

# 工业防毒技术

袁昌明 张晓冬 章保东 编著

GYFDJS

GYFDJS

冶金工业出版社

# 工业防毒技术

袁昌明 张晓冬 章保东 编著

北 京

冶金工业出版社

2006

## 内 容 简 介

工业防毒技术是职业安全健康的重要内容。本书分别叙述了工业毒物防护的基本理论、有毒有害物质的危害及其综合防治措施；介绍了通风排毒、烟雾净化、冷凝回收、液体吸收、固体吸附、燃烧净化与除臭等工程技术方法；对工业毒物的检测分析技术及毒物防护技术的一些应用也作了简要的叙述。

本书可作为大专院校安全工程、环境工程及相关专业的教材，亦可作为从事有毒有害作业岗位人员、企业安全与环境管理及技术人员的培训教材，还可作为从事职业安全健康专业的科研技术人员、职业安全管理、监督与监察人员的参考书。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

工业防毒技术/袁昌明等编著. —北京:冶金工业出版社, 2006. 6

ISBN 7-5024-3976-5

I. 工… II. 袁… III. 工业-防毒 IV. X965

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 029093 号

出 版 人 曹胜利 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

责任编辑 朱华英 (联系电话 010-64027929 Email zhuhuaying 51@sina.com)

美术编辑 李 心 责任校对 卿文春 李文彦 责任印制 丁小晶

北京顺义兴华印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2006 年 6 月第 1 版, 2006 年 6 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 11.5 印张; 275 千字; 171 页; 1—3000 册

28.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010) 64044283 传真: (010) 64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号 (100711) 电话: (010) 65289081

(本社图书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

## 冶金工业出版社部分图书推荐

| 书 名                        | 定价 (元) |
|----------------------------|--------|
| 现代除尘理论与技术                  | 26.00  |
| 除尘技术手册                     | 78.00  |
| 电炉炼钢除尘                     | 45.00  |
| 工业除尘设备——设计、制作、安装与管理        | /      |
| 二氧化硫减排技术与烟气脱硫工程            | 56.00  |
| ISO 14001 (新版) 标准在企业中的贯彻实施 | 56.00  |
| 系统综合和评价技术及应用               | 39.00  |
| 环境保护及其法规 (第二版)             | 45.00  |
| 新型实用过滤技术                   | 120.00 |
| 固液分离                       | 33.00  |
| 环保知识 400 问 (第 3 版)         | 26.00  |
| 材料环境学                      | 30.00  |
| 环境地质学                      | 28.00  |
| 焦化废水无害化处理与回用技术             | 28.00  |
| 高浓度有机废水处理技术与工程应用           | 69.00  |
| 固体废弃物资源化技术与应用              | 65.00  |
| 干熄焦技术                      | 58.00  |
| 二恶英零排放化城市生活垃圾焚烧技术          | 15.00  |
| 城市生活垃圾管理信息化                | 18.00  |
| 城市生活垃圾直接气化熔融焚烧技术           | 20.00  |
| 金属矿山尾矿综合利用与资源化             | 16.00  |
| 环境保护及其法规                   | 29.80  |
| 三废治理与利用                    | 65.00  |
| 水污染控制工程 (第二版)              | 31.00  |
| 环保工作者实用手册 (第二版)            | 118.00 |
| 决策环境论                      | 12.00  |
| 环境生化检验                     | 14.80  |
| 工业废水处理 (第二版)               | 11.50  |
| 环境污染物监测 (第二版)              | 10.00  |
| 环境噪声控制                     | 19.80  |
| 环保设备材料手册 (第二版)             | 178.00 |
| 煤焦油化学                      | 25.00  |
| 中央空调实用技术                   | 60.00  |

# 前 言

工业企业生产中使用的燃料、原材料、中间产物和生产的产产品，以及生产工艺过程中产生的有毒有害物质，不仅污染作业环境、影响作业效率，而且对人体产生多种危害。工业毒物对人体的危害是一种与工业生产有直接联系的职业危害，直接影响作业人员的安全与健康。

《工业防毒技术》是职业安全健康的重要内容，也是安全科学的重要组成部分。本书从职业安全健康的目的出发，主要阐述了工业毒物防护的基本理论、介绍了工业生产过程中的有毒有害物质的危害及其综合防治措施；重点阐述了控制有毒有害物质危害所采用的通风排毒、烟雾净化、冷凝回收、液体吸收、固体吸附、燃烧净化与除臭等工程技术措施；对工业毒物的检测分析技术、毒物防护技术在生产过程中的一些应用也作了简要的叙述。力求内容丰富、通俗易懂，注重理论联系实际，强调实用性和可操作性。

