

■ 现代企业职业卫生技术丛书 ■

工业防毒 实用技术

“现代企业职业卫生技术丛书”编委会 编

主编 赵容 副主编 李朝林
审稿 孙宝林



中国劳动社会保障出版社

现代企业职业卫生技术丛书

工业防毒实用技术

“现代企业职业卫生技术丛书”编委会

主 编 赵 容

副主编 李朝林

主 审 孙宝林

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

工业防毒实用技术/“现代企业职业卫生技术丛书”编委会编. —北京:中国劳动社会保障出版社, 2010

现代企业职业卫生技术丛书

ISBN 978-7-5045-8688-9

I. ①工… II. ①现… III. ①工业-防毒 IV. ①X965

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 224185 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街1号 邮政编码:100029)

出版人:张梦欣

*

中国铁道出版社印刷厂印刷装订 新华书店经销

787毫米×1092毫米 16开本 13.25印张 295千字

2010年11月第1版 2010年11月第1次印刷

定价:35.00元

读者服务部电话:010-64929211/64921644/84643933

发行部电话:010-64961894

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话:010-64954652

如有印装差错,请与本社联系调换:010-80497374

编 委 会

主 任 孟 超

副主任 (按姓氏拼音排列)

薄以匀 吕 琳 孙庆云 陶 雪 魏志勇 杨文芬
张龙连 赵 容

委 员 (按姓氏拼音排列)

陈隆枢 高 虹 葛佩声 郝凤桐 李朝林 刘旭荣
卢 玲 孙宝林 王 静 张 斌 张继英

顾 问 (按姓氏拼音排列)

李 涛 邵 强 宋文质 王 生

编 审 人 员

主 编 赵 容

副 主 编 李朝林

主 审 孙宝林

编写人员 (按汉语拼音排列)

丁洁瑾 胡 泊 李朝林 李香玲 刘和平 孙宝林
汤小辉 杨 虎 赵 容

内 容 简 介

《工业防毒实用技术》是为企业从事职业卫生管理工作的人员而编写的，本书力求满足当前企业职业卫生管理的需要，全面、系统地介绍了工业毒物及其危害、综合防毒措施、有害气体的燃烧净化、有害气体的吸收净化、有害气体的吸附净化、有害蒸气的冷凝回收、有害气体的生物净化、工业防毒技术的发展，体现了本领域最新的工业防毒实用技术。

本书作为“现代企业职业卫生技术丛书”之一，是企业负责人、职业卫生管理和技术人员的工作用书，可以作为职业卫生技术服务人员、政府各级监管人员的辅助用书，也可以作为高等院校相关专业师生的教学参考用书，同时可以作为各级各类职业卫生的培训用书。

前 言

职业病危害与企业生产经营紧密相连，预防、控制与消除职业病危害是防止急、慢性职业中毒，改善劳动条件，保护劳动者健康，确保经济可持续发展，贯彻执行《中华人民共和国职业病防治法》及其法律、法规、标准及其技术规范的一项重要内容。

随着我国经济的迅猛发展，暴露于各种职业危害因素的劳动者越来越多，急、慢性职业中毒及相关职业病时有发生，因此，需要采用通风、净化等工业防毒技术控制作业场所内有毒物质的浓度，减少有毒物质对劳动者健康的危害。

企业生产过程中使用的原料、辅料、生产过程中产生的中间品及最终的产品，涉及的有毒物质对作业人员的身体健康产生多种危害，本书从职业卫生和工业防毒实用技术的角度出发，系统的阐述了有毒物质的分类、常见工业毒物的理化性质、工业应用、职业接触限值、毒性、对人体的危害及综合防毒措施，并介绍了有毒物质的燃烧净化、吸收净化、吸附净化、冷凝回收、生物净化等各种工程处理和控制技术，为适应我国经济发展的要求，简明扼要地介绍了清洁生产、绿色化学、循环经济等工业防毒技术的发展方向。

本书的编写力求深入浅出，将科学性与实用性相结合，全面、系统地阐述了工业防毒实用技术。希望通过本书的出版，帮助企业将职业健康工作水平提升到新的高度，早日实现《国家职业病防治规划（2009—2015年）》。

