

环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书

烟气排放连续监测系统 (CEMS) 监测技术及应用

YANQI PAIFANG
LIANXU JIANCE XITONG (CEMS)
JIANCE JISHU JI YINGYONG

王强 杨凯 主编



化学工业出版社

环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书

烟气排放连续监测系统 (CEMS) 监测技术及应用

YANQI PAIFANG
LIANXU JIANCE XITONG (CEMS)
JIANCE JISHU JI YINGYONG

王 强 杨 勤 主 编



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

烟气排放连续监测系统 (CEMS) / 监测技术及应用 / 王强, 杨凯主编. —北京: 化学工业出版社, 2014. 8

(环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书)
ISBN 978-7-122-21159-0

I. ①烟… II. ①王…②杨… III. ①烟气排放-监测系统 IV. ①X51

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 143524 号

责任编辑: 刘兴春
责任校对: 宋 夏

装帧设计: 韩 飞

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: 大厂聚鑫印刷有限责任公司
787mm×1092mm 1/16 印张 34 字数 894 千字 2015 年 1 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: 138.00 元

版权所有 违者必究

“环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书”
编著委员会

顾 问：吴晓青
组 长：熊跃辉
副组长：刘志全
成 员：禹 军 陈 胜 刘海波

《烟气排放连续监测系统 (CEMS) 监测技术及应用》
编委会

主 编：王 强 杨 凯
副主编：孙 毅 田一平 周 刚 钟 琪
编 委：(按姓氏笔画排列)

丁长江	邓 继	王向东	王齐明	王 威	王 强
王澎蛟	田一平	叶华俊	付 斌	朱卫东	朱 伟
朱吉霞	齐 宇	关旭春	全继宏	孙 毅	刘德允
张 帅	张 杨	杨 波	杨 凯	陈侠胜	陈 莹
迟 郢	李浙英	李峰厚	李铭瑄	李 强	宋婷珊
罗四国	周 刚	范黎峰	封 沛	赵金宝	柯 亮
姜海东	姜雪娇	钟 琪	郭雪松	崔厚欣	梁 宵
曹慧琴	章 曙	董 励	董 拯	鲁爱昕	

序 言

我国作为一个发展中的人口大国，资源环境问题是长期制约经济社会可持续发展的重大问题。党中央、国务院高度重视环境保护工作，提出了建设生态文明、建设资源节约型与环境友好型社会、推进环境保护历史性转变、让江河湖泊休养生息、节能减排是转方式调结构的重要抓手、环境保护是重大民生问题、探索中国环保新道路等一系列新理念新举措。在科学发展观的指导下，“十一五”环境保护工作成效显著，在经济增长超过预期的情况下，主要污染物减排任务超额完成，环境质量持续改善。

随着当前经济的高速增长，资源环境约束进一步强化，环境保护正处于负重爬坡的艰难阶段。治污减排的压力有增无减，环境质量改善的压力不断加大，防范环境风险的压力持续增加，确保核与辐射安全的压力继续加大，应对全球环境问题的压力急剧加大。要破解发展经济与保护环境的难点，解决影响可持续发展和群众健康的突出环境问题，确保环保工作不断上台阶出亮点，必须充分依靠科技创新和科技进步，构建强大坚实的科技支撑体系。

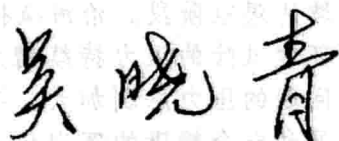
2006年，我国发布了《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》（以下简称《规划纲要》），提出了建设创新型国家战略，科技事业进入了发展的快车道，环保科技也迎来了蓬勃发展的春天。为适应环境保护历史性转变和创新型国家建设的要求，国家环境保护总局于2006年召开了第一次全国环保科技大会，出台了《关于增强环境科技创新能力的若干意见》，确立了科技兴环保战略，建设了环境科技创新体系、环境标准体系、环境技术管理体系三大工程。五年来，在广大环境科技工作者的努力下，水体污染控制与治理科技重大专项启动实施，科技投入持续增加，科技创新能力显著增强；发布了502项新标准，现行国家标准达1263项，环境标准体系建设实现了跨越式发展；完成了100余项环保技术文件的制订、修订工作，初步建成以重点行业污染防治技术政策、技术指南和工程技术规范为主要内容的国家环境技术管理体系。环境科技为全面完成“十一五”环保规划的各项任务起到了重要的引领和支撑作用。

