现代有色金属分析丛书

现代轻金属冶金分析

张树朝　主编

化学工业出版社
·北京·

需要全本请访问 www.ertongbook.com

《现代有色金属分析丛书》编委会

主　　任　符　斌

委　　员　（以姓氏笔画为序）

刘文华　李华昌　张树朝　符　斌　董守安　裘立奋

《现代轻金属冶金分析》编写人员

主　　编　张树朝

编写人员　（以姓氏笔画为序）

石　磊　冯敬东　关玉珍　李春潮　李跃平

张元克　张炜华　张树朝　张爱芬　赵春芳

郭永恒　黄　华　梁　倩　路培乾

本书系《现代有色金属分析丛书》之一。本书首先介绍一些分析基础知识和6种轻金属的物理化学性质；并分别介绍了铝、镁、工业硅的冶金分析，锂及锂盐、铷、铯及铷铯盐的分析以及轻金属冶金环保分析。全书系统阐述了这些轻金属在冶金生产过程中的主要原料、中间物料、金属和合金及相关盐类、环保的分析方法。所选择的方法都是实际工作中所采用的，包括了最新的ISO标准、国家标准、行业标准分析方法，也将成熟的X射线荧光光谱、高频耦合等离子发射光谱等仪器使用方法列入，这些方法的编排方式基本与操作规程相似，因此具有很好的实用价值。

本书适合从事有色金属分析测试的工作人员阅读，也可供相关专业院校师生及科研工作者参考。

图书在版编目（CIP）数据

现代轻金属冶金分析/张树朝主编. —北京：化学工业出版社，2006.7

（现代有色金属分析丛书）

ISBN 7-5025-9143-5

Ⅰ.现… Ⅱ.张… Ⅲ.轻有色金属-金属分析 Ⅳ.TG146.2

中国版本图书馆CIP数据核字（2006）第087232号

现代有色金属分析丛书

现代轻金属冶金分析

张树朝 主编

责任编辑：窦 臻

文字编辑：项 潋

责任校对：吴 静

封面设计：九九设计工作室

*

化学工业出版社出版发行

（北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码100029）

购书咨询：（010）64982530

（010）64918013

购书传真：（010）64982630

http://www.cip.com.cn

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本787mm×1092mm 1/16 印张26¾ 字数666千字

2007年1月第1版 2007年1月北京第1次印刷

ISBN 7-5025-9143-5

定 价：68.00元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者，本社发行部负责退换

《现代有色金属分析丛书》前言

我国是有色金属大国，进入21世纪，我国的有色金属工业取得了突飞猛进的发展，2002年，我国的有色金属产量跃居世界第一位，此后一直保持不变。现代科学技术的进步，国民经济的增长，有色金属产业的发展，各方面对有色金属分析都提出了更高的要求。为了适应这一要求以及广大从业人员的需要，我们受化学工业出版社委托编写了这套《现代有色金属分析丛书》。本丛书的编写以先进性与实用性相结合为指导思想，力求反映我国有色金属领域分析测试技术的特色与技术水平，以及这方面的重大变革。本丛书按分析对象设定为5个分册：

1 《现代重金属冶金分析》

2 《现代轻金属冶金分析》

3 《现代贵金属分析》

4 《现代难熔金属和稀散金属分析》

5 《现代稀土金属工业分析》

丛书中每个分册都各具特色，内容丰富，既有简明的理论阐述，又有实用方法介绍；既有现代仪器分析方法，又有经典化学分析方法。各分册内容以有色金属行业通用的、目前在工业过程中普遍采用的、技术成熟的分析方法为主，同时注意体现新颖性，对于国内外具有推广价值和发展前景的先进技术力求给予充分反映。所介绍的技术、方法不仅结合国家、行业的有关最新标准、规范，而且突出新技术、新方法、新仪器。我们希望，该套丛书的出版能对我国有色金属分析事业的进步与发展有所贡献。

这套丛书内容全面、新颖、实用性强，是分析测试人员实用的技术用书，可供冶金、地质、环保部门和有关科研单位的分析测试工作者使用，也可供有关院校师生参考。

本丛书在编写过程中，得到了北京矿冶研究总院、郑州轻金属研究院、昆明贵金属研究所、株洲硬质合金集团公司、北京有色金属研究总院等单位的领导和分析工作者的积极支持，在此谨致谢忱！

《现代有色金属分析丛书》编委会

2006年8月

前　言

近几年来，我国轻金属行业得到了迅猛的发展，铝、镁、硅产量多年稳居世界第一，其中镁的产量更是占到全球产量的70%以上，国际贸易异常繁荣，我国已成为世界上铝合金建筑型材、镁及镁合金、工业硅、铝用炭素材料、氟化盐的最大出口国，同时又是氧化铝、高精度铸轧铝制品的进口大国。金属产量的大幅上升，带动了相关的原材料行业，如氧化铝、铝用炭素材料、氟化盐等的发展；促进了下游产业，如铝加工中的型材、板材、箔材，铸造镁合金、变形镁合金、镁合金牺牲阳极、镁粉系列、电池用锂盐等的发展。随着轻金属冶炼技术的发展，对满足自动化生产、影响节能降耗的指标，如氧化铝、氟化盐的流动性能，铝用炭素材料的抗氧化性能、抗热振性能等提出了新的要求；而轻金属应用范围的不断扩大，产品的内在质量中一些关系到安全健康的指标，如重金属的含量、起尘性等越来越受到重视；国际贸易的大幅增加，与国际接轨的产品质量和分析检测方法的要求越来越高；对环保的重视，需要检测过去许多没有检测过的项目。因此，编写一部较全面的轻金属冶金分析用书，具有很现实的意义。

同时，近年来，轻金属分析检测技术有了较大的进展，主要表现在：大型分析检测设备的成功应用和大量分析检测方法标准的起草，如X射线荧光光谱仪已应用在铝土矿、氟化盐、铝用炭素材料、石灰石、白云石、电解质等的分析，高频耦合等离子发射光谱仪、光电直读光谱仪应用在铝及铝合金、镁及镁合金、工业硅等的分析检测中；而且许多新的分析方法，包括性能测定的方法已制定为各种标准分析方法，促进了行业的规范和进步，为了及时反映这些技术的变化，也是我们编写本书的主要目的。

