



**2021 年全国职业院校技能大赛**

**大气环境监测与治理技术**

**C**

**烟气监测与脱硫系统运维**

大气环境监测与治理技术赛项专家组

2021 年 3 月

2021 年全国职业院校技能大赛 大气环境监测与治理技术

C

烟气监测与脱硫系统运维

（选手应在 3 小时内完成所有操作任务）

场次: \_\_\_\_\_ 工位号: \_\_\_\_\_

目录

1 注意事项.....	1
2 任务指引.....	2

## 1 注意事项

1. 任务完成总分为 100 分，任务完成总时间为 3 小时。
2. 参赛队应在 3 小时内完成任务书规定内容。比赛时间到，比赛结束，选手应立即停止操作，根据裁判要求离开比赛场地，不得延误。
3. 竞赛试题包含文字及附图、附表。如出现缺页、字迹不清等，立即向裁判提出更换。
4. 在计算机上完成的各种图形文件、系统生成的运行记录或程序文件必须存储到指定的磁盘目录及文件夹下。
5. 中途关闭 MCGS 工程，将导致所设数据无法保存，需再次设定。同时，比赛结束，亦不可关闭 MCGS 工程，如无数据记录，责任自负。
6. 选手提交的试卷用工位号标识，不得出现身份信息。
7. 工作任务由选手自由分配按时完成。但安装或调试未完成的，不得进行通电运行。
8. 比赛中如出现下列情况时另行扣分：
  - (1) 在完成工作任务过程中更换的器件，经裁判检测确认不是人为损坏，由裁判长确定更换；如果确认器件正常，每更换 1 次器件扣 3 分。
  - (2) 比赛现场由于选手误操作，导致设备中的水、有害气体溢出，则每次扣 10 分。
  - (3) 因违规操作而损坏赛场设备及部件扣分标准：PLC 主机、变频器扣 10 分/台，仪表及工量具、传感器等扣 5 分/件，其它设施及系统零部件（除螺丝、螺母、平垫、弹垫外）扣 2 分/个。后果严重的取消竞赛资格。
  - (4) 扰乱赛场秩序，干扰裁判的正常工作扣 10 分，情节严重者，经执委会批准，由裁判长宣布，取消参赛资格。
  - (5) 带电操作，提醒一次不扣分，第二次扣 5 分，最多扣 5 分。

(6) 在完成工作任务过程中, 因操作不当导致触电扣 10 分。

9. 任务书中需裁判确认的部分, 参赛选手须先举手示意, 由裁判签字确认后有效。

10. 记录附表中数据用黑色水笔填写, 表中数据文字涂改后无效。

11. 以上所有扣分项均必须经过裁判长确认方可扣分。

## 2 任务指引

### C1 脱硫系统部件、管道、传感器安装连接

在“大气环境监测与治理技术综合实训平台”平台上, 参赛选手根据系统监测点分布图(附图 1), 脱硫塔结构图(附图 2), 水泵出口管道安装示意图(附图 3)和赛场提供的零部件, 完成系统部件、管道、传感器的安装连接。

#### C1-1 脱硫塔部件安装

利用提供的喷头、填料、密封垫等相关配件及工具, 完成湿式脱硫塔的部件安装。

功能要求:

1. 安装喷淋泵 2 管路所属的螺旋喷头, 要求位置准确且竖直向下。

2. 选择鲍尔环做为填料, 填装高度约为 350mm。

3. 安装紧固, 工艺美观, 密封性好, 正确使用螺丝、垫片、工具等, 把视窗、料口等安装完整。

#### C1-2 水泵出口管道安装连接

参赛选手根据附图 3, 完成湿式脱硫系统的水泵出口管道的安装连接。

功能要求：

1. 流量计要求贴面安装，并与平台上流量计支架立档平行。
2. 管道横平竖直，简洁美观。
3. 生料带缠绕要整齐干净，且接头无渗漏现象。
4. 电磁阀的指示方向与流体运动方向一致。
5. 涉及的电源线应沿程绑扎，不拖沓。

### C1-3 传感器和相应测压管路的安装连接

参赛选手根据附图 1 所提供的监测点分布图，完成传感器和相应管路的安装连接。并在表 3 压力传感器暂时安装点记录表进行记录。

1. 根据附图 1，将皮托管装于点 0901 处；温湿度 1 装于点 0402 处；温湿度 2 装于点 0702 处；风速传感器 1 装于点 0701 处；风速传感器 2 装于点 0703 处，压力传感器装于点 0301 处，二氧化硫传感器 1 装于点 1002 处。同时，用正确封盖堵好剩余采样口。

功能要求：要求风速传感器的测量点的开口要正对着气流方向，其偏差不得大于  $5^{\circ}$ ，各传感器要求安装位置正确、牢固，无漏气现象，工艺美观，接线正确。

2. 安装皮托管。要求皮托管安装正确、牢固、密封性好，皮托管测量头的轴线与管道中心线重合，且对着流体流动的方向，其偏差不得大于  $5^{\circ}$ 。

3. 根据附图 1，差压传感器 1 接皮托管，检测点 0901 的动压；差压传感器 2 检测点 0605 的相对静压；差压传感器 3 检测点 0608 的相对静压。要求选用合适的硅胶管，正确连接差压传感器的高压与低压接口，气路顺畅，工艺美观。

### C2 脱硫系统电源线路设计与连接

根据任务书要求,对各处理设备、相关器件配置的电路系统进行线路连接,确认无误后进行电控柜电源通电检测。(注意:以下 1-5 项必须在电控柜断电的情况下完成,如通电连接,造成触电和器件损坏,由参赛者承担。)

