

有色金属工人技术理论教材

稀土湿法冶炼工艺学

金贵铸总编 郑云万副总编

卢克义 主编

中国有色金属工业总公司职工教育教材编审办公室

一九八六年三月

前 言

为进一步贯彻落实中共中央、国务院《关于加强职工教育工作的决定》，适应当前工人技术补课和开展中级技术理论教育的需要，我们组织编写了有色金属工业二十九个专业(工种)技术工人的技术理论教材，供有色金属工业企业职工培训试用，内部发行。

这套教材的内容是以一九八三年中国有色金属工业总公司组织编印的有关专业(工种)的工人初级、中级技术理论教学计划、教学大纲所规定的范围和深度为依据的。教材的主要读者是具有初中文化程度的青壮年工人。以这些教材为课本，通过有组织的讲授和自学，丰富他们的专业基础知识和技术理论，把已有的实践经验和基础技术理论结合起来，以提高操作水平，提高产品质量和劳动生产率。

各专业(工种)的初级工和中级工教材都分别合编为一本，深度以中级工大纲为准，但包括了初级工大纲所要求的内容。在讲授时，要根据不同对象，按初、中级工大纲的不同要求合理取舍；同时必须注意结合本单位的生产实际，在不降低培训要求的前提下，对教学内容和教学课时可做适当调整。培训所需的文化课和专业基础课教材，可借用有关技校或中专教材，适当增删，也可自编讲义。

编写这套教材，得到各地区公司、有关企业、学校、科研单位的领导、工程技术人员和教师的支持、指导和帮助，在此致以衷心感谢。

本书是根据《稀土冶炼工人初、中级技术理论教学计划 and 教学大纲》编写的，内容着重介绍稀土湿法冶炼过程中的选矿技术，矿石分解，用不同方法提取铈、钍、稀土各类产品的工艺，包括液液萃取，离子交换等技术的应用，环保三废处理以及稀土元素知识和常用工艺设备等，是湿法冶炼工人的技术理论培训教材，也可供从事稀土冶炼技术的科研、教学人员和有关厂矿的工程技术人员、管理人员参考之用。

本书是上海跃龙化工厂负责主编的稀土冶炼专业工人技术理论教材之一，由上海跃龙化工厂、广州珠江冶炼厂、甘肃稀土公司、包钢选矿厂、包钢选矿研究所等单位共同编写，并经北京稀土研究所、九江有色金属冶炼厂，哈尔滨火石厂等单位两次审稿，最后由上海跃龙化工厂高级工程师金贵铸定稿。

本书总编金贵铸，副总编、郑云万，主编卢克义。其它主要编写人员：冯明星（第一篇第一章），朱永华（第一篇第二章），戎岳祺（第二篇一、二、三章），罗玉宝（第二篇四、五、六、七章），丘培芝（第三篇一、二、三章），徐金灿（第三篇第四章）吴伦（第四篇第一、二章）马德荣（第四篇第三章）陈钰良（第四篇第四章1~4节），孙锁良（第四篇第四章5~6节），蔡体伟（第四篇第四章第7节），余凤仙（四篇第四章8~9节），童时容（第四篇第五章），辛模良（四篇第六章），龚福才（第五篇第二章），王林强（第五篇第三章），苗广礼（第五篇第四章），刘凤国（第六篇第二章），贾永昌（第七篇）。本书在编写过程中，曾参考国内外有关书刊文献，对涉及到的有关作者深表感谢。由于编写时间仓促，调查研究不够。加之编写经验不足，书中缺点错误在所难免。我们恳切地希望各单位在试用过程中注意总结经验，提出意见，以便再版时修正。