全书由中国计量学院袁昌明教授和浙江省劳动保护科学研究所张晓冬、章保东高级工程师编著。本书分为十章，第一章由中国计量学院黄乔蓉编写；第二章、第八章由中国计量学院袁昌明编写；第三章、第四章由中国计量学院崔晓君编写，第五章由浙江省劳动保护科学研究所李伟编写；第六章、第七章由中国计量学院徐立恒编写；第九章由浙江省劳动保护科学研究所张晓冬编写；第十章由浙江省劳动保护科学研究所章保东编写。

本书可作为大专院校安全工程、环境工程及相关专业学生的选用教材，亦可作为从事有毒有害作业岗位人员、企业安全与环境管理及技术人员的培训教材，还可作为从事职业安全健康专业的科研技术人员、职业安全监督、监察人员的参考资料。

本书在成书、出版过程中，得到了中国计量学院、浙江省劳动保护科学研究所和冶金工业出版社等单位的大力支持；中国计量学院武小鹰老师对全书进行了详细地校对；中国计量学院研究生孙伟东、吴海鸿同学参与了大量的文字录入工作；本书部分章节还参阅了参考文献中所列的许多著作和文献，在此一并表示感谢。

由于作者学识水平有限，书中存在的不足之处，敬请广大读者和专家赐教。

编著者

2006年3月

# 目 录

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 第一章 概述.....                 | 1  |
| 第一节 工业毒物.....               | 1  |
| 一、工业毒物的概念.....              | 1  |
| 二、工业毒物的来源及其分类.....          | 1  |
| 第二节 工业毒物进入人体的途径.....        | 3  |
| 一、工业毒物经呼吸道进入人体.....         | 3  |
| 二、工业毒物经皮肤进入人体.....          | 3  |
| 三、工业毒物经消化道进入人体.....         | 3  |
| 第三节 毒物在人体内的分布、转化、排泄和蓄积..... | 4  |
| 一、毒物的分布.....                | 4  |
| 二、毒物的转化.....                | 4  |
| 三、毒物的排泄.....                | 4  |
| 四、毒物的蓄积.....                | 5  |
| 第四节 造成职业中毒的因素.....          | 5  |
| 一、毒物的理化特性.....              | 5  |
| 二、作业环境与劳动强度的影响.....         | 6  |
| 三、多种毒物的联合作用.....            | 6  |
| 四、人体个体因素的影响.....            | 7  |
| 第五节 毒性指标与分级.....            | 7  |
| 一、毒性指标.....                 | 7  |
| 二、毒性的分级.....                | 8  |
| 第六节 职业中毒的临床表现.....          | 10 |
| 一、呼吸系统中毒临床表现.....           | 10 |
| 二、神经系统中毒临床表现.....           | 11 |
| 三、血液系统中毒临床表现.....           | 11 |
| 四、循环系统中毒临床表现.....           | 12 |
| 五、消化系统中毒临床表现.....           | 12 |
| 六、泌尿系统中毒临床表现.....           | 12 |
| 七、其他系统中毒临床表现.....           | 12 |
| 第七节 常见毒物及其危害.....           | 12 |

|                        |    |
|------------------------|----|
| <b>第二章 工业毒物的综合防治措施</b> | 15 |
| 第一节 生产工艺和设备的技术改造       | 15 |
| 一、以无毒低毒代替有毒高毒          | 15 |
| 二、生产设备的密闭化、机械化和自动化     | 16 |
| 第二节 排毒与净化措施            | 18 |
| 一、通风排毒措施               | 18 |
| 二、毒物净化措施               | 19 |
| 第三节 个体防护措施             | 20 |
| 一、呼吸系统防毒用具             | 20 |
| 二、个体防护用品               | 21 |
| 三、皮肤防护剂                | 21 |
| 第四节 卫生保健措施             | 22 |
| 一、健康检查                 | 22 |
| 二、个人卫生                 | 22 |
| 三、职业病的诊断与处理            | 22 |
| 第五节 管理与法制措施            | 26 |
| 一、管理和教育                | 26 |
| 二、工业卫生法规               | 27 |
| 三、消除二次尘毒源              | 28 |
| <b>第三章 通风排毒技术</b>      | 29 |
| 第一节 局部通风               | 29 |
| 一、局部排风系统               | 29 |
| 二、局部送风系统               | 30 |
| 第二节 全面通风               | 30 |
| 一、通风换气量的计算             | 30 |
| 二、气流组织                 | 31 |
| 第三节 通风管道               | 32 |
| 一、通风除尘管道系统的设计计算步骤      | 32 |
| 二、风管内空气流动的阻力           | 34 |
| 第四节 通风系统的检测和维护         | 36 |
| 一、通风系统风量、风压的测量         | 36 |
| 二、通风系统的维护管理            | 39 |
| <b>第四章 有害烟雾的净化技术</b>   | 42 |
| 第一节 概述                 | 42 |
| 第二节 气溶胶的特性             | 42 |
| 一、气溶胶的分散性              | 42 |

