



中国科学院教材建设专家委员会规划教材  
全国高等院校医学实验教学规划教材

# 职业卫生与职业医学实验

主编 张文昌 李煌元



非外借



科学出版社

中国科学院教材建设专家委员会规划教材  
全国高等院校医学实验教学规划教材

# 职业卫生与职业医学实验

主 编 张文昌 李煌元  
副主编 王素华 刘宝英 牛丕业  
编 委 (以姓氏笔画排序)  
王洪艳 北华大学  
王素华 包头医学院  
牛丕业 首都医科大学  
朱建林 福建医科大学  
刘宝英 福建医科大学  
汤 艳 西南医科大学  
李煌元 福建医科大学  
沈福海 华北理工大学  
曹 军 大连医科大学  
程淑群 重庆医科大学  
编写秘书 朱建林 福建医科大学

科学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本教材较系统地介绍《职业卫生与职业医学》课程配套实验教学中的常规实验内容,以验证性实验、综合性实验与设计性实验等三部分编写。第一部分包含:生产环境空气中有害物质的监测、化学物中毒的现场调查与处理、职业生理与心理学检查、生物材料中毒物及其代谢产物(效应标志物)的测定、物理因素及对人体作用的检测、建设项目职业危害评价等6类验证性实验;第二部分包含:铅作业场所或粉尘作业场所的职业卫生调查及健康监护等两个综合实验;第三部分含制鞋业有害因素的识别及其对人体健康的影响的设计性实验。

《职业卫生与职业医学实验》是为预防医学本科专业编写的案例版教材,同样也适合预防医学、职业卫生相关专业工作人员参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

职业卫生与职业医学实验 / 张文昌, 李煌元主编. —北京: 科学出版社, 2017.1

中国科学院教材建设专家委员会规划教材·全国高等院校医学实验教学规划教材

ISBN 987-7-03-050875-1

I. ①职… II. ①张… ②李… III. ①劳动卫生-实验-中等专业学校-教材 ②职业病-防治-实验-中等专业学校-教材 IV. ①R13-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第287126号

责任编辑: 赵炜炜 胡治国 / 责任校对: 李 影

责任印制: 赵 博 / 封面设计: 陈 敬

版权所有, 违者必究。未经本社许可, 数字图书馆不得使用

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

保定市中华美凯印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2017年1月第一版 开本: 787×1092 1/16

2017年1月第一次印刷 印张: 9 1/4

字数: 216 000

定价: 35.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

# 前 言

为了进一步适应高等医学教育改革与发展的需要，推进高等医学教育教材的建设与创新，2015年科学出版社组织了全国数十所高校共同编写了全国高等医药院校预防医学专业案例版系列规划教材的配套实验教材，并决定编写《职业卫生与职业医学实验》。

本实验教材编写的指导思想与基本原则：加强理论与实际的结合，突出基本能力训练与培养、加强综合与创新能力培养；坚持“三基”原则；编写方式上有所创新，凸显案例教学特色等。基于以上指导思想和原则，本教材着力于在以下几个方面突出特色：各实验由案例引导，将实验涉及的重点内容以问题的形式提出，便于案例教学和实践能力的培养；在保持常规实验内容体系的基础上，分三类型实验编写，即验证性实验、综合性实验与设计性实验；各实验内容的编写上，坚持科学性、系统性、实用性、应用性。

本教材可供预防医学、卫生检验与检疫等专业使用，也可供其他相关专业人员培训等参考使用。

这次编写工作得到了全体编委的通力合作和福建医科大学公共卫生学院、科学出版社的大力支持，在此一并表示感谢。限于编者水平有限，本教材难免存在不足之处，敬请读者批评指正。

张文昌 李煌元  
2016年7月

# 目 录

前言	
第一部分 验证性实验	1
实验一 生产环境空气中有害物质的监测	1
项目一 生产环境空气中有害物质测定的采样方法与设计	1
项目二 空气中苯系物的气相色谱分析	11
实验二 化学物中毒的现场调查与处理	14
项目一 化学物急性中毒现场应急救援	14
项目二 职业中毒案例讨论	18
实验三 职业生理与心理学检查	20
项目一 体力劳动能力与负荷的常用指标	20
项目二 体力劳动强度分级的方法	25
项目三 职业紧张及神经行为功能测量	28
实验四 生物材料中毒物及其代谢产物(效应标志物)的测定	42
项目一 生物材料样品的收集与处理	42
项目二 尿汞含量的测量	44
项目三 全血胆碱酯酶活性的测定	47
实验五 物理因素及对人体作用的检测	50
项目一 气象条件的测定	50
项目二 噪声及其对人体作用(听力)的检测	63
项目三 振动及其对人体作用的检测	70
实验六 建设项目职业危害评价	77
项目一 建设项目职业危害预评价	77
项目二 建设项目职业危害控制效果评价	82
项目三 防护设施设计卫生审查	86
第二部分 综合性实验项目	87
实验七 铅作业场所的职业卫生调查及健康监护	87
项目一 铅作业人群健康监护的档案建立	87
项目二 空气中铅浓度测定(GBZ/T 160.10-2004)	88
项目三 血铅的测定	97
项目四 尿铅的测定	101
项目五 尿中 $\delta$ -氨基- $\gamma$ -酮戊酸( $\delta$ -ALA)的测定	105

项目六 血中游离原卟啉与锌原卟啉的测定·····	107
项目七 综合分析与评价·····	109
实验八 粉尘作业场所的职业卫生调查及健康监护·····	112
项目一 粉尘作业人员健康监护的档案建立·····	112
项目二 粉尘总浓度、呼吸性粉尘浓度测定·····	115
项目三 粉尘中游离二氧化硅含量的测定（焦磷酸质量法）·····	118
项目四 粉尘分散度测定（滤膜溶解涂片法）·····	120
项目五 尘肺病 X 线胸片读片·····	122
项目六 肺功能的检测·····	125
项目七 综合分析与评价·····	127
<b>第三部分 设计性实验项目</b> ·····	<b>129</b>
实验九 制鞋业有害因素的识别及其对人体健康的影响·····	129
<b>附录</b> ·····	<b>131</b>
<b>参考文献</b> ·····	<b>142</b>

