

高等专科学校教学用书

GAODENG
ZHUANKE
XUEXIAO
JIAOXUE
YONGSHU

工业通风

冶金工业出版社

高等专科学校教学用书

工业通风

武汉建筑高等专科学校 谭天祐 主编



冶金工业出版社

(京)新登字 036 号

高等专科学校教学用书

工业通风

武汉建筑高等专科学校 谭天祐 主编

*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号)

新华书店总店科技发行所发行

河北省阜城县印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 18.75 字数 440 千字

1994 年 6 月第一版 1994 年 6 月第一次印刷

印数 1~3100 册

ISBN 7-5024-1405-3

TB·19(课) 定价 8.65 元

前 言

本书是根据全国供热通风与燃气工程专业教学指导委员会所通过的“供热通风与空调工程”专业高等专科学校所设“工业通风”课程的教学基本要求编写的。主要内容为工业有害物的产生和危害,卫生标准和排放标准,重点是控制有害物的各种措施,其中包括排气罩、除尘器、有害气体净化、自然通风、高温烟气降温、管网设计计算和测试技术等。为了配合“空气调节”课程,书中还列入了进气净化用的“空气过滤器”等内容。

本书内容广泛、全面,既强调实用性,又反映了当前国内外的先进技术水平,尽量做到理论联系实际。由于篇幅所限,有关设计的资料未能全部列入,读者可以参考有关设计手册,如《供暖通风设计手册》等。

本书是为“供热通风与空气调节工程”专业高等专科学校学生编写的专业教材,还可供有关设计、科研单位、生产管理部门的工业通风、劳动保护、环境保护工作者参考。

本书在编写过程中得到了全国供热通风与燃气工程专业教学指导委员会以及许多同行们的指导和帮助。湖南大学孙一坚教授、青岛建工学院史钟璋教授、西安建筑科技大学陈郁文教授参加了本书的审稿会,并提出了许多宝贵意见。冶金部安全环保研究院祝侃工程师对本书的文字修改和加工作了大量工作,梁凤珍、肖倩、姜洁、陶进、石文胜等同志在本书的整理、制图工作中付出了辛勤的劳动。在此,谨向他们致以真挚的谢意。

本书第1~5章由长春建筑高等专科学校韦节廷编写,6~10章由武汉建筑高等专科学校谭天祐编写。全书由谭天祐担任主编并统一修改定稿。由于编者水平有限,对于书中错误和不足之处,敬请读者批评、指正。

编 者

1993年8月

目 录

前言

1 工业有害物及通风方法的分类	(1)
1.1 工业有害物的来源及危害	(1)
1.1.1 固体有害物	(1)
1.1.2 液体有害物	(3)
1.1.3 气体有害物	(4)
1.1.4 余热余湿	(5)
1.2 人体与室内环境	(5)
1.2.1 室内环境对人体生理的影响	(5)
1.2.2 室内热环境卫生标准	(7)
1.3 控制有害物的卫生标准和排放标准	(8)
1.3.1 卫生标准	(8)
1.3.2 大气环境质量标准	(9)
1.3.3 排放标准	(9)
1.4 控制有害物的综合措施	(9)
1.5 通风方法分类	(10)
1.5.1 局部机械通风	(11)
1.5.2 全面机械通风	(11)
1.6 事故通风	(13)
2 全面通风	(14)
2.1 有害物散发量的计算	(14)
2.1.1 粉尘量的计算	(14)
2.1.2 气态有害物散发量的计算	(15)
2.1.3 散热量的计算	(17)
2.1.4 散湿量计算	(21)
2.1.5 一次有害物和二次有害物	(22)
2.2 车间内有害物量平衡及全面通风量的确定	(23)
2.2.1 不稳定状态下的有害物量平衡方程	(23)
2.2.2 稳定状态下全面通风量的确定	(26)
2.3 空气平衡和热平衡	(28)
2.3.1 空气平衡	(28)
2.3.2 热平衡	(28)
2.4 有组织的自然通风	(29)
2.4.1 自然通风的基本原理	(29)
2.4.2 热压作用下的自然通风	(29)
2.4.3 风压作用下的自然通风	(33)
2.4.4 自然通风的设计计算	(34)

