

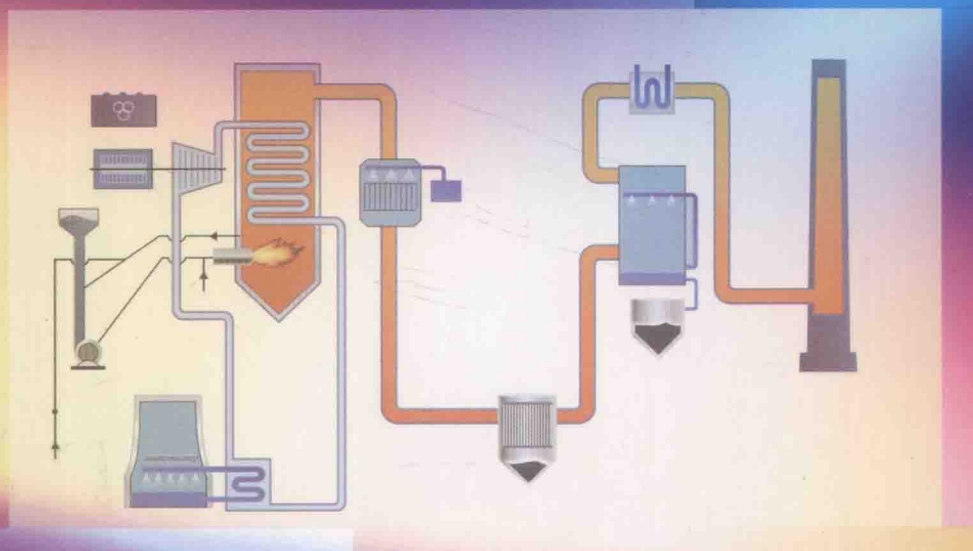


化学工业出版社出版基金资助出版

烟气排放 连续监测系统(CEMS)

YANQI PAIFANG
LIANXU JIANCE XITONG

◎ 王森 主编 ◎ 周永峰 刘德允 彭军 副主编



化学工业出版社



化学工业出版社出版基金资助出版

烟气排放 连续监测系统(CEMS)

YANQI PAIFANG
LIANXU JIANCE XITONG

◎ 王森 主编 ◎ 周永峰 刘德允 彭军 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是一部烟气和废气排放污染物在线分析、监测方面的专著，由多位具有丰富研制和应用经验的技术人员历经四年时间精心编写而成。

全书分为 14 章，内容包括 CEMS 的基本知识与有关的标准及规范，侧重于 CEMS 的在线分析技术、样品处理技术、系统设计技术和应用维护经验，并介绍了部分工程实例。

本书主要读者对象为 CEMS 的研制、使用、维护、管理、工程设计人员和环保监管监测人员，也可供大专院校有关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

烟气排放连续监测系统：CEMS/王森主编. —北京：化学工业出版社，2014.9

ISBN 978-7-122-21203-0

I. ①烟… II. ①王… III. ①烟气排放-连续监测-自动化监测系统 IV. ①X51

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 146610 号

责任编辑：刘 哲

装帧设计：韩 飞

责任校对：边 涛

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 100041）

印 装：大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 19½ 字数 498 千字 2014 年 10 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：80.00 元

版权所有 违者必究

京化广临字 2014—28 号





本人于 2005 年退休, 2008 年应聘到聚光科技(杭州)股份有限公司任职。当时, 我国尚未出版 CEMS 方面的专著, 虽然市售环保监测方面的书籍很多, 但内容均为手工采样实验室分析方法, 而 CEMS 属于在线分析系统, 涉及多种在线分析仪器和取样及样品处理技术, 我国环境监测工作者和 CEMS 使用维护人员对此均缺乏了解, 又无图书资料可供参阅。

根据公司 CEMS 生产线的建议, 在化学工业出版社的支持下, 从 2010 年年初起, 我就开始着手组织编写本书, 希望能够填补国内 CEMS 专著的空白, 满足 CEMS 研制、使用、维护、管理和工程设计人员的需要。当时, 我国的大气污染治理的重点主要集中在燃煤火力发电厂烟气的除尘和脱硫方面, 烟气排放监测项目仅限于 SO_2 、 NO_x 和烟尘颗粒物, 大家对新修订的 CEMS 技术规范 HJ/T 75—2007 和 HJ/T 76—2007 尚不够熟悉, 本书初期的编写大纲就是基于上述情况拟定的。

随着环保形势的深入发展, 治污减排涉及的范围和目标逐步扩大, 排放限值日趋严格, 监测项目也有所增加, 2011 年国家“十二五”环境保护规划中, 不仅对火电行业, 而且对钢铁行业、石油炼化、有色冶炼、建材炉窑、炼焦炉等均提出烟气脱硫、脱硝的严格要求, 对于烟气和废气排放, 还提出了开展 VOCs、气态汞和重金属污染监测和控制的任務。

根据“十二五”规划提出的大气污染治理任务及要求, 我们于 2011 年下半年对编写大纲进行了重大调整, 加强了第 8 章中脱硝部分的内容, 增补了第 10~14 章, 取消了介绍 CEMS 标准、规范的章节。在按调整后的大纲组织编写时, 主要遵循以下原则:

(1) 依据国家环境保护“十二五”规划提出的大气污染治理任务和 CEMS 技术进步、更新换代的最新进展编写, 力求反映当前治污减排的新形势、新需求、新技术和新成果;

(2) 治理大气污染、减少污染物的排放是一项系统工程, 本书虽名为 CEMS, 但内容并不局限于烟气排放口污染物的监测技术, 而是扩展到治污减排全过程, 也应介绍烟气和废气处理净化工艺中涉及到的在线分析技术和过程监控技术;