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 二、气溶胶的动力特性 .....                  | 43 |
| 三、气溶胶的聚集性 .....                   | 43 |
| 四、气溶胶的荷电性 .....                   | 44 |
| 五、气溶胶的光学特性 .....                  | 44 |
| 第三节 过滤净化技术 .....                  | 45 |
| 一、过滤器的工作原理 .....                  | 45 |
| 二、袋式过滤器 .....                     | 45 |
| 第四节 湿式净化技术—文氏洗涤器 .....            | 48 |
| 一、文氏管洗涤器的基本结构和净化原理 .....          | 49 |
| 二、文氏管的分类 .....                    | 49 |
| 三、文氏管的结构尺寸 .....                  | 51 |
| 四、喉管气速 $v_0$ 的确定 .....            | 51 |
| 五、文氏管的用水量 .....                   | 52 |
| 六、文氏管的阻力及其影响因素 .....              | 52 |
| 七、文氏管的凝聚效率及影响因素 .....             | 52 |
| 第五节 静电除尘技术 .....                  | 53 |
| 一、概述 .....                        | 53 |
| 二、电除尘器的工作原理 .....                 | 53 |
| 三、电除尘器的分类 .....                   | 53 |
| 四、电除尘器的结构 .....                   | 54 |
| 五、影响电除尘器工作的因素 .....               | 57 |
| 第六节 净化装置的选择 .....                 | 59 |
| 第五章 冷凝回收技术 .....                  | 61 |
| 第一节 冷凝净化的概念 .....                 | 61 |
| 一、饱和蒸汽压与温度的关系 .....               | 61 |
| 二、冷凝回收的极限 .....                   | 62 |
| 第二节 冷凝净化方法的分类 .....               | 63 |
| 一、接触冷凝装置 .....                    | 63 |
| 二、表面冷凝装置 .....                    | 64 |
| 第三节 直接接触式冷凝器 .....                | 66 |
| 第四节 表面冷凝器的热计算 .....               | 67 |
| 一、蒸汽冷凝现象的分析 .....                 | 67 |
| 二、膜状冷凝对流传热系数 $\alpha$ 的影响因素 ..... | 67 |
| 三、表面冷凝器的热计算 .....                 | 69 |
| 第六章 液体吸收技术 .....                  | 71 |
| 第一节 吸收过程的相平衡关系 .....              | 71 |
| 一、气体在液体中的溶解度 .....                | 71 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 二、亨利定律 .....          | 71  |
| 第二节 吸收速率方程 .....      | 72  |
| 一、吸收过程的机理——双膜理论 ..... | 72  |
| 二、吸收速率方程 .....        | 72  |
| 第三节 吸收操作线和吸收剂用量 ..... | 74  |
| 一、吸收操作线 .....         | 74  |
| 二、吸收剂的用量 .....        | 75  |
| 第四节 化学吸收 .....        | 76  |
| 一、化学吸收机理 .....        | 76  |
| 二、化学反应对吸收的影响 .....    | 77  |
| 第五节 吸收设备重要尺寸计算 .....  | 78  |
| 一、塔型选择 .....          | 78  |
| 二、填料选择 .....          | 79  |
| 三、填料塔的液泛速度和直径 .....   | 80  |
| 四、填料层压降的计算 .....      | 82  |
| 五、填料层高度的计算 .....      | 82  |
| 第七章 固体吸附技术 .....      | 83  |
| 第一节 吸附的基本概念 .....     | 83  |
| 一、物理吸附和化学吸附 .....     | 83  |
| 二、脱附 .....            | 84  |
| 第二节 吸附平衡和吸附等温式 .....  | 84  |
| 一、吸附平衡 .....          | 84  |
| 二、吸附等温式 .....         | 86  |
| 三、吸附的传质速率 .....       | 88  |
| 第三节 吸附剂和吸附流程 .....    | 89  |
| 一、吸附剂的要求 .....        | 89  |
| 二、吸附剂的活性 .....        | 90  |
| 三、常用吸附剂 .....         | 90  |
| 四、吸附流程 .....          | 91  |
| 第四节 固定床吸附过程计算 .....   | 92  |
| 一、吸附负荷曲线 .....        | 93  |
| 二、透过曲线 .....          | 94  |
| 三、固定床吸附分离的计算 .....    | 96  |
| 第五节 移动床吸附分离的计算 .....  | 101 |
| 第八章 燃烧净化与除臭技术 .....   | 104 |
| 第一节 燃烧净化技术的基本概念 ..... | 104 |
| 一、燃烧净化的概念 .....       | 104 |

