

有色金属工业分析丛书

地质和地球化学
物料分析

· 2 ·

《有色金属工业分析丛书》

编辑委员会 编

有色金属工业分析丛书 2

地质和地球化学 物料分析

《有色金属工业分析丛书》

编辑委员会 编

冶金工业出版社

(京) 新登字036号

内 容 提 要

《地质和地球化学物料分析》是《有色金属工业分析丛书》之一。全书共分18章,系统地论述了现代常用的分析方法在地质和地球化学物料分析中的应用以及有关试样的预处理、标准物质的研制、地质实验室管理和质量监控。书中还介绍了一般分析化学专著中不易见到的痕量元素相态分析和矿物包裹体成分分析等方法及其应用。

本书可供广大岩矿分析专业人员使用,也可供科研院所、工矿企业和大专院校的分析专业人员使用,有的章节还可以供地质和化探专业人员参考。

有色金属工业分析丛书 2
地质和地球化学物料分析
《有色金属工业分析丛书》编辑委员会 编
责任编辑 刘永琴

*

冶金工业出版社出版发行

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店总店科技发行所经销

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张 17.875 字数464千字

1993年12月第一版

1993年12月第一次印刷

印数1~1600册

ISBN 7-5024-1284-0

TF·304 定价22.00元

《有色金属工业分析丛书》

编辑委员会

主任委员

王道隆

副主任委员

(按姓氏笔划为序)

丁长兴 王家洪 朱子长 张凤兮

杨邦俊 秦光荣 翁吉生 符斌

委员

(按姓氏笔划为序)

丁官忠 于广聪 王守成 王履宏

刘文华 邬安华 苏德 吴永福

陆世鑫 李昌世 张志龙 张宝琦

张惠斌 林庆权 赵多仲 赵敏政

夏汉祥 郭采文 徐金华 常发现

龚美菱 裴立奋 蔡绍勤 薛潮明

本册主编

张志龙

副主编

龚美菱

编写人员

(按姓氏笔划为序)

王平约 王逸骏 田盛芳 庄世杰

吕银忠 陈寿根 陈远盘 余敬芳

赵步华 郭小伟 郭陀珠 翁吉生

舒柏崇 喻铁阶 裴伯堂 蔡树型

编 者 的 话

建国40多年来,我国有色金属工业有了突飞猛进的发展。分析测试工作在有色金属工业生产中是一个不可缺少的环节,它对有色金属工业的生产、科研、产品质量的提高都起着重要的作用。目前,有色金属工业分析专业门类齐全,仪器设备先进,拥有一支技术水平较高的专业队伍,实现了现代化管理,在全国分析行业中享有一定的声誉。

为了系统总结有色金属工业分析在理论和实际工作中的成就和经验,进一步提高本行业的分析测试水平以适应我国有色金属工业的发展,在中国有色金属工业总公司科技局的支持和领导下,由有色金属分析化学科技协作组和有色金属分析情报网共同筹划,组成了编辑委员会,负责组织《有色金属工业分析丛书》的编写工作。《丛书》的编写以先进性与实用性相结合为指导思想,力求反映出我国有色金属工业分析的特色和技术水平。由于有色金属产品种类繁多,《丛书》基本上按分析对象分类,每本书又各具特色,内容丰富,既有简明的理论阐述,又有实用方法介绍;既有经典化学分析方法,又有现代仪器分析方法,可作为分析测试人员的实用工具书。

《丛书》共九种:

- 1 现代分析化学基础
- 2 地质和地球化学物料分析
- 3 重金属冶金分析
- 4 轻金属冶金分析
- 5 贵金属分析
- 6 难熔金属和稀散金属冶金分析
- 7 稀土分析
- 8 高纯金属和半导体材料分析
- 9 矿石和工业产品化学物相分析

