

# 通风与除尘

福建省职业病防治院

# 前 言

1973年，为了培训我省工矿企业的通风除尘技术力量，我们在福州市举办了通风除尘学习班，为了适应学习班的需要，由福建省机械工业设计院，福州市卫生防疫站和我们共同编写了《通风与除尘》讲义。

嗣后，又经过三期学习班的实践，感到内容上还有很多需要增减的地方，因此，即由福建省国防工办设计院和我们共同做了修改和补充，并于1974年定稿，准备付印。但是，由于，“四人邦”的干扰破坏和我们抓得不紧等原因，始终未能印成。

华主席一举粉碎“四人邦”以后，人心大快，终于获得了迅速付印的机会，但由于定稿和付印的时间相隔很久，这次付印时，又未及再作修改，加上我们的水平有限，书中的错误和缺点一定很多，热忱欢迎各地同志提出批评指正。

在付印过程中，得到三明市卫生防疫站和三明市印刷厂的大力支持，藉此致以衷心的感谢。

编 者

1978年

# 目 录

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 总 论 .....                    | 1   |
| 第一节 粉尘概述 .....               | 1   |
| 第二节 矽肺病简述 .....              | 3   |
| 第三节 矽肺预防 .....               | 4   |
| 第一章 有关空气及其性质的基本知识 .....      | 7   |
| 第一节 空气的组成及大气压力 .....         | 7   |
| 第二节 气体状态的变化及气体状态方程式 .....    | 9   |
| 第三节 浓度的概念 .....              | 15  |
| 第四节 湿空气 I—d图 .....           | 16  |
| 第五节 湿空气状态变化在 I—d 图上的表示 ..... | 20  |
| 第六节 I—d图的应用 .....            | 23  |
| 第二章 主要的通风方法 .....            | 30  |
| 第一节 局部排风的组成部分及一般原则 .....     | 31  |
| 第二节 排气柜 .....                | 35  |
| 第三节 伞形排风罩和侧面排风罩 .....        | 40  |
| 第四节 槽边排风 .....               | 53  |
| 第五节 局部送风 .....               | 87  |
| 第六节 全面通风 .....               | 88  |
| 第七节 自然通风 .....               | 91  |
| 第八节 气流组织 .....               | 105 |
| 第三章 通风管道计算 .....             | 112 |
| 第一节 空气在管道内的流动规律 .....        | 112 |

|            |                         |            |
|------------|-------------------------|------------|
| 第二节        | 管道阻力 .....              | 115        |
| 第三节        | 在通风管网中的压力分布 .....       | 169        |
| 第四节        | 通风管网的设计步骤与方法 .....      | 171        |
| 第五节        | 风道材料及附件 .....           | 179        |
| <b>第四章</b> | <b>通风机选择和计算 .....</b>   | <b>182</b> |
| 第一节        | 通风机的分类 .....            | 182        |
| 第二节        | 通风机构造与作用原理 .....        | 184        |
| 第三节        | 通风机的性能特性 .....          | 187        |
| 第四节        | 通风机的选择 .....            | 194        |
| 第五节        | 通风机工作点的调节 .....         | 211        |
| 第六节        | 通风机安装和使用 .....          | 218        |
| <b>第五章</b> | <b>除尘及气力输送 .....</b>    | <b>226</b> |
| 第一节        | 粉尘的来源及其性质 .....         | 226        |
| 第二节        | 悬浮速度的计算 .....           | 227        |
| 第三节        | 粉尘的飞扬原因及防尘的综合处理原则 ..... | 230        |
| 第四节        | 含尘空气的净化 .....           | 232        |
| 第五节        | 除尘设计 .....              | 233        |
| 第六节        | 气力输送 .....              | 263        |
| <b>第六章</b> | <b>除尘器介绍 .....</b>      | <b>268</b> |
| 第一节        | 旋风除尘器 .....             | 268        |
| 第二节        | 泡沫除尘器 .....             | 290        |
| 第三节        | 布袋干式除尘器 .....           | 297        |
| 第四节        | 沉降室 .....               | 304        |
| 第五节        | 惰性除尘器 .....             | 305        |
| 第六节        | 过滤器 .....               | 306        |
| 第七节        | 文杜里除尘器 .....            | 308        |
| 第八节        | 除尘器选用意见 .....           | 309        |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 第七章 有害物的排除及隔热与降温 ..... | 311 |
| 第一节 主要有害物散发量计算 .....   | 311 |
| 第二节 废气的处理 .....        | 332 |
| 第三节 隔热与降温 .....        | 345 |
| 第八章 通风除尘的测定与管理 .....   | 360 |
| 第一节 测试仪表 .....         | 360 |
| 第二节 通风除尘的测定 .....      | 367 |
| 第三节 通风的安全技术措施 .....    | 383 |
| 第四节 通风系统的调整与运行管理 ..... | 385 |
| 主要参考资料 .....           | 391 |

# 总 论

## 第一节 粉 尘 概 述

### 一、生产性粉尘

在工业生产过程中，由于固体物质的粉碎、过筛、包装，不同种类原料的拌和，物质不完全的燃烧和氧化等，产生很多微细颗粒在空气中飞扬，其中较大颗粒很快沉降到地面或物体上，较小的颗粒则沉降慢，长时间悬浮于空气中，此即为生产性粉尘。

