

# 分散元素的超常富集与共生

谷 团, 刘玉平, 李朝阳

(中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学开放研究实验室, 贵州 贵阳 550002)

**摘要:** 本文以地质事实为基础, 初步探讨了分散元素的超常富集和共生问题。在一定地质条件下, 分散元素可以发生超常富集, 乃至形成分散元素的独立矿床。低温条件有利于分散元素的超常富集和形成独立矿物; 热水沉积作用在某些分散元素的成矿过程中具有重要意义。分散元素共生, 是一种常见的现象。相似的地球化学性质和地球化学行为, 是导致分散元素共生的基本原因。另外, 区域地质背景也是一个重要因素。

**关键词:** 分散元素; 超常富集; 共生

**中图分类号:** P595 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2802(2000)01-0060-04

“分散元素”的概念最早是由维尔纳茨基于1919年引入地球化学领域中的, 并于1930年在他的元素地球化学分类中有意识地与其它各组元素(如惰性气体、贵金属等)并列起来。他的依据是: 这些元素以痕量出现, 不形成或只形成很少的矿物。分散元素的克拉克值很低, 一般为 $10^{-9} \sim 10^{-6}$ 级, 包括镉、镓、铟、铊、锗、硒、碲和铼等元素。这些元素在自然界主要呈分散状态分布于其它元素组成的矿物中, 通常被视为多金属矿床的伴生组分, 在自然界形成独立矿物的几率很低, 因而很多学者认为它们不可能成矿, “不能形成独立矿床”<sup>[1]</sup>。

随着近年来研究的深入, 尤其是“分散元素成矿机制研究”课题的开展, 越来越多的证据表明: 分散元素不仅能富集而且能超常富集, 并独立成矿, 而且, 分散元素可以通过非独立矿物形式富集成独立矿<sup>[2]</sup>。本文即是对其中的一些地质事实加以简单的总结, 并结合自己所做的一些工作, 初步探讨了促使分散元素超常富集与独立成矿的可能的作用和条件; 指出分散元素往往具有密切共生的特点。

## 1 分散元素的超常富集

近几年来, 在我国西南地区相继发现了一些分散元素的独立矿床、矿体或矿化地段, 还发现某些多金属矿床含有品位很高的分散元素(如镉和铟)。例如, 大水沟碲矿中碲的富集程度超过7个数量级; 牛角塘独立镉矿床中镉的富集倍数(矿石中镉含量与

镉的克拉克值之比)达4个数量级, 高达18 790<sup>[3]</sup>。表1列举了一些分散元素超常富集的例子。

从表1可以看出分散元素可以形成相当规模的富集, 有时甚至能形成大型、超大型矿床; 分散元素可以形成独立矿床。

促使分散元素富集成矿的因素很多, 成矿作用也很复杂, 每个元素的情形不尽相同。例如, 镉在都龙锡锌多金属矿床中和牛角塘锌矿床中均发生了超常富集, 而这两个矿床的成矿作用是明显不同的, 都龙矿床属于高温矿床, 牛角塘矿床是典型的低温矿床(包裹体均一温度为 $104 \sim 131^\circ\text{C}$ <sup>[3]</sup>); 在都龙矿床中, 镉主要赋存于黑色闪锌矿中, 而在牛角塘镉主要赋存于浅色闪锌矿中, 黑色闪锌矿很少见。分散元素成矿的复杂性可见一斑。

分散元素与其主金属元素往往既有相同的活化-迁移-成矿历程, 又有自己的独特行为。如Cd通常伴生于Zn、Sn、Pb、Cu等的硫化物中, 在成矿过程中(特别是高温阶段), 与主金属元素往往同步活动, 形成类质同象这一主要的存在形式。但在低温成矿阶段却与Zn等元素相分离, 可再次富集成矿, 如牛角塘独立镉矿表生带产出的硫镉矿、菱镉矿和方镉矿; 大厂矿床芙蓉厂低温矿区的镉黄锡矿( $\text{Cu}_2\text{CdSnS}_4$ )<sup>[13]</sup>; 金顶铅锌矿氧化带大量的次生硫镉矿( $\text{CdS}$ )和菱镉矿( $\text{CdCO}_3$ ), 也暗示了镉在低温条件下更易富集形成独立矿物的趋势。

收稿日期: 本文1999-5-4收到, 7-12改回

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49633110)

