梯,仪表自控系统,供热系统均未表示。

本章仅就锅炉燃料、炉子、汽锅方面的基础知识与理论加以阐述。锅炉安全附件将在第二篇第 11 章中阐述;锅炉炉墙、钢架及平台扶梯将在第二篇第 8 章和 15 章中阐述。各辅助设备系统将分别在第一篇第 2~5 章中阐述。

1.2 锅 炉 燃 料

1.2.1 锅炉常用燃料

原则上说,所有的燃料都可用于锅炉,但从技术与经济出发,目前最常用的固体燃料是煤,在特殊地区或企业,也有用煤矸石、油母页岩、木柴、稻糠和甘蔗渣者。常用的液体燃料为重油、渣油和轻柴油。常用的气体燃料为天然气、焦炉煤气及高炉煤气,个别城市的城市煤气过剩,也有使用城市煤气的小型锅炉。

我国以煤为主的能源政策没有改变,但是由于国际和国内对环境和生态保护的要求越来越高;改革开放,市场情况的变化;以及近年来天然气的发现与开采,实际上区域能源结构的调整和优化已在进行。城市小型锅炉采用油或气为燃料的日渐增多,但大、中型工业锅炉仍以燃煤为主。

1.2.2 煤的成分和发热量

煤除了水分(W),灰分(A)外,其元素成分为碳(C)、氢(H)、硫(S)、氧(O)、氮(N)。燃煤是利用煤中可燃物质完全烧尽而发出的热量,称为发热量,以千焦耳每千克表示。煤中灰分和水份越多,可燃物质越少,发热量越低。而且,灰分越多,排灰量大,飞灰多易发生磨损及影响环境;水份越多,越难以着火,并使烟气体积越大,烟气带走的热损失也越大。因此,水份及灰分越少越好。

其余五种元素习惯上称为“可燃成分”,实际上真正可燃的是 C、H 及 S 三种成分。O 只助燃,N 不参加燃烧。C、H 越多发热量越高。S 虽然也能燃烧发热,但由于其燃烧产物 SO_2 污染环境,故也希望越少越好。

立即进入锅炉中燃烧的煤称为炉前用煤。以炉前用煤为基础表示各种成分的含量(以

百分比表示)的称为“应用基”,在代表成分符号的右上角注上“y”,则:

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

煤中水分由外水分(W_w)和内水分(W_n)组成,前者是机械附着和润湿在燃料颗粒表面及大毛细孔中的水分,它随外界环境的改变起很大的变化,例如同样的煤贮存在雨淋的场地,和贮存时受日光曝晒,其外水分相差十分悬殊。后者是吸附和凝聚在颗粒的毛细孔中的水分,它基本固定不变。为了使分析出煤质成分固定,不受外水分变化的影响,分析成分时采用已风干外水分的煤样进行,其结果称为“分析基”,注角以“f”表示:

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

为了比较煤质也常用外水分和内水分都烘干的煤样来换算,称为“干燥基”注角以“g”表示。或水分和灰分都不计入来换算,称为“可燃基”,注角以“r”表示,则:

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

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

若“可燃成分”不进行元素分析,而只测出煤受热后,能挥发成气体在空间燃烧的成分(称为“挥发分”,以“V”表示),和剩留在炉排上燃烧的固体可燃物(称为“固定碳”,以“F.C”表示)的含量,称为“工业分析”。煤工业分析的应用基成分为:

$$V^y + F.C^y + W^y + A^y = 100\%$$

工业分析成分,也可用“分析基”、“干燥基”或“可燃基”来表示。元素分析与工业分析成分间的关系如下:

		“可燃成分”					
元素分析	水分 W	氮 N	氧 O	硫 S	氢 H	碳 C	灰分 A
工业分析	水分 W	挥发分 V			固定碳 F.C		灰分 A
					焦 碳		