为优化中央财政科技投入结构，支持市场机制不能有效配置资源的社会公益研究活动，“十一五”期间国家设立了公益性行业科研专项经费。根据财政部、科技部的总体部署，环保公益性行业科研专项紧密围绕《规划纲要》和《国家环境保护“十一五”科技发展规划》确定的重点领域和优先主题，立足环境管理中的科技需求，积极开展应急性、培育性、基础性科学研究。“十一五”期间，环境保护部组织实施了公益性行业科研专项项目234项，涉及大气、水、生态、土壤、固废、核与辐射等领域，共有包括中央级科研院所、高等院校、地方环保科研单位和企业等几百家单位参与，逐步形成了优势互补、团结协作、

良性竞争、共同发展的环保科技“统一战线”。目前，专项取得了重要研究成果，提出了一系列控制污染和改善环境质量技术方案，形成一批环境监测预警和监督管理技术体系，研发出一批与生态环境保护、国际履约、核与辐射安全相关的关键技术，提出了一系列环境标准、指南和技术规范建议，为解决我国环境保护和环境管理中急需的成套技术和政策制定提供了重要的科技支撑。

为广泛共享“十一五”期间环保公益性行业科研专项项目研究成果，及时总结项目组织管理经验，环境保护部科技标准司组织出版“十一五”环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书。该丛书汇集了一批专项研究的代表性成果，具有较强的学术性和实用性，可以说是环境领域不可多得资料文献。丛书的组织出版，在科技管理上也是一次很好的尝试，我们希望通过这一尝试，能够进一步活跃环保科技的学术氛围，促进科技成果的转化与应用，为探索中国环保新道路提供有力的科技支撑。

中华人民共和国环境保护部副部长

The image shows a handwritten signature in black ink. The characters are '吴晓青' (Wu Xiaqing), written in a cursive style. The signature is positioned to the right of the official title.

2011年10月

固定污染源烟气排放监测系统 (Continuous Emission Monitoring System, CEMS) 是近年来为适应国家环境管理需要而使用的一种污染物排放连续自动计量仪器, 目前我国 CEMS 的主要监测因子包括烟气中的颗粒物、气态污染物 (SO_2 、 NO_x)、烟气参数 (烟气温度、湿度、压力、流速、氧含量)。在美国、欧盟、日本等国家, CEMS 作为一种成熟、可靠的仪器已经基本可以完全替代手工监测, 与之配套的法律法规和技术规定也较全面。在我国, 2003 年 7 月和 2004 年 1 月实施的《排污费征收使用管理条例》和《火电厂污染物排放标准》(GB 13223—2003) 中均提出必须安装 CEMS, 并规定 CEMS 数据作为执法的依据。2005 年 11 月 1 日国家环保总局发布《污染源自动监控管理办法》(国家环保总局令第 28 号), 规定污染源自动监控设备是污染防治设施的组成部分, 经验收合格并正常运行的 CEMS 数据可作为环保部门进行排污申报核定、排污许可证发放、总量控制、环境统计、排污费征收和现场环境执法等环境监督管理的依据。

