

中国气象局 南京信息工程大学共建项目资助精品教材

江苏省大气环境与装备技术协同创新中心资助

江苏高校品牌专业建设工程资助

HUANJING JIANCE ZONGHE SHIYAN

环境监测综合实验

赵晓莉 徐建强 陈敏东 / 编著



气象出版社
China Meteorological Press

中国气象局 南京信息工程大学共建项目资助精品教材
江苏省大气环境与装备技术协同创新中心资助
江苏高校品牌专业建设工程资助

环境监测综合实验

赵晓莉 徐建强 陈敏东 编著



 气象出版社
China Meteorological Press

内 容 简 介

《环境监测综合实验》是在近年来环境工程、环境科学等学科长足发展,新理论、新技术不断涌现,对教学内容和要求不断提高,尤其是实验教学对培养学生动手能力和创新能力提出更高要求的背景下,根据学科发展水平和教学内容组织编写的。

全书共分八章,包括绪论、实验设计与数据处理、水环境监测实验、大气环境监测实验、土壤环境监测实验、生物类环境监测实验、环境物理污染监测实验、综合性与设计性实验。这些实验紧密围绕着国家重大需求,是在优化环境监测实验课程及实验内容的要求下编写的。

本书可作为高等院校环境类专业本科生或研究生的专业教材,也可为环境及相关领域的同行提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

环境监测综合实验 / 赵晓莉, 徐建强, 陈敏东编著. — 北京 : 气象出版社, 2016.6

ISBN 978-7-5029-6356-9

I. ①环… II. ①赵…②徐…③陈… III. ①环境监测-实验
IV. ①X83-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 122151 号

HUANJING JIANCE ZONGHE SHIYAN

环境监测综合实验

出版发行: 气象出版社

地 址: 北京市海淀区中关村南大街 46 号

邮政编码: 100081

电 话: 010-68407112(总编室) 010-68409198(发行部)

网 址: <http://www.qxcbs.com>

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

责任编辑: 黄红丽 马 可

终 审: 邵俊年

责任校对: 王丽梅

责任技编: 赵相宁

封面设计: 博雅思企划

印 刷: 三河市百盛印装有限公司

开 本: 720 mm×960 mm 1/16

印 张: 22.5

字 数: 454 千字

版 次: 2016 年 8 月第 1 版

印 次: 2016 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 58.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换

前 言

环境科学与工程专业是建立在实验技术基础上的专业。根据国家对环境类专业的实验技能要求,环境类专业必须开设环境监测实验。我们总结了多年综合实验、创新实验的教学实践经验,在编写中着力于理论联系实际,并在设计和创新实验中将实验、学习、实训相结合,其目的是提高学生综合运用知识和解决实际问题的能力,提高动手和科研能力,增强学生创新能力和就业能力。

本教材共包括八章,基本内容有:绪论、实验设计和质量保证、水环境监测实验、大气环境监测实验、土壤环境监测实验、生物类环境监测实验、环境物理污染监测实验、综合性与设计性实验。本书在编排上采用了分类独立撰写,每个实验项目具有完整性、实用性、独立性。在进行综合实验和设计性实验时可以根据需求对实验进行组合与应用。

本教材在编写风格上进行了改革,强调学生在理解实验原理的基础上做到“三会”,即会选择仪器、会配制试剂和会进行计算,让学生参与实验教学全过程,通过教学使学生真正掌握环境科学的相关实验技术,又好又快地完成实验任务。

本教材将环境监测、环境工程、环境微生物学、实验设计、实验数据处理等融为一体,可以作为环境类本科生或研究生的实验指导书,设计性、创新性实验的参考书,也可作为环境科学研究人员的参考手册。

第二章、第五章、第六章、第七和第八章由赵晓莉编写,第一章、第三章和第四章由徐建强编写,常钰、方涵、陆鑫鑫参与了部分工作,陈敏东和赵晓莉对全书进行统稿。

本教材的出版得到中国气象局-南京信息工程大学共建项目、江苏省大气环境与装备技术协同创新中心、江苏高校品牌专业建设工程、南京信息工程大学教材建设基金项目共同资助,在此深表感谢!并对本书编写中参阅过的著作、文献资料作者表示感谢!同时也感谢审稿、编审过程的各位老师!