根据煤或其它燃料燃烧生成的烟气中水的状态不同,发热量分为高位发热量(Q_{gw})和低位发热量(Q_{dw})两种。烟气中的水都是水蒸气状态存在时,1kg 燃料完全燃烧所产生的热量称为低位发热量;若烟气中的水都由水蒸气凝结成为水时,称为高位发热量,其单位均为千焦耳每千克。很显然高位发热量和低位发热量之差,就是烟气中的水由水蒸气全凝结为水时的汽化潜热。实际上锅炉的排烟温度一般在 $160 \sim 200^\circ\text{C}$,烟气中的水处于水蒸气状态,因此我国发热量的基准,原则上以燃料的应用基低位发热量(Q_{dw}^y)为基准。同样,发热量除有应用基外,也有分析基、干燥基及可燃基。为了方便对比计算,将 $Q_{dw}^y = 29308\text{kJ/kg}$ (即 7000kcal/kg)的煤称为标准煤。

除了煤的成分和发热量之外,煤的焦结性和灰的熔点也是煤燃烧特性的两个主要指标。灰的熔点高于 1425°C 的称为难熔性灰;在 $1200 \sim 1425^\circ\text{C}$ 之间的灰称为可熔性灰;熔点低于 1200°C 的灰称为易熔性灰。

1.2.3 煤种的分类和代表性煤种

随着煤在地下形成年代的增长,其碳化程度也逐年加深,所含水分及挥发分随之减少,而碳的含量则逐渐增大。按碳化年代的增长为序,锅炉常用的主要煤种为:

一、褐煤

外观棕褐色,质地松脆,易风化和自燃,难于贮存。 V^r 可高达40%以上,易着火。吸水

能力强,水分可达 20% 或更高。含杂质多,发热量不高, $Q_{dw}^y < 16750 \text{ kJ/kg}$ 。

二、烟煤

外观黑色,质地松软,具有一定光泽。碳及挥发分含量都较高, $V^r > 10\% \sim 40\%$,灰分和水分含量一般较少,发热量较高,易于着火和燃烧。烟煤包括的范围较广,部分高灰分、高水分发热量较低($Q_{dw}^y \leq 15490 \text{ kJ/kg}$)的烟煤称为劣质烟煤,着火燃烧都较困难。

三、贫煤

煤的碳化程度低于无烟煤, $V^r > 10\% \sim 20\%$ 。与烟煤相比,较难以着火或燃烧。燃烧时火焰短,焦结性差。发热量介于一般烟煤和无烟煤之间。

四、无烟煤

灰黑色,有金属光泽,质地坚硬,不易研磨。碳化程度最高,碳含量高,挥发分含量很少, $V^r \leq 10\%$,发热量比较高,大多 $Q_{dw}^y = 20930 \sim 25120 \text{ kJ/kg}$ 。着火困难,不易燃尽烧透,焦渣呈粉末状,无粘结性,燃烧时无烟。

除了上述主要煤种,我国用作锅炉燃料的还有泥煤、煤矸石和石煤。泥煤是一种棕褐色的不均匀可燃物质,水分极高一般可达 85%~90%。泥煤埋藏浅,易开采,自然风干后可作锅炉燃料,但发热量低,一般 $Q_{dw}^y = 8370 \sim 10470 \text{ kJ/kg}$ 。煤矸石是煤层中可燃物含量很少的夹石,石煤是一种形如顽石的炭页岩。煤矸石和石煤的灰分含量都在 50% 以上,发热量很低,一般 $Q_{dw}^y = 4000 \sim 11300 \text{ kJ/kg}$,通常只有采用沸腾燃烧方式才能利用。

根据我国工业锅炉用煤情况,上海工业锅炉研究所提出我国工业锅炉煤种分类表(表 1-3),及作为设计锅炉计算依据的设计用代表性煤种(表 1-4)。

工业锅炉煤种分类表

表 1-3

煤 种		挥发物 $V^r(\%)$	应用基低位发热量 $Q_{dw}^y(\text{kJ/kg})$
石煤、煤矸石	I		≤ 5440
	II		5440~8370
	III		>8370~11300
褐 煤		>40	8370~14650
无 烟 煤	I	6~10	>14650~20930
	II	<5	>20930
	III	5~10	>20930
贫 煤		>10~20	≥ 18840
烟 煤	I	≥ 20	>11300~15490
	II	≥ 20	>15490~19680
	III	≥ 20	>19680

