

(苏)新登字第 010 号

内 容 提 要

流态化技术是最近几十年里兴起的一项新技术,已广泛应用于固体燃料的燃烧、煤炭的气化与焦化、固体物料的输送、化工生产中的气固相催化反应、物料干燥、加热与冷却、石油裂解、冶金、环保等领域,而且其应用领域还在不断扩大。本书简要介绍了该技术的发展过程,从流态化床的流动特性、传热特性上介绍流态化的基本原理,从煤燃烧及其它领域两个方面介绍该技术的应用情况。本书可作为大、中专院校师生的教学参考书,也可供有关工程技术人员参考。

责任编辑 马跃龙

技术设计 关湘雯

流态化原理及其应用

黎强 邱宽嵘 丁玉 编著

中国矿业大学出版社出版发行

(地址:江苏徐州翟山 221008)

新华书店经销 江苏赣中印刷厂印刷

开本 787×1092 毫米 1/32 印张 9.75 字数 210 千字

1994 年 12 月第 1 版 1994 年 12 月第 1 次印刷

印数 1~1000 册

ISBN 7-81040-279-X

TB·2

定价:9.80 元

前 言

环境保护已被列为我国的一项基本国策,国家对环境保护工作已越来越重视,广大人民群众的环境意识提高了,他们要求一个良好的生活环境质量。当今全国大部分城市大气环境污染还相当严重,要在发展经济的同时,改善大气环境质量,防治大气污染,保护人民健康,必须对占大气污染负荷70%以上的几十万台锅(窑)炉加强监测与管理。国家环境保护局制定了“工业污染源监测管理办法”,明确了对锅(窑)炉实行年检,同时,修订了相应的排放标准与测试方法。

为了适应监测与管理的需要,我们编写了《锅(窑)炉运行管理及测试技术实用手册》,为环境监督、管理提供服务。

本书的特点是理论与实践相结合,既有基础理论的论述,又有实践经验的总结;既有操作方法,还有测试实例,深入浅出,便于理解,并介绍了一些新方法,如烟尘测试中,测孔密封、采样支架固定、滤筒存放等质控技术;在消烟除尘方法中,介绍了蒸汽喷射助燃技术,燃煤添加剂等燃烧实用新技术。

本书编写的目的是:使锅(窑)炉司炉人员如何烧好炉,测试人员如何按规范测好数据并做好综合分析。本书主要提供给普通测试人员应用,为提高大气环境质量,节约能源作出贡献。

本书可做为各级环保监测、科研、热工测试与管理人员,企、事业单位锅(窑)炉管理干部与司炉人员的工具书。对锅(窑)炉监测仪器研制、生产单位、锅炉、除尘器生产厂家也有一定的参考单位。

由于我们经验不足,水平有限,难免有不少错误或缺点,望读者多多指正。

刘全义

1993.8.1

《锅（窑）炉运行管理及测试技术实用手册》

编写人员名单

主 编：何兆德 张长春

编 著：柳忠义 杨红旗 方世斌 周 志 杜 刚
韩志远 鲁海涛 杨丽娟 孙 平 王春江
刘文立 孙玉武

主 审：刘全义

目 录

第一篇 锅炉与窑炉

第一章 基本知识	(1)
第一节 锅炉常用物理量简介.....	(1)
一、温度.....	(1)
二、压力.....	(1)
三、比容、密度	(2)
四、热量、比热	(3)
五、热焓.....	(4)
六、蒸发量出力	(4)
七、蒸发率.....	(5)
八、煤水比.....	(6)
第二节 水和水蒸气的性质.....	(6)
第三节 燃料和燃烧.....	(7)
一、煤的主要成分	(7)
二、煤的分类.....	(7)
三、煤的燃烧.....	(10)
第二章 锅炉	(12)
第一节 概述.....	(12)
第二节 锅炉的分类.....	(12)
第三节 锅炉参数.....	(13)
一、出力.....	(13)
二、压力.....	(14)
三、温度.....	(14)
第四节 锅炉系列与型号.....	(15)
一、锅炉的参数系列	(15)
二 锅炉型号	(16)
三、锅炉型号举例	(17)
第五节 锅炉结构	(18)
一、锅炉结构的一般要求.....	(18)
二、锅炉的主要受压元件.....	(18)
三、立式横水管锅炉	(20)
四、立式多横火管锅炉	(20)
五、立式直水管锅炉	(20)

