

高等学校教材

环境分析化学 例题与习题集

孙福生 主编 印红玲 宋吉娜 副主编

HUANJING FENXI HUAXUE
LITI YU XITIJI



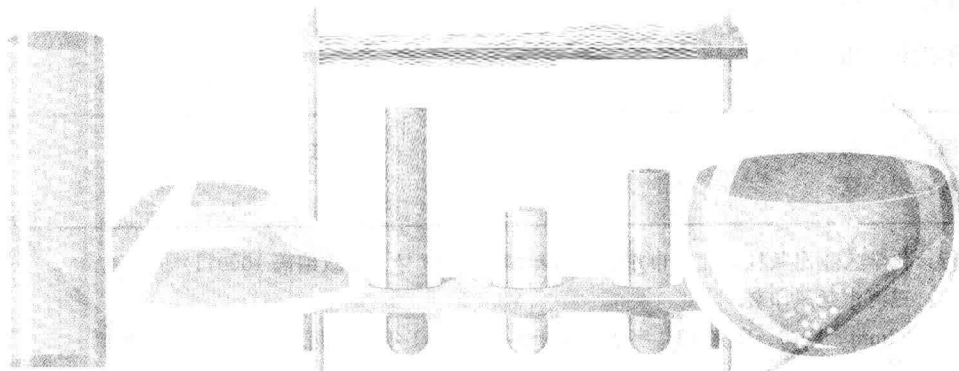
化学工业出版社

等 学 校 教 材

环境分析化学 例题与习题集

孙福生 主编 印红玲 宋吉娜 副主编

HUANJING FENXI HUAXUE
LITI YU XITIJI



化学工业出版社

· 北京 ·

本书配合《环境分析化学》一书编写。相应设置 15 章，每章首先简要提出了本章的基本要求、内容概要（包括基本概念、主要计算公式、要点）、例题，之后给出本章习题，题型包括单项选择题、填空题、名词解释、简答题、计算题，最后给出习题参考答案。

本书适合高等院校环境工程、环境科学、市政工程、给水排水工程专业师生教学参考，也可作为考研辅导用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

环境分析化学例题与习题集/孙福生主编. —北京:
化学工业出版社, 2011. 8
高等学校教材
ISBN 978-7-122-11586-7

I. 环… II. 孙… III. 环境分析化学-高等学校-
教学参考资料 IV. X132

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 119424 号

责任编辑: 徐 娟
责任校对: 宋 夏

装帧设计: 张 辉

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 13 字数 344 千字 2011 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

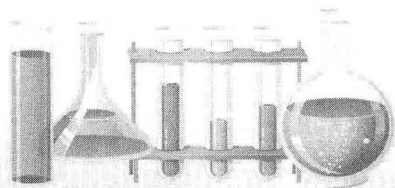
购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 29.00 元

版权所有 违者必究



前 言

《环境分析化学例题与习题集》一书与本系列核心教材《环境分析化学》配套编写，目的是为了使学生更好地理解和掌握《环境分析化学》课程，培养学生解题的能力。

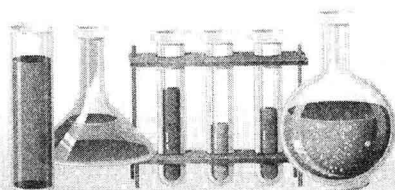
在编写过程中参考了国家环境保护部等颁布的最新标准和方法，并借鉴了国际上最新的分析标准方法和测定技术，环绕《环境分析化学》，对各章的主要内容编制了包括单项选择题、填空题、名词解释、简答题和计算题等各种类型的习题，并在各章的前面简要地给出了本章要求、内容概要（包括基本概念、主要计算公式、要点）和多种计算题的例题，为学生给出解题的引导。本教材适合环境、市政和其他相关专业的本科学生学习《环境分析化学》课程时进行习题练习，也可作为报考环境、市政和其他相关专业研究生时的参考用书。

本书与本系列核心教材《环境分析化学》同步，共有 15 章：绪论、环境分析化学基础和质量保证、酸碱滴定法、氧化还原滴定法、配位滴定法、沉淀滴定法和重量分析法、分子光谱分析法、原子光谱分析法、电化学分析法、色谱分析法、等离子体质谱法、其他仪器分析法、联用技术分析法，环境自动分析监测系统、环境样品现代处理技术和定量分析方法，在每章的末尾给出了习题的参考答案。

