

# TONGFENG CHUCHEN YU QILI SHUSONG

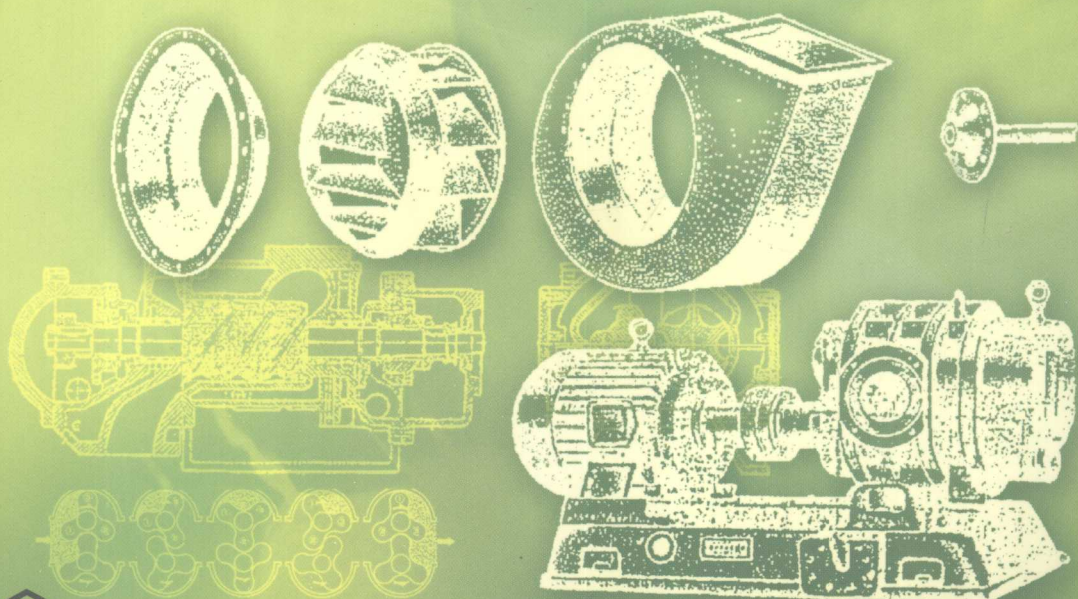


高职高专“十一·五”规划教材

★ 食品类系列

## 通风除尘与气力输送

熊万斌 主编



化学工业出版社

# TONGFENG CHUCHEN YU QILI SHUSONG



高职高专“十一·五”规划教材

★ 食品类系列

## 通风除尘与气力输送

熊万斌 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

元 00.00 : 价 定

本书根据粮食工程、食品科学、油脂工程、饲料科学等专业教学大纲的规定,结合目前行业自主研发或引进的成熟的新技术、新工艺、新产品的特性,系统地介绍了流体力学基础、通风机、空气压缩机、粉尘控制、除尘器、通风除尘与气力输送风网设计与计算,通风除尘与气力输送风网调整、测定与操作等章节内容;每章内容前有【教学目标】,阐述了本章的基础、原理、重点;各章内容繁简得当,分析透彻,注重理论与实践的结合;各章后附有丰富的【复习思考题】,供学生课后练习、思考。

本书可作为粮食工程、食品科学等专业的本、专科教材,也适合于相关专业师生及行业企业的工程技术人员、管理人员学习参阅。

#### 图书在版编目(CIP)数据

通风除尘与气力输送/熊万斌主编. —北京:化学工业出版社,  
2008.7

高职高专“十一五”规划教材★食品类系列

ISBN 978-7-122-03454-0

I. 通… II. 熊… III. ①气力输送-高等学校:技术学院-教材  
②气力输送机-高等学校:技术学院-教材 IV. TU834 TH232

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第115513号

责任编辑:梁静丽 李植峰 郎红旗  
责任校对:李 林

文字编辑:余纪军  
装帧设计:尹琳琳

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:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张16½ 字数438千字 2008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:29.00元

版权所有 违者必究

## 高职高专食品类“十一五”规划教材 建设委员会成员名单

主任委员	贡汉坤	逯家富					
副主任委员	杨宝进	朱维军	于雷	刘冬	徐忠传	朱国辉	丁立孝
委 员	李靖靖	程云燕	杨昌鹏				
	(按姓名汉语拼音排列)						
	边静玮	蔡晓雯	常锋	程云燕	丁立孝	贡汉坤	顾鹏程
	郝亚菊	郝育忠	贾怀峰	李崇高	李春迎	李慧东	李靖靖
	李伟华	李五聚	李霞	李正英	刘冬	刘靖	娄金华
	陆旋	逯家富	秦玉丽	沈泽智	石晓	王百木	王德静
	王方林	王文焕	王宇鸿	魏庆葆	翁连海	吴晓彤	徐忠传
	杨宝进	杨昌鹏	杨登想	于雷	臧凤军	张百胜	张海
	张奇志	张胜	赵金海	郑显义	朱国辉	朱维军	祝战斌

