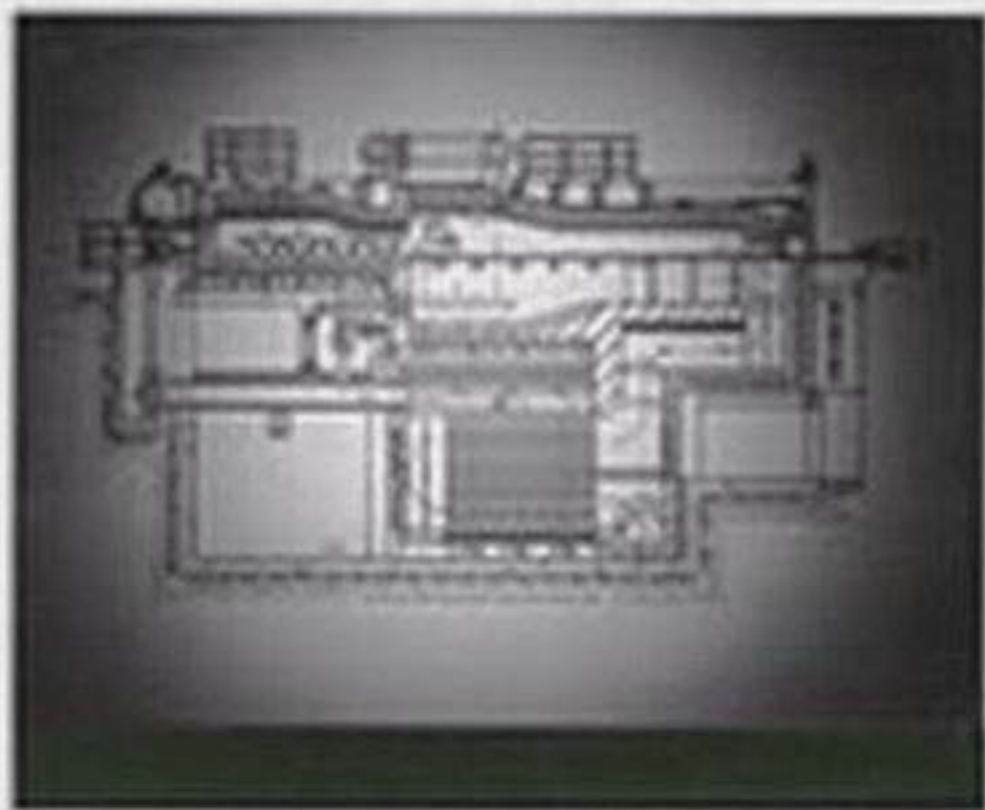


朱文学 著

热风炉原理与技术



Chemical Industry Press

热风炉原理与技术

朱文学 著



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

· 北京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

热风炉原理与技术/朱文学著. —北京:化学工业出版社, 2005. 1

ISBN 7-5025-6427-6

I. 热… II. 朱… III. 热风炉 IV. TF578

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 130914 号

热风炉原理与技术

朱文学 著

责任编辑:戴燕红

文字编辑:廉 静

责任校对:陶燕华

封面设计:于 兵

*

化学工业出版社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话:(010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 27 字数 706 千字

2005 年 2 月第 1 版 2005 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6427-6/TK·18

定 价: 55.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

序 言

热风炉是干燥设备中的重要组成部分，是热力干燥系统中不可缺少热源，它的结构设计、钢材选择、热风流程和参数选择是否合理将严重影响干燥系统的能耗、效率和制造成本。

我国目前广泛使用的间接加热式燃煤热风炉还存在热效率低、钢材耗量大、使用寿命短和热风风阻大等缺点。虽然有很多单位对热风炉都在进行研究，但迄今为止还没有一本有关热风炉的专著。一些先进的国家都采用燃油作为干燥机的热源，在燃煤热风炉方面很少有国外经验可以借鉴。

《热风炉原理与技术》一书详细地阐述了固体、液体、粉体和气体燃料的燃烧特点、换热方式和传热计算，系统地介绍了包括列管式、热管式和无管式热风炉在内的各种形式热风炉的工作原理、结构特点、性能和设计计算。所以该书是一本内容丰富、结构严谨和理论结合实际的工程技术专著。它的出版将对推动我国热风炉的开发设计和热源领域的技术进步提供重要的学术价值和应用参考价值。