第一作者简介: 谷团(1972—), 男, 1999年在中国科学院地球化学所获硕士学位, 现在辽河石油勘探开发研究院工作(邮编: 124010)。

表1 分散元素超常富集实例

Table 1 Examples for the super-richening of the disperse elements

分散元素	含分散元素的矿床	超常富集规模(t)	分散元素存在形式
Cd	大厂锡多金属矿床	>20000/超大型	类质同象为主,可见镉黄锡矿
	兰坪金顶铅锌矿床	>15000/超大型	类质同象为主,可见硫镉矿、黄硫镉矿、菱镉矿
	都龙锡锌多金属矿床	>9000/大型	主要呈类质同象存在于铁闪锌矿中
	牛角塘独立镉矿床	>5000/大型	类质同象为主,可见硫镉矿,方镉矿,菱镉矿
In	大厂锡多金属矿床	>5000/超大型	主要呈类质同象存在于铁闪锌矿中
	都龙锡锌多金属矿床	>4000/超大型	主要呈类质同象存在于铁闪锌矿中
Tl	烂木厂汞铊矿床	独立铊矿床	
	南华砷铊矿床	独立铊矿床	发现多种铊的独立矿物 <sup>[4]</sup>
Se	拉尔玛金矿	独立硒矿体	发现多种硒矿物 <sup>[5-9]</sup>
Ge	临沧锗矿床	独立锗矿床	主要呈有机结合态和吸附态 <sup>[10]</sup>
Te	大水沟碲矿	独立碲矿床	发现多种碲矿物 <sup>[11-12]</sup>

从一些分散元素矿床(或矿体)的产出背景、矿物组合及元素的共生组合来看,它们属于低温矿床,低温条件往往有利于分散元素的聚集。如贵州滥木厂独立铊矿床,滇西临沧锗矿及鄂西南的硒异常,等等。研究表明,Tl、Se、Te、Ga和Ge是典型成矿元素,在低温条件下可以形成独立矿床或矿体<sup>[14]</sup>。铊的地球化学性质与电子构型使该元素在低温高硫还原环境中,表现出强烈的亲硫性而富集成矿,不仅与Hg、Sb、As等一道参与主金属矿床的成矿作用,而且形成铊矿物和铊矿体(矿床),表现出其独特的地球化学行为。一般地,如果矿床中含的Tl与Se可以回收,并能发现Tl与Se的独立矿物和富集体,则该矿床往往是低温矿床<sup>[15]</sup>,如万山客寨大型硒汞矿床。镉的地球化学性质也表明了其独特的地球化学行为:在高温阶段,Cd因置换Ca而分散;在低温阶段,因硫化物的出现而聚集。

热水沉积作用在某些分散元素的超常富集成矿过程中也起到了一定的作用。如镉在热水沉积过程中,能够被活化并发生一定程度的聚集。云南都龙富镉锡锌多金属矿床,其初始矿源层就是由热水沉积作用形成的原始沉积建造<sup>[16]</sup>,矿源层形成后,Cd与Zn、Sn和Cu等主金属又经历了变质改造和岩浆热液叠加而发生进一步地富集;形成临沧锗矿所需要的大量的锗是由发生热水沉积作用的热水溶液携带和搬运的<sup>[10]</sup>,可以说没有热水沉积作用,如此规模的锗矿是不可能形成的。而拉尔玛金矿中的硒矿体的形成,在其成矿的最早阶段,也是热水沉积作用造就了初始的矿源层<sup>[17,18]</sup>。广东大降坪超大型含铊黄铁矿矿床是我国8个含铊矿床类型中硫铁铊矿床的典型代表<sup>[19]</sup>,该矿床无论矿石的结构构造,还是矿石与矿物的元素组成,都具有热水沉积特点,反映

了矿床的热水沉积成因<sup>[20]</sup>,铊的富集可能也受到了热水沉积作用的影响。

虽然分散元素可以独立成矿,可以形成规模很大的超常富集,但是这类元素与常见的金属元素又有很大的不同,它们的成矿条件相对要苛刻得多。另外,分散元素赋存状态非常复杂,所形成的矿物粒度细小,甚至有一些新发现的矿物还没有定名(如发现于黔西南滥木厂富铊汞矿中的TlSnAsS<sub>3</sub>和Tl<sub>2</sub>AsS<sub>3</sub>两个未定名矿物,粒度不足10 μm)。这给分散元素的成矿机制、成矿规律和找矿方向的研究工作造成了很大困难。

## 2 分散元素的共生

初步研究表明,在很多情况下,分散元素就像稀土元素(REE)与铂族元素(PGE)一样具有一定的共生关系。或“三三俩俩”或更多个分散元素共生在一起,并一起伴生于主金属矿床中。如,在我国低温矿床的代表矿种As、Hg、Sb、Tl和Au(卡林型)等矿床的矿物中,往往含有多个共生在一起的分散元素。表2列出了分散元素共生的一些例子。从表2可以看出,分散元素伴生的主金属元素主要有Pb、Zn、Sn、Cu、Fe、Sb、Hg、Ag等具有很强的亲硫性的元素。

