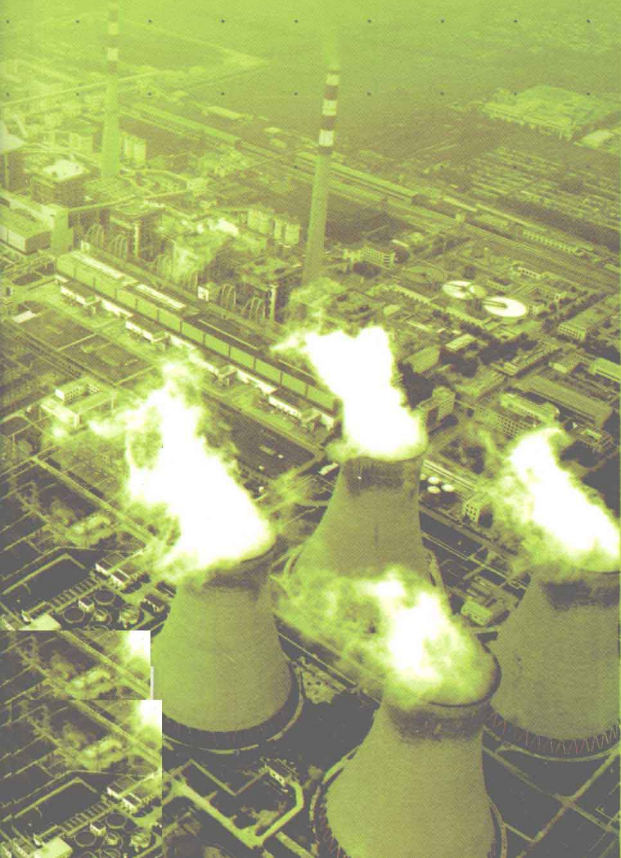


# 火电厂 烟气排放连续监测系统 技术与应用

吴文龙 田晓峰 等 编著



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

# 火电厂 烟气排放连续监测系统 技术与应用

吴文龙 田晓峰 陈 崧  
郭 阳 董雪峰 陈 瑞 | 编著



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

烟气排放连续监测系统在国内的应用是一个新生事物,这种实时、在线、远程控制,目前正在国内环保领域发挥着越来越重要的作用。本书旨在通过对火电厂烟气排放连续监测系统技术特性和实际应用经验进行总结和描述,更好地实现和发挥该仪器的监控、管理作用,为国家环保事业服务。

全书共分七章,内容主要包括概述,烟气排放连续监测系统的技术原理,烟气排放连续监测系统的安装、调试和验收,烟气排放连续监测系统的检测和校准,烟气排放连续监测系统的运行和维护,烟气排放连续监测系统在环保管理中的应用,烟气排放连续监测系统的应用实例。

全书内容翔实、图文并茂、通俗易懂、贴近实际,可作为连续在线监测系统研究学者和工程技术应用人员的参考用书,也可作为相关运营和管理人员的普及读物。

### 图书在版编目(CIP)数据

火电厂烟气排放连续监测系统技术与应用/吴文龙等编著.  
北京:中国电力出版社,2010.12

ISBN 978-7-5123-1263-0

I. ①火… II. ①吴… III. ①火电厂—烟气排放—连续监测 IV. ①X773.01

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第000480号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2011年4月第一版 2011年4月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 12.5印张 286千字

印数0001—3500册 定价30.00元

### 敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失  
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



随着工业化进程的不断加剧，我国的环境保护问题越来越成为社会各界关注的焦点，如何在经济发展、社会进步的同时解决好环境污染问题，特别是充分利用当前快速发展的科技信息技术，跨越传统工业污染治理的过程，直接迈向先进的以自动化、信息化、智能化为标志的现代环境保护体系，成为所有从事工业环保技术研究工作人员努力的方向。

当今，中国的能源结构依然以煤炭为主，煤炭在整个能源消费中的比例达到 70% 左右，而大气环境中二氧化硫、氮氧化物、烟尘等有害污染物主要来源于燃煤发电。因此，从燃煤发电厂入手，开展相关污染物的减排管理是快速实现减排目标，推动我国现代环境保护管理体系建立，形成具有规模效益的环境保护市场的有效手段。烟气排放连续监测系统正是通过各种最新的分析检测技术和信息化传递手段，实现烟气污染物科学管理的重要平台和组成部分，是未来构建互相联网、共同参与、集中管理的大环保体系的重要环节。

但是，国内目前对烟气排放连续监测系统的重要性认识还不够，特别是作为一种新兴的事物，许多人往往仅将其看成是一种烟气污染物的监测监督方式，从应付检查或者参考运行工况的角度出发，没有考虑到作为未来科学管理我国污染物排放的网络性单元，烟气排放连续监测系统的好坏或者准确与否，将直接决定着这个污染物管理体系能否成功建立，以及在此基础上的污染物排放交易市场体系能否建立。只有全面、可量化地衡量每个主要个体的污染物排放量，才能保证所有加入未来污染物排放交易市场的公平性和充分性，这将从根本上改变我国环境保护单一依靠政府推动的模式，实现环境保护的可持续发展。

