

环境污染治理设施运营培训国家统一教材

烟尘烟气

连续自动监测系统

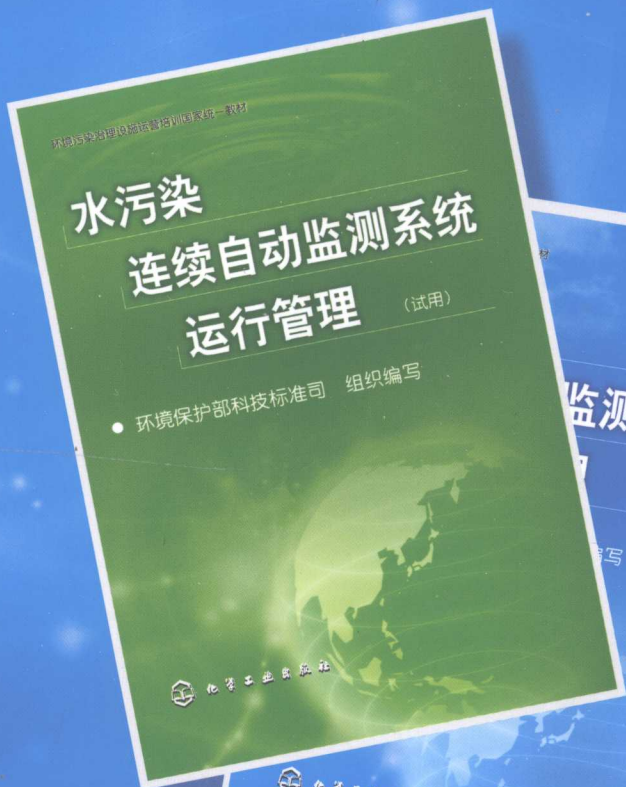
运行管理

(试用)

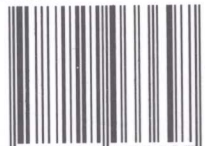
● 环境保护部科技标准司 组织编写



化学工业出版社



ISBN 978-7-122-03369-7



9 787122 033697 >

定价：50.00元

环境污染治理设施运营培训国家统一教材

烟尘烟气

连续自动监测系统

运行管理

(试用)

- 环境保护部科技标准司 组织编写



化学工业出版社

· 北京 ·

本书重点讲述了烟气连续排放监测系统（CEMS）的原理、组成、使用和运行管理。通过本书的学习，读者能够快速掌握烟尘烟气连续自动监测系统运行管理的方法，以适应“十一五”期间我国环境保护的更高要求。

本书适于各级环境监测机构、企业环境监测部门技术人员，以及相关领域科研人员 and 高校师生使用。

图书在版编目（CIP）数据

烟尘烟气连续自动监测系统运行管理/环境保护部科技标准司组织编写. —北京：化学工业出版社，2008.6
ISBN 978-7-122-03369-7

I. 烟… II. 环… III. 烟尘-自动化监测系统-管理
IV. X513.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2008）第 103628 号

责任编辑：王 斌
责任校对：李 林

装帧设计：刘丽华

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印 装：三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 12¼ 字数 301 千字 2008 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：50.00 元

版权所有 违者必究

烟尘烟气连续自动监测系统运行管理培训教材

编委会名单

主任委员：赵英民

副主任委员：焦志延 魏山峰 胥树凡 王开宇

编委会成员：赵英民 焦志延 魏山峰 胥树凡
王开宇 洪少贤 李向农 刘来红

本书编写人员名单

主 编：滕恩江

副主编：杨 凯 贾 宁 孙海林

编 者（按姓氏笔画排序）：

王 强 王晓慧 闫 盟 闫兴玉 孙海林 李 亮
李虹杰 杨 凯 吴讯海 迟 郢 张东升 贾 宁
郭 伟 尉士民 鲁爱熹 鲍自然 滕恩江

序

党中央、国务院一直高度重视环境保护。进入新世纪，特别是“十六大”、“十七大”以来，党中央将增强可持续发展能力，改善环境作为全面建设小康社会的目标之一，并提出树立和落实科学发展观，构建社会主义和谐社会，强调建设社会主义生态文明。为贯彻落实《国务院关于落实科学发展观加强环境保护的决定》、《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》精神，建立污染治理长效机制，提高环境污染治理设施运营管理水平，促进环境服务业的发展，自2005年以来环境保护部着手开展环境污染治理设施运营培训并下发了《关于开展环境污染治理设施运营培训工作的通知》，为配合培训工作的实施，环境保护部科技标准司组织编写了系列培训教材。