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| 二、燃烧净化的类别·····                | 105        |
| 第二节 热力燃烧法·····                | 106        |
| 一、热力燃烧过程与条件·····              | 106        |
| 二、热力燃烧装置·····                 | 107        |
| 三、热力燃烧的应用·····                | 109        |
| 第三节 催化燃烧法·····                | 109        |
| 一、催化燃烧过程·····                 | 109        |
| 二、催化剂·····                    | 110        |
| 三、催化燃烧的应用·····                | 111        |
| 第四节 燃烧净化的热量回收系统·····          | 112        |
| 第五节 除臭技术·····                 | 113        |
| 一、湿式除臭方法·····                 | 113        |
| 二、热力燃烧除臭·····                 | 114        |
| 三、臭味消解·····                   | 114        |
| <b>第九章 毒物防护技术的应用·····</b>     | <b>115</b> |
| 第一节 冶炼过程的毒物防护·····            | 115        |
| 一、冶炼工艺过程的毒物危害·····            | 115        |
| 二、冶炼过程的综合防毒措施·····            | 115        |
| 第二节 焊接、切割过程的毒物防护·····         | 117        |
| 一、焊接与切割过程中的毒物危害·····          | 117        |
| 二、焊接切割过程的综合防毒措施·····          | 117        |
| 第三节 电镀作业的毒物防护·····            | 119        |
| 一、电镀作业过程的毒物危害·····            | 119        |
| 二、电镀过程的防毒措施·····              | 120        |
| 第四节 涂装过程的毒物防护·····            | 121        |
| 一、涂装过程的毒物危害·····              | 122        |
| 二、涂装过程的防毒措施·····              | 123        |
| <b>第十章 有毒有害物质的检测分析技术·····</b> | <b>127</b> |
| 第一节 概述·····                   | 127        |
| 一、毒物检测分析的目的·····              | 127        |
| 二、毒物检测的基本任务·····              | 127        |
| 第二节 采样·····                   | 127        |
| 一、采样的目的与要求·····               | 127        |
| 二、采气量·····                    | 128        |
| 三、采样方法·····                   | 128        |
| 第三节 现场快速检测·····               | 130        |
| 一、气体检测管·····                  | 130        |

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 二、电化学检测仪器.....                    | 131 |
| 三、便携式气体检测仪.....                   | 131 |
| 第四节 仪器分析简介.....                   | 132 |
| 一、紫外及可见光分光光度（比色分析）法.....          | 132 |
| 二、红外分光光度分析（IR）法 .....             | 133 |
| 三、气相色谱法（GC） .....                 | 133 |
| 四、其他仪器分析.....                     | 133 |
| <b>附 录</b> .....                  | 135 |
| 附录 1 作业场所空气中有毒物质允许浓度 .....        | 135 |
| 附录 2 《工业企业设计卫生标准》GBZ 1—2002 ..... | 156 |
| <b>参考文献</b> .....                 | 171 |

# 第一章 概 述

## 第一节 工业毒物

### 一、工业毒物的概念

#### 1. 毒物

所谓“毒物”是指在一定条件下，不论以何种方式，以较少的量进入人体后，能与人体组织发生化学或物理化学作用，影响人体正常生理功能，导致机体发生病理变化的物质。

值得注意的是，毒物的概念不是绝对的，有毒物质只有在特殊条件下作用于机体才具有毒性；而另一方面，任何物质只要具备了一定的条件，就可能出现毒害作用。如治疗疾病的药物，服用过量时，就可能使机体中毒；而一些剧毒物质在少量使用时，可用于治疗疾病。因此，毒物的剂量是中毒的重要因素。药理学家 William Withering 说：“小剂量的毒物是最好的药物，而有效的药物用过了量也就成为毒物。” Paracelsus 说：“所有的东西都是毒物，没有一样是无害的，只是剂量决定某些东西无毒。”所以，任何一种物质，只有达到中毒剂量时才是毒物。临床上应用的许多药物本身就是剧毒物质，如生物碱、砷、汞、马钱子、乌头、天南星、洋金花等。因此，毒物是因条件不同而决定的，而不是绝对的概念。

在生产过程中使用或产生的有毒物质，称为生产性毒物。由生产性毒物引起的中毒称为职业中毒。在生产过程中使用或产生的，进入人体后能引起有害作用的物质，称为工业毒物。工业毒物通常也称为生产性毒物。

#### 2. 中毒

由于毒物进入人体后，产生毒性作用，使机体功能产生障碍，引起疾病或死亡称为中毒。大量毒物在短时间内进入人体，引起人体一系列中毒症状，甚至死亡，称为急性中毒。少量毒物多次逐渐进入人体内，经过一段时期的积蓄，达到中毒浓度而出现中毒症状，称为慢性中毒；介于两者之间则称为亚急性中毒。

