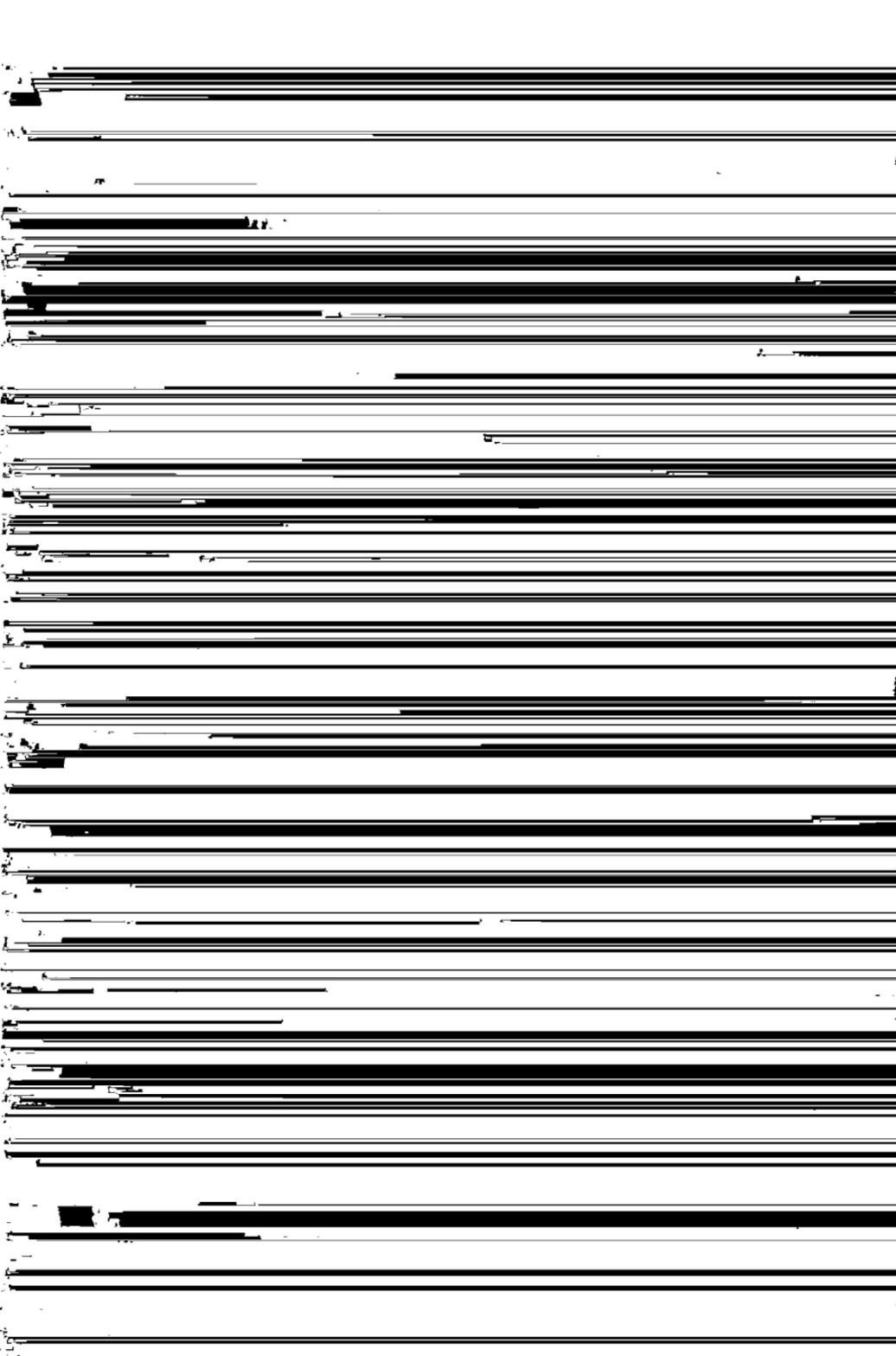




# 目 次

1 主题内容与适用范围 .....	(1)
2 引用标准 .....	(1)
3 术语、符号、代号 .....	(2)
4 导则 .....	(10)
5 试验方法 .....	(10)





锅炉在额定蒸汽参数、额定给水温度、并使用设计燃料、安全连续运行时能达到的最大蒸发量。

### 3.1.6 最低稳定燃烧负荷及液态排渣临界负荷

锅炉在低负荷运行时,能够长期稳定燃烧所能维持的最低蒸发量。对于燃煤锅炉,为不必辅以油(或气体燃料)助燃的最低稳定燃烧时的蒸发量。液态排渣炉稳定流出的最低负荷称之为液态排渣临界负荷。