设计用代表性煤种

表 1-4

煤 种		代表性设计用燃料	$V^r(\%)$	$W^r(\%)$	$A^r(\%)$	$C^r(\%)$	$H^r(\%)$	$S^r(\%)$	$O^r(\%)$	$N^r(\%)$	$Q_{dw}^y(\text{kJ/kg})$
石煤、煤矸石	I	湖南株洲煤矸石	45.03	8.82	67.10	14.80	1.19	1.50	5.30	0.29	5033
	II	安徽淮北煤矸石	14.74	3.90	65.79	19.49	1.42	0.69	8.34	0.37	6950
	III	浙江安仁石煤	8.05	4.13	58.04	28.04	0.62	3.57	2.73	2.87	9207
褐 煤		黑龙江扎赛诺尔	43.75	34.63	17.02	34.65	2.34	0.31	10.48	0.57	12288

续表

煤 种	代表性设计用燃料	V ^r (%)	W ^r (%)	A ^r (%)	C ^r (%)	H ^r (%)	S ^r (%)	O ^r (%)	N ^r (%)	Q _{dw} ^r (kJ/kg)
无烟煤	I 京西安家滩	6.18	8.00	33.12	54.70	0.78	0.89	2.23	0.28	18187
	II 福建天湖山	2.84	9.80	13.98	74.15	1.19	0.15	0.59	0.14	25435
	III 山西阳泉三矿	7.85	8.00	19.02	65.65	2.64	0.51	3.19	0.99	24426
贫 煤	四川芙蓉	13.25	9.00	28.67	55.19	2.38	2.51	1.51	0.74	20901
烟 煤	I 吉林通化	21.91	10.50	43.10	38.46	2.16	0.81	4.65	0.52	13536
	II 山东良庄	38.50	9.00	32.48	46.55	3.06	1.94	6.11	0.83	17693
	III 安徽淮南	38.48	8.85	21.37	57.42	3.81	0.64	7.16	0.93	22211

1.2.4 液体燃料

中、大型工业锅炉所用的液体燃料主要是 200 号重油、100 号重油及渣油,重油是石油提炼汽油、煤油和柴油后的剩余物,而渣油是进一步提炼后的剩余物,它们的主要成分是碳和氢,按质量标准灰分不大于 0.3%,水分不大于 2.0%,机械杂质不大于 2.5%。发热量高 $Q_{dw}^y = 40600 \sim 43100 \text{ kJ/kg}$,通常定 $Q_{dw}^y = 41686 \text{ kJ/kg}$ (即 10000 kcal/kg) 的油称为标准油。重油贮存、输送及管理都很方便,不需要除渣设备。因此,不需要煤场、灰场及设置复杂的输煤除渣的机械设备等。而且燃烧易于自动化。但是:燃料价格较贵,运行费用较高;锅炉本体(含自控设备)价格较高;有些油含硫较多,按质量标准 100 号重油含硫不大于 2.0%,200 号重油不大于 3.0%。但应指出,由于重油中含氢较多,燃烧后生成大量水蒸汽,因此重油中所含硫分要比含等量硫分的煤对锅炉的腐蚀更为严重。

城市内小型油炉要燃用 0 号轻柴油,它对环境保护更为有利。按质量标准,硫分含量不大于 0.2%,灰分约等于 0.01%,水分及机械杂质都基本为零。但其价格比重油要贵很多。表 1-5 为目前我国拟定的设计用代表性燃油品种。

设计用代表性燃油品种

表 1-5

名 称	W ^y (%)	A ^y (%)	C ^y (%)	H ^y (%)	O ^y (%)	S ^y (%)	N ^y (%)	Q _{dw} ^y (kJ/kg)	相对密度
200 号 重 油	2	0.026	83.976	12.23	0.568	1	0.2	41858	0.92~1.01
100 号 重 油	1.05	0.05	82.5	12.5	1.91	1.5	0.49	40612	0.92~1.01
渣 油	0.4	0.03	86.17	12.35	0.31	0.26	0.48	41797	
0 号轻柴油	0	0.01	85.55	13.49	0.66	0.25	0.04	42915	