基于以上考虑，尽快普及烟气排放连续监测系统的知识，促进对烟气排放连续监测系统的应用和管理，保证其运行良好、测量准确，就成为编制本书的最终目的。《火电厂烟气排放连续监测系统技术与应用》一书共分七章，第一章是概述，主要对烟气排放连续监测系统的发展情况做一些介绍，就当前标准主导下政府推动的发展特点做一些阐述；第二章是烟气排放连续监测系统的技术原理，主要对目前市面上比较常见的烟气监测原理做些描述；第三章是烟气排放连续监测系统的安装、调试和验收，主要为使用、操作、管理该系统的人员提供比较明确的指导；第四章是烟气排放连续监测系统的检测和校准，这是比较重要的章节，主要从现有的技术标准出发，阐述保证系统准确性的方法和手段；第五章是烟气排放连续监测系统的运行和维护，主要是为火电厂使用该系统的技术人员做出比较贴近现实的参考；第六章是烟气排放连续监测系统在环保管理中的应用，主要是介绍与烟气排放连续监测系统相关的法律、法规和检查管理方法，为从事该系统管理的人员提供全面清晰的介绍；第七章是烟气排放连续监测系统的应用实例，主要从技术上对国内主要的设备厂家进行介绍和分析，帮助未来系统的使用者从各个方面把握烟气排放连续监测系统的实质。本书尽可能多附图表，尽量贴近实际应用，从现场的角度分析和考虑问题，力求比较全面地展现 CEMS 在我国火电厂烟气排放管理中的现实状况，帮助对该领域有兴趣

的学者和人员加深印象，提高认识。

在本书的编制过程中，得到了河南省环境保护厅、河南省环境监察总队领导和专家的大力支持和帮助，在此表示特别的感谢！

同时本书还得到了北京雪迪龙自动控制系统有限公司、聚光科技（杭州）有限公司、河北先河科技发展有限公司、中科天融（北京）科技有限公司、北京牡丹联友电子工程有限公司等众多国内设备厂家的技术支持，这里一并表示真诚的感谢！

虽然作者对书稿进行了多次修改和完善，但限于时间和编写人员的水平，书中仍难免存在疏漏不足之处，恳请读者批评指正！

**编 者**

2010年10月

# 目 录



## 前言

<b>第 1 章 概述</b> .....	1
1.1 CEMS 的出现与发展 .....	1
1.2 CEMS 的应用和前景 .....	2
<b>第 2 章 烟气排放连续监测系统的技术原理</b> .....	3
2.1 CEMS 的组成 .....	3
2.2 CEMS 的烟气分析系统 .....	6
2.3 CEMS 的烟尘分析系统.....	17
2.4 CEMS 的流速分析系统.....	19
2.5 CEMS 的其他组成.....	25
<b>第 3 章 烟气排放连续监测系统的安装、调试和验收</b> .....	36
3.1 CEMS 的安装.....	36
3.2 CEMS 的调试.....	51
<b>第 4 章 烟气排放连续监测系统的检测和校准</b> .....	55
4.1 CEMS 的检测.....	55
4.2 CEMS 的校准.....	68
4.3 CEMS 计量校准相关法规要求.....	86
<b>第 5 章 烟气排放连续监测系统的运行和维护</b> .....	93
5.1 CEMS 的运行.....	93
5.2 常见故障的诊断和维护处理方法.....	99
5.3 CEMS 的使用周期 .....	103
<b>第 6 章 烟气排放连续监测系统在环保管理中的应用</b> .....	105
6.1 环境保护法律法规体系 .....	105
6.2 燃煤电厂大气污染物排污费计算 .....	107
6.3 CEMS 数据在环保管理中的应用 .....	110
6.4 CEMS 与二氧化硫排污费核查方法 .....	119
6.5 CEMS 装置的计量校准 .....	135
<b>第 7 章 烟气排放连续监测系统的应用实例</b> .....	137
7.1 SCS-900C 烟气排放连续监测系统.....	137
7.2 CEMS-3000 型烟气分析系统 .....	142
7.3 TR-II 型烟气在线监测系统 .....	148
7.4 XHCEMS-40A 烟气在线监测系统 .....	153
7.5 HP5000 系列烟气排放连续监测系统 .....	158

附录 A	CEMS 检测记录表 .....	162
附录 B	校准证书格式 (示例) .....	168
附录 C	校准记录格式 .....	171
附录 D	脱硫核查表格 .....	175
附录 E	燃煤发电机组脱硫电价及脱硫设施运行管理办法 (试行) .....	181
附录 F	污染源自动监控设施运行管理办法 .....	184
附录 G	国家重点监控企业污染源自动监测数据有效性审核办法 .....	187
附录 H	国家重点监控企业污染源自动监测设备监督考核规程 .....	189
<b>参考文献</b>	.....	<b>191</b>



## 概 述

### 1.1 CEMS 的出现与发展

近几年,随着我国环境保护意识的不断提高,环境保护工作也日益得到加强,为了做到环境和经济持续协调持续健康发展,必须要求对建设项目加强污染防治治理,保证环保管理部门的有效监督。火电厂装设的烟气排放连续监测系统(Continuous Emission Monitoring System, CEMS)就是对其大气污染物的排放进行连续监测,为生产运行和环保管理部门提供基础数据的关键技术装备。

在美国,1979年就曾出现了关于CEMS介绍的手册,1991年后美国国家环保局(Environmental Protection Agency, EPA)开始致力于CEMS的规范管理,并在过去监测一般性污染物(例如二氧化硫和氮氧化物)的基础上增加了挥发性有机物(Volatile Organic Compounds, VOCs)和有害空气污染物(Hazardous Air Pollutants, HAPs)监测。经过多年的检测试验,1986年以后,通过联邦法规审核的CEMS的数据可以直接用于环保局的监控管理,并参加清洁空气修正案中的污染物排放交易与补贴,这使大家关于CEMS标准的关注倍增,甚至成为“黄金标准”,推动了CEMS技术和市场的快速发展。在欧洲,欧洲标准化委员会也有相关的标准推出,例如EN 15267、EN 15859、EN 13284等,分别对自动测量装置的校准、固定污染源的排放情况做了详细的规定,基本建立起了比较完备的政府管理、实验室认证/认可相关联的标准体系。