《丛书》在编写过程中，得到了沈阳冶炼厂、株洲冶炼厂、白银有色金属公司、金川有色金属公司、云南锡业公司、郑州铝厂、葫芦岛锌厂、株洲硬质合金厂、跃龙化工厂、北京有色金属研究总院、北京矿冶研究总院、中国有色金属工业总公司矿产地质研究院、广州有色金属研究院、郑州轻金属研究院、昆明贵金属研究所、西北有色金属研究院、西北有色金属地质研究所、湖南稀土金属材料研究所、峨眉半导体材料研究所、上海有色金属研究所和中南工业大学等单位的领导和广大分析工作者的积极支持，在此表示致谢。

《丛书》中的《地质和地球化学物料分析》，系统地论述了现代常用的分析方法在地质和地球化学物料分析中对78种元素（120多种组分）分析和U、Th、Pb、Rb、Sr、C、H、O等同位素分析的应用以及有关试样的预处理、标准物质的研制、地质实验室管理和质量监控。为了适应现代地质和地球化学寻找隐伏矿的需要，书中重点介绍各种痕量元素的测定方法及其同时测定、连续测定的技术和优化组合的分析系统。另外，还介绍了痕量元素相态分析方法及其在评价化探异常研究中的应用。

《有色金属工业分析丛书》编辑委员会

1990年11月

目 录

1 总论	1
1.1 地质和地球化学物料分析的含义和意义	1
1.2 地质和地球化学物料分析的特点	2
1.3 地质和地球化学物料分析的要求	4
1.3.1 高灵敏度和低检出限	4
1.3.2 良好的精密度和准确度	5
1.3.3 高效率、高速度和低成本	8
1.3.4 痕量元素的相态分析	8
1.3.5 野外现场分析	8
1.4 地质和地球化学物料分析的发展趋向	9
1.4.1 仪器分析的重要作用	9
1.4.2 多元素同时测定和连续测定的分析系统的建立	9
1.4.3 化学与化学分析仍然是现代分析化学的基础	10
1.4.4 地质和地球化学物料分析中薄弱环节的研究	11
参考文献	13
2 分析试样的预处理	14
2.1 概述	14
2.2 地质采样	14
2.2.1 采集地质样品的方法	14
2.2.2 采样布置和采样的注意事项	15
2.3 样品的加工	16
2.3.1 样品加工的任务	16
2.3.2 加工过程中的样品缩分	16
2.3.3 样品的混匀	17
2.3.4 样品加工的注意事项	17
2.4 试样的分解	18
2.4.1 试样分解的注意事项	18
2.4.2 试样分解的方法	18

2.5 分离与富集技术	23
2.5.1 沉淀与共沉淀	23
2.5.2 气态分离	24
2.5.3 萃取	25
2.5.4 离子交换和吸附	26
2.5.5 色谱分离	31
2.5.6 电化学法	33
2.5.7 浮选分离法	33
2.5.8 分离与富集和形态分析的关系	33
参考文献	34
3 经典化学分析	37
3.1 概述	37
3.2 重量法	37
3.2.1 矿石中钡的测定	37
3.2.2 矿石中铈和钍的测定	39
3.2.3 矿石中硫的测定	40
3.2.4 矿石中钨的测定	42
3.2.5 岩石中吸附水和化合水的连续测定	42
3.2.6 岩石中烧失量的测定	44
3.3 滴定法	44
3.3.1 矿石中银的测定	44
3.3.2 矿石中砷的测定	46
3.3.3 矿石中金的测定	47
3.3.4 矿石中铈的测定	50
3.3.5 铬铁矿中铬的测定	50
3.3.6 矿石中铁的测定	51
3.3.7 矿石和岩石中氧化亚铁的测定	53
3.3.8 矿石中汞的测定	55
3.3.9 矿石中五氧化二磷的测定	56
3.3.10 矿石中铈的测定	57
3.3.11 岩石矿物中二氧化硅的测定	58
3.3.12 矿石中锡的测定	59