本书由孙福生教授任主编，印红玲副教授和宋吉娜副教授任副主编。参加编写的人员有苏州科技学院孙福生（第一、十五章）、天津城建学院于静洁（第二章）、苏州科技学院朱英存（第三、十一章）、苏州科技学院张俊强（第四章）、华东交通大学刘雪梅（第五章）、南京理工大学泰州科技学院曹鹏（第六章）、天津城建学院李毓（第七章）、成都信息工程学院印红玲（第八章）、河北工程大学宋吉娜（第九章）、上海海洋大学印春生（第十章）、南京理工大学泰州科技学院杨晓庆（第十二章）、东南大学邵云（第十三章）、北京建工学院王崇臣（第十四章）。孙福生教授对全书进行了统稿、审核和定稿。

由于编者水平有限，编写时间仓促，书中不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者
2011 年 5 月

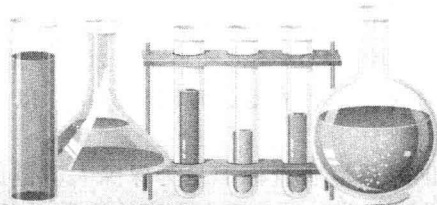


目 录

第一章 绪论	1
本章要求	1
内容概要	1
习题	2
本章习题参考答案	4
第二章 环境分析化学基础和质量保证	7
本章要求	7
内容概要	7
例题	9
习题	13
本章习题参考答案	18
第三章 酸碱滴定法	26
本章要求	26
内容概要	26
例题	28
习题	29
本章习题参考答案	31
第四章 氧化还原滴定法	35
本章要求	35
内容概要	35
例题	37
习题	38
本章习题参考答案	42
第五章 配位滴定法	46
本章要求	46
内容概要	46
例题	47
习题	49
本章习题参考答案	52

第六章 沉淀滴定法和重量分析法	56
本章要求	56
内容概要	56
例题	57
习题	59
本章习题参考答案	67
第七章 分子光谱分析法	81
本章要求	81
内容概要	81
例题	85
习题	91
本章习题参考答案	97
第八章 原子光谱分析法	103
本章要求	103
内容概要	103
例题	105
习题	107
本章习题参考答案	113
第九章 电化学分析法	120
本章要求	120
内容概要	120
例题	123
习题	130
本章习题参考答案	133
第十章 色谱分析法	137
本章要求	137
内容概要	137
例题	140
习题	141
本章习题参考答案	147
第十一章 等离子体质谱法	153
本章要求	153
内容概要	153
习题	153
本章习题参考答案	154
第十二章 其他仪器分析法	156
本章要求	156
内容概要	156

例题	158
习题	159
本章习题参考答案	164
第十三章 联用技术分析法	168
本章要求	168
内容概要	168
习题	169
本章习题参考答案	172
第十四章 环境自动分析监测系统	179
本章要求	179
内容概要	179
习题	180
本章习题参考答案	181
第十五章 环境样品现代处理技术和定量分析方法	184
本章要求	184
内容概要	184
例题	186
习题	187
本章习题参考答案	191
参考文献	198



第一章 绪 论



本章要求

1. 学习和掌握环境分析化学的任务、目的与作用。
2. 学习和了解环境分析方法与技术的分类。
3. 学习和了解环境分析方法与技术的发展。
4. 学习和掌握环境标准定义和我国环境保护标准体系、分类以及主要的环境标准。



内容概要

一、基本概念

1. 环境分析化学：环境分析化学是一门把分析化学的理论、方法和技术与环境中化学污染物的分析、监测相结合，也是分析化学与环境化学相互渗透形成的一门交叉新学科，也可以说它是研究环境污染物质的组成、结构、状态以及含量的环境化学与分析化学的一个新分支，简称环境分析。

2. 化学分析法：化学分析法常用于环境中已知结构化学成分的定性和定量分析，它是特定的化学反应及计量关系为基础的分析方法，主要有重量分析法和容量（滴定）分析法。

3. 仪器分析法：仪器分析法是以物质的物理或物理化学性质为基础，采用各种不同仪器进行分析测定的方法。这类方法是利用能直接或间接地表征物质的各种特性（如物理的、化学的、生理性质等），通过探头或传感器、放大器、分析转化器等转变成人可直接感受的已认识的关于物质成分、含量、分布或结构等信息的分析方法。

4. 生物指示分析法：生物指示分析法是根据生物（植物、动物、微生物或细菌）对环境中化学污染物所产生的各种不同程度的反应或征状来反映或判断环境质量或污染情况的最直接的一种方法。

5. 分子生物学技术法：分子生物学技术法主要有酶分析法、免疫分析法、生物传感器、生物芯片、核酸分子杂交技术、核酸的分离纯化技术、DNA 分析技术、聚合酶链反应技术、微阵列技术、凝胶电泳等。

6. 形态分析：形态分析是指分析某种元素个别的物理-化学形态，其总和构成样品的总浓度。“物理形态分析”包括区分金属的物理性质如溶解态、胶体和颗粒状等，而“化学形态分析”是指区分各种化学形态如元素的有机形态和无机形态。