本书第一章由李朝林、赵容、汤小辉、杨虎编写；第二章由赵容、李朝林、李香玲、刘和平编写；第三章由赵容、李香玲、胡泊编写；第四章由赵容、杨虎编写；第五章由孙宝林、赵容编写；第六章由赵容、李香玲编写；第七章由

孙宝林、丁洁谨编写；第八章由孙宝林、丁洁谨、赵容、李朝林编写。全书由赵容统稿，孙宝林、李朝林审定。

本书在编写过程中参考了国内一些专家、学者的相关著作和成果，在此致以真诚的感谢！由于编者水平有限，书中疏漏在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

2010 年 11 月

目 录

第一章 工业毒物及其危害	1
第一节 工业毒物的分类及毒性	1
一、工业毒物与职业中毒	1
二、工业毒物的分类	2
三、工业毒物进入人体的途径	3
四、工业毒物在体内的代谢	4
第二节 工业毒物的致毒作用与影响毒性的因素	5
一、工业毒物对机体的作用	5
二、工业毒物毒性指标与分级	6
三、影响毒性的因素	9
第三节 职业中毒的分类及诊断	10
一、职业中毒的分类及临床表现	10
二、职业中毒的诊断与处理原则	12
第四节 有毒化学物质职业接触限值	14
一、有毒化学物质职业接触限值制定原则	14
二、有毒化学物质职业接触限值的种类及应用	15
第五节 常见工业毒物	18
一、金属与类金属	19
二、刺激性气体	24
三、窒息性气体	25
四、有机溶剂	29
五、苯的氨基硝基化合物	34
六、高分子化合物	35
七、农药	37
第二章 综合防毒措施	39
第一节 概述	39

第二节 防毒技术措施	39
一、预防措施	39
二、工程治理措施	43
三、个人防护措施	44
四、应急救援措施	48
五、辅助用室	51
第三节 职业卫生管理措施	52
一、组织管理措施	52
二、防毒管理措施	53
三、预防性职业卫生监督管理	55
第三章 有害气体的燃烧净化	57
第一节 概述	57
一、直接燃烧法	57
二、热力燃烧法	57
三、催化燃烧法	57
第二节 热力燃烧的原理	58
一、有关燃烧的几个概念	58
二、热力燃烧机理	62
三、热力燃烧法的燃料消耗	66
第三节 热力燃烧炉	70
一、配焰燃烧器系统	70
二、离焰燃烧器系统	73
三、有关的工程设计问题	77
四、热量回收利用	78
五、利用锅炉燃烧室进行热力燃烧	79
第四节 催化燃烧原理	80
一、概述	80
二、催化燃烧原理	84
三、催化燃烧的影响因素	88
第五节 催化燃烧装置	92
一、催化剂床层	92
二、炉体结构	94

三、有关床层的工艺计算	95
第六节 安全措施	98
一、控制废气中可燃组分的浓度	99
二、安设阻火器	99
三、在可能爆炸处设置防爆膜泄压	101
四、安全操作规程	102
第四章 有害气体的吸收净化	103
第一节 概述	103
第二节 吸收的基本理论	103
一、液相组成的表示方法	103
二、吸收过程的相平衡关系	105
三、吸收过程的机理——双膜理论	110
四、传质过程的机理——物质扩散	111
第三节 吸收速率方程式	113
一、吸收速率方程式	113
二、吸收总系数和分系数的关系	114
三、影响吸收的因素	116
四、气膜控制与液膜控制	117
第四节 吸收流程与操作	117
一、吸收与解吸	117
二、吸收操作与操作线方程	118
三、吸收剂的用量	119
第五节 化学吸收和非等温吸收	122
一、化学吸收	122
二、非等温吸收	123
第六节 吸收设备主要尺寸的计算	124
一、塔型选择	124
二、填料	126
三、填料塔的液泛速度和直径	130
四、填料层压降的计算	133
五、填料层高度的计算	134

