

高等院校规划教材

工业通风与除尘

主编 田冬梅

高等院校规划教材

工业通风与除尘

主编 田冬梅

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

工业通风与除尘/田冬梅主编. --北京:煤炭工业出版社,
2017

高等院校规划教材

ISBN 978-7-5020-5587-5

I. ①工… II. ①田… III. ①工业建筑—通风除尘—高等学校—
教材 ②工业尘—除尘—高等学校—教材 IV. ①TU834.6 ②X964

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 297820 号

工业通风与除尘 (高等院校规划教材)

主 编 田冬梅
责任编辑 李振祥
编 辑 田小琴
责任校对 姜惠萍
封面设计 于春颖

出版发行 煤炭工业出版社 (北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
电 话 010-84657898 (总编室)
010-64018321 (发行部) 010-84657880 (读者服务部)

电子信箱 cciph612@126.com

网 址 www.cciph.com.cn

印 刷 北京玥实印刷有限公司

经 销 全国新华书店

开 本 787mm × 1092mm¹/₁₆ 印张 13¹/₄ 字数 310 千字

版 次 2017 年 2 月第 1 版 2017 年 2 月第 1 次印刷

社内编号 8450 定价 24.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换,电话:010-84657880

前 言

随着我国工业生产和科学技术的快速发展，工业生产过程中散发的各种粉尘和有毒有害气体已成为污染工作场所空气和室内外空气的主要污染物，也是引起尘肺病等各类职业病的主要原因。生产的发展和人民生活水平的提高，对通风的要求越来越高，对安全工程专业学生的培养要求也更为迫切。

工业通风的主要任务就是利用技术手段，合理组织气流，稀释或排除生产过程中产生的有害气体或粉尘，调节作业场所的环境参数，为工作场所提供适宜的生产环境，保证安全生产，保护工人的身心健康。在许多工业部门，工业通风又是提高劳动生产率和提高产品质量必不可少的条件。

《工业通风与除尘》是普通高等学校安全工程专业主干课程教材之一。本书系统阐述了工业有害物的种类、来源、危害及其综合防治措施，以及工业通风与除尘的基本概念、基本原理、设计方法、应用技术和测试方法，反映本门课程内容的先进性和实用性。本书在编写过程中力求做到简明扼要、深入浅出、通俗易懂、图文并茂。

本书由田冬梅担任主编，宋晓燕、宋富美任副主编。各章编写具体分工为：第1章由宋富美编写；第2章由田冬梅编写；第3章由姚建编写；第4章由宋晓燕编写；第5章由田冬梅编写；第6章由宋富美编写；第7章由张超、杨莉娜编写；第8章由杨莉娜编写。全书由朱锴主审。本书在编写中引用了许多资料（包括图、表、例题等），谨向有关文献的作者表示由衷的感谢和诚挚的敬意！

由于编者水平有限，经验不足，不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2017年1月

目 次

1 作业场所空气与粉尘	1
1.1 作业场所空气中的有害物	1
1.2 作业场所空气中的粉尘	4
1.3 气象条件对人体的影响	7
1.4 有害物职业接触限值标准及综合防治措施	11
复习思考题	15
2 通风方法	17
2.1 有害物的传播机理及有效控制的通风方法	17
2.2 局部通风	19
2.3 全面通风	21
2.4 置换通风	29
2.5 通风除尘系统	35
复习思考题	36
3 排风罩	37
3.1 排风罩的分类和设计原则	37
3.2 排风罩的气体流动特性	38
3.3 密闭罩	41
3.4 柜式排风罩	45
3.5 外部罩	47
3.6 接受罩	54
3.7 吹吸罩	57
3.8 地面建筑全面通风构筑物	59
复习思考题	60
4 除尘器	62
4.1 除尘机理及除尘器分类	62
4.2 除尘器的性能指标	63
4.3 机械式除尘器	67
4.4 过滤式除尘器	77
4.5 电除尘器	84

4.6	湿式除尘器	90
4.7	除尘器的选择	96
	复习思考题	98
5	有害气体净化原理及装置	100
5.1	有害气体净化方法概述	100
5.2	吸收与吸附原理	101
5.3	吸收与吸附装置	110
5.4	其他气体净化方法	114
	复习思考题	116
6	通风管道	117
6.1	风管的阻力	117
6.2	管道系统的压力分布	127
6.3	通风系统的布置及部件	132
6.4	管道系统的设计计算	136
	复习思考题	148
7	通风机	151
7.1	通风机工作原理与分类	151
7.2	通风机性能参数与曲线	155
7.3	通风机相似理论	161
7.4	通风机工况调节及运行	163
7.5	通风机的选型与安装维护	170
	复习思考题	179
8	通风净化系统测试技术	180
8.1	粉尘特性测定	180
8.2	除尘器性能测定技术	194
8.3	通风机性能测定技术实验	198
8.4	气体含量测定	200
	复习思考题	203
	参考文献	204