7. 环境标准：环境标准是为了防止环境污染，维护生态平衡，保护人群健康，对环境

保护工作中需要统一的各项技术规范和技术要求所做的规定。具体讲，环境标准是国家为了保护人民健康，促进生态良性循环，实现社会经济发展目标，根据国家的环境政策和法规，在综合考虑本国自然环境特征、社会经济条件和科学技术水平的基础上规定环境中污染物的允许含量，污染源排放污染物的数量、浓度、时间和速率，以及监测方法和其他有关技术规范。

8. 国家环境质量标准：国家环境质量标准是为保障人群健康、维护生态环境和保障社会物质财富，并考虑技术、经济条件，对环境中的有害物质和因素所做的限制性规定。

9. 国家污染物排放标准：国家污染物排放标准是根据国家环境质量标准，以及适用的污染控制技术，并考虑经济承受能力，对排入环境的有害物质和产生污染的各种因素所做的限制性规定。

10. 国家环境监测方法标准：国家环境监测方法标准是为监测环境质量和污染物排放，规范采样、分析测试、数据处理等所做的统一规定（是指对分析方法、测定方法、采样方法、试验方法、检验方法、生产方法、操作方法等所做的统一规定）。

11. 国家环境标准样品标准：国家环境标准样品标准是为保证环境监测数据的准确、可靠，对用于量值传递或质量控制的材料、实物样品，而制定的标准物质。

12. 国家环境基础标准：国家环境基础标准是对环境标准工作中，需要统一的技术术语、符号、代号（代码）、图形、指南、导则、量纲单位及信息编码等所做的统一规定。

13. 环境保护仪器设备标准：环境保护仪器设备标准也属于国家环境保护标准，它是为了保证污染治理设备运行的各项效率和环境监测数据的可比性和可靠性，对有关环境保护仪器设备的各项技术要求所做的统一规定。

二、要点

1. 环境分析化学是一门把分析化学的理论、方法和技术与环境中化学污染物的分析、监测相结合，也是分析化学与环境化学相互渗透形成的一门交叉新学科。

2. 环境分析方法与技术主要包括化学分析法、仪器分析法、生物指示分析法和分子生物学技术法等。

3. 环境分析方法与技术的发展方向是分析方法标准化、分析技术自动化、计算机在分析中的应用、多种方法和仪器的联合使用、激光技术、生物检测技术在分析中的应用、痕量和超痕量分析以及污染物的价态与形态分析方法研究等。

4. 环境标准的定义、意义、作用、体系和分类。

习 题

一、单项选择题

1. 重量法常用于水中（ ）的分析测定。

- A. 硫酸盐、悬浮物、油脂、氯化物 B. 硫酸盐、悬浮物、油脂、二氧化硅
C. 硫酸盐、悬浮物、油脂、总氮 D. 硫酸盐、悬浮物、油脂、氨氮

2. 应用于环境分析化学的吸收光谱有（ ）。

- A. 可见光谱、红外光谱、原子荧光光谱、原子吸收光谱
B. 可见光谱、红外光谱、分子荧光光谱、原子吸收光谱
C. 可见光谱、紫外光谱、分子荧光光谱、原子吸收光谱
D. 可见光谱、紫外光谱、红外光谱、原子吸收光谱

3. 色谱分析主要用于分析（ ）。

- A. 重金属 B. 有机物 C. 无机物 D. 金属氧化物
4. 原子发射光谱在环境分析中主要用于分析 ()。
- A. 重金属 B. 有机物 C. 维生素 D. 氧化物
5. 痕量级污染物的含量或浓度是在 () 的水平。
- A. $10^{-5} \sim 10^{-8}$ B. $10^{-6} \sim 10^{-9}$ C. $10^{-9} \sim 10^{-12}$ D. $10^{-7} \sim 10^{-10}$

二、填空题

1. 环境分析化学是一门把分析化学的_____与环境中的_____的分析、监测相结合,也是_____与_____相互渗透形成的一门交叉新学科,也可以说它是研究_____的组成、结构、状态以及含量的_____与分析化学的一个新分支,简称_____。

2. 现在的环境分析方法与技术主要包括_____、_____、_____和_____等。

3. 光谱分析法主要是用于环境样品中_____的分析测定。根据电磁辐射的本质,光谱分析法可分为_____和_____。

4. 色谱分析法是基于_____在体系中两相的_____ (如吸附、分配差异等)而进行的_____方法。

5. 质谱分析法是用_____和_____将运动的_____ (带电荷的原子、分子或分子碎片)按它们的_____分离后进行检测的方法。

6. 生物指示分析法是根据_____ (植物、动物、微生物或细菌)对环境中的_____所产生的各种不同程度的_____来反映或判断_____的最直接的一种方法。

7. 形态分析是指分析某种元素个别的_____,其总和构成样品的总浓度。“物理形态分析”包括区分金属的物理性质如_____,_____和_____等,而“化学形态分析”是指区分各种化学形态如元素的_____和_____。