## C2-1 程序解读

根据 PLC 程序(计算机 D:\考试程序\PLC 控制程序),完善 PLC 端口定义表(表 1)。

表 1 PLC 端口定义表

数字量输入定义		数字量输出定义	
I0.0	无定义	Q0.0	
I0.1	无定义	Q0.1	
I0.2	无定义	Q0.2	
I0.3	无定义	Q0.3	
I0.4	无定义	Q0.4	
I0.5	无定义	Q0.5	
I0.6	无定义	Q0.6	
I0.7	无定义	Q0.7	
模拟量输入定义		模拟量输出定义	
AI1+		A01+	
AI1-		A01-	
AI2+		A02+	
AI2-		A02-	
AI3+			
AI3-			

AI4+			
AI4-			
AI5+			
AI5-			
AI6+			
AI6-			
AI7+			
AI7-			
AI8+	无定义		
AI8-	无定义		

## C2-2 线路连接

参赛选手根据接线规范，完成电气线路连接。

1. 根据 PLC 端口定义表完成电气控制柜的线路连接。要求：导线颜色与插座颜色一致，选取导线长度适中。
2. 将 pH 电极接到在线监测仪上。要求：连接正确，且电极线应过孔连接。
3. 利用平行网线完成电气控制柜与监控中心的通讯连接。

## C2-3 电源检测

打开控制柜电源，进行漏保性能测试和输出电压检测，并填写技能操作过程记录表（表 2）。

1. 操作前举手示意裁判，由裁判检查可否通电，并监督其完成操作，签字确认。
2. 检测熔断芯（RT14-20/10A）的性能，并将其装于熔断器中。

3. 漏保合闸，并进行一次漏电测试，保证漏保能正常工作。
4. 正确使用万用表，进行输出电压检测。
5. 将技能操作过程记入表 2。（在方框内打“√”）

表 2 技能操作过程记录表

项目	漏电测试	熔断芯检测	AC220V 检测	DC24V 检测
实测数据	正常□；不正常□	通□；不通□		
签字	选手签字：裁判签字：			

### C3 脱硫系统调试

参赛选手根据现场竞赛设备和任务书要求，利用提供的器件与工具，完成脱硫系统的程序设计、仪表校正及手动调试。

#### C3-1 系统工程完善

完善赛场提供的系统工程与程序，完善后的程序保存在 U 盘“场次+工位号”的文件夹内。

1. 在 MAIN 程序网络 21 中补充程序并下载，程序要求：二氧化硫自动控制 M8.1 接通且排放二氧化硫浓度大于等于  $10\text{mg}/\text{m}^3$  后，二氧化硫自动控制 M8.1 关闭并置位 M2.7。M2.7 接通后启动接通延时定时器 T48（设定时间 30 秒）。

#### 2. MCGS 工程完善

（1）进行触摸屏界面的设计、变量定义和动画连接

打开提供的脱硫系统工程，触摸屏监控界面中脱硫系统工艺流程图喷淋塔电磁阀 2 运行状态显示不正常，现需要查找原因并解决问题，恢复正常。

##### 1) 增加设备通道

打开组态工程进入组态界面，完成增加设备通道，并截图保存命名“增加



设备通道+工位号”。

## 2) 设备通道参数设置

根据对应程序完成通道类型、数据类型、通道地址的设置。参数设备完成，截图保存命名“设备通道参数设置+工位号”，确定。

完成变量选择，截图保存命名“变量选择+工位号”确认保存关闭窗口。

## 3) 电磁阀 2 运行状态填充颜色设置

正确添加颜色和表达式窗口变量，“颜色设置+工位号”和“表达式+工位号”。

## 4) 确认保存关闭

## 5) 相关操作过程截图保存到 U 盘中。

# (2) 使用组态软件实现在线监测仪器数值的实时监测

根据监测需求，现需要技术人员在脱硫系统工艺流程示意图中搅拌器转速值数据显示、吸附塔温度值数据显示。相关操作过程截图保存到 U 盘中。

## 1) 搅拌器转速数值显示建立

### ①建立搅拌器转速数值数据显示窗口建立

打开工程进入脱硫系统工艺流程示意图界面，通过软件工具箱中工具创建显示框窗口，并截图保存“疏松器转速数值显示窗口+工位号”。

### ②显示输出参数设置

根据对应程序完成显示输出参数的设置，设置数值保留小数 1 位，确定保存，并截图保存“显示输出参数设置+工位号”。

## 2) 吸附塔温度数值显示建立

### ①建立吸附塔温度数据显示窗口建立

打开工程进入脱硫系统工艺流程示意图界面，通过软件工具箱中工具创建显示框窗口，并截图保存“吸附塔温度显示窗口+工位号”。

### ②显示输出参数设置

根据对应程序完成显示输出参数的设置，设置数值保留小数 1 位，确定保

存，并截图保存“显示输出参数设置+工位号”。

备注：如参赛选手无法完成，举手示意裁判放弃该任务并在放弃操作记录表（表 3）中签字，由裁判确认后，由裁判长提供完整程序。

表 3 放弃操作记录表

序号	项目	事由	参赛选手签字确认	裁判确认签字
1	程序补充	无法完成，放弃		
2	工程完善	无法完成，放弃		

## C3-2 仪表校正

根据任务书要求，利用给定的仪器设备，完成换仪表标定、参数设置和仪器校验等工作。

### 1. pH 仪的设置与标定

（1）将在线 pH 仪通电预热 30min，预热前和结束后，举手示意裁判，记录开始和结束时间并签字。

（2）配制 pH 值分别为 6.86 和 9.18 的标准缓冲液，待用。

（3）将在线 pH 仪的运行参数按表 4 设置。

表 4 在线 pH 仪的运行参数设置表

编号	项目		需设的参数
1	测量模式（Mode）		酸碱度（pH）
2	测温方式（Temperature）		自动测温（ATC）
3	报警设置	Relay-1	打开功能（AUTO），低位报警（LO），限值为 7.5，迟滞值为 0.2
4		Relay-2	关打开功能（AUTO），高位报警（Hi），限值为 13.2，迟滞值为 0.1

