



国家出版基金资助项目

“新闻出版改革发展项目库”入库项目

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

中国稀土科学与技术丛书

主 编 干 勇
执行主编 李春龙

实用稀土冶金分析

Specific Rare Earth Metallurgy Analysis

郝 茜 等编著



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn



国家出版基金资助项目

“新闻出版改革发展项目库”入库项目

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

中国稀土科学与技术丛书

主 编 干 勇
执行主编 李春龙

实用稀土冶金分析

郝 茜 等 编



北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2018

内 容 提 要

本书是《中国稀土科学与技术丛书》之一,是由包头稀土研究院理化检测中心科技人员在总结了本中心 50 多年来从事稀土分析检测所积累丰富经验的基础上撰写而成的。本书系统地介绍了稀土矿石及精矿、各类稀土化合物、稀土金属、稀土合金、稀土新材料等产品中的稀土元素和其他元素的分析方法,以及钢铁、植物、药品和涂料等样品中稀土元素的分析方法,形成了稀土生产流程控制和产品检验等一套完整的分析体系,具有一定的实用价值。

本书可作为从事分析化学研究的科研人员、从事检测工作的厂矿企业分析测试人员、商检质检和分析测试部门测试人员的常备工具书,也可作为大专院校相关专业师生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

实用稀土冶金分析/郝茜等编著. —北京:冶金工业出版社, 2018. 5

(中国稀土科学与技术丛书)

ISBN 978-7-5024-7799-8

I. ①实… II. ①郝… III. ①稀土金属—有色金属冶金—化学分析 IV. ①TF845

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 100952 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcb@cnmp.com.cn

丛书策划 任静波 肖 放

责任编辑 谢冠伦 刘晓飞 肖 放 美术编辑 彭子赫

版式设计 孙跃红 责任校对 李 娜 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-7799-8

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷
2018 年 5 月第 1 版,2018 年 5 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 33.5 印张; 651 千字; 506 页

165.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

《中国稀土科学与技术丛书》

编辑委员会

主 编 干 勇

执行主编 李春龙

副 主 编 严纯华 张洪杰 李 卫 黄小卫

张安文 杨占峰

编 委 (按姓氏笔画排序)

干 勇 牛京考 古宏伟 卢先利 朱明刚

任国浩 庄卫东 闫阿儒 闫慧忠 关成君

严纯华 李 卫 李永绣 李春龙 李星国

李振民 李维民 杨占峰 肖方明 吴晓东

何 洪 沈保根 张安文 张志宏 张国成

张洪杰 陈占恒 陈耀强 林东鲁 孟 健

郝 茜 胡伯平 洪广言 都有为 徐时清

徐怡庄 高 松 郭 耘 黄小卫 黄春辉

屠海令 蒋利军 谭学余 潘裕柏

秘 书 组 张 莉 李 平 石 杰 韩晓英 祝 捷

孙菊英 刘一力 王 勇

序

稀土元素由于其结构的特殊性而具有诸多其他元素所不具备的光、电、磁、热等特性，是国内外科学家最为关注的一组元素。稀土元素可用来制备许多用于高新技术的新材料，被世界各国科学家称为“21世纪新材料的宝库”。稀土元素被广泛应用于国民经济和国防工业的各个领域。稀土对改造和提升石化、冶金、玻璃陶瓷、纺织等传统产业，以及培育发展新能源、新材料、新能源汽车、节能环保、高端装备、新一代信息技术、生物等战略新兴产业起着至关重要的作用。美国、日本等发达国家都将稀土列为发展高新技术产业的关键元素和战略物资，并进行大量储备。

经过多年发展，我国在稀土开采、冶炼分离和应用技术等方面取得了较大进步，产业规模不断扩大。我国稀土产业已取得了四个“世界第一”：一是资源量世界第一，二是生产规模世界第一，三是消费量世界第一，四是出口量世界第一。综合来看，目前我国已是稀土大国，但还不是稀土强国，在核心专利拥有量、高端装备、高附加值产品、高新技术领域应用等方面尚有差距。

国务院于2015年5月发布的《中国制造2025》规划纲要提出力争通过三个十年的努力，到新中国成立一百年时，把我国建设成为引领世界制造业发展的制造强国。规划明确了十个重点领域的突破发展，即新一代信息技术产业、高档数控机床和机器人、航空航天装备、海洋工程装备及高技术船舶、先进轨道交通装备、节能与新能源汽车、电力装备、农机装备、新材料、生物医药及高性能医疗器械。稀土在这十个重点领域中都有十分重要而不可替代的应用。稀土产业链从矿石到原材料，再到新材料，最后到零部件、器件和整机，具有几倍，甚至百倍的倍增效应，给下游产业链带来明显的经济效益，并带来巨