8. 环境标准与其他任何标准一样,是以_____与_____的综合成果为依据制定的,具有_____和_____,代表了今后一段时期内科学技术的_____。

9. 国家环境质量标准是为_____,_____和_____,并考虑技术、经济条件,对环境中_____所做的_____。

10. 国家环境标准样品标准是为保证_____的准确、可靠,对用于_____或_____的材料、实物样品,而制定的_____。

三、名词解释

1. 化学分析法
2. 仪器分析法
3. 光谱分析法
4. 毛细管电泳色谱法
5. 毛细管电色谱法
6. 环境标准
7. 国家污染物排放标准
8. 国家环境监测方法标准
9. 国家环境基础标准
10. 地方环境标准

四、简答题

1. 简述环境分析化学的任务。

2. 环境分析化学的主要目的是什么?
3. 在环境分析化学中色谱分析法主要有哪几种?
4. 电化学分析法一般可以分为哪几大类? 各类方法的基本原理以及包括的主要方法是什么?
5. 简述生物指示分析法的特点。
6. 什么是免疫分析的原理? 免疫分析法主要包括哪些方法?
7. 传统和现代的富集浓缩方法和技术主要有哪些?
8. 简述环境标准同环境法相配合在国家环境管理中可起哪些重要作用?
9. 用图简述国家环境标准体系。
10. 简述制定修订环境标准要遵循的主要原则。

本章习题参考答案

一、单项选择题

1. B 2. D 3. B 4. A 5. B

二、填空题

1. 理论、方法和技术, 化学污染物, 分析化学, 环境化学, 环境污染物质, 环境化学, 环境分析
2. 化学分析法, 仪器分析法, 生物指示分析法, 分子生物学技术法
3. 重金属, 分子光谱法, 原子光谱法
4. 混合物各组分, 物理化学性能差异, 分离和分析
5. 电场, 磁场, 离子, 质荷比
6. 生物, 化学污染物, 反应或征状, 环境质量或污染情况
7. 物理-化学形态, 溶解态, 胶体, 颗粒状, 元素, 有机形态, 无机形态
8. 科学技术, 实践, 科学性, 先进性, 发展方向
9. 保障人群健康, 维护生态环境, 保障社会物质财富, 有害物质和因素, 限制性规定
10. 环境监测数据, 量值传递, 质量控制, 标准物质

三、名词解释

1. 化学分析法: 常用于环境中已知结构化学成分的定性和定量分析, 它是以特定的化学反应及计量关系为基础的分析方法, 主要有重量分析和容量(滴定)分析法。
2. 仪器分析法: 见本章基本概念。
3. 光谱分析法: 利用光谱学的原理和实验方法以确定物质的结构和化学成分的分析方法。
4. 毛细管电泳色谱法: 是以高压电场为驱动力, 以电解质为电泳介质, 以毛细管为分离通道, 样品组分依据淌度和分配行为的差异而实现分离的色谱方法。
5. 毛细管电色谱法: 结合了毛细管电泳的高柱效和高效液相色谱的高选择性, 是以电渗流(或电渗流结合高压输液泵)为流动相驱动力的微柱色谱法。
6. 环境标准: 是为了防止环境污染, 维护生态平衡, 保护人群健康, 对环境保护工作中需要统一的各项技术规范和技术要求所做的规定。
7. 国家污染物排放标准: 见本章基本概念。
8. 国家环境监测方法标准: 见本章基本概念。
9. 国家环境基础标准: 见本章基本概念。
10. 地方环境标准: 是对国家环境标准的补充和完善。由省、自治区、直辖市人民政府制定。

四、简答题

1. 环境分析化学的任务是运用分析化学和环境科学的理论、方法和技术对环境中化学污染物进行分析、监测, 研究环境中化学污染物在水、大气、土壤和生物体内的分布、浓度、形态、循环、反应和归宿, 控制与治理环境化学污染、评价环境质量, 探索环境中化学因素与人体健

康与疾病等关系；并在运用过程中发展分析化学和环境科学的理论、方法和技术。

2. 环境分析化学的主要目的是为了研究化学物质对环境污染、生物生长和人类健康影响的问题，找出存在于环境中化学污染物的类型、结构、数量或浓度。在知道了化学污染物的各组分后，将各部分信息综合起来，从而揭示环境的真实状况，为环境化学污染的预测、预报以及治理环境提供理论依据。