# 第一部分 验证性实验

## 实验一 生产环境空气中有害物质的监测

### 项目一 生产环境空气中有害物质测定的采样方法与设计

#### 案例 1-1

某制鞋厂位于某市工业园区，主要生产大底、中底、包跟等半成品，有十余年生产历史。该工厂的工人主要分布在大底产、叠包跟生产、跟底组合生产、中底生产和包跟包中底生产五个生产车间，经调查，甲苯为主要职业危害因素。甲苯接触机会主要集中在去渍、刷胶、喷漆、贴海绵、贴无纺布、涂硬化剂、涂面油、打蜡等生产环节，图 1-1 为跟底组合工艺流程，图 1-2 为叠包跟工艺流程。五个车间近期人员变动不大，岗位设置和生产制度基本稳定无重大变化。该厂直接生产工人人数 110 人，分别在五个生产车间作业，一共存在 17 个直接接触甲苯的岗位，接触人数 28 人。

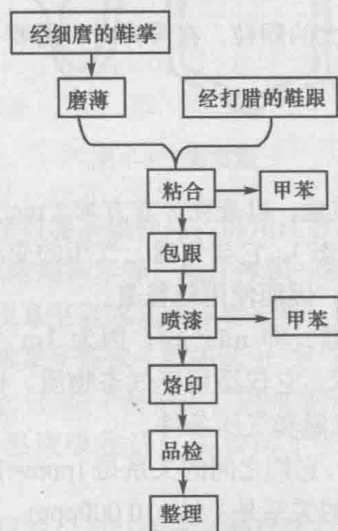


图 1-1 跟底组合工艺流程及主要接触甲苯岗位

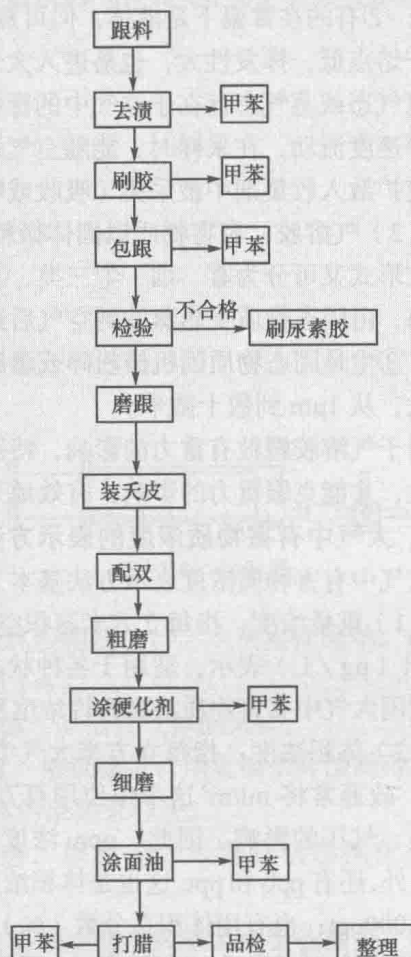


图 1-2 叠包跟工艺流程及主要接触甲苯岗位

**问题:**

- (1) 在监测制鞋厂职业有害因素暴露情况时, 通过现场调查和询问等方法收集需要哪些资料?
- (2) 根据上述资料, 进行作业环境甲苯的监测, 应该采用何种采样方法, 其依据是什么?
- (3) 根据上述资料, 设计该鞋厂甲苯监测的采样方案。

作业环境空气中有害物质监测的采样方法和设计十分重要, 它决定检测结果的真实性和可靠性。而空气样品的采集过程中受影响因素较多, 尤其是环境因素和人为因素的影响比较大, 采样现场情况复杂, 控制起来比较困难, 需要掌握规范的作业环境空气中有害物质样品的采集方法与采样设计; 熟悉采样的仪器及其应用。

**1. 空气中有害物质的存在状态** 各种毒物由于其物理和化学性质不同, 以及职业活动条件的不同, 在工作场所空气中的存在状态是不一样的, 一类以气体或蒸气状态存在, 另一类以液体或固体颗粒状态(气溶胶状态)分散于空气中。了解掌握毒物在空气中的存在状态, 是正确选择采样方法、确保采样检测准确的重要保障。

(1) 气态和蒸气态: 以分子形式分散在大气中的有害物质称气态或蒸气态物质。进入大气的气态或蒸气态物质, 通常均以单分子状态存在, 并同空气分子随意混合, 随大气流动而流动。但它们在大气中的扩散情况, 在一定程度上还取决于比重。比重较大气小的物质(如  $\text{CH}_4$ ) 向上飘浮; 反之(如  $\text{Hg}$ ) 则向下沉降。①有的物质在常温下就是气体, 如  $\text{CO}$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  和  $\text{Cl}_2$  等; ②有的在常温下是液体, 但可蒸发或挥发到大气中, 如  $\text{Hg}$ 、 $\text{C}_6\text{H}_6$  等; ③有的是固体, 但由于熔点低, 挥发性大, 也易进入大气, 如  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ 、酚类等。

以气态或蒸气态存在于空气中的毒物, 基本上不受重力的影响。分子状态的毒物能随气流以相等速度流动, 在采样时, 能随空气进入收集器, 不受采样流量大小的影响; 在收集器内, 能迅速扩散入收集剂中被采集(吸收或吸附)。

(2) 气溶胶: 有害物质以固体微粒或液体微粒分散于空气中的分散系称气溶胶。气溶胶按存在形式又可分为雾、烟、尘三类。①雾为液态, 由气体蒸发至空气后遇冷凝聚而成; ②烟为固态, 由固态物质受热蒸发到空气后遇冷凝聚而成, 如铅烟、铜烟等, 粒径比雾小, 在  $1\mu\text{m}$  以下; ③尘是固态物质因机械粉碎或爆破时产生的微粒, 能长期悬浮于空气中, 如铅尘等, 粒径较大, 从  $1\mu\text{m}$  到数十微米。

