

工业防毒技术

GONGYE
FANGDU JISHU

全国高校安全工程专业本科规划教材

高等学校安全工程学科教学指导委员会组织编写

全国高校安全工程专业本科规划教材

工业防毒技术

高等学校安全工程学科教学指导委员会组织编写

主 编 孙宝林

副主编 赵 容

主 审 王淑荪

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

工业防毒技术/孙宝林主编. —北京:中国劳动社会保障出版社, 2007

全国高校安全工程专业本科规划教材

ISBN 978-7-5045-6636-2

I. 工… II. 孙… III. 工业-防毒-高等学校-教材 IV. X965

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 177198 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

*

北京隆昌伟业印刷有限公司印刷装订 新华书店经销

787 毫米×960 毫米 16 开本 15.5 印张 268 千字

2008 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月第 1 次印刷

定价: 30.00 元

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64954652

内 容 提 要

本书是全国高校安全工程专业本科规划教材。本书全面系统地介绍了工业毒理学、综合防毒措施和生产现场空气中有毒物质的净化回收方面的知识。主要内容有：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、工业防毒技术的现状与发展。

本书除作为安全工程专业本科教材外，也可作为安全卫生设计单位技术人员的基本参考书，还可作为厂矿企业职业安全健康管理人员的培训教材及注册安全工程师继续教育的参考书。

高等学校安全工程学科教学指导委员会

主任委员	孙华山				
副主任委员	黄玉治	范维澄	周世宁	宋振琪	谢和平
	沈忠厚	冯长根	王继仁	宋守信	
委 员	张平远	王 生	钮英建	张来斌	林柏泉
	刘泽功	蔡嗣经	傅 贵	吴 超	吴 穹
	杨庚宇	许开立	程卫民	张殿业	景国勋
	蒋军成	赵云胜	姜德义	黄卫星	刘玉存
	李树刚	吴宗之	伊 烈	崔慕晶	李永红
	李生盛	杨书宏			
秘 书	杨书宏	(兼)			

序 言

党的十六届五中全会确立了“安全发展”的指导原则，极大地促进了我国安全科学事业的发展，同时为安全工程学科提供了良好的发展机遇。据初步统计，到目前为止，全国开设安全工程专业的高校已达百余所，安全工程专业已成为我国高等教育中重要的新兴专业之一。

加强教材建设，是促进我国安全工程专业健康发展的重要基础工作。本届（2004—2008年）高等学校安全工程学科教学指导委员会在充分吸收现有教材成果和借鉴上届教指委安全工程专业教材成功编写经验的基础上，于2006年启动了“全国高校安全工程专业本科规划教材”的组织编写和出版工作。第一批安全工程专业本科规划教材包括《安全学原理》《安全管理学》《安全人机工程学》《安全系统工程》《职业卫生概论》《工业通风与除尘》《化工安全》《工业防毒技术》《机械安全工程》《电气安全工程》《防火防爆技术》《锅炉压力容器安全》《安全经济学》《安全心理学》《风险管理与保险》等15种。

本套规划教材的编写力求满足安全工程专业课程体系和课程教学的新发展，立足现实，反映前沿，力求创新，既包括已经成熟并被公认的理论与学术思想，又反映安全工程学科领域具有前瞻性与代表性的最新理论、技术和方法，并借鉴吸收世界上发达国家的先进理论、理念与方法。

在本套教材开发过程中，全国30余所高等学校、科研院所的近百名专家和学者积极参与了教材的编写和审订工作，教指委秘书处、教材开发分委会和

中国劳动社会保障出版社做了大量的组织工作，在此向他们表示衷心的感谢！

本套教材的编写和出版，是我国安全工程学科在教材建设方面又迈出的重要一步。虽然我们尽了最大努力，但仍有不足，恳请安全工程领域的专家学者和广大师生提出宝贵意见。

高等学校安全工程学科教学指导委员会

2007 年 8 月

前 言

改善劳动条件,防止职业中毒,保护劳动者的安全健康,是我国职业安全与职业健康管理工作的的重要组成部分。自中华人民共和国成立以来,在党和政府的领导下,我国劳动保护及职业安全健康管理工作不断发展完善,工业防毒技术作为整体工作的一个分支,也逐步形成、发展,并构成了一个完整的理论和知识体系。