本书共分7章，第1章为绪论，主要介绍一些分析基础知识和6种轻金属的物理化学性质，第2章～第6章分别是铝、镁、硅、锂、铷、铯的冶金分析；第7章是轻金属冶金环保分析。全书系统介绍了这些轻金属在冶炼、加工过程中的主要原料、中间物料、金属和合金及相关盐类的分析检测方法，以及分析检测技术的最新进展。所选择的方法具有可靠性、可操作性、先进性等特点，都是实际工作中所采用的方法，包括了一些最新的ISO标准、ASTM标准、国家标准、有色金属行业标准分析方法，也将成熟的X射线荧光光谱、高频耦合等离子发射光谱、红外吸收光谱、离子色谱等仪器分析方法列入，同时将相关材料的力学性能、电性能、热性能、抗氧化性能、输送性能等的测定方法编入进去。这些方法都是按照原理、仪器试剂或装置、测定步骤、注意事项来编排的，可作为从事分析化学研究的科技工作者、分析测试部门的科技人员的常备参考书，可作为企业及厂矿分析检测人员的实用操作工具书，也作为轻金属分析检测职业技能鉴定用书，并可供大专院校相关专业人员阅读参考。

虽然本书的编著者都是多年来一直从事轻金属分析检测和标准制定研究的人员，但限于编者的水平和掌握的资料有限，同时分析检测技术在不断的发展，而标准也一直在更新，因此书中难免有不足之处，恳请广大读者批评指正。

本书编写过程中得到了中国铝业股份有限公司郑州研究院、新疆有色金属研究所的领导和广大分析工作者的积极支持，在此表示感谢！

编者

2006年5月

需要全本请访问 www.ertongbook.com

目　录

第 1 章　绪论 …… 1
1.1　基础知识 …… 1
1.1.1　纯水制备及检验 …… 1
1.1.2　常用标准溶液的配制 …… 5
1.1.3　常用缓冲溶液的配制 …… 17
1.2　轻金属元素的物理化学性质 …… 19
1.2.1　铝 …… 19
1.2.2　镁 …… 20
1.2.3　硅 …… 21
1.2.4　锂 …… 22
1.2.5　铷 …… 23
1.2.6　铯 …… 24
参考文献 …… 25
第 2 章　铝冶金分析 …… 26
2.1　铝土矿的分析 …… 26
2.1.1　概述 …… 26
2.1.2　氧化铝的测定——EDTA 置换滴定法 …… 29
2.1.3　氧化硅的测定 …… 30
2.1.4　三氧化二铁的测定 …… 32
2.1.5　二氧化钛的测定——二安替吡啉甲烷分光光度法 …… 33
2.1.6　氧化钾和氧化钠的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 34
2.1.7　氧化钙的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 35
2.1.8　氧化镁的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 36
2.1.9　氧化锌的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 37
2.1.10　三氧化二镓的测定 …… 37
2.1.11　一氧化锰的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 39
2.1.12　三氧化二铬的测定——二苯基碳酰二肼分光光度法 …… 40
2.1.13　氧化锂的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 41
2.1.14　五氧化二钒的测定——苯甲酰苯胲分光光度法 …… 41
2.1.15　五氧化二磷的测定——磷钼蓝分光光度法 …… 42
2.1.16　总碳和总硫的测定——燃烧红外吸收法 …… 43
2.1.17　有机碳的测定——燃烧红外吸收法 …… 44
2.1.18　X 射线荧光光谱分析法测定元素含量 …… 44
2.1.19　矿物组成鉴定——X 射线衍射法 … 46
2.2　铝酸钠溶液的分析 …… 47
2.2.1　概述 …… 47
2.2.2　苛性碱、全碱和氧化铝的测定——滴定法 …… 49
2.2.3　氧化硅的测定——硅钼蓝分光光度法 …… 50
2.2.4　三氧化二铁的测定——邻二氮杂菲分光光度法 …… 51
2.2.5　氧化钾的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 52
2.2.6　五氧化二钒的测定——*N*-苯甲酰苯羟胺分光光度法 …… 52
2.2.7　三氧化二镓的测定——丁基罗丹明 B 分光光度法 …… 53
2.2.8　氧化锂的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 54
2.2.9　全硫和硫酸根的测定——重量法 … 55
2.2.10　氯根的测定——硫氰酸盐滴定法 … 55
2.2.11　有机物的测定——高锰酸钾氧化滴定法 …… 56
2.2.12　离子色谱法测定阴离子 …… 57
2.3　氧化铝的分析 …… 58
2.3.1　概述 …… 58
2.3.2　氧化硅的测定——硅钼蓝分光光度法 …… 59
2.3.3　三氧化二铁的测定——邻二氮杂菲分光光度法 …… 60
2.3.4　氧化钠和氧化钾的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 61