“十一五”初期, 《国家中长期科学和技术发展规划纲要 (2006—2020 年)》明确指出“改善生态与环境是事关经济社会可持续发展和人民生活质量提高的重大问题”, 因此国家环保“十一五”规划规定了固定污染源排放废气二氧化硫排放量在“十五”的基础上削减 10% 的总量减排指标。2006 年年底为满足和配合减排工作需要, 环境保护部组织修订颁布了《固定污染源烟气排放连续监测技术规范》(试行) (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检测方法》(试行) (HJ/T 76—2007) 两项标准, 对 CEMS 系统仪器性能以及在污染源现场的安装、调试和验收、运行等进行了初步规范。在上述两个标准的指导下, “十一五”期间, 我国烟气 CEMS 行业迅速发展起来, 生产销售和安装使用的烟气 CEMS 仪器数量大大超过“十五”, 全国各省绝大部分“国控”和“省控”废气污染源均安装了 CEMS, 并通过了调试和验收; 同时国产化的 CEMS 仪器设备技术水平逐步成熟稳定。这是我国污染源在线监测技术和仪器大踏步高速成长的五年。

进入“十二五”以来, 我国《十二五规划纲要》指出要“推进火电、钢铁、有色、化工、建材等行业二氧化硫和氮氧化物治理, 强化脱硫脱硝设施稳定运行”。环保部进而制定了我国“十二五”废气排放主要污染物二氧化硫和氮氧化物继续实行总量减排控制的政策

措施。伴随着“十一五”污染治理和监测取得的巨大成绩，“十二五”污染源 CEMS 现场监测面临着更多更艰巨的难题。首先，脱硫脱硝设施的逐步投运导致污染源排放颗粒物和 SO_2 、 NO_x 等气态污染物的浓度逐步降低，这对 CEMS 仪器的检测灵敏度和检出限等均提出了更高的要求，原有一些仅能测量高浓度污染物和测量过程造成污染物损失较大的 CEMS 系统将逐步淘汰；其次，一些较先进的脱硫脱硝技术导致污染源排放烟气环境条件较以前更为恶劣，例如湿法脱硫、除尘治理后往往烟气湿度较高，烟气 CEMS 需要在低温、高湿和强腐蚀性条件下进行连续自动监测，这对 CEMS 仪器的材质选择和测量的长期稳定可靠程度均是严峻的考验；再次，为了适应污染源新的排放状况和浓度，一些 CEMS 新技术也逐步由国外引入国内，例如颗粒物的前向散射测量技术、气态污染物的全高温红外和傅里叶红外监测技术等，这些新技术为我国国产化仪器的技术提升创造了条件，同时也是摆在 CEMS 仪器适用性检测、性能监督及数据质控等单位面前的新课题；然而，随着一些先进的污染治理设施的使用，污染源现场环境条件发生了较大变化，CEMS 原有的安装、调试、验收、运行维护和监督考核等各个环节的质控措施和规定已经不能完全满足环境监管工作的需要，迫切需要制定新的质控标准对 CEMS 现场安装、操作和运行、质控进行规范，指导 CEMS 的日常维护管理；最后，“十二五”以来，结合环境质量监测管理的需求，一些特殊污染物的连续自动监测如细颗粒物（ $\text{PM}_{2.5}$ ）、挥发性有机物（VOCs）、汞（Hg）等气态和颗粒态重金属等以及特殊行业的连续自动监测如脱硫、脱硝和垃圾焚烧等已经引起环境管理部门的重视，成为下一步污染源监测关注的重点。因此，我国已经从监测技术研究和监管规范制定两个方面着手开展相关工作，为下一步实施相关环境监管工作奠定基础。

为了有效应对“十二五”污染物连续自动监测所面临的严峻挑战，紧密配合环境保护污染源主要污染物总量减排监测和污染源废气排放监督管理等“十二五”国家环境保护重点工作，同时进一步推动我国国产固定污染源 CEMS 监测仪器技术发展和产业升级，中国环境监测总站组织上海市环境监测中心、湖北省环境监测中心站、北京雪迪龙科技股份有限公司、南京埃森环境技术有限公司、聚光科技（杭州）股份有限公司、河北先河环保科技股份有限公司、安徽蓝盾光电子股份有限公司、北京航天益来电子科技有限公司、武汉市天虹仪表有限责任公司、重庆川仪自动化股份有限公司和北京牡丹联友环保科技股份有限公司等共 12 家单位的有关人员共同编写了《烟气排放连续监测系统（CEMS）监测技术及应用》一书，力争全面系统地介绍固定污染源 CEMS 监测技术的发展现状、趋势及其在污染源现场安装、验收、运行的质控措施和其在不同行业不同环境中的应用技术和特点。