自1998年试点开展环境污染治理设施运营工作以来，全国已有上千家单位从事环境污染治理设施运营服务业。市场化、企业化、专业化的运营管理模式，对于提高环保投资效益、保证环境保护设施正常运行、促进环境污染治理服务业发展、提高环境保护部门对设施运营的监管水平发挥了重要作用。“十一五”国务院提出了节能减排约束性指标，为提高污染物的达标排放率，环境保护部将继续大力推进污染治理设施的市场化、专业化运营，对运营操作人员进行专业化培训是其中的一个重要内容。

培养自动连续监测技能型人才，能够保障在线监测系统正常稳定地运行，降低运行成本，规范运行管理和操作，使管理部门准确、及时地监控污染物处理效果，防范环境污染事故的发生。《烟尘烟气连续自动监测系统运行管理》（试用）的及时出版，必将为环境污染治理设施运营培训工作的顺利开展打下良好的基础。

相信本书将对我国环境污染治理设施运营服务业的发展起到极大的推动作用。

赵英民
2008年7月

目 录

0 概述	1
1 抽取式 CEMS	5
1.1 固定污染源连续监测的采样方式	5
1.2 直接抽取法—热湿法	6
1.2.1 热湿系统的特点和使用	6
1.2.2 热湿系统流程图	6
1.3 直接抽取法—前处理方式	7
1.4 直接抽取法—后处理方式	8
1.5 抽取系统部件介绍	9
1.5.1 采样探头	9
1.5.2 采样伴热管	10
1.5.3 除湿系统	12
1.5.4 采样泵	13
1.5.5 细过滤器	14
1.5.6 氮氧化物转换器 ($\text{NO}_x \rightarrow \text{NO}$)	14
1.6 气态污染物连续监测的分析仪器	15
1.6.1 非分散红外分析仪	15
1.6.2 非分散紫外 (Non Dispersive Ultraviolet)	23
1.6.3 紫外荧光 (Ultraviolet Fluorescence)	24
1.6.4 化学发光法 NO_x 监测仪器	25
2 稀释式 CEMS	27
2.1 稀释采样系统	27
2.1.1 稀释比	27
2.1.2 稀释原理	29
2.1.3 采样探头	29
2.1.4 采样管线	30
2.1.5 稀释空气净化系统	30
2.2 分析系统	31

2.2.1	SO ₂ 气体分析仪原理	31
2.2.2	NO-NO ₂ -NO _x 气体分析仪原理	31
2.2.3	仪表空气清洁系统	32
2.3	系统影响	32
3	直接测量式及 DOAS 原理 CEMS	33
3.1	直接测量 (in-situ) 式 CEMS 基本情况	33
3.2	直接测量式 CEMS 介绍	33
3.2.1	直接测量式 CEMS 的结构类型	33
3.2.2	直接测量式 CEMS 测量原理	34
3.3	采用 DOAS 技术的直接测量式 CEMS 结构介绍	38
3.3.1	仪器组成	38
3.3.2	仪器的工作过程	42
3.3.3	探头结构	43
3.4	直接测量式 CEMS 的标定校准方法	44
3.5	日常维护及常见故障处理	45
4	颗粒物 CEMS	46
4.1	基本情况	46
4.2	烟尘颗粒物的特性	47
4.2.1	颗粒物的物理特性	47
4.2.2	颗粒物的光学概念	47
4.2.3	烟尘监测的特点	48
4.3	对穿法烟尘监测仪	49
4.3.1	基本概念及原理	49
4.3.2	发展历史	50
4.3.3	对穿法烟尘监测仪的校准	52
4.3.4	对穿法烟尘监测仪使用特点	53
4.4	散射法烟尘监测仪	54
4.4.1	基本原理及发展历史	54
4.4.2	几种散射法烟尘仪的结构特点	55
4.4.3	散射法烟尘仪的校准	57
4.4.4	散射法烟尘监测仪的使用特点	57
4.5	其他烟尘监测仪	58
5	烟气参数连续测量	59

