

高等学校教材

# 环境监测实验

奚旦立 主编



高等教育出版社  
HIGHER EDUCATION PRESS

环境检测技术

# 环境检测实验

环境检测技术

环境检测技术

高等学校教材

# 环境监测实验

Huanjing Jiance Shiyan

奚旦立 主编

王晓辉 马春燕 康天放 合编



高等教育出版社·北京  
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

## 内容提要

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材《环境监测》(第四版)(奚旦立、孙裕生主编)的配套实验教材。

全书共分三部分:第一部分介绍环境监测实验的目的和方法,内容包括环境监测实验的教学地位和作用,实验设计和实验方案,以及常用的实验设计方法介绍;第二部分为基础实验,共包括30个实验,从水、气、固体废物、土壤、噪声、振动到光污染的基本项目监测;第三部分为综合实验和设计实验,共7个实验,作为拓展实验或大型实验的参考,为培养学生综合、全面的实践能力以及组织和配合的团队合作精神而设置,可供各校选择使用,也可在此基础上自行设计。

本书可作为高等学校环境工程专业及环境科学专业的实验教学用书,也可供有关专业及环保技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

环境监测实验 / 奚旦立主编. —北京: 高等教育出版社, 2011. 3

ISBN 978-7-04-031336-9

I. ①环… II. ①奚… III. ①环境监测-实验-高等学校-教材 IV. ①X83-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第012228号

策划编辑 陈文 责任编辑 陈海柳 封面设计 张志  
版式设计 马敬茹 责任校对 杨凤玲 责任印制 张福涛

---

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街4号	咨询电话	400-810-0598
邮政编码	100120	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a> <a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	<a href="http://www.landraco.com">http://www.landraco.com</a> <a href="http://www.landraco.com.cn">http://www.landraco.com.cn</a>
印 刷	北京印刷集团有限责任公司印刷二厂	畅想教育	<a href="http://www.widedu.com">http://www.widedu.com</a>
开 本	787×960 1/16	版 次	2011年3月第1版
印 张	8.75	印 次	2011年3月第1次印刷
字 数	160 000	定 价	14.00元

---

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 31336-00

# 前 言

由奚旦立、孙裕生等编写的《环境监测》前三版的实验部分是附在教材后面的,其内容和数量较少。根据环境监测内容的扩展和实际教学的需要,从第四版起实验部分单独成书,与环境监测理论教材、电子教案共同组成一个完整的教学系统。

本实验教材以《环境监测》(第四版)理论教材内容为基础,包括三个部分:

第一部分介绍环境监测实验的目的和方法,内容包括:环境监测实验的教学地位和作用,实验设计和实验方案,以及常用的实验设计方法。

第二部分为基础实验,共包括30个实验,从水、气、固体废物、土壤、噪声、振动到光污染的基本项目监测。

第三部分为综合实验和设计实验,共7个实验,作为拓展实验或大型实验的参考,为培养学生综合、全面的实践能力,以及组织和配合的团队合作精神而设置,可供各校选择使用,也可在此基础上自行设计。

本实验教材第一部分由奚旦立和马春燕执笔;第二部分中实验一到实验十六由王晓辉执笔,实验十七到实验二十二由马春燕、孙芮执笔,实验二十三到实验二十六由康天放执笔,实验二十七到实验三十由奚旦立、戎静执笔;第三部分实验一、二、五、六、七由奚旦立、马春燕执笔,实验三、四由王晓辉执笔。全书由奚旦立统稿、修改定稿。

本实验教材的编写思路是:通过第一部分的学习,使读者了解环境监测实验的意义及实验设计方法;通过第二部分的学习,使读者进一步掌握典型污染物的测定,提高读者的动手能力;通过第三部分的学习,培养读者的综合思维能力、解决实际问题的能力及团队合作精神。希望使用本实验教材的老师和同学提出宝贵意见并交流心得体会,做到资源共享、优势互补,共同提高环境监测实验课程的教学质量。

