

四川省稀散元素矿产资源现状、资源潜力及勘查开发对策*

Current situation, potential and exploration and developing strategy of rare and dispersed elements mineral resources in Sichuan Province

侯立玮¹, 付小方¹, 王登红², 应立娟², 耿旭³

(1 四川省地质调查院, 四川 成都 610081; 2 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 3 四川省地勘局物探队, 四川 成都 610072)

HOU LiWei¹, FU XiaoFang¹, WANG DengHong², YING LiJuan² and GENG Xu³

(1 Geological Survey of Sichuan Province, Chengdu 610081, Sichuan, China; 2 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 3 Geophysical Exploration Party, Sichuan Bureau of Geology and Exploration, Chengdu 610072, Sichuan, China)

摘要 稀散元素是现代工业、国防和尖端科技领域不可缺少的支撑材料。文章对国内外及四川省稀散元素资源勘查开发利用现状、资源潜力、找矿前景与方向进行了分析, 并提出了加强此类矿产资源勘查与开发的对策。

关键词 资源状况; 潜力; 找矿方向与前景; 勘查开发对策

镓 (Ga)、锗 (Ge)、铟 (In)、镉 (Cd)、碲 (Te)、硒 (Se)、铊 (Tl)、铼 (Re) 等 8 种元素, 由于它们在地壳中丰度很低 (一般为 10^{-9} 级), 并很难形成独立矿床, 故称之为“稀有分散元素”。但随着高技术的发展, 并通过近十余年来的勘查和开发研究, 不仅新发现了一些稀散元素的独立矿床, 更重要的是使稀散元素金属及其化合物, 成为当今高科技领域, 如光电、热电、计算机、数字通讯、宇航、冶金、军事侦察、预警、致导、电子干扰与反干扰、战斗机与导弹超耐热合金, 以及农业、医药、医疗等现代工业、国防和尖端科技领域不可缺少的支撑材料, 其市场需求量与价格也随之逐年增长。

1 国内外稀散元素资源状况

据美国地质调查所及美国矿物局, 以及国内有关专家和行业公布的统计资料显示。

镓: 世界镓资源储量 >100 万吨。中国镓资源较丰富, 已发现富镓矿床百余处, 据涂光炽等人 (2003 年) 资料, 中国探明镓储量共 10 万多吨, 有 50% 以上伴生于铝土矿中, 次为铅锌矿和其他矿床中。

锗: 世界锗储量约 0.86 万吨。锗为中国优势资源之一, 其中伴生于铅锌矿中的锗, 在总储量中占 69.3%, 主要分布于云南会泽、广东凡口和湖南。部份分布于煤矿、铜矿和赤铁矿中, 在原总储量中分别占 17%、11.34% 和 2.3%。近年来在云南临沧和内蒙古乌兰图嘎相继发现了 2 个产于煤层中的超常富集的超大型锗矿床, 云南临沧锗矿, 目前已探明锗储量 1 620 t。

硒: 世界硒储量近 63 万吨。现中国尚未见有硒储量统计数据。据美国矿物局资料, 在世界硒资源储量 (约 20 万吨) 中, 亚洲占 15.4%。按此粗略估算中国硒储量约 2 万余吨。现中国生产硒企业共十余家, 年产量约几十吨, 年均进口量在 80 t 以上。

铟: 世界铟资源储量约 65 万吨。中国为铟资源大国, 在全国 16 个省区均有发现, 已探明铟储量约 2 万吨, 远景储量大于 10 万吨, 主要伴生于锡多金属矿床中。中国铟产量增长速度较快, 1990 年仅 11 t, 至 2000 年已达 115 t, 并跃居为出口大国。

碲: 世界碲资源储量约 14 万余吨。中国已发现伴生碲产地约 30 处, 已控制碲资源储量约 28 000 t。于 20 世 90 年代初,

*第一作者简介 侯立玮, 男, 1936 年生, 教授级高级工程师, 长期从事地质矿产区调、普查、勘探、科研与矿产开发。

在四川石棉大水沟发现了易采、易选、易冶的独立碲矿床,已探明储量规模中型。据行业估计,目前中国碲年产量为40~50 t。

镉:世界镉资源储量约600万吨。中国已发现镉资源产地百余处,保有储量约38万吨,主要伴生于锌、铅、铜、银等金属硫化矿床中。据国际镉协会估计,中国2003年镉产量约2500 t。