六、立式弯水管锅炉	(21)
七、卧式锅壳锅炉	(22)
八、水管锅炉	(24)
九、新型DZ系列蒸汽、热水锅炉	(28)
第六节 锅炉附属设备	(29)
一、运煤设备	(29)
二、给水设备	(31)
三、通风设备	(34)
四、除尘设备	(35)
第七节 锅炉的附件与仪表	(36)
一、压力表	(36)
二、水位表	(37)
三、安全阀与水封安全器	(37)
四、防爆门	(38)
五、汽、水管道上的主要阀门	(38)
第三章 窑炉	(40)
第一节 概述	(40)
第二节 陶瓷窑	(40)
一、倒焰式方形窑	(41)
二、隧道窑	(41)
第三节 水泥窑	(41)
第四节 玻璃窑	(41)
第五节 冲天炉	(42)
一、炉体结构	(42)
二、工作原理	(43)
三、炉型选择	(43)
第六节 电炉	(44)
第七节 平炉	(44)
一、平炉构造	(44)
二、平炉的工作原理	(45)
三、平炉的特点	(46)
第八节 转炉	(46)

第二篇 司炉实用技术和锅炉运行管理

第一章 司炉实用技术	(48)
第一节 司炉人员职责	(48)
第二节 司炉人员的操作技术	(48)
一、锅炉生火前的检查和准备	(49)
二、锅炉的启动	(50)

三、锅炉的停炉.....	(52)
第三节 锅炉常见事故与处理.....	(54)
一、锅炉缺水事故.....	(54)
二、锅炉满水事故.....	(55)
三、汽水共腾事故.....	(55)
四、离心水泵不上水现象.....	(56)
第四节 燃烧常见事故与处理.....	(56)
一、灭火及煤燃事故与处理.....	(56)
二、炉墙、拱墙崩塌事故.....	(57)
三、炉排事故.....	(58)
四、超压事故.....	(58)
五、受热管损坏事故.....	(59)
六、引、送风机常见事故.....	(59)
第二章 锅炉运行与保养.....	(60)
第一节 锅炉的经济运行.....	(60)
一、锅炉经济运行指标.....	(60)
二、各种燃烧设备的经济运行.....	(61)
第二节 锅炉的保养与检修.....	(65)
一、干法保养.....	(65)
二、湿法保养.....	(65)
三、热法保养.....	(65)
四、检修前的准备工作.....	(66)
五、锅炉的检修.....	(66)
第三节 水处理技术.....	(68)
一、锅炉的炉外水处理.....	(68)
二、锅炉的水垢清洗.....	(70)
第四节 锅炉的清灰.....	(72)
一、常用的清灰方法.....	(73)
二、清灰的注意事项.....	(73)
第五节 锅(窑)炉的消烟除尘.....	(73)

第三篇 锅(窑)炉烟尘、烟气及噪声测试技术

第一章 测试目的、内容和基本要求.....	(75)
第一节 测试目的.....	(75)
第二节 测试内容和方法.....	(75)
第三节 测试人员的配备和要求.....	(75)
第四节 对锅(窑)炉的基本要求.....	(76)
第二章 测试前的准备工作.....	(77)

第一节 概述	(77)
第二节 实验室的准备工作	(77)
一、烟尘测试仪及采样管的准备	(77)
二、皮托管的准备	(78)
三、压力计的准备	(79)
四、滤筒的准备	(80)
五、温度测量仪器的准备	(81)
六、含湿量测量仪器的准备	(81)
七、烟气成分分析仪器的准备	(82)
八、烟气黑度测量仪器的准备	(84)
九、噪声测量仪器的准备	(86)
十、其他准备工作	(87)
第三节 现场准备工作	(87)
一、测试开孔位置的选择	(87)
二、委托单位的准备工作	(88)
第四节 采用平衡型采样管采样的准备工作	(88)
第三章 现场测试	(89)
第一节 断面测点的布置	(89)
一、圆形管道	(89)
二、矩形管道	(90)
三、拱形管道	(90)
四、保证测孔密封	(90)
五、注意事项	(91)
六、保证采样管稳定	(91)
第二节 运行负荷的调试与测定方法	(91)
一、热工况稳定的调整	(91)
二、运行负荷的调整	(92)
三、锅炉运行负荷的测定	(93)
第三节 烟气状态参数的测定	(97)
一、温度测量	(97)
二、压力测量	(97)
三、含湿量测量——干湿球法	(99)
第四节 烟气成分分析	(100)
一、采样	(100)
二、分析	(100)
三、计算	(101)
第四节 烟尘——等速采样	(102)
一、定义	(102)
二、为什么要等速采样	(102)