### 3.1.7 漏风系数及漏风率

a. 漏风系数,烟气通道出、进口处烟气的过量空气系数之差,或空气通道进、出口处空气量差值与理论空气量之比。

b. 漏风率,漏入某段烟道烟气侧的空气量占该段烟道烟气质量的百分率。

### 3.1.8 锅炉热效率

锅炉热效率为输出热量占输入热量的百分率。

## 3.2 符号、代号

本规程采用汉语拼音字母作为主要角标。用大写字母表示锅炉机组设备,用小写字母表示燃料、工质等。

表1为非汉语拼音(不包括数字)的角标、上标及前缀;表2为本规程采用的符号一览表。

本标准中所采用的立方米  $m^3$ ,除有特殊说明外,均指标准状态下的立方米。

表 1

角 码	说 明	位 置	角 码	说 明	位 置
-----	-----	-----	-----	-----	-----

表 2

符 号	说 明	单 位
一、热平衡		
$Q_1$	相应于每千克(或每标准立方米)燃料的锅炉输出热量	$\text{kJ/kg, kJ/m}^3$
$Q_2$	相应于每千克(或每标准立方米)燃料的锅炉输入热量	$\text{kJ/kg, kJ/m}^3$
$\eta$	锅炉热效率(毛效率) %	
$\eta_0$	锅炉净效率 %	
$b$	电厂标准煤耗	$\text{kg}/(\text{kW} \cdot \text{h})$
$\Sigma P$	锅炉设备辅机、电动机功率之和	$\text{kW}$
$Q_{\text{gr}}$	锅炉自用热量	$\text{kJ/kg, kJ/m}^3$
$Q_{\text{bw}}$	燃料应用基低位发热量	$\text{kJ/kg, kJ/m}^3$
$Q_{\text{in}}$	燃料物理显热	$\text{kJ/kg, kJ/m}^3$
$Q_{\text{in1}}$	外来热源加热空气所带入的热量	$\text{kJ/kg, kJ/m}^3$
$Q_{\text{in2}}$	雾化蒸汽带入的热量	$\text{kJ/kg, kJ/m}^3$
$Q_3$	每千克(或每标准立方米)燃料排烟损失热量	$\text{kJ/kg, kJ/m}^3$
$Q_4$	每千克(或每标准立方米)燃料可燃气体未完全燃烧损失热量	$\text{kJ/kg, kJ/m}^3$
$Q_5$	每千克(或每标准立方米)燃料固体未完全燃烧损失热量	$\text{kJ/kg, kJ/m}^3$
$Q_6$	每千克(或每标准立方米)燃料锅炉散热损失热量	$\text{kJ/kg, kJ/m}^3$
$Q_7$	每千克(或每标准立方米)燃料炉渣物理显热损失热量	$\text{kJ/kg, kJ/m}^3$



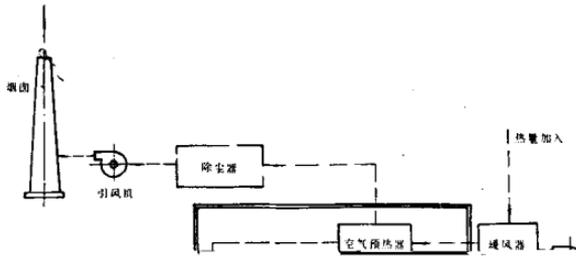
续表 2

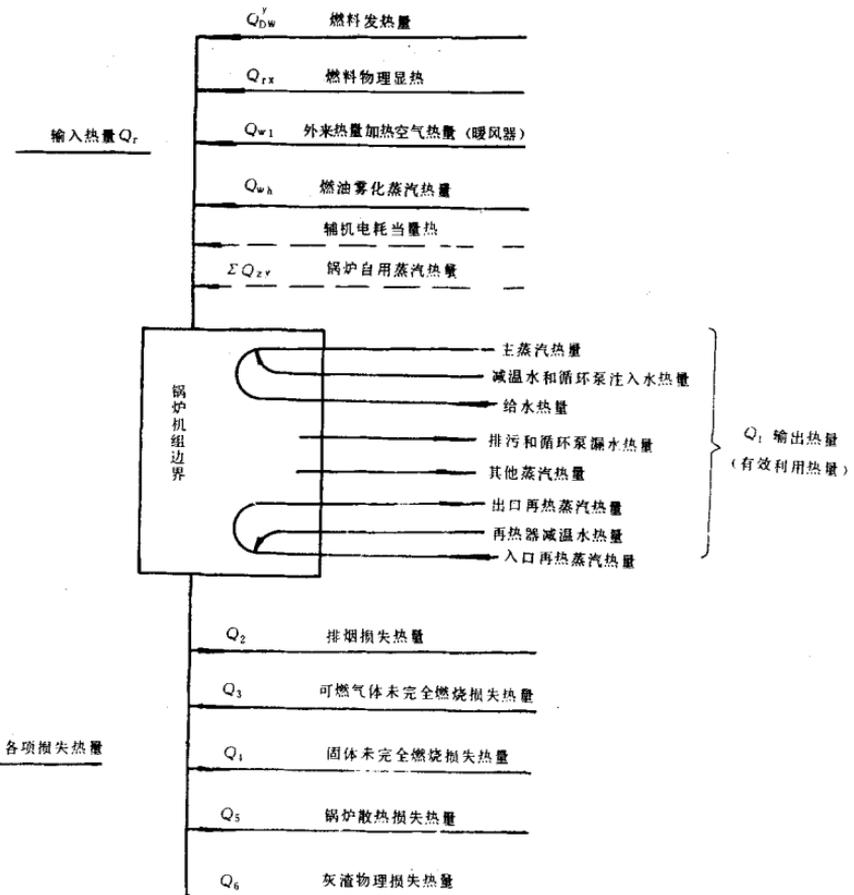
符 号	说 明	单 位
$t_{11}$	炉渣温度	℃, K
$t_{12}$	飞灰温度	℃, K
$t_{2p}$	沉降灰温度	℃, K
$t_{120}$	漏煤温度	℃, K
$C_a$	灰的比热	kJ/(kg·K)
$C^*$	可燃物质比热	kJ/(kg·K)
四、烟气和空气		
$Q_F$	干烟气带走的热量	kJ/kg, kJ/m <sup>3</sup>
$Q_{2,2}^{*0}$	烟气所含水蒸气的显热	kJ/kg, kJ/m <sup>3</sup>
$V_{22}$	每千克(或每标准立方米)燃料燃烧生成的干烟气体积	m <sup>3</sup> /kg, m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
$\theta_{22}$	锅炉排烟温度	℃, K
$\theta_{22}^*$	锅炉保证或设计排烟温度	℃, K
$\theta_{22}, \theta_{22}^*$	省煤器进口和出口(沿烟气流向)烟气温度	℃, K
$\theta_{12}$	空气预热器进口烟气温度	℃, K
$\mu$	排烟中碳浓度	g/m <sup>3</sup>
$\alpha$	烟气的过量空气系数	
$\alpha_{22}^*$	实测排烟过量空气系数	
$C_p \cdot 22$	干烟气的平均定压比热	kJ/(m <sup>3</sup> ·K)
$C_p \cdot \text{CO}_2$	二氧化碳气体的平均定压比热	kJ/(m <sup>3</sup> ·K)
$C_p \cdot \text{O}_2$	氧气的平均定压比热	kJ/(m <sup>3</sup> ·K)
$C_p \cdot \text{N}_2$	氮气的平均定压比热	kJ/(m <sup>3</sup> ·K)
$C_p \cdot \text{CO}$	一氧化碳气体的平均定压比热	kJ/(m <sup>3</sup> ·K)
$\text{RO}_2$	烟气中三原子气体(即 CO <sub>2</sub> +SO <sub>2</sub> )的体积含量百分率	
$\text{O}_2$	烟气中氧的体积含量百分率	
$\text{N}_2$	烟气中氮的体积含量百分率	
$\text{CO}$	烟气中一氧化碳的体积含量百分率	
$\text{CH}_4$	烟气中甲烷的体积含量百分率	
$\text{H}_2$	烟气中氢的体积含量百分率	
$\text{C}_m\text{H}_n$	烟气中碳氢化合物的体积含量百分率	
$V_{\text{H}_2\text{O}}$	烟气中所含水蒸气容积	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
$\phi$	空气相对湿度	
$d_1$	空气绝对湿度	kg/kg(干空气)
$d_2$	气体燃料的湿度	kg/kg(干气体)
$p_{at}$	就地实测的大气压	Pa
$(p_h)_0$	基准温度下水蒸气的饱和压力	Pa
$C_p \cdot \text{H}_2\text{O}$	水蒸气的平均定压比热	kJ/(m <sup>3</sup> ·K)
$V_{22}$	进入空气预热器的空气量	m <sup>3</sup> /h
$t_1$	空气预热器进口空气温度	℃, K
$C_p \cdot 1$	空气预热器进口空气温度下的空气定压比热	kJ/(m <sup>3</sup> ·K)
$(C_p \cdot 1)_0$	基准温度下空气的定压比热	kJ/(m <sup>3</sup> ·K)
$\beta_{12}$	空气预热器进口空气量与理论空气量之比	
$(h_1)_0$	基准温度下空气的焓	kJ/m <sup>3</sup>
$(h_2)^*$	空气预热器进口空气温度下的理论空气焓	kJ/m <sup>3</sup>
$h_{0R}$	暖风器(前置预热器)进口工质的焓	kJ/m <sup>3</sup>
$h_{0R}^*$	暖风器(前置预热器)出口工质的焓	kJ/m <sup>3</sup>
$V_{22}^*$	按燃料应用基成分计算的理论干空气量	m <sup>3</sup> /kg, m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
$V_{22}^*$	按燃料应用基成分计算的理论干烟气体积	m <sup>3</sup> /kg, m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
$(V_{22}^*)^*$	按燃料应用基成分,由实际燃烧掉的碳计算的理论干空气量	m <sup>3</sup> /kg
$(V_{22}^*)^*$	按燃料应用基成分,由实际燃烧掉的碳计算的理论干烟气体积	m <sup>3</sup> /kg

