

暖通空调技术

王晓璐 郑慧凡 主编

中国建材工业出版社

普通高等院校 精品课程规划教材
优质精品资源共享教材
江苏高校品牌专业建设工程资助项目 (TAPP)

暖通空调技术

主 编 王晓璐 郑慧凡
副主编 杨 磊 李玉娜 吴 恩

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

暖通空调技术/王晓璐, 郑慧凡主编. --北京:

中国建材工业出版社, 2016.9

普通高等院校精品课程规划教材 普通高等院校优质
精品资源共享教材

ISBN 978-7-5160-1632-9

I. ①暖… II. ①王… ②郑… III. ①采暖设备—高等学校—教材②通风设备—高等学校—教材③空气调节设备—高等学校—教材 IV. ①TU83

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 205814 号

内 容 简 介

本书共 11 章, 对暖通空调工程领域的理论和实用技术进行全面详细的阐述, 介绍采暖、通风和空调各系统的结构组成及工作原理, 具体说明了各系统的分类及性能特点。本书对基本概念和基础理论叙述严谨, 计算方法讲解透彻, 例题丰富, 信息量大, 理论与实践结合紧密, 并介绍了变风量空调系统、温湿度单独控制和毛细管网辐射空调等新型空调技术。在第 11 章中介绍了典型公共建筑的空调工程设计实例。

本书适合作为建筑电气与智能化、建筑环境与设备专业的暖通空调课程教材, 还可供从事相关专业工程设计、施工或监理的工程技术人员参考。

本书有配套课件, 读者可登录中国建材工业出版社官网 (www.jcbs.com) 自行下载。

暖通空调技术

主 编 王晓璐 郑慧凡

副主编 杨 磊 李玉娜 吴 恩

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市海淀区三里河路 1 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 22.75

字 数: 560 千字

版 次: 2016 年 9 月第 1 版

印 次: 2016 年 9 月第 1 次

定 价: 59.00 元

本社网址: www.jcbs.com 微信公众号: zgjcgycbs

本书如出现印装质量问题, 由我社市场营销部负责调换。联系电话: (010) 88386906

前 言

随着我国经济建设的高速发展和人民生活水平的不断提高,采暖、通风和空调技术得到了快速发展和广泛应用,国内设计、制造、安装和管理水平已经达到甚至超过发达国家或地区水平。同时新型的技术和产品不断出现,产品也不断向着绿色节能环保目标改进,这一切都对该专业的人才培养提出了更高的要求。

为适应培养 21 世纪高素质复合型人才的需要,以培养卓越工程师的基本素质为目标,编者总结了多年来的教学实践经验,同时结合国内外暖通空调领域的工程经验及相关新技术情况,力求在编写中做到基本概念与基础理论叙述严谨,知识体系条干清晰,理论与实际结合紧密。在叙述风格上做到深入浅出、融会贯通,有利于学生理解和掌握。本书按 64 学时编写。

本书由金陵科技学院王晓璐和中原工学院郑慧凡担任主编,中原工学院杨磊、郑州电力高等专科学校李玉娜和金陵科技学院吴恩担任副主编。其中各章分工如下:

第 1 章和第 2 章由杨磊编写;第 3 章由李小民(中原工学院)编写;第 4 章由吴恩编写;第 5 章和第 8 章由王晓璐编写;第 6 章由李玉娜编写;第 7 章、第 9 章和第 11 章由郑慧凡编写;第 10 章由孙昆峰(中原工学院)编写。

在本书编写过程中,金陵科技学院机电学院的领导给予了极大的关心与支持,金陵科技学院建筑电气及智能化专业唐济强、徐卫芳、韦刚、马磊、周秦容及中原工学院建筑设备与能源应用工程专业的田国记等同学为本书插图绘制做了大量工作,在此一并表示感谢!

由于作者的水平和能力有限,书中难免存在疏漏,敬请读者批评指正。

编 者

2016 年 8 月

目 录

第1章 室内污染物的控制与通风管道	1
1.1 室内污染物及其控制	1
1.2 局部通风	3
1.3 全面通风	15
1.4 自然通风	22
1.5 置换通风	24
思考题与习题	27
第2章 建筑供暖工程	28
2.1 室内供暖系统的设计热负荷	29
2.2 室内供暖系统的末端装置	31
2.3 室内热水供暖系统及水力计算	43
思考题与习题	58
第3章 湿空气的焓-湿学基础	59
3.1 湿空气的物理性质	59
3.2 湿空气的焓-湿图	63
3.3 湿球温度与露点温度	68
3.4 焓-湿图的应用	69
思考题与习题	74
第4章 空调负荷计算与送风量的确定	76
4.1 室内、外空气计算参数的确定	76
4.2 得热量与冷负荷的关系	80
4.3 围护结构负荷的计算方法	82
4.4 空调区冷负荷的计算	84
4.5 空调区热负荷的计算	96
4.6 空调房间送风状态与送风量的确定	98
4.7 新风量的确定和风量平衡	102
思考题与习题	105
第5章 空气处理设备	107
5.1 空气处理的各种途径	107
5.2 空气热湿处理原理	109
5.3 空气热湿处理设备	120
5.4 空气净化处理原理	147
5.5 空气净化处理设备	155
思考题与习题	160