在我国,推动CEMS市场发展的也是标准,GB 13223—1991《燃煤电厂大气污染物排放标准》规定的污染物监测是根据当时中国环境出版社的《空气与废气监测分析方法》,到1996年GB/T 16157—1996《固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法》出台,使CEMS的检测有了可靠的依据,而同时期的GB 13223—1996《火电厂大气污染物排放标准》,则规定“第Ⅲ时段,新、扩、改建的火电厂,应装设烟尘连续装置”,“火电厂污染物连续监测装置标准和运行规范由国务院环境保护行政主管部门会同有关主管部门制定。污染物连续监测装置经认定合格的,其监测数据为法定监测数据。”直接推动了CEMS的迅速商业化。HJ/T 75—2001《火电厂烟气排放连续监测技术规范》和HJ/T 76—2001《固定污染源排放烟气连续监测系统技术要求及检测方法》的出台乃至HJ/T 75—2007《固定污染源烟气排放连续监测技术规范(试行)》和HJ/T 76—2007《固定污染源排放烟气连续监测系统技术要求及检测方法》,这些标准使CEMS的应用具有相对完



善的政策环境和技术条件。

随着检测技术的不断发展，特别是电子集成技术的发展，烟气排放连续监测系统由过去单个测量组件的简单组合，变得越来越成为一个自动化系统，并逐渐模块化；测量范围由过去简单的  $\text{SO}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、流速逐渐扩展到  $\text{NO}$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{HCl}$ 、 $\text{HF}$ 、甲醛、 $\text{Hg}$  等微量痕量物质；应用范围也从火电厂逐渐发展到水泥厂、化工厂、造纸厂、垃圾焚烧厂、危险废物焚烧厂等行业单位；在  $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}$  测量中的准确度也从过去的 10% 下降到 5%。应该说，经过过去二十多年的演变发展，CEMS 技术已经成为了一个相对成熟的技术，在许多环保领域得到相当广泛的应用。

## 1.2 CEMS 的应用和前景

对国内来说，我国的环保事业起步较晚，但是发展很快，在过去的 10 年里，伴随着国家的鼓励政策，我国环保仪器产品得到了空前的发展，按照国家环境保护“十一五”规划，到“十一五”末，我国环保仪器设备的产值将估计达到 140 亿~150 亿，而其对环境产业潜在的费用影响将更难以估量。目前 CEMS 在国内的应用还主要是在火电厂、冶炼厂、化工厂、水泥厂等，其中火电厂所占比例最大，约为 30%。

当前，我国环保领域正在大力推行污染物排放总量控制和排污权交易政策，节能减排工作正在向单个企业层面量化推进，CEMS 作为国内国际主要的固定烟气污染源技术监控手段，需要直接参与计量各个固定污染源的污染物排放情况，并实时的向环保部门提供准确、稳定、连续的数据，以便于环保监督检查部门行政执法和政府相关政策的推行。这为 CEMS 的快速发展奠定了充分的市场基础，但是目前 CEMS 的实际应用还存在一些问题。

(1) 虽然政策法规都要求固定的污染源口要安装 CEMS 进行实时连续监测，但是专门针对 CEMS 本身的管理制度目前还不是很完善，特别是维护校准工作还没有合适的机构单位负责。交给环保部门，政府又当裁判又当队员，政企不分；交给排污厂方，当前条件下难以做到全面监控；交给第三方，又缺乏规范标准和资格认定。

(2) CEMS 的数据作为执法依据，其来源应该具有法定计量仪器身份，才能保证提供的数据科学、客观、公正、可信，符合法理要求。然而我国目前并没有专门针对此类在线烟气监测装置的计量标准，也没有对装置在现场使用过程中的效果进行数据溯源和监控，未来我国烟气污染物量化工作可能将面临无法可依，无据可查的困境。

(3) CEMS 的设备可靠性还不够，一方面是我国的火电厂煤质差，煤种变化大，锅炉燃烧工况复杂多变，对仪器设备的影响较大；另一方面，专业技术人员少，培训不足，相关的理论知识和实践机会太少，还难以保证仪器设备的正确稳定运行。

未来的工作，从根本上说是加强认识，尽快制定符合国情的管理体制的过程，并尽快开展相关标准方面的完善工作，这包括对颗粒物的光学校准、低浓度下污染物的测量、远程数据传输的校准等，这些都具有十分重大的现实意义，并可在不久的将来配合国家环境保护政策的改革，推动相关环保产业的良性发展。

## 烟气排放连续监测系统的技术原理

### 2.1 CEMS 的组成

#### 2.1.1 CEMS 的主要构成

CEMS 主要指的是连续测定锅炉烟气中颗粒物浓度、气态污染物浓度和排放率以及部分环境参数所需要的全部设备。它一般是由采样、测试、数据采集和处理三个子系统组成的监测体系。常见的系统组成如图 2-1 所示。

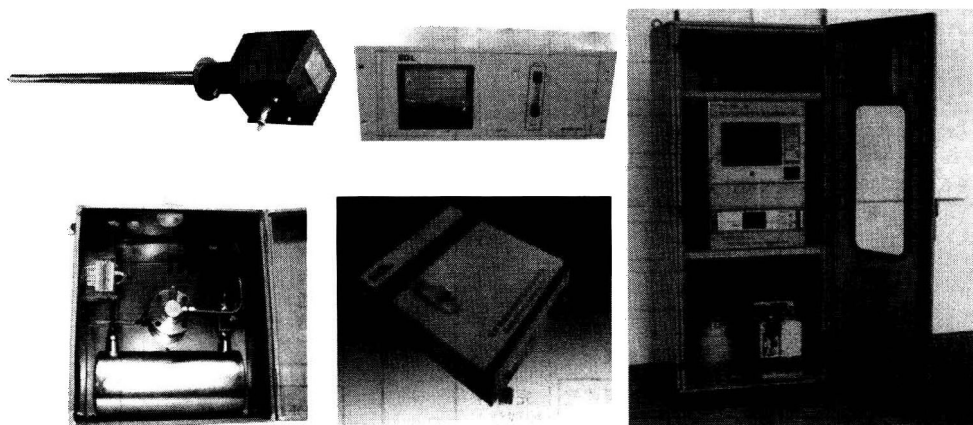


图 2-1 CEMS 部分设备

(1) 采样系统，主要功能是采集、输送烟气或使烟气与测试系统隔离，主要通过各种探头、传感器来实现。

(2) 测试系统，主要功能是对分离烟气进行预处理，然后检测烟气中的污染物，显示物理量或污染物浓度，主要通过各种污染物和相关参数的分析测试仪器来实现。

(3) 数据采集、处理系统，主要功能是采集并处理污染物浓度以及相关数据，生成图谱、报表，实现控制自动操作，并根据需要对数据进行传输，主要通过计算机、控制电路、传输线路实现。

