

易江 梁永 李虹杰 主编

# 固定源排放废气 连续自动监测

(第二版)



 中国标准出版社

# 固定源排放废气连续自动监测

—— (第二版) ——

易江 梁永 李虹杰 主编

中国标准出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书在作者多年工作的基础上,从实际出发,全面、系统地论述了大气固定污染源排放废气连续监测的基本原理,介绍了安装连续排放监测系统监测大气固定污染源排放废气的规则,以及大气污染物的连续测量方法和仪器技术指标要求及适用性检测、调试检测、技术验收检测和参比方法比对检测以及数据有效性审核,同时列举了实例;编辑了多个国家和标准化组织发布的有关大气固定污染源排放污染物的参比方法和连续监测方法标准的目录;建议了选购连续排放监测系统的评估程序;提供了维护和排除连续排放监测系统故障保证系统正常运行的方法和维护、维修、更换、移动、拆出系统部件或系统后必须执行的诊断检测和重新认证检测及质量保证和质量控制措施。本书是一部实用性很强的工具书。

本书可供从事连续排放监测系统操作、维护、运营,环境监测,污染治理,仪器设计工程技术人员,环境管理部门干部,高等院校有关专业师生使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

固定源排放废气连续自动监测/易江,梁永,李虹杰主编.

—2版. —北京:中国标准出版社,2010(2010.12重印)

ISBN 978-7-5066-5988-8

I. ①固… II. ①易…②梁…③李… III. ①固定污染源-有害气体-环境监测 IV. ①X831

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 188079 号

中国标准出版社出版发行  
北京复兴门外三里河北街16号

邮政编码:100045

网址 [www.spc.net.cn](http://www.spc.net.cn)

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

\*

开本 787×1092 1/16 印张 44.75 字数 1 077 千字

2010年11月第二版 2010年12月第四次印刷

\*

定价 90.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68533533

## 编委会名单

主 编 易 江 梁 永 李虹杰

副 主 编 孙海林 田一平

编 委 (按姓氏笔画排列)

王齐鸣 王昕竑 田一平

孙海林 李巨峰 李虹杰

佟彦超 易 江 梁 永

# 前 言

## （第二版）

本书第一版于2009年10月出版,适逢环境保护部在武汉召开全国环境系统主管环境监测处长会议,会议要求2010年在全国举办“国家重点监控企业污染源自动监测数据有效性审核”培训班,在这次会议上有幸将本书提供给与会的代表。作为本书的作者能及时为固定污染源排放污染物的连续排放监测尽力感到很欣慰。

本书第一版关注的是国家实行总量控制的颗粒物和 $\text{SO}_2$ 以及 $\text{NO}_x$ 等气体污染物。近年来,由于我国加大了燃煤固定污染源脱硫的投资及 $\text{SO}_2$ 和 $\text{NO}_x$ 排放的监管力度, $\text{SO}_2$ 和 $\text{NO}_x$ 的排放得到了较好的监控,越来越多的固定污染源安装了 $\text{SO}_2$ 和 $\text{NO}_x$ 连续排放监测系统,连续监控治理设施的运行状况、污染物的排放,为总量考核、监督执法、排污申报核定等工作提供基础数据。然而继燃煤产生二氧化硫污染之后,燃煤产生的汞污染又成为一大污染问题。燃煤所引起的汞污染是我国人为排放汞的主要污染源之一。连续监控燃煤排放的汞是摆在我们面前的又一个亟待解决的课题。由于汞对人体健康和自然环境的危害,在具备条件的工业发达国家已经开展了燃煤电厂、城市生活垃圾焚烧和医疗垃圾焚烧排放汞的连续监测。

我国是汞的生产和消费大国,几乎存在联合国环境规划署《汞排放定量定性估算工具包》中所有大类和小类汞排放源,汞污染不仅数量大,而且影响面广,涉及发电、采矿、钢铁、有色、水泥和化工等国家支柱产业。其中有色金属冶炼和燃煤是排放到大气中的汞的主要污染源。为了解、学习和增强对连续监测汞的技术和方法的认识,引起对连续监测汞的足够重视,为今后开展连续监测工作奠定基础,本书第二版增加了“总气态汞排放连续监测”一章,较全面地介绍了汞的