2.4.5 自然通风的校核计算	(36)
2.4.6 自然通风的排气装置	(37)
2.5 事故通风	(42)
3 局部送风与降温	(43)
3.1 局部送风	(43)
3.1.1 风扇	(43)
3.1.2 喷雾风扇	(44)
3.1.3 系统式局部送风	(44)
3.2 隔热降温	(48)
3.2.1 建筑物隔热	(48)
3.2.2 热设备隔热	(52)
3.3 吊车司机室、工人休息室的降温	(57)
3.3.1 吊车司机室降温	(57)
3.3.2 工人休息室的降温	(61)
4 局部排气罩	(63)
4.1 密闭罩	(63)
4.1.1 密闭罩的形式	(63)
4.1.2 密闭罩的排风量	(64)
4.2 通风柜	(66)
4.2.1 通风柜的形式	(66)
4.2.2 通风柜的排风量	(67)
4.3 外部吸气罩	(69)
4.3.1 吸气口的气流运动规律	(69)
4.3.2 外部吸气罩的排风量	(72)
4.4 槽边吸气罩	(74)
4.4.1 槽边吸气罩的形式	(74)
4.4.2 槽边吸气罩的罩口形式	(75)
4.4.3 槽边吸气罩的排风量	(77)
4.5 伞形罩	(79)
4.5.1 冷过程伞形罩	(79)
4.5.2 热过程伞形罩	(80)
4.6 大门空气幕	(83)
4.6.1 侧送式空气幕	(83)
4.6.2 下送式空气幕	(86)
4.6.3 上送式空气幕	(87)
4.6.4 空气幕设备	(90)
4.7 吹吸罩	(90)
4.7.1 吹吸罩的形式	(90)
4.7.2 吹吸罩的计算	(91)
5 通风管网的布置及设计计算	(94)
5.1 通风管道的布置原则	(94)
5.1.1 系统划分原则	(94)
5.1.2 一般通风管道布置原则	(94)

5.1.3	除尘管道布置原则	(94)
5.1.4	风管材料及保温	(95)
5.2	压力分布图	(96)
5.2.1	简单风管系统中的空气压力分布规律	(96)
5.2.2	复杂风管系统中空气压力的分布规律	(98)
5.3	沿程阻力	(99)
5.3.1	沿程阻力基本概念	(99)
5.3.2	矩形风管的当量直径	(100)
5.3.3	风管沿程阻力的线算图	(102)
5.4	局部阻力	(105)
5.5	通风系统的水力计算	(110)
5.5.1	水力计算的任务和方法	(110)
5.5.2	水力计算方法	(111)
5.6	均匀送风管道及其设计计算	(118)
5.6.1	均匀送风管道的设计原理	(118)
5.6.2	均匀送风管道的计算方法	(120)
6	工业除尘设备	(124)
6.1	除尘设备的分类及其评定指标	(124)
6.1.1	除尘设备的分类	(124)
6.1.2	除尘设备的评定指标	(124)
6.2	粉尘在气体中的运动	(127)
6.2.1	气体对尘粒运动的阻力	(127)
6.2.2	粉尘在气流中的运动速度	(128)
6.3	粉尘的性质	(129)
6.3.1	粉尘的形状和大小	(129)
6.3.2	粉尘的粒径分布	(129)
6.3.3	粉尘的密度	(130)
6.3.4	粉尘的安置角与滑动角	(131)
6.3.5	粉尘的磨损性	(131)
6.3.6	粉尘的吸湿性及浸润性	(131)
6.3.7	粉尘的粘性	(132)
6.3.8	粉尘的可燃性和爆炸性	(132)
6.3.9	粉尘的电性	(133)
6.4	重力沉降室及惯性除尘器	(134)
6.4.1	重力沉降室	(134)
6.4.2	惯性除尘器	(135)
6.5	旋风除尘器	(136)
6.5.1	旋风除尘器的类型	(136)
6.5.2	旋风除尘器的结构	(137)
6.5.3	旋风除尘器的运行条件对除尘器性能的影响	(141)
6.6	袋式除尘器	(143)
6.6.1	袋式除尘器的过滤机理	(143)
6.6.2	袋式除尘器的滤料	(146)