3.3.13 岩石中二氧化碳的测定	60
3.4 有色金属矿石中硅、铁、铝、钙、镁的系统分析	63
3.4.1 二氧化硅的测定	63
3.4.2 铁的测定	64
3.4.3 氧化铝的测定	65
3.4.4 钙和镁的测定	65
参考文献	66
4 光度分析	68
4.1 概述	68
4.2 吸光光度法	68
4.2.1 岩石矿物中银的测定	69
4.2.2 岩石矿物中金的测定	70
4.2.3 岩石矿物中氧化铝的测定	71
4.2.4 铅锌矿石中镓的测定	72
4.2.5 铅锌矿石中铟的测定	72
4.2.6 铅锌矿石中铈的测定	73
4.2.7 岩石矿物中铀的测定	74
4.2.8 铅锌矿石中锗的测定	75
4.2.9 岩石矿物中锡的测定	76
4.2.10 岩石矿物中钛的测定	76
4.2.11 岩石矿物中锆(铪)的测定	77
4.2.12 岩石矿物中钒的测定	78
4.2.13 矿石中铌和钽的测定	79
4.2.14 岩石矿物中铬的测定	80
4.2.15 岩石矿物中钨的测定	81
4.2.16 岩石矿物中钨的测定	82
4.2.17 岩石矿物中锰的测定	83
4.2.18 岩石矿物中钴的测定	84
4.2.19 岩石矿物中镍的测定	84
4.2.20 岩石矿物中铂和钯的测定	86
4.2.21 岩石矿物中稀土总量的测定	87

4.2.22 岩石矿物中铀的测定	88
4.2.23 岩石矿物中钍的测定	89
4.2.24 岩石矿物中磷的测定	90
4.2.25 硅酸盐岩石中氟的测定	90
4.2.26 硅酸盐岩石中氯的测定	91
4.2.27 硅酸盐岩石中溴的测定	92
4.3 动力学吸光光度法	93
4.3.1 岩石矿物中铁和钒的测定	93
4.3.2 硅酸盐岩石中碘的测定	95
4.4 荧光光度法	96
4.4.1 岩石矿物中铈的测定	96
4.4.2 岩石矿物中钍的测定	97
4.5 化学发光法	98
4.5.1 岩石矿物中金的测定	98
参考文献	100
5 电化学分析	101
5.1 概述	101
5.2 经典极谱法	101
5.2.1 矿石中铜、镉和锌的测定	102
5.2.2 矿石中铅的测定	103
5.2.3 矿石中铬的测定	103
5.2.4 地球化学试样中锰和铁的测定	104
5.2.5 岩石矿物中硒和碲的测定	104
5.2.6 矿石中铈的测定	106
5.2.7 矿石中铈的测定	106
5.2.8 混合稀土氧化物中铈的测定	107
5.3 催化极谱法和络合吸附波极谱法	108
5.3.1 矿石中痕量银的测定	109
5.3.2 地球化学试样中痕量砷的测定	110
5.3.3 矿石中痕量金的测定	111
5.3.4 岩石和土壤中痕量硼的测定	112
5.3.5 地球化学试样中痕量铍的测定	113