5	电流输出 (Current)	打开功能 (AUTO), 4mA 对应 0pH, 20mA 对应 14pH
---	----------------	---------------------------------------

(4) 完成在线 pH 仪的标定与回测, 并将电极挂于水箱角落。注意: 尾部出线处切不可浸入液体中。

(5) 按要求填写在线 pH 仪标定操作过程记录表 (表 5)。

表 5 在线 pH 仪标定操作过程记录表

项目	预热起止时间		零点标定电压值	斜率标定电压值	回测 pH 值
pH 仪标定	起:	止:			
签字	选手签字: 裁判签字:				

## 2. 变频器参数设置

按要求完善变频器参数表 (表 6), 并对变频器进行参数修改。

表 6 变频器参数表

序号	参数	参数名称	设置值	备注
1	P2	下限频率		
2	P9	电机的额定电流		
3	P117	PU 通讯站号	3	
4	P119	PU 通讯停止位长	0	
5	P340	通讯启动模式选择	1	

3. 对照系统调试界面上的监控数据, 将下列传感器中检测数据不在 -0.5 ~ 0.8 之间的进行清零处理。在系统调试界面截屏, 并保存在 U 盘“场次+工位号”的文件夹内, 命名为“差压数据”。举手示意裁判在表 7 内确认签字。

表 7 传感器调零确认表

序号	传感器名称	零点值
1	1#差压传感器	
2	2#差压传感器	

3	3#差压传感器	
选手确认:		裁判确认:

### C3-3 手动调试

根据任务书要求逐步完成脱硫系统手动调试任务，并记录数据。

1. 按照污染源→旋风除尘→洗涤脱硫→吸附脱硫→烟囱的流程，正确地开关阀门。

2. 设置监控中心的 IP 地址，下载 MCGS 工程 (计算机 D:\考试程序\MCGS 工程) 并进入运行环境。

3. 活性炭吸附塔的最佳空塔速度为  $0.05 \sim 0.5\text{m/s}$ ，为使其在自动条件下能高效工作，将其空速定为  $0.39\text{m/s}$  时的流量，填入弹出的烟气流量控制界面。(活性炭吸附塔的内径尺寸是： $\Phi 297\text{mm}$ )。

4. 按照监测点分布，在传感器位置选择界面选择正确的安装位置 (注意：测压降的差压传感器不用选位置)。截屏，并保存在 U 盘“场次+工位号”的文件夹内，命名为“传感器位置选择”。

5. 按照正确流程，在系统总图界面点击相应阀门图标，完成阀门切换。截屏，并保存在 U 盘“场次+工位号”的文件夹内，命名为“阀门切换”。

6. 在系统调试界面完成设备的单机调试：设置电动调节阀的开度为 78%，并检查器件的运行状况 (注意风机转向和水泵气蚀)。截屏，并保存在 U 盘“场次+工位号”的文件夹内，命名为“调节阀开度”。

7. 调节稀释风量为  $3.6\text{m}^3/\text{h}$ ；调节氧化风量为  $0\text{m}^3/\text{h}$ ；调节喷淋泵 1#的喷淋量为  $3.5\text{L}/\text{min}$ ；调节喷淋泵 2#的喷淋量为  $4.0\text{L}/\text{min}$ ；吸收塔的反冲流量为  $3.0\text{L}/\text{min}$ 。调节前请裁判评判，并在表 8 中进行记录。

表 8 操作记录表

序号	任务内容	数据计算与记录
----	------	---------

1	设置烟气流量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	
2	手动调试	进行 <input type="checkbox"/> , 未进行 <input type="checkbox"/>
3	调节稀释风量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	
4	调节氧化风量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	
5	调节喷淋泵 1# 的喷淋量 ( $\text{L}/\text{min}$ )	
6	调节喷淋泵 2# 的喷淋量 ( $\text{L}/\text{min}$ )	
7	调节吸收塔的反冲流量 ( $\text{L}/\text{min}$ )	
8	正常运行时, 填料塔液气比 ( $\text{L}/\text{m}^3$ )	
选手签字: _____ 裁判签字: _____		

### C3-4 故障排除

通过系统调试, 发现脱硫系统运行不正常, 通过所掌握的技能知识, 找出五处隐藏故障点, 排除故障, 完成调试, 并填写系统维护日常记录单和放弃表。

备注: 如参赛选手无法完成, 可举手示意裁判放弃该任务并在表 9 中签字, 但需要计时 10 分钟后, 由裁判确认后, 由裁判长指定技术人员排故。

表 9 系统维护日常记录单及放弃记录表

序号	日期		维修 人员		放弃记录 是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/>			
	故障点位置	故障现象		解决方案	开始 时间	结束 时间	选手 签字	裁判 签字
1								

2							
3							
4							
5							

## C4 脱硫系统整体运行

参赛选手根据现场竞赛设备和任务书要求，利用提供的器件与工具，完成吸收液配制、气源模拟和整机运行维护等。

### C4-1 脱硫碱液的配制

按要求配制湿式脱硫工艺所需的吸收液，并记录数据。

1. 观察在线物位计的数值，并在表 10 中记录。（在线物位计的数值精确到小数点后两位）。
2. 开启搅拌机，在碱液箱内配制 0.01mol/L 的 NaOH 溶液。
3. 用在线 pH 测定仪测定水质中 pH 值，并记录在相应的表 10 中。（pH 值精确到小数点后一位）。

表 10 水样原始数据记录表

序号	项目	数值	
1	碱液箱内部底面尺寸（mm）	长：540	宽：400
2	水样深度（m）		
3	水样体积（L）		
4	药剂量（g）		

5	水样 pH 值	理论值	
		实际值	
6	确认签字	参赛选手:	裁判员:

## C4-2 模拟污染源的设制

打开  $\text{SO}_2$  气钢瓶, 调节安全阀出口压力为  $0.04 \pm 0.01\text{Mpa}$ , 并填写模拟污染源设制记录表 (表 11)。(注意: 出口压力达到要求后, 即可关闭气钢瓶瓶阀, 利用残余气体完成比赛。)

表 11 模拟污染源设制记录表

操作项目	调节后数据	签字	
		选手	裁判
出口压力调节			

## C4-3 整机运行

裁判确认时间后, 通过监控中心的系统调试界面开启自动运行模式, 完成整套系统的自动控制运行。同时, 自动运行结束, 也需由裁判在表 12 中确认任务完成。

表 12 自动运行起止时间确认表

开始时间		选手签字		裁判签字	
结束时间		选手签字		裁判签字	

## C5 脱硫数据监测

根据任务书要求, 对脱硫系统的运行参数与污染因子进行监测、计算与记录。注意: 必须等自动运行时间超过 5min, 系统趋于稳定后, 才能对风管内状

况进行检测。(相关公式见附录 4)。

### C5-1 脱硫设备漏风率计算

利用给定的仪器设备、限定参数和计算公式,完成脱硫设备漏风率的计算,并填表。

1. 在指定地点,从空盒气压表上读取当地大气压。

2. 利用温湿度 2 测定烟气温度(系统前后温度不变)。系统调试界面截屏,并存在 U 盘“场次+工位号”的文件夹内,命名为“烟气温度”。

3. 读取差压传感器 2 和差压传感器 3 分别测得的检测点 0605 与 0608 的相对静压。系统调试界面截屏,并存在 U 盘“场次+工位号”的文件夹内,命名为“相对静压 1”。

4. 读取风速传感器 1 和风速传感器 2 分别测得的检测点 0701 与 0703 的风速值。系统调试界面截屏,并存在 U 盘“场次+工位号”的文件夹内,命名为“系统风速”。

5. 已知管道的内径为 72mm,利用公式计算系统前后的风量变化,以求出其漏风率。

6. 以上数据填入表 13 中。

表 13 脱硫设备漏风率计算表

项目名称	当地 气压 (Pa)	气体含 湿量 (%)	烟气温 度(℃)	相对静压 (Pa)		风速(m/s)		标干流量(Nm <sup>3</sup> 干 /h)		漏风 率 (%)
				前	后	前	后	前	后	
时间 记录										
数据		4.6								



记录										
----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

C5-2 管道中气体流量的检测

利用给定的仪器设备、限定参数和计算公式，完成指定管道中气体流量的检测，并填表。

1. 在指定地点，从空盒气压表上读取大气压。
2. 利用温湿度 1，测定采样点温度。系统调试界面截屏，并存在 U 盘“场次+工位号”的文件夹内，命名为“采样点温度”。
3. 利用压力传感器，检测采样点的相对静压。系统调试界面截屏，并存在 U 盘“场次+工位号”的文件夹内，命名为“相对静压 2”。
4. 利用差压传感器 1，检测皮托管静压侧与全压侧的压差，来得到采样点的动压，并根据公式做相关计算。系统调试界面截屏，并存在 U 盘“场次+工位号”的文件夹内，命名为“采样点动压”。
5. 以上数据填入表 14 中。

表 14 流量监测数据记录表

项目	当地 气压 (Pa)	气体含 湿量 (%)	采样点 温度 (℃)	采样点 相对静 压 (Pa)	采样点 动压 (Pa)	毕托管 修正系 数 Kp	采样点 风速 (m/s)	标干流 量 (Nm <sup>3</sup> 干/h)
时间 记录								
数据 记录		4.6						

C5-3 排放监测与数据计算

系统自动运行 30 分钟后，打开系统总图界面，截屏保留数据。同时根据截屏数据进行记录、转化及计算，并填写排放监测数据表（表 15）与烟气排放监测日报表（表 16）。备注：燃烧设备为燃煤锅炉。（系统总图界面截屏，并存在 U 盘“场次+工位号”的文件夹内，命名为“排放监测数据”）

