



陈震阳 许金生 主编
鲁长豪 主审

现代分析技术在环境与 卫生监测中的应用



中国环境科学出版社

现代分析技术 在环境与卫生监测中的应用

陈震阳 许金生 主编

鲁长豪

 主审

中国环境科学出版社

• 北京 •

(京)新登字089号

图书在版编目(CIP)数据

现代分析技术在环境与卫生监测中的应用 / 陈震阳, 许金生主编. - 北京: 中国环境科学出版社, 1994.10

ISBN 7-80093-691-0

I. 现… II. ①陈… ②许… III. ①科学-技术-应用-环境保护 ②科学-技术-应用-卫生监测 IV. ①X②R12

中国版本图书馆CIP数据核字(94)第11277号

现代分析技术在环境与卫生监测中的应用

陈震阳 许金生 主编

鲁长豪 主审

责任编辑 陈菁华

中国环境科学出版社出版

(100062 北京崇文区北岗子街8号)

北京通县永乐印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经售

1995年8月 第一版 开本 850×1168 1/32

1995年8月 第一次印刷 印张 13 7/8

印数 1—2000 字数 373千字

ISBN 7-80093-691-0/X·872

定价: 14.00元

主 编 陈震阳 许金生

副主编 吴仲冬 杨凯云 李甲福

编 委 (按姓氏笔划为序)

王永生 吕昌银 陈云生

郭 萍 袁亚莉 廖力夫

主 审 鲁长豪

前 言

为了推动环境与卫生监测事业的迅速发展,近十多年来,有关专家、学者编写和翻译了大量与环境和卫生监测有关的专著、编著、译著、教材、丛书及工具书。据国家环保局科技司主编的《中国环境保护图书要览》一书统计,从1970年至1990年,国内(含部分港台)286家出版社出版的与环境保护有关的图书达2700余种。其中涉及环境和卫生监测分析的图书为124种。但在这么多的图书中,融环境与卫生监测分析现状、动态、前沿及进展于一体的著作应占的席位却留下了空缺。

事实证明,卓有建树的科技工作者,精明能干的专业管理人员,必然对本专业具有一种高屋建瓴的本领。这种本领来自扎实的专业功底,来自对本专业理论及应用研究的现状、动态、前沿和进展的透彻了解。因此,填补上述空缺并以此抛砖引玉,使有关读者尔后常能以有限的宝贵时间从这样的著作中获取大量、系统而又全面的信息,迎接21世纪环境与卫生监测新技术的挑战,便是本书编写之目的。

本书囊括了国内外近几年现代分析技术在环境与卫生监测中的应用现状、动态和进展等内容,涉猎的文献近1000篇,经编者精雕细琢,浓缩成篇。该书内容丰富,题材新颖,编排分门别类,各章自成体系。它尤如一个缩影,透过它,既可以窥探国内外利用各种现代分析技术对空气、水质、土壤、底质、食品及生物样品进行监测分析的现状,也能够预测它们的发展前景。

本书由北京市劳动卫生职业病防治研究所、衡阳医学院、衡阳市环保局、衡阳市产品质量监督检验所四个单位的有关专业技术人员共同编写。全书由陈震阳、许金生二位主编统稿,经国务院学位委员会学科评议组成员、卫生检验学博士导师鲁长豪教授