生产性粉尘是污染厂房空气和大气的重要因素之一。随着我国工业建设的发展，受生产性粉尘影响的人数渐渐增多。生产性粉尘不但影响工人及附近居民的健康，而且因原料、半成品和成品的大量逸散，还会造成经济损失，因此防止生产过程中粉尘的飞扬具有重大意义。

产生粉尘的作业很多，如：矿山开采，岩石巷道掘进；矿石及耐火材料、玻璃、陶瓷等工业的原料粉碎、研磨、筛选；金属冶炼，铸件的开箱、清砂、喷砂、磨光及各种粉尘状物质的混合、过筛、包装搬运等都产生粉尘。

### 二、生产性粉尘对人体的危害

当人们长期工作和生活含有粉尘的空气环境中，粉尘即对人体发生不同程度的危害。粉尘作用于人体的部位不同，危害也不一样。如：当皮肤上沾满了很多刺激性粉尘时，可以引起皮炎，尤其是夏天多汗，粉尘易阻塞毛孔，引起毛囊炎、脓皮病等；水泥尘中含有铬，夏天可以引起皮炎，冬季易引起皮肤干燥、皲裂；粉尘落入眼内，因刺激作用或阻塞眼睑毛孔而引起结膜炎或麦粒肿；皮毛加工厂的粉尘，黄麻粉尘等对某些人有过敏作用，吸入后可以引起哮喘病。当粉尘吸入呼吸道时，部分可被鼻毛和呼吸道内壁阻留，并被气管粘膜纤毛和粘液所排出，如生产过程不采取适当的防护措施，长期大量地吸入，这些粉尘，刺激呼吸道粘膜，易引起慢性鼻炎、咽炎、喉炎、气管炎、支气管炎等。粉尘进入肺泡后，部分粉尘被吞噬成为尘细胞，一部分尘细胞和粉尘颗粒由支气管咳出，一部分通过肺泡壁进入肺间质，尚有一部分滞留在肺泡内，因而引起肺的纤维组织增生。当大量粉尘长期作用，因呼吸道粘膜的慢性炎症变化，显著地降低了呼吸道粘膜阻留粉尘的功能，致使大量粉尘侵入到肺泡内，因吞噬细胞的堆积坏死，纤维组织的增生，进而影响了粉尘的排出，阻碍吞噬细胞对粉尘的清除作用，给粉尘的毒害作用提供了条件。同时进入肺间质的尘细胞和粉尘颗粒，随组织液流动到淋巴管末端和淋巴结内堆积，阻塞与破坏淋巴系统，引起大量纤维组织增生。另外，在肺泡内和肺间质中，粉尘颗粒和堆积的坏死吞噬细胞团，沉着在结缔组织的支架上，形成斑块（结节）即产生尘肺。另外某些粉尘如铬、镍等可引起肺癌，已为国内外所公认。

### 三、影响尘肺发病的因素

#### (一) 粉尘颗粒的大小

粉尘颗粒直径大于10微米时，在空气中呈加速度下降，停留时间较短，不能达到肺泡内（但石棉纤维由于形状之故，30微米也能到达肺泡）。进入呼吸道后，可被支气管粘膜纤毛和粘液排出。颗粒直径小于10微米，其重量接近于空气的浮力，可长期悬浮于空气中。小于2微米的尘粒都能到达肺泡，但小于0.2微米的尘粒因重量小于空气的浮力，在空气中呈布朗运动，进入肺泡后，大部分又重新呼出，0.5—5微米者始能致病，而最危险者为0.5~2.5微米的粉尘颗粒。

用分散度表示粉尘颗粒的大小。分散度是表示物质被粉碎的程度，即不同大小粉尘颗粒的百分比。分散度越大，对人体危害越大，尘肺发病率越高。反之，对人体危害也就小，其原因：

1. 分散度大，粉尘颗粒小，在空气中悬浮的时间长，被吸入体内的机会就多。

2. 粉尘颗粒小，通过鼻腔进入气管和肺泡的机会就多，如小于2微米的粉尘颗粒都能达到肺泡，而10微米的只有15%可以通过鼻腔。另外，粉尘越小越易被吞噬细胞所吞噬。吞噬细胞的最大吞噬限度为5微米，多数为3微米，1微米的粉尘可以通过血循环进入肝、脾等组织内。

#### (二) 粉尘的化学成份

粉尘所含化学成分不同，对人体的危害也不一样。自然界的矿物质约有75%不同程度地含有二氧化矽。有的单独存在，称为游离二氧化矽（ $\text{SiO}_2$ ），如石英含游离二氧化矽可高达99%以上，有的与其他物质化合成为结合状态，称为矽酸盐，如石棉主要是镁与矽两种盐构成的矽酸盐。二氧化矽（ $\text{SiO}_2$ ）具有水溶性，在硷性介质内及颗粒小时溶解快，二氧化矽可溶解成为矽酸酐（ $\text{H}_2\text{SiO}_3$ ）。矽酸可以刺激组织产生纤维化，所以粉尘含有二氧化矽越高，则矽肺的发病率就越高。含矽酸盐的粉尘能引起矽酸盐肺；煤尘能引起煤肺；含有两种化合物如煤、矽混合性粉尘，可引起煤矽肺。

