

中国商业高等职业教育研究会统编
21 世纪高等教育系列教材(粮食工程专业)

通风除尘与机械输送

总主编 毛新成
主 编 周曼玲

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

内容提要

本书主要介绍了粮食、饲料厂中的通风除尘、气力输送和常用的机械输送等的理论知识和实际应用技术。经审定,本书可作为粮食工程专业五年制高职、相应专业二年制和三年制的大专教材,也可作为粮食加工厂、饲料加工厂的生产技术人员的岗位培训教材和业务参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

通风除尘与机械输送/周曼玲主编.—成都:西南交通大学出版社,2006.3
(21世纪高等教育系列教材 粮食工程专业)
ISBN 7-81104-220-7

.通... .周... . 食品厂 - 通风除尘 - 高等学校 - 教材
食品厂 - 物料输送系统 - 高等学校 - 教材
.TS208

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 005874 号

Tongfeng Chuchen yu Jixie Shusong

通风除尘与机械输送

周曼玲 主编

*

责任编辑 张华敏

封面设计 水木时代(北京)图书中心

西南交通大学出版社出版发行

(成都市二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

E-mail: cbsxx@swjtu.edu.cn

安徽蚌埠广达印务有限公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 19.75

字数: 477 千字

2006 年 3 月第 1 版 2006 年 3 月第 1 次印刷

ISBN 7-81104-220-7/ TS · 061

定价: 35.00 元

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

中国商业高等职业教育研究会教材建设委员会

主 任 钱建文

委 员 (以姓氏笔划为序)

方光罗	王金台	孙瑞新	杜明汉
李明泉	李显杰	沈耀泉	张大成
张百章	张 峰	陆一梁	周锦成
俞吉兴	胡燕燕	曹少华	

编写说明

近年来,随着我国国民经济的突飞猛进,高等职业教育也得以迅速发展。如今,高职教育已成为我国高等教育的一个重要分支。虽然高职教育的目标及其地位已得到社会各界的明确肯定,但由于其发展的时间较短,许多模式仍在探索之中,其中教材建设就是一个突出的问题。

目前,中国商业高等职业教育发展迅猛,但相应的商业高职教材却未形成完整的体系。由于商业高职教育教材缺乏,导致许多商业高职院校只能选用本科或大专层次的教材。尽管目前已经出版了一些匆匆编写的教材,但往往都是本科教材的压缩,未能真正体现高职教育的特点。据此,中国商业高等职业教育研究会根据高职教育的目标和特点,于2002年研究制定了14个专业的教学计划,并于2003年制定了8个专业共95门主干课的教学大纲。从2004年起,中国商业高等职业教育研究会开始组织编写“财务会计”、“市场营销”、“旅游管理”、“电子商务”、“计算机应用”和“粮食工程”六个专业共56门主干课教材(现已陆续出版)。编写这一系列商业高职教材的总体要求是:教材应充分体现高职教育的特点,以职业岗位要求的专业知识和业务能力来决定课程内容,着重理论的实际应用,不过分强调理论的系统性、完整性;着重对与职业岗位相关的知识和业务水平进行培养,并加强课程实训;同时,教材编写中应注意中职与高职的差别与衔接,以及与高等教育和中等职业教育的差别。该批教材的编写人员,均是从教多年、具有丰富教学经验和专业知识的教师,以及工作多年具有丰富实践经验和专业知识的技术人员,从而保证了该批商业高职教材具有相当的专业水准,内容丰富,知识全面、新颖。经审定,该批教材不仅可作为商业高职院校教材,也可作为相关职业培训教材,并可供相关技术人员参考。

该系列商业高职教材出版后,我们殷切希望各高职院校在使用过程中不断提出宝贵意见,以使教材日臻完善,进一步适应高等职业教育人才培养的需要。

中国商业高等职业教育研究会

2006年3月

前 言

本教材是按照五年制高职粮食工程专业教学计划和本课程教学大纲的要求,结合粮食、饲料加工厂生产工艺的需要所编写的。该书主要介绍了粮食、饲料厂中的通风除尘、气力输送和常用的机械输送等的理论知识和实际应用技术。经审定,本书可作为粮食工程专业五年制高职、相应专业二年制和三年制的大专教材,也可作为粮食加工厂、饲料加工厂的生产技术人员的岗位培训教材和业务参考资料。

本书由贵州省贸易经济学校周曼玲主编。参加编写工作的有:周曼玲(绪论、第3、4章),江西省工业贸易职业技术学院周晓邑(第1、2、11、12章),河南工业贸易职业学院王修法(第7、8章),四川省工业贸易学校刘竟成(第5、6章),广西工业贸易职业技术学院谢洁(第9、10章)。