2.3.5 氧化钙的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 62
2.3.6 氧化镁的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 63
2.3.7 二氧化钛的测定——二安替吡啉甲烷分光光度法 …… 64
2.3.8 一氧化铜的测定——新亚铜灵分光光度法 …… 65
2.3.9 氧化锌的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 66
2.3.10 三氧化二镓的测定——丁基罗丹明 B 分光光度法 …… 67
2.3.11 一氧化锰的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 68
2.3.12 三氧化二铬的测定——二苯基碳酰二肼分光光度法 …… 69
2.3.13 氧化锂的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 70
2.3.14 五氧化二钒的测定——*N*-苯甲酰苯羟胺分光光度法 …… 71
2.3.15 五氧化二磷的测定——磷钼蓝分光光度法 …… 72
2.3.16 三氧化二硼的测定——姜黄素分光光度法 …… 73
2.3.17 水分的测定——重量法 …… 74
2.3.18 灼减的测定——重量法 …… 75
2.3.19 碳含量的测定——燃烧红外吸收法 …… 75
2.3.20 硫酸根的测定——亚甲基蓝分光光度法 …… 75
2.3.21 氟的测定——镧-茜素络合酮分光光度法 …… 77
2.3.22 氯的测定——硫氰酸汞分光光度法 …… 80
2.3.23 X 射线荧光光谱分析法测定杂质元素 …… 81
2.3.24 白度的测定 …… 83
2.3.25 筛分粒度的测定 …… 84
2.3.26 磨损指数的测定——流化床法 … 85
2.3.27 α-氧化铝含量的测定——X 射线衍射法 …… 86
2.3.28 比表面积的测定——BET 法 …… 87
2.3.29 松装密度的测定 …… 87
2.3.30 有效密度的测定——比重瓶法 … 88
2.3.31 安息角的测定 …… 90
2.3.32 吸油量的测定 …… 91
2.3.33 吸附指数的测定 …… 92
2.4 氟化盐、铝电解质的分析 …… 93
2.4.1 概述 …… 93
2.4.2 氧化硅的测定——硅钼蓝分光光度法 …… 95
2.4.3 三氧化二铁的测定——邻二氮杂菲分光光度法 …… 95
2.4.4 钠的测定 …… 96
2.4.5 氟的测定——蒸馏硝酸钍滴定法 … 98
2.4.6 铝的测定——EDTA 置换滴定法 … 99
2.4.7 钙的测定 …… 100
2.4.8 五氧化二磷的测定——磷钼蓝分光光度法 …… 102
2.4.9 硫的测定——硫酸钡重量法 …… 103
2.4.10 氟化镁的测定 …… 104
2.4.11 游离氧化铝的测定 …… 106
2.4.12 氟化锂的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 107
2.4.13 灼减的测定——重量法 …… 107
2.4.14 电解质分子比的测定 …… 108
2.4.15 X 射线荧光光谱分析法测定元素含量 …… 109
2.4.16 安息角的测定 …… 110
2.4.17 松装密度的测定 …… 111
2.4.18 筛分粒度的测定 …… 111
2.5 铝用炭素材料的检测 …… 111
2.5.1 概述 …… 111
2.5.2 水分的测定 …… 111
2.5.3 灰分的测定 …… 112
2.5.4 挥发分的测定 …… 112
2.5.5 固定炭的测定 …… 113
2.5.6 硫分的测定 …… 113
2.5.7 微量元素的测定——X 射线荧光光谱法 …… 114
2.5.8 电阻率的测定 …… 114
2.5.9 耐压强度的测定 …… 115
2.5.10 抗折强度的测定——三点法 …… 115
2.5.11 表观密度的测定 …… 116
2.5.12 真密度的测定 …… 116
2.5.13 气孔率的测定 …… 117
2.5.14 空气反应性的测定 …… 118
2.5.15 二氧化碳反应性的测定 …… 121

2.5.16 热导率的测定 …… 122
2.5.17 热膨胀系数的测定 …… 123
2.5.18 弹性模量的测定 …… 124
2.5.19 钠膨胀率的测定 …… 125
2.5.20 空气渗透率的测定 …… 126
2.5.21 阴极糊的焙烧及焙烧损失的测定 … 128
2.5.22 阳极糊的焙烧 …… 129
2.5.23 阳极糊流动性的测定 …… 130
2.5.24 炭胶泥针入度的测定 …… 130
2.6 铝及铝合金的分析 …… 131
2.6.1 概述 …… 131
2.6.2 硅的测定 …… 134
2.6.3 铁的测定——邻二氮杂菲分光光度法 …… 137
2.6.4 铜的测定 …… 138
2.6.5 镁的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 142
2.6.6 锰的测定——高碘酸钾分光光度法 …… 143
2.6.7 锌的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 145
2.6.8 钛的测定 …… 146
2.6.9 镓的测定——丁基罗丹明 B 分光光度法 …… 148
2.6.10 钒的测定——苯甲酰苯胲分光光度法 …… 149
2.6.11 铬的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 150
2.6.12 镍的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 151
2.6.13 镉的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 152
2.6.14 锑的测定——碘化钾分光光度法 … 153
2.6.15 砷的测定——砷钼蓝分光光度法 … 154
2.6.16 汞的测定——冷原子吸收光谱法 … 155
2.6.17 铅的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 156
2.6.18 铍的测定——依莱铬氰兰 R 分光光度法 …… 157
2.6.19 钠的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 159
2.6.20 锆的测定——二甲酚橙分光光度法 …… 159
2.6.21 硼的测定——离子选择电极法 … 160
2.6.22 锂的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 161
2.6.23 锶的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 162
2.6.24 锡的测定——苯基荧光酮分光光度法 …… 164
2.6.25 碳的测定——高频红外吸收法 … 165
2.6.26 稀土的测定 …… 166
2.6.27 铟的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 167
2.6.28 银的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 168
2.6.29 电感耦合等离子体原子发射光谱法测定杂质元素 …… 169
2.6.30 光电直读光谱法测定杂质元素 … 172
2.6.31 活性铝的测定——气体容量法测定 …… 174
2.6.32 油脂的测定——气体容量法 …… 174
2.6.33 盐酸不溶物的测定 …… 175
2.6.34 铝粉盖水面积的测定 …… 175
2.6.35 铝粉松装密度的测定 …… 176
2.6.36 铝粉水分的测定 …… 177
2.6.37 铝粉粒度的测定 …… 178
2.6.38 铝粉附着率的测定 …… 178
2.6.39 抗拉强度的测定 …… 179
2.6.40 硬度的测定 …… 181
2.6.41 膜（或涂层）厚度的测定 …… 182
2.6.42 阳极氧化膜封孔质量的测定 …… 183
2.6.43 涂层硬度的测定 …… 184
2.6.44 膜的附着力的测定 …… 186
2.6.45 人工加速耐候性试验方法 …… 188
2.6.46 耐化学稳定性试验方法 …… 191
2.6.47 膜的耐磨性试验 …… 193
2.6.48 耐沸水性试验 …… 194
2.6.49 耐盐雾试验方法 …… 195
2.6.50 杯突试验方法 …… 197
2.6.51 涂层耐冲击性试验 …… 197
2.6.52 铝及铝合金制品低倍组织检验方法 …… 198
参考文献 …… 199
第 3 章 镁冶金分析 …… 201
3.1 白云石、菱镁矿的分析 …… 201
3.1.1 概述 …… 201
3.1.2 氧化镁的测定 …… 202