第 6 章 空气调节系统	162
6.1 空气调节系统的分类	162
6.2 普通集中式空调系统	165
6.3 半集中式空调系统	179
6.4 分散式空调系统	191
6.5 变风量空调系统	195
6.6 变制冷剂流量空调系统	201
6.7 温湿度独立控制空调系统	204
6.8 毛细管网辐射空调系统	209
思考题与习题	213
第 7 章 空调房间的空气分布	215
7.1 送风射流的流动规律	215
7.2 排(回)风口的气流流动	222
7.3 空气分布器及房间气流分布形式	223
7.4 房间气流分布的计算	231
思考题与习题	246
第 8 章 空调水系统	247
8.1 空调冷热水系统的形式	247
8.2 空调水系统的分区与定压	253
8.3 空调水系统的设计	261
思考题与习题	267
第 9 章 空调系统及冷热水系统运行调节	269
9.1 室内热湿负荷变化时的运行调节及自动控制	269
9.2 室外空气状态变化时的运行调节及自动控制	274
9.3 集中式空调系统的自动控制	278
9.4 变风量空调系统的运行调节及自动控制	286
9.5 半集中式空调系统的运行调节及自动控制	287
9.6 冷热源及水系统的检测控制	289
9.7 供暖系统的计算机控制	292
思考题与习题	295
第 10 章 空调系统的消声和防振	296
10.1 空调系统的噪声源	296
10.2 消声器的原理与应用	300
10.3 通风空调采暖装置的防振	308
思考题与习题	315
第 11 章 空调工程应用举例	316
11.1 空调工程在公共建筑的应用举例	316
附录	331
参考文献	355

第 1 章 室内污染物的控制与通风管道

1.1 室内污染物及其控制

建筑物室内的环境影响着人员健康、工作效率、产品质量等，其中起直接作用的是建筑物内部的空气，其是由多种气体、一些悬浮的固体杂质与液体微粒组成的混合物。

据美国环保机构估计，美国每年直接用在由室内空气污染物引起疾病的医疗费用高达 10 亿美元，由此而产生的直接或间接损失达 600 亿美元。据有关统计，我国每年由于室内空气污染引起的死亡人数可达 11.11 万人，门诊数达 22 万人次，急诊数达 430 万人次。而发展中国家有近 200 万例死亡是由室内空气污染所致，全球约 4% 的疾病与室内环境有关。中国标准化协会近期公布的一份调查显示：室内空气污染程度高出室外 5~10 倍；近 70% 的疾病根源于室内空气污染；由于室内环境的恶化，我国的肺癌发病率以每年 26.9% 的惊人速度递增；50% 的白血病发病率与室内空气污染有直接关系；因装修污染引起上呼吸道感染而导致重大疾病的儿童约有 210 万名。另据北京市化学物质检测中心报道：北京市每年发生有毒建筑装饰材料引起的急性中毒事件 400 多起，中毒人数达 10000 人以上，死亡人数约 350 人，慢性中毒的范围更加广泛。全球每年因室内空气污染而导致死亡人数达 280 万人。严重的室内环境污染不仅给人们的健康造成影响，而且造成了巨大的经济损失。

现代空气污染研究开始于 1939 年，美国成立工业卫生协会（American Industrial Hygiene Association, AIHA），这标志着生产环境对人体健康的影响已经开始受到重视。非生产场所的室内空气污染物控制的概念源于 20 世纪 60 年代的北欧和北美，原因有两个：一是人们环境意识不断加强；二是空调开始普及，建筑物密闭程度不断提高，各种化学制品进入室内，从而使室内化学污染物浓度提高，进一步导致长期居留室内的人群常常感到不适，这时出现了建筑综合症（Sick Building Syndromes, SBS）和“军团病”等新问题。

1.1.1 室内污染物

室内污染物主要指对人体健康、产品质量等产生危害的物质、能量，主要包括颗粒物、有害气体、有毒气体、余热、余湿等。

1. 颗粒物

颗粒物是指能在空气中浮游的微粒。按照其形态分类有固态颗粒物和液态颗粒物。固态颗粒物在工业领域也称为粉尘。一种物质的微粒分散在另一种物质之中可以构成一

个分散系统,我们把固体或液体微粒分散在气体介质中而构成的分散系统称为气溶胶。当分散在气体中的微粒为固体时,该气溶胶通称为含尘气体;当分散在气体中的微粒为液体时,该气溶胶通称为雾。

按照环境空气质量标准,颗粒物可分为以下几种。

总悬浮颗粒物 (Total Suspended Particulate, TSP): 普遍公认地指能悬浮在空气中,空气动力学当量直径 $\leq 100\mu\text{m}$ 的颗粒物。

可吸入颗粒物 (Inhalable Particulate Matter, PM₁₀): 普遍公认地指悬浮在空气中,空气动力学当量直径 $\leq 10\mu\text{m}$ 的颗粒物,也称飘尘。

呼吸性颗粒物 (Respirable Particulate Matter, PM_{2.5}): 普遍公认地指悬浮在空气中,空气动力学当量直径 $\leq 2.5\mu\text{m}$ 的颗粒物,也称细颗粒物。

按照气溶胶的来源及物理性质,颗粒物又可细分为以下四种。

(1) 灰尘 (dust)

灰尘包括所有固态分散性微粒,粒径上限约为 $200\mu\text{m}$ 。较大的微粒沉降速度快,经过一定时间后不可能仍处于浮游状态。粒径在 $10\mu\text{m}$ 以上的称为“降尘”,粒径在 $10\mu\text{m}$ 以下的称为“飘尘”。灰尘主要来源于工业排尘、建筑工地扬尘和道路扬尘等。

(2) 烟 (smoke)