6.6.3 袋式除尘器的结构与清灰方法	(148)
6.7 湿式除尘器	(155)
6.7.1 湿式除尘器的除尘方式	(155)
6.7.2 湿式除尘器的结构	(156)
6.8 电除尘器	(160)
6.8.1 电除尘器的工作原理	(160)
6.8.2 电除尘器的结构	(162)
6.8.3 电除尘器的供电装置	(166)
6.8.4 影响电除尘器工作的因素	(166)
6.9 除尘器的选择	(167)
6.9.1 气体性质的影响	(168)
6.9.2 粉尘性质的影响	(169)
6.9.3 除尘器的结构及性能的影响	(169)
6.9.4 排放标准的影响	(169)
7 空气过滤器	(171)
7.1 空气过滤器的性能及分类	(171)
7.1.1 空气过滤器的性能	(171)
7.1.2 空气过滤器的分类	(172)
7.2 油过滤器	(173)
7.3 泡沫塑料过滤器	(174)
7.4 纤维填充式过滤器	(176)
7.5 纤维毡过滤器	(176)
7.5.1 箱式过滤器	(177)
7.5.2 自动卷绕式过滤器	(177)
7.6 纸过滤器	(180)
7.6.1 纸过滤器的滤料	(180)
7.6.2 纸过滤器的结构	(182)
7.7 电过滤器	(184)
8 有害气体的净化	(186)
8.1 有害气体净化的基本方法	(186)
8.1.1 冷凝法	(186)
8.1.2 液体吸收法	(188)
8.1.3 固体吸附法	(193)
8.1.4 催化转化法	(197)
8.1.5 燃烧法	(201)
8.2 有害气体净化方法的应用	(203)
8.2.1 低浓度二氧化硫废气的净化	(203)
8.2.2 含氮氧化物废气的净化	(209)
8.2.3 汞蒸气的净化	(215)
8.2.4 铅烟的净化	(219)
8.3 有害物的高空排放	(221)
8.3.1 影响有害物在大气中扩散的因素	(221)
8.3.2 烟羽抬升高度的计算	(223)

8.3.3	有害物浓度的计算	(224)
8.3.4	烟囱高度的计算	(226)
9	高温烟气的冷却方法	(228)
9.1	高温烟气的特性及冷却方法分类	(228)
9.1.1	高温烟气的特性	(228)
9.1.2	冷却方法的分类及热平衡	(229)
9.2	直接冷却	(229)
9.2.1	直接风冷	(229)
9.2.2	直接水冷	(230)
9.3	间接冷却	(234)
9.3.1	冷却器传热的计算	(234)
9.3.2	间接风冷	(235)
9.3.3	间接水冷	(244)
10	工业通风测试技术	(247)
10.1	粉尘性质的测定	(247)
10.1.1	粉尘密度的测定	(247)
10.1.2	粉尘粒径的测定	(248)
10.1.3	粉尘的吸湿性及浸润性的测定	(249)
10.1.4	粉尘粘性的测定	(250)
10.1.5	粉尘比电阻的测定	(251)
10.2	工作区粉尘浓度的测定	(252)
10.2.1	滤膜测尘	(252)
10.2.2	β 射线测尘	(253)
10.2.3	光散射测尘	(254)
10.2.4	压电晶体测尘	(254)
10.3	管道内粉尘浓度的测定	(255)
10.3.1	采样点的选择及等速采样	(255)
10.3.2	预测流速法	(256)
10.4	除尘器性能的测试	(260)
10.4.1	除尘器除尘效率的测定	(260)
10.4.2	除尘器阻力的测定	(260)
10.4.3	除尘器漏风率的测定	(261)
10.5	有害气体的测定	(261)
10.5.1	化学分析法	(261)
10.5.2	奥氏气体分析仪	(264)
10.5.3	连续测定法	(265)
附录		(266)
附录 1	车间空气中有害物质的最高容许浓度	(266)
附录 2	居住区大气中有害物质的最高容许浓度	(267)
附录 3	大气环境质量标准	(268)
附录 4	工业炉窑烟尘排放标准	(268)
附录 5	钢铁工业废气粉尘排放标准	(269)