3.1.3 氧化钙的测定 …… 204
3.1.4 三氧化二铁的测定 …… 206
3.1.5 氧化铝的测定 …… 208
3.1.6 氧化硅的测定 …… 210
3.1.7 氧化钾和氧化钠的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 214
3.1.8 一氧化锰的测定 …… 215
3.1.9 氧化镍的测定 …… 216
3.1.10 一氧化铜的测定 …… 218
3.1.11 三氧化二硼的测定 …… 220
3.1.12 灼减的测定——重量法 …… 222
3.1.13 水分的测定——重量法 …… 223
3.1.14 X射线荧光光谱分析法测定成分 … 223
3.1.15 活性度的测定——重量法 …… 226
3.1.16 盐酸不溶物的测定——重量法 … 226
3.1.17 耐磨指数的测定 …… 227
3.1.18 矿物组成鉴定 …… 227
3.2 硅铁的分析 …… 227
3.2.1 概述 …… 227
3.2.2 硅的测定 …… 228
3.2.3 铁的测定——重铬酸钾滴定法 … 231
3.2.4 铝的测定 …… 232
3.2.5 锰的测定——高碘酸钾分光光度法 …… 236
3.2.6 镍的测定——丁二酮肟分光光度法 …… 236
3.2.7 铬的测定——二苯基碳酰二肼分光光度法 …… 237
3.2.8 碳和硫的测定——高频感应炉燃烧红外吸收法 …… 238
3.2.9 电感耦合等离子体原子发射光谱法测定杂质元素 …… 239
3.3 镁及镁合金的分析 …… 241
3.3.1 概述 …… 241
3.3.2 铝的测定 …… 243
3.3.3 硅的测定——硅钼蓝分光光度法 … 247
3.3.4 铁的测定——邻二氮杂菲分光光度法 …… 248
3.3.5 铜的测定——新亚铜灵分光光度法 …… 249
3.3.6 锌的测定 …… 250
3.3.7 锰的测定——高碘酸钾分光光度法 …… 252
3.3.8 钛的测定——二安替吡啉甲烷分光光度法 …… 254
3.3.9 镍的测定 …… 255
3.3.10 银的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 257
3.3.11 锡的测定——邻苯二酚紫分光光度法 …… 258
3.3.12 锆的测定——二甲苯酚橙分光光度法 …… 259
3.3.13 铍的测定——依莱铬氰蓝 R 分光光度法 …… 260
3.3.14 氯的测定——氯化银比浊法 …… 262
3.3.15 钾和钠的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 263
3.3.16 铟的测定——结晶紫分光光度法 … 263
3.3.17 铅的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 265
3.3.18 稀土总量的测定——草酸盐重量法 …… 266
3.3.19 钙的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 267
3.3.20 碳的测定——燃烧红外吸收法 … 268
3.3.21 电感耦合等离子体原子发射光谱法测定杂质元素 …… 269
3.3.22 光电直读光谱法测定杂质元素 … 271
3.3.23 抗拉强度的测定 …… 272
3.3.24 屈服强度的测定 …… 272
3.3.25 镁牺牲阳极接触电阻的测定 …… 272
3.3.26 镁牺牲阳极电化学性能的测定 … 273
3.3.27 低倍组织的检验 …… 277
参考文献 …… 278
第 4 章 工业硅冶金分析 …… 279
4.1 硅石的分析 …… 279
4.1.1 概述 …… 279
4.1.2 氧化硅的测定 …… 279
4.1.3 三氧化二铁的测定 …… 281
4.1.4 氧化铝的测定——铝试剂分光光度法 …… 283
4.1.5 氧化镁和氧化钙的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 284
4.2 工业硅的分析 …… 285
4.2.1 概述 …… 285
4.2.2 铝的测定——铬天青 S 分光光度法 …… 285
4.2.3 铁的测定——邻二氮杂菲分光

光度法 …… 286
4.2.4 钙的测定 …… 287
4.2.5 电感耦合等离子体原子发射光谱法测定杂质元素 …… 289
参考文献 …… 290
第 5 章 锂及锂盐的分析 …… 291
5.1 锂辉石、锂云母矿的分析 …… 291
5.1.1 概述 …… 291
5.1.2 氧化锂、氧化钾和氧化钠的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 292
5.1.3 氧化铷和氧化铯的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 293
5.1.4 氧化铝的测定——EDTA 置换滴定法 …… 294
5.1.5 三氧化二铁的测定 …… 295
5.1.6 氧化硅的测定——重量-钼蓝光度法 …… 297
5.1.7 氧化钙和氧化镁的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 298
5.1.8 一氧化锰的测定——高碘酸盐分光光度法 …… 299
5.1.9 氧化铍的测定——铬天青 S 分光光度法 …… 300
5.1.10 五氧化二磷的测定——磷钼蓝分光光度法 …… 301
5.1.11 氟的测定——离子选择电极法 … 301
5.1.12 灼烧减量的测定——重量法 …… 302
5.2 碳酸锂、单水氢氧化锂、氯化锂的分析 …… 303
5.2.1 概述 …… 303
5.2.2 碳酸锂的测定——酸碱滴定法 … 304
5.2.3 氢氧化锂的测定——酸碱滴定法 … 305
5.2.4 氯化锂的测定——硝酸银电位滴定法 …… 305
5.2.5 铝的测定——铬天青 S 分光光度法 …… 306
5.2.6 铁的测定——邻菲啰啉分光光度法 …… 307
5.2.7 硅的测定——硅钼蓝分光光度法 … 308
5.2.8 钙和镁的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 309
5.2.9 钠和钾的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 310
5.2.10 氟的测定——离子选择电极法 … 310
5.2.11 硫化物的测定——硫酸钡比浊法 … 312
5.2.12 氯化物的测定——氯化银比浊法 … 312
5.2.13 二氧化碳的测定——酸碱滴定法 … 313
5.2.14 铜、铅、锌等痕量元素的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 314
5.3 高氯酸锂的分析 …… 315
5.3.1 概述 …… 315
5.3.2 高氯酸锂的测定——重量法 …… 315
5.3.3 铁的测定——邻菲啰啉分光光度法 …… 316
5.3.4 铅的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 317
5.3.5 硫化物的测定——硫酸钡比浊法 … 317
5.3.6 氯及氯酸盐的测定——氯化银比浊法 …… 318
5.3.7 水不溶物的测定——重量法 …… 319
5.3.8 水分的测定——重量法 …… 319
5.3.9 总氮的测定——纳氏分光光度法 … 320
5.3.10 澄清度的测定——目视比浊法 … 320
5.4 磷酸锂的分析 …… 321
5.4.1 概述 …… 321
5.4.2 磷酸锂的测定——酸碱滴定法 … 321
5.4.3 铁的测定——邻菲啰啉分光光度法 …… 322
5.4.4 钙的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 323
5.4.5 镁的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 323
5.4.6 铜、铅和镍的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 324
5.4.7 盐酸透明度的测定——目视比浊法 …… 325
5.4.8 氯化物的测定——氯化银浊度法 … 325
5.5 六氟磷酸锂的分析 …… 326
5.5.1 概述 …… 326
5.5.2 六氟磷酸锂的测定——重量法 … 326
5.5.3 水分的测定——滴定法 …… 327
5.5.4 锂的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 328
5.5.5 杂质金属离子的测定——ICP-AES 法 …… 329
5.6 金属锂的分析 …… 330
5.6.1 概述 …… 330
5.6.2 试样溶液的制备 …… 330