烟包括所有凝聚性固态微粒,以及液态粒子和固态粒子因凝集作用而生成的微粒,通常是高温下生成的产物,粒径范围为 $0.01\sim 1.0\mu\text{m}$,一般在 $0.50\mu\text{m}$ 以下。例如,铅金属蒸气氧化生成的 PbO ,木材、煤或焦油燃烧生成的烟就属于这一类。其主要来源于工业炉窑、餐饮和民用炉窑等。

(3) 雾 (mist)

雾包括所有液态分散性微粒的液态凝集性微粒,如很小的水滴、油雾、漆雾和硫酸雾等,粒径在 $0.10\sim 10\mu\text{m}$ 之间。

(4) 烟雾 (smog)

烟雾原指大气中形成的自然雾与人为排出的烟气(煤粉尘和二氧化硫等)的混合物,其粒径在 $0.10\sim 100\mu\text{m}$ 之间。还有一种光化学烟雾,是工厂和汽车排烟中的氮氧化物和碳氢化物经太阳紫外线照射而生成的二次污染物,是一种浅蓝色的有毒烟雾。

2. 有毒、有害气体

有毒气体指在一定条件下,暴露较小剂量即造成生物体功能性或器官损害的气体,如氰、氰化氢等,吸入少量后即可致人死亡。有害气体是指长时间接触或浓度较大时,会对人体或产品质量产生危害的气体。

常见的有毒、有害气体有汞蒸气、铅、苯、一氧化碳、二氧化硫、氮氧化物(NO_x)等。对于民用建筑,室内空气中主要有毒、有害气体有甲醛、挥发性有机物和酸性无机污染物(如臭氧、 CO_2 、 CO 、 SO_2 和 NO_x 等)。

3. 余热、余湿

余热是在一定经济技术条件下,在能源利用设备中没有被利用的能源,也就是多余、废弃的能源。余湿是超出满足建筑环境空气品质和工艺过程等要求的水蒸气。

1.1.2 建筑环境空气污染物控制

室内空气污染物控制方法应根据各类污染物的来源、污染途径及其耦合作用形式和特点,在室内空气污染链上的每一个环节(源、传播、末端)加强控制,典型综合控制措施包括污染物源头治理、通风措施、空气的净化和处理。

污染物源头治理指应严格控制室内污染物的释放,避免或减少室内污染源的产生。通风措施指采用合理的局部通风或全面通风的方式,在有效的气流组织下,最大限度地将室内污染物的浓度水平控制在卫生标准以下,其包括自然通风和机械通风两种方式。自然通风的优点是节电节能,但是存在可靠性差的缺点;而机械通风的优点是可靠性高,但耗电耗能。因此,可结合当地室外气象条件,通过自然通风和机械通风的有机组合来改善建筑物的室内环境,找出一种符合可持续性发展理念的、节能的、健康的调节方式。

空气的净化和处理是为保证室内污染物浓度水平符合特定要求而采取的措施,如产品生产环境或其他用途的洁净室所要求的室内空气净化技术。空气的净化和处理需要采取多种综合技术措施才能达到特定的要求。这些技术措施包括:送入足够量的经过处理的清洁空气,采用产生污染物少的生产工艺及设备,采取必要的隔离和负压措施防止生产工艺产生的污染物质向周围扩散,采用产尘少、不易滋生微生物的室内装修材料及加工器具,减少人员及物料带入室内的污染物质、细菌等。

1.2 局部通风

根据国家规范要求,为了不使产生的散发热、蒸汽或有害物质在室内扩散,应在散发处设置自然或机械的局部排风,将其就地排出,这是经济有效的措施。局部通风系统分为局部排风和局部送风两大类。

1.2.1 局部排风系统

局部排风系统主要由四部分组成(图1-1)。

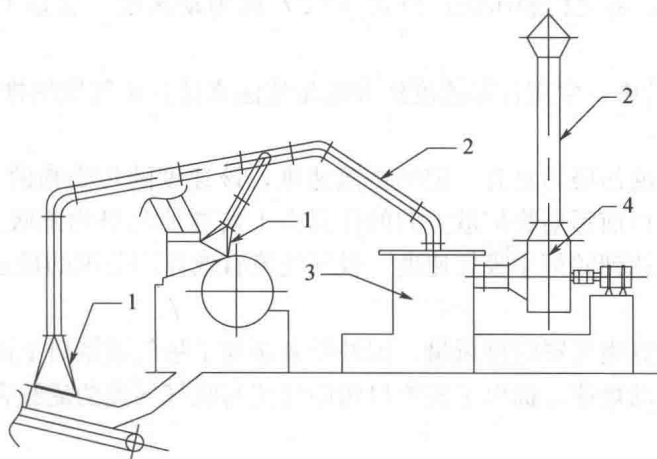


图 1-1 局部排风系统示意图

1—局部排风罩; 2—风管; 3—净化设备; 4—风机

(1) 局部排风罩。在局部排风系统中使用,设置在有害物质发生源处,就地捕集和控制有害物质向周围环境扩散的通风部件。在工厂应用中,其特点是在不妨碍生产工艺和生产操作的条件下,以较小的排风量获得最佳技术效果。

