

工业尘毒防治

郭李有

太原机械学院

一九八九年十二月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 工业毒物基本常识	2
一、工业毒物的特征	2
二、工业毒物进入人体的途径	4
（一）经呼吸道侵入人体	4
（二）经皮肤进入人体	5
三、常见工业毒物	5
（一）铅以及四乙基铅	5
（二）汞及其化合物	7
（三）锰及其化合物	8
（四）铬及其化合物	9
（五）镉、钴、镍、铍	10
（六）砷化合物	11
（七）苯及其同系物	12
（八）氰化物	13
（九）一氧化碳	13
（十）刺激性气体	14
（十一）有机磷、有机氯等农药	14
三、中毒机理	18
四、职业中毒	19
第二节 国家卫生标准	23
第三节 综合防尘防毒措施	33
一、组织管理措施	33

二、防尘防毒技术措施	34
三、个人防护措施	36
四、卫生保健措施	37
第二章 有害气体的防治技术	38
第一节 有害气体的检测方法	38
第二节 工业通风	39
一、局部排风系统	40
(一) 设计局部排风系统的程序及依据	41
(一) 设计吸气罩(或排风罩)的原则	42
(三) 实用局部排风举例	45
二、全面通风换气	52
三、工业通风的效果评价	53
第三节 个人防护用品	54
第四节 有害气体的治理技术	56
一、吸收净化技术	56
(一) 原理	56
(二) 物理吸收	56
(三) 亨利定律	57
(四) 吸收过程的机理	63
(五) 化学吸收	79
(六) 吸收剂的选择	80
(七) 吸收过程	81
(八) 解吸过程	83
(九) 吸收设备的构造和性能	83
二、燃烧净化技术	86

(一)	直接燃烧	86
(二)	热力燃烧	87
(三)	催化燃烧	98
(四)	安全措施	101
三、	冷凝回收技术	105
(一)	冷凝原理和适用范围	105
(二)	冷凝回收的极限	106
(三)	冷凝操作流程	109
(四)	表面冷凝器装置	110
(五)	接触冷凝器装置	114
四、	固体吸附技术	115
(一)	固体吸附的一般常识	115
(二)	吸附理论	122
(三)	吸附设备	125
(四)	吸附过程的计算	130
第三章	生产性粉尘的防治技术	138
第一节	气溶胶粒子的一般理论知识	139
一、	气溶胶粒子的形态与分类	140
二、	气溶胶粒子的大小	140
三、	气溶胶粒子的粒径分布	142
四、	粒子的附着与凝聚	145
五、	气溶胶粒子的光学性质和电学性质	147
六、	气溶胶的分离	147

第二节 除尘装置的原理、构造与性能	149
一、重力除尘器	149
(一) 除尘原理	149
(二) 构造与性能	150
二、惯性力除尘器	151
(一) 除尘原理	151
(二) 构造与性能	152
三、离发式除尘器	153
(一) 除尘原理	153
(二) 构造与性能	155
四、湿式除尘器	156
(一) 除尘原理	
(二) 构造与性能	158
五、过滤式除尘器	161
(一) 除尘原理	161
(二) 构造与性能	162
六、静电除尘器	167
(一) 除尘原理	167
(二) 构造与性能	169
第四章 影响除尘装置性能的主要因素	173
第一节 典型产烟尘装置的烟尘形状	174
一、燃用煤粉的锅炉	174
二、手烧火床式锅炉	175

三、炼钢炉	175
(一) 烧结炉	175
(二) 平炉	175
(三) 转炉	176
(四) 电炉	176
四、铸造化铁炉	177
五、水泥生产的排烟	177
六、黑液回收锅炉	178
七、精炼有色金属	178
(一) 铜的精炼	178
(二) 锌的精炼	180
(三) 铅的精炼	181
八、有色金属熔化炉的排烟	182
(一) 黄铜熔化炉	182
(二) 铝的再炼炉	182
(三) 铝的二次精炼炉	182
第二节 除尘装置的维护管理	183
一、一般维护管理	183
(一) 起动时	183
(二) 运行时	184
(三) 停止时	184
二、运行记录的重要性	184
三、离心式除尘装置的运行要领和维护管理	185
(一) 运行要领	185