编 者

2010年9月30日

# 目 录

## 第一部分 环境监测实验的目的和方法

## 第二部分 基础实验

实验一	废水悬浮物和浊度的测定	9
实验二	水和废水中色度的测定	12
实验三	废水中氨氮的测定	15
实验四	水中氟化物的测定	18
实验五	水中硝酸盐氮的测定	22
实验六	水中铜、锌的测定	24
实验七	水中铬的测定	27
实验八	化学需氧量的测定(重铬酸钾法)	31
实验九	化学需氧量的测定(快速消解法)	35
实验十	五日生化需氧量的测定	38
实验十一	废水总有机碳的测定	45
实验十二	水中挥发酚的测定	49
实验十三	污水和废水中石油类物质的测定	53
实验十四	废水中苯系物的测定	57
实验十五	水中总大肠菌群的测定	60
实验十六	发光细菌毒性试验	67
实验十七	大气中一氧化碳的测定	74
实验十八	大气中二氧化硫的测定	76
实验十九	大气中氮氧化物的测定	81
实验二十	空气中挥发性有机物的测定	84
实验二十一	空气中甲醛的测定	90
实验二十二	大气中PM <sub>10</sub> 的测定	96
实验二十三	土壤中有有机氯农药残留量的测定	100
实验二十四	土壤中镉的测定	103
实验二十五	工业废渣渗滤试验	106
实验二十六	头发中含汞量的测定	107

---

实验二十七 工业噪声和社会生活环境噪声监测·····	109
实验二十八 交通噪声监测·····	111
实验二十九 振动监测·····	113
实验三十 光污染监测·····	117

### 第三部分 综合实验和设计实验

实验一 城市区域空气质量监测·····	121
实验二 河流环境质量基础调查·····	123
实验三 校园声环境质量现状监测与评价·····	124
实验四 金鱼毒性试验·····	127
实验五 突发性环境污染事件应急监测计划制订·····	130
实验六 河流污染事件原因分析·····	132
实验七 怀疑环境中毒的监测方案制订·····	133

# 第一部分

## 环境监测实验的目的和方法

---

### 一、环境监测实验的教学地位和作用

环境监测是一门以实验、实践为基础的课程。知识、经验必须从实践中获得,经过提炼和升华后再上升为理论。不通过实验就能够理解和掌握环境监测的基本理论、基础知识和实际操作是难以想象的。

环境监测是通过对影响环境质量因素代表值的测定,确定环境质量。其中“测定”一词就是通过预定的一套程序,用仪器、设备、试剂经过反应,观测变化过程,记录数据,然后经过分析、整理、对比得出结论。

环境监测实验或试验包括三类:

第一类是利用人们已经掌握的理论、方法,通过预定的过程确定和证实某一情况。例如,根据金属汞的物理、化学性质,设计一套用冷原子吸收光谱法测定金属汞在对象(样品)中存在与否,以及它的含量和形态(价态)的实验。这是工作量最大、覆盖范围最广的常规监测。对一般监测人员而言,主要要求是按照标准分析方法、规范和程序,熟练掌握监测技巧,进行测定。对大学本科学生而言,仅仅满足这一要求还是不够的,必须了解监测对象性质、监测目的、监测方法的原理、每个步骤的要点、各种干扰的排除方法、监测中发现问题的处置方法等,即对监测方法要做到“知其然”,还要“知其所以然”。例如,化学需氧量( $COD_{Cr}$ )的测定实验,首先要复习理论教材,了解实验目的,以及化学需氧量的定义、发展历史、各种测定方法及它们之间的关系。以重铬酸钾法为例,所加的试剂:重铬酸钾、硫酸、硫酸汞、硫酸银各自的作用;试剂添加的顺序、添加的量;是否可以改变添加顺序;有的试剂必须用移液管添加,有的可以用量筒添加,可否替换;既然银离子是催化剂,如果用硝酸银替代是否可以;氯离子含量高时,应该采取哪些措施;回流过程中应该注意哪些问题;在滴定终点前特别要仔细观察是否有过渡色调的产生等,只有把这些问题全部理解,并亲身经历、实践和能熟练地运用监测技巧后,才能认为已经掌握了这一部分的教学内容。