第五章 有害气体的吸附净化	142
第一节 概述	142
一、固体吸附现象.....	142
二、炭的应用.....	142
三、活性炭的应用与发展.....	142
第二节 吸附的基本概念	143
一、固体的表面与孔.....	143
二、毛细管凝聚现象.....	144
三、物理吸附与化学吸附.....	145
四、吸附剂的活性.....	146
五、吸附剂的种类.....	146
第三节 吸附理论	148
一、吸附等温线.....	148
二、吸附位势理论.....	153
三、活性炭的结构形式与分类.....	157
第四节 吸附的工程计算	158
一、吸附的流程及分类.....	158
二、填充床式吸附.....	158
三、有机溶剂的蒸发量计算.....	160
四、间歇操作的吸附器的工艺计算.....	162
第五节 化学吸附	167
一、化学吸附的三个特点.....	167
二、化学吸附发生的反应及其在气体净化方面的应用.....	167
第六节 吸附剂再生	169
一、蒸气、烟道气或惰性气吹脱法再生.....	170
二、热力再生法.....	170
三、其他再生方法.....	171
第六章 有害蒸气的冷凝回收	172
第一节 冷凝原理	172
一、饱和蒸气压与温度的关系.....	172
二、冷凝的极限与适用范围.....	173

第二节 冷凝装置	175
一、直接接触式冷凝器	175
二、间壁式换热器	176
三、其他类型换热器	177
第三节 蒸气冷凝的传热计算	179
一、蒸气冷凝膜系数的理论式	180
二、蒸气冷凝膜系数的理论关系式	180
三、实验关系式	181
第七章 有害气体的生物净化	183
第一节 概述	183
一、微生物吸收工艺	183
二、微生物过滤工艺	183
三、微生物滴滤工艺	183
第二节 有害气体微生物处理原理	184
第三节 生物净化工艺	184
一、微生物吸收工艺	184
二、微生物过滤工艺	186
三、微生物滴滤工艺	190
第八章 工业防毒技术的发展	191
一、清洁生产	191
二、绿色化学	193
三、循环经济	197
参考文献	199

第一章 工业毒物及其危害

第一节 工业毒物的分类及毒性

一、工业毒物与职业中毒

人类在生产和生活过程中，会接触到许多天然的和人工合成的化学物质，可以说人们生活在一个充满着化学物质的社会中，这些化学物质会在一定条件下对人体健康产生不同程度的损害。世界范围内，已知的化学产品有接近 2 000 万种，大约 40 万种以上是有毒的，其中近 3 000 种明确为危险化学品。化学品从各个方面给人类生活带来了方便，同时也给人类带来了直接或潜在的危害。本章关注工业生产过程中的有毒化学物质对人体健康的危害问题。有毒化学物质是指原辅材料、中间品和产品在生产、搬运、储存、运输、使用以及废弃物处置的各个环节对人体造成危害的物质。

一般来说，凡作用于人体并产生有害作用的物质都叫毒物。在劳动生产过程中所使用或产生的毒物，叫工业毒物。毒物侵入人体后与人体组织发生化学或物理化学作用，并在一定条件下破坏人体的正常生理机能，引起某些器官和系统发生暂时性或永久性的病变，这种病变叫中毒。在生产劳动过程中由工业毒物引起的中毒叫职业中毒。

毒物与非毒物之间并没有绝对的界限，两者的本质区别是剂量。瑞士的一位医生帕拉塞尔苏斯（Paracelsus，1493—1541 年）说过：“毒物本身不是毒物，而剂量使其成为毒物”，这是对毒物相对性的精辟概括。也就是说，达到一定的剂量，任何一种化学物质都是有毒的。例如，各种药物在其治疗范围内可发挥正常疗效，但是药物与毒物的作用及机理只有相对的区别，一旦超出这个范围达到了中毒剂量，或是作用于健康人和非适应证的人则成为毒物；另外，人体内经常有一些重金属存在，如铅、汞和镉等，它们大多存在于环境中并通过很多种途径进入机体，但在正常值内并不意味着发生了中毒。人类是大自然的产物，人体内含有的 40 种化学元素，缺乏某种元素人就会得病，但当某种元素过量时也会得病。还要明确的是，毒物与生物体相互间的作用过程是在分子水平上进行的，物质一般只有以一种溶解而分散的分子状态存在时才能被吸收，吸收后的物质才能对生物体产生毒性效应。按照毒物的用途和分布范围，有毒物质可以涉及工业化学品、食品添加剂、日用化学品、农用化学品、医用化学品、环境污染物、生物毒素和军事毒物等。

