

文章编号:0258-7106 (2001) 01-0078-08

金与铅锌矿化的时空关系及应用*

汪东波 邵世才 刘国平

(北京矿产地质研究所, 北京 100012)

徐勇

(国家有色金属工业局地质总局, 北京 100814)

提 要 近 10 年来,在秦岭铅锌矿带和青城子铅锌矿田等地相继发现了一批大、中型金矿床。铅锌矿和金矿床共同产出在同一构造背景下,金矿床通常位于铅锌矿之上,金矿的成矿时代明显晚于铅锌矿。初步的地质-地球化学研究表明:铅锌矿床形成于具高水岩比、高卤化物和高盐度特征的海底沉积喷流系统;此时,大多数的金迁移至低温热液柱中并在沉积物中初始富集。在后期(岩浆-)变质-构造作用过程中,金被转移至中高温、低水岩比和低卤化物活度的变质流体中,在有利的构造部位发生沉淀,在同一构造单元内成矿流体的成分和循环方式的差异引起金与铅锌矿床共存和分离。金与铅锌矿床的这—时空分布关系可被视为重要的勘查标志。根据金与铅锌矿化的时空关系,笔者提出应加强对我国元古宙裂谷、晚古生代拗陷内重要铅锌矿田的金、铅锌矿的勘查工作。

关键词 金矿床 铅锌矿床 时空分布 成矿流体

中图法分类号: P618.51; P618.42; P618.43

文献标识码: A

随着近年来金矿科研、勘查工作的深入,人们发现在金和铅锌矿化的时空关系方面存在如下基本事实:① 从全球范围看,金矿床同铅锌矿床的主要矿化期存在明显的差异。金矿化主要集中在晚太古宙、晚古生代和中新生代,而铅锌矿化则主要集中在中元古代和晚古生代。从成矿的大地构造背景看,金矿床的形成主要同汇聚板块的俯冲、加积及造山作用有关,形成于挤压(造山期)及挤压后期(后造山期)的应力松弛状态下;而 SEDEX 型和 VHMS 型铅锌矿床的形成则主要同非造山的拉张、伸展运动有关,因此大多数铅锌矿床均产在具张裂性质的裂谷及弧后盆地之中(李俊建等,1998;刘君,1995;汪东波等,1999; Wang et al., 1999)。② 越来越多的资料及研究证明在太古宙绿岩带块状贱金属硫化物矿床中伴生的金与贱金属的富集程度基本上是相同的。但是在太古宙绿岩带内产出的脉金矿床中却出现了明显的金同贱金属的矿化分离作用(Fyfe et al., 1984)。③ 现代洋底多金属硫化物堆积物和陆上块状贱金属硫化物矿床的含金性调查研究证实:海底沉积喷流作用不仅能形成十分重要的贱金属硫化物矿床,而且也能导致金的明显富集。在沉积喷流阶段,金与铅锌在共沉淀的同时也出现了一定的分离,通常铜铅锌位于喷流的中心部位,而金则与低

温,以闪锌矿为主,伴有硫盐、晚阶段重晶石和非晶质硅的组合有关(汪东波,1999;汪东波等,1999; Herzig et al., 1995)。④ 近 10 年来,在国内金矿勘查过程中,人们发现了众多大、中型金矿床与铅锌矿床分布在同一地质构造单元之内,在形成时代相近的地质体中相伴产出,但两者又相互分离的地质事实。例如,70~80 年代,南秦岭在 SEDEX 型铅锌矿找矿获得重大突破后,人们又在该带的上部层位中发现了众多大、中型的独立金矿床;在辽宁青城子矿田原铅锌矿床的外围上部层位中,继银矿找矿突破后,又发现了大型的金矿床。据 P. Emsbo et al. (1999) 报道,在美国内华达州中北部著名的卡林矿带内发现了一类同通常所说的卡林型金矿床在地质、地球化学、空间分布上截然不同的新类型金矿床。该类矿床为层状,与地层整合,产出于卡林型金矿床的下部,蚀变不发育,主要矿石矿物为重晶石、闪锌矿、黄铁矿、方铅矿、硫锑铅矿等,金既可以以自然金的形式产在同沉积的贱金属硫化物和重晶石中,又可以以化学富集的形式产在硫化物中。实际上该类矿床是一种与 SEDEX 型铅锌-重晶石矿床共生的金矿床。这种金矿床同铅锌矿床在空间上相伴产出,在时间上先后矿化,在赋矿层位上有一定联系的分带规律同通常意义上的分带是完全不同的。金