由于气溶胶颗粒有重力的影响, 特别是比重大、粒径大的颗粒, 在采样时, 需要一定的采样流量, 才能克服重力的影响, 有效地采入收集器内。

**2. 大气中有害物质浓度的表示方法**

空气中有害物质浓度表示方法基本上有如下两种。

(1) 重量浓度: 指每立方米容积空气中有害物质的质量, 以毫克/立方米 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) 或微克/升 ( $\mu\text{g}/\text{L}$ ) 表示, 适用于各种状态(气态和气溶胶态)。它与气温、气压的变动无关, 且与我国大气中有害物质最高容许浓度所规定的单位一致, 因而使用较普遍。

(2) 体积浓度: 指每立方米大气中有害物质的毫升数, 即  $\text{ml}/\text{m}^3$ 。因为  $1\text{m}^3$  等于  $1 \times 10^6\text{ml}$ , 故通常将  $\text{ml}/\text{m}^3$  这个单位用百万分数(ppm)表示。它仅适用于气态物质。体积浓度受气温、气压的影响。因此, ppm 浓度必须遵循规定的气温和气压条件。

另外, 还有 ppb 和 ppt。这也是体积浓度表示方法的一种, 它们之间的关系是  $1\text{ppm}=1000\text{ppb}$ ,  $1\text{ppb}=1000\text{ppt}$ ; 也有用体积百分数(%)表示, 它和 ppm 的关系是  $1\% = 10\,000\text{ppm}$ 。

当有害物质为气态或蒸气态时, 质量浓度和体积浓度可以互相换算。ppm 和  $\text{mg}/\text{m}^3$  之间的



互换公式如下

$$1\text{mg}/\text{m}^3 = M \times 1\text{ppm} / 22.4\text{L}/\text{mol}$$

$$1\text{ppm} = 1\text{mg}/\text{m}^3 \times 22.4\text{L}/\text{mol} \div M$$

式中,  $M$  为被测物质的分子量 ( $\text{g}/\text{mol}$ )。

大气中有害物质浓度以单位体积大气中所含的有害物质的量表示。由于空气的体积随温度、气压变化而变化, 因此, 需按下式换算成标准状况下的空气体积。

$$V_0 = V_t \times \frac{T_0}{T} \times \frac{P}{P_0} = V_t \times \frac{273}{273+t} \times \frac{P}{101.3\text{kPa}}$$

式中,  $V_0$  为标准状态下的空气体积;  $V_t$  为在温度为  $t^\circ\text{C}$ 、大气压力为  $P_t$  下所采集的空气体积。

### 3. 空气样品的采集

空气样品的采集, 直接关系到分析结果的可靠性。因此, 正确的采样方法是保证做好空气监测、分析工作的重要组成部分。采样方法和采样仪器的选择, 决定于被测物质在空气中的存在状态、浓度和分析方法的最低检出限等多种因素。

#### (1) 采样方法

1) 直接采样法 (集气法): 当空气中有害物质浓度较高, 而测定该物质所用方法的最低检出限甚微 [采集少量空气 (1L 以下) 已足够分析方法所需] 时, 则可直接采取少量空气供分析用。

A. 塑料袋采集样品: 用塑料或铝箔袋连接一个特制的带活塞的橡皮球, 在现场采集空气样品于袋中, 并用乳胶帽堵住口。本法仅适用于采集不活泼的气体如  $\text{CO}$  等, 且采样后应尽快分析 (图 1-3)。

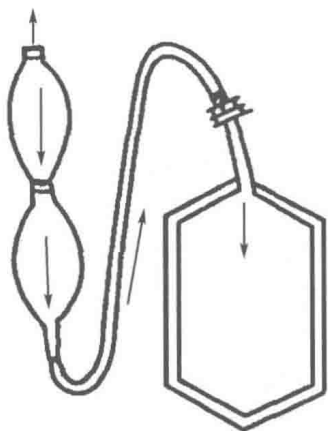


图 1-3 集气袋

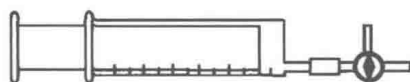


图 1-4 注射器

B. 注射器采集样品: 即用注射器取空气样后, 用乳胶帽堵住口。本法操作简单, 适用于采取有机溶剂如苯等, 采样体积一般不大于 100ml (图 1-4)。

C. 用真空袋或真空容器采集, 可用于部分无机气体、非活性气体的采样。

2) 浓集采样法 (浓缩法): 空气中有害物质的浓度一般都很低, 用直接采样法所得的样品进行分析, 往往不易检出, 因而常采用能采取大量气体的浓集采样法。

A. 溶液吸收法: 主要用于吸收以气态和蒸气态, 以及部分气溶胶状态存在的有害物质。

a. 目的: 当空气通过装有吸收液的吸收管时, 有害物质分子被阻留在吸收液中, 因而能同时达到采集空气和浓集有害物质的目的。

b. 吸收原理：当空气通过适当的吸收液时，在气泡和吸收液的界面上，有害物质分子由于溶解作用或化学反应能很快地进入吸收液中；同时，处于气泡中间的气体分子，由于运动速度很大，也能迅速地扩散到气液界面上而被吸收。因而整个吸收过程能很好地完成。各种气体吸收管就是根据上述原理设计的。

c. 常用的吸收液：水、水溶液和有机溶剂等。例如，氟化氢、氯化氢易溶于水，可用水作吸收液。吸收液的选择是溶液吸收法获得高采样效率的关键，必需根据待测物的理化性质及所用测定方法来选择。理想的吸收液应是理化性质稳定，在空气中和采样过程中自身不会发生变化；挥发性小，能够在较高气温下经受较长时间采样，没有显著的挥发损失；具有专一性吸收，仅仅吸收或主要吸收待测物，不吸收或很少吸收共存物；吸收效率高，能迅速溶解待测物或与待测物起化学反应，或两种作用兼有；适合于采样后的测定操作，最好是吸收液本身就是显色剂，边采样边显色。例如，用盐酸萘乙二胺作吸收液测定氧化氮、硝酸银吸收液测定硫化氢等。

