

中国三稀矿产资源战略调查研究进展综述

王登红¹ 王瑞江¹ 李建康¹ 赵 芝¹ 于 扬¹ 代晶晶¹ 陈郑辉¹
李德先¹ 屈文俊² 邓茂春³ 付小方⁴ 孙 艳¹ 郑国栋¹

(1.国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室,中国地质科学院矿产资源研究所,北京 100037; 2.国家地质实验测试中心,北京 100037; 3.江西赣南地质调查大队,江西 赣州 341000; 4.四川省地质调查院,四川 成都 610081)

摘要:三稀资源是稀土、稀有和稀散资源的统称。“三稀矿产资源战略调查研究”项目启动以来,研究了全球三稀资源的分布、产出特征及其开发现状、选冶技术与市场供需状况;发现中国重稀土资源消耗过快,关键性稀散金属的利用水平有待提高,部分稀有金属亟待发现新的矿产地;同时,中国三稀资源利用的质量不高,高附加值产品少,采选回收率低;现场实地调研也表明中国离子吸附型稀土矿区还存在证外采矿和环境污染问题。在地质理论研究方面,通过成矿规律研究发现离子吸附型稀土矿的母岩体可以扩展到燕山晚期花岗岩以外的地区,内生稀有稀土资源的形成具有时空分离的趋势。在技术方面,项目组把高分辨率遥感技术应用到三稀资源的监管工作,并全面更新了三稀元素的分析测试技术,取得了显著成效。此外,所提出的分单矿种评价、管理稀土资源、修改三稀资源勘查规范、设立复合型三稀资源矿种以及水化学技术调查监测三稀矿山的生产状况和环境污染等建议和新思路,都具有现实意义。在找矿部署方面,项目组根据三稀资源的综合特点,认为应建立稀有资源的整装勘查区、稀土资源的规划区、稀散资源的综合利用示范区,甘肃、四川、福建等地已取得初步找矿进展。

关键词:稀土;稀有;稀散;战略研究;进展

中图分类号: P618.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2013)03-0361-10

“三稀”是稀土、稀有和稀散元素的简称,本次研究共涉及 34 个元素,包括 17 个稀土元素,铌、钽、锂、铍、锆、钨、铀、镭等 9 种稀有金属元素以及镓、锗、铟、铊、镉、铟、硒、碲等 8 种分散元素。“三稀”金属是当前及今后培育发展战略性新兴产业(如,新一代信息技术、节能环保、新能源生物、高端装备制造、新材料、新能源汽车等)所需要的功能材料和结构材料,因而日益受到重视。

2011 年 4 月,财政部和国土资源部联合设立了“2011 年矿产资源节约与综合利用专项资金”,将三稀矿产资源作为国家专项资金支持的重点对象,以

帮助三稀资源企业运用新技术、采用新工艺、提高矿产资源节约与综合利用的水平。与此同时,在国土资源部的领导下,中国地质调查局设立了“我国三稀资源战略调查研究”项目,旨在摸清三稀资源家底,分类排查其应用状况和保障能力,指出找矿方向和综合应用前景,为矿政管理、相关产业和区域经济发展提供科学依据,从而拉开了国家层面上三稀资源调查、研究与深度利用的序幕。2012 年,“我国三稀资源战略调查研究”升格为计划项目,由 12 个省级地调院和 11 个科研院所、高校参加,研究内容不但涵盖理论研究、方法创新与新技术运用,更与国计民生

收稿日期:2013-02-06; 改回日期:2013-03-11

基金项目:中国地质大调查项目“我国三稀资源战略调查”(201200010063)、“南岭地区岩浆岩成矿专属研究”(1212011120989)、“我国重要矿产和区域成矿规律研究”(1212010633903)、国家深部探测技术与实验研究专项的“南岭成矿带地壳岩浆系统结构探测实验研究”课题(SinoProbe-03-01)联合资助。

作者简介:王登红,男,1967 年生,研究员,博士生导师,主要从事矿产资源研究;E-mail:wangdenghong@sina.com。

通讯作者:李建康,男,1976 年生,副研究员,主要从事稀有金属研究;E-mail:Li9968@126.com。

和矿政管理密切相关而备受关注,开拓了基础科学研究服务于国家目标的新领域。本文就该项目已取得的部分阶段性成果作简单介绍。

1 产业发展的需求分析

中国近年来大量进口铁、铜、铝等大宗矿产,而三稀矿产资源是目前不需要进口的重要资源,其战略地位至关重要。本次工作跟踪和研究了国内外三稀矿产资源开发现状、选冶技术与市场供需状况,编制了全球稀土矿产地分布图、全球稀有和分散元素矿产地分布图以及全国三稀矿产分布图,提交主管部门使用。在此基础上,深入分析了全球三稀资源分布特征及中国三稀资源在全球的地位,为中国制订三稀矿产资源勘查、开发与管理等方面的中长期规划提供了科学依据。

如,根据党的十八大提出建设“美丽中国”的新目标以及“煤从空中走,电送全中国”的规划,本次研究加强了对钽等稀有金属的战略性调研分析。钽是电子工业和空间技术发展必不可少的战略原料,自2003年起钽在电容器行业的用量就超过了总产量的50%,近年来更是持续增长,年均增长达33.85%。随着新兴产业的发展,尤其是特高压电网的建设将需要大量的高性能电容器,钽的需求量势必增长。全球除中国和俄罗斯以外的钽金属储量约50万t,主要集中在格陵兰。中国86个矿区的查明资源储量是12.5万t,其中江西4.8万t^①,宜春414是最主要的生产矿山,但品位明显偏低,仅相当于国外富矿的1/4~1/100,竞争力差,因而迫切需要寻找富钽矿。为此,目前除了在新疆、内蒙、四川、甘肃等省区继续开展找矿工作之外,本次研究建议在成矿条件较好的南岭成矿带强化部署,期望在武夷山中南段(南平—永定)取得进展。