3. 在环境分析化学中色谱分析法主要有气相色谱法、高效液相色谱法、薄层色谱法、离子色谱法、毛细管电泳色谱法和毛细管电色谱法。

4. 电化学分析法分为三大类。第一类是通过试液的浓度在特定实验条件下与化学电池某一电参数之间的关系求得分析方法，这是电化学分析法的主要类型，主要包括电导分析法、库仑分析法、电位法、溶出伏安法、离子选择电极法和极谱法等。第二类是利用电参数的变化来指示容量分析终点的方法，这类方法仍然以容量分析为基础，根据所用标准溶液的浓度和消耗的体积求出分析结果。这类方法根据所测定的电参数不同而分为电导滴定、电位滴定和电流滴定法。第三类是电重量法，或称电解分析法，这类方法将直流电流通过试液，使被测组分在电极上还原沉积析出与共存组分分离，然后对电极上的析出物进行重量分析以求出被测组分的含量。

5. 生物指示分析法的特点如下。(1) 能反映长期的污染效果。理化分析只能代表取样期间的污染情况，而生活于一定区域内的生物，却可以将长期的污染状况反映出来。(2) 能得到常规的理化分析所难以检测的外源性化学物质对生物物种的影响或生物调控过程的细微变化。(3) 对那些剂量小、长期作用产生的慢性毒性效应，用理化方法很难进行测定，而它却可以做到。(4) 在环境中，生物接触的污染物不止一种，而几种污染物混合起来，有可能发生协同作用，使危害程度加剧，生物指示分析能较好地反映出环境污染对生物产生的综合效应。(5) 某种情况下灵敏度较高，一些低浓度甚至是痕量的污染物进入环境后，在能直接检测或人类直接感受到以前，生物即可迅速做出反应，显示出可见征状，因此，可以在早期发现污染，及时预报。(6) 易于富集污染物。生物处于生态系统中，通过食物链可以把环境中的微量有毒物质予以富集，当到达该食物链末梢时，可将污染物浓度提高达数万倍。(7) 分析功能更加多样化，与理化监测相比，它更具多功能性，因为一种生物可以对多种污染物产生反应而表现出不同症状。(8) 便于综合评价，理化监测只能检测特定条件下水环境中污染的种类和含量，而生物指示分析可以反映出多种污染物在自然条件下对生物的综合影响，从而可以更加客观、全面地评价环境。(9) 它克服了理化监测的局限性和连续取样的烦琐性。(10) 不需要烦琐的仪器保养和维修工作，因此费用较理化监测大大减少。

6. 免疫分析的原理是基于分子识别，故具有特异性强、灵敏度高、简单、快速及价廉的特点。免疫分析法主要包括放射免疫分析、酶联免疫吸附分析、化学发光免疫分析、标记免疫分析、荧光免疫分析、电化学发光免疫分析、毛细管电泳免疫分析等方法。

7. 传统常用的富集浓缩方法主要有液-液萃取、离子交换、层析、共沉淀、离子浮升等，现代富集浓缩技术主要有超声波、微波、固相萃取、固相微萃取、液相微萃取、超临界流体萃取等技术。

8. 环境标准同环境法相配合，在国家环境管理中可起以下的重要作用：(1) 环境标准是国家环境保护法规的重要组成部分；(2) 环境标准是环境保护规划的体现；(3) 环境标准是环境保护行政主管部门依法行政的依据；(4) 环境标准是推动环境保护科技进步的动力之一；(5) 环境标准是进行环境评价的准绳；(6) 环境标准具有投资导向作用。

9. 可用图 1-1 描述国家环境标准体系。

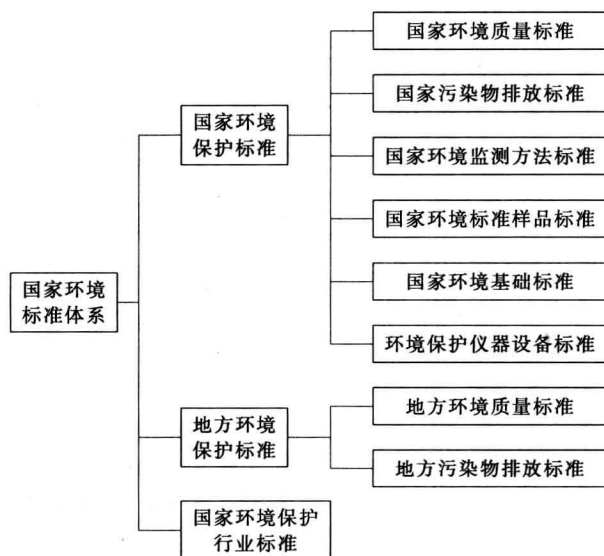
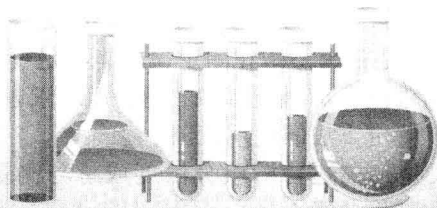