#### (三) 生产场所粉尘的浓度

生产场所粉尘浓度越高，危害性则越大（发病快，病变广）。国家规定含游离 $\text{SiO}_2$  10%以上的粉尘（石英、石英岩），每一立方米空气内不得超过2毫克；游离 $\text{SiO}_2$ 含量低于10%的粉尘，每一立方米空气内不得超过10毫克。

#### (四) 接触粉尘时间

在某种粉尘环境下，接触粉尘的时间越长，尘肺发病率则越高。一般在中等浓度的粉尘环境中，10—15年发病；在较低浓度下则需25年左右；在加工含矽量高的原料而且没有防护措施的情况下，一年内即能得病。

#### (五) 溶解度和比重

各种粉尘的性质不同，溶解度也不一样，粉尘对人体的危害程度，与粉尘的溶解度有关。有毒粉尘，随着溶解度的增加，毒性作用常也增加。无毒的粉尘则相反，溶解度越大，在体内越易排出，降低其有害影响。生产性粉尘的比重越小，则粉尘越轻，在空气中悬浮的时间就长，危害也就大。

## （六）人体的抵抗力

尘肺的发病与人体的抵抗力及感受性有关。健康的肺脏有清除粉尘的能力，当患有活动性肺结核及肺外结核者，有严重影响呼吸功能的肺及胸膜疾病者，患有呼吸道疾病，如：气管炎、萎缩性鼻炎等，均可使呼吸系统滤尘功能减弱，且粉尘不易被清除，而积聚在肺内，增加尘肺的发病机会。

作业环境恶劣，劳动强度大，工作时间长，无防尘设备或防尘设备不良等，均可增加尘肺的发病率。

## 第二节 矽肺病简述

### 病 因

矽肺是由于长期吸入含有大量游离二氧化矽的粉尘所引起的，以肺部纤维化病变为主的一种全身性疾病。凡是能产生大量矽尘的行业、工种，如不加强防护，都有可能发生矽肺病。

### 症 状

矽肺病是个慢性病，早期多无明显症状，有的人完全没有症状。矽肺最常见的自觉症状首先是呼吸困难。早期有胸闷感，活动后气急，甚至在安静时也发生呼吸困难。其次常见有咳嗽，尤其早期咳嗽加剧，初期痰量不多。胸痛也是最常见的症状，多在矽肺早期出现。胸痛性质多为钝痛。全身状态一般较好。晚期由于影响心脏，右心肥大，发生肺原性心脏病，全身极度衰弱，从而丧失劳动力。

### 诊 断

矽肺的诊断主要依据是：职业史、症状、化验、呼吸功能测定及X线胸片检查。其中以职业史和X线胸片检查为重点。

职业史的内容应包括患者过去参加粉尘作业的生产部门，工种、工龄、生产环境的粉尘浓度以及粉尘中游离二氧化矽的含量等。有时患者记忆不清或陈述不够具体，还有必要耐心地帮助患者详细回忆，并尽可能深入现场进行调查了解，忽视职业史往往造成诊断错误，不掌握可靠的职业史，即使肺部有明显的弥漫性纤维化，仅凭X线胸片还是不能诊断矽肺的，因为有许多非粉尘性肺部疾病也可以产生相似的X线影象。

一九六三年中央颁布了矽肺诊断标准。主要根据结节的多少分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ期。在X线胸片上发现一定数量肯定的矽结节阴影即可诊断为Ⅰ期矽肺。矽结节布满两侧肺野为Ⅱ期矽肺，矽结节逐渐变大融合其直径大于二厘米的团块状阴影即列入Ⅲ期矽肺。对怀疑有矽肺者列为观察对象、观察对象不属矽肺病人，需要定期复查。

### 治 疗

矽肺病是严重危害工人身体健康和生命，影响社会主义建设的一种常见职业病。过去刘



少奇、林彪、“四人帮”推行反革命修正主义路线，把矽肺宣判为“不治之症”，根本不重视研究治疗矽肺的药物。无产阶级文化大革命以来，广大医疗、科研人员在毛主席革命卫生路线指引下，发扬了共产主义大协作的精神，开展大量科学研究工作，寻找中西医结合的治疗途径，摸索对矽肺患者的保健措施，并在矽肺的防治上总结出许多经验，取得了一定成绩。

#### 1. 一般强壮疗法：

合理营养，适当的锻炼或轻微的体力劳动等都有增强机体抵抗力作用。

#### 2. 对症疗法：

对于咳嗽、气短、胸痛等症状，采用对症疗法，常用咳嗽合剂、咳必清、氨茶碱及可待因等。

#### 3. 特殊治疗：

①克矽平：根据临床试用结果认为该药有延缓矽肺进展的效用。用法：4%克矽平溶液6毫升喷雾吸入，每日一次。喷雾六天休息一天，三个月为一疗程。

②抗矽-14：根据省内外临床试用结果，大多数认为该药有稳定及延缓矽肺进展的效用。用法：一般月总量为1.0克，每周口服一次，每次0.25克，六个月为一疗程。每疗程之间可停药1—2月。