大的节能减排方面的社会效益。稀土应用对高新技术产业和先进制造业具有重要的支撑作用，稀土原材料应用与《中国制造2025》具有很高的关联度。

长期以来，发达国家对稀土的基础研究及前沿技术开发高度重视，并投入很多，以期保持在相关领域的领先地位。我国从新中国成立初开始，就高度重视稀土资源的开发、研究和应用。国家的各个五年计划的科技攻关项目、国家自然科学基金、国家“863计划”及“973计划”项目，以及相关的其他国家及地方的科技项目，都对稀土研发给予了长期的支持。我国稀土研发水平，从跟踪到并跑，再到领跑，有的学科方向已经处于领先水平。我国在稀土基础研究、前沿技术、工程化开发方面取得了举世瞩目的成就。

系统地总结、整理国内外重大稀土科技进展，出版有关稀土基础科学与工程技术的系列丛书，有助于促进我国稀土关键应用技术研发和产业化。目前国内外尚无在内容上涵盖稀土开采、冶炼分离以及应用技术领域，尤其是稀土在高新技术应用的系统性、综合性丛书。为配合实施国家稀土产业发展策略，加快产业调整升级，并为其提供决策参考和智力支持，中国稀土学会决定组织全国各领域著名专家、学者，整理、总结在稀土基础科学和工程技术上取得的重大进展、科技成果及国内外的研发动态，系统撰写稀土科学与技术方面的丛书。

在国家对稀土科学技术研究的大力支持和稀土科技工作者的不断努力下，我国在稀土研发和工程化技术方面获得了突出进展，并取得了不少具有自主知识产权的科技成果，为这套丛书的编写提供了充分的依据和丰富的素材。我相信这套丛书的出版对推动我国稀土科技理论体系的不断完善，总结稀土工程技术方面的进展，培养稀土科技人才，加快稀土科学技术学科建设与发展有重大而深远的意义。

中国稀土学会理事长
中国工程院院士



2016年1月

编 者 的 话

稀土元素被誉为工业维生素和新材料的宝库，在传统产业转型升级和发展战略新兴产业中都大显身手。发达国家把稀土作为重要的战略元素，长期以来投入大量财力和科研资源用于稀土基础研究和工程化技术开发。多种稀土功能材料的问世和推广应用，对以航空航天、新能源、新材料、信息技术、先进制造业等为代表的高新技术产业发展起到了巨大的推动作用。

我国稀土科研及产品开发始于 20 世纪 50 年代。60 年代开始了系统的稀土采、选、冶技术的研发，同时启动了稀土在钢铁中的推广应用，以及其他领域的应用研究。70~80 年代紧跟国外稀土功能材料的研究步伐，我国在稀土钐钴、稀土钕铁硼等研发方面卓有成效地开展工作，同时陆续在催化、发光、储氢、晶体等方面加大了稀土功能材料研发及应用的力度。

经过半个多世纪几代稀土科技工作者的不懈努力，我国在稀土基础研究和产品开发上取得了举世瞩目的重大进展，在稀土开采、选冶领域，形成和确立了具有我国特色的稀土学科优势，如徐光宪院士创建了稀土串级萃取理论并成功应用，体现了中国稀土提取分离技术的特色和先进性。稀土采、选、冶方面的重大技术进步，使我国成为全球最大的稀土生产国，能够生产高质量和优良性价比的全谱系产品，满足国内外日益增长的需求。同时，我国在稀土功能材料的基础研究和工程化技术开发方面已跻身国际先进水平，成为全球最大的稀土功能材料生产国。

科技部于 2016 年 2 月 17 日公布了重点支持的高新技术领域，其中与稀土有关的研究包括：半导体照明用长寿命高效率的荧光粉材料、半导体器件、敏感元器件与传感器、稀有稀土金属精深产品制备技术，超导材料、镁合金、结构陶瓷、功能陶瓷制备技术，功能玻璃制备技术，新型催化剂制备及应用

技术, 燃料电池技术, 煤燃烧污染防治技术, 机动车排放控制技术, 工业炉窑污染防治技术, 工业有害废气控制技术, 节能与新能源汽车技术。这些技术涉及电子信息、新材料、新能源与节能、资源与环境等较多的领域。由此可见稀土应用的重要性和应用范围之广。

