



中华人民共和国国家标准

GB/T 21508—2025

代替 GB/T 21508—2008

燃煤烟气脱硫设备性能测试方法

Performance test method for coal-fired flue gas desulphurization equipment

2025-10-31 发布

2026-05-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 测试要求 4

 4.1 测试时间 4

 4.2 测试工况 4

 4.3 物料要求 4

 4.4 运行参数要求 4

 4.5 测试仪器及人员要求 4

5 测试内容 4

6 测试方法 5

 6.1 锅炉和脱硫设备主要的运行参数记录 5

 6.2 烟气参数 5

 6.3 SO₂ 浓度及脱除效率 6

 6.4 颗粒物浓度及脱除效率 6

 6.5 雾滴浓度 8

 6.6 SO₃ 浓度及脱除效率 8

 6.7 HCl 浓度及脱除效率 10

 6.8 HF 浓度及脱除效率 10

 6.9 Hg 浓度 11

 6.10 吸收剂的主要成分、活性和反应速率 11

 6.11 吸收剂消耗量和钙硫摩尔比 12

 6.12 电耗 13

 6.13 水耗 14

 6.14 蒸汽消耗量 14

 6.15 外供压缩空气消耗量 14

 6.16 脱硫废水的主要成分和质量流量 14

 6.17 脱硫副产物(石膏或脱硫渣)成分 14

 6.18 脱硫设备工作场所的粉尘浓度 16

 6.19 噪声 16

 6.20 脱硫浆液成分 16

7 测试报告..... 16

 7.1 数据处理 16

 7.2 报告内容 16

附录 A (资料性) 运行参数 18

A.1	锅炉主要运行参数记录表	18
A.2	典型湿法脱硫设备的主要运行参数记录表	18
A.3	典型干法/半干法脱硫设备的主要运行参数记录表	20
附录 B (资料性)	典型工艺系统的测点布置图	23
B.1	湿法脱硫工艺(以石灰石-石膏法为例)	23
B.2	干法/半干法脱硫工艺(以烟气循环流化床脱硫工艺为例)	24
附录 C (规范性)	采样点位置和数目的确定	25
附录 D (资料性)	烟气中雾滴浓度的测定	27
D.1	方法提要	27
D.2	测试仪器	27
D.3	测试过程	28
D.4	雾滴浓度的计算	28
附录 E (资料性)	烟气脱硫分析常用物质的相对分子质量	30
图 1	颗粒物采样系统示意图	7
图 2	SO ₃ 采样系统示意图	9
图 3	SO ₃ 冷凝装置示意图	9
图 B.1	湿法脱硫工艺测点位置和范围的指导性建议	23
图 B.2	干法/半干法脱硫工艺测点位置和范围的指导性建议	24
图 C.1	圆形烟道采样点位置	25
图 C.2	矩形烟道采样点位置	26
图 D.1	烟气中液滴的采样系统	27
图 D.2	液滴捕集器尺寸和形状	28
表 A.1	锅炉主要运行参数记录表	18
表 A.2	典型湿法脱硫设备的主要运行参数记录表	18
表 A.3	典型干法/半干法脱硫设备的主要运行参数记录表	20
表 E.1	烟气脱硫分析常用物质的相对分子质量	30

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替 GB/T 21508—2008《燃煤烟气脱硫设备性能测试方法》，与 GB/T 21508—2008 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 更改了范围(见第1章,2008年版的第1章)；
- b) 删除了“负荷率”“脱硫效率”的术语和定义(见2008年版的3.8、3.9)；
- c) 增加了“颗粒物”“基准氧含量”“脱除效率”的术语和定义(见3.8~3.10)；
- d) 删除了石灰消化速率和脱硫设备负荷率的变化范围等测试内容(见2008年版的5.1)；
- e) 增加了 Hg 浓度和脱硫浆液成分测试项目(见第5章)；
- f) 更改了 HCl 浓度的测试方法(见6.7,2008年版的6.3.4.3)；
- g) 更改了 HF 浓度的测试方法(见6.8,2008年版的6.3.4.4)；
- h) 更改了颗粒物浓度的测试方法(见6.4,2008年版的6.4)；
- i) 增加了烟气中 Hg 浓度的测试内容及测试方法(见6.9)；
- j) 增加了生石灰活性检测和脱硫浆液成分等内容(见6.10)；
- k) 更改了烟气中 SO₃ 测试方法(见6.4,2008年版的附录C)；
- l) 增加了采样点位置和数目的确定(见附录C)。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国环保产业标准化技术委员会(SAC/TC 275)归口。

本文件起草单位：中机生产力促进中心有限公司、西安热工研究院有限公司、浙江菲达环保科技股份有限公司、浙江大学、福建龙净环保股份有限公司、武汉凯迪电力环保有限公司、中国电力工程顾问集团有限公司、国能南京电力试验研究有限公司、国能龙源环保有限公司、东方电气集团东方锅炉股份有限公司、华电电力科学研究院有限公司、中国标准化研究院、上海电气电站环保工程有限公司、中国环保机械行业协会、青岛达能环保设备股份有限公司、浙江中科电维科技有限公司。

本文件主要起草人：何育东、高翔、刘含笑、李兴华、叶兴联、李艳波、吴敏、李军状、张力、张涌新、陈威祥、黄进、杨用龙、张启玖、杨志忠、李哲、魏晗、黄晶晶、赵琳、张晓昕、郭士义、焉杰文、王勇、李蜀生、陈坚。

本文件于2008年首次发布，本次为第一次修订。

燃煤烟气脱硫设备性能测试方法

1 范围

本文件规定了燃煤烟气脱硫设备性能测试的测试要求、测试内容、测试方法和测试报告。

本文件适用于石灰石/石灰—石膏湿法脱硫工艺和干法/半干法脱硫工艺的性能测试,其他脱硫工艺参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 211 煤中全水分的测定方法

GB/T 3286.1 石灰石及白云石化学分析方法 第1部分:氧化钙和氧化镁含量的测定 络合滴定法和火焰原子吸收光谱法

GB/T 3286.2 石灰石及白云石化学分析方法 第2部分:二氧化硅含量的测定 硅钼蓝分光光度法和高氯酸脱水重量法

GB/T 3286.3 石灰石及白云石化学分析方法 第3部分:氧化铝含量的测定 铬天青S分光光度法和络合滴定法

GB/T 3286.4 石灰石及白云石化学分析方法 第4部分:氧化铁含量的测定 邻二氮杂菲分光光度法和火焰原子吸收光谱法

GB/T 3286.5 石灰石及白云石化学分析方法 第5部分:氧化锰含量的测定 高碘酸盐氧化分光光度法

GB/T 3286.6 石灰石及白云石化学分析方法 第6部分:磷含量的测定 磷钼蓝分光光度法

GB/T 3286.7 石灰石及白云石化学分析方法 第7部分:硫含量的测定 管式炉燃烧-碘酸钾滴定法、高频燃烧红外吸收法和硫酸钡重量法

GB/T 3286.8 石灰石及白云石化学分析方法 第8部分:灼烧减量的测定 重量法

GB/T 3286.9 石灰石及白云石化学分析方法 第9部分:二氧化碳含量的测定 烧碱石棉吸收重量法

GB/T 5484 石膏化学分析方法

GB/T 6904 工业循环冷却水及锅炉用水中 pH 的测定

GB/T 6911 工业循环冷却水和锅炉用水中硫酸盐的测定

GB/T 7484 水质 氟化物的测定 离子选择电极法

GB 8978 污水综合排放标准

GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准

GB/T 15453 工业循环冷却水和锅炉用水中氯离子的测定

GB/T 16157 固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法

GBZ/T 192.1 工作场所空气中粉尘测定 第1部分:总粉尘浓度

DL/T 323 干法烟气脱硫用生石灰的活性测定方法

DL/T 567.5 火力发电厂燃料试验方法 第5部分:煤粉细度的测定
DL/T 943 烟气湿法脱硫用石灰石粉反应速率的测定
DL/T 1483 石灰石-石膏湿法烟气脱硫系统化学及物理特性试验方法
HJ 543 固定污染源废气 汞的测定 冷原子吸收分光光度法
HJ 836 固定污染源废气 低浓度颗粒物的测定 重量法
HJ 917 固定污染源废气 气态汞的测定 活性炭吸附/热裂解原子吸收分光光度法
JJG 1036 电子天平

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

性能保证值 performance guarantee value

脱硫设备在设计条件下运行时,性能参数能达到的保证值。

3.2

性能验收试验 performance acceptance test

考核验收脱硫设备实际运行的性能参数是否达到性能保证值为目的的性能试验。

3.3

设计工况 design condition

脱硫设备在设计入口烟气条件时的运行工况。

3.4

标准状态 normal condition

烟气在温度为 273.15 K、压力为 101 325 Pa 时的状态。

3.5

干烟气 dry flue gas

不含水分的烟气。

3.6

原烟气 raw flue gas

进入脱硫设备前未经处理的烟气。

3.7

净烟气 clean flue gas

经脱硫设备处理后的烟气。

3.8

颗粒物 particulate matter

燃料和其他物质在燃烧、合成、分解以及各种物料在机械处理中所产生的悬浮于排气中的固体和液体颗粒状物质。

3.9

基准氧含量 reference oxygen concentration

有关排放标准中规定的烟气中的氧含量。

3.10

脱除效率 removal efficiency

烟气脱硫设备脱除二氧化硫(SO₂)、颗粒物、氯化氢(HCl)、氟化氢(HF)和三氧化硫(SO₃)的能力。

注:由脱硫设备原烟气和净烟气 SO₂、颗粒物、HCl、HF 和 SO₃ 浓度计算脱除效率,其值由公式(1)计算。

$$\eta_X = \frac{C_{X\text{-rawgas}} - C_{X\text{-cleangas}}}{C_{X\text{-rawgas}}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：
 η_X ——脱除效率；
 $C_{X\text{-rawgas}}$ ——原烟气在标准状态、干烟气、基准氧含量时 SO₂、颗粒物、HCl、HF 及 SO₃ 的浓度，由公式(2)计算，单位为毫克每立方米(mg/m³)；
 $C_{X\text{-cleangas}}$ ——净烟气在标准状态、干烟气、基准氧含量时 SO₂、颗粒物、HCl、HF 及 SO₃ 的浓度，由公式(2)计算，单位为毫克每立方米(mg/m³)。
基准氧含量条件下，烟气中污染物 SO₂、颗粒物、HCl、HF 及 SO₃ 浓度，其值由公式(2)计算。

$$C_X = C'_X \times \frac{21 - O_2}{21 - O'_2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：
 C_X ——烟气在标准状态、干烟气、基准氧含量时 SO₂、颗粒物、HCl、HF 及 SO₃ 的浓度，单位为毫克每立方米(mg/m³)；
 C'_X ——烟气在标准状态、干烟气、实测氧含量时 SO₂、颗粒物、HCl、HF 及 SO₃ 的浓度，单位为毫克每立方米(mg/m³)；
 O'_2 ——实测烟气中的氧含量，%；
 O_2 ——基准氧含量，%。