导致分散元素共生的因素很多,也比较复杂。例如,矿床所处的区域地质背景就是一个很重要的因素,具有高背景值的分散元素更易于共生。但最主要的原因在于这些元素具有比较相似的地球化学性质和地球化学行为。从这些分散元素在元素周期表中的位置可以看出,它们的电子构型有一定的相似性,造成这些元素的地球化学活动性也具有一定的相似性。例如,对于In来说,性质最为接近的元素有Sn、Cd、Ga、Tl以及Fe、Zn、Cu、Pb等。Se和Te则

通常被视作一个地球化学元素对,二者均处于第VIA族,行为相似,通常共生在一起。由于Se与S的结晶化学及某些地球化学性质相近(如离子半径 $S^{2-}$ 为0.184 nm,  $Se^{2-}$ 为0.191 nm,晶格能系数 $S^{2-}$ 为1.10,离子电位 $S^{2-}$ 为1.09 eV,  $Se^{2-}$ 为1.05 eV),所以Se与S的性质颇为相似,因而Se很容易进入硫化物的结晶格架内,以类质同象形式存在与硫化物中。这样,在自然界中硒的独立矿物形成较为困难。在富Se(或硫明显不足)的环境中,Se的地球化学行为,在很大程度上与S相当,在川湘黔汞-锑成矿带内的雪峰古陆西缘拗陷内产出的高品位的Hg-Cd-Se低温矿床<sup>[21]</sup>,就是富硒环境的产物。同时,Cd、Ga、Ge、In、Tl都具有较强的亲硫性。正是由于分散元素具有类似的地球化学性质和地球化学行为,才导致它们具有类似的地球化学亲合性,密切共生,并以类质同象这一主要形式共同伴生于有关的主金属矿床中。

表2 分散元素共生实例

Table 2 Examples for coexisting of the disperse elements

矿床名称	主金属元素	共生分散元素
金顶铅锌矿床	Pd, Zn	Cd, Tl
凡口铅锌矿床	Pd, Zn	Cd, Ga, In, Ge, Tl
水口山铅锌矿床	Pd, Zn	Cd, Se, Te, Tl
个旧锡多金属矿床	Sn, Zn, Cu	In, Ga, Ge, Cd
大厂锡多金属矿床	Sn, Zn, Pd, Sb	In, Cd, Ga, Ge
都龙锡多金属矿床	Sn, Zn	In, Cd
城门山铜多金属矿床	Cu, Zn	Se, Te, Tl, Ga
七宝山铁铜多金属矿床	Fe, Cu, Pb, Zn	Ga, Ge, In, Te, Cd
山门独立银矿床	Ag, Zn, Pb	Cd, Se, Te
破山独立银矿床	Ag, Zn, Pb	Cd, Se
万山汞矿	Hg	Tl, In, Se, Te, Cd
公馆汞锑矿床	Hg, Sb	Tl, In, Se, Te, Cd, Ga, Ge
箭猪坡锑多金属矿床	Sb, Sn, Zn	Cd, Tl, In, Ga, Ge, Se, Te

需要指出的是,在含多个分散元素的矿床中,这种情况是普遍的:往往是少数而不是全部的分散元素都有很高的富集程度。

从表1和表2可以看出,由于分散元素之间往往具有紧密的共生关系,某些矿床往往富集了多种分散元素,如兰坪、都龙和大厂等矿床,并且富集程度往往很高。对分散元素的这种共生和伴生的特点进行研究,既能使常见金属矿床的经济价值身价倍增,又能丰富成矿理论。因为这些矿床的研究基础

很好,如能专门以分散元素为研究对象,不仅可以加深对这些矿床的认识,而且有助于在成矿理论方面开辟新领域,也有利于对分散元素地球化学行为的认识。

### 3 小 结

本文主要列举了一些地质事实,说明分散元素超常富集与共生现象的客观存在。由于国内外对分散元素成矿方面的研究程度很低,特别是成矿机制问题几乎空白。剖析分散元素超常富集与“熟视无睹”的共生现象及其所包含的丰富的尚未被认识到的地质信息,对分散元素成矿机制的研究及成矿苛刻条件的详细刻画定会有所裨益。