性质和种类、来源及危害、排放限值和监测、分析技术、监测系统性能技术指标及检测；此外，我国已安装万余套连续排放监测系统（CEMS），保证 CEMS 的正常运行，提供用于计算污染物排放数量、确定达标排放、总量考核、监督执法和排污申报核定等的有效数据，进入关键时期众人瞩目。因此，在“连续排放监测系统的维护和故障排除”章节增加了较大篇幅的内容。

由于编者水平有限，不足之处诚恳希望得到读者的批评指正。

编 者

2010 年 8 月于北京

# 前 言

(第一版)

1996年《火电厂大气污染物排放标准》要求在锅炉净化设施后安装连续排放监测系统;同年,工程院院士魏复盛先生邀请美国环境保护署大气研究与暴露评价中心鲍志明博士来华讲学并介绍美国环境系统公司(ESC)的产品,在青岛市环境保护局于所亭先生的大力支持下,于当年在山东黄岛电厂安装了ESC后散射颗粒物排放连续监测系统;1996年国家科委下达了“九五”攻关课题“污染物总量控制监测系统关键技术研究(96-911-05-04)”;由中国环境监测总站承担“烟尘、烟气SO<sub>2</sub>排放总量监测技术研究”子课题;从1996年至1999年在青岛崂山应用技术研究所、武汉市天虹仪表有限责任公司、青岛市环境监测站的鼎立相助以及山东黄岛电厂和上海石洞口电厂的密切配合下,先后在两厂按照国际标准和美国环境保护署(U. S. EPA)的标准程序对后散射颗粒物、稀释探头SO<sub>2</sub>荧光、NO<sub>x</sub>化学发光、完全抽取非分散红外SO<sub>2</sub>连续排放监测系统进行了性能评估和建立颗粒物排放连续监测系统的校准曲线;此外,在试验中发现某截面烟气的平均流速与烟道某一点的平均流速之比,即速度场系数是一比较稳定的数值,利用此,只要测得某一点的平均流速即可算出截面的平均流速和流量,并根据在线监测浓度,监测出排放总量。

作为“污染物总量控制监测系统关键技术研究”课题的延伸,在利用课题获得数据和参考国外相关标准的基础上,编制了环境保护行业标准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》。推动了我国连续排放监测系统产业的发展。