根据检测方法的不同，有些 CEMS 的采样系统比较复杂，包括采样装置（探头或者探杆）、动力驱动装置（抽气泵等）、吹扫装置，将分析气体从测量环境中分离出来，然后

在相对恒定的条件下进行分析（例如烟气组分）；而有些 CEMS 直接在实际环境中进行测量，将所得的结果转变成电信号后，再通过电缆传输到数据采集和处理系统，这部分系统实际上采样和分析测试系统是结合在一起的（烟气的参数例如温度、压力、湿度、氧量），见图 2-2 和图 2-3。

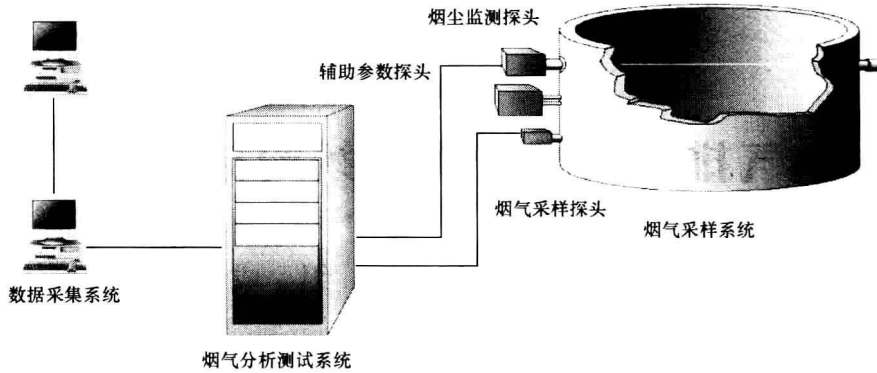


图 2-2 CEMS 示意

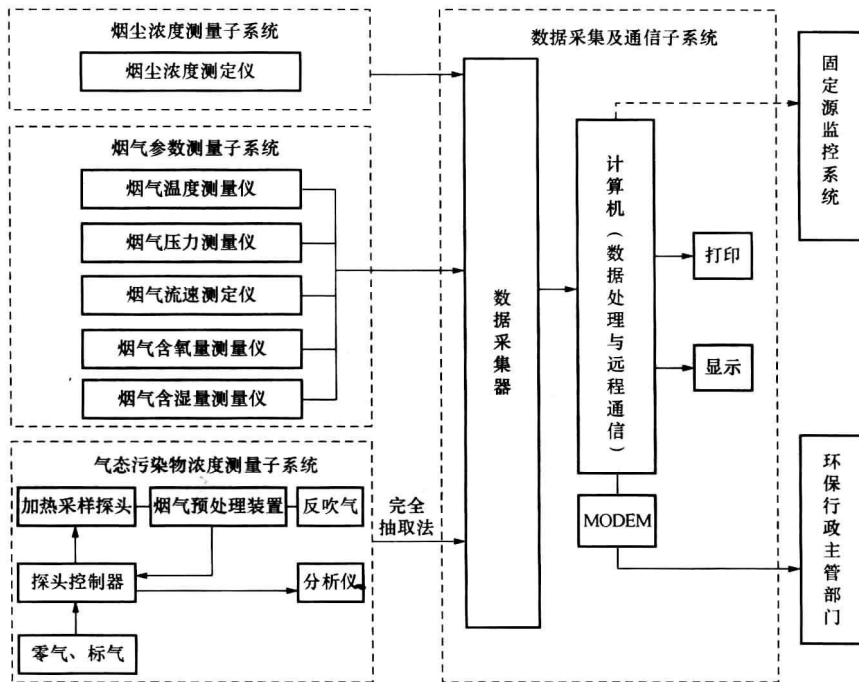


图 2-3 CEMS 框图

### 2.1.2 CEMS 监测流程

根据图 2-4，一般的 CEMS 完全抽取法的测量流程包括：

(1) 采样过程：抽气泵连续针对烟道中的烟气进行抽取 [实际烟气的温度会根据烟气尾部处理工艺的不同而有所不同，对于经过湿法脱硫处理的烟气，如果不增加气气热交换

器 (GGH) 一般在  $40\sim 60^{\circ}\text{C}$ , 增加 GGH 一般在  $110\sim 150^{\circ}\text{C}$ ; 对经过半干法脱硫处理的烟气, 温度下降不超过  $50^{\circ}\text{C}$ , 一般在  $80\sim 100^{\circ}\text{C}$  左右], 经过第一级过滤, 抽取的烟气经过加热管线被加热到  $120\sim 150^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 测试过程: 抽过来的高温烟气经过烟气分析室内的烟气冷凝器被冷却到  $4^{\circ}\text{C}$  以下, 凝结的水分通过蠕动泵排到室外。冷却的烟气经过第二级过滤器过滤, 通过电子流量计到分析仪表, 烟气经过分析后, 直接排到空气中。