5.1	烟气氧含量	59
5.1.1	氧化锆分析仪	59
5.1.2	顺磁/热磁氧分析仪	62
5.1.3	电化学氧含量监测仪	64
5.2	烟气流速	65
5.2.1	S型皮托管法	65
5.2.2	平均压差皮托管(阿牛巴皮托管)法	67
5.2.3	超声波法	67
5.2.4	热平衡法	68
5.2.5	靶式流量计法	69
5.3	烟气温度	70
5.3.1	热电偶温度仪原理	70
5.3.2	热电阻温度仪原理	70
5.4	烟气压力测定	70
5.5	烟气湿度	71
5.5.1	红外吸收法	71
5.5.2	氧传感器连续测定方法	71
5.5.3	阻容法湿度传感器	72
6	烟气数据采集及数据处理	73
6.1	功能需求	73
6.2	数据采集和保存	73
6.2.1	数据有效性的判别	74
6.2.2	数据安全的管理	74
6.3	标况污染物浓度的计算	74
6.3.1	稀释法气态污染物标况浓度计算	74
6.3.2	直抽法气态污染物标况浓度计算	75
6.3.3	氧含量、颗粒物在标况下浓度计算	76
6.3.4	氮氧化物浓度的测定与计算	76
6.3.5	标况烟气流速、流量的计算	76
6.4	污染物折算浓度及排放率的计算	77
6.5	数据的传输	78
7	颗粒物标准分析方法	80
7.1	烟尘的测定原理与采样方式	80

67	7.1.1	烟尘的测定原理	80
68	7.1.2	烟尘的采集方式	80
58	7.2	烟尘的采样系统与仪器	81
46	7.2.1	预测流速法烟尘采样系统	81
28	7.2.2	静压平衡型等速采样系统	83
30	7.2.3	动压平衡型等速采样系统	83
30	7.2.4	微电脑烟尘平行采样系统	84
56	7.3	烟气含湿量测定	84
60	7.3.1	冷凝法	85
90	7.3.2	干湿球法	87
03	7.4	烟尘平行采样仪的使用	88
03	7.4.1	测定原理及特点	88
03	7.4.2	采样前的准备	89
03	7.4.3	采样步骤	90
13	7.5	烟尘平行采样仪的校准	91
13	7.5.1	外观	91
13	7.5.2	气密性	91
33	7.5.3	抽气动力	91
	7.5.4	温度测量范围及测量精度试验	91
65	7.5.5	热电耦测量范围及测量精度试验	91
65	7.5.6	压力测量范围及测量精度试验	93
33	7.5.7	流量测量范围及测量精度试验	93
63	7.5.8	测速范围及测速误差和等速吸引范围及等速吸引误差范围试验	94
63	7.5.9	走时误差	95
13	7.6	影响烟尘采样与浓度测定的一些因素	95
13	7.6.1	采样速度对测定结果的影响	95
63	7.6.2	采样嘴方向对测定结果的影响	96
63	7.6.3	采样嘴的形状和大小对测定结果的影响	97
63	7.6.4	仪器的维护及注意事项	98
63			
	8	颗粒物 CEMS 的相关校准	99
33	8.1	相关校准的基本要求	99
	8.1.1	颗粒物 CEMS 组成	99
03	8.1.2	颗粒物 CEMS 的干扰	99
03	8.1.3	颗粒物 CEMS 的测量量程	99

8.1.4	颗粒物 CEMS 的数据记录	99
8.2	相关校准程序	100
8.2.1	相关校准的数据	100
8.2.2	相关校准程序	100
8.3	漂移	101
8.3.1	漂移检查的基本要求	101
8.3.2	漂移检查的标准值	102
8.3.3	漂移测试	102
8.4	相关校准测试	102
8.4.1	同步进行	102
8.4.2	数据对要求	102
8.4.3	数据分布范围	103
8.4.4	数据单位	103
8.4.5	零点数据	103
8.4.6	相关校准的颗粒物浓度范围	103
8.5	数据计算和分析	104
8.5.1	相关校准前的计算	104
8.5.2	线性相关	104
8.5.3	多项式相关	106
8.5.4	对数相关	108
8.5.5	指数相关	108
8.5.6	幂数相关	109
8.6	相关曲线模型的选择	110
9	CEMS 运营的质量保证和质量控制	112
9.1	质量保证的意义和内容	112
9.2	基本概念	113
9.2.1	准确度	113
9.2.2	精密度	114
9.2.3	灵敏度/检出限	114
9.2.4	空白分析	115
9.2.5	平行双样	116
9.2.6	标准物质	116
9.2.7	校准曲线	116
9.3	回归分析	116

