
固定污染源废气CEMS原理、选型介绍及现场检查问题整改

上海市环境监测中心

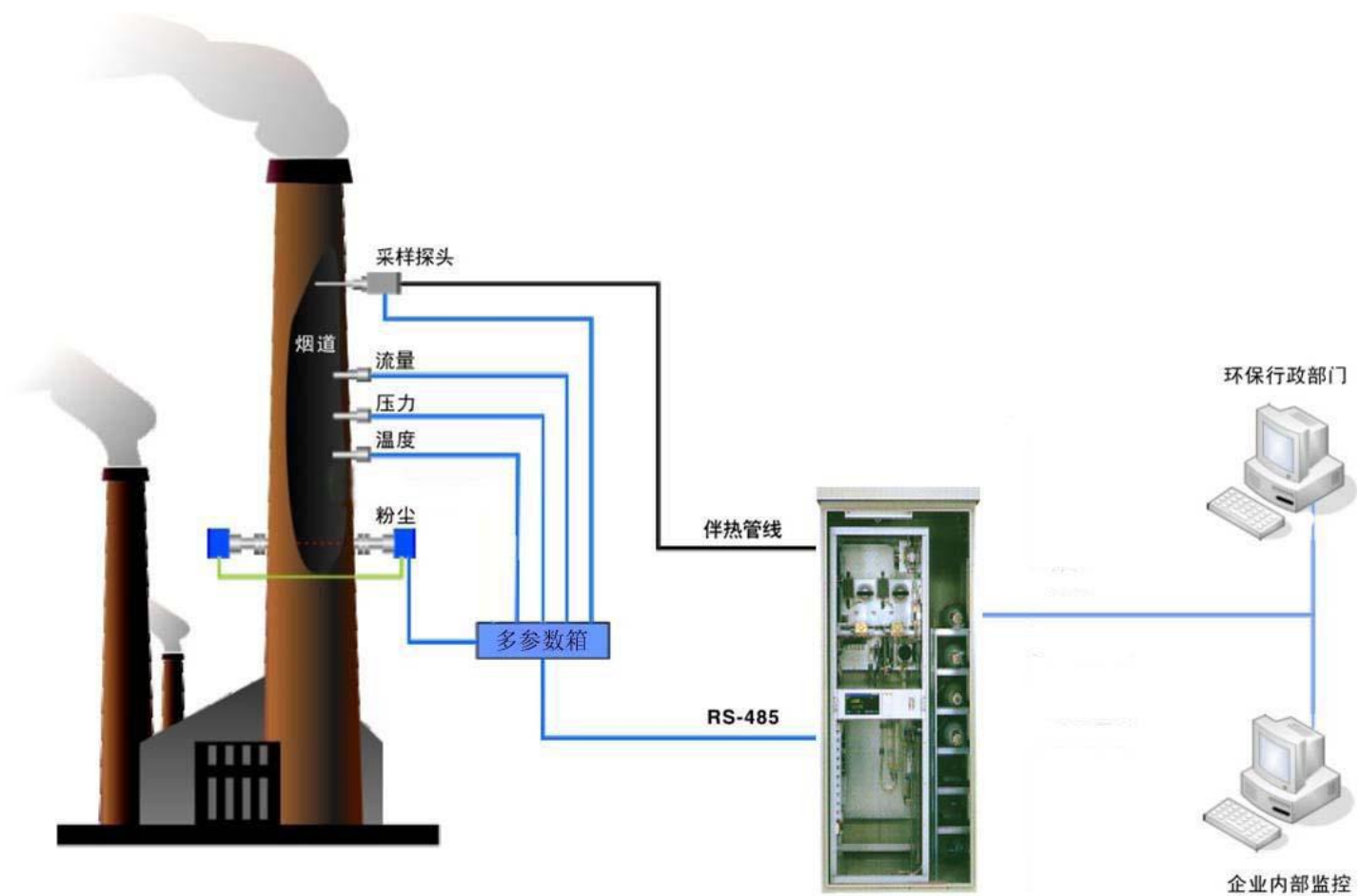
固定源CEMS介绍-系统组成

Continuous Emissions Monitoring Systems是指对固定污染源排放烟气中的污染物进行连续地、实时地跟踪测定，广泛应用于现场监测中。

- ◆ 颗粒物排放浓度监测子系统
- ◆ 气态污染物排放浓度监测子系统 (SO₂、NO_x)
- ◆ 烟气参数监测子系统 (温度、压力、流速/流量、氧含量、湿度等)
- ◆ 数据采集与处理系统 (显示、存储、打印、传输等)

氮氧化物检测单元，NO₂可以直接测量，也可通过转化炉转化为NO后一并测量，但不允许只监测烟气中的NO。NO₂转换为NO的效率应满足HJ76的要求 ≥ (95%)

固定源CEMS介绍-系统组成



固定源CEMS介绍-系统原理

(一)、颗粒物CEMS

- 透光度颗粒物监测仪器
- 光散射法颗粒物监测仪器
- 光闪烁法颗粒物监测仪器
- β 射线法颗粒物监测仪器
- 电荷法颗粒物监测仪器

固定源CEMS介绍-系统原理

随着环保意识的加强以及污染物控制技术的进步发展，各企业排放颗粒物浓度均明显下降，基本均在 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 以下，特别是电厂经过超净改造已将颗粒物控制在 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 以下，**光散射粉尘仪**由于其较高的灵敏度、较低的检测限，因此成为目前市面上主流方法。

原理：通过测量散射光能强度大小得到颗粒物的质量浓度

特点：探头式，安装在烟道单侧即可，不需要准直等，安装方便调试难度小

固定源CEMS介绍-系统原理

光散射法颗粒物监测仪器

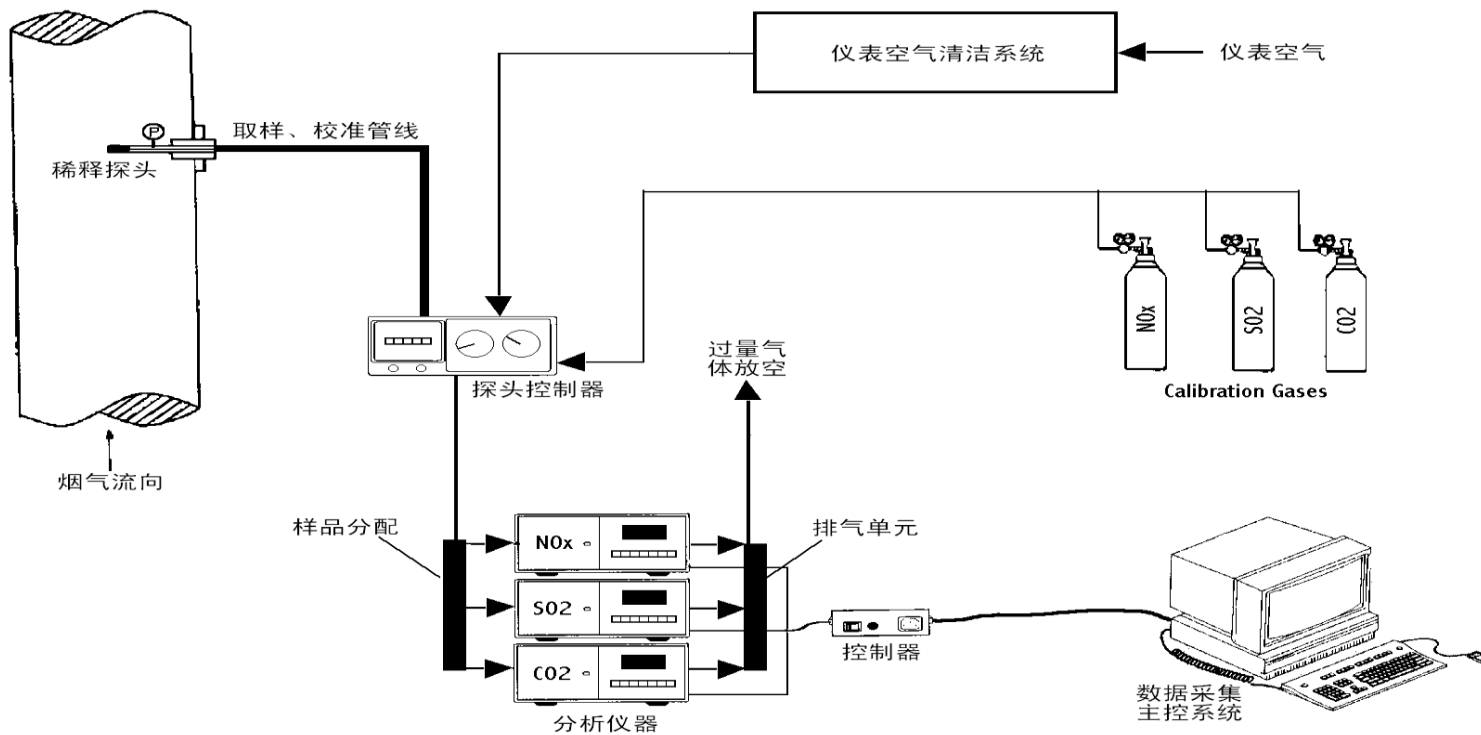
- ◆ **方法：前散射法、后散射法、边散射法**
- ◆ **光源：红光或可见光**
- ◆ **问题：后向散射法仪器尽管安装使用方便，但在三种散射法中其检测限最高，一般适用于颗粒物浓度较高的情形，前向散射和边向散射法仪器灵敏度较高，但其受到安装使用条件要求较高、伸入烟道探杆长度有限等问题的困扰。另外测量镜头容易被水气或颗粒物污染，需要必要的气幕保护，另一方面如果烟道内出现液态水滴将大大影响光学法测量结果。因此在恶劣的烟气环境下应增加仪器的维护频次。**