(3) 本书内容侧重于 CEMS 的在线分析技术、样品处理技术、系统设计技术和应用维护经验, 并应介绍部分工程实例。考虑到有关 CEMS 标准及规范的出版物已经较多, 本书不再重复这方面的内容。

从那时开始, 又经过两年多时间的编写, 几经周折, 几易其稿, 在大家的共同努力下才得以完稿。

全书共分为 14 章。第 1 章概述了 CEMS 的组成、作用、类型、使用的测量技术、发展历程与发展趋势、与 CEMS 有关的标准及规范；第 2~7 章详细介绍了各种抽取采样式 CEMS、原位测量式 CEMS、烟气参数监测系统采用的测量方法、测量仪器和样品处理技术等；第 8~12 章逐一介绍了燃煤烟气脱硫脱硝 CEMS、垃圾焚烧 CEMS 和 VOCs、气态汞、重金属排放连续监测方面的新技术、新进展和新成果；第 13、14 章介绍石油化工脱硫、硫磺回收、尾气净化工艺，钢铁冶金硫铁矿、冶炼烟气及硫磺焚烧制硫酸工艺过程控制中涉及到的在线分析技术和尾气排放监测技术。

本书由王森主编，周永峰、刘德允、彭军副主编，聚光科技(杭州)股份有限公司、南京埃森环境技术有限公司、南京分析仪器厂有限公司、美国博纯有限责任公司、西克麦哈克(北京)仪器有限公司的技术人员和重庆科技学院部分师生参加了编写。本书各章主要作者如下：

- 第 1 章 王 森、彭 军
- 第 2 章 王 森、朱卫东、刘德允、李峰
- 第 3 章 王 森、杨君玲、周 谋
- 第 4 章 张继勇、王 森
- 第 5 章 王 森、俞大海
- 第 6 章 王 森、陆炎飞
- 第 7 章 刘德允、朱卫东
- 第 8 章 朱卫东、王 森
- 第 9 章 杨建虎、周鸿斌
- 第 10 章 肖 旷
- 第 11 章 柯 亮
- 第 12 章 姜雪娇
- 第 13 章 王 森、周永峰
- 第 14 章 王 森、周永峰

参与本书编写的人员还有：

聚光科技(杭州)股份有限公司 叶华俊、翁兴彪、郭健平
南京埃森环境技术有限公司 章曙、范黎锋、陈莹、李浙英
重庆科技学院 钟秉翔、柏俊杰、姚立忠、孙小媛、李清玲

限于作者的知识面和水平，书中难免存在不当和缺失之处，敬请广大读者不吝赐教，批评指正。

王 森

2014 年 3 月于重庆

第 1 章 概述**1**

- 1.1 烟气污染物及其治理 1
- 1.2 CEMS 的基本组成和作用 2
- 1.3 CEMS 的类型 3
- 1.4 CEMS 中使用的测量技术 5
- 1.5 烟气和废气排放连续监测的发展历史和发展趋势 6
- 1.6 与 CEMS 有关的环保标准 9
- 参考文献 12

第 2 章 抽取采样式 CEMS**13**

- 2.1 抽取采样式 CEMS 概述 13
- 2.2 取样及取样探头 16
- 2.3 样品传输及样品传输管线 19
- 2.4 样品除水除湿器件 21
- 2.5 精细过滤器和气溶胶过滤器 28
- 2.6 样品抽气泵 29
- 2.7 其他特殊功能部件 30
- 2.8 冷/干法 CEMS 系统的设计 32
- 2.9 稀释法 CEMS 34
- 参考文献 38

第 3 章 红外线气体分析器**39**

- 3.1 红外线气体分析器的测量原理、类型和特点 39
- 3.2 光学系统的构成部件 43
- 3.3 采用气动检测器的不分光型红外分析器 49
- 3.4 采用固体检测器的固定分光型红外分析器 54
- 3.5 测量误差分析 60
- 3.6 傅里叶变换红外光谱仪(FTIR) 64
- 参考文献 71

第4章 紫外线气体分析器

72

4.1 紫外吸收光谱法概述	72
4.2 滤光片分光的紫外分光光度计	75
4.3 光栅连续分光的紫外分光光谱仪	79
4.4 紫外分光光谱仪的热湿法 CEMS 系统	86
4.5 紫外荧光法 SO ₂ 分析仪	88
4.6 化学发光法 NO 和 NO _x 分析仪	90
参考文献	92

第5章 原位测量式 CEMS

93

5.1 线测量式原位分析仪 (path in-situ analyzers)	93
5.2 点测量式原位分析仪 (point in-situ analyzers)	95
5.3 差分吸收光谱技术 (DOAS)	97
5.4 气体滤波相关光谱技术 (GFC)	100
5.5 半导体激光光谱技术 (DLAS)	101
参考文献	111

第6章 烟尘质量浓度连续监测

113

6.1 烟气不透明度计和烟尘浓度计	113
6.2 烟尘质量浓度测量技术和仪器	116
6.3 光学透射法测尘仪	117
6.4 光学散射法测尘仪	123
6.5 其他测尘方法和仪器	129
6.6 相关校准方法	132
参考文献	135

第7章 烟气参数在线监测

137

7.1 烟气参数在线监测概述	137
7.2 烟气流量测量	139
7.3 烟气湿度测量	150
7.4 烟气氧含量测量	156
7.5 烟气参数监测数据的应用	158
参考文献	159