审定。在本书编写过程中，承蒙衡阳医学院院长杨永宗教授及其他院领导的关心和支持，在此谨表谢忱。

为了提高书稿质量，所有编者付出了艰辛的劳动，披阅两载，三易其稿。但囿于学识水平，纰缪难免，敬请读者多多批评指正。

编者

目 录

第一章 环境与卫生监测的基本知识与技术	(1)
第一节 实验室一般安全措施	(1)
第二节 危险物品的使用、处理和防爆	(6)
第三节 毒品及放射性物质的使用和处理	(14)
第四节 高压气体的使用与保存	(18)
第五节 实验室一般事故处理	(21)
第六节 环境与卫生监测的标准方法和标准物质	(30)
第七节 基本实验条件和操作	(34)
第二章 环境样品的采集、保存和处理	(48)
第一节 各类环境样品的采集	(48)
第二节 样品的保存	(63)
第三节 样品的预处理	(67)
第四节 环境样品的分离与富集	(74)
第三章 物理分析法	(96)
第一节 放射性监测	(96)
第二节 中子活化分析	(110)
第三节 噪声监测	(115)
第四章 化学分析法	(122)
第一节 重量分析法	(122)
第二节 滴定分析法	(131)
第五章 光谱分析法	(167)
第一节 紫外可见分光光度法	(167)
第二节 原子吸收分光光度法	(193)
第三节 电感耦合等离子体光谱法	(208)
第四节 荧光分析法	(213)

第五节 化学发光法	(218)
第六章 电化学分析	(227)
第一节 离子选择电极法	(227)
第二节 溶出伏安法	(243)
第三节 电位溶出法	(254)
第七章 传感器	(260)
第一节 生物传感器	(261)
第二节 化学传感器	(268)
第三节 光导纤维化学传感器	(275)
第八章 色谱分析法	(284)
第一节 薄层色谱法	(284)
第二节 气相色谱法	(295)
第三节 高效液相色谱法	(320)
第四节 离子色谱法	(333)
第九章 流动注射分析技术	(347)
第一节 流动注射分析技术及其发展概况	(347)
第二节 FIA 在环境和卫生监测中的应用	(350)
第三节 流动注射分析进展与前沿	(368)
第十章 连续自动分析与遥测遥感	(376)
第一节 连续自动监测	(376)
第二节 遥测	(386)
第三节 遥感技术	(391)
第十一章 环境与卫生分析技术的进展与动态	(404)
第一节 环境与卫生分析监测技术的进展	(404)
第二节 环境污染物分析方法进展	(410)
第三节 环境与卫生监测的动向和前景	(424)

第一章 环境与卫生监测的 基本知识与技术

随着世界人口的增加，城市化进展及人们生活水平的提高，由人类活动导致的环境污染也不断加剧。在造成环境污染的诸因素中，人工合成的各类化学品是十分令人瞩目的一种因素。目前，人工合成的化学物质已近1000万种，其中不少为有毒有害物质。它们能通过各种途径进入生态环境，危害人们的健康。自50年代以来，世界各地相继发生各种严重公害事件的例子不胜枚举。

为了保障国民经济的发展，利用各种分析手段提供适合于环境和生物样品的监测方法，阐明污染物的组成、结构、状态、含量，弄清污染的来源，及时对环境污染问题作出预报，为管理及有关技术部门提供宏观调控信息，是环境与卫生监测工作者义不容辞的责任。

环境和生物样品的组成一般均比较复杂，而且其中被测成分含量甚微。为了取得准确可靠的分析结果，除了要求分析人员具备一丝不苟的工作态度以外，还必须要求他们具备良好的专业素质、扎实的实验基础知识和熟练的操作技术。

第一节 实验室一般安全措施

分析实验室存在较多的有毒有害物质及易燃易爆物品，实验室内有各种各样电器和电子仪器设备，如果对它们的性能不熟悉或操作不慎，极易引发意想不到的严重事故。分析人员熟悉并谨记实验室一般安全措施，对于杜绝严重事故发生或使难以避免的损失降低到最低限度，都是十分必要的。

一、防止中毒措施

分析工作者经常接触有毒的化学试剂。有机汞、砷、联苯胺、苯并(a)芘、吡啶、多环芳烃、黄曲霉毒素 B_1 等试剂，有的具有急性中毒作用，有的具有强烈的三致作用。只有在各个环节进行规范操作，才能保障操作人员的健康与安全。