- 3.11
烟气系统阻力 system resistance
烟气流经脱硫设备时的阻力，为脱硫设备入口至出口各段阻力之和。
- 3.12
电耗 electricity consumption
脱硫设备消耗的各种电能之和。
- 3.13
水耗 water consumption
脱硫设备消耗的所有水量之和。
- 3.14
蒸汽消耗量 steam consumption
脱硫设备消耗的所有蒸汽量之和。
- 3.15
吸收剂消耗量 absorbent consumption
脱硫设备消耗的吸收剂量。
- 3.16
钙硫摩尔比 mole ratio of Ca/S
投入脱硫设备中钙基吸收剂与脱硫设备脱除的 SO₂ 摩尔数之比。
- 3.17
雾滴浓度 droplet concentration
湿法脱硫设备中除雾器出口烟气所携带浆液滴的质量浓度。
- 3.18
石灰石反应速率 limestone dissolution rate
石灰石中碳酸盐与酸的反应速率。

3.19

生石灰活性 quicklime activity

生石灰在规定条件下进行消化时,最大温升与所需时间的比值。

4 测试要求

4.1 测试时间

4.1.1 新建或改造脱硫设备的性能保证值验收试验应在脱硫设备整体试运行结束 2 个月后、6 个月内进行。在役脱硫设备的性能试验应在检修后运行半个月以上进行。

4.1.2 性能验收试验在设计工况下持续 3 d 及以上。

4.2 测试工况

性能试验期间,锅炉和脱硫设备应稳定运行,每个负荷率测试工况的锅炉负荷波动不超过 5%,脱硫设备的运行参数应调整至接近设计参数,并保持在设计区间范围。

4.3 物料要求

性能验收试验时,燃用的煤质、吸收剂的成分和活性及工艺水品质应符合设计要求。

4.4 运行参数要求

性能验收试验时,应将脱硫设备的运行参数(包括烟气流量、温度、入口 SO_2 浓度、吸收塔液位、浆液 pH 值和浆液密度等)调整到设计工况。当实际运行工况烟气参数偏离设计工况烟气参数时,应用修正曲线对试验结果进行修正。

4.5 测试仪器及人员要求

性能验收试验时,所有测试仪器应在其检定有效期内,测试仪器的量程和精度应满足所测项目的精度要求。进行性能测试的检测单位应取得相应的资质认证,从事检测人员应经培训考核合格后上岗。

5 测试内容

应根据目的、具体工艺和现场测试条件选择如下性能测试项目:

- 烟气流量;
- 烟气温度;
- 烟气系统阻力;
- SO_2 浓度及脱除效率;
- 颗粒物浓度及脱除效率;
- 除雾器出口雾滴浓度(湿法脱硫设备);
- SO_3 浓度及脱除效率;
- HCl 浓度及脱除效率;
- HF 浓度及脱除效率;
- Hg 浓度;
- 吸收剂消耗量和钙硫摩尔比;
- 电耗;

- 水耗；
- 工作场所的粉尘浓度；
- 设备噪声；
- 蒸汽消耗量(如有)；
- 外供压缩空气消耗量(如有)；
- 脱硫废水的主要成分和质量流量(湿法脱硫设备)；
- 脱硫副产物的成分；
- 吸收剂的主要成分；
- 石灰石反应速率；
- 生石灰活性；
- 脱硫浆液成分。

6 测试方法

6.1 锅炉和脱硫设备主要的运行参数记录

- 6.1.1 锅炉和脱硫设备的主要运行参数应每隔 10 min~15 min 记录一次,每个测试工况每天至少应进行一次燃煤的工业分析和硫分分析,必要时进行燃煤的元素分析。
- 6.1.2 主要运行参数在锅炉和脱硫设备的主控室进行记录,典型的运行参数表见附录 A。

6.2 烟气参数

- 6.2.1 烟气参数的测试以精度等级不低于在线仪表的移动式测试仪器为主,以经过校验的脱硫设备在线监控仪表为辅。
- 6.2.2 测试位置:脱硫设备进、出口烟道和其他需要测试的烟道或位置,选择测试断面见附录 B。
- 6.2.3 测试参数:烟气的温度、水分含量、CO₂浓度、氧含量、烟气密度、动压、静压、流速、流量、阻力和大气压力。
- 6.2.4 烟气参数测试:烟气温度、水分含量、CO₂浓度、氧含量、烟气密度、动压、静压、流速、流量和大气压力的按 GB/T 16157 的规定测试与计算。性能验收试验时,烟气温度、CO₂浓度及 O₂浓度应采用多点测试计算平均值,采样点数目和位置的确定按附录 C 执行。
- 6.2.5 两个测试断面(中间不含压力提升机械)之间的烟气阻力 ΔP 按公式(3)计算。

$$\Delta P = (P_{1j} - P_{2j}) + (P'_{1d} - P'_{2d}) + (\rho_1 Z_1 - \rho_2 Z_2)g \quad \cdots \cdots (3)$$

式中:

- P_{1j} 、 P_{2j} ——上、下游测试断面处的烟气静压,单位为帕斯卡(Pa);
- P'_{1d} 、 P'_{2d} ——上、下游测试断面处的烟气平均动压,单位为帕斯卡(Pa);
- ρ_1 、 ρ_2 ——上、下游测试断面处实际工况下的烟气密度,单位为千克每立方米(kg/m³);
- Z_1 、 Z_2 ——上、下游测试断面处的水平标高,单位为米(m);
- g ——重力加速度,9.8 m/s²。

脱硫设备总的烟气系统阻力 ΔP_{FGD} 按公式(4)计算。

$$\Delta P_{FGD} = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \cdots + \Delta P_i \quad \cdots \cdots (4)$$

式中:

ΔP_1 、 ΔP_2 、 $\cdots$ 、 ΔP_i ——脱硫设备烟气系统各段的阻力,单位为帕斯卡(Pa)。

- 6.2.6 进行若干天的稳定运行性能测试时,也可用上述测试烟气量的方法先标定脱硫设备配置的在线烟气量测试仪表,并在测试期间通过 DCS 或人工定时记录这些在线仪表的数值,统计平均值作为测试

期间的平均烟气量。

6.3 SO₂浓度及脱除效率

6.3.1 烟气 SO₂浓度的测试,以精度等级不低于在线仪表的移动式测试仪器为主,以经过校验的脱硫设备在线监控仪表为辅。

6.3.2 测试位置:脱硫设备进、出口烟道,选择测试断面见附录 B。

6.3.3 测试参数:原烟气 SO₂浓度、净烟气 SO₂浓度和脱除效率。

6.3.4 SO₂浓度测试:SO₂浓度测试宜采用可直接读出 SO₂浓度的仪器直接测试采样法。仪器直接测试采样法有定电位电解法、非分散红外吸收法和紫外吸收法测试,采样点数目和位置的确定方法按附录 C 执行。

6.3.5 采样系统由采样管、导气管、滤尘管、连接管、气体前处理、抽气泵、分析仪和标准气瓶组成。

6.3.6 为了避免采集的烟气中的水分在采样管、导气管及连接管内冷凝,需将采样管、导气管到气体前处理之间进行加热保温,导气管采用带加热丝的伴热管加热烟气温度至 120℃以上。伴热管至气体前处理之间的连接管尽可能短。

6.3.7 连接管、采样管及滤料材质需选择不吸附和与 SO₂发生化学反应并便于连接与密封的材料,包括但不限于不锈钢、硬质玻璃、石英、陶瓷、氟树脂或氟橡胶、氯乙烯树脂、聚氯橡胶、硅橡胶及聚四氟乙烯。

6.3.8 烟气前处理后烟气中的 SO₂浓度损失不大于 5%。

6.3.9 仪器直接测试采样法开始测试前和测试结束后,使用有证标准物质零气 99.999%纯氮和标准浓度的 SO₂气体对测试仪器进行校准,确认性能测试期间测试结果的有效性。

6.3.10 SO₂浓度采用多点测试计算平均值。基准氧含量条件下烟气 SO₂浓度按公式(2)计算。

6.3.11 性能保证值验收试验时,SO₂脱除效率测试宜在脱硫设备稳定运行时在进、出口测试截面上同步测试。脱除效率按公式(1)计算。

6.3.12 进行若干天稳定运行测试时,也可用上述测试 SO₂浓度的方法先标定脱硫设备自带的进、出口烟道在线 SO₂浓度测试仪表,并在测试期间通过控制系统或人工定时记录这些仪表的数值。统计 SO₂浓度和氧含量平均值后计算脱除效率。