中国有色金属工业总公司职工教育教材编审办公室

一九八六年三月

目 录

第一篇 基础知识

第一章 稀土元素	1
第一节 稀土元素的概念	1
第二节 稀土元素在地壳中的分布及主要矿物	3
第三节 稀土元素的原子结构和特性	3
第四节 稀土金属及重要化合物	6
一、稀土金属	6
二、稀土卤化物	6
三、稀土氧化物	8
四、稀土氢氧化物	9
五、稀土硫酸盐	9
六、稀土硝酸盐	10
七、稀土磷酸盐	10
八、稀土碳酸盐	10
九、稀土草酸盐	10
十、重要的有机络合物	11
第五节 钪、铈与镨	12
一、钪	12
二、铈	13
三、镨	13
第六节 稀土元素的应用	13
一、稀土在钢中的应用	13
二、稀土球墨铸铁	14
三、铜合金	14
四、铝合金	14
五、镁合金	15
六、其它含稀土合金	15
七、打火石	15
八、贮氢材料	15
九、永磁材料	16
十、石榴石磁性材料	16
十一、阴极材料	16
十二、照明光源	16

十三、稀土荧光材料	17
十四、稀土激光材料	17
十五、稀土玻璃及陶瓷	17
十六、磨料及抛光粉	18
十七、催化剂	18
十八、原子能技术	18
十九、其它应用领域	19
第二章 稀土冶炼常用设备	19
第一节 输送及粉碎机械	20
一、固体粉碎机械	20
二、固体输送机械	25
三、液体输送机械	28
四、气体输送机械	31
第二节 物料传热设备	37
一、传热的基本概念及热交换的计算	37
二、换热器	38
三、蒸发的基本概念及设备	41
四、结晶	45
第三节 物料的分离	46
一、除尘、除雾设备	46
二、沉降及沉降设备	49
三、过滤及过滤设备	51
四、塔设备	55
第四节 化学反应设备	57
一、搅拌式反应锅	57
二、固定层反应设备	59
三、沸腾层反应设备	60
四、滚筒式反应设备	60
第五节 容器	61
一、常压容器	61
二、受压容器	61
第六节 常用设备材料的选择	62
一、金属	62
二、有色金属	62
三、非金属	63

第二篇 选矿

第一章 概念	65
---------------	----

第一节 选矿的目的和意义	65
第二节 选矿过程的主要作业	65
一、准备作业	65
二、选别作业	66
三、产品脱水作业	66
第三节 选矿主要技术经济指标	66
一、品位	66
二、产率	67
三、选矿比	67
四、富集比	67
五、回收率	67
六、劳动生产力	67
七、作业率	68
第二章 稀土矿物	68
第一节 概述	68
第二节 稀土矿物分类	69
一、按化学成份分类	69
二、按矿物的稀土分配分类	69
第三节 稀土矿物的特征	69
第三章 稀土矿物选矿常用设备	71
第一节 磁选设备	71
一、电磁盘式强磁场磁选机	71
二、干式永磁对辊强磁场磁选机	73
第二节 重选设备	74
一、扇形溜槽	75
二、螺旋式选矿机	75
三、摇床	76
第三节 电选设备	78
一、 $\phi 120 \times 1500$ 毫米双辊电选机	78
二、 $\phi 370 \sim 600$ 毫米高压电选机	79
三、电选生产操作	80
第四节 浮选设备	81
第四章 独居石的选矿工艺	84
第一节 独居石的物理化学性质及常用选矿方法	84
第二节 中南某独居石海滨砂矿的选矿工艺	85
第三节 独居石精矿的精选	87
第四节 多金属海滨重砂的精选工艺	89
第五节 独居石精矿多元素分析及质量标准	90
第五章 氟碳铈矿与独居石混合矿的选矿工艺	91

第一节 我国某矿的原矿性质	91
第二节 选别工艺流程	92
一、粗选工艺	92
二、精选工艺	96
第三节 常用药剂	101
一、调整剂	102
二、捕收剂	102
第四节 混合精矿质量标准及化学多元素分析	103
一、氟碳铈矿与独居石混合稀土精矿企业试行标准	103
二、氟碳铈矿和独居石混合精矿化学多元素分析	103
第六章 从离子吸附型稀土矿中回收稀土	104
第七章 其它稀土矿物的选矿工艺	107
第一节 磷钇矿的选矿工艺	107
第二节 褐钇铈矿的选矿工艺	108
第三节 精矿多元素分析及质量标准	111