5.6.3 铝的测定——铬天青S分光光度法 …… 331
5.6.4 铁的测定——邻菲啰啉分光光度法 …… 331
5.6.5 硅的测定——硅钼蓝分光光度法 … 332
5.6.6 钠和钾的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 333
5.6.7 铜的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 334
5.6.8 钙和镁的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 334
5.6.9 氮的测定——碘化汞钾分光光度法 …… 335
5.6.10 氯的测定——分光光度法 …… 336
5.6.11 镍的测定——α-联呋喃甲酰二肟分光光度法 …… 337
参考文献 …… 338
第6章 铟、铯及铟铯盐的分析 …… 339
6.1 铯榴石的分析 …… 339
6.1.1 概述 …… 339
6.1.2 氧化铯的测定——重量法和火焰原子吸收光谱法 …… 339
6.1.3 氧化铟的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 340
6.1.4 氧化铝的测定 …… 341
6.1.5 三氧化二铁的测定 …… 341
6.1.6 氧化硅的测定 …… 341
6.1.7 氧化镁和氧化钙的测定 …… 341
6.1.8 氧化锂、氧化钠和氧化钾的测定 … 341
6.2 铟、铯盐类的分析 …… 341
6.2.1 概述 …… 341
6.2.2 硅的测定——硅钼蓝分光光度法 … 342
6.2.3 锂、钠和钾的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 343
6.2.4 钙和镁的测定 …… 344
6.2.5 氟的测定 …… 344
6.2.6 氯的测定——氯化银分光光度法 … 344
6.2.7 溴的测定——离子选择电极法 … 345
6.2.8 碘的测定——离子选择电极法 … 346
6.2.9 硫化物的测定 …… 347
6.2.10 铝、铁和铜的测定 …… 347
6.2.11 硝酸铯含量的测定——滴定法 … 347
6.2.12 硫酸铯含量的测定——滴定法 … 348
6.3 金属铟和金属铯的分析 …… 349
6.3.1 概述 …… 349
6.3.2 试样溶液的制备 …… 349
6.3.3 钾、钠、铁等杂质元素测定 …… 349
参考文献 …… 349
第7章 轻金属冶金环保分析 …… 350
7.1 环境污染监测检验基本知识 …… 350
7.1.1 水环境污染监测检验基本知识 … 350
7.1.2 大气环境监测检验基本知识 …… 351
7.1.3 固体废物基本知识 …… 351
7.1.4 噪声和振动基本知识 …… 352
7.2 样品的采集、保存与预处理 …… 352
7.2.1 水样的采集、保存和预处理 …… 352
7.2.2 大气污染物试样的采集 …… 353
7.2.3 固体废物试样的采集和制备 …… 355
7.3 水污染物中各项目的检验 …… 356
7.3.1 总汞、总砷的测定——原子荧光光谱法 …… 356
7.3.2 总铬的测定——高锰酸钾氧化-二苯基碳酰二肼分光光度法 …… 357
7.3.3 六价铬的测定——二苯基碳酰二肼分光光度法 …… 358
7.3.4 总磷的测定——钼锑抗分光光度法 …… 359
7.3.5 铜、铅、锌和镉的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 360
7.3.6 总镍的测定——火焰原子吸收光谱法 …… 361
7.3.7 总锰的测定——高碘酸钾光度法 … 362
7.3.8 pH值的测定——玻璃电极法…… 362
7.3.9 色度的测定——铂钴比色法 …… 362
7.3.10 悬浮物的测定——重量法 …… 363
7.3.11 生物耗氧量的测定 …… 363
7.3.12 化学需氧量的测定——重铬酸钾返滴定法 …… 365
7.3.13 油类的测定——红外光谱法测定… 366
7.3.14 挥发酚的测定——4-氨基安替吡啉萃取分光光度法 …… 369
7.3.15 氯化物的测定——硝酸银滴定法… 370
7.3.16 氨氮的测定——纳氏试剂分光光度法 …… 371
7.3.17 硫酸盐的测定——重量法 …… 372
7.3.18 氟化物的测定——氟离子选择电极法 …… 373
7.3.19 酸度的测定 …… 374
需要全本请访问 www.ertongbook.com