(2) 风管。用来输送含尘、含毒气体的管道,将各设备或部件连成一个整体。

(3) 净化设备。当排出气体中有害物浓度超过排放标准时,用来净化气体的设备。可分为除尘器和有害气体净化装置两类。

(4) 风机。为排风系统提供动力的设备。

1. 外部吸气罩

外部吸气罩是局部排风罩的重要形式之一,简称外部罩或集气罩。

排风量和压力损失为集气罩的主要技术经济指标。

(1) 排风量的确定

1) 集气罩排风量 L (m^3/s) 的实验测定,可以通过实测罩口上的平均吸气速度 v_0 (m/s) 和罩口面积 F (m^2) 确定,即

$$L = Fv_0 \quad (1-1)$$

如图 1-2 所示,也可以通过测得连接集气罩直管中的气体流的平均动压 p_d (Pa) 或气体静压 p_j (Pa) 及其断面面积 F (m^2) 按下式确定,即

$$L = F \sqrt{\frac{2p_d}{\rho}} \quad (1-2)$$

或

$$L = \mu_1 F \sqrt{\frac{2|p_j|}{\rho}} \quad (1-3)$$

式中, ρ —— 气体密度, kg/m^3 ;

μ_1 —— 集气罩的流量系数,计算方法见下式:

$$\mu_1 = \sqrt{\frac{p_d}{p_j}} \quad (1-4)$$

在实际中,测定动压 p_d 比较麻烦,可以测定连接直管中的气流静压,并按公式 (1-3) 确定排风量,称之为静压法;公式 (1-2) 称为动压法。这是工程中常用的两种测定方法。

2) 在工程设计中,常用控制速度法和流量比法来计算集气罩的排风量。

① 控制速度法。

污染源散发出的污染物具有一定的扩散速度,该速度随污染物的扩散而逐渐减小。控制速度是指在罩口前污染物扩散方向的任意点上均能使污染物随吸入气流流入罩内,并将其捕集所必须达到的最小吸气速度。吸气气流有效作用范围的最远点称为控制点。

② 流量比法。

为了准确地计算集气罩的排风量,国外学者研究了集气罩罩口上同时有污染气流和吸气气流的气流运动规律,提出了按罩口污染气流与吸气气流的流线合成来求取排风量的流量比法。

流量比法的基本思路是:把集气罩的排风量 L_p 看成是污染气流量 L_1 和从罩口周围吸入室内空气量 L_2 之和,即

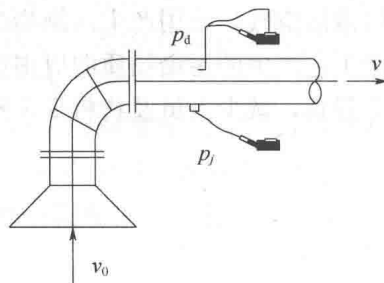


图 1-2 集气罩流量测定

$$L_p = L_1 + L_2 = L_1(1 + L_2/L_1) = L_1(1 + K) \quad (1-5)$$

比值 $K = L_2/L_1$ 称为流量比。显然, K 值越大, 污染物越不易溢出罩外, 但集气罩排风量也随之增大。

(2) 设计中应注意的问题

在设计外部罩时, 有些共性的问题应该加以注意:

1) 为提高外部罩的排风效果和减少排风量, 应采取有效措施防止有害物的扩散及车间横向气流的干扰, 因此外部罩的安装位置应配合工艺尽量靠近有害物源。

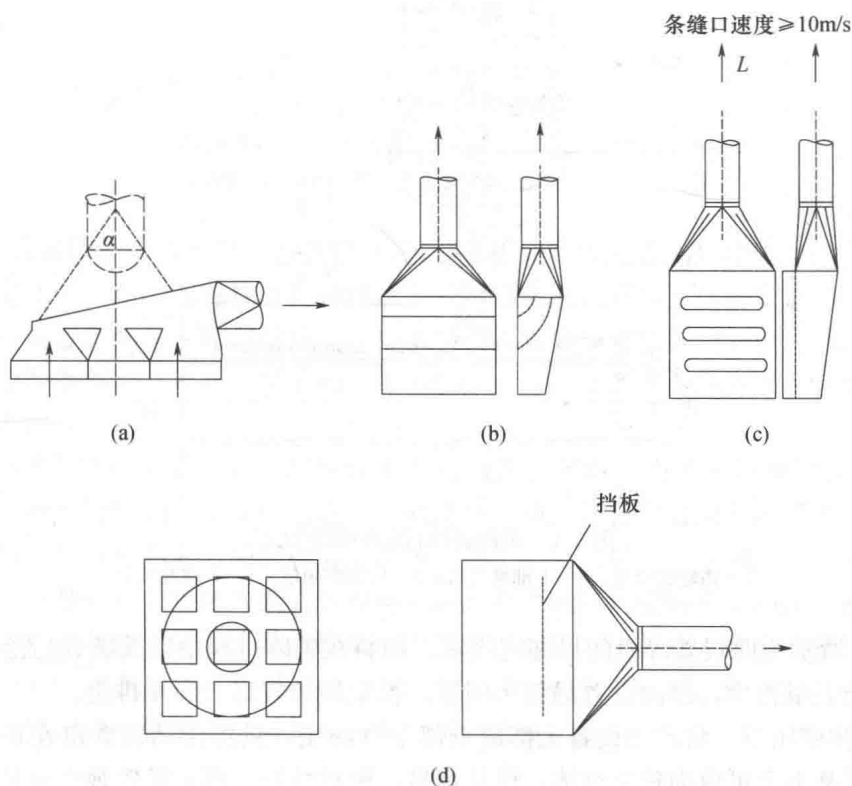
2) 在不妨碍操作的情况下, 排风罩的位置应使吸风气流从操作人员一侧流向有害物源, 以防止有害物对操作人员的影响。