第8章 燃煤烟气脱硫脱硝 CEMS

160

8.1 烟气脱硫脱硝 CEMS 发展概况	160
----------------------------	-----

8.2	燃煤烟气脱硫技术简介	161
8.3	烟气脱硫 CEMS 的设计与应用	163
8.4	燃煤烟气脱硝技术简介	169
8.5	烟气脱硝 CEMS 的设计与应用	172
	参考文献	183

第 9 章 垃圾焚烧 CEMS

184

9.1	生活垃圾焚烧概述	184
9.2	生活垃圾焚烧炉烟气 CEMS	191
9.3	傅立叶变换红外光谱 (FTIR) 监测系统	192
9.4	高温非分散红外光谱 (NDIR) 监测系统	204
9.5	二噁英监测技术	206
	参考文献	211

第 10 章 VOCs 排放连续监测

213

10.1	挥发性有机物的定义和种类	213
10.2	挥发性有机物的来源和危害	214
10.3	挥发性有机物的排放和监测要求	214
10.4	挥发性有机物的分析技术	217
	参考文献	225

第 11 章 总气态汞排放连续监测

226

11.1	概述	226
11.2	国内外汞排放标准与限值	226
11.3	汞排放取样分析方法	227
11.4	汞排放在线监测方法	235
	参考文献	249

第 12 章 重金属排放连续监测

250

12.1	概述	250
12.2	相关标准介绍	250
12.3	烟气重金属排放常规检测技术	252
12.4	烟气重金属连续监测技术	254
	参考文献	260

第 13 章 石油化工脱硫、硫磺回收工艺在线分析技术

261

13.1	原料气、天然气、炼厂气和石油产品的脱硫	261
------	---------------------	-----

117	13.2	原料气和石油产品在线总硫分析仪	262
130	13.3	克劳斯法硫磺回收工艺在线分析技术	265
114	13.4	斯科特法尾气处理工艺在线分析技术	274
113	13.5	超级克劳斯硫磺回收工艺在线分析方案	284
111		参考文献	285

第 14 章 硫酸生产工艺在线分析技术

286

141	14.1	硫酸生产工艺简介	286
191	14.2	硫磺制酸炉气在线分析技术	287
80	14.3	硫铁矿制酸炉气在线分析技术	292
133	14.4	硫酸浓度在线分析技术	298
102	14.5	硫酸生产尾气有害物处理和排放监测	302
113		参考文献	304

第 1 章

概 述

1.1 烟气污染物及其治理

《空气与废气监测分析方法》(中国环境科学出版社, 2007 年第四版增补版)一书介绍:“烟气排放连续监测的重点项目是烟尘、粉尘、二氧化硫、氮氧化物;重点行业是火电行业、冶金行业、建材行业、化工行业;重点污染源是全国 18000 家重点工业污染源;重点区域是二氧化硫、酸雨控制区及环境质量不达标的城市和区域。”除了上述重点工业污染源之外,还存在数量庞大的其他固定污染源,包括市政供热锅炉、垃圾焚烧炉等。

我国的大气污染形势较为严峻。大气污染的主要来源是火电厂,其次是钢铁厂、水泥厂和化工厂。我国 2/3 的电力来自火力发电,燃料主要是煤,中国煤炭的含硫量和粉尘含量较高,许多电厂特别是中、小型电厂又缺少脱硫、脱硝、除尘设备,大大加重了排放烟气中 SO_2 、 NO_x 和粉尘的含量。

治理大气污染、减少污染物的排放是一项系统工程,以火力发电厂为例,包括燃烧控制、烟气除尘、脱除硫化物、脱除氮氧化物、烟气排放监测等环节。图 1-1 是一套以煤为燃料的火力发电机组生产流程简图。图中示出了与锅炉燃烧控制、烟气脱硝、除尘、脱硫过程监控,烟气排放监测有关的在线分析项目及取样点位置。从该图可以看出,在线分析仪器在火电厂治污减排、节能降耗中的重要作用。

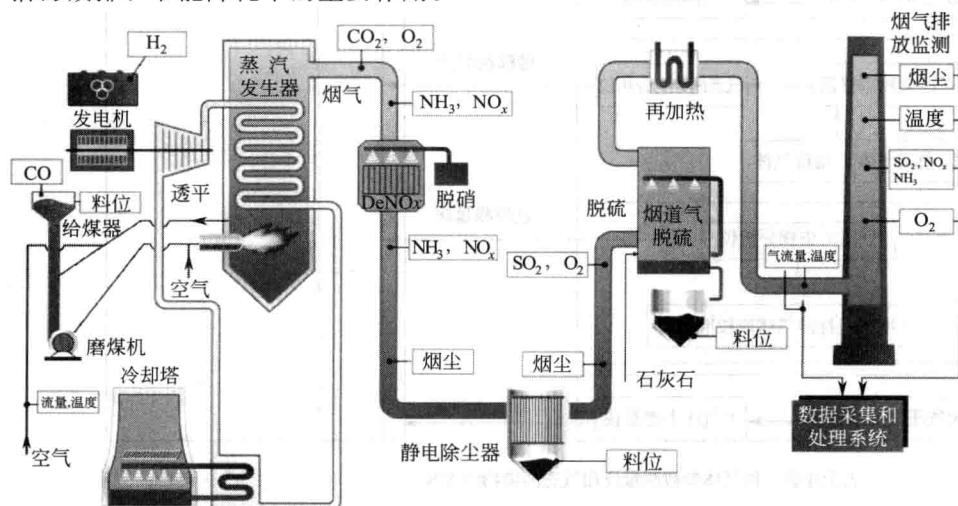


图 1-1 燃煤火力发电机组生产流程简图及在线分析监测项目

基于以上考虑, 本书内容不仅限于烟气或废气排放口污染物的监测技术, 也介绍治污减排工艺过程控制中涉及到的在线分析技术, 如燃煤烟气脱硫、脱硝过程; 石油化工脱硫、硫磺回收、尾气净化工艺; 硫磺焚烧、硫铁矿、冶炼烟气制硫酸工艺等。