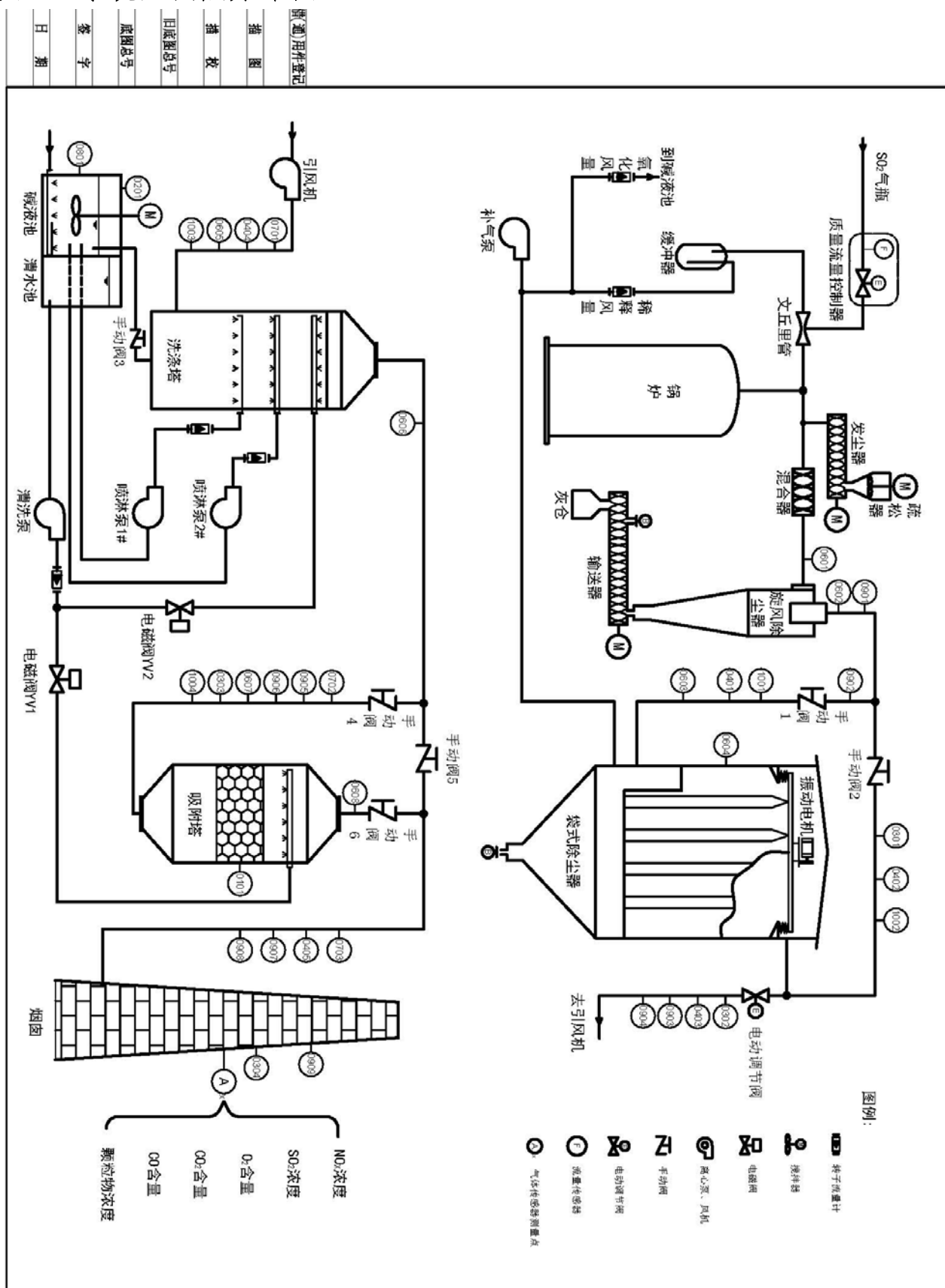
表 15 排放监测数据表

项目	数据记录时间	SO <sub>2</sub> 浓度	NO <sub>x</sub> 浓度	O <sub>2</sub> 浓度	CO <sub>2</sub> 浓度	CO 浓度	颗粒物浓度	湿排气流量	湿排气温度	湿排气压力	湿排气含湿量
原始数据											