由于编写时间仓促,编者水平有限,教材中的疏漏之处在所难免,恳请广大读者不吝赐教,顺致谢意。

编 者

2006年3月

绪 论.....	(1)
第 1 章 空气和空气管流的基本方程.....	(6)
1.1 空气的基本特性及状态方程	(6)
1.2 空气流动的基本方程	(9)
习 题 (一)	(20)
第 2 章 空气管流的阻力	(22)
2.1 层流和紊流	(22)
2.2 沿程阻力	(23)
2.3 局部阻力	(25)
2.4 空气在管道中流动时的阻力计算	(27)
习 题 (二)	(31)
第 3 章 离心通风机	(36)
3.1 离心通风机的工作原理	(36)
3.2 离心式通风机的性能参数	(42)
3.3 离心通风机的性能曲线	(46)
3.4 离心通风机的比例定律	(50)
3.5 离心通风机的选择	(52)
3.6 离心通风机的操作与维护	(61)
习 题 (三)	(74)
第 4 章 容积式空气机械	(76)
4.1 罗茨鼓风机	(76)
4.2 空气压缩机	(86)
4.3 噪声与治理	(92)
习 题 (四).....	(104)
第 5 章 粉尘及其净化设备.....	(107)
5.1 粉尘及其浓度的测定	(107)
5.2 含尘空气的净化和除尘设备	(112)
习 题 (五).....	(129)
第 6 章 通风除尘网路的设计与计算.....	(131)
6.1 通风除尘风网设计的基本原则	(131)
6.2 通风除尘风网的设计与计算	(132)
习 题 (六).....	(145)
第 7 章 气力输送的基本原理和常用设备.....	(147)
7.1 气力输送技术在工程中的应用	(147)
7.2 气力输送的基本原理	(149)

7.3	接料器与供料器	(152)
7.4	输料管	(158)
7.5	卸料器和闭风器	(160)
	习 题 (七).....	(166)
第8章	气力输送网路的设计与计算.....	(168)
8.1	气力输送网路的设计依据和主要参数的确定	(168)
8.2	气力输送网路的设计实例计算	(172)
	习 题 (八).....	(182)
第9章	气力输送网路的测试与操作管理.....	(184)
9.1	气力输送网路的测试和分析	(184)
9.2	气力输送网路的操作管理	(193)
	习 题 (九).....	(196)
第10章	空气槽和栓流气力输送	(201)
10.1	空气槽气力输送	(201)
10.2	栓流气力输送	(204)
第11章	机械输送设备及其选用	(213)
11.1	胶带输送机及其选用	(213)
11.2	斗式提升机及其选用	(218)
11.3	刮板输送机及其选用.....	(225)
11.4	螺旋输送机及其选用	(230)
11.5	其他输送机械及其选用	(235)
	习 题 (十一).....	(240)
第12章	输送机械的操作维护和安装	(242)
12.1	胶带输送机的操作维护和安装	(242)
12.2	斗式提升机的操作维护和安装	(245)
12.3	刮板输送机的操作维护和安装	(248)
12.4	螺旋输送机的操作维护和安装	(251)
	习 题 (十二).....	(253)
附录一	风管的阻力计算线算图.....	(255)
附录二	管件的局部阻力系数.....	(256)
附录三	三通的阻力系数.....	(259)
附录四	离心通风机的性能选择曲线.....	(260)
附录五	通风机的性能参数.....	(262)
附录六	通风机的空气动力学略图和无因次特性曲线.....	(277)
附录七	除尘器的规格、处理风量和阻力表	(280)
附录八	轴流风机的性能选择表.....	(289)
附录九	$(\frac{H_1}{H_0})^{0.225}$ 值	(292)
附录十	垂直输料管计算用表.....	(293)

附录十一 弯头后水平输料管的 K 值	(304)
附录十二 粮食及其产品的主要参数.....	(305)
参考文献.....	(306)

绪 论

在粮食、饲料加工工业中,通风除尘、气力输送、输送机械都是应用很广泛的技术,其设备装置长期以来在满足工艺生产的要求、保证连续性生产、减轻劳动强度等方面发挥了至关重要的作用。同时,这些技术也是生产工艺和环境保护不可缺少的专业技术。

1 通风除尘、气力输送、输送机械的基本概念

通风除尘,就是采用合适的装置,有效地使空气呈负压状态并以一定的速度流动,控制和收集生产过程中产生的粉尘,以创造良好的生产环境和生活环境,保护大气环境。

气力输送,就是采用一定的装置、利用一定速度的空气输送物料,以满足工艺生产要求,保证连续性生产。在粮食、饲料加工厂中,常简称为“风运”。通风除尘与气力输送都是通过对空气性质及其流动规律的掌握,充分利用其特性来达到控制粉尘和输送物料的目的。