1.2 CEMS 的基本组成和作用

CEMS 是英文 Continuous Emission Monitoring System 的缩写, 意即固定污染源排放连续监测系统, 我国称之为烟气排放连续监测系统 (连续监测也可译为在线监测, 以区别于手

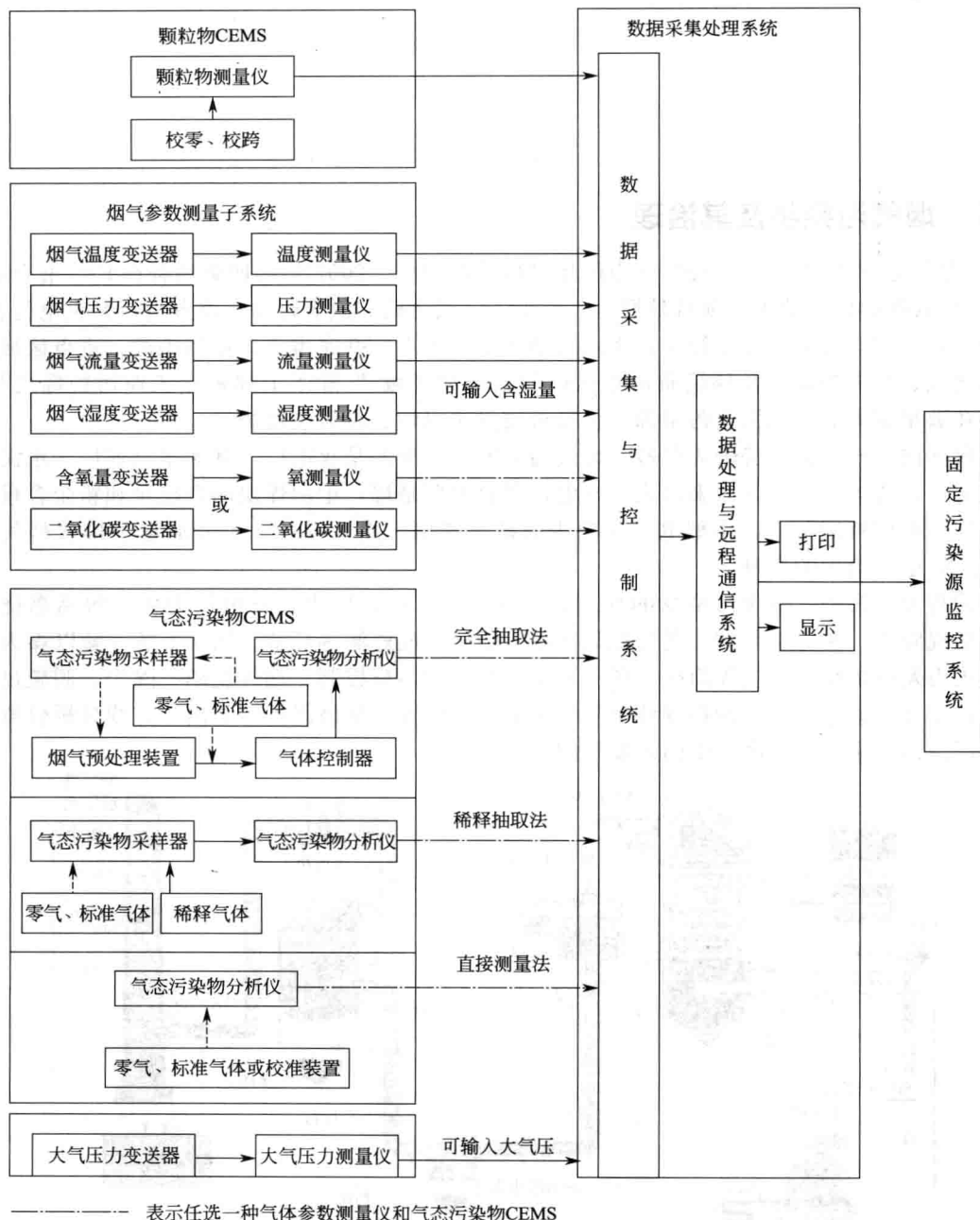


图 1-2 CEMS 组成示意图

工采样、实验室分析的离线断续监测)。CEMS 主要用于火电厂锅炉、其他工业及民用锅炉、工业炉窑、市政垃圾焚烧炉、危险废物焚烧炉等固定污染源烟气排放装置。CEMS 可对上述固定污染源排放烟气中的颗粒物、气态污染物的浓度 (mg/m^3) 和排放率 (kg/h 、 t/d 、 t/a) 进行连续、实时的跟踪测定。或者说,CEMS 是烟气排放在线监测和排污计量系统。

图 1-2 是 CEMS 的组成示意图。CEMS 由颗粒物监测子系统、气态污染物监测子系统、烟气排放参数测量子系统、数据采集、传输与处理子系统等组成。各部分的作用如下:

- 烟尘监测子系统 监测烟气中的烟尘浓度 (颗粒物含量);
- 气态污染物监测子系统 监测烟气中的 SO_2 、 NO_x 等的浓度;
- 烟气参数监测子系统 监测烟气流量、温度、压力、湿度、氧含量等;
- 系统控制及数据采集处理子系统 控制 CEMS 系统的自动操作,采集并处理数据,计算污染物排放量,显示和打印各种参数、图表,并通过数据、图文传输系统传送至管理部门。