2 资源家底的初步调研

在“全国重要矿产潜力评价”和“储量利用现状调查”项目中,仅涉及三稀矿产资源中的稀土和锂,但二者的资源家底由于种种原因尚难以真正摸清(稀土矿资源潜力评价成矿规律研究汇总报告,2012)。三稀项目启动以来,初步摸清全国三稀资源家底,认为中国风化壳型离子吸附型稀土资源无论在开采条件和资源禀赋特征方面都是得天独厚的,是日本所谓新发现的太平洋海底淤泥所无法比拟的

(Kato, et al., 2012),但中国该类资源消耗过快。此外,关键性分散金属的利用水平有待提高(如金顶作为世界最大的镉矿),稀有金属亟待发现新的矿产地,并对现有资源加强保护和管理^②。各类三稀矿产资源均需要在保护中开发,开发中保护,即使是资源量巨大的锑等优势矿种也不能过量开采而象稀土一样“卖个萝卜价”。

截止2012年底,全国包括新疆、甘肃、内蒙古、吉林、辽宁、青海、陕西、河南、山东、四川、湖北、湖南、安徽、江西、浙江、云南、福建、广西、广东、海南在内的19个省共有344个稀土矿产地。其中,内蒙古、江西、福建、广东、广西、四川是中国稀土资源大省,稀土矿产地数量占全国的80%左右,内蒙古的稀土储量位居全国之首。目前中国的大型稀土矿床有22个,占总数量的7%,中小型矿床较多(占总数的58%)。稀土矿床具有成因多样、轻重稀土类型齐全的特征,其中重稀土矿主要分布在中国南方地区,轻稀土则南北均有。稀土矿成因类型包括内生矿床(岩浆型、伟晶岩型和气成热液型)、外生矿床(风化壳矿床和碎屑沉积矿床)和变质矿床,其中以风化壳型(占62%)和碎屑沉积型(21%)稀土矿尤为发育,风化壳离子吸附型稀土是中国特有的优势资源,是近十几年来中国稀土资源主要开采的对象之一。

在稀有金属方面,除了发现较多的低品位铷矿产地而使其资源量增长之外,锂在2011年出现了负增长。锂是目前新兴产业发展所需要的骨干矿种,相当于“小矿种中的大矿种”,无论是小到手机、计算机还是大到电动汽车甚至波音787飞机,都离不开锂。此外,中国的钽铌等资源以花岗岩型矿床为主,计划经济时期的工业指标远低于西方国家的标准,但目前仍用该指标计算储量,由此得到了中国是钽铌资源大国的误解。如江西宜丰等地区霏细岩中的钽铌锂等稀有金属的含量已经达到中国的工业指标,但因品位低、开采难度大,尚只能作为陶瓷原料^③。

在分散元素方面,除了镓、铟、硒的查明资源量2011年比2010年有所增长外,其他7个重要矿种均不同程度地减少,尤其是具有特别重要战略意义的碲,降低幅度更大,需要引起重视。碲除了在军事、航天领域的应用之外,全球年消耗400~500t,其中半导体致冷业是大头。中国是碲的主要消耗国,半导体致冷业年消耗即达40~50t,另外,薄膜太阳能电池和特种合金的需求增长很快。长此以往,作为中国

优势矿产的确也很快会成为紧缺资源。

3 资源利用现状分析

本次研究通过对国内外相关资料的搜集、整理和数据库建设,初步开展了全球三稀资源市场调查分析,了解了三稀金属全球物流的基本态势,认为中国迫切需要强化高端物流的“质”,而不能满足于低端物流的“量”,提高资源的综合利用水平乃当务之急^[4]。

单就稀土而言,40年前,美国向日本等国家出口稀土,但逐渐转为保护本国的稀土资源(芒廷帕斯稀土矿是世界级稀土矿)而单纯依靠进口,其中91%来自于中国。据统计,1973—1978年,中国6年仅出口150 t,创汇63.4万美元^[5]。2006年以前,中国稀土产量增长迅猛,年均增速达9.7%。2006年以后,行业管理得到加强,产量有所降低。2010年中国稀土冶炼分离产品出口总量为39 813 t,同比减少9.35%;出口金额93 967万美元,同比增加203%(据五矿进出口商会统计),实现了“产量不长效益长”的目标。此外,实行开采总量控制指标政策以来,中国目前特有的离子吸附型稀土矿产资源在稀土总产量中所占的比例明显下降(图1),使得珍贵资源得到保护。但同时应注意到,中国稀土产品的“质”尚待提高,2010年中国稀土产品的消费结构中,低附加值的永磁和荧光材料占61%。因而,在2008—2010年度,美国的稀土资源除了91%来自中国外,另有6%高附加值稀土产品来自日本和法国等稀土匮乏国家。

三稀金属元素主要以共伴生的形式存在,但许多企业的综合利用意识淡薄,许多矿山知道有稀散元素共伴生,但没有回收或者没有充分回收的工艺;另有相当一部分矿山尤其是1995年以后探明新建的矿山,甚至没有对矿石中的共伴生稀散元素进行