第三篇 稀土精矿分解

第一章 稀土精矿分解方法简介	113
第一节 稀土精矿的酸法分解	113
一、硫酸法	113
二、氢氟酸法	113
第二节 稀土精矿的碱法分解	114
一、烧碱法	114
二、纯碱法	114
第三节 稀土精矿的氯化法分解	114
第四节 稀土精矿分解方法的比较	114
第二章 烧碱法分解独居石精矿	115
第一节 烧碱法分解独居石的原理、影响因素	115
第二节 碱饼清洗及磷碱液的回收	118
第三节 盐酸优溶稀土及除镭工艺	119
第三章 独居石矿的硫酸分解	120
第四章 氟碳铈矿分解	122
第一节 硫酸焙烧法	122
一、分解原理、工艺条件、影响因素	122
二、回转窑的结构、特点、维护保养	123
三、分解后的处理工艺	125
四、三废处理	128

第二节 烧碱法分解	131
一、烧碱法分解原理、工艺条件	131
二、烧碱法分解影响因素、中间控制	134
三、电场碱分解	134
四、三废处理	135
第三节 氟碳铈镧矿的其它分解工艺	136
一、纯碱焙烧法	136
二、加碳氯化法分解稀土精矿	138
三、高温硫酸法	140
第五章 其它矿物的分解	142
一、褐钨铀矿氢氟酸分解工艺、原理、工艺条件	142
二、磷钨矿分解工艺原理、工艺条件	143

第四篇 铀、钍及稀土的分离

第一章 铀钍与稀土的萃取分离	145
第一节 TBP 萃取分离铀钍、稀土的原理	145
一、TBP 的性质	145
二、在 TBP—HNO ₃ 体系中铀、钍和稀土的萃取次序	146
三、铀钍与稀土萃取分离的原理	147
四、铀、钍分离的原理	148
五、盐酸体系 TBP 萃取分离钍、铀和稀土的原理	148
第二节 其它萃取剂对铀钍和稀土的萃取分离	151
一、硝酸体系中 P ₃₅₀ 对铀钍和稀土的萃取分离	151
二、盐酸体系或硫酸体系 P ₂₀₄ 对铀钍和稀土的萃取分离	151
三、硫酸体系胺类萃取剂对铀钍和稀土的萃取分离	152
四、协同萃取	153
第三节 各种含铀钍、稀土矿物分解后的分离概述	154
一、独居石矿分解后的铀、钍、稀土的分离	154
二、氟碳铈矿分解后的铀、钍、稀土的分离	155
三、褐钨铀矿分解后的铀、钍、稀土的分离	155
第二章 铀钍、稀土分离的常用工艺	156
第一节 TBP—HNO ₃ 体系工艺	156
一、独居石钍饼浆酸溶液 TBP—HNO ₃ 铀钍稀土萃取分离工艺流程	156
二、钍饼酸溶	156
三、30% TBP—煤油萃取分离铀钍和稀土	158
四、铀与钍的萃取分离	158
五、放射性污水的预处理	162

第二节 伯胺萃取工艺	164
一、硫酸介质中用胺类萃取剂萃取分离铀、钍、稀土的工艺流程简图	164
二、用 N_{235} 从硫酸浸出液中萃取铀	164
三、伯胺 7101 萃取分离钍	165
第三章 稀土元素的化学分离法	166
第一节 概述	166
第二节 分步结晶法	166
一、分步结晶法基本原理	166
二、分步结晶的典型操作方法	167
三、分步结晶法举例	168
第三节 分步沉淀法	171
一、碱金属硫酸盐沉淀法	171
二、影响硫酸稀土复盐反应的因素	172
三、硫酸稀土复盐分离稀土元素典型示例	173
四、草酸盐分步沉淀法	173
第四节 选择性氧化还原法	175
一、选择性氧化还原法的基本原理	175
二、铈的氧化法分离	175
三、钇、镧、铈的还原法分离	181
第四章 萃取法分离稀土	184
第一节 溶剂萃取的基本知识	184
一、萃取法分离稀土的发展和特点	184
二、萃取体系的组成	185
三、萃取体系的表示方法	186
四、萃取工艺过程的主要阶段	186
五、萃取过程的基本参数	186
第二节 萃取剂的种类和常用萃取剂、稀释剂	191
一、中性络合萃取剂	191
二、阳离子萃取剂	192
三、阴离子萃取剂	194
四、螯合萃取剂	194
第三节 多级萃取	197
一、多级萃取种类	197
二、多级萃取试验	199
第四节 P_{204} 及其分组稀土工艺	204
一、 P_{204} 的性质	204
二、 P_{204} 萃取稀土反应与机理	207
三、影响 P_{204} 萃取稀土元素的因素	208
四、 P_{204} 分组稀土工艺、操作及中间控制	210

