


北京大学 百年化学经典

化学卷

中国科学技术
|
经典·文·库

放射化学

刘元方 江林根 著

 科学出版社
www.sciencep.com

中国科学技术经典文库
北京大学百年化学经典

放射化学

刘元方 江林根 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

《无机化学丛书》为一部中型参考书，共十八卷，分为 41 个专题。前十卷为各族元素分论，后八卷为无机化学各重要领域专论。第十六卷为放射化学，内容包括基础放射化学、核化学和应用放射化学等三部分。

本书可作为高等院校师生及研究生的参考书，也可供化学、生物、医学、地质等方面的科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

放射化学/刘元方，江林根著. —北京：科学出版社，2010
(中国科学技术经典文库·北京大学百年化学经典)

ISBN 978-7-03-000305-8

I. 放… II. ①刘… ②江… III. 放射化学 IV. O615

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 074140 号

责任编辑：赵世雄 杨 震 刘 冉 / 责任校对：赵桂芬
责任印制：钱玉芬 / 封面设计：王 浩

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

陈海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

1988 年 6 月第 一 版 开本：B5(720×1000)

2010 年 5 月第三次印刷 印张：27 1/4

印数：4 231—5 730 字数：350 000

定价：88.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

《北京大学百年化学经典》序

——传承与创造

大学是继承、传播、探求和创造知识的主要场所，通过知识的传承与发现来教育和培养人才，推动社会的发展与进步。图书是知识传承和发展的重要媒介。在北京大学纪念化学学科创立一百周年之际，科学出版社隆重推出《北京大学百年化学经典》系列丛书，以示庆贺与纪念。

北京大学化学与分子工程学院（以下简称化学学院）的前身系1910年成立的京师大学堂格致科化学门，是时满清当局正尝试维新、推行癸卯新学制。1910年4月30日，化学门招收了7名首届学生；1917年开始招收研究生，首批共14人。1919年，化学门正式更名为化学系。1952年全国院系调整中，清华大学和燕京大学的化学系正式并入北京大学，成立新的北京大学化学系。1994年更名为化学与分子工程学院。2001年，原北京大学技术物理系的应用化学专业也融入到化学学院。

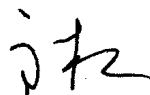
百年以来，北京大学化学学科走过了风风雨雨，始终站在中国化学教育和科学研究的前列，肩负着培养化学人才的重任。历经民国时期的初奠基石，抗战时期的艰苦奋斗，建国初期的调整发展和改革开放后的华章新谱，一代又一代的北大化学人默默耕耘，取得了累累硕果。北京大学化学学科在过去的一个世纪里培养了近15 000名专业人才，其中本科生约12 000名，硕士生约1600名，博士生1000余名。他们在国内外各行各业中为科学进步和社会发展做出了自己的贡献。

这套《北京大学百年化学经典》选编了北大化学前辈和同仁新中国成立以来在科学出版社出版的十部著作进行再版。按照出版顺序，它们分别为：傅鹰编著《化学热力学导论》，唐有祺著《统计力学及其在物理化学中的应用》和《对称性原理》，冯新德著《高分子合成化学》，黄子卿著《电解质溶液理论导论》，高小霞等编著《电分析化学导论》，刘元方等著《放射化学》，张锡瑜等编著《化学分析原理》，徐光宪等著《稀土的溶剂萃取》，以及周其凤等著《液晶高分子》。

这些著述堪称经典，从一个侧面反映了北京大学化学学科发展历程，以及教学与科研相长、理论与实验并重、基础与应用共举的学术传统，也反映出前辈们潜心学术、一丝不苟和追求卓越的科学精神。如今是知识爆炸的时代，知识的更新日新月异，然而经过时间与学术考验的经典知识依然是我们创新知识的根基与出发点。阅读这些经典著作，我们可以领略到北大化学前辈与同仁们对于化学这一基础学科基本原理的系统归纳、分析梳理和深刻理解。

需要说明的是，该系列丛书选编的只是科学出版社出版过的部分经典著作，不包括新出版的若干重要著作和由其他出版社出版的著述。事实上，北京大学化学同仁百年来出版了许多教材与专著，在国内外形成了重要影响。在北京大学化学学科创立初期的 1914 年，第一任系主任俞同奎先生就主持编写了系列教材，包含《无机化学》、《有机化学》、《物理化学》、《分析化学》和《应用化学》，由北京大学出版部出版，是中国首批大学化学教材。20 世纪 50 年代以来，徐光宪先生的《物质结构》和邢其毅先生的《有机化学》等各种经典教材也影响了我国几代化学学子。

《北京大学百年化学经典》系列丛书的筹划出版得到了科学出版社的大力支持，我们衷心感谢参与丛书编辑出版工作的全体编辑人员为此付出的辛勤工作，同时祝愿北京大学化学学院在新的世纪里继往开来、再创辉煌！



