

环境科学与工程实验指南

李金城
李艳红 编
张 琴
张学洪 主审



**HUANJING KEXUE YU
GONGCHENG SHIYAN ZHINAN**

中国环境科学出版社

高等院校环境类系列教材

X-33
L180

环境科学与工程实验指南

李金城 李艳红 张 琴 编

张学洪 主审

X-33
1180

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

环境科学与工程实验指南/李金城, 李艳红, 张琴编. —北京: 中国环境科学出版社, 2009.12

ISBN 978-7-5111-0152-5

I. 环… II. ①李… ②李… ③张… III. ①环境科学—实验—指南 ②环境工程—实验—指南 IV. X-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 240985 号

责任编辑 刘 璐
责任校对 尹 芳
封面设计 龙文视觉

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
联系电话: 010-67112765 (总编室)
发行热线: 010-67125803

印 刷 北京市联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2009 年 12 月第 1 版
印 次 2009 年 12 月第 1 次印刷
开 本 787×960 1/16
印 张 16.5
字 数 280 千字
定 价 36.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

序

《环境科学与工程实验指南》针对环境工程与环境科学专业的实验教学要求，汇集了有关实验，并在实验体系建设等方面做了有益的探索，其中研究性和应用性的实验内容占全书内容的一半以上，这是本书的特色。

培养实践和创新能力是实验教学的目标，实验教材建设是实验教学建设的重要内容。十几年来，桂林理工大学环境工程学科在实验教学方面，依托广西环境工程中心实验室、广西壮族自治区环境工程重点学科的建设，以培养实践型和创新型人才为目标，对本科实验教学内容进行了探索，形成了具有创新特色的实验课程体系。

《环境科学与工程实验指南》是相关工作的结晶，包括了环境科学与工程要求的实验技能。另外，本书涉及了环境科学与工程的新技术，增加了综合性实验的比重，凸显了内容的典型性和实用性。

相信本书的出版，对环境科学和环境工程专业实验教学改革、人才培养，对学生实践能力和创新能力的提高起到积极的促进作用。

前 言

实验教学是大学教学的重要组成，也是提高学生动手和研究能力的重要途径。桂林理工大学环境工程中心重点实验室在十几年的本科、研究生教学经验的基础上，通过优化实验内容，增加综合性实验的比重，形成此书，进一步提高学生的实验能力、创新能力和理论联系实际的能力。本书列选实验内容涵盖环境监测、水污染控制工程、大气污染控制工程、环境化学、环境微生物与环境生态等。

参加本书编写的人员均为具有相当教学经验的教师：张力、李艳红、张琴、李金城、肖喻、梁美娜、梁延鹏、张萍、黄月群、钟雪梅、刘德深、刘辉利、游少鸿、刘杰、靳振江、宋波、于巧玲、朱义年、廖雷、成官文、王敦球等，在读研究生王芬、侯为贵、牛启桂等参与了部分文字图标录入工作，在此表示感谢。全书由张学洪主审、李金城统稿并最后定稿。

本书在编撰过程中，错误难免，望读者批评指正。

意见和建议，请通过下面方式与我们联系：

电子邮箱：lijch@glite.edu.cn

目 录

实验一 水样色度、浊度、酸度、碱度的测定	1
实验二 污水中油的测定	10
实验三 化学需氧量的测定——重铬酸钾法	15
实验四 五日生化需氧量 (BOD_5) 的测定	20
实验五 水质 高锰酸盐指数的测定 (国标法)	27
实验六 水中氨氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮的测定	32
实验七 水中总磷的测定 (钼酸铵分光光度法)	38
实验八 废水中酚类的测定	41
实验九 自来水中有机物的全分析	47
实验十 环境噪声监测	52
实验十一 沉积物中铜锌的形态分布	56
实验十二 底泥中磷的形态分析	60
实验十三 有机物质挥发速率的测定	65
实验十四 环境中有机物辛醇-水分配系数的测定	69
实验十五 气相色谱法测定农药残留量	72
实验十六 离子选择性电极法测定土壤中的氟	83
实验十七 土壤中镉的测定 (原子吸收分光光度法)	87
实验十八 土壤中微量砷的测定——AgDDC 光度法	90
实验十九 冷原子荧光法测定水、茶叶和土壤中的微量汞	93
实验二十 空气中二氧化硫的测定	97
实验二十一 室内空气中甲醛的测定	103
实验二十二 空气中氮氧化物的测定——盐酸萘乙二胺分光光度法	107