7.3.20 碱度测定——酸碱滴定法和电位滴定法 …… 376
7.4 大气污染物各项目的检验 …… 376
7.4.1 空气中二氧化硫的测定——甲醛吸收-盐酸副玫瑰红分光光度法 …… 376
7.4.2 空气中总悬浮颗粒物测定——重量法 …… 377
7.4.3 空气中可吸入飘尘的测定——重量法 …… 378
7.4.4 空气中二氧化氮的测定——Saltzman 分光光度法 …… 378
7.4.5 空气中氟化物的测定——滤膜-离子选择性电极法 …… 379
7.4.6 空气中降尘的测定——重量法 … 380
7.4.7 废气中二氧化硫的测定——定电解电位法 …… 380
7.4.8 废气中氮氧化物的测定——定电解电位法 …… 381
7.4.9 废气中氟化物的测定——氟离子选择电极法 …… 382
7.4.10 废气中沥青烟的测定——重量法 …… 383
7.5 固体废物的检验 …… 384
7.5.1 玻璃电极法测定腐蚀性 …… 384
7.5.2 氟化物的测定——离子选择性电极法 …… 385
7.6 噪声和振动的检验 …… 386
7.6.1 厂界噪声的测定方法 …… 386
7.6.2 铁路边界噪声的测定方法 …… 386
7.6.3 环境振动的测定方法 …… 386
参考文献 …… 387
附录 …… 388
附录 A 轻金属产品质量标准 …… 388
附录 B 常用试剂的密度和浓度 …… 396
附录 C 常用酸碱指示剂 …… 396
附录 D 元素波长表 …… 397
附录 E 元素及其化合物的换算系数 …… 407
附录 F 国内主要分析方法标准目录 …… 407

第 3 章
镁冶金分析

3.1 白云石、菱镁矿的分析

3.1.1 概述

镁属于在地壳中分布最广的几种元素之一，它占地壳质量的 2.35%。由于镁的化学活性高，在自然界中只能见到化合形态。最常见的镁矿物列于表 3-1，其中大多数为造岩矿物。

表 3-1 常见的镁矿物

矿物名称	化学式	镁质量分数/%	矿物名称	化学式	镁质量分数/%
白云石	$MgCO_3 \cdot CaCO_3$	13.2	钾盐镁矾	$MgSO_4 \cdot KCl \cdot 3H_2O$	9.8
菱镁矿	$MgCO_3$	28.8	无水钾镁矾	$2MgSO_4 \cdot K_2SO_4 \cdot H_2O$	11.7
水氯镁石	$MgCl_2 \cdot 6H_2O$	12.0	蛇纹石	$2MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	26.3
光卤石	$MgCl_2 \cdot KCl \cdot 6H_2O$	8.8	橄榄石	$MgSiO_4$	34.6
硫镁矾	$MgSO_4 \cdot H_2O$	17.6	水镁石	$Mg(OH)_2$	41.6

在海水、盐矿水和盐湖水中含有大量以氯化物和硫化物形态存在的镁盐，海水中的镁占地壳镁总量的 3.7%左右。

镁生产的主要工业原料有白云石、菱镁矿、光卤石和含在海水盐湖中的镁盐。本书主要介绍前两种镁矿物的性质特点及分析。

白云石是碳酸镁及碳酸钙的复盐，其中氧化镁含量大约是氧化钙含量的 2/3，白云石经煅烧后失去二氧化碳生成氧化镁和氧化钙，称为煅烧白云石，是热法生产镁的原料。

菱镁矿是天然的碳酸镁，是制取氯化镁熔体的主要原料，经煅烧后生成氧化镁，氯化后制取的氯化镁是电解法生产镁的原料。

白云石、菱镁矿及煅烧白云石、煅烧菱镁矿的测定项目有：MgO、CaO、Al_2O_3、SiO_2、Fe_2O_3、灼烧减量、H_2O、K_2O、Na_2O、NiO、CuO、B_2O_3、MnO、P、S、CO_2、盐酸不溶物及 MgO 活性度等。

MgO 的测定通常采用 EDTA 滴定法，以酸性铬蓝 K 和萘酚绿 B 作混合指示剂，以三乙醇胺掩蔽铁、铝、锰等干扰离子，在氨性缓冲溶液中，用 EDTA 标准溶液滴定氧化钙、氧化镁合量。也有用三乙醇胺和 EGTA 联合掩蔽铁、铝、锰、钙等离子，用 CyDTA 络合直接滴定氧化镁含量。

CaO 的测定通常采用 EDTA 滴定法，以三乙醇胺掩蔽铁、铝、锰等干扰离子，在强碱性介质中，以钙指示剂为指示剂，用 EDTA 标准溶液滴定氧化钙含量。对于镁含量较高的试样，用过量 EGTA 标准溶液络合钙，以钙指示剂为指示剂，用钙标准溶液滴定过量的 EGTA，这种方法，终点清晰，比 EDTA 滴定效果好，准确度较高。对于低含量的 CaO，通常采用火焰原子吸收光谱法测定。

Al_2O_3的测定通常用采用 EDTA 滴定法，用六亚甲基四胺把铝、铁沉淀成氢氧化物形式析出与大量钙镁分离，然后加入盐酸溶解沉淀，加入过量 EDTA 使 Al 与 EDTA 络合，过量的 EDTA 用硝酸锌标准溶液滴定，加入氟化钠置换出与铝络合的 EDTA，以二甲酚橙为指示剂，用硝酸锌标准溶液滴定，钛的干扰用苯羟乙酸消除干扰。对于低含量的 Al_2O_3的测定，采用铬天青 S 光度法，以锌-EDTA 溶液掩蔽铁、锰等离子，在六亚甲基四胺缓冲体系中，铝与铬天青 S 形成紫红色络合物，在分光光度计上进行光度测定，钛的干扰加过氧化氢消除。

SiO_2的测定通常采用硅钼蓝光度法，在 0.10～0.15mol/L 的盐酸介质中，钼酸铵与硅酸形成硅钼杂多酸，以还原剂还原为硅钼蓝后进行光度测定。而对于高含量 SiO_2的测定则采用高氯酸脱水重量法，加高氯酸蒸发冒烟使硅酸脱水，过滤、灼烧称量。也有用重量法加光度法联合测定 SiO_2含量。

Fe_2O_3的测定一般采用邻二氮杂菲光度法，在微酸性（pH＝3～5）的乙酸-乙酸钠介质中，亚铁与邻二氮杂菲生成橙红色络合物，进行光度测定。也有采用火焰原子吸收光谱法及 EDTA 容量法进行 Fe_2O_3量的测定。