(3) 数据采集和处理: 目前多数厂家的烟气分析装置可以将分析得到二氧化硫、氮氧化物、氧量、二氧化碳等烟气组分的含量直接显示在分析仪表的 LCD 屏幕上, 并且支持许多通用的通信协议例如 Modbus, 可以将数值结果通过电信号的 A/D 转换传输给数据采集仪、PLC 或者工控机 (通信接口通常采用串行 RS-232/485), 在工控机上可以通过专门或者通用的 DAS 软件实现对采集数据的编排、统计、记录、查询等; 在 PLC 上可以对输入输出的参量进行编辑, 从而实现对整个 CEMS 的自动控制和操作。例如当系统需要对仪器进行标定时, 可以通过系统的设置来自动切换电磁阀实现。为了防止烟气取样探头堵塞, 可以就地安装有反吹扫清洗装置, 设置定期定时吹扫取样探管。此外 DAS 还可以对温度、湿度、浓度、流量进行报警。

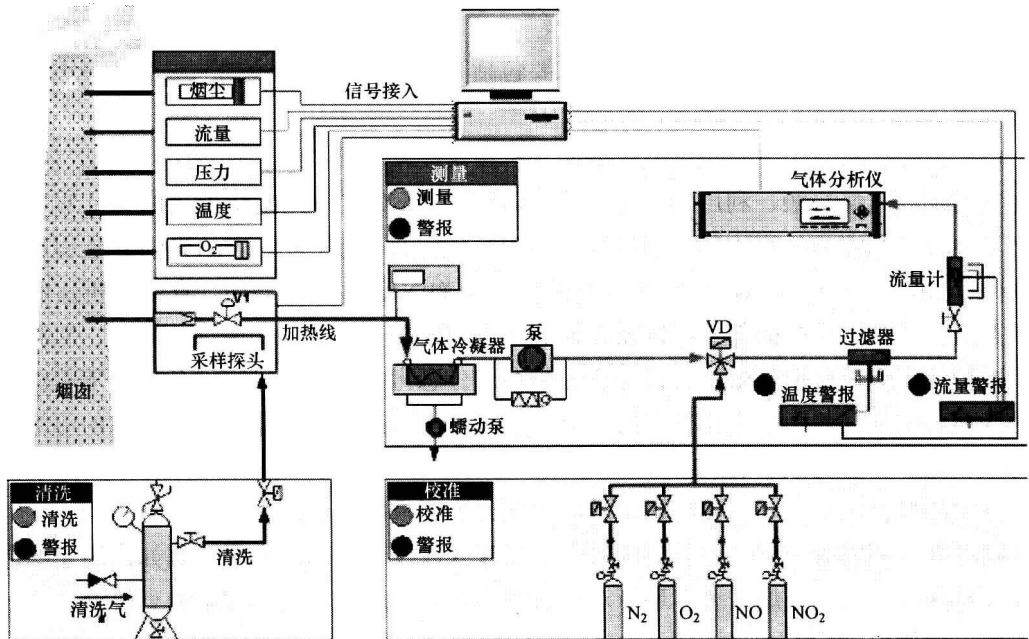


图 2-4 CEMS 监测流程

在整个测量过程中, 实际烟气的流量、压力、烟尘、温度等参数需要通过安装在烟道上的各种传感器将现场分析仪器的结果经过电缆传输到分析小屋, 然后再经过 A/D 转换器直接显示在 DAS 系统上。同样二氧化硫、氮氧化物、氧量、二氧化碳数据也是通过 A/D 转换器显示在 DAS 系统上。DAS 系统软件通过分析仪表的控制, 显示出整个机组的实时测量数据。最后 DAS 的数据可以通过 GPRS 无线网络、ADSL (宽带)、CDMA、有线网络 TCP/IP、Modem 等传输给不同的客户终端, 或者干脆通过  $4\sim 20\text{mA}$  电缆线或光纤

传输给电厂 DCS 中心环保管理, 实现对 CEMS 更高级更远程的监控, 见图 2-5。

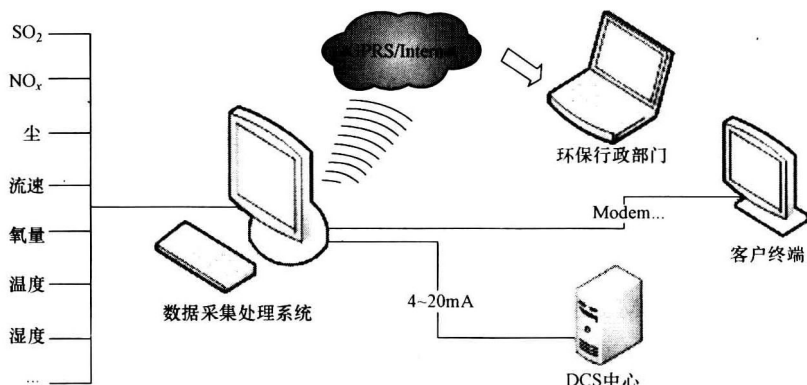


图 2-5 CEMS 数据传递图

## 2.2 CEMS 的烟气分析系统

### 2.2.1 CEMS 的烟气分析采样方法

CEMS 上烟气浓度的分析采样方法主要包括直接分析法、完全抽取法和稀释法, 具体内容如下:

(1) 直接分析法: 主要是烟气组分的分析测量装置直接安装在烟道上, 使烟气分析的检测室与烟气直接接触, 利用  $\text{SO}_2$  或  $\text{NO}_x$  等污染因子对红外光或紫外光的特征吸收, 光线经不同波段的滤光片直接射入烟道 (或烟囱), 通过测量各自对应的光强衰减程度, 根据朗伯-比尔 (Lambert-Beer) 原理可分析出污染物浓度, 见图 2-6。直接分析法的显著优点是减少了抽气采样的部分, 以及在抽气过程中处理不好导致的腐蚀、堵塞、泄漏, 减少了维护的工作量; 但是由于直接分析法是在十分恶劣的环境中进行的分析, 随着烟气环境的变换, 测量误差会发生比较大的变化, 同时对仪器的可靠性也提出了更高的要求, 要求防尘、防水、防腐蚀, 而且虽然系统维护量减少了, 但是一旦检测室损坏只能全部更换, 潜在的风险比较大, 直接分析法的应用受到了严重的制约。