1 作业场所空气与粉尘

随着现代工业的飞速发展以及人们生活水平的不断提高，人类对自身生存的空气环境也逐步有了科学的认识。人们在劳动、工作和生活中需要适合的空气环境，除要求一定的温度、湿度和风速外，还要求具有一定的清洁度，需要采取适当的措施控制有害物对室内外空气的污染，因此工业通风与除尘显得尤为重要。其主要任务就是利用技术手段，合理组织气流，稀释或排除生产过程产生的有害气体或粉尘，调节作业场所的环境参数，为工作场所提供足够数量和质量的空气，创造适宜的生产环境，保证安全生产，保护工人的身心健康。

1.1 作业场所空气中的有害物

1.1.1 作业场所空气中有害物的种类

作业场所空气中有害物可分为固体、液体、气体、余热余湿4类。

1. 固体有害物

固体有害物是指工艺过程中产生的各种粉尘，是悬浮于空气中的固体微粒。它包括无机粉尘、有机粉尘和混合粉尘。无机粉尘又可分为金属性粉尘、矿物性粉尘和人工合成无机粉尘。有机粉尘又可分为植物性粉尘、动物性粉尘和人工合成有机粉尘。生产生活中常见的是混合性粉尘。

2. 液体有害物

液体有害物是指浮游在空气中的各种液滴（雾滴），如油滴和各种酸、碱液滴等。

3. 气体有害物

气体有害物包括有害气体和蒸汽。在工业生产中常散发的气体有煤气、氨气、氯气、一氧化碳、二氧化硫、氮氧化物等。蒸汽是固体直接升华或液体蒸发所形成的气态物质，当温度降低时，它又恢复到原来的固态或液态，如溶剂蒸发、磷蒸气、汞蒸气、苯蒸气、铅蒸气等。

4. 余热余湿

车间内的各种炉窑、加热设备、用电设备（电动机、电焊机等）以及各类化工槽等，都会将热量及水分散向车间。散向车间的这些热量和水分，除弥补车间的热量和水分的损失外，一部分用于保持车间内空气的温度和湿度，以使其维持在卫生标准所允许的范围，多余的热量和水分为余热和余温。

1.1.2 作业场所空气中有害物的来源

1. 固体有害物的来源

粉尘的来源很多，归纳起来有以下几个方面：

- (1) 固体的机械破碎，如耐火材料车间的矿石破碎过程产生的粉尘。
- (2) 固体的表面加工（研磨、切割等），工件经抛光机进行研磨时产生的粉尘。
- (3) 物料的筛分、混合及包装过程，如水泥、面粉等的生产过程。

- (4) 物料的转运和装卸过程, 如用带式输送机转运物料时产生的粉尘。
- (5) 容器装料及粉料成型过程, 如贮料槽、料仓、料斗等的装料过程中散发的粉尘。
- (6) 燃料燃烧过程, 如煤炭不完全燃烧产生的烟雾、飞灰。
- (7) 原料的开采和提炼, 如锰矿中的锰粉, 汞矿中的汞蒸气。
- (8) 金属的焊接过程, 如电焊过程中产生的电焊烟尘。
- (9) 物质被加热时产生的蒸汽在空气中的氧化和冷凝, 如矿石冶炼时产生的锌、汞等蒸气, 在空气中冷却时会凝结、氧化成固体微粒。

2. 液体有害物的来源

作业环境中空气中浮游液体有害物的来源可归纳为两个方面:

(1) 蒸汽冷凝形成液体有害物。在有各种镀槽的车间内, 由于槽内温度较高, 电镀液中的酸蒸发进入车间内空气中, 温度降低后便冷凝成微小液滴。如镀铬槽内溶液温度为 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右, 硫酸蒸发进入空气中形成微小的硫酸雾。