鉴于烟尘、烟气连续排放监测系统发展迅速、应用越来越广泛,

需要系统介绍有关这方面的知识,为此编著了《固定源排放废气连续自动监测》一书,以进一步促进连续排放监测系统的发展和正确地应用。

感谢直接参与、关心和支持大气固定源排放废气连续监测事业的同仁。由于编者的学识有限,加之新的技术和新的方法不断涌现,本书难免有不妥、甚至错误之处,望读者不吝赐教。

编 者

2009年8月于北京

# 目 录

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 第一章 连续排放监测概况 .....           | 1  |
| 第一节 概述 .....                 | 1  |
| 第二节 CEMS 的组成和描述 .....        | 2  |
| 第三节 CEMS 的分类 .....           | 3  |
| 第四节 CEMS 的分析技术 .....         | 6  |
| 第五节 数据采集与处理系统 .....          | 8  |
| 第六节 质量保证和质量控制 .....          | 8  |
| 第七节 CEMS 的管理 .....           | 9  |
| 第八节 CEMS 的产品、应用和作用 .....     | 12 |
| 第二章 连续排放监测规则 .....           | 17 |
| 第一节 概述 .....                 | 17 |
| 第二节 安装 CEMS 的规定 .....        | 17 |
| 第三节 安装 CEMS 实施 CEM 的规则 ..... | 21 |
| 第三章 连续排放监测分析方法 .....         | 51 |
| 第一节 概述 .....                 | 51 |
| 第二节 光的特性 .....               | 52 |
| 第三节 光的吸收定律 .....             | 56 |
| 第四节 光电分析仪的主要器件 .....         | 57 |
| 第四章 连续排放监测标准及相关标准 .....      | 60 |
| 第一节 概述 .....                 | 60 |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 第二节 标准方法的选择和应用 .....        | 61         |
| 第三节 大气固定污染源监测标准和仪器标准 .....  | 61         |
| <b>第五章 不透明度排放连续监测 .....</b> | <b>80</b>  |
| 第一节 概述 .....                | 80         |
| 第二节 不透明度测定仪的设计和性能技术要求 ..... | 84         |
| 第三节 不透明度测定仪的性能技术指标检测 .....  | 88         |
| 第四节 不透明度测定仪的安装 .....        | 97         |
| 第五节 不透明度测定仪 .....           | 99         |
| 第六节 质量保证 .....              | 108        |
| 第七节 计算 .....                | 110        |
| 第八节 校准误差测量实例 .....          | 113        |
| <b>第六章 颗粒物排放连续监测 .....</b>  | <b>115</b> |
| 第一节 概述 .....                | 115        |
| 第二节 颗粒物浓度监测方法 .....         | 127        |
| 第三节 颗粒物 CEMS 的选择 .....      | 139        |
| 第四节 颗粒物 CEMS 性能和技术指标 .....  | 141        |
| 第五节 颗粒物 CEMS 的安装 .....      | 151        |
| 第六节 颗粒物排放连续监测的采样问题 .....    | 153        |
| 第七节 颗粒物 CEMS 的相关校准 .....    | 156        |
| 第八节 计算 .....                | 168        |
| <b>第七章 二氧化硫排放连续监测 .....</b> | <b>176</b> |
| 第一节 概述 .....                | 176        |
| 第二节 抽取监测气体 CEMS .....       | 183        |
| 第三节 抽取监测气体 CEMS 分析技术 .....  | 208        |
| 第四节 直接监测气体 CEMS .....       | 230        |
| 第五节 直接监测气体 CEMS 分析技术 .....  | 231        |

|                                                                                                 |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 第六节 抽取监测系统和直接监测系统特性的比较 .....                                                                    | 240        |
| 第七节 仪器校准 .....                                                                                  | 242        |
| 第八节 气体(SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、CO <sub>2</sub> 、O <sub>2</sub> 等)CEMS的性能技术指标及检测 ..... | 250        |
| <b>第八章 氮氧化物排放连续监测 .....</b>                                                                     | <b>265</b> |
| 第一节 概述 .....                                                                                    | 265        |
| 第二节 分析技术 .....                                                                                  | 271        |
| 第三节 与技术相关的说明 .....                                                                              | 275        |
| 第四节 实例 .....                                                                                    | 275        |
| <b>第九章 一氧化碳排放连续监测 .....</b>                                                                     | <b>279</b> |
| 第一节 概述 .....                                                                                    | 279        |
| 第二节 分析技术 .....                                                                                  | 283        |
| 第三节 与技术相关的说明 .....                                                                              | 283        |
| <b>第十章 氯化氢排放连续监测 .....</b>                                                                      | <b>284</b> |
| 第一节 概述 .....                                                                                    | 284        |
| 第二节 分析技术 .....                                                                                  | 288        |
| 第三节 与技术相关的说明 .....                                                                              | 299        |
| <b>第十一章 氟化氢排放连续监测 .....</b>                                                                     | <b>300</b> |
| 第一节 概述 .....                                                                                    | 300        |
| 第二节 分析技术 .....                                                                                  | 303        |
| 第三节 与技术相关的说明 .....                                                                              | 304        |
| <b>第十二章 VOCs 排放连续监测 .....</b>                                                                   | <b>305</b> |
| 第一节 概述 .....                                                                                    | 305        |
| 第二节 分析技术 .....                                                                                  | 309        |