(二) 维护管理	186
四、湿式除尘装置的运行要领和维护管理	187
(一) 运行要领	187
(二) 维护管理	189
五、袋式除尘器的运行要领和维护管理	190
(一) 运行要领	190
(二) 维护管理	191
六、静电除尘器的运行要领和维护管理	192
(一) 运行要领	192
(二) 维护管理	193

第一章 绪 论

一九八四年七月十八日，国务院关于加强防尘防毒工作的决定中指出，全国有不少企业大部分作业场所的粉尘和有毒物质在空气中的含量都高于国家规定的卫生标准，严重危害职工的身体康，影响职工队伍的稳定和经济效益的提高。在政治上也产生了不良影响。据各地不完全统计，厂矿企业约有百分之七、八十的粉尘作业场所的粉尘浓度超过国家规定的卫生标准。有的超过标准几百倍，甚至几千倍。据抽查，从事有毒作业的职工所在车间空气中毒物浓度超过国家卫生标准成千上万倍。从而可以看出，尘毒危害十分严重。为了保障职工的安全健康，促进国民经济的发展，必须引起高度重视。事实已经证明，只要坚持以防为主，防治结合、综合治理的方针，只要领导重视、依靠群众、措施落实、长期坚持，就会收到显著效果，困难是可以克服的，尘毒危害是可以解决的。

事先采取预防措施，防止新污染源的产生，比之产生污染后再进行治疗，给社主带来的危害少，环境效果要好。这是使环境管理由被动应付转向积极防治的正确方法。

对于大批老企业几十年来积累的大量污染问题，其解决的基本方针也应放在“防”字上。这就是要在产生污染破坏的根源上去寻找补救措施，企业布局不当的要调整，产品结构落后的要改变，该集中的要集中，能通过设备翻新和大修理解决的污染要解决，以便有效地控制污染源，缩小污染危害。对于因污染造成后果的处理措施则是第二位的，是对预防措施的必要补充。对“防”与“治”的措施要合理应用，及时总结经验，为最经济有效地解决历史遗留的污染问题闯出一条好路子。治理老企业的污染，必须实行综合治理的方针，把能控制污染

和破坏的各种措施和手段都运用起来，切实做到治理与改革工艺相结合，与更新改造设备相结合，与综合利用资源相结合，与节约能源相结合，与加强管理、消除跑、冒、滴、漏相结合。治理也要注意提高经济和环境效益。

为了配合防尘防毒工作发展的需要，特收集了有关防尘防毒技术资料，例如，“工业防毒技术”“化工三废治理技术”“化工环境保护和三废治理技术”“气溶胶力学”“除尘收尘理论与实践”“烟、尘和霾”“在烟雾中生活”“粉尘危害及控制”“职业病”“工业卫生”以及“环境保护”的多期杂志，编写成“工业防尘防毒技术”。

第一节 工业毒物基本常识

一、工业毒物的特征

凡少量的物质进入机体后，能与机体组织发生化学或物理化学作用，破坏正常生理功能，引起机体暂时的或永久的病理状态的称为毒物。在工业生产中所接触的毒物，通常指化学物质，统称为工业毒物或生产性毒物。

工业毒物在生产过程中，以原料、中间产品、辅助材料、成品、副产品及杂质的形式存在，但就生产环境而言，对人体的危害则以污染空气的气体、蒸气、雾、烟尘、粉尘五种状态具有重要意义。

1. 气体 指常温常压下散发于空气中的气态物质。例如，由化工管、容器或反应器逸出的氯、一氧化碳、二氧化硫、氯化氢等等。

2. 蒸气 固体升华、液体蒸发或挥发时形成的。凡沸点低、蒸气压大的物质都易形成蒸气。对液体的物质加热、搅拌、喷雾时可加速挥发；暴露面积大亦能促进挥发，再如熔磷时的磷蒸气等。