随着我国职业安全健康工作的开展和需要,全国高校的职业安全教育工作也不断发展壮大。1975年,国内首次开办了《工业卫生技术》试办专业,自此《工业防毒技术》就成为我国高校的一门专业课程,并同时编出了同名教材。

工业防毒技术的知识结构包括以下三个部分:一是工业毒理学,研究工业毒物对人的危害及其规律和各种工业毒物的毒性,并制定卫生标准。这是防毒的任务、对策和采取措施的依据。二是综合防毒措施,目前我国在工业生产过程的防毒管理经验相当丰富,并已形成一套行之有效的管理和技术方法,这包括工艺改革、密封技术、通风排毒、个体防护以及机械化、自动化等各方面的技术,基本可以配套。近年来随着“清洁生产”概念的提出及其实际工作的开展,对工业防毒工作的开展提出了更高的要求,使之从单一工序、工种的防毒管理走向生产全过程及系统化管理水平。三是车间空气中有毒物质的净化回收,是20世纪70年代以来,为适应我国职业安全与职业卫生和环境保护工作的要求,对工业生产过程中的有毒气体进行净化或回收的技术方法,目前已经形成完整的技术理论体系。

但是要看到,目前我国工业防毒工作的任务繁重,工业有毒物质的生产和应用过程从车间到环境、甚至进入家庭,危害范围不断扩大。化学物质中毒的问题日益突出。因此为适应我国经济社会发展的要求,落实“清洁生产”、环境保护和职业病防治的法律、法规,工业防毒还有大量实务和研究工作要完成。

《工业防毒技术》由江熊教授首编于1975年,并用于首都经济贸易大学工业卫生技术专业本科教学,此后于1980年和1991年两次修订再版。

2006年,高等学校安全工程学科教学指导委员会组织编写“全国高校安全工程专业本科规划教材”,将《工业防毒技术》列为规划教材之一。

2006年8月在北京召开了“全国高校安全工程专业本科规划教材”编写大纲审定会。本书的编写便是依据教指委批准的编写大纲完成的。本书由国内安全工程学科有关的专家和教师共同编写,第一章由北京大学医学部王生编写;第二章由北京疾病预防控制中心建设项目卫生评价所赵容编写,同时参编了第一、三、五章的部分内容;第四章由首都经济贸易大学李洪枚编写;第三、五、六章由首都经济贸易大学孙宝林编写。全书由孙宝林统稿。首都经济贸易大学王淑荪主审,并对编写工作进行了指导和帮助。另外,首都经济贸易大学安全与环境工程学院的研究生刘璐和丁洁瑾对本书的全部书稿进行了大量的整理工作,在此一并表示感谢。

编 者

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、工业毒物的分类	(1)
二、工业毒物的毒性	(3)
第二节 工作场所有害物质接触限值	(9)
一、工作场所有害物质接触限值的种类	(9)
二、工作场所有害物质接触限值的应用	(10)
三、工业毒物危害程度分级	(11)
第三节 毒物在人体的过程及危害	(12)
一、毒物在体内的过程	(12)
二、职业中毒	(15)
第四节 工业毒物个论	(21)
一、金属与类金属	(21)
二、刺激性气体与窒息性气体	(22)
三、有机溶剂及其他化合物	(24)
本章小结	(29)
复习思考题	(29)
第二章 综合防毒措施	(30)
第一节 概述	(30)
第二节 防毒技术措施	(31)
一、预防措施	(31)
二、治理措施	(35)
第三节 防毒管理措施	(36)