6.4 颗粒物浓度及脱除效率

6.4.1 颗粒物浓度的测试以移动式测试仪器为主,以脱硫设备在线监控仪表为辅。

6.4.2 测试位置:脱硫设备进、出口烟道,选择测试断面见附录 B。

6.4.3 测试参数:原烟气颗粒物浓度、净烟气颗粒物浓度和脱除效率。

6.4.4 颗粒物浓度测试:采用重量法,采样系统示意图见图 1。性能验收试验时,采用多点测试,采样点数目和位置的确定方法按附录 C 执行。

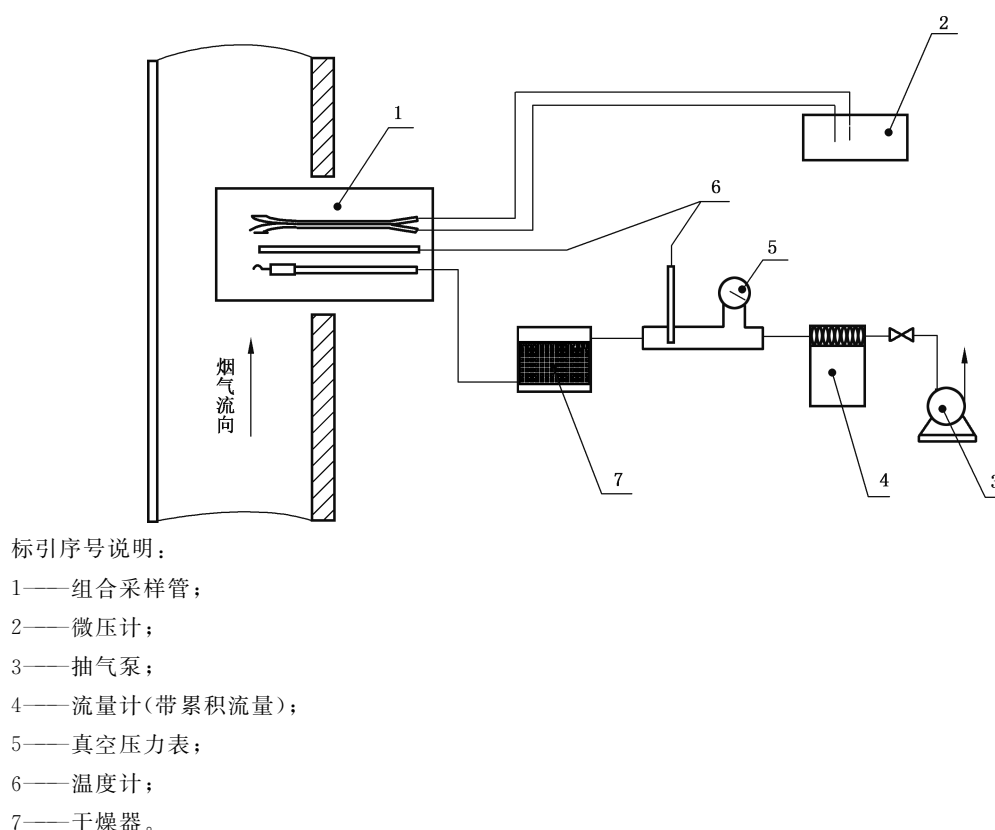


图1 颗粒物采样系统示意图

6.4.5 对脱硫设备进口的原烟气进行采样,当颗粒物浓度不大于 50 mg/m^3 时,应采用低浓度采样头采样,采样方法按 HJ 836 的规定执行,采样泵宜保证抽气流量为 $50 \text{ L/min} \sim 100 \text{ L/min}$ 。当颗粒物浓度大于 50 mg/m^3 时,采用滤筒采样,采样方法按 GB/T 16157 的规定执行。

6.4.6 对脱硫设备出口的净烟气进行采样,应采用低浓度采样头采样,采样方法按 HJ 836 的规定执行,采样泵宜保证抽气流量为 $50 \text{ L/min} \sim 100 \text{ L/min}$ 。采样枪加热至 $160 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

6.4.7 滤膜(筒)对于 $0.5 \text{ }\mu\text{m}$ 的标准颗粒的捕集率不低于 99.9%。过滤材质不与烟气中的气态化合物发生化学反应,在有腐蚀性气体存在的情况下,滤膜(筒)材质宜选用石英或硼硅玻璃纤维。

6.4.8 采样前采样头和滤筒准备方法如下。

- a) 将合格的滤膜(筒)编号后放入烘箱,在 $180 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ 温度下,烘干 1 h,取出置于干燥器内冷却至室温。
- b) 将清洗后的低浓度采样头放入烘箱,在 $105 \text{ }^\circ\text{C} \sim 110 \text{ }^\circ\text{C}$ 温度下,烘干时间不小于 1 h,取出置于干燥器内冷却至室温。
- c) 采用低浓度采样头时,将冷却后的滤膜和低浓度采样头封装在一起,放到恒温恒湿设备内平衡至少 24 h,然后在恒温恒湿条件下,在符合要求的天平上称出质量,并做好记录。间隔时间不小于 1 h 后重复上述操作,同一采样头两次称量相差不超过 0.20 mg 。
- d) 采用滤筒时,将冷却后的滤筒在恒温恒湿条件下,在符合要求的天平上称出质量,并做好记录。在恒温恒湿条件下,重复上述操作,同一滤筒 2 次称量相差不超过 0.30 mg 。
- e) 恒温的控制要求:宜控制在 $15 \text{ }^\circ\text{C} \sim 30 \text{ }^\circ\text{C}$ 任意一点,温控偏差 $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ 。
- f) 恒湿的控制要求:宜控制相对湿度在 $50\% \pm 5\%$ 范围内。
- g) 天平的精度要求:样品称量范围的分度值为 0.01 mg ,天平检定按 JJG 1036 的规定执行。

6.4.9 采样时间视颗粒物浓度而定,样品增重不少于颗粒物全程序空白试验值偏差正值的 5 倍。采样

结束后,检查是否存在滤筒破损或其他异常情况,若存在异常情况,则样品无效。低浓度颗粒物测量时,需保证每个样品的增重不小于 1 mg,或采样体积不小于 1 m³。

6.4.10 采集样品后处理方法如下。

- a) 采用低浓度采样头时,采样头(内置滤膜)运回实验室后,应用丙酮擦洗外表面,然后放入烘箱,在 180 ℃±5 ℃恒温下,烘干 1 h。然后置于干燥器内冷却至室温,放到恒温恒湿设备内平衡至少 24 h,然后在恒温恒湿条件下,在符合要求的天平上称出质量,并做好记录。间隔时间不小于 1 h 后,重复称量,同一采样头 2 次称量相差不超过 0.20 mg。
- b) 采用滤筒时,将采样后的滤筒放入烘箱,在 180 ℃±5 ℃恒温下,烘干 1 h。烘干结束后将滤筒放入专用的称量瓶中,置于干燥器内冷却至室温,再在恒温恒湿条件下,用符合要求的天平称出滤筒的质量,并做好记录。间隔时间不小于 1 h 后,重复称量,同一滤筒 2 次称量相差不超过 0.30 mg。此外,应用丙酮对过滤装置及其上游部件进行清洗,将清洗过的溶液放入事先称量过的容器内蒸干、称量,增重部分计入样品质量。

6.4.11 烟气中颗粒物浓度按公式(5)计算。

$$C'_{\text{dust}} = \frac{m'' - m'}{V} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

C'_{dust} ——颗粒物浓度(标准状态、干烟气、实测氧含量),单位为毫克每立方米(mg/m³);

m' ——采样滤筒(膜)的采样前质量,单位为毫克(mg);

m'' ——采样滤筒(膜)的采样后质量,单位为毫克(mg);

V ——抽取的烟气体积(标准状态、干烟气、实测氧含量),单位为立方米(m³)。

6.4.12 基准氧含量条件下烟气中颗粒物浓度按公式(2)计算。

6.4.13 颗粒物脱除效率测试应在脱硫设备稳定运行时在进、出口测试截面上同步测试。性能验收试验时,采用多点测试计算平均值。脱硫设备对颗粒物的脱除效率按公式(1)计算。

6.5 雾滴浓度

6.5.1 测试位置:除雾器出口烟道,选择测试断面见附录 B。

6.5.2 测试参数:雾滴浓度。

6.5.3 雾滴浓度测试推荐方法见附录 D。性能验收试验时,采用多点测试计算平均值,采样点数目和位置的确定方法按附录 C 执行。

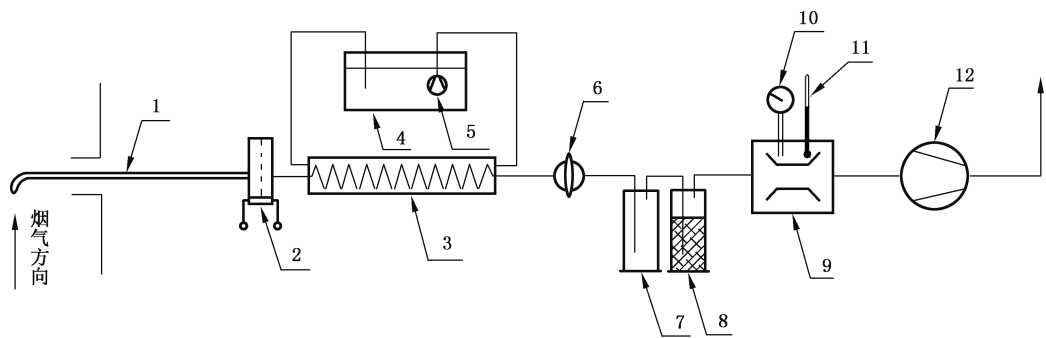
6.5.4 基准氧含量条件下雾滴浓度按公式(2)计算。

6.6 SO₃浓度及脱除效率

6.6.1 测试位置:脱硫设备进、出口烟道,选择测试断面见附录 B。

6.6.2 测试参数:SO₃浓度、脱除效率。

6.6.3 SO₃浓度测试:采样方法采用控制冷凝法,采样系统示意图见图 2。性能验收试验时,采用多点测试,采样点数目按 GB/T 16157 的规定执行。采样枪、加热过滤器进行加热保温,且加热温度不低于 260 ℃。加热过滤器对于直径为 1.0 μm 的标准颗粒,过滤芯的捕集效率大于 99.9%。SO₃冷凝装置的恒温水浴温度控制在 60 ℃~65 ℃。二级过滤器内置滤膜材质宜选用聚四氟乙烯或石英。对于直径为 0.3 μm 的标准颗粒,二级过滤器内置滤膜的捕集效率大于 99.5%。采用等速采样,采样体积不小于 0.5 m³,抽气泵流量在 6 L/min~15 L/min 范围内可调。



- 标引序号说明：
- 1 —— 采样枪和采样嘴；
 - 2 —— 加热过滤器；
 - 3 —— SO₃冷凝管；
 - 4 —— 控温水浴装置；
 - 5 —— 循环水泵；
 - 6 —— 二级过滤器；
 - 7 —— 缓冲瓶；
 - 8 —— 干燥器；
 - 9 —— 流量计；
 - 10—— 压力表；
 - 11—— 温度计；
 - 12—— 抽气泵。

图 2 SO₃采样系统示意图

SO₃冷凝装置由内管和外管组成。内管为蛇形管,材质宜用玻璃。外管内径为 60 mm,内管内径为 4 mm,内管圈径为 36 mm,内管圈距为 15 mm,内管 A 点至 B 点延长长度大于 2 400 mm。其示意图见图 3。