(一)建立对剧毒品完善的的安全管理制度

对于氰化钾、砷制剂等剧毒试剂的保管和使用，一定要严格制度化。对剧毒品要确定专人保管、专用柜存放并加锁。毒品一旦洒落，应立即予以清除。

(二)严禁食具与实验器皿混放和混用

实验工作者不得在实验室内进餐、吸烟，更不得将实验器皿当作餐具使用。要养成良好的卫生习惯，饭前先洗手，然后进餐。

(三)杜绝危险操作

日常工作中，有时稍微疏忽，就可能酿成大祸。例如，向酸性溶液中加入氰化物，就会产生剧毒的氰化氢，故实验时必须先将溶液调至碱性后才能加入氰化物。氰化物在使用后，如果随意处理，就会污染环境。因此，在处理前应当用硫酸亚铁及碳酸钠溶液处理，使其转变成低毒的铁氰化物。砷化氢为剧毒气体，在用还原法将砷化物还原成砷化氢的时候，必须注意通风条件良好。三氯甲烷、四氯化碳受热、见光会产生剧毒的光气，故应低温避光保存。

用移液管取用各种试剂在溶液时应使用橡皮吸球，禁用嘴吸；如果需以闻气味的办法鉴别试剂，应使盛试剂的容器口与鼻孔保持一定距离，以手轻轻煽动容器口附近的空气，稍闻其气味，切勿将鼻孔贴近瓶口鉴别。

(四)妥善处理毒物

汞是极谱实验室内常用的有毒试剂。因此，极谱分析实验室的地面应光滑无缝，并有专用的带边实验台放置储汞容器和滴汞

电极。实验室的通风装置应安装在贴近地面的墙脚，以排除比空气重的汞蒸气。实验室地板上不堆放杂物，以便清洗。盛汞的容器要牢固可靠，汞面上存一层纯水。工作时不得有汞滴洒落，一旦洒落，室内汞蒸气浓度很快会超过最高容许浓度标准。对洒落的汞滴要尽快用特制的吸管或表面汞齐化的紫铜丝、铜片或银片收拾，然后用硫磺粉覆盖汞珠洒落的地方。使细汞滴形成几乎无毒的硫化汞后再行清除。

处理氮氧化物、溴、氯、硫化氢、砷化物、氢氰酸、吡啶等有毒气体和蒸汽时，必须在有效的通风柜内进行（通风柜门应适当开启）。操作过程中不得将头伸进通风柜内。凡有必要使用防毒面具的工作地点应有防毒面具。用作采集气样的球胆或其它用具，不应漏气，操作完毕去室外放空。

（五）应急事故处理

不管实验室内出现任何事故，操作人员切勿惊惶失措，应尽快查明原因并果断地采取正确的应急措施。如系吸入气态物质中毒，应让中毒者迅速脱离中毒环境，转移到通风荫凉处进行有关处理；如系腐蚀性化学品溅射到人体裸露部位，应立即用大量水冲洗。如系电击，应立即切断电源，随即抢救受害者。如受害者呼吸停止，则应不停地作人工呼吸，同时组织医务人员抢救。

二、防止起火和爆炸

实验室中易燃易爆的化学药品很多，有的本身虽无爆炸性，但一旦与其它物质接触，也会引发爆炸反应，所以对化学品的保管及实验操作均应慎之又慎。

（一）具挥发性试剂的保存

具挥发性的有机试剂应存放在通风良好的处所。汽油、乙醚、乙醇等低沸点易燃试剂的存放地点切不可离火源太近。不少易燃性有机溶剂如二硫化碳等物质的蒸气比空气重，能沿地面流动迁移，相距较远处的明火也能将其点燃或引爆。室温过高，启用易挥发性试剂（如浓氨水瓶）前应设法将容器冷却。开塞时切

勿将瓶口对着自己或他人，以防可能冲出的气体造成伤害事故。此类试剂装瓶后不用蜡封瓶塞。当瓶口因蜡封难以开启时，切勿以火烘烤的方法开塞。

(二) 易挥发和易燃有机溶剂的加热回流和蒸除

实验过程中，经常需要加热或蒸除易挥发及易燃有机溶剂。这一操作应在水浴锅或电热套中缓慢进行，不得用直火加热，出口处切不可封闭。蒸馏时应先将冷凝管充满冷却水，蒸馏液中应先加沸石或玻璃珠，防止暴沸，然后再通电加热，并时刻注意观察实验现象。若需要往蒸馏器中补充液体时，应先切断电源，冷至室温后方可进行，并再加沸石。乙醚、异丙醚等醚类物质往往含易爆的过氧化物，故必须在蒸馏之前检查并作处理(见下节)。