d. 选择吸收液时应考虑到以下几点：被测物质在吸收液中的溶解度大，且具有足够的稳定时间；吸收液价廉易得；有利于进一步分析测定。

B. 滤纸和滤膜阻留法：对烟和粉尘状固体气溶胶的采集方法，是使空气通过装有滤纸滤膜的采样夹，此时颗粒被阻留在滤料表面。该法主要用以采取尘粒状气溶胶，如烟和总悬浮颗粒物。当空气通过滤纸或滤膜时，尘粒即被阻留。因而也能同时达到采集空气和浓集尘粒的目的。常用的滤纸和滤膜有一般定量滤纸、玻璃纤维滤膜和有机的化学纤维滤膜等。膜的选择，要求不含待测物质，或待测物质含量低而分布均匀；阻留效率高；同时在采样过程中阻力小，不致产生堵塞现象。为此，在采样前，应常根据目的和要求对滤膜进行预处理。

C. 固体吸附剂阻留法：空气通过装有固体吸附剂的采样管时，有害物质被固体吸附剂吸附而被浓集。固体吸附剂有颗粒状吸附剂和纤维状吸附剂两种。

常用的颗粒状吸附剂有硅胶、活性炭、素陶瓷和分子筛等。它们是多孔性物质，具有较大的比表面积，对气体和蒸气有极强的吸附作用。同时尘粒在多孔性气路中因惯性碰撞而被阻留。因此，用固体颗粒状吸附剂采样，在气体和尘粒共存时，有时是个较好的采样方法。采样完后，再选择适当的溶剂，将被测物质洗脱下来；如为有机蒸气，也可用加热吹气法解析，然后进行分析测定。

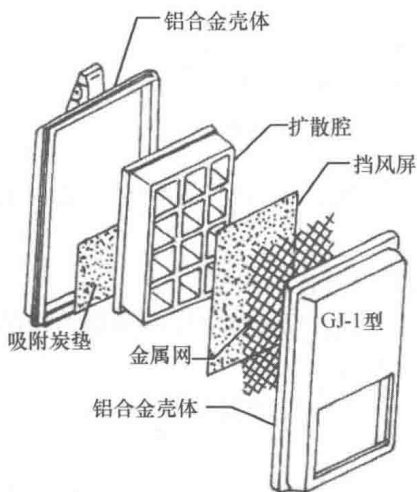


图 1-5 无泵型采样器结构

3) 被动采集：有扩散和渗透两种原理类型。被动采集方法不需抽气泵和流量计，依靠被测气体分子扩散采集到样品，有徽章式和笔式两种（图 1-5）。体积小，重量仅几克至 30g，可戴于作业人员领口或胸前，适合于个体采样，可以采集一个工作日的样品。

4) 直读式检测仪：应用化学和物理学原理制成的各种测定仪器和检测器，可在作业场所直接显示空气中被测化学物浓度，有的还有自动记录浓度变化和报警装置。根据测试原理可分为以下几种：①光学气体检测仪，如 CO 检测仪；②热化学气体检测仪，如可燃气体甲烷、乙炔、汽油等测爆仪；③电化学气体检测仪，如 SO<sub>2</sub> 检测仪；④检气管和比色试纸，利用空气中被测物与某种化学试剂反应产生颜色的原理制作而成。

目前，直读式检测仪应用日益广泛。实时测量可

以迅速了解作业现场，如狭窄性空间，是否存在可疑的有害物，以便立即采取措施。一些直读式检测仪比较小，携带非常方便，但往往只能检测一种有害气体，如 CO 或 H<sub>2</sub>S。一些直读式检测仪比较复杂，可以同时检测几种有害气体。通常，这些仪器的检测灵敏度低于实验室检测，但已经足够识别能引起任何急性危害的水平，在预防急性中毒方面非常有效。

(2) 采样仪器：空气收集器和采样器的性能和规格，应符合 GB/T17061 和 JJG956、JJG520 等检定规程的要求。下面介绍浓集采样法采样仪器结构组成。该空气采样用的仪器由收集器、流量计和抽气动力三部分组成。

1) 收集器：根据有害物质在空气中存在的状态，选择适当的收集器。常用的有液体吸收管、固体采样管、滤膜及采样头等。这里重点介绍以下几种收集器。

A. 气泡吸收管：分大小两种形式(图 1-6)，可装 2~10ml 吸收液，以 0.2~2(0.5)L/min 流量采样。外管下部缩小，使吸收液的液柱增高，以增加采样空气与吸收液的接触面积和接触时间，使化学性有害物质被吸收完全。为了获得良好的吸收效果，一般将两支吸收管串联采样。