铊:世界铊资源储量约65万吨。中国铊资源除伴生于铜和铅锌矿石中外,并发现了贵州滥木厂独立大型汞铊矿床和云南南华独立中型铊矿床。目前主要仍从铜、铅、锌矿石冶炼过程的烟尘和残渣中提取,年产量估计约数吨。对独立铊矿床的冶炼工艺尚有待完善。

铍:世界铍资源储量约1万吨,主要伴生于铜矿、铜钼矿中。中国铍资源潜力较大,现尚无确切储量统计数据,目前主要生产消费国首推美国,年消耗量约50余吨。

已公布的统计结果表明,中国镓、铟、锗、铊资源量列世界首位,碲名列第三,也是锗、铟、硒的主要生产国之一。铍亦占有一定资源量,但开发利用相对较少。

2 四川省分散元素资源潜力与前景

2.1 资源潜力分析评价准则和方法:

笔者等通过对四川省有关分散元素馆藏资料的全面收集研究,并结合对具代表性的主要分散元素独立矿床、含分散元素矿床和可能含分散元素矿床共7处进行现场调研和重点补充采样测试,采用如下评价准则和方法对省内分散元素资源及潜力进行了分析评价和预测。

(1) 在经重点调查的7个矿床中,依据前人及笔者等补充调查取样分析成果,对矿山保有分散元素资源量进行概算,并采用地质类比法,推算出成矿区和省内分散元素资源总量;

(2) 借鉴美国矿物局经验,根据相关矿种或矿床类型统计分析资料,按每吨主金属含分散元素量的平均统计数据,估算全省分散元素资源总量。

2.2 分散元素资源潜力:

碲:四川除石棉大水沟独立碲矿床外,以往仅个别多金属矿及金矿有零星含量分析资料。由于世界大部部可回收碲都伴生于铜矿床中,故美国矿物局采用按每吨铜可回收0.065 kg碲计算全球碲资源量。依照此法推算,四川省保有铜金属总量为300.60万吨,经概算四川省铜矿中伴生碲的潜在资源量共约195 t。加上石棉大水沟碲矿成矿区及会理拉拉、呷村等地预测资源量,全省碲资源总量约2000 t。

镉:真正有工业意义的镉的重要来源仅限于硫化物矿床,并主要伴生于锌矿中。四川省内凡经取样的铅锌矿床(点),均含有Cd。据天宝山、大梁子、小石房、呷村、沙西等5个铅锌硫化物矿床的调查统计资料,保有锌金属资源量为371.67万吨,概算镉资源量为37.744 t,即每吨锌可回收10 kg。按此推算,四川省保有锌金属资源总量为1095.99万吨,其中镉的潜在资源量总计约10万吨。

锗:目前具商品价值的锗主要来源于富闪锌矿硫化物矿床。据对已探获有锗资源的天宝山、大梁子、小石房以及汉源唐家等4处铅锌矿统计结果,总计保有锌金属资源量248.22万吨、概算伴生锗资源量565 t,每吨锌金属可回收锗0.22 kg。据此推算,四川省锗的潜在资源量总计约2400 t。

硒:目前提炼硒门主要原料为硫化铜矿及铜铅锌矿。据拉拉、呷村、九龙李伍、会理鹿场等4处铜矿产地资料,共保有铜金属总量88.11万吨,概算伴生硒资源量1783 t,按此计算,每吨铜金属可回收硒2.0 kg,按此推算,四川省硒的潜在资源量总计约6000 t。

铟:铟主要伴生于锡多金属矿床中,部份为富铟铅锌矿(主要为闪锌矿)和富铟铜矿。四川省以往在对锡多金属矿及铅锌矿床(点)进行勘查评价时,仅曾对1处铅锌中伴生的铟作过综合评价,探获铟资源量7吨。现根据省内岔河锡多金属矿及天宝山铅锌矿床资料,采用类比法粗略估算,四川省锡金属资源总量为35.72万吨,锌金属资源总量1095.99万吨,由此估算四川省铟的潜在资源量总量约4060 t(其锡矿中为3900 t、锌矿中为160 t)。