由于编者水平有限,不足之处在所难免,敬请读者提出批评和建议,以便加以修正,使教材内容进一步提高和完善。

作者

2015年12月

目 录

前 言

第一章 绪论	(1)
第一节 环境监测综合实验技术的意义	(1)
第二节 环境监测综合实验的目的	(2)
第三节 环境监测综合实验教学要求	(2)
第四节 环境监测综合实验常用仪器及实验方法	(4)
第二章 实验设计与数据处理	(13)
第一节 实验设计的基本原则	(13)
第二节 实验方案的设计制定	(14)
第三节 实验室质量保证	(15)
第三章 水环境监测实验	(21)
实验 1 水样 pH 值的测定(玻璃电极法)	(21)
实验 2 水样色度的测定(稀释倍数法)	(25)
实验 3 水中悬浮物(SS)的测定(重量法)	(29)
实验 4 水样电导率的测定	(32)
实验 5 水中溶解氧(DO)的测定(碘量法)	(36)
实验 6 水体化学需氧量(COD)的测定(重铬酸钾法)	(42)
实验 7 水体生化需氧量(BOD ₅)的测定(稀释接种法)	(48)
实验 8 水中氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐的测定	(55)
8-1 水中氨氮的测定(纳氏试剂法)	(55)
8-2 水体中硝酸盐氮的测定(紫外分光光度法)	(61)
8-3 水体亚硝酸盐的测定	(66)
实验 9 水样总磷的测定(钼锑抗分光光度法)	(70)
实验 10 水中挥发酚类的测定(4-氨基安替比林分光光度法)	(76)
实验 11 水中铬的测定(总铬)(二苯碳酰二肼分光光度法)	(83)

实验 12	天然水体酸度和碱度的测定	(88)
实验 13	天然水硬度的测定(EDTA 滴定法)	(96)
实验 14	水中氟化物的测定	(102)
实验 15	天然水中水溶性阴离子的测定	(107)
实验 16	水体中 TOC 的测定(非色散红外吸收法)	(113)
实验 17	水中的正构烷烃测定(气相色谱法)	(118)

第四章 大气环境监测实验

(124)

实验 18	空气中总悬浮颗粒物(TSP)的测定(重量法)	(124)
实验 19	大气中可吸入颗粒物的测定	(129)
实验 20	空气中可沉降颗粒物的测定(重量法)	(132)
实验 21	大气中 CO 的测定(非色散红外吸收法)	(136)
实验 22	大气中氮氧化物(NO_x)的测定(盐酸萘乙二胺分光光度法) ...	(139)
实验 23	大气中 SO_2 的测定(盐酸副玫瑰苯胺分光光度法)	(145)
实验 24	空气中总挥发性有机物(TVOC)的测定	(154)
实验 25	空气中甲醛的测定(酚试剂法)	(160)
实验 26	大气中多环芳烃(苯并[a]芘)的测定	(165)
实验 27	空气中苯系物的测定(气相色谱法)	(171)

第五章 土壤环境监测实验

(179)

实验 28	土壤中有机质的测定(化学氧化法)	(179)
实验 29	土壤 pH 的测定	(183)
实验 30	土壤中阳离子交换容量的测定	(187)
实验 31	土壤中总氮和总磷的测定	(190)
实验 31-1	土壤中总氮的测定	(190)
实验 31-2	土壤中总磷的测定(氢氧化钠熔融-钼锑抗比色法)	(195)
实验 32	土壤中多环芳烃的测定(高效液相色谱法)	(200)
实验 33	土壤中总铬的测定(火焰原子吸收分光光度法)	(205)
实验 34	土壤中镉的测定(石墨炉原子吸收分光光度法)	(210)
实验 35	土壤中总砷的测定(硼氢化钾-硝酸银分光光度法)	(214)
实验 36	土壤中农药 DDT 的测定(气相色谱法)	(220)
实验 37	头发中汞含量的测定(冷原子吸收法)	(225)
实验 38	土壤对铜的吸附实验(原子吸收光谱法测定)	(229)
实验 39	粗盐中铅含量的测定(原子荧光光谱法)	(235)