3. 雾 指悬浮于空气中的液体微滴。多由于蒸气冷凝或液体喷洒所形成。如喷漆中的含苯漆雾。金属酸洗时的硫酸雾等。

4. 粉尘 指飘浮于空气中的固体微粒。尘粒子大小多在 $0.1 \sim 10 \mu\text{m}$ (微米)。固体物质经机械粉碎时可产生粉尘。粉状原料、半成品和成品在混合、筛分、运送或包装可有粉尘飞扬。物质的加热和燃烧以及金属的焊接和冶炼过程也会产生大量粉尘。例如。破碎机将矿石破碎或用球磨机将煤块磨成煤粉。水泥的运输和包装。煤在锅炉中燃烧后所产生的烟气就夹带着大量的粉尘。锅炉每燃烧1吨煤可产生3~11公斤的粉尘排放物。而冲天炉每熔炼1吨金属平均要产生约10公斤粉尘排放物。制造铅丹染料的铅尘等等。

根据粉尘的性质可分为：

①. 无机性粉尘。又可分为a 矿物性粉尘。如石英、石棉等粉尘。b 金属性粉尘。如铅、铜、铁、锰等粉尘。c 人工无机性粉尘。如水泥、炭黑、石墨等。

②. 有机性粉尘。又可分为a 植物性粉尘。如棉花、谷物、茶叶、烟草等。b 动物性粉尘。如毛发、骨质等。c 人工有机性粉尘。如三硝基甲苯、有机染料、有机农药等。

③. 混合性粉尘。即上述各种粉尘的混合物。

5. 烟尘 又称烟雾或烟气。指悬浮在空气中的烟状固体微粒。直径小于 $0.1 \mu\text{m}$ 的。多为某些金属熔化时产生的蒸气在空气中迅速冷凝或氧化形成烟。如熔铜时放出的锌蒸气所产生的氧化锌烟尘。熔炼铅时所产生的铅烟。焊接时所产生的锰烟。烟尘、粉尘、雾统称为气溶胶。

工业毒物在生产环境中的存在形态。具有重要的卫生学意义。掌握它的规律。不仅有助于了解其进入人体的途径、发病原因。且更便于采取有效的防护措施控制其危害。

二、工业毒物进入人体的途径

在生产条件下工业毒物主要经呼吸道，其次经皮肤进入人体，亦可经消化道进入，但实际意义较小。

(一) 经呼吸道侵入人体

这是最主要、最常见、最危险的途径。在生产过程中，以气体、蒸气、雾、烟、粉尘等不同形态存在于生产环境中的毒物随时可被吸入呼吸道。由于整个呼吸道的粘膜都具有相当大的吸收能力，所以进入的毒物很快被吸收。特别是肺泡壁极薄，只有 $1\sim 4\text{ }\mu\text{m}$ 厚，两肺肺泡的总面积又很大，达 $55\sim 120$ 平方米，大约相当于人体表面的 $25\sim 50$ 倍之多，而且表面为含碳酸的液体所湿润，周围毛细管丰富，便成了吸收毒物的主要地点。之所以说经呼吸道是最危险的途经，还在于下面两点：第一，空气每天好几千次有规则地通过鼻子进入我们的肺部，一次呼吸空气量约 500 毫升，一个成年人每天大约需要吸入 19 米³的空气，约为每天所需食物和饮水重量的 20 倍；第二，毒物一旦被肺泡吸收，立即进入血液大循环，通过肺泡吸收毒物的速度仅次于静脉注射。试想一下，若车间的空气遭严重污染，工人的身体就会受到损害。

工业毒物能否随吸入的空气进入肺泡，并被肺泡吸收，与毒物的粒子大小及水溶性有很大的关系。当毒物呈气体、蒸气、烟等形式时，由于粒子很小，一般在 $3\text{ }\mu\text{m}$ 以下，故易于到达肺泡，而那些大于 $5\text{ }\mu\text{m}$ 以上的雾和粉尘，在进入呼吸道时，绝大部分被鼻腔和上呼吸道所阻留，很少能到达肺泡。还有些属水溶性较大的气体和蒸气，虽然粒子很小，但通过呼吸道时，易被上呼吸道的粘液所溶解而不易到达肺泡，但在浓度高等特殊情况下，仍有部分可到达肺泡。当毒物到达肺泡后，水溶性大的毒物，经肺泡吸收的速度就快些；同样，粒子

