



工业锅炉设备

Copyright © 2013 DGUT. Permission required for reproduction or display.

任课教师: 张彦佐

Email: zhangyz@dgut.edu.cn

化学工程与能源技术学院
School of Chemical and Engineering and Energy Technology
东莞理工学院
DongGuan University of Technology





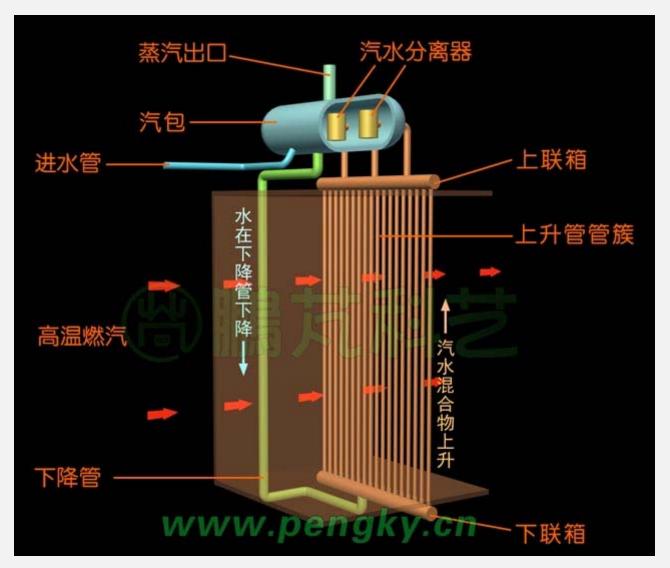




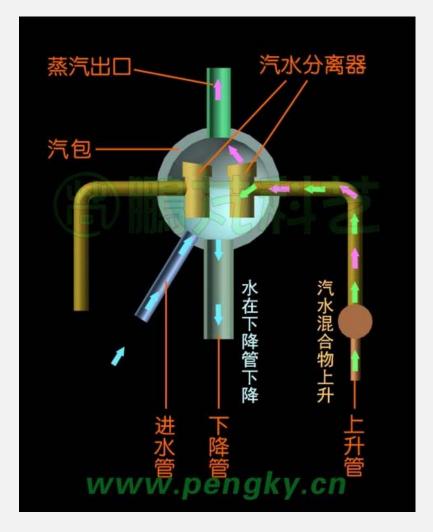
作业:

- 1. 工业锅炉设备包括哪些组成部分?
- 2. 简述锅炉的工作过程。
- 3. 解释以下锅炉型号代表的意义。

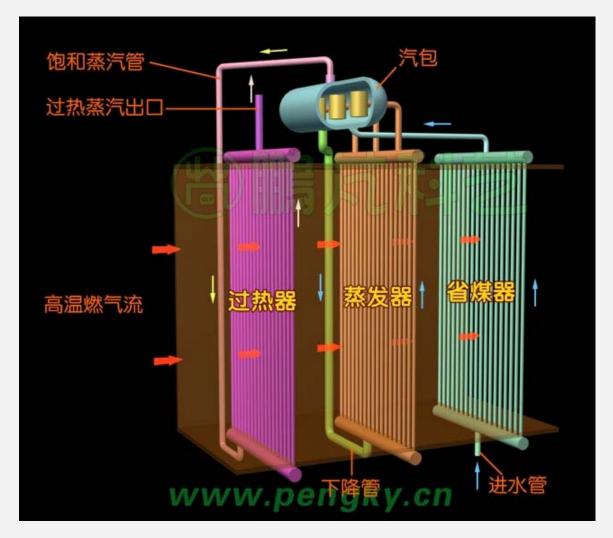














作业:

型 号	代表意义
LSS0.3-0.06-Y(Q)	
WNS0.7-0.7/95/70-Y	
DZL2-1.5-AⅡ	
SHL20-2.5/400-AⅢ	
CLHS0.8-95/70-Y	



第二章 锅炉燃料

- 2.1 煤的组成及特性
- 2.2 煤炭转化技术和型煤技术
- 2.3 燃料油的组成及特性
- 2.4 气体燃料的组成及特性

任务:煤的组成及特性、燃料油的组成及特性、气体燃料的组成及特性



燃料:由有机可燃成分、不可燃成分和水分等物质组成,在燃烧过程中能放出大量的热量。

- > 燃料种类: 煤、石油和天然气等
- > 燃料分类:
 - (1)按状态: 固体、气体、液体和核燃料
 - (2)按获得的方法:人工、天然燃料
 - (3)按用途:
 - >动力燃料:动力、电力用燃料
 - >工艺燃料: 冶金工业用燃料



第二章 锅炉燃料

- 2.1 煤的组成及特性
- 2.2 煤炭转化技术和型煤技术
- 2.3 燃料油的组成及特性
- 2.4 气体燃料的组成及特性



燃料的化学成分及含量,通常是通过元素分析法测定。煤的主要组成元素有:

 可燃的五种:
 碳(C)

 氢(H)
 硫(S)

 氧(O)
 七种成分

 氢(N)
 一称为元素分析

 不可燃的二种:
 灰分(A)

 水分(M)
 水分(M)