五、P ₂₀₄ 萃取过程中容易产生的问题及处理	213
第五节 铈的萃取分离	214
一、P ₂₀₄ —磺化煤油体系在硫酸介质中提取纯铈	215
二、P ₂₀₄ —TBP 协萃体系在硫酸介质中提纯铈	216
三、三烷基膦酸酯在硫酸介质中提纯铈	217
四、TBP—液态石蜡从硝酸液中提取纯铈	219
第六节 镧、铈、铈的萃取分离	221
一、概述	221
二、P ₃₅₀ 及影响 P ₃₅₀ 萃取的因素	222
三、P ₃₅₀ —煤油—RE(NO ₃) ₃ —HNO ₃ 体系提镧工艺	226
四、P ₃₅₀ —煤油—RE(NO ₃) ₃ —HNO ₃ 体系分离铈铈工艺	228
五、P ₃₅₀ —煤油—RE(NO ₃) ₃ —NH ₄ NO ₃ —HNO ₃ 体系提镧和富集铈铈工艺	229
六、N ₂₆₃ —混合醇—煤油—RE(NO ₃) ₃ —HNO ₃ 体系萃取生产富铈工艺	230
七、P ₂₀₄ —煤油—RECl ₃ —HCl 体系分离铈铈工艺	232
八、P ₅₀₇ —煤油—RECl ₃ —HCl 体系分离铈铈工艺	233
第七节 铈的萃取分离	236
一、铈的萃取分离原理	236
二、萃取法提纯铈的各种工艺	239
三、环烷酸性质和萃取原理	243
四、环烷酸的制取和提纯	244
五、环烷酸提纯铈的化学方程式及环烷酸皂化	245
六、环烷酸萃取提纯氧化铈对原料的要求及处理	246
七、萃取工艺及产品	247
第八节 P ₅₀₇ 萃取剂在稀土分离中的应用	251
一、P ₅₀₇ 的结构及其性质	251
二、P ₅₀₇ 萃取稀土的反应机理及影响因素	252
三、P ₅₀₇ 回流萃取分离铈	256
四、P ₅₀₇ —HCl 体系萃取分离铈	259
五、P ₅₀₇ 对重稀土的分离——铈的提取	261
第九节 萃取设备	263
一、萃取设备简介	263
二、塔式萃取设备	263
三、离心萃取器	265
四、混合——澄清式萃取器	267
五、混合——澄清槽的单元设计	268
第五章 离子交换法分离稀土	272
第一节 概述及名词解释	272
一、概述	272
二、离子交换分离稀土的特点	273