#### 4. 中医治疗：

遵照伟大领袖毛主席关于“中国医药学是个伟大的宝库，应当努力去发掘，加以提高。”的教导，各地厂矿及医疗卫生单位，开展了矽肺中草药治疗的研究，初步摸索了一些方剂，特别是无产阶级文化大革命后，在毛主席革命卫生路线指引下，广泛地开展群众性防治矽肺工作，涌现出许多新疗法、新途径。从各地经验总结资料中看出，这些疗法、方剂在改善矽肺患者的症状、增强体质、减少呼吸道的感染、延缓了病情的进展等方面获得不同程度的效果。目前正在进一步深入研究，为今后找出更好的药物及中西医结合的疗法而努力。

### 第三节 矽肺预防

遵照伟大领袖毛主席“在实施增产节约的同时，必须注意职工的安全、健康和必不可少的福利事业”的教导，以及党和政府对广大工人身体健康无微不至的关怀，国务院制定了一系列保障工人健康的法规和办法。中华人民共和国宪法九十二条规定：“中华人民共和国劳动者有休息的权利。国家规定工人和职员的工作时间和休假制度，逐步扩充劳动者休息和休养的物质条件，以保证劳动者享受这种权利。”中国共产党第八次代表大会提出：“切实加强劳动保护，工矿卫生和技术安全的设施，保障工人生产的安全。积极采取措施，减少和消除几种危害比较严重的职业病，特别注意井下、高温、野外、高空等作业工作人员的劳动条件和妇女的劳动条件。”

在伟大领袖毛主席和党中央的关怀下，一九五六年五月二十五日国务院全体会议第29次会议通过了《国务院关于防止厂、矿企业中矽尘危害的决定》并发布了《工厂安全卫生规程》等法规，规定产生粉尘的生产场所，要加强密闭通风，在生产条件许可下，应采用湿式作业，同年，国家建委与卫生部颁布了《工业企业设计卫生标准》其中规定矽尘厂、矿车间

作业点，矽尘浓度不得超过2毫克/立方米。自一九五三年以来，多次召开了全国防尘和矽肺治疗现场经验交流会。在一九六二年召开的全国防止矽尘危害工作会议上，周总理亲临指示“争取在三、五年内解决全国矽尘危害问题”，一九六三年二月廿九日，国务院的国经周字100号文批转一九六二年十二月防尘会议报告，并在一九六三年拨防尘专款1300万元。同年7月15日由卫生部和劳动部修订公布《矽尘作业工人医疗预防措施办法》。促使我国防尘工作进一步的开展，矽肺的发病率大幅度降低。但是，由于刘少奇、林彪和“四人帮”反党集团推行反革命修正主义路线的干扰和破坏，使毛主席“预防为主”的方针得不到全面贯彻，矽肺病的发生与发展未能很好控制。

预防矽肺最根本的办法是贯彻“预防为主”的方针，发动群众搞好降低生产场所粉尘浓度的各项措施。根据国务院的规定，将含有游离二氧化矽百分之十以上的粉尘降低到每立方米空气中两毫克以下，就可以控制矽尘危害，防止矽肺的发生，两毫克这个标准是国家规定的安全界限，一般说来，两毫克矽尘飘浮在一立方公尺大的容积空气中，用肉眼是看不清的，如果我们的作业环境能达到这个指标，工人就不易得矽肺病了。

要做好防尘工作，路线是根本，领导是关键，群众是基础，制度是保证。采取各种行之有效的综合防尘措施，使作业环境空气中矽尘含量降低到国家规定标准以下，要达到这个要求，就应采取八字综合防尘措施即宣、革、水、密、风、护、管、查。

## 宣

厂矿的分工负责安全的人员和医务人员，都要经常地加强防尘知识的宣传，做到人人皆知防尘的重要性和防尘措施的使用技术。使工人经常做到“六轻”（轻拿、轻放、轻拌、轻倒、轻筛、轻扫）和“四勤”（勤扫、勤擦、勤检查、勤封糊、密闭）；“三扫”（上班前、中间休息、下班后打扫）；“三湿”（原料、运输、加工要湿）；“三定”（定期测定、定期检查、定期复查）。

## 革

彻底改革生产技术，使生产过程中不发生粉尘，如：机械化、密闭化和自动化的生产，对必须经过粉碎和配料过程而易产生粉尘的操作，应尽量用机械化、自动化操作，并注意严格地密闭和除尘工作，这样就会大大避免粉尘对人的危害，如玻璃制造可用自然砂代替石英粉，这种砂子不需加工粉碎即可应用，因此大大减少了粉尘的危害。

## 水

一切产生粉尘的生产过程，在不影响产品质量的情况下，都要采取湿式作业，例如水磨，水筛，湿式拌料，水力清砂等。适用加水的工业有：玻璃、耐火、陶瓷、搪瓷、翻砂、矿山打眼和清扫等，都可以采取湿式作业，防止粉尘飞扬。

