



# 锅炉大气污染物测试技术与关键问题的处理

中国特种设备检测研究院

齐国利





# 目录

01

锅炉大气污染物排放标准

02

监测标准

03

初始浓度测量条件

04

测量边界





# 我国锅炉大气污染物排放检测/监测标准

锅炉大气污染排放物：颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、汞及其化合物、烟气黑度  
火电厂大气污染排放物：烟尘、二氧化硫、氮氧化物、汞及其化合物、烟气黑度

## 烟尘/颗粒物

燃煤超低：6%  
燃煤国标：9%

## 二氧化硫

燃煤超低：6%  
燃煤国标：9%

## 氮氧化物

燃煤超低：6%  
燃煤国标：9%

## 烟尘/颗粒物

油气超低：3%  
油气国标：3.5%

## 二氧化硫

油气超低：3%  
燃煤国标：3.5%

## 氮氧化物

燃煤超低：3%  
燃煤国标：3.5%





# 标准分类

## 限值标准

GB13721-2014  
GB13223-2011

## 总体检测标准

GB/T16157-1996  
GB/T 16157-1996/XG1-2017  
GB/T5468-1991



## 单项检测标准

HJ/T42-1999  
HJ/T43-1999  
HJ/T56-2000  
HJ/T57-2017  
HJ/T75-2017  
HJ/T76-2017  
HJ/T836-2017

锅炉大气污染物排放标准是限值标准，属于强制标准；总体检测标准属于方法类标准，属于总体检测方法；单项检测标准，针对某一大气污染物。

# 标准关系

TODAY

**GB13271和GB13223**

工业锅炉和电站锅炉



**16157和修改单**

**20mg/m<sup>3</sup>**

**2018-3-1**

2018



**5468/16157/397**

规定监测工况；  
规定采样方法。



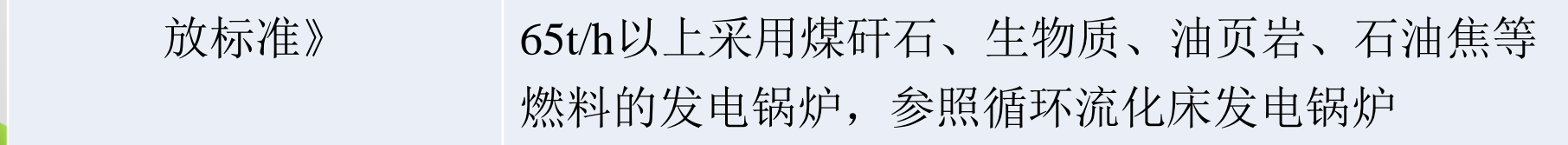
**其他单项**

SO<sub>2</sub> ; NO<sub>x</sub> ; Hg ; 黑度



## 限值标准（范围）


标准名称	范围
GB13271-2014 《锅炉大气污染物排放标准》	燃煤、燃油气单台出力65t/h及以下蒸汽锅炉； 各种容量的热水锅炉和有机热载体锅炉； 各种容量的层燃炉、抛煤机炉； 型煤、水煤浆、煤矸石、石油焦、油页岩、生物质成型燃料等，参照燃煤锅炉；
GB13223-2011 《火电厂大气污染物排放标准》	65t/h以上除层燃、抛煤机炉外的燃煤发电锅炉； 各种容量的煤粉发电锅炉； 各种容量的燃气轮机组的火电厂； 65t/h以上采用煤矸石、生物质、油页岩、石油焦等燃料的发电锅炉，参照循环流化床发电锅炉





## 监测要求


标准名称	范围	主要区别
GB5468-1991 《锅炉烟尘测试方法》	GB13271有关参数	规定了监测工况
GB/T16157-1996 《固定污染源排气中 颗粒物和气态污染物 采样方法》	各种锅炉、工业炉窑及 其他固定污染源排气中 颗粒物的测定和气态污 染物的采样	规定工况下
HJ/T397-2007 《固定源废气监测技 术规范》	颗粒物与气态污染物监 测的手工采样和测定技 术方法，以及便携式仪 器监测方法。	核算符合率； 标准规定工况； 日常工况（监测）； 验收75%以上





