

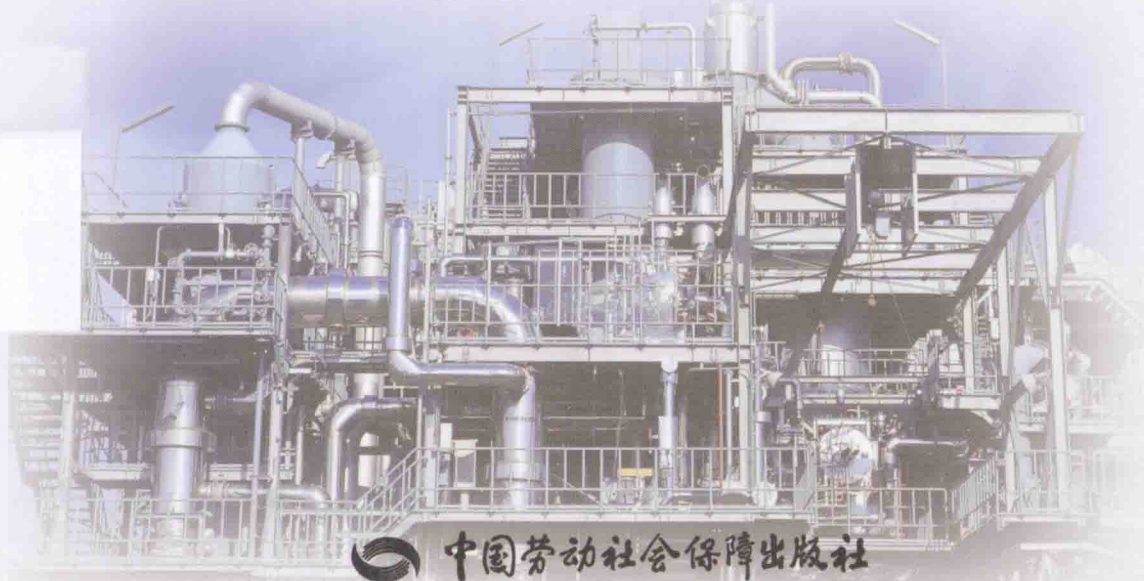
现代企业职业卫生技术丛书

工业防毒 实用技术

(第二版)

《现代企业职业卫生技术丛书》编委会 编

主编 赵容 主审 孙宝林



中国劳动社会保障出版社

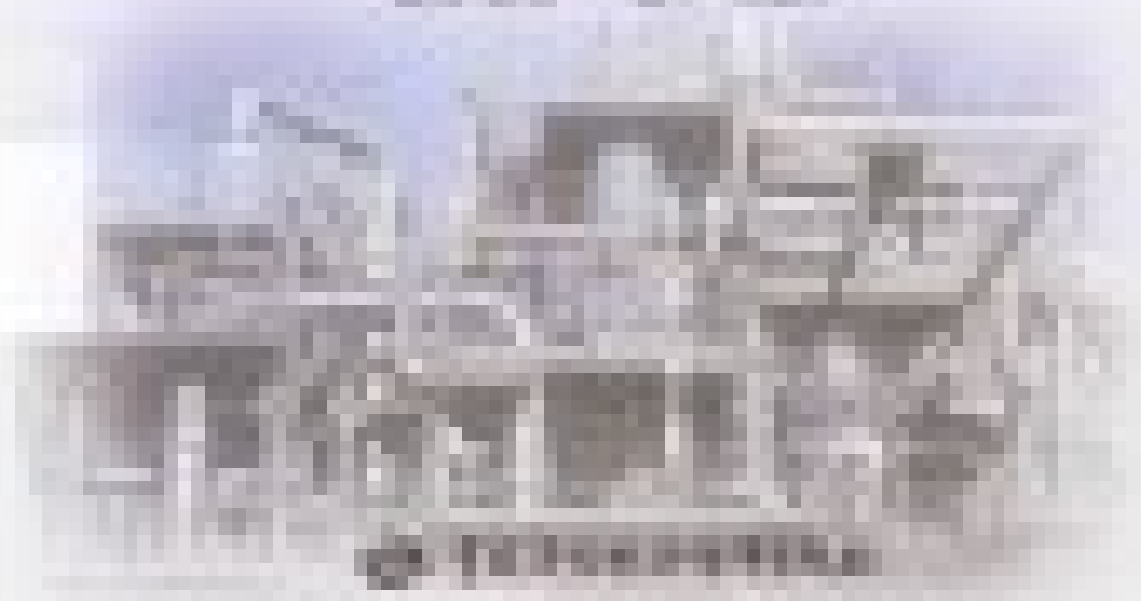
化学工业出版社重点图书出版项目

工业防毒 实用技术

（第二版）

（原书1994年出版，2000年重印，2004年再版）

主编：王德成 副主编：王德成



现代企业职业卫生技术丛书

工业防毒实用技术

(第二版)