第二类是带有探索性的监测,即要了解或证实某一现象。例如,一个废水处理工程竣工的监测验收,监测人员首先要了解废水性质,废水处理的工艺设计资料,了解设计原理、每个处理工艺步骤的技术参数和效率,环境保护主管部门的批复,参照排放标准和有关监测验收规范,如《纺织染整业建设项目竣工环境保护验收监测技术规范》。在资料收集整理和研究后,进行现场勘察,确定验收工作范围、验收评价标准、验收监测及验收检查、调查内容,制订验收技术方案,依据验收技术方案确定的工作内容进行监测、检查及调查。根据监测结果,汇总监测数据、检查及调查结果,对照原设计方案和环境保护主管部门的批复,分析评价,得出结论,以验收技术报告书(表)形式反映建设项目竣工环境保护验收监测的结果,作为建设项目竣工环境保护验收的技术依据。这些都是环境监测人员必须掌握的工作范围。验收技术工作程序见图1所示。

第三类是研究性监测,如监测方法研究,方法的验证评价,研究证实某一事物或现象等。事实上除了监测部门对环境质量进行常规监测以外,多数监测均带有一定研究性质。例如,某一河流的部分河段,发现大量鸭子的尸体,怀疑是农药致毒,环境保护主管部门要求环境监测站负责调查和处理,这就是一项带有研究性的监测任务,或者是一项先有假设,后需要予以证实的监测任务。首先要对现场进行勘察,调查了解附近有无农药厂,或是否使用过农药。布点,对周围水域和土壤进行监测,对鸭子尸体化验。监测方案要考虑采集哪一部位样品,还是将整个鸭子尸体粉碎后化验;分析哪种(或哪一类)农药;采用什么分析方法。经常可能遇到的问题是:现有的样品预处理方法和环境标准分析方法并不一定完全适用,需要采用其他成熟的分析方法,或由于某些特殊原因,需对方法进行一定的修改变动,但必须有充分的理由和证明,否则影响数据和结论的可信度及合法性。这类研究性监测,实际上往往是一项目标明确、限时完成的科学研究,它既有科学研究的基本规律,又是以环境监测为基础,需要各类综合知识才能解决的科研任务,而综合知识和实际动手能力却是目前我国学生所缺乏的,因此本实验教材增设了综合实验和设计实验。

教材中的内容仅仅是例子,在实际的环境监测工作中是远远不够的。各校应根据实际情况,举一反三,提高环境监测实验的教学质量,培养学生实践工作能力。

对教学要求而言,环境监测实验可以分为两类:基础实验和综合实验。基础实验是为达到教学大纲中的基本要求,通过实验加深了解教学内容,掌握实验的基本技能和技巧。例如,水质监测中的化学需氧量(COD)、生化需氧量(BOD)、常用的物理指标(色度、温度、臭和味、悬浮物、浊度、透明度等)、金属化合物(汞、铬、铅、镉、铜等)、无机非金属(酸度、碱度、pH、溶解氧、氰化物、氟化物、硫化物及氮和磷的化合物等)、其他有机化合物、底质和活性污泥的测定,从采