固定源CEMS介绍-系统原理

- ◆ **二氧化硫、氮氧化物测量技术：以光学技术为主，分为紫外光谱、红外光谱和荧光光谱**
- ◆ **市面检测方法：非分散红外、非分散紫外、气体过滤相关、紫外差分、紫外荧光、化学发光等**
- ◆ **稀释法：二氧化硫（紫外荧光）、氮氧化物（化学发光）**

固定源CEMS介绍-系统原理

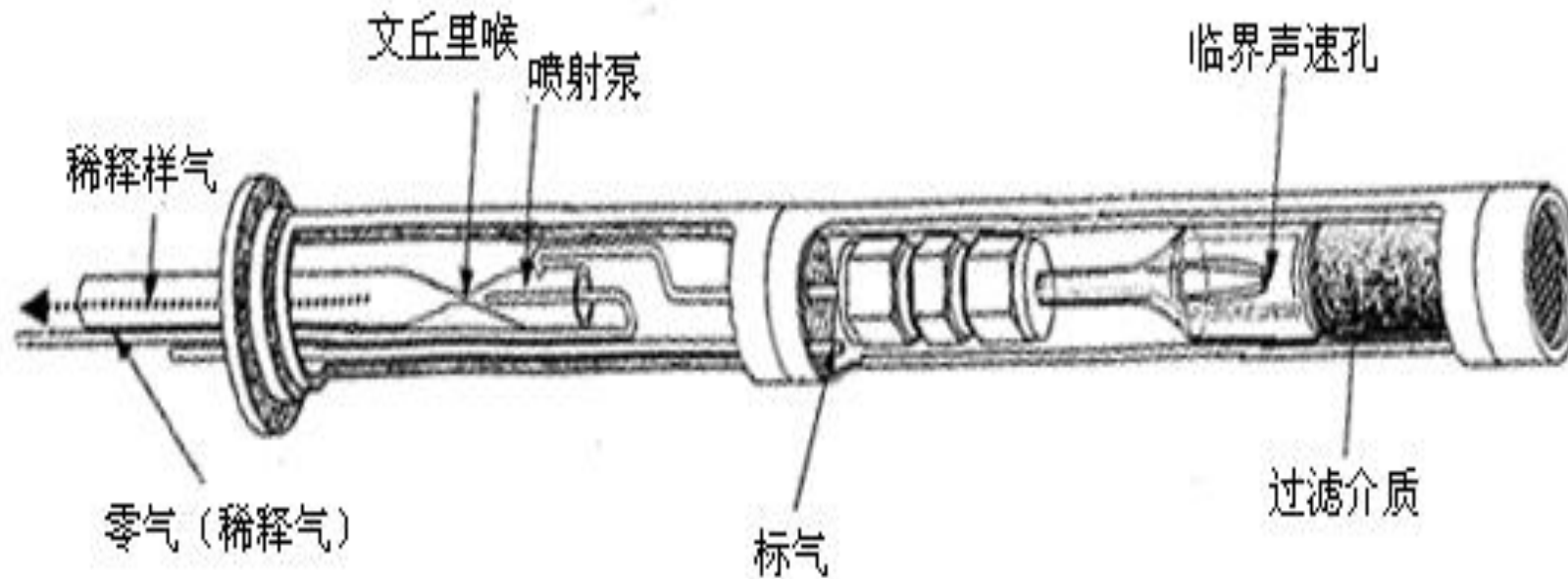
(一)、稀释取样法CEMS



固定源CEMS介绍-系统原理

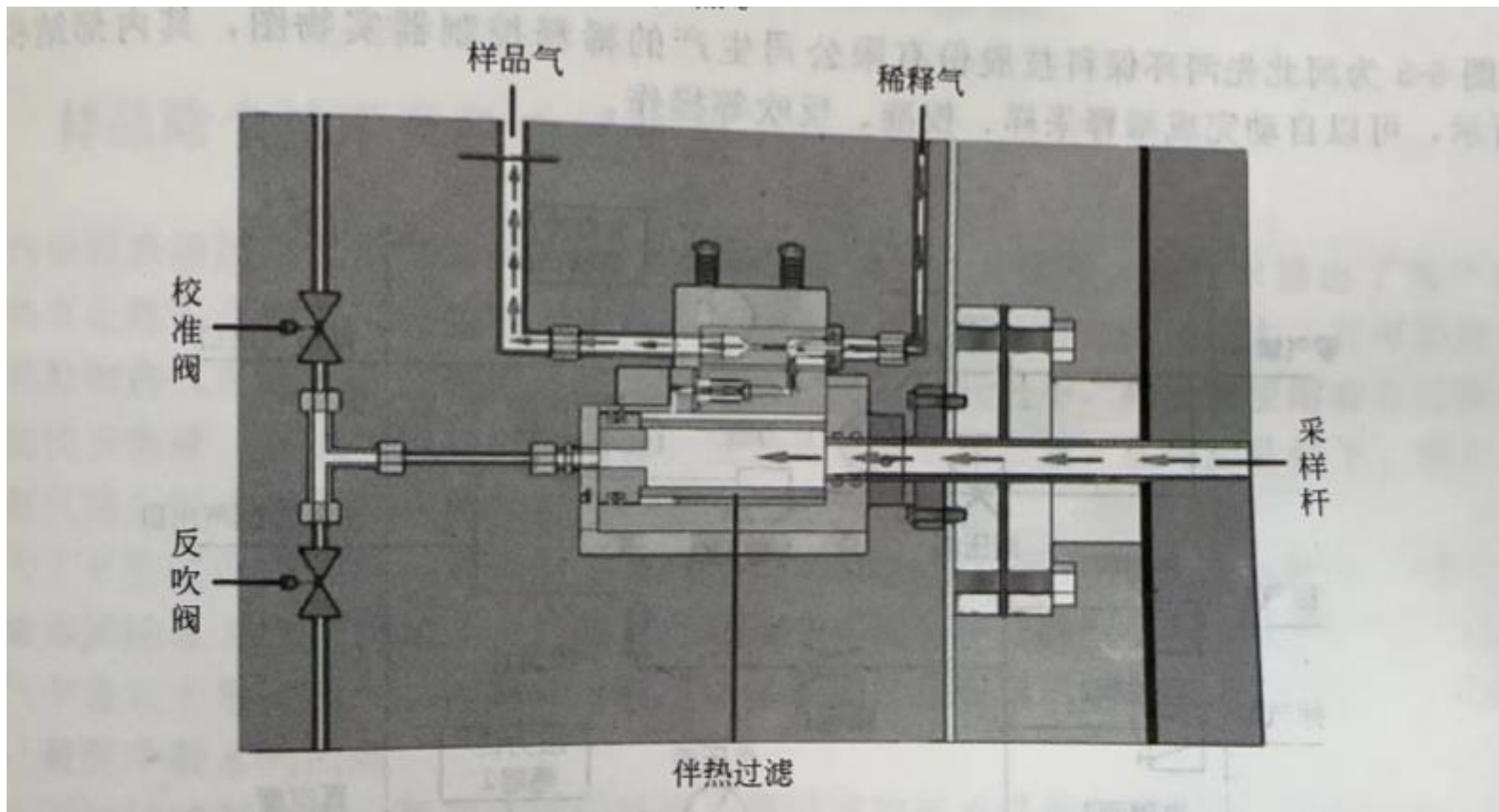
1、采样方式

- 内稀释法



固定源CEMS介绍-系统原理

- 外稀释法



固定源CEMS介绍-系统原理

2、管路系统

- 稀释气需要免于油、颗粒物、二氧化碳、氮氧化物和二氧化硫的污染。
- 稀释法取样管线、校准和清洗反吹管线多采用惰性材料，

表 E. 1 CEMS 样气加热传输管线技术要求

检测项目	技术要求
外观	加热采样管线粗细均匀、最小弯曲半径 $\leq 30\text{cm}$
温度均匀性	各测试点温度与设定温度差值小于设定值的 10%
保温性能	加热线达到设定温度（ $120^{\circ}\text{C}\sim 220^{\circ}\text{C}$ ）时，表面温度小于等于 55°C
气密性能	冷状态下加热管线气路耐压 $\geq 0.6\text{MPa}$