实验二十三	细菌菌落总数的测定	110
实验二十四	微生物的培养与镜检	114
实验二十五	水中总大肠菌群的测定（多管发酵法）	117
实验二十六	鱼类急性毒性试验监测废水废物毒性	122
实验二十七	应用 Ames 试验检测河水中致突变污染物	129
实验二十八	苯酚的微生物降解	138
实验二十九	污染物的生态毒理学实验	144
实验三十	应用 PCR 与基因 DNA 分子探针监测污染水体大肠杆菌	153
实验三十一	不同群落环境中生态因子的观测与测定	159
实验三十二	水体富营养化程度的评价	165
实验三十三	化学混凝实验	171
实验三十四	过滤实验	175
实验三十五	活性炭吸附实验	181
实验三十六	恒压膜过滤实验	186
实验三十七	中和-吹脱法处理废水	194
实验三十八	铁屑还原法除去废水中的六价铬	197
实验三十九	离子交换法处理含铜废水	200
实验四十	加压溶气气浮实验和厌氧消化实验	204
实验四十一	曝气设备充氧能力的测定	209
实验四十二	曝气生物滤池处理污水实验	216
实验四十三	污染物生物可降解性快速测定	220
实验四十四	膜生物反应器处理印染废水实验	225
实验四十五	序批式活性污泥法处理污水实验	233
实验四十六	上流式厌氧污泥床处理污水实验	239
实验四十七	废水好氧生物处理过程中氧的总转移系数的测定	244
实验四十八	光合细菌降解味精废水的反应动力学参数测定	251

实验一

水样色度、浊度、酸度、碱度的测定

天然和轻度污染水可用铂钴比色法测定色度，对工业有色废水常用稀释倍数法辅以文字描述。

I 色度测量

i. 铂钴比色法

水是无色透明的，当水中存在某些物质时，会表现出一定的颜色。溶解性的有机物、部分无机离子和有色悬浮微粒均可使水着色。

pH 值对色度有较大的影响，在测定色度的同时，应测量溶液的 pH 值。

一、原理

用氯铂酸钾与氯化钴配成标准色列，与水样进行目视比色。每升水中含有 1 mg 铂和 0.5 mg 钴时所具有的颜色，称为 1 度，作为标准色度单位。

如水样浑浊，则放置澄清，也可用离心法或用孔径为 $0.45\ \mu\text{m}$ 滤膜过滤以去除悬浮物，但不能用滤纸过滤，因滤纸可吸附部分溶解于水的颜色。

二、仪器和试剂

(1) 50 mL 具塞比色管，其刻线高度应一致。

(2) 铂钴标准溶液：称取 1.246 g 氯铂酸钾 (K_2PtCl_6)（相当于 500 mg 铂）及 1.000 g 氯化钴 ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)（相当于 250 mg 钴），溶于 100 mL 水中，加 100 mL 盐酸，用水定容至 1 000 mL。此溶液色度为 500 度，保存在密塞玻璃瓶中，存放暗处。

二、测定步骤

1. 标准色列的配制

向 50 mL 比色管中加入 0、0.50 mL、1.00 mL、1.50 mL、2.00 mL、2.50 mL、3.00 mL、3.50 mL、4.00 mL、4.50 mL、5.00 mL、6.00 mL 及 7.00 mL 铂钴标准溶液，用水稀释至标线，混匀。各管的色度依次为 0 度、5 度、10 度、15 度、20 度、25 度、30 度、35 度、40 度、45 度、50 度、60 度和 70 度。密塞保存。