三、维持等速采样的方法.....	(103)
第五节 预测流速法	(103)
一、原理.....	(103)
二、等速采样流量的计算.....	(103)
三、采样装置	(105)
四、采样步骤	(106)
五、注意事项	(106)
六、适用范围.....	(106)
第六节 皮托管平行采样法.....	(106)
一、原理.....	(106)
二、采样装置.....	(107)
三、采样步骤.....	(107)
四、注意事项.....	(108)
五、适用范围.....	(108)
第七节 静压平衡采样法	(108)
一、原理.....	(108)
二、采样装置	(109)
三、仪器的准备	(109)
四、采样步骤	(109)
五、注意事项	(110)
六、适用范围	(110)
第八节 动压平衡采样法.....	(110)
一、原理.....	(110)
二、采样装置.....	(111)
三、采样步骤.....	(111)
四、注意事项	(111)
五、适用范围.....	(112)
第九节 烟气林格曼黑度观测.....	(112)
一、林格曼烟气浓度图	(112)
二、测烟望远镜和光电测烟仪.....	(112)
第十节 噪声测量(锅炉房).....	(112)
一、测点位置	(112)
二、测量条件	(113)
三、噪声测量.....	(113)
四、计算.....	(113)
第十一节 消烟、除尘性能测试.....	(113)
一、消烟措施性能测试	(114)
二、除尘器性能测试	(114)
第四章 数据整理与计算.....	(115)

第一节 核对现场测试数据	(115)
第二节 有关参数的计算	(115)
一、烟气排放量计算	(115)
二、标干采样体积的计算	(115)
三、烟尘浓度计算	(116)
四、烟尘排放量计算	(116)
第三节 除尘器性能计算	(117)
一、除尘器阻力计算	(117)
二、除尘器漏风率计算	(117)
三、除尘效率计算	(117)
第五章 测试实例	(119)
第一节 锅炉测试实例预测流速法	(119)
一、测试前的准备工作	(119)
二、现场测试	(120)
三、数据整理与计算	(123)
四、除尘器性能计算	(125)
第二节 窑炉测试实例	(125)
一、基本情况	(126)
二、测试前的准备工作	(126)
三、测试开孔位置的确定和断面测点的位置	(126)
四、现场测试	(127)
五、数据处理与计算	(129)
第六章 锅炉测试计算公式中系数的导出	(132)
第一节 圆形管道断面测点距离系数	(132)
一、圆形烟道测点系数确定	(132)
二、断面测点距离的确定	(132)
第二节 烟气流速	(133)
第三节 采样嘴直径	(134)
一、根据整理 (Charles) 定律	(134)
二、采样嘴直径计算公式的确定	(134)
第四节 等速采样流量	(135)
第五节 标准采样体积	(137)
第六节 标干烟气量	(138)
第七章 烟尘分散度和分级除尘效率的测定	(139)
第一节 概述	(139)
一、目的意义	(139)
二、烟尘分散度	(139)
三、尘的分类	(139)
四、尘粒直径的表示方法	(140)