固定源CEMS介绍-系统原理

3、分析仪原理

- 紫外荧光法SO₂分析仪

烟气样气进入仪器的反应室，在190nm ~ 230nm的紫外光照射下，生成激发态的SO₂*。激发态的SO₂*主要通过荧光过程回到基态，其发射的荧光强度与SO₂*的浓度成正比。利用光电倍增管接收荧光，即可得到待测样气中的SO₂浓度。

固定源CEMS介绍-系统原理

- 化学发光法 NO_x 分析仪

化合物吸收化学能后，被激发到激发态，在由激发态返回至基态时，以光量子的形式释放能量。通过测量化学发光强度对物质进行分析测定。由若干方法可以对 NO_x 进行化学发光测定，最广泛使用的是**臭氧的发光反应**。

固定源CEMS介绍-系统原理

4、稀释法主要特点

- 主要优点

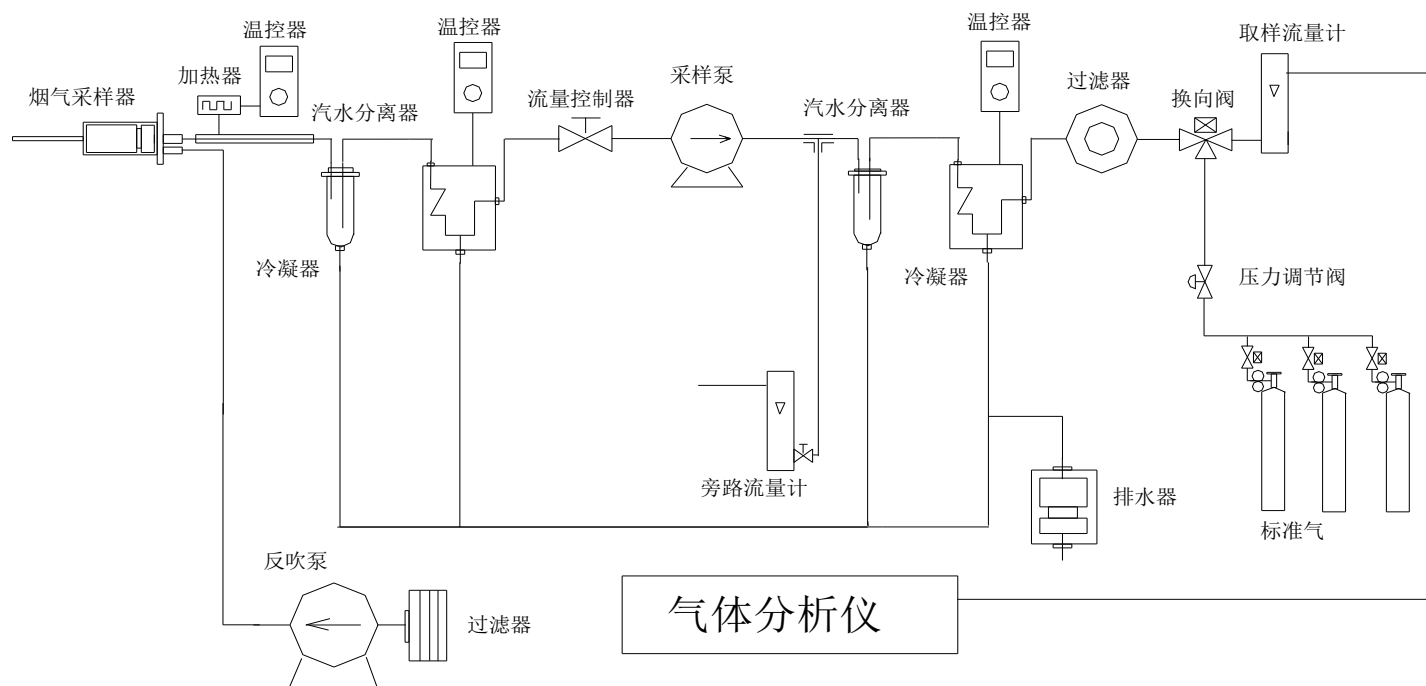
- 探头校准
- 取样量小，过滤介质负担小
- 样气传输不采用加热管线

- 主要缺点

- 不适合低浓度测量
- 稀释气质量要求较高
- 稀释比例易变化
- 湿基测量
- 维护成本高

固定源CEMS介绍-系统原理

(二) 直接抽取法 CEMS



固定源CEMS介绍-系统原理

- 冷-干法

在气体进入分析仪前，除去气体中的颗粒物、水分和降低气体温度，给出的烟气浓度为干基。

我国目前安装的基本为冷-干直接抽取法。

- 热-湿法

探头除去颗粒物，采样探头、管路和分析仪均高温加热，防止烟气水分凝结，给出的烟气浓度为湿基。

固定源CEMS介绍-系统原理

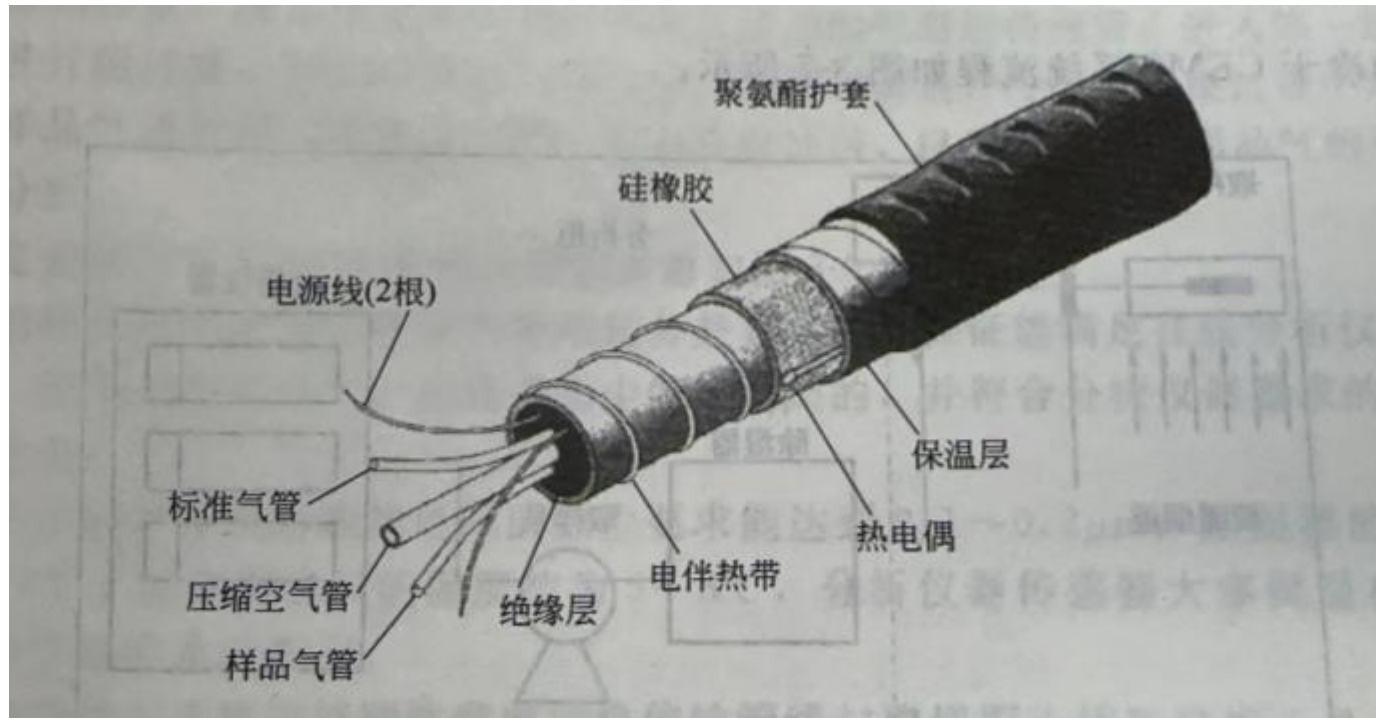
1、加热采样探头



加热取样探头将烟道中气体取出，并对烟气颗粒物进行初级过滤，初级过滤介质通常为烧结不锈钢和多孔陶瓷。应具备系统全程标定和加热反吹功能。

固定源CEMS介绍-系统原理

2、伴热管线