第六章 生物类环境监测实验	(241)
实验 40 水中细菌数量的测定(平板法)	(241)
实验 41 水中大肠杆菌的测定(多管发酵法)	(245)
实验 42 食品中细菌总数和菌落总数测定	(252)
实验 43 动物血液中铅的测定(石墨炉原子吸收分光光度法)	(257)
实验 44 植物组织中硝酸盐含量的测定(水杨酸法)	(261)
实验 45 室内空气中细菌的含量测定(菌落计数器法)	(265)
第七章 环境物理污染监测实验	(269)
实验 46 城市区域环境噪声的测定	(269)
实验 47 驻波管法吸声材料垂直入射吸声系数的测量	(273)
实验 48 混响室法吸声材料无规入射吸声系数的测量	(277)
实验 49 环境振动的测定	(281)
第八章 综合性与设计性实验	(284)
实验 50 校园池塘水质监测方案设计	(284)
实验 51 校园大气环境监测方案的设计	(289)
实验 52 农田土壤重金属的环境活性评价	(295)
实验 53 高效液相色谱法测定饮料中的苯甲酸	(298)
实验 54 植物中有机农药残留的测定	(302)
实验 55 土壤环境监测方案及质量评价	(307)
实验 56 牛奶中铜含量的测定	(312)
56-1 铜的原子吸收光谱分析	(312)
56-2 石墨炉原子吸收分光光度法测定牛奶中铜	(316)
实验 57 废水中苯系化合物的测定	(320)
实验 58 污水和废水中油的测定	(323)
实验 59 硫酸-磷酸混合酸电位的测定	(327)
实验 60 电导滴定法测定食醋中乙酸的含量	(334)
实验 61 分光光度法测定双组分混合物	(338)
实验 62 苯甲酸的红外光谱测定	(345)
主要参考书目	(349)

第一章 绪论

环境科学所研究的环境,通常指的是自然环境,即人类赖以生存和发展的各种物质条件的综合体。自然环境根据介质的不同通常划分为大气、水体、土壤、生物等环境要素。在人类的生产生活活动过程中,自然环境以固有的规律运动着,同时不断地反作用于人类而产生各种环境问题。环境科学是在 20 世纪 50 年代环境问题日益严重的背景下诞生的。目前环境问题按起因可分为三类,一是由各种化学物质引起的化学类环境问题;二是由微生物、寄生虫等生物类环境问题;三是由噪声、振动、热、光、辐射、放射性等引起的物理类环境问题。本教材就引起三类环境问题的物理、化学及生物指标的测定原理和方法进行专题探讨。同时在教材的编写风格上进行了改革,强调学生在理解实验原理的基础上做到“三会”,即会选择仪器、会配制试剂和会进行计算,让学生参与实验教学全过程,通过教学使学生真正掌握环境科学的相关实验技术,又好又快地完成实验任务。

第一节 环境监测综合实验技术的意义

环境类的许多专业课程都是以实验为基础的,例如环境化学、环境监测、环境工程学、环境评价等,而这些专业课程又是紧密联系的。单独的课程实验不能将学生所学的专业课程有效联系、贯穿。在课程设置时适当的增加综合性实验,有利于综合运用所学的基本知识,去解决实际的环境问题。