燃用所有的石油及其制品,都要了解其以下三个特性:

一、粘度

粘度表示油流动性的好坏,粘度越大流动性越差,对输送及雾化影响很大,常需先行加热。粘度常用恩氏粘度计测定,并用恩氏粘度(E_t)表示。恩氏粘度是 $t(^{\circ}\text{C})$ 时的油从恩氏粘度计中流出的时间与同体积 20°C 的蒸馏水流出时间的比值。例如:100 号重油 $E_{80} = 15.5$;200 号重油 $E_{80} = 27$,输送及雾化前都要加热。而 0 号轻柴 $E_{20} = 1.2 \sim 1.67$,流动性很好。

二、闪点与燃点

闪点是油升温,油面蒸发的油气增多,当油气和空气的混合物与明火接触,开始发生短暂的闪光(一闪即灭)时的油温。燃点比闪点温度略高,例如重油的燃点比闪点高 $10 \sim 30^{\circ}\text{C}$ 。闪点反映油的着火性能,对油贮存的安全性有关,油加热时其油温必须低于闪点。按质量标准 100 号重油的闪点(开口),不低于 120°C ,200 号重油不低于 130°C 。0 号轻柴油的闪点(闭口),不低于 65°C 。

三、凝固点

凝固点是油丧失流动性时的温度,对输送和贮存有关。按质量标准,100 号重油、200 号重油及 0 号轻柴油的凝固点分别为不高于 25°C 、 36°C 和 0°C 。

1.2.5 气体燃料

气体燃料有天然气、焦炉煤气、高炉煤气、发生炉煤气、液化石油气等。除有天然气源的城市,常用天然气为工业锅炉的燃料而外,其它气体燃料在工业锅炉采用较少。天然气及焦炉煤气属于优质燃料,它们都是重要的化工原料;焦炉煤气、高炉煤气是冶金企业的副产品,而且常用于冶金炉,在有剩余时才作为锅炉燃料;作为城市煤气的各种煤气,则更少用于作为锅炉燃料。气体燃料的计算都是对 1Nm^3 干气体而言,其成分组成一般按容积百分数表示,杂质含量用克每标准立方米表示、发热量用千焦每标准立方米表示。

天然气的主要成分是甲烷,含量可达 $80\% \sim 98\%$;其次是烷属于碳氢化合物,如乙烷 C_2H_6 及丙烷 C_3H_8 等,及少量硫化氢、氮、二氧化碳、氧及水分。发热量很高,一般 $Q_{\text{dw}}^{\text{y}} = 33490 \sim 37680\text{kJ}/\text{Nm}^3$ 。表 1-6 为锅炉设计用代表性天然气品种。

设计用代表性天然气品种

表 1-6

名 称	CO_2 (%)	CO (%)	CH_4 (%)	H_2 (%)	N_2 (%)	O_2 (%)	C_2H_6 (%)	H_2S (mg/Nm^3)	S (mg/Nm^3)	H_2O (mg/Nm^3)	Q_{dw}^{y} (kJ/kg)
四川纳溪天然气	0.5	0.1	95	1	1	0	2.4	400	100	0.2~2	35588

焦炉煤气含有大量的氢和甲烷,氢占 $46\% \sim 61\%$,甲烷占 $21\% \sim 30\%$,还含有少量的氮、二氧化碳和其它杂质。发热量约为 $Q_{\text{dw}}^{\text{y}} = 16300 \sim 17200\text{kJ}/\text{Nm}^3$ 。

高炉煤气的主要可燃成分是一氧化碳占 $20\% \sim 30\%$,氢气占 $5\% \sim 15\%$;含惰性气体较多,二氧化碳约占 $5\% \sim 15\%$,氮气高达 $45\% \sim 55\%$,所以其发热量较低,一般 $Q_{\text{dw}}^{\text{y}} = 4200 \sim 6300\text{kJ}/\text{Nm}^3$ 。高炉煤气中带有大量灰分,其含量可达 $60 \sim 80\text{g}/\text{Nm}^3$,而水蒸汽则通常是饱和的,在使用前需进行净化处理。有时高炉煤气与重油或煤粉掺合作为锅炉燃料。