稀土学科是涉及矿山、冶金、化学、材料、环境、能源、电子等的多专业的交叉学科。国内各出版社在不同时期出版了大量稀土方面的专著, 涉及稀土地质、稀土采选冶、稀土功能材料及应用的各个方向和领域。有代表性的是 1995 年由徐光宪院士主编、冶金工业出版社出版的《稀土(上、中、下)》。国外有代表性的是由爱思唯尔(Elsevier)出版集团出版的“Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths”(《稀土物理化学手册》)等, 该书从 1978 年至今持续出版。总的来说, 目前在内容上涵盖稀土开采、冶炼分离以及材料应用技术领域, 尤其是高新技术应用的系统性、综合性丛书较少。

为此, 中国稀土学会决定组织全国稀土各领域内著名专家、学者, 编写《中国稀土科学与技术丛书》。中国稀土学会成立于 1979 年 11 月, 是国家民政部登记注册的社团组织, 是中国科协所属全国一级学会, 2011 年被民政部评为 4A 级社会组织。组织编写出版稀土科技书刊是学会的重要工作内容之一。出版这套丛书的目的, 是为了较系统地总结、整理国内外稀土基础研究和工程化技术开发的重大进展, 以利于相关理论和知识的传播, 为稀土学界和产业界以及相关产业的有关人员提供参考和借鉴。

参与本丛书编写的作者, 都是在稀土行业内有多年经验的资深专家学者, 他们在百忙中参与了丛书的编写, 为稀土学科的繁荣与发展付出了辛勤的劳动, 对此中国稀土学会表示诚挚的感谢。

中国稀土学会
2016 年 3 月

本书编写人员

主撰 郝 茜

成员 刘晓杰 张立锋 王素梅

高励珍 张翼明 吴文琪

杜 梅 金斯琴高娃

任旭东 王东杰

主审 许 涛

本书序

稀土是我国重要战略资源。近 20 年来,我国稀土工业迅速发展,稀土应用的逐渐深入,新材料、新工艺的不断出现,都大大促进了稀土分析化学的发展。一大批先进、可靠、简便和实用的稀土分析新技术和新方法的涌现,满足了稀土材料科技工作者对探索其内在规律以及生产过程质量控制的要求,同时也满足了稀土产品贸易的需求。

本书介绍了重量分析、容量分析、分光光度、原子吸收光谱、X 射线荧光光谱、电感耦合等离子体发射光谱和电感耦合等离子体质谱等分析技术,研究并建立了从稀土原料、冶炼产品到各种应用产品,包括了稀土矿石、稀土金属及氧化物、各种稀土化合物、各类稀土合金和新型的永磁材料、发光材料、抛光材料、催化材料、贮氢材料、结构材料等功能材料,以及冶金中间控制等材料和产品的分析方法。

本书是包头稀土研究院理化检测中心全体科技人员的智慧结晶,是他们五十年来实践经验的升华。包头稀土研究院理化检测中心主要从事稀土矿石、合金、金属、化合物及稀土新材料的检测工作,多年来承担了多项国家或行业稀土标准分析方法的起草和标准样品的研制工作。相信本书的出版,对于从事稀土冶金分析的工作人员和稀土冶金工艺研究、新材料研究的科技人员会有极大的帮助。

包头稀土研究院院长

杨占峰

前 言

稀土元素因其具有优异的化学与物理性能，被人们称为“新材料的宝库”，也有“工业黄金与工业维生素”之称。目前，它已被广泛应用于冶金、化工、石油、电子、医药等行业中，是国内外材料学专家较为关注的一组元素。美国和日本等发达国家已把它列为发展高技术产业的“关键”元素，在永磁材料、发光材料、催化材料、贮氢材料和抛光材料等高科技领域中发挥了相当重要的作用。可以预测，随着稀土基础理论研究的不断深入以及各种稀土功能材料的开发，稀土元素将会引发一场新的技术革命。

我国有得天独厚的稀土资源，储量居世界首位，而且品种齐全。除了有丰富的氟碳铈镧矿、独居石和磷钇矿外，还有特殊的风化壳离子吸附型稀土矿。

20 世纪 80 年代以来，我国的稀土科研及工业生产进入快车道，稀土矿物的选矿、冶炼、提取、分离及应用研究有了质的飞跃，稀土的回收率大幅提高，稀土产品的种类、数量不断增加，产品质量明显提高。这些进步使我国不再只是稀土的资源大国，也成为了稀土的生产大国和应用大国。