三、有关名词解释·····	273
第二节 离子交换剂·····	274
一、交换剂的分类·····	274
二、常用交换剂的基本性质·····	275
三、离子交换树脂的处理和使用·····	279
第三节 淋洗剂、延缓离子·····	280
一、淋洗剂·····	280
二、延缓离子·····	282
第四节 离子交换反应的基本原理、水的净化——交换水的制备·····	282
一、离子交换反应的基本原理·····	282
二、水的净化、交换水的制备·····	283
第五节 交换柱的计算·····	287
一、理论塔板当量高度的测定及影响因素·····	287
二、柱比的计算·····	289
第六节 离子交换法 EDTA 淋洗分离 Pr—Nd ·····	291
一、基本原理·····	291
二、工艺条件·····	292
三、操作过程·····	292
第七节 离子交换法 NH_4Ac 为淋洗剂提纯 Y_2O_3 ·····	294
一、基本原理·····	294
二、工艺条件·····	294
三、操作过程·····	294
四、影响分离效果的因素·····	295
第八节 交换过程中的结晶与勾流问题·····	297
一、结晶问题·····	297
二、勾流问题·····	298
第九节 淋洗剂的回收及精制·····	298
一、EDTA 的回收 ·····	298
二、EDTA 的精制 ·····	299
三、 NH_4Ac 的回收 ·····	299
第十节 离子交换法的应用及发展·····	300
一、离子交换法的应用·····	300
二、离子交换剂的发展·····	300
三、离子交换操作技术的发展·····	302
第六章 稀土元素的分离新技术·····	303

第五篇 稀土化合物的生产和应用

第一章 概念	309
第二章 稀土发光材料	312
第一节 基本概念.....	312
一、定义.....	312
二、稀土发光材料基质与激活剂的选择.....	313
三、制备发光材料的基本过程及基本原理.....	315
第二节 稀土光致发光材料.....	317
一、灯用材料的发展.....	317
二、灯用材料的制备及其特征.....	318
第三节 阴极射线发光材料.....	324
一、彩色电视机三基色荧光粉.....	324
二、彩色电视三基色荧光粉的发展.....	325
三、三基色荧光粉制备.....	326
四、稀土投影电视粉.....	327
第四节 稀土 X 射线发光材料.....	327
一、概述.....	327
二、几种典型稀土增感粉的制备.....	327
第五节 其它稀土发光材料.....	328
一、多光子材料.....	328
二、超短余辉材料.....	329
第三章 氟化稀土制备工艺	329
第一节 氟化稀土的应用.....	329
一、作电弧碳棒的发光剂.....	329
二、作钢铁和非铁合金的添加剂.....	329
三、用于制取铈合金.....	330
四、用于制取单一稀土金属及其它方面.....	330
第二节 氟化稀土的质量要求.....	330
第三节 氟化稀土的生产原理.....	330
一、湿法制取氟化稀土的原理.....	330
二、干法制取氟化稀土的原理.....	331
第四节 氟化稀土生产工艺.....	331
第四章 稀土抛光粉的应用、原理、特征	334
第一节 稀土抛光粉的应用.....	335
第二节 稀土抛光粉的生产原理.....	335
一、合成.....	336

二、焙烧	336
第三节 稀土抛光粉的主要特征	337
第四节 稀土抛光粉的生产工艺	339
一、生产准备	339
二、操作步骤	340
第五节 目前国内外稀土抛光粉的生产、应用	340
一、国内	341
二、国外	341
第五章 稀土着色剂	343
第一节 稀土着色剂的应用、原理和特征	343
第二节 锆黄生产工艺	345
第六章 其他稀土化合物的制备	346
第一节 稀土化合物及其性质	346
一、稀土氧化物	346
二、稀土硫酸盐的制备	349
三、稀土硝酸盐的制备	350
四、稀土卤化物	352
五、试剂制备过程注意事项	353

第六篇 稀土生产的三废处理

第一章 放射性废水的工业处理	354
第一节 放射性废水的来源和性质	354
第二节 放射性废水的化学处理	355
一、铝盐絮凝沉淀法处理	355
二、铁盐絮凝法	356
三、石灰——苏打软化法	356
四、磷酸盐沉淀法及锰盐絮凝法	357
五、高分子絮凝沉淀法	357
第三节 复合多级化学处理法	358
第四节 离子交换法处理放射性污水	359
第五节 无机离子交换剂	360
第二章 废气处理	361
第一节 工业废气种类及常用处理方法	361
一、工业废气种类及其处理的重要意义	361
二、稀土冶炼中废气的产生过程	362
三、常用的处理方法	363
第二节 稀土生产含尘气体的处理	364