## 高职高专食品类“十一五”规划教材 编审委员会成员名单

主任委员	莫慧平						
副主任委员	魏振枢	魏明奎	夏红	翟玮玮	赵晨霞	蔡健	
委 员	蔡花真	徐亚杰					
	(按姓名汉语拼音排列)						
	艾苏龙	蔡花真	蔡健	陈红霞	陈月英	陈忠军	初峰
	崔俊林	符明淳	顾宗珠	郭晓昭	郭永	胡斌杰	胡永源
	黄卫萍	黄贤刚	金明琴	李春光	李翠华	李东风	李福泉
	李秀娟	李云捷	廖威	刘红梅	刘静	刘志丽	陆霞
	孟宏昌	莫慧平	农志荣	庞彩霞	邵伯进	宋卫江	隋继学
	陶令霞	汪玉光	王立新	王丽琼	王卫红	王学民	王雪莲
	魏明奎	魏振枢	吴秋波	夏红	熊万斌	徐亚杰	严佩峰
	杨国伟	杨芝萍	余奇飞	袁仲	岳春	翟玮玮	詹忠根
	张德广	张海芳	张红润	赵晨霞	赵晓华	周晓莉	朱成庆

# 高职高专食品类“十一五”规划教材建设单位

(按汉语拼音排列)

宝鸡职业技术学院  
北京电子科技职业学院  
北京农业职业学院  
滨州市技术学院  
滨州职业学院  
长春职业技术学院  
常熟理工学院  
重庆工贸职业技术学院  
重庆三峡职业学院  
东营职业学院  
福建华南女子职业学院  
广东农工商职业技术学院  
广东轻工职业技术学院  
广西农业职业技术学院  
广西职业技术学院  
广州城市职业学院  
海南职业技术学院  
河北交通职业技术学院  
河南工业贸易职业学院  
河南农业职业学院  
河南商业高等专科学校  
河南质量工程职业学院  
黑龙江农业职业技术学院  
黑龙江畜牧兽医职业学院  
呼和浩特职业学院  
湖北大学知行学院  
湖北轻工职业技术学院  
湖州职业技术学院  
黄河水利职业技术学院  
济宁职业技术学院  
嘉兴职业技术学院  
江苏财经职业技术学院  
江苏农林职业技术学院  
江苏食品职业技术学院  
江苏畜牧兽医职业技术学院

江西工业贸易职业技术学院  
焦作大学  
荆楚理工学院  
景德镇高等专科学校  
开封大学  
漯河医学高等专科学校  
漯河职业技术学院  
南阳理工学院  
内江职业技术学院  
内蒙古大学  
内蒙古化工职业学院  
内蒙古农业大学职业技术学院  
内蒙古商贸职业学院  
宁德职业技术学院  
平顶山工业职业技术学院  
濮阳职业技术学院  
日照职业技术学院  
山东商务职业学院  
商丘职业技术学院  
深圳职业技术学院  
沈阳师范大学  
双汇实业集团有限责任公司  
苏州农业职业技术学院  
天津职业大学  
武汉生物工程学院  
襄樊职业技术学院  
信阳农业高等专科学校  
杨凌职业技术学院  
永城职业学院  
漳州职业技术学院  
浙江经贸职业技术学院  
郑州牧业工程高等专科学校  
郑州轻工职业学院  
中国神马集团  
中州大学

## 《通风除尘与气力输送》编写人员名单

- 主    编    熊万斌    湖北大学知行学院
- 副主编    甘双友    河北省交通职业技术学院
- 编写人员    (按姓名汉语拼音排列)
- 杜  平    河北省交通职业技术学院
- 甘双友    河北省交通职业技术学院
- 雷景周    河南工业贸易职业学院
- 邱向梅    内蒙古商贸职业技术学院
- 苏锡云    河南工业贸易职业学院
- 孙向阳    郑州牧业工程高等专科学校
- 汪  军    四川省工业贸易学校
- 熊万斌    湖北大学知行学院
- 杨连荣    吉林农业工程职业技术学院

## 序

作为高等教育发展中的一个类型,近年来我国的高职高专教育蓬勃发展,“十五”期间是其跨越式发展阶段,高职高专教育的规模空前壮大,专业建设、改革和发展思路进一步明晰,教育研究和教学实践都取得了丰硕成果。各级教育主管部门、高职高专院校以及各类出版社对高职高专教材建设给予了较大的支持和投入,出版了一些特色教材,但由于整个高职高专教育改革尚处于探索阶段,故而“十五”期间出版的一些教材难免存在一定程度的不足。课程改革和教材建设的相对滞后也导致目前的人才培养效果与市场需求之间还存在着一定的偏差。为适应高职高专教学的发展,在总结“十五”期间高职高专教学改革成果的基础上,组织编写一批突出高职高专教育特色,以培养适应行业需要的高级技能型人才为目标的高质量教材不仅十分必要,而且十分迫切。

教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006]16号)中提出将重点建设好3000种左右国家规划教材,号召教师与行业企业共同开发紧密结合生产实际的实训教材。“十一五”期间,教育部将深化教学内容和课程体系改革、全面提高高等职业教育教学质量作为工作重点,从培养目标、专业改革与建设、人才培养模式、实训基地建设、教学团队建设、教学质量保障体系、领导管理规范化等多方面对高等职业教育提出新的要求。这对于教材建设既是机遇,又是挑战,每一个与高职高专教育相关的部门和个人都有责任、有义务为高职高专教材建设做出贡献。