3) 一般伞形罩的罩口面积不应小于有害物扩散区的面积; 侧吸罩的罩口长度应不小于有害物扩散区的边长。当有害物扩散区很宽时, 可分设 2 个、3 个, 以至 4 个侧吸罩。

4) 外部罩上的排风管, 应尽量设置在有害物扩散区的中心, 罩口面积与排风管面积之比最大不应超过 16:1, 喇叭形侧吸罩的长度应为管道直径的 3 倍, 以保证侧吸罩吸风均匀。

5) 侧吸罩的罩口面积, 在保证气流分布均匀和不妨碍操作的情况下, 应尽量加大, 以降低罩口速度及压力损失, 扩大排风罩的吸气区域。

6) 为保证排风罩的排风均匀, 罩壳的扩张角 α 应小于或等于 60° , 如图 1-3 (a) 所示。罩口的平面尺寸较大时, 可采取的措施有: 把一个大排风罩分割成几个小排风罩, 如图 1-3 (a) 所示; 在罩内设分层板, 如图 1-3 (b) 所示; 在罩口上设条缝口, 要求条缝口风速在 10m/s 以上, 如图 1-3 (c) 所示; 在罩口上设置挡板, 如图 1-3 (d)、(e) 所示。



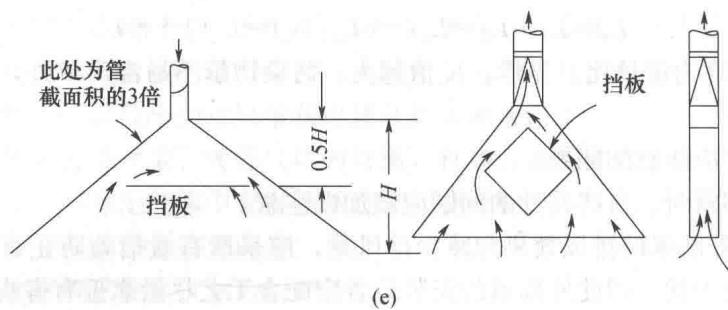


图 1-3 保证罩口气流均匀的措施

2. 密闭罩和柜式吸气罩

(1) 全密闭罩

全密闭罩是将整个尘源密封起来的排风罩，其上只设置一些必要的观察窗和检查孔。按照全密闭罩密封范围的大小，可将它分为以下三种：

1) 局部密闭罩。只将产生尘点予以密闭，其特点是产生尘设备及传动装置在罩外，便于观察和检修。罩内容积小，所需排风量小。但是当含尘气流速度较大或产生尘设备引起的诱导气流速度较大时，罩内不易造成负压，致使粉尘外逸。因此，局部密闭罩适用于集中连续散发粉尘且含尘气流速度不大的尘源。

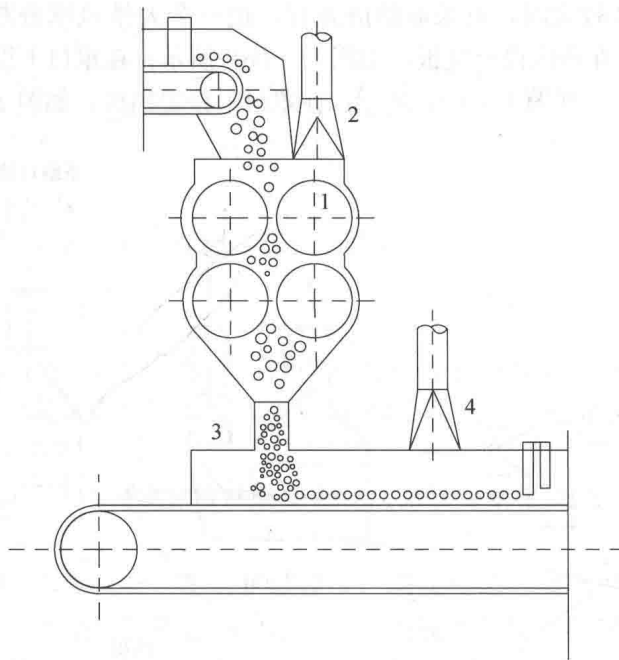


图 1-4 四辊破碎机的局部密闭罩

1—四辊破碎机；2—上部排气口；3—局部密闭罩；4—下部排气口

图 1-4 所示为四辊破碎机的局部密闭罩。物料在破碎过程中以及破碎后落到皮带机上均散发出大量粉尘，因此设置局部密闭罩。粉尘经排气口 2 和 4 排走。

2) 整体密闭罩。将产生尘设备大部或全部予以密闭，只将传动装置留在罩外，其特点是密闭罩基本上可成为独立整体，设计容易，密封性好。罩上设置观察窗监视设备运

转情况。检修时可打开检修门，必要时可拆除部分罩体。整体密闭罩运用于含尘气流速度较大、阵发性散发粉尘、设备多处产生尘等情况。

图 1-5 所示为斗式提升机整体密闭罩。该密闭罩同时又是提升机的外壳。在罩的上部和下部分别开设排气口 4 和 6。某些情况下可用顶部排气口 5 代替上部排气口 4，但在输送热物料时，不应设顶部排气口 5。当提升高度小于 10m 时，可只设一个排气口 4 或 6。