一、煤的元素分析

- 1. 碳(C): 是燃料的主要可燃元素。完全燃烧时能放出33,404kJ/kg的热量,是决定煤的发热量的主要元素。
- 2. 氢(H):是另一种重要的可燃元素,发热量高,燃点低,易着火。完全燃烧时能放出125,600kJ/kg的热量,煤中的氢含量不多,只占可燃成分的2~6%。



- 3. 氧(O)和氮(N):氧和氮是煤中的不可燃元素,但是习惯上把他们列入可燃成份。由于它们的存在,煤中的可燃碳和可燃氢的含量减少,降低了煤的发热量。在高温条件下,氮被氧化生成 NO_X ,随烟气排入大气,造成严重的环境污染。在各种煤中,氧的含量是 $1\%\sim2\%$,氮的含量在 $0.5\%\sim2.0\%$ 之间。
- 4. 硫(S): 是燃料中的有害元素,可燃,但发热量不大,仅9,050kJ/kg。 煤中硫的含量约在可燃成分的0.1~8.0%。煤中硫分为可燃硫和不可燃硫。可燃硫包括有机硫和硫铁矿硫,但硫的燃烧产物是SO₂和SO₃,而硫酸盐硫属于不可燃烧,成为灰分的一部分。



- 5. 灰分(A):是不可燃的矿物质,是燃料的杂质, 煤中灰分的含量占10~50%。
 - ▶减少了煤中可燃成分含量、降低了煤发热量;
 - >灰分增加了煤的开采、运输的工作量;
 - ▶灰分在煤的加工和磨制过程中,增加了电能的消耗和设备的磨损;
 - ▶灰分影响煤的着火、燃烧和燃尽,造成锅炉受热面结渣、积灰、磨损和腐蚀,使传热效果下降,降低了锅炉效率;
 - ▶飞灰随烟气排入大气,污染环境。



- 6. 水分(M): 是燃料中的主要杂质。固体燃料的水分分为: 外在水分、内在水分。煤中的水分少则2~5%, 多则50~60%。
 - ▶煤中水分↑,可燃物质↓,发热量相应↓。
 - 产在燃烧过程中,水分↑,需吸收的热量↑,蒸发时间↑,着火慢,燃烧困难。
 - ▶水分↑,烟气体积↑,烟道尺寸↑,通风设备容量↑, 投资↑和电耗↑。
 - ▶水分↑,烟气体积↑,排烟热损失↑,锅炉效率↓。



二、煤的分析基准

基准的表示方法:

新标准

旧标准

接收基(ar)

应用基(y)

四种: 空气干燥基(ad)

分析基(f)

干燥基(d)

干燥剂(g)

干燥无灰基(daf)

可燃基(r)

由于动力煤的特殊性,同一指标可用不同"基"来表示。"基"是表示化验结果是以什么状态下的煤样为基础而得出的,煤质分析中常用的"基"有空气干燥基(表示符号为ad,即air dried ba-sis)、干燥基(表示符号为d,即dried basis)、收到基(表示符号为ar,即as received basis)、干燥无灰基(daf,即dry ash free)。

(1) 接收基:以进入锅炉房准备燃烧的燃料为分析基准,即对炉前应用燃料取样。按质量百分数表示:

$$C_{ar} + H_{ar} + O_{ar} + N_{ar} + S_{ar} + A_{ar} + M_{ar} = 100\%$$

$$M_{ar} = M_{ar.inf} + M_{ar.f}$$

(2) **空气干燥基**:以在实验室条件下(**20℃**,相对湿度为**60%**)进行风干(即去掉外在水分)作为分析基准。

$$C_{ad}^{+} + H_{ad}^{+} + O_{ad}^{+} + N_{ad}^{+} + S_{ad}^{+} + A_{ad}^{+} + M_{ad}^{-} = 100\%$$



(3) 干燥基: 以去掉全水分的干燥燃料作为分析基准。

$$C_d^{+H}_d^{+O}_d^{+N}_d^{+S}_d^{+A}_d^{=100\%}$$

(4) 干燥无灰基: 以除去全部水分和灰分的燃料作为分析基准。

$$C_{daf}^{+H} + O_{daf}^{+O} + O_{daf}^{+N} + O_{daf}^{+S} + O_{daf}^{-100\%}$$



• 各种基之间的关系见图2-1



图2-1 燃料的各种分析基准的关系

• 各种基之间的换算

➤如:已知干燥无灰基含碳量, 求接收基含碳量? (取某一元素如C_{ar}, 质量守恒)

$$C_{daf} = \frac{C_{ar}}{C_{ar} + H_{ar} + O_{ar} + N_{ar} + S_{ar}} = \frac{C_{ar}}{100 - A_{ar} - M_{ar}} \times 100\%$$

$$C_{ar} = C_{daf} \times \frac{100 - A_{ar} - M_{ar}}{100} \quad \%$$

 $\frac{100-A_{ar}-M_{ar}}{100}$ 是从干燥无灰基换算到接收基的<mark>换算系数</mark>。

• 接收基与空气干燥基之间水分的换算系数:

$$C_{ar}^{+}H_{ar}^{+}O_{ar}^{+}N_{ar}^{+}S_{ar}^{+}A_{ar}^{+}M_{ar,inf}^{-}=(100-M_{ar,f}^{-})\%$$
 $C_{ad}^{+}H_{ad}^{+}O_{ad}^{+}N_{ad}^{+}S_{ad}^{+}A_{ad}^{+}M_{ad}^{-}=100\%$

$$\frac{M_{ar.inf}}{M_{ad}} = \frac{100 - M_{ar.f}}{100}$$
 $M_{ar.inf} = M_{ad} \frac{100 - M_{ar.f}}{100}$