本书由王强、杨凯主编，孙毅、田一平、周刚、钟琪担任副主编，具体分工如下：第 1 章由钟琪、王强、杨凯编写；第 2 章由周刚、王强、杨凯编写；第 3 章由丁长江、宋婷珊、朱伟编写；第 4 章由章曙、董拯、宋婷珊编写；第 5 章由李峰厚、要海东编写；第 6 章由李峰厚、王威、罗四国编写；第 7 章由鲁爱昕、张帅、杨波编写；第 8 章由付斌、柯亮、曹慧

琴、王澎蛟、封沛、李强编写；第9章由柯亮、迟郢、全继宏编写；第10章由叶华俊、齐宇、柯亮、王强编写；第11章由章曙、张杨、董励编写；第12章由孙毅、朱卫东编写；第13章由刘德允、钟琪编写；第14章由朱卫东、赵金宝编写；第15章由齐宇、周刚、邓继编写；第16章由周刚、王齐明编写；第17章由王强、周刚、杨凯编写；第18章由王强、孙毅、周刚编写；第19章由王强、田一平、王向东编写；第20章由王强编写；第21章由郭雪松、梁宵编写；第22章由郭雪松、李铭瑄编写；第23章由范黎峰、李浙英、王强编写；第24章由刘德允、陈莹、王强编写；第25章由崔厚欣、关旭春、王强编写；第26章由崔厚欣、朱吉霞、王强编写；第27章由叶华俊、陈侠胜、姜雪娇、王强编写；全书最后由王强等统稿、定稿。

本书编写和出版得到环境保护部环保公益性行业科研专项“烟气连续监测系统全过程质量控制规范体系研究”项目的大力支持，在此表示衷心感谢。

限于编者水平和时间，本书难免有不妥或疏漏之处，恳请读者批评指正。

编者

2014年7月

第一篇 烟气排放连续监测系统 (CEMS) 概论

第1章 固定污染源废气排放监测

1.1 概述	1
1.1.1 背景和意义	1
1.1.2 固定污染源废气排放现状	2
1.2 固定污染源排放废气污染物的危害	4
1.2.1 常规污染物的主要危害	4
1.2.2 特殊污染物的主要危害	5
1.3 我国污染源废气排放控制和监测技术标准	6
1.3.1 排放控制标准	6
1.3.2 监测技术标准	7

第2章 烟气排放连续监测系统(CEMS)概况

2.1 CEMS 发展概述	9
2.1.1 国外 CEMS 技术发展历程	9
2.1.2 我国 CEMS 应用现状和发展	9
2.2 CEMS 的系统描述和基本组成	10
2.2.1 CEMS 的系统描述	10
2.2.2 CEMS 的基本组成	10
2.3 CEMS 的结构和工作原理	11
2.3.1 颗粒物测量	11
2.3.2 气态污染物测量	12
2.3.3 烟气参数测量	14
2.4 CEMS 仪器性能检测	15
2.4.1 国外检测机构 CEMS 检测情况	15
2.4.2 国内 CEMS 检测情况	16

2.5 CEMS 质量保证和质量控制	16
2.5.1 CEMS 适用性检测	16
2.5.2 CEMS 安装和验收	17
2.5.3 CEMS 运营管理和维护保养	17

第二篇 气态污染物 CEMS 监测技术

第3章 完全抽取式气态污染物CEMS

3.1 概述	20
3.1.1 完全抽取式气态污染物 CEMS 的发展与应用	20
3.1.2 完全抽取式气态污染物 CEMS 的基本组成结构	22
3.2 完全抽取式 CEMS 的分类	24
3.2.1 冷干 CEMS	24
3.2.2 热湿 CEMS	26
3.3 气态污染物 CEMS 常用分析仪器技术	27
3.4 气态污染物 CEMS 的标定技术及影响误差	28
3.4.1 背景气中干扰组分造成的测量误差	28
3.4.2 样品处理过程可能造成的测量误差	30
3.4.3 电源频率变化造成的测量误差	32
3.4.4 环境条件变化造成的影响	32
3.4.5 样品流速变化造成的影响	33