毒物的含义是相对的，一方面，物质只有在特定条件下作用于人体才具有毒性；另一方面，任何物质只要具备了一定的条件，也就可能出现毒害作用。至于职业中毒的发生，则与毒物本身的性质、毒物侵入人体的途径及数量、接触时间及身体状况、防护条件等多种因素

有关。因此在研究毒物的毒性影响时，必须考虑这些相关因素。

二、工业毒物的分类

工业毒物种类繁多，根据不同需要，分类方法也不相同。按毒物的来源可分为天然的、人工的、合成的、植物性、动物性或矿物性毒物等。按毒作用特征可分为刺激性、腐蚀性、窒息性、麻醉性、溶血性、致畸性、致癌性和致突变性毒物等，这种分类便于了解其毒作用。按作用的靶器官和靶系统可以分为神经毒物、肝脏毒物、肾脏毒物、血液毒物、生殖毒物及遗传毒物等，这种分类法有利于临床应用。一般情况下，工业毒物按其物理形态、化学类属、综合性和毒作用性质分类。

（一）按毒物的物理形态分类

按照工业毒物的物理形态一般可分为气态、液态和固态。一般以气体、蒸气、烟、雾、气溶胶等形态呈现。

气体：指常温常压下呈气态的物质，如氯气、氨气、二氧化碳等。

蒸气：蒸气是固体物质升华、液态物质蒸发或挥发时形成的。如固体的樟脑、萘、干冰等可在常温下升华。低沸点的液态物质容易形成蒸气，如汽油、苯、乙醚等。如果对液态毒物进行加热、喷雾、搅拌、通风以及超声处理，可以促使其蒸发或挥发。

烟：指悬浮于空气中的固体微粒，直径一般在 $1\ \mu\text{m}$ 以下，多为某些金属熔化时产生的蒸气在空气中氧化凝聚而成。如熔锌时放出的锌蒸气所产生的氧化锌烟尘、熔铬时产生的氧化铬烟尘等。

雾：指悬浮在空气中的微小液滴，多是蒸气冷凝或液体喷散而成。如铬电镀时的铬酸雾、喷漆中的含苯漆雾、喷洒农药时形成的药雾等。烟和雾统称为气溶胶。

气溶胶：指固体、液体微粒分散在空气中所形成的非均相分散系统，包括烟和雾。

（二）按毒物化学类属分类

无机毒物：主要包括金属与金属盐、酸、碱及其他无机化合物。

有机毒物：主要包括脂肪族碳氢化合物、芳香族碳氢化合物及其他有机物。

（三）按毒物的综合性分类

金属、类金属毒物：铅、汞、镉、砷等。

刺激性气体：如酸的蒸气、氯气、氨气、二氧化硫等。

窒息性气体：分为单纯窒息性气体和化学窒息性气体两种。前者如氮、氢、氦等，后者如一氧化碳、氰化氢、硫化氢等。

有机溶剂：汽油、苯及苯系物、二氯乙烷、正己烷、二硫化碳等。

苯的氨基和硝基化合物：苯胺、三硝基甲苯、氨基苯、联苯胺。

高分子化合物：氯乙烯、丙烯腈、含氟塑料、二异氰酸甲苯酯。

农药：有机磷农药、拟除虫菊酯类农药、氨基甲酸酯类农药、百草枯等。

（四）按毒作用性质分类

毒物按其机体产生的毒作用结合其临床特点大致可分为以下四类：

1. 刺激性毒物

酸的蒸气、氯、氨、二氧化硫等均属此类毒物。刺激性气体和蒸气，尽管其物理和化学性质有所不同，但它们直接作用到组织上时都能引起组织发炎。

2. 窒息性毒物

常见的有一氧化碳、硫化氢、氰化氢等。

3. 麻醉性毒物

芳香族化合物、醇类、脂肪族硫化物、苯胺、硝基苯及其他化合物均属此类毒物。该类毒物主要是对神经系统有麻醉作用。

4. 全身性毒物

其中以金属为多，如铅、汞等。

三、工业毒物进入人体的途径

工业毒物主要经呼吸道吸收进入人体，亦可经皮肤和消化道进入。

(一) 呼吸道

因肺泡呼吸膜极薄，扩散面积大（ $50 \sim 100 \text{ m}^2$ ），供血丰富，呈气体、蒸气 and 气溶胶状态的毒物均可经呼吸道迅速进入人体，大部分生产性毒物均由此途径进入人体而导致中毒。经呼吸道吸收的毒物，未经肝脏的生物转化解毒过程即直接进入大循环并分布于全身，故其毒作用发生较快。