## 烟气状态参数、成分和流速流量测定

测定项目	测量方法
烟气温度	热电偶或热电阻
烟气含湿量	冷凝法；干湿球法
烟气压力	皮托管与U型压力计；皮托管与斜管压力计
大气压力	水银大气压力计；空盒大气压力计
烟气密度	奥氏气体分析仪；非分散红外气体分析仪；氧化锆测氧仪
烟气流速、流量	皮托管、斜管压力计；皮托管、微压传感器压力计；热线或热球风速计；热模式风速计；叶轮风速计








## 烟气温度

**重要性：**烟气湿度、密度、流速、流量以及等速采样流量；

**测点：**中心点、单点采样。（原因：烟气温度在烟道内通常是均匀的，即使有些偏差，对测试精度的影响也可忽略不计。）  
????

**常用仪器：**热电偶（镍铬-康铜，镍铬镍铝，铂-铂铑）；电阻（热电阻、铂电阻）






## 烟气含湿量（冷凝法）

**原理：**从烟道中抽取一定体积的烟气，通过冷凝器，根据冷凝出来的水量，加上从冷凝器排出的饱和气体含有的水蒸气量，计算烟气中的水分含量。

**计算：**

$$X_{sw} = \frac{461.8(273 + t_r)G_w + P_v V_a}{461.8(273 + t_r)G_w + (B_a + P_r)V_a} \times 100\%$$

**特点：**3%以下的含湿量，需要使用冰水；需要自己加工冷凝器。





## 烟气含湿量（干湿球法）

**原理：**烟气以一定速度通过干、湿球温度计，根据干、湿球温度计读数和测点处烟气绝对压力来确定烟气中水蒸气的含量。

**计算：**

$$X_{sw} = \frac{P_{bv} - 0.00067(t_c - t_b)(B_a + P_b)}{B_a + P_s} \times 100\%$$



**特点：**干湿球温度计使用温度在100℃以下；通过湿球表面的气体流速应在2.5m/s以上。





## 烟气压力测定



**原理：** 烟气压力是气体在管道中流动时所具有的能量包括两部分：一部分能量体现在压强大小上，通常称为静压；另一部分体现在流速大小上，通常称为动压。





## 大气压力测定

**原理：**大气压力属于烟气状态参数，但与烟气压力密切相关。大气压力的变化，对气体的物理性质将产生一定的影响，是必须测定的重要参数。一般情况，平均每增高10m，大气压力下降110Pa。



## 烟气密度测定

**原理：**每立方米烟气的质量为烟气密度， $\text{kg/m}^3$ 。烟气密度与烟气温度、含湿量、烟气压力和烟气成分密切相关。

①干烟气气体分子量  $M_{sd} = X_{O_2}M_{O_2} + X_{CO}M_{CO} + X_{CO_2}M_{CO_2} + X_{N_2}M_{N_2}$

②湿烟气气体分子量  $M_s = (X_{O_2}M_{O_2} + X_{CO}M_{CO} + X_{CO_2}M_{CO_2} + X_{N_2}M_{N_2})(1 - X_{sw}) + X_{sw}M_{H_2O}$

③标准状态下干烟气的密度  $\rho_{Nd} = \frac{M_{sd}}{22.4} = \frac{1}{22.4}(X_{O_2}M_{O_2} + X_{CO}M_{CO} + X_{CO_2}M_{CO_2} + X_{N_2}M_{N_2})$

④标准状态下湿烟气的密度  $\rho_s = \frac{M_s}{22.4} = \frac{1}{22.4}[(X_{O_2}M_{O_2} + X_{CO}M_{CO} + X_{CO_2}M_{CO_2} + X_{N_2}M_{N_2})(1 - X_{sw}) + X_{sw}M_{H_2O}]$