第4章 完全抽取式气态污染物CEMS的样品处理技术

4.1 概述	34
4.1.1 完全抽取式 CEMS 样品处理系统的技术分析	34
4.1.2 抽取式 CEMS 样品处理系统的基本要求与技术组成	35
4.1.3 样品处理系统的基本功能要求	36
4.1.4 样品处理系统的主要技术性能	38
4.2 取样探头	39
4.2.1 CEMS 取样点选择要求	39
4.2.2 CEMS 电加热保温过滤取样探头	40
4.2.3 CEMS 脱硝装置的取样探头	43
4.2.4 带除湿功能的一体化采样探头系统	44
4.2.5 国内外典型的取样探头产品介绍	44
4.3 样品传输管线	45
4.3.1 样品传输基本要求	45
4.3.2 样品传输管线的要求	45
4.3.3 电伴热输送管线	46

4.4	样品除尘技术及除尘过滤器	49
4.4.1	样品除尘要求	49
4.4.2	样品除尘技术	50
4.5	样品除湿器	53
4.5.1	冷凝除湿技术	53
4.5.2	Nafion 管干燥器	57
4.5.3	其他除湿方法工作原理、特点及应用情况	59
4.5.4	除湿技术应用	60
4.5.5	冷凝液的排出	61
4.6	样品取样泵	61
4.6.1	取样泵的分类及应用	61
4.6.2	隔膜泵	62
4.6.3	喷射泵	64
4.6.4	蠕动泵	66
4.7	样品压力、流量调节技术	66
4.7.1	样品流量调节阀件	66
4.7.2	样品流量控制与测量	68
4.7.3	压力调节阀件	69
4.7.4	样品压力测量	70
4.8	样品转换及有害物质处理技术	70
4.8.1	样品转换	70
4.8.2	样品有害物质处理	71
4.8.3	样品系统防腐蚀材料选择	72
4.9	样品处理系统的流程设计与自动控制技术	72
4.9.1	样品处理系统的流程设计要求	72
4.9.2	样品处理系统的流程设计技术	73
4.9.3	样品处理系统的自动控制	75

第5章 稀释抽取式气态污染物CEMS

5.1	概述	77
5.1.1	稀释抽取式气态污染物 CEMS 的发展与应用	77
5.1.2	稀释抽取式气态污染物 CEMS 的基本组成结构	78
5.1.3	稀释抽取式 CEMS 的特点	78
5.2	稀释抽取 CEMS 系统的原理和分类	79
5.2.1	恒流稀释原理	79
5.2.2	稀释抽取系统的分类	80
5.3	稀释抽取 CEMS 系统的仪器分析技术	80
5.3.1	SO ₂ 分析技术及仪器	81
5.3.2	NO _x 分析技术	81

5.4 稀释抽取 CEMS 系统的应用	82
5.4.1 稀释比	82
5.4.2 影响稀释比的因素及其修正	83
5.4.3 稀释抽取系统的误差来源及其修正	84

第6章 稀释抽取式气态污染物CEMS的样品处理技术

6.1 稀释抽取式 CEMS 样品处理技术特点及构成	87
6.2 取样探头	88
6.2.1 探头	88
6.2.2 稀释控制器	90
6.3 样品传输管线	91
6.4 样品除尘技术及除尘过滤器	91
6.5 零空气处理系统	92