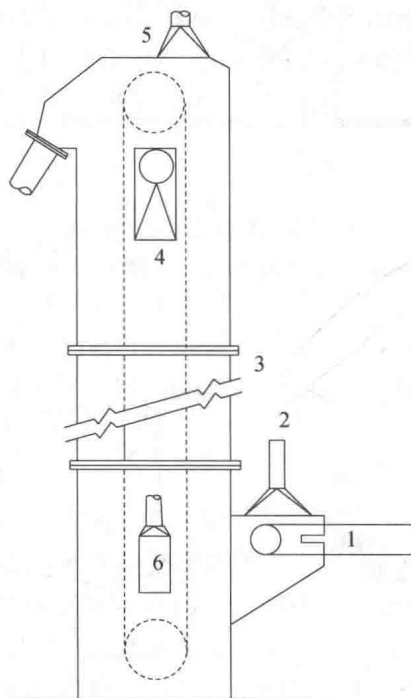


图 1-5 斗式提升机密闭罩

1—皮带输送机；2—皮带输送机排气罩；3—整体密闭罩（外壳）；

4—上部排气口；5—可供选择顶部排气口；6—下部排气口

3) 室式密闭罩。将产生设备（包括传动机构）全部密闭，形成独立的小室，其特点是罩内容积大，粉尘不易外逸；检修设备时可直接进入罩内。这种罩适用于产生尘量大且不宜采用局部和整体密闭罩的情况，特别是设备需要频繁检修的场合。其缺点是占地面积大，建造费用高，不宜大量采用。图 1-6 所示为振动筛室式密闭罩，振动筛及其传动机构都密闭在罩内。

在选择密闭罩的形式时，一般应优先考虑局部密闭罩。为了有效地控制粉尘外逸，必须对密闭罩进行排风，在罩内造成一定的负压，使工作孔和缝隙只向里进气，不向外冒尘。物料飞溅也可在罩内局部点形成正压。图 1-7 (a) 是一个密闭的料仓内产生飞溅时的情况，飞溅时局部尘化气流流速很高，到达壁面时其动能转化为静压，使局部地点压强升高，粉尘外逸。这时若单靠排风在罩内形成负压加以控制，则会使排风量成倍增加。一种更有效的办法是扩大罩子的容积 [图 1-7 (b)]，含尘气流到达罩壁处速度已大为减小，则用较小排风量可将其控制住，不致外逸。

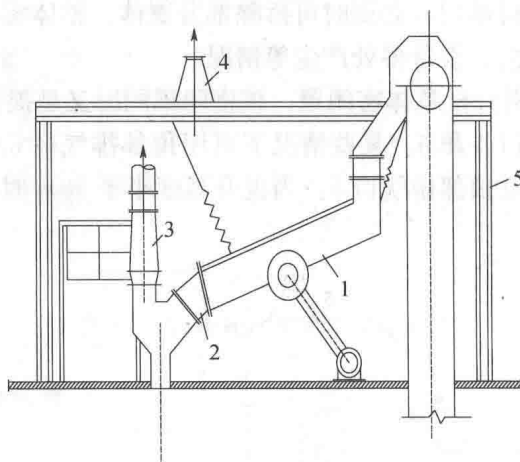


图 1-6 振动筛室式密闭罩

1—振动筛；2—帆布接管；3、4—排气口；5—密闭小室

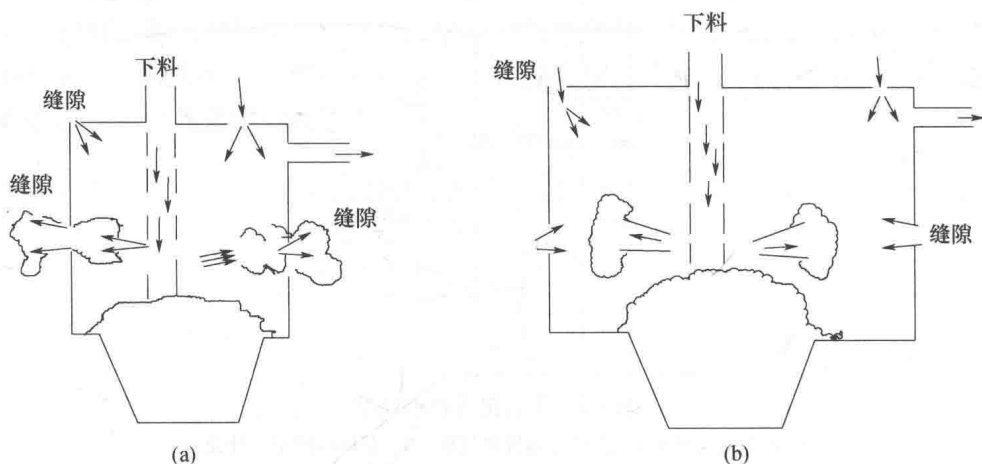


图 1-7 密闭罩内物料飞溅的控制

设计全密闭罩时，应遵循以下几项原则：

- ① 全密闭罩的结构及型式不应妨碍工艺生产过程，尽量便于工人操作。
- ② 尽可能将尘源或产生尘设备完全密闭，罩上所有的接缝要严密以防止漏风。为便于操作和维修而设置的观察窗与检修孔等开口的面积应尽可能小，开口位置要避开罩内的正压部位。
- ③ 为了便于检修，罩的结构应尽可能是可拆卸式的，或设置检修门。
- ④ 为防止含尘气流从工作孔或缝隙处泄露，应对密闭罩进行排风，以使罩内保持一定的负压，排气口的位置应设在罩内压力最高的部位，但须注意避开含尘浓度高或物料飞溅的部位，以免将过多的物料或粉尘吸入除尘系统。
- ⑤ 工作孔口和缝隙处进入罩内的空气速度，与工艺设备的型号、规格和罩子型式有关，可从有关手册中查得，一般取 $1\sim 4\text{m/s}$ 。
- ⑥ 为避免将过多物料或粉尘吸走，密闭罩排气口的空气速度不宜太高，可参考下列数值：对于块状物料，入口风速 $\leq 2\text{m/s}$ ；对于粒状物料，入口风速 $\leq 1\text{m/s}$ ；对于粉