分析测试,如内蒙古的大部分铅锌矿,以至于许多含有昂贵稀散或稀有元素的矿产品仅仅作为普通矿产品利用。如,江西宜春414钽铌锂铷矿,钽铌回收率始终没有超过45.5%,尾矿中的品位仍然超过边界品位,锂云母进入尾矿被作为长石粉等“低端产品”使用,长石粉中 Li_2O 含量达1.3%~3.3%, Rb_2O 含量达0.5%~1.1%,远超最低工业品位;四川牦牛坪某些矿段的采选回收率仅36%,稀土氧化物在尾矿中的含量高达0.82%~1.35%;四川甲基卡锂矿采选回收率60%~65%,尾矿中 Li_2O 含量可达1.41%~0.87%,均未充分利用。因此,可借鉴管理稀土的一些办法,强化对铜铅锌矿、铝土矿、铁矿、钨矿等贱金属矿床、大宗矿产矿床中稀散元素的资源管理,对回收率不达标者采取措施或设定准入条件。对于尾矿资源的再利用也需要加强管理,从法规上加强掌控而不能当成“废弃物”,甚至变成环境污染物。

4 环境污染监测与保护

“三稀”项目启动两年来,项目组对135个稀土矿区通过遥感图像、媒体报道和部分矿区现场检查等形式,对每个矿区的生产状况、污染状况、违规开采状况进行了调研分析,统计表明80%的稀土采矿证之外存在采矿迹象,30%的矿区存在污染或被媒体报道过环境污染。

项目组也及时对环境监测和矿山污染治理提供了重要的信息。针对2012年春节期间广西柳江镉污染事件,项目组现场调查和取样分析后认为:除了Cd元素之外,Cr等其他元素也需要关注;除了柳江上游南侧的铅锌矿、锡多金属矿床可能是污染源之外,柳江北侧也需要特别关注。对于原地浸出方式开采的离子吸附型稀土矿区,也需要开展对地下水影

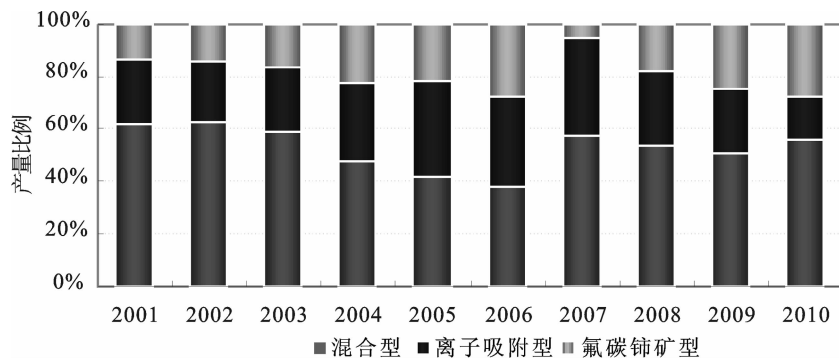


图1 10年来中国稀土矿产类型生产比重的变化情况

Fig.1 The relative production of different types of REE deposits in the past ten years

响程度的调查评价,保证老百姓用上放心水。

5 成矿规律的系统总结

本次调查研究通过编制全国和区域性三稀矿产分布图,初步总结了成矿规律,指出中国三稀资源成矿条件独特,资源丰富,家底厚实,潜力巨大,具有“稀土不土、稀散不散、稀有常有”的特点^[23]。研究发现,在内生矿床中稀土和稀有资源有一定的共(伴)生关系,可以划分为两个端元:Li (Be, Ta, Nb)和REE(Nb, Ta, Be),前者主要与钙碱性花岗岩有关,形成于褶皱造山系,属于陆内挤压环境;后者主要与碱性花岗岩(碳酸岩)有关,形成于陆内拉张环境。因此,二者在空间和时间上没有共生关系,即在不同的时空背景中要寻找不同的稀土和稀有资源。

作为中国目前特有的珍稀矿种,对于离子吸附型稀土矿的成矿规律研究,在 20 世纪 80 年代曾经达到高峰,获得过国家科技成果大奖,但随后就停滞了 20 年。随着采矿方式及集约节约利用要求的变化,对于稀土元素赋存状态、浸出条件与环境保护等方面的研究需要重新展开。本次研究发现,中国南方离子吸附

型稀土矿区不只局限于花岗岩和火山岩地区,变质岩地区和基性岩浆岩地区也可以成矿,从而极大地拓展了找矿前景。对于稀有金属,中国在新疆阿尔泰、西南三江、南岭及武夷山等重要成矿区带均具有良好的成矿条件,可以找到大型以上的矿床;而稀散元素在中国也可以形成独立的矿床乃至矿集区,如云南 Ge 富集而四川 Te 富集,在康滇地轴成矿带形成了“南锆北碲”的分布格局^[9]。这些成矿规律还需要深入研究,并运用指导找矿突破战略行动的实施。中国钨矿、金矿找矿进展很大^[78],但对其中伴生铍、碲等稀散元素的富集特征也还需要深化研究。

6 高新技术的运用

针对离子吸附型稀土资源开采活动难以监管的特点,项目组尝试把高分辨率遥感技术应用于该类型稀土矿的全方位监管,直观地揭示了越界开采的情况,从而显著降低执法成本、提高矿政管理的科技含量,也为成矿预测、矿权范围合理圈定提供了新依据。如图 2 所示的某矿区,早期矿山采矿权范围与实际开采情况基本一致,而后期的开采活动(尤其是图