2. 水样的测定

(1) 分取 50.0 mL 澄清透明水样于比色管中，如水样色度较大，可酌情少取水样，用水稀释至 50.0 mL。

(2) 将水样与标准色列进行目视比较。观察时，可将比色管置于白瓷板或白纸上，使光线从管底部向上透过液柱，目光自管口垂直向下观察，记下与水样色度相同的铂钴标准色列的色度。

四、计算

$$\text{色度} = A \times B$$

式中， A ——稀释后水样相当于铂钴标准色列的色度；

B ——水样的体积 (mL)。

五、注意事项

(1) 可用重铬酸钾代替氯铂酸钾配制标准色列。方法是：称取 0.043 7 g 重铬酸钾和 1.000 g 硫酸钴 ($\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)，溶于少量水中，加入 0.50 mL 硫酸，用水稀释至 500 mL。此溶液的色度为 500 度，不宜久存。

(2) 如果样品中有泥土或其他分散很细的悬浮物，虽经预处理而得不到透明水样时，则只测其表色。

ii. 稀释倍数法

一、原理

将有色工业废水用无色水稀释到接近无色时，记录稀释倍数，以此表示该水样的色度。并辅用以文字描述颜色性质，如深蓝色、棕黄色等。

二、仪器

50 mL 具塞比色管，其标线高度要一致。

二、测定步骤

(1) 取 100~150 mL 澄清水样置于烧杯中, 以白色瓷板为背景, 观察并描述其颜色种类。

(2) 分取澄清的水样, 用不同倍数水稀释, 分取 50 mL 分别置于 50 mL 比色管中, 管底部衬一白瓷板, 由上向下观察稀释后水样的颜色, 并与蒸馏水相比较, 直至刚好看不出颜色, 记录此时的稀释倍数。

II 浊度的测量

浊度是表现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、粉砂、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含量有关, 而且和其粒径大小、形状、颗粒表面对光散射特性有密切关系。

将水样和硅藻土(或白陶土)配制的浊度标准液进行比较。相当于 1 mg 一定黏度的硅藻土(白陶土)在 1 000 mL 水中所产生的浊度, 称为 1 度。

一、仪器

- (1) 100 mL 具塞比色管。
- (2) 1 L 容量瓶。
- (3) 750 mL 具塞无色玻璃瓶, 玻璃质量和直径均需一致。
- (4) 1 L 量筒。

二、试剂

浊度标准液的配制:

(1) 称取 10 g 通过 0.1 mm 筛孔(150 目)的硅藻土, 于研钵中加入少许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玻璃瓶中, 作为浑浊度原液。其中含硅藻土颗粒直径大约为 400 μm 。

取上述悬浊液 50 mL 置于已恒重的蒸发皿中, 在水浴上蒸干。于 105℃烘箱

内烘 2 h, 置干燥器中冷却 30 min, 称重。重复以上操作, 即烘 1 h, 冷却, 称重, 直至恒重。求出每毫升悬浊液中含硅藻土的重量 (mg)。

(2) 吸取含 250 mg 硅藻土的悬浊液, 置于 1 000 mL 容量瓶中, 加水至刻度, 摇匀。此溶液浊度为 250 度。

(3) 吸取浊度为 250 度的标准液 100 mL 置于 250 mL 容量瓶中, 用水稀释至标线, 此溶液浊度为 100 度的标准液。

在上述原液和各标准液中加入 1 g 氯化汞, 以防菌类生长。

三、测定步骤

1. 浊度低于 10 度的水样

(1) 吸取浊度为 100 度的标准液 0、1.0 mL、2.0 mL、3.0 mL、4.0 mL、5.0 mL、6.0 mL、7.0 mL、8.0 mL、9.0 mL 及 10.0 mL 于 100 mL 比色管中, 加水稀释至标线, 混匀。其浊度依次为 0 度、1.0 度、2.0 度、3.0 度、4.0 度、5.0 度、6.0 度、7.0 度、8.0 度、9.0 度、10.0 度的标准液。