镓:镓主要来源于铝土矿,次为闪锌矿(约占40%),余为煤灰。四川省铝土矿不具资源优势。据会理天宝山、小石房、会东大梁子、白玉呷村、巴塘沙西等5处铅锌矿床调查结果分析,共保有锌金属资源量371.67万吨,概算伴生镓资源量2828 t。按每吨锌可回收Ga 0.76 kg推算,四川省保有1095.99万吨锌金属中,镓的潜在资源量总量约8300 t。

铍:铍主要伴生于斑岩型、沉积砂岩型及火山热液型铜(钼)矿床,以及超基性岩内的钼族元素矿床中。四川省会理拉拉地区、九龙李伍地区火山沉积改造型铜矿,会理鹿厂砂岩型铜矿,以及丹巴杨柳坪铂矿、会理大岩子铂矿区等应具资源潜力,但目前仅会理拉拉铜矿有铍的综合评价资料。在保有的铜金属资源量(83.69万吨)中,概算伴生铍资源量约7吨,即

每 1 万吨铜可回收 Re 83.64 kg。经统计，四川省规模达小型及小型以上铜矿产地共 18 处，共保有铜金属资源量 179.26 万吨，按每 1 万吨铜可回收 Re 83.64 kg 概略推算，四川省铼的潜在资源量总量约近 15 t。

铈：铈主要出现于低温热液型砷、锑、汞、金和铅锌硫化物矿床中，并主要从冶炼过程中的烟尘和残渣中提取。目前仅已知有含铈铅锌矿产地 2 处（会理小石房、白玉东山脊），共探获和预测铈资源量 241 t。由于以往极少对铈进行研究与评价，现尚难对四川省铈资源总量作出预测评价。

以上所述，为四川省截至 2004 年（部份为截至 2003 年底）已基本查明的小型及小型以上的含 8 种稀散元素主要矿产预测资源总量，按 2005 年 6~11 月市场价格概略估算，其总的潜在经济价值共约 119.64 亿美元。

2.3 稀散元素矿产资源的主要找矿方向与前景

就稀散元素矿产资源而言，除在特定地质条件下可异常富集形成独立矿床外，主要伴生于有色金属硫化物矿床和贵金属矿床中。现根据成矿地质条件分析，对四川省稀散元素的资源前景与找矿方向提出如下初步看法和意见：

(1) 与铜硫化物矿床有关的硒、碲、铋（铍）资源：攀西地区“拉拉式”、“李伍式”火山沉积改造型铜矿，“鹿厂式”砂岩型铜矿，“西范坪式”斑岩型铜矿，以及甘孜州西部德格-理塘一带“甲它式”砂岩型铜矿，“昌达沟式”斑岩型铜矿，应为含 Se、Te、Re (Os) 主要矿床类型，通过对已知矿床补充综合评价和对圈定出的成矿远景区进一步普查，Se、Te、Re (Os) 资源量可望进一步增长。

(2) 与铅、锌硫化物矿床有关的镓、锗、硒、碲、铋、镉及铟资源：①义敦古岛弧带以“呷村式”火山喷流沉积型多金属矿床和“东山脊式”火山热液型铅锌矿床，会理地区“小石房式”和“梅子沟式”火山沉积-热液改造型铅锌矿床，多含有 Ga、Ge、Se、Cd、Tl、Te、Sb 等稀散元素，以往对其中可能伴生的 In 缺乏了解，今后需加强综合评价与找矿。②四川盆地西南缘的龙门山地区、大渡河流域，以及攀西地区下寒武统-上震旦统中的沉积改造型和沉积再造型铅锌矿，为四川省铅锌矿最主要矿床类型，分布点多、面广，储量规模大，并具进一步扩大远景。此类矿床中普遍含 Ga、Ge、Cd、In 等稀散元素，应是四川省进一步勘查评价和开发利用的重点。

