

•专题•

doi: 10.3866/PKU.DXHX202212035

www.dxhx.pku.edu.cn

北京大学定量化学分析相关教材内容演进

李娜*

北京大学化学与分子工程学院, 北京 100871

摘要: 介绍了北京大学化学分析教材《定量化学分析简明教程》的内容特色以及各版次的内容演进。从分析化学工作者解决问题思路的角度出发实现各版次内容的演进。在此过程中, 强调解决分析化学问题的基础与基本工具, 如系统深入介绍化学平衡以及增加对数据处理的内容, 以应用实例为载体, 阐释解决分析化学问题的思维方式。

关键词: 定量化学分析; 教材; 内容演进

中图分类号: G64; O6

The Evolution of Quantitative Chemical Analysis Textbook by Authors at Peking University

Na Li *

College of Chemistry and Molecular Engineering, Peking University, Beijing 100871, China.

Abstract: This paper introduces the features and evolution of *Quantitative Chemical Analysis* textbook by authors at Peking University. In the evolution of each edition, the authors try to deliver the thought and way that analytical chemists solve problems. In particular, the authors emphasize on the basic theory and statistical tools, and illustrate the way to solve analytical problems with examples.

Key Words: Quantitative chemical analysis; Textbook; Content evolution

北京大学开设分析化学课程可以追溯到1923–1924年间, 化学系开设的21门课程中包括定性分析及实验、定量分析及实验^[1], 期间第一任系主任俞同奎先生虽然调任北京工业专门学校(北京工业大学前身)任校长, 仍然兼任北京大学教授, 并主讲定量分析等课程^[2]。北京大学化学系于20世纪40年代形成分析化学学科^[3]。经过多年的教学实践, 张锡瑜教授于1965年出版《定性分析》(上下册)^[4]。

《定量化学分析简明教程》第1版是在北京大学化学系1973年《定量分析》讲义的基础上, 由张锡瑜先生指导, 彭崇慧、冯建章两位教授编写。之后彭崇慧教授编写了《酸碱平衡的处理》^[5], 彭崇慧和张锡瑜教授编写了《络合滴定原理》^[6]。经过多年的教学实践与凝练, 最终《定量化学分析简明教程》于1985年由北京大学出版社出版, 之后各版次的基本信息列于表1。

北京大学分析化学教学团队还编写了其他包括定量化学分析内容的教材与习题解析, 以及与理论课配套的实验课教材与手册^[7–10]。其中, 《定量分析化学简明教程》(以下简称《简明教程》)在这些教材中最早出版, 被北京大学化学、生物、环境、工学以及医学专业用作基础课教材, 还被许多兄弟院校用作教材或教学参考书。虽然已有多篇分析化学教材研究的论文发表^[11–14], 但是笔者从分

收稿: 2022-12-11; 录用: 2023-01-26; 网络发表: 2023-02-06

*通讯作者, Email: lina@pku.edu.cn

析化学解决问题的思路与方法的角度简要介绍《简明教程》的内容特色、多次改版的演进,以及对重要内容的修订。或许读者能够从本文感受到各版次教材作者的用心。

表1 《定量化学分析简明教程》教材基本信息(北京大学出版社, 出版周期11-13年)

版次	书名	作者	出版年	备注
1	定量化学分析简明教程	彭崇慧 冯建章 张锡瑜	1985	1987国家教委优秀教材一等奖
2	定量化学分析简明教程	彭崇慧 冯建章 张锡瑜 李克安 赵凤林	1997	
3	分析化学: 定量化学分析简明教程	彭崇慧 冯建章 张锡瑜 编著 李克安 赵凤林 修订	2009	“十一五” 国家级规划教材
4	分析化学: 定量化学分析简明教程	彭崇慧 冯建章 张锡瑜 编著 李娜 张新祥 修订	2020	
英文教材	<i>Quantitative Chemical Analysis</i>	李娜 J. Hefferren 李克安	2009	2016北京市精品教材
电子课件	“分析化学I” 电子课件	李娜 刘锋 赵凤林 李克安	2007	

1 教材内容

最新版次的《简明教程》继承和发展了之前各版次的内容与写作思路,并随着分析化学学科的发展更新定量分析方法内容。教材所包括的知识点与《高等学校化学类专业分析化学相关教学内容与教学要求建议》中的化学分析部分基本一致,在此不加赘述^[15]。

定量化学分析的理论和方法是分析化学专业及其他相关专业的的基础。围绕“量”的概念,解释基本的分析化学原理、方法与应用,阐释分析化学工作者解决问题的思路。基于这一理念,定量分析的整个过程对于分析结果的影响,即对“量”的影响,构成了《简明教程》重要内容。

定量分析的过程主要包括取样、样品制备与预处理、分离富集、测量、方法验证以及分析结果的报告,而作为教材则对这些环节涉及的内容(如图1)进行分别阐述,主要包括:

概论部分,主要为定量分析概述与基本计算。简介分析化学的任务与作用、定量分析过程与定量分析方法,以及分析化学中的基本计算。使读者大概了解定量分析化学所解决的问题,分析过程、样品制备的目的与要求等。

误差与分析数据处理。定量分析是根据物质的性质测定物质的量。由于误差的客观存在,必须能够对分析结果的可靠性和精确程度作出合理的判断和正确的表述。这部分内容包括分析测定中的误差来源与表征,实验数据的统计处理方法与表达,分析结果的显著性检验,校准方法以及根据校准曲线反估未知样品的量与置信区间,分析方法的品质因素,测定方法的选择与测定准确度的提高。

化学平衡简介,容量滴定方法与沉淀重量法。简介化学平衡基本原理,以及系统处理复杂化学平衡的思路,为容量滴定以及沉淀重量法奠定理论基础,提供方法原理。

分析化学中常用的分离方法,包括沉淀分离法、溶剂萃取分离法、离子交换分离法、经典色谱法,和其他物理分离法等介绍。通过分离方法和分离效果的评价方法的介绍,使读者了解分离方法在解决分析化学问题中的重要性。

测量方法,主要包括容量滴定方法、沉淀重量法,以及常用仪器分析方法。

a) 滴定方法与重量法。从能否准确滴定($\pm 0.1\%$ 滴定误差)出发对滴定曲线、指示剂、选择性滴定,消除干扰效果评判,能否定量获得沉淀等方面在各自方法中进行讨论。

b) 常用仪器分析方法。包括吸光光度法、分子荧光和磷光分析法、原子吸收光谱法、电位分析法、色谱法与质谱法的定量分析基本原理。



图1 化学分析教材的基本内容

2 第1版特色

《简明教程》第1版作者以其深厚的功底使内容在具备系统性和完整性的基础上既简又明^[16]。该教材篇幅虽少，但教材思路明确，重点鲜明，突出了基本概念的阐述，理论联系实际，特别是在培养学生分析问题、解决问题的能力上倾尽全力，使教学任务能在规定学时内完成。如书名所示，《简明教程》是一本言简意赅的定量分析化学教材。

深入讲透一两章，为其他各章奠定牢固基础，又起到触类旁通作用，避免繁琐重复的表述。在酸碱滴定章节中，详细介绍了各类型的滴定曲线，进而通过终点误差公式来阐明滴定突跃大小与反应完全度的关系，并总结出实现准确滴定的条件，其他各章则在此基础上着重讨论其各自特点。在络合滴定中，除了参考 I. M. Kolthoff 等主编的 *Quantitative Chemical Analysis*^[17] 等国外教材，还参考了 A. Ringbom 所著的 *Complex in Analytical Chemistry*^[18] 的精髓，并进行了凝练，采用副反应与副反应系数的方式处理络合平衡，弄清影响化学平衡的主要项，抓住主要矛盾，并在氧化还原平衡、沉淀平衡等部分进行应用。统一的处理方式加之简化假设，使复杂问题的平衡处理逻辑明确，实用性强。再版教材一直秉承化学分析部分的写作思想与平衡处理方法。

设计图表，延伸辅助说明概念与原理，并应用于实际问题的可行性判断。例如，酸碱滴定中把不同强度的弱酸及其共轭碱的滴定曲线图向两旁延伸，不仅说明滴定弱酸及其共轭碱的可行性，也说明强酸(碱)-弱酸(碱)混合物滴定酸(碱)总量或分量的可能性，而且还清楚表明当酸、碱太弱而不能直接准确滴定时，采取反滴定策略也是不可行的。在概念的阐述时，密切联系化学分析实际，指出其实用意义。特别强调了摩尔分数的涵义，使学生辨明“分析浓度”和“平衡浓度”这两个重要概念。

在阐述各方法的原理与应用时，思路连贯，力求体现分析化学的固有思路。例如配位滴定(络合滴定)部分，以锌离子的测定为主线，阐明形成常数、副反应与副反应系数、控制酸度滴定、以辅助络合剂拓展滴定pH范围，以及通过掩蔽进行选择性滴定等。采用其他滴定体系，补充说明滴定分析中一些剩余问题的解决。从酸碱滴定到络合滴定再到氧化还原滴定，由于影响滴定的实验条件增加，控制条件进行选择性滴定的可能性也就增加，加之在络合滴定、氧化还原滴定中进行样品预处理的方法丰富，又进一步地增加了测定的选择性，以及可测定样品的种类范围。在各种方法的应用方面，提供了代表性应用实例，有助于加强对方法的理解。