## 3.3 锅炉热效率的求取法

3.3.1 输入-输出热量法热效率,即直接测量锅炉输入和输出热量求得热效率。此法又称正平衡法。

$$\text{锅炉热效率} = \frac{\text{输出热量}}{\text{输入热量}} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$





## 4 导则

### 4.1 能量平衡系统



表 4

h

燃 烧 方 式		测 定 热 效 率 方 法	工 况 稳 定 时 间	试 验 持 续 时 间	备 注
火 室 炉	固 态 排 渣	热 损 失 法 或 输 入 - 输 出 热 量 法	$\geq 0.5$	$\geq 4$	—
	液 态 排 渣 (包 括 水 冷 壁)		$\geq 1$	$> 4$	工 况 延 长 时 间 由 通 过 商 定

#### 4.12 工况试验的舍弃

4.12.1 在试验过程中，如果发现下列情况，应即停止试验，并记录原因，试验结果无效。

表 7

序号	测量项目及仪器		测量误差		备注
			输入—输出法	热损失法	
1	水	称重箱	$\pm 0.1\%$	—	—
		容积箱	$\pm 0.25\%$ (测量范围内)	—	—
		孔板或喷嘴	$\pm (0.35\% \sim 0.6\%)$	—	包括差压计 GB 2624
		给水温度	$\pm 0.5\%$	—	—
2	蒸汽	温度	$\pm 0.5\%$	—	—
		压力表	$\pm (0.4\% \sim 1.0\%)$	—	GB 1227
		孔板或喷嘴 (主蒸汽流量)	$\pm (0.35\% \sim 0.6\%)$ (测量范围内)	—	包括差压计 GB 2624

5.2.1.5 温度计套管以及温度计在管(烟)道上的安装见附录N(补充件)。

5.2.2 蒸汽温度

5.2.2.1 测定过热蒸汽和再热蒸汽温度时,应同时采用插入式套管。

5.2.2.2 饱和蒸汽温度可在蒸汽管路任何方便的位置上测量(但尽可能靠近饱和蒸汽出口),或根据饱

### 5.2.6 燃料温度

采用带保护套管的热电偶温度计进行测量。

### 5.3 压力测量

#### 5.3.1 一般说明

5.3.1.1 锅炉试验中,通常采用单圈弹簧管压力表、液柱式压力计和倾斜管式微压计测量工质的压力和负压。在精度符合试验要求的前提下,也可采用各种压力变送器(如膜式压力计、波纹管压力计及电接点压力计等)。压力测量仪表见表9。

表 9

|--|--|--|--|--|

当直接开孔时,应满足下列要求:

- a. 尽可能在内表面平整的壁面上垂直开孔,孔径宜为 2~3mm,孔边缘不应有毛刺和倒角;
  - b. 静压测孔应开在烟(风)道直段上,附近不应存在挡板、弯头等阻力部件及涡流区。
- 5.3.3.2 当测量含尘气流静压时,应采取适当措施严防测压孔堵塞(如测压孔避免从水平管道下部引出和在传压管上采用宝塔型扩容装置)。
- 5.3.3.3 当被测烟风道截面直径超过 600mm 时,同一测量截面上至少应有 4 个测压孔。

#### 5.4 流量测定

##### 5.4.1 一般说明

- 5.4.1.1 锅炉试验进行流量测定的仪器装置见表 10。

表 10

名 称		测量对象	校验或标定要求	备 注
称 重 法	称 重 箱	水	标定磅秤达到表 7 规定	—
容 积 法	容 积 箱		—	—
节 流 法	孔板或喷嘴	水和蒸汽	标定达到表 7 规定	如制造和安装经检验均符合 GB 2624 的全部技术要求,则不需标定
标准动压测定管(皮托管)		空气或含尘浓度不大的气流	可不标定	—
笛形管、文丘利、机翼形测量装置			逐根标定	—
吸气式动压测定管		含尘浓度高的气流	逐根标定	—
遮板式动压测定管				使用中应经常对结构状况进行检查并定期标定
靠背式动压测定管				