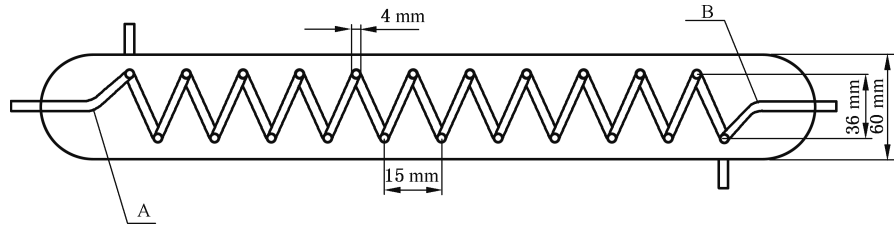


图 3 SO₃冷凝装置示意图

采样结束后,用去离子水或 80% 异丙醇溶液冲洗冷凝管和二级过滤器 3 次,并定容至 100 mL,得到的冲洗液,用于测定硫酸根离子浓度。

6.6.4 洗液中硫酸根离子的测试方法可采用铬酸钡分光光度法、电位滴定法或重量法等,按 GB/T 6911 的规定执行。铬酸钡分光光度法适用于硫酸根离子含量 5 mg/L~200 mg/L 的溶液,电位滴定法适用于硫酸根离子含量 5 mg/L~1 000 mg/L 的溶液,重量法适用于硫酸根离子含量不小于 10 mg/L 的溶液。

6.6.5 烟气中 SO₃ 浓度按公式(6)计算,其中 0.833 为硫酸根对三氧化硫的换算系数。

$$C'_{\text{SO}_3} = 0.833 \times \frac{L \times X}{V} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

C'_{SO_3} —— 三氧化硫浓度(标准状态、干烟气、实测氧含量),单位为毫克每立方米(mg/m³)；

- L ——洗液的容积,取值为 0.1 L;
 X ——洗液中硫酸根离子的含量,单位为毫克每升(mg/L);
 V ——抽取的烟气体积(标准状态、干烟气、实测氧含量),单位为立方米(m^3)。

6.6.6 基准氧含量条件下烟气中 SO_3 浓度按公式(2)计算。

6.6.7 SO_3 脱除效率测试需在脱硫设备稳定运行时在进、出口测试截面上同步测试。性能验收试验时,采用多点测试计算平均值。脱硫设备对 SO_3 的脱除效率按公式(1)计算。

6.7 HCl 浓度及脱除效率

6.7.1 测试位置:脱硫设备进、出口烟道,选择测试断面见附录 B。

6.7.2 测试参数:HCl 浓度、脱除效率。

6.7.3 HCl 浓度测试:采用化学法采样和分析的方法,取烟道测试断面的中心点作为采样点。两级串联的多孔玻板吸收瓶,两级吸收瓶内吸收液均为 100 mL NaOH 溶液(0.1 mol/L),抽取烟气的速度不大于 3 L/min,抽取的烟气体量需满足分析的要求。

6.7.4 采样系统由采样管、抽气泵、流量计、导气管、连接管和多孔玻板吸收瓶组成。

6.7.5 为了避免采集的烟气中的水分在采样管、导气管及连接管内冷凝,需将采样管、导气管到气体前处理之间进行加热保温,导气管采用带加热丝的伴热管加热烟气温度至 120 °C 以上。伴热管至气体前处理之间的连接管尽可能短。

6.7.6 连接管、采样管材质需选择不吸附和与 HCl 发生化学反应并便于连接与密封的材料,硬质玻璃、石英、陶瓷、氟树脂或氟橡胶、氯乙烯树脂及硅橡胶。

6.7.7 吸收液中 HCl 含量的测定按 GB/T 15453 执行。

6.7.8 烟气中 HCl 浓度按公式(7)计算,其中 1.028 为氯离子对 HCl 的换算系数。

$$C'_{\text{HCl}} = 1.028 \times \frac{L \times X}{V} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

- C'_{HCl} ——烟气中 HCl 浓度(标准状态、干烟气、实测氧含量),单位为毫克每立方米(mg/m^3);
 L ——吸收液的容积,取值为 0.2 L;
 X ——吸收液中氯离子的含量,单位为毫克每升(mg/L);
 V ——抽取的烟气体积(标准状态、干烟气、实测氧含量),单位为立方米(m^3)。

6.7.9 基准氧含量条件下烟气中 HCl 浓度按公式(2)计算。

6.7.10 HCl 脱除效率测试需在脱硫设备稳定运行时在进、出口测试截面上同步测试。脱硫设备对 HCl 的脱除效率按公式(1)计算。

6.8 HF 浓度及脱除效率

6.8.1 测试位置:脱硫设备进、出口烟道,选择测试断面见附录 B。

6.8.2 测试参数:HF 浓度、脱除效率。

6.8.3 HF 浓度测试:采用化学法采样和分析的方法,取烟道测试断面的中心点作为采样点。采用化学法采样和分析的方法,取烟道测试断面的中心点作为采样点。两级串联的多孔玻板吸收瓶,两级吸收瓶内吸收液均为 100 mL NaOH 溶液(0.1 mol/L),抽取烟气的速度不大于 3 L/min,抽取的烟气体量满足分析的要求。

6.8.4 采样系统由采样管、抽气泵、流量计、导气管、连接管和多孔玻板吸收瓶组成。

6.8.5 为了避免采集的烟气中的水分在采样管、导气管及连接管内冷凝,应将采样管、导气管到气体前处理之间进行加热保温,导气管采用带加热丝的伴热管加热烟气温度至 120 °C 以上。伴热管至气体前处理之间的连接管尽可能短。

- 6.8.6 连接管、采样管材质需选择不吸附和与 HF 发生化学反应并便于连接与密封的材料,不锈钢、氟树脂或氟橡胶。
- 6.8.7 吸收液中 HF 含量的测定按 GB/T 7484 执行。
- 6.8.8 烟气中 HF 浓度按公式(8)计算,其中 1.053 氟离子对 HF 的换算系数。

$$C'_{\text{HF}} = 1.053 \times \frac{L \times X}{V} \dots\dots\dots (8)$$

式中:

C'_{HF} ——烟气中 HF 浓度(标准状态、干烟气、实测氧含量),单位为毫克每立方米(mg/m^3);

L ——吸收液的容积,取值为 0.2 L;

X ——吸收液中氟离子的含量,单位为毫克每升(mg/L);

V ——抽取的烟气体积(标准状态、干烟气、实测氧含量),单位为立方米(m^3)。

- 6.8.9 基准氧含量条件下烟气中 HF 浓度按公式(2)计算。
- 6.8.10 HF 脱除效率测试需在脱硫设备稳定运行时在进、出口测试截面上同步测试。脱硫设备对 HF 的脱除效率按公式(1)计算。

6.9 Hg 浓度

- 6.9.1 测试位置:脱硫设备进、出口烟道,选择测试断面见附录 B。
- 6.9.2 测试参数: Hg 浓度。
- 6.9.3 Hg 浓度测试:可采用活性炭吸附法或吸收瓶法对烟气中的 Hg 及其化合物进行采样。
- 6.9.4 当采用活性炭吸附法采样时,采样系统及采样方法按 HJ 917 执行。吸附管内装有两段或三段特制的用碘或其他卤素及其化合物处理的活性炭,采样探头需进行保温加热,加热温度不低于 120 ℃。
- 6.9.5 当采用吸收瓶法采样时,采样系统见 GB/T 16157,采样方法按 HJ 543 的规定执行,采样流量为 0.3 L/min ~0.6 L/min,采样体积宜大于 25 L。
- 6.9.6 当采用活性炭吸附法采样时,样品分析采用热裂解原子吸收分光光度法,操作方法及烟气中 Hg 浓度的计算按 HJ 917 执行;当采用吸收瓶法采样时,样品分析采用冷原子吸收分光光度法,操作方法及烟气中 Hg 浓度的计算按 HJ 543 执行。
- 6.9.7 基准氧含量条件下,烟气中 Hg 浓度按公式(9)计算。

$$C_{\text{Hg}} = C'_{\text{Hg}} \times \frac{21 - O_2}{21 - O'_2} \dots\dots\dots (9)$$

式中:

C_{Hg} ——烟气在标准状态、干烟气、基准氧含量时 Hg 的浓度,单位为微克每立方米($\mu\text{g}/\text{m}^3$);

C'_{Hg} ——烟气在标准状态、干烟气、实测氧含量时 Hg 的浓度,单位为微克每立方米($\mu\text{g}/\text{m}^3$);

O'_2 ——实测烟气中的氧含量, %;

O_2 ——基准氧含量, %。

6.10 吸收剂的主要成分、活性和反应速率

6.10.1 采样位置和采样方法

可在吸收剂运输车上、下料管道采样口或称重式给料机处采集样品。将采集的样品充分混合、缩分后立即放入密闭、防潮的磨口广口瓶中或塑料袋中。

6.10.2 测试项目

石灰石(粉)/生石灰测试项目主要包括:CaO、MgO、SiO₂、Al₂O₃、氧化铁(以 Fe₂O₃ 计)、氧化锰(以 MnO 计)、P、S、灼烧减量和 CO₂(碳酸盐);石灰石(粉)的水分;石灰石反应速率、生石灰活性。

6.10.3 成分、活性和反应速率测试

6.10.3.1 石灰石(粉)/生石灰成分测试按 GB/T 3286.1~3286.9 执行。

6.10.3.2 石灰石(粉)水分的测试按 GB/T 211 执行。

6.10.3.3 石灰石反应速率测试按 DL/T 943 执行。

6.10.3.4 生石灰活性测试按 DL/T 323 执行。

6.11 吸收剂消耗量和钙硫摩尔比

6.11.1 如脱硫设备没有配置吸收剂称重式计量装置,可用物料平衡的方法测试和计算吸收剂消耗量和钙硫摩尔比;如脱硫设备配置了吸收剂称重式计量装置,应用称重式计量装置对试验期间吸收剂消耗量进行累计计量。称重式计量装置应在测试前完成标定。

6.11.2 湿法脱硫设备吸收剂消耗量和钙硫摩尔比的测试和计算方法如下(以石灰石-石膏法为例)。

在整个测试期间,采集净烟气、原烟气中 SO_2 浓度和 O_2 含量,求得平均值。取石灰石样进行 CaCO_3 含量和水分含量分析,取石膏样进行 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CaSO}_3 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ 和 CaCO_3 的分析,由钙硫摩尔比和 SO_2 脱除量计算石灰石消耗量,按公式(10)计算,式中各物质分子量见附录 E。

$$W_{\text{CaCO}_3} = \frac{V_{\text{RG}} \times (C_{\text{SO}_2\text{-rawgas}} - C_{\text{SO}_2\text{-cleangas}})}{10^6} \times \frac{M_{\text{CaCO}_3}}{M_{\text{SO}_2}} \times \frac{100}{F_{\text{P}}} \times S_{\text{t}} \times \frac{100}{100 - F_{\text{w}}} \dots\dots\dots (10)$$