附录 6 重有色金属工业废气排放标准	(270)
附录 7 轻金属工业废气排放标准	(271)
附录 8 镀槽边缘控制点的吸入速度 $v_x, \text{m/s}$	(271)
附录 9 通风管道统一规格	(273)
附录 10 局部阻力系数	(275)
附录 11 某些污染源排出物的特性	(282)
附录 12 几种气体的定压平均摩尔热容	(286)
附录 13 $B=1.013 \times 10^5 \text{Pa}$ 干空气物理参数	(287)
参考文献	(288)

1 工业有害物及通风方法的分类

工业有害物是伴随工业生产过程产生的对人体、环境等有危害的工业物质。许多工业有害物排放到大气中,对大气造成污染,因而也称为工业污染物。工业有害物的种类很多,但在生产过程中经常碰到的大致可分成如下五类:固体、液体、气体、余热及余湿。要消除这些工业有害物的危害,可以采用各种各样的措施,通风就是其中最为有效的一种。

为了有针对性地采用通风方法消除各种有害物的危害,本章先对有害物的来源、特性加以讨论,然后再介绍各种不同的通风方法。

1.1 工业有害物的来源及危害

1.1.1 固体有害物

固体有害物是指工艺过程中产生的各种粉尘,它是浮游在气体中的固体微粒。

1.1.1.1 固体有害物的来源

许多工业部门在生产过程中同时产生大量的粉尘,如冶金、机械加工、建材生产、电站锅炉、工业与民用锅炉等都将产生粉尘。根据产生粉尘的特性不同,所有产尘源可分为两类:一类是机械过程产尘源,另一类是物理化学过程产尘源。

A 机械过程产尘

这是指物料在经过各种机械处理时产生的粉尘,可以有以下几种情况:

- (1)固体的机械破碎。例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。例如工件经砂轮机、抛光机等进行研磨时产生的粉尘;
- (3)物料的筛分、混合及包装过程。例如水泥、面粉等的生产过程;
- (4)物料的转运和装卸过程。例如皮带运输机转送点产生的粉尘;
- (5)容器装料及粉料成型过程。例如贮料槽、料仓、料斗等的装料过程及压砖机对模具中的粉料进行冲压过程中散发的粉尘等。

各种机械过程产生的粉尘具有以下几个共性:

- (1)粉尘的温度为常温,由于机械加工过程基本是常温,和环境温度一致,所以,散发出的粉尘温度也接近环境温度;
- (2)粉尘的颗粒粗,粉尘中大颗粒尘所占份额多;
- (3)粉尘的载体是空气,和粉尘一同散发出来,粉尘浮游在空气中;
- (4)粉尘的化学性质没有变化,只是物理性质有所改变。例如面粉的化学性质与小麦相同,只是颗粒大小、堆积密度变了。

B 物理化学过程产尘

这是指物料在燃烧、冶炼等物理化学过程中产生的粉尘,可以有以下几种情况:

- (1)燃料燃烧过程。例如煤燃烧时产生的飞灰;
- (2)冶炼过程。例如铅的冶炼过程产生的氧化铅尘;

(3)金属的焊接过程；

(4)物质被加热时产生的蒸气在空气中的氧化和冷凝，例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。

各种物理化学过程产生的粉尘具有以下特点：

(1) 高温。由于生产过程温度很高，产生的烟气及粉尘温度也高，有时可高达 1000℃ 以上；

(2) 粉尘的颗粒较细。一般在 3μm 以下；

(3) 粉尘的载体是含有各种有害气体的烟气。例如金属的焊接过程，粉尘的载体是焊烟；

(4) 粉尘的物理化学性质发生了变化。例如锌冶炼过程中产生的锌蒸气在空气中凝结、氧化成氧化锌固体微粒。

对机械过程的产尘和物理化学过程的产尘，应考虑采取不同的处理方法。

1.1.1.2 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。这里只讨论对人体的危害。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。有毒性粉尘是指进入人体后，会引起中毒以至死亡的粉尘，如铬尘、锰尘和镉尘等。