|                                        |     |
|----------------------------------------|-----|
| 第十三章 总气态汞排放连续监测 .....                  | 319 |
| 第一节 概述 .....                           | 319 |
| 第二节 分析技术 .....                         | 338 |
| 第三节 Hg STMS 和 Hg CEMS 的性能技术指标及检测 ..... | 366 |
| 附件 1 吸附管采样系统(吸附管法)运行前的检测/检查 .....      | 387 |
| 附件 2 Hg 测量系统(仪器法)运行前的检测/检查 .....       | 392 |
| 附件 3 Hg STMS 性能技术指标的现场评估 .....         | 398 |
| 附件 4 Hg CEMS 性能技术指标的现场评估 .....         | 404 |
| 第十四章 氧气和含湿量连续监测 .....                  | 411 |
| 第一节 概述 .....                           | 411 |
| 第二节 氧气的分析技术 .....                      | 412 |
| 第三节 含湿量的分析技术 .....                     | 416 |
| 第十五章 烟气流速(流量)连续监测 .....                | 421 |
| 第一节 概述 .....                           | 421 |
| 第二节 监测方法 .....                         | 422 |
| 第三节 技术指标的比较 .....                      | 430 |
| 第四节 安装和测量位置的要求 .....                   | 433 |
| 第五节 技术指标的检测 .....                      | 436 |
| 第六节 测量的误差及消除 .....                     | 438 |
| 第七节 监测技术的应用与比较 .....                   | 441 |
| 第八节 计算 .....                           | 444 |
| 第九节 流速 CMS 数据的校准 .....                 | 445 |
| 第十六章 连续排放监测数据采集处理系统 .....              | 451 |
| 第一节 概述 .....                           | 451 |
| 第二节 控制器 .....                          | 451 |

|                                                                       |            |
|-----------------------------------------------------------------------|------------|
| 第三节 功能 .....                                                          | 454        |
| 第四节 误差来源 .....                                                        | 467        |
| 附件 1 烟气排放连续监测小时平均值日报表 .....                                           | 471        |
| 附件 2 烟气排放连续监测日平均值月报表 .....                                            | 471        |
| 附件 3 烟气排放连续监测月平均值季报表 .....                                            | 472        |
| 附件 4 烟气排放连续监测月平均值年报表 .....                                            | 473        |
| <b>第十七章 连续排放监测系统适用性检测 .....</b>                                       | <b>474</b> |
| 第一节 概述 .....                                                          | 474        |
| 第二节 适用性检测和适用性复查检测 .....                                               | 476        |
| 附件 1 委托检测单 .....                                                      | 509        |
| 附件 2 检测项目、检测仪和排放源等基本情况调查表 .....                                       | 510        |
| 附件 3 现场检测方案(实例) .....                                                 | 511        |
| 附件 4 检测报告 .....                                                       | 520        |
| 附件 5 标准污染物、非标准污染物和金属以及辅助参数 CEMS/CMS 目前的部分<br>种类和参比监测时所用的手工和仪器方法 ..... | 524        |
| <b>第十八章 连续排放监测系统选购安装调试及验收 .....</b>                                   | <b>541</b> |
| 第一节 概述 .....                                                          | 541        |
| 第二节 重点考虑的因素 .....                                                     | 541        |
| 第三节 评估 CEMS 的程序 .....                                                 | 542        |
| 附件 CEMS 的费用评估 .....                                                   | 570        |
| <b>第十九章 连续排放监测系统的维护和故障排除 .....</b>                                    | <b>576</b> |
| 第一节 概述 .....                                                          | 576        |
| 第二节 维护的类型 .....                                                       | 578        |
| 第三节 预防性维护——日常检查 .....                                                 | 580        |
| 第四节 预防性维护——定期检查 .....                                                 | 583        |
| 第五节 纠正性维护——排除故障 .....                                                 | 604        |