9.3.1	回归分析的定义与用途	116
9.3.2	一元线性回归方程的建立	117
9.3.3	相关系数及其检验	117
9.3.4	相关系数的显著性检验	118
9.4	数据的修约和取舍	118
9.4.1	监测结果数据修约规则	118
9.4.2	可疑数据的取舍	118
9.5	质量管理体系	118
9.5.1	概述	118
9.5.2	质量管理体系的组成	119
9.5.3	质量管理体系的建立	120
9.5.4	质量管理体系的实施	122
9.5.5	质量管理体系的持续改进	122
9.6	实验室质量保证	123
9.6.1	实验室内质量控制	123
9.6.2	常规监测质量控制	124
9.6.3	实验室间质量控制	125
9.7	标准分析方法和分析方法的标准化	125
9.7.1	标准分析方法	125
9.7.2	分析方法的标准化	127
9.8	CEMS 质量保证	127
9.8.1	购买的质量控制	127
9.8.2	运行维护	129
9.8.3	审核	132
9.8.4	CEMS 的现场巡视	134
附录		139
附录一	连续自动监测系统运营人员国家职业标准——废气和颗粒物类	139
附录二	固定污染源气态污染物、颗粒物连续自动监测系统运营设备配置表	146
附录三	其它参考文件及标准	147
附录四	《固定污染源烟气排放连续监测技术规范》(HJ/T 75—2007)	148

0 概述

0.1 CEMS 的含义

CEMS 是英文 Continuous Emission Monitoring System 的缩写，即烟气连续排放监测系统。该系统对固定污染源颗粒物浓度和气态污染物浓度以及污染物排放总量进行连续自动监测，并将监测数据和信息传送到环保主管部门，以确保排污企业污染物浓度和排放总量达标。同时，各种相关的环保设备如脱硫、脱销等装置，也依靠 CEMS 的数据进行监控和管理，以提高环保设施的效率。

“十一五”期间，CEMS 系统主要监测的污染物和烟气参数如下。

污染物主要有：二氧化硫（ SO_2 ）、氮氧化物（ NO_x ）、颗粒物。

烟气参数主要有：氧含量（ O_2 ）、烟气流速（流量）、烟气湿度、温度和压力等。

根据燃料的不同及燃烧工艺的不同可能还要监测：一氧化碳（ CO ）、氯化氢（ HCl ）等。

0.2 烟气排放连续监测系统（CEMS）的组成

一套完整的 CEMS 系统主要包括：颗粒物监测子系统、气态污染物监测子系统、烟气排放参数监测子系统、数据处理子系统四个部分。

颗粒物监测子系统 主要对烟气排放中的烟尘浓度进行测量。

气态污染物监测子系统 主要对烟气排放中 NO_x 、 SO_2 、 CO 、 CO_2 等气态方式存在的污染物进行监测。

烟气排放参数监测子系统 主要对排放烟气的温度、压力、湿度、含氧量等参数进行监测，用以将污染物的浓度转换成标准干烟气状态和排放标准中规定的过剩空气系数下的浓度。

数据处理子系统 主要完成测量数据的采集、存储、统计功能，并按相关标准要求将数据传输到环保局。

CEMS 的性能、技术指标、安装、调试及运营应当符合《固定污染源烟气排放连续监测系统技术规范》（HJ/T 75—2007）和《固定污染源烟气排放连续监测系统技

术要求及监测方法》(HJ/T 76—2007)中的相应规定。

0.3 烟气排放连续监测系统 (CEMS) 的测量原理

目前已安装的 CEMS 包含了各种原理和测量方式,例如,气态污染物 CEMS 采样方式涉及完全抽取系统、稀释抽取系统和直接测量法。测量原理涉及红外光谱法、紫外光谱法、化学发光法、电化学法。颗粒物 CEMS 涉及不透明度(浊度)法、散射法、闪烁法等。流速测量原理主要有皮托管、超声波、热传感器等。用铂电阻或热电偶温度计测量烟气温度。烟气含氧量是一项十分重要的参数,主要测量方法为氧化锆法、顺磁技术(磁风、磁力矩和磁压)及电化学法测量。