(2) 液体喷散。在机械制造厂的喷漆车间中, 往往由于喷涂作业使空气含有大量油漆液滴。

(3) 液态有害物包装泄漏。如苯的氨基、硝基化合物。

3. 气体有害物的来源

(1) 燃料燃烧产生有害气体, 如煤燃烧时将产生一氧化硫、二氧化硫等有害气体。

(2) 生产过程化学反应, 如电解铝时产生的氟化氢, 浇铸时产生的一氧化碳等。

(3) 盛有各种化学液体的容器表面的蒸发气体。

(4) 物体表面涂漆、浸泡物体表面的蒸发气体。

(5) 炉子缝隙的渗漏产生有害气体。

(6) 设备或管道的不严密处的渗漏产生有害气体或蒸汽, 如车间煤气管道的法兰阀门等处的渗漏。

(7) 贮存气态有害物的钢瓶泄漏, 如氯气等。

(8) 金属冶炼过程, 如在有色金属冶炼和橡胶、蓄电池等生产过程中会产生铅蒸气。

(9) 在焦炉煤气制造和以苯为原料和溶剂的生产过程中挥发出苯蒸气。

4. 余热余湿的来源

(1) 烟气余热, 如冶炼炉、加热炉、内燃机和锅炉的排气排烟都会产生余热。

(2) 蒸汽或凝结水余热余湿。

(3) 化工行业化学反应产生的余热余湿。

(4) 高温产品和炉渣余热, 如坯料、焦炭、熔渣、石化行业油、气产品的余热余湿等。

(5) 可燃废气、废料余热, 如冶金行业的高炉煤气、转炉煤气等。

1.1.3 作业场所有害物的理化性质及其危害

1. 作业场所有害物进入人体的途径

有害物主要通过三种途径进入人体, 分别是呼吸道、皮肤和消化道。

(1) 呼吸道是最常见、最重要的途径。凡呈气体、蒸汽和气溶胶形态的有害物都可经呼吸道进入人体, 整个呼吸道都能吸收有害物。

(2) 有些有害物可通过无损伤的皮肤及皮脂腺进入人体。如苯胺在工作时污染衣服,

可以经皮肤吸收引起中毒。通常有害物的浓度越高，脂溶性越大，污染皮肤的面积越大，皮肤吸收的量也就越多。

(3) 消化道也是有害物侵入的途径，在生产环境中由于手沾染有害物后没有及时用流动的水清洗或清洗不彻底，就进食、饮水等也可使有害物经消化道进入体内。

2. 作业场所气体有害物的理化性质及危害

根据气体（蒸汽）类有害物对人体危害的性质，大致可分为麻醉性、窒息性、刺激性、腐蚀性4类。以下是几种常见气体（蒸汽）对人体的危害：

(1) 二氧化碳（ CO_2 ）。它是无色略带酸臭味的气体，对人的呼吸有刺激作用。 CO_2 不助燃也不能供人呼吸，易溶于水。空气中 CO_2 浓度过高时，会相对减少 O_2 的浓度，令人窒息。

(2) 一氧化碳（ CO ）。它是一种对血液、神经有害的有毒气体。由呼吸道吸入的 CO 容易与血红蛋白相结合生成碳氧血红蛋白，碳氧血红蛋白的存在影响氧和血红蛋白的离解，阻碍了氧的释放，导致低氧血症，引起组织缺氧。

(3) 二氧化硫（ SO_2 ）。它是无色、强刺激性的一种活性毒物，在空气中可以氧化成 SO_3 并形成硫酸烟雾，其毒性要比 SO_2 大10倍。它对人的眼、呼吸器官有强烈的刺激作用，吸入高浓度的 SO_2 可引起咽喉水肿、支气管炎、肺炎、肺水肿等。

(4) 硫化氢（ H_2S ）。它通常是一种无色、易燃的酸性气体，能溶于水，有剧毒，浓度低时带恶臭，气味如臭鸡蛋；浓度高时可以麻痹嗅觉神经反而没有气味。低浓度接触对呼吸道及眼有局部刺激作用，高浓度时全身作用较明显，表现为中枢神经系统症状和窒息症状，可于短时间内致命。

(5) 氮氧化物（ NO_x ）。它主要指 NO 和 NO_2 。 NO_2 呈棕红色，对呼吸器官有强烈刺激，常导致各种职业病，如由高浓度 NO_2 中毒引起急性肺气肿及由慢性中毒引起的慢性支气管炎和肺水肿。

(6) 氰化物。它特指带有氰基（ CN ）的化合物，可分为无机氰化物，如氢氰酸、氰化钾（钠）、氯化氰等；有机氰化物，如乙腈、丙烯腈、正丁腈等均能在体内很快析出离子，均属高毒类。工业中使用氰化物很广泛，如从事电镀、油漆、染料、橡胶等行业人员接触机会较多。

(7) 汞蒸气（ Hg ）。它是一种剧毒物质，经呼吸道进入人体内后，约50%进入血液，其余在呼气时排出。由于汞具有较高的脂溶性，进入血液中的汞约有50%与红细胞、50%与血清蛋白结合成为可溶性化合物，数小时后随血流分布到全身，使中枢神经机能减退，消化道出现炎症并刺激黏膜，引起细胞的坏死和溃烂。职业中毒以慢性中毒较多。

(8) 铅蒸气（ Pb ）。它在空气中可以迅速氧化和凝聚成氧化铅微粒。铅及其化合物通过呼吸道及消化道进入人体后，再由血液输送到脑、骨骼及骨髓各个器官，损害骨髓造血系统引起贫血。铅对神经系统也将造成损害，引起末梢神经炎，出现运动和感觉异常。儿童经常吸入或摄入低浓度的铅，会影响儿童智力发育和产生行为异常。

(9) 苯（ C_6H_6 ）。它属芳香烃类化合物，在常温下为带特殊芳香味的无色液体，极易挥发。苯进入人体的途径是呼吸道或从皮肤表面渗入以及血液和造血器官。短时间内吸入大量苯蒸气可引起急性中毒，长期反复接触低浓度的苯可引起慢性中毒。

(10) 氨蒸气（ NH_3 ）。它刺激眼和呼吸道，腐蚀皮肤，引起呼吸困难、支气管炎、肺

充血及肺水肿等。

3. 作业场所其他有害物的危害

1) 固体有害物的危害

固体有害物对人体健康、生产环境、工艺设备及产品质量都将造成不同程度的危害。固体有害物根据理化性质不同可分成一般性粉尘和有毒性粉尘两类。一般性粉尘包括含有游离二氧化硅的粉尘、煤尘、石墨尘、炭黑尘等，长期吸入可引起尘肺病。有毒性粉尘进入人体达到一定浓度后，便会表现出毒性作用，直接对人体造成损坏，产生慢性或急性中毒，如铬尘和锰尘等。