(3) 与中酸性岩浆活动有关的锡-多金属矿床中的稀散元素资源：甘孜州德格—白玉—巴塘一带，以及会理岔河地区的接触交代型锡多金属矿床和热液型银多金属矿床，已知含 Ga、Ge、Cd，并可能富 In，今后应加强查找。

(4) 与金矿床共伴生的硒、碲资源：①在四川省阿坝州北部与甘肃接壤处的降扎—邛莫一带的寒武系砂质岩建造金矿床中，经刘家军等研究，普遍含 Se 较高（Se 含量 $n \times 10^{-5} \sim n \times 10^{-4}$ ，最高达 7700×10^{-6} ），可圈出独立硒矿床，值得进一步重点勘查。②大渡河中游金沙—石棉一带，以及鲜水河断裂带、甘孜—理塘断裂带、金沙江断裂，金矿产地较多，已发现碲-金建造类矿石，具进一步寻找碲矿的前景。

(5) 具进一步寻找稀散元素资源的成矿远景区：①四川省石棉县及其邻区，岩矿中普遍含 Te，并已在石棉大水沟地区找到两个规模达中型的独立碲矿，应为重要成矿区，应继续加强勘查与研究。②攀西裂谷带、义敦岛弧带及松潘-甘孜造山带中各主要成金带，已发现 Au-Hg-Sb (As) 低温矿床，具有进一步寻找铋矿床和含铋矿床的地球化学与地质构造条件。③云南临沧锗矿床，锗主要赋存于第三纪断陷盆地沉积褐煤中。据成矿地质条件对比分析，与四川省甘孜州白玉昌台褐煤类同，昌台褐煤规模较大，是否存在锗的特别富集，值得进一步复查。④硒除可伴、共生于铜、多金属硫化物矿床及金矿床中外，据近十余年调查研究，除已在西秦岭、湘西北地区下寒武统中发现硒-金矿床外，并在湖北省恩施市双河乡下二叠统茅口组顶部碳硅质岩段中，发现首例独立硒矿床，于四川省盆地周边地区，下寒武统和二叠系碳硅质岩建造广布，应重点查找。

3 加强稀散元素矿产资源的找矿评价与开发的对策

中国金属矿产的重大特点是“单一矿少、综合矿多”，稀散元素资源除已发现的独主矿床外，主要伴（共）生于金属硫化物矿床中。有关稀散元素矿产资源的地质勘查评价工作，主要于 20 世纪 70 年代后期至 80 年代，在对为数不多的一些大中型有色金属矿床进行详查和勘探时，作为伴生有益组份综合评价顺便开展，故总体地质工作程度和开发利用水平都很低。

以四川省为例，根据省国土资源厅统计资料，省内与稀散元素有关的铜、铅锌、锡、钼、岩金、铂等 6 种矿产，产地总数共 903 处，其中仅 15 处产地探获有 5 种伴生稀散元素资源储量，仅占以上 6 种矿产地总数的 1.21%。在四川境内 174 座铜、铅锌及岩金开矿山中，仅 2~3 家企业具回收利用能力，其余多以矿石、精矿粉出售，或任其进尾矿、废渣白白浪费，并造成了对生态环境严重污染。

为促进中国循环经济和高科技产业快速发展，实现构建节约型和谐社会的战略目标，对稀散的勘查和开发利用问题亟需重视和加强。

(1) 正确选用恰当的稀散元素测试鉴定方法

由于稀散元素在矿石中含量很低,含稀散元素独立矿物常十分细小,或呈吸附态、类质同象状态存在,对其准确分析和鉴定的难度很大,需正确选用高精度分析测试设备和方法,方能确切查明稀散元素含量、赋存状态、工艺矿物学特征,并对其开发利用价值作出评价。