输送机械,是应用一系列机械输送及辅助设备,完成物料的提升和定向输送,既减轻工人的劳动强度,又满足工艺生产要求,保证连续性生产。

因此,通风除尘、气力输送、机械输送广泛应用于各行各业中,如粮食、轻工、化工、纺织、医药、食品、矿山、冶金、机械等部门。

2 粮食、饲料加工企业中的某些生产环节和因此出现的问题

要了解通风除尘、气力输送、输送机械在粮食、饲料加工生产中的任务和作用,首先应了解我国粮食、饲料加工企业中的某些生产环节和因此出现的问题:

在粮食、饲料加工企业中,如面粉厂、大米厂和饲料厂,其生产工艺中对原料、半成品、成品的输送是相当多的,对这些物料的提升或一定距离的输送,都需要一定的装置和设备来完成,否则难以保证生产的连续性和持久性。

在粮食、饲料加工企业中,尤其是面粉厂、大米厂和饲料厂,在生产过程中会产生大量的粉尘,这些粉尘有的是夹杂在原粮中的(属泥土或砂石的无机粉尘),有的是在粮粒或原料的表皮和外壳上(属有机粉尘),有的是粮粒本身产生的粉末颗粒。一个粮食、饲料加工厂,每天散发的这些粉尘如果不加以控制,任其飞扬,其数量可达几公斤甚至几百公斤,这不仅污染车间和周围环境,而且也会造成很大的经济损失,因为其中的有机粉尘大都是有价值的,有的本身就是成品,有的是良好的饲料;更为严重的是,可能会因此突发粉尘爆炸事故,造成巨大的经济损失和人身伤亡。

在粮食、饲料加工过程中,往往还会产生大量的热量,使物料(原料、半成品、成品)的温度升高,如不及时控制和排除,将影响成品质量;同时,由于物料温度升高造成水汽蒸发,会使机器内部发生水汽凝结而影响正常生产。

因此,在粮食、饲料加工厂中,对物料的输送有较高的工艺要求;利用通风来进行除尘、除湿、冷却是生产中必不可少的重要措施;利用空气的力学特性,对粮粒、原料进行风选分级,清

除其中的砂石和轻重杂质更是粮食、饲料加工过程中不可缺少的一环;此外,在粮食仓库中,利用通风来烘干或冷却粮食、熏杀害虫、降低粮温,更是提高储粮的安全性和稳定性的重要保证。以上的这些生产环节和因此出现的问题均需通过通风除尘、气力输送、输送机械的技术、装置和设备来解决。

3 通风除尘、气力输送、输送机械在粮食、饲料加工生产中的任务和作用

(1) 通风除尘在粮食、饲料加工厂中的作用

主要有以下几个方面:

控制和吸除生产中的粉尘,改善劳动条件和保护环境。

冷却碾磨物料,保证产品(面粉、大米、饲料、食品等)的品质。

吸除水汽,防止水汽凝结,提高筛理、研磨设备的效率。

对粮粒、原料进行风选分级,分离轻重杂质,提高成品的纯度和品质。

减少粮食在加工过程中的飞散损耗,回收有价值的粉尘,提高经济效益。

改善设备的清洁状况,减少磨损,延长使用寿命,防止微生物和害虫的孳生。

防止粉尘爆炸和火灾事故的发生。

保证安全、稳定地储藏粮食。

(2) 气力输送在粮食、饲料加工厂中的作用

除了能起到输送作用外,还可以在输送过程中对物料进行清理、冷却、分级和对机器完成除尘、降温等工艺任务。例如,在大米厂、面粉厂和饲料加工厂的清理车间,气力输送可对粮粒或原料起到一定的表面清理作用,并可除去部分轻杂质和灰尘;在米厂的砻碾过程中,还可以进一步分离谷壳和糠粃,这样一来,在粮食、饲料加工厂的某些风选设备和表面处理设备就可以少用或不用,从而简化工艺,节省设备。

在制粉车间,气力输送管道能从磨粉机内吸出大量空气,使磨辊和碾磨后的物料得到冷却,为提高磨粉机的单位产量创造了条件,并保证了面粉的质量;同时因吸除了水汽,也提高了平筛的筛理效果。

由于采用输料管输送,代替了笨重的机械输送设备(如斗式提升机等),因此减少了车间的建筑面积,改善了采光和卫生条件;并且由于管道内部无残留,因而也减少了虫害。当然,气力输送也有缺点:它与机械输送相比,动力消耗较高,被输送的颗粒物料容易破碎,这些都是在采用气力输送时应考虑的问题;另外,气力输送要求物料流量稳定、均匀,对操作的要求也高。