稀土冶金分析是稀土冶金工艺控制、产品质量监督控制与评价、新材料研究与生产中最重要相关技术之一，是涉及多学科交叉的技术科学。最早公开出版的稀土元素分析化学专著是由武汉大学编著的《稀土元素分析化学》（上、下册）。1991 年，中国稀土学会和冶金工业出版社组织了全国稀土各领域近百位专家学者编写了《稀土》（上、中、下册），其中第十六章为“稀土元素分析方法”。1994 年，中国稀土学会和包头稀土研究院编写了《稀土冶金分析手册》（内部资料）；

1995年,冶金工业出版社出版了一套有色金属分析丛书,其中一本为《稀土分析》;《稀土冶金分析手册》(内部资料)与《稀土分析》以普及性为主,兼具较强的实用性。

近二十年来,稀土分析化学领域出现了大量科研成果。电感耦合等离子体发射光谱和电感耦合等离子体质谱等技术在稀土分析领域的广泛应用,大大提高了分析测试的效率和精度,使痕量稀土及高纯稀土分析有了重要突破。本书是作者基于自身从事稀土冶金分析工作多年的经验和体会,参考了上述几本专著及许多国家、行业标准分析方法,本着实用、准确、可靠、经济和先进的原则编写而成。本书内容丰富,既有简明的理论阐述,又有实用检测方法介绍,既有经典的化学分析方法,又有先进的仪器分析方法,可作为稀土生产和应用企业研究人员、分析测试人员使用的参考书,也可作为大中专院校冶金分析化学专业师生的教学参考书。

本书在编写过程中得到了包头稀土研究院领导和理化检测中心全体员工的大力支持,特别是老主任倪德桢先生,从本书的选题、内容编写,到技术把关等多方面提出了很多宝贵的建议,对此表示衷心的感谢。本书也引用了不少国内外公开发表的文献资料,在此,对这些专家致以衷心的感谢。

本书作者长期从事稀土冶金分析,也参与制订了多项国家及行业标准分析方法,但由于稀土分析技术发展迅速,加之作者自身水平和掌握资料有限,书中不足之处,恳请读者批评指正。

作 者

2018年2月

编写说明

由于稀土冶金分析涉及专业技术较多,为了使读者更好地阅读和使用本书,同时也为了节省篇幅,下面对本书编写中的一些实验操作及共性内容作具体说明。

1. 试样问题

(1) 稀土原矿及精矿粒度应小于 $74\mu\text{m}$ (200 目), 在 105°C 烘干, 冷却至室温放于干燥器中待用。

(2) 碳酸稀土、硝酸稀土、稀土氧化物和稀土硫化物, 无需制样。氯化稀土破碎后迅速置于称量瓶中, 立即称量; 碳酸稀土试样开封后立即称量。

(3) 稀土氧化物易吸收空气中的二氧化碳和水。根据方法需要, 氧化物需烘干或灼烧后放入干燥器中保存待用。

(4) 金属试样应去掉表面氧化层, 磨出新细表面; 或深度剥离后, 钻成屑状或破碎成片状, 立即称样。

(5) 液体试样, 若浑浊, 需过滤后测定; 废水样品取样后尽量当天完成测定。

2. 空白试验

除了特殊注明, 本书中各方法均须带流程空白, 与试样按相同分析步骤同时进行操作、测定, 并对分析结果进行校正。

3. 试剂问题

(1) 分析所用试剂除特殊注明外, 均为“分析纯”。

(2) 试剂配制用水及分析所用水, 除特殊注明外, 均为去离子水, 电阻大于 $10\text{M}\Omega$ 。

(3) 所用试剂未注明浓度的均为浓酸或浓碱, 常见酸和碱的近似浓度见附录 L。

(4) 所指溶液, 除注明外, 均为水溶液。

(5) 配制标准溶液时, 除特殊注明, 所用试剂的纯度均大于 99.99%。

(6) 混合溶液或稀释溶液以 $(X+X)$ 表示各液体的体积, 如 $\text{HCl} (1+3)$, 表示 1 份 HCl 加 3 份水混合; 个别液体试剂以 $X\%$ 表示, 如 5% 硫酸, 表示 5 份硫酸加入 95 份水中混合。