《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

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. —2 版. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2015

(现代企业职业卫生技术丛书)

ISBN 978-7-5167-1607-6

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(2015)第 018206 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)

三河市华骏印务包装有限公司印刷装订 新华书店经销

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14 印张 313 千字

2015 年 1 月第 2 版 2015 年 1 月第 1 次印刷

定价: 42.00 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

如有印装差错, 请与本社联系调换: (010) 80497374

我社将与版权执法机关配合, 大力打击盗印、销售和使用盗版图书活动, 敬请广大读者协助举报, 经查实将给予举报者奖励。

举报电话: (010) 64954652

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 王小舫

内 容 简 介

《工业防毒实用技术》是企业从事职业卫生管理工作的人员编写的，本书全面、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。

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，还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》等相关法律、法规、标准及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,产生了许多相关的职业病等职业卫生问题,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。本书从职业卫生和实用的角度出发,系统地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高到新的高度,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、王小舫编写;第二章由赵容、李朝林、李香玲、刘和平、王小舫编写;第三章由赵容、李香玲、胡泊、王小舫编写;第四章由赵容、杨虎、王小舫编写;第五章由孙宝林、赵容、王小舫编写;第六章由赵容、李香玲、王小舫编写;第七章由孙宝林、丁洁谨编写;

第八章由孙宝林、丁洁瑾、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

2015 年 1 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、工业毒性指标与分级	7
三、影响毒性的因素	10
第三节 职业中毒的分类及诊断	11
一、职业中毒的分类及临床表现	11
二、职业中毒的诊断与处理原则	14
第四节 有毒化学物质职业接触限值	16
一、有毒化学物质职业接触限值制定原则	16
二、有毒化学物质职业接触限值的种类及应用	18
第五节 常见工业毒物	20
一、金属与类金属	21
二、刺激性气体	26
三、窒息性气体	27
四、有机溶剂	30
五、苯的氨基和硝基化合物	36
六、高分子化合物	37
七、农药	39
第二章 综合防毒措施	41
第一节 概述	41

第二节 防毒技术措施	41
一、预防措施	41
二、工程治理措施	46
三、个体防护装备	47
四、应急救援措施	50
第三节 职业卫生管理措施	54
一、前期预防	54
二、劳动过程中的防护与管理	55
三、监督检查	57
四、法律责任	57
第三章 有害气体的燃烧净化	59
第一节 概述	59
一、直接燃烧法	59
二、热力燃烧法	59
三、催化燃烧法	59
第二节 热力燃烧的原理	60
一、有关燃烧的几个概念	60
二、热力燃烧机理	64
三、热力燃烧法的燃料消耗	68
第三节 热力燃烧炉	72
一、配焰燃烧器系统	72
二、离焰燃烧器系统	75
三、有关的工程设计问题	79
四、热量回收利用	80
五、利用锅炉燃烧室进行热力燃烧	81
第四节 催化燃烧原理	82
一、概述	82
二、催化燃烧原理	86
三、催化燃烧的影响因素	90
第五节 催化燃烧装置	94
一、催化剂床层	94
二、炉体结构	96

三、有关床层的工艺计算	97
第六节 安全措施	100
一、控制废气中可燃组分的浓度	101
二、安设阻火器	101
三、在可能爆炸处设置防爆膜泄压	103
四、安全操作规程	104

第四章 有害气体的吸收净化

第一节 概述	105
第二节 吸收的基本理论	105
一、液相组成的表示方法	105
二、吸收过程的相平衡关系	107
三、吸收过程的机理——双膜理论	112
四、传质过程的机理——物质扩散	113
第三节 吸收速率方程式	115
一、吸收速率方程式	115
二、吸收总系数和分系数的关系	116
三、影响吸收的因素	118
四、气膜控制与液膜控制	119
第四节 吸收流程与操作	119
一、吸收与解吸	119
二、吸收操作与操作线方程	120
三、吸收剂的用量	121
第五节 化学吸收和非等温吸收	124
一、化学吸收	124
二、非等温吸收	125
第六节 吸收设备主要尺寸的计算	126
一、塔型选择	126
二、填料	128
三、填料塔的液泛速度和直径	132
四、填料层压降的计算	135
五、填料层高度的计算	136