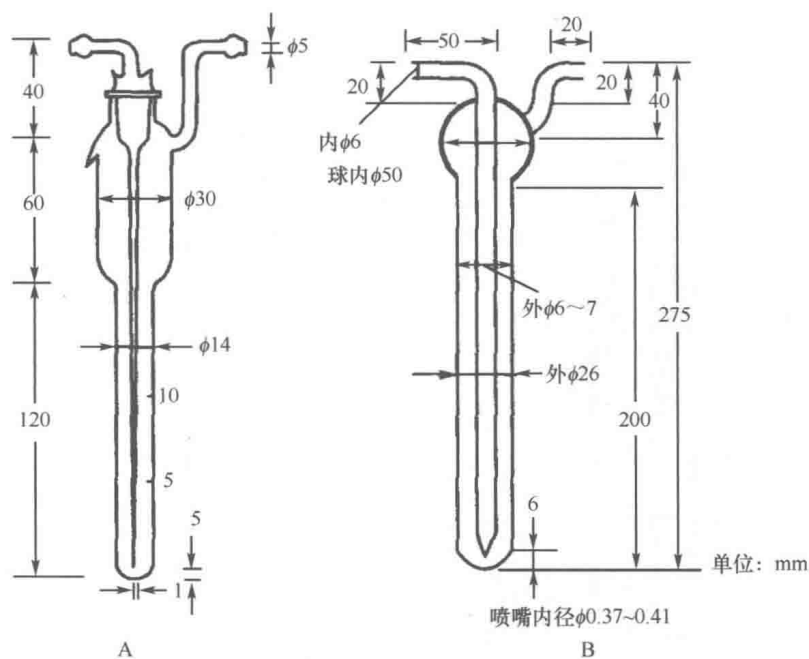


图 1-6 气泡吸收管

A. 普通型；B. 直筒型

B. 多孔玻板吸收管(玻砂吸收管)：分为普通和 U 形两种(图 1-7)，普通多孔玻板吸收管可盛 5~10ml 吸收液，以 0.2~2L/min 流量采样；U 形多孔玻板吸收管可盛 5ml 吸收液，以 0.1~1L/min 流量采样。两者均可用以吸收气态、蒸气态和雾态物质。粗管底部有一片用玻砂烧结的滤板。空气自细管进入吸收管，自下向上通过玻砂滤板时，在吸收液中形成大量细小的气泡，增加了空气与吸收液的接触面积，使吸收完全(采样时，空气通过吸收液的阻力应符合以下要求：当装入 5ml 水，并以 0.5L/min 流量抽气时，压差应为 30~50mmHg<sup>①</sup>)。

C. 冲击式吸收管(图 1-8)：内装 5~10ml 吸收液，以 3L/min 流量采样，主要用于采集粉尘和烟。它的采样效率主要取决于尖嘴大小及其与瓶底的距离。

①1mmHg=133Pa。

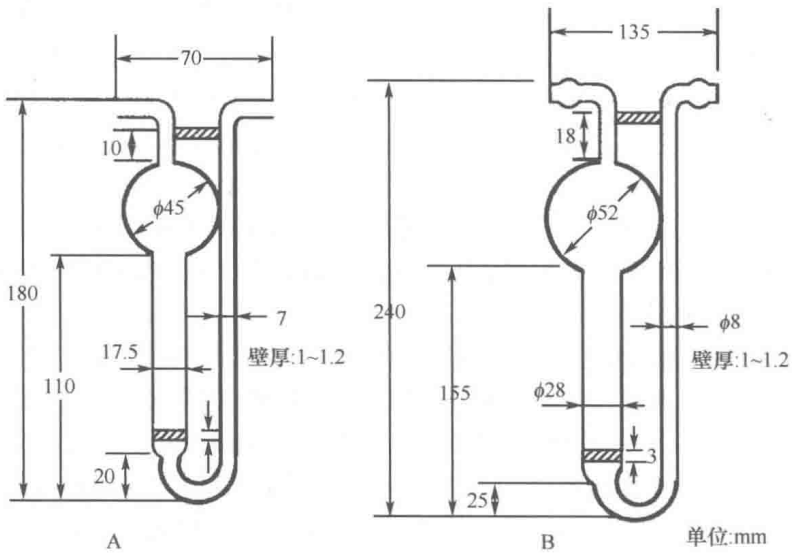


图 1-7 多孔玻璃吸收管

A. 普通型; B. 大型

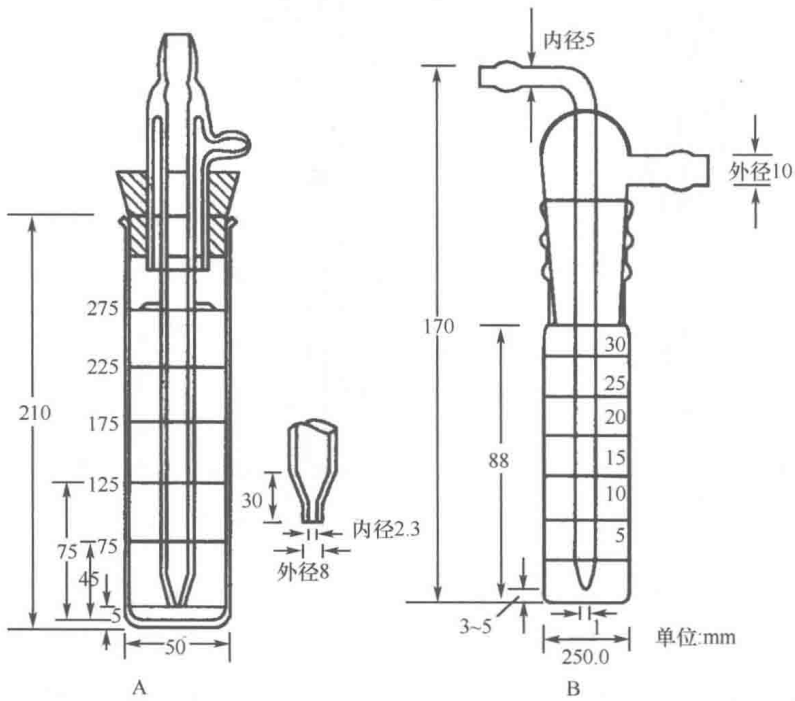


图 1-8 冲击式吸收管

A. 小型; B. 大型

D. KC-8301B 可吸入颗粒采样器：在可吸入颗粒采样头上按操作步骤依次装上圆环和图片玻纤滤膜，调节仪器流量调节阀，使玻璃转子流量计的流量控制在现场流量 13L/min 的刻度上进行采样。



图 1-9 填充式采样器

2) 流量计：在采取大气样品时均需用流量计测定所采空气的流量。流量计的种类很多，但目前常用

的是转子流量计。它携带方便，且多数都安装在采样器上，适合现场使用。转子流量计常由上

粗下细的锥形玻璃管和一个转子（又名浮子）组成（图 1-9）。当气体由下而上流动时，转子被吹起，流量越大，转子被吹得越高。因此，可根据转子上升的位置，读出气体的流量。