状物料, 入口风速 $\leq 0.7\text{m/s}$ 。

全密闭罩所需排风量的准确计算是很困难的, 目前多采用经验估算法。对于大多数情况, 排风量 L_p 满足下式:

$$L_p = L_1 + L_2 \quad (1-6)$$

式中, L_1 ——物料运动或设备运转带入罩内的诱导空气量, m^3/s ;

L_2 ——由孔口及不严密缝隙的无规则吸入空气量, m^3/s 。

L_1 主要是由于物料下落时诱导周围的空气而产生的, 要获得准确的关系式比较困难。为解决这一问题, 可适当提高空气通过孔口或缝隙的吸入速度, 使 $L_2 \gg L_1$, 则式 (1-6) 可变为

$$L_p = L_2 = v_h \sum F_i \quad (1-7)$$

式中, v_h ——孔口或缝隙处空气的吸入速度, m/s ;

F_i ——第 i 个孔口或缝隙的面积, m^2 。

在实际问题中, F_i 不易确定, 只能估算。

对于某些工艺设备, 其排风量可根据设备的型号、规格和罩子形式直接从有关手册给出的推荐数值来确定。密闭罩的阻力是通风除尘系统总阻力的一部分, 在进行系统阻力计算时要用到。

(2) 半密闭罩

当工艺生产条件不允许对尘源全部密闭, 只能大部分密闭时, 可采用半密闭罩。在粉料装袋、喷漆、打磨、抛光等作业中常常使用半密闭罩。一般情况下, 半密闭罩有一面全部或大部分敞开, 形成大面积的孔口, 以便于工人操作, 为防止有害物从半密闭罩的敞开面外逸, 还必须对半密闭罩进行排风。半密闭罩的种类有很多, 按罩中作业过程是否放热可分为热过程半密闭罩和冷过程半密闭罩两种; 按罩上排气口的位置又可分为上部排气、下部排气和上、下同时排气半密闭罩三种。

半密闭罩的排气口位置对于其敞开面上的空气速度分布有很大影响。若该面上速度分布不均匀, 含尘气体就有可能从速度低的部位逸出罩外。图 1-8 (a) 表示冷过程半密闭罩采用上部排气口时气流运动情况。经实验研究发现, 工作孔上部吸入速度为孔口断面平均流速的 150%, 而下部仅为断面平均流速的 60%。这时若按断面平均流速设计排风量, 则含尘气体有可能从孔口下部逸出。加大排风量可避免含尘气体从下部逸出, 但整个系统的负荷将增大, 经济性变差。为了改善这种状况, 应把排气口设在罩子的下部, 如图 1-8 (b) 所示。当罩内尘源产生较大热量时, 气体受热向上升浮, 这时排气口如设在下部, 含尘气体有可能从孔口上部逸出 [图 1-8 (c)]。因此, 热过程半密闭罩必须在上部排风 [图 1-8 (d)]。

半密闭罩排风量比相应的全密闭罩大, 对冷过程或发热量不大的过程, 半密闭罩的排风量 L_p 可按式计算:

$$L_p = L_c + F v_{\min} \beta \quad (1-8)$$

式中, L_c ——罩内工艺过程产生的污染气体量, m^3/s ;

F ——敞开面面积, m^2 ;

$v_{\min}$ ——敞开面上所需断面最小平均风速, m/s , 一般为 $0.7 \sim 1.5\text{m/s}$, 对于不同的有害物, 可按附录 1-1 取值;