5.3.6 地球化学试样中痕量铋的测定	114
5.3.7 地质试样中痕量溴的测定	116
5.3.8 地球化学试样中痕量镉的测定	117
5.3.9 岩石矿物中痕量钴的测定	118
5.3.10 地球化学试样中痕量铬的测定	119
5.3.11 地球化学试样中痕量铜的测定	119
5.3.12 岩石和土壤中痕量镓的测定	120
5.3.13 地球化学试样中痕量锆的测定	121
5.3.14 岩石矿物中痕量铟的测定	122
5.3.15 矿石中痕量铊的测定	124
5.3.16 岩石矿物中痕量硒、碲的测定	125
5.3.17 矿石中痕量铋的测定	127
5.3.18 地球化学试样中铅的测定	128
5.3.19 地球化学试样中痕量锌的测定	129
5.3.20 地球化学试样中痕量锑的测定	130
5.3.21 矿石中痕量铌的测定	131
5.3.22 矿石中痕量钽的测定	132
5.3.23 地球化学试样中痕量锆的测定	133
5.3.24 地球化学试样中痕量钼的测定	134
5.3.25 地球化学试样中痕量铀的测定	136
5.3.26 地球化学试样中钍的测定	137
5.3.27 地球化学试样中痕量钼和钨的测定	138
5.3.28 铜精矿和多金属矿中钨的测定	138
5.3.29 地球化学试样中钨的测定	139
5.3.30 地球化学试样中痕量锡的测定	139
5.3.31 地球化学试样中痕量铈和镨的测定	140
5.3.32 锰矿石中痕量镨的测定	141
5.3.33 矿石中痕量钨和钼的测定	142
5.3.34 矿石中痕量铂和铑的测定	144
5.3.35 矿石中痕量铱的测定	145
5.3.36 矿石中痕量钯的测定	146
5.4 溶出伏安法	147

5.4.1 矿石中痕量金的测定	148
5.4.2 地球化学试样中痕量铜的测定	149
5.4.3 地球化学试样中痕量铊的测定	150
5.4.4 地球化学试样中痕量碘的测定	151
5.4.5 天然水中痕量氯离子的测定	152
5.4.6 岩石矿物中痕量铅和镉的测定	153
5.4.7 土壤中痕量铋和锑的测定	154
5.5 离子选择电极法	155
5.5.1 地球化学试样中氟的测定	155
5.5.2 岩石和土壤中氟、氯和碘的测定	156
5.5.3 岩石和土壤中氟、氯、溴和碘的测定	157
5.5.4 矿石中银的测定	158
5.5.5 岩石矿物中砷的测定	158
5.5.6 矿石中金的测定	159
5.5.7 矿石中硼的测定	160
5.5.8 土壤中pH的测定	161
5.5.9 钨锰矿中钨的测定	161
5.6 电位滴定法	162
5.6.1 锰矿石中锰的测定	162
5.6.2 硅酸盐岩和碳酸盐岩中钙的测定	163
5.6.3 矿石中硫的测定	163
5.6.4 矿石中锑和砷的测定	163
5.7 交流示波极谱滴定法	164
5.7.1 锌矿石中锌的测定	164
5.7.2 钨矿石中钨的测定	165
5.7.3 硅酸盐岩石中铝和铁的测定	165
5.8 库仑分析法	166
5.9 电位溶出法	166
5.10 电流滴定法	167
参考文献	167
6 原子吸收光谱分析和原子荧光光谱分析	170

6.1 概述	170
6.2 火焰原子吸收光谱法	171
6.2.1 地球化学试样中钙、镉等11种元素的测定	171
6.2.2 地球化学试样中铜、铅等6种元素的测定	171
6.2.3 岩石矿物中钾和钠的测定	173
6.2.4 岩石矿物中锂的测定	174
6.2.5 岩石矿物中铷和铯的测定	174
6.2.6 岩石矿物中铟和钽的测定	175
6.2.7 岩石矿物中铍的测定	176
6.2.8 矿石中金的测定	177
6.2.9 矿石中银的测定	180
6.2.10 地球化学试样中银的测定	181
6.2.11 矿石中镓的测定	182
6.2.12 矿石中铟和铊的测定	183
6.2.13 地球化学试样中银和镉的测定	184
6.3 石墨炉原子吸收光谱法	184
6.3.1 地球化学试样中痕量金的测定	184
6.3.2 岩石和土壤中痕量金的测定	185
6.3.3 矿石中痕量铂和钯的测定	186
6.3.4 矿石中痕量铂、钯和金的测定	187
6.3.5 化探试样中痕量银的测定	188
6.3.6 化探试样中痕量镉的测定	189
6.3.7 地质试样中痕量铋的测定	190
6.3.8 矿石中痕量镓的测定	191
6.3.9 矿石中痕量锗的测定	192
6.3.10 化探试样中痕量铟的测定	194
6.3.11 化探试样中痕量铊的测定	195
6.3.12 地质试样中痕量碲的测定	196
6.3.13 水系沉积物中痕量钨的测定	197
6.4 氢化物发生-原子吸收光谱法	197
6.4.1 地球化学试样中痕量砷、锑、铋和汞的测定	197
6.4.2 岩石矿物中痕量锑和铋的测定	198