### 二、工业毒物的来源及其分类

#### 1. 毒物的来源

在生产过程中，毒物以多种形式出现，同一种化学物质在不同生产过程中呈现的形态也不同。生产性毒物在生产过程中常以气体、蒸汽、粉尘、烟和雾的形态存在，并污染空气。如氯化氢、氰化氢、二氧化硫、氯气等在常温下呈气态的物质是以气体形态污染空气的。一些沸点低的物质是以蒸汽形态污染空气的，如喷漆作业中的苯、汽油、醋酸乙酯等。在喷洒农药时的药雾、喷漆时的漆雾、电镀时的铬酸雾、酸洗时的硫酸雾等，是以雾的形态污染空气的。弄清楚生产性毒物以什么形态存在，对了解毒物进入人体的途径，制定预防控制措施，以及采集空气样品，测定毒物浓度等都具有重要意义。

工业毒物来源是多方面的，在工业生产过程中，从生产所使用的原材料到产品；从中间产品到副产品；从使用物质中的夹杂物到废水、废气、废渣；以及作为辅助材料的催化剂、载热体、增塑剂等都可能产生有毒物质，这些物质往往对人体机能产生影响。所以，工业毒物的存在是相当广泛的，一般情况下，毒物的来源主要有以下几个方面：

- (1) 原料，如生产颜料、蓄电池使用的氧化铅；生产合成纤维、药物等使用的苯等；
- (2) 辅助材料，如橡胶、印刷等行业将苯和汽油用作溶剂；
- (3) 中间产品，如用苯和硝酸生产苯胺时，产生的中间产品硝基苯；
- (4) 产品，如农药厂生产的各种农药；
- (5) 副产品及废弃物，如炼焦时产生的煤焦油、沥青，冶炼金属时产生的二氧化硫。

## 2. 毒物的分类

工业毒物的种类繁多，根据不同的需要，分类方法也就不同。按毒物的化学属性可分为有机毒物 and 无机毒物；按其作用性质可分为窒息性、刺激性、麻醉性等毒物；按毒物的物理形态分类可分为气体、液体、固体毒物；按毒物的综合性分类可分为金属、类金属毒物、刺激性或窒息性气体、有机溶剂等。一般情况下，工业毒物按其物理形态和毒物的综合性分类。

### (1) 按毒物的物理形态分类

按工业毒物的物理形态一般可分为气态、液态、固态。一般以气体、蒸气、烟尘、雾等形态呈现。

1) 气体：气体是指在常温常压下呈气态的物质，如一氧化碳、氯气等。

2) 蒸气：蒸气是由固体物质的升华、液体物质的蒸发或挥发时形成的。如固体樟脑、萘等可在常温下升华；汞、硫等在加热时也会升华。凡是沸点低的液体都易形成蒸气，如苯、乙醚等。如果对液态毒物进行加热、喷雾、搅拌、通风以及超声处理时，也易促使其蒸发或挥发。

3) 烟：烟是指漂浮在空气中，其粒径一般在  $1\mu\text{m}$  以下的固体微粒。如金属冶炼时产生的蒸气在空气中迅速冷凝及氧化形成的烟；有机物加热或不完全燃烧时产生的烟，如塑料热加工及炼胶时产生的烟气。

4) 粉尘：粉尘是固体物质经过机械加工或其他方法形成的，能较长时间在空气中漂浮的固体微粒。其粒径多在  $1\sim 10\mu\text{m}$ 。如焦炭尘、石灰尘、各种矿石尘等。

5) 雾：雾是指悬浮在空气中的液体微滴。如电镀铬时产生的铬酸雾；喷洒农药或喷漆时形成的药雾或漆雾；其他如盐酸雾、硫酸雾等。

6) 气溶胶：固体、液体微粒分散在空气中所形成的非均相的分散系统称为气溶胶。

### (2) 按毒物的综合性分类

根据毒物存在形态、作用特点及化学结构等多种因素，可将毒物分类如下：

- 1) 金属、类金属毒物：如汞、砷、铅、锰等；
- 2) 刺激性或窒息性气体：如二氧化硫、硫化氢、氯气、氰化氢、一氧化碳等；
- 3) 有机溶剂：如苯、二氯乙烷、四氯化碳、汽油等；
- 4) 苯的硝基、氨基化合物：三硝基甲苯、硝基苯、联苯胺、苯胺等；
- 5) 高分子化合物：如聚氯乙烯、聚丙烯腈、聚氯丁二烯等；
- 6) 农药：如苯、硝基苯、硫化氢、有机氯、有机磷等。