A 一般性粉尘对人体的危害

长期吸入这类粉尘，会使其在肺组织内沉积，而引起肺内组织的变化，经 X 线透视可见异常阴影区。随着吸入粉尘数量的增加，会造成一种肺部病变为主，并对其他器官机能产生障碍的全身性疾病，通常称为尘肺病，其中最为严重的是矽肺病。后者是因吸入含结晶型游离二氧化硅粉尘引起的。游离二氧化硅吸入肺内，使肺部产生弥漫性纤维组织增生和形成粟粒状结节。按病理变化对尘肺的分类列入表 1-1 中。

表 1-1 尘肺的分类

尘肺的类型		尘肺的种类	特征
淋 巴 型		典 型 矽 肺 非 典 型 矽 肺	同心形增生性纤维改变,结节钙化 放射形增生性纤维改变,结节钙化
肺 胞 型	强坏死型	滑 石 尘 肺 蜡 石 尘 肺 硫 化 矿 尘 肺	因组织坏死形成空洞,2mm 以上大结节有 强烈坏死倾向
	弱坏死型	焊 工 尘 肺 硫 化 铁 烧 渣 尘 肺 石 墨 尘 肺 煤 尘 尘 肺 炭 灰 尘 肺 铝 尘 尘 肺 黑 烟 尘 肺 氧 尘 尘 肺	尘团周围局部气肿,肺胞内蓄积多量粉尘
	小支气管肺胞型	石 棉 尘 肺 有 机 尘 肺	肺胞壁纤维缔结组织增生并伴有囊状支气管扩张 主要表现为下呼吸道扩张和支气管上皮增生
	混合型	铝 尘 肺 硅 尘 肺 藻 尘 肺 土 尘 肺	肺不张性纤维化结节,支气管扩张伴有粉尘性纤维 化结节

尘肺的产生取决于吸入粉尘的种类、粉尘中二氧化硅的形态、含游离二氧化硅的百分数、尘粒的大小、空气中粉尘的浓度、接触粉尘作业的持续时间、个人抵抗力强弱等。我国已

正式将 12 种尘肺病列为职业病,有矽肺、煤尘肺、石墨尘肺、炭墨尘肺、石棉肺、水泥尘肺、陶工尘肺、铝尘肺、电焊混合尘肺、铸工尘肺、云母尘肺、滑石尘肺等。

在各种影响因素中,值得特别指出的是尘粒大小。不同大小的粉尘在呼吸系统各部位的沉积情况各不相同。图 1-1 所示为不同粒径粉尘在鼻部、支气管部及肺部的沉积量。粗粉尘(例如大于 $5\mu\text{m}$)在通过鼻腔、喉头、气管上呼吸道时,被这些器官的纤毛和分泌粘液所阻留,经咳嗽、喷嚏等保护性反射作用而排出。细粉尘(例如小于 $5\mu\text{m}$)则会深入和滞留在肺泡中,其中部分粒径非常细小的粉尘(小于 $0.4\mu\text{m}$)可以在呼气时随呼出的气体排出。因此,对人体危害最大的粉尘是粒径为 $0.4\sim 5\mu\text{m}$ 的粉尘。