北京大学化学与分子工程学院 院长

中国科学院院士

2010 年 4 月

前 言

放射化学是研究有关原子核反应、放射性核素和放射性物质的化学及其应用的一门科学。它是近代化学的一个分支,又是核科学的一个重要组成部分。在它的长期发展过程中,其主要研究对象为无机化合物,所以将它纳入无机化学丛书来加以介绍。

自从 1898 年 M. Curie 用化学方法发现天然放射性元素钋以来,放射化学已经经历了近九十年的漫长道路。从近二十多年的发展情况来看,这一学科实际上已经走过了独立发展的历程,而明显地转向与各个学科横向结合,成为一种被各学科广泛加以应用的技术手段。

在现阶段,重离子核化学的许多成就,107、108、109 新元素的人工合成,碳粒子等新放射性的发现等进展,丰富了放射化学学科的基础研究成果;核燃料后处理及超铀元素工艺的发展,也使放射化学的主要分支核燃料化学达到了相当成熟的程度。但是,从总的趋势看,作为主导的却并非基础方面的研究,而是活跃在各个学科中的应用放射化学。目前在医学、生物学、环境科学、化学、地质学、地理学、宇宙学、考古学、法医学等许多领域中,放射性核素及放射化学技术,都有了很重要的应用,并且仍不断地有所创新,有所发展,其中尤为突出的是核药物学的蓬勃兴起,这些就是放射化学新发展阶段的特色。

在本书中,作者准备对放射化学作较全面又概括的阐述。全书共 15 章,分为三个部分:(一)基础放射化学;(二)核化学;(三)应用放射化学。

本书由北京大学技术物理系放射化学教研室的同志集体写成,由刘元方、江林根主编。参加撰写的有:刘元方(第 1, 2, 8 章),江林根(第 3, 13, 14, 15 章),张庆熹(第 9, 12 章),钱浩庆(第

5, 11 章), 吴永慧(第 7, 10 章), 石进元(第 4 章), 王祥云(第 6 章)。本书初稿写成后, 承蒙复旦大学原子核科学系秦启宗等同志仔细审阅并提出了修改意见, 作者在此致以衷心的感谢。

由于编者的水平有限, 再加上本书出于多人之手, 在取材、内容和文字等方面, 缺点、错误一定不少, 恳请读者批评指正。

刘元方 江林根

1985 年 2 月于北京大学

目 录

第一部分 基础放射化学

39.1 绪论	3
1.1 放射化学的内容和特点	3
1.2 放射化学发展史	5
1.2.1 放射性和放射性元素的发现	5
1.2.2 实现人工核反应和发现人工放射性	10
1.2.3 铀核裂变现象的发现	12
1.2.4 合成超铀元素和面向核工业	14
参考文献	16
39.2 放射化学分离方法	17
2.1 放射化学分离的重要性和特殊性	17
2.2 放射化学分离的一些概念与要求	19
2.2.1 载体和高比活度	19
2.2.2 放射性纯和放射化学纯	21
2.2.3 化学产率	22
2.2.4 分离系数和净化系数	23
2.3 共沉淀法和沉淀法	24
2.3.1 共晶共沉淀	25
2.3.2 吸附和吸附共沉淀	27
2.3.3 反载体和清扫剂	31
2.3.4 应用实例	32
2.4 萃取法	34
2.4.1 萃取的基本概念	34
2.4.2 各种萃取体系	35
2.4.3 应用实例	40
2.5 离子交换法	41

2.5.1	离子交换树脂的结构与性能	42
2.5.2	离子交换色层分离	44
2.5.3	高压离子交换色层分离	45
2.5.4	无机离子交换剂	45
2.5.5	应用实例	46
2.6	其他分离方法	48
2.6.1	萃取色层	48
2.6.2	电化学分离	50
2.6.3	蒸馏法	52
2.7	快化学	53
2.7.1	概述	53
2.7.2	非连续的分离程序	54
2.7.3	连续的分离程序	56
	参考文献	58
39.3	天然放射性元素化学	59
3.1	放射性元素通论	59
3.2	铀	59
3.2.1	铀的物理、化学性质	60
3.2.2	铀的重要化合物	63
3.2.3	铀的分析化学	65
3.3	钍	66
3.3.1	钍的物理、化学性质	66
3.3.2	钍的化合物	67
3.3.3	钍的分析化学	68
3.4	镤和铀	68
3.4.1	镤	68
3.4.2	铀	71
3.5	镭和氡	72
3.5.1	镭	72
3.5.2	氡	74
3.6	钋	76
3.6.1	钋的物理、化学性质	77