气态毒物经过呼吸道吸收受许多因素的影响。主要与毒物在空气中的浓度或分压差有关，浓度高，毒物在呼吸膜内外的分压差大，进入机体的速度就较快。其次，与毒物的分子量及其血/气分配系数有关，分配系数大的毒物易吸收，例如，甲醇和二硫化碳的血/气分配系数分别为 1 700 和 5，故甲醇远比二硫化碳易被吸收。气态毒物进入呼吸道的深度取决于其水溶性，水溶性较大的毒物，如氨气，易在上呼吸道吸收，除非浓度较高，否则不易到达肺泡，水溶性较小的毒物，如光气、氮氧化物等，因其对上呼吸道的刺激较小，故易进入呼吸道深部。此外，劳动强度、肺通气量与肺血流量以及生产环境的气象条件等因素也可影响毒物在呼吸道中的吸收。

气溶胶状态的毒物在呼吸道的吸收情况颇为复杂，受呼吸道的结构特点，粒子的形状、分散度、溶解度以及呼吸系统的清除功能等多种因素的影响。

(二) 皮肤

皮肤对外来化合物具有屏障作用，但却有不少外来化合物可经皮肤吸收，如芳香族氨基和硝基化合物、有机磷酸酯类化合物、氨基甲酸酯类化合物、金属有机化合物（四乙基铅）等，可通过完整皮肤吸收入血而引起中毒。毒物主要通过表皮细胞，也可通过皮肤的附属器，如毛囊、皮脂腺或汗腺进入真皮而被吸收入血；但皮肤附属器仅占体表面积的 0.1% ~ 0.2%，只能吸收少量毒物，故实际意义并不大。经皮肤吸收的毒物不经肝脏的生物转化解毒过程即直接进入大循环。

毒物经皮肤吸收分为穿透皮肤角质层和由角质层进入真皮而被吸收入血两个阶段。毒物穿透皮肤角质层的能力与其分子量的大小、脂溶性和角质层的厚度有关，分子量大于 300 的

物质一般不易透过角质层。角质层下的颗粒层为多层膜状结构，且胞膜富含固醇磷脂，脂溶性物质可透过此层，但水溶性物质难以进入。毒物到达真皮后，如不同时具有一定的水溶性，亦很难进入真皮的毛细血管，故经皮肤易吸收的毒物往往是脂、水两溶性物质。所以，了解其脂/水分配系数有助于估测经皮肤吸收的可能性。某些经皮肤难以吸收的毒物，如汞蒸气在浓度较高时也可经皮肤吸收。皮肤有病损或遭腐蚀性毒物损伤时，不易经完整皮肤吸收的毒物也能经皮肤吸收。接触皮肤的部位和面积、毒物的浓度和黏稠度、生产环境的温度和湿度等均影响毒物经皮肤吸收的效果。

（三）消化道

在生产过程中，毒物经消化道摄入所致的职业中毒甚为少见，常见于意外事故。由于个人卫生习惯不良或食物受毒物污染时，毒物也可经消化道进入体内。有的毒物如氰化物可被口腔黏膜吸收。

四、工业毒物在体内的代谢

（一）分布

毒物被吸收后，随血液循环分布到全身。毒物在体内分布的情况主要取决于其进入细胞的能力及与组织的结合力。大多数毒物在体内呈不均匀分布，相对集中于某些组织器官，如铅、氟集中于骨骼，一氧化碳集中于红细胞。在组织器官内相对集中的毒物随时间推移呈动态变化，最初，常分布于血流量较大的组织器官，随后则逐渐转移至血液循环较差的部位。

（二）生物转化

进入机体的毒物，有的直接作用于靶部位产生毒效应，并可以原形排出。但多数毒物吸收后需经生物转化，即在体内代谢酶的作用下，其化学结构发生一系列改变，形成其衍生物以及分解产物的过程，亦称代谢转化。