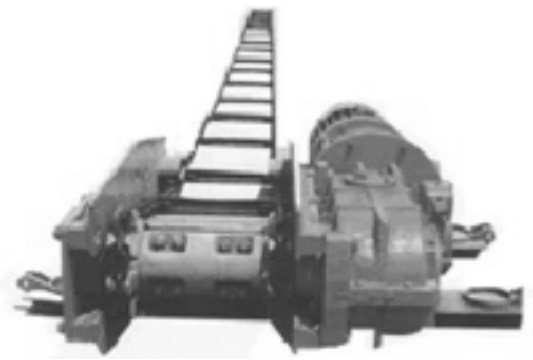
(3) 输送机械的作用

粮食、饲料加工厂的生产工艺是连续进行的,原料从仓库输送到车间;加工的半成品从这一工序输送到下一工序,从这台操作机输送到另一台操作机;加工好的成品或副产品从车间输送到成品库;有的要提升到一定的高度,有的要输送到一定的距离。这些都需要应用一系列的输送机械及时、准确地完成。粮食、饲料加工厂采用输送机械后,既能安全准确地输送物料,又可减轻工人的劳动强度,提高生产的连续化、机械化、自动化程度,降低生产成本,提高劳动生产率。

粮食、饲料工业中使用的机械输送设备种类较多,本书仅叙述常用的几种机械输送设备,即胶带输送机、斗式提升机、螺旋输送机、埋刮板输送机。它们均属于连续性输送机械,即可以连续输送物料(颗粒和包装品)的输送机械,见图1。其中,可作垂直输送的机械主要有斗式提升机、立式快速螺旋输送机、埋刮板输送机等;可作水平输送机械的主要有胶带输送机、水平螺旋输送机、水平刮埋板输送机等。