5.4.1.2 有关流量测定元件(孔板和喷嘴)的设计、制造、标定和使用,包括它们在管路中的位置和安装方法应遵循 GB 2624 中的规定。测量装置中差压传递管路的布设按附录 1(补充件)。

5.4.1.3 当流量成为重要测量项目时,应采用直接读数的系统测定差压。

5.4.1.4 采用节流装置测定水或蒸汽流量时,应在管道中一次元件的上游测量流体的温度,并在差压

式中： $q_{m01}$ 、 $q_{m01}^*$ ——分别为修正后的和仪表指示的蒸汽质量流量，kg/h；

$\rho_{01}$ 、 $\rho_{01}^*$ ——分别为测量状态和设计计算状态下的蒸汽密度，kg/m<sup>3</sup>。

5.4.2.4 采用热平衡法测定再热器进口蒸汽流量  $D_{10}$  时，按式(4)确定：

$$D_{10} = D_{10} - \sum D_{10} \dots \dots \dots (4)$$

式中:  $V, V_n$  ——分别为气流的实测和换算至标准状态下的流量,  $\text{m}^3/\text{h}$  ;

$A$  ——被测管道截面积,  $\text{m}^2$  ;

$W_{pi}$  ——气流在被测截面的平均流速,  $\text{m/s}$ 。按式(8)计算并按附录 H 求取:

$$W_{pi} = K_a \sqrt{\frac{2\Delta p_d}{\rho}} \dots\dots\dots(8)$$

式中:  $\Delta p_d$  ——动压测定管实测压差,  $\text{Pa}$  ;

$K_a$  ——修正系数;

$\rho, \rho_n$  ——气流的实测和标准状态下的密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$  。

对空气:  $\rho_n = 1.293\text{kg}/\text{m}^3$  ;

$$\rho = 3.483 \left( \frac{p_{\text{atm}} + H_2}{273 - t} \right) \times 10^{-3} \dots\dots\dots(9)$$

式中:  $p_{\text{atm}}$  ——就地实测大气压,  $\text{Pa}$  ;

$H_2$  ——管道内气流静压,  $\text{Pa}$  ;

对烟气:  $\rho = 0.01428 \text{O}_2 + 0.01964 \text{CO}_2 + 0.0082 \text{H}_2\text{O} + 0.02858 \text{SO}_2 + 0.0127 \text{N}_2 \dots\dots\dots(10)$

式中:  $\text{O}_2, \text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}, \text{SO}_2, \text{N}_2$  ——烟气中相应各气体成分的体积含量百分率, %。

其中,  $\text{O}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2 + \text{N}_2 = 100\%$  。

5.4.4.5 测孔管座应与管道壁面垂直;测量时测定管动压孔应正对气流。

5.4.4.6 靠背式测定管及笛形测定管对测量截面前、后直管段的推荐值见表 11。

表 11

名 称	靠背式测定管	笛形管
测量截面前(上游)直管段长度 $L_1$	$L_1 = (8 \sim 10)D$	$L_1 \geq 6D$
测量截面后(下游)直管段长度 $L_2$	$L_2 = (1 \sim 3)D$	$L_2 \geq 3D$

注:  $D$  为管道当量直径。

## 5.5 燃料量测定

### 5.5.1 一般说明

5.5.1.1 燃料量测量及测量时间间隔按表 12。

5.5.1.2 燃料自测量处至进入锅炉机组之间应尽量消除漏泄。如不可避免,则将所有漏泄或损失的燃料收集、称量和记录,以对燃料量进行修正。

### 5.5.2 固体燃料

5.5.2.1 固体燃料应在靠近使用地点称量。对煤粉锅炉,应尽量在燃料磨制之前,以避免由于燃料水分蒸发等原因而产生的偏差。

表 12

仪(衡)器	校验或 标定要求	测量时间间隔			备 注	
		固体燃料	液体燃料	气体燃料		
自动磅秤,且带有直 接质量指示值	标 定 达 到 表 7 的 要 求	10~15	—	—	—	
其他衡器		称量时记录				
称重箱		每个工况至少两次记取读数,即开 始时和结束时各一次,必要时增加 记录读数的次数			—	
容积箱						
节流式流量计(孔板、 喷嘴)		—			10~15	如制造、安装经检验均符合 GB 2624 的全部技术要求 则不需标定
容积式流量计		—			10~15	

## 5.5.3 液体燃料

5.5.3.1 凡采用燃烧器回油系统的场合,应同时测量供油和回油的流量。

5.5.3.2 用容积法计量时,应同时按第 5.2 条测定燃料温度,并对由于温度变化而产生的密度变化进行修正。

## 5.5.4 气体燃料

5.5.4.1 测量时,应同时按第 5.3 和 5.2 条测定气体燃料的压力、温度,并将流量计的读数换算成标准状况下的容积。

5.5.4.2 节流式流量计的安装位置、一次元件与差压计之间连接管路系统的装设,按 GB 2624 的规定。

## 5.6 燃料采样及分析

## 5.6.1 燃料采样

5.6.1.1 应从运动中的原煤流中取样。

5.6.1.2 采样应在整个试验工况期间按下述规定进行:

a. 固体燃料采样有效时间应与锅炉试验工况时间相等,但采样开始和结束的时间应视燃料从采取点至送入炉膛所需的时间而适当提前。整个采样期间应均隔时间采取样品;

b. 气体燃料在整个试验过程中应连续或均隔时间采样。为使采集的样品具有代表性,试验前应先进行采样,按本标准附录 H 的规定确定取样代表点。

5.6.1.3 入炉原煤取样铲长×宽×高为 300mm×200mm×50mm。不同煤种获得一个煤样需采取的份样个数、粒度及质量按表 13。

表 13

煤 类	粒度 mm	份样质量 kg	份样个数(个)
烟 煤	≤70	≥1	≥10
褐 煤	≤70	≥1	≥15
无烟煤	≤70	≥1	≥20
混 煤	≤70	≥1	≥50