五、尘粒大小的分布	(140)
六、空气动力学直径和斯托克斯直径	(140)
七、烟尘分散度测定方法	(140)
第二节 惯性冲击式尘粒分级仪法	(141)
一、原理	(141)
二、仪器设备	(141)
三、准备工作	(142)
四、采样步骤	(142)
五、样品处理	(143)
六、数据整理与计算	(143)
第三节 测试实例	(143)
一、准备工作(使用WY-1型尘粒分级仪)	(143)
二、现场测试	(144)
三、样品处理	(144)
四、数据整理与计算	(145)
第八章 烟气中二氧化硫检测技术	(149)
第一节 采样	(149)
一、采样原则	(149)
二、采样位置和采样孔	(149)
三、采样装置	(149)
四、采样步骤(用吸收瓶采样)	(151)
第二节 分析(碘量法)	(151)
一、原理	(151)
二、仪器	(152)
三、试剂	(152)
四、样品分析	(153)
第三节 计算	(153)
一、采样体积计算	(153)
二、烟气中二氧化硫浓度计算	(154)
三、二氧化硫排放量的计算	(154)
第四节 测试实例	(154)
一、基本状况	(154)
二、现场采样	(154)
三、测试结果	(154)
四、数据整理与计算	(155)
第九章 燃煤电厂烟尘及二氧化硫测试方法及排放浓度(量)计算	(157)
第一节 烟尘测试方法及排放浓度计算实例	(157)
一、烟尘测试方法	(157)
二、烟尘排放标准计算实例	(157)

第二节 二氧化硫测试方法及排放量计算实例	(158)
一、测试方法	(158)
二、SO ₂ 排放量计算实例	(158)

第四篇 锅(窑)炉热工测试技术

第一章 概述	(175)
第一节 我国工业锅炉概况	(175)
第二节 我国工业窑炉概况	(175)
第三节 开展锅、窑炉热工测试的意义	(175)
第二章 热工基本量的测量	(176)
第一节 温度的测量	(176)
一、液体玻璃温度计	(176)
二、热电偶温度计	(177)
三、热电阻温度计	(178)
四、光学高温计	(179)
第二节 压力的测量	(181)
一、液柱式压力计	(181)
二、弹簧管压力计	(183)
第三节 流量的测量	(184)
一、涡轮流量计	(184)
二、差压式流量计	(187)
三、转子流量计	(191)
四、FLB超声波流量计	(192)
第三章 烟气成分分析	(195)
第一节 烟气的取样	(195)
一、取样点的选择	(195)
二、取样管的选用	(195)
三、烟气取样	(196)
第二节 CO的比长检测管测定	(197)
第四章 燃料的检测	(200)
第一节 煤炭及灰渣的检测	(200)
一、煤样及灰渣样的采集与加工	(200)
二、煤中全水分的测定	(201)
三、煤的工业分析	(202)
四、煤的元素分析	(203)
五、煤的发热量测定方法	(204)
六、燃料基质的换算	(205)
七、炉渣及飞灰含碳量的测定	(206)

八、燃煤量的计算	(206)
九、台秤的校验	(206)
第二节 液体及气体燃料发热量的测定	(207)
一、液体燃料发热量的测定	(207)
二、城市燃气热值测定方法	(207)
第五章 蒸汽湿度的测定	(209)
第一节 氯离子滴定法	(209)
一、氯离子的测定	(209)
二、溶液配制	(210)
三、蒸汽和炉水的取样	(210)
第二节 节流法测量蒸汽的湿度	(212)
第六章 锅炉热工测试技术	(215)
第一节 锅炉热平衡及热效率	(215)
一、锅炉热平衡	(215)
二、锅炉热效率	(215)
第二节 锅炉热工测试的组织及要求	(216)
一、测试准备工作	(216)
二、测试要求	(216)
三、测试数据的处理	(217)
第三节 锅炉热效率的测定方法	(217)
一、正平衡热效率测定法	(217)
二、反平衡热效率测定法	(220)
第四节 测试实例	(222)
一、测试目的	(222)
二、测试的组织	(222)
三、测点的布置与测试仪表	(224)
四、锅炉热工测试数据计算表	(224)
五、测试结果分析	(226)
第七章 工业窑炉热工测试技术	(227)
第一节 工业窑炉热平衡概述	(227)
第二节 工业窑炉热平衡测试项目和热平衡表	(229)
第三节 工业窑炉热平衡测试实例	(231)

第五篇 消烟与除尘

第一章 概述	(237)
第一节 烟尘产生机理及尘的分类	(237)
第二节 烟尘的危害	(237)
第二章 锅炉的消烟技术	(238)