第五章 有害气体的吸附净化	145
第一节 概述	145
一、固体吸附现象	145
二、炭的应用	145
三、活性炭的应用与发展	145
第二节 吸附的基本概念	146
一、固体的表面与孔	146
二、毛细管凝聚现象	147
三、物理吸附与化学吸附	148
四、吸附剂的活性	149
五、吸附剂的种类	149
第三节 吸附理论	151
一、吸附等温线	151
二、吸附位势理论	156
三、活性炭的结构形式与分类	160
第四节 吸附的工程计算	161
一、吸附的流程及分类	161
二、填充床式吸附	161
三、有机溶剂的蒸发量计算	163
四、间歇操作的吸附器的工艺计算	165
第五节 化学吸附	170
一、化学吸附的三个特点	170
二、化学吸附发生的反应及其在气体净化方面的应用	171
第六节 吸附剂再生	172
一、蒸气、烟道气或惰性气吹脱法再生	173
二、热力再生法	173
三、其他再生方法	174
第六章 有害蒸气的冷凝回收	175
第一节 冷凝原理	175
一、饱和蒸气压与温度的关系	175
二、冷凝的极限与适用范围	176

第二节 冷凝装置	178
一、直接接触式冷凝器	178
二、间壁式换热器	179
三、其他类型换热器	180
第三节 蒸气冷凝的传热计算	182
一、蒸气冷凝膜系数的理论式	183
二、蒸气冷凝膜系数的理论关系式	183
三、实验关系式	184
第七章 有害气体的生物净化	186
第一节 有害气体微生物处理原理	186
一、有害气体微生物处理的条件	186
二、有害气体微生物处理的理论	186
三、有害废气生物处理的微生物	187
第二节 微生物净化工艺	188
一、微生物吸收工艺	188
二、微生物过滤工艺	189
三、微生物滴滤工艺	194
四、膜生物反应器	195
五、微生物净化技术的实际应用	196
第八章 工业防毒技术的发展	199
一、清洁生产	199
二、绿色化学	205
三、循环经济	208

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浸透着化学物质和依赖化学物质的社会中，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，已知的化学产品有近 3 500 万种，大约 40 万种以上是有毒的，其中 3 777 种为危险化学品，335 种为剧毒化学品。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。

毒物是指在一定条件下，较低剂量能引起机体功能性或器质性损伤的外源性化学物质。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，使两者发生质变的重要条件是剂量。瑞士的一位医生帕拉塞尔苏斯（Paracelsus，1493—1541）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中毒剂量时，或是作用于健康人和非适应证的人则成为毒物；另一方面，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。还要强调的是，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，必须考虑到这些相关因素。

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。按毒物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，这种分类法便于了解其毒作用。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，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。

蒸气：液态物质气化或固态物质升华而形成的气态物质。

气溶胶：以液体或固体为分散相，分散在气体介质中的溶胶物质，如粉尘、雾或烟。

粉尘：能够较长时间悬浮于空气中的固体微粒。

烟：分散在空气中的直径小于 $0.1\ \mu\text{m}$ 的固体微粒。

雾：分散在空气中的液体微滴，多由蒸气冷凝或液体喷散形成。

（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：刺激性气体是指对眼、呼吸道黏膜和皮肤具有刺激作用，引起机体以急性炎症、肺水肿为主要病理改变的一类气态物质。如酸的蒸气、氯气、氨气、二氧化硫等。

窒息性气体：窒息性气体是指被机体吸收后，可使氧的供给、摄取、运输和利用发生障碍，使全身组织细胞得不到或不能利用氧，而导致组织细胞缺氧窒息的有害气体的总称。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：溶剂常态下为液体，通常是有机物，主要用作清洗剂、去污剂、稀释剂和萃取剂；许多溶剂也用作原料以制备其他化学产品，如汽油、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：苯或其同系物（如甲苯、二甲苯、酚）苯环上的氢原子被一个或几个氨基（ $-\text{NH}_2$ ）或硝基（ $-\text{NO}_2$ ）取代后，即形成芳香族氨基或硝基化合物。如苯胺、三硝基甲苯、氨基苯、联苯胺。

高分子化合物：高分子化合物是指分子量高达几千至几百万，由一种或几种单体，经聚

合或缩聚而成的化合物，故又称聚合物。如氯乙烯、丙烯腈、含氟塑料、二异氰酸甲苯酯。

农药：用于预防、消灭或者控制危害农业、林业的病、虫、草和其他有害生物以及有目的地调节植物、昆虫生长的化学合成或者来源于生物、其他天然物质的一种或者几种物质的混合物及其制剂。如有机磷农药、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

毒物按其对机体产生的毒作用和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，也可经皮肤和消化道进入人体。

（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，一般不易到达肺泡；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，受气道的结构特点、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。经皮肤吸收的毒物也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，也很难进入真皮的毛细血管，故易经皮肤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（lipid/water partition coefficient）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进入。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，均可影响毒物经皮肤吸收。

（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而呈动态变化：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（靶器官或储存库）。

（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（biotransformation），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与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。

（三）排出

毒物可以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。