环境监测综合实验的内容和范围可大可小。“小”是指一类实验项目包括多个小的实验项目。例如,水体的监测,包括 pH、碱度和硬度、COD、BOD、硝酸盐、硫酸盐等不同指标的分析测试。“大”就是指对不同类的实验项目进行综合。例如,要进行校园环境质量评价,评价内容包括水体、大气、噪声等不同环境要素。评价的第一手数据,来源于环境监测,仅就大气环境监测而言,学生首先根据校园的大气环境监测特点,设计实验方案、布设大气采样监测点、准备实验所需试剂,然后进行监测点位采样(组员配合准备采样试剂、搭建大气采样仪器、进行采样,同时记录采样过程的相关参数)、样品的实验室分析测试、数据结果分析等一系列的综合性实验过程。对水体、大气、噪声不同环境要素监测的数据统一处理分析,再选用合适的环境质量评价模型

进行质量评价,由此得出整个校园的大气、水体、噪声的环境质量概况。因此,环境实验中没有孤立存在的实验,都是相互联系、相互支持的。

环境监测综合性、设计性实验可以使学生理论联系实际,培养学生观察问题、分析问题、解决问题的能力,可以结合大学生实训训练计划或者结合毕业设计、毕业论文来进行。

第二节 环境监测综合实验的目的

实验教学使学生能够理论联系实际,培养学生观察问题,分析问题和解决问题的能力。《环境监测综合实验》是为环境科学与环境工程专业提供的实验教材,包括基本的环境监测实验、水质分析化学实验、环境化学实验等,通过实验研究解决以下一些问题:

(1)使学生理解一些基本仪器的使用和维护,初步掌握环境学科实验研究的基本方法和技能。

(2)使学生获得直接的感性认识,加深学生对环境化学、环境生物、环境监测及环境污染控制及评价的基本概念的理解和巩固。

(3)通过实验预习,具体操作,特别是一些综合性实验的训练,学生能够了解如何查阅资料、设计基本实验方案、配置试剂、熟悉仪器的基本操作、动手实验、观察现象、记录实验数据、推测预期结果及总结实验过程,提高学生分析、解决问题的能力。

(4)通过实验数据的整理,明确实验数据的分析技术,包括收集实验数据、正确分析和归纳实验数据,运用实验数据解释环境科学问题。有利于培养学生严谨、去伪存真、实事求是的研究习惯和科学素养。

第三节 环境监测综合实验教学要求

一、实验课前的预习

要求学生课前预习将要进行的实验,明白实验的目的和要求,熟悉实验所涉及的仪器和试剂、基本原理、反应方程式,思考实验过程可能存在的问题、预期结果及准备向教师提问的问题,准备好实验记录表。实验之前要将预习报告交给指导教师。

二、实验的设计

在实验设计过程,小组成员需查阅参考资料,明确实验的基本原理、化学反应方程式,实验基本步骤,所需要的试剂及仪器,拟定实验计划(包括采样、样品处理、试剂配制、所需仪器及仪器的原理和使用)及实验详细的步骤(关系到后面的实际操作可行性)。

对于综合性实验,实验设计也是实验研究的重要环节,是获得理想实验结果的重要保证。综合性实验的实验设计,最好有小组讨论,老师指导,使设计的实验具有一定的可行性和操作性,有利于后期的实验顺利进行。

三、实验的操作

(1)课堂上先听取老师讲解实验过程,实验所需试剂、仪器,实验步骤及注意问题要点。

(2)学生开始实验前,应该仔细检查实验所需试剂,实验设备、仪器仪表是否完整齐全。实验时按照老师讲解的过程或自己制定的实验步骤,进行实验的具体操作,严格遵守操作规程,独立或者合作完成规定实验内容,仔细观察实验现象,认真做好实验记录。

(3)实验结束后,要将实验设备及仪器恢复原状,将周围环境整理干净,养成严谨、良好的工作学习习惯。

四、实验的数据处理

通过实验获取了大量的实验数据,要认真整理、分析实验数据,去伪存真,去粗取精,通过计算或作图分析,得出实验数据结论,分析实验结果的意义。

五、实验结果讨论

将实验的整体过程整理成一份实验报告,这是实验教学不可缺少的一部分。实验报告内容一般包括:实验目的,简明实验原理,所用仪器设备及实验装置,实验基本步骤,实验现象及实验数据,实验结果解释与分析讨论(根据实验的现象及实验中存在的问题进行讨论,分析其中存在的因果关系)。对于综合性实验,总结分析本次实验存在的问题及后续实验过程的注意事项,最后要列出参考文献。