3) 流量计的校准：为了获得正确的采样体积，除了正确地选择和使用流量计外，尚需对流量计的刻度值进行校准。校准的方法有如下三种。

A. 用一个已知校准的标准流量计和要校准的流量计加以串联，然后通过不同流量的空气并记录它们各自的读数。由于两个流量计的前后位置关系读数稍有差异，故需在对换串联位置后，按上法再行读数，由两次读数的平均值即可作校正曲线。此法简便易行，但需有已校准的标准流量计。

B. 用皂膜流量计进行校准（图 1-10）。皂膜流量计是根据流量的大小，用不同直径的玻璃管制成。上面标有容积的刻度，玻璃管下端缩小，接上一个大小适宜的橡皮球，球内装一定量浓度适宜的肥皂水，玻管下侧方有一进气管。其原理是：当空气由进气管进入时，捏一下橡皮球，使产生一个肥皂膜，此时，流进的气体就带动皂膜向上移动，同时用秒表记录该皂膜通过一定容积刻度所用的时间，由此可以计算出流量。

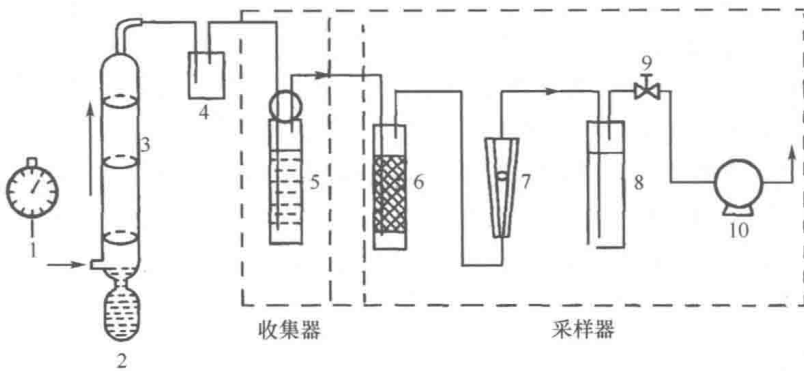


图 1-10 用皂膜计校准采样系列中转子流量计

1. 秒表；2. 装有皂液的橡皮球；3. 皂膜计；4. 皂膜捕集器；5. 吸收管；6. 滤水井；  
7. 转子流量计；8. 缓冲瓶（500ml）；9. 针阀；10. 抽气泵

皂膜流量计出厂时已经校准。必要时，可对它的容积刻度值重新校准。用皂膜流量计校准流量小的流量计，方法简便，可靠，误差不大于 1%。用皂膜流量计校准时，气流要稳定，皂膜上升的速度不宜太快。

C. 大容量飘尘采样器的流量校准方法：大容量流量的校准不可能用皂膜流量计来校准，它的校准方法如下所示。将滤膜采样夹、转子流量计和电动鼓风机连接起来。经可调变压器（2kW）接通电源，流量计浮子就升到一定高度，这时再将一个压差计接到电动机外壳的嘴上，出现压差读数，记下转子流量计读数和差式压力计之差。然后，通过改变电压或在滤膜夹进口处增加阻力的办法改变浮子高度（流量）而得到对应的压力计读数。根据转子流量计的读数和差示压力计水柱高度（mm）可画出一条流量-差压校准曲线，并记录校准时的气温和大气压力。

采样时即可按照差示压力计水柱高度（mm）从流量-差压校准曲线上查得采样流量。

4) 抽气动力：大气采样的抽气动力因采样流量大小而不同。

A. 对于小流量采样，常用微电机带动薄膜泵，如 CD-1 型便携式大气采样器等，可连接 1~2 支吸收管，每分钟最高采气流量可达 1~1.5L。

B. 对于中流量采样，常用电机带动叶片的离心抽气机，它们适于滤膜采样，每分钟采气量可达十几升以上。

C. 对于大容量采样, 动力多由电机带动双叶片的离心抽气机, 如吸尘器、CyQ-66 型大容量飘尘采样器, 此类动力, 每小时抽气量可达  $10\sim 70\text{m}^3$  以上, 适用于用玻纤滤膜采集大气中的飘尘 (包括烟尘、金属尘和矿石尘等)。

#### 4. 作业环境空气中有害物质测定的采样设计

##### (1) 采样前的准备

1) 现场调查: 为了正确选择采样点、采样对象、采样方法和采样时机等, 必须在采样前对工作场所进行现场调查。必要时可进行预采样。调查内容主要包括: ①工作过程中使用的原料、辅助材料, 生产的产品、副产品和中间产物等的种类、数量、纯度、杂质及其理化性质等; ②工作流程包括原料投入方式、生产工艺、加热温度和时间、生产方式和生产设备的完好程度等; ③劳动者的工作状况, 包括劳动者数量、在工作地点停留时间、工作方式、接触有害物质的程度、频度及持续时间等; ④工作地点空气中有害物质的产生和扩散规律、存在状态、估计浓度等; ⑤工作地点的卫生状况和环境条件、卫生防护设施及其使用情况、个人防护设施及使用状况等。

2) 采样仪器的准备。包括: ①检查所用的空气收集器和空气采样器的性能和规格, 应符合 GB/T 17061 要求; ②检查所用的空气收集器的空白、采样效率和解吸效率或洗脱效率; ③校正空气采样器的采样流量, 校正时必须串联与采样相同的空气收集器; ④使用定时装置控制采样时间的采样, 应校正定时装置。

(2) 采样效率: 为获得较高采样效率, 需根据被测物质在空气中存在的状态和理化特性, 选用合适的收集器、吸收剂 (或滤膜) 和抽气速度, 一般认为, 一个方法的采样效率应在 90% 以上, 才适合实际应用。采样效率一般可按以下几种方法进行评价。