所以:
$$M_{ar} = M_{ar.f} + M_{ar.inf} = M_{ar.f} + M_{ad} = \frac{100 - M_{ar.f}}{100}$$

参照上页计算Mad

〉接收基与空气干燥基之间的换算

$$C_{ad}$$
 $(100-M_f) = C_{ar} \times 100 \rightarrow C_{ad} = C_{ar} \times 100/(100-M_f)$ 参照上页计算C 而 $M_{ar} = M_f + M_{inf} \rightarrow M_{inf} = M_{ar} - M_f$ $M_{ad} = 100 \ M_{inf}/(100-M_f)$ 参照上页结果转换 $= 100 \ (M_{ar} - M_f)/(100-M_f)$ 上式带入有: $M_f = 100 \ (M_{ar} - M_{ad}) \ / \ (100-M_{ad}) \ _{L式转换}$ 所以: $C_{ad} = C_{ar} \ (100-M_{ad}) \ / \ (100-M_{ar}) \ _{将上式带入第一式}$ 显然: $K_{ar-ad} = \ (100-M_{ad}) \ / \ (100-M_{ar}) \ _{换算系数}$



〉接收基与空气干燥基之间的换算

收到基和空气干燥基之间的转换系数推导过程如下:

因为收到基和空气干燥基的表达式中都含有水分,但是水分的含量是不同的。 因此不能直接转换,必须借助一个第三基。此处借助干燥基,还是以灰分为例进 行推导:

首先进行收到基和干燥基之间的转换:以灰分为例:由收到基(_{ar})到干基(_d)之间的换算可以这样推导:

以灰分为例: 由空气干燥基(ad)到干燥基(d)之间的换算可以这样推导:

100 ×
$$A_{ad}$$
/100=100 × A_{d} /(100- M_{ad})
∴ A_{d} = A_{ad} ×(100- M_{ad})/100 (2)

有上面 (1)式和(2)式得:

$$A_{ar} \times (100-M_{ar})/100 = A_{ad} \times (100-M_{ad})/100$$
 (3)

经过整理(3)式得:

$$A_{ar} = (100-M_{ad}) A_{ad} / (100-M_{ar})$$

推导完成。



• 各种基之间的换算系数见表2-1。

表2-1 各种分析基之间的换算系数K

	欲求成分			
己知成分	接收基	空气干燥基	干燥基	干燥无灰基
	换 算 系 数 K			
接收基	1	$\frac{100-M_{ad}}{100-M_{ar}}$	$\frac{100}{100 - M_{ar}}$	$\frac{100}{100 - (M_{ar} + A_{ar})}$
空气干燥基	$\frac{100 - M_{ar}}{100 M_{ad}}$	1	$\frac{100}{100-M_{ad}}$	$\frac{100}{100 - (M_{ad} + A_{ad})}$
干燥基	$\frac{100 - M_{ax}}{100}$	$\frac{100 - M_{ad}}{100}$	1	$\frac{100}{100 - A_d}$
干燥无灰基	$\frac{100 - (M_{wr} + A_{wr})}{100}$	$\frac{100 - (M_{ad} + A_{ad})}{100}$	$\frac{100 - A_d}{100}$	1

欲求基成分(B) = 已知基成分(A)×换算系数(K)



三、煤的发热量

煤的发热量是指单位质量的煤完全燃烧时所放出的全部热量,单位为kJ/kg。煤的发热量分为高位发热量和低位发热量两种。

- ➤ 高位发热量: 1kg燃料完全燃烧时放出的热量,包括燃烧产物中水蒸气凝结放出的汽化潜热。
- ➤ 低位发热量: 扣除水蒸气凝结放热的汽化潜热后的发热量。



• 水蒸气的来源

- >燃料中M形成的水蒸气
- ➤燃料中H形成的水蒸气

$$\frac{M_{ar}}{100}$$

$$\frac{9H_{ar}}{100}$$

$$2H_2 + O_2 = 2H_2O$$
4 32 36
1 8 9

$$\frac{\mathrm{H}_{ar}}{100}$$
 $\Rightarrow \frac{9\mathrm{H}_{ar}}{100}$



高位发热量与低位发热量间的换算公式

煤的高位发热量减去煤中<u>水</u>和<u>氢燃烧生成水</u>的蒸发潜热所得到的热量为低位发热量, γ 为水的蒸发潜热,取为2510kJ/kg。

$$Q_{ar,net} = Q_{ar,gr} - \gamma (\frac{9H_{ar}}{100} + \frac{M_{ar}}{100}) = Q_{ar,gr} - 25.1(9H_{ar} + M_{ar})$$