水分、灼烧减量及盐酸不溶物采用重量法进行测定。

氧化钾、氧化钠的测定采用火焰原子吸收光谱法，在 2%的盐酸溶液中或在硝酸溶液中，分别于 766.5nm 和 589.0nm 处分别测量钾、钠的吸光度。

氧化锰的测定采用高锰酸钾氧化光度法和火焰原子吸收光谱法。

氧化镍的测定：低含量的镍采用丁二酮肟光度法，在有氧化剂存在的碱性介质中，镍与丁二酮肟生成可溶性酒红色络合物，以此进行光度测定；对于较高含量的镍采用火焰原子吸收光谱法，在硝酸溶液中，采用空气-乙炔火焰进行测定。

氧化铜的测定，通常采用新亚铜灵光度法和火焰原子吸收光谱法。

三氧化二硼的测定，低含量的硼采用 BF_4^-离子选择电极法，高含量的硼采用甘露醇-酸碱滴定法测定。

磷的测定，通常采用磷钼蓝光度法，在约 0.5mol/L 的盐酸介质中，正磷酸与钼酸铵生成磷钼杂多酸，以盐酸羟胺和抗坏血酸为还原剂，将生成的磷钼杂多酸还原为磷钼蓝，以此测定其吸收度。

硫的测定，通常采用硫酸钡重量法，随着仪器分析的进展，样品中的硫量，现在越来越多地采用碳硫分析仪来测定。

CO_2的测定，通常采用烧碱石棉吸收重量法和燃烧红外吸收法测定。

白云石和菱镁矿中各成分的含量测定也可采用 X 射线荧光光谱法。

白云石和菱镁矿矿物组成采用 X 射线衍射法确定。

对于煅烧白云石和煅烧菱镁矿活性度的测定，通常采用水解法，以试样与水反应增加的质量来计算其活性度。

3.1.2 氧化镁的测定

3.1.2.1 EDTA 滴定法

试样用碳酸钠-硼酸混合熔剂熔融，稀盐酸浸取，分取部分试液，以三乙醇胺掩蔽铁、铝、锰等干扰离子，在氨性缓冲溶液中，以酸性铬蓝 K 和萘酚绿 B 作混合指示剂，用 EDTA 标准溶液滴定至溶液由暗红色变为蓝绿色为终点。此为氧化钙和氧化镁的合量，减

去氧化钙的量即可求得氧化镁量。

本方法适用于白云石、菱镁矿中含量大于 2.5%的氧化镁的测定。

试剂

碳酸钠-硼酸混合熔剂（2+1）；盐酸（1+5）；三乙醇胺（1+4）；氨水（1+1）；氢氧化钾溶液（200g/L）；二乙胺二硫代甲酸钠（铜试剂）溶液（50g/L）；氨-氯化铵缓冲溶液（pH=10）；酸性铬蓝 K 溶液（5g/L）：用（1+1）三乙醇胺配制；萘酚绿 B 溶液（5g/L）：用（1+1）三乙醇胺配制。

EDTA 标准溶液：0.01mol/L。

分析步骤

称取 0.5000g（精确到 0.0001g）试样，置于预先盛有 3.0g 混合熔剂的铂坩埚中，混匀，再覆盖 1.0g 混合熔剂。将铂坩埚置于炉温低于 300℃的高温炉中，盖上铂盖。将炉温逐渐升至 950～1000℃，熔融 10min，取出，转动铂坩埚，冷却。用水冲洗铂坩埚外壁，将铂坩埚及铂盖置于 300mL 烧杯中，加 75mL 盐酸（1+5），低温加热浸出熔块，用水洗出铂坩埚及盖。低温加热至试液清亮，冷却至室温。将试液移入 250mL 容量瓶中，用水稀释至刻度，混匀。此试液可用作为 CaO、MgO、SiO_2、Fe_2O_3、Al_2O_3等的测定。

分取 25.00mL 上述贮备液，置于 250mL 锥形瓶中，加 25mL 水，加入 5mL 三乙醇胺（1+4），混匀，加入 20mL 氨-氯化铵缓冲溶液，加 2 滴酸性铬蓝 K 溶液（5g/L）、6～7 滴萘酚绿 B 溶液（5g/L），用 EDTA 标准溶液滴定至试液由暗红色变为蓝绿色为终点。

结果计算

按公式(3-1）计算氧化镁的质量分数：

$$w_{MgO}(\%)=\frac{[(V_2-V_1)-(V_3-V_4)]cM}{m\times 10^3}\times 100 \tag{3-1}$$

式中　V_2——滴定氧化钙、氧化镁合量消耗的 EDTA 标准溶液的体积，mL；

V_1——滴定氧化钙、氧化镁合量空白试验消耗的 EDTA 标准溶液的体积，mL；

V_3——滴定氧化钙消耗的 EDTA 标准溶液的体积，mL；

V_4——滴定氧化钙空白试验消耗的 EDTA 标准溶液的体积，mL；

c——EDTA 标准溶液的摩尔浓度，mol/L；

M——MgO 的摩尔质量，g/mol；

m——分取试液相当试样的质量，g。

注意事项

① 当试样中氧化铝、氧化铁质量分数大于 2.0%或氧化锰质量分数大于 0.1%时，应用铜试剂将其分离：分取 100.00mL 溶液于 250mL 容量瓶中，加 50mL 水，于溶液中投入一小片刚果红试纸，用氢氧化钾溶液（200g/L）将大部分酸中和后，以水冲洗瓶颈，滴加氨水（1+1）中和至试纸刚呈红色，加 10mL 铜试剂溶液（50g/L），剧烈摇动 1min，冷却至室温，以水稀释至刻度，混匀，放置 30min。用中速定量滤纸干过滤，弃去最初的 20mL 滤液，移取 50.00mL 滤液按以上方法测定氧化镁量。