**致谢:**感谢刘家军研究员和刘显凡教授为本文提出的建设性意见。

### 参考文献:

- [1] 中国大百科全书编写组. 中国大百科全书[M]. 北京:中国大百科全书出版社,1993.197.
- [2] 涂光炽. 分散元素可以形成独立矿床——一个有待开拓深化的新领域[A]. 欧阳自远. 中国矿物学岩石学地球化学研究新进展[C]. 兰州:兰州大学出版社,1994.234.
- [3] 谷 团. 牛角塘独立锡矿床初步研究[D]. 贵阳:中国科学院地球化学研究所,1999.
- [4] 张 忠,张宝贵,陈晔虞. 中国铊矿床和含铊矿床地球化学研究[M]. 地球化学进展. 贵阳:贵州科学技术出版社,1996.53-57.
- [5] 刘家军,郑明华. 首次发现锑的硒-硫化物系列[J]. 科学通报,1992,37(9):864.
- [6] 刘家军,郑明华,卢文全. 硒锑矿——不再仅是人工合成矿物[J]. 科学通报,1992,37(15):1438-1439.
- [7] 刘家军,郑明华,卢文全. 首次发现块硫锑铜矿的变种——硒硫锑铜矿[J]. 科学通报,1993,38(18):1726-1727.
- [8] 刘家军,郑明华,刘建明,等. 一种尚未定名的Ni-As-S-Se矿物相[J]. 矿物学报,1995,15(4):425-427.
- [9] 刘家军,刘建明,卢文全,等. 邛崃金矿床中的硒锑矿[J]. 矿物学报,1998,18(4):445-449.
- [10] 胡瑞忠,毕献武,叶造军,等. 临沧锑矿成因初探[J]. 矿物学报,1996,16(2):97-102.
- [11] 曹志敏,温春齐,李保华,等. 首例独立锑矿床成因探讨. 中国科学(B辑),1995,25(6):647-654.
- [12] 刘埃平. 四川石棉锑矿床地球化学特征研究[J]. 地球化学,1996,25(4):365-371.
- [13] 李锡林. 大厂矿田首次发现锑黄锡矿[J]. 矿物岩石地球化学通讯,1988,7(2):121-123.

- [14] 周永章,胡瑞忠. 低温地球化学研究与发展[J]. 地球科学进展, 1995, 10(5): 442 - 444.
- [15] ZHANG Bao-gui. Geochemistry of thallium in the gold ore belt, Guizhou province, southwestern Chian [A]. Tu Guangzhi. Low-temperature Geochemistry[M]. Beijing: Science Press, 1996. 8 - 15.
- [16] 曾志刚. 滇东南老君山锌锡钨多金属成矿体系地质地球化学解析[D]. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所, 1997.
- [17] 郑明华, 周渝峰, 刘建明, 等. 喷流型与浊流型层控金矿床[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1994, 145 - 155.
- [18] 刘家军, 郑明华, 刘建明, 等. 西秦岭寒武系金矿床中硒的富集规律及其找矿前景[J]. 地质学报, 1997, 71(3): 266 - 273.
- [19] 张忠, 张兴茂, 张宝贵. 南华砷铊矿床元素地球化学和成矿模式[J]. 地球化学, 1998, 27(3): 269 - 275.
- [20] 陈多福, 陈光谦, 潘晶铭. 广东云浮大降坪超大型黄铁矿矿床的热液沉积特征[J]. 地球化学, 1998, 27(1): 12 - 18.
- [21] 中国地质矿产信息研究院. 中国矿产[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 1993. 222 - 223.

## Super-richening and Coexistence of Disperse Elements

GU Tuan, LIU Yu - ping, LI Chao-yang

(Open Research Laboratory of Deposit Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China)

**Abstract:** Super-richening and coexistence of disperse elements have been preliminarily studied based on the geological facts in the paper. Disperse elements can be super-richening, even to form independent deposits under some certain geological setting. Low temperature is favorable for super-richening and formation of independent minerals of disperse elements. Hot-water sedimentation plays an important role in the mineralization of some disperse elements. Coexistence of disperse elements is a common phenomenon. Similar geochemical properties and behaviors are primary reason to form coexistence of some disperse elements. Besides this, regional geological setting is also an important reason.

**Key words:** disperse elements; super-richening; coexistence

### 简 讯

由中国科学院地球化学所环境地球化学国家重点实验室、加拿大国际发展署(CIDA)、加拿大魁北克大学等单位合作主办的“地质环境与社会经济发展国际学术讨论会”于10月12~15日在贵阳召开,来自美国、加拿大、印度、捷克、日本、瑞典以及香港特区和国内部分省区的近百位中青年科学家出席了会议。

这次会议以环境保护、环境规划、环境管理与经济可持续发展,解决地球科学研究如何为可持续发展服务为主要内容。各国科学家纷纷结合自己所从事的研究领域和工作进行了广泛的交流。我国科学家重点介绍了在喀斯特地区的近期研究成

果,通过水文地球化学的研究提出了乌江流域的污染现状与治理技术、地球化学环境和人类健康与疾病,我国近海域珠江口海岸线污染防治等方面已取得的成绩。经过交流,各国科学家认为通过开展地质环境研究解决社会经济发展中存在的环境问题是科学家们共同的使命,而合作、交流是当前最有效的手段和措施;中国科学院地球化学研究所和加拿大魁北克大学在加拿大国际发展署资助下进行的长期合作项目:岩溶地区高砷煤、地下水中汞、砷、铊污染研究防治所取得的成果对各国都有启示,希望今后能开展卓有成效的合作。

(王世杰 供稿)