⑤测量状态下烟道内湿烟气的密度

$$\rho_s = \rho_n \frac{273}{273 + t_s} \times \frac{B_a + P_s}{101300}$$



## 烟气流速、流量测定

仪器名称	原理	测量范围/ (m/s)	准确度	抗干扰性能	
				烟尘	温度
皮托管、协管压力计	根据测出的气流动压、计算气体的流速	4~60	3.0级	优	优
皮托管、微压传感器压力计	根据测出的气流动压、计算气体流速	1~60	1.0级	优	优
热线或热球风速计	测量加热的热线或热球因气体流动而冷却的温度或引起电阻的变化来测定风速	0.15~30	2.0级	差	良
热模式风速计	根据气流中叶轮旋转速度测量风速	0.15~30	2.0级	良	良
叶轮风速计	根据气流中叶轮旋转速度测量风速	0.25~30	1.0级	良	良





## 皮托管法

**原理：** 气体流速与动压的平方根成正比。根据测得的动压、静压和温度等参数，计算烟气流速。





# 皮托管法

烟气流速计算:

$$V_s = K_P \sqrt{\frac{2P_d}{\rho_s}} \quad \rho_s = \frac{M_s (B_a + P_s)}{8312 \times (273 + t_s)}$$

$$V_s = 128.9 K_P \sqrt{\frac{(273 + t_s) P_d}{M_s (B_a + P_s)}}$$

$$\bar{V}_s = \frac{\sum_{i=1}^n V_{si}}{n} = 128.9 K_P \sqrt{\frac{(273 + t_s) P_d}{M_s (B_a + P_s)}} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{P_{di}}}{n}$$



## 热线（热球）式风速计

**原理：**加热到一定程度的热丝或热敏电阻放在气流中时，将产生冷却效应，其散热量和电阻变化与气流速度存在一定的关系。通过测量散热量或电阻的变化，可推算出气体的流速。

**测量范围：**0.1~30m/s，<5m/s低风速尤其适用；

**缺点：**常温空气；高温烟道使用，需要皮托管标定。





## 热膜风速计

**原理：**与热线、热球风速计基本一致，区别是热敏元件涂有石英或陶瓷的保护膜，提高了热敏元件的强度和使用寿命。







## 翼型风速计

**原理：**根据叶轮旋转速度来求出流速，其转速用传感器线圈的电讯号方式检测出来，再转换成脉冲讯号传送出去。

**测量范围：**0.25~30m/s。

**使用条件：**使用前需要用皮托管进行校准。





## 排气量计算

① 工况下的湿排气量

$$Q_s = 3600 \cdot F \cdot \bar{V}_s$$

② 标准状态下排气量

$$Q_{sn} = Q_s \cdot \frac{B_a + P_s}{101300} \cdot \frac{273}{273 + t_s} (1 - X_{sw})$$

③ 通风管道中的空气流量

$$Q_a = 3600 \cdot F \cdot \bar{V}_a$$





## 烟尘浓度测定

**原理：**烟尘测定采用过滤称重法，即用采样管从烟道中抽取一定量的含尘烟气，通过滤筒将烟尘捕集下来。然后根据捕集的颗粒物重量和抽取的烟气量，计算出颗粒物浓度。

**准确性：**取决于烟气样品的代表性。

**等速采样：**使用平衡型等速采样管，可通过调节压力实现等速采样。

**烟尘排放量：**仍需测量烟气温度、压力、含湿量、流速和流量。





## 等速采样

**原理：**样品的代表性，需等速采样，即气体进入采样嘴的气流速度 $v_s$ 应与采样点的烟气流速 $v_n$ 相等。

**误差：**相对误差 $\leq 10\%$ 。





## 采样速度对测定结果的影响

$v_s/v_n$	$C_m/C_s$	
	范围	典型值
0.6	0.75~0.90	0.85
0.8	0.85~0.95	0.90
1.2	1.05~1.20	1.10
1.4	1.10~1.40	1.20
1.6	1.15~1.60	1.30
1.8	1.20~1.80	1.40







## 采样嘴方向对测定结果的影响





## 采样嘴形状和大小对测定结果的影响

**原理：** 根据实验结果，直角边和钝边采样嘴对采样结果造成一定的误差；采样嘴宜做成渐缩锐边圆形，锐边的锥度 $45^\circ$ 。

**条件：** 采样嘴入口边缘厚度 $\leq 0.2\text{mm}$ ；入口直径偏差 $\leq \pm 0.1\text{mm}$ 。

采样嘴直径：6, 8, 10, 12mm。





齐国利

谢谢欣赏