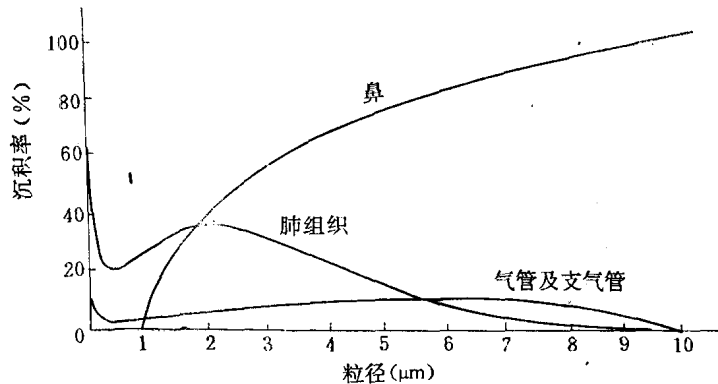


图 1-1 不同粒径粉尘在呼吸系统各部位的沉积率

粉尘越细,在空气中停留时间越长,被吸入的机会也就越多。此外,粉尘越细,单位重量粉尘的总表面积越大,在体内的化学活性越强,对肺组织的致纤维化作用也越明显。

B 毒性粉尘对人体的危害

毒性粉尘进入人体后,即分布到各个组织器官中,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。例如铅和钨可使人贫血,损害大脑,破坏神经系统;镍、铬、铍可以致癌;镉、汞、锰会损坏人的神经、肾脏,引发心血管病等。此外,这些毒性粉尘都能直接对肺部产生危害。粉尘中的一些重金属元素对人体的危害很大。

毒性粉尘对人体的危害不仅和粉尘的浓度、粒径及进入人体的粉尘量有关,而且主要和粉尘的化学毒性有关。不同的粉尘对人体的危害程度及对人体组织器官的危害也不同。

1.1.2 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、漆滴和各种酸、碱液滴等。

1.1.2.1 液体有害物的来源

车间空气中浮游液滴有害物的来源大致可归纳为以下几方面:

A 蒸气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°C 左右,硫酸蒸发进入空气中形成微小的硫酸雾。酸洗槽、退火槽、电解槽及化学去油槽等,都是液体有害物的散发源。

B 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。

1.1.2.2 液体有害物对人体的危害

液体有害物对人体的危害与它的浓度及理化性质有关。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粘膜;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粘膜溃疡、牙齿酸蚀及胃肠疾病等。

1.1.3 气体有害物

气体有害物包括有害气体和蒸气。在一般的工业生产中常散发有一氧化碳、二氧化硫、氮氧化物以及汞、苯、铅等蒸气。产生有害气体和蒸气的工艺过程很多,主要有如下几方面。

1.1.3.1 气体有害物的来源

A 物理化学反应产生有害气体

(1)燃料燃烧产生有害气体,如煤、煤气燃烧时,将产生一氧化碳、二氧化硫、氮氧化物等有害气体;

(2)生产过程化学反应,例如电解铝时产生的氟化氢,浇铸时产生的一氧化碳等。

B 液体蒸发产生的有害气体

(1)盛有各种化学液体的容器表面的蒸发气体;

(2)物体表面涂漆、浸泡物体表面的蒸发气体。

C 设备或容器的渗漏

(1)炉子缝隙的渗漏,产生有害气体;

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

1.1.3.2 气体有害物的危害

有害气体和蒸气对人体的健康有很大的危害,下面举几例。

A 一氧化碳(CO)对人体的危害

一氧化碳能和血液中的血红蛋白结合,妨碍输氧功能,造成缺氧症。进入人体内的一氧化碳浓度高时,还与细胞色素氧化酶的铁结合,抑制组织的呼吸过程,造成中枢神经机能受损。

B 二氧化硫(SO₂)对人体的危害

吸入高浓度的 SO₂可引起咽喉水肿、支气管炎、肺炎、肺水肿等。

C 汞蒸气对人体的危害

汞蒸气是一种剧毒物质,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粘膜,引起细胞的坏死和溃烂。汞急性中毒的症状为流涎、口渴、恶心、呕吐、腹泻、头昏及全身无力;慢性中毒表现在头痛、头晕、无力、失眠、情绪不稳及记忆力减退等。

D 氨(NH₃)蒸气对人体的危害

氨蒸气刺激眼和呼吸道,腐蚀皮肤,引起呼吸困难、支气管炎、肺充血及肺水肿等。

液体和气体有害物对环境、车间内工艺设备、产品质量等也都将造成损害。

综上所述,工业有害物在车间内和车间外的大气环境中的浓度都不能太高,否则危害是很大的。车间内的工业有害物要进行排除,在排至室外之前还要进行处理。必须使车间内有

害物浓度小于卫生标准的规定,而排入大气中的工业有害物要符合排放标准的规定。

1.1.4 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),以及各类化工槽等工艺设备,都会将热量及水分散入车间。散入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内,多余的热量 and 水分称为余热和余湿。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 人体与室内环境