(三) 氧化剂和易爆物质的使用

严禁将氧化剂同可燃物质混合研磨，不得在纸上称量过氧化钠一类物质。苦味酸、高氯酸、过氧化氢等易爆物品，均应置低温处保存，不能与易燃物质一起存放，搬动或取用此类物质时，避免剧烈振动。

(四) 操作过程的安全防护

进行易发生燃烧或爆炸的实验操作时，要戴好防护面罩或使用防护挡板。进行高温灼烧操作时，必须将灼热的坩埚、瓷舟等高温物件置于不能起火的安全场所。实验中，操作人员要注意保护双手和身体的其他部位。如果不慎沾染易燃易爆物，应尽快远离火源并清洗干净。

三、防止腐蚀及化学烧伤

(一) 妥善使用腐蚀、刺激类试剂

强酸、强碱、浓氨水、三氯化磷、氯化氧磷、浓过氧化氢、氢氟酸、溴水等，都具有强烈的腐蚀性和刺激性。使用此类物质时，要戴橡皮手套、防护眼镜。移动此类试剂时，必须一手握住瓶颈，一手托住瓶底。搬运具有腐蚀性的大瓶装或坛装液体，要用专用夹具将瓶或坛放到手推车或担架上搬运，不得直接用肩

扛。开瓶时应小心将密封的石膏锯开，勿用铁锤敲击，以免容器破裂。

(二)强酸、强碱的使用

在进行浓硫酸的热处理实验操作时，特别要注意对眼睛和面部进行防护，并保持一定距离。稀释硫酸时必须在烧杯等耐热容器中进行，并在玻璃棒不断搅拌的情况下，缓慢地将浓硫酸倒入水中，切勿将水倒入浓硫酸中。溶解氢氧化钠、氢氧化钾等可发生强烈放热反应的试剂时，也必须在耐热容器内进行。切不可将浓的强酸、强碱相互中和，如要中和，需先稀释。

(三)妥善使用强氧化剂

氯酸盐、高氯酸盐、高锰酸盐、次氯酸盐、过氧化物等强氧化剂与有机物接触时可因反应过于剧烈而起火或爆炸。故应避免氧化剂与有机物直接接触。实验过程中洒出的强氧化剂要及时清理干净。实验完毕后将含强氧化剂的废液倒入废液缸内，然后运至安全的地方处理，切勿将废液或废化学品随意处理。不能用高氯酸盐作为有机物的干燥剂。

四、安全用电

现代分析实验室内拥有各种电气设备和各种现代电子分析仪器。电力是各种设备和仪器的动力源。实验工作者必须懂得电器的一般性能和使用常识，不掌握一定的电气知识则容易发生严重事故。

我国由变电室送往实验室的交流电均为三相五线制，即三根相线（俗称火线，用L表示）、一根中线（俗称零线，用N表示）和一根地线（用G或E表示）。任何两相线间的线电压为380V，相线与中线间的相电压为220V，绝对不能用错。操作人员一定要时刻注意保护其自身，利用各种绝缘办法避免让自身构成电流回路。

实验室内所使用的仪器一般均为铁壳，即使是塑料外壳的设备，也有金属螺钉，它们都免不了会与人体接触，所以，实验用仪器一定要接好地线，这是保护人身安全的重要措施。仪器的所