2) 液体有害物的危害

液体有害物对人体的危害与它的浓度及理化性质有关。其浓度越大，对人体的危害越大；理化性质不同对人体的危害程度及对组织器官的危害也不同。例如，强酸、强碱直接腐蚀皮肤和黏膜；油漆及染料，可以麻醉人的中枢神经；长期接触氯化氢酸雾会造成喉部黏膜溃疡、牙齿酸蚀及胃肠疾病等。

3) 余热余湿的危害

余热余湿会影响人体的热平衡，致使人体感到不适，甚至产生各种疾病。

1.2 作业场所空气中的粉尘

粉尘是悬浮在空气中的固体微粒的总称。国际标准化组织规定，粒径小于 $75\ \mu\text{m}$ 的固体悬浮物定义为粉尘。粉尘是一种气溶胶，固体微小尘粒实际是分布于以空气作为胶体溶液里的固体分散介质。在生产过程中产生的，并能较长时间漂浮在生产环境空气中的固体微粒叫生产性粉尘。

1.2.1 作业场所空气中粉尘的分类

1. 按粉尘的性质分类

生产性粉尘按其性质可分为无机粉尘、有机粉尘及混合粉尘三大类。

2. 按粉尘的粒径分类

按粉尘粒子的大小可将其分为可见粗尘、细尘、微尘和超微粉尘。

(1) 粗尘。其粒径大于 $40\ \mu\text{m}$ ，相当于一一般筛分的最小粒径，在空气中极易沉降。

(2) 细尘。其粒径为 $10\sim 40\ \mu\text{m}$ ，在明亮的光线下肉眼可以看到，在静止空气中作加速沉降，不扩散。

(3) 微尘。其粒径为 $0.25\sim 10\ \mu\text{m}$ ，用光学显微镜可以观察到，在静止空气中符合斯托克斯法则，呈等速沉降，不易扩散。

(4) 超微粉尘。其粒径小于 $0.25\ \mu\text{m}$ ，用电子显微镜才能观察到，在空气中作布朗扩散运动，几乎不降落，很易扩散。

3. 按粉尘的来源（产生过程）分类

(1) 尘。它是固态分散性气溶胶，固体物料经机械性撞击、研磨、碾轧而成，粒径为 $0.25\sim 20\ \mu\text{m}$ ，其中大部分为 $0.5\sim 5\ \mu\text{m}$ 。

(2) 雾。它是分散性气溶胶，为溶液经蒸发、冷凝或受到冲击形成的溶液粒子，粒径为 $0.05\sim 50\ \mu\text{m}$ 。

(3) 烟。它是固态凝聚性气溶胶，包括金属熔炼过程中产生的氧化微粒或升华凝结产

物、燃烧过程中产生的烟，粒径小于 $1\ \mu\text{m}$ ，其中较多的粒径为 $0.01\sim 0.1\ \mu\text{m}$ 。

4. 按测定粉尘浓度的方法分类

(1) 全尘。它是指各种粒度的粉尘浓度总和，在实际工作中，通常把粉尘浓度近似作为全尘浓度。

(2) 呼吸性粉尘。它是按呼吸性粉尘标准测定方法所采集的可进入肺泡的粉尘粒子，其空气动力学直径均在 $7.07\ \mu\text{m}$ 以下，空气动力学直径 $5\ \mu\text{m}$ 粉尘粒子的采样效率为 50%。呼吸性粉尘能沉积于肺泡，对人体危害很大，对人体健康危害最大是 $1\sim 2\ \mu\text{m}$ 的微细尘粒，它能通过人体上呼吸道而进入肺泡区，是导致尘肺病的病因，是粉尘控制的主要对象。

5. 其他分类

粉尘还可以分为原生粉尘、次生粉尘；浮游粉尘（浮尘）、沉积粉尘（落尘）；硅尘，非硅尘；爆炸性粉尘、非爆炸性粉尘、惰性粉尘；可溶性粉尘、不溶性粉尘等。

1.2.2 作业场所空气中粉尘的理化性质

粉尘具有的与防尘技术关系密切的特性有粉尘的化学成分、密度、浓度、粒径、分散度、安息角、溶解度、比重、形状、硬度、湿润性、荷电性、比电阻、爆炸性、凝并等。

1. 化学成分

不同化学组成的粉尘对机体的危害不同。一般来说，粉尘与其所形成的固体物质的化学成分基本相同，原固体物质中易被破碎、比重较小和不易吸水的成分更易飞散到空气中，其含量越高，引起病变的程度就越高，病变发展越快。

2. 密度和比重

粉尘密度有堆积密度和真密度之分。自然堆积状态下单位体积的粉尘质量，称为粉尘堆积密度（或称容积密度）。密实状态下单位体积的粉尘质量，称为粉尘真密度（或称尘粒密度）。