## 密

不能采用湿式作业的生产环节，均应进行密闭作业，如：碾料与筛砂可用密闭装置，翻砂车间应用滚筒清铲，喷砂作业要在密闭柜进行，并在密闭装置上再加上机械抽风装置，防

尘效果就会更好。

## 风

利用自然通风与机械的力量加强通风、排除粉尘，也是降低空气中粉尘浓度的重要措施。

## 护

加强个人防护，合理使用个人防护用品。平时积极锻炼身体，注意饮食，增强身体对疾病的抵抗力，防止呼吸道传染病的发生；养成良好的卫生习惯，工作时穿好工作服，戴好口罩、手套，必要时戴防尘帽盔和眼镜。总之，加强个人防护是一项重要辅助防尘措施。

## 管

工厂的各级领导应遵照伟大领袖毛主席的教导：“革命战争是群众的战争，只有动员群众才能进行战争，只有依靠群众才能进行战争”，把防尘工作纳入企业管理工作中去，发动群众把防尘工作管理好，在此基础上建立防尘设备管理责任制，建立防尘设备养护检查维修和使用制度，车间与室外环境定时清扫交接班制度，以保证设备的正常运行，达到应有的除尘效果。

## 查

定期对粉尘作业场所进行测定和对矽尘作业工人进行查体，以便早期发现矽肺或肺结核，肺气肿等禁忌症，达到早期调离矽尘作业和进行合理治疗的目的。

以上“八字”综合防尘措施中，通风防尘在防尘工作中是一项积极有效的技术措施，如果能密切结合生产工艺过程，因地制宜设计好一套通风除尘设备，它就能起到改善车间生产环境，防止矽尘的危害，减少矽肺的发生。同时由于通风密闭，回收生产的成品和原料对增产节约方面也起了一定的作用。

# 第一章 有关空气及其性质的基本知识

## 第一节 空气的组成及大气压力

空气是气体以及其它杂物的混合物，它是由数量几乎无变化的几种主要气体（氮、氧、氢、二氧化碳），数量经常变化的水蒸汽，为数极少的稀有气体（氦、氖、氩、氪、氙等），尘粒，工业烟雾和细菌等各种杂物所组成。

在一般情况下，空气中主要气体组成部分。

| 气 体                    | 按 重 量 百 分 比 | 按 体 积 百 分 比 |
|------------------------|-------------|-------------|
| 氮 (N <sub>2</sub> )    | 75.55%      | 78.13%      |
| 氧 (O <sub>2</sub> )    | 23.10%      | 20.90%      |
| 稀有气体                   | 1.30%       | 0.94%       |
| 二氧化碳(CO <sub>2</sub> ) | 0.05%       | 0.03%       |

空气中水蒸汽的含量随空气的温度和大气压力在较大的范围内变化。混有水蒸汽在内的空气叫做湿空气，不混有水蒸汽在内的空气叫做干空气。实际上，完全不含水蒸汽的干空气，在大气中是没有的。如果在一定的温度和压力下，空气中所含的水蒸汽到达了最大可能的含量时，这种空气就称做饱和空气。

我们知道：在混和气体的压力中，由其中某一气体所产生的那一部分压力，叫做该气体的分压。

因此，我们所观测到的大气压力是干空气和空气中所含水蒸汽的总压力，即大气压力是由干空气与水蒸汽的分压力所合成。则

$$B = h_1 + h_w \text{ (毫米水柱)}$$

式中：

B —— 大气压力（毫米水柱）

$h_1$  —— 干空气的分压力（毫米水柱）

$h_w$  —— 水蒸汽的分压力（毫米水柱）

大气压力（B）：地球表面的空气层压在单位面积上的重量（静压）称为大气压力，一般用毫米汞柱来表示。大气压力随着季节、晴雨天气变化而稍有高低，通常以纬度 45° 处海平面上的平均气压作为一个标准大气压或物理大气压，它相当于 760 毫米汞柱。任何流体的静压是随流体的深度而改变的，因此除了纬度之外，不同地区由于海拔不同，大气压力也应该不同。例如，从各地区的气象资料可以查得，福州、厦门两个沿海城市大气压力夏季分别为

747、752毫米汞柱，冬季分别为759、764毫米汞柱，而拉萨这样的高源地区(海拔3658米)，夏冬两季的大气压只有487毫米汞柱，比沿海城市低得很多。由于大气压力不同，空气的性质也会不同，通过设计时应注意这一点。