(a)螺旋输送机



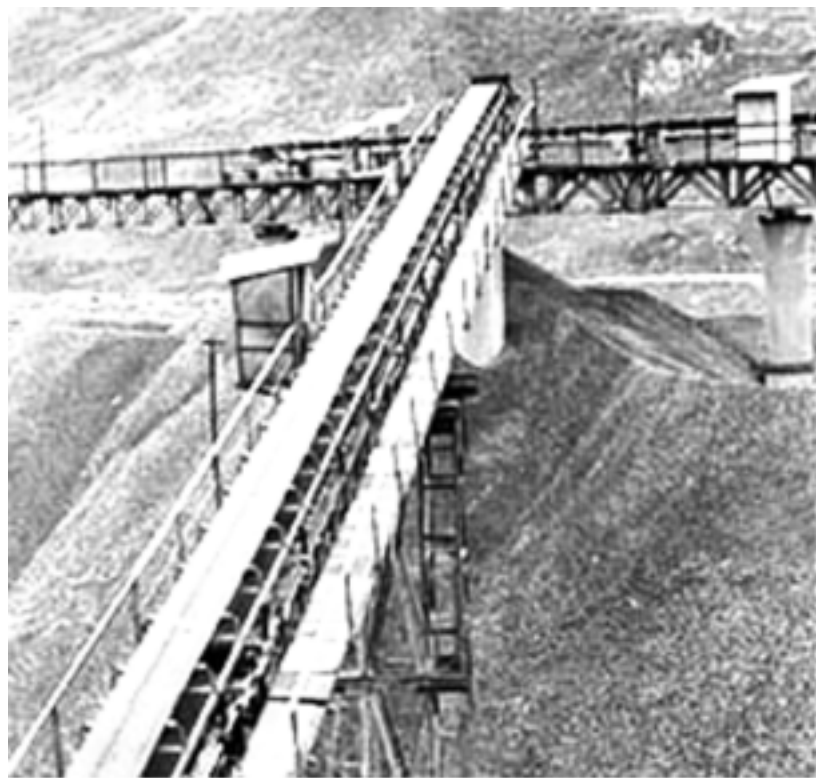
(b)埋刮板输送机



(c)斗式提升机



(d)可移动式胶带输送机



(e)固定式胶带输送机

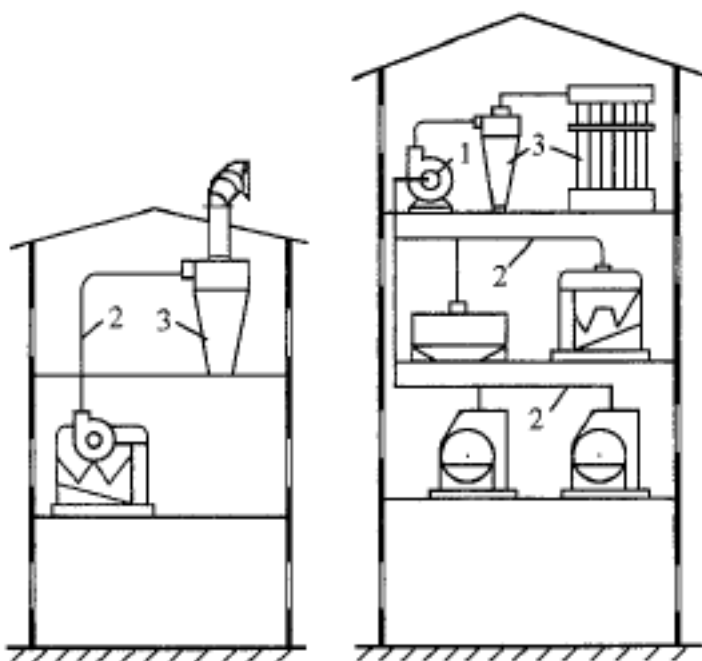
图 1 机械输送设备

1 通风除尘技术的应用

粮食、饲料加工厂的通风除尘装置通常是以局部吸风形式来进行工作的。整个通风除尘装置主要由吸尘罩、通风机、风管、除尘器四部分组成。如图 2 所示,当通风机 1 工作时,通过风管 2 从机器的罩壳或风道中吸出空气,使其内部形成负压,阻止灰尘外逸,并根据需要把灰尘、轻杂、热量、水汽等带走。带走的含尘空气,必须经过除尘器 3 净化,然后排入大气。图 2 中,图(a)为独立风网,它是一台作业机单独用一台通风机进行吸风的网路;图(b)为集中风网,它是两台或两台以上的作业机共用一台通风机进行吸风的网路。

2 气力输送网路的应用

粮食、饲料加工厂气力输送装置的基本形式同通风除尘装置大致相似。大多也是以负压吸风的方式对物料进行输送。它的组成除了有风管、除尘器、通风机外,还有一些专用设备,如接料器、输料管、卸料器和排料装置等。如图 3 所示,物料经接料器 1 与空气混合,然后在输料管 2 中提升,再经卸料器 3 和排料装置 4 排出,卸掉物料后的含尘空气则送往除尘器净化后排出。



(a)独立风网 (b)集中风网

图 2 通风装置示意图

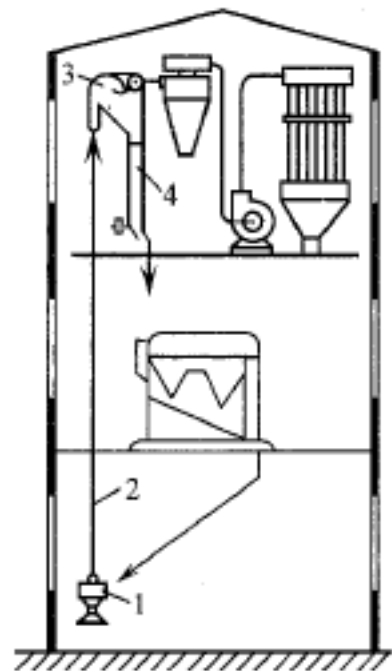


图 3 气力输送装置示意图

一根输料管单独用一台通风机负担的网路,为单管气力输送网路;多根输料管组合在一个网路中,共用一台通风机负担的网路,为多管气力输送网路。

3 我国通风除尘与气力输送技术的应用现状及发展动向

我国粮食工业的通风除尘与气力输送技术是建国后才得到应用和发展的。20 世纪 30、40 年代,我国的粮食加工厂厂房通常简陋狭小,机器破旧,根本谈不上有什么通风设备,工人在灰尘弥漫的环境中劳动,健康受到严重损害。新中国成立后,工人的身体健康受到了党和政府的极大重视和关怀,我国政府对此制定了相关标准,有利地推动了通风技术的应用和发展。

我国每年都要投放相当多的财力和物力来改进粮食加工厂的通风和风运设备,我国粮食部门的广大干部职工通过多年的实践也创造了一系列经济有效的通风除尘方法。在以“密闭

为主,通风为辅,结合清扫”的除尘方针指导下,我国粮食工业的生产面貌发生了根本的变化。目前,在粮食、饲料加工厂中,普遍采用了各种技术性能稳定、除尘效率高、操作使用方便的除尘设备及高效率的新式风机,为保护工人的身体健康及工厂的内外环境卫生奠定了坚实的基础。今后,粮食、饲料厂的通风除尘将继续以采用性能更加齐全、操作更为简便的除尘设备和高效低耗的风机作为发展方向,并逐步实现通风除尘和气力输送的“一风多用”,以降低通风除尘的能耗。