第一节 炉体综合改造	(238)
一、主要技术措施	(238)
二、应用实例	(239)
三、适用范围和注意事项	(239)
第二节 蒸气喷射助燃技术	(240)
一、技术原理	(240)
二、应用实例	(240)
三、适用范围	(241)
第三节 燃煤添加剂	(241)
一、原理	(241)
二、适用范围	(241)
第四节 工业型煤	(242)
一、加工及特点	(242)
二、适用范围	(242)
第五节 简易煤气	(243)
一、工作原理	(243)
二、特点	(243)
三、适用范围	(243)
第六节 不同燃烧方式锅炉的消烟措施	(244)
一、手烧炉	(244)
二、链条炉	(245)
三、往复炉	(246)
四、振动炉	(246)
五、抛煤机炉	(247)
六、沸腾炉	(247)
第三章 锅炉的除尘设备	(249)
第一节 除尘器的分类	(249)
第二节 除尘器的性能评价	(249)
一、除尘器效率	(249)
二、除尘器阻力	(250)
三、烟气处理量及负荷适应性	(251)
四、造价	(251)
五、耐用年限、运行和管理	(251)
第三节 机械除尘器	(253)
一、沉降室	(253)
二、惯性除尘器	(254)
三、旋风除尘器	(254)
第四节 湿式除尘器	(259)
一、旋风水膜除尘器	(259)

二、冲击式除尘机组 (CCJ 型除尘器)	(260)
三、泡沫除尘器 (水筛式除尘器或板式塔)	(261)
四、文丘里除尘器	(261)
五、脱水装置	(262)
第五节 过滤式除尘器	(262)
一、袋式除尘器	(262)
二、颗粒层除尘器	(264)
第六节 电除尘器	(264)
一、电除尘器的分类	(264)
二、电除尘器的结构及工作原理	(265)
三、电除尘器的性能	(266)
第七节 除尘器的选型和维护管理	(266)
一、各种除尘器的一般适用范围	(266)
二、除尘器的选型	(266)
三、除尘器的维护与管理	(267)
第八节 旋风除尘器型式代号的统一编制方法	(268)
第四章 窑炉除尘	(270)
第一节 冲天炉烟气除尘	(270)
一、冲天炉烟气排放特性	(270)
二、冲天炉排烟方式和除尘方法的选择	(270)
第二节 烧结机烟气除尘	(270)
第三节 吹氧炼钢转炉烟气除尘	(271)
第四节 电炉烟气除尘	(271)
一、电炉烟气特性	(271)
二、电炉排烟方式和烟尘净化	(271)
第五节 水泥窑炉烟气除尘	(272)

附 录

一、有关国家标准	(273)
锅炉大气污染物排放标准 GB 13271—91	(273)
锅炉烟尘测试方法 GB 5468—91	(276)
工业炉窑烟尘排放标准 GB 9078—88	(283)
工业炉窑烟尘测试方法 GB 9079—88	(285)
燃煤电厂大气污染物排放标准 GB 13223—91	(292)
工业锅炉热工试验规范 GB 10180—88	(298)
湿式除尘系统测试和评价方法 (试行)	(304)
噪声源声功率级的测定——简易法 GB 3768—83	(320)
二、常用计量单位及其换算	(329)

三、常用数据表	(334)
1. 全国原煤成份表	(334)
2. 每吨燃料燃烧时产生的烟气量	(337)
3. 煤炭燃烧产生的烟气量	(337)
4. 几种燃烧方式锅炉烟尘浓度占灰份的百分比(d_{th})	(338)
5. 各种燃烧方式锅炉的初始排尘浓度	(338)
6. 各种燃料(煤、油、燃料气)污染物的排放量	(339)
7. 空气饱和时水蒸汽压力与含湿量	(339)
8. 烟气中水蒸汽所占体积的计算(干湿球法)	(339)
9. 锅炉热效率	(342)
10. 各种主要燃料的 β 和 RO_{2max} 值	(342)
四、理论计算经验公式	(342)

第一篇 锅炉与窑炉

第一章 基本知识

第一节 锅炉常用物理量简介

锅炉在燃烧和传热过程中的工作物质（又称工作介质），如烟、空气、水、水蒸气等，统称为工质。工质表现在热力现象方面的状况是由各种物理量来表示的，因此，熟悉锅炉常用物理量很有必要。