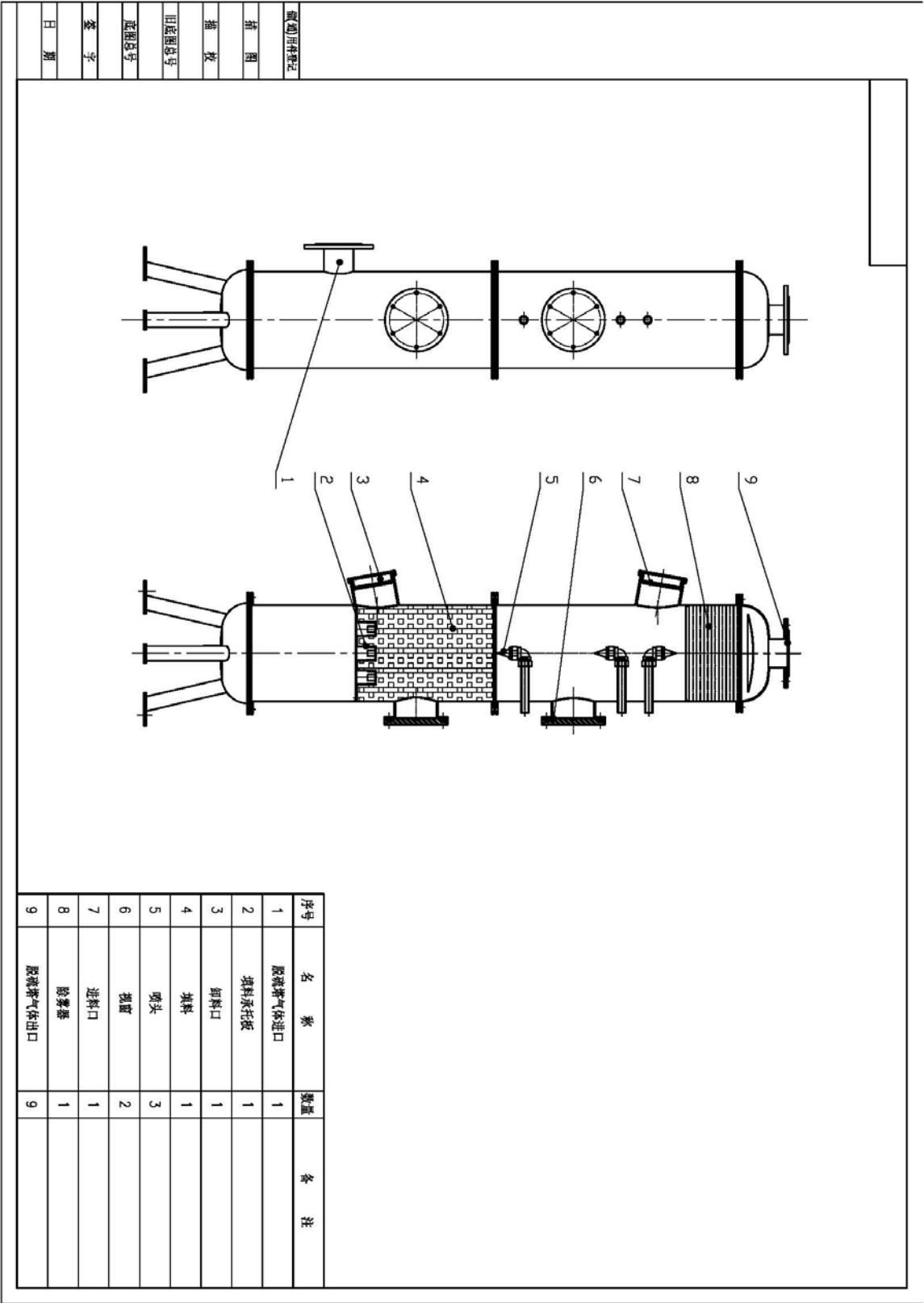
表 16 烟气排放监测日报表

项目	日期	基准氧含量 %	颗粒物			SO <sub>2</sub>			NO <sub>x</sub>			标干流量 (Nm <sup>3</sup> 干/d)
			排放浓度 mg/m <sup>3</sup>	折算浓度 mg/m <sup>3</sup>	日排放量 g/d	排放浓度 mg/m <sup>3</sup>	折算浓度 mg/m <sup>3</sup>	日排放量 g/d	排放浓度 mg/m <sup>3</sup>	折算浓度 mg/m <sup>3</sup>	日排放量 g/d	
数据												

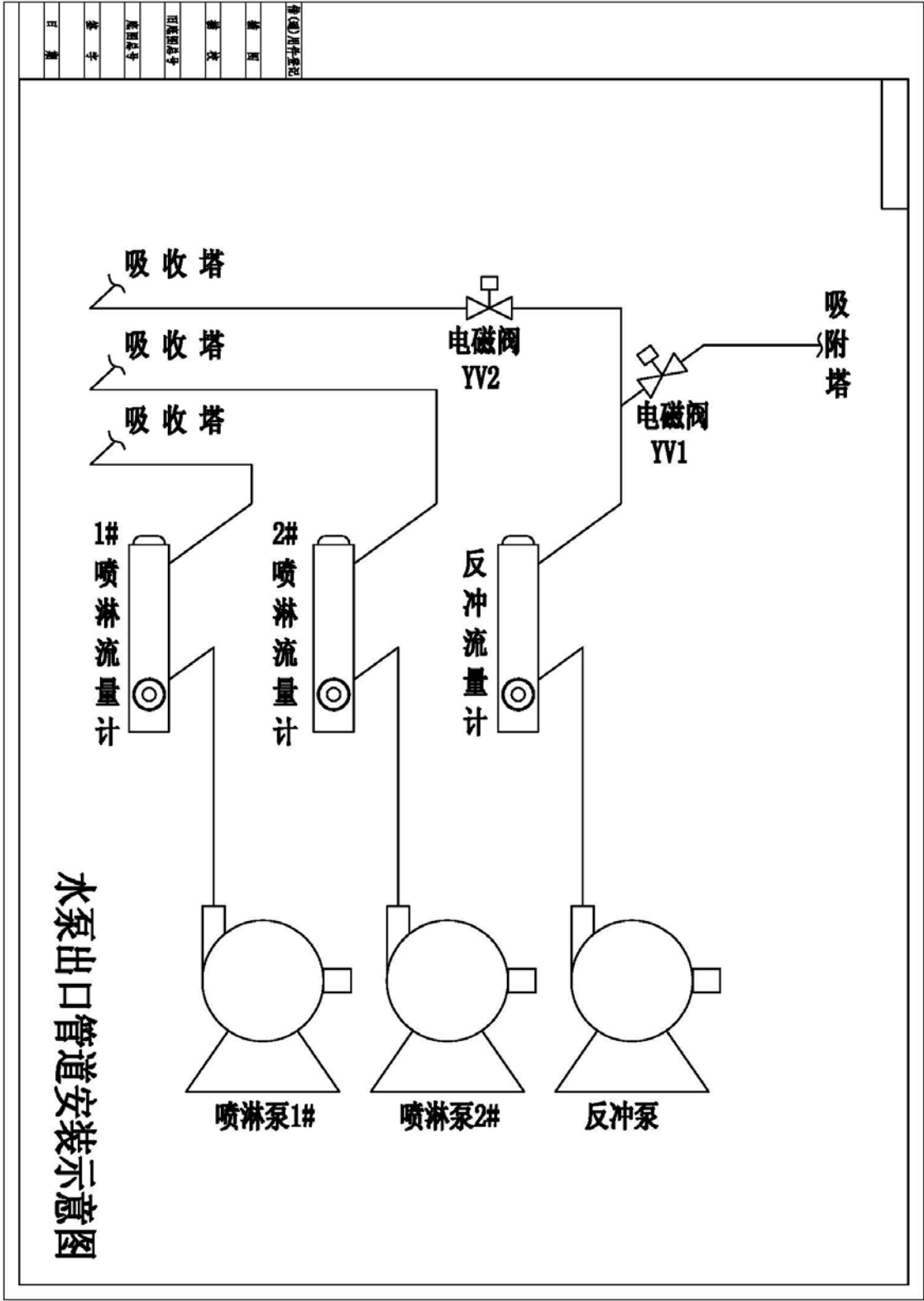
附图 1: 系统监测点分布图



附图 2：脱硫塔结构图



附图 3：水泵出口管道安装示意图



## 附录 4: 计算公式

### (一) 温度

温度的测定, 在一般情况下可只测定中心点温度。本系统配置的测温仪器为铂热电阻和温湿度传感器。

### (二) 压力

本系统提供的压力检测方式有两种, 一种是藉由压力传感器直接测量, 另一种是用连接微差压传感器的皮托管进行测量。

### (三) 压差

两点之间的压力降采用微差压传感器来测量。使用前, 应先用小一字螺丝刀校正一下零点, 保证在无压差环境下仪表数值为 0Pa。

### (四) 湿度(含湿量)

烟气湿度的测定可采用干湿球法或冷凝法。其中干湿球法所用仪器为干湿球温度测量装置(注意: 本系统配置的温湿度传感器所测湿度为相对湿度, 与含湿量不同)。

烟气含湿量的体积百分比按式(8-1)计算

$$X_{sw}(\%) = \frac{P_{bv} - C(t_c - t_b)(B_a + P_b)}{B_a + P_s} \times 100 \quad (8-1)$$