随着烟气环境对分析结果影响的研究不断深入以及新技术的出现, 例如使用光纤作为烟气分析探头, 减少了烟气恶劣环境对仪器的影响, 一度市场规模缩小的直接分析法, 重新焕发出新的生机。

(2) 完全抽取法: 目前比较典型的 CEMS 分析方法, 主要是把所要检测的烟气从烟道抽取出来, 经过预处理后, 送进分析仪进行分析, 可同时测量多种组分。抽取过程分为两种: 冷抽取和热抽取。冷抽取法还要快速冷却除水, 再把常温的烟气送入分析仪分析, 而热抽取则是样气不除水, 直接把高温烟气送入分析仪的光学腔内进行分析。完全抽取法的显著优势就是将烟气进行了预处理, 尽可能保证样气的分析是在相对稳定的环境下, 提高了仪器分析的可靠性, 同时避免了恶劣环境对分析仪器的破坏, 保证了昂贵分析仪器的寿命; 但是抽取过程中要加热、吹扫、过滤, 往往发生堵塞、腐蚀、泄漏, 需要定期的维

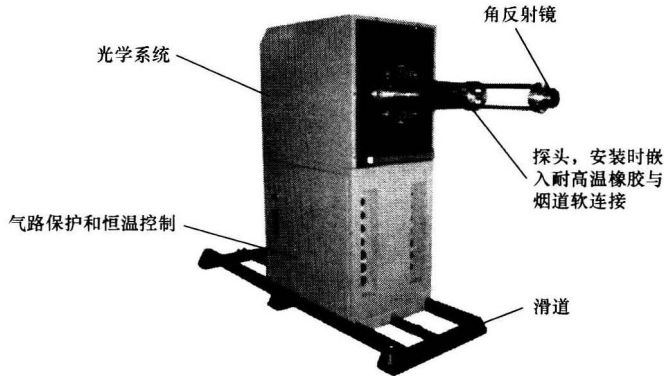


图 2-6 直接测量分析设备

护，增加了维护费用。由于维护难度不大，完全抽取法在市场上应用比较多，属于主流方法，同时许多新的技术也应用到了该方法中，例如新的加热管、将抽取的气体部分稀释、直接高温下测量等，见图 2-7 和图 2-8。

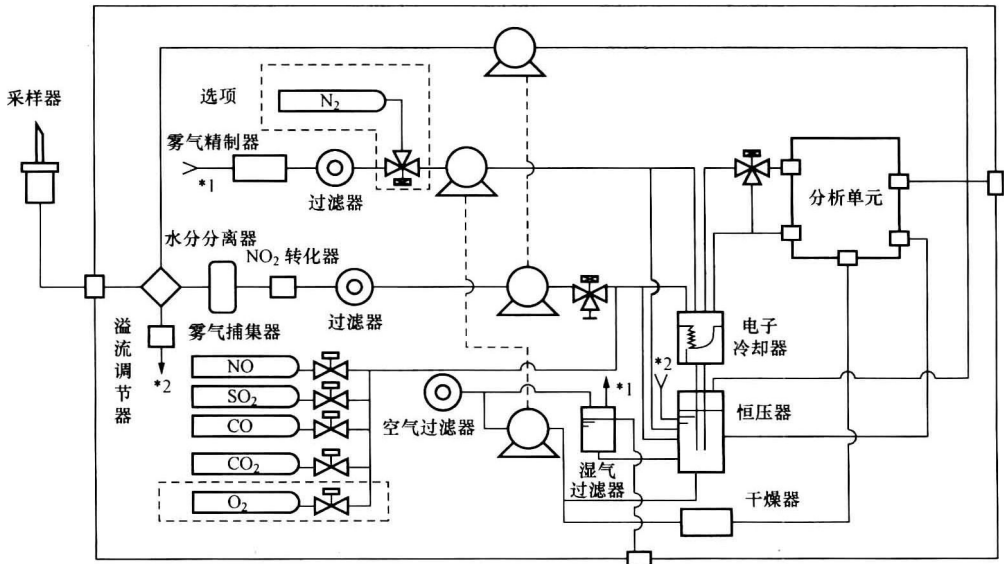


图 2-7 电子冷却和水恒压的抽取法

(3) 稀释法：是为了减少测量过程中的维护量，在完全抽取法的基础上，采用干净的空气（把空气除尘、降露点）打入烟道，通过稀释探头与烟气混合后再返回到分析仪进行测量，这种混合比例通常为 100 : 1，干净的空气为 100 份，样气为 1 份。稀释法最显著的优点是混合后的气体含湿量、含尘量都大大降低，从而可以直接进入分析仪，不需对管路加热，不需要考虑  $\text{SO}_3$  雾气的腐蚀和粉尘的干扰，同时，管路来回全程均为正压，管路泄漏不影响测量，大大减少了对系统的维护，见图 2-9。

稀释法又分内稀释和外稀释，内稀释法的稀释过程是在烟道内完成的（在探头内部）；外稀释法是把烟气抽出烟道外再稀释，在抽取过程中需加热保温。稀释法的应用一度受到许多国家的推崇，特别在美国，但是稀释法一般使用紫外的分析方法，仪器价格比完全抽取法要高，而且在低浓度的情况下（100ppm 以下），实际烟气浓度变化随电厂机组变化