一、机械除尘	364
二、过滤除尘	365
三、静电除尘	366
四、洗涤除尘	366
第三节 氯与氯化氢的处理	367
一、氯气的处理	367
二、氯化氢的处理	398
第四节 二氧化硫的处理	369
一、二氧化硫的主要性质及其来源	369
二、二氧化硫的处理方法	369
第五节 含氟气体的处理	371
一、氟的性质及其来源	371
二、氟化氢的危害	371
三、氟化氢的处理	372
第六节 其它尾气的处理	373
一、氮氧化物的处理	373
二、氨气的处理	376
第七节 废气处理设备	377
一、颗粒除尘设备	377
二、有害气体的吸收设备	380
第三章 放射性固体废物的处理	383
一、固体废物的种类和来源	383
二、固体废物的处理和处置方法	383

第七篇 放射性生产的劳动防护及安全知识

第一章 放射性生产的劳动防护	386
第一节 放射性基本知识	386
一、放射性物质与同位素	386
二、射线的种类与性质	387
三、放射性强度及剂量单位	388
四、放射性同位素的应用	389
五、放射性对人体的危害	390
第二节 开放型放射性工厂放射性污染形式	390
一、大气污染(气溶胶)、(射气)	391
二、表面污染(粉尘)	391
三、外照射	391
四、环境污染(气、水、土壤、生物)	392

第三节 放射性物质进入人体的途径及防护方法.....	392
一、呼吸道吸入及其危害.....	393
二、消化道进入及其危害.....	393
三、皮肤侵入及其危害.....	393
四、放射性一般防护知识和措施.....	393
第四节 放射性防护国家标准.....	395
一、工作岗位放射性浓度国家标准.....	395
二、放射性剂量的测定.....	399
第二章 生产安全知识.....	400
第一节 安全用电知识.....	400
一、电流对人体的伤害.....	400
二、保证电气安全的基本要素.....	400
三、常用安全措施.....	401
四、电工安全用具.....	401
五、触电的急救.....	401
第二节 三酸二碱、有机相.....	401
一、三酸二碱.....	401
二、有机相.....	402
第三节 常见设备事故的处理.....	402
一、离心泵.....	402
二、电动机.....	402
三、过滤设备.....	402
四、空压机.....	403
五、槽.....	403
六、其它.....	403

第一篇 基础知识

第一章 稀土元素

第一节 稀土元素的概念

稀土指的是钪(Sc)、(Y)，镧系元素(Ln)：镧(La)、铈(Ce)、镨(Pr)、钕(Nd)、钷(Pm)、钐(Sm)、铕(Eu)、钆(Gd)、铽(Tb)、镝(Dy)、钬(Ho)、铒(Er)、铥(Tm)、镱(Yb)、镱(Lu)十七只元素的总称。其中(Pm)是反应堆铀裂变的产物或存在于大自然的富铀矿中，常见的天然稀土矿中不含 Pm。所以，稀土工业一般是指除 Pm 外的十六个元素的分离和提纯。而且，大多数工业稀土矿中不含钪，故国内外主要稀土生产厂的稀土产品也不包括钪。这样，稀土往往就是指余下的十五只元素了。稀土元素的正常原子价是三，它们属于周期表中第ⅢB族。