|                                                                                                   |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 第六节 抽取监测系统的维护 .....                                                                               | 615        |
| 第七节 直接监测系统的维护 .....                                                                               | 621        |
| 第八节 维护的记录 .....                                                                                   | 626        |
| 第九节 更换、升级与停用 .....                                                                                | 627        |
| <b>第二十章 连续排放监测的质量保证和质量控制 .....</b>                                                                | <b>631</b> |
| 第一节 概述 .....                                                                                      | 631        |
| 第二节 QA/QC 的要求 .....                                                                               | 632        |
| 第三节 QA/QC 的目的和数据质量目标 .....                                                                        | 634        |
| 第四节 QA/QC 的职责 .....                                                                               | 637        |
| 第五节 CEMS 的 QA/QC 的三个阶段 .....                                                                      | 638        |
| 第六节 CEMS 的质量保证要求 .....                                                                            | 653        |
| 附件 1 颗粒物 CEMS 质量保证要求 .....                                                                        | 654        |
| 附件 2 气体 CEMS 质量保证要求 .....                                                                         | 663        |
| 附件 3 流速 CMS 质量保证要求 .....                                                                          | 672        |
| 附件 4 烟气 CEMS 在定期校准、校验和审核检查期间失控的判别标准 .....                                                         | 679        |
| 附件 5 CEMS 零点漂移质量控制 .....                                                                          | 681        |
| 附件 6 CEMS 量程漂移质量控制 .....                                                                          | 682        |
| <b>参考文献 .....</b>                                                                                 | <b>683</b> |
| <b>附录 烟气参数的测定和计算,颗粒物、气态污染物浓度和排放速率、累积排放量<br/>及 <math>EL_s</math> 转换值 <math>EL</math> 的计算 .....</b> | <b>696</b> |

# 第一章 连续排放监测概况

## 第一节 概 述

1973 年,我国首次发布大气固定源(排放源)排放污染物限值标准(GBJ 4—1973《工业“三废”排放试行标准》)。从此,开始了有排放限值标准可遵循的排放源排放污染物的监测。从1973 年至 1995 年,规则要求用手工方法(含便携式仪器)进行监测。众所周知,手工方法监测排放源排放的颗粒物或气态污染物,必须将采样探头插入烟道,抽取样品气体,如:颗粒物被抽取到滤筒内或抽取气态污染物并溶于吸收液,然后把样品送回实验室,在规定的时间内完成分析,如:称量或比色分析等。抽取烟气样品时,要求排放源的运行要达到规定的负荷,如:锅炉额定负荷的 75%。尽管手工采样方法是经典的方法,但是它消耗时间长、费事,既不能及时地提供测试数据,又不能长期地、连续地、系统地提供测试数据。在规定运行负荷下的测试结果不能代表排放源在全部运行条件下的污染物排放,排放源的控制装置也可因要避免测试时出现污染物超标排放而调试到与平常运行不同的状态,因而,缺乏代表性。

为了控制大气污染物排放,改善环境空气质量和加强环境监督管理,1996 年我国发布了《火电厂大气污染物排放标准》,首次要求在发电锅炉净化设施后安装连续排放监测系统(CEMS)。至此,连续排放监测(CEM)提到议事日程上来。随电力行业之后,建材行业、冶金行业、化工行业、城市公共事业行业(垃圾、危险废物焚烧)和大于或等于 20 t/h 的蒸气锅炉均要求安装 CEMS。

CEMS 的发生和发展历经了 40 多年。20 世纪 60 年代,在美国最初尝试用发光法-环境空气分析仪和红外法-过程控制仪连续监测排放源排放的气态污染物。由于与环境空气分析仪配套的稀释系统用转子流量计控制稀释比和抽取气体的流量,因稀释比和抽取流量稳定性差而不成功。虽然,过程控制分析仪适合于监测,也因抽取烟气的探头易于堵塞、输送样品气体的管路的材质和表面吸附测量气体,以及阀门、抽取泵被冷凝的酸性气体腐蚀而仅仅取得有限度的成功。在早期的 CEM 测试技术中,值得一提的是德国的不透明度光学系统和美国的荧光检测技术,为实现烟气 CEM 奠定了技术基础。至 20 世纪 70 年代 CEMS 在使用中遇到的问题逐步得到解决和多种测试技术的发展,为美国在 1971 年提出 CEM 排放源排放污染物和发布及实施新固定源排放标准、酸雨计划等一系列联邦规则提供了技术支持和保障。

2001 年,我国首次发布了连续排放监测系统的技术要求和检测方法标准,使一直停止不前的我国 CEMS 制造业有了长足的进步,改变了在 20 世纪 80 年代末至 20 世纪 90 年代初仅有为数不多的厂家生产不透明度连续排放监测仪的落后面貌。时至今日,在 CEMS 产品的品种、产品质量、产品功能、测量污染物浓度的范围等方面正在达到国外发达国家的制造水平,并结合排放源的实际制造适合在我国排放源上应用的具有特色的监测仪器。