在气力输送技术方面,自从 20 世纪 50 年代末在浙江金华建成我国第一座气力输送面粉厂后,改建和新建的气力输送面粉厂如雨后春笋般一个接一个地投入生产。目前我国所有的面粉厂的制粉车间全都采用了气力输送。几十年来,气力输送的应用范围越来越广泛,在粮食部门,已由面粉厂的制粉车间发展到仓库、码头、饲料加工厂等;输送的物料种类多种多样,诸如小麦、面粉、稻谷、大糠、细糠、麸皮、饲料、菜籽等;输送距离可由几米至几百米,生产率达到每小时几百公斤甚至数百吨。

尽管我国在气力输送技术的应用方面已经取得了巨大的成就,但由于气力输送是一门操作和应用要求较高的技术,因此其在各地的发展并不平衡,主要是因为操作管理不当和要求不严,至使气力输送达不到预期的效果。另外,由于大米加工厂在采用这门技术时,存在碎米多、电耗高等问题,故目前反而不采取气力输送,而是通过机械输送来完成。

目前,我国粮食、饲料加工业的紧迫任务是要大力改进操作技术,严格管理制度,提高管理水平,根据粮食、饲料加工厂工艺流程的变化和要求,研究和开发适宜的气力输送装置。尤其重要的是,要进一步研究集输送和除尘为一体的设备和装置,降低气力输送的能耗,发展和拓宽气力输送的应用范围。

4. 学习本课程的目的、要求和学习方法

“通风除尘与机械输送”是高等职业院校粮食、饲料加工专业的主干专业课程之一。根据高职教材委颁布的“通风除尘与机械输送”教学大纲的基本要求,应安排 68 个学时完成本课程的基本理论和实践教学中基本实训内容的教学。本课程学习的时间短、任务重、要求高,学生为此要有思想准备。

“通风除尘与机械输送”是一门理论与实践紧密联系的课程,必须理论联系实际,重视基本理论的应用和基本技能的训练,尤其是操作技能的掌握。为此,学员们应通过到加工生产现场实践、并通过采用模型和实物教学,来提高感性认识和积累实践经验,启发科学思维,并通过一定的操作技能训练,掌握相应的职业技能。

第 1 章 空气和空气管流的基本方程

在粮食、饲料工业中,无论是车间的通风换气、设备的吸风除尘,还是物料的气力输送,都是通过有效组织和控制空气的流动来实现的,也就是以空气作为介质而实现的。本章主要讲述空气介质的基本特性及状态方程,空气流动的连续性方程和能量方程,空气在管道中流动时的压力及其分布与测量方法。

1.1 空气的基本特性及状态方程

流动的气体和液体统称为流体。空气流体的抗剪切和抗压性能较固体物质差,表现出良好的流动性。但空气流体和其他固体物质一样都是由分子组成的,在相对稳定的状态下,分析和研究其宏观流动和力学规律,对于通风除尘和气力输送工程有非常重要的理论价值。

1. 密度和重度

单位体积空气所具有的质量称为空气的密度,用 ρ 表示。其表达式为:

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

式中: ρ ——空气的密度(kg/m^3);

m ——空气的质量(kg);

V ——空气的体积(m^3)。

单位体积空气所具有的重量称为空气的重度,用 γ 表示。其表达式为:

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (1-2)$$

式中: γ ——空气的重度(N/m^3);

G ——空气的重量(N);

V ——空气的体积(m^3)。

根据牛顿第二定律, $G = mg$, 可得出:

$$\gamma = \rho g \quad (1-3)$$

式中: g ——当地重力加速度(m/s^2), 一般取 $g = 9.81 \text{ m}/\text{s}^2$ 。

2. 温度

空气是由不同成分的分子所组成的混合气体,空气分子不停地进行着无规律的热运动。空气分子热运动的平均动能的大小能表明其温度的高低。

工程实际中,通常采用摄氏温度,即相对温度,用 t 表示,数字后面用 $^{\circ}\text{C}$ 作单位。理论上,通常采用开氏温度,即绝对温度,用 T 表示,数字后面用 K 作单位。