一、有毒作业环境管理	(36)
二、有毒作业管理	(38)
三、职业健康管理	(38)
四、个人防护措施	(39)
五、急性职业中毒与应急救援	(41)
六、预防性职业卫生监督管理	(41)
本章小结	(43)
复习思考题	(43)
第三章 有害气体的燃烧净化	(44)
第一节 概述	(44)
一、直接燃烧法	(44)
二、热力燃烧法	(45)
三、催化燃烧法	(45)
第二节 热力燃烧原理	(46)
一、有关燃烧的几个概念	(46)
二、热力燃烧机理	(51)
三、热力燃烧法的燃料消耗	(55)
第三节 热力燃烧炉	(60)
一、配焰燃烧器系统	(60)
二、离焰燃烧器系统	(64)
三、有关的工程设计问题	(70)
四、热量回收利用	(72)
五、利用锅炉燃烧室进行热力燃烧	(73)
第四节 催化燃烧原理	(75)
一、概述	(75)
二、催化燃烧原理	(81)
三、催化燃烧的影响因素	(89)
第五节 催化燃烧装置	(94)
一、催化剂床层	(95)
二、炉体结构	(97)
三、有关床层的工艺计算	(98)

第六节 安全措施	(105)
一、控制废气中可燃组分的浓度	(105)
二、安设阻火器	(106)
三、可能爆炸处设置防爆膜泄压	(108)
四、安全操作规程	(109)
本章小结	(109)
复习思考题	(110)
第四章 有害气体的吸收净化	(111)
第一节 概述	(111)
第二节 吸收的基本理论	(112)
一、气液相组成的表示方法	(112)
二、吸收过程的相平衡关系	(114)
三、吸收过程的机理—双膜理论	(122)
四、传质过程的机理—物质扩散	(123)
第三节 吸收速率方程式	(126)
一、吸收速率方程式	(126)
二、吸收总系数和分系数的关系	(127)
三、影响吸收的因素	(129)
四、气膜控制与液膜控制	(130)
第四节 吸收流程与操作	(131)
一、吸收与解吸	(131)
二、吸收操作与操作线方程	(132)
三、吸收剂的用量	(134)
第五节 化学吸收和非等温吸收	(137)
一、化学吸收	(137)
二、非等温吸收	(138)
第六节 吸收设备主要尺寸的计算	(139)
一、塔型选择	(139)
二、填料	(142)
三、填料塔的液泛速度和直径	(144)
四、填料层压降的计算	(151)

五、填料层高度的计算	(151)
本章小结	(161)
复习思考题	(161)
第五章 有害气体的吸附净化	(162)
第一节 吸附的基本概念	(162)
一、吸附应用的发展	(163)
二、固体的表面与孔	(163)
三、毛细管凝聚现象	(167)
四、物理吸附与化学吸附	(168)
五、吸附剂的活性	(168)
六、吸附剂的种类	(169)
第二节 吸附理论	(172)
一、吸附等温线	(172)
二、吸附位势理论	(178)
三、活性炭的结构形式与分类	(183)
四、混合蒸气的吸附	(184)
五、吸附传质速率	(185)
第三节 吸附过程的计算	(186)
一、吸附的流程及特点	(186)
二、有机溶剂的蒸发量计算	(191)
三、间歇操作的吸附器的工艺计算	(193)
四、活性炭的吸附热	(200)
第四节 化学吸附	(202)
一、化学吸附的三个特点	(202)
二、化学吸附在气体净化方面的应用	(203)
第五节 吸附剂再生	(206)
一、蒸气、烟道气或惰性气吹脱法再生	(207)
二、热力再生法	(208)
三、其他再生方法	(209)
本章小结	(209)
复习思考题	(209)

第六章 工业防毒技术的现状与发展	(210)
第一节 有害蒸气的冷凝回收	(210)
一、冷凝原理	(211)
二、冷凝装置	(214)
第二节 有害废气的生物净化	(217)
一、工业废气微生物处理原理与工艺类型	(218)
二、微生物吸收工艺	(219)
三、微生物滴滤工艺	(220)
四、微生物过滤工艺	(221)
第三节 工业毒物控制技术的发展	(224)
一、绿色化学	(224)
二、成果简介	(226)
三、共用反应器技术	(229)
四、ADC 发泡剂清洁生产工艺及氯碱工厂循环经济链	(230)
本章小结	(231)
复习思考题	(231)
参考文献	(232)