十多年来,我国烟尘、烟气 CEMS 的科研、生产、应用和管理经历了 20 世纪 90 年代的

徘徊。进入 21 世纪后,又经历了引进、消化、提高、自主生产、完善阶段。目前,进入了快速发展、壮大阶段,取得了显著的成绩。尤其是 2001 年苏州全国会议以来,连续排放监测更是有了大的发展。2005 年 10 月,国家环境保护总局在山东济南又召开了全国污染源自动监控工作现场会议,进一步推动了自动监测工作的进步。目前,已初步形成了具有我国特色的连续自动的监测管理和技术体系,正在逐渐形成网络。

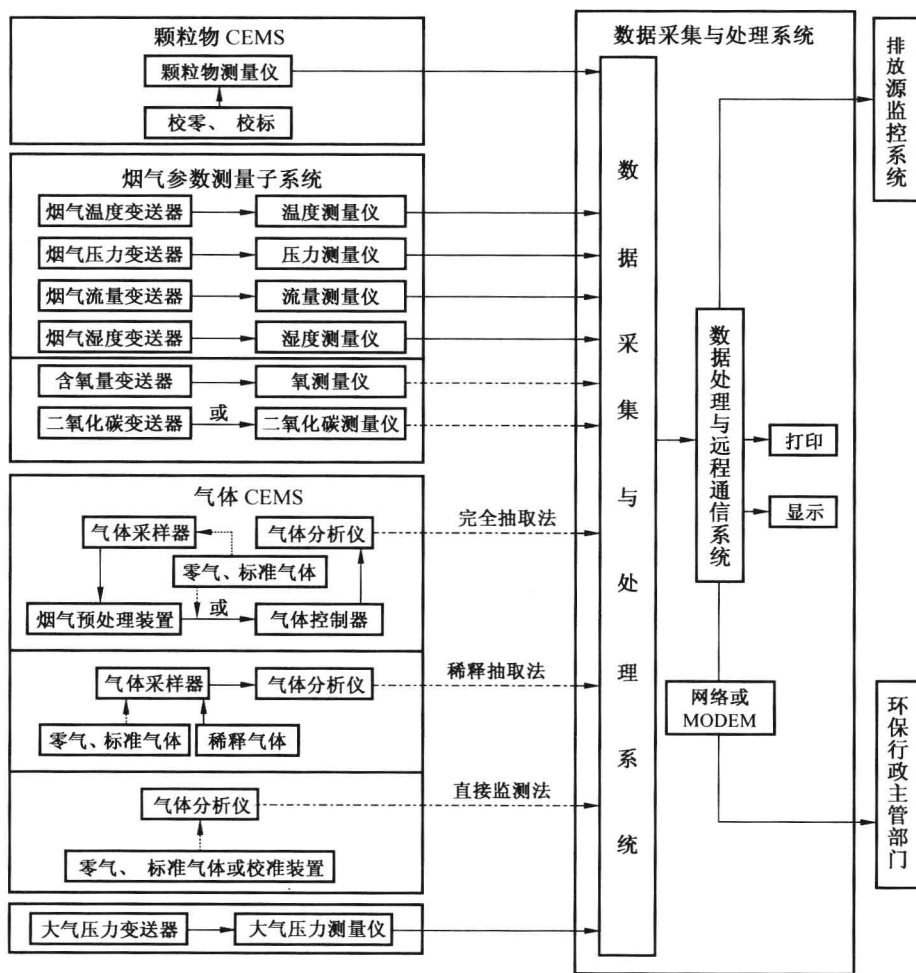
## 第二节 CEMS 的组成和描述

连续排放监测系统是连续测定颗粒物和/或气态污染物浓度和排放速率所需要的全部设备。它是由采样、测试、数据采集与处理三个子系统组成的监测体系。

采样系统:采集、输送烟气或使烟气与测试系统隔离。

测试系统:检测污染物,显示物理量或污染物浓度。

数据采集与处理系统:采集、记录、显示并处理数据,生成图谱、报表、控制自动操作功能。



-----表示任选一种气体参数测量仪和气体 CEMS

图 1-1 烟气排放连续监测系统示意图

采样系统是指分析仪前面的部分,该子系统要根据监测系统的测量原理进行设计。

烟气 CEMS 由颗粒物 CEMS 和/或气体 CEMS(含 O<sub>2</sub> 或 CO<sub>2</sub>)、烟气参数测量子系统组成(见图 1-1 和图 1-2)。通过采样方式和非采样方式,测定烟气中污染物浓度,同时测定烟气温度、烟气压力、流速或流量、烟气含湿量、烟气含氧量(或二氧化碳含量);计算烟气污染物排放速率、排放量;显示和打印各种参数、图表并通过数据、图文传输系统传输至排放源监控系统和管理部门。