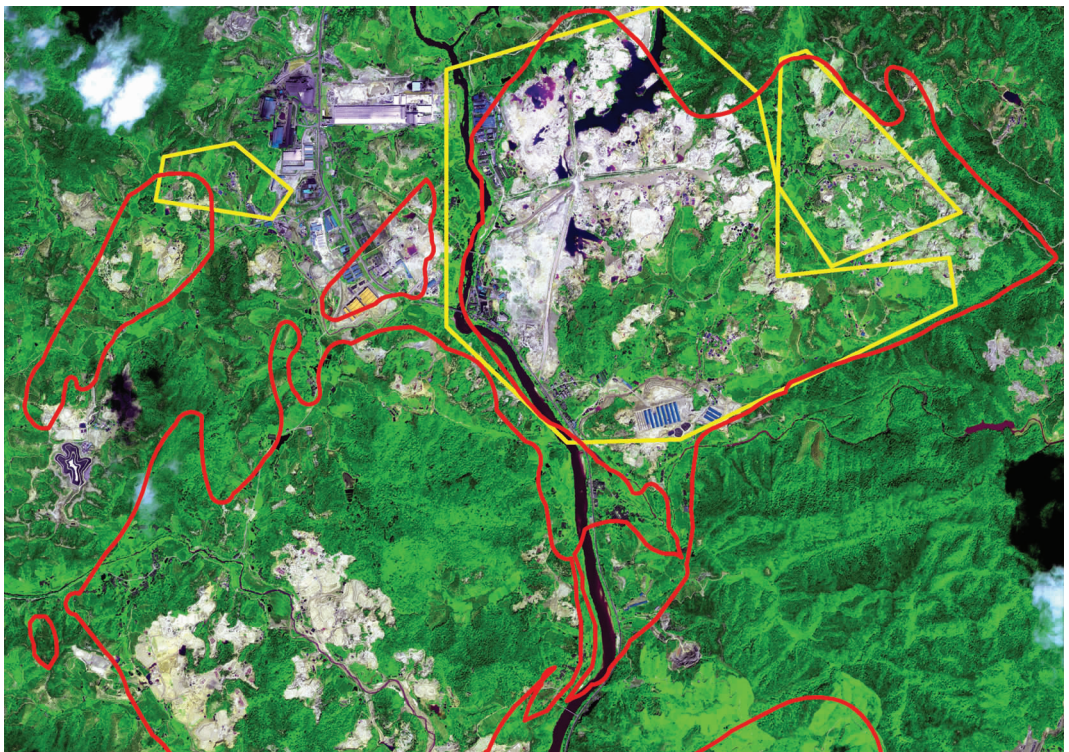


图 2 利用遥感图像分析某稀土矿的越界开采
(红线代表花岗岩体范围,绿线代表采矿证范围)

Fig.2 The beyond-boundary mining of a REE deposit analyzed by the remote sensing technology

2西南部)则存在明显越界开采的迹象。对于该图像的精细解译还可以查明图像采集时期的生产状况,即已采、停采还是将采等,还可以预警某些无证地区的盗采趋势。

另一方面,本次研究利用微量元素和同位素示踪技术,开展了样品的现场测试,并在室内初步实现了51个元素的全程精确联测,精度可达到国际先进水平,为动态监测环境污染和查明稀土产品原产地奠定了技术基础,为资源调查、环境保护和海关监管提供了新的方法。例如在稀土资源评价方面,目前ICP-MS测试技术对稀土元素的分析可以精确到 10^{-9} 量级,而野外生产还在使用试管草酸滴定等原始方法,二者极不相称。本次研究试图通过同位素示踪技术实现对稀土从“矿山采矿→车间分离→下游产品→出口贸易”的全程监控,以实现从产品追溯产地的目标,为执法监察、海关监管提供科学、精确的依据,有助于打击稀土走私活动。

7 研究成果的衍生运用

本次研究所建立的各种方法和技术除了在矿产资源调查和潜力评价、成矿预测、矿政管理和国家规划区建设等方面发挥作用之外,在环境保护、矿政管理和海关监管等方面也可以发挥作用。对部分矿种的管理方式提出新的建议。包括:稀土不应该再简单地分为轻稀土、重稀土或者干脆不分,而应该按照单元素分类,一个元素就是一个矿种。一方面,目前的分析测试技术就是一个元素一个测定的,分离也是分离到单个元素的而不是稀土混合物(初级产品),定价也完全可以按单元素计价,不同元素的差价可达十倍甚至数百倍,高端产品的应用与研发更是以单元素为基本单位,而不是“混合稀土氧化物”或者“REO”这样不伦不类的概念。与此对应,矿体也可单独圈定,资源量也应该按照单元素计算,计量单位全部改为单元素,而不应该继续采用“稀土氧化物”、“REO”、“ REE_2O_3 ”等意义不明确的老概念。

在地质找矿工作方面,提出了修改勘查规范的建议。同样以离子吸附型稀土为例,勘探手段可增加洛阳铲,勘查类型、勘查网度、勘查程度、工业指标及分析测试方法都需要相应修改。根据对赣南某稀土矿区的对比试验,采用新技术、新方法、新理念,不但可以圈定单个矿种的矿体分布情况、求出各个元素(矿种)的资源量,比以往计算(所谓的“配分”法)

结果更加精确、更加合理,而且为开采利用方案的合理择定提供了科学依据(图3)。

对某些矿产资源的开发利用方式提出了新的建议。比如,通过对贵州织金磷矿中伴生稀土元素赋存状态的深入研究和开路、闭路流程的反复试验,认为目前条件下,磷矿中伴生的稀土资源不宜单独回收(稀土元素赋存在胶磷矿中),但也不能弃置不管,而应该作为一个独立的矿种(富稀土磷矿)加以研究利用,即不应该作为一般磷肥原料,而应作为特种化肥原料(稀土磷肥),需要尽快提出开发利用的规范制度,制订相应的评价指标体系,研发出能够发挥其最大效益的矿产品种类,从而为云南、四川、贵州等其他地区同类矿产资源的合理开发利用提供范例。