如果某一地点没有气象资料，仅有海拔高度，可用下式近似地计算大气压力：

$$B = \frac{760}{10^{\frac{H}{18.4 + 0.067t}}}$$

式中：B——在海拔H公里处的大气压力，毫米汞柱；

760——海平面的大气压力，毫米汞柱；

H——海拔高度，公里；

t——该地点的室外平均温度 °C。

1 大气压力 = 76厘米汞柱 = 760毫米汞柱

用符号可以写成 1 大气压力 = 76cmHg = 760mmHg

式中cm是厘米的符号，mm是毫米的符号，Hg是水银(汞)的符号，1cm = 10mm。

76厘米水银高度的压力究竟有多少大呢？可按下式计算：

$$P_a = rh$$

式中：P<sub>a</sub>——大气压力，r——水银的容重，h——水银柱高度。水银的容重 r = 13.6 × 10<sup>3</sup> 公斤/米<sup>3</sup>，h = 76厘米 = 0.76米，所以：

$$\begin{aligned} 1 \text{ 大气压力 } P_a &= rh = 13.6 \times 10^3 \text{ 公斤/米}^3 \times 0.76 \text{ 米} \\ &= 1.0336 \times 10^4 \text{ 公斤/米}^2 \\ &= 1.0336 \text{ 公斤/厘米}^2 \end{aligned}$$

水的容重(1000公斤/米<sup>3</sup>)比水银轻，因此水柱的高度就很高，由实验或经计算1大气压力的水柱高度为1033.6厘米或10336毫米。在通风工程中常用水柱高度来表示大气压力：

1 大气压力 = 1033.6厘米水柱 = 10336毫米水柱

在工程中，往往用工程大气压力来表示：

$$\begin{aligned} 1 \text{ 工程大气压力} & \text{定义为 } 1 \text{ 公斤/厘米}^2 = 10000 \text{ 公斤/米}^2 \\ & = 10000 \text{ 毫米水柱} \\ & = 10 \text{ 米水柱。} \end{aligned}$$

大气压力的单位换算见表1—1

表 1—1 大气压力的单位换算表

| 公斤/米 <sup>2</sup>        | 公斤/厘米 <sup>2</sup> | 大 气 压  | 汞 柱(厘米) | 水 柱(毫米)                  |
|--------------------------|--------------------|--------|---------|--------------------------|
| 1.0336 × 10 <sup>4</sup> | 1.0336             | 1      | 760.00  | 1.0336 × 10 <sup>4</sup> |
| 1 × 10 <sup>4</sup>      | 1                  | 0.9978 | 753.56  | 1.0 × 10 <sup>4</sup>    |

大气压力还有一个单位就是巴，在气象报告中气压就是用巴或毫巴作单位。

$$1 \text{ 大气压力} = 1013 \text{ 毫巴} = 1.013 \text{ 巴}$$

## 第二节 气体状态的变化及气体状态方程式

### 气体的状态

在通风除尘过程中，我们是利用空气的流动（自然的或机械的）带走灰尘和排除有害气体。因此，有关空气（气体）的状态变化是通风工程的基本知识，必须予以了解。

描述气体状态的三个量：

#### 一、体积（V）

由于气体的分子可以在空间自由运动，因此它不象固体或液体有明显的体积。通常我们把气体分子能到达的空间称为它的体积。例如管道内气体的体积就是管道的体积。

体积的单位用立方米（米<sup>3</sup>）或立方厘米（厘米<sup>3</sup>）来表示，两者的关系为：

$$1 \text{ 米}^3 = 1000000 \text{ 厘米}^3。$$

相同的体积，但里面的气体不同，状态也就不同。如气球里是空气，则气球不会上升。如果气球里装的是氢气，那末气球就要上升了。这是因为氢气分子的重量比空气分子的重量轻。不同气体的分子它们的重量不一样。这种情况可以用容重这一量反映出来。所谓容重就是单位体积的气体重量。可用 $\gamma = G/V$ 来表示。其中 $\gamma$ 代表容重， $G$ 代表气体的重量， $V$ 代表气体的体积。容重的单位用千克/米<sup>3</sup>或公斤/米<sup>3</sup>表示。例如在一个大气压力下，温度为零度时：

$$\text{空气的容重 } \gamma_{\text{空}} = 1.293 \text{ 公斤/米}^3$$

$$\text{氢气的容重 } \gamma_{\text{氢}} = 0.0896 \text{ 公斤/米}^3$$

我们知道热空气可以在空间上升。这是因为热空气的容重要比冷空气的容重小。例如60°C时空气的容重 $\gamma = 1.060 \text{ 公斤/米}^3$ ，0°C空气的容重 $\gamma = 1.293 \text{ 公斤/米}^3$ 。热空气的容重比冷空气小的原因，是因为热空气温度高，温度越高，气体分子的运动速度越大。热空气的分子速度要比冷空气速度大，因此热空气的分子所能达到的空间（即体积）要比冷空气的大，因而容重小。

#### 二、温度（t）：

温度是表示物体的冷热程度。气体的温度高，就是说气体分子的热运动剧烈，也就是分子运动的速度大，或者说分子的动能大。

温度的单位一般用°C（摄氏）表示，以冰水的温度作为0°C，沸水的温度作为100°C。在有些情况下，温度用绝对温度°K来表示。两者关系为：

$$T^\circ = 273^\circ + t^\circ\text{C}$$

例如  $t = 10^\circ\text{C}$ ，如用绝对温度表示，则

$$T^\circ = 273^\circ + 10^\circ = 283^\circ\text{K}$$

#### 三、压力（P）

我们生活在大气中，每时每刻都受到大气压力的作用，只是不感觉到而已。通风管道中气体对管道壁的压力，它的产生是由于气体分子在不停地自由运动，每一个分子在运动时都有一定的速度。当分子飞向器壁时就与器壁碰撞，因此器壁受到分子给它的压力。大量气