化学工业出版社为中央级综合科技出版社,是国家规划教材的重要出版基地,为我国高等教育的发展做出了积极贡献,被新闻出版总署领导评价为“导向正确、管理规范、特色鲜明、效益良好的模范出版社”,最近荣获中国出版政府奖——先进出版单位奖。依照教育部的部署和要求,2006年化学工业出版社在“教育部高等学校高职高专食品类专业教学指导委员会”的指导下,邀请开设食品类专业的60余家高职高专骨干院校和食品相关行业企业作为教材建设单位,共同研讨开发食品类高职高专“十一五”规划教材,成立了“高职高专食品类‘十一五’规划教材建设委员会”和“高职高专食品类‘十一五’规划教材编审委员会”,拟在“十一五”期间组织相关院校的一线教师和相关企业的技术人员,在深入调研、整体规划的基础上,

编写出版一套食品类相关专业基础课、专业课及专业相关外延课程教材——“高职高专‘十一五’规划教材★食品类系列”。该批教材将涵盖各类高职高专院校的食品加工、食品营养与检测和食品生物技术等专业开设的课程，从而形成优化配套的高职高专教材体系。目前，该套教材的首批编写计划已顺利实施，首批 60 余本教材将于 2008 年陆续出版。

该套教材的建设贯彻了以应用性职业岗位需求为中心，以素质教育、创新教育为基础，以学生能力培养为本位的教育理念；教材编写中突出了理论知识“必需”、“够用”、“管用”的原则；体现了以职业需求为导向的原则；坚持了以职业能力培养为主线的原则；体现了以常规技术为基础、关键技术为重点、先进技术为导向的与时俱进的原则。整套教材具有较好的系统性和规划性。此套教材汇集众多食品类高职高专院校教师的教学经验和教改成果，又得到了相关行业企业专家的指导和积极参与，相信它的出版不仅能较好地满足高职高专食品类专业的教学需求，而且对促进高职高专课程建设与改革、提高教学质量也将起到积极的推动作用。

希望每一位与高职高专食品类专业教育相关的教师和行业技术人员，都能关注、参与此套教材的建设，并提出宝贵的意见和建议。毕竟，为高职高专食品类专业教育服务，共同开发、建设出一套优质教材是我们应尽的责任和义务。

贡汉坤



# 前 言

本书是根据教育部关于普通高等院校食品专业教学的基本要求和食品专业作为一门应用学科对知识和技能方面的基本要求，参照《通风除尘与气力输送》教学大纲的要求，结合教学实践的经验和教学改革的要求编写的。

本书内容包括流体力学基础、通风机、空气压缩机、粉尘控制、除尘器、通风除尘与气力输送风网的设计与计算，通风除尘与气力输送风网的调整、测定与操作管理。《通风除尘与气力输送》的编写融入了作者多年的教学经验和实践心得，为方便师生理解和实际操作，本书选用了较多的现代工厂设计实例，并详细地进行了分析和解答。特别是有关通风除尘与气力输送风网的设计和计算逻辑严密、环环相扣，意在启发学生的主动思考能力，使之通过对学习能够完成各类粮食工厂中的风网设计任务。

本书每一章开始列有学习目标，强调本章应掌握的原理、重点、难点；每一章结尾附有题型丰富的思考题，可供读者练习和巩固所学知识。本书可作为粮食、食品等专业的教材，也可供本专业及相近专业的工程技术人员、管理人员参考。

本书在编写过程中，得到了湖北大学知行学院、河北省交通职业技术学院、内蒙古商贸职业技术学院、四川省工业贸易学校、吉林农业工程职业技术学院、济宁职业技术学院、郑州牧业工程高等专科学校、江西工贸职业技术学院、河南工业贸易职业学院 9 所院校领导及同仁的支持，编写分工如下：第一章由甘双友编写，第二章由杜平编写，第三章和第四章由苏锡云编写，第五章和第六章由孙向阳编写，第七章、第八章、第十四章和第十五章由熊万斌编写，第九章由汪军编写，第十章由雷景周编写，第十一章和第十三章由杨连荣编写，第十二章由邱向梅编写。熊万斌对本书进行统稿并担任主编。

本书内容的录入工作和图片处理得到湖北大学知行学院计算机系电子科学与技术专业龙腾同学的全力帮助。本书在编写过程中，参考了相关领域的文献资料。在此，对这些文献资料的著作者及上述单位和同志表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，不妥之处请广大读者批评指正。