对于离子吸附型稀土矿区的研究,本次研究尝试通过采集和分析河流不同类型的系列水样,监测稀土矿山的生产状况,提供资源回收程度的参数,并为发现新的稀土产地提供线索。以江西龙南为例,水系样品稀土元素的总量介于 $2.54\sim 33440.84\mu\text{g/L}$,均值为 $1536.61\mu\text{g/L}$,去除异常高值后的稀土均值仍达 $100.6\mu\text{g/L}$,远高于世界主要河流清洁水体中的稀土含量。就稀土元素总量而言,稀土矿附近水中稀土元素的总量较高, NH_4^+ 浓度也随之较高(图4)。而且, NH_4^+ 浓度与稀土元素总量显著相关,相关系数达0.839。以上调研结果反映了研究区富稀土背景的特点,也反映了稀土矿开采所带来的资源浪费和环境问题。

8 找矿突破的战略行动

通过对江西、广东、广西、福建、湖南、云南、内蒙古等地三稀矿产地生产状况的现场调研,发现106个稀土矿区约1/3的尾矿资源可再次利用,并发现了一批具有稀有稀土找矿前景的地区。如,云南某岩体出露面积达 50km^2 ,采33件样测得基岩中REO最高为0.333%、最低为0.018%;15个全风化壳样品中REO最高为0.353%、最低为0.013%,平均0.186%,已经超过风化壳型稀土氧化物(REO)最低工业品位(0.08%~0.15%)。项目组另在云南某地发现以中重稀土为主的风化壳型稀土资源,中重稀土配分比达到76%。

稀有金属方面,在四川西部、新疆阿尔泰、甘肃、湖南、内蒙古、湖北等省均发现了较好的稀有金属找矿前景。如,四川甲基卡是亚洲最大的锂辉石矿区^[9],

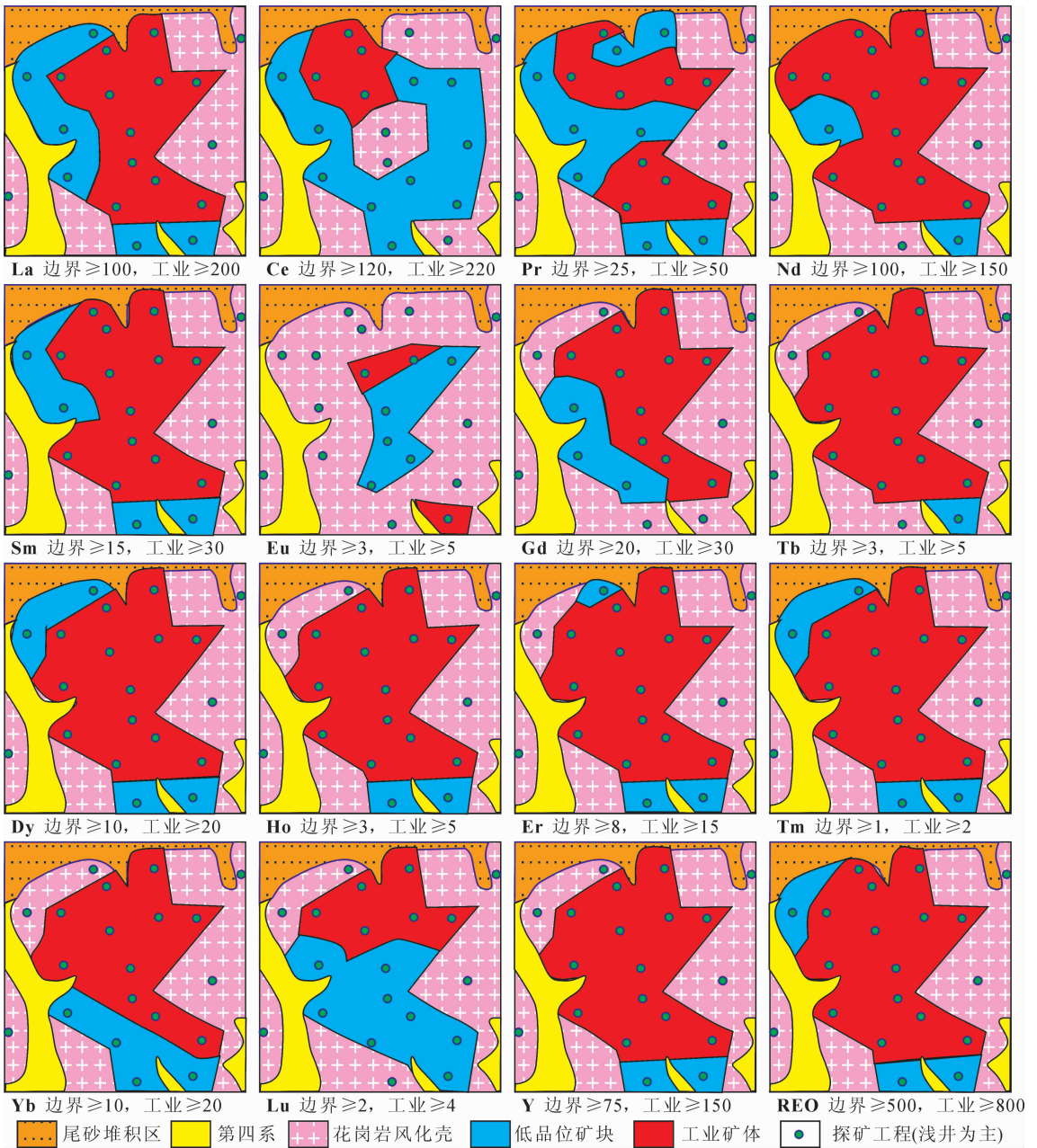


图3 赣南某稀土矿区 15 种稀土元素矿体的重新圈定(单位为 10^{-6})