绝对温度和相对温度的关系为:

$$T = t + 273 \tag{1-4}$$

3 湿度

空气由氮(N₂)、氧(O₂)、二氧化碳(CO₂)、臭氧(O₃)等多种气体成分和水蒸汽组成。完全没有水蒸汽的空气称为干燥空气。

单位体积湿空气中所含水蒸汽的质量称为绝对湿度,即水蒸汽的密度,用 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)之比称为相对湿度,用 ϕ 表示。其表达式为:

$$\phi = \frac{s}{s_{\max}} \tag{1-5}$$

式中: ϕ ——空气的相对湿度(kg/m³);

s ——空气的绝对湿度(kg/m³);

s_{\max} ——空气的最大绝对湿度(kg/m³)。

4 压力

通风工程中所指的压力就是物理学中所指的压强,即空气垂直作用于容器单位面积上的力,用 P 表示,单位为帕斯卡,用 Pa 或 N/m² 表示。在空气流体中,压力表示流体单位体积所具有的能量。压力的大小通常用实测的方法得出,有时也可用计算的方法得出。

地球表面的大气重量所引起的压力称为大气压力,用 P_0 表示。大气压力的大小随各地面海拔高度的变化而变化,海拔高度越高,大气压力越小,而且大气压力与当地温度、湿度等气候因素也有关。通常将地球纬度为 45°、摄氏温度为 0 的海平面上的大气压力称为一个标准大气压力,它的大小为 760 毫米高水银柱(mmHg),其单位换算关系为:

$$\begin{aligned} 1 \text{ 标准大气压力} &= 760(\text{mmHg}) \\ &= 760 \times 13.6 = 10336(\text{mmH}_2\text{O}) \\ &= 10336(\text{kgf/m}^2) \\ &= 10336 \times 9.81 = 1.0133 \times 10^5 (\text{Pa}) \end{aligned}$$

通风工程中的压力相对较小,通常用帕斯卡或毫米水柱作单位。其单位换算关系为:

$$1(\text{mmH}_2\text{O}) = 1(\text{kgf/m}^2) = 9.81(\text{Pa})$$

压力的计量方式有绝对压力和相对压力两种。以无任何气体的绝对真空为基准计量的压力称为绝对压力,用 P_s 表示,其大小为正值。以大气压力为基准计量的压力为相对压力,用 P_r 表示,其大小可能为正值,也可能为负值。两者的关系为:

$$P_r = P_s - P_0 \tag{1-6}$$

图 1-1 表示了两种压力之间的关系。

通风工程实际中,由于管道中的压力是以大气压力为标准计量的,通常用压力仪表测压时也是以大气压力为零点计量的。所以,工程实际中一般都采用相对压力,也称为表压,用 P_b 表示。相对压力有正负之分,小于大气压的压力称为相对负压力。

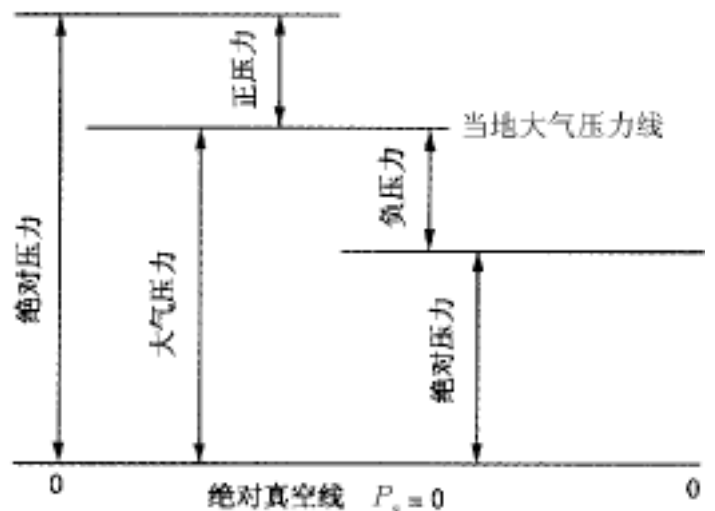


图 1-1 两种压力的关系

相对负压力的绝对值称为真空度。

5. 黏性

首先大家先观察一个小实验。如图 1-2 所示,用细线 C 悬挂一圆筒 B,筒内置一个小圆筒 A,A、B 两筒的轴线重合。使圆筒 A 迅速旋转,圆筒 A 外表面的空气随着圆筒 A 一起转动,由于空气层与层间有内摩擦力(即黏滞力),使空气一层带动一层旋转,最终带动圆筒 B 也旋转起来。

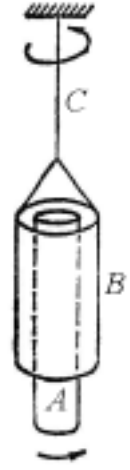


图 1-2 空气黏性的实验

流体流动时所表现出的内摩擦力即黏滞力反映了流体抵抗外力使其产生变形的特性,这种特性称为黏滞性,简称黏性。流体的黏性大小用动力黏性系数(也称粘度) μ 表示,单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。 μ 值越大,流体黏性越大。