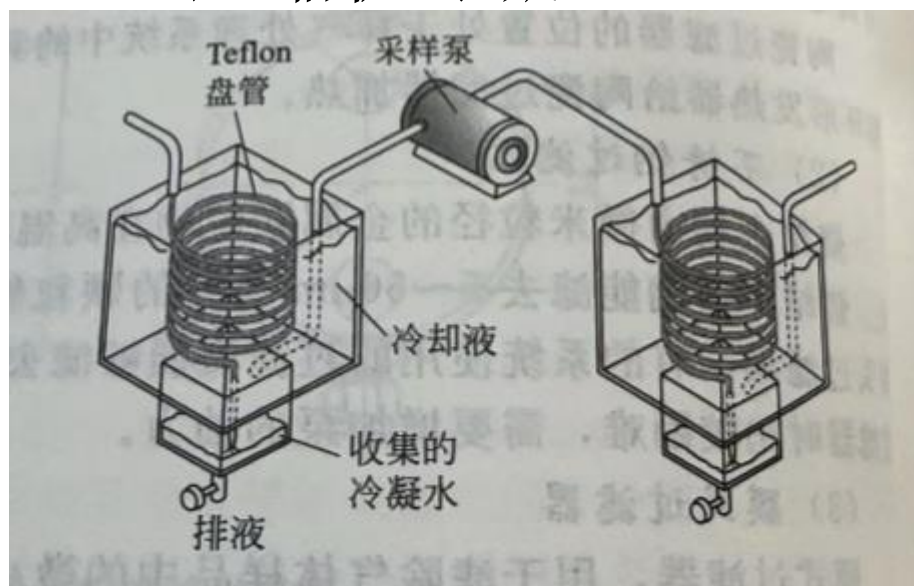


伴热管线一般为20—70米，不宜过长，传输管线过长，导致样气压力降过大，传输时间过长。

固定源CEMS介绍-系统原理

3、烟气冷却装置

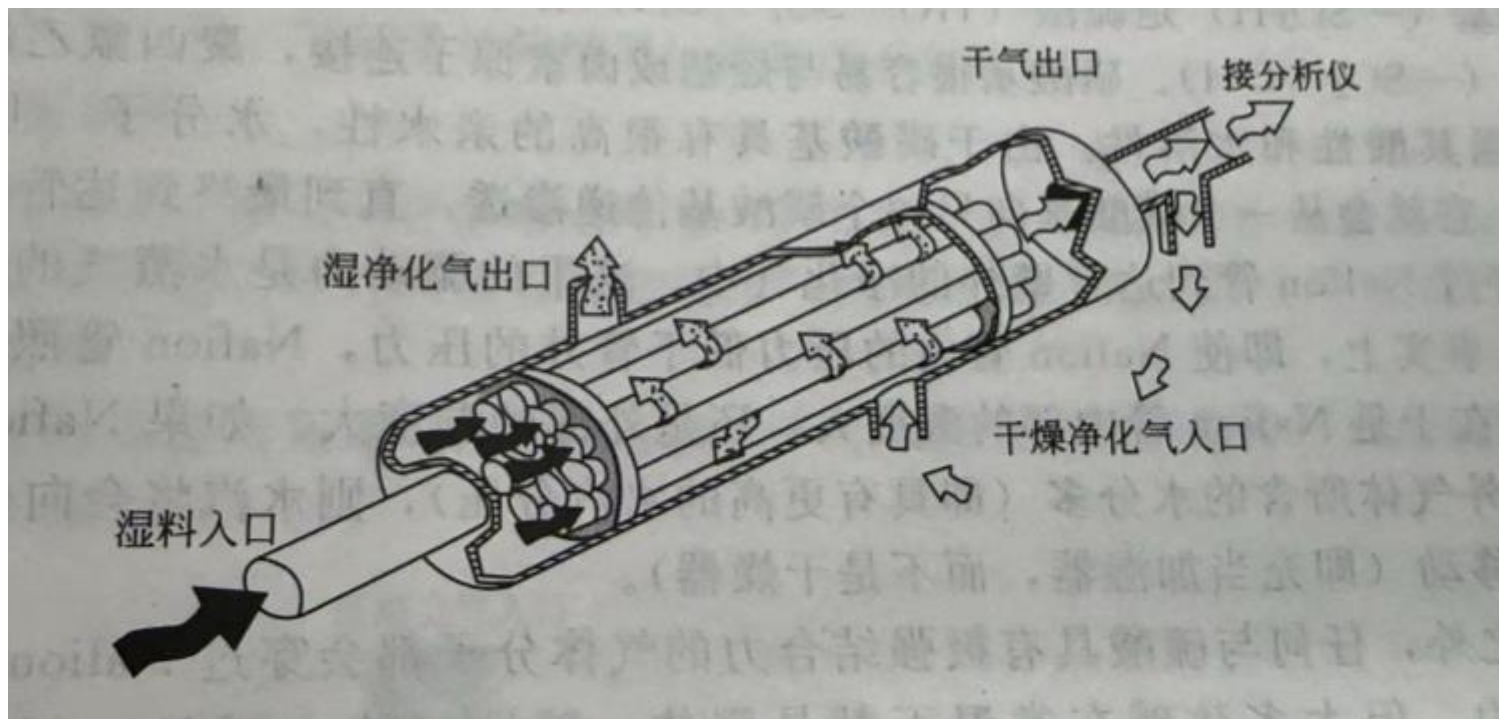
●压缩机冷凝



压缩机冷凝器制冷原理和电冰箱完全相同，制冷及冷却热交换的效果好。压缩机；冷凝器允许入口温度最高可达180度，输出样品温度3—5度。

固定源CEMS介绍-系统原理

● Nafion管（纳分管）



烟气中不能有液滴，否则将导致Nafion管饱和失效。纳分管和聚四氟乙烯一样，具有极强的耐腐蚀性能，其可以承受的最高温度为190度。

固定源CEMS介绍-系统原理

表 E. 2 CEMS 样气冷凝除湿设备技术要求

检测项目	技术要求
稳定性能	冷凝器稳定后温度波动范围 $\pm 2^{\circ}\text{C}$
脱水效率	当湿度 $> 5.0\% \sim \leq 10.0\%$ 时, 脱水率 $\geq 85\%$ 当湿度 $> 10.0\% \sim \leq 15.0\%$ 时, 脱水率 $\geq 90\%$ 当湿度 $> 15.0\%$ 时, 脱水率 $\geq 95\%$
SO ₂ 组分丢失率	湿度 15%条件下: SO ₂ 浓度 $\geq 250\mu\text{mol/mol}$ (715mg/m^3) 时, SO ₂ 丢失率 $\leq 5\%$ SO ₂ 浓度 $< 250\mu\text{mol/mol}$ (715mg/m^3) 时, SO ₂ 丢失率 $\leq 8\%$ SO ₂ 浓度 $< 50\mu\text{mol/mol}$ (143mg/m^3) 时, SO ₂ 丢失量 $\leq 5\mu\text{mol/mol}$ (14mg/m^3) .