粉尘的比重是指粉尘的质量与同体积水的质量之比，系无因次量，采用标准大气压， $4\ ^\circ\text{C}$ 的水作为标准（质量为 $1\ \text{g}/\text{cm}^3$ ），所以比重在数值上与其密度（ g/cm^3 ）值相等。

3. 浓度

浓度即单位体积空气中的粉尘含量。同一种粉尘，作业环境空气中浓度越高，暴露时间越长，对人体危害越严重。因而制定生产车间作业地带空气中粉尘的最高容许浓度有着重要的意义。粉尘浓度有两种表示法：一种是质量浓度，即每立方米空气中所含粉尘的毫克数；另一种是粒数浓度，即单位体积空气中所含粉尘尘粒数目。

4. 粒径

粉尘粒径是表征粉尘颗粒大小的最佳代表性尺寸。对球形尘粒，粒径是指它的直径。实际的尘粒形状大多是不规则的，一般用“当量直径”来衡量其大小。

5. 分散度

粉尘分散度即粉尘的粒径分布。粉尘的粒径分布可用分组（按粉尘粒径大小分组）的质量百分数或数量百分数来表示，前者称为质量分散度，后者称为计数分散度。

粉尘的分散度不同，对人体的危害以及除尘机理和采取的除尘方式也不同。分散度是影响粉尘在体内沉降的重要因素，分散度也与粉尘在呼吸道中的阻流有着密切关系。掌握粉尘的分散度是评价粉尘危害程序，评价除尘器性能和选择除尘器的基本条件。由于质量

分散度更能反映粉尘的粒径分布对人体和除尘器性能的影响，所以在防尘技术中多采用质量分散度。

6. 安息角和滑动角

将粉尘自然地堆放在水平面上，堆积成圆锥体的锥底角称为粉尘安息角。安息角也称休止角、(自然)堆积角、安置角等，一般为 $35^{\circ} \sim 55^{\circ}$ 。将粉尘置于光滑的平板上，使此平板倾斜到粉尘开始滑动时的角度，为粉尘滑动角，一般为 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 。粉尘安息角和滑动角是评价粉尘流动特性的一个重要指标，与粉尘粒径、含水率、尘粒形状、尘粒表面光滑程度、粉尘黏附性等因素有关，是设计除尘器灰斗或料仓锥度、除尘管道或输灰管道斜度的主要依据。

1.2.3 作业场所空气中粉尘的危害

1. 粉尘对人体的危害

粉尘对人体的危害程度取决于人体吸入的粉尘量、粉尘侵入途径、粉尘沉着部位和粉尘的物理、化学性质等因素。其对人体的损害主要以呼吸系统为主。

(1) 尘肺。尘肺是目前我国工业生产中最严重的职业病。我国的《职业病分类和目录》中列出的法定尘肺有 13 种，即矽肺、煤工尘肺、石墨尘肺、石棉肺、滑石尘肺、水泥尘肺、云母尘肺、陶工尘肺、铝尘肺、电焊工尘肺、铸工尘肺、其他尘肺。

矽肺是尘肺中进展最快、危害最严重的职业病，是由于在生产过程中长期吸入游离二氧化硅含量高的粉尘而发生的以肺组织纤维化为主的全身性疾病。游离二氧化硅粉尘吸入肺内后，绝大部分经纤毛黏液系统排出体外，进入到呼吸交换区(如肺泡)的粉尘，由于游离二氧化硅溶解度很低，能在肺泡内长时间沉积。矽肺病理形态可分为结节型、弥漫性肺纤维化型、矽性蛋白沉积和团块型(进行性大块纤维化型)，如图 1-1 所示，X 射线肺部情况对比如图 1-2 所示。

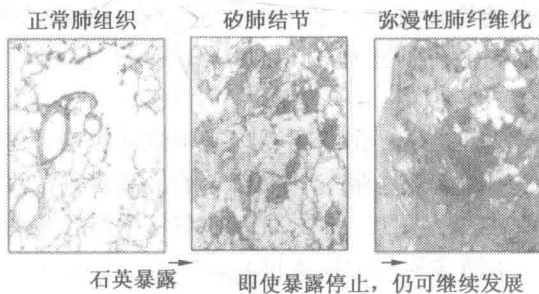


图 1-1 矽肺的病理变化

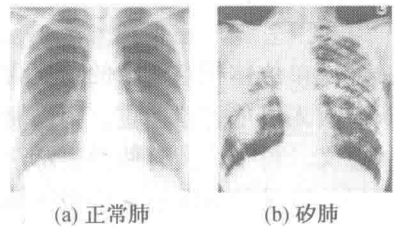


图 1-2 X 射线肺部情况对比

(2) 全身中毒。可溶性有毒粉尘如铅、锰、砷等粉尘进入呼吸道后，很快被吸收进入血液，引起全身中毒，严重者会导致死亡。例如铅使人贫血，损害大脑；锰、镉损坏人的神经、肾脏。它们都能直接对肺部产生危害。例如吸入锰尘会引起中毒性肺炎；吸入镉尘会引起心肺机能不全等。