1) 精确配制一定浓度的标准气体, 然后用选定的方法采集配制的标准气体, 并测定其浓度。实测浓度  $C_1$  与标准气浓度  $C_0$  之比, 即为采样效率:

$$\text{采样效率} = C_1 / C_0 \times 100\%$$

2) 配制一定浓度范围的气体, 用两支或三支采样管串联后采气, 再分别测定各管中该物质的浓度, 如依次为  $C_1$ 、 $C_2$  和  $C_3$ , 则第一管的采样效率可用下式计算:

$$\text{第一管的采样效率} = C_1 / (C_1 + C_2 + C_3) \times 100\%$$

关于滤膜和滤纸的阻留效率, 由于它们实质上是一个滤筛, 所以不能用上述方法进行评价。而只能用某一认定的高效率方法, 同时进行采样比较。此外, 滤膜在出厂时, 一般已注明阻留效率, 可作参考。

##### (3) 采样点选择

1) 定点采样: 适用于某个时间段劳动者的工作场所相对固定的有害物质采样。

A. 采样点的选择原则: 采样点的选择根据 GBZ-159《工作场所空气中有害物质监测的采样规范》中规定的原则进行, 应选择有代表性的工作地点, 其中包括车间空气中有害物质浓度最高、劳动者接触时间最长的工作地点, 采样点应设在工作地点的下风侧, 采样高度尽可能靠近劳动者工作时的呼吸带。

B. 采样点数目的确定: ①工作场所按产品的生产工艺流程, 凡逸散或存在有害物质的工作地点, 至少应设置 1 个采样点。②一个有代表性的工作场所内有多台同类生产设备时, 1~3 台设置 1 个采样点; 4~10 台设置 2 个采样点; 10 台以上, 至少设置 3 个采样点。③一个有代表性的工作场所内, 有 2 台以上不同类型的生产设备, 逸散同一种有害物质时, 采样点应设置在逸散有害物质浓度大的设备附近的工作地点; 逸散不同种有害物质时, 将采样点设置在逸散待测有害物质设备的工作地点, 采样点的数目参照上述确定。④劳动者在多个工作地点工作时, 在每个工作地点设置 1 个采样点。⑤劳动者流动工作时, 在流动的范围内, 一般每 10m 设置 1

个采样点。⑥仪表控制室和劳动者休息室，至少设置 1 个采样点。

## 2) 个体采样

A. 采样对象的选定：①要在现场调查的基础上，根据检测的目的和要求，选择采样对象。②在工作过程中，凡接触和可能接触有害物质的劳动者都列为采样对象范围。③采样对象中必须包括不同工作岗位的、接触有害物质浓度最高和接触时间最长的劳动者，其余的采样对象应随机选择。

B. 采样对象数量的确定：在采样对象范围内，能够确定接触有害物质浓度最高和接触时间最长的劳动者时，每种工作岗位按表 1-1 选定采样对象的数量，其中应包括接触有害物质浓度最高和接触时间最长的劳动者。每种工作岗位劳动者数不足 3 名时，全部选为采样对象。

表 1-1 不同工作岗位劳动者数与个体采样对象数量数 I

劳动者数	采样对象数
3~5	2
6~10	3
>10	4

在采样对象范围内，不能确定接触有害物质浓度最高和接触时间最长的劳动者时，每种工作岗位按表 1-2 选定采样对象的数量。每种工作岗位劳动者数不足 6 名时，全部选为采样对象。

表 1-2 不同工作岗位劳动者数与个体采样对象数量数 II

劳动者数	采样对象数
6	5
7~9	6
10~14	7
15~26	8
27~50	9
50~	11

(4) 采气量：在空气采样中，采气量的多少，涉及人力、物力、时间和对分析结果的卫生评价。从事空气监测前应慎重考虑最小采气量。但此种采气量不仅取决于采样目的、分析方法的最低检出限和有害物质的最高容许浓度，而且还取决于大气中该物质的浓度。由于后者常有波动，所以往往难以确定最小采气量。为此，在实际工作中，需凭经验，并给予一定的“保险系数”。但当采样分析的目的仅限于判定是否超过最高容许浓度时，则可按以下公式计算最小采气量：

$$V_{\text{最小采气量}} = A \cdot (B/C) \cdot (1/D) \cdot (1/Y) \quad (1-1)$$

式中， $A$  为分析方法的最低检出限； $B$  为收集器中吸收液的量； $C$  为分析时吸收液的用量； $D$  为该有害物质的最高容许浓度； $Y$  为该方法的采样效率。

## (5) 采样时段与采样时间

1) 采样时段：是指在工作年内、工作月内及工作日内的什么时候进行采样。① 采样必须在正常工作状态和环境下进行，避免人为因素的影响。② 空气中有害物质浓度随季节发生变化的工作场所，应将空气中有害物质浓度最高的季节选择为重点采样季节。③ 在工作周内，应将空气中有害物质浓度最高的工作日选择为重点采样日。在工作日内，应将空气中有害物质浓度最高的时段选择为重点采样时段。

2) 采样时间的选择: 采样时间要保证采集到的待测物的量能满足测定方法的需要, 即样品中的待测物的量最好位于最佳测定范围内。

A. 在评价职业接触限值为最高容许浓度的有害物质的采样时, 采样时间一般不超过 15min, 当劳动者实际接触时间不足 15min 时, 按实际接触时间进行采样。

空气中有害物质浓度按式 (1-2) 计算:

$$C_{MAC} = \frac{c \cdot v}{F \cdot t} \quad (1-2)$$

式中,  $C$ . 空气中有害物质的浓度 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ );  $c$ . 测得样品溶液中有害物质的浓度 ( $\mu\text{g}/\text{ml}$ );  $v$ . 样品溶液体积 ( $\text{ml}$ );  $F$ . 采样流量 ( $\text{L}/\text{min}$ );  $t$ . 采样时间 ( $\text{min}$ )。