式中:

W_{CaCO_3} ——石灰石(干)耗量,单位为千克每小时(kg/h);

V_{RG} ——折算到标准状态、干烟气、基准氧含量状态下脱硫设备入口烟气流量,单位为立方米每小时(m^3/h);

$C_{\text{SO}_2\text{-rawgas}}$ ——折算到标准状态、干烟气、基准氧含量状态下原烟气中 SO_2 浓度,单位为毫克每立方米(mg/m^3);

$C_{\text{SO}_2\text{-cleangas}}$ ——折算到标准状态、干烟气、基准氧含量状态下净烟气中 SO_2 浓度,单位为毫克每立方米(mg/m^3);

M_{CaCO_3} —— CaCO_3 摩尔质量,单位为克每摩尔(g/mol);

M_{SO_2} —— SO_2 摩尔质量,单位为克每摩尔(g/mol);

F_{P} ——干燥基 CaCO_3 的质量分数,%;

F_{w} ——石灰石附着水,%;

S_{t} ——钙硫摩尔比,按公式(11)计算。

$$S_{\text{t}} = 1 + \frac{\frac{x_{\text{CaCO}_3}}{M_{\text{CaCO}_3}}}{\frac{x_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}} + \frac{x_{\text{CaSO}_3 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{CaSO}_3 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}}}} \dots\dots\dots (11)$$

式中:

x_{CaCO_3} ——石膏中 CaCO_3 质量含量, %;

$x_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}$ ——石膏中 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 质量含量, %;

$x_{\text{CaSO}_3 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}}$ ——石膏中 $\text{CaSO}_3 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ 质量含量, %;

$M_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}$ —— $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 摩尔质量,单位为克每摩尔(g/mol);

$M_{\text{CaSO}_3 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}}$ —— $\text{CaSO}_3 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ 摩尔质量,单位为克每摩尔(g/mol)。

6.11.3 干法/半干法脱硫设备吸收剂消耗量和钙硫摩尔比的测试和计算方法如下(以烟气循环流化床半干法为例)。

在整个测试期间,采集净烟气、原烟气中 SO_2 浓度和 O_2 含量,求得平均值。取石灰样进行石灰纯度

和水分含量分析,取脱硫渣样进行 CaSO_4 、 CaSO_3 和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的分析,由钙硫摩尔比和 SO_2 脱除量计算生石灰消耗量,按公式(12)计算,式中各物质的相对分子质量见附录 E。

$$W_{\text{CaO}} = \frac{V_{\text{RG}} \times (C_{\text{SO}_2\text{-rawgas}} - C_{\text{SO}_2\text{-cleangas}})}{10^6} \times \frac{M_{\text{CaO}}}{M_{\text{SO}_2}} \times \frac{100}{F_{\text{P}}} \times S_{\text{t}} \quad \dots\dots\dots(12)$$

式中:

- W_{CaO} ——生石灰耗量,单位为千克每小时(kg/h);
- V_{RG} ——折算到标准状态、干烟气、基准氧含量状态下脱硫设备入口烟气流量,单位为立方米每小时(m^3/h);
- $C_{\text{SO}_2\text{-rawgas}}$ ——折算到标准状态、干烟气、基准氧含量状态下原烟气中 SO_2 浓度,单位为毫克每立方米(mg/m^3);
- $C_{\text{SO}_2\text{-cleangas}}$ ——折算到标准状态、干烟气、基准氧含量状态下净烟气中 SO_2 浓度,单位为毫克每立方米(mg/m^3);
- M_{CaO} ——CaO 摩尔质量,单位为克每摩尔(g/mol);
- M_{SO_2} —— SO_2 摩尔质量,单位为克每摩尔(g/mol);
- F_{P} ——生石灰纯度(CaO 的质量分数),%;
- S_{t} ——钙硫摩尔比,按公式(13)计算。

$$S_{\text{t}} = 1 + \frac{\frac{x_{\text{Ca}(\text{OH})_2}}{M_{\text{Ca}(\text{OH})_2}}}{\frac{x_{\text{CaSO}_4}}{M_{\text{CaSO}_4}} + \frac{x_{\text{CaSO}_3}}{M_{\text{CaSO}_3}}} \quad \dots\dots\dots(13)$$

式中:

- $x_{\text{Ca}(\text{OH})_2}$ ——脱硫渣中 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 质量含量, %;
- x_{CaSO_4} ——脱硫渣中 CaSO_4 质量含量, %;
- x_{CaSO_3} ——脱硫渣中 CaSO_3 质量含量, %;
- $M_{\text{Ca}(\text{OH})_2}$ —— $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 摩尔质量,单位为克每摩尔(g/mol);
- M_{CaSO_4} —— CaSO_4 摩尔质量,单位为克每摩尔(g/mol);
- M_{CaSO_3} —— CaSO_3 摩尔质量,单位为克每摩尔(g/mol)。

6.12 电耗

6.12.1 测试位置:集中供电脱硫设备的高压开关柜处;分散供电脱硫设备的各动力柜处。

6.12.2 电耗测试:采用便携式电能分析仪或在线电能计量表测定。

当脱硫设备不单独设置增压风机时,宜不计入引风机的电能消耗。

脱硫设备电耗 E_{FGD} ,按公式(14)计算。

$$E_{\text{FGD}} = \frac{\sum_{i=1}^n (E_{\text{end-}i} - E_{\text{start-}i})}{T_{\text{end}} - T_{\text{start}}} \quad \dots\dots\dots(14)$$

式中:

- E_{FGD} ——脱硫装置电耗,单位为千瓦(kW);
- $E_{\text{start-}i}$ ——脱硫装置第 i 台用电设备,试验开始时的累积用电量,单位为千瓦时($\text{kW} \cdot \text{h}$);
- $E_{\text{end-}i}$ ——脱硫装置第 i 台用电设备,试验结束时的累积用电量,单位为千瓦时($\text{kW} \cdot \text{h}$);
- T_{start} ——试验开始时间,单位为小时(h);
- T_{end} ——试验结束时间,单位为小时(h)。

6.13 水耗

6.13.1 测试位置:水量消耗在脱硫设备供水管道处和脱硫工艺/工业水箱处。

6.13.2 水耗测试:采用供水管道上的在线流量计或超声波流量计,并结合水箱液位变化测试。

脱硫设备水耗 W_{FGD} ,按公式(15)计算。

$$W_{\text{FGD}} = \frac{(W_{\text{end}} - W_{\text{start}}) + (V_{\text{start}} - V_{\text{end}})}{T_{\text{end}} - T_{\text{start}}} \dots\dots\dots (15)$$

式中:

W_{FGD} ——脱硫装置水耗,单位为立方米每小时(m^3/h);

W_{start} ——试验开始时的工艺水流量计的累积水量,单位为立方米(m^3);

W_{end} ——试验结束时的工艺水流量计的累积水量,单位为立方米(m^3);

V_{start} ——试验开始时工艺水箱的水量,单位为立方米(m^3);

V_{end} ——试验结束时工艺水箱的水量,单位为立方米(m^3);

T_{start} ——试验开始时间,单位为小时(h);

T_{end} ——试验结束时间,单位为小时(h)。

6.14 蒸汽消耗量

6.14.1 测试位置:蒸汽消耗量在脱硫设备供汽管道处。

6.14.2 蒸汽消耗量测试:采用供汽管道上的在线流量计或超声波流量计测试。

6.15 外供压缩空气消耗量

6.15.1 测试位置:外供压缩空气消耗量在脱硫设备供气管道处。

6.15.2 压缩空气消耗量测试:外供压缩空气消耗量采用供气管道上的在线流量计或超声波流量计测试。

6.16 脱硫废水的主要成分和质量流量

6.16.1 脱硫废水的主要成分有:pH值、悬浮物、化学耗氧量、氟化物、总镉、总汞、总铬、总镍、总铅、总锌、硫化物和总砷。

6.16.2 分析方法:按 GB 8978 执行。

6.16.3 质量流量:宜用超声波流量计进行计量。

6.17 脱硫副产物(石膏或脱硫渣)成分

6.17.1 采样位置

脱硫副产物脱水后的固态产物或脱硫渣储放处。

6.17.2 测试参数

测试参数主要有附着水、结晶水、硫酸盐(以 SO_3 计)、亚硫酸盐(以 SO_2 计)、碳酸盐(以 CaCO_3 计)、Cl、F、CaO、MgO、 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、 TiO_2 、 K_2O 、 Na_2O 、 SiO_2 、 P_2O_5 、烧失量、酸不溶物、pH值、细度和粒度分布。应根据脱硫工艺和试验目的选择测试参数。

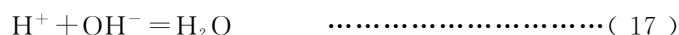
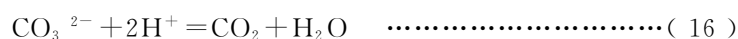
6.17.3 成分测试

6.17.3.1 附着水、结晶水、硫酸盐(以 SO_3 计)、亚硫酸盐(以 SO_2 计)、碳酸盐(以 CaCO_3 计)、Cl、F、CaO、

MgO、Fe₂O₃、Al₂O₃、TiO₂、K₂O、Na₂O、SiO₂、P₂O₅、烧失量和酸不溶物的测定按 GB/T 5484 执行。

6.17.3.2 碳酸盐(以 CaCO₃计)的测定方法如下。

- a) 方法提要:在试料中加入过量的 HCl 标准溶液,使碳酸盐完全分解。过量的 HCl 用标准 NaOH 溶液反滴定,以酚酞为指示剂。其反应式见公式(16)和公式(17)