(3) 变态反应。如大麻、黄麻、面粉、羽毛、锌烟、沥青、对苯二胺等粉尘可致过敏等变态反应，出现支气管哮喘、湿疹等。

(4) 局部刺激。粉尘侵入呼吸系统后,对呼吸道黏膜产生局部刺激作用,引起鼻炎、咽炎、气管炎等;粉尘侵入眼睛,引起结膜炎、角膜混沌、眼睑水肿等;粉尘侵入皮肤,可堵塞皮脂腺、汗腺,造成皮肤干燥,易受感染,引起毛囊炎、粉刺、皮炎等,如生石灰、漂白粉、水泥、烟草等粉尘可引起皮疹;粉尘进入外耳道混在皮脂中,可形成耳垢。

(5) 致癌。如含游离二氧化硅、铬、镍、砷、石棉及某些光感应性和放射性物质的粉尘,可引起肺癌、间皮瘤等。

(6) 感染。如破烂布屑、兽毛、谷粒等粉尘有时附有病原菌可引起感染。

(7) 光反应性。如沥青粉尘引起光感皮炎。

2. 粉尘对生产的影响

粉尘除了上述对人体的危害以外,还对仪器设备及其产品造成危害。

(1) 在粉尘环境中工作的仪器设备,粉尘会落到机器的转动部件上,加快转动部件的磨损,从而降低其精度、缩短使用寿命。

(2) 粉尘降落在生产产品上,将直接影响产品的质量,改变产品的性能,甚至使其报废。如粉尘对油漆、胶片生产的质量影响很大,这些产品一经污染,轻者重新返工,重者降级处理,甚至全部报废。尤其是半导体集成电路,元件最细的引线只有头发直径的1/20或更细,如果落上粉尘就会使整块电路板报废。

(3) 降低了可见度,影响视野,妨碍操作,降低劳动生产率,甚至造成事故。

(4) 有些粉尘在一定条件下会发生爆炸,造成人员伤亡和经济损失。

3. 粉尘对环境的影响

(1) 粉尘对大气的污染。当空气中的粉尘超过一定数量时,就会造成大气污染。大气污染对建筑物、自然景观、生态都造成危害,进而影响人类的生存,如霾及沙尘暴。

(2) 粉尘对水、土的污染。水是生物生存的前提之一,粉尘进入水中必将破坏水的品质,被人饮用会引起疾病,用于生产会降低产品质量。粉尘进入土壤将破坏土壤的性质。

1.3 气象条件对人体的影响

1.3.1 空气的基本物理参数

1. 空气温度

温度是描述物体冷热状态的物理量。测量温度的标尺简称温标。温度的国际单位为热力学温标,其单位为K(kelvin),用符号 T 来表示,热力学温标规定纯水三相态点温度(气、液、固三相平衡态时的温度)为基本定点,定义为273.15 K,每1 K为三相点温度的1/273.15。

常用的摄氏温标为实用温标,用 t 表示,单位为 $^{\circ}\text{C}$,摄氏温标的每 1°C 与热力学温标的每1 K完全相同,它们之间的关系为

$$T = 273.15 + t \quad (1-1)$$

2. 空气静压

空气静压即空气的静止压力,它是空气分子热运动对器壁碰撞的宏观表现,用符号 P 表示。压强在工业通风中习惯称为压力。其大小取决于在重力场中位置相对高度、空气相对温度、湿度(相对湿度)和气体成分等参数。

压力的大小表示单位体积气体的压能的数量,这是气体所具有的普遍的物理性质,其

大小可以用仪器来测量，空盒气压计、水银气压计、水柱计、精密气压计等都可以用来测量压力。常用单位有 Pa、MPa、mmHg、mmH₂O 等。其换算关系为 1 mmHg = 13.6 mm H₂O = 133.3 Pa，1 mmH₂O = 9.8 Pa。

3. 空气湿度

空气的湿度表示空气中所含水蒸气量的多少或潮湿程度，表示空气湿度的方法有绝对湿度、相对湿度和含湿量三种。

1) 绝对湿度

每立方米空气中所含水蒸气的质量叫空气的绝对湿度。其单位为 kg/m³。

在一定的温度和压力下，单位体积空气所能容纳的水蒸气量是有极限的，超过这一极限值多余的水蒸气就会凝结出来。这种含有极限值水蒸气的湿空气叫饱和空气；其所含的水蒸气量叫饱和湿度，用 ρ_s 表示；此时的水蒸气分压叫饱和水蒸气压力，用 P_s 表示。

2) 相对湿度

绝对湿度只能说明空气中实际含有水蒸气量，并不能说明其饱和程度。实际中常用相对湿度来表示空气的干湿程度。

单位体积空气中实际含有的水蒸气量 (ρ_v) 与其同温度下的饱和水蒸气含量 (ρ_s) 之比称为空气的相对湿度，其表达式为

$$\varphi = \frac{\rho_v}{\rho_s} \quad (1-2)$$

其值可以用小数表示，也可以用百分数表示。其大小反映了空气接近饱和的程度，故也称为饱和度。 φ 值越小表示空气越干燥，吸收水分的能力越强；反之， φ 值大则空气潮湿，吸收水分能力弱。 $\varphi = 0$ 时即为干空气，即为饱和空气。