式中:  $X_{sw}$ ——烟气含湿量, %;

$P_{bv}$ ——温度为  $t_b$  时饱和水蒸气压力, Pa;

$t_c$ ——干球温度, °C;

$t_b$ ——湿球温度, °C;

$P_b$ ——通过湿球表面时的烟气表压力, Pa;

$P_s$ ——测定点烟气静压, Pa;

$C$ ——系数, 当流过湿球表面的气流速度大于 2.5m/s 时, 等于 0.00066;

$B_a$ ——大气压力, Pa。

### (五) 烟尘浓度

1. 等速采样的流量计算:

$$Q'_r = 0.00047 \times d^2 \times V_s \times \left( \frac{B_a + P_s}{273 + t_s} \right) \times \left[ \frac{M_{sd}(273 + t_r)}{B_a + P_r} \right]^{1/2} (1 - X_{sw}) \quad (8-2)$$

式中:  $Q'_r$ ——等速采样流量的转子流量计读数, L/min;

$d$ ——采样嘴直径, mm;

$V_s$ ——测点气体流速, m/s;

$B_a$ ——大气压力, Pa;

$P_s$ ——排气静压, Pa;

$P_r$ ——转子流量计前气体压力, Pa;

$t_s$ ——排气温度, °C;

$t_r$ ——转子流量计前气体温度, °C;

$M_{sd}$ ——干排气的分子量, kg/kmol;

$X_{sw}$ ——烟气含湿量, %。

当干排气成分和空气近似时, 等速采样流量  $Q'_r$  按式 (8-3) 计算:

$$Q'_r = 0.0025d^2 \times V_s \times \left( \frac{B_a + P_s}{273 + t_s} \right) \times \left[ \frac{273 + t_r}{B_a + P_r} \right]^{1/2} (1 - X_{sw}) \quad (8-3)$$

当用普通型采样管采样器测定常温下管道颗粒物浓度时, 气体的含湿量和气体成分可忽略不测, 等速采样流量按下式简化公式计算:

$$Q'_r = 0.047 \times V_s \times d^2 \quad (8-4)$$

2. 将工况流量换算成标况流量, 其计算公式为:

$$Q_r = 0.05 \times Q'_r \times \left[ \frac{B_a + P_r}{273 + t_r} \right]^{1/2} = 0.000127d^2 \times V_s \times (1 - X_{sw}) \times \frac{B_a + P_s}{273 + t_s} \quad (8-5)$$

式中:  $Q_r$ ——等速采样流量的标况流量, L/min;

$Q'_r$ ——等速采样流量的转子流量计读数, L/min;

$d$ ——采样嘴直径, mm;

$V_s$ ——测点气体流速, m/s;

$B_a$ ——大气压力, Pa;

$P_s$ ——排气静压, Pa;

$P_r$ ——转子流量计前气体压力, Pa;

$t_s$ ——排气温度, °C;

$t_r$ ——转子流量计前气体温度, °C;

$X_{sw}$ ——烟气含湿量, %。

3. 采样滤筒的增重  $m = g_2 - g_1$  (mg), 则烟尘浓度为:

$$C = 1000 \times \frac{g_2 - g_1}{\tau Q_r} \quad (8-6)$$

式中:  $C$ ——实测烟尘浓度, mg/m<sup>3</sup>;

$g_2$ ——滤筒采样后重量, mg

$g_1$ ——滤筒采样前重量, mg;

$\tau$ ——采样时间, min;

$Q_r$ ——等速采样流量的标况流量, L/min。

## (六) 烟气成分测定

1. 各烟气成分的含量采用在线式气体传感器测定。由于部分传感器测定的数值为气体体积浓度 (ppm), 需转化为质量浓度 (mg/m<sup>3</sup>), 按公式 (8-7) 计算

$$X = \frac{M}{22.4} \times C \times \frac{273}{273 + T} \times \frac{B_a}{101325} \quad (8-7)$$

式中:  $X$ ——污染物的质量浓度, mg/m<sup>3</sup>;

$M$ ——污染物的分子量;

$C$ ——污染物的体积浓度, ppm;

$B_a$ ——大气压力, Pa;

$T$ ——排气温度, °C。

2. 烟气过量空气系数的简化计算式为:

$$\alpha = \frac{21}{21 - V_{O_2}} \quad (8-8)$$

式中:  $\alpha$ ——过量空气系数;

$V_{O_2}$ ——氧气在烟气中所占的体积百分数。

3. 标准状态下湿烟气密度的计算:

$$\rho_N = \frac{1}{22.4} \left[ (M_{O_2} V_{O_2} + M_{CO} V_{CO} + M_{CO_2} V_{CO_2} + M_{N_2} V_{N_2}) (1 - X_{sw}) + M_{H_2O} V_{H_2O} \right] \quad (8-9)$$

式中:  $\rho_N$ ——标准状态下湿烟气密度, kg/Nm<sup>3</sup>;

$M_{O_2}$ 、 $M_{CO}$ 、 $M_{CO_2}$ 、 $M_{N_2}$ 、 $M_{H_2O}$ ——相应气体的分子量;