图 1-1 国家环境标准体系

10. 制定修订环境标准要遵循以下主要原则：(1) 以科学发展观为指导，以实现经济、社会的可持续发展为目标，以国家环境保护相关法律、法规、规章、政策和规划为根据，通过制定和实施标准，促进环境效益、经济效益和社会效益的统一；(2) 有利于保护生活环境、生态环境和人体健康；(3) 有利于形成完整、协调的环境保护标准体系；(4) 有利于相关法律、法规和规范性文件的实施；(5) 与经济、技术发展水平和相关方的承受能力相适应，具有科学性和可实施性，促进环境质量改善；(6) 以科学研究成果和实践经验为依据，内容科学、合理、可行；(7) 根据本国实际情况，可参照采用国外相关标准、技术法规；(8) 制定过程和技术内容应公开、公平、公正。



第二章 环境分析化学基础和质量保证



本章要求

1. 学习和掌握环境分析实验室的基本要求。
2. 学习和掌握基准物质的要求与标准溶液的配制。
3. 学习和了解环境标准分析方法的分类与分析方法的标准化。
4. 学习和掌握误差和质量保证的基本知识和要求。



内容概要

一、基本概念

1. 实验室纯水：实验室纯水应为无色透明的液体，其中不得有肉眼可辨的颜色及纤维杂质。
2. 基准物质：能用直接法配制标准溶液或标定标准溶液准确浓度的物质称为基准物质。
3. 标准溶液：浓度准确已知的溶液称为标准溶液。
4. 标准物质：标准物质是具有稳定的物理、化学和计量学特性，高度均匀性，良好量值稳定性和准确性的物质，并经正式批准可作为计量标准使用。
5. 系统误差：系统误差又叫可测误差或恒定误差，是由于测定过程中某些比较确定的、经常性的、固定的原因所造成的，对测定结果有恒定影响，在相同测定条件下重复测定时会重复地出现。
6. 偶然误差：偶然误差又叫不可测误差或随机误差，是由多种可变性原因造成的，是偶然性的、难以察觉及不能控制的，有时导致测量值偏高，有时导致测量值偏低，在相同测定条件下重复测定时不一定会重复出现。
7. 可疑值：在一组平行测定得到的测定结果中，往往会有个别测定值与其他测定值偏离较大，这一测定值称为可疑值（也称离群值或极端值）。
8. 质量控制：质量控制是对分析测定过程进行监督、检验和控制的方法，包括实验室内质量控制和实验室间质量控制。
9. 灵敏度：灵敏度是某种测定方法测定某组分时，对该组分的分辨能力。
10. 检出限：检出限是指某种测定方法对被测组分能够检测的最低限量，常用最低检出浓度（如 mg/L 或 mg/m^3 ）或最小检测量（如 mg 或 μg ）表示。
11. 测定上限：测定上限是指在测定误差满足要求的前提下，某种测定方法能够准确地定量测定待测组分的最大浓度或最大量。

12. 测定下限：测定下限是指在测定误差满足要求的前提下，某种测定方法能够准确地定量测定待测组分的最小浓度或最小量。

13. 最佳测定范围：最佳测定范围是指在测定误差能满足要求的前提下，某种测定方法的测定下限至测定上限之间的范围。对测定结果的精密度的要求越高，最佳测定范围越窄。测定方法的最佳测定范围小于该测定方法的适用范围。

14. 校准曲线：校准曲线是指描述待测组分浓度或量与测量信号值之间定量关系的曲线。校准曲线包括标准曲线和工作曲线。

15. 标准曲线：标准曲线是标准溶液系列直接测量，没有经过试样测定相同的预处理过程而制定的曲线。

16. 工作曲线：工作曲线是指标准溶液经过了与试样相同的预处理及测量等全过程，而制定的曲线。

二、主要计算公式

1. 绝对误差 E_A ： $E_A = \text{测量值} - \text{真值} = x - \mu$ 。

2. 相对误差 E_R ： $E_R = \frac{\text{绝对误差}}{\text{真值}} \times 100\% = \frac{E_A}{\mu} \times 100\%$ 。

3. 算术平均值 \bar{x} ： $\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ 。

4. 绝对偏差 d_{Ai} ： $d_{Ai} = x_i - \bar{x}$ 。

5. 相对偏差 d_{Ri} ： $d_{Ri} = \frac{d_{Ai}}{\bar{x}} \times 100\%$ 。

6. 平均偏差 \bar{d} ： $\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |d_{Ai}|$ 。