β ——安全系数，一般取 $\beta=1.05\sim1.1$ 。

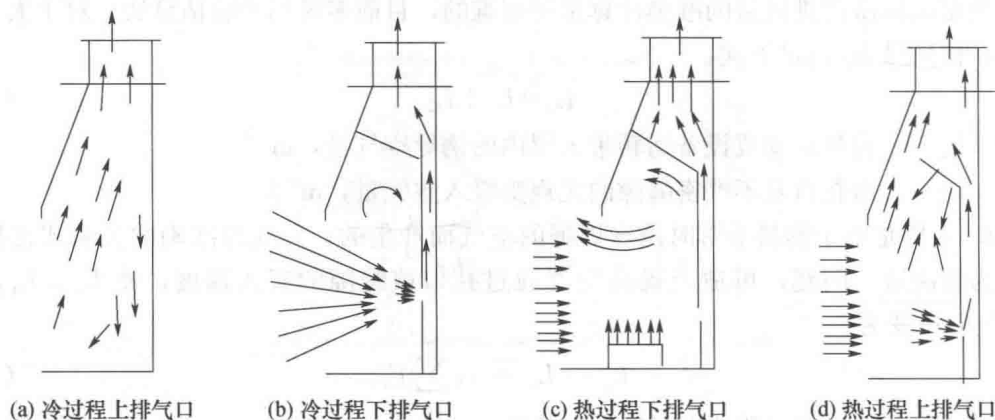


图 1-8 半密闭罩排气口位置的影响

当罩内存在发热量较大的热源时，排风量 L_p 可按下式计算

$$L_p = 0.525 \cdot \sqrt[3]{hQF^2} \quad (1-9)$$

式中， h ——敞开面高度，m；

Q ——罩内发热量，W；

F ——敞开面面积， m^2 。

(3) 通风柜

通风柜是密闭罩的一种特殊形式，其上一般设有可开闭的操作孔和观察孔，产生有害物的操作完全在罩内进行。图 1-9 为典型的上部排风通风柜，当通风柜内产生的有害气体密度比空气小，或当柜内存在发热体时，应选择该设备。图 1-10 为典型的下部排风通风柜，当柜内无发热量，且产生的有害气体密度比空气大，柜内气流下降时，应选择该设备。图 1-11 为典型的上下联合排风通风柜，当柜内发热体的发热量不稳定或产生密度大小不等的有害气体时，为有效地适应各种不同的工况条件，可选用该设备。图 1-12 为上部有拉链式风量调节板的上下联合排风通风柜。另外，还有一种供气式通风柜，其工作孔口上部及两侧设有吹风口，由供气管道输送的空气从吹风口吹出，形成隔挡室内空气的气幕，也称节能型通风柜。

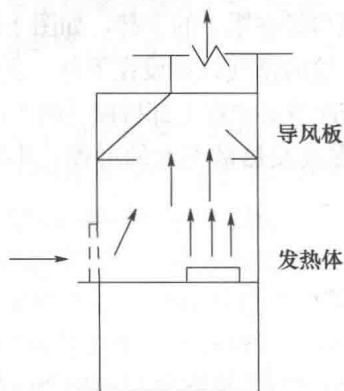


图 1-9 上部排风通风柜

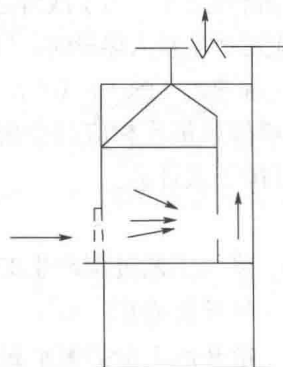


图 1-10 下部排风通风柜

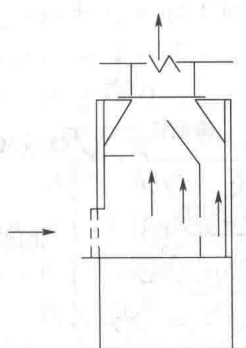


图 1-11 固定导风板上下联合排风通风柜

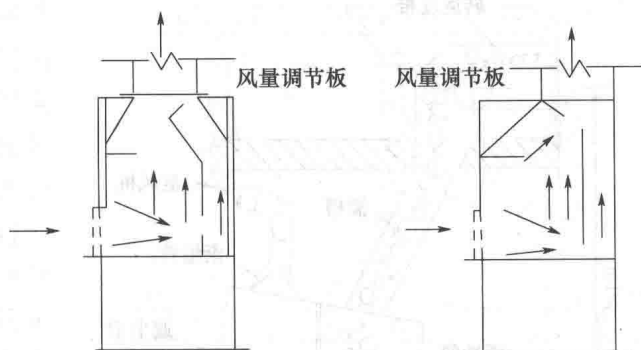


图 1-12 调节风板式上下联合排风通风柜

3. 排风口位置的确定

尘源密闭后，要防止粉尘外逸，还需要排风消除罩内正压。罩内形成正压的主要因素有三个方面的。

(1) 机械设备运动

当图 1-13 所示的圆筒筛在工作过程中高速转动时，会带动周围空气一起运动，造成一次尘化气流。高速气流与罩壁发生碰撞时，把自身的动压转化成静压，使罩内压力升高。在这种情况下，排风口应尽量靠近进料口设置。

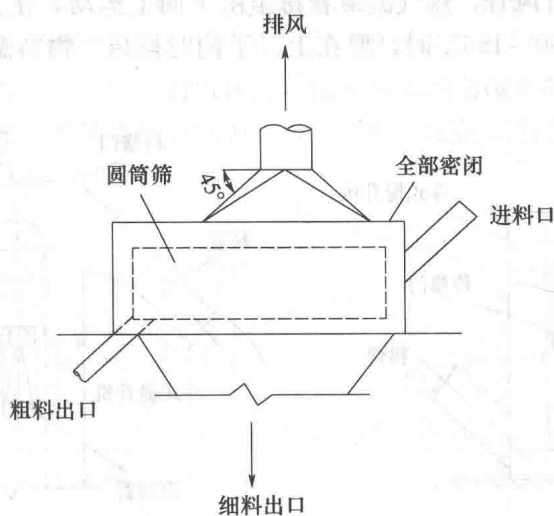


图 1-13 圆筒筛密闭罩

(2) 物料运动

图 1-14 是皮带运输机转落点的工作情况。物料的落差较大时，高速下落的物料诱导周围空气一起从上部罩口进入下部皮带密闭罩，使罩内压力升高。物料下落时的飞溅是造成罩内正压的另一个原因。为了消除下部密闭罩内诱导空气的影响，物料的落差大于 1m 时，应按图 1-14 (a) 所示在下部进行抽风，同时设置宽大的缓冲箱以减弱飞溅的影响；落差小于或等于 1m 时，物料诱导空气量较小，可按图 1-14 (b) 设置排风口。