a. 当燃料为单一煤种时,将所采取的全部份样煤按 RS-3-1 的规定充分混合后缩制成一个煤

5.6.1.4 其他未尽事项按 RS-1-1 的规定。

5.6.1.5 液体燃料采样按 RS-28-1 的规定。

5.6.1.6 气体燃料采样地点应在燃料的最高压力和温度区段内尽可能靠近锅炉处的自然扰流装置(如

表 15

气 体	取 样 处 烟 气 温 度			软管材料
	<400℃	400~570℃	>570℃	
O <sub>2</sub>	碳 钢	不 锈 钢	不锈钢(冷却至 650℃以下)	氟树脂或氟橡胶 聚乙烯橡胶
CO	碳 钢	不锈钢(冷却至 480℃以下)	不锈钢(冷却至 480℃以下)	
CO <sub>2</sub>	碳 钢	不 锈 钢	不锈钢(冷却至 650℃以下)	氟树脂或氟橡胶
NO	不锈钢或玻璃	不锈钢或玻璃	不锈钢或石英(冷却至 480℃以下)	
NO <sub>2</sub> <sup>1)</sup>	不锈钢或玻璃 <sup>2)</sup> (保持在 180℃)	不锈钢或玻璃 <sup>2)</sup> (保持在 180℃)	不锈钢或石英(保持在 180℃)	
SO <sub>2</sub> <sup>1)</sup>	不锈钢或玻璃 <sup>2)</sup> (保持在 180℃以上)	不锈钢或玻璃 <sup>2)</sup> (保持在 180~190℃)	不锈钢或石英(保持在 180~400℃)	氟树脂或氟橡胶 聚乙烯橡胶
SO <sub>3</sub> <sup>1)</sup>	不锈钢或玻璃 <sup>2)</sup> (保持在 180℃以上)	不锈钢或玻璃 <sup>2)</sup> (保持在 180~190℃)	不锈钢或石英(保持在 180~400℃)	
H <sub>2</sub> S <sup>1)</sup>	碳钢(保持在 180~400℃)	不锈钢(保持在 180~570℃)	不锈钢(保持在 180~650℃)	
C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> <sup>1)</sup>	碳钢(保持在 190℃)	不锈钢(保持在 190℃)	不锈钢(保持在 190℃)	氟树脂或氟橡胶

注: 1) 如果取样管路不能满足此要求时, 应将样品预先干燥;

2) 石英玻璃只能用于温度低于 290℃时。

5.7.3.2 采用高温试样时, 必须配用合适的取样冷却器。

5.7.3.3 取样管路应尽可能短而直, 并便于清理和吹扫。

5.7.3.4 取样管应顺烟气流动方向倾斜并装有适当的疏水管, 整个取样管路须严密不漏。

5.7.3.5 取样管应定期检查, 并应记录检查结果。

5.8.2.2 采用经标定合格的磅秤进行称量,同时将采样送实验室分析测定其含碳量。

5.8.2.3 采样量按下列规定:

- a. 火床炉:为试验期间总炉渣量的 1/20,且不少于 100kg;
- b. 火室炉:总采样量可视炉膛结构、排渣方式而定,但一般不应少于 2kg。

5.8.2.4 采样应在整个试验期间连续或等时间间隔进行,以保证样品的代表性。取样时间可视具体方法而定,但采样次数应不少于 10 次。

5.8.2.5 炉渣采样视炉底结构和排渣装置不同可从渣流中连续接取,或定期从渣槽(池、斗)内掏取,但此时应特别注意保证样品具有代表性,每次取样量应相同。

5.8.2.6 全部样品被破碎到粒度小于 25mm,充分混合后,按四分法(GB 474)缩制成两份各 7.5kg 的样品,如样品不足 15kg,则将全部样品破碎至 3mm 以下,充分混合,制成两份各 0.5kg 的样品。试样的制备按《火力发电厂燃料试验方法》(1984 年版)中 RS-3-1。

5.8.2.7 缩制后的两份样品,一份送实验室供分析,另一份保留直至所有试验结果经审查被认可为止。

当需要进行平衡时,应在称量同时进行取样,注意防止样品丢失,称量结束后应进行缩制及分析。

表

烟气成分	测量方法所适宜的浓度		对取样系统的要求	可以采用的
	仪器分析	手工分析		仪器分析
O <sub>2</sub>	0%~21%	0%~21%	—	顺磁氧量计 氧化锆氧量计
CO <sub>2</sub>	0%~21%	0%~21%	—	二氧化碳分析仪 不分光红外吸收仪(2mg/m <sup>3</sup> 以上) 气相色谱仪
CO	微量含量	≥0.2%	应避免取样器达到起氧化CO的催化作用温度	气相色谱仪 一氧化碳红外分析仪(不分光)(2mg/m <sup>3</sup> 以上) 红外分光光度计(1mg/m <sup>3</sup> 以上)
N <sub>2</sub>	任何浓度		—	—
			连续加热以避免烟气中水蒸气凝	非扩散红外吸收(0~2860mg/m <sup>3</sup> )

测量方法及其准确度			备 注
准 确 度	手 工 分 析	准 确 度	
±(2%~5%) ±(1.5%~3%)	奥氏仪	±(1.5%~3.0%) (包括测量系统误差)	当采用仪器分析时,应在试验开始前及试验过程中定时用奥氏仪进行校验
±(0.5%~1.0%)			大多数电厂的湿式除尘器碱性液体极易吸收



## 6.1.3.4 混合燃料

对燃用多种燃料的锅炉,应分别测定各种燃料消耗量及其元素分析值、工业分析值和低位发热量。锅炉效率计算按各种燃料占总燃料消耗量份额的加权平均值为基础进行计算,例如:

$$Q_{\text{bw}} = \frac{\sum (B_i (Q_{\text{bw}})_i)}{\sum B_i} = \sum b_i (Q_{\text{bw}})_i \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中:  $B_i$  —— 某种燃料消耗量, kg/h、m<sup>3</sup>/h;

$(Q_{\text{bw}})_i$  —— 某种燃料的应用基低位发热量, kJ/kg、kJ/m<sup>3</sup>;