生物转化主要包括氧化、还原、水解和结合（或合成）四类反应。毒物经生物转化后，亲脂物质最终变为更具极性和水溶性的物质，有利于经尿液或胆汁排出体外；同时，也使其透过生物膜进入细胞的能力以及组织成分的亲和力减弱，从而降低或消除其毒性。但是，也有不少毒物经生物转化后其毒性反而增强，或由无毒转变为有毒。许多致癌物如芳香胺、苯并（a）芘等，均是经代谢转化而被活化的。

（三）排出

毒物可以原形或其代谢物的形式从体内排出。排出的速率对其毒效应有较大影响，排出缓慢的，其潜在的毒效应相对较大。

1. 肾脏

肾脏是排泄毒物及其代谢物极为有效的器官，也是最重要的排泄途径。许多毒物均经肾脏排出，其排出速度，除受肾小球滤过率、肾小管分泌及重吸收作用的影响外，还取决于被排出物本身的分子量、脂溶性、极性和离子化程度。尿中毒物或代谢物的浓度常与血液中的浓度密切相关，所以测定尿中毒物或其代谢物水平，可间接衡量毒物的体内负荷情况；结合临床征象和其他检查，有助于诊断。

2. 呼吸道

气态毒物可以原形经呼吸道排出,例如乙醚、苯蒸气等。排出的方式为被动扩散,排出的速率主要取决于肺泡呼吸膜内外有毒气体的分压差,通气量也影响其排出速度。

3. 肝脏

肝脏也是毒物排泄的重要器官,尤其对经胃肠道吸收的毒物更为重要。肝脏是许多毒物的生物转化部位,其代谢产物可直接排入胆汁随粪便排出。有些毒物如铅、锰等,可由肝细胞分泌,经胆汁随粪便排出。有些毒物排入肠道后可被肠腔壁再吸收,形成肠肝循环。

4. 其他途径

如汞可经唾液腺排出;铅、锰、苯等可经乳腺排入乳汁;有的还可通过胎盘屏障进入胎儿体内,如铅等。头发和指甲虽不是排出器官,但有的毒物可富集于此,如铅、砷等。

毒物在排出时可损害排出器官和组织,如镉可引起肾近曲小管损害,汞可产生口腔炎。

(四) 蓄积

进入机体的毒物或其代谢产物在接触间隔期内,如不能完全排出而逐渐在体内积累的现象称为毒物的蓄积。蓄积的毒物是引起慢性中毒的物质基础。当毒物的蓄积部位与其靶器官一致时,则易发生慢性中毒,例如有机汞化合物蓄积于脑组织,可引起中枢神经系统损害。当毒物的蓄积部位并非其靶器官时,则蓄积部位又称该毒物的“储存库”,如铅蓄积于骨骼内。储存库内的毒物处于相对无活性状态,在一定程度上属保护机制,对毒性危害起缓冲作用。但在某些条件下,如感染、服用药物等,体内平衡状态被打破时,储存库内的毒物可释放入血液,就有可能诱发或加重毒性反应。

有些毒物因其代谢迅速,停止接触后,它们在体内的含量会很快降低,难以检出;但反复接触,因损害效应的累积,仍可引起慢性中毒。例如反复接触低浓度有机磷农药,由于每次接触所致的胆碱酯酶活力轻微抑制的叠加作用,最终引起酶活性明显抑制,而呈现所谓功能蓄积。

第二节 工业毒物的致毒作用与影响毒性的因素

一、工业毒物对机体的作用

毒物进入机体后,可破坏机体的正常功能,干扰新陈代谢。毒物对机体的作用方式可分为局部作用、吸收作用和选择作用。按照毒作用发生的特点及发展过程,中毒可划分为急性中毒和慢性中毒两种,介于两者之间的称亚急性中毒。但是这些划分也是相对的。

(一) 毒物的局部作用和吸收作用

毒物被吸收到血液循环之前,直接作用于其所接触的部位(如皮肤、呼吸道和消化道)引起病理变化叫做毒物的局部作用,例如局部刺激、腐蚀等现象。当毒物被吸收后,由血液循环达到作用部位时所引起的中毒反应,叫毒物的吸收作用。许多吸收作用的毒物,不一定能引起局部作用,但是凡能引起局部作用的毒物,则可以通过神经体液调节和吸收入血引起全身性反应。