固定源CEMS介绍-系统原理

4、直接抽取法CEMS分析方法原理

- 非分散红外法

含有2个或2个以上不同原子的分子，它们在红外光区有特征吸收。

可测SO₂、NO，通过内置转化器可将NO₂转化为NO，得到NO_x。转化器温度在190°C左右，转化率不低于90%。

- 非分散紫外法

- 定电位电解法

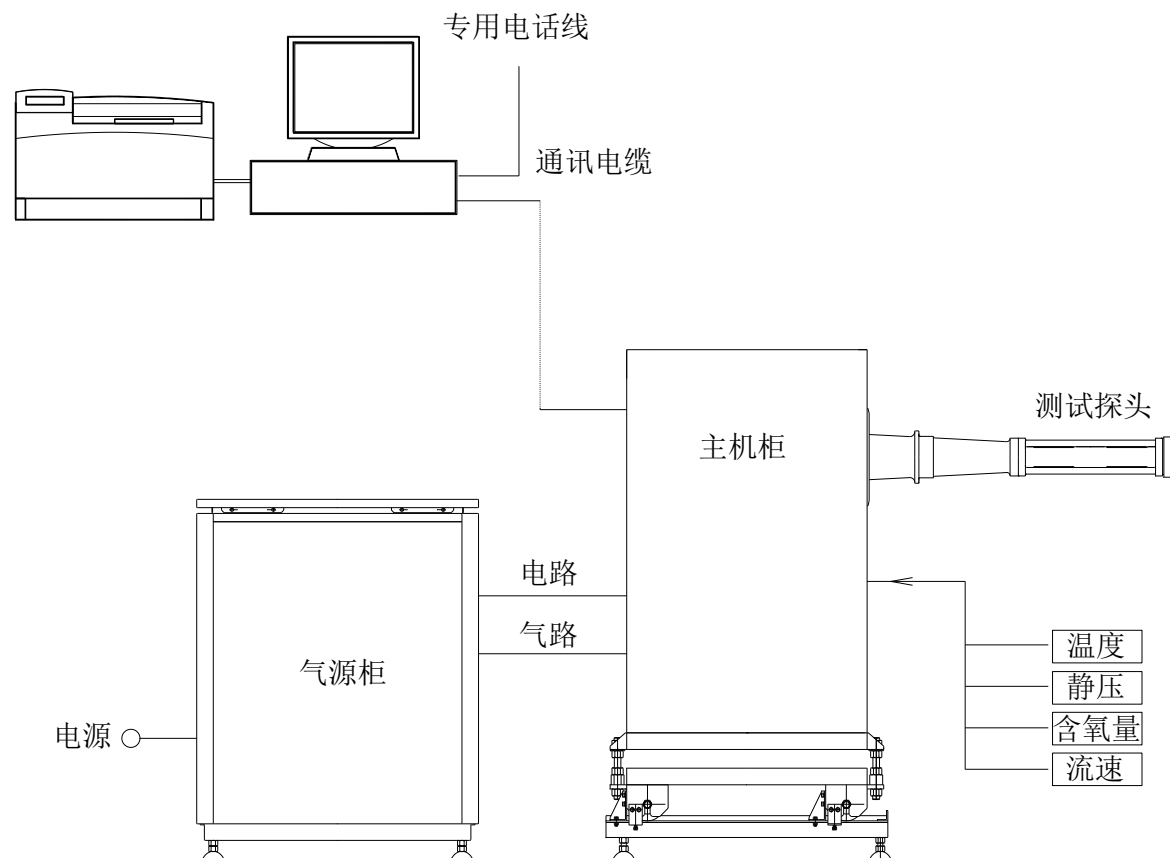
固定源CEMS介绍-系统原理

5、主要特点

- 一个分析单元可同时测量**SO₂**、**NO_x**、**CO₂**、**CO**；
- 测氧（**O₂**）单元与红外单元共同可置于同一分析仪内；
- 测量数据为标准状态下的干态烟气数值，数据直观；
- 可进行探头校准、中间校准、分析仪校准；
- 样气传输采用加热管线（**120 °C**以上）；
- 预处理系统复杂；
- 要求密封性好；
- 安装、调试和操作需要更多的经验。

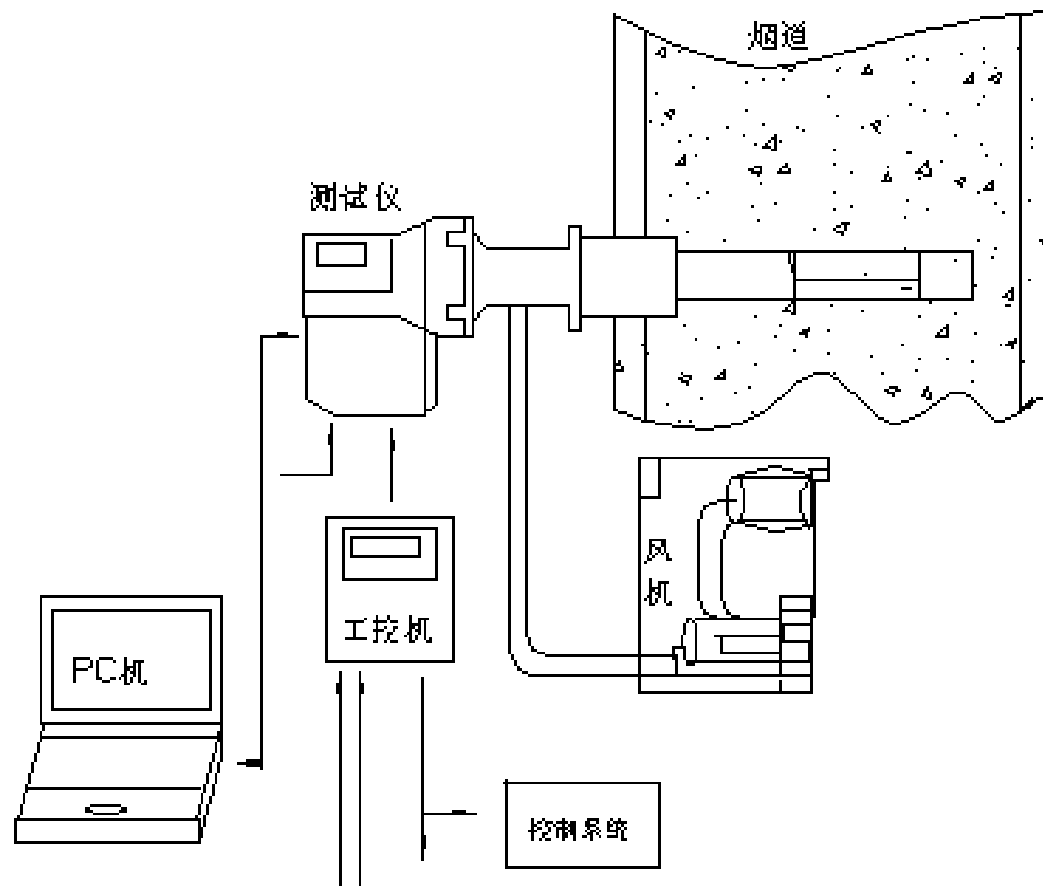
固定源CEMS介绍-系统原理

(三)、直接测量法 CEMS



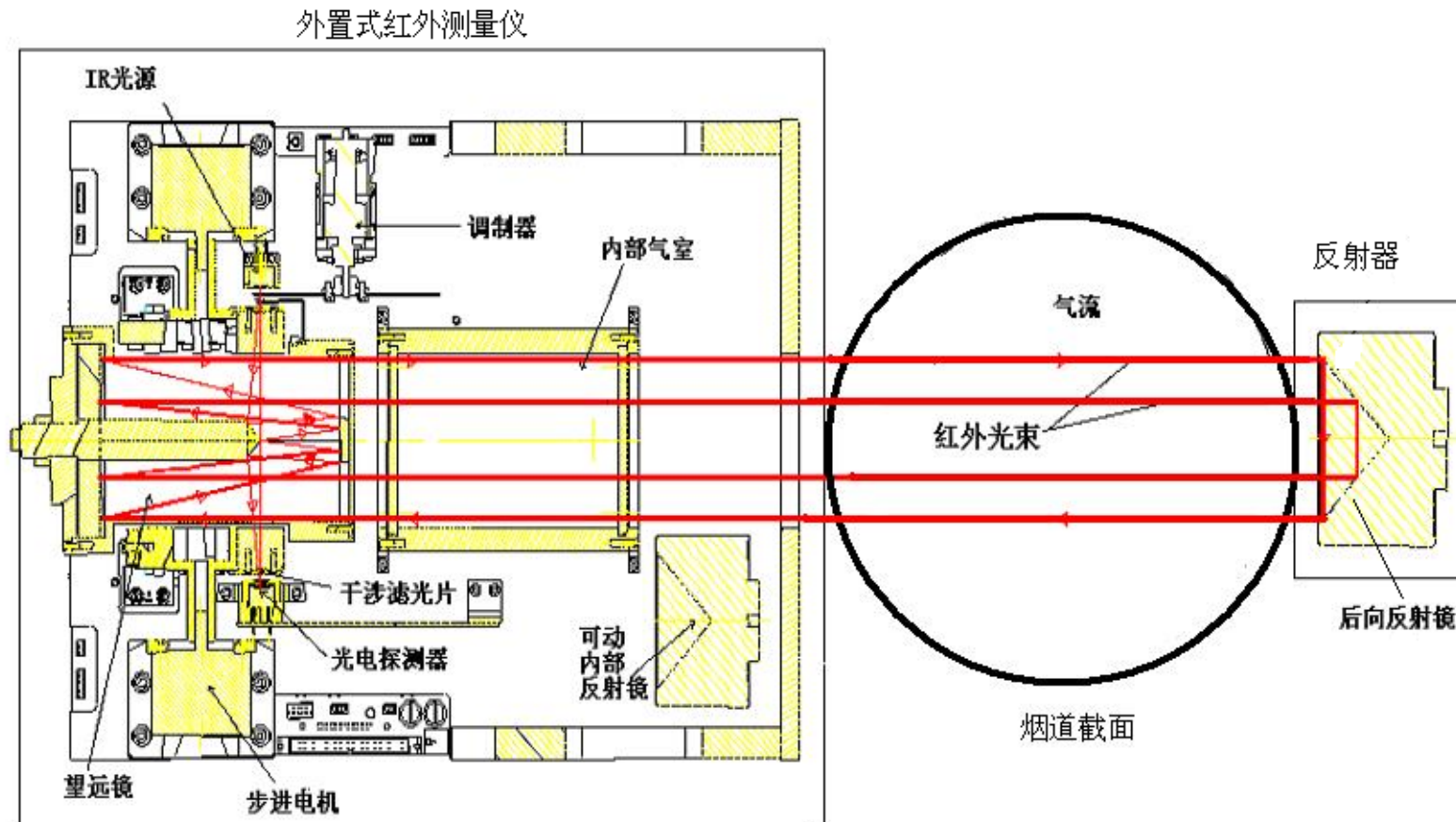
固定源CEMS介绍-系统原理

1、内置式直接测量法



固定源CEMS介绍-系统原理

2、外置式直接测量法



固定源CEMS介绍-系统原理

主要特点

- 不需要采样和预处理系统，结构简单；
- 直接读数；
- 温度、压力的变化会显著影响分子吸收能量的效率，需要随时进行温度压力的修正；
- 探头不便防护；
- 通常不能在线校准。