编 者

2008 年 6 月

# 目 录

<b>第一章 空气的性质和空气管道的基本方程</b> .....	1
<b>第一节 空气的性质</b> .....	1
一、空气的密度、比体积和重度 .....	1
二、空气的压力 .....	1
三、温度 .....	3
四、空气压力、密度(比体积)、温度之间的关系 .....	3
五、空气的黏性 .....	4
六、空气的湿度 .....	4
<b>第二节 空气管流的几个基本概念</b> .....	4
一、稳定流和非稳定流 .....	4
二、迹线和流线 .....	5
三、流管、微小流束、总流 .....	5
四、有效断面、流量、平均流速 .....	6
五、均匀流、缓变流和急变流 .....	6
<b>第三节 连续性方程</b> .....	7
一、一元微小流束稳定流连续性方程 .....	7
二、一元总流稳定流连续性方程 .....	7
<b>第四节 能量方程</b> .....	8
一、作用在流体上的力 .....	8
二、理想流体的运动微分方程 .....	8
三、一元微小流束的能量方程 .....	9
四、实际流体微小流束的能量方程 .....	10
五、实际流体总流的能量方程 .....	10
六、通风管流的能量方程 .....	11
七、能量方程的应用举例 .....	12
<b>【复习思考题】</b> .....	12
<b>第二章 流动阻力和能量损失</b> .....	14
<b>第一节 能量损失的两种形式</b> .....	14
一、沿程阻力和沿程损失 .....	14
二、局部阻力与局部损失 .....	14
三、能量损失的计算 .....	14
<b>第二节 层流、紊流与雷诺实验</b> .....	15
一、雷诺实验 .....	15
二、雷诺数及其临界值 .....	16
三、流态分析 .....	17
四、流动状态与沿程损失的关系 .....	18
<b>第三节 圆管中层流运动规律</b> .....	18
一、有效断面上的速度分布 .....	18
二、最大速度 .....	19
三、层流流量 .....	19
四、平均流速与最大流速的关系 .....	19
五、动能修正系数 .....	19
六、圆管中层流沿程损失公式 .....	19
<b>第四节 圆管中紊流的运动规律</b> .....	20
一、紊流结构、光滑管、粗糙管 .....	20
二、管中紊流的脉动 .....	21
三、紊流的速度分布 .....	22
四、平均流速与最大流速的关系 .....	22
<b>第五节 沿程阻力系数<math>\lambda</math></b> .....	23
一、影响沿程阻力因素的分析 .....	23
二、尼古拉兹实验及公式 .....	23
三、当量粗糙度和计算粗糙度 .....	24
四、确定 $\lambda$ 的方法 .....	25
<b>第六节 局部损失系数</b> .....	26
<b>【复习思考题】</b> .....	29
<b>第三章 离心通风机</b> .....	30
<b>第一节 风机的分类</b> .....	30
<b>第二节 离心通风机的基本理论</b> .....	31
一、离心通风机的构造与工作过程 .....	31
二、离心通风机叶轮的工作原理 .....	33
<b>第三节 离心通风机的性能</b> .....	38
一、离心通风机的主要性能参数 .....	38
二、相似理论在通风机中的应用 .....	38
三、离心通风机的比转速 .....	43
四、离心通风机的性能曲线 .....	44
<b>第四节 离心通风机的风网中的运行和工况调节</b> .....	46
一、风网特性曲线 .....	46
二、离心通风机在风网中的工作特性 .....	46
三、离心通风机的工况调节 .....	46
四、离心通风机的联合工作 .....	47
<b>第五节 离心通风机的选用</b> .....	49
一、离心通风机的命名 .....	49
二、粮油食品加工厂中常用的离心通风机 .....	51
三、离心通风机选用的原则和方法 .....	52
<b>第六节 离心通风机的安装、运行及常见故障分析</b> .....	55
一、离心通风机的安装 .....	55