3.6.2 钋的化合物	79
3.7 砒和钋	79
3.7.1 砒	79
3.7.2 钋	81
3.8 其他天然放射性核素	82
参考文献	84
39.4 人工放射性元素与锕系元素化学	85
4.1 空位元素	85
4.1.1 镅	85
4.1.2 钷	87
4.2 锕系元素	88
4.2.1 超铀元素的合成	89
4.2.2 锕系元素的电子结构	93
4.2.3 锕系元素的价态、氧化还原反应	94
4.2.4 锕系元素的水解反应	100
4.2.5 锕系元素的离子半径	102
4.2.6 锕系元素的配位化学	103
4.2.7 锕系元素金属	104
4.2.8 锕系元素的应用	106
4.3 锕系后元素及超重元素的展望	106
4.3.1 锕系后元素的合成	106
4.3.2 超重核的展望	113
参考文献	115
39.5 热原子化学	116
5.1 Szilard-Chalmers 效应	116
5.2 反冲能量和化学键断裂	117
5.2.1 (n, r) 反应	117
5.2.2 同质异能跃迁	119
5.2.3 β 衰变	121
5.3 保留及 Libby 弹子球模型	122
5.3.1 保留	122
5.3.2 Libby 弹子球模型	123

5.3.3 影响保留的因素	124
5.4 气相热原子反应的动力学理论	126
5.5 固相热原子化学	129
5.6 氟和碳的反冲化学.....	131
5.6.1 反冲氟化学	132
5.6.2 反冲碳化学	133
5.7 核衰变化学	138
5.7.1 β 衰变化学	138
5.7.2 同质异能跃迁的化学效应	141
5.8 热原子化学的应用	142
5.8.1 无机化合物的反冲合成	143
5.8.2 裂片法合成法	144
5.8.3 β 衰变合成法	144
5.8.4 医用放射性药物的合成	145
参考文献.....	146

第二部分 核 化 学

39.6 中、低能核反应	147
6.1 核反应概述	147
6.1.1 核反应的表示	147
6.1.2 核反应中的守恒定律	148
6.1.3 核反应的分类	149
6.2 核反应中的能量	150
6.2.1 反应能	150
6.2.2 吸能反应的阈能	151
6.2.3 Coulomb 势垒	152
6.2.4 离心势垒	153
6.3 反应截面	154
6.3.1 反应截面与激发曲线	154
6.3.2 反应截面的分波分析	155
6.3.3 微分截面与角分布	157
6.4 复合核反应	159

6.4.1	反应机制	159
6.4.2	光学模型	161
6.4.3	复合核理论	163
6.4.4	核反应的共振	165
6.4.5	复合核的衰变——蒸发模型	168
6.5	直接反应	169
6.5.1	削裂反应	169
6.5.2	拾取反应	170
6.5.3	其他直接反应	170
6.6	中、低能核反应化学	171
6.6.1	新核素的合成	171
6.6.2	核反应机制的研究	171
6.6.3	核反应截面的测定	172
6.6.4	应用	173
	参考文献	174
39.7	裂变	175
7.1	裂变研究的内容和意义	175
7.2	自发裂变与诱发裂变	176
7.2.1	自发裂变	176
7.2.2	诱发裂变	179
7.3	裂变的液滴模型理论	180
7.3.1	核的液滴模型	180
7.3.2	裂变势垒	181
7.3.3	裂变截面	185
7.4	裂变同质异能素	187
7.4.1	双峰裂变势垒	187
7.4.2	形状同质异能素	188
7.5	裂变的图象	189
7.6	裂片的质量分布	191
7.6.1	产额的定义	191
7.6.2	影响裂变质量分布的因素	193
7.7	裂片的电荷分布	196

7.7.1	电荷分布曲线	196
7.7.2	电荷分布的几种理论	197
7.8	裂变的放射化学研究方法	198
7.8.1	测定裂片产额的相对方法	199
7.8.2	测定裂片产额的绝对方法	200
	参考文献	201
39.8	重离子核反应	202
8.1	重离子核反应的特点和分类	202
8.1.1	特点	202
8.1.2	碰撞轨道图象	204
8.1.3	重离子反应截面	206
8.2	深度非弹性散射	207
8.3	全熔合反应	209
8.3.1	全熔合截面 σ_F	210
8.3.2	复合核的衰变	211
8.4	研究重离子核反应的意义	213
	参考文献	214
39.9	奇异原子化学	215
9.1	奇异原子	215
9.2	介子原子化学	216
9.2.1	介子原子的形成和特性	216
9.2.2	介子原子化学	220
9.3	正子素和 μ 子素	230
9.3.1	正子素化学	231
9.3.2	μ 子素化学	236
	参考文献	241