本书作者朱文学教授理论基础扎实，学风严谨，多年从事干燥技术的研究工作。出版过多本干燥技术方面的专著，曾获我国第一批百篇优秀博士学位论文奖。

本书对工科学生、研究人员及热风炉设计者均适用。希望此书对我国干燥热源的发展起到促进作用。

曹崇文

2004. 9. 16

前 言

热风作为湿热交换介质，除用于各类物料的干燥外，还广泛地用于各类房间的供热，如温室的加温、室内冬季的供暖等。干燥技术是一门跨行业的加工技术，涉及农产品加工、食品加工、轻工、木材、化工、制药、冶金、纺织等部门，处理对象包括生物材料、粮食、经济作物、食品、木材、矿物、聚合物、织物等。热风炉是干燥设备最重要的辅助设备，也同样涉及这么多领域，满足这些物料对热风的不同要求。同时热风炉也需要随着这些行业的发展不断改进，以适应这些领域的技术发展对热风的需求。

热风炉能源来源广泛，有块煤、煤粉、生物质燃料、燃油、燃气及电能、太阳能和蒸汽等；热能利用有直接加热和间接加热之分；换热形式多样，有无管式换热、列管式换热、热管式换热和导热油换热等。因此热风炉的原理涉及燃烧学、传热学、流体力学、工程热力学、电学、电磁学、气象学、机械设计等多种学科，设计计算过程涉及到的原理多而且分散，十分复杂。一直以来，从事热风炉设计和使用的科技工作者热切希望有一本能系统全面反映热风炉技术的专著，作为工作和学习中的参考书。

干燥作业是一个耗能巨大的操作，干燥成本很大一部分来源于能耗，耗能指标一直是评价干燥设备的一项重要指标，因此寻求低耗能的干燥方法是干燥设备设计人员奋斗的目标之一。降低能耗的最基本的方法就是选择一套高效的热风炉，因此广泛地分析热风炉的技术原理有助于技术人员能够广泛地了解涉及各个不同学科分支的技术原理，便于优化选型和设计计算。

在编写本书的过程中，广泛地咨询和请教了干燥界知名专家，对热风炉的技术原理进行了归纳整理，将重要的理论及应用较普遍的热风炉形式编撰成独立的章节，它们是湿空气及烟道气的性质、燃烧机理及燃烧过程计算、燃烧器及直接加热热风炉、无管式热风炉、列管式热风炉、热管式热风炉、热媒加热式热风炉、电加热式热风装置、余热利用。

在编写本书的过程中，曹崇文教授提供了大量的第一手资料，同时也提出了大量中肯的建议，在百忙中为本书写了序言，在这里表示衷心的感谢。

本书由河南科技大学组织撰写，参加撰写的人员为：第1章、第2章、第3章、第4章由朱文学、刘云宏、段续撰写，第5章、第6章、第8章由张仲欣、董铁有撰写，第7章、第9章、第10章由刘建学撰写。

由于作者水平有限，书中不妥之处，恳请同行专家提出宝贵意见。

编者

2004.9

内 容 提 要

本书共分 10 章，包括绪论、湿空气及烟道气的性质、燃烧机理及燃烧过程计算、燃烧器及直接加热热风炉、无管式热风炉、列管式热风炉、热管式热风炉、热媒加热式热风炉、电加热式热风装置和余热利用等，比较系统全面地介绍了热风炉的燃料特性、燃料燃烧过程及装置、换热装置、热风炉系统等。