3 改版思路与教材内容演进

3.1 改版思路

在改版时,作者秉承《简明教程》的“简明”初心,保留第1版特色,根据学科发展增减内容,加强基础与重点内容的阐述。对教材中重要的内容进行审定与完善,规范写作体例,使重点更加突出,思路更加清晰,读者更易理解。此外,教材内容随分析方法的发展、教材使用专业范围的增加而进行相应补充,体现了在内容上跟进学科发展,抓住学科前沿,突出教学理念,为教学服务的宗旨。在简明扼要地阐述原理之余,以代表性例题与习题为载体,示例与分析方法相关的原理,影响分析结果的因素以及解决问题的方法,并将新的分析化学应用实例作为部分例题与习题,从而将分析化学工作者解决分析化学问题的思路与方法贯彻始终。改版思路以及各版次主要变更如表2所示。

表2 改版思路以及各版次主要变更

改进	增加或扩充	调整或修改
第1版	主要特色:注重理论基础;讲透酸碱、络合平衡与滴定;详细讨论误差公式;引入副反应系数	
第2版	分析化学现状与发展; 滴定分析体积测量; 复杂酸碱平衡体系处理方法及计算机应用;全域缓冲溶液; 吸光光度法中分子光谱原理、仪器及部件、测定方法; 分离方法中的萃取和色谱法	明确反应单元的概念,以及“等物质的量”规则; 从滴定剂与被滴定物质出发推导统一误差公式; 区分氧化还原反应的计量系数与得失电子数; 对总体均值检验提出 u 检验法和 t 检验法
第3版	最常用仪器分析定量方法,包括分子荧光和磷光分析法、原子吸收光谱法、电位分析级色谱法	进一步明晰分析化学定义等; 试样采集与制备、试样的分解撤销独立章,归入第1章; 统一规范书写体例; 修改吸光光度法
第4版	校准方法及线性拟合; 分析方法灵敏度、检出限和动态范围; 误差传递; 质谱分析法	更新分析化学的任务和作用; 修改各仪器分析方法的描述; 重写显著性检验、异常值检验; 修改终点误差中对代数法的表述,并从终点误差定义出发讨论终点误差计算; 修改分光光度法; 修改常用仪器分析定量方法部分内容
思路	注重基础 讲清思路	跟进学科发展 更新教材内容

3.2 教材内容增减

《简明教程》第1版内容包括:定量分析概论;误差与分析数据处理;酸碱平衡与酸碱滴定法;络合滴定法;氧化还原滴定法;沉淀滴定法;重量分析法;吸光光度法;定量化学分析中常用的分离方法;试样的准备和分析示例。

第2版对以下内容作了必要的扩充:如绪论中对分析化学的现状和发展的介绍;滴定分析体积测量问题;复杂酸碱平衡体系的处理方法及计算机的应用;全域缓冲溶液的介绍;吸光光度法中分子光谱的原理、仪器及部件、测定方法的介绍;分离方法中的萃取和色谱法等。此外,每章后均增加了思考题,给出了汉英对照分析化学常用术语。

由于教学改革的深入和课程教学内容的调整,北京大学化学与分子工程学院已经把化学分析与

仪器分析课程打通,作为一门课程(即分析化学)来建设;此外,其他专业,如生物类、医药类、地学类、环境类专业仍然使用《简明教程》作为分析化学教材。因此,第3版扩充了最常用的仪器分析方法,如分子荧光和磷光分析法、原子吸收光谱法、电位分析法及色谱法的简介,以供不同专业选用。从内容匹配角度考虑,第3版起,书名改为《分析化学:定量化学分析简明教程》。

第4版中,作者根据分析化学发展的需要,以及在教学科研中的经验,在误差与分析数据处理章节增加了以下内容:配对数据的显著性检验;用于异常值检验的Grubbs检验法和箱线图法;校准曲线的线性拟合方法,反估未知样品含量、标准偏差与置信区间;分析方法的灵敏度、检出限和动态范围;误差的传递。在显著性检验部分,明确思路与操作步骤。部分例题与习题采用学生分析化学实验课的实际数据和作者实验室的研究数据,增进学生对数据处理基本知识应用的体会,了解数据处理基本知识在科研中的应用。

鉴于质谱分析法已经成为常规的分析手段,第4版增加了质谱分析法。

3.3 教材内容调整与完善

绪论章节是教材的灵魂,可以使读者从简短的篇幅了解学科基本特点。每一次改版,作者都认真审定、更新绪论章节,使读者看到与时俱进的分析化学定义与代表性应用。

关于滴定相关计算,第2版明确了反应单元的概念,从酸碱反应得失质子数相等,氧化还原反应得失电子数相等的角度阐述“等物质的量”的规则,揭示参与化学反应的物种的量的本质。