7. 相对平均偏差 \bar{d}_R ： $\bar{d}_R = \frac{\bar{d}}{\bar{x}} \times 100\%$ 。

8. 样本差方和 S ： $S = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^n d_{Ai}^2$ 。

9. 方差 s^2 ： $s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \frac{1}{n-1} S$ 。

10. 标准偏差 SD ： $SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} S}$ 。

11. 相对标准偏差 RSD ： $RSD = \frac{SD}{\bar{x}} \times 100\%$ 。

12. 极差 R ： $R = x_{\max} - x_{\min}$ 。

13. 加标回收率：回收率 = $\frac{\text{加标试样测量值} - \text{试样测量值}}{\text{加入标准物质的量}} \times 100\%$ 。

三、要点

1. 影响纯水质量的主要因素：空气，容器，管路。

2. 实验室纯水的质量检验：pH值的测定，电导率的测定，可氧化物的检验，吸光度的测定，二氧化硅的测定。

3. 玻璃器皿的洗涤及洗液的配制：洗液的配制，玻璃器皿洗净的标志，玻璃器皿的干

燥和保存。

4. 基本度量仪器的使用：量筒读数，移液管和吸量管的洗涤及液体移取，容量瓶检漏、洗涤及溶液配制，滴定管洗涤、酸式滴定管旋塞涂油、滴定管检漏及滴定操作。

5. 分析天平及称量方法：分析天平的分类，电光天平的原理、结构及使用方法，电子天平的作用原理及使用方法，分析天平的称量方法。

6. 标准溶液的配制方法：直接法，间接法。

7. 标准溶液浓度的表示方法：物质的量浓度，滴定度。

8. 有效数字的计算规则：加减法，乘除法。

9. 准确度和精密度的关系。

10. 系统误差的来源：方法误差，仪器误差，试剂误差，操作误差。

11. 提高分析结果准确度的方法：选择适当的分析方法，减少测量误差，减免系统误差，减少偶然误差。

12. 减免系统误差的方法：对照试验，空白试验，校准仪器，分析结果校正。

13. 减少偶然误差的方法：增加平行测定次数。

14. 可疑值的取舍方法：四倍法 ($4\bar{d}$ 法)，狄克逊 (Dixon) 检验法 (Q 检验法)，格鲁布斯 (Grubbs) 法 (G 检验法)。

15. 实验室内质量控制方法：空白试验，校准曲线，平行样分析，加标回收分析，密码样分析，标准物比对分析，方法对照分析，质量控制图。

例 题

1. 欲配制浓度为 0.01500mol/L 的 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 标准溶液 1000mL ，问需准确称取多少克该基准物质？($M_{\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7} = 294.18\text{g}$)

解：设需称取 $x\text{g}$ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 基准物质。称取基准物质的质量所含的摩尔数应等于所配标准溶液中该物质的摩尔数，所以 $\frac{x}{294.18} = 0.01500 \times \frac{1000}{1000}$ ，解得 $x = 4.4127\text{ (g)}$ 。

2. 用过硫酸钾消解法，测定总磷准确浓度为 $1.000\mu\text{g/mL}$ 的溶液，平行测定 10 次，测定结果分别为 $0.988\mu\text{g/mL}$ 、 $1.010\mu\text{g/mL}$ 、 $0.998\mu\text{g/mL}$ 、 $1.005\mu\text{g/mL}$ 、 $1.023\mu\text{g/mL}$ 、 $0.998\mu\text{g/mL}$ 、 $1.019\mu\text{g/mL}$ 、 $0.992\mu\text{g/mL}$ 、 $1.012\mu\text{g/mL}$ 和 $0.996\mu\text{g/mL}$ ，试计算测定的算术均数、众数、中位数、绝对误差、相对误差、第 6 个测定值的绝对偏差、平均偏差、极差、样本方差和、方差、标准偏差和相对标准偏差。

$$\begin{aligned} \text{解：(1) 算术均数 } \bar{x} &= \sum_{i=1}^n x_i / n \\ &= \frac{1.010 + 1.005 + 0.998 + 0.988 + 1.023 + 0.998 + 1.012 + 1.019 + 0.992 + 0.996}{10} \\ &= 1.0041 \approx 1.004 (\mu\text{g/mL}) \end{aligned}$$

(2) 众数 $M_0 = 0.998 (\mu\text{g/mL})$ 。

(3) 中位数 M_e 。从小到大排列得：0.988、0.992、0.996、0.998、0.998、1.005、1.010、1.012、1.019、1.023。