2512—汽化潜热,kJ/kg (600kcal/kg)。



各种基之间低位发热量的换算关系

表2-2各种基低位发热量之间的换算关系

	所求基			
己知成分	接收基	空气干燥基	干燥基	干燥无灰基
	Quet.v.or	$Q_{net,v,ccd}$	$Q_{net,v,cl}$	$Q_{net,v,dof}$
接收基 Q _{retva}		(Q _{netnar} +25M _{ar}) · K -25M _{ad}	$(Q_{\rm nety,ar} + 25 M_{\rm ar}) \cdot K$	$(Q_{\rm metr,cor} + 2 M_{\rm cor}) \cdot K$
空气干燥基 Q _{net,v,ad}	$(Q_{_{\mathbf{m},\mathbf{n},\mathbf{n}}}+25\mathbf{M}_{_{\mathbf{n}}})\cdot \mathbf{X}$ $-25\mathbf{M}_{_{\mathbf{n}}}$		$(Q_{netr,ad} + 25M_{ad}) \cdot K$	$(Q_{netr,ad} + 2 M_{ad}) \cdot K$
干燥基 Q _{net,v,d}	(Q _{etud} +2 M g)·K -2 M g,	(Q _{netv,d} +25M _d) · K - 25M _{ad}		$(Q_{nem,d} + 2M_d) \cdot K$
干燥无灰基 Q _{net,v,dag}	$(\mathcal{Q}_{aarp,daf} + 25M_{daf}) \cdot K - 25M_{ar}$	$(Q_{n=l,n,loof} + 25M_{sloof}) \cdot K$ $-25M_{sloof}$	(Q _{≈=1} , _{phof} +25 M _{shof})⋅ K	

K--换算系数,查表2-1。



几点说明

- ➤ 实验室所测是全部热量(高位),锅炉排烟温度均较高(110°C)以上),烟气中水未蒸汽凝结,将这部分气化潜热带走。
- ▶ 我国均采用低位发热量。有些国家采用高位发热量,必要时说明。
- ➤ 表示煤的发热量同样分为不同的"基",因此,也存在之间的 换算。



• 标准煤

>标准煤是一假想煤,规定标准煤

$$Q_{net.v.ar} = 29308kJ/kg$$
 (7000kcal/kg)

- ▶目的:用标准煤耗,比较不同锅炉、燃用不同 煤种锅炉的经济性。
- ▶标准煤量B_b与实际煤量B的换算关系(2.8)

$$B_b = \frac{BQ_{net,v,ar}}{29308} \quad \text{kg/h}$$

• 发热量的经验公式—门捷列夫经验公式:

$$Q_{gr,v,ar} = 339C_{ar} + 1256H_{ar} - 109(O_{ar} - S_{ar})$$

$$Q_{net,v,ar} = 339C_{ar} + 1030H_{ar} - 109(O_{ar} - S_{ar}) - 25M_{ar}$$

$$Q_{ar,net} = Q_{ar,gr} - \gamma \left(\frac{9H_{ar}}{100} + \frac{M_{ar}}{100}\right) = Q_{ar,gr} - 25.1(9H_{ar} + M_{ar})$$
 (2.7)



- 煤的折算成分
 - 》定义:每送入炉内1MJ(即1000kJ)热量, 随燃料带入炉内的某种成分的质量。
 - ▶目的: 比较锅炉燃烧不同煤时,带入炉内的水、灰和硫的质量。
 - >计算公式:

折算水分、折算灰分与折算硫分的概念

硫分、灰分与水分对锅炉工作的影响

- 1)降低煤的发热量
- 2) 降低燃烧温度,不利于燃料的着火与燃烧
- 3)增加烟气容积,排烟温度升高,排烟损失增加, 锅炉效率下降
- 4) 加剧锅炉受热面的低温腐蚀与积灰
- 5)增加通风电耗。

采用折算成分的目的

比较锅炉燃烧不同煤时,带入炉内的水、灰和硫的质量—煤的<mark>折算成分</mark>, 定义:每送入炉内1MJ热量,随燃料带入炉内的某成分的质量,分别为 折算水分、折算灰分和折算硫分

ightharpoonup 1kg燃料中,含 $\frac{A_{ar}}{100}$ kg灰分,即 $\frac{A_{ar}}{100}$ ×1000 g灰分,则

$$A_{ar}^{zs} = \frac{\frac{A_{ar}}{100} \times 1000}{\frac{Q_{\text{net,v,ar}}}{1000}} = 10^{4} \times \frac{A_{ar}}{Q_{net,v,ar}} \quad \text{g/MJ}$$

▶折算硫分

$$S_{ar}^{zs} = \frac{\frac{S_{ar}}{100} \times 1000}{\frac{Q_{\text{net,v,ar}}}{1000}} = 10^{4} \times \frac{S_{ar}}{Q_{net,v,ar}} \quad \text{g/MJ}$$