② EDTA 标准溶液的标定宜用氧化镁或氧化钙标准溶液按分析方法中的步骤进行。

3.1.2.2　CyDTA 滴定法

试液以三乙醇胺掩蔽铁、铝、锰等干扰离子，加入足够量的 EDTA 标准溶液掩蔽钙，在氨性缓冲溶液中，以酸性铬蓝 K 和萘酚绿 B 为指示剂，用 CyDTA 标准溶液直接滴定氧

化镁量。

本方法适用于白云石、菱镁矿中含量大于2.5%的氧化镁的测定。

试剂

EGTA（乙二醇二乙醚二胺四乙酸）标准溶液（0.01mol/L）；CyDTA（环己烷二胺四乙酸）标准溶液（0.01mol/L）。

分析步骤

分取3.1.2.1制备的溶液25.00mL或经铜试剂分离过滤的滤液50.00mL于250mL锥形瓶中，加入5mL三乙醇胺（1+4），混匀，加入EGTA标准溶液（0.01mol/L），其加入量等于滴定氧化钙时所消耗的EGTA标准溶液的毫升数，并过量0.4mL。加入20mL氨性缓冲溶液，2滴酸性铬蓝K溶液（5g/L）和6～7滴萘酚绿B溶液（5g/L），用CyDTA标准溶液滴定至试液由暗红色变为蓝绿色为终点。

结果计算

按公式(3-2）计算氧化镁的质量分数：

$$w_{MgO}(\%)=\frac{(V_1-V_2)cM}{m\times10^3}\times100 \tag{3-2}$$

式中 V_1——滴定氧化镁消耗的CyDTA标准溶液的体积，mL；

V_2——滴定空白试验消耗的CyDTA标准溶液的体积，mL；

c——CyDTA标准溶液的摩尔浓度，mol/L；

M——氧化镁的摩尔质量，g/mol；

m——分取试液相当试样的质量，g。

注意事项

掩蔽氧化钙所需的EGTA标准溶液的量应足够，预先应先进行氧化钙量的测定，以确定所需加入的EGTA的量。

3.1.3 氧化钙的测定

3.1.3.1 EDTA滴定法

试液以三乙醇胺掩蔽铁、铝、锰等干扰离子，预先加入90%～95%的EDTA标准溶液，以消除大量镁的影响，用氢氧化钾溶液调节溶液为强碱性，以钙指示剂为指示剂，用EDTA标准溶液滴定氧化钙的量。

本方法适用于白云石、菱镁矿中大于1%氧化钙的测定。

试剂

钙指示剂（取1g钙制剂与100g氯化钾研磨混匀），其他试剂与3.1.2.1的试剂相同。

分析步骤

分取3.1.2.1制备的溶液25.00mL或用铜试剂分离过滤的滤液50.00mL于250mL锥形瓶中，加5mL三乙醇胺（1+4），混匀，加入相当于滴定溶液中90%～95%氧化钙量的EDTA标准溶液（0.01mol/L），加20mL氢氧化钾溶液（200g/L）及少许钙指示剂，混匀。继续用EDTA标准溶液滴定至试液由红色变为亮蓝色为终点。空白试验滴定前加1.0mL氧化镁标准（1mL含0.50mg氧化镁）溶液，不预加滴定剂。

结果计算

按公式(3-3）计算氧化钙的质量分数：

$$w_{CaO}(\%)=\frac{(V_1-V_2)cM}{m\times10^3}\times100 \tag{3-3}$$

式中　V_1——滴定氧化钙消耗的 EDTA 标准溶液的体积，mL；

V_2——滴定空白试验消耗的 EDTA 标准溶液的体积，mL；

c——EDTA 标准溶液的摩尔浓度，mol/L；

M——CaO 的摩尔质量，g/mol；

m——分取试液相当试样的质量，g。

注意事项

① 预先加入的 EDTA 标准溶液的量，可先进行一次滴定来确定。

② 滴定时应充分振荡，使 CaO 与 EDTA 充分反应，加入氢氧化钾后应立即滴定。

3.1.3.2　EGTA 滴定法

试液用三乙醇胺掩蔽铁、铝、锰等干扰离子，在强碱性溶液中以钙指示剂为指示剂，用 EGTA 标准溶液滴定氧化钙量。

本方法适用于白云石、菱镁矿中含量大于 1%的氧化钙的测定。

试剂

与 3.1.2.1 中的试剂相同；氧化镁标准溶液（1mL 含 0.50mg 氧化镁）。

分析步骤

分取 3.1.2.1 制备溶液 25.00mL 或经铜试剂分离过滤的滤液 50.00mL 于 250mL 锥形瓶中，加入 5mL 三乙醇胺（1+4），混匀，加入相当于滴定溶液中 90%～95%氧化钙量的 EGTA 标准溶液，加入 20mL 氢氧化钾溶液（200g/L）及少许钙指示剂，混匀，继续用 EGTA 标准溶液滴定至试液由红色变为亮蓝色为终点。空白试验滴定前加 1.0mL 氧化镁标准溶液。

结果计算

按公式(3-4) 计算氧化钙的质量分数：

$$w_{CaO}(\%)=\frac{(V_1-V_2)cM}{m\times10^3}\times100 \tag{3-4}$$

式中　V_1——滴定氧化钙消耗的 EGTA 标准溶液的体积，mL；

V_2——滴定空白试验消耗的 EGTA 标准溶液的体积，mL；

c——EGTA 标准溶液摩尔浓度，mol/L；

M——CaO 的摩尔质量，g/mol；

m——分取试液相当试样的质量，g。

3.1.3.3　火焰原子吸收光谱法

试液加入氯化锶作为释放剂，消除铝、钛等对测定的干扰，于原子吸收光谱仪波长 422.7nm 处，采用空气-乙炔火焰测量其吸光度。

本方法适用于菱镁矿中含量小于 1%的氧化钙的测定。

试剂

氯化锶溶液（100g/L）；氧化镁基体溶液（称取 0.2390g 氧化镁按 3.1.2 的熔样方法处理成基体溶液）。

氧化钙标准溶液：移取 1mg/mL 氧化钙标准贮存溶液 20.00mL 于 500mL 容量瓶中，以水稀释至刻度，混匀。此溶液 1mL 含 40μg 氧化钙。

需要全本请访问 www.ertongbook.com