* 本文得到国家重点基础研究项目(G1999043213)和国家科技攻关项目(96-914-01-04)的联合资助

第一作者简介 汪东波,男,1962年生,博士,研究员,主要从事矿床地球化学研究工作。

收稿日期 2000-11-09; 改回日期 2000-12-25。李岩编辑。

同铅锌矿化的这种时空分布关系仅仅是在秦岭、青城子、阿尔泰地区的一种巧合,还是普遍存在一定的内在联系,这种联系能否被用作勘查准则,是矿产勘查专家们最感兴趣的问题。

1 金与铅锌矿化的时空关系

前已述及,近10年来在金矿勘查过程中,人们在原铅锌矿带(田)内发现了一批金矿床。这些金同铅锌在空间上(同一大地构造单元内)相伴产出,在时间上先后矿化,在赋矿层位上有一定联系(目前所发现的基本上均是上金下铅锌)的分层矿化,同通常意义上的分带截然不同。例如秦岭造山带南秦岭亚带是我国著名的铅锌多金属矿带,70~80年代在该区评价出一批铅锌矿床,其中厂坝—李家沟铅锌矿床达超大型规模,此外还发现邓家山、毕家山、洛坝(西成矿田)、铅碛山、八方山—二里河、银母寺、银洞梁(凤太矿田)、锡铜沟(镇甸矿田)、银洞子(柞山矿田)等大、中型矿床。80年代末至今,又在该带及邻区发现了八卦庙、双王、李坝、金山、三华咀、三羊坝、小东沟等一系列大、中、小型金矿床。以往总是把金矿床和铅锌矿床的成矿作用单独研究,随着工作和资料的积累,研究程度的深入,发现两种矿化具有某种内在联系。例如,在秦岭地区浸染状金矿床与热水沉积铅锌矿床之间存在三种关系:①铅锌矿床中伴(共)生有金矿体;②铅锌矿床边缘、矿化减弱、尖灭部位出现独立金矿床;③与铅锌矿床平行分布的金矿带(张复新,1996;汪东波,1998a,1998b)。在凤太矿田,铅锌矿床均产在中泥盆统古道岭组(D_2g)灰岩和硅质岩中,在铅锌矿体下部的铜矿体中伴生金,而金矿床毫无例外地产生在上泥盆统星红铺组(D_3x)海相细碎屑岩及热水沉积岩中。如双王金矿床赋存在星红铺组钠长石化角砾状板岩中;八卦庙金矿床赋存在星红铺组斑点状千枚岩中,该矿床与八方山—二里河铅锌矿床平距仅数公里,金矿床的含矿层位也仅在铅锌含矿层位之上数十米。在西成矿田,铅锌矿体均定位于中泥盆统西汉水组(D_2x)大理岩中,而铅锌矿化的上部层位安家岔组(D_{2+3a})的细碎屑岩(浊积岩)是金矿床的赋矿部位。如三华嘴金矿床,铅锌矿床位于紧闭背斜的核部,产在灰岩与薄层灰岩的界面上;金矿床产在背斜的两翼,与该部铅锌矿体的对应关系明显。

在辽东早元古代裂谷中发现的青城子铅锌矿,

继80年代末发现银矿后,又在上部层位中发现了小佟家堡子等大、中型金矿床。该区铅锌矿床赋存在元古宇浪子山组(Pt_1l)斜长角闪岩夹透闪变粒岩和大石桥组第一段(Pt_1d^1)方解石大理岩夹变粒岩中;大石桥组第三段(Pt_1d^3)之石榴石片岩、矽线石片岩夹大理岩、大理岩夹薄层片岩为金银的赋矿层位,也表现为明显的上金下铅锌的特征(表1)。经原岩恢复,同铅锌有关的下部赋矿地层主要为碳酸盐岩和含凝灰质的碎屑岩,而上部层位(金的赋矿层位)主要为不纯碳酸盐岩、含泥质成分较高的灰岩和细碎屑岩(刘君,1995)。