不饱和空气随温度下降其相对湿度逐渐增大。冷却达到 $\varphi = 100\%$ 时的温度称为露点。再继续冷却，空气中的水蒸气就会因过饱和而凝结成水珠。反之，当空气温度升高时，空气相对湿度将会减小。相对湿度测定常用仪器有毛发湿度计、干湿球湿度计和氯化锂湿度计三类。

3) 含湿量

含有 1 kg 干空气的湿空气中所含水蒸气的质量 (kg) 称为空气的含湿量。其表达式为

$$d = \frac{\rho_v}{\rho_d} = 0.622 \frac{\varphi P_s}{P - \varphi P_s} \quad (1-3)$$

式中 d ——1 m³ 空气中实际水蒸气量，kg；

ρ_d ——1 m³ 空气中干空气的质量，kg；

P_s ——温度为 t 时的饱和水蒸气分压，Pa。

4. 空气密度和比体积

1) 空气密度

单位体积空气所具有的质量称为空气的密度，用符号 ρ 表示。空气密度是表示空气稠密程度的一个物理量。当空气的温度和压力改变时，其体积会发生变化，所以空气的密度是随温度、压力而变化的。标准状况下干空气的密度为 1.293 kg/m³。

湿空气的密度是 1 m³ 空气中所含干空气质量和水蒸气质量之和，其表达式为

$$\rho = \rho_d + \rho_v \quad (1-4)$$

式中 ρ_d ——1 m³ 空气中干空气的质量, kg;

ρ_v ——1 m³ 空气中水蒸气的质量, kg。

由气体状态方程和道尔顿分压定律可以得出湿空气的密度计算公式为

$$\rho = 0.003484 \frac{P}{273 + t} \left(1 - \frac{0.378 \varphi P_s}{P} \right) \quad (1-5)$$

式中 P ——空气的压力, Pa;

φ ——空气的相对湿度, 用小数表示;

P_s ——温度为 t 时的饱和水蒸气分压, Pa;

t ——空气的温度, °C。

2) 空气的比体积

空气的比体积是单位质量空气所占有的体积, 用符号 V 表示, 与密度互为倒数, 是一个状态参数的两种表示方式。其表达式为

$$v = \frac{V}{M} = \frac{1}{\rho} \quad (1-6)$$

比体积和密度都是说明工质在某一状态下分子疏密程度的物理量, 二者互不独立, 通常以比体积作为状态参数。

1.3.2 人体的热平衡

人体能量代谢过程是体内生物化学过程, 而散热过程则是物理过程。在正常情况下, 人体依靠自身的调节机能, 使产热和散热保持动平衡状态, 其平衡关系式为

$$M - W \pm C \pm R - E = S \quad (1-7)$$

式中 M ——人体新陈代谢过程中产热量, kJ/h;

W ——肌肉做功而消耗的热量, kJ/h;

C ——人体与周围环境以对流传导方式 (以对流为主) 散 (吸) 热量 (当环境温度高于人体皮肤温度时, 人体从环境吸收热量, 取“+”; 反之, 则取“-”), kJ/h;

R ——人体与周围物体表面之间辐射换热量 (当周围物体表面温度低于人体皮肤温度时, 人体以辐射的方式向外界散发热量, 取“-”; 反之, 则取“+”), kJ/h;

E ——人体通过皮肤表面显性发汗或不感蒸发所散发的热量, kJ/h;

S ——蓄存于人体内的热量, kJ/h。

当人体产热量和散热量相等时, $S=0$; 当产热量大于散热量时, $S>0$, 人体热平衡破坏, 导致体温升高; 当散热量大于产热量时, $S<0$, 导致体温降低。

实际上, 人体热平衡并非是简单的物理过程, 而是在神经系统调节下的非常复杂过程。当产热和散热能保持平衡时, 即体温能维持在 36.5 ~ 37 °C, 人体感到舒适; 否则, 破坏了这种热平衡, 就会引起身体的不适, 人就会生病。

1.3.3 人体散热方式及其影响因素

人体在新陈代谢过程中要向外界散热, 体内有两个控制体温的机理: 一是体内的新陈代谢过程所产生的能量会增加或减少; 二是通过改变皮肤表面的血液循环, 控制散热量。

显然，人的活动强度大，新陈代谢率高，人体散热量相应增大。在正常情况下，人体依靠自身的调节机能使自身的得热和散热保持平衡。因此，人的体温是稳定的，保持在 36.5 ~ 37 ℃ 之间。

人的冷热感觉与空气的温度、相对湿度、流速和周围物体表面温度等因素有关。人体散热主要通过皮肤与外界的对流、辐射和表面汗分蒸发三种形式进行，呼吸和排泄只排出少部分热量。在温和气候中，从事轻体力劳动的人每日产生热量约为 12567 kJ。就散热过程来看，各种散热途径所占比例见表 1-1。