(7) 固体混合试剂, 以 $(X+X)$ 表示各种固体的质量分数。如碳酸钠-四硼酸钠混合熔剂 $(2+1)$, 表示 2 份碳酸钠与 1 份四硼酸钠混合。

(8) 固体溶于液体试剂, 以 Xg/L 表示, 如氢氧化钠洗液 20g/L , 表示 20g 氢氧化钠溶于 1L 水中; 以 $X\%$ 表示, 如 0.5% 碳酸钠, 表示 0.5g 碳酸钠溶于 100mL 水中。

4. 标准溶液的配制与标定

(1) 15 个单一稀土氧化物的配制及标定, 统一在附录 J 中标准溶液的配制及标定说明。每个分析方法中涉及的单一稀土标准溶液, 只标明浓度。

(2) 凡对标准溶液浓度进行标定时, 应同时进行 3 份以上的标定。所得标定结果的最大值和最小值的相对标准偏差不大于 0.2%, 然后取其算术平均值。

(3) 阳、阴离子标准贮存溶液配制见附录 H 和附录 I, 方法中不再详述配制过程。

(4) 标准滴定溶液的配制见附录 K。

5. 简称说明

(1) EGTA: 乙二醇二乙醚二胺四乙酸, 金属离子络合剂, 分子式为 $\text{C}_{14}\text{H}_{24}\text{N}_2\text{O}_{10}$, 相对分子质量为 380.35。

(2) 钙羧酸指示剂: 1-(2-羟基-4-磺基-1-萘基偶氮)-2-羟基-3-萘甲酸钠, 分子式为 $\text{C}_{21}\text{H}_{13}\text{N}_2\text{NaO}_7\text{S}$, 相对分子质量为 460.39。

(3) P204: 二(2-乙基己基)磷酸酯, 分子式为 $\text{C}_{16}\text{H}_{35}\text{O}_4\text{P}$, 相对分子质量为 322.48。

(4) TTA: 甲基苯骈三氮唑, 铜缓蚀剂, 为白色颗粒或粉末状结晶体, 熔点 $80\sim 86^\circ\text{C}$, 闪点 200°C , 溶于甲醇、异丙醇和乙二醇等有机溶剂中, 难溶于水。常温下在水中的溶解度仅为 0.55%。分子式为 $\text{C}_7\text{H}_7\text{N}_3$, 相对分子质量为 133.15。

(5) PMBP: 1-苯基-3-甲基-4-苯甲酰基-5-吡唑啉酮, 分子式为 $\text{C}_{17}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_2$, 相对分子质量为 278.31。别名为 4-苯甲酰基-3-甲基-1-苯基-2-吡唑-5-酮、1-苯基-3-甲基-4-苯甲酰基-5-吡唑啉酮。

(6) APDC: 吡咯烷二硫代氨基甲酸铵, 分子式为 $\text{C}_5\text{H}_{15}\text{N}_3\text{S}_2$, 相对分子质

量为 181.32, 别名为四亚甲基二硫代氨基甲酸铵。用于金属络合剂。

(7) MIBK: 4-甲基-2-戊酮, 分子式为 $C_6H_{12}O$, 相对分子质量为 100.16, 别名为甲基异丁酮。是硝酸纤维素、某些纤维素醚、樟脑、油脂、石蜡、树脂和喷漆等的溶剂, 也用于有机合成。

(8) 铜试剂: 二乙基二硫代氨基甲酸钠, 分子式为 $C_5H_{10}NNaS_2 \cdot 3H_2O$, 相对分子质量为 225.31, 熔点 $95 \sim 98.5^\circ C$ 。用作测定铜的灵敏试剂, 也可用于铜、锌、钴、铂、钯等的测定。

(9) N1923: 胺类萃取剂, 碳原子为 19~23 的伯胺。

(10) N235: 三辛癸烷基叔胺, 别名为 7301, 分子式为 R_3N ($R = C_{8-10}$ 或 C_8), 常温下为浅黄色透明液体, 密度 ($20^\circ C$) $0.811 g/cm^3$, 折光率 ($20^\circ C$) 1.449, 沸点 $365 \sim 367^\circ C$ 。N235 主要用作稀贵金属的萃取或络合萃取法处理工业废水的萃取剂。

(11) 铜铁试剂: N-亚硝基苯胍铵, 分子式为 $C_6H_9N_3O_2$, 相对分子质量为 156.16, 用于铝、铋、铜、铁、镓、汞、锰、铌、锡、钽、钼、钨、钼等元素的定量分析, 带有毒性, 避免直接接触。