城市煤气比较复杂,除用液化石油气外,常用人工煤气。人工煤气又分煤制气及油制气两大类,每类又有多种制气方法。原料不同,制气方法不同等多种因素影响,煤气组成是变化的,而且有时是两种煤气掺混后供应城市。大致情况是:液化石油气是石油炼制过程中的副产品,主要成分是丙烷和丁烷,发热量很高, $Q_{\text{dw}}^{\text{y}} = 83740 \sim 113040\text{kJ}/\text{Nm}^3$ 。煤制气中:干馏煤气,主要成分是甲烷和氢,发热量 $Q_{\text{dw}}^{\text{y}} = 16750 \sim 20900\text{kJ}/\text{Nm}^3$;气化煤气类的水煤气或发生炉煤气,主要成分是一氧化碳和氢,发热量很低 $Q_{\text{dw}}^{\text{y}} = 5440 \sim 10500\text{kJ}/\text{Nm}^3$;气化煤气中的压力气化煤气,主要成分为氢和甲烷, $Q_{\text{dw}}^{\text{y}} = 15070\text{kJ}/\text{Nm}^3$ 左右。油制气中:催化裂解气主要成分是氢、甲烷和一氧化碳, $Q_{\text{dw}}^{\text{y}} = 18840 \sim 23030\text{kJ}/\text{Nm}^3$;热裂解气,主要成分是甲

烷、乙烯和丙烯, $Q_{dw}^y = 41870 \text{ kJ/Nm}^3$ 左右。

1.3 燃料燃烧的基本概念

1.3.1 完全燃烧的要害

燃料中的可燃物质与空气中的氧,在一定温度下发生剧烈的化学反应,并发出光和热的现象称为燃烧。燃烧的三个基本条件是:有可燃物;有空气(氧气);达到使可燃物着火燃烧的温度。

要最大限度地利用燃料的热量,必须使燃料中的可燃物质全部烧完,也就是达到完全燃烧。完全燃烧必需同时具备以下四个要素:

- (1) 必需的燃烧温度。不仅使燃料达到着火点可以着火,而且要保持一定的温度,能连续燃烧直至燃尽;
- (2) 足够的空气量。保证完全燃烧所需氧量。关于空气量以下还要讨论;
- (3) 良好的混合。虽有足够的空气量如果空气和燃料没有良好的混合,仍不能完全燃烧;
- (4) 充分的燃烧时间。燃烧有一定的速度,要使可燃物质能完全燃尽,则必需要有充分的时间。

这四个要素在燃烧不同的阶段中,将由其中一个或两个要素起主要作用。

1.3.2 理论空气量和实际空气量

燃料完全燃烧所需要的氧气的量,可以从燃料中各种成分与氧化合所需的氧气量来计算。以煤为例,煤中可燃元素为碳、氢、硫,完全燃烧碳全部成为 CO_2 ; 氢全部成为 H_2O ; 硫则成为 SO_2 。它们的化学反应式如下:



从(1-1)式可得:12kgC 完全燃烧时需要 $22.4 \text{ Nm}^3 \text{ O}_2$, 生成 $22.4 \text{ Nm}^3 \text{ CO}_2$ 。即每公斤碳完全燃烧需要 1.866 Nm^3 氧气,生成 1.866 Nm^3 的 CO_2 。

每 1kg 应用基的煤含碳为 $\frac{C^y}{100} (\text{kg})$, 因此,每公斤煤其中碳的燃烧需要氧气为 $1.866 \frac{C^y}{100} (\text{Nm}^3)$ 。

同样方法可以求得每 1kg 应用基煤中氢、硫的燃烧所需要的氧分别为 $5.55 \frac{H^y}{100} (\text{Nm}^3)$ 及 $0.7 \frac{S^y}{100} (\text{Nm}^3)$ 。则每公斤煤燃烧所需氧量为: $1.866 \frac{C^y}{100} + 5.55 \frac{H^y}{100} + 0.7 \frac{S^y}{100} (\text{Nm}^3)$ 。