▶折算水分

$$M_{ar}^{zs} = \frac{\frac{M_{ar}}{100} \times 1000}{\frac{Q_{\text{net,v,ar}}}{1000}} = 10^{4} \times \frac{M_{ar}}{Q_{net,v,ar}} \quad \text{g/MJ}$$

$$M_{ar}^{zs} = \frac{M_{ar}}{\left(\frac{Q_{net,V,ar}}{1000}\right)} = 10^4 \times \frac{M_{ar}}{Q_{net,V,ar}} \quad g / MJ$$

折算灰分

$$A_{ar}^{zs} = \frac{A_{ar}}{\left(\frac{Q_{net,V,ar}}{1000}\right)} = 10^4 \times \frac{A_{ar}}{Q_{net,V,ar}} \quad g / MJ$$

折算硫分
$$S_{ar}^{zs} = \frac{S_{ar}}{\left(\frac{Q_{net,V,ar}}{1000}\right)} = 10^4 \times \frac{S_{ar}}{Q_{net,V,ar}} \quad g / MJ$$

• 以灰分为例,同一锅炉燃烧不同煤时,采用折算成分 的 必要性

煤种	灰分	发热量	燃煤量	总计带入的灰量	折算灰分
			kg/h	kg/h	
褐煤	9.9	2970	~1000	99	3.3
烟煤	19	6137	~500	95	3.09



• 采用折算成分判断煤中水分、灰分和硫分高、中、低的大致范围如表所示。(表2.9)

折算成分(g/MJ)	低	中等	高
折算水分	<7.0	7.0~12.0	>12.0
折算灰分	<12.0	12.0~17.0	>17. 0
折算硫分	<0.5	0.5~1.3	>1.3



四、煤的特性

1. 煤的工业分析

通过煤的元素分析可以测得煤的各种元素成分含量。但进行元素分析需要比较复杂的仪器和较高的技术,一般单位没有条件进行这项工作。工业分析则比较简单,一般情况下常采用工业分析法。工业分析主要测定水分(M)、挥发分(V)、固定碳(Cgd)和灰分(A)四项的含量。(2.17)

■煤的工业分析成分也可以用各种"基"来表示,即

$$\begin{cases} V_{\rm ar} + C_{\,gd\,ar} + A_{\,ar} + M_{\rm ar} &= 100\,\% \\ V_{\rm ad} + C_{\,gd\,ad} + A_{\,ad} + M_{\rm ad} &= 100\,\% \\ V_{\rm d} + C_{\,gd\,d} + A_{\rm d} &= 100\,\% \\ V_{\rm daf} + C_{\,gd\,daf} &= 100\,\% \end{cases}$$



• 煤的工业分析与燃烧

>煤 => 干煤 => 焦炭 => 灰分

即:在煤的着火、燃烧过程中,煤中各种成分的变化情况为:将煤加热到一定温度时,首先水分(M)被蒸发出来,接着再加热,煤中的H、O、N、S及部分C所组成的有机化合物便分解,变成气体挥发出来,这些气体称为挥发分(V),挥发分析出后,剩下的是焦炭,焦炭就是固定碳(C)和灰分(A)。再将焦炭加热灼烧至其质量不发生变化时取出冷却,剩余部分即灰分(A)。



水分

水分是指煤中的全部水分,包括外水分和内水分,不包括结晶水分。

• 挥发分

- ▶ 煤在限定条件下隔绝空气加热后,所得挥发性有机物 质称为挥发分。
- > 煤中挥发分的主要成分是碳氢化合物、氢气等。
- 》煤的挥发分与煤的种类、煤的碳化程度关系密切。煤龄愈久远,挥发分含量愈少,挥发分逸出的温度和煤的着火温度相应也愈高,与此相反,煤龄愈短,挥发分含量愈高,挥发分逸出温度愈低,着火温度也愈低,则此种煤量容易燃烧。



- 灰分
 - > 灰分是指煤完全燃烧后残留的固定物质。
- 固定碳
 - ▶从煤的试样中减去其中的灰分、水分及挥发分,剩下的质量就是煤的固定碳含量。



• 焦结性

- ▶煤在隔绝空气下加热时,水分蒸发、挥发分析出后残余固体物质是焦炭。焦炭(焦渣)包括固定碳以及灰分。
- ▶焦炭可能呈块状或呈粉末状,这种性质称为煤的焦结性,它也是煤的燃烧特性指标之一。
- ▶煤可分为:不结焦性煤、强结焦性煤和弱结焦性煤。 国家标准规定,焦渣特性分为八级。
- ▶在火床炉中,弱结焦性或不结焦性煤,焦炭呈粉末状, 使燃烧不完全,强结焦性煤,形成坚硬焦块,会使煤 层阻力增加,甚至会阻碍空气通过。