在加入 HCl 之前,加入过量 H₂O₂用以氧化样品中的亚硫酸盐,避免亚硫酸分解而增加 HCl 的耗量。

本方法用于测定含量在 0.1%~2%范围内的碳酸盐。如需增大测试范围,可以增加 HCl 标准溶液的用量或浓度。

- b) 试剂: HCl 标准滴定溶液浓度为 0.1 mol/L; NaOH 标准滴定溶液浓度为 0.1 mol/L; H₂O₂ 溶液浓度为 3%; 酚酞指示剂为 5 g/L。
- c) 分析步骤及计算:称取烘干后的试料 1 000 mg±0.1 mg 置于 400 mL 锥形瓶中,加入约 10 mL 的去离子水和几滴 H₂O₂溶液。放置 2 min 后加入 20 mL 的 HCl 标准滴定溶液,反应片刻后加入 20 mL 去离子水。加热样品溶液 15 min 使样品温度至 50℃~70℃。让样品溶液冷却后加入 200 mL 的去离子水并搅拌 5 min。加 5 滴酚酞指示剂,用 0.1 mol/L NaOH 标准滴定溶液反滴定剩余的 HCl 至 pH 到达 7(溶液由无色变成微红色,30 s 内不褪色)为终点。根据消耗的 HCl 标准液体积和 NaOH 标准液体积,按公式(18)计算试样中碳酸盐(以 CaCO₃计)的含量,其中 22.0 为 1 mol 0.5CO₂的质量、2.274 为 CaCO₃对二氧化碳的换算系数,式中各物质的相对分子质量见附录 E。

$$X_{\text{CaCO}_3} = \frac{22.0 \times (C_1 \times V_1 - C_2 \times V_2)}{m} \times 2.274 \times 100\% \quad \dots\dots\dots(18)$$

式中:

X_{CaCO_3} ——CaCO₃的质量分数;

C_1 ——HCl 标准滴定溶液的浓度,单位为摩尔每升(mol/L);

V_1 ——加入 HCl 标准溶液的体积,单位为毫升(mL);

C_2 ——NaOH 标准滴定溶液的浓度,单位为摩尔每升(mol/L);

V_2 ——加入 NaOH 标准溶液的体积,单位为毫升(mL);

m ——试料质量,单位为毫克(mg)。

6.17.3.3 氯离子的测定方法如下。

- a) 称取烘干后的试料 10 g±0.1 mg 与 60 mL 去离子水制成悬浮液,搅拌加热后,用慢速滤纸真空过滤,并用热的去离子水冲洗滤纸。
- b) 将滤液静置冷却后加去离子水至 100 mL,滤液中氯离子测定按 GB/T 15453 执行,并换算得到试料中氯离子的质量分数。
- c) 需根据试料中氯离子的预测含量合理调整试料与去离子水的比例,使氯离子浓度满足 GB/T 15453中的测定范围。

6.17.3.4 pH 值的测定方法如下。

- a) 在室温下,称取试料 10 g±0.1 g 与 90 mL 去离子及无二氧化碳水制成悬浮溶液,搅拌 1 min 后静置 5 min,然后倒入一个带瓶塞的玻璃瓶后盖上瓶塞待用。
- b) 玻璃瓶在使用前应经稀盐酸煮洗并用去离子水彻底冲洗。
- c) 悬浮溶液 pH 的测定按 GB/T 6904 执行。

6.17.3.5 细度和粒度分布的测定方法如下。

- a) 称取烘干后的试料 50 g±0.1 g,选取筛网孔径为 45 μm(325 目)或 61 μm(250 目)的试验

筛,按 DL/T 567.5 的方法测定试料细度。

b) 粒度分布宜用激光粒度仪测定。

6.18 脱硫设备工作场所的粉尘浓度

6.18.1 测试位置:吸收剂制备间、吸收剂和副产物的装卸间等。

6.18.2 工作场所粉尘浓度测试:按 GBZ/T 192.1 执行。

6.19 噪声

6.19.1 测试位置:距产生噪声设备界外的 1 m~1.5 m 处,高度 1.2 m 以上,距任一反射面距离不小于 1 m。

6.19.2 噪声测试:按 GB 12348 执行。

6.20 脱硫浆液成分

6.20.1 采样位置:新鲜浆液槽或浆液管道取样口。

6.20.2 测试参数:pH 值、密度、浆液含固量以及亚硫酸盐、氯离子、钙和镁离子的浓度。

6.20.3 浆液测试:按 DL/T 1483 执行。

7 测试报告

7.1 数据处理

测试过程中记录的原始数据的有效数字位数与测试仪表的显示应保持一致。测试数据和信息的处理应及时准确,并通过质量保证体系保证各种测试数据和信息处理的规范、准确和统一性。

对性能验收试验,当脱硫设备的实际运行工况与设计工况存在偏差,则所有的数据应换算到设计工况。换算的依据是脱硫设备供货商在供货合同中提供的性能修正曲线。修正曲线应得到测试其他方的确认。

性能修正曲线至少包括:

- a) 脱硫效率与入口烟气量的修正曲线;
- b) 脱硫效率与入口二氧化硫浓度的修正曲线;
- c) 脱硫设备电耗与入口烟气量的修正曲线;
- d) 脱硫设备电耗与入口烟气温度的修正曲线;
- e) 脱硫设备电耗与入口二氧化硫浓度的修正曲线;
- f) 脱硫设备水耗与入口烟气量的修正曲线;
- g) 脱硫设备水耗与入口烟气温度的修正曲线;
- h) 脱硫设备吸收剂耗量与入口烟气量的修正曲线;
- i) 脱硫设备吸收剂耗量与入口二氧化硫浓度的修正曲线;
- j) 脱硫效率与吸收剂成分的修正曲线。

对干法/半干法脱硫设备中除尘器的效率修正曲线按除尘器的要求执行。

7.2 报告内容

7.2.1 通用要求

根据测试的过程和结果编制完整的测试报告,测试报告的内容至少包括以下章节:概述、测试目的、测试内容、测试测点布置、测试方法、测试条件、测试结果、结论和分析、附件。

7.2.2 概述

介绍项目的由来、脱硫设备的建设状况、主要设计参数、工艺参数以及主要设备的参数等。

7.2.3 测试目的

包括脱硫设备的设计指标包含性能保证值和测试应达到的目标和目的。

7.2.4 测试内容

包括所有的测试工况和需要测试的参数。

7.2.5 测试测点布置

包括测点布置位置图、截面测试中的测试网格分布。

7.2.6 测试方法

包括测试采用的标准或规范、测试步骤、测试过程、测试仪器的型号和使用药剂的名称等。

7.2.7 测试条件

包括锅炉、燃煤、吸收剂和脱硫设备等在测试期间的实际情况。

7.2.8 测试结果

包括测试原始数据、计算公式、转换方法、修正到合同或设计文件规定条件下的最终测试结果。

7.2.9 结论和分析

利用试验前脱硫设备供应商提供的性能修正曲线修正至设计工况,采用分项对照法,将欲评价的性能保证值指标和测试结果逐项进行比较。对性能验收试验,达到合同或设计文件规定性能保证值的,判为合格;没有达到合同或设计文件规定性能保证值的,判为不合格。对不合格的项目应进行分析和讨论。

7.2.10 附件

包括脱硫设备流程图、测试位置和测点布置图、有关测试的原始数据和表格、修正曲线和运行图表等。

附 录 A
(资料性)
运行参数

A.1 锅炉主要运行参数记录表

锅炉主要运行参数记录表见表 A.1。

表 A.1 锅炉主要运行参数记录表

用 户：_____ 设备编号：_____

试验工况：_____ 试验日期：_____ 年 _____ 月 _____ 日

记 录 人：_____ 审 核 人：_____

序号	项 目	单 位	数 据		
			时间 1	时间 2	时间 3
1	锅炉蒸发量	t/h			
2	主蒸汽压力	MPa			
3	主蒸汽温度	℃			
4	给水压力	MPa			
5	给水温度	℃			
6	甲/乙侧引风机开度	%			
7	甲/乙侧引风机电流	A			
8	甲/乙侧送风机开度	%			
9	甲/乙侧送风机电流	A			
10	排烟温度	℃			
11	排烟氧量	%			

A.2 典型湿法脱硫设备的主要运行参数记录表

典型湿法脱硫设备的主要运行参数记录表见表 A.2。

表 A.2 典型湿法脱硫设备的主要运行参数记录表

用 户：_____ 设备编号：_____

试验工况：_____ 试验日期：_____ 年 _____ 月 _____ 日

记 录 人：_____ 审 核 人：_____

数据	单 位	设备编号			
时间			时间 1	时间 2	时间 3
原烟气					
压力					

表 A.2 典型湿法脱硫设备的主要运行参数记录表（续）

用 户：_____

设备编号：_____

试验工况：_____

试验日期：_____年_____月_____日

记 录 人：_____

审 核 人：_____

数据	单位	设备编号			
时间			时间 1	时间 2	时间 3
烟温					
颗粒物浓度					
O ₂ 含量					
SO ₂ 浓度					
净烟气					
压力					
烟温					
颗粒物浓度					
O ₂ 含量					
SO ₂ 浓度					
增压风机					
增压风机入口压力					
烟气流量(标态、湿基、基准氧含量)					
烟气流量(标态、干基、基准氧含量)					
增压风机出口压力					
吸收塔					
运行的循环泵					
吸收塔液位					
pH 值					
浆液密度					
除雾器上游烟气压力					
除雾器下游烟气压力					
# 1 氧化风机风量					
# 2 氧化风机风量					
SO ₂ 脱除率					
工艺水系统					
工艺水流量					
电气系统					
6 kV 母线电流					

表 A.2 典型湿法脱硫设备的主要运行参数记录表（续）

用 户：_____

设备编号：_____

试验工况：_____

试验日期：_____ 年 _____ 月 _____ 日

记 录 人：_____

审 核 人：_____

数据	单位	设备编号			
时间			时间 1	时间 2	时间 3
6 kV 母线电压					
6 kV 母线有功					
增压风机电流					
一级塔 1 号循环泵电流					
一级塔 2 号循环泵电流					
一级塔 3 号循环泵电流					
一级塔 4 号循环泵电流					
二级塔液位					
二级塔浆液密度					
二级塔浆液 pH 值					
二级塔石灰石供应量					
二级塔 1 号循环泵电流					
二级塔 2 号循环泵电流					
二级塔 3 号循环泵电流					
# 1 氧化风机电流					
# 2 氧化风机电流					

A.3 典型干法/半干法脱硫设备的主要运行参数记录表

典型干法/半干法脱硫设备的主要运行参数记录表见表 A.3。

表 A.3 典型干法/半干法脱硫设备的主要运行参数记录表

用 户：_____

设备编号：_____

试验工况：_____

试验日期：_____ 年 _____ 月 _____ 日

记 录 人：_____

审 核 人：_____

数据	单位	设备编号			
时间			时间 1	时间 2	时间 3
FGD 入口					
原烟气温度					
原烟气压力					
原烟气颗粒物浓度					
O ₂ 含量					