但每公斤煤含 $\frac{O^y}{100} (\text{kg})$ 氧或 $0.7 \frac{O^y}{100} (\text{Nm}^3)$ 氧,故每公斤煤燃烧需外界供给的氧,用 $V_{\text{O}_2}^K$ 表示,则:

$$V_{\text{O}_2}^K = 1.866 \frac{C^y}{100} + 5.55 \frac{H^y}{100} + 0.7 \frac{S^y}{100} - 0.7 \frac{O^y}{100} (\text{Nm}^3) \quad (1-4)$$

空气中氧的体积百分比为 21%, 故每 kg 煤完全燃烧需供空气量(V_k^0)为:

$$\begin{aligned} V_k^0 &= \frac{1}{0.21} \left(1.866 \frac{C^y}{100} + 5.55 \frac{H^y}{100} + 0.7 \frac{S^y}{100} - 0.7 \frac{O^y}{100} \right) \\ &= 0.0889(C^y + 0.375S^y) + 0.265H^y - 0.0333O^y (\text{Nm}^3/\text{kg}) \end{aligned} \quad (1-5)$$

如上所述, 按燃料中各可燃元素氧化的化学方程式计算出所需供给的氧量, 再从空气中氧的体积占 21% 的关系, 求出每公斤燃料完全燃烧所需供给的空气量, 即称为理论空气量(V_k^0)。

燃料在锅炉设备中燃烧, 送入的空气不可能做到与燃料理想的混合, 为了使燃料在炉内尽可能燃烧完全, 实际供入的空气量称为实际空气量(以 V_k 表示)必定要大于理论空气量。

1.3.3 过剩空气系数

实际空气量一般都大于理论空气量, 两者之差称为过剩空气, 或过量空气。而实际空气量与理论空气量之比称为过剩空气系数, 常以 α 表示。

$$\text{过剩空气系数}(\alpha) = \frac{\text{实际空气量}}{\text{理论空气量}}$$

或

$$\alpha = \frac{V_k}{V_k^0} > 1$$

锅炉一般炉膛保持负压, 锅炉内烟气流道及离开锅炉后的烟道内, 烟气也都是负压。因此在炉墙、烟道以及设备的不严密处, 都由外部向锅炉或烟道内漏入空气。燃料成分确定后, 理论空气量可以计算出来, 它是定值。但因有空气漏入, 锅炉及烟道不同部位, 其实际空气量并不相同。由炉膛经对流受热、烟道直至烟囱, 越向后实际空气量越大, α 值也越大。例如: 炉膛出口处的实际空气量等于由炉排下送入的实际空气量, 加上由炉膛四周炉墙漏入的空气量。这些漏入的空气, 燃料燃烧时可能被利用, 但是烟气流出炉膛后外界漏入的空气, 由于烟温已经较低, 燃料已不再燃烧, 所以漏入的空气对燃料燃烧已不起作用, 而只能增加烟气体积、降低烟气温度有害而无利。

α 可以通过各处的烟气分析结果而计算出来。常测锅炉排烟处的 α (常以 α_{py} 表示) 和炉膛出口处 α (常以 α_1'' 表示)。 α_{py} 常用于锅炉热平衡计算时求排烟热损失 (详见第四篇第 24 章); 而 α_1'' 常用以评定锅炉运行工况。

α_1'' 越大, 送入空气越多, 对达到完全燃烧似乎有利。但送入空气越多, 烟气体积越多, 排烟热损失也越大。而且送入空气过多, 还会使炉温降低而不利于燃烧。因此, α_1'' 多大合适还有个优化问题, 一般需经过测试, 或按运行经验而定, 常推荐的值为: 链条炉 $\alpha_1'' = 1.3 \sim 1.5$; 粉煤炉 α_1'' 采用 1.2; 油炉及天然气炉 α_1'' 都采用 1.1。

1.4 层燃炉的燃烧及装置

1.4.1 层燃炉的燃烧过程

层燃炉的特点是都有炉排, 块煤在炉排上燃烧。层燃炉的燃烧过程可划分为三个阶段:

一、着火前的准备阶段

从煤加入炉中开始, 到煤着火前为止, 称为着火前准备阶段。在这个阶段中煤受热, 先