## 第二节 工业毒物进入人体的途径

工业毒物进入人体主要是通过人体的呼吸道、皮肤和消化道三个途径。在一般情况下，工业毒物主要通过呼吸道、皮肤进入人体。

### 一、工业毒物经呼吸道进入人体

工业毒物经呼吸道进入人体是最主要的途径。人体的呼吸道具有较强的吸收毒物的能力，主要吸收部位是支气管和肺泡，一般人体肺泡的总面积在  $55\sim 120\text{m}^2$  之间，而肺泡只有  $1\sim 4\mu\text{m}$  的薄壁，其表面为含碳酸的液体，肺泡壁有极其丰富的毛细血管，所以肺泡对毒物的吸收能力非常强。

在生产过程中使用或生产的工业毒物是以气体、蒸气、烟、尘、雾等不同形态存在于生产环境中的。气体、蒸气可直接被肺泡吸收；烟、尘、雾的微粒粒径大都小于  $5\mu\text{m}$ ，其中粒径小于  $3\mu\text{m}$  的烟、尘、雾的微粒可直接被肺泡吸收；大于  $10\mu\text{m}$  的烟、尘、雾微粒绝大部分被鼻腔纤毛及上呼吸道所阻。对于水溶性较大的气体、蒸气，如二氧化硫、氯气在通过呼吸道时，易被上呼吸道黏液溶解而不易到达肺泡，但浓度高或呼吸深度大时，则取决于毒物的粒度和水溶性。呼吸道吸收毒物的速度除了取决于粒度与水溶性以外，还与毒物在空气中的浓度、人体的肺通气量以及接触毒物的时间等有关。

经呼吸道吸收的毒物，可直接进入血液循环而分布全身，在未经肝脏解毒之前这些毒物就产生其毒性作用。所以，毒物从呼吸道进入人体具有更大的危险性。

### 二、工业毒物经皮肤进入人体

在生产过程中，毒物直接经人体的皮肤吸收而产生中毒的情况也时有发生。如喷洒农药时，药雾被人体皮肤所吸收而产生农药中毒。

经皮肤吸收的毒物有三个途径：（1）毒物通过表皮屏障产生中毒；（2）毒物通过毛囊以及皮脂腺产生中毒；（3）毒物通过汗腺产生中毒。

因为人体表皮角质层下的表皮细胞的胞膜富有磷脂，能阻碍水溶性物质的侵入，对皮肤起到屏障作用，所以，水溶性物质不能透过无损伤的皮肤。虽然脂溶性物质能透过表皮屏障，但如果该物质不具有一定的水溶性，则不能被表皮下的血液所吸收。如有机磷化合物、有机铅化合物、苯的氨基或硝基化合物，以及苯及其同系物、醇类、卤代烃类等化合物。

经毛囊及皮脂腺吸收的毒物有汞及其盐类、砷盐以及砷的氢化物等。

氰化氢、硫化氢等气态工业毒物可同时经表皮及毛囊两条途径进入人体。

当皮肤损伤或患病时，其屏障作用被破坏，此时，不能经皮肤吸收的毒物也可被吸收。强酸、强碱、强酚、黄磷等具有腐蚀性的物质，是通过腐蚀作用经人体皮肤而进入人体的。

毒物经皮肤侵入人体后，直接进入血液循环而分布于全身，一般不经过肝脏的解毒作用。而毒物经皮肤吸收的快慢和吸收量，除了与毒物的脂溶性、水溶性、浓度等有关外，还与环境中的温度、湿度，以及皮肤的损伤情况等有关。

通过汗腺进入人体的中毒的情况比较少见。

### 三、工业毒物经消化道进入人体

毒物单纯被消化道吸收而引起的职业中毒，在工业生产中较为少见。而由呼吸道侵入

的毒物有些黏附在鼻咽部或混合于口、鼻咽的分泌物中，这些分泌物可借助吞咽动作进入消化道而产生中毒。另外，在有毒物质的生产车间内饮食、吸烟或用被污染的手取食物等，毒物直接进入消化道而产生中毒。

毒物进入消化道后，主要被小肠所吸收，少部分在胃中吸收。消化道对毒物的吸收程度主要取决于毒物在胃液中的溶解度。应该注意的是，虽然有些毒物的水溶性较差，但在酸性的胃液中，其溶解度会增大，中毒的可能性也会增加。氰化物等某些脂溶性毒物和某些盐类可经口腔黏膜直接吸收。毒物经消化道吸收和肝脏解毒后分布到全身。

### 第三节 毒物在人体内的分布、转化、排泄和蓄积

毒物进入人体后，随着体液分布到人体的不同部位，参与体内的代谢过程，发生转化，有些可被解毒并排出体外，有些则在体内蓄积，随着时间的推移，积蓄在体内的毒物可使人体产生各种中毒症状。

#### 一、毒物的分布

由于毒物本身的物理化学特性，以及人体体内组织生理、生化等特点，被人体吸收后的毒物会聚集在人体某些组织或器官中，而表现出毒物对这些组织或器官的“选择性”或“亲和力”。