$b_i$  —— 某种燃料消耗量占总燃料消耗量份额;

$$b_i = \frac{B_i}{\sum B_i}$$

$Q_{\text{bw}}$  —— 混合燃料的应用基低位发热量, kJ/kg、kJ/m<sup>3</sup>。

$$\rho_{\text{gn}} = 0.0125\text{CO} + 0.0009\text{H}_2 + \Sigma(0.54m + 0.045n) \frac{C_m\text{H}_n}{100} + 0.0152\text{H}_2\text{S} \\ + 0.0196\text{CO}_2 + 0.0125\text{N}_2 + 0.0143\text{O}_2 + 0.008\text{H}_2\text{O} + \frac{p_0}{1000} \dots\dots\dots(21)$$

6.1.4 本计算方法是根据输入—输出热量法和热损失法确定试验时实际运行工况下的锅炉毛效率。当

式中:  $C_{t,y_0}$ ——燃油比热,  $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ;

$t_{t,y_0}$ ——燃油温度,  $^{\circ}\text{C}$ 。

气体燃料比热按式(27)计算:

$$C_{t-g} = \frac{1}{100} [1.298(\text{CO} + \text{H}_2 + \text{O}_2 + \text{N}_2) + 1.591(\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O}) + 2.094 \sum C_m \text{H}_n] \dots\dots\dots(27)$$

式中:  $C_{t-g}$ ——气体燃料比热,  $\text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$ ;

### 6.2.1.2 外来热源加热空气带入热量

按式(28)或按式(29)、式(30)计算:

$$Q_{w1} = \frac{V_{SF}}{B} [C_{pa} t_a - (C_{pa})_0 t_0] \dots\dots\dots(28)$$

或 
$$Q_{w1} = \beta_{sv} [(h_a^t) - (h_a^0)] \dots\dots\dots(29)$$

或 
$$Q_{w1} = \frac{D_{w1}}{B} (h_{QR} - h_{QR}^0) \dots\dots\dots(30)$$

式中:  $D_{w1}$ ——外来热源工质流量,  $\text{kg}/\text{h}$ ,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;

$Q_{w1}$ ——外来热源加热空气带入热量,  $\text{kJ}/\text{kg}$ ,  $\text{kJ}/\text{m}^3$ ;

$B$ ——锅炉燃料消耗量,  $\text{kg}/\text{h}$ ,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;

$V_{SF}$ ——进入暖风器的风量,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;

$C_{p,a}$ ——空气预热器进口温度下的空气定压比热,  $\text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$ ; 查附录 C;

$(C_{p,a})_0$ ——基准温度下的空气定压比热,  $\text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$ ; 查附录 C;

$$Q_1 = \frac{1}{B} [D_{\text{m1}}(h_{\text{m1}} - h_{\text{p1}}) + D_{\text{r1}}(h_{\text{r1}}' - h_{\text{r1}}) + D_{\text{d1}}(h_{\text{d1}}' - h_{\text{d1}}) + D_{\text{w1}}(h_{\text{w1}} - h_{\text{p1}}) + D_{\text{p1}}(h_{\text{p1}} - h_{\text{p1}})] \quad \dots\dots\dots (32)$$

式中:  $Q_1$ ——输出热量, kJ/kg, kJ/m<sup>3</sup>;

$D_{\text{m1}}$ ——主蒸汽流量, kg/h;

$h_{\text{m1}}$ ——主蒸汽焓, kJ/kg;

$h_{\text{p1}}$ ——给水焓, kJ/kg;

$D_{\text{r1}}$ ——再热器入口蒸汽流量, kg/h;

$h_{\text{r1}}', h_{\text{r1}}$ ——分别为再热器进、出口蒸汽焓, kJ/kg;

$D_{\text{d1}}$ ——再热器减温水流量, kg/h;

$h_{\text{d1}}$ ——再热器减温水焓, kJ/kg;

$D_{\text{w1}}$ ——饱和蒸汽抽出量, kg/h;

$h_{\text{w1}}, h_{\text{p1}}$ ——分别为饱和水和饱和蒸汽焓, kJ/kg;

$D_{\text{p1}}$ ——排污水流量, kg/h。

式(32)适用于一次再热, 以给水作为喷水减温的机组。对于多次再热机组, 应加入其余各级再热器吸收的热量。

### 6.3 热损失法热效率计算

热损失法锅炉热效率按式(33)计算:

$$\eta = 100 - \frac{Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6}{Q_1} \times 100$$

$$= 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6) \quad \dots\dots\dots (33)$$

式中:  $\eta$ ——锅炉热效率, %;

$Q_2$ ——每千克(标准立方米)燃料的排烟损失热量, kJ/kg, kJ/m<sup>3</sup>;

$Q_3$ ——每千克(标准立方米)燃料的可燃气体完全燃烧损失热量, kJ/kg, kJ/m<sup>3</sup>。

$Q_{s0}^{\circ}$  —— 烟气所含水蒸汽的显热, kJ/kg, kJ/m<sup>3</sup>。

### 6.3.1.1 干烟气带走的热量

按式(36)计算:

$$Q_{s0} = V C_p (t_0 - t_1) \dots \dots \dots (36)$$

式中：——分别为转速、飞灰、沼渣在湿煤中灰量与煤中灰量的质量百分公

$$V_{H_2O} = 1.24 \left[ \frac{9H^r + W^y}{100} + 1.293 \alpha_{py} (t_{\text{空}}^{\circ}\text{C}) d_k + \frac{D_{\text{空}}}{B} \right] \dots\dots\dots (49)$$

对气体燃料:

$$V_{H_2O} = \frac{1}{100} [H_2 + H_2S^y + \frac{m}{2} C_m H_2^r] + \frac{d_k}{0.804} + \frac{1.293 \alpha_{py} d_k}{0.804} \dots\dots\dots (50)$$

$d_k$ ——气体燃料的湿度,为每标准立方米干气体燃料中含水蒸汽的千克数,kg/m<sup>3</sup>。

$d_k$ ——空气的绝对湿度,kg/kg(干空气),可由湿空气线图(附录 G)直接查得,亦可按式(51)求得:

$$d_k = 0.622 \frac{\frac{\phi}{100} (p_0)}{p_{\text{空}} - \frac{\phi}{100} (p_0)} \dots\dots\dots (51)$$