第一章 工业毒物及其危害

本章学习目标

1. 掌握工业毒物与职业中毒的概念；
2. 了解有毒物质对人体危害的特点；
3. 了解化学物质与人的关系。

第一节 工业毒物的分类及毒性

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和依赖化学的社会中，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 余万种以上是有毒的，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，但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的危害问题，但同时也要看到，有毒化学物质包括原辅材料、中间品和产品，在其生产、搬运、储存、运输、使用以及废弃物处置的各个环节均能对人员造成危害。而目前存在的环境污染问题，绝大部分是工业有毒物质造成的。

一、工业毒物的分类

（一）工业毒物与职业中毒的概念

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，使二者发生互变的重要条件是剂量。瑞士的一位德国医生帕拉塞尔士（Paracelsus，1493 年——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，必须考虑到这些相关因素。

（二）工业毒物的分类

由于毒物的化学性质及物理性质各不相同，因此分类的方法很多。如按毒害作用性质分，可分为窒息性毒物、刺激性毒物、麻醉性毒物等；按人体的致毒部位，可分为神经系统、血液系统、消化系统、肾脏、呼吸系统等。目前一般的分类方法是按毒物存在的形态，作用特点和化学结构等多种因素进行综合分类的。

1. 按物理形态分类

（1）气体。是指常温、常压下呈气态的化学物质。例如，在聚氯乙烯树脂生产过程中放出的氯气、氯化氢和氯乙烯单体等；二氯乙烷生产过程中放出的氯气、乙烯等；再如常见的氯气、氨气、一氧化碳、二氧化硫等。

（2）蒸气。指液体蒸发、固体升华而形成的气体。前者如苯、汽油蒸气等；后者如熔磷时的磷蒸气等。

(3) 烟。又称烟尘或烟气，为悬浮在空气中的固体微粒，其直径往往小于 $0.1\ \mu\text{m}$ 。有机物加热或燃烧时可产生烟，如塑料、橡胶热加工时产生的烟；金属熔炼，如熔铜、熔铅时产生的蒸气在空气中迅速冷凝及氧化后也能形成烟。

(4) 雾。为混悬于空气中的液体微粒，多系蒸气冷凝或液体喷散所形成。如铬电镀时的铬酸雾，喷漆作业时产生的漆雾等，农药喷洒时产生的农药雾等。

(5) 粉尘。为飘浮于空气中的固体微粒，直径大多数在 $0.1\sim 10\ \mu\text{m}$ 之间，多为固体物料经机械粉碎，研磨时形成。如制造铅丹颜料的铅尘，水泥、耐火材料加工中的粉尘等。

在上面的分类中，气体和蒸气又称为气态污染物；烟、雾、尘三类物质又统称为气溶胶或颗粒污染物。

2. 按化学类属分类

毒物按其化学成分结合其形态可分为无机毒物（金属与金属盐、酸、碱、气体及其他无机化合物）、有机毒物（脂肪族碳氢化合物，芳香族碳氢化合物及其他有机物）两大类。由于化学合成工业的迅速发展，有机化合物的种类日益增多，有机毒物也随之增加。

3. 按毒作用性质分类

毒物按其对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。所有刺激性气体和蒸气尽管在物理、化学性质上有所不同，但它们直接作用到机体组织上时均能引起组织发炎。

(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、硝基苯等均属此类毒物，这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。

二、工业毒物的毒性

化学毒物与机体接触或进入机体的易感部位后，能造成机体损害的相对能力称为毒性。一种化学毒物对机体的损害能力越大，其毒性越高。毒性与进入机体化学毒物的剂量有密切的关系，毒性大的化学毒物即使是较小剂量也会引起机体的损害，毒性小的化学毒物则需较大的剂量才能造成机体损害。

化学毒物本身或其代谢产物在作用部位达到一定浓度，并与组织大分子成分相互作用产生的结果称毒性作用。毒性作用又称毒效应，是化学毒物对机体所致不良