当 n 为偶数时，样本为 $(x_1, x_2, \dots, x_{\frac{n}{2}-1}, \frac{x_n}{2}, x_{\frac{n}{2}+1}, \dots, x_n)$

$$M_e = \frac{1}{2}(x_{\frac{n}{2}} + x_{\frac{n}{2}+1}) = \frac{1}{2}(0.998 + 1.005) = 1.0015 \approx 1.002 (\mu\text{g/mL})$$

$$(4) \text{ 绝对误差 } E_A = \bar{x} - \mu = 1.004 - 1.000 = 0.004 \text{ (}\mu\text{g/mL)}$$

$$(5) \text{ 相对误差 } E_R = \frac{\text{绝对误差}}{\text{真值}} \times 100\% = \frac{E_A}{\mu} \times 100\% = \frac{0.004}{1.000} \times 100\% = 0.4\%$$

$$(6) \text{ 第 6 个测定值的绝对偏差 } d_{A_6} = \text{第 6 个测定值} - \text{算术均数} = 0.998 - 1.004 = -0.006 \text{ (}\mu\text{g/mL)}$$

(7) 平均偏差

$$\begin{aligned} \bar{d} &= \sum_{i=1}^n |d_i| / n = \frac{[d_1] + [d_2] + \cdots + [d_n]}{n} \\ &= \frac{0.006 + 0.001 + 0.006 + 0.016 + 0.019 + 0.006 + 0.008 + 0.015 + 0.012 + 0.008}{10} \\ &= 0.0097 \approx 0.010 \text{ (}\mu\text{g/mL)} \end{aligned}$$

$$(8) \text{ 极差 } R = x_{\max} - x_{\min} = 1.023 - 0.988 = 0.035 \text{ (}\mu\text{g/mL)}$$

$$\begin{aligned} (9) \text{ 样本方差和 } S &= \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^n d_i^2 \\ &= 0.006^2 + 0.001^2 + 0.006^2 + 0.016^2 + 0.019^2 + 0.006^2 + 0.008^2 + \\ &\quad 0.015^2 + 0.012^2 + 0.008^2 \\ &= 0.001223 \approx 0.0012 \text{ (}\mu\text{g/mL)}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (10) \text{ 方差 } s^2 &= \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \frac{1}{n-1} S = \frac{1}{10-1} \times 0.001223 \\ &\approx 0.0001360 \approx 0.00014 \text{ (}\mu\text{g/mL)}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (11) \text{ 标准偏差 } SD &= \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} S} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \\ &= \sqrt{\frac{1}{10-1} S} = \sqrt{\frac{1}{9} \times 0.001223} \approx 0.01166 \approx 0.012 \text{ (}\mu\text{g/mL)} \end{aligned}$$

$$(12) \text{ 相对标准偏差 } RSD = \frac{s}{\bar{x}} \times 100\% = \frac{0.01166}{1.004} \approx 1.161\% \approx 1.2\%$$

3. 测定某化合物中铜的含量, 5 次测定结果分别为 2.20mg/L、2.25mg/L、2.30mg/L、2.32mg/L、2.45mg/L, 分别用四倍法 ($4\bar{d}$ 法)、狄克逊 (Dixon) 检验法 (Q 检验法)、格鲁布斯 (Grubbs) 法 (G 检验法) 判断 2.45 mg/L 这个数据是否应舍弃 (置信概率 90%)?

解: (1) 四倍法 ($4\bar{d}$ 法)

① 2.45mg/L 是可疑值。

② 其余四个数据 2.20mg/L、2.25mg/L、2.30mg/L、2.32mg/L 的算术平均值 $\bar{x} = 2.27$ (mg/L), 平均偏差 $\bar{d} = 0.04$ (mg/L)。

③ $|x_{\text{可疑}} - \bar{x}| = |2.45 - 2.27| = 0.18 \geq 4\bar{d} = 0.16$ 成立, 故 2.45mg/L 应舍弃。

(2) 狄克逊 (Dixon) 法 (Q 检验法)

① $x_{\text{最大}} - x_{\text{最小}} = 2.45 - 2.20 = 0.25$ (mg/L)

② $|x_{\text{疑}} - x_{\text{邻}}| = |2.45 - 2.32| = 0.13$ (mg/L)

③ $Q_{\text{计}} = \frac{|x_{\text{疑}} - x_{\text{邻}}|}{x_{\text{最大}} - x_{\text{最小}}} = \frac{0.13}{0.25} = 0.52$

④ $P = 90\%$, $n = 5$ 时, $Q_{\text{表}} = 0.64$ 。 $Q_{\text{计}} < Q_{\text{表}}$, 所以 2.45mg/L 不应舍弃。

(3) 格鲁布斯 (Grubbs) 法 (G 检验法)