按教师规定的时间和要求,完成实验报告交指导教师批改。

第四节 环境监测综合实验常用仪器及实验方法

一、环境科学研究仪器

(一) 基础测量仪器

1. 体积测量仪器

环境科学实验研究中经常涉及体积测量仪器的使用,如试样溶液体积的测量、试剂配制过程溶液体积的控制、化学反应过程试剂用量的控制等。根据仪器的准确度的不同,把体积测量仪器分为两类:一类为非容量器皿,如烧杯、量筒、锥形瓶、滴管等,使用这类器皿能粗糙地控制或量取液体的体积。另一类为容量器皿,如容量瓶、移液管(含吸量管)、滴定管等,使用这类器皿能精确地控制或量取液体的体积。其中容量瓶用于准确配制一定体积溶液,移液管用于准确量取一定体积溶液,滴定管用于滴定分析中控制滴定剂体积。

2. 称量仪器

环境科学实验研究中涉及的称量仪器有两种,一种是台秤,另一种是分析天平。称量仪器的灵敏度通常用感量来表示,感量是指使天平在平衡位置产生一个分度变化所需要的物体的质量。不同的称量仪器有不同的灵敏度从而有不同的准确度。使用称量仪器不能超出其最大称重数值。分析天平通常要求在干燥避光的室内,同时要求放置在稳固的桌面上使用。通常固体试样和基准物质要用分析天平称量,而一般实验用试剂只要用台秤称量即可。

(二) 专业测量仪器

环境样品具有组成复杂(不仅有待测组分,还有各种干扰组分)、待测组分浓度低的特点,通常需要专业测量仪器才能实现定性和定量分析。以下就本教材出现的一些专业测量仪器的功能做简单介绍。

1. 酸度计

酸度计用于测量溶液酸度(pH 值)或电位的仪器。实验时需有配套的指示电极和参比电极方可使用。

2. 电导率仪

电导率仪是测量溶液电导率的实验仪器,实验时需要有配套的电导电极方可使用。电导率是衡量溶液导电能力的一个物理量。

3. 紫外-可见分光光度计

紫外-可见分光光度计用于在紫外(波长 200~380 nm)或可见光(波长 380~760 nm)范围内有吸收的物质的定性、定量分析的仪器。实验时通过绘制吸收曲线($A-\lambda$ 关系曲线)进行定性分析,通过制作标准曲线($A-c$ 关系曲线)进行定量分析。

4. 红外分光光度计

红外分光光度计主要用于在中红外区域(波长 2.5~25 μm)有吸收的有机化合物的结构鉴定。实验中通常以波长 λ (nm)或波数 σ (cm^{-1})为横坐标,以透光率 $T(\%)$ 或吸光度 A 为纵坐标绘制红外吸收光谱图。通过红外谱图的解析可以判断分子中存在的官能团的种类。

5. 原子吸收分光光度计

原子吸收分光光度计能直接测定 70 多种金属或准金属元素,在一定条件下也可间接测定一些非金属元素。测定不同的元素需用不同的元素灯(即空心阴极灯)。

6. 原子荧光分光光度计

原子荧光分光光度计用于各种样品中 As、Sb、Bi、Se、Te、Ge、Sn、Pb、Zn、Cd、Hg 等 11 种元素的定量分析。测定不同的元素需用不同的元素灯(即空心阴极灯)。

7. 气相色谱仪

气相色谱仪用于低沸点、易挥发、热稳定性高的无机、有机化合物的分离及定性、定量分析。色谱分析法可用于多组分样品的分析测定,不同类型的组分需要不同类型的固定相和流动相来使它们实现分离,同时需要不同类型的检测器才能实现检测。