小的毒物，因较易溶解，经肺泡吸收也较快。

(二) 经皮肤进入人体

在生产劳动中毒物经皮肤吸收而中毒者也较常见。某些毒物可透过完整皮肤而进入体内。经皮肤吸收的途径有两种：一是通过表皮屏障到达真皮进入血液循环，二是通过毛囊进入，在个别情况下，也可通过汗腺导管进入。毒物经皮肤吸收后也不经肝脏而直接进入大循环。

常见经皮肤进入人体的毒物有以下三类：

①. 能溶于脂肪及类脂质的物质（表皮角质层下的表皮细胞膜富有磷脂）。主要是苯的氨基、硝基化合物，有机铅和有机磷化合物等，其次苯、甲苯、二甲苯、氯化烃类、醇类也可被皮肤吸收一部份。

②. 能与皮脂的脂酸根结合的物质。如汞及汞盐，砷的氧化物及其盐类。

③. 具有腐蚀性的物质。如强酸、强碱、酸类及黄磷等。

三、常见工业毒物

(一) 铅以及四乙基铅

铅(Pb)是一种灰白色重金属。比重11.34，熔点327℃，沸点1525℃，加热到400~500℃时有大量铅的蒸气逸出，在空气中可迅速氧化成氧化亚铅(Pb_2O)，并凝集为铅烟，随着熔铅温度升高，还可逐渐生成氧化铅(PbO)，三氧化二铅(Pb_2O_3)，四氧化三铅(Pb_3O_4)，又名铅丹、红丹。铅有抗湿性，接触空气后表面生成一层灰色的氢氧化铅保护膜，铅有耐腐蚀性能，与盐酸或稀硫酸作用时形成一种难溶的铅盐，复盖在铅的表面，可防止继续腐蚀，铅不能耐浓酸，易溶于稀硝酸，也溶于碳酸和有机酸（如醋酸）

接触铅的主要作业有：

(1) 铅矿和含铅金属矿的开采和冶炼

由铅矿石冶炼金属铅，冶炼锌、锡、银、锑、砷等金属时，会有铅烟生成。

(2) 熔铅

熔制铅锭、铅板、铅管、铅箔、铅丝、铅槽，印刷工业的铸板、铸字，无线电工业的喷金（含60%的铅及40%的锡），火车、汽车的轴承制造挂瓦等。

(3) 焊接和熔割

焊接和熔割含铅金属的铅板、铅管、化铅槽及涂有含铅油漆（如铅白 $Pb(OH)_2 \cdot 2PbCO_3$ ），无线电工业的焊锡（锡中含40%的铅）。

(4) 生产或使用铅的工业及工种：

铅氧化物常用于制造蓄电池、玻璃、搪瓷、铅丹、铅白、油漆、颜料、防锈剂、橡胶硫化促进剂等。铅的其它化合物如醋酸铅用于制药、化工工业，铬酸铅（ $PbCrO_4$ ，铬黄）用于油漆、颜料及搪瓷工业，硫化铅（ PbS ）、铅白用于油漆、橡胶等工业，氯化铅、碘化铅用于颜料工业，硅酸铅（ $PbSiO_3$ ）用于玻璃、搪瓷工业，砷酸铅（ $Pb_3(AsO_4)_2$ ）用于杀虫剂、除草剂。以上多在配料、拌料及配制料等工种接触铅尘。

在工业生产中，铅及其化合物以铅烟和铅尘的形式通过呼吸道进入人体。由于呼吸道含有二氧化碳，遇水成碳酸，易促进铅的溶解和吸收。

铅的毒作用影响很多系统，目前比较清楚的影响血红素的合成，产生贫血。铅中毒还可引起血管痉挛，导致腹绞痛、视网膜小动脉痉挛和高血压症等。目前临床所见到的铅中毒症状都比较轻微，以神经衰弱症最多见。对消化系统也有影响。