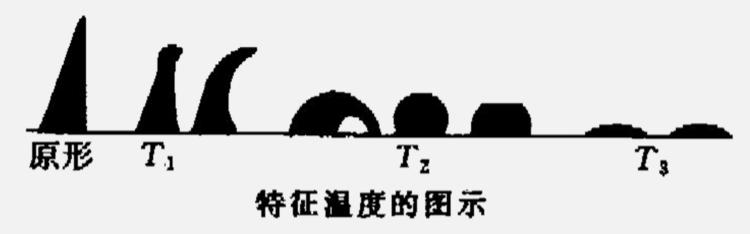


2. 煤灰的熔融特性

- > 灰熔点是指灰的融化温度。
- ➤ 灰熔点对锅炉的燃烧工况影响很大,是煤灰的重要指标之一。通常采用"角锥法"测定其熔融性。
- ▶角锥法,就是将灰样制成高为20mm,底面为边长7mm的正三角形、且一个棱面垂直于底面的灰锥体,然后将灰锥体置于弱还原性气氛的高温加热炉中升温加热,观察或拍摄试样变化情况,并记录灰锥体形状发生变化情况,并记录灰锥体形状发生变化的三个特征温度:

将灰制成特定形状的灰堆,加热升温1300℃以上,采用三个特征温度来表示灰的熔融特性。

- ①变形温度t₁(灰锥体尖端开始变圆或弯曲时的温度);
- ②软化温度t₂(灰锥体弯曲且锥尖触及底板,或灰锥体变成球形,或高度小于等于底边长度的半球形时的温度);
- ③熔融温度t₃(灰锥体完全熔化或展开成高度小于等于 1.5mm的薄层时的温度)。



■ 灰熔点对锅炉安全经济运行有较大影响,主要成分:

 $Al_2O_3(2050^{\circ}C)$, $CaO(2570^{\circ}C)$,

FeO(1421°C), $Na_2O(800\sim1000$ °C),

 $Fe_2O_3(1550^{\circ}C)$, $K_2O(800\sim1000^{\circ}C)$,

Fe₃O₄(1570°C), FeS (1195°C),

MgO(2800°C), $FeS_2(1170°C)$.

■ 在层燃炉中,燃用低灰熔点煤时,灰渣会在炉排及炉墙、炉拱上结渣,使锅炉不能正常运行。

t₂>1425°C 难熔性灰

t₂=1200~1425°C 可熔性灰

t₂<1200℃ 易熔性灰



3. 煤的可磨性

煤的可磨性是指由原煤磨制成煤粉的难易程度。

- ▶可磨性系数:空气干燥状态下的标准煤样和被测的煤样,由相同粒度磨碎到相同细度所消耗的能量之比值,用Kvr表示。
- ▶难易程度界限:

KvT<1.2为难磨煤;

KvT=1.2~1.6为中等程度煤;

KvT>1.6为易磨煤。

标准煤样消耗的能量/被测的煤样消耗的能量



4. 煤粉细度

➤煤粉细度是指把一定量的煤粉放在筛孔尺寸为 xμm的标准筛上进行筛分,筛子上面筛后剩余煤 粉的质量占煤粉总质量的质量分数,用R_x表示。 即

$$R_{\mathbf{x}} = \frac{a}{a+b} \times 100\%$$

对于一定的筛孔尺寸,R_x愈小,也就是筛子上剩余的 煤粉量愈少,则说明煤粉磨得愈细。



5. 硫及氮的含量

- ▶煤中的硫在燃烧时生成二氧化硫和一部分三氧化硫。 三氧化硫会与烟气中的水蒸气形成硫酸蒸气。硫酸 蒸气会使烟气的露点提高,在温度较低的受热面上 结露而腐蚀受热面。
- ▶煤中的氮在燃烧时生成氮氧化物(NO_x),NO_x也是污染环境的有害气体。因此在燃高氮煤时,需采用脱硝装置。



五、煤的分类

■为了更好的表示煤的燃烧特性,按干燥无灰基挥发分含量V_{daf}进行分类,即:

无烟煤 V_{daf} <10%

贫煤 V_{daf} =10~20%

烟煤 V_{daf} =20~40%

褐煤 V_{daf} >40%

无烟煤: V_{daf}≤10%,含碳最多,发热量高,难以点燃;

贫煤: V_{daf}=10~20%, 灰分较多;