第7章 直接测量式气态污染物CEMS

7.1 概述	93
7.1.1 直接测量式气态污染物 CEMS 的发展与应用	93
7.1.2 直接测量式气态污染物 CEMS 的基本组成结构	93
7.1.3 直接测量式气态污染物 CEMS 的特点	96
7.2 常用直接测量式气态污染物分析技术	96
7.2.1 单波长法	96
7.2.2 双波长法	97
7.2.3 差分吸收光谱法 (DOAS)	97
7.2.4 NDIR 气体过滤相关光谱技术	99
7.2.5 可调谐半导体激光吸收光谱技术 (TDLAS)	100
7.3 直接测量式 CEMS 种类	100
7.3.1 探头外置式	100
7.3.2 单光程内置式	101
7.3.3 双光程内置式	102
7.4 现场安装要求	102
7.4.1 一般要求	102
7.4.2 装平台和站房要求	103
7.5 直接测量式气态污染物 CEMS 的典型应用	103
7.5.1 燃煤电厂中的应用	103
7.5.2 水泥厂中的应用	104
7.6 直接测量式气态污染物 CEMS 的测量影响误差	107
7.6.1 背景气中干扰组分造成的测量误差	107

7.6.2	样气流量变化造成的影响	109
7.6.3	电源电压变化造成的测量误差	110
7.6.4	环境温度条件变化造成的影响	111
7.6.5	振动造成的影响	112

第8章 气态污染物CEMS分析技术及应用

8.1	红外吸收光谱气体分析技术	114
8.1.1	红外线的定义	114
8.1.2	红外线气体分析仪的基本原理	114
8.1.3	红外线气体分析仪分类	116
8.1.4	红外线气体分析仪的主要部件	117
8.1.5	红外线气体分析器的应用	128
8.1.6	典型红外线气体分析仪	130
8.2	紫外吸收光谱气体分析技术	135
8.2.1	测量原理	135
8.2.2	类型和特点	136
8.2.3	应用工况选择	138
8.2.4	在CEMS应用中存在的问题	139
8.3	电化学法气体分析技术	140
8.3.1	测量原理	140
8.3.2	类型和特点	141
8.3.3	应用工况选择	145
8.3.4	在CEMS应用中存在的问题	145
8.4	分子发光气体分析技术	147
8.4.1	分子荧光、磷光分析技术的应用领域和技术特点	147
8.4.2	紫外荧光分析仪	148
8.4.3	化学发光分析仪	150
8.5	其他常见气体分析技术	154
8.5.1	双池厚膜氧化锆传感器	154
8.5.2	测量NO _x /O ₂ 系统结构	158

第三篇 颗粒物CEMS监测技术

第9章 颗粒物CEMS概述

9.1	颗粒物排放与监测	160
9.1.1	颗粒物的概念及危害	160
9.1.2	颗粒物的来源与排放监测	160
9.1.3	颗粒物监测技术	161

9.2 颗粒物 CEMS 监测技术分类	161
9.2.1 直接测量式	161
9.2.2 抽取式 β 射线吸收法	163
9.3 颗粒物 CEMS 排放监测的影响因素	163
9.3.1 颗粒物采样点位置的影响	163
9.3.2 湿度对测量的影响	163
9.3.3 振动对测量的影响	163
9.4 颗粒物 CEMS 监测技术的发展和进展	163

第10章 颗粒物CEMS监测技术及应用

10.1 光透射法	165
10.1.1 光透射法的测量原理	165
10.1.2 光透射法的仪器结构和特点	166
10.1.3 光透射法粉尘仪在 CEMS 中的应用	167
10.2 光散射法	168
10.2.1 光散射法的测量原理	168
10.2.2 光散射法的仪器结构和特点	170
10.2.3 光散射法粉尘仪在 CEMS 中的应用	172
10.3 光闪烁法	173
10.3.1 光闪烁法的测量原理	174
10.3.2 光闪烁法的仪器结构和特点	174
10.3.3 光闪烁法粉尘仪在 CEMS 中的应用	175
10.4 接触电荷转移法	176
10.4.1 接触电荷转移法的测量原理	176
10.4.2 接触电荷转移法的仪器结构和特点	177
10.4.3 接触电荷转移法粉尘仪在 CEMS 中的应用	178
10.5 β 射线吸收法	179
10.5.1 β 射线法的测量原理	179
10.5.2 β 射线法的仪器组成和特点	180
10.5.3 β 射线法粉尘仪在 CEMS 中的应用	181
10.6 不同监测技术之间的比较	181
10.7 高湿低浓度颗粒物连续自动监测技术	182