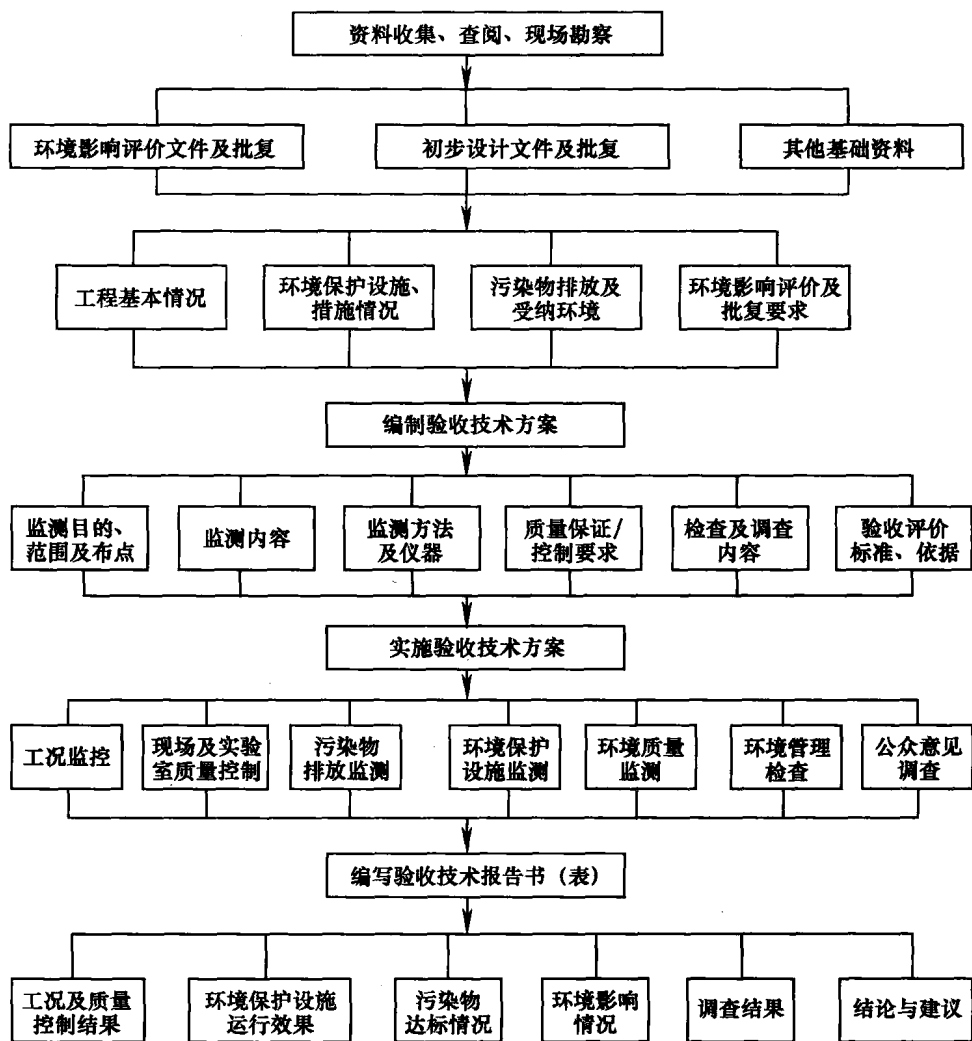


图1 验收技术工作程序图

摘自:《纺织染整业建设项目竣工环境保护验收监测技术规范》

样、样品保存和运输、方法选择、试剂配制、实验操作,到数据处理,都应该掌握并能独立分析、处理。通过环境监测及其基础实验的学习,应该掌握水、气、固体废物、物理性污染等常用指标的测定。综合实验是培养学生灵活运用所学环境监测知识和其他各方面知识、技能和技巧来完成和解决某一实际问题(或教学上的假设课题),是培养学生逻辑思维和创新思维的一种途径,也是理论和技能的提升。

## 二、实验设计和实验方案

实验设计是一种有计划的研究,包括一系列有目的性的对过程要素进行的改变与对其效果的观测,对这些结果进行统计分析以便确定过程变异之间的关系,从而利用过程、改变过程,达到应用的目的。

当提出某一项监测任务时,首先要根据监测目的和要求,进行实验设计,提出实验方案。

### 1. 内容

一个实验方案至少应该包括以下内容。

(1) 实验目的:包括监测任务和需要解决的问题。

(2) 方案设计:可能有哪些方法和途径,比较分析后,采用哪种途径;布点和采样方法,样品量及混合方法,使样品具有代表性;样品运输及保存;所采用的分析方法,没有标准分析方法时,如何等效采用其他标准方法,或作一些修改;平行样品、对比样品、空白样品数量;数据整理方法;监测报告的编写,评价结论的依据和评价标准等。对于未知污染物(如突发性环境污染事件中的某些污染物),需根据现场情况估计、推测,假设实验方案,采用推理法、排除法进行证实。