8. 液相色谱仪

液相色谱仪用于高沸点、难挥发、热稳定性低的无机、有机化合物的分离及定性、定量分析。针对不同类型的组分同样需要不同类型的固定相和流动相来使它们实现分离。同时需要不同类型的检测器才能实现分析测定。

9. 离子色谱仪

离子色谱仪主要用于离子型化合物的分离及定性、定量分析。从方法的角度来讲,它是一种特殊的液相色谱法,针对阳离子和阴离子的分析,需要不同的色谱柱来完成检测。

二、环境科学分析测试方法

不同的环境样品、不同待测组分含量的环境样品、不同的污染形式需要选择不同的分析测试方法才能得到可靠的分析结果。以下就环境样品分析测试方法做简单分类和介绍。

(一)化学分析法

化学分析法是利用物质的化学反应来获得物质组成、含量、结构及相关信息的分

析方法。主要用于环境样品中常量组分(待测组分含量在1%以上)的分析测定,包括重量分析法和滴定分析法。

(二) 仪器分析法

仪器分析法是根据物质的物理性质或物理化学性质来获得物质组成、含量、结构及相关信息的分析方法。主要用于环境样品中微量组分(待测组分含量在0.01%~1%范围)以及痕量组分(待测组分含量在0.01%以下)的分析测定。需要有专业的测量仪器方可完成分析测量工作,常用仪器分析方法分为三类。

1. 电化学分析法

电化学分析法是根据溶液的电学性质(如电位、电导、电流、电量等)和化学性质(如溶液的组成、浓度等),通过传感器——电极来测定被测物浓度的仪器分析方法。常用仪器有酸度计、电位滴定仪、电导率仪、极谱仪等。

2. 色谱分析法

色谱分析法是基于不同的被测组分在两相间的分配系数(与被测组分在固定极上的吸附能力、溶解能力、亲和能力有关)的不同来实现分离,通过检测器进行测量的仪器分析方法。常用仪器有气相色谱仪、液相色谱仪、离子色谱仪等。

3. 光谱分析法

光谱分析法是基于物质与电磁辐射的相互作用而建立起来的一类仪器分析方法。常用仪器有可见分光光度计、紫外-可见分光光度计、红外分光光度计、原子吸收分光光度计、原子荧光分光光度计、分子荧光分光光度计等。

(三) 生物监测法

生物监测法是通过分析环境介质中生物个体、种群或群落的变化来判断环境污染或变化对生物体影响的分析方法,如生物群落法、细菌学检验法、生物毒性实验等。

(四) 物理性污染监测

物理性污染监测是通过分析噪声、电磁辐射、放射性等物理指标的强度来判断物理性污染对人体影响的分析方法,如噪声监测、放射性监测等。

三、环境样品浓度表示方法

(一) 固体试样

土壤、固体废弃物等固体试样通常用质量分数浓度来表示待测组分的含量,其定义式可表示为:

$$\text{质量分数浓度} = \frac{\text{待测组分质量}}{\text{试样质量}} \times 100\% \quad (\text{或} \times 10^6 \text{ ppm 或} \times 10^9 \text{ ppb 或} \times 10^{12} \text{ ppt})$$

(1-1)

式中 ppm、ppb、ppt 并非单位(下同)。

(二) 液体试样

天然水体、废水等液体试样通常用体积质量浓度来表示待测组分的含量,其定义式可表示为:

$$\text{体积质量浓度} = \frac{\text{待测组分质量}}{\text{液体试样体积}} \quad (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}, \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ 或 } \text{ng} \cdot \text{L}^{-1}) \quad (1-2)$$

对于水样,当待测组分含量很小时, $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 相当于 1 ppm, $1 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 相当于 1 ppb, $1 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$ 相当于 1 ppt。

(三) 气体试样

空气、废气等气体试样通常有两种浓度表示方法,即体积质量数浓度和体积分数浓度。

i 组分的体积质量数浓度定义式为:

$$c_i = \frac{\text{待测组分质量}}{\text{气体试样体积}} \quad (1-3)$$

c_i 单位可以为 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 、 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 、 $\text{ng} \cdot \text{m}^{-3}$ 等。

i 组分的体积分数浓度定义式为:

$$A_i = \frac{\text{待测组分分体积}}{\text{气体试样体积}} \times 100\% \quad (\text{或} \times 10^6 \text{ ppm 或} \times 10^9 \text{ ppb 或} \times 10^{12} \text{ ppt}) \quad (1-4)$$