四乙基铅($Pb(C_2H_5)_4$)是一种有机铅化合物,为无色有甜味的油状液,有苹果香味,沸点 $200^{\circ}C$,不溶于水,易溶于汽油,易挥发,遇日光后能分解产生三乙基铅及氧化铅。四乙基铅主要用于汽油作抗爆剂。汽车汽油每公斤加2毫升四乙基铅。在生产、掺混、保管、运输、使用过程中,都有接触四乙基铅的机会。在清洗和修理油槽车及油罐时接触的浓度可能更大。

四乙基铅的毒性很大。主要由呼吸道进入人体。由于其脂溶性特点,通过完好的皮肤侵入人体的危险性也很大。四乙基铅在肝脏转变成三乙基铅,近来证明三乙基铅抑制脑中葡萄糖的代谢过程,导致脑组织缺氧,出现脑血管扩张,产生弥漫性的脑损伤。中毒轻者出现神经衰弱综合症及消化不良等症状。严重的患者出现全身痉挛,手指不能伸直,精神异常等症状。

(二) 汞及其化合物

汞(Hg)俗称水银。是银白色的液体金属,比重13.6,熔点 $-38.7^{\circ}C$,沸点 $357^{\circ}C$ 。不溶于水。能溶于热浓硫酸或硝酸。能溶于类脂质中。汞在常温下即能蒸发,温度越高,蒸发越高。汞蒸气的比重为6.9,约为空气比重的八倍,因此,在静止的空气中位置越低,汞浓度越高。汞具有显著的挥发性和吸附性。在 $25^{\circ}C$ 时,如使空气以每分钟1升的速度流经 $10cm^2$ 的汞表面,可使空气含汞浓度达到 $30mg/m^3$ 。汞溅洒在地面或桌面时,往往形成许多小的汞珠,增加蒸发的表面积,同时,汞蒸气易被墙壁、天花板或衣服所吸附,常形成汞作业场所持续污染车间空气的二次毒源。

接触汞的主要作业有:

①. 汞矿的开采及冶炼

汞的天然矿物多为硫化汞(辰砂),辰砂对人体本身无害,但

能分解出金属汞，故在汞的开采、冶炼、净化提纯及包装过程，均能产生含汞的粉尘及蒸气危害人体。

②. 金属汞的使用

由于汞呈液态，比重大并具有导电的特性，被广泛用于整流器、荧光灯、压力计、流量计、温度计、血压计（仪器制造、电器制造业占汞总用量的30%）；化学工业用汞，占汞应用的25%，如氯碱工业中，用汞做电极电解食盐，生成氯气和烧碱，农业方面用汞，占汞应用的5%，如用做烷基汞，医药工业用汞占汞应用的5%；颜料工业用汞占汞应用的5%，如红色的硫化汞。另外，雷汞为重要的起爆剂。

在生产条件下、金属汞及其无机化合物主要以蒸气和粉尘形态经呼吸道侵入人体。汞蒸气具有高度弥散性和脂溶性，因而易于透过肺泡壁吸收。一般情况下、汞蒸气进入体内后，约50%进入血液，其余在呼气中排出。

汞及其化合物为剧毒物质。人一次吸入加热25克汞所产生的蒸气可以致死。吸入汞浓度1.2~8.5毫克/米³可引起急性中毒。汞的无机化合物的毒性大小取决于它们的溶解度，硝酸汞毒性最强，升汞（ HgCl_2 ）次之，辰砂（ HgS ）毒性最小。有机汞分为两类，一类挥发性小的，吸入中毒的危险性小（如苯基汞），另一类在体内不易分解，毒性大。汞中毒可引起神经衰弱综合症及精神性格改变等症状。

（三）锰及其化合物

锰是一种灰色硬脆金属。比重7.2 熔点1244℃。锰的化学活性与铁近似。金属锰暴露于空气中表面即被氧化，高温时遇氧气或空气能燃烧。锰蒸气在空气中能很快氧化成为灰黑色的一氧化锰（ MnO ）和棕色四氧化三锰（ Mn_3O_4 ）烟。锰及其化合物（ MnO_2 、 Mn_3O_4 、