这里所谈的室内环境主要是指高温作业环境,即热环境。热环境的好坏对从事体力或脑力劳动的工人身体健康有很大影响。保证热车间内的舒适环境是工业通风的一个很重要的任务。

1.2.1 室内环境对人体生理的影响

室内环境是一系列参数综合作用的结果,这些参数包括干球温度、湿球温度、室内空气流速、室内设备及围护结构内表面的平均辐射温度等。它们都对人体的热舒适状况产生不同的影响。

在高温条件下劳动的工人,只有保持人体对周围环境的热平衡才能感到舒适。人体与其周围环境的热交换是通过对流(C)、辐射(R)、蒸发(E)及导热四种方式进行的,导热一般都很小,可忽略。于是人体的热平衡方程可用下式表示:

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

式中 M —— 人体内产生的代谢热;

W —— 人体用于作功而消耗的热量;

S —— 人体内的储热量;

E —— 蒸发散热;

R —— 辐射换热;

C —— 对流换热。

代谢热(M)与人的活动及劳动强度有关,在睡眠休息状态下,成年人产生 70W 的热流量,而在极重的体力劳动时可达 700~870W 的热流量。

在正常情况下,人体的得热量应等于人体的失热量,因而人体的储热量(S)应为零,这时人体的体温调节系统才能使肌体的深部组织温度保持在比较固定的温度上(37.2℃)。如果人体的热平衡遭到破坏,人体的得热量不能通过各种方式散出, S 不为零。这时体温要升高,即使升高几度,后果都是严重的,它会导致中暑,甚至死亡。

人体和周围环境的蒸发散热、对流换热及辐射换热的大小,取决于周围环境的温度、湿度、风速、周围物体表面的温度,以及工人的着装情况。

周围环境温度是影响热平衡的主要因素。当气温超过人体表面温度时,人体不仅不能通过对流散热,相反还会从周围环境得热,以致使皮肤温度及直肠温度升高。

湿度是影响人体热平衡的又一重要参数,特别是在高温环境中,因为这时主要靠汗液从体表面蒸发来散热。相对湿度高,汗液蒸发困难,就会感到闷热。图 1-2 所示为在不同湿度下工人所能忍受的时间。由图中可以看出,在同样的温度下,相对湿度越高,工人所能忍受的时

间越短。

风速对人体的热平衡也有很大影响。加大风速,人体表面对流换热量提高。体表温度高于周围环境温度时,散热增大;反之得热增大,另一方面风速使汗液蒸发加快,散热量也增大。

人体辐射散热的大小取决于周围物体表面的平均辐射温度。例如当在气温高达 40℃,墙壁表面为 14℃时劳动,人体主观感觉还可以,但若墙表温度也达 40℃,则工人因辐射得热太多而无法忍受。

工人穿的衣服是影响舒适感的另一因素。近年来国外在这方面进行了很多研究。通常采用热阻的单位(clo)来衡量衣服的隔热程度(1clo = 0.155m²K/W,其导热系数为 6.47W/m²·K)。

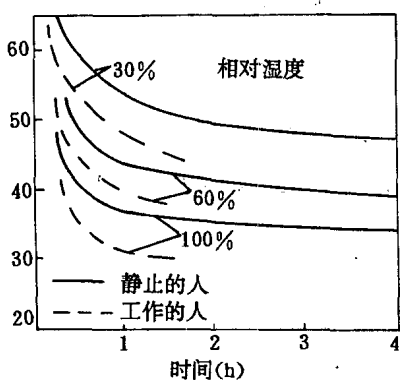


图 1-2 人体耐热时间

对于体重为 70kg 穿普通工作服(= 0.7clo)的工人,辐射热(R)、对流热(C)及最大可能蒸发热(E_{max})可按下列各式计算(假定人的皮肤温度为 35℃,相应于这一皮温的水蒸气分压力为 5626.2Pa):

$$R = 1.35K_r(t_r - 35) \quad \text{W} \quad (1-2)$$

$$C = 12.68v^{0.5}(t_a - 35) \quad \text{W} \quad (1-3)$$

$$E_{max} = 3.14 \times 10^{-3}(5626.2 - p) \quad \text{W} \quad (1-4)$$

式中 K_r ——周围表面的辐射系数;

t_a ——周围空气温度,℃;