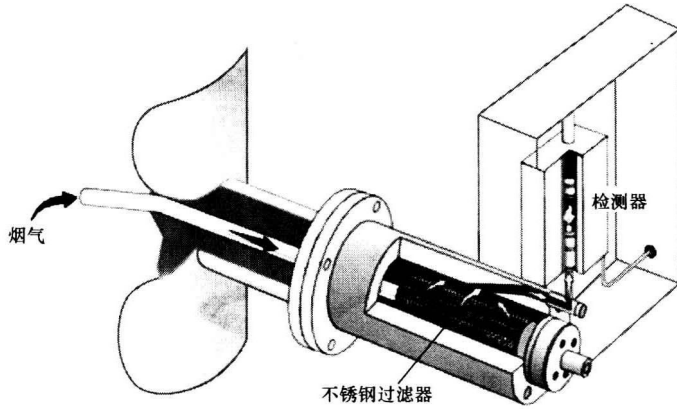


图 2-8 抽出过滤后直接火焰离子化 (FID) 测量

比较大, 再通过稀释后导致微小的波动就会因为计算稀释比而放大, 降低了仪器测量的准确度和稳定性, 一定程度上限制了该方法的应用。目前针对不稳定或者准确度不高的问题, 新的技术是通过信号的阻尼处理来解决的, 这些还需要在实际的应用中进行检验。

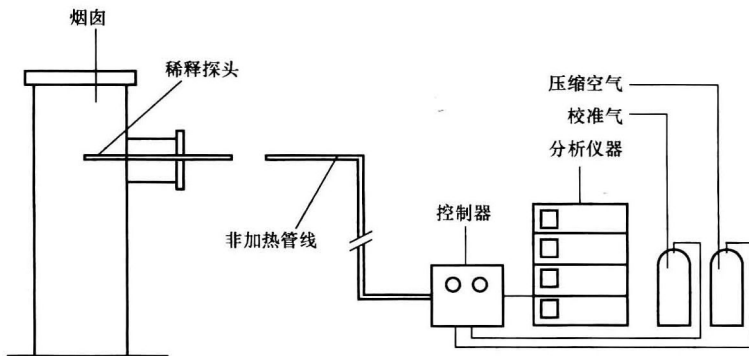


图 2-9 稀释法测量示意

稀释采样探头内部结构如图 2-10 和图 2-11 所示。稀释气由 A 口吹入, 流经文丘里喉, 由 B 口流出, 此时, 在文丘里喉附近 C 处产生巨大的负压。烟气在此负压作用下, 由 D 和 E 处小孔被卷入文丘里喉, 并混以吹入的稀释气由 B 口流出; 从而形成稀释后的样品气。稀释比例的大小决定于稀释气的压力, 文丘里喉部的孔径、C 处负压的大小和 E 处小孔的孔径。通过适当设置以上几个参数, 就可以得到几个不同稳定稀释比的样品气。稀释过程原理如图 2-12 所示。

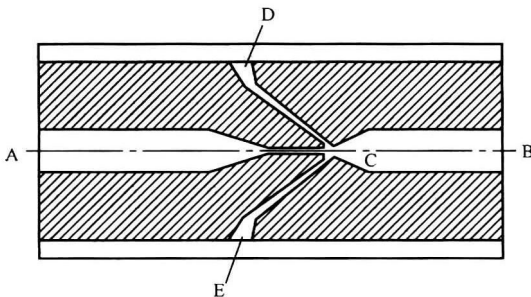


图 2-10 稀释探头内部结构

### 2.2.2 CEMS 的烟气分析仪

目前比较常见的烟气分析仪主要采用光学法、电化学法, 而 CEMS 的污染物因子 ( $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ ) 分析仪主要使用光学的分析方法, 例如非分散红外法、紫外差