烟煤: V_{daf} =10~50%,含碳多,灰、水少,发热量高 褐煤: V_{daf} >40%,水分与灰分高,发热量低,着火

与燃烧容易。

还有泥煤、煤矸石和石煤。

■挥发分高的煤,易于着火和完全燃烧。



1. 褐煤

▶ 外观呈棕褐色,碳化程度低, V_{daf} >40%,挥发 分析出温度低,易着火,易吸水,发热量低。

2. 烟煤

▶ 含碳量高,挥发分高, V_{daf} =20~40%,易着火 与燃烧,灰分和水分一般,发热量高。呈黑色, 质地松软,有一定光泽,燃烧时多烟。



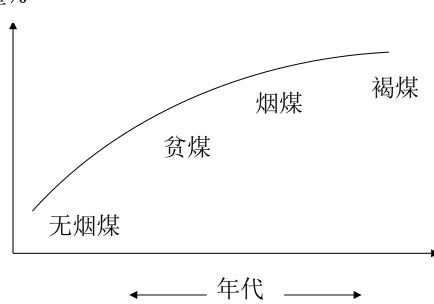
3. 贫煤

▶碳化程度低于无烟煤, V_{day} =10~20%, 与烟煤相比, 较难着火与燃烧,火焰短,结焦性差。发热量介于无烟煤与烟煤之间。

4. 无烟煤

▶又称白煤,碳化程度高,挥发分低,^Vday <10%, 含碳量高,着火困难,不易燃尽。燃烧时无烟, 只有青蓝色火焰,焦渣呈粉末状,无粘结性, 发热量高。

挥发份含量%





第二章 锅炉燃料

- 2.1 煤的组成及特性
- 2.2 煤炭转化技术和型煤技术
- 2.3 燃料油的组成及特性
- 2.4 气体燃料的组成及特性



采用原煤燃烧,产生的烟尘、SO_x、NO_x,CO₂浓度大,锅炉热效率较低,污染环境。为了改善层燃工业锅炉的燃烧状况,对原煤进行必要的洗选、加工、转化等技术处理。



一、煤炭转化技术

- 煤炭转化技术指用化学方法将煤炭转化成液体或气体燃料,主要包括煤炭气化、煤炭液化、水煤浆技术。
 - ▶煤炭气化技术 将煤炭气化成气体燃料,同时取出全部灰分和绝 大部分硫。
 - ➤ 煤炭液化技术 在某种反映条件下,将煤炭转化成洁净的液体燃料(提高煤炭中H的含量)。



• 水煤浆技术

▶20世纪70年代发展的新型煤基洁净燃料, 其中煤占65%左右,水占35%左右以及1~2% 的化学添加剂经过一定的加工制成。流动 性好,可以雾化燃烧。水煤浆在制备过程 中可以做到部分脱灰以及部分脱硫,可以 减少烟尘以及SO_x的排放,同时炉膛温度低, 减少了NO_x的生成量。所以水煤浆有很好 的应用前景。



二、型煤固硫技术

- 加工:将不同煤种进行筛分,按一定的比例配煤, 粉碎后加入经过预处理的粘结剂与固硫剂混合,经 机械加压、干燥,可得到具有一定强度和形状的固 硫型煤。
- 优点:层燃炉燃烧型煤,固灰、固硫能力强,提高了炉膛温度,减少了不完全燃烧热损失,同时降低了NOx的产生量,所以经济效益与环保效益都很高。
- 前提:对于不同的层燃炉,要采取相应的措施,以适应锅炉燃烧的要求。



第二章 锅炉燃料

- 2.1 煤的组成及特性
- 2.2 煤炭转化技术和型煤技术
- 2.3 燃料油的组成及特性
- 2.4 气体燃料的组成及特性



- 锅炉所用的液体燃料通常指石油。
- 锅炉燃烧使用的液体燃料都是石油炼制过程中的产品或副产品,主要有渣油、重油、柴油等。它们都是由各种碳氢化合物组成的复杂的混合物。



- 燃料油的组成
 - >与煤一样,碳、氢、氧、氮、硫、灰分、 水分等七种成分所组成。
- · 燃料油的元素成分"基"
 - ▶接收基、空气干燥基、干燥基、干燥无灰基。



- 燃料油的特性
 - 》密度: 单位体积物质的质量称为密度,用符号ρ表示,单位为kg/m³。
 - ▶相对密度:相对密度系指t℃时油的密度和4℃时纯水密度之比值。石油工业中规定:以20℃时的相对密度作为油的标准相对密度。燃料油的标准相对密度在0.8~0.98之间。
 - ▶比热容: 1kg质量的燃料油温度升高1K所需要的热量,称为该燃料油的比热容,用符号C表示,单位为kJ/(kg·K)。燃料油的C=2.14 kJ/(kg·K)。



>热导率: 热导率是表示燃料油导热能力的特性指标,用符号λ表示,单位为W / (m·K)。

▶凝固点与沸点:

- 凝固点:物质由液态变为固态的现象叫凝固,发生凝固的温度叫凝固点。燃料油:各种烃的复杂混合物, 无一定的凝固点。随着温度↓,燃料油粘度↑,直到失去流动性。
- 沸点:物质由液态变为气态的现象叫汽化,液体的汽化分为蒸发和沸腾。液体表面发生汽化的现象叫蒸发;液体内部产生气泡的汽化现象叫沸腾,沸腾时液体的温度叫沸点。燃料油的沸点没有一个恒定值,是一个温度范围。



▶粘度: 粘度是流体流动时的内部阻力,表征流体流动性能的指标。粘度愈大,流体的流动性能愈差。随温度介,燃料油的粘度↓,但油温对粘度影响不是均衡的。一般情况,t<50℃时,对燃料油的粘度影响较大,t>100℃时,对燃料油的粘度影响较小。



- 闪点:油温升高时油面上的油蒸气增多,其与空气的混合气和明火接触后发生一闪就灭的短暂闪光,这时的油温就称为该种燃料油的闪点。
- 燃点与自燃点:在常压下对燃料油加热,液体表面的油蒸气与空气的混合物遇火源点燃,并连续燃烧5s以上,这时油的最低温度称为该种燃料油的燃点;在常压下对燃料油加热,液体表面的油蒸气与空气的混合物,在没有外界火源阶情况下,能自行着火燃烧的最低温度称为该燃料油的自燃点。