(2) 取 100 mL 摇匀水样置于 100 mL 比色管中, 与浊度标准液进行比较。可在黑色底板上, 由上往下垂直观察。

2. 浊度为 10 度以上的水样

(1) 吸取浊度为 250 度的标准液 0、10 mL、20 mL、30 mL、40 mL、50 mL、60 mL、70 mL、80 mL、90 mL 及 100 mL 置于 250 mL 的容量瓶中, 加水稀释至标线, 混匀。即得浊度为 0 度、10 度、20 度、30 度、40 度、50 度、60 度、70 度、80 度、90 度和 100 度的标准液, 移入成套的 250 mL 具塞玻璃瓶中, 每瓶加入 1 g 氯化汞, 以防菌类生长, 密塞保存。

(2) 取 250 mL 摇匀水样, 置于成套的 250 mL 具塞玻璃瓶中, 瓶后放一有黑线的白纸作为判别标志, 从瓶前向后观察, 根据目标清晰程度, 选出与水样产生视觉效果相近的标准液, 记下其浊度值。

(3) 水样浊度超过 100 度时, 用水稀释后测定。

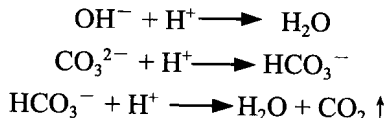
计算同上。

III 酸度和碱度的测量

酸度是指水中含有能与强碱发生中和作用的物质总量, 主要来自水样中存在的强酸和强酸弱碱盐等物质。酸度主要采用氢氧化钠标准溶液滴定。通常用甲基橙为指示剂滴定的酸度 (pH 4.3) 称为强酸度, 用酚酞为指示剂滴定的酸度 (pH

8.3) 称为总酸度。

碱度是指水中含有能与强酸发生中和作用的物质总量，主要来自水样中存在的碳酸盐、重碳酸盐及氢氧化物。碱度可用盐酸标准溶液进行滴定。其反应为



用酚酞为指示剂的滴定结果称酚酞碱度，表示氢氧化物已经中和， CO_3^{2-} 全部转化为 HCO_3^- 。以甲基橙为指示剂的滴定结果称总碱度。

酸度和碱度单位通常用 10^{-3} mol/L 表示。有些国家以碳酸钙 mg/L 表示。此时 1 mg/L 的酸度或碱度相当于 50 mg/L 的碳酸钙。

一、试剂

1. 碳酸钠标准溶液 (0.010 mol/L)

溶解 1.060 g 预先在 $270 \sim 300^\circ\text{C}$ 干燥后恒重的基准无水碳酸钠，转入 1000 mL 容量瓶中，用无 CO_2 的水（煮沸后的冷却水）稀释至刻线。

2. 盐酸标准溶液 (约 0.020 mol/L)

用水稀释 8.3 mL 浓盐酸至 1000 mL ，得 0.1 mol/L 储存溶液。取此溶液 200 mL 用无 CO_2 的水稀释至 1000 mL ，并用碳酸钠标准溶液标定其精确浓度，以 C_{HCl} 表示。

3. 氢氧化钠标准溶液 (0.020 mol/L)

用无 CO_2 的水稀释 20.0 mL ， 1 mol/L 氢氧化钠至 1000 mL 。用盐酸标准溶液（约 0.020 mol/L ）对其标定，以 C_{NaOH} 表示。

4. 改良的甲基橙溶液 (0.1%)