有插座一定用三芯的，接地线绝不能省去。实验室应该有检查电器的必备工具，诸如试电笔、万用电表等。对新装仪器一定先用测电笔测试，检查机壳是否带电，如果带电，要立即检查或请内行人协助解决，不得疏忽大意。所有接线头都要接紧，不得有松动。插墙上插座前要将仪器的电源关上，插妥后再开启开关。一定要注意电压、功率是否与仪器上铭牌的标示值相匹配。插头、插座和导线如有发热现象一定要认真查找原因。仪器或墙上保险丝熔断时绝对不准用其它导线替代，否则会酿成火灾。不能用湿手接触带电用具。一定要防止各种溶液洒在电路板或电热丝上而引起短路着火。一遇险情，必须立即断开电源进行检修。

第二节 危险物品的使用、处理和防爆

分析实验室中的危险品主要分为三大类：即易燃类、易爆类和剧毒类。易燃和易爆类有时并无明显的界限。本节先讨论前两类，剧毒类留待下节讨论。

一、强氧化剂

强氧化剂是具有强烈氧化作用的一类物质。它们在化学反应中易于获得电子。但若没有还原剂给出电子，氧化剂便无从获得电子，当然也就不可能发生氧化还原反应。因此，孤立的氧化剂本身一般并不会自行燃烧，只有当它们遇酸、受潮、受强热或与还原性物质及易燃物质接触时，才能引起燃烧或与可燃物形成爆炸性混合物。常见的氧化剂有氟、氯、三价钴盐、过硫酸盐（或过二硫酸盐）、过氧化氢、高锰酸盐、高氯酸及其盐、氯酸盐、重铬酸盐等等。

二、爆炸性物质

爆炸性物质是指那些因受热、受摩擦、受冲击或与其它物质接触后能在瞬间发生剧烈反应而引起猛烈爆炸的物质。实验室中

常见的敏感性强、易分解和易引起爆炸的物质有：含过氧基($-O-O-$)类化合物如臭氧、过氧化物；含特有的 $Cl-O-$ 原子团的物质如氯酸及高氯酸盐；含特有的 $-NO$ 基团的亚硝基类化合物；含 N_3 基或 $-N=N$ 基团的叠氮化物或重氮化合物；含特有的 $-ONC$ 基或 $-N=C$ 原子团的雷酸盐；含 $-C\equiv C-$ 基的炔类化合物等等。

可燃性气体、液体、蒸气或可燃性粉尘与空气混合达到一定的浓度范围，遇到火源便会发生爆炸。这一遇火源便能发生爆炸的浓度范围称作爆炸极限（以各组分在空气中的体积百分比表示）。其中最低的爆炸浓度叫做爆炸下限，最高的爆炸浓度叫做爆炸上限。当可燃气体、蒸气或粉尘在空气中的浓度低于爆炸下限，即使遇到明火，既不爆炸，也不燃烧；高于爆炸上限，遇到明火，虽不爆炸，但能燃烧。

要做好实验室的防火、防爆炸工作，必须对各种可燃气体、蒸气或粉尘与空气混合的爆炸极限了如指掌。由爆炸极限即可看出它们的危险程度。爆炸极限的幅度越大，危险性也就越大。例如，乙炔的爆炸极限为 $2.5\% \sim 30\%$ ，乙烷的爆炸极限为 $3.2\% \sim 12.4\%$ ，故乙炔的爆炸危险性比乙烷要大得多。

三、易与强氧化剂发生猛烈反应的物质

（一）易燃物质与强氧化剂反应

松节油、乙醇等有机化合物遇到浓硝酸、浓硫酸；纤维织物遇到浓硝酸；甲醇、乙酸、乙二醇、丙酮等物质遇到过氧化钠以及溴与磷、锌、镁粉混合时，均极易引起爆炸反应。因此，操作人员在使用这些试剂时，必须防止它们与强氧化剂接触。

（二）能形成爆炸混合物的物质

能与强氧化剂形成爆炸混合物的试剂很多，实验室常见的这类物质如表 1-1 所示：与强氧化剂混合引起燃烧或爆炸，有时并无严格的界限。总的说来，强氧化剂与有机物接触均极易燃烧或爆炸。