式中: $\phi$ ——按干、湿球温度查得的空气相对湿度,%;

$p_0$ ——当地大气压,Pa;



- b. 忽略输入物理热及雾化蒸汽带入的热量；
- c. 排烟热损失计算中忽略雾化蒸汽及燃料中氮引起的热损失；

并取：干烟气比热  $C_{p,sv} = 1.38 \text{ kJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$ ；

水蒸气比热  $C_{p,H_2O} = 1.51 \text{ kJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$ ；

空气绝对湿度  $d_k = 0.01 \text{ kg}/\text{kg}(\text{干空气})$ ；

- d. 过量空气系数计算公式采用  $\alpha_{py} = \frac{21}{21 - O_2}$ ；
- e. 煤粉炉忽略气体未完全燃烧热损失；
- f. 忽略磨煤机排出石子煤的热损失；
- g. 除液态排渣炉外，可忽略灰渣物理显热损失。

## 7 换算到保证条件下的热效率

锅炉试验期间，要求基准空气温度、外部预热的燃烧空气温度、给水温度、再热器进口蒸汽温度及燃料特性(主要为  $Q_{hw}$  与  $W^y$ )等初始条件都符合规定的要求(如设计值或保证值)。当它们与规定值有偏差时，试验所得的锅炉热效率应换算到设计参数下的热效率。由于锅炉结构型式众多，不可能对这种换算提出一套通用的曲线或公式，因此，锅炉制造厂应按协议为其生产的锅炉提供这种修正曲线等资料，并得到有关各方事先认可。

如果试验所用燃料特性在预先约定的变化范围内，可以不进行由于燃料特性变化对热效率的修正。当超出这一变化范围而在协商一致的基础上，也可按第 7.2.4 条对燃料特性的变化进行修正。

在上述各项修正中，以基准空气温度和给水温度偏差的修正最为主要。在有关各方事先协商一致的



## 9 锅炉蒸发量、蒸汽参数及其他运行特性试验

### 9.1 锅炉蒸发量、蒸汽压力与温度

9.1.1 锅炉验收试验中,测定锅炉蒸发量、蒸汽压力与温度可在锅炉热效率试验及其他有关的性能试验中同时进行。测定时间应不少于 2h。

9.1.2 锅炉蒸发量及再热蒸汽、减温喷水流量的测定见第 5.4 条。

9.1.3 蒸汽温度及给水、喷水温度的测量见第 5.2 条。

9.1.4 蒸汽压力测量见第 5.3 条。

9.1.5 应同时在试验中测取和记录其他各热力参数,详见本标准第 5 章。

9.1.6 除在新定蒸发量下进行的两次有效测量外,还应在 70%额定蒸发量下对有关热力参数进行测

9.4.2.2 水、汽取样位置及推荐采用的取样装置见表 18。

9.4.2.3 蒸汽取样器入口要求尖锐且无毛刺,以减小对汽流的干扰。

9.4.2.4 水、汽取样装置及引出管均采用不锈钢材料。

9.4.3 试验内容与方法

9.4.3.1 试验准备

a. 试验大纲编制参照第 4.2.15 条;有关热工仪表的校验见第 5.1.4 条;

b. 根据所采用的汽、水分析方法,准备必要的仪表和药品,如 pH 计、pNa 计、分光光度计、导电仪

等。

表 19

试验内容	试验对象与目的	试验条件与方法	备 注
临界含	对以化学软化水作为补充水、月补充水量较大的中压及	在锅炉额定蒸发量和参数下,保持正常水位和	



## 9.5 汽水系统阻力和压差

9.5.1 试验目的为测定下述系统或管组的汽水侧阻力或压差,以便与设计值相比较。

- a. 锅炉汽水系统整体;

时还应对应进、出口测定之间由高度差引起的传压管道中重位压差进行修正。

## 9.6 空气预热器漏风

9.6.1 试验目的为考核空气预热器漏风性能。

9.6.2 空气预热器漏风率的测定与计算

9.6.2.1 空气预热器漏风率定义为漏入空气预热器烟气侧的空气质量与进入空气预热器的烟气质量之比,见式(66):

$$A_L = \frac{\Delta m_a}{m'_y} \times 100 = \frac{m'_y - m'_y}{m'_y} \times 100 \dots\dots\dots (66)$$

式中:  $A_L$ ——空气预热器漏风率, %;

$\Delta m_a$ ——漏入空气预热器烟气侧的空气质量, kg/kg, kg/m<sup>3</sup>;

$m'_y, m'_y$ ——分别为烟道进、出口处烟气质量, kg/kg, kg/m<sup>3</sup>。

9.6.2.2 空气预热器漏风率的测定见附录 K(补充件)。

9.6.3 试验及测定

9.6.3.1 试验应在额定负荷或接近额定负荷下进行。

9.6.3.2 应同时用同种类型的分析仪测量相应区段烟道的进、出口烟气成分进行计算。

9.6.3.3 测定烟气成分见本标准第 5.7 条。

9.6.3.4 试验前应稳定锅炉蒸发量及风量,同时记录炉膛负压;试验过程中入炉燃料和空气量应保持

- a. 自动称量法,即利用磨煤机系统中独有的自动磅秤,每次卸空后应对自动磅秤进行校验和检查零位;
- b. 给煤机特性法,用经标定过的给煤机的给煤量特性来测定给煤量,同时需测定煤的堆积密度。当精度能满足试验要求时采用。
- c. 直接截取称量法,采用专用磅秤,用以称量无其他办法能获得供入磨煤机的煤量,试验前磅秤需经校验。

9.8.3.3 测量的时间间隔见表 25。

表 25

名 称	测 量 时 间 间 隔 及 次 数
装有自动磅秤且在运行中有直接指示时	每 10~15min 测读、记录一次
积 算 仪	试验开始及结束时各记录一次读数及起、止时间
给 煤 量 特 性 法	每 10~15min 测量一次给煤机转速; 每个工况应测定堆积密度 1~2 次
直 接 截 取 称 量	每个工况称量应不少于 3 次