Fig.3 The re-delineation of REE ore bodies in southern Jiangxi

在成矿区内已发现伟晶岩脉约 500 余条, 具矿化伟晶岩脉 114 条, 达详查-勘探程度者仅仅 19 条^[10]。目前矿区设有 2 个采矿权(开采 4 条主脉), 其中之一经延深勘探后, 保有 Li_2O 为 41.23 万 t; 另一采矿权区, 查明 Li_2O 资源储量为 25.57 万 t。众多伟晶岩还没有工程揭露和取样控制, 尚可能有隐伏矿脉存在。项目组 2012 年在矿区外围也新发现了一条较大规模的锂辉石矿脉(图 5)。因此, 甲基卡矿区应该作为

国家级整装勘查区来对待。

在新类型稀有稀散资源方面, 项目组发现山西平朔矿区、内蒙准格尔、陕西黄陵、甘肃华亭、新疆准噶尔等煤田普遍伴生有稀有稀散金属。如, 山西平朔矿区煤中伴生的锂资源量达到超大型规模, 内蒙古准格尔煤田官板乌素矿伴生锂矿达到中型规模, 陕西黄陵矿区煤中镓也超常富集。

鉴于以上认识, 本次研究认为川西甲基卡宜以

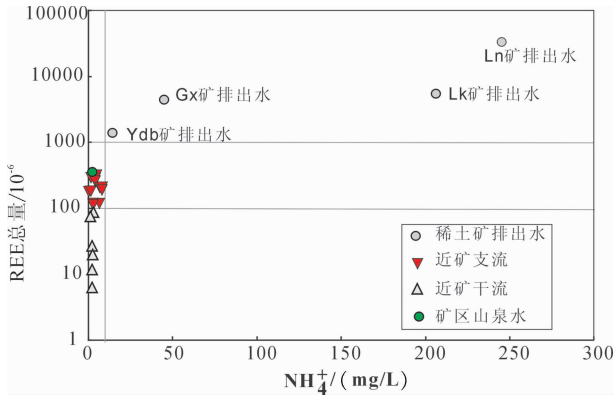


图 4 离子吸附型稀土矿区 NH₄⁺浓度与稀土元素总量关系图解

Fig.4 The relationship between NH₄⁺ content and the total amount of REE in ion-absorbing type REE deposits

稀有金属为主列入国家规划区和整装勘查区,并建议在滇西、武夷山南段、云开地区建立新的稀土国家规划区。以四川为例,在川西的义墩铅锌多金属成矿带加强稀散金属的综合利用评价工作,在川西

高原有望实现稀有金属的找矿突破,而凉山州的稀土资源在加强资源保护和提高回收率的基础上,也可取得重大的找矿进展(图 6)。牦牛坪、大陆槽等地的新生代矿床,属于与幔源碱性岩-碳酸岩岩浆活动直接相关的内生矿产^[11-13],因而找矿工作宜向深部拓展,无论是牦牛坪还是大陆槽,其深部找矿均具有很大的潜力,估计找矿深度在 1 000 m 以上。

9 结论与建议

鉴于三稀资源战略调查涉及面广,问题多,难度大,政策性强,本次战略调研宜与矿产资源规划、资源节约集约利用、整装勘查和找矿突破战略行动结合起来,如在全国设立稀有金属的整装勘查区,建立稀土规划区,建立稀散金属综合利用示范区;根据实际情况,调整部分大型超大型矿床的矿种属性(有些矿床中的伴生矿种无论是地质意义还是经济价值均超过了主矿种),以便于加强管理。

针对新兴产业的发展趋势,建议对矿种分类进



图 5 四川甲基卡重点工作区新发现的未经评价锂辉石伟晶岩脉

Fig.5 The newly discovered spodumene-bearing granitic pegmatite dikes in the key work area of the Jiajiaka deposit, Sichuan