- ▶ 静电特性:燃料油属不良导体,由于摩擦而产生静电,电荷在油面上积聚,能产生很高的电压。
 - 危害: 一旦放电,产生火花,使油品发生燃烧和爆炸。
 - 防止产生静电的方法:输油管道和贮油设备必须有良好的接地;金属管道内的油品流速控制在4m/s以内。



- ▶残留碳: 当重油加热到很高的温度时聚合形成的 坚固油垢沉淀物,称为残留碳。
 - •危害:燃烧器喷口堵塞和磨损。在燃烧器喷口堆积碳化物,使重油雾化质量降低,燃烧状况恶化。
- ▶稳定性: 重油在贮藏和加热过程中,形成重质 粘稠状物质和难溶解性物质。
 - •危害:油垢油渣物会引起贮油箱、油管路系统、 过滤器、加热器、燃烧器等堵塞,导致燃烧恶 化。



- ▶发热量: 1kg燃料油完全燃烧所放出的全部热量, 称为该燃料油的发热量。
 - 与煤相同, 也分为高位发热量和低位发热量。
 - •燃料油的发热量很高,常用燃料油(37000~42000)kJ/kg。
 - 发热量的确定: 实验方法测定或近似公式计算。



- 常用的燃料油
 - ▶<u>重油</u>:密度大的燃料油。特点:密度大, 粘度大。
 - >渣油: 石油炼制过程中形成的塔底渣油。
 - ▶轻柴油:密度小的燃料油。特点:粘度小, 含硫量小,易挥发。

我国锅炉设计用燃料油品种和成分见表2-14。



第二章 锅炉燃料

- 2.1 煤的组成及特性
- 2.2 煤炭转化技术和型煤技术
- 2.3 燃料油的组成及特性
- 2.4 气体燃料的组成及特性



§ 2-4气体燃料的组成及特性

- 气体燃料是指在常温、常压下保持气态的燃料, 简称燃气。
- · 燃气的特点:易点火、易燃烧、易操作、易实现自动调节,而且燃烧产物中无废渣和废液,烟气中SO_x和NO_x的含量少。燃气是最理想的洁净燃料。



- 燃气的组成
 - ▶可燃组分
 - 一氧化碳(CO)、氢 (H_2) 和碳氢化合物 (C_mH_n) 等。
 - >不可燃组分

氮 (N_2) 、氧 (O_2) 和二氧化碳 (CO_2) 等。

▶有害杂质

焦油与灰尘、萘、硫化氢、一氧化碳、氨、水分、 残液。



• 燃气的特性

- ▶ 气体燃料的体积分数: 在相同温度和压力条件下,燃气中各单一组分的体积和燃气总体积的比值称为体积分数。
- 》燃气的平均密度:单位体积的燃气所具有的质量称为燃气的平均密度,用符号ρ表示,单位为kg/m³。
- >燃气的比体积:单位质量的燃气所占有的体积称 为燃气的比体积,用符号v表示,单位为m³/kg或 Nm³/kg。



- ▶燃气的相对密度:燃气的平均密度与相同状态下空气的平均密度之比值称为燃气的相对密度。
- ▶粘度: 气体燃料的粘度用动力粘度、运动粘度和 条件粘度表示。
 - 随着压力个,燃气的粘度个,这一特性与燃料油相同。
 - •随温度介,燃气的粘度介,而燃料油的粘度随温 介而↓。



▶临界参数: 当温度不超过某一数值,对气体进行加压可以使气体液化,而在该温度以上,无论施加多大压力都不能使之液化,这个温度就称为该气体的临界温度。

▶燃气的比热容

- 比定压热容:保持燃气压力不变时,1m³燃气温度升高(或降低)1K所吸收(或放出)的热量称为气体的比定压热容。用符号C_p表示,单位为kJ/(m³·K)。
- 比定容热容:保持燃气容积不变时,1m³燃气温度升高(或降低)1K所吸收(或放出)的热量称为气体的比定容热容,用符号C、表示,单位为kJ/(m³·K)。



- 着火温度(即燃烧温度):燃气开始燃烧时的温度称为着火温度(表2-17)。
- -爆炸浓度极限:当可燃气体或油气与空气混合物的浓度达到某个范围时,一遇明火或温度升高到某一数值就会发生爆炸的浓度范围称为爆炸浓度极限。



- ▶燃气的发热量:燃气的发热量是指标准状态下单位体积燃气完全燃烧时所放出的全部热量,用符号Q表示,单位为kJ/m³或kJ/kg。
 - 分为: 高位发热量、低位发热量。
 - 燃气发热量的确定:实验方法测定或根据燃气的组分用公式进行计算。



- 锅炉常用的气体燃料
 - ▶1. 天然气
 - 气田气、油田伴生气
 - 凝析气田气、矿井气(瓦斯)
 - ▶2. 人工燃气
 - 干馏煤气、气化煤气
 - •油制燃气、高炉煤气、焦炉煤气
 - ▶3. 液化石油气
 - ▶4. 生物气(沼气)



作业:

- 1. 画出各种基之间的关系图;
- 2. 简述燃料的元素成分为何要分成几种基准?



The End