烟气参数CMS

测量项目	测量原理	安装位置
氧含量	氧化锆法	烟道、抽取
	磁氧法	直接抽取采样
	原电池法	直接抽取采样
流速	皮托管差压法	插入式
	热线法	插入式
	超声波法	对穿式
湿度	电容法	插入式
	干湿氧法	烟道和抽取
温度	热电偶	插入式
	热电阻	插入式

烟气参数的测量意义不仅是了解被测烟气的温度、压力、流速、湿度及含氧量等工况条件的实时变化，更重要的是参与污染物实时排放的质量浓度以及排放总量的计算。按照环保标准的要求，要统一折算到标态下的排放值。

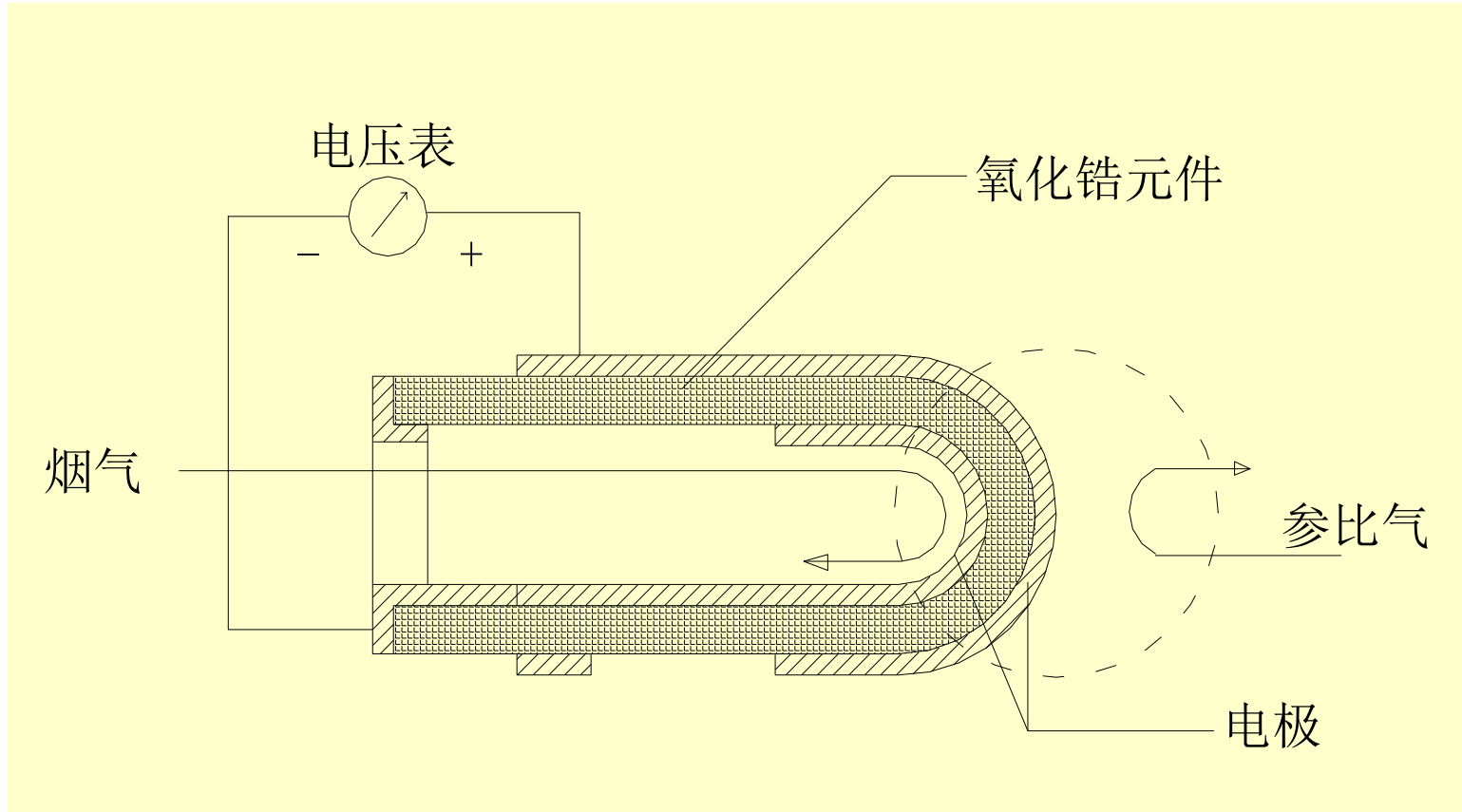
固定源CEMS介绍-系统原理

❖ (一) 氧含量CMS

❖ 1、氧化锆法

- ❖ 利用 ZrO_2 在高温（ $600^\circ C$ ）时的电解催化作用，形成烟气一侧的电极和与含有 O_2 的参考气体（通常为空气）接触的参考电极产生电位的不同，从而测量出烟气中氧气浓度。
- ❖ 可以测量烟气的湿氧，也可以用于测量干湿氧，用于计算烟气含湿量

固定源CEMS介绍-系统原理



固定源CEMS介绍-系统原理

2、磁氧法：

- ❖ 顺磁性：分子通过磁场时，不是被吸引就是被排斥。被吸引时是顺磁性的，被排斥时是反磁性的。
- ❖ 大多数材料是反磁性的，少数是顺磁的，氧分子是顺磁性的。
- ❖ 利用氧气的顺磁性的特性测量 O_2 浓度。
- ❖ 顺磁氧分析仪没有电特性的消耗，无须定期更换传感器或校准，维护成本低，寿命长。
- ❖ 测量的是干基氧的浓度