v ——空气流速,m/s;

p ——空气中水蒸气分压力,Pa;

t_r ——周围表面的平均温度,℃,

$$t_r = t_g + 0.5v^{0.5}(t_g - t_a) \quad (1-5)$$

式中 t_g ——黑球温度,℃。

如不穿衣服,上述 R 、 C 、 E_{max} 应乘以 0.7 的系数。

对人体热平衡的影响因素很多,见表 1-2。

表 1-2 对热平衡有影响的各种主要因素

因素	环境	人体
代谢 (M)	影响小	活动量 重量 表面积 年龄 性别
蒸发 (E)	湿球温度 干球温度 风速	出汗的能力 表面积 衣服
辐射 (R)	不同物体间的温差 表面的辐射率	表面积 衣服
对流 (C)	干球温度 风速	衣服 人体平均表面温度 表面积

1.2.2 室内热环境卫生标准

室内通风设计气象条件的确定和很多因素有关。室外气象条件、室内工艺过程、国家的科学技术水平及经济状况对室内热环境的设计条件的确定都有影响。目前,国内外在这方面作了大量的研究工作,室内热环境的卫生标准也各不相同。这里介绍几种有代表性的确定室内热环境气象条件的方法,以及卫生标准。

1.2.2.1 单一气象条件卫生标准

我国现行的工业企业气象条件卫生标准,基本上是以干球温度单一因素为主,并以室内、外温差为限额制定的。根据卫生标准^[10],生产厂房工作地点的温度按下式计算:

$$t_n = t_w + \Delta t_y \quad (1-6)$$

式中 t_n ——夏季室内工作地点通风设计温度,℃;

t_w ——夏季室外通风计算温度(按《采暖通风、空气调节设计规范》选取),℃;

Δt_y ——室内、外允许温差(见表 1-3),℃。

表 1-3 室内、外允许温差

室外通风计算温度,℃	≤22	23	24	25	26	27	28	29~32	≥33
允许温差,℃	10	9	8	7	6	5	4	3	2

注:如受条件限制,在采取通风降温措施后仍不能达到本表要求时,允许温差可加大 1~2℃。

冬季通风,室内设计温度按采暖室内设计温度选取。室内热环境的设计相对湿度和流速,根据具体工艺条件及要求查有关资料。

室内热环境的热辐射在工人身上的强度大小,与车间热辐射强度及周围物体表面温度有关。一般要求,工人在较长时间内,直接受到辐射热影响的工作地点,辐射强度应小于 350W/m²。工人经常停留的高温地面或靠近的高温壁板,表面平均温度不应高于 40℃。

1.2.2.2 综合参数的卫生标准

热环境的气温、湿度、空气流速、辐射热四个物理参数,同时综合作用于人体。单一气象参数不能全面反映各种客观条件的影响,因此从本世纪 20 年代开始进行综合指标的研究,到目前为止已有十余种之多。例如有效温度指标、热应力指标、湿球黑球指标等,下面着重介绍湿球黑球温度指标(指数)。

湿球黑球温度指数(WBGT)是 1957 年由美国雅格罗(Yaglou)及米那尔得(Minard)提出的。1974 年美国职业安全及保健研究院用 WBGT 制定了标准,作为职业安全卫生法的一部分。WBGT 指数是根据保证人体中心温度不超过 38℃ 而提出的评定工作环境的综合指标。它是将车间工作区的干球温度、湿球温度及黑球温度测定出来,用一定的关系式求出 WBGT 指数,根据 WBGT 指数的值即可评价室内环境。同时也可根据实验制订出室内环境的 WBGT 指数的卫生标准数值。

黑球温度的测量方法是将温度计的感温包置于一个直径为 152.4mm 的黑色空心铜球中心,测出的温度称黑球温度 t_g 。它的值的大小反映出环境热辐射的大小。

WBGT 指数的计算式如下:

室内无太阳辐射时:

$$\text{WBGT} = 0.7t_n + 0.3t_g \quad (1-7)$$

在露天作业有太阳辐射时:

$$\text{WBGT} = 0.7t_n + 0.2t_g + 0.1t_a \quad (1-8)$$