(3) 实验用品、步骤和注意事项:实验设计中要详细提出和准备实验用品(药品、仪器、装置、设备)及其规格;编写实验步骤、操作方法、质量控制,以及实验装置图、可能遇到的问题及其处置方法等。

### 2. 要求

一个实验设计方案要做到以下几点。

(1) 科学性:科学性是实验方案设计的原则。所谓科学性是指实验原理、实验操作程序和方法必须科学、规范。

(2) 安全性:设计实验时,在不影响目标的情况下,应尽量避免使用有毒的药品和进行具有一定危险性的实验操作,如高温、高压、高电压、强磁场等。如果必须使用,应在所设计的实验方案中详细写明注意事项,以免造成环境污染和人身伤害。

(3) 可行性:设计实验要精选变量、抓住重点、切实可行,所选用的试剂、仪器、设备和方法等在实验室现有的实验条件下能够得到满足。

(4) 简约性:设计实验应尽可能简单易行,而不是越全面越好。各种变量之间的关系,可以通过预试验、正交设计等方法,以较少的实验达到研究的要求。

特别是在大规模、联合监测或标准监测方法验证过程中,实验设计尤为重要,对相关人员培训、采样方法、过程、样品运输、分析方法、仪器校核、数据处理和报告编写全过程必须实施质量控制、全程监督,避免最终得到一大批数据,但

大部分是“无用”或“无效”的,这在实际中是经常发生的。衡量一名研究人员技术水平的标准之一,是能否用最少的实验获得最多的有效数据。

### 三、常用的实验设计方法

(1) 完全随机设计:亦称单因素实验设计,它不考虑个体差异的影响,仅涉及一个处理因素,但可以有二个或多个水平。该设计常用于将监测对象按随机化原则分配到处理组和对照组中,各组样本例数可以相等,也可以不等,但相等时效率高。完全随机设计的优点是设计和统计分析方法简单易行;缺点是只分析一个因素,没有考虑各个体间的差异,因而要求同质性较好,否则,需扩大样本容量。

(2) 正交设计:是研究多因素多水平的一种设计方法,它是根据正交性从全面试验中挑选出部分有代表性的点进行试验,这些有代表性的点具备了“均匀分散、齐整可比”的特点,正交设计是分式析因设计的主要方法。

(3) 交叉设计:是在自身配对设计基础上发展起来的。该设计考虑了一个处理因素(A、B两水平),以及两个与处理因素无交互作用的非处理因素对试验结果的影响。

(4) 分式析因设计:是一种将两个或多个因素的各水平交叉分组,进行实验(或试验)的设计。它不仅可以检验各因素内部不同水平间有无差异,还可检验两个或多个因素间是否存在交互作用。若因素间存在交互作用,表示各因素不是独立的,一个因素的水平发生变化,会影响其他因素的实验效应;反之,若因素间不存在交互作用,表示各因素是独立的,任一因素的水平发生变化,不会影响其他因素的实验效应。分式析因设计是通过各因素不同水平间的交叉分组进行组合的。因此,总的实验组数等于各因素水平数的乘积。例如,两个因素各有3个水平时,实验组数为 $3^2 = 9$ ;4个因素各有2个水平时,实验组数为 $2^4 = 16$ 。所以,应用分式析因设计时,分析的因素数和各因素的水平数不宜过多。一般因素数不超过4,水平数不超过3。分式析因设计的优点是效率高,不仅能够分析各因素内部不同水平间有无差别,还具有分析各种组合的交互作用的功能。但缺点是与正交设计相比,属全面试验,因此,研究的因素数与水平数不宜过多。



# 第二部分

## 基础实验

---



# 实验一 废水悬浮物和浊度的测定

## 一、实验目的和要求

- (1) 掌握悬浮物和浊度的测定方法。
- (2) 实验前复习《环境监测》(第四版)第二章水中固体物和浊度的有关内容。

## 二、实验方法

### (一) 悬浮物的测定

#### 1. 原理

悬浮物系指截留在滤料上并于 103 ~ 105℃ 烘至恒重的固体。测定的方法是将水样通过滤料后,烘干固体残留物及滤料,将所称质量减去滤料质量,即为悬浮物(不可滤残渣)质量。