体分子同时对器壁碰撞的结果就形成气体对器壁的压力。当气体分子的速度越大（也即气体温度越高），器壁受到气体的压力越大，例如把已经有些瘪的乒乓球，放入热水中，乒乓球可以恢复原状。其次气体的密度（即单位体积中气体分子的数目）越大，器壁所受的压力也越大，例如自行车轮胎的打气。

气体压力的测量主要是利用液柱的高度差。如图 1—1，现测量容器 V 内气体压力。将一盛有液体的 U 形管与容器相连。当阀门未打开时 U 形管两边液柱高度相同。开动阀门后，容器 V 与 A 端连通，管内液体来回摆动，最后稳定。此时液柱高度可能有下列三种情况：

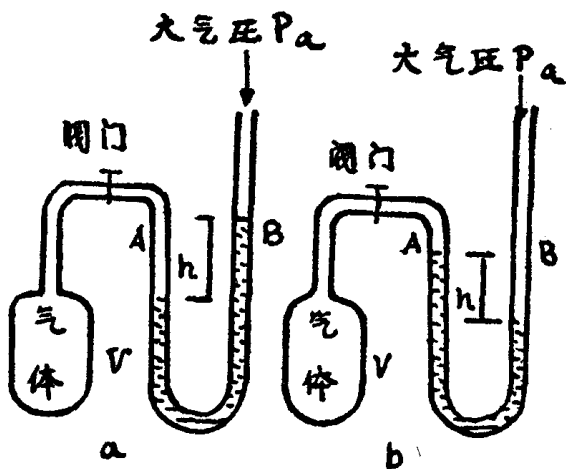


图 1—1

(1) 两边液柱高度不等，B 端比 A 端高如

图 1—1a。这是因为容器 V 内的气体压力要比大气压力  $P_a$  大，液体压向 B 端，大出的部分就是高度为  $h$  的液柱重量所引起的压力，其数值为  $rh$ 。故 V 内气体压力为：

$$P = P_a + rh$$

容器内气体的压力与大气压力的差，即  $P - P_a$  称为压力差，压力差是相对的。

$$P - P_a = rh$$

当  $P > P_a$  时， $P - P_a$  是正值，此时容器内的气压比大气压  $P_a$  大，因此我们称容器内的气压为正压。有时又把压力差称为压头。当气体是静止时又称为静压头。

(2) 若 A 端比 B 端高如图 1—1b，这说明容器 V 内的气体压力比大气压力  $P_a$  小，用式表示：

$$P = P_a - rh$$

$$P - P_a = -rh$$

此处  $P - P_a < 0$  是负值，容器内的气压为负压或负压头。

在通风工程中常说某处气体压力为 90 毫米水柱，这是指该处气体压力比大气压力大 90 毫米水柱，因此该处的实际气压是  $10336 + 90 = 10426$  毫米水柱。如果该处气体为 -90 毫米水柱气压，那末实际气压应为  $10336 - 90 = 10246$  毫米水柱。

(3) 若 A、B 两端液柱一样高，则说明容器内的气体压力就是大气压力， $P = P_a$ ，压力差  $P - P_a = 0$ 。

## 气体状态方程式

在实际工程中我们仅应用上述的三个状态过程来研究气体状态的变化是不够的，因为实际上气体的压力、体积和温度常常是同时发生变化，要解决这个问题，就要进一步来研究气体状态方程式。

我们知道：一定质量的气体的体积和压力的乘积，被它的绝对温度除后，所得的商是一个恒量，就是

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \frac{P_3 V_3}{T_3} = \text{恒量}$$

上述为一定量气体的一般规律即理想气体状态方程式，简称气体状态方程式。

当气体的质量为G公斤时，则

$$PGv = PV = GRT$$

式中 P——气体的绝对压力（公斤/米<sup>2</sup>）；

V——G公斤气体的体积（米<sup>3</sup>）；

$v = \frac{V}{G}$  = 1公斤气体的体积，米<sup>3</sup>/公斤；

T——绝对温度°K；

R——气体常数，公斤·米/公斤·°C；

干空气的R = 29.27公斤·米/公斤·°C

水蒸汽的R = 47公斤·米/公斤·°C

**例** 如进入泡沫除尘器之前的高温烟气 $t_1 = 147^\circ\text{C}$ ，流量为 $V_1 = 2000$ 米<sup>3</sup>/时，烟气压力 $P_1 = -90$ 毫米水柱。经泡沫除尘器冷却后，进入通风机前其温度为 $t_2 = 47^\circ\text{C}$ ，烟气压力为 $P_2 = -20$ 毫米水柱。求进入通风机的烟气流量。