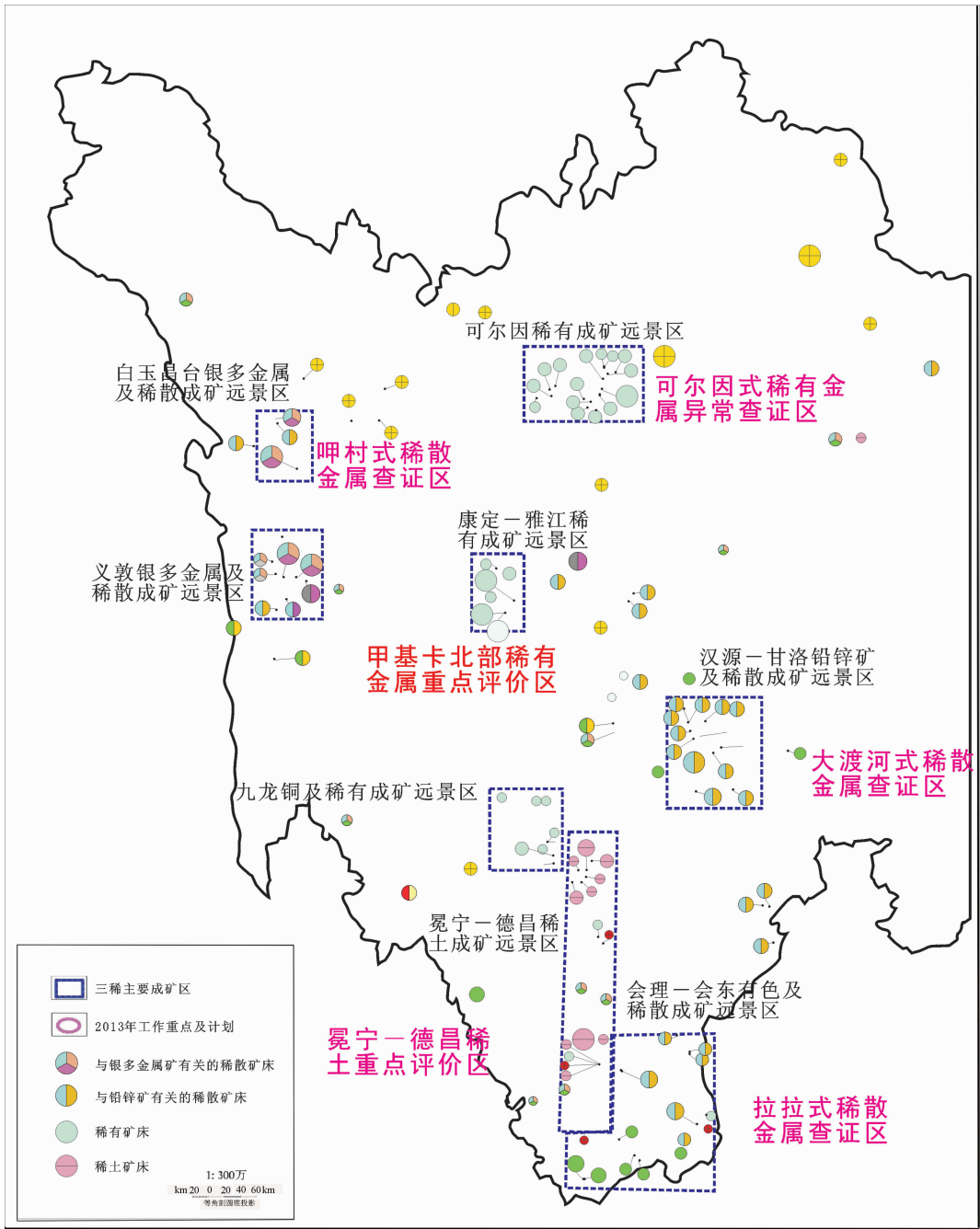


图6 四川省三稀资源调查工作部署图

Fig.6 The work arrangements for the three types of rare mineral resources in Sichuan Province

行适度调整,如稀土分17个单元元素分别管理,钨、锡和锑可纳入到稀有金属范围,含稀土的磷块岩作为独立亚矿种,石墨也应充分考虑到其“金属”属性,“富硒土壤”不仅仅是土地资源也是矿产资源,等等,从而进一步完善对资源储量的管理方式,实现既要管“量”也要管“质”,充分体现“矿产资源国家所有”。各级管理部门在发放探矿证、采矿证之前,应组织专

家论证以降低越界开采、非法开采、无序开采等风险,降低后续的执法成本。

值得指出的是,尽管“铷锂等三稀资源调查评价成效明显”被作为2012年度中国地质调查十大进展之一,但三稀矿产资源涉及面广、难度大,资源禀性各不相同,在新兴产业领域的应用前景也千差万别(如,稀土不但是“工业味精”也是“农业激素”),在找

矿、开发和管理等方面的工作部署中宜按照“稀土管得住、稀有找得到、稀散用得好”的原则区别对待,并积极主动研发三稀资源新用途,为新兴产业的健康发展提供资源保证。

致谢:感谢国土资源部开发司、中国地质调查局资源评价部以及相关矿山企业、稀土冶炼加工企业的大力支持;感谢审稿人提出建设性的意见和建议。

参考文献(References):