表 A.3 典型干法/半干法脱硫设备的主要运行参数记录表（续）

用 户：_____

设备编号：_____

试验工况：_____

试验日期：_____年_____月_____日

记 录 人：_____

审 核 人：_____

数据	单位	设备编号			
时间			时间 1	时间 2	时间 3
SO ₂ 浓度					
烟气流量(实际状态)					
烟气流量(标态、湿基、基准氧含量)					
烟气流量(标态、干基、基准氧含量)					
反应塔入口					
烟气温度					
烟气压力					
反应塔					
反应塔总压降					
物料床层压降					
水喷嘴入口水压力					
水喷嘴出口水压力					
反应塔出口					
烟气温度					
烟气压力					
FGD 出口					
烟气温度					
烟气湿度					
烟气压力					
SO ₂ 浓度					
O ₂ 含量					
颗粒物浓度					
SO ₂ 脱除率					
烟气再循环挡板开度					
工艺水系统					
工艺水箱液位					
消化水箱液位					
消化器水流量					
消石灰旋转给料机转速					

表 A.3 典型干法/半干法脱硫设备的主要运行参数记录表（续）

用 户：_____

设备编号：_____

试验工况：_____

试验日期：_____年_____月_____日

记 录 人：_____

审 核 人：_____

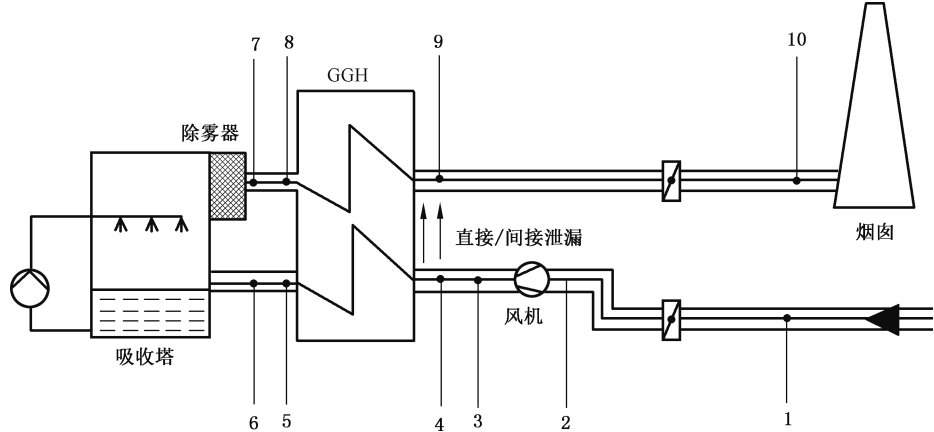
数据	单位	设备编号			
时间			时间 1	时间 2	时间 3
二级除尘器					
空气斜槽流化风温度					
灰斗流化风温度					
流化风流量调节阀开度					
电气系统					
高压水泵电流					
消石灰输送电机电流					
灰斗流化风机电流					
除尘变压器功率					

附录 B
(资料性)

典型工艺系统的测点布置图

B.1 湿法脱硫工艺(以石灰石-石膏法为例)

图 B.1 是测点位置和范围的指导性建议,测点安装根据每个工程的具体情况而定。



标引序号说明:

- 1 ——FGD 入口断面测点;
- 2 ——未净化烟气风机上游断面测点;
- 3 ——未净化烟气风机下游断面测点;
- 4 ——GGH 进口(未净化)断面测点;
- 5 ——GGH 出口(未净化)断面测点;
- 6 ——吸收塔入口断面测点;
- 7 ——吸收塔出口断面测点;
- 8 ——GGH 进口(净化)断面测点;
- 9 ——GGH 出口(净化)断面测点;
- 10——FGD 出口断面测点。

图 B.1 湿法脱硫工艺测点位置和范围的指导性建议

各测试断面推荐的测试项目如下:

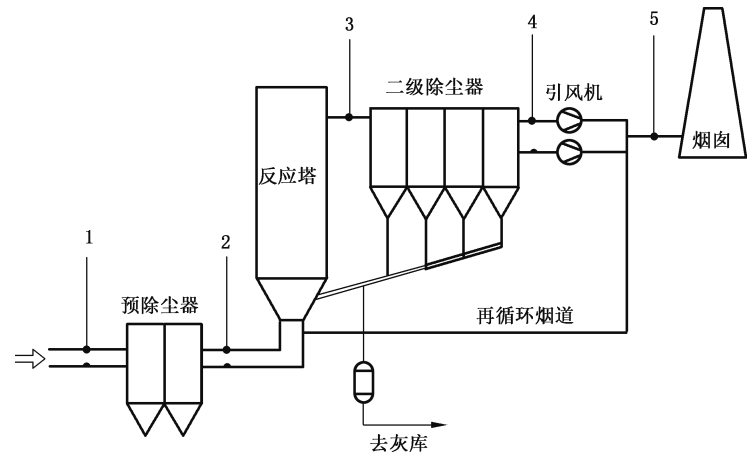
测试断面	SO ₂ 浓度	O ₂ 含量	H ₂ O 含量	颗粒物 浓度	雾滴 浓度	烟气 温度	烟气体积 流量	Hg 浓度	静压
1 FGD 入口	必须	必须	必须	必须	—	必须	必须	可选	必须
2 未净化烟气风机上游	可选	可选	—	—	—	可选	可选	—	必须
3 未净化烟气风机下游	—	—	—	—	—	可选	—	—	必须
4 GGH 进口(未净化)	—	—	—	—	—	必须	可选	—	必须
5 GGH 出口(未净化)	可选	可选	—	—	—	必须	可选	—	必须
6 吸收塔入口	可选	可选	可选	可选	—	必须	—	—	必须

(续)

测试断面	SO ₂ 浓度	O ₂ 含量	H ₂ O含量	颗粒物浓度	雾滴浓度	烟气温度	烟气体积流量	Hg浓度	静压
7 吸收塔出口	可选	可选	可选	必须	必须	必须	—	可选	必须
8 GGH 进口(净化)	可选	可选	可选	可选	—	必须	—	—	必须
9 GGH 出口(净化)	可选	可选	可选	—	—	必须	可选	—	必须
10 FGD 出口	必须	必须	可选	必须	—	必须	必须	可选	必须

B.2 干法/半干法脱硫工艺(以烟气循环流化床脱硫工艺为例)

图 B.2 是测点位置和范围的指导性建议,测点安装根据每个工程的具体情况而定。



- 标引序号说明：
- 1——FGD 入口断面测点；
 - 2——反应塔入口断面测点；
 - 3——反应塔出口断面测点；
 - 4——二级除尘器出口断面测点；
 - 5——FGD 出口断面测点。

图 B.2 干法/半干法脱硫工艺测点位置和范围的指导性建议

各测试断面推荐的测试项目如下：

测试断面	SO ₂ 浓度	O ₂ 含量	H ₂ O含量	颗粒物浓度	烟气温度	烟气体积流量	Hg浓度	静压
1 FGD 入口	必须	必须	必须	必须	必须	必须	可选	必须
2 反应塔入口	可选	可选	可选	可选	必须	可选	—	必须
3 反应塔出口	可选	可选	可选	可选	可选	—	—	必须
4 二级除尘器出口	可选	可选	可选	可选	可选	可选	—	必须
5 FGD 出口	必须	必须	必须	必须	必须	必须	可选	必须

附 录 C
(规范性)
采样点位置和数目的确定

采样位置的确定原则如下。

- a) 采样位置优先选择在垂直管段。应避开烟道弯头和断面急剧变化的部位。采样位置应设置在距弯头、阀门、变径管下游方向不小于直径的 6 倍和距上述部件上游方向不小于直径的 3 倍处。对矩形烟道,其当量直径 $D=2A \times B / (A+B)$, 式中 A 、 B 为边长。
- b) 对于气态污染物,由于混合比较均匀,其采样位置可不受上条规定的限制,但应避开涡流区。若测量烟气流量仍按上述位置要求进行。
- c) 对于圆形烟道,将烟道分成适当数量的等面积同心环,各测点选择各等面积中心线与呈垂直相交的两条直线的交点上。

各等截面圆环中心点与圆心的距离按公式(C.1)计算。

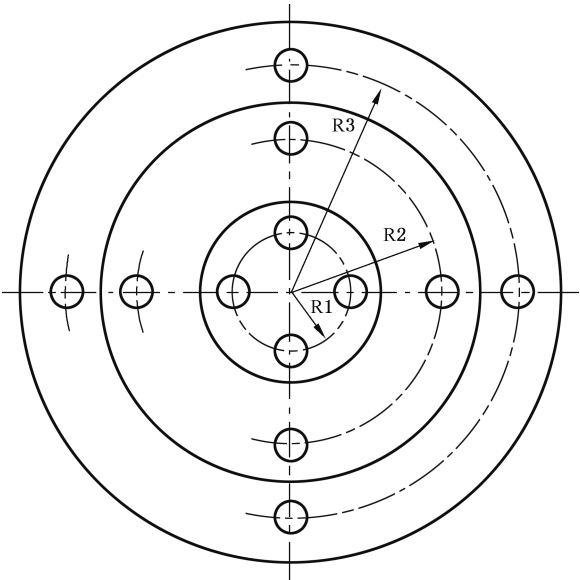
$$R_i = R \times \sqrt{\frac{2i-1}{2n}}$$

.....(C.1)

式中:

- R_i ——第 i 个等截面圆环中心点与圆心的距离,单位为毫米(mm);
- R ——烟道半径,单位为毫米(mm);
- n ——等截面圆环数量;
- i —— n 个等截面圆环中的第 i 个圆环。

网格法布点见图 C.1。

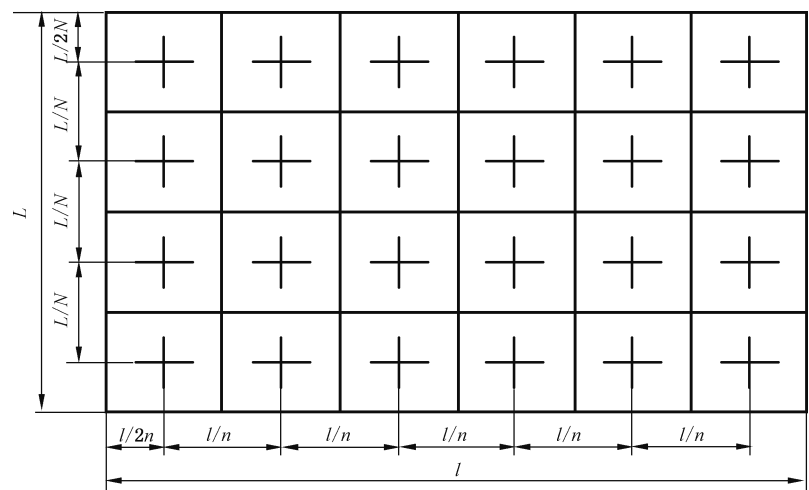


标引符号说明:

R_1 、 R_2 、 R_3——采样点圆环半径。

图 C.1 圆形烟道采样点位置

- d) 对于矩形烟道,将烟道断面分成适当数量的等面积小块,各块中心即为测点。网格法布点见图 C.2。



标引符号说明：

- L —— 矩形烟道高度；
- l —— 矩形烟道宽度；
- N —— 采样点排数；
- n —— 采样点列数。

图 C.2 矩形烟道采样点位置

附 录 D
(资料性)
烟气中雾滴浓度的测定

D.1 方法提要

等速采样使烟气通过一级、二级捕集装置,烟气中大于一定粒径(约 3 μm)的液滴在重力和惯性力的作用下附着在捕集装置的内壁上。采样后称量,捕集装置在试验后的质量减去充分干燥后的质量即是液滴中水的质量。此质量包含烟道中的冷凝水滴,需要用捕集液滴和吸收塔浆液中的 Mg^{2+} 浓度来修正,扣除烟道冷凝水的影响。最后用吸收塔浆液的含固量修正到雾滴的质量。

采样时,除雾器停止水冲洗。

D.2 测试仪器

液滴捕集器(见图 D.2)由两部分组成,等速取样的烟气由 8 mm 的采样嘴进入直径为 40 mm 的一级捕集装置,大液滴被分离捕集下来。然后通过直径为 6 mm 绕成四圈蛇形玻璃管的二级液滴捕集装置,烟气中的较小液滴在此被捕捉并粘附在二级捕集装置的内壁上,然后反向折回进入取样管道。

具体的采样系统图及液滴捕集器的形状尺寸如图 D.1 和图 D.2 所示。

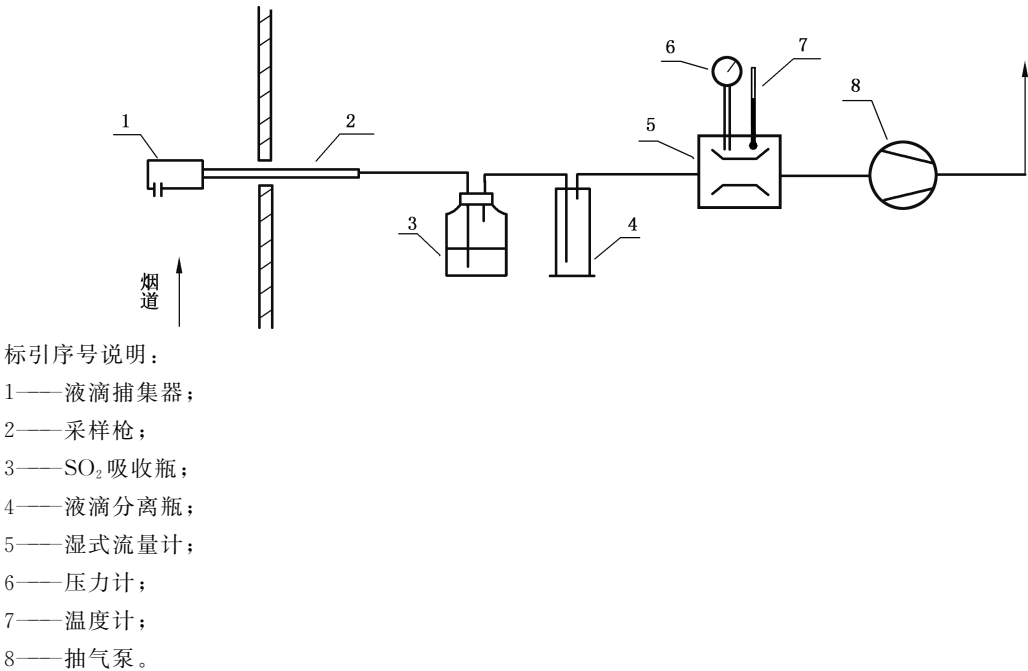


图 D.1 烟气中液滴的采样系统

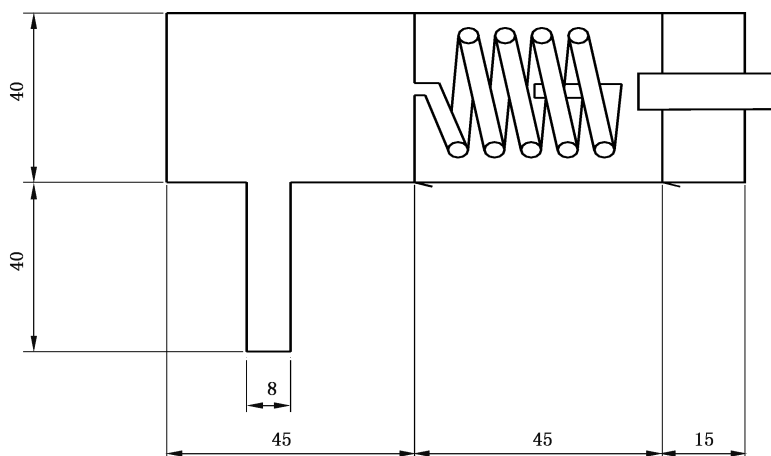


图 D.2 液滴捕集器尺寸和形状

D.3 测试过程

雾滴浓度测量过程如下。

- 用皮托管对测试截面(进行网格划分)的各点进行流速的测试,确定网格上每一测试点的烟气流速,通过液滴采样器的口径(直径为 8 mm)确定抽气泵的抽取速度,最后确定抽取时间。一般抽取的烟气体积宜使采样器中的液滴总质量大于 0.1 g。
- 试验前用除盐水清洗捕集器,然后在 105 ℃ 温度下干燥 2 h,待其完全冷却后放置在干燥器中待用。取样后,将捕集器从烟道中取出,立即用硅胶保护套或胶带密封采样口,用纯净水冲洗捕集器的外壁面,并用净棉纱将其擦干净,然后对两级捕集器进行称量。随后在 105 ℃ 温度下干燥 2 h 后再次称量,2 次称量之差即为所采集的液滴中纯水的质量。
- 用除盐水对捕集器的内壁进行充分的冲洗,冲洗下来的溶液收集到容量瓶中定容至一定体积,分析溶液中的镁离子浓度。同时分析吸收塔浆液中的镁离子浓度,用以修正烟道冷凝水滴的影响。
- 用吸收塔浆液含固量将纯水含量换算到浆液滴浓度。

D.4 雾滴浓度的计算

烟气中雾滴浓度的计算方法如下:

- 烟气中液滴的浓度 C_w , mg/m³ (标准状态、干烟气、基准氧含量),按公式(D.1)计算。

$$C_w = [(G_{11} - G_{01}) + (G_{12} - G_{02})] / V \quad \text{..... (D.1)}$$

式中:

G_{01} 、 G_{02} —— 采样前一、二级捕集器干燥后的质量,单位为克(g);

G_{11} 、 G_{12} —— 采样前一、二级捕集器干燥前的质量,单位为克(g);

V —— 抽取的烟气体积(标准状态、干烟气、基准氧含量),单位为立方米(m³);

- 扣除烟道冷凝水滴后的液滴浓度, C_{w0} (标准状态、干烟气、基准氧含量),按公式(D.2)计算。

$$C_{w0} = C_w \times \frac{C_{Mg1}}{C_{Mg2}} \quad \text{..... (D.2)}$$

式中:

C_{Mg1} —— 捕集器中液滴的镁离子质量浓度,单位为毫克每升(mg/L);

C_{Mg2} —— 吸收塔浆液中的镁离子质量浓度,单位为毫克每升(mg/L)。

c) 浆液滴总浓度 C , mg/m^3 (标准状态、干烟气、基准氧含量), 按公式(D.3)计算。

$$C = C_{w0} \times \frac{100}{100 - C_x} \dots\dots\dots (D.3)$$

式中:

C_x ——吸收塔浆液含固量, %。

附 录 E
(资料性)

烟气脱硫分析常用物质的相对分子质量

烟气脱硫分析常用物质的相对分子质量见表 E.1。

表 E.1 烟气脱硫分析常用物质的相对分子质量

物质	相对分子质量	物质	相对分子质量
Al ₂ O ₃	102.0	H ₂ O	18.0
BaSO ₄	233.4	H ₂ SO ₄	98.1
CO ₂	44.0	KCl	74.1
CaCO ₃	100.1	K ₂ O	94.2
CaC ₂ O ₄ · 2H ₂ O	146.1	K ₂ SO ₄	174.3
CaCl ₂	111.0	MgCO ₃	84.3
CaCl ₂ · 6H ₂ O	219.1	MgO	40.3
CaF ₂	78.1	Mg(OH) ₂	58.3
CaO	56.1	Mg ₂ P ₂ O ₇	222.6
Ca(OH) ₂	74.1	MgSO ₄	120.4
Ca(HSO ₃) ₂	202.2	MgSO ₄ · 7H ₂ O	246.5
CaS	72.1	MgSiO ₃	100.4
CaSO ₃	120.1	NH ₃	17.0
CaSO ₃ · 1/2H ₂ O	129.2	NH ₄	18.0
CaSO ₄	136.1	NO	30.0
CaSO ₄ · 1/2H ₂ O	145.2	NO ₂	46.0
CaSO ₄ · 2H ₂ O	172.2	NO ₃	62.0
CaSiO ₃	166.2	N ₂ O ₃	76.0
FeO	71.9	NaCl	58.4
Fe ₃ O ₄	231.5	Na ₂ O	62.0
Fe ₂ O ₃	159.7	Na ₂ SO ₄	142.0
Fe(OH) ₃	106.9	Na ₂ SO ₄ · 10H ₂ O	322.2
FeSO ₄	151.9	SO ₂	64.1
FeSO ₄ · 7H ₂ O	278.0	SO ₃	80.1
H ₂ O	18.0	SiO ₂	60.1
1/2H ₂ O	9.0	Si(OH) ₄	96.1