本书可供在农业工程、农产品加工、食品加工、化工、轻工、制药及木材加工等专业从事干燥设备设计和热源设计的人员、研究生和教师阅读和参考。

目 录

| | |
|--------------------------------|----|
| 第 1 章 绪论 | 1 |
| 1.1 热风炉的分类 | 1 |
| 1.2 热风炉的技术参数及评价指标 | 1 |
| 1.2.1 温度参数 | 1 |
| 1.2.2 热风炉的风量和供热量 | 2 |
| 1.2.3 热风炉的热工指标 | 2 |
| 1.3 热风炉的特性 | 4 |
| 1.3.1 直接加热热风炉的特性 | 4 |
| 1.3.2 间接加热热风炉的特性 | 6 |
| 1.4 热风炉设计和应用中存在的问题及对策 | 9 |
| 1.4.1 热风炉设计和应用中存在的主要问题 | 9 |
| 1.4.2 主要的对策 | 10 |
| 1.4.3 几种热风炉的结构分析 | 11 |
| 第 2 章 湿空气及烟道气的性质 | 13 |
| 2.1 湿空气的性质 | 13 |
| 2.1.1 混合气体的基本概念 | 14 |
| 2.1.2 湿空气的状态参数 | 16 |
| 2.1.3 湿空气的性质图 | 23 |
| 2.2 烟道气的状态参数 | 30 |
| 2.3 湿空气及烟道气的物理性质 | 31 |
| 2.3.1 湿空气的物理性质 | 31 |
| 2.3.2 烟道气的物理性质 | 34 |
| 2.4 湿空气的基本状态变化过程 | 36 |
| 2.4.1 间壁式加热和冷却以及冷却减湿过程 | 36 |
| 2.4.2 绝热冷却增湿过程 | 37 |
| 2.4.3 等焓减湿过程 | 37 |
| 2.4.4 等温加湿过程 | 38 |
| 2.4.5 不同状态空气的混合过程 | 38 |
| 2.4.6 热风炉中湿空气和烟道气的状态变化过程 | 38 |
| 第 3 章 燃烧机理及燃烧过程计算 | 40 |
| 3.1 燃料成分及性质 | 40 |
| 3.1.1 固体燃料的成分及特性 | 40 |
| 3.1.2 液体燃料的成分及特性 | 48 |

| | | |
|------------|----------------------------|------------|
| 3.1.3 | 气体燃料的成分及特性 | 50 |
| 3.2 | 燃烧机理 | 56 |
| 3.2.1 | 燃烧的基本过程 | 56 |
| 3.2.2 | 固体燃料燃烧过程 | 61 |
| 3.2.3 | 液体燃料的燃烧过程 | 68 |
| 3.2.4 | 气体燃料的燃烧过程 | 72 |
| 3.3 | 燃烧及热平衡计算 | 78 |
| 3.3.1 | 成分计算 | 78 |
| 3.3.2 | 燃料和灰分的比热容 | 79 |
| 3.3.3 | 燃料发热量的计算 | 79 |
| 3.3.4 | 燃烧用空气量的计算 | 82 |
| 3.3.5 | 烟气生成量的计算 | 85 |
| 3.3.6 | 燃烧温度的计算 | 86 |
| 3.3.7 | 能量平衡计算 | 88 |
| 3.3.8 | 热效率计算 | 92 |
| 3.3.9 | 燃料消耗量 | 93 |
| 第4章 | 燃烧器及直接加热热风炉 | 94 |
| 4.1 | 固体燃烧装置及固体燃料直接加热热风炉 | 94 |
| 4.1.1 | 块煤燃烧装置及块煤直接加热热风炉 | 94 |
| 4.1.2 | 煤粉燃烧装置及煤粉直接加热热风炉 | 106 |
| 4.1.3 | 生物质燃料燃烧装置及直接加热热风炉 | 115 |
| 4.2 | 液体燃料燃烧装置及液体燃料直接加热热风炉 | 121 |
| 4.2.1 | 液体燃烧装置分类 | 121 |
| 4.2.2 | 液体燃烧装置的结构及性能 | 121 |
| 4.2.3 | 液体燃料直接加热热风炉 | 132 |
| 4.3 | 气体燃料燃烧装置及直接燃烧热风炉 | 137 |
| 4.3.1 | 气体燃料燃烧装置 | 137 |
| 4.3.2 | 管型煤气烧嘴的设计计算 | 148 |
| 4.3.3 | 燃气直接加热热风炉 | 151 |
| 4.4 | 排烟系统设计 | 153 |
| 4.4.1 | 自然排烟 | 153 |
| 4.4.2 | 机械排烟 | 153 |
| 4.4.3 | 烟气流速的选择及烟囱直径计算 | 154 |
| 4.4.4 | 烟道及烟囱阻力计算 | 154 |
| 4.4.5 | 烟囱自生通风力计算 | 155 |
| 4.4.6 | 烟囱高度计算 | 155 |
| 4.5 | 烟道气对干燥产品和环境的污染 | 156 |
| 4.5.1 | 烟道气对干燥产品的污染 | 156 |
| 4.5.2 | 排烟对环境的污染 | 159 |
| 4.5.3 | 防止污染的措施 | 159 |
| 第5章 | 无管式热风炉 | 163 |