$V_{O_2}$ 、 $V_{CO}$ 、 $V_{CO_2}$ 、 $V_{N_2}$ ——相应气体的体积百分数, %。

4. 测量状态下湿烟气的密度计算:

$$\rho_s = \rho_N \frac{273}{101325} \times \frac{B_a + P_s}{273 + t_s} = \rho_N \frac{273}{101325} \times \frac{B_s}{T_s} \quad (8-10)$$

式中:  $\rho_s$ ——测量状态下湿烟气的密度, kg/m<sup>3</sup>;

$\rho_N$ ——标准状态下湿烟气密度, kg/Nm<sup>3</sup>湿烟气, 一般情况下  $P_N$  可取 1.34 kg/Nm<sup>3</sup> 湿烟气;

$B_a$ ——测量状态下, 烟气所承受的大气压力, Pa;

$P_s$ ——测量断面内烟气静压, Pa;

$t_s$ ——测点处的烟温, °C;

$B_s$ ——测量断面内烟气绝对压力, Pa;

$T_s$ ——测点处的绝对温度, K。

### (七) 大气污染物基准含氧量排放浓度折算

实测的锅炉烟气颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、汞及其化合物的排放浓度, 应执行 GB13271-2014 规定, 按公式 (8-11) 折算为基准氧含量排放浓度。各类燃烧设备的基准氧含量按表 9-4 的规定执行。

表 9-4 基准氧含量

编号	锅炉类型	基准氧含量 ( $O_2$ ) / %
1	燃煤锅炉	9
2	燃油、燃气锅炉	3.5

$$\rho = \rho' \times \frac{21 - \varphi(O_2)}{21 - \varphi'(O_2)} \quad (8-11)$$

式中:  $\rho$ ——大气污染物基准氧含量排放浓度, mg/m<sup>3</sup>;

$\rho'$ ——实测的大气污染物排放浓度, mg/m<sup>3</sup>;



$\varphi(O_2)$ ——基准的氧含量;

$\varphi'(O_2)$ ——实测氧含量。

## (八) 烟气流速及流量

### 1. 烟气流速

烟气的流速可由风速传感器直接测得, 也可利用皮托管测得的动压来计算。动压计算烟气流速的公式如下:

$$V_{si} = K_p \sqrt{\frac{2P_{di}}{\rho_s}} = 128.9 K_p \sqrt{\frac{(273+t_s) P_{di}}{M_s (B_a + P_s)}} \quad (8-12)$$

当干排气成分与空气近似, 排气露点温度在 35 ~ 55℃、排气的绝对压力在 97 ~ 103kPa 之间,  $V_{si}$  可按式 (8-13) 计算:

$$V_{si} = 0.076 K_p \sqrt{(273+t_s)} \times \sqrt{P_{di}} \quad (8-13)$$

对于接近常温、常压条件下 ( $t_s=20^\circ\text{C}$ ,  $B_a+P_s=101300\text{Pa}$ ), 通风管道的空气流速  $V_{si}$  按式 (8-14) 计算:

$$V_s = 1.29 K_p \sqrt{P_{di}} \quad (8-14)$$

式中:  $V_{si}$ ——测量点流速, m/s;

$V_s$ ——常温常压下通风管道的空气流速, m/s;

$B_a$ ——大气压力, Pa;

$K_p$ ——皮托管修正系数;

$P_{di}$ ——测定点烟气动压, Pa;

$P_s$ ——测定点烟气静压, Pa;

$\rho_s$ ——管道内湿气密度, kg/m<sup>3</sup> 湿烟气;

$M_s$ ——湿排气的分子量, kg/kmol;

$t_s$ ——排气温度, °C。

### 2. 烟气流量

(1) 在测定工况下烟气流量的计算:

$$Q = 3600 \times F \times \bar{V}_s \quad (8-15)$$

式中:  $Q$ ——测量工况下烟气的流量, m<sup>3</sup> 湿烟气/h;

$F$ ——测定断面面积, m<sup>2</sup>;

$\bar{V}_s$ ——测定断面烟气平均流速, m/s;

(2) 标准状态下湿烟气流量的计算

$$Q_N = 3600 \times F \times \bar{V}_s \times \frac{B_a + P_s}{101325} \times \frac{273}{t_s + 273} \quad (8-16)$$

式中： $Q_N$ ——标准状态下烟气的流量， $m^3$ 湿烟气/h；  
 $F$ ——测定断面面积， $m^2$ ；  
 $\overline{V}_s$ ——测定断面烟气平均流速， $m/s$ ；  
 $B_a$ ——测量状态下，烟气所承受的大气压力， $Pa$ ；  
 $P_s$ ——测定断面烟气静压， $Pa$ ；  
 $t_s$ ——测定断面烟气的平均温度， $^{\circ}C$ 。

(3) 标准状态下干烟气流量的计算

$$Q'_N = Q_N \times (1 - X_{sw}) \quad (8-17)$$

式中： $Q'_N$ ——标准状态下干烟气的流量， $Nm^3$ 干烟气/h；  
 $Q_N$ ——标准状态下烟气的流量， $Nm^3$ 湿烟气/h；  
 $X_{sw}$ ——烟气含湿量，%。

(4) 常温常压条件下，通风管道中的空气流量按下式计算：

$$Q_a = 3600 \times F \times \overline{V}_a \quad (8-18)$$

式中： $Q_a$ ——通风管道中的空气流量， $m^3/h$ 。

(5) 部件漏风率为漏入或漏出部件的气体量与进口风量的比率，以百分数计。公式如下：

$$\eta = \frac{|Q_{out} - Q_{in}|}{Q_{in}} \times 100\% \quad (8-19)$$

式中： $\eta$ ——漏风率，%；  
 $Q_{out}$ ——出口标干流量， $Nm^3$ 干烟气/h；  
 $Q_{in}$ ——进口标干流量， $Nm^3$ 干烟气/h。