**解** 这例题中P、V、T三者都在变，故运用方程：

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

已知： $V_1 = 2000$ 米<sup>3</sup>/时

$$T_1 = 273^\circ + 147^\circ = 420^\circ\text{K}$$

$P_1$ 在题中给出-90毫米水柱，这是指相对压力，负是表示 $P_1$ 比大气压低90毫米水柱，因此 $P_1$ 的实际值应为 $P_1 = 10336 - 90 = 10246$ 毫米水柱。

$$T_2 = 273^\circ + 47^\circ = 320^\circ\text{K}$$

$$P_2 = 10336 - 20 = 10316 \text{毫米水柱}$$

代入  $V_2 = \frac{P_1 V_1 T_2}{P_2 T_1}$

$$V_2 = \frac{10246 \times 2000 \times 320}{10316 \times 420} = 1512 \text{米}^3/\text{时}$$

由计算可知进入通风机的烟气每小时流量为1512米<sup>3</sup>。

上面讲了在一般情况下，P、V、T三者都在变，但是在考虑具体的变化过程中，如果某一个量前后变化相对其它二个量变化为小时，我们可以把这个量看作不变以等值过程来处理。如在变化过程中，压力P的变化比温度、体积的变化小时，这过程可看作等压过程，其计算以等压过程来处理。

前面讨论的三个等值过程都可由理想气体状态方程式推导出来：

如 T不变，即 $T_1 = T_2$  则  $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$  变为 $P_1 V_1 = P_2 V_2$  即等温过程。

P不变，即 $P_1 = P_2$  则  $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$  变为  $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$  即等压过程。

V不变，即 $V_1 = V_2$  则  $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$  变为  $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$  即等容过程。



气体可以处于各种不同的状态，为了使状态有一个参考标准，通常把  $P = 760\text{mmHg}$ ， $T = 273^\circ\text{K}$  (即  $t = 0^\circ\text{C}$ ) 称之为标准状态。工程上，有时也把  $P = 760\text{mmHg}$ ， $T = 20^\circ\text{C} = 293^\circ\text{K}$  称之为标准状态。一般工程手册中有关一些数据都是在标准状态下的数据。如状态不处于标准状态时，可利用上面公式进行换算。

**例** 在 1 大气压下，高温烟气  $t = 95^\circ\text{C}$  时，其体积为  $V = 1000\text{米}^3$ 。现换算成标准状态  $t = 20^\circ\text{C}$  时，烟气体积是多少？

因大气压均为 1 个大气压，故可利用等压过程来进行换算，

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$T_1 = 273^\circ + 95^\circ\text{C} = 368^\circ\text{K}, V_1 = 1000\text{米}^3, T_2 = 273^\circ + 20^\circ = 293^\circ\text{K}.$$

由  $V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1} = \frac{1000 \times 293}{368} = 796\text{米}^3$

故烟气体积换算为标准状态  $t = 20^\circ\text{C}$  时其体积为  $796\text{米}^3$ 。

为什么上述公式称为理想气体状态方程呢？这是因为上述定律都是在一定条件下从实验总结出来的，它有一定的局限性和近似性。对一般气体来说只有当压强不太大（跟大气压力比较）和温度不太低（与室温比较）时，实验数据和根据定律算出的数值相差很小，才能近似地服从上面定律。为了研究、讨论方便起见，我们设想出一种气体，它能在任何情况下都服从上述定律。这种气体称为理想气体。在一般情况下，一般气体如空气、氧、氢等都可看作为理想气体。

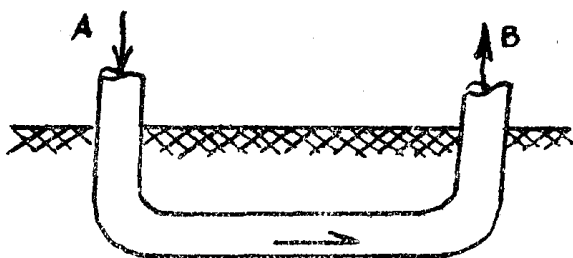


图 1—2

**例 1** 图 1—2 中的管子是埋在地下的煤气管。煤气由 A 端进入，从 B 端出去。已知煤气在进入 A 处时，其相对压力为 1 大气压。由于管道阻力损失，煤气的压力逐渐减弱，至出口处相对压力为 0.2 大气压。若 A 处每小时有  $500\text{米}^3$  的煤气进入，现问每小时在出口处流出多少煤气？如果 A 处煤气的容重为

$r = 1.16\text{公斤/米}^3$ ，求出口处煤气的容重。

**解** 煤气管埋在地下，地下的温度变化不大，故煤气在管道流动的过程可认为是等温过程。本题要求计算二部分，一是求出口处流出多少煤气，二是求出口处煤气的容重。

第一部分：根据等温过程的方程  $P_1 V_1 = P_2 V_2$ ；

现已知  $V_1 = 500\text{米}^3/\text{时}$ ，A 处压力由题中给出相对压力为 1 大气压，这就是说 A 处的压力比大气压大 1 个大气压，所以 A 处的实际压力  $P_1 = 1 + 1 = 2$  大气压。同理，在 B 处  $P_2 = 1 + 0.2 = 1.2$  大气压。

由上式  $V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2}$

$$V_2 = \frac{2 \times 500}{1.2} = 833\text{米}^3/\text{时}$$

由计算可知在 B 处每小时有  $833\text{米}^3$  煤气流出。

第二部分：求 B 处煤气的容重：