最近在广东发现的特大型长坑金银矿床在空间上同铅锌矿床共同分布在很小的范围内(50 km^2),金、银矿体位于下石炭统梓门桥组上部,金、银分别构成独立矿体。金矿体位于矿田的偏北西侧,有两层矿;银矿体位于金矿体的南东侧的深部,有多层矿。在矿田的南东端,分布有两处铅锌矿床,铅锌矿产于下石炭统孟公坳组和石碇子组中,其赋矿层位也表现出明显的上金(银)下铅锌的特征(表2)。翟裕生等(1997)认为长坑金银矿的特征介于沉积岩容矿的块状硫化物矿床和微细粒金矿床之间,金银和铅锌矿化均受长坑台沟内的次级拗陷和生长断裂的控制。

据P. Emsbo et al. (1999)报道,在美国内华达州北部的卡林矿带发现了与通常所说的卡林型金矿床明显不同的新类型金矿床。矿体产在层状的未蚀变泥盆系Popovich组中,卡林型金矿床覆盖在新类型金矿床之上。由于它们是层状的,且成矿时代早于未蚀变的泥盆纪赋矿围岩的压实及成岩时代,因此这些矿床被解释为沉积喷流(SEDEX)成因。赋矿围岩的突然相变表明在矿化期间碳酸盐岩陆架的沉降及同沉积断裂活动的发生。表3给出了两类矿床的矿化对比,从表3可以看出:所谓SEDEX型金矿化实际上是沉积喷流形成的铅锌-重晶石矿化中共生有金、银矿化。在SEDEX型矿床中,金的最高含量出现在Rodeo矿床的条纹状黄铁矿中,它们是矿石级的,含有 $15.5 \times 10^{-6} \sim 68.4 \times 10^{-6}$ 的金、 60×10^{-6} 的银,可达1%的锌。上述事实表明在卡林矿带金矿化与铅锌矿化也具有明显的时空与成因联系。此外,在新疆阿尔泰地区科科塔勒铅锌矿床外围的中上泥盆统中,在原铅锌矿体的外围及上部也发现了金矿床。

表1 辽宁青城子矿田主要含矿层位、岩性及相互关系^①

Table 1 Major ore-bearing horizons and lithologies and their relations to gold and lead-zinc mineralization in the Qingchengzi orefield, Liaoning Province

地 层	主要岩性	厚度 /m	典型矿床、矿化规模
盖县组 Pt _{1g}	云母片岩、砂线石云母片岩为主,夹黑云母片岩,局部夹大理岩,底部为过渡层	200~1000	白云金矿床,近大型
大石桥组 Pt _{1d}	第一段为条带状石墨方解石大理岩,有少量铅锌矿化。第二段为石榴石、砂线石云母片岩。第三段可分为5层:第一层条带状大理岩夹云母片岩、大理岩夹细粒云母片岩、夹薄层砂线石云母片岩、透闪石大理岩,为铅锌矿的主要富集层位;第二层为黑云母片岩和砂线石片岩为主夹大理岩;第三层为大理岩夹云母片岩、浅粒岩薄层。第四、五层以石榴石云母片岩、大理岩为主,上部出露硅质岩,为金银的主要赋存部位	第三段:180~1200; 第二段:10~40; 第一段:10~30	大型小佟家堡子金矿床、大型高家堡子银矿床、杨树金矿床,主要产在二段五层中。中型本山式和南山式铅锌矿床主要产在二段一层中
浪子山组 Pt _{1l}	斜长角闪岩夹大理岩、透闪变粒岩薄层	10~250	臻子沟式铅锌矿床,中型
于家堡子组 Pt _{1y}	混合质变粒岩、浅粒岩、电气石变粒岩、夹磁铁变粒岩	>400	

古元古界
辽河群

表2 广东长坑金银矿田主要含矿层位、岩性及相互关系(翟裕生等, 1997)

Table 2 Characteristics of major ore-bearing horizons and related mineralizations in the Changkeng gold-silver orefield, Guangdong Province