0.3.1 气态污染物测量系统

气态污染物 CEMS 采样方式主要有完全抽取系统、稀释抽取系统和直接测量法。完全抽取系统是采用专用的加热采样探头将烟气从烟道中抽取出来,并经过伴热传输,使烟气在传输中不发生冷凝,烟气传输到烟气分析机柜后进行除尘、除湿等处理后进入分析仪进行分析检测。

完全抽取系统分析仪采用的分析原理主要是红外光谱吸收原理和紫外光谱吸收原理,它利用污染物分子的特征吸收波长,能够区分不同种类的污染物(例如,SO₂ 吸收 7.3 μ m、NO 吸收 5.3 μ m 的红外光;SO₂ 吸收 280~320nm、NO 吸收 195~225nm、350~450nm 的紫外光)。

完全抽取系统应用广泛,但采样系统和烟气预处理系统复杂。

稀释抽取系统是采用专用的探头采样,并用干燥、清洁的氮气或压缩空气进行稀释后再经过不加热的传输管线输送到分析机柜,经过除尘除湿等处理后进入分析仪进行分析检测。

稀释抽取系统分析仪采用的主要分析原理如下。

SO₂ 采用紫外荧光分析原理,SO₂ 紫外荧光分析仪是基于 SO₂ 分子在特征波长处吸收紫外光,并在不同的波长处再发射。分析仪器含有连续的或脉冲的紫外发射光源。用带通滤光器产生 210nm 左右的狭窄波带。来自受激发分子发射的光首先通过一个滤光器,然后到达光电倍增管检测器。在特征波长接受的光正比于 SO₂ 分子数。

NO_x 采用化学发光法分析原理,化学发光法分析仪利用 NO 和 O₃ 反应产生约 500~3000nm 的辐射,利用滤光片选择约 600~900nm 范围内的光。观测此窄带范围内化学发光辐射的总强度确定 NO 的浓度。

稀释气体的质量以及稀释比的严格控制将显著影响测量准确度。

直接测量法是指分析仪直接安装在烟道上,测量光直接穿过烟道中的被测量烟气

进行检测。其分析原理主要采用紫外差分吸收光谱 (DOAS) 法。

0.3.2 颗粒物测量系统

颗粒物 CEMS 主要原理有: 浊度仪和光散射检测仪。

浊度仪的原理是基于光通过含有颗粒物和混合气体的烟气时颗粒物吸收和散射测量光从而减少光的强度, 通过测量光的透过率来计算颗粒物的浓度。

浊度仪可以设计为单光程或双光程。双光程仪器在烟道对面安装一反射器将测量光返回, 测量光通过烟气两次。

烟气中气体组分的干扰通常可忽略不计, 但水滴除外。仪器通常不适合在湿法净化设施后测量, 除非再加热烟气到高于水的露点温度。

颗粒物组成和粒径的变化影响这类分析仪的校准, 工厂运行发生大的变化和改变了燃料后必须重新校准系统。

光散射检测仪原理是当光射向颗粒物时, 颗粒物能够吸收和散射光, 使光偏离它的入射路径。散射光的强度与观测角, 颗粒物的粒径, 颗粒物的折射率和形状, 以及入射光的波长有关。光散射分析仪是在预设定偏离入射光的一定角度测量散射光的强度。向所有方向散射光的强度与颗粒物的粒径分布和形状有关。同样, 水滴对仪器测量也有影响, 也需要用手工比对的方法对仪器进行校准。

0.3.3 含氧量测量系统

测量烟气污染物排放必须测量氧气实际浓度, 以便能够将排放浓度折算。氧的监测方法主要有: 氧化锆分析仪、顺磁氧分析仪、化学电池。

氧化锆分析仪通常有直接测量法, 即测量探头在烟道中。还有烟道抽取式, 即采样探头插入烟道, 测量池安装在烟道上离烟道一定距离的分析仪中 (需要样品输送管路)。

氧化锆分析仪测量 O_2 依据的原理: 在电解质中, 由于化学电位不同, 电流将在电解质或含有不同浓度的化合物种类的气体之间流动。典型的测量池中, ZrO_2 作为电解质和高温催化剂, 产生氧离子。池的两侧, 焙烧上一层铂, 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。池的温度必须加热到约 $600^\circ C$ 。