黏性的大小受温度的影响较大。空气等气体的黏性随温度的增高而增大,而水等液体的黏性随着温度的增高反而减小。

由于空气流体具有黏性,空气在管道中流动时需要消耗一定的能量克服黏滞力,因此也就产生了流体的阻力。也正是因为空气和水具有黏性,飞机才能在空气中飞翔,轮船才能在水中航行。在通风工程中,由于空气流体的黏性,可利用空气介质携带粉尘和物料,从而达到通风除尘和物料输送的目的。

空气是可压缩的,当压力和温度变化时,空气的体积和密度也将发生变化。一般情况下,可以把空气当作没有黏性的理想气体,因此表示空气状态变化的三个物理量,即体积 V 、压力 P 、温度 T 三者之间的关系,可用理想气体状态方程反映。

等温过程(温度保持不变) 对于一定质量的气体,其体积与压力成反比,即:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{P_1}{P_2} = \dots = \text{常数} \tag{1-7}$$

等压过程(压力保持不变) 对于一定质量的气体,其体积与绝对温度成正比,即:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \dots = \text{常数} \tag{1-8}$$

根据以上两个变化过程,可得出:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \dots = k = \text{常数} \tag{1-9}$$

或
$$P V = k T \tag{1-10}$$

上式表明,对于一定质量的气体,当其状态发生变化时,压力、体积的乘积与绝对温度的比值始终为一常数,这就是气体状态方程。

气体状态方程适用于没有黏性的理想气体。通风和输送工程中的空气,由于其压力相对于大气压力不是很大,且温度为室温,其状态变化符合以上气体状态方程。

气体状态方程中的 k 称为气体状态常数,它与气体状态无关。对于干燥空气, $k = 287.33 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{kg} \cdot \text{K}$; 对于中等湿度(= 50%)的空气, $k = 288.4 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{kg} \cdot \text{K}$ 。

由式(1-1)和式(1-10)可得出:

$$Pm = kT \quad (1-11)$$

对于单位质量的气体:

$$= \frac{P}{kT} \quad (1-12)$$

上式说明空气的密度是随压力和温度的变化而变化的。

在通风工程中,通常将摄氏温度为 20、绝对压力为一个标准大气压、相对湿度为 50% 的空气称为标准空气。一般情况下,当压力和温度变化不大时,可近似认为空气的密度为常数,取值为标准空气的密度。但在特定情况下,如高原和高寒地区、高压气力输送中,由于空气的压力和温度变化较大,其密度可按式(1-12)计算。

标准空气的密度大小计算如下:

$$= \frac{P}{kT} = \frac{760 \times 13.6 \times 9.81}{288.4 \times (273 + 20)} = 1.2 (\text{kg} / \text{m}^3)$$

因此,标准空气的重度为:

$$= g = 1.2 \times 9.81 = 11.8 (\text{N} / \text{m}^3)$$

1.2 空气流动的基本方程

1. 通风的形式

(1) 空气流动的条件

通风和气力输送是利用管道中流动的空气实现的。怎样才能使空气流动?空气流动的条件是什么?人们都知道,大自然中的风即空气的流动,是由于气候变化形成的两地气压差而产生的;江河中的水能川流不息是由于两地的地势差形成水压差而产生的。同样的道理,通风和气力输送管道中空气的流动、自来水管中水的流动都是通过机械动力产生的压力差而实现的。当然,流体的流动除了具备压力差这个条件外,还需要有通畅的流动通道,管道不能被堵塞,否则,空气也不能流动。因此,空气流动的基本条件有两个:一定的压力差和通畅的流动通道。

(2) 自然通风

自然通风就是利用自然界空气的压力差所形成的空气流动。

日常生活和工程实际中的民用建筑和工业厂房就是通过门窗利用自然的风实现通风换气的目的。高层厂房和烟囱是利用上下的热压差而完成排热和排烟的。粮油、饲料加工厂可利用自然通风实现通风换气,保持室内环境卫生,降低室内水份和温度。但要完成通风除尘和气力输送则必须利用机械动力实现空气在管道中的流动。

(3) 机械通风

机械通风就是利用机械动力的作用使管道中的空气产生压差,实现空气流动。如图 1-3 所示,通风机的叶轮旋转,迫使空气沿压气管道排出,使吸气管道产生负压,从大气中吸入空气,这样就形成了管道中空气的连续流动。

利用机械通风使管道系统的空气流动,可完成粮食、饲料加工厂的通风除尘,物料输送,物料的降水、降温、去湿、烘干、冷却,环流熏蒸和低温储粮。