B. 在评价职业接触限值为短间接接触容许浓度的有害物质的采样时, 采样时间一般为 15min, 采样时间不足 15min 时, 可进行一次以上的采样。

采样时间为 15min 时, 按式 (1-3) 计算:

$$\text{STEL} = \frac{c \cdot v}{15F} \quad (1-3)$$

采样时间不足 15min, 进行 1 次以上采样时, 按 15min 时间加权平均浓度计算。

$$\text{STEL} = \frac{C_1 T_1 + C_2 T_2 + \dots + C_n T_n}{15} \quad (1-4)$$

式中,  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_n$  测得空气中有害物质浓度 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ );  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_n$  劳动者在相应的有害物质浓度下的工作时间 ( $\text{min}$ );

劳动者接触时间不足 15min, 按 15min 时间加权平均浓度计算。

$$\text{STEL} = \frac{C \cdot T}{15} \quad (1-5)$$

C. 在评价职业接触限值为时间加权平均容许浓度的有害物质的采样时, 可根据工作场所空气中有害物质浓度的存在状况, 或采样仪器的操作性能, 可选择个体采样或定点采样, 长时间采样或短时间采样方法。以个体采样和长时间采样为主。

采样仪器能够满足全工作日连续一次性采样时, 空气中有害物质 8h 时间加权平均浓度按式 (1-6) 计算:

$$\text{TWA} = \frac{c \cdot v}{F \cdot 480} \times 1000 \quad (1-6)$$

式中, TWA. 空气中有害物质 8h 时间加权平均浓度 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ );

采样仪器不能满足全工作日连续一次性采样时, 可根据采样仪器的操作时间, 在全工作日内进行 2 次或 2 次以上的采样。空气中有害物质 8h 时间加权平均浓度按式 (1-7) 计算:

$$\text{TWA} = \frac{C_1 T_1 + C_2 T_2 + \dots + C_n T_n}{8} \quad (1-7)$$

式中, TWA. 空气中有害物质 8h 时间加权平均浓度 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ );  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_n$  测得空气中有害物质浓度 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ );  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_n$ . 劳动者在相应的有害物质浓度下的工作时间 ( $\text{h}$ )。

3) 监测类型与采样频率和样品要求: 依据监测的目的, 可分为评价性监测、日常性监测、监督性监测、事故性监测四种。

A. 评价监测: 适用于建设项目职业病危害因素预评价、控制效果评价和职业病危害因素现状评价等。连续采样 3 个工作日。



B. 日常监测：适用于日常的定期监测。PC-TWA 物质选定最高浓度的一个工作班采样，PC-STEL 则选择一个最高浓度时段采样。

C. 监督监测：适用于职业卫生监督部门对用人单位进行监督。方法类似日常监测。

D. 事故性监测：适用于对工作场所发生职业病危害事故时，进行的紧急采样监测。根据现场情况确定采样点，监测至有害物质浓度低于 PC-STEL 或 MAC 为止。

(6) 采样记录与评价：记录要采用统一格式，结合职业卫生监测规范要求的项目内容和现场采样的实际情况进行填写。同时对测定出各项指标数据进行统计分析评价。

(刘宝英)

## 项目二 空气中苯系物的气相色谱分析

### 1. 目的

(1) 熟悉气相色谱仪和氢火焰离子化检测器的使用。

(2) 掌握气相色谱法测定苯、甲苯、二甲苯的原理和方法。

**2. 原理** 苯系物 (BTEX) 是挥发性有机物 (volatile organic compounds, VOCs) 中一类主要的组成成分，通常包括苯，甲苯，乙苯，邻、间、对位的二甲苯，异丙苯、苯乙烯八种化合物。苯、甲苯、二甲苯都是芳香烃类化合物，有其共同的理化性质，一般情况下是共存的，其测定方法有许多相同之处，都可以采用气相色谱法。乙醚-丙酮比色法等方法进行测定。目前广泛应用的方法是气相色谱法，对苯系物而言，色谱技术的分离、定性、定量的优越性是其他方法难以相比的。

用活性炭管采集空气中甲苯、二甲苯等苯系物，二硫化碳解吸，被分析组分随流动相通过色谱柱的时候，在气液两相间进行了反复多次分配。由于分配系数的不同，使得迁移速率不同，最后达到彼此分离；在柱后接上检测器（氢火焰），记录各组分的色谱峰，并与标准样品进行比较，根据保留时间和峰高（或峰面积）即可定性和定量。

色谱峰是组分从色谱柱流出进入检测器后，由检测器输出的信号大小随时间变化所形成的曲线。若各组分完全分离，流出曲线中的每个色谱峰代表一个组分，一般色谱峰为正态分布曲线（图 1-11），它可以用三项参数表示：峰高  $h$  或峰面积  $A$ ，用于定量；峰的位置（用保留值表示），用于定性；峰宽，用于衡量柱效。

(1) 保留值：色谱峰在色谱图中的位置常用保留值来说明。保留值表示试样中各组分在色谱柱中滞留的时间。在一定的色谱条件下，任何一种物质都有一个确定的保留值，因此保留值就可作为色谱定性参数。保留值通常用组分流出色谱柱所需的时间或载气体积来表示。

保留时间  $t_R$  是被测组分从进样开始到色谱峰最大值出现所需时间，如图 1-11 中的  $O'B$ ，它是组分流经色谱柱时，在气相和液相中滞留时间之和。

死时间  $t_m$  是不被固定相溶解或吸附的气体（如空气）的保留时间，如图 1-11 中  $O'A'$ ，它是载气流经色谱柱所需时间。

调整保留时间  $t'_R$  是扣除死时间后的保留时间，如图 1-11 中的  $A'B$ ，它是组分在固定相中停留的时间。

(2) 基线：没有组分进入检测器时，色谱流出曲线是一条反映检测器系统噪声随时间变化的曲线，称为基线，稳定的基线是一条直线，如图 1-11 中的  $O_t$ 。