氧化锆分析仪可以非常精确和可靠地测量 O_2 。低成本但要得到较高精度需经常维护。测量的是湿基氧的浓度, 计算干基浓度时, 还必须测量烟气湿度。

顺磁氧分析仪是利用氧气的顺磁性测量 O_2 浓度。

化学电池原理测量氧含量是利用电化学燃料电池产生的电流正比于样品中的含氧量。电化学燃料电池的交叉敏感性小, 传感器的使用寿命大约是 6~18 个月, 平均寿命是 12 个月。一般情况下该类型的传感器用于便携式分析仪, 是理想的便携式仪器。

目前已经将 O_2 电化学燃料传感器用于连续监测系统，和前述仪器组成连续分析仪。

0.3.4 流速测量系统

测量烟道或管道气体流速的测量方法有：皮托管差压法、热传感系统、超声波流速检测。

S型皮托管由两根小管组成，一根管面对气体流动的方向，测量气体的冲击压力或动压，为了准确地测量体积流量，还必须测量烟气的温度、压力。定期用压缩空气反吹能够克服颗粒物和水滴引起探头的堵塞或结垢的问题。S型皮托管准确测量低压差均比较困难，实际测量最小压差约为 5Pa ，能够测量的最低流速为 $2\sim 3\text{m/s}$ 。

热传感系统是通过把加热体的热传输给流动的烟气进行工作的。气体借热空气对流从探头带走热，并导致探头冷却。气流流经探头的速度越快，探头冷却得越快。供给更多的电量维持传感器最初的温度，对于加热丝类型的传感器，气体的质量流量正比于供电量。热传感系统不适合含有水滴的烟气流速测定。

超声波流速检测器测量超声波脉冲顺气流方向和逆气流方向的传播时间。位于烟道或管道对面的两个发射/接收器典型的角是 45° 。每个发射/接收器压电式换能器发射超声波脉冲跨越烟道到达对面的发射/接收器。脉冲信号跨越烟道或管道的速度取决于烟气的流速。该方法测量的是烟气体积流量。

0.3.5 烟气湿度测量系统

由于我国在计量污染物浓度和排放量时，实行的是标准干烟态下的计量标准，所以对于流量、颗粒物浓度、 SO_2 浓度、 NO_x 浓度、 O_2 浓度等数据需要根据测量的烟气湿度进行干烟态的修正。

烟气湿度的测量主要有直接测量法和干湿氧法。

直接测量法：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。

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。

1 抽取式 CEMS

1.1 固定污染源连续监测的采样方式

气态污染物连续监测的对象主要为二氧化硫、氮氧化物、氯化氢、硫化氢等有害气体和一氧化碳、二氧化碳等燃烧物，主要对其进行排放浓度和排放量的计算，同时监测氧含量。仪器的采样方式目前主要分为两种，即抽取采样法和直接测量法，抽取采样法又分为采样稀释法和直接抽取法；直接测量法又分为内置式测量和外置式测量。见图 1-1。

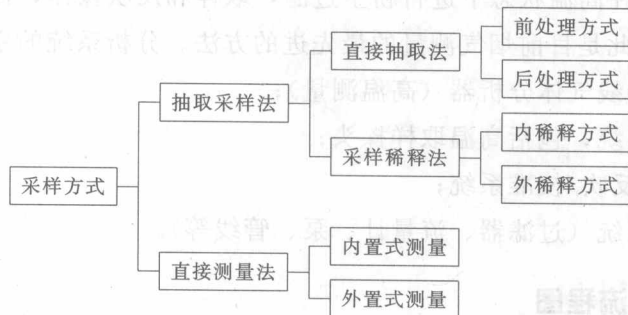


图 1-1 采样方式分类

直接抽取法是直接抽取烟道中的样气进行分析的方法，由于各种分析仪对样品气的洁净程度要求较高，所以采用直接抽取法对烟道气进行连续监测，必须配有一整套的烟气处理系统，系统中对样品气的处理占了较大的比重。按照样气处理的地点，可分为前处理方式和后处理方式。

为了提高测量精度，避免由于稀释比例难以精确控制而带来的误差，气体分析仪器采用红外吸收、紫外吸收及其他测量原理，使仪器本身的测量范围可以覆盖被测气体的所有量程，即可以采用直接抽取法。

直接抽取系统是直接从烟道或管道抽气、滤除颗粒物，将烟气送入分析仪的系统。该系统有三种类型：

- ① 热——湿系统；
- ② 在探头后装有冷凝——干燥系统；