固定源CEMS介绍-系统原理

- ❖ 3、原电池法
- ❖ 电化学传感器原理。
- ❖ 使用寿命约6-18个月，多用于便携烟气分析仪。

固定源CEMS介绍-系统原理

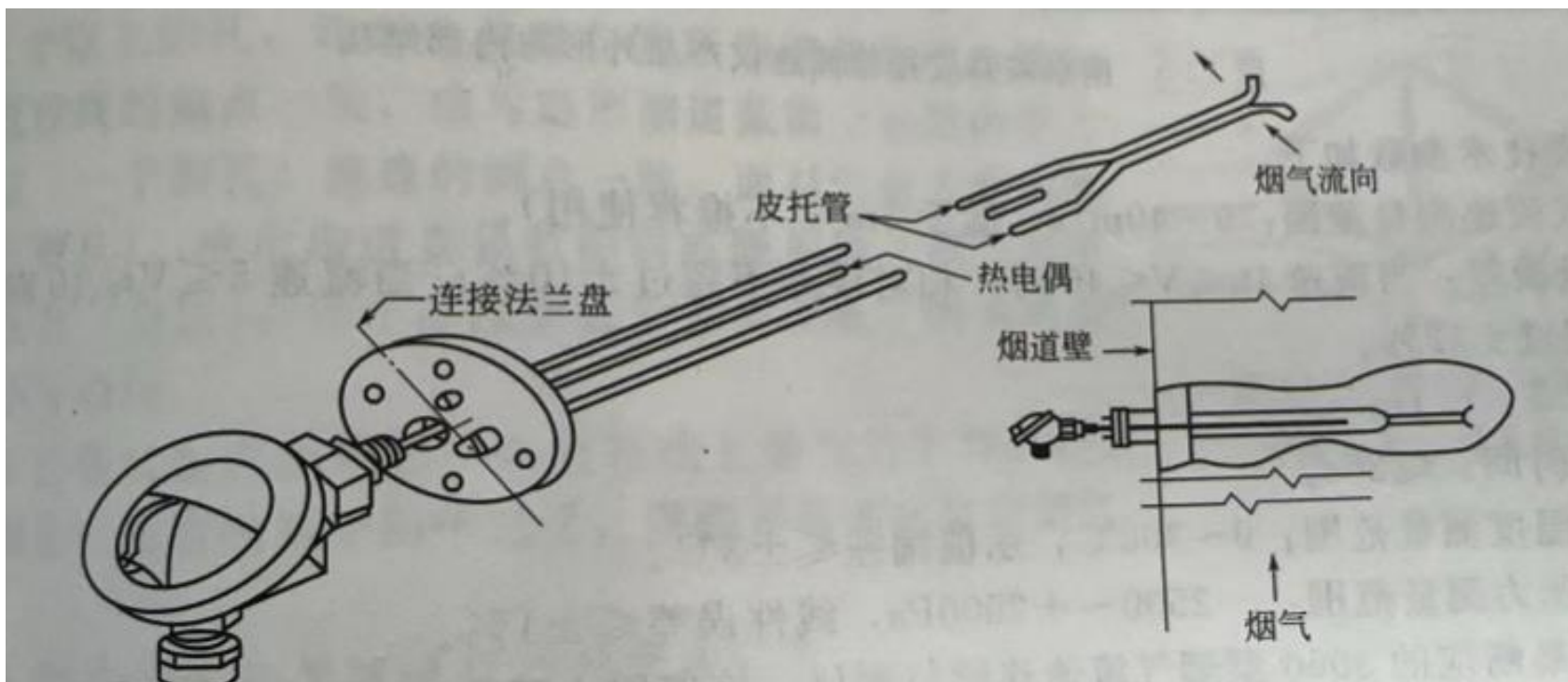
❖ (二) 流速CMS

❖ 1、皮托管差压法

- ❖ 保持皮托管正对气流测孔表面的清洁是保证准确测量烟气流速的重要条件，需要采用高压反吹技术定期反吹皮托管。
- ❖ 安装时应避开有涡流的位置。
- ❖ 皮托管实际测定的最小压差为5Pa，能够测量的烟气最低流速约为2-3m/s，因此推荐皮托管流速仪适用于在烟气流速大于5m/s以上场合，否则影响烟气流速测量的准确性。

固定源CEMS介绍-系统原理

❖ S型皮托管法测流速示意图



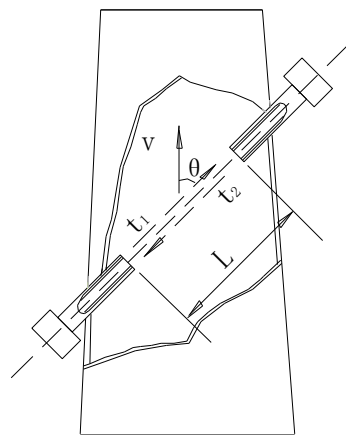
固定源CEMS介绍-系统原理

❖ 2、超声波法CMS

- ❖ 在流体中设置两个超声波传感器，他们既可发射超声波又可以接收超声波，一个装在管道的上游，一个装在下游，通过超声波在流体中顺流和逆流方向传播时间差来计算出流速在烟气流速。
- ❖ 超声波技术能够测量低至0.03 m/s的气流流速。
- ❖ 安装时应避开有涡流的位置。
- ❖ 超声波流量计是一种线式测量，得到线平均流速而不是面平均流速。超声波流速仪应用在圆形烟道时，其测量的线平均流速可以作为面平均流速；在用于矩形烟道时，需要用速度场系数将线平均流速转换为面平均流速。

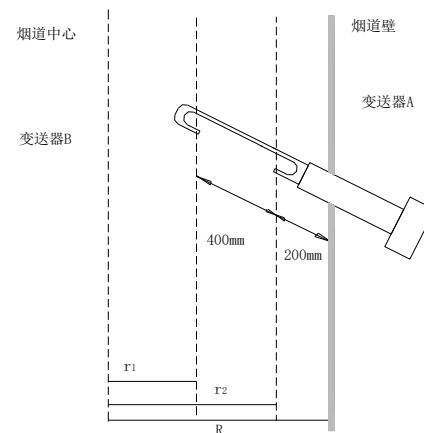
固定源CEMS介绍-系统原理

❖ 超声波法测流速示意图



外置式

外置式（经典式）在烟囱或烟道两侧各安装一个超声换能器，典型的角度为30—60度。



内置式

内置式可将两个超声换能器固定在一个支撑臂上，与烟道气流成45度，与外装式相比具有价格低、安装简清洁方便，不需要反吹装置等有点，有较好的应用前景。

固定源CEMS介绍-系统原理

(三) 温度CMS

- 热电偶法
- 热电阻法

固定源CEMS介绍-系统原理

❖ （四）湿度CMS

❖ 1、电容法

❖ 采用电容式传感器，探头直接插入烟道中，探头周围采用特制的过滤器进行保护。采用薄膜电容和PT100电阻组合专门设计的湿度传感器，利用水分的变化和电容值变化之间的关系直接测量水气分压，利用PT100测量温度，可以准确测量高温烟气的水分含量。

❖ 直接插入式测量，探头需要特殊防护。

固定源CEMS介绍-系统原理

- ❖ 2、干湿氧法
- ❖ 通常利用插入式氧化锆探头直接测量烟道中的湿态氧含量，利用完全利用抽取法将烟气抽取后降温除湿，测量出干态氧含量，经计算后得出烟气湿度。
- ❖ 湿度为计算所得出，两台测氧仪器漂移不一致会导致误差叠加。

固定源CEMS介绍-系统原理

❖ 四、数据采集与处理系统

- 采集各测量子系统的数据和状态参数；
- 对数据进行显示、计算、存储、统计；
- 保持与环境监控平台（企业）的数据传输；
- 通常采用工控机，工控机的正确连接方式。

固定源CEMS的发展

- 传统污染物低浓度CEMS
- Hg CEMS
- VOCs CEMS
 - NMHC-CEMS
 - VOCs组分-CEMS
 - FTIR-CEMS
 - NH₃-CEMS

帮扶问题、疑问汇总

- 非甲烷总烃冷干法/热湿法选择
- 量程合理的设置
- 干湿基浓度的正确显示及上传
- 甲烷和丙烷都要校准
- 数采仪功能（存储数据/标记位齐全）



▶ 故障(D) 标记说明:

- 1 自动监测设备故障、检修，导致数据缺失或无效的时段，标记为“故障”。

包括浓度、温度（烟温或水温）、湿度、压力、流量、运行状态等各类自动监测设备故障，采样环节的泄漏、堵塞、掺杂等故障，以及现场端内部通讯故障等。

- 2 自动监测设备断电，导致数据缺失或无效的时段（如站房停电导致自动监测设备停止运行的时段）。

- 3 本标记不适用生产或污染治理设施自身的故障造成数据异常。

▶ 根据上述规定，这些情形可以标记“故障”

当监测设备的某一监测因子的分析仪表因检修、损坏、断电等原因无法正常运行，或分析仪表与数据采集装置之间的通讯中断时段，应当标记自动监测设备“故障”。

▶ 这些情形不可以标记“故障”

生产或污染治理设施自身的故障造成数据异常，则不能标记自动监测设备“故障”。

请注意，依据《关于进一步加强固定污染源监测监督管理的通知》（环办监测〔2023〕5号），不如实标记，错用、滥用自动监测设备“故障”标记，导致传输至生态环境主管部门的自动监测数据与实际排放情况不符，属于虚假标记，**将构成“以逃避监管的方式排放污染物”的违法行为**。

附录 H
(规范性附录)

固定污染源烟气排放连续监测系统数据采集处理和传输系统要求

系统应具有数据采集、处理、存储、表格和图文显示、故障警告、安全管理和支持打印功能；系统应设置通信接口，用于数据输出和通讯功能。

H.1 实时数据采集和数据格式

数据采集和记录格式要求按照 HJ 76 执行。

H.2 数据状态标记

系统应在分钟数据报表和小时数据报表的数据组后面给出系统和（或）污染源运行状态标记。

分钟数据标记方法为：“N”表示系统各检测参数正常，“F”表示排放源停运，“St”表示排放源启炉过程，“Sd”表示排放源停炉过程，“B”表示排放源闷炉，“C”表示校准，“M”表示维护保养，“Md”表示系统无数据，“T”表示超测定上限，“D”表示系统故障。