#### 2. 仪器

- (1) 烘箱。
- (2) 分析天平。
- (3) 干燥器。
- (4) 滤膜:孔径为 0.45  $\mu\text{m}$  的滤膜及相应的过滤器或中速定量滤纸。
- (5) 称量瓶:内径为 30 ~ 50 mm。

#### 3. 测定步骤

(1) 将滤膜放在称量瓶中,打开瓶盖,在 103 ~ 105℃ 烘箱内烘 0.5 h,取出,在干燥器内冷却后盖好瓶盖称量;反复烘干、冷却、称量,直至恒重(两次称量相差不超过 0.000 2 g)。

(2) 量取适量混合均匀的水样(使悬浮物量为 500 ~ 1 000 mg),使其全部通过称至恒重的滤膜;用蒸馏水洗涤残渣 3 ~ 5 次。

(3) 小心取下滤膜,放入原称量瓶内,在 103 ~ 105℃ 烘箱中,打开瓶盖烘 1 h,移入干燥器中冷却后盖好瓶盖称量。反复烘干、冷却、称量,直至两次称量差  $\leq 0.4$  mg 为止。



#### 4. 计算

$$\rho(\text{悬浮物, mg/L}) = \frac{(m_A - m_B) \times 10^6}{V}$$

式中:  $m_A$ ——悬浮物与滤膜及称量瓶的质量, g;

$m_B$ ——滤膜及称量瓶的质量, g;

$V$ ——水样体积, mL。

#### 5. 注意事项

(1) 树叶、木棒、水草等杂物应先从水样中除去。

(2) 废水黏度高时, 可加 2~4 倍蒸馏水稀释, 振荡均匀, 待沉淀物下降后再过滤。

(3) 也可采用石棉坩埚进行过滤。

#### (二) 浊度的测定

##### 1. 原理

浊度是表示水中悬浮物对光线透过时所发生的阻碍程度。水中含有泥土、粉沙、微细有机物、无机物、浮游动物和其他微生物等悬浮物和胶体物都可使水样呈现浊度。水的浊度大小不仅和水中存在颗粒物的含量有关, 而且和其粒径大小、形状、颗粒表面对光的散射特性有密切关系。测定浊度的方法有分光光度法、目视比浊法和浊度计法, 本实验采用目视比浊法。

将水样和硅藻土(或白陶土)配制的浊度标准溶液进行比较确定水样浊度。相当于 1 mg 一定粒度的硅藻土(或白陶土)在 1 000 mL 水中所产生的浊度称为 1 度。

##### 2. 仪器

(1) 具塞比色管: 100 mL。

(2) 容量瓶: 250 mL、1 000 mL。

(3) 具塞无色玻璃瓶: 250 mL, 玻璃质量和玻璃瓶直径均须一致。

(4) 量筒: 1 000 mL。

##### 3. 试剂

(1) 浊度标准溶液: 称取 10 g 通过 0.1 mm 筛孔(150 目)的硅藻土, 于研钵中加入少量蒸馏水调成糊状并研细, 移至 1 000 mL 量筒中, 加水至刻度。充分搅拌, 静置 24 h, 用虹吸法仔细将上层 800 mL 悬浮液移至第二个 1 000 mL 量筒中。向第二个量筒内加水至 1 000 mL, 充分搅拌后再静置 24 h。

虹吸出上层含较细颗粒的 800 mL 悬浮液弃去。下部沉积物加水稀释至 1 000 mL。充分搅拌后贮于具塞无色玻璃瓶中, 作为浊度原液, 其中含硅藻土颗粒直径约为 400  $\mu\text{m}$ 。

取上述浊度原液 50 mL 置于已恒重的蒸发皿中, 在水浴上蒸干。于 105℃