稀土元素中第一个被发现元素是钇，是由芬兰科学家加多林(Johan Gadolin)在1794年研究瑞典 Ytterbite 矿石时发现的。当时的科学家喜欢用“土”素称呼一些实验室高温下不分解的氧化物为某某土。如锆土(氧化锆)、苦土(氧化镁)等等。故加多林按照当时的习惯，命名他所发现的新元素的“新土”，又称“稀土”。使稀土的名称流传至今1797年，另一个瑞典化学家验证了加多林的实验，并以 Yttria 来命名加多林所发现的元素，即现在我们称之为钇的氧化物。同时，将加多林发现钇的这种矿石命名为 Gado linite (即硅钇矿)，以纪念他的发现。1803年，又在瑞典发现了铈。以后(1839—1843)的研究表明，当时所谓的钇和铈都是混合物，还分别含有铽、铒和镧、迪迪姆。1859年，光谱分析出现了，为寻找新元素提供了手段。从1878—1905年间，相继证明当初的铽铒和镧、迪迪姆仍然是混合物，可以分离出除钇和钪(1876年发现的)外的全部稀土元素。这也就是有人将十五个稀土元素分成铈组和钇组的由来。1913年，确立了元素特征 X 射线波长与原子序数间关系。证明在钐和钐之间应该还有一个新元素—61号元素。全世界的化学家又掀起了寻找61号元素的热潮。1926年，美国伊和诺思州大学论找到了61号元素，并命名它为“il”。消息传到欧洲，激怒了意大利一科学家。他说在1924年就发现了61号元素，并已命名为“Fr”。这样，双方为61号元素的发现和命名权争论不休。因为他们都是从研究钐钐找61号元素的，所以事实上双方的发现是错假的。直到1947年美国科学家利用离子交换法分离反应堆铀裂变产物时，才真正发现了61号元素，并命名为钷“Pm”。至此历时150余年，十七个稀土元素才被完全发现。期间各种发现所谓稀土元素的命名多达七十来种。可见稀土元素发现之艰辛。而且，当时还认为钷是人造元素，直到1972年才证明天然铀矿中也存在微量钷。即十七个稀土元素在地壳中均能找到。

稀土工业历史与钍工业分不开，与奥地利学家威斯巴赫(Auer Von Welsbach)的贡献分不开。在19世纪中叶，威斯巴赫在燃烧钍和稀土氧化物时，发现它们在高温下能发

出耀眼的光芒。那时电灯还未发明，解决黑夜的照明将对人类之明带来新的进步。经过潜心研究，他发明了用硝酸钍和硝酸铈(以独居石为原料)作气灯纱罩，用于照明，并于1885年9月23日获得了发明专利，揭开了稀土工业的序幕。1902年，美国建立了稀土工业，即林赛(Lind Say)照明公司，也是用硝酸钍和硝酸铈作气灯纱罩，但原料从德国进口，1903年，威斯巴赫又用熔盐电解法制备了铁铈发火合金，发明了打火石。1910年，以氟化稀土制造的电弧棒问世，解决了稀土为钍副产而堆积的问题。1912年，电灯发明了，气灯纱罩用量减少，钍反而成为稀土副产物堆积。1920年，稀土用作玻璃着色剂和发现了添加氧化镧的玻璃具有高折射低色散的特点。1933年，氧化铈抛光粉问世。1939年，以氧化铈作为乳浊剂用于陶瓷工业。四十年代，为了发展原子能工业，美国阿曼斯(Ames)实验室和橡树岭实验室研究了离子交换分离稀土技术和溶剂萃取技术。1954年，美国斯比亭(F·H·Speeding)教授确立了EDTA为淋洗剂，Cu⁺⁺作延缓剂的离子交换分离稀土方法，才奠定了高纯单一稀土(> 99.9%)的工业化基础。1955年，美国钾碱化学公司建成了离子交换分离稀土车间，从独居石矿中分离出12种99.9%的稀土。1957年，美国密执根化学公司用离子交换法从磷钇矿中生产出单一高纯重稀土。1958年，生产出99.9%的钆。至此，全部高纯单一稀土元素均可工业生产，为稀土元素特性研究和应用提供了物质基础。1962年，美国—石油公司研究成功新型含稀土石油裂化催化剂，迅速成为稀土的主要工业应用之一。同年，钆作为激光玻璃材料而被应用。而稀土在钢铁中应用始于五十年代，到七十年代有大规模应用。更重要的是从钒酸钇为基质材料，钕为激活剂的彩电红粉应用(1964年)，进一步刺激了稀土工业发展。1967年，钐钴磁体登上了磁性材料的宝座。到此，除了钆外，其它的单一轻稀土应用与稀土资源相平衡。故全世界又转向寻找钐的工业应用。1981年，出现钐添加到彩电屏幕玻璃的重要应用。1983年，又发现钐铁硼作为磁性材料的重要应用。将使稀土工业推向了一个新的发展高潮。

