

无机化学丛书

第十六卷

放射化学

								2 He
			III A	IV A	V A	VI A	VII A	
			5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
			13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
	I B	II B						
28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
76 Pt	77 Au	78 Hg	79 Tl	80 Pb	81 Bi	82 Po	83 At	84 Rn

刘元方 江林根

64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

科学出版社

《无机化学丛书》

第十六卷

放射化学

刘元方 江林根

科学出版社

1988

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。

《无机化学丛书》

第十六卷

放 射 化 学

刘元方 江林根

责任编辑 赵世雄

科学出版社出版

北京朝阳区门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1988年6月第一版 开本：850×1168 1/32

1988年6月第一次印刷 印张：13 5/8

印数：1—1,050 插页：2

平1—2,180 字数：350,000

ISBN 7-03-000305-5/O·85

定价：布脊精装 6.90 元
平 装 5.80 元

《无机化学丛书》编委会

顾 问

戴安邦 顾翼东

主 编

张青莲

副 主 编

申泮文

编 委

尹敬执 曹锡章 吕云阳

顾学民 赵世雄

序

无机化学是化学科学的一个重要分支,也是最早发展起来的一门化学分支学科。无机化学研究的对象是周期系中各种元素及其化合物,不包括碳氢化合物及其衍生物。本世纪中叶以来,无机化学又进入了新的发展阶段。这是和许多新的科学技术领域,如原子能工业、空间科学技术、使用半导体材料的通信和计算技术等兴起密切相关的。这些科技部门要求人们利用无机化学的理论探索和研制种种具有特殊性能的新材料,研究极端条件下物质的性质和反应机理,以及提出新的无机物的工艺流程。与此同时,现代物理学、生命科学、地质科学以及理论化学的新进展等因素也都在日益推动着无机化学的发展进程。

我国在解放前缺少与无机化学有关的工业基础,因此无机化学人才培养得较少,科学研究工作的基础也比较薄弱。解放后我国无机化学虽有了很大发展,但仍然比较落后。为了扭转这种局面,加速无机化学科学人员的培养和提高,促使教学和研究工作的迅速发展,以及为了解决我国丰富的矿产资源的综合利用、新型材料的合成、无机化学新观点和新理论的提出等问题,有必要编辑出版一套中型的无机化学参考书。为此,科学出版社和中国化学会共同组织了《无机化学丛书》编辑委员会主持本丛书的编写工作。经过多次讨论和协商,拟订了丛书的编辑计划和写

作大纲。确定丛书分十八卷,共四十一个专题,从 1982 年起陆续出版。全丛书共约六百余万字,前十卷为各族元素分论,后八卷为无机化学若干重要领域的专论。

本丛书适合高等学校教师、高年级学生和研究生、科学研究人员和技术人员参阅。编委会竭诚欢迎广大读者对本书的内容提出宝贵的意见,以便在再版时加以修改。

《无机化学丛书》编委会

1982 年 9 月

第十六卷 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

《无机化学丛书》总目

- 第一卷 1. 稀有气体 2. 氢 3. 碱金属
第二卷 4. 铍 5. 碱土金属 6. 硼 7. 铝 8. 镓分族
第三卷 9. 碳 10. 硅 11. 锗分族
第四卷 12. 氮 13. 磷 14. 砷分族
第五卷 15. 氧 16. 硫 17. 硒分族
第六卷 18. 卤素 19. 铜分族 20. 锌分族
第七卷 21. 钪 22. 稀土元素
第八卷 23. 钛分族 24. 钒分族 25. 铬分族
第九卷 26. 锰分族 27. 铁系 28. 钴系
第十卷 29. 钨系 30. 钨系后元素
第十一卷 31. 无机结构化学
第十二卷 32. 配位化学
第十三卷 33. 无机物热力学 34. 无机物动力学
第十四卷 35. 无机物相平衡 36. 非整比化合物
第十五卷 37. 有机金属化合物 38. 生物无机化学
第十六卷 39. 放射化学
第十七卷 40. 稳定同位素化学
第十八卷 41. 地球化学

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	镤和钷	68
3.4.1	镤	68
3.4.2	钷	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 砷和钷	79
3.7.1 砷	79
3.7.2 钷	81
3.8 其他天然放射性核素	82
参考文献	84
39.4 人工放射性元素与钢系元素化学	85
4.1 空位元素	85
4.1.1 镅	85
4.1.2 钷	87
4.2 钢系元素	88
4.2.1 超铀元素的合成	89
4.2.2 钢系元素的电子结构	93
4.2.3 钢系元素的价态、氧化还原反应	94
4.2.4 钢系元素的水解反应	100
4.2.5 钢系元素的离子半径	102
4.2.6 钢系元素的配位化学	103
4.2.7 钢系元素金属	104
4.2.8 钢系元素的应用	106
4.3 钢系后元素及超重元素的展望	106
4.3.1 钢系后元素的合成	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, γ) 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