这里要说明的是，按国家规定，所有物理量都应使用我国法定计量单位，但为了照顾过去习惯用法和便于读者使用，在必要的地方，在法定单位后同时注上非法定单位。

一、温 度

温度是标志物体冷热程度的参数。表示温度高低的尺度叫温度标尺（简称温标），常用的温标有以下三种：

1. 热力学温度 是基本温度，是国际单位制的基本单位，是我国法定计量单位，又称开氏温度，其单位是开尔文，符号是“K”。

2. 摄氏温度 是国际单位制的导出单位，也是我国法定计量单位，是目前国际上比较通用的一种温度，其单位是摄氏度，符号是“℃”。

3. 华氏温度 是英制温度，为英、美等国过去比较通用的温度，是我国非法定计量单位，应停止使用。其单位是华氏度，符号是“°F”。这三种温度的换算关系，见表1-1-1。

二、压 力

压力是指单位面积上受到的垂直作用力。压力的单位是：帕〔斯卡〕，符号是“Pa”。这是我国法定计量单位，是国际单位制的导出单位。锅炉常以兆帕(MPa)为单位，（ $1\text{MPa}=10^6\text{Pa}$ ）。锅炉的压力是由于水受热汽化为蒸气后体积膨胀（在0.1MPa大气压下，1kg水全部蒸发为蒸气，体积膨胀1725倍）所致。

1. 大气压力 是由空气重量产生的。地球上的大气层对地球表面有一定的压力，这个压力就叫大气压力。由试验得知，在海平面上的大气压为760mmHg或 $1.01\times 10^5\text{Pa}$ ，并规定这个大气压为1个标准大气压，符号为“atm”。“mmHg”，“atm”均为我国非法定计量单位。

2. 表压力 是指压力表上指示的数值，也就是容器内压力高于或低于大气压的部分。

3. 绝对压力 指实际压力。绝对压力的数值，等于表压力加大气压力。

在正压系统中: $P_{\text{绝}} = P + P_{\text{大气}} = P_{\text{表}} + 1$

在负压系统中: $P_{\text{负}} = 1 - P_{\text{绝}} \quad P_{\text{负}} = 1 - P_{\text{表}}$

平时我们所说的锅炉压力或介质压力, 都是指表压力而言, 但“水蒸气性质表”(见表1-1-7)里所列的数值却是指的绝对压力。

总之, 大气压是当地的实际大气压力, 它的值是随着高度、温度、湿度等条件而变化。绝对压力、表压力和负压力都不是衡量单位, 而是压力的不同形式。表压力的大小是随着工作介质的压力等因素而变化的。若要了解蒸气的有关参数时, 须在压力表读数(表压力)上再加上当地大气压的数值, 这就成了绝对压力。负压力表示低于当地大气压的压力, 一般以 mmH_2O 为单位。如负压力为 $3\text{mmH}_2\text{O}$ 时, 表示压力低于当地大气压 $3\text{mmH}_2\text{O}$ 。 mmH_2O 为我国非法定计量单位。

表1-1-1 温标换算表

温标	符号	标准状态、纯水			换算
		冰点	沸点	等分刻度	
摄氏	$^{\circ}\text{C}$	0°C	100°C	100	$t^{\circ}\text{C} = T_{\text{K}} - 273 = \frac{5}{9}(t^{\circ}\text{F} - 32)$
开氏	K	273K	373K	100	$T_{\text{K}} = t^{\circ}\text{C} + 273$
华氏	$^{\circ}\text{F}$	32°F	212°F	180	$t^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5}t^{\circ}\text{C} + 32$

三、比容、密度

1. 比容 单位质量的物质所占有的容积叫比容。用符号“ U ”表示, 其单位为 $\text{米}^3/\text{公斤} (\text{m}^3/\text{kg})$ 。

$$U(\text{m}^3/\text{kg}) = \frac{V}{G} \quad (1-1-1)$$

式中: V ——容积(m^3); G ——质量(kg)。

气体的比容同气体的温度 T 成正比, 同气体的压力 P 成反比。

$$U \propto \frac{T}{P}$$

2. 密度 单位容积内所含物质的质量称为重度(或密度)。用符号“ γ ”(或 ρ)来表示, 其单位为 kg/m^3 。

$$\gamma(\text{kg}/\text{m}^3) = \frac{G}{V} \quad (1-1-2)$$

由式1-1-1和1-1-2可以看出比容与密度是互为倒数的。

$$\gamma = \frac{1}{U}$$