第四篇 烟气参数 CMS 监测技术

第11章 烟气参数CMS概述

11.1 烟气参数监测的目的和作用	184
11.1.1 烟气参数监测的目的	184

11.1.2	烟气参数监测的意义	185
11.2	烟气参数监测技术	185
11.2.1	烟气湿度的在线监测技术概述	186
11.2.2	烟气流量的在线监测技术	187
11.2.3	烟气中含氧量的在线监测技术	187
11.3	烟气参数监测的技术要求	188
11.3.1	流速连续测量系统的检测技术要求	188
11.3.2	温度及湿度连续测量系统的检测技术要求	188
11.3.3	烟气氧含量连续测量系统的检测技术要求	188

第12章 烟气温度、压力、流量监测技术

12.1	烟气温度、压力、流量测量技术概况	189
12.1.1	烟气温度、压力的测量技术	189
12.1.2	烟气流量的测量技术	189
12.2	压差法流速测量仪	191
12.2.1	S型皮托管流速仪	191
12.2.2	阿牛巴皮托管流速仪	193
12.2.3	双支路多测点皮托管流速仪	194
12.2.4	插入式威尔巴流量计	195
12.2.5	风速测量装置	196
12.3	超声波流速测量仪	197
12.3.1	时差法超声波流量计的测量原理	197
12.3.2	超声波流量计的超声换能器	198
12.3.3	探头式超声波流量计介绍	198
12.4	热平衡法流速测量仪	200
12.4.1	热平衡法流速仪的测量原理	200
12.4.2	热平衡法流速仪的结构特点与产品介绍	201
12.4.3	热平衡法均速管流量计	203
12.5	其他流速测量仪及主要流速测量技术比较	205
12.5.1	红外线法	205
12.5.2	声波法	205
12.5.3	靶式流量计法	206
12.5.4	光闪烁法	206
12.5.5	主要流速监测技术比较	207

第13章 烟气湿度监测技术

13.1	烟气湿度监测技术概况	209
13.1.1	湿度的定义及其表示方法	209

13.1.2	烟气湿度的在线测量技术	210
13.2	电容法湿度传感器测量技术	210
13.2.1	电容式湿度传感器测量法原理	210
13.2.2	阻容式湿度传感器测量的结构与应用	211
13.3	干湿氧法湿度测量技术	213
13.3.1	干湿氧法湿度测量原理	213
13.3.2	干湿氧法湿度测量技术的应用	213
13.4	其他湿度测量技术	214
13.4.1	激光光谱法湿度测量技术	214
13.4.2	红外光度法湿度测量技术	216
13.4.3	干/湿温度法湿度测定技术	216
13.5	烟气湿度仪的校准技术	217
13.5.1	烟气湿度仪的校准要求	217
13.5.2	烟气湿度仪的校准装置	217
13.5.3	标准湿度仪	218

第14章 烟气含氧量监测技术

14.1	烟气含氧量测量技术概况	221
14.1.1	烟气含氧量测量的目的	221
14.1.2	烟气氧含量测量技术	221
14.2	氧化锆法氧分析仪	222
14.2.1	氧化锆法氧分析仪的测量原理	222
14.2.2	氧化锆探头的理论电势输出	222
14.2.3	直插式氧化锆氧分析器	224
14.2.4	抽取式氧化锆氧分析器	224
14.3	燃料电池式氧分析器	224
14.3.1	碱性燃料电池氧传感器	224
14.3.2	酸性燃料电池氧传感器	225
14.4	顺磁式氧分析仪	226
14.4.1	磁力机械式氧分析器结构原理及产品介绍	226
14.4.2	磁压式氧分析器的结构原理及产品介绍	227
14.4.3	顺磁式氧分析仪的误差分析	230

第五篇 数据采集处理和传输系统技术

第15章 CEMS数据采集和传输系统

15.1	DAS系统概述	232
15.1.1	DAS系统结构示意图	232