式中,分体积是指组分气体与气体试样(混合气体)具有相同温度、相同压强时所具有的体积。

需要注意的是,即使在气体试样中各组分不发生反应的情况下,体积质量数浓度也不具有守恒性,会因为气体试样的压强或温度的改变而发生改变;而体积分数浓度具有守恒性,不会因为压强或温度的改变而发生变化。

对于不同的气体试样,为使测定结果具有可比性,需要将体积质量数浓度换算到同样状态(如标准状况:压强 101325 Pa,温度 273 K)进行比较。

设 i 待测组分的摩尔质量为 M_i ,在标准状况下,当 i 待测组分体积分数浓度 A_i 以 ppm 表示,体积质量数浓度 c_i 以 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 为单位时,两者之间的转化关系为:

$$A_i = \frac{c_i}{M_i} \times 22.4 \quad (1-5)$$

四、试剂配制

(一) 试剂纯度与等级

化学试剂在环境科学实验中是一种不可缺少的物质,不同等级的试剂其纯度、价格、用途等都有所不同。表 1-1 给出了我国化学试剂的等级及用途。试剂的选择直接影响分析结果的准确度,在环境科学的分析实验中,一级试剂常用于配制标准溶液,二级试剂常用于配制一般反应应用试剂。

表 1-1 我国化学试剂的等级对照表

等级	一级试剂	二级试剂	三级试剂	四级试剂
中文标志	优级纯	分析纯	化学纯	实验纯
符号	G. R	A. R	C. P	L. R
标签颜色	绿色	红色	蓝色	黄或棕色
纯度描述及用途	主成分含量很高、纯度很高。用于精密分析和研究。	主成分含量很高、纯度较高,干扰杂质很低。用于一般分析及研究。	主成分含量高、纯度较高,存在干扰杂质。用于定性化学实验和合成制备。	主成分含量高,纯度较差,杂质含量不做选择。只适用于一般化学实验和合成制备。

(二) 实验室用水

1. 纯水的指标

在环境科学实验中,水是不可缺少的一种物质,洗涤仪器、配制试剂等都需要用到大量的水,根据任务及要求的不同,对水的纯度的要求也不同。对于一般性分析工作,采用蒸馏水或去离子水即可;对于微量组分甚至痕量组分的分析则需要高纯度的“超纯水”。表 1-2 给出了不同等级的纯水指标。

表 1-2 纯水的等级及指标

等级		I	II	III	IV
指标	可溶性物质/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	<0.1	<0.1	<0.1	<2.0
	电导率($25\text{ }^{\circ}\text{C}$)/ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$	<0.06	<1	<1	<5.0
	电阻率($25\text{ }^{\circ}\text{C}$)/ $\text{M}\Omega \cdot \text{cm}$	>16.66	>1.0	>1.0	>0.2
	pH($25\text{ }^{\circ}\text{C}$)	$6.8 \sim 7.2$	$6.6 \sim 7.2$	$6.5 \sim 7.5$	$5.0 \sim 8.0$
	KMnO_4 显色 持续时间(最小)/min	>60	>60	>10	>10

表中 KMnO_4 显色持续时间是指用这种水配制 $c(\text{KMnO}_4) = 0.002 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 溶液的显色时间,反映了水中还原性杂质含量的高低。

2. 纯水的制备

纯水的制备就是将原水中可溶性和非可溶性杂质全部去除的水处理方法。依据原理的不同,目前制备纯水的方法通常有蒸馏法、离子交换法、电渗析法、反渗透法等。

蒸馏法是通过加热原水使液态水转化为水蒸气,水蒸气经过冷凝获得纯水(即蒸馏水)的方法。使用不同的蒸馏器得到的纯水的质量有所不同,常用的蒸馏器有金属蒸馏器、玻璃蒸馏器、石英蒸馏器、亚沸蒸馏器等。