称取甲基橙 1.0 g ，用 500 mL 水溶解，另称 1.8 g 蓝色染料二甲苯赛安路 FF 用 500 mL 乙醇溶解，然后将两种试剂混合均匀。一定体积下的 0.1 mol/L 氢氧化钠溶液加 2 滴指示剂，再用 0.1 mol/L 盐酸滴定，检查是否有鲜明的色度，如终点呈蓝灰色，可滴加 0.1% 甲基橙少许，如终点呈灰绿色带有红色，可滴加少许蓝色染料，直至有敏锐的终点（从绿色变为淡灰色）。

5. 酚酞指示剂 (0.5%)

称取酚酞 0.5 g 溶于 50 mL 95% 乙醇，再用水稀释至 100 mL 。

二、步骤

1. 总酸度

取 100 mL 摇匀水样置于 250 mL 锥形瓶中，加两滴酚酞，以 0.020 0 mol/L 氢氧化钠溶液滴定至溶液粉红色不褪，准确读出消耗的氢氧化钠溶液的毫升数 (V_1)。

2. 强酸酸度

取 100 mL 摇匀水样置于 250 mL 锥形瓶中，加两滴改良甲基橙，用氢氧化钠溶液滴定至溶液变为绿色，准确读出消耗的氢氧化钠溶液的毫升数 (V_2)。

3. 碱度的测定

取 100 mL 摇匀水样置于 250 mL 锥形瓶中，加两滴酚酞，以盐酸标准溶液（约 0.020 0 mol/L）滴定至溶液粉红色刚褪去，准确读出消耗的盐酸溶液的毫升数 (V_3)。随后加入两滴改良甲基橙，继续用盐酸滴定至溶液由绿色变为灰色，准确读出消耗的盐酸溶液的毫升数 (V_4)。

三、数据处理

1. 酸度

$$\text{总酸度 (10}^{-3} \text{ mol/L)} = \frac{1000 \times C_{\text{NaOH}} \times V_1}{V_{\text{样品毫升数}}}$$

$$\text{强酸酸度 (10}^{-3} \text{ mol/L)} = \frac{1000 \times C_{\text{NaOH}} \times V_2}{V_{\text{样品毫升数}}}$$

若以碳酸钙 mg/L 为酸度单位计算则要将上述结果乘以 50。

2. 碱度

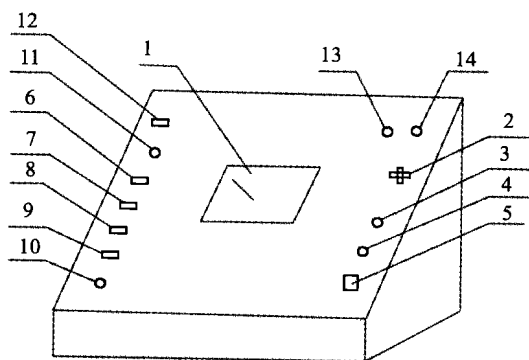
$$\text{酚酞碱度 (10}^{-3} \text{ mol/L)} = \frac{1000 \times C_{\text{HCl}} \times V_3}{V_{\text{样品毫升数}}}$$

$$\text{总碱度 (10}^{-3} \text{ mol/L)} = \frac{1000 \times C_{\text{HCl}} \times (V_4 \times V_3)}{V_{\text{样品毫升数}}}$$

若以碳酸钙 mg/L 表示单位计算则要将上述结果乘以 50。

附录 PHS—2 型酸度计使用说明

一、仪器面板示意图



1—指示表；2—pH—mV 分挡开关；3—校正调节器；4—定位调节器；5—读数开关；6—电源开关；7—pH 按键；8—+mV 按键；9—-mV 按键；10—零点调节器；11—温度补偿器；12—电源指示灯；13—甘汞电极接线柱；14—玻璃电极接线柱