二、离心通风机的启动与运转 .....	55	三、摩擦角 .....	87
三、离心通风机常见的故障分析 .....	56	四、黏附性 .....	88
【复习思考题】 .....	57	五、凝聚性 .....	88
<b>第四章 空气压缩机</b> .....	59	六、吸水性 .....	88
第一节 罗茨鼓风机 .....	59	七、比电阻 .....	88
一、罗茨鼓风机的构造和工作原理 .....	59	八、粉尘的爆炸和预防 .....	88
二、罗茨鼓风机分类 .....	61	第二节 粉尘和物料的空气动力特性 .....	89
三、罗茨鼓风机的性能和选用 .....	62	一、附面层和流阻力 .....	89
四、三瓣转子罗茨鼓风机 .....	65	二、物料的沉降速度与悬浮速度 .....	92
第二节 往复式空气压缩机 .....	65	【复习思考题】 .....	95
一、往复式压缩机的构造和工作原理 .....	65	<b>第七章 吸风罩(吸尘罩)</b> .....	96
二、往复式压缩机排气量的调节 .....	68	第一节 密闭罩 .....	96
三、往复式压缩机的规格 .....	69	一、密闭罩的形式 .....	96
第三节 滑片压缩机 .....	69	二、密闭罩的要求 .....	97
一、滑片压缩机的构造及工作原理 .....	69	三、粮食加工厂常见密闭吸风罩 .....	97
二、滑片压缩机的分类应用及特点 .....	70	四、密闭吸风罩的吸风量和阻力 .....	99
三、滑片压缩机性能 .....	71	第二节 外部吸风罩 .....	99
第四节 螺杆式压缩机 .....	72	一、外部吸风罩的形式 .....	99
一、螺杆式压缩机的构造与工作原理 .....	72	二、外部吸风罩的设计 .....	99
二、螺杆式压缩机的特点与应用 .....	73	第三节 吹吸罩 .....	103
三、螺杆式压缩机性能 .....	74	一、吹吸罩的原理与结构 .....	103
【复习思考题】 .....	75	二、吹吸罩的设计 .....	103
<b>第五章 粉尘的控制</b> .....	76	【复习思考题】 .....	105
第一节 粉尘的危害及防尘综合措施 .....	76	<b>第八章 除尘器</b> .....	106
一、粉尘的危害 .....	76	第一节 除尘器概述 .....	106
二、防治粉尘的综合措施 .....	78	一、除尘器的评价方法 .....	106
第二节 粉尘的分类、形成及扩散 .....	78	二、除尘机理、除尘器的分类及一般性能 .....	108
一、粉尘的分类 .....	78	第二节 重力沉降室和惯性除尘器 .....	110
二、粉尘的形成及扩散 .....	79	一、重力沉降室 .....	110
第三节 含尘浓度、卫生标准和排放标准 .....	80	二、惯性除尘器 .....	112
一、含尘浓度 .....	80	第三节 离心除尘器 .....	112
二、卫生标准 .....	81	一、离心除尘器的工作原理 .....	113
三、排放标准 .....	81	二、离心除尘器的性能 .....	114
第四节 粮食厂仓控制粉尘的通风方法 .....	81	三、影响离心除尘器的因素 .....	116
一、通风方法的分类及特点 .....	81	四、粮食加工厂常用的离心除尘器 .....	118
二、粮食厂仓控制粉尘的通风设备及特点 .....	82	五、离心除尘器的使用 .....	119
三、粮食厂仓中机器设备的通风除尘装置 .....	83	六、离心除尘器常见故障的排除方法 .....	121
【复习思考题】 .....	84	第四节 袋式除尘器 .....	121
<b>第六章 粉尘和物料的性质</b> .....	85	一、袋式除尘器的工作原理 .....	121
第一节 粉尘和物料的性质 .....	85	二、袋式除尘器的滤料选择和性能 .....	122
一、真实密度和容积密度 .....	85	三、袋式除尘器的性能及其影响因素 .....	122
二、粒径和分散度 .....	85	四、袋式除尘器的分类 .....	124
		五、袋式除尘器的选用 .....	127
		六、简易袋式除尘器 .....	129
		七、袋式除尘器的运行和维护 .....	130

八、袋式除尘器的常见故障分析及其排除	130	二、风网故障分析举例	163
第五节 其他除尘器	130	三、通风除尘网路的维护管理	164
一、纤维性除尘器	130	【复习思考题】	165
二、湿式除尘器	130	<b>第十一章 气力输送基本原理</b>	167
三、电除尘器	132	第一节 概述	167
【复习思考题】	133	一、气力输送的应用与发展概况	167
<b>第九章 通风除尘网路设计与计算</b>	134	二、气力输送的特点	167
第一节 通风除尘网路的设计原则	134	三、气力输送的分类	168
一、单独风网与集中风网的比较	134	四、气力输送装置的种类	168
二、确定风网形式的原则	134	五、粮食工业常用的气力输送装置	170
三、集中风网的组合原则	134	第二节 输料管中固气两相流的物理性质	173
第二节 通风除尘风网的设计与计算	135	一、浓度	173
一、通风除尘网路的主要设计步骤	135	二、密度	174
二、通风除尘风网计算实例	138	第三节 物料在输料管中的运动分析及理论压损	175
【复习思考题】	146	一、物料在管道中的运动过程	175
<b>第十章 通风除尘网路的测定调整和管理</b>	148	二、物料和气体在管道中的理论压损	175
第一节 测量风速和风压的仪器	148	三、两相流的理论压损	176
一、热风速仪	148	第四节 气力输送的速度	179
二、浮子流量计	148	一、水平输料管中气流速度分布	179
三、孔板流量计	149	二、气力输送的经济风速	179
四、皮托管	149	三、输送风速的选择	180
五、压力计	149	第五节 低压吸运气力输送系统的压损计算方法	181
第二节 通风管道中风压和风量的测定	150	一、输送物料压损的计算	181
一、测定断面的选择	150	二、辅助系统压损的计算	183
二、测定断面上测点位置的选择	150	【复习思考题】	183
三、风管内风压和风量的测定	151	<b>第十二章 气力输送装置的主要设备</b>	185
第三节 吸风罩阻力及吸风量的测定	152	第一节 接料器和供料器	185
一、吸风罩阻力的测定	152	一、接料器	185
二、吸风罩吸风量的测定	153	二、供料器	190
第四节 空气中含尘浓度的测定	153	第二节 输料管与管件	191
一、室内空气含尘浓度的测定	153	一、输料管	191
二、风管中空气含尘浓度的测定	154	二、管件	192
第五节 除尘器性能的测定	155	三、输料管及管件的磨损问题	193
一、除尘效率的测定	155	第三节 卸料器	193
二、压力损失和风量的测定	156	一、分离粉状物料卸料器	193
三、分级效率的测定	156	二、分离粒状物料卸料器	194
第六节 通风机性能的测定	156	第四节 关风器	196
一、测定断面和测点的布置	156	一、叶轮式关风器	196
二、测定内容	158	二、料封压力门关风器	196
三、计算方法	158	三、绞龙关风器	197
四、计算举例	160	【复习思考题】	198
第七节 测定中的问题分析及通风除尘网路的维护管理	162	<b>第十三章 吸送式气力输送网路的设计与计算</b>	199
一、测定中发现问题的分析	162		