离子交换法是利用阴、阳离子交换树脂除去水中杂质离子的方法,制得的纯水称为“去离子水”。

电渗析法是在外电场的作用下,利用阴、阳离子交换膜对溶液中离子的选择性透过,使杂质离子从水中分离出来的方法。

反渗透法就是利用半透膜(反渗透膜),并借助于外界施加的压强为动力,强制原水中的水分子透过半透膜达到除盐的目的,使水得到纯化的方法。

为了得到更高纯度的水,通常可以采用各种技术联合的方法来制备纯水。如经过离子交换得到的纯水最终通过亚沸蒸馏器可以得到电阻率达到 $16 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$ 以上的纯水。市场上的一些超纯水机将原水经过机械过滤、活性炭吸附、反渗透、紫外线消解、离子交换、 $0.2 \mu\text{m}$ 滤膜过滤等步骤最终可以获得电阻率达到 $18 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$ 的超纯水。

3. 特殊要求纯水

在环境科学的分析实验中,在分析某些指标时,对纯水中的这些指标要求越低越好,这就是所谓的特殊要求纯水,如无氨水、无氯水、无二氧化碳水、无砷水、无重金属水、无酚水等。

(三)溶液浓度表示方法

1. 物质的量浓度

物质的量浓度定义为单位体积的溶液中所含基本单元的物质的量,单位为 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。计算公式为:

$$c(\text{B}) = \frac{m}{V \times M(\text{B})} \quad (1-6)$$

式中, m ——溶质的质量, g ;

$M(\text{B})$ ——对应基本单元的摩尔质量, $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$;

V ——溶液的体积, L 。

对于同一种溶质,选择基本单元不同,所得溶液的物质的量浓度不同。如:
 $c\left(\frac{1}{5}\text{KMnO}_4\right) = 5c(\text{KMnO}_4)$; $c\left(\frac{1}{6}\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\right) = 6c(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$; $c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) = 2c(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 等。滴定分析中滴定剂的浓度通常用物质的量浓度来表示。

2. 质量分数浓度

质量分数浓度的定义式为:

$$\omega = \frac{\text{溶质的质量}}{\text{溶液的质量}} \times 100\% \quad (1-7)$$

市售的一些液体试剂(水溶液)往往以质量分数浓度来表示试剂中溶质的含量。表1-3给出了市售酸碱的密度、质量分数浓度以及由此计算得到的物质的量浓度(近似值)。

表 1-3 市售酸碱的密度和浓度

酸或碱	主要溶质名称	密度/ $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	质量分数浓度(ω)	物质的量浓度(c)/ $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$
冰醋酸	CH_3COOH (即 HAc)	1.05	99.5%	17
浓盐酸	HCl	1.19	37%	12
浓硝酸	HNO_3	1.42	65%	15
浓硫酸	H_2SO_4	1.84	98%	18
浓磷酸	H_3PO_4	1.69	85%	15
浓氨水	NH_3	0.90	28%~30%	≈ 15

3. 体积质量数浓度

体积质量数浓度的定义式为:

$$c = \frac{\text{溶质的质量}}{\text{溶液的体积}} \quad (1-8)$$

体积质量数浓度常用的单位有: $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{ng} \cdot \text{L}^{-1}$ 等,在仪器分析中标准溶液的浓度常用体积质量数浓度表示。

(四)试剂配制原则或方法

配制试剂时,应根据试剂在实验中的用途,选择合适的称量仪器和体积测量或体积控制仪器,才能又好又快地完成实验的准备工作。

1. 作为标准溶液用的试剂

目前环境学科的实验大多涉及定量分析实验,定量分析实验首先必须准备一种叫作标准溶液的试剂。所谓标准溶液就是具有已知准确浓度的溶液。在配制标准溶液时,应根据试剂本身性质来确定配制方法。