小时数据标记方法如下：

N——本小时内系统各检测参数正常，检测时间大于 45min；

F——本小时内污染源处于停运状态，其时间大于等于 45min；

St——本小时内污染源处于启炉状态，其时间大于等于 45min；

Sd——本小时内污染源处于停炉状态，其时间大于等于 45min；

B——本小时内污染源处于闷炉状态，其时间大于等于 45min；

T——本小时内污染物排放浓度平均值超过系统测量上限；

C——本小时内系统处于校准状态，其时间大于 15min；

M——本小时内系统处于维护、修理状态，其时间大于 15min；

D——本小时内系统处于故障、断电状态，其时间大于 15min；

Md——本小时内系统无数据。

对于 N、F、St、Sd、B 和 T 状态，均表明系统在本小时内处于正常工作状态；

对于 C、M、D 和 Md 状态，则表明系统在本小时内处于非正常工作状态；

数据标记优先级顺序从高到低依次为 F→D→M→C→T→St、Sd、B→N。数据审核标记（针对小时均值）实测数据计算、手工数据替代、按本标准修约数据。

GB18484-2020

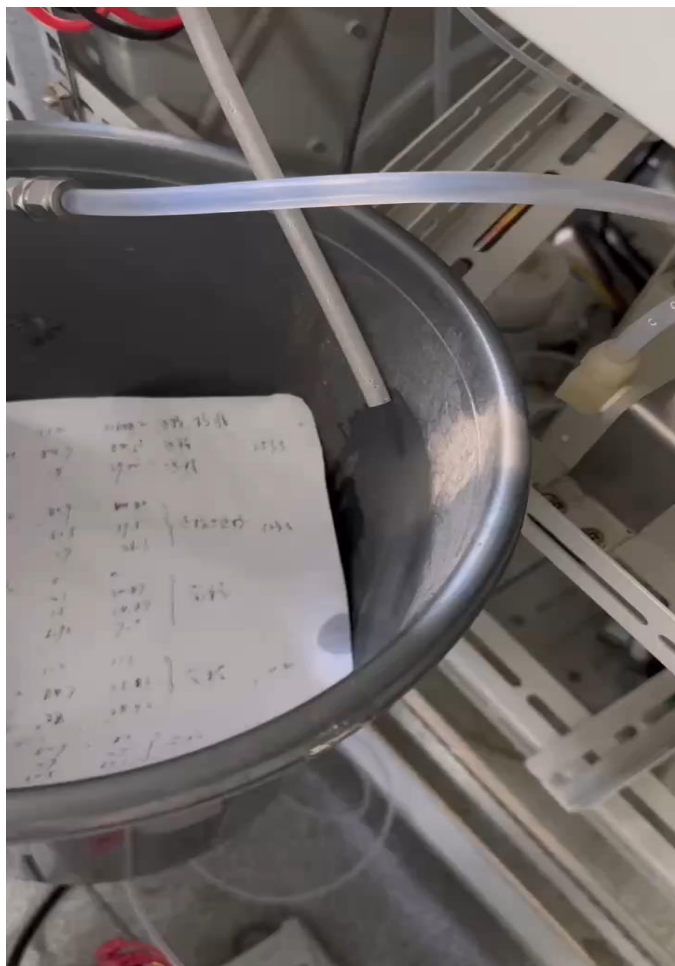
7.2.3 焚烧设施在运行过程中发生故障无法及时排除时，应立即停止投入危险废物并应按照 7.2.2 要求停炉。单套焚烧设施因启炉、停炉、故障及事故排放污染物的持续时间每个自然年度累计不应超过 60 小时，炉内投入危险废物前的烘炉升温时段不计入启炉时长，炉内危险废物燃尽后的停炉降温时段不计入停炉时长。

➤ 工况标记

➤ 设备标记

➤ 标记时长

典型案例 管路冷凝水堵塞



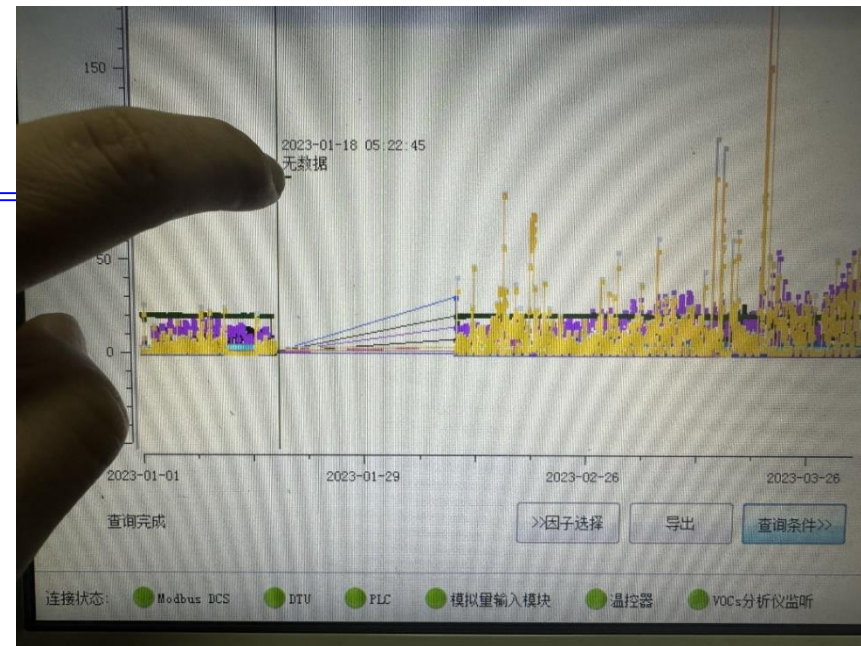
典型问题—氧量

- 对于非甲烷总烃等不需要进行折算的情况，建议不要安装，已安装的申请拆除。存在大量安装并备案不正常运维的情况。
- 对于氧量进行标气校准时，重点关注较低浓度标准气的示值误差情况（5%标气标称值）
- 湿氧一体机

The screenshot shows a monitoring software interface with a data table. The table has columns for various parameters: NOx(折算), NOx(排量), O2(实测), O2(标干), 流速, 温度, 湿度, 压力, 相对压力, 流量(实测), and 流量(标干). The O2(实测) and O2(标干) columns are circled in red. The interface also includes search filters for '全部监测项目' and '1分钟均值', and a list of monitored items on the left side.

NOx(折算)	NOx(排量)	O2(实测)	O2(标干)	流速	温度	湿度	压力	相对压力	流量(实测)	流量(标干)
mg/Nm3	kg/h	%	%	m/s	℃	%	kPa	Pa	m3/s	Nm3/s
0.0	0.00	19.4	23.5	12.21	58.1	17.31	101.010	-270	59.813	43.964
0.0	0.00	19.4	23.5	12.13	56.2	17.33	101.035	-290	59.413	40.614
0.9	0.13	19.4	23.5	12.28	56.1	17.31	101.028	-297	60.152	41.143
0.0	0.00	19.4	23.5	12.28	56.2	17.30	101.028	-297	60.193	41.168
0.0	0.00	19.4	23.4	12.29	58.2	17.28	101.028	-297	60.207	41.189
0.3	0.04	19.5	23.6	12.29	5.2	17.26	101.028	-298	60.221	41.200
0.3	0.04	19.4	23.5	12.44	56.6	17.29	101.017	-308	60.944	41.625
0.0	0.00	19.5	23.5	12.53	57.0	17.30	101.005	-320	61.385	41.867
0.0	0.00	19.8	23.9	12.69	57.0	17.13	101.004	-321	62.193	42.508
0.0	0.00	20.8	24.5	12.86	57.0	14.99	101.003	-322	63.002	44.163
0.0	0.00	20.9	24.5	12.29	56.6	14.78	101.027	-298	60.221	42.388
0.1	0.00	9.5	11.1	12.52	56.2	14.57	101.024	-301	61.324	43.312
0.0	0.06	0.2	0.2	12.95	57.0	4.15	101.010	-315	63.431	50.155
0.1	0.1	0.0	0.0	12.78	56.3	0.29	101.015	-311	62.604	51.600
0.2	0.6	0.0	0.0	12.93	56.1	0.29	101.013	-312	63.369	52.251
0.1	0.6	0.0	0.0	12.84	56.2	0.29	101.013	-313	62.892	51.853
0.1	0.1	0.0	0.0	12.84	56.2	0.29	101.013	-318	62.794	51.788
0.1	0.08	0.0	0.0	12.82	56.1	0.29	101.007	-318	62.794	51.788
0.4	0.56	0.0	0.0	12.60	55.1	0.29	101.016	-310	61.734	51.861
0.3	0.3	0.0	0.0	12.90	55.1	0.30	101.010	-315	63.204	52.272
0.0	0.00	0.3	0.3	12.67	55.2	0.29	101.012	-313	62.083	51.344
0.0	0.00	0.0	0.0	12.89	55.2	0.30	101.012	-313	63.155	52.225
0.0	0.00	0.0	0.0	12.78	55.1	0.29	101.018	-307	62.634	51.814
0.0	0.00	0.0	0.0	12.79	55.0	0.28	101.013	-312	62.689	51.880
0.0	0.00	0.0	0.0	12.79	55.0	0.28	101.013	-312	62.689	51.880
0.0	0.00	0.0	0.0	12.98	54.1	0.30	101.009	-316	63.578	52.677
0.0	0.00	0.0	0.0	12.75	54.1	0.29	101.017	-308	62.457	51.823
0.0	0.04	0.0	0.0	12.75	54.1	0.29	101.017	-308	62.457	51.823
0.0	0.00	0.0	0.0	12.68	54.1	0.29	101.014	-311	62.126	51.544

典型案例



- 采样管脱落、数据缺失
- 后散（颗粒物）典型作假方式：人为调整校准的档位向零点位置偏移；颗粒物光路偏移，部分光路打到内壁上，零点量程转换板未回正原位，有部分遮挡光路。
- 高标低校
- 折算人为干预
- 等速采样：人为设置为恒流采样

谢谢

为碧水蓝天共同努力