6.4.3 地球化学试样中痕量砷、铈和铋的测定	199
6.4.4 地球化学试样中痕量锡的测定	200
6.4.5 化探试样中痕量锆的测定	201
6.4.6 地质试样中痕量硒和碲的测定	201
6.4.7 地质试样中痕量铅的测定	202
6.5 原子荧光光谱法	203
6.5.1 化探试样中痕量砷、铈、铋和汞的测定	203
6.5.2 地质试样中痕量硒和碲的测定	203
6.5.3 地球化学试样中痕量锆的测定	205
6.5.4 矿石中银、镁、镉、锌的测定	205
参考文献	206
7 原子发射光谱分析	207
7.1 概述	207
7.2 电感耦合等离子体原子发射光谱法	207
7.2.1 地质试样中硅、铝等17种元素的测定	207
7.2.2 化探试样中铁、铝等22种元素的测定	209
7.2.3 地质试样中铈、钼等31种元素的测定	212
7.2.4 地质试样中镧等15种痕量稀土元素和钪的测定	214
7.2.5 地球化学试样中银、硼等29种元素的测定	221
7.2.6 地球化学试样中钡、铍等28种元素的测定	222
7.3 直流等离子体原子发射光谱法	225
7.3.1 化探试样中镉、锌等14种元素的测定	225
7.3.2 地质试样中镧、铈等15种痕量稀土元素的测定	226
7.3.3 铜镍矿中痕量铂和钯的测定	228
7.3.4 化探试样中硅、铝等10种元素的测定	229
7.4 交流电弧和直流电弧光谱法	230
7.4.1 化探和地质试样中痕量金的测定	231
7.4.2 地质试样中痕量稀土元素的测定	234
7.4.3 黄铁矿和磁黄铁矿物中银、铋等23种元素的测定	238
7.4.4 锡石单矿物中银、铍等33种伴生元素的测定	240
7.4.5 硅酸盐岩石等中铅、锡等11种痕量元素的测定	246
7.4.6 花岗岩中痕量铈、钼、钨和铪的测定	247

7.4.7 化探试样中银、砷等14种易挥发元素的测定·····	248
7.4.8 化探模式试样中痕量锌、锰等17种元素的测定·····	249
7.5 激光显微光谱法·····	252
7.5.1 铌钽矿物中铌、钽等6种元素的测定·····	252
7.5.2 铌钽铁矿物中铌、钽、铁和锰的测定·····	253
7.5.3 地质试样中主要成分和次要成分的测定·····	255
7.6 交流电弧撒(吹)样光谱法·····	256
7.6.1 化探试样中铜、铅等24种元素的测定·····	257
7.6.2 化探扫面试样中硼、钴等19种元素的测定·····	257
参考文献·····	260
8 色谱分析·····	262
8.1 概述·····	262
8.2 离子色谱法·····	263
8.2.1 试样的预处理·····	263
8.2.2 地球化学试样中卤族元素和硫的测定·····	273
8.2.3 地球化学试样中氟、氯、溴、硫的测定·····	275
8.2.4 岩石和土壤中氟的测定·····	277
8.2.5 土壤浸出液中 PO_4^{3-} 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 SeO_3^{2-} 、 SeO_4^{2-} 的 测定·····	278
8.2.6 岩石矿物和土壤中 NH_4^+ 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的 测定·····	279
8.2.7 Fe^{3+} 与 Fe^{2+} 的测定·····	280
8.3 气相色谱法·····	281
8.3.1 包裹体中水、二氧化碳和甲烷等气相成分的测定·····	281
8.3.2 岩石矿物中化合水和二氧化碳的测定·····	283
8.3.3 矿物中痕量元素硫的测定·····	284
8.4 纸色谱和薄层色谱法·····	285
8.4.1 岩石矿物中痕量铀的测定·····	285
8.4.2 稀土矿中单个稀土元素的测定·····	285
参考文献·····	286
9 流动注射分析·····	289