图 1-1 PHS—2 型酸度计面板示意图

二、仪器的使用方法

1. 电极安装

把电极夹子夹在电极杆上，装上甘汞电极和玻璃电极，将玻璃电极插头插在 14 插孔内，旋紧小螺丝，将甘汞电极引线接在 13 接线柱上。应注意的是甘汞电极的陶瓷芯端必须稍低于玻璃电极的玻璃球泡，以免搅拌时碰坏玻璃球泡。新使用的或长期不用的玻璃电极，在使用前应在蒸馏水中浸泡 48 h，甘汞电极在使用前应拔去上面的橡皮塞和下面的橡皮套，以保持液位差，使用完毕再套上。

2. pH 值的测定

仪器的校正：

- (1) 按下按键 7，使仪器预热 30~60 min。
- (2) 用温度计测量被测溶液的温度，调节“温度补偿器 11”在该温度值。
- (3) 将“分挡开关 2”拨在 6，调节“零点调节器 10”，使指针指“1”。
- (4) 将“分挡开关 2”拨至校正位置，调节“校正调节器 3”，使指针指在满刻度。

(5) 重复 (3)、(4) 两个步骤, 进一步校正。

(6) 将分挡开关拨至 6 位置, 此时校正器不可再动。

仪器的定位:

(1) 在小烧杯中放入缓冲溶液, 置搅拌器上, 放入搅拌子。将电极插入烧杯中, 启动搅拌器, 使转速适中。

(2) 按下“读数开关 5”。

(3) 调节“定位器 4”, 使指针指在该温度下的 pH 值上, (分挡开关的指示数与表针指示数的和) 此时定位器不要再用。

(4) 放开“读数开关”, 取出电极, 拿下缓冲溶液。

(5) 用蒸馏水冲洗电极头, 用滤纸吸干。

测量:

(1) 将被测溶液放在搅拌器上, 放入搅拌子, 将电极插入被测溶液中, 启动搅拌器。

(2) 按下读数开关 5, 调节分挡开关 2, 使指针指在表头的刻度范围内, 记录指示值。

(3) 放开读数开关, 抬高电极, 取下被测溶液, 清洗电极。

3. 电位测定

(1) +mV 玻璃电极插头接负, 甘汞电极接正。

校正:

① 按下+mV 按键 8, 分挡开关置“0”位置。

② 调节零位调节器 10, 使指针指“1”。

③ 将分挡开关置校正。

④ 调节校正调节器使指针满刻度。

⑤ 将分挡开关置“0”位置。

测量:

① 拔出玻璃电极插头, 按下读数开关。

② 调节定位器 4, 使指针在表头左刻度“0”点。

③ 插入玻璃电极插头, 调节分挡开关使读出指示值。

(2) -mV 电极接法同+mV, 按下-mV 按键, 可直接进行以下步骤:

① 拔出玻璃电极插头, 按下读数开关。

② 调节定位器使指针在表头右刻度“0”点。

③ 插入玻璃电极, 调节分挡开关, 使读出指示值。

二、注意事项

如测定水样的真色，应放置澄清取上清液，或用离心法去除悬浮物后测定；如测定水样的表色，待水样中的大颗粒悬浮物沉降后，取上清液测定。

实验二

污水中油的测定

I 重量法

一、原理

以硫酸酸化水样，用石油醚萃取矿物油，蒸除石油醚后，称其重量。

此法测定的是酸化样品中可被石油醚萃取的且在试验过程中不挥发的物质总量。溶剂去除时，使得轻质油有明显损失。由于石油醚对油有选择地溶解，因此，石油的较重成分中可能含有不为溶剂萃取的物质。

二、仪器

- (1) 分析天平。
- (2) 恒温箱。
- (3) 恒温水浴锅。
- (4) 1 000 mL 分液漏斗。
- (5) 干燥器。
- (6) 直径 11 cm 中速定性滤纸。

三、试剂

- (1) 石油醚：将石油醚（沸程 30~60℃）重蒸馏后使用。100 mL 石油醚的蒸干残渣不应大于 0.2 mg。
- (2) 无水硫酸钠：在 300℃ 马弗炉中烘 1 h，冷却后装瓶备用。
- (3) 1+1 硫酸。