为了简化叙述,以下将“烟气排放连续监测系统”简称为“CEMS”,将“烟气排放连续监测”简称为“CEM”。

1.3 CEMS 的类型

烟气排放连续监测系统的类型见图 1-3。

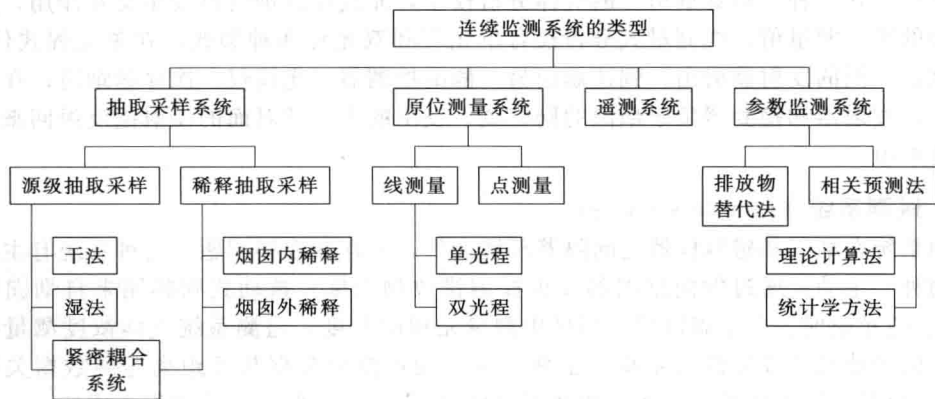


图 1-3 烟气排放连续监测系统的类型

注:源级抽取采样法我国标准中称为完全抽取采样法,原位测量法我国标准中称为直接测量法。

(1) 抽取采样系统 (extractive systems)

抽取采样式 CEMS 是烟气排放连续监测技术中应用最广泛、技术最成熟的 CEMS。按照对烟气调节处理方式的不同,又分为源级抽取(又称直接抽取、完全抽取)式 CEMS、稀释抽取式 CEMS 及紧密耦合式 CEMS。从烟道中抽取排放源的烟气,经调节处理后进行检测的称为源级抽取法。从烟道中抽取烟气,经稀释气稀释后进行检测的称为稀释抽取法。紧密耦合式是指烟气经取样处理后,直接送安装在烟道上的在线分析仪器测量,无需烟气传输环节。

① 源级抽取式 CEMS 被测烟气经过除尘、除湿后,成为洁净、干燥的烟气,并在干烟气状态下进行分析,被称为冷凝/干燥法(冷/干法)CEMS,属于“干基”测量。烟气未经冷凝除湿处理,保持原有的热湿状态,在湿烟气状态下进行分析的,被称为热/湿法

CEMS, 属于“湿基”测量。

热/湿法 CEMS 的采样、传输、处理部件及分析仪器的测量气室, 都必须在高温下工作, 分析测量全过程中被测烟气都应加热保温在烟气露点之上。热/湿法 CEMS 能保证烟气中的被测组分不失真, 减少了被测组分由于水分吸收而引起的测量误差, 适合于烟气中含有易溶于水的被测微量组分的场合。

② 稀释抽取式 CEMS 按照在烟道内部或外部对烟气进行稀释, 又分为烟道内稀释法和烟道外稀释法。烟气虽然经过大比例稀释 (如 1:100) 后再进行测量 (其含湿量也被稀释), 经环境空气分析仪检测后的测量结果, 还是要按稀释倍数还原到实际测量值 (其含湿量也被还原), 因此, 稀释后的烟气未经除湿处理, 属于“湿基”测量。

③ 紧密耦合式 CEMS 由采样探头与分析仪器组成, 安装在被测的烟道上, 烟气从取样探头抽取出来后, 直接进入紧靠取样探头出口的分析仪器进行测量。它的最大特点是省去了样品传输管线及分析小屋, 最大限度地减少了管道吸附、冷凝吸收及化学反应带来的问题, 适用于烟气中含有挥发性有机化合物的采样分析。紧密耦合式 CEMS 根据烟气是否经除湿处理, 也可分为“湿基”或“干基”分析。

(2) 原位测量系统 (in-situ systems)

原位式分析仪有两种类型: 点测量式和线测量式。点测量式分析仪由安装在测量探头端部的光学式或电化学式传感器构成, 探头插入烟道中。这种传感器在烟道中的测量范围通常只跨越几厘米至 1m 距离的一段空间。线测量式分析仪沿一条横穿烟道的直线或沿烟囱的直径进行测量, 在这种“横穿烟道”的气体分析仪中, 光线穿过烟气时发生交互作用, 从而获得污染物的浓度测量值。线测量式分析仪有单光程和双光程两种型式, 在单光程式仪器中, 光线从烟囱一侧的发射器射出, 到达烟囱另一侧的检测器, 光线仅一次穿越烟道; 在双光程式仪器中, 发射器和检测器位于烟囱的同一侧, 发出的光线被对面的反射镜反射回来, 光线两次穿越烟道。

(3) 遥测系统 (remote sensors)

遥测系统在烟气和感测仪器之间隔着环境大气, 不存在取样问题。这种系统有主动式和被动式两种。主动式通过射向烟囱的光束探测排放物浓度, 被动式则感测来自烟囱排放物“热”分子的光辐射。由于难以确定烟柱中测量光程的长度, 遥测系统气体浓度测量数据的精确度远低于抽取式或原位式系统。虽然多次试图把排放数据与远距离遥测数据关联起来 (这些遥测数据是沿着排放装置的周边从不同位置测得的), 但这种关联很少成功。