第三部分 应用放射化学

39.10	放射性核素生产	242
10.1	放射性核素生产的概况	242
10.2	反应堆生产放射性核素	243

10.2.1	核反应的选择	243
10.2.2	靶子物的选择和制备	246
10.2.3	产额的估算与照射时间的选择	248
10.2.4	反应堆生产的重要的放射性核素	249
10.3	加速器生产放射性核素	251
10.3.1	核反应的选择	251
10.3.2	加速器靶的特点与制备	253
10.3.3	产额的估算	254
10.3.4	加速器生产放射性核素举例	255
10.4	从核燃料后处理工厂中回收放射性核素	256
10.4.1	概况	256
10.4.2	重要裂片核素的提取	257
	参考文献	260
39.11	放射性核素在化学、医学中的应用	261
11.1	放射性核素示踪法的特点及一般原理	261
11.1.1	放射性核素示踪法特点	262
11.1.2	放射性核素示踪的分类	263
11.1.3	放射性核素示踪剂的选择	263
11.1.4	放射性示踪法中应注意的几个问题	265
11.2	放射性核素在化学中的应用	266
11.2.1	在化学反应机理研究中的应用	266
11.2.2	在分析化学中的应用	267
11.3	放射性核素在医学中的应用	272
11.3.1	医用放射性核素	273
11.3.2	放射性核素发生器	274
11.3.3	加速器生产的放射性核素	278
11.3.4	常用放射性药物	286
	参考文献	289
39.12	标记化合物的制备	290
12.1	示踪原子	290
12.2	标记化合物的命名	291
12.3	标记化合物的特性	293

12.3.1	对标记化合物的选择	293
12.3.2	标记化合物的同位素效应与辐射自分解	296
12.4	标记化合物的制备	299
12.4.1	化学合成法	300
12.4.2	同位素交换法	311
12.4.3	生物合成法	313
12.4.4	热原子标记法	315
12.4.5	多标记化合物的制备	316
12.5	标记化合物的质量鉴定	316
12.5.1	物理鉴定	317
12.5.2	化学鉴定	317
12.5.3	生物鉴定	318
	参考文献	318
39.13	活化分析	320
13.1	中子及各种粒子的活化分析	320
13.1.1	活化分析	320
13.1.2	中子引起的活化分析和常用中子源	320
13.1.3	其他粒子引起的活化分析	322
13.2	中子活化分析的一般原理和实验条件	323
13.2.1	中子活化分析的一般原理	323
13.2.2	实验条件	323
13.3	中子活化分析中的放射化学方法	327
13.3.1	活化分析样品的特点	327
13.3.2	活化分析中的放射化学方法	328
13.4	无化学分离的活化分析	337
13.4.1	基于核衰变性质的一般分析方法	337
13.4.2	仪器解谱分析法	339
13.5	带电粒子活化分析的一般介绍	341
13.6	带电粒子激发 X 射线分析法	342
13.6.1	X 射线分析法的物理基础	343
13.6.2	定量分析方法	345
13.7	活化分析及 PIXE 在各个学科领域中的应用	347

13.7.1	在化学分析方面的应用	347
13.7.2	在生物化学方面的应用	349
13.7.3	在其他方面的应用	351
	参考文献	353
39.14	放射免疫分析	354
14.1	放射免疫分析法通论	354
14.2	放射免疫分析法的原理和方法	355
14.2.1	基本原理	355
14.2.2	免疫化学	360
14.2.3	测定方法的建立	365
14.3	固相放射免疫分析法	366
14.4	放射免疫分析的质量控制	370
14.4.1	放射免疫分析的质量控制	370
14.4.2	影响放射免疫分析结果的因素和质量控制	372
14.5	放射免疫分析应用举例	374
	参考文献	376
39.15	Mössbauer 效应	377
15.1	γ 光子共振吸收和 Mössbauer 效应	378
15.1.1	共振吸收时反冲能量的影响	378
15.1.2	谱线的自然展宽	380
15.1.3	谱线的 Döppler 展宽	381
15.1.4	无反冲的 γ 射线吸收——Mössbauer 效应	382
15.2	Mössbauer 谱、实验方法和装置	385
15.2.1	Mössbauer 谱	385
15.2.2	实验方法和装置	386
15.3	Mössbauer 参数	391
15.3.1	同质异能位移	391
15.3.2	四极分裂	398
15.3.3	磁的 Zeeman 分裂(磁分裂)	400
15.4	Mössbauer 核素	402
15.5	Mössbauer 效应在化学中的应用	404
15.5.1	用 Mössbauer 谱法测定离子的氧化态	404

15.5.2	用 Mössbauer 发射谱研究放射性核素在固相中的 价态	406
15.5.3	从 ^{237}Np 的 Mössbauer 谱研究镎化合物的价态	407
15.5.4	铁(II)-羟肟类配位化合物的 Mössbauer 谱研究 ...	409
	参考文献.....	412
	内容索引.....	413