- [1] 国土资源部. 2011年全国矿产资源储量通报 [R]. 2012, (5):41. Ministry of Land and Natural Resources. The 2011 Bulletin of National Mineral Resources [R]. 2012, (5):41 (in Chinese).
- [2] 王登红, 王瑞江, 李建康, 等. 我国三稀矿产资源的基本特征与研究现状[J]. 矿床地质, 2012, 31(增刊):41-42. Wang Denghong, Wang Ruijiang, Li Jiankang, et al. The basic characteristics and research status of three type rare mineral resources in China [J]. Mineral Deposits, 2012, 32 (Supp.):41-42 (in Chinese).
- [3] 中国地质科学院矿产资源研究所. 我国三稀金属资源战略调查成果报告之一 [R]. 2012:181. Institute of Mineral Resources, CAGS. The First Part of the Strategic Survey Report of Three Type Rare Mineral Resources in China [R]. 2012:181(in Chinese).
- [4] 中国地质科学院矿产资源研究所. 稀土矿资源潜力评价之成矿规律研究汇总报告[R]. 2012:140. Institute of Mineral Resources, CAGS. The Rare Earth Ore Resource Potential Assessment in the Summary Report of the Metallogenic Regularity [R]. 2012:140(in Chinese).
- [5] 张宏江. 电子信息产业与稀土产业的关联 [J]. 稀土信息, 2003, (6):4-12. Zhang Hongjiang. The relationship between electronic information industry and rare earth industry[J]. REE Information, 2003, (6):4-12(in Chinese).
- [6] 王登红, 应汉龙, 梁华英, 等. 西南三江地区新生代大陆动力学过程与大规模成矿[M]. 北京:地质出版社, 2006:208. Wang Denghong, Ying Hanlong, Liang Huaying, et al. The Continental Dynamics and Massive Mineralization during the Cenozoic in the southwest Sichuan [M]. Beijing:Atomic Energy Press, 2006:208 (in Chinese).
- [7] 黄凡, 陈毓川, 王登红, 等. 中国钼矿主要矿集区及其资源潜力探讨[J]. 中国地质, 2011, 38(5):1111-1134. Huang Fan, Chen Yuchuan, Wang Denghong, et al. A discussion on the major molybdenum ore concentration areas in China and their resource potential [J]. Geology in China, 2011, 38 (5):1111-1134(in Chinese with English abstract).
- [8] 王成辉, 王登红, 黄凡, 等. 中国金矿集区及其资源潜力探讨[J]. 中国地质, 2012, 39(5):1142-1149. Wang Chenghui, Wang Denghong, Huang Fan, et al. The major gold concentration areas in China and discussion on its resource potential[J]. Geology in China, 2012, 39(5):1142-1149(in Chinese with English abstract).
- [9] 《中国矿床发现史·四川卷》编委会. 中国矿床发现史·四川卷 [M]. 北京:地质出版社, 1996:223. Editorial committee of Discovery History of Chinese Ore Deposit · Sichuan. Discovery History of Chinese Ore Deposit · Sichuan [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1996:223 (in Chinese).
- [10] 李建康, 王登红, 张德会, 等. 川西伟晶岩型矿床的形成机制及大陆动力学背景 [M]. 北京:原子能出版社, 2007:184. Li Jiankang, Wang Dehong, Zhang Dehui, et al. Mineralization Mechanism and continental Dynamics Background of Pegmatite Type Deposit, Southern Sichuan Province [M]. Beijing:Atomic Energy Press, 2007:184(in Chinese with English abstract).
- [11] Wang Denghong, Chen Yuchuan, Xu Jue, et al. Cenozoic Metallogeny in China, as a key to past mineralization and a clue to future prospecting [J]. Acta Geologica Sinica, 2000, 74(3):478-484.
- [12] Wang Denghong, Yang Jianmin, Yan Shenghao, et al. A special orogenic-type rare earth element deposit in Maoniuping, Sichuan, China: geology and geochemistry [J]. Resource Geology, 2001, 51 (3):177-188.
- [13] 王登红, 陈毓川, 徐珏, 等. 中国新生代成矿作用 [M]. 北京:地质出版社, 2005:1-853. Wang Denghong, Chen Yuchuan, Xu Jue, et al. Cenozoic Mineralization in China [M]. Beijing:Geological Publishing House, 2005:1-853 (in Chinese with English abstract).

The progress in the strategic research and survey of rare earth, rare metal and rare-scattered elements mineral resources

WANG Deng-hong¹, WANG Rui-jiang¹, LI Jian-kang¹, ZHAO Zhi¹, YU Yang¹,
DAI Jing-jing¹, CHEN Zhen-hui¹, LI De-xian¹, QU Wen-jun², DENG Mao-chun³,
FU Xiao-fang⁴, SUN Yan¹, ZHEN Guo-dong¹

(1. Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Resource Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. National Research Center for Geoanalysis, Beijing 100037, China; 3. South Jiangxi Geological Survey Party, Ganzhou 341000, Jiangxi, China; 4. Sichuan Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract: The three types of rare mineral resources include the rare earth, rare metal, and rare-scattered (dispersed) mineral resources in the project of the strategic research on three types of rare mineral resources. Since the beginning of the project, the research group has studied the distribution, geological features, exploitation, metallurgical technology, and market supply and demand of the rare mineral resources in the world. The investigation shows that the HREE resources have been consumed rapidly, the comprehensive utilization of critical dispersed metals should be improved, and the exploration for rare metal resources is urgent in China. Meanwhile, the utilization quality of the rare resources is low, the high added value products are very insufficient, and the ore dressing recovery percentage is low. Furthermore, 80% REE mines have been mined beyond the border, and 30% REE mines are accompanied by environmental pollution. In the aspect of metallogenic theory and regularity, the research shows that the ore-forming rocks of the ion-absorbing type REE deposit can extend to metamorphic rock and basic igneous rock from the conventional granitic and volcanic rock, and the distribution of endogenetic Li and REE deposits are separated in space and time. On the other hand, the project research group refreshed the analytical technique for the rare elements, and applied the high resolution remote sensing to the supervision and management of the rare resources. On the basis of research achievements, some opinions are put forward, such as the individual assessment for the 17 rare earth elements, the improvement of exploration standards, the creation of composite mineral commodity for some refractory rare resources, and the way to supervise mines and find new mines by sampling water from the river in southern Jiangxi. Also, in view of the different characteristics of the rare mineral resources, the authors suggest that the government should establish integrated exploration area for rare metal resources, planning area for the rare earth resources, and demonstration area for the comprehensive utilization of the scattered resources.

Key words: rare earth elements; rare metal elements; rare-scattered elements; strategic research; development

About the first author: WANG Deng-hong, born in 1967, senior researcher, supervisor of doctor candidates, mainly engages in research on mineral deposits; E-mail: wangdenghong@sina.com.