MnCl_2 $\text{Mn}_2(\text{SO}_4)_3$) 工业用途很广, 锰的化合物超过 60 余种。

接触锰的主要作业有:

(1) 锰矿的开采, 锰矿石的粉碎、提纯和运输。

(2) 冶金工业

冶炼优质钢材, 以锰做为防氧剂和去硫剂, 并增加钢的坚硬度。锰还和许多金属制成优质合金(如锰铜、铝锰、锰钛等)。

(3) 电焊条的制造与使用

电焊条的药皮中含有金属锰和锰铁 5~50%。电焊时能产生锰尘或锰烟, 工人呼吸带的二氧化锰浓度可达 $6\text{mg}/\text{m}^3$ 以上。

(4) 在玻璃、塑料、制造高锰酸钾、干电池工业中使用二氧化锰; 酸性枣红玻璃和颜料生产用二氧化锰; 油漆、火柴、陶瓷、鞣皮、防腐剂、纺织物漂白。农业肥料生产用硫酸锰等等。

在工业生产中, 锰主要在锰尘及锰烟的形态通过呼吸道吸收引起中毒, 一般锰烟的毒性大于锰尘。

锰中毒主要是由锰化合物引起。一般认为低价锰化合物(MnO , Mn_3O_4) 的毒性比高价锰化合物(MnO_2) 的毒性大。毒性最大的是二氧化锰。锰主要作用于人体的中枢神经系统、呼吸系统、和内分泌系统等。

(四) 铬是一种银白色有光泽的硬金属, 比重 6.9, 熔点 1615°C 沸点 2200°C 。铬化合物有二价、三价和大价三种。其中六价铬化合物毒性最大, 三价铬化合物次之, 二价铬及金属铬毒性最小。生产中遇到的多为六价铬的化合物, 如铬酸钾(K_2CrO_4)、铬酸钠(Na_2CrO_4)、重铬酸钾($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)、重铬酸钠($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)等。

接触铬化合物的作业有:

(1) 冶金工业

用铬铁矿矿石生产铬铁。用铬铁生产不锈钢和特种钢。

(2) 镀铬工业 这是铬的主要用途之一。用铬酸溶液作电镀液, 防护不好时有铬酸雾逸出。

(3) 铬酸盐 用于生产颜料和油漆。

(4) 重铬酸盐 用于鞣皮。用作羊毛、皮毛媒染剂和固色剂, 照相、印刷制板的感光剂。

在生产环境中, 铬化合物主要是以烟雾、粉尘的形态经呼吸道进入人体。

铬的毒性以局部作用为主。表现为强烈的刺激和腐蚀作用。铬中毒的临床表现以皮肤和粘膜的局部损害为特征。

(五) 镉、钴、镍、铍

镉(Cd)为银白色金属, 质软。富有延展性。熔点 320°C , 沸点 767°C 。加热至沸点可生成无味、有刺激性的氧化镉烟。

工业上, 主要用于电镀工业、颜料工业、焊接、制造合金、镉电池、半导体元件等。

镉并非生命必需元素, 通过呼吸道和消化道进入人体后, 能引起肾脏损害、肾结石、肝损害、贫血等症状。大量吸入镉蒸气或粉尘可引起气管炎、支气管肺炎以及肺水肿。

钴(Co)是兰白色硬而坚固的金属。熔点 1490°C , 沸点 2870°C 。在工业上冶炼钴和制合金接触钴的烟尘。生产和使用钴盐的工业接触钴尘。长期接触钴粉尘和钴盐, 可产生上呼吸道病症。

镍(Ni)是银白色金属。镍具有能耐高温、抗腐蚀性强、易于加工等优点。是制造耐高温金属和耐热材料的重要原料, 也是制造不锈钢的金属。镍及其化合物可用于电子、电镀、电池制造、仪器制造及原子能等工业。