(4) 参量监测系统 (parameter monitoring systems)

替代排放监测的方法已经开发出来, 这种方法不需要使用分析仪, 而依赖于过程传感器, 如热电偶、压力变送器、燃料流量计等。这些传感器的测量数据可以以各种方式使用, 既可直接作为浓度排放数据的替代物, 也可作为排放预测模型的参变量。最新的进展是基于过程参量数据开发的排放模型。

排放模型的开发依赖于参量数据与排放数据之间的相关性。初期研究采用下述方法进行: 改变操作条件和控制方式, 监测工艺参数和控制设备的变化情况, 与此同时用参比方法或 CEMS 同步进行测量, 然后采用工程计算方法、最小二乘法或神经网络技术将这些数据关联起来, 开发出一个数学模型, 即根据参量数据预测、推断排放情况的模型。这种预测排放监测系统 (PEMS, predictive emission monitoring systems) 的输入参量从 1~20 个以上不等, 已被用于各种类型的排放源中。如果 PEMS 与抽取式或原位式监测仪器串联使用, 将具有值得重视的发展前景。

1.4 CEMS 中使用的测量技术

抽取式和原位式 CEMS 中使用的测量技术包括各种化学和物理方法，从简单的化学电池到先进的光学技术，表 1-1 列出了当前市售 CEMS 中使用的各种测量技术。

表 1-1 CEMS 中使用的各种测量技术

抽取采样式仪器 (Extractive)		
吸收光谱法		
红外法		
<ul style="list-style-type: none"> · 非分散红外吸收法 (NDIR) · 气体滤波相关法 (Gas filter correlation, GFC) · 傅里叶变换红外法 (FTIR) 		
紫外法		
<ul style="list-style-type: none"> · 非分散紫外吸收法 (NDUV) · 差分吸收光谱法 (Differential optical absorption spectroscopy, DOAS) 		
发光法		
<ul style="list-style-type: none"> · 荧光法 (Fluorescence) (SO_2) · 化学发光法 (Chemiluminescence) (NO_x) 		
电化学分析法		
<ul style="list-style-type: none"> · 极谱法 (Polarography) · 电位法 (Potentiometry) (HF、HCl) · 电化学燃料电池法 (O_2) 		
顺磁性法 (Paramagnetism) (O_2)		
催化量热法 (Catalytic calorimetry) (NO_x、CO)		
危险空气污染物分析方法 (Methods for hazardous air pollutants)		
<ul style="list-style-type: none"> · 吸收光谱法 Absorption spectroscopy · 气相色谱法 (Gas chromatography, GC) · 气相色谱-质谱联用法 (GC-MS) · 光声光谱法 (Photoacoustic spectrometry, PAS) · 离子迁移谱法 (Ion-mobility spectrometry, IMS) · 原子发射光谱法 (Atomic emission spectroscopy, AES) (金属) · X 射线荧光光谱法 (X-Ray fluorescence spectrometry) (金属) 		
γ 射线衰减法 (γ-radiation attenuation) (颗粒物)		
原位测量式仪器 (In-situ)		
气 体	颗 粒 物	流 量
点测量式(Point)	点测量式(Point)	点测量式(Point)
吸收光谱法	<ul style="list-style-type: none"> · 光散射法 (Light scattering) · 接触电荷转移法 (Contact charge transfer) · 接触声学法 (Contact acoustical) · 电动力学感应法 (Electrodynamical induction) 	<ul style="list-style-type: none"> · 差压传感法 (Differential pressure sensing) · 热传感法 (Thermal sensing)
<ul style="list-style-type: none"> · 差分吸收光谱法 (DOAS) · 气体滤波相关法 (GFC) · 半导体激光光谱法 (DLAS) 		
电分析法		
<ul style="list-style-type: none"> · 氧化锆测氧法 (O_2) 		
线测量式(Path)	线测量式(Path)	线测量式(Path)
吸收光谱法	<ul style="list-style-type: none"> · 光散射和吸收法 (Light scattering and absorption) · 光调制法 (光闪烁法) (Light modulation) 	<ul style="list-style-type: none"> · 声学速度法 (Acoustic velocimetry) · 飞行时间法 (Time-of-flight)
<ul style="list-style-type: none"> · 差分吸收光谱法 (DOAS) · 气体滤波相关法 (GFC) · 半导体激光光谱法 (DLAS) 		

注：测量方法后括号中标注的气体表示采用该方法的仪器仅能测量这种组分。

从表 1-1 中可以看出，一些实验室分析技术，特别是那些用于排放监测的实验室分析技术，已经纳入商品化的 CEMS 中。一些近期推出的光学分析仪开始采用新型光源和检测器，



如激光光源、脉冲光源和 PAD、CCD 阵列检测器。

为了降低 CEMS 的造价，CEMS 制造厂家开始采用多组分气体分析技术，以取代使用多台单组分分析仪的系统。方案之一是采用多组分气体分析仪，另一种方案是将多种不同原理的传感器、检测器组合装配在一个仪器机箱中，这就是所谓的模块化多组分气体分析仪。

采用多组分分析仪和模块化分析仪的 CEMS 日渐增多，有可能改变 CEMS 的传统模式。传统的抽取采样式 CEMS 安装在带有加热、空调设施的分析小屋内，包括样品处理、气体分析、数据采集几个子系统。这种模式可能维持不了多久，取而代之的是一种紧密耦合式的小型系统，或是一种原位测量式多组分分析系统，它们直接连接到装置级 DCS，这种模式在未来有可能更为典型。