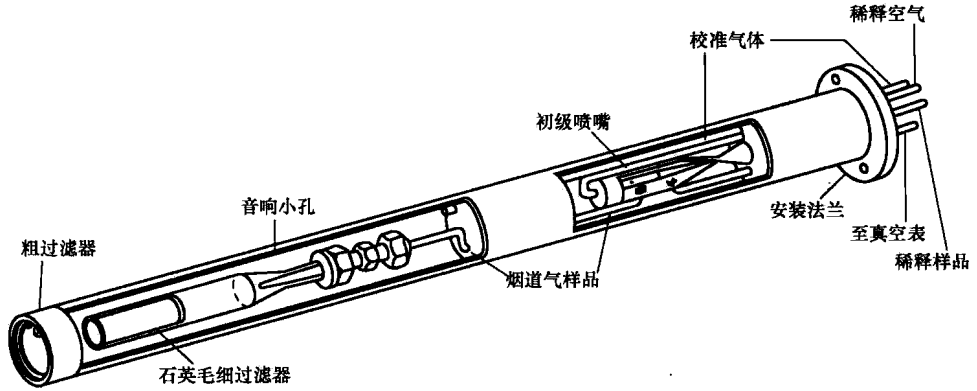


图 2-11 稀释探头结构

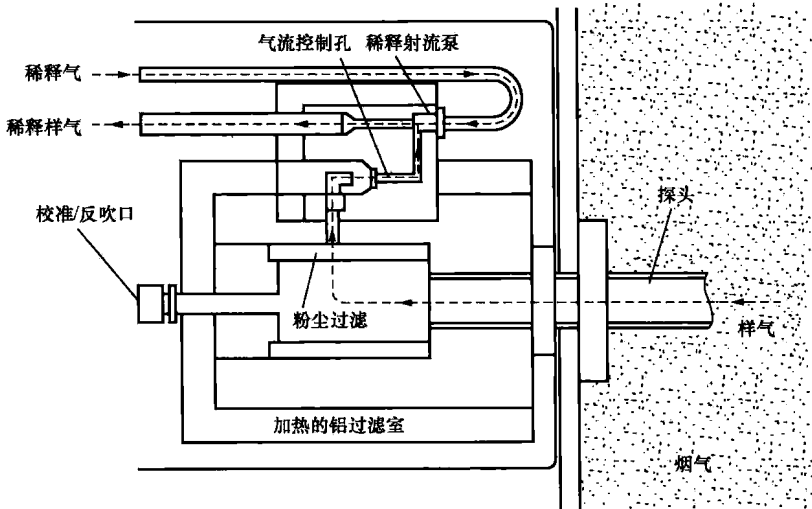


图 2-12 稀释过程原理

分法、紫外荧光法，而氧气的分析方法则主要使用氧化锆浓差法和磁压/磁热法。

### 1. 非分散红外 (NDIR)

红外线是一种电磁波，红外辐射主要是热辐射。当红外辐射通过某气体层时，气体层中的极性分子，即非单元素气体分子（如  $\text{CO}$ 、 $\text{CO}_2$  等），就会对红外辐射进行选择性的吸收。气体对红外线的吸收一般遵循朗伯-比尔定律，即

$$I = I_0 e^{-Kc l}$$

式中  $I$ ——红外辐射被气体吸收后的能量；

$I_0$ ——红外辐射被气体吸收前的能量；

$K$ ——气体的吸收系数（消光系数）；

$c$ ——吸收气体的浓度；

$l$ ——红外辐射经过吸收气体层的长度。

由红外光源发出两束能量相等、按照一定频率进行调制的平行光束，分别通过参比气室和分析气室后，由于分析气室中吸收气体（被测气体）对红外线的吸收，使原来能量相

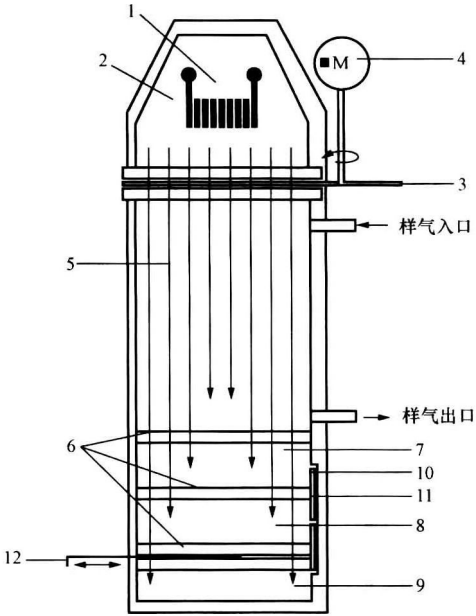


图 2-13 非分散红外分析仪原理

- 1—红外光源；2—反射器；3—切光片；4—电动机；  
5—样品池；6—窗口；7—第一检测器；8—第二检测器；  
9—第三检测器（耦合器）；10—毛细管；11—微流量  
传感器；12—滑块

等的两束红外线产生了能量差，然后又分别进入接收器的参比接收室和测量接收室。通过薄膜电容器将红外线能量变化转换成电量变化，再通过电气单元和控制单元的放大整流及线性化等各种处理，仪器就能输出一个与被测气体浓度变化相对应的信号，供显示或控制，见图 2-13 和图 2-14。

目前日本的 HORIBA 开发了交替流动调制型非色散红外线检测技术，见图 2-15，即在电磁阀的精确控制下，样气和参比气（待测成分浓度为零或为某个已知数的气体）以恒定的流量被交替地注入检测池内。红外线光源发出的红外线通过检测池后被检测器检测。当检测池内顺序通入样气和参比气时，对红外线能量的吸收就会产生变化，致使检测器中的薄片产生位移，位移被转化成电信号，最后计算出样气中待测成分的浓度。

特点是：只需一个分析单元即可实现对最多 5 种烟气成分的连续监测（ $\text{NO}_x$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{CO}_2$  和  $\text{O}_2$ ），根据用户需要，可对这 5

种成分的任意组合进行监测。增加测量项目时，更是简便、经济。

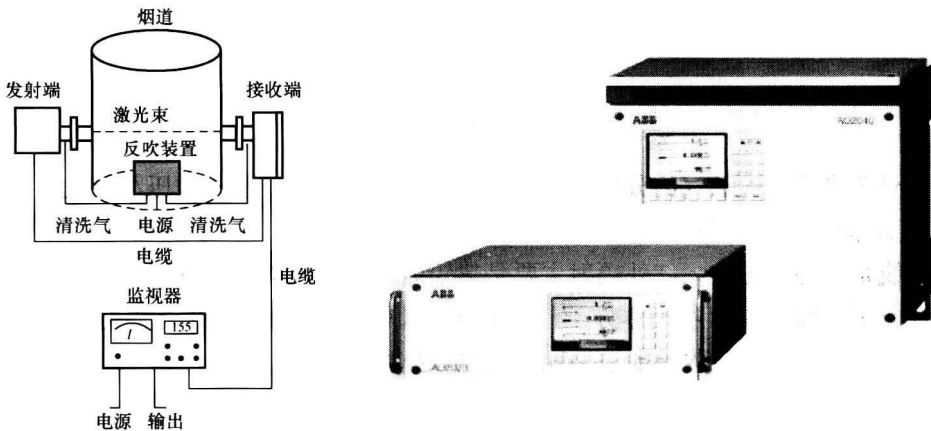


图 2-14 非分散红外分析仪示意

在  $\text{NO}_x$  的测定中， $\text{CO}_2$  传感器可修正  $\text{CO}_2$  干扰作用，一个苯三酚传感器可对样品气体中的  $\text{CO}_2$  浓度进行测定。而对  $\text{CO}_2$  干扰作用的修正则取决于该传感器的信号强度，这样就可以保证  $\text{CO}_2$  的存在不会对  $\text{NO}_x$  的监测产生影响。

使用电容扩大筒检测器，检测将测试气体和比较气体以一定周期交互导入测试单元所产生的吸收红外线的差。原理上不会产生零点漂移，可以得到稳定的精度良好的指示值。