地质时代	地层单位	主要岩性	厚度 /m	矿 化
三叠纪 晚三叠世	小坪组	碳质页岩、砂岩、粉砂岩、含砾砂岩夹薄煤层,与下石炭统断层接触	>600	
石炭纪 早石炭世	梓门桥组	下部为含碳泥质灰岩,向上为含碳生物碎屑灰岩、角砾状灰岩及灰岩,夹硅化灰岩及泥岩,再向上为碳质硅质岩,顶部有碳质砂岩、粉砂岩和泥岩	60~100	上部为金银矿化层位
	测水组	细砂岩、粉砂岩、泥岩、薄层泥质灰岩、含碳质页岩	20~40	
	石磴子组	含碳质生物碎屑灰岩、局部夹泥质灰岩和含白云质灰岩、砂泥岩	120~140	铅锌矿化层位
	孟公坳组	下部为细砂岩、粉砂岩、页岩,向上为泥质灰岩、灰岩	140~280	铅锌矿化层位
泥盆纪 晚泥盆世	帽子峰组	粉砂岩、粉砂质页岩夹砂岩	35~75	

表3 卡林北矿带卡林型和 SEDEX 型金矿化的对比(据 Emsbo et al., 1999 简化)

Table 3 Comparison between Carlin-type gold mineralization and SEDEX-type gold mineralization in northern Carlin Trend (simplified from Emsbo et al., 1999)

矿化类型	矿物组合	蚀 变	地球化学(120件卡林型和30件SEDEX型样品)		金的赋存状态
			元素组合*	黄铁矿化学成分	
卡林型	富As黄铁矿、雄黄、雌黄、毒砂	脱钙、泥化、硫化物化、硅化	As (1.2%) > Sb (630) > Au (310) > Ag (50) (无贱金属), Au:Ag = 5:300	含 As 10%, 高达 3700 × 10 ⁻⁶ 的金, 低贱金属	亚微粒包体产在富砷黄铁矿中或黄铁矿晶格中
SEDEX型	重晶石、闪锌矿、黄铁矿、方铅矿、硫锑铅矿、黝铜矿、黄铜矿	层状矿体无蚀变,不整合处发育白云石化、硅化	Ba (41%) > Zn (21%) > Pb (1.0%) > Cd (0.23%) > Cu (0.2%) > Sb (1300) > As (800) > Hg (800) > Ag (150) > Au (68), Au:Ag = 0.003:2	含 As < 1%, 1000 × 10 ⁻⁶ 的 Au, Ni, Mn 和贱金属含量高	自然金产在重晶石、贱金属硫化物和泥岩中

* 括号内为元素含量最高值,除已标出的外,其余单位均为 10⁻⁶. Au:Ag 为平均值比。

① 周广学, 胡铁军. 青城子铅锌-金矿床地质特征. 1999. (内部资料).

从上述地区金矿床与铅锌矿床的产出特点看, 两类矿床的分布地区是一致的, 赋矿围岩形成时的构造-沉积环境在没有发生明显变化(沉积间断)的情况下略有差异。上述铅锌矿床的成因类型为沉积喷流型, 其成矿时代与围岩的成岩年代接近, 矿床形成时所处的构造背景为裂谷和沉积凹陷带。金矿床的形成时代则明显滞后, 笔者最新的同位素年代学(Ar-Ar法)研究表明南秦岭地区金矿床的成矿时代为130~190 Ma, 金矿床形成时所处的构造背景为造山带, 成矿作用比区域性花岗岩浆的大规模侵入作用稍晚。在青城子矿田, 小佟家堡子金矿床的成矿时代为167 Ma(Ar-Ar法), 金矿的形成同燕山期的构造-岩浆事件有关(刘国平, 1998)。在空间关系上, 秦岭地区的金矿床与铅锌矿床以上下产出为主; 而辽宁青城子矿田、广东长坑矿田除表现为上下关系外, 从金矿床→银矿床→金矿床还显示出侧向渐变的关系。

2 讨论

张复新(1996)指出在热水沉积铅锌矿床的成矿演化过程中, 迁移金的配体组分及配合物的形式是导致金与铅锌共生、伴生、分带(分层)产出的主要因素。

S. A. Wood (1989)为探讨引起太古宙绿岩带中的贱金属矿化同金矿化分离的机理, 设计了用于测定200~350℃条件下NaCl-CO₂水溶液中黄铁矿+磁黄铁矿+磁铁矿+闪锌矿+方铅矿+金+辉银矿+辉铋矿+辉钼矿的同步溶解度实验。实验结果表明, 盐度上的差