稀土元素的化学性质十分相似，根据稀土元素性质的微小差异和矿物形成特点以及分离工艺的要求可将稀土元素分成若干组。常见的分法有几种，如表1—1—1所示

表 1—1—1 稀土元素的分组法

元 素	镧 铈 镨 钕 钐 铕 钆 铽 镱 铈 铉 铊 铋 铀													
分组法	La Ce Pr Nd Pm Sm Eu Gd Tb Dy Y Ho Er Tm Yb Lu													
二 组	轻稀土 (铈组)							重稀土 (铈组)						
三 组	铈 组 硫酸复盐难溶				铈 组 硫酸复盐 微 溶				铈 组 硫酸复盐可溶					
三 组	轻稀土 (P ₂₀₄ 弱酸度 萃 取)				中稀土 (P ₂₀₄ 低酸度 萃 取)				重稀土 (P ₂₀₄ 中酸度 萃取)					

国内外通用以 R 或 RE 代表稀土元素

稀
土

第二节 稀土元素在地壳中的分布及主要矿物

地壳即地球的外层部分，它厚 16 千米，主要由岩石圈构成。另外还包括全部的水圈和一部分的大气圈。通常以元素在地壳中所占的重量百分数即克拉克值来表示它在地壳中的丰度。

17 种稀土元素总量在地壳中占 0.0153%，铈组为 0.0101%，钇组为 0.0052%。其中铈最多：0.0046%，其次是钇、钆、镧。稀土在地壳中含量比常见的元素铜、锌、锡、钴等还要多。就是含量稀少的铍、锆、铋、铀、钍等也比铍、银、汞等多。铈的丰度最小： $4.52 \times 10^{-24}\%$ 。所以，稀土元素在地壳中的量并不稀少。我国稀土储量更丰富，在金属储量排列中，仅次于铁、铝、钛而占第四位。不过稀土被人类发现较晚，提取分离困难，开发得较迟，一些优良的物理化学性质还没研究清楚，故在科技和工农业中应用还不广泛。所以暂居稀有金属之列。

稀土元素在地壳中主要矿物，有三种贮存状态：

1. 参加矿物晶格，构成矿石不可缺少的部分。例如独居石、氟碳铈矿等。它们是工业利用的主要对象。

2. 以类质同晶置换（钙、锶、钡、锰、锆、钍等元素）的形式分散于许多造岩矿物和另外一些稀有矿物中，如萤石、磷灰石、铀铍矿等。

3. 呈吸附状态存在于一些矿物的表面和颗粒间，如粘土矿物，云母矿物。我国江西寻乌、龙南地区离子吸附型稀土矿就属这种类型，它们无需选矿，极易直接从原矿提取。

目前，世界各稀土冶炼厂使用的主要稀土工业矿物有：（1）氟碳铈镧矿。代表性矿为我国包头稀土矿（内含一定量的独居石矿）和美国加利福尼亚州的芒顿巴斯矿。（2）独居石矿。主要产地有巴西、印度、澳大利亚及中国。（3）磷钇矿。一般为独居石和锡矿等副产品。主要产地有马来西亚、澳大利亚和中国。（4）磷灰石中副产品。主要在苏联和斯堪的纳维亚半岛诸国。我国贵州省也有大量储量。（5）加拿大的铀副产品。（6）我国江西的离子吸附型稀土矿，如龙南矿（钇为主要重稀土矿），寻乌矿（镧钆为主的轻稀土矿）。（7）硅铈钇矿。近来加拿大发现的大型矿物，是以钇为主的重稀土矿物。

我国稀土资源非常丰富，已查明的稀土工业储量超过世界各国工业储量的总和，并且有分布广、品种全、易开采（如离子吸附型矿）等特点。特别是世界稀土资源缺少的钐、铈、钐、铈、钇等中重稀土，我国储量也十分丰富，均超过国外同类元素的总储量。

第三节 稀土元素的原子结构和特性

稀土元素在周期表中的 II B 族占同一个位置，所以它们的化学性质十分相似，这主要与稀土元素核外电子排布有关。

一、表 1—1—2 列出了稀土元素的核外电子排布。由表见稀土元素最外两层电子层的结