表1-1 能与氧化剂形成爆炸混合物的物质

氧化剂名称	能形成爆炸混合物的物质
高氯酸	乙醇
氯酸盐	硫、硫化镭、磷、氰化物
氯酸盐、硝酸盐	铝、镁
三氧化铬、高锰酸钾	硫磺、硫酸、有机物
过硫化铵	铝粉(遇水)
硝酸钠	硫氰酸钡
硝酸钾	乙酸钠
硝酸铵	锌粉(遇少量水)
硝酸盐	酯类、氯化亚锡
亚硝酸盐	氰化钾
硝酸	噻吩、碘化氢、镁、锌等活泼金属
过氧化物	镁、锌、铝
液态空气、氧	有机物
高压氧	油脂
次氯酸钙	有机物
发烟硝酸	乙醚

(三)其它危险性物质

1. 遇水燃烧或爆炸的物质 化学性质十分活泼的金属如钾、钠、活性镍及电石等物质遇水即发生剧烈燃烧反应甚至发生爆炸。三氯化磷、五氯化磷、磷化钙等物质与水相遇时均有燃烧爆炸的危险。

2. 炔化物 炔类化合物与银、铜、汞等金属盐类溶液反应时,可生成爆炸性的炔化物。其中铜、银炔化物最易发生爆炸。当硝酸盐、溴酸盐、高氯酸盐等含氧化性酸根的盐及卤素与炔化物共存时,会使爆炸的危险性大大加剧。但当炔化物与硫酸盐、磷酸盐及有机酸盐等含非氧化性酸根的盐共存时,其爆炸的剧烈程度能够降低。

3. 可燃性蒸气和气体 氢气、氨、一氧化碳、二硫化碳、乙

炔、环氧乙烷、甲烷、丁烷、苯、甲醇、乙醇、乙醛、丙酮、乙酸乙酯及其它低级烃类物质均为可燃性气体或可产生可燃性蒸气的物质。它们与空气或氧气混合，能产生特别危险的爆炸反应。实验中进行此类反应的操作时，要设法控制它们的反应速度。

四、易爆炸物质的处理

(一) 醚中的过氧化物

乙醚、异丙醚、四氢呋喃等醚类物质均可与空气中的氧发生缓慢氧化反应生成不稳定的过氧化物。当蒸馏或蒸发浓缩含过氧化物的试剂或溶液时，过氧化物与其它化合物能生成具有爆炸性的混合物。这些化合物受热、震动或摩擦时，都可能发生极为猛烈的爆炸。蒸馏含过氧化物的乙醚时，由于爆炸从一只薄壁蒸馏烧瓶飞射出来的玻璃碎片可将数米之外的厚壁玻璃器皿击出一整齐的孔洞，可见其爆炸程度之猛烈。因此，对醚类试剂中的过氧化物进行检查、阻化、消除或控制爆炸性物质的形成，是防止实验室发生意外事故的重要措施。

各种醚中过氧化物的沸点均高于醚类物质。因此，爆炸反应往往发生在蒸馏回收操作的末尾。在对醚类物质进行蒸馏时，一般在蒸馏至残存溶液为原蒸馏液体积的1/10时，必须停止蒸馏，这样，一般可防止爆炸事故。

1. 醚中过氧化物的检查 环境与卫生监测工作中，常用醚作萃取溶剂及反应介质。在使用乙醚及醚类物质之前，常需检查其中是否含有过氧化物。一般的检查方法有：

(1) 碘化钾试验法：在避免阳光直射条件下，于盛有 9ml 乙醚的无色具塞量筒中加 1ml 新配制的 100g/L 碘化钾溶液振摇，对着白色背景从横断方向观察，两液层均应无色。如醚层出现黄色，说明其中含有过氧化物，应予除去。

(2) 硫氰酸铵法：取新配制的 5ml 10g/L 硫酸亚铁铵，0.5ml 0.5mol/L 硫酸及 0.5ml 0.1mol/L 硫氰酸铵溶液，混匀（溶液显色则用微量锌粉脱色），与被检验的等体积醚类试剂混合振摇，如