表 1-1 人体的散热方式及其所占比例

散热方式	热量/kJ	比例/%
辐射、传导、对流	8793	70.0
皮肤水分蒸发	1827	14.5
肺的水分蒸发	1005	8.0
呼气	440	3.5
吸入气加温	314	2.5
排泄尿粪	188	1.5
合计	12567	100

辐射、对流、蒸发三种方式的散热量主要与气温、湿度、风速这三个因素有关。当空气中的温度较低时，对流、辐射作用加强，人体向外散热量过多，人就会感到寒冷不适；当温度适中时，人就感到舒服。

综上所述，影响人体散热的因素主要是周围的气候条件，即空气的温度、湿度和风速三者的综合作用，并决定了环境空气的质量。

1.3.4 气象条件对人体的影响

1. 温度对人体的影响

1) 高温对人体的影响

高温作业可定义为生产劳动过程中作业地点平均 WBGT 指数等于或大于 25 ℃ 的作业。其中 WBGT 指数（也称为湿球黑球温度）是综合评价人体接触作业环境热负荷的一个基本参量，单位为 ℃。WBGT 是由黑球、自然湿球、干球三个部分温度构成的，它综合考虑空气温度、风速、空气湿度和辐射热 4 个因素。按其气象条件的特点，高温作业可分为高温强热辐射作业、高温高湿作业和夏季露天作业三种基本类型。

高温作业对机体的影响主要是体温调节和人体水盐代谢的紊乱，机体内多余的热不能及时散发掉，产生蓄热现象，体温升高。在高温作业条件下大量出汗使体内水分和盐大量丢失。

高温作业人员的作业能力随温度的升高而下降。高温环境使劳动效率降低，增加操作失误率，引起中暑（热痉挛、热射病、日射病、热衰竭），长期高温作业（数年）可出现消化功能障碍、心肌受损以及高血压等。高温作业的危害程度与气温、气流、湿度、辐射热和个体耐受性有关。

2) 低温对人体的影响

低温作业人员的作业能力随温度的下降而下降。低温环境能引起冻伤、体温过低甚至死亡，而且体温过低对脑功能有一定程度影响，使注意力不集中、反应时间延长、作业失误率增多，甚至产生幻觉，对心血管系统、呼吸系统也有一定影响。

在低温环境中，皮肤血管收缩以减少散热，内脏和骨骼肌血流增加，代谢加强，骨骼肌收缩产热，以保持正常体温。如时间过长，超过了人体耐受能力，体温逐渐降低。由于全身过冷，使机体免疫力和抵抗力降低，易患感冒、肺炎、肾炎、肌痛、神经痛、关节炎等。低温的危害程度与环境温度、健康状况、防寒装备、活动强度和饮食有关。

2. 湿度对人体的影响

相对湿度影响人体的汗液蒸发，一般人体感到较舒适的相对湿度为 50% ~ 60%。不同作业环境相对湿度的要求也不一样，相对湿度在 80% 以上的称为高气湿；低于 30% 的称为低气湿。高气湿主要由于水分蒸发与释放蒸汽所致，如纺织、印染、造纸、潮湿的作业场所为高气湿。在冬季的高温车间可出现低气湿。相对湿度对人体热平衡的影响还与气温有关。如在高温高湿下，因散热困难使人感到透不过气来，若湿度降低，人体散热后就感到凉爽；低温高湿下，使人感到阴冷。影响作业环境空气湿度的因素有大气空气湿度、作业环境产生的余湿、作业环境温度等情况。

3. 风速对人体的影响

作业环境中的气流除受外界风力的影响外，主要与作业场所中的热源有关。热源使空气加热而升温，室外的冷空气则从门窗和下部空隙进入室内，造成空气对流。室内外温差越大，产生的气流越大。

作业环境的风速影响人体的对流散热，对不同的气温和湿度所要求的风速也不同，一般空气温度较高、湿度较大时，也要求较大的风速。一般来说，夏季室内空气流速以 0.3 m/s 左右为宜，冬季室内空气流速以 0.2 m/s 左右为宜。

1.4 有害物职业接触限值标准及综合防治措施

1.4.1 工作场所有害因素职业接触限值

职业接触限值（OEL）是指职业性有害因素的接触限制量值，指劳动者在职业活动过程中长期反复接触，对绝大多数接触者的健康不引起有害作用的容许接触水平。

1. 职业接触限值概述

2014 年我国对 2007 版《工作场所有害因素职业接触限值》进行了修订，将《工作场所有害因素职业接触限值》分为 GBZ 2.1—2014《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》和 GBZ 2.2—2014《工作场所有害因素职业接触限值 第 2 部分：物理因素》。

该标准规定了工作场所有害因素的职业接触限值，适用于工业企业卫生设计及存在或产生有害因素的各类工作场所；适用于工作场所卫生状况、劳动条件、劳动者接触有害因素的程度、生产装置泄漏、防护措施效果的监测、评价、管理及职业卫生监督检查等。其不适用于非职业性接触。

2. 职业接触限值类型

我国新颁布的《工作场所有害因素职业接触限值》，其化学有害因素的职业接触限值包括时间加权平均容许浓度（PC-TWA）、短时间接触容许浓度（PC-STEL）和最高容