铅、汞、砷等金属或类金属毒物被人体吸收后，主要分布在骨骼、肝脏、肾脏、肠、肺、肌肉等部位。

苯、二硫化碳等有机溶剂类毒物，易分布于骨髓、脑髓和富脂肪的组织中。

#### 二、毒物的转化

被人体吸收后的毒物，在体内会产生多种化学变化，称为毒物在体内的代谢，也称为毒物的转化。毒物在体内的代谢过程分为氧化、还原、水解和合成四类。如乙醇氧化成为二氧化碳和水；醛类还原成醇类，再逐渐氧化成二氧化碳和水；乙酸乙酯水解成乙醇和乙酸，再氧化成二氧化碳；体内葡萄糖醛酸、甘氨酸等可与毒物或其代谢产物结合。

大多数毒物经代谢或转化后，其毒性下降，所以，代谢或转化具有解毒作用。但有少数毒物在转化过程中的某一阶段可能其毒性反而增大，经体内进一步代谢后，其毒性又下降。所以，毒物在体内代谢或转化的最终结果仍是解毒作用。

人体各部位组织都具有一定的转化作用，但大部分是通过肝脏进行代谢和转化的。必须清楚的是，人体各部位组织的解毒能力是有限的，因此，不能因为人体组织具有解毒能力而忽视了对毒物的防护。

#### 三、毒物的排泄

进入人体体内的毒物，可慢慢从呼吸道、肾脏，以及肠道等途径排出。经呼吸道排出的主要是气体和易挥发性毒物。经呼吸道排出的毒物主要是在体液中基本不起变化的苯、汽油以及水溶性小的三氯甲烷、乙醚等；经肠道和肾脏排出的主要是水溶性毒物，如金属、卤代烃、生物碱等毒物；重金属及少数生物碱等主要经肠道排出。

毒物也可通过其他途径排出。经皮肤吸收的砷化物，苯的硝基、氨基化合物，卤代烃等毒物，可从皮脂腺及汗腺排出；铅、汞、砷可随乳汁、月经排出体外；汞可随唾液排出等。

#### 四、毒物的蓄积

进入人体后,毒物分布在人体内较集中的器官或组织中,如继续接触该毒物,在人体器官或组织中的毒物量会逐渐增加,这就是毒物的蓄积作用。毒物可以以原形和代谢物的形式分布于人体器官或组织中。如四氯化碳和苯的硝基、氨基化合物对人体器官或组织—肝脏产生损害;而铅、汞、锰等重金属,则对人体器官或组织—骨骼无明显毒性作用。无论对人体器官或组织有无毒性作用,毒物均能缓慢地从器官或组织中释放,并进入血液循环,进而对全身或其他器官发生缓慢的毒性作用。当患病、饮酒、过劳或外伤时,毒物可突然大量进入血液循环,从而引起慢性中毒的急性发作。

在某些组织或器官中,蓄积的毒物超过一定量时,会产生慢性中毒。因此,毒物在体内的蓄积,是发生慢性中毒的先决条件和重要因素。

### 第四节 造成职业中毒的因素

造成毒物毒性的因素是多方面的。除了毒物进入人体的途径、毒物的剂量、毒物在体内的代谢对其毒性有影响外,毒物的理化特性、生产环境、多种毒物的联合作用、个体因素等也是重要的影响因素。

#### 一、毒物的理化特性

##### 1. 毒物的化学结构

毒物的理化性质由其化学结构所决定,而毒物的化学结构对其毒性也起着决定性作用。一般情况下,毒物的化学结构相似,其毒性作用也相似。下面对其一些规律作简单叙述。

(1) 当苯环中的氢被硝基或氨基取代成为硝基苯、氨基苯类,则毒性变得比苯大。但苯环中的氢被甲基或羧基( $-\text{COOH}$ )所取代时,其毒性明显减弱。所以甲苯、二甲苯的毒性比苯低。

(2) 烷烃类中的氢被羧基( $-\text{COOH}$ )取代成为醇类时,其毒性作用增加,并可损害肝脏,如乙醇毒性大于乙烷;烷烃类中的氢被硫、氧基团取代时,其毒性作用也增大,如丙酮麻醉作用比丙烷大;甲烷中的氢被硫取代成二硫化碳,则具有更复杂的毒性作用。烷烃中的氢被卤族元素取代,则毒性增大,如四氯化碳( $\text{CCl}_4$ )毒性大于氯仿( $\text{HCCl}_3$ ),而氯仿毒性大于二氯甲烷( $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ),二氯甲烷毒性大于一氯甲烷( $\text{CH}_3\text{Cl}$ )。