| | | |
|------------|-------------------|-----|
| 5.1 | 无管式热风炉的结构形式、分类与特点 | 163 |
| 5.1.1 | 基本结构形式 | 163 |
| 5.1.2 | 分类及其特点 | 164 |
| 5.2 | 间接加热式热风炉的基本设计计算 | 164 |
| 5.2.1 | 加热空气流量的确定 | 164 |
| 5.2.2 | 换热器的基本设计计算公式 | 165 |
| 5.2.3 | 对流换热系数的基本计算 | 166 |
| 5.3 | 光面无管式热风炉换热计算 | 167 |
| 5.3.1 | 烟气侧辐射换热 | 167 |
| 5.3.2 | 烟气侧对流换热 | 167 |
| 5.3.3 | 空气侧对流换热 | 168 |
| 5.4 | 带肋片无管式热风炉的传热计算 | 168 |
| 5.4.1 | 传热方程建立的假设条件 | 168 |
| 5.4.2 | 传热方程 | 168 |
| 5.4.3 | 传热方程应用及计算方法 | 172 |
| 5.5 | 典型无管式热风炉的结构与设计计算 | 172 |
| 5.5.1 | 无管立式热风炉结构与计算 | 172 |
| 5.5.2 | 无管卧式热风炉结构与计算 | 179 |
| 5.5.3 | 分体式热风炉设计 | 184 |
| 5.5.4 | 燃油热风炉设计 | 187 |
| 5.5.5 | 其他无管式热风炉 | 190 |
| 第6章 | 列管式热风炉 | 192 |
| 6.1 | 列管式热风炉的结构与分类 | 192 |
| 6.1.1 | 列管式热风炉的结构 | 192 |
| 6.1.2 | 列管式热风炉的分类 | 192 |
| 6.2 | 列管式热风炉换热器的设计计算 | 193 |
| 6.2.1 | 列管式换热器的结构设计 | 193 |
| 6.2.2 | 列管式换热器的传热计算 | 196 |
| 6.3 | 典型列管式热风炉设计 | 201 |
| 6.3.1 | 列管立式热风炉设计 | 201 |
| 6.3.2 | 典型列管卧式热风炉结构与性能 | 207 |
| 6.3.3 | 典型分体式热风炉结构与性能 | 210 |
| 第7章 | 热管式热风炉 | 213 |
| 7.1 | 热管的工作原理及特性 | 213 |
| 7.1.1 | 热管的工作原理 | 213 |
| 7.1.2 | 热管的结构 | 213 |
| 7.1.3 | 热管的主要特性 | 214 |
| 7.2 | 热管的分类 | 215 |
| 7.2.1 | 按工作温度分类 | 215 |
| 7.2.2 | 按冷凝液回流方式分类 | 215 |
| 7.3 | 热管基本理论 | 217 |

| | | |
|---------------------|---------------------------|-----|
| 7.3.1 | 液体的表面张力及表面张力系数 | 217 |
| 7.3.2 | 接触角和浸润现象 | 218 |
| 7.3.3 | 弯曲液面两边的压力差 | 218 |
| 7.3.4 | 毛细升高和毛细压差 | 219 |
| 7.3.5 | 热管内的毛细压力差 | 219 |
| 7.3.6 | 流体在圆管内流动的摩擦压力损失 | 221 |
| 7.3.7 | 热管吸液芯中液体流动的压力降 | 221 |
| 7.3.8 | 吸液芯内液体流道的截面积 A_w | 221 |
| 7.3.9 | 沿程长度 | 222 |
| 7.3.10 | 热管内蒸汽流动的压力降 | 222 |
| 7.4 | 热管的传热机理 | 225 |
| 7.4.1 | 传热原理 | 225 |
| 7.4.2 | 热管的传热极限 | 226 |
| 7.5 | 热管的应用 | 229 |
| 7.5.1 | 温度展平 | 229 |
| 7.5.2 | 隔离热源和冷源 | 229 |
| 7.5.3 | 热流密度变换 | 229 |
| 7.5.4 | 温度控制 | 229 |
| 7.5.5 | 单向导热 | 230 |
| 7.5.6 | 旋转元件的传热 | 230 |
| 7.6 | 热管设计 | 230 |
| 7.6.1 | 工作液体的选择 | 230 |
| 7.6.2 | 工作温度 | 235 |
| 7.6.3 | 工质与壳体材料、管芯的相容性以及工质本身的热稳定性 | 236 |
| 7.6.4 | 吸液芯的选择 | 237 |
| 7.6.5 | 管壁材料的选择 | 237 |
| 7.6.6 | 设计计算 | 238 |
| 7.6.7 | 设计举例 | 241 |
| 7.7 | 热管式热风炉 | 244 |
| 7.7.1 | 热管式热风炉的特点 | 244 |
| 7.7.2 | 热管式换热器 | 245 |
| 7.7.3 | 热管换热器的设计 | 252 |
| 7.7.4 | 热管式热风炉设计及应用 | 268 |
| 第8章 热媒加热式热风炉 | | 282 |
| 8.1 | 蒸汽加热式热风炉 | 283 |
| 8.1.1 | 蒸汽加热式热风炉的结构和工作原理 | 283 |
| 8.1.2 | 锅炉容量的确定 | 284 |
| 8.1.3 | 换热器的计算 | 284 |
| 8.2 | 导热油加热式热风炉的结构与分类 | 285 |
| 8.2.1 | 导热油加热式热风炉的主要构成 | 285 |
| 8.2.2 | 导热油加热式热风炉的分类及其特点 | 285 |