(2) 鼓励与支持设立专项,加大强稀散元素的勘查和科技攻关

①需由政府或企事业单位投资设立专项,对全国已经地质勘查的、规模在小型以上的含稀散元素矿床、和可能含稀散元素矿床中伴(共)生稀散元素,开展复查与补充评价,并对稀散元素矿产资源主要成矿远景区带,有计划、有重点地开展地质找矿与评价;②由政府行业主管部门主持和组织,对各省区金属矿产开发矿山和相关选、冶厂进行全面深入调查与取样检查,确切掌握在矿石加工及冶炼过程中伴(共)有用组份回收利用情况,以及尾矿、废渣堆置情况和二次资源化前景,制订出科学的综合利用规划,并指导督促相关企业合理地充分利用稀散元素矿产资源;③依靠科学技术,建立健全产、学、研相结合的创新体制,在掌握稀散元素矿产资源勘查与利用现状基础上,有计划地组织对稀散元素矿产成矿理论、富集规律、找矿远景,找矿与评价和测试方法,以及采、选、冶新技术、新方法等方面进行重点科技攻关;④支持鼓励企业引进和推广应用国内外先进技术与设备,提高稀散元素综合回收水平和深加工水平。

(3) 进一步健全相关法律、法规,加大法律、经济、行政的监管和执法力度

综合勘查和综合开发利用是矿业发展必由之路,中国现已颁布了一系列《矿法》,亟须全面认真贯彻和进一步完善、配套。①应根据现阶段探、采、选、冶技术发展水平矿产资源特点,尽快拟订出稀散元素矿产资源工业评价指标,勘查、分析测试与选矿、冶炼的规程、规范和技术标准。②在探矿权、采矿权审批登记管理中,应将是否实行综合找矿、综合评价和综合利用,列为是否准予登记的必须条件之一。③各级政府主管部门,须按“开发、节约与环保并重”原则,对从事矿产资源开采、选矿与冶炼的厂矿企业,应进行有效监控和定期、不定期检查,对乱采滥挖、资源利用效率未能达标,或造成环境污染单位和责任人,应立即停产、限期整改,并予以处罚。

(4) 按开发矿产种类实施优化整合,不断提高综合回收利用水平

中国目前开发矿山点多、面广,但绝大多数为小规模开采,选冶条件落后,各级政府主管部门应统筹规划,以具现代化生产加工能力的大中型企业为骨干,大力倡导按片区优化整合矿业,实行“分散开采、集中选冶”,不断提高稀散元素资源的综合回收水平。

参考文献

- 白丁. 2004. 2004年美国的镓、锗、铟、铊、碲市场需求可望提升[J]. 世界有色金属, (4): 47~57.
- 东元. 2004. 全球金属镉的需求形势[J]. 世界有色金属, (4): 37~38.
- 付绍洪, 顾雪祥, 等. 2004. 扬子地块西南缘铅锌矿床 Cd、Ge、Ga 富集规律初步研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 23(2): 105~108.
- 蒋承菘. 1999. 努力实现矿产资源的有效保护和合理利用[J]. 矿产保护与利用, (2): 1~9.
- 兰兴华, 彭如清. 2002. 铼的资源、应用和市场[J]. 中国铜业, (1): 2.
- 刘家军, 冯彩霞. 2005. 硒资源研究现状[J]. 世界科技研究与开展, 23(5): 16~21.
- 刘家军, 郑明华, 等. 2005. 西秦岭寒武系层控矿床中硒的矿物学、地球化学与金-硒共生机理[J]. 矿床学理论与实践论文集. 北京: 科学出版社.
- 骆耀南, 曹志敏, 等. 1996. 大水沟独立碲矿床-世界首例碲化物脉型矿床地球化学[M]. 成都: 西南交大出版社.
- 涂光炽, 等. 2003. 稀散元素地球化学及成矿机制[M]. 北京: 地质出版.
- 王静纯, 何双梅, 等. 1997. 中国大中型铜、铅、锌、铁矿山含金性及综合利用可行性[J]. 有色金属矿产与勘探, (4).
- 杨尚磊, 陈艳, 等. 2005. 铼的性质及应用研究现状[J]. 上海金属, 27(1): 45.
- 张宝贵, 张忠, 等. 2004. 铊地球化学和铊超常富集[J]. 贵州地质, 21(4): 86~92.
- 周家炎, 陈少纯. 2002. 稀散元素产业门现状与展望[J]. 中国工程科学, 14(8): 81~96.