9.8.4 磨煤机耗电量及制粉系统总耗电量测定

9.8.4.1 用经校验过的功率表或电度表测定。

9.8.4.2 磨煤机驱动电机输出轴功率按式(67)计算:

$$P_{\text{轴}} = P_{\text{测}} \eta \dots\dots\dots (67)$$

式中:  $P_{\text{轴}}$ ——磨煤机驱动电机输出轴功率, kW;

$P_{\text{测}}$ ——实测磨煤机电动机功率, kW;

$\eta$ ——根据电动机实测功率在电动机效率曲线上查得的电动机效率, %。

一般情况下不作效率修正。通常直接采用实测所得的各项功率。按第 9.8.4.3 和 9.8.4.4 条进行各项计算。

9.8.4.3 制粉系统总耗电量按式(68)计算:

- 9.8.5.1 在磨煤机前或后的管道合适部位上进行测量。对直吹式系统，一般在磨煤机前测量；对中间煤粉仓系统，在粗粉分离器后的管道上测量，同时还须测取再循环风量。
- 9.8.5.2 在磨煤机后测量时，总风量中包括系统漏风(对负压系统)或密封风量(对正压系统)。
- 9.8.5.3 测孔前后应有一定长度的直管段，建议测孔上游直段不少于5倍管道内径，测孔下游直段不少于3倍管道内径。
- 9.8.5.4 有关测点的布置及测点的确定，按第5.4.4条和附录H的规定。
- 9.8.5.5 一般须测定动压、静压、介质温度和大气压力。测量方法见第5.2.5.3.5.4条。

$$n = \frac{\lg \ln \frac{100}{R_{x_1}} - \lg \ln \frac{100}{R_{x_2}}}{\lg x_1 - \lg x_2} \dots \dots \dots (71)$$

式中:  $x_1, x_2$ ——分别表示两种不同规格筛子的孔径,  $\mu\text{m}$ 。

## 10 误差分析

### 10.1 测量误差分类及特征

测量误差分类见表 26。

表 26

误差类别	定 义 及 特 征	处 理
	由随机出现的偶然因素而引起的误差。数值大小和正负	

$n$ ——观测次数。

10.3.2.2 测量值算术平均值  $\bar{x}$  的标准差  $S_{\bar{x}}$  按式(75)计算:

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n(n-1)} \right]^{1/2} \dots \dots \dots (75)$$

10.3.2.3 极差(极限偏差)

测量值的极差为标准差与置信系数的乘积,按式(76)计算:

$$R = t \times S \dots \dots \dots (76)$$

式中: $R$ ——测量值的极差;

$t$ ——置信系数。

测量值算术平均值的极差为算术平均值偏差与置信系数的乘积,按式(77)计算:

$$R_{\bar{x}} = t \times S_{\bar{x}} = \frac{tS}{\sqrt{n}} \dots \dots \dots (77)$$

置信系数与测量值置信水平  $(1-\alpha)$  的对应关系如下:

- a. 对测量列的单项测量,按表 27;
- b. 对测量列的算术平均值,按表 28。

表 27

置信系数 $t$	置信水平 $(1-\alpha)$
1	0.6826
2	0.9544
3	0.9973

表 28 置信系数、置信水平与观测次数之间的对应关系  
(供计算测量列算术平均值的极限误差时用)

$t$ $n$	$1-\alpha$			$t$ $n$	$1-\alpha$		
	0.9973	0.99	0.95		0.9973	0.99	0.95
2	3.0	3.0	3.0	16	3.0	2.95	2.13
3	3.0	3.0	3.0	17	3.0	2.92	2.12
4	3.0	3.0	3.0	18	3.0	2.90	2.11
5	3.0	3.0	2.78	19	3.0	2.88	2.10
6	3.0	3.0	2.57	20	3.0	2.86	2.09
7	3.0	3.0	2.45	30	3.0	2.75	2.05

## 10.3.2.4 误差合成

测量某一参数时,如果存在  $n$  个随机误差(偏差)和  $m$  个未定系统误差,该量值的综合随机误差按式(78)计算:

$$\sigma_s = [\sum_{i=1}^n s_i^2]^{1/2} \quad \dots\dots\dots (78)$$

该量值的综合极限误差按式(79)计算:

$$\sigma_R = [\sum_{i=1}^n R_i^2 + \sum_{k=1}^m \Delta_k^2]^{1/2} \quad \dots\dots\dots (79)$$

式中:  $\Delta$  —— 未定系统误差。

## 10.3.2.5 测量值的总误差

测量值的总误差主要包括取样误差和测量误差,按式(80)计算:

$$\sigma = [\sigma_s^2 + \sigma_c^2]^{1/2} \quad \dots\dots\dots (80)$$

总极限误差按式(81)计算:

$$\Sigma\sigma_R = [\sigma_s^2 + \sigma_k^2]^{1/2} \quad \dots\dots\dots (81)$$

式中:  $\sigma$ 、 $\Sigma\sigma_R$  —— 测量值的总误差和总极限误差;

$\sigma_c$  —— 取样误差;

$\sigma_k$  —— 测量值的综合误差和综合极限误差

表 29 不同方法可能测量的误差、导致效率计算的误差 %

方法名称	序号	测 量 项 目	测量误差	在计算锅炉效率中所导致的误差
输入—输出	1	称重箱(经标定的磅秤)	±0.10	±0.10
	2	容积箱(经标定)	±0.25	±0.25
	3	经标定的流量喷嘴或孔板(包括压力计)	±0.35	±0.35
	4	经标定的流量喷嘴或孔板(包括记录仪)	±0.55	±0.55
	5	煤秤—一次装炉量或堆料(经标定)	±0.25	±0.25
	6	未经校验的流量喷嘴或孔板(包括压力计)	±1.25	±1.25
	7	未经校验的流量喷嘴或孔板(包括记录仪)	±1.60	±1.60
	8	燃料的热值(煤)	±0.50	±0.50
	9	燃料的热值(油)	±0.25	±0.25

- f. 结论和建议；
- g. 测量技术及仪表的补充说明附件；
- h. 误差分析等其他附件。

表 30

## 锅炉验收试验总报告