| | | |
|-------------|--------------------------|------------|
| 8.2.3 | 导热油炉的辅助设备 | 288 |
| 8.3 | 导热油的性质、选择及使用 | 290 |
| 8.3.1 | 对导热油的要求和导热油的特点 | 290 |
| 8.3.2 | 导热油的种类及其特性 | 291 |
| 8.3.3 | 导热油的选择和使用 | 293 |
| 8.3.4 | 延长导热油使用寿命的方法 | 295 |
| 8.4 | 热油炉系统主要部件设计 | 298 |
| 8.4.1 | 热油炉的设计 | 298 |
| 8.4.2 | 储油槽的设计 | 315 |
| 8.4.3 | 膨胀系统的改进设计 | 317 |
| 8.5 | 导热油供热系统的设计 | 318 |
| 8.5.1 | 导热油供热系统设计概要 | 318 |
| 8.5.2 | 卧式燃油(气)热载体锅炉系统设计 | 321 |
| 8.5.3 | 提高大型燃油热载体加热炉热效率的措施 | 323 |
| 8.6 | 热媒加热式热风炉的换热装置设计 | 327 |
| 8.6.1 | 计算方法 | 327 |
| 8.6.2 | 常用翅片换热器系列标准 | 331 |
| 第9章 | 电加热式热风装置 | 337 |
| 9.1 | 电热基础 | 337 |
| 9.1.1 | 电热的作用及优越性 | 337 |
| 9.1.2 | 电热的能量转换 | 338 |
| 9.1.3 | 电热转换的计算 | 338 |
| 9.2 | 电热元件 | 339 |
| 9.2.1 | 合金电热元件 | 339 |
| 9.2.2 | PTC 电热元件 | 355 |
| 9.2.3 | 硅钼棒电热元件 | 362 |
| 9.2.4 | 碳化硅电热元件 | 364 |
| 9.3 | 电加热热风装置 | 368 |
| 第10章 | 余热利用 | 371 |
| 10.1 | 烟气余热回收 | 371 |
| 10.2 | 余热回收换热器的分类 | 372 |
| 10.2.1 | 对流型换热器 | 373 |
| 10.2.2 | 辐射型换热器 | 373 |
| 10.2.3 | 陶土换热器 | 374 |
| 10.2.4 | 热管换热器 | 375 |
| 10.2.5 | 旋转式换热器 | 376 |
| 10.2.6 | 蓄热室 | 377 |
| 10.2.7 | 热媒式换热器 | 377 |
| 10.2.8 | 热泵 | 378 |
| 10.2.9 | 余热锅炉 | 378 |
| 10.3 | 烟气余热回收的节能计算 | 380 |

| | | |
|-------------------|-----------------------|------------|
| 10.3.1 | 余热回收预热空气时的节能率 | 380 |
| 10.3.2 | 出炉烟气温度变化时的节能率 | 381 |
| 10.3.3 | 余热回收率与节能的关系 | 382 |
| 10.3.4 | 余热回收率与热效率的关系 | 382 |
| 10.3.5 | 预热器预热空气和燃料的压力补偿 | 383 |
| 10.3.6 | 换热器回收余热注意事项 | 384 |
| 10.4 | 典型余热回收装置结构与性能 | 384 |
| 10.4.1 | 热媒式换热器 | 384 |
| 10.4.2 | 旋风式余热回收装置 | 386 |
| 10.4.3 | 热泵余热回收装置 | 389 |
| 10.4.4 | 蓄热余热回收装置 | 391 |
| 10.4.5 | 热管余热回收装置 | 400 |
| 10.4.6 | 余热回收锅炉 | 406 |
| 参考文献 | | 415 |