(12) 偶氮肿 I: 邻苯肿酸偶氮-1, 8-二羟基萘-3, 6-二磺酸钠、2-(邻苯肿酸偶氮苯)-1, 8-二羟基-3, 6-二磺酸钠; 铈试剂, 新钪试剂; 分子式为 $C_{16}H_{11}AsN_2Na_2O_{11}S_2$, 相对分子质量为 592.29。

(13) 三溴偶氮肿: 1, 8-二羟基萘-3, 6-二磺酸-2, 7-双(偶氮-2-苯肿酸)、2, 7-双(2-苯肿酸-1-偶氮)变色酸、2, 7-双(2-苯肿酸-1-偶氮)-1, 8-二羟基萘-3, 6-二磺酸; 分子式为 $C_{22}H_{18}As_2N_4O_{14}S_2$, 相对分子质量为 776.37。

(14) 对马尿酸偶氮氯膦: 分子式为 $C_{15}H_{19}O_{16}PS_2ClN_4$, 相对分子质量为 761.5, 用于分光光度法测定土壤、钢铁及铝合金中微量稀土。

(15) 偶氮氯膦 mA: 分子式 $C_{24}H_{18}ClN_4O_{12}PS_2 \cdot 4H_2O$, 相对分子质量为 757.36, 为稀土、钙、铁络合显色剂。

(16) 1, 10-二氮杂菲: 也称为 1, 10-邻二氮杂菲、邻菲罗啉; 分子式为 $C_{12}H_8N_2 \cdot H_2O$, 相对分子质量为 198.22。

(17) DCS 偶氮肿: 2-(2-肿酸基苯偶氮)-7-(2, 6-二氯-4-磺酸基苯偶氮)-1, 8-二羟基-3, 6 二磺酸萘。

(18) DBC 偶氮肿: 3-(2-肿酸基苯偶氮)-6-(2, 6-二溴-4-氯苯偶氮)-4, 5-二羟基-2, 7-萘二磺酸。

6. 其他实验问题

(1) 准确称取试样 0. Xg, 系指称取精确到 0. 1mg。

(2) 准确移取试样液 X mL, 系指用大肚移液管分取试液。

(3) 重量法中“称至恒重”, 系指前后两次灼烧后称重之差正负不超过 0.3mg。

(4) 所列分析线波长均为实际值, 与理论值有出入。

(5) 常温指 $15\sim 25^{\circ}\text{C}$, 室温指 $5\sim 35^{\circ}\text{C}$ 。

(6) 对试剂名未加严格统一, 很多常用试剂用英文缩写表示, 如 EDTA、EGTA、MIBK、P507、P538、N235 等。

(7) “流水冷却”系指用流动的自来水对器皿外壁进行冷却的操作。

(8) “干过滤”系指将含有沉淀物质的溶液, 用干燥的中速或慢速滤纸过滤的操作。

7. 其他

(1) 原则上不列出分析仪器的型号及厂商, 只给相应的工作参数, 供读者参考。

(2) 稀土矿石中所列稀土精矿涵盖白云鄂博稀土精矿、四川牦牛坪稀土精矿、山东微山湖稀土精矿以及独居石稀土精矿。白云鄂博稀土精矿是独居石与氟碳铈矿的混合矿; 四川牦牛坪稀土精矿是氟碳铈镧矿。

目 录

1 概述	1
1.1 稀土分析中的分离、富集方法	1
1.1.1 沉淀分离	1
1.1.2 萃取分离	2
1.1.3 色谱分离	3
1.2 稀土的测定方法	3
1.2.1 重量分析法	3
1.2.2 容量分析法	4
1.2.3 分光光度法	4
1.2.4 原子吸收光谱法	5
1.2.5 X 射线荧光光谱法	6
1.2.6 电感耦合等离子体发射光谱法	7
1.2.7 电感耦合等离子体质谱法	8
1.2.8 高频-红外吸收分析法	12
1.2.9 脉冲加热-红外吸收热导分析法	13
1.2.10 离子色谱法	14
参考文献	15
2 稀土矿石	17
2.1 稀土总量的测定	17
2.1.1 稀土原矿中稀土总量的测定——电感耦合等离子体质谱法	17
2.1.2 铁矿石中稀土总量的测定——萃取分离偶氮氯膦 mA 分光 光度法	19
2.1.3 铁矿石中稀土总量的测定——草酸盐重量法	20
2.1.4 白云鄂博矿中稀土总量的测定——电感耦合等离子体发射 光谱法	22
2.1.5 稀土精矿中稀土总量的测定——草酸盐重量法	24
2.1.6 稀土精矿中稀土总量的测定——熔融片—X 射线荧光光谱法	26