系统可分为单独的和综合的系统。单独的系统为:颗粒物测试系统与流速连续测量系统(CMS)以及烟气参数(氧、温度、压力、含湿量)连续测量系统(CMS)组成的 CEMS;气体测试系统与流速以及烟气参数(氧、温度、压力、含湿量)CMS 组成的 CEMS。综合的系统为:颗粒物测试系统、气体测试系统与流速以及烟气参数(氧、温度、压力、含湿量)CMS 组成的 CEMS。

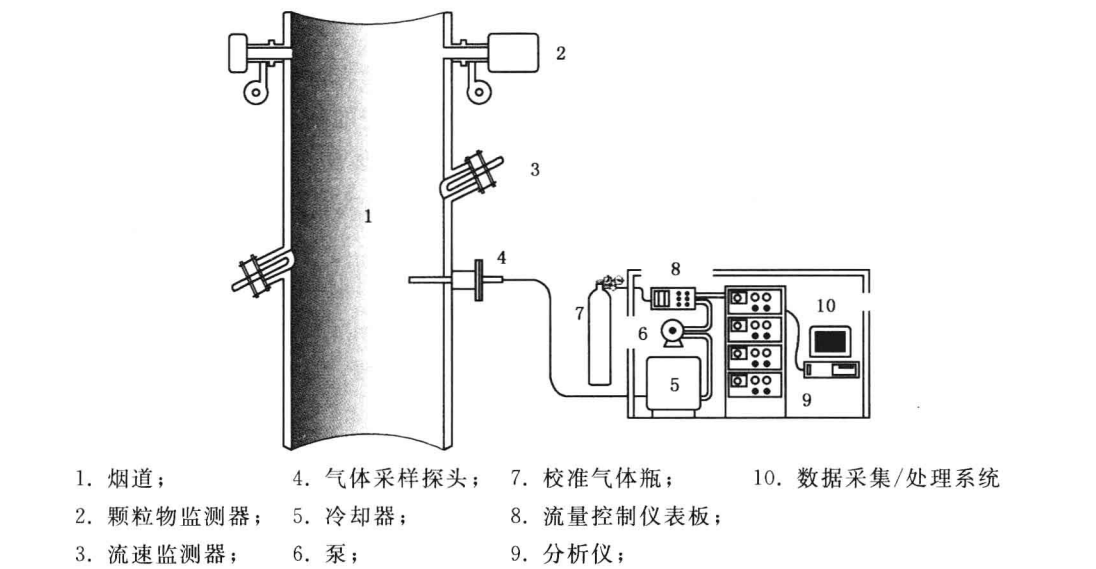


图 1-2 典型的 CEMS

### 第三节 CEMS 的分类

一般而言,CEMS 可分成四类:抽取监测系统、直接(in-situ)监测系统、遥感系统和参数\*监测系统。分类情况见表 1-1。

表 1-1 连续排放监测系统分类

| 抽取监测系统                                                        | 直接监测系统                      | 遥感系统 | 参数监测系统          |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------------|------|-----------------|
| 完全抽取<br>测定排放源未经稀释气体中<br>污染物浓度<br>(冷/干烟气或热/湿烟气)<br>(通用型或紧密结构型) | 直接在排放源烟道中<br>测量污染物浓度<br>点测量 | 发射光  | 参数数据<br>替代排放物数据 |