1.5 烟气和废气排放连续监测的发展历史和发展趋势

1.5.1 烟气排放连续监测的发展历史

美国于 1970 年年底颁布了《清洁空气法》，开始从法规的高度对大气污染物进行控制。1971 年出台的《新污染源性能标准》提出了连续监测的要求，同年美国研制成功世界上第一台烟气排放连续监测仪。1975 年 10 月 6 日美国环保署发布 CEMS 技术标准，并限定必须安装 CEMS 的排放源，美国的 CEMS 制造业正式启动。1993 年美国开始执行酸雨控制计划（即排污总量控制计划），酸雨控制计划实施两年之后，美国的大气环境质量得到显著改善。

1974 年 3 月，原联邦德国颁布了《联邦烟气排放防护法》，同年 8 月，又发布了《空气质量控制技术导则》(TA Luft)，提出了连续监测的要求。此后，世界各工业发达国家相继制定法律法规，对烟气排放连续监测做出规定。从 20 世纪 70 年代到 21 世纪初的 30 多年中，CEMS 从监测技术、仪器设备到管理办法迅速发展，法律法规不断健全。目前，CEM 技术在工业发达国家的大型企业得到了广泛应用，纳入固定污染源排放监测体系，检测结果作为环保执法的依据。

1981 年，我国 300MW、600MW 火电机组技术引进项目开始，首次从国外引进了 4 套 CEMS，同时也培养了一批从事 CEMS 应用与研制的技术骨干，不但促进了国内的 CEM 工作，也为我国 CEMS 制造业的发展奠定了基础。

尽管如此，直到 1996 年之前，国内对 CEM 的重要性仍缺乏充分认识，也未引起足够重视。1996 年颁布的 GB 13221—1996《火电厂大气污染物排放标准》中，首次提出新、扩、改建火电厂应装设 CEMS 的要求。1997 年之后，由于这一强制性国家标准的实施，安装 CEMS 的火电厂增长较快，但总的看来数量较少，且对 CEMS 还没有统一的技术标准和规范，难以保证监测数据的统一性和权威性。

2001 年 9 月 30 日国家环保局同时颁布了 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》，我国的烟气排放连续监测工作开始步入正轨，有了符合我国国情的技术标准。2001 年之后，CEM 工作全面铺开，不但火电行业，其他行业的大型锅炉、工业炉窑、市政锅炉和垃圾焚烧炉均开始安装 CEMS。

进入 21 世纪以后，我国全民环保意识迅速增强，环保呼声空前高涨，国家下了最大决心节能减排，保护环境，我国的环保事业发展很快，规模很大，排放标准日趋严格，监管力度迅速加强，其目标是尽快与国际标准靠拢和并轨，这一点是毋庸置疑的。

1.5.2 挥发性有机物排放连续监测

(1) 挥发性有机物的来源和危害

挥发性有机物 (VOCs, Volatile Organic Compounds) 在世界范围内并没有统一的定义。按照世界卫生组织 (WHO) 的定义, VOCs 是指熔点低于室温, 室温下饱和蒸气压大于 133.3 Pa, 沸点在 50~250℃ 范围, 相对分子质量在 16~250 范围, 一般在常温下于空气中能以气体形式存在的一类有机化合物的总称。我国国家标准 (GB/T 18883—2002) 对 VOCs 的定义, 是指在气相色谱分析中从正己烷 (沸点 69℃) 峰到正十六烷 (沸点 287℃) 峰之间的所有化合物。

VOCs 包含数百种有机化合物, 是空气中普遍存在且组成复杂的一大类污染物。按照它们的化学结构, 可以分为烷烃、烯烃、炔烃、苯系物和芳香烃、醇类、醚类、酮类、酸类、酯类、卤代烃等。

VOCs 的来源可分为自然源和人为源, 前者主要来源于陆地植被的次生代谢反应, 后者则是指人类活动的不完全燃烧行为和低沸点物质的挥发性逸散引起的 VOCs 种类和含量的增加, 石油化工生产、污水和垃圾处理厂、汽油发动机尾气以及有机溶剂、涂料、塑料、橡胶、制药及其他特殊化学制品的制造等, 成为排放挥发性有机物的主要来源。

人为源 VOCs 的物种成分较为复杂, 对大气环境和人类生存的影响和危害更为显著。挥发性有机物引起大气污染的主要问题是产生光化学烟雾, 并使全球气候变暖和破坏同温层的臭氧。许多 VOCs 具有致癌、致畸、致突变性和遗传毒性, 对人体健康有直接的危害。

(2) VOCs 的排放限值和连续监测

随着大气 VOCs 污染越来越受到人们的重视, 世界上许多国家和地区都出台了针对 VOCs 的空气质量标准或排放标准。美国、欧盟、日本等国家或组织还针对不同行业、不同排放类型或者危害程度不同的物质制定了相应的排放标准和检测方法标准, 形成了较为完整的 VOCs 监控规范体系。

美国、欧洲等发达国家和地区已经针对有机物的连续排放监测制定了一些法规。欧洲常以总有机碳 (Total Organic Carbon, TOC) 作为连续监测的指标, 表征废气中挥发性有机物的量。欧盟废物焚烧令 (WID) 2000/76/EC、德国第 17 号令要求连续监测废物焚烧工厂和协同废物焚烧工厂排放的 TOC。美国联邦规则 40 CFR 265、40 CFR 266 和 40 CFR 503 则分别要求在危险废物焚烧炉、用危险废物作补充燃料的锅炉和工业炉及下水道污泥焚烧装置上, 安装测定总碳氢化合物 (THC) 的 CEMS。美国还有新固定源排放标准 (NSPS) — 40 CFR 60, 其中对聚合物工业、涂料和印刷业、有机合成工业、石油精炼废水处理系统等排放的 VOCs 提出了连续监测要求。