第一节 设计的依据和要求	199
一、设计依据	199
二、设计要求	199
第二节 设计步骤及主要参数的确定	200
一、设计步骤	200
二、主要参数的确定	200
第三节 气力输送网路设计计算举例	201
一、面粉厂清理车间气力输送网路设计 计算举例	201
二、面粉厂制粉车间气力输送网路设计 计算举例	203
【复习思考题】	207

## 第十四章 低压稀相压运式气力输送系统

第一节 专用粉厂中气力压运系统的组合形式	209
一、成品、副产品进仓气力压运系统的组合形式	209
二、倒仓压运系统的组合形式	209
三、配粉工艺中气力压运系统的组合形式	209
四、一机多用的复式气力压运系统的组合形式	209
五、气力压运卸料系统的组合形式	211
第二节 气力压运系统的装置	211
一、气源机械及其安全装置	211
二、送料装置和卸料装置	212
三、管道和管件	213
四、尾气处理	214
第三节 低压稀相气力压运系统的设计与计算	215
一、设计的原则与要求	215

二、计算方法	215
【复习思考题】	224

## 第十五章 气力输送装置的调整、测定与操作管理

第一节 试车前的准备工作	226
一、外表检查	226
二、空车运转	226
第二节 试车和调整	227
第三节 气力输送装置测定和检查	228
一、测定检查的内容	228
二、测点位置的确定和测定方法	228
三、测定仪器	230
第四节 操作管理	230
一、气力吸送装置的操作	231
二、气力压运装置的操作	231
【复习思考题】	231

## 附录

附录一 工业企业厂区各类地点噪声标准 (GB J87—85)	232
附录二 工业企业厂界噪声标准 (GB 12348—90)	232
附录三 空气的 $\rho$ 、 $\mu$ 、 $\nu$ 与温度 $t$ 和湿度 $\phi$ 的关系值 (标准大气压下)	232
附录四 吸风量和压力损失	234
附录五 通风除尘风管计算表	237
附录六 局部管件的压损系数表	239
附录七 吸气三通的阻力系数	241
附录八 气力输送计算用表	242

## 参考文献

1. 气力输送技术问答. 北京: 机械工业出版社, 1980.

2. 气力输送. 北京: 机械工业出版社, 1980.

3. 气力输送. 北京: 机械工业出版社, 1980.

4. 气力输送. 北京: 机械工业出版社, 1980.

5. 气力输送. 北京: 机械工业出版社, 1980.

6. 气力输送. 北京: 机械工业出版社, 1980.

7. 气力输送. 北京: 机械工业出版社, 1980.

8. 气力输送. 北京: 机械工业出版社, 1980.

9. 气力输送. 北京: 机械工业出版社, 1980.

10. 气力输送. 北京: 机械工业出版社, 1980.

# 第一章 空气的性质和空气管道的基本方程

## 教学目标

1. 掌握空气的性质、空气管流的基本概念。
2. 了解不同类型流体连续性方程，熟悉不同类型能量方程以及能量方程应用计算。

自然界的物质通常有三种形态，即固体、液体和气体，其中液体和气体在任何微小剪切力的作用下，都会产生变形，并在自身重力的作用下作连续运动。与固体相比，液体和气体更容易流动，这种特性称为流动性。因此，液体和气体统称为流体。空气的分子间的距离较大，相互吸引力很微弱，分子发生热运动使其抗剪切和抗张能力较差，更容易流动。从微观上分析，空气的分子在空间并不是连续分布，从个别分子的运动出发掌握空气的运动规律十分复杂。因此，在工程上通常将其看做宏观机械运动，研究宏观大量分子的空气流动规律，通常用由无间隙而连续一片的流体质点所组成的连续性介质模型代替微观空气分子变化。

## 第一节 空气的性质

### 一、空气的密度、比体积和重度

#### 1. 密度

单位体积空气所具有的质量称为空气的密度，用  $\rho$  表示。即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-1)$$

式中  $\rho$ ——空气的密度， $\text{kg}/\text{m}^3$ ；

$m$ ——空气的质量， $\text{kg}$ ；

$V$ ——空气的体积， $\text{m}^3$ 。

#### 2. 比体积

在气体动力学中，气体的体积常用单位质量气体所具有的体积来度量，称为比体积，用  $\nu$  表示，即

$$\nu = \frac{V}{m} \quad (1-2)$$

式中  $\nu$ ——空气的比体积， $\text{m}^3/\text{kg}$ ；

$m$ ——空气的质量， $\text{kg}$ ；

$V$ ——空气的体积， $\text{m}^3$ 。

#### 3. 重度

单位体积空气所具有的重量称为空气的重度，用  $\gamma$  表示，即

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (1-3)$$

式中  $\gamma$ ——空气的重度， $\text{N}/\text{m}^3$ ；

$G$ ——空气的重量；

$V$ ——空气的体积。

### 二、空气的压力

#### 1. 空气压力的概念

空气的压力是由于分子不停地作无规则的热运动, 分子间不断地相互碰撞, 形成的对管道的撞击力。对管壁而言, 作用在管壁上压力的大小取决于单位时间内受到分子撞击的次数以及每次撞击力量的大小。单位时间撞击次数越多, 每次撞击的力量越大, 作用于管壁的压力也越大。