误差与分析数据处理是正确合理报告分析结果并做出正确判断的基础,数据处理的技能方法已经成为常规的技能要求,该部分内容在每一次改版都有加强。

滴定终点误差是容量滴定中非常重要的内容,以酸碱滴定为例,几次改版都进行修订,基于终点误差定义的讨论逐步完善。第2版根据被滴定物质和滴定剂写出质子条件式、终点误差的计算式,而不再按化学计量点前后分别讨论,思路更加明确;第3版,重点介绍了基于误差定义代数法计算终点误差,简介终点误差公式(林邦公式)的应用,弱化对公式的记忆;第4版在第3版基础上,进一步强调根据终点误差定义讨论终点误差计算,简单介绍终点误差公式的应用。此外,第4版中,将一直以来使用的“分步滴定”改为“选择性滴定”。虽然只有一个词的改动,但是从思路贯通了化学分析与仪器分析的分析方法的语言。

由于光学方法的飞速发展,第4版修订吸光光度法、荧光分析法部分内容。

第3版对容量分析和重量分析的书写体例作了统一规范,更加体现写作系统性与规范性,便于读者阅读。容量分析中,均是先介绍与滴定方法相关的溶液平衡原理,再介绍滴定原理与方法;将沉淀滴定法和沉淀重量法合为一章,先介绍沉淀平衡原理,再分别介绍两种基于沉淀的定量方法。

3.4 出版与《定量化学分析简明教程》配套的英文教材

从2005年开始,北京大学化学与分子工程学院定量分析化学课程开设英文班。为方便学生学习,编写了与《简明教程》配套的英文教材*Quantitative Chemical Analysis*。英文教材写作思路与内容与《简明教程》中化学分析部分匹配,中英文教材可以互相参考,便于双语教学。该英文教材经过十余年的教学实践检验,未来将在修订版中对重要内容进一步修改和凝练,并适当增加新的分析化学方法,以适应学科发展对教学内容的要求。

4 结语

北京大学化学与分子工程学院定量化学分析教学组几代教员不懈努力,总结经验,所编写的《定量化学分析简明教程》概念清楚、思路明晰、内容精炼。结合实验教材的例子,以分析化学的思路,从原理到分析方法,对分析结果的影响进行分析。非常适合分析化学课程的教员与化学专业的学生学习与参考。使用者还可以通过出版社向作者索要课件。

未来可能在以下几个方面进行拓展与提升:秉承《简明教材》特色,拓展教材内容,进一步进行教学资源信息化建设与分享,并对仪器分析法简介的内容进一步更新和提炼。

致谢：感谢北京大学化学与分子工程学院李克安教授、赵凤林教授和刘锋教授的修改建议。

参 考 文 献

- [1] 北京大学化学与分子工程学院历史. [2022-12-09]. <https://www.chem.pku.edu.cn/xygk/xyls/index.htm>
- [2] 俞同奎. [2022-12-09]. <https://baike.baidu.com/item/俞同奎/4691665?fr=aladdin>
- [3] 北京大学化学与分子工程学院编著. 北大化学百年. 北京: 中国大百科全书出版社, 2010.
- [4] 张锡瑜. 定性分析(上下册). 北京: 高等教育出版社, 1965.
- [5] 彭崇慧. 酸碱平衡的处理. 北京: 北京大学出版社, 1980.
- [6] 彭崇慧, 张锡瑜. 络合滴定原理. 北京: 北京大学出版社, 1981.
- [7] 李克安主编. 分析化学教程. 北京: 北京大学出版社, 2005.
- [8] 李克安主编. 分析化学教程习题解析. 北京: 北京大学出版社, 2006.
- [9] 北京大学化学学院分析化学教学组. 基础分析化学实验. 第3版. 北京: 北京大学出版社, 2010.
- [10] 常文保, 李克安. 简明分析化学手册. 北京: 北京大学出版社, 1981.
- [11] 陈永雷, 何疆, 陈宏丽, 陈兴国. 大学化学, **2021**, *36* (9), 2106051.
- [12] 吴守国, 江万权, 邵利民, 金谷, 陈永雷, 何疆, 陈宏丽, 陈兴国. 大学化学, **2013**, *28* (1), 5.
- [13] 周宁波, 肖华. 大学化学, **2011**, *26* (3), 75.
- [14] 张新荣. 大学化学, **2009**, *24* (6), 12.
- [15] 王玉枝, 杨屹, 魏琴, 李攻科, 张文清, 曹秋娥, 郑成斌, 薛冰纯, 羊小海, 吴朝阳, 等. 大学化学, **2023**, *38* (1), 8.
- [16] 李克安, 段晓青. 中国大学教育, **1990**, No. 4, 23.
- [17] Kolthoff, I. M.; Sandell, E. B.; Meehan, E. J.; Bruckenstein, S. *Quantitative Chemical Analysis*, 4th ed.; Macmillan: Toronto, Canada, 1969.
- [18] Ringbom, A. *Complex in Analytical Chemistry*; John Wiley & Sons: New York, USA, 1963.