我国的 VOCs 污染控制起步较晚, 近几年来国家和地方环保部门逐渐意识到国内 VOCs 污染的严峻形势和污染监管的不足, 开始着手完善 VOCs 污染控制体系。国家环境保护“十二五”规划中明确了加强对石化行业 VOCs 挥发及排放监测, 以及推进 VOCs 在线自动监测系统建设的政策方向。环保部新制定并推行了《储油库大气污染物排放标准》(GB 20950—2007)、《加油站大气污染物排放标准》(GB 20952—2007)、《合成革与人造革工业污染物排放标准》(GB 21902—2008), 均对 VOCs 的排放做出了明确限制。对于其他 VOCs 污染行业, 如石油炼化及化工、制药、电子、涂装、涂料工业等, 针对性的标准也正在制定中, 有希望在未来几年发布和实施。部分 VOCs 污染严重的大城市和省份则先于国家制定了与 VOCs 排放相关的地方标准。相比于现有的国家标准, 这些地方标准对 VOCs 的限值更为细化严格, 既加强了对 VOCs 污染严重地区的环境监管, 也为日后国家标准的

制定提供了参考。

现有固定源排气中 VOCs 污染物测定的标准方法, 均是利用采样装置手动收集样品后, 带回实验室分析。相比于已经实现连续排放监测的 SO_2 、 NO_x 、粉尘等组分, VOCs 的监测频次和监测结果的时效性明显不足, 因此已有一些地方标准开始对一些挥发性有机物如非甲烷总烃、总挥发性有机物 (TVOCs), 提出连续监测要求。DB 11/501—2007 DB11-501—2007《大气污染物综合排放标准》(北京市标准) 中的 8.1.6 节指出, 对于颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、非甲烷总烃以及其他可以实现连续自动监测的大气污染物, 如排气筒中初始排放量大于等于 10kg/h , 应安装大气污染物连续自动监测设备; DB 11/447—2007《炼油与石油化学工业大气污染物排放标准》(北京市标准) 中的 11.1.6 节规定对于催化裂化单元催化剂再生装置排气筒、硫磺回收装置尾气灼烧排气筒, 以及废气排放量在 $40000\text{m}^3/\text{h}$ 及以上的燃烧、焚烧、炼焦装置排气筒, 应安装大气污染物连续自动监测设备, 11.3.3 节规定炼油与石油化工企业应对厂界环境空气中有毒物质实施连续自动监测, 并记录备查。

可以预见, 随着我国各级环保部门对 VOCs 污染的重视程度逐渐增强, 以及我国 VOCs 污染控制体系的逐渐完善, 固定污染源 VOCs 排放的连续自动监测必然成为未来的趋势。

1.5.3 气态汞排放连续监测

(1) 大气汞的来源和危害

大气中汞污染的来源主要有两部分: 自然汞排放和人为汞排放。自然汞排放主要包括火山活动、自然风化、土壤排放和植被排放。虽然自然源排放的汞量较大, 但是由于分布均匀, 浓度低, 一般不对环境造成危害, 它仅是自然环境中汞含量的背景值。人为汞排放主要来自燃煤、金属冶炼、水泥生产、垃圾焚烧、氯碱生产等过程, 其中燃煤火电厂是最大的人为释放源。

汞的毒性很大, 即使在暴露浓度很低的情况下, 也可以损伤生物神经系统。汞污染物具有生物蓄积性, 可沿食物链累积, 尤其是通过鱼类在人体和野生动物体内累积, 其对胎儿发育产生的危害尤为严重。汞污染具有很强的迁移性, 可通过气流运动发生长距离迁移, 乃至跨越国界, 形成全球性污染。此外, 全球食品供应已受汞污染影响, 风险极高。

(2) 我国汞的排放限值

全球汞污染问题已引起国际环境、卫生界以及各国政府的极大关注。2010年6月7~11日, 由联合国环境规划署组织的汞问题文书政府间谈判委员会第一次会议 (INC1) 在瑞典斯德哥尔摩召开, 来自 140 多个国家、政府间组织和国际组织的 400 多名代表参会, 会议拟订了一份具有全球法律约束力的汞问题文书。

我国汞污染及控制的形势尤为严峻。中国政府及社会各界均面临极大的压力, 采取科学的监测与控制手段遏制汞污染排放已迫在眉睫。

我国现行的标准主要对生活垃圾以及医疗废物焚烧炉中的汞排放限值提出了要求, 如《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB 18485—2001) 规定垃圾焚烧炉的大气汞排放限值为 $0.2\text{mg}/\text{m}^3$; 《医疗废物焚烧炉技术要求 (试行)》(GB19218—2003) 规定焚烧炉烟气汞的排放浓度限值均为 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ 。

由于汞对人体和自然环境的危害性, 燃煤汞污染被认为是继燃煤硫污染之后的又一大污染问题。我国发布的新版《火电厂大气污染物排放标准》(GB 13223—2011) 中增加了汞排放指标, 初定火电厂汞的排放限值为 $0.03\text{mg}/\text{m}^3$ 。

(3) 汞排放的取样分析和在线监测

燃煤火电厂、垃圾焚烧厂、化工厂等固定污染源汞排放控制的受关注度越来越高, 对烟