通风工程中所指的压力 ( $p$ ) 就是通常物理学中所指的压强 ( $P$ ), 即空气直接作用于容器单位面积上的压力或垂直作用于管壁单位面积上的压力。用  $p$  表示, 即

$$p = \frac{F}{A} \quad (1-4)$$

式中  $p$ ——压力,  $\text{N}/\text{m}^2$  或  $\text{Pa}$ ;

$F$ ——垂直作用于管壁的合力,  $\text{N}$ ;

$A$ ——管壁的总面积,  $\text{m}^2$ 。

## 2. 压力的单位

通常有三种表示方法。

① 用单位面积的压力表示。见图 1-1。

在工程流体力学中, 常以千克力 ( $\text{kgf}$ ) 为力的单位, 平方米作为面积的单位, 于是压力的单位为 ( $\text{kgf}/\text{m}^2$ ), 有时也用 ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ) 作为压力的单位。在国际单位制中, 压力单位采用  $\text{Pa} = \text{N}/\text{m}^2$ 。其换算关系为:

$$1\text{Pa} = 1/9.81\text{kgf}/\text{m}^2$$

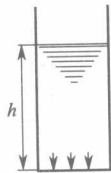


图 1-1 单位面积压力表示法

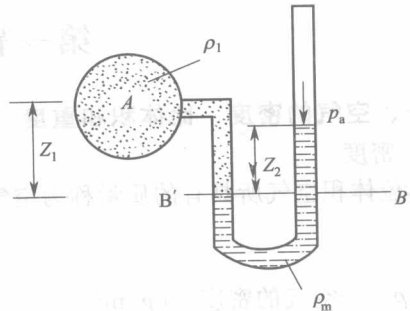


图 1-2 液柱高度表示法

② 用液柱高度表示。见图 1-2。

在测定管道中流体的压强时, 常采用里面装有水或水银的 U 形管压力计为测量仪器, 以液柱高度表示压强的大小。

设液柱作用于管底的压力为液柱的重量, 其大小为:

$$F = \gamma h A \quad (1-5)$$

式中  $\gamma$ ——液体重度;

$h$ ——液柱高度;

$A$ ——受力面积。

压力为:

$$p = \frac{F}{A} = \frac{\gamma h A}{A} = \gamma h$$

③ 用大气压表示。

国际上, 把海拔高度为零, 空气温度为  $0^\circ\text{C}$ , 纬度为  $45^\circ$  时测得的大气压强为 1 个物理大气压, 它等于  $10336\text{kgf}/\text{m}^2$ 。工程上为简化起见, 在不影响计算精度的前提下, 取一个工程大气压为  $10000\text{kgf}/\text{m}^2$ 。

工程中需要规定某一状态的空气为标准空气。在我国把一个工程大气压, 温度为  $20^\circ\text{C}$  的空气状态规定为标准状态。国际上把一个物理大气压, 温度为  $0^\circ\text{C}$  的状态规定为标准状

态。标准状态下的空气称为标准空气。标准空气的密度为  $\rho=1.2\text{kg}/\text{m}^3$ 。

表示压强的三种方法换算关系为：

$$1 \text{ 物理大气压} = 10336\text{kgf}/\text{m}^2 = 10336\text{mmH}_2\text{O} = 760\text{mmHg}$$

$$1 \text{ 工程大气压} = 10000\text{kgf}/\text{m}^2 = 10000\text{mmH}_2\text{O} = 736\text{mmHg}$$

为了满足工程上的需要，压强可按以下方法进行计算（如图 1-3 所示）。

a. 绝对压力是指当计算压强以完全真空 ( $p=0$ ) 为基准算起，称绝对压力，用  $p_s$  表示，其值为正。

b. 相对压力是指当计算压强以当地大气压 ( $p_0$ ) 为基准算起时，称相对压力，用  $p_r$  表示。其值可能为正，也可能为负。

$$p_r = p_s - p_0 \quad (1-6)$$

### 三、温度

空气是由不同成分组成的混合气体，空气分子不停地进行着无规律的热运动。空气温度的高低表明了空气分子热运动的大小。

理论研究中通常采用开氏温度，即热力学温度，用  $T$  表示，以 K 为单位。工程技术上，通常采用摄氏温度，即相对温度，用  $t$  表示，以  $^{\circ}\text{C}$  为单位。