(3) 低价化合物比高价化合物的毒性大。如一氧化碳( $\text{CO}$ )比二氧化碳( $\text{CO}_2$ )毒性大,乙炔( $\text{C}_2\text{H}_2$ )毒性大于乙烯( $\text{C}_2\text{H}_4$ ),乙烯毒性又大于乙烷( $\text{C}_2\text{H}_6$ )。

(4) 碳氢化合物的碳原子数越多,其毒性越大。如丁醇、戊醇比乙醇、丙醇毒性大,庚烷毒性大于己烷更大于戊烷。

(5) 在有机化合物同分异构物中,直链的毒性大于支链,短侧链的毒性大于长侧链,如庚烷毒性大于异庚烷。成环的毒性比不成环的毒性大,如环戊烷的毒性大于戊烷。

(6) 带氰根的化合物在体内释放出游离的氰根,则会对人体产生全身性中毒作用。

(7) 磷酸酯类或硫代磷酸酯进入人体后,对人体产生毒性作用。

(8) 带有多种基团的物质比只带一种基团的物质的毒性要大,如酚的毒性大于苯。有氧、硫、氢氧根取代氢的有机化合物的毒性增大,如甲醇的毒性大于甲烷。

## 2. 理化性质

毒物的毒性与毒物的理化性质有着直接的关系，在一定程度上也影响毒物对人体的毒性作用。

(1) 溶解度：一般说来，溶解度越大，则毒性越大。溶解度不仅指毒物的水溶性、脂溶性，而且还包括毒物在人体体液、血液和淋巴液中的溶解度。

三氧化二砷 ( $\text{As}_2\text{O}_3$ ) 的溶解度是三硫化二砷 ( $\text{As}_2\text{S}_3$ ) 的 3 万倍，前者毒性较后者大得多；苯、苯胺等极易溶于脂肪；硫化铅可在胃液中溶解；黄丹易溶于血清。

易溶于水的毒物主要表现在刺激上呼吸道，如二氧化硫、氯化氢、氨等。而在水中溶解较慢的毒物主要刺激支气管及肺泡，如氮氧化物、光气、三氯化磷等。而易溶于脂肪的毒物，则主要损害神经系统而产生麻醉作用。

(2) 粒度：毒物的颗粒越细，则分散度越大，表面活性也越高，越容易进入肺泡产生较强的毒性。

(3) 挥发性：毒物的沸点越低、蒸气压越高，越易于挥发，在空气中形成的蒸气浓度也越高，人体吸入后产生的毒性也越大。而沸点高、不易挥发的物质容易附着在皮肤和黏膜表面而损伤这些组织。

(4) 酸碱性：酸碱性越强、化学性质越活泼的毒物，越容易与机体组织发生反应，其毒性也比较大。

## 二、作业环境与劳动强度的影响

作业场所的温度、湿度和气压等对毒物作用于人体也有着直接的影响，一般情况下，温度越高，毒物越易挥发，而空气中毒物的浓度也越高。同时，高温还可增加人体血液循环，可增加排汗，使某些毒物易侵入人体，毒物进入人体的数量也会增加，中毒的可能性和中毒程度也增大；高湿亦可增加某些毒物的吸收，当空气中的湿度增大，有些易溶于水的毒物溶解在水气中，其毒性增强，而且易于吸附在呼吸道黏膜上，使人体中毒的可能性增加；当气压升高时，增强毒物在体内的溶解，也会增大毒物的毒性作用。

劳动时间过长或劳动强度大，使呼吸和血液循环加快，排汗也多，促进了人体吸收毒物的速度。值得注意的是，在有毒有害物质存在的作业场所暴露的时间越长，劳动强度越大，中毒的可能性和严重程度就会增加。

## 三、多种毒物的联合作用

生产环境中若同时存在多种职业危害因素时，就可能出现联合作用。联合作用通常表现为协同作用和拮抗作用。

当作业场所有几种毒物同时存在，其化学结构相似的毒物同时作用于人体某一器官或组织时，其致毒效果等于每种毒物的毒性之和，称为毒物毒性的相加作用。有些毒物同时作用于人体某一器官或组织所产生的毒性，比每种毒物单独作用的毒性大得很多，称为毒物毒性的相乘作用。相加与相乘作用一般统称为“协同作用”。

一般情况下，数种毒物同时存在，发生联合作用的结果使毒性增大。如大部分刺激性气体同时存在，则多表现为相加作用；具有麻醉作用的毒物，也表现为相加作用。一氧化碳与硫化氢同时存在，或一氧化碳与氮氧化物同时存在，则表现出相乘作用。

当然，也有一些毒物混合后产生抑制作用，其共同作用的毒性效果减低，称为“拮抗作用”。如高浓度的硒和汞等共同作用可降低其毒性，表现出拮抗作用。