9.1 概述	289
9.2 流动注射分析-吸光光度法	290
9.2.1 地质试样中钛的测定	290
9.2.2 岩石中亚铁的测定	291
9.2.3 岩石中磷的测定	291
9.2.4 钒钛磁铁矿中钛的测定	293
9.2.5 矿石中铁的测定	293
9.2.6 岩石矿物中痕量碘的测定	294
9.2.7 土壤中有效锌的测定	295
9.3 流动注射分析-电位滴定法测定土壤和地表水中 氯化物	297
9.4 流动注射分析-原子吸收光谱法	299
9.4.1 土壤中铜、锌等8种元素的测定	299
9.4.2 地球化学试样中痕量银的测定	301
9.4.3 地球化学试样中铋的测定	302
9.4.4 地球化学试样中砷、锑和铋的测定	303
9.4.5 地球化学试样中痕量汞的测定	304
9.5 流动注射分析-氢化物-电感耦合等离子体原子发射 光谱法测定地球化学试样中砷、锑和铋	305
9.6 流动注射分析的发展前景	307
参考文献	308
10 X射线荧光光谱分析	309
10.1 概述	309
10.2 粉末试样的制样方法	310
10.2.1 压片法	310
10.2.2 熔样法	310
10.2.3 薄样法	311
10.3 波长色散X射线荧光光谱法	311
10.3.1 硅酸盐岩石中铁、铝等10种元素的测定	311
10.3.2 化探试样中铝、钙等24种元素的测定	314
10.3.3 碳酸盐岩石中铁、铝等10种元素的测定	313

10.3.4	岩石矿物中稀土元素和钪的测定	319
10.3.5	铁矿石中铜、锌等12种元素的测定	323
10.3.6	岩石中痕量铷和铯的测定	324
10.3.7	铈钼矿中铈、钼、铁和锰等元素的测定	325
10.3.8	单矿物分析	328
10.4	能量色散X射线荧光光谱法	331
10.4.1	硅酸盐岩石中铁、铝、钙、铷和铯等元素的测定	331
10.4.2	岩石中铷、铯和钽等痕量元素的测定	332
10.4.3	硫化物矿物中锌、铅和铜等元素的测定	333
10.5	同步辐射X射线荧光光谱法	334
10.5.1	岩石矿物中稀土元素的测定	334
10.5.2	宇宙物质中痕量元素的测定	335
10.6	质子激发X射线发射光谱法	336
10.6.1	地质试样中原子序数大于12的元素的测定	336
10.6.2	岩石中钪、锆和钪等痕量元素的测定	336
10.7	全反射X射线荧光光谱法测定标准试样中钙和钪等元素	337
10.8	化学富集-X射线荧光光谱法测定岩石中钪和钪	337
	参考文献	338
11	质谱分析	340
11.1	概述	340
11.2	热表面电离源质谱法	340
11.2.1	硫化物矿物和岩石中铅同位素分析	341
11.2.2	岩石矿物中铷和铯的同位素分析	342
11.2.3	锆英石中铷、钪和铅的同位素分析	345
11.3	火花源质谱法	347
11.3.1	地球化学试样中钪、锆等26种痕量元素的测定	347
11.3.2	地球化学试样中痕量溴和碘的测定	349
11.3.3	地球化学试样中铷、锆等18种痕量元素的测定	350
11.3.4	地质试样中铷、钪等14种痕量元素的测定	352