热力学温度和相对温度的关系为：

$$T = t + 273.16 \quad (1-7)$$

### 四、空气压力、密度（比体积）、温度之间的关系

#### 1. 理想气体状态方程

在空气的压力、密度（比体积）、温度之间，当压力和温度发生变化时，比体积就会产生相应变化。它们之间的关系服从于理想气体状态方程，即

$$p\nu = RT \text{ 或 } p/\rho = kT \quad (1-8)$$

式中  $p$ ——绝对压力， $\text{N}/\text{m}^2$ ；

$\nu$ ——比体积， $\text{m}^3/\text{kg}$ ；

$T$ ——热力学温度，K；

$k$ ——气体常数， $\text{N} \cdot \text{m}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ，对于空气  $k=287.33\text{N} \cdot \text{m}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。

#### 2. 等容过程

气体体积不变的气体状态变化过程称为等容过程，即  $V=\text{常数}$ ， $\rho=\text{常数}$ ，由理想气体状态方程可得：

$$P_1/T_1 = P_2/T_2 \text{ 或 } P/T = P_r = \text{常数} \quad (1-9)$$

#### 3. 等压过程

压力保持不变的气体状态变化过程称为等压过程，即  $P=\text{常数}$ ，由理想气体状态方程可得：

$$T_1\rho_1 = T_2\rho_2 \text{ 或 } T\rho = P/R = \text{常数} \quad (1-10)$$

#### 4. 等温过程

温度保持不变的气体变化过程称为等温过程，即  $T=\text{常数}$ ，由理想气体状态方程可得：

$$p_1/p_2 = \rho_1/\rho_2 \quad (1-11)$$

$$p/\rho = kT = \text{常数} \quad (1-12)$$

综上所述，空气的密度总是随着压力温度的变化而变化。通风工程中，由于这种变化较

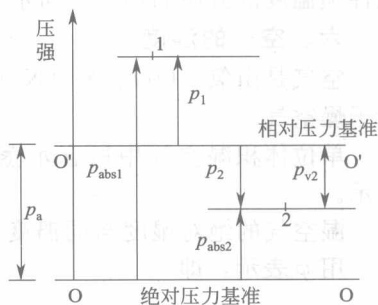


图 1-3 大气压表示法



小，也可以近似地看作是不变的常数，从而认为空气是不可压缩的。

### 五、空气的黏性

空气内部质点作相对运动时会产生内摩擦力以反抗相对运动，这种性质称为空气的黏性。空气运动时，黏性是产生阻力的根本原因。黏性的大小与流体种类有关；与流体的接触面积有关；与垂直于板的速度梯度成正比。黏性的大小受温度变化影响较大。空气等气体的黏性随温度的升高而增大，而水等液体的黏性随温度升高而减小。

### 六、空气的湿度

空气是由氧（O<sub>2</sub>）、氮（N<sub>2</sub>）、二氧化碳（CO<sub>2</sub>）、水蒸气等组成。不含水蒸气的空气称为干燥空气。

单位体积湿空气中所含水蒸气的质量称为空气的绝对湿度，即水蒸气的密度，用  $\rho_s$  表示。

湿空气的绝对湿度与同温度下的最大绝对湿度（即饱和湿度）之比称为空气的相对湿度，用  $\varphi$  表示，即

$$\varphi = \frac{\rho_s}{\rho_{s\max}} \quad (1-13)$$

式中  $\varphi$ ——空气的相对湿度；

$\rho_s$ ——空气的绝对湿度，kg/m<sup>3</sup>；

$\rho_{s\max}$ ——空气的最大绝对湿度，kg/m<sup>3</sup>。

## 第二节 空气管流的几个基本概念

空气是一种流体，其流动规律遵循流体力学的一般规律。充满运动流体的空间称为流场。用以表示流体运动特征的一切物理量统称为运动参数，如：速度  $v$ ，加速度  $a$ ，密度  $\rho$ ，压力  $p$  和黏性力等。在流体力学中应将流体看作连续介质，各运动要素之间随时间、流体质点及空间所在位置的变化而连续变化。为更好地研究流体的运动规律，首先应了解一些有关流体的基本概念。

### 一、稳定流和非稳定流

流场中各点上流体的运动参数不随时间而变化，这种流动称为稳定流。反之运动参数（全部或其中一个）随着时间而改变，这种流动称为非稳定流。如图 1-4 所示。

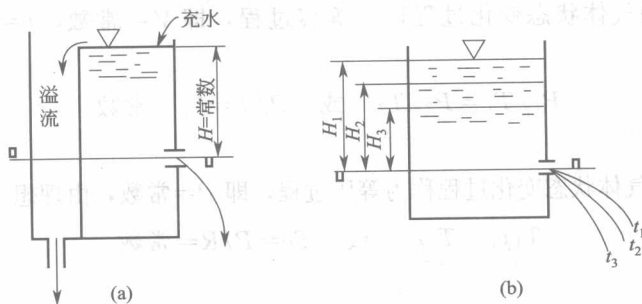


图 1-4 稳定流 (a) 和非稳定流 (b)

在实际的通风工程中，常将除尘风网中风机转速不变，管网阻力不变的空气流动视为稳定流动；气力输送中，常将提升管的输送量不变的管内空气流动视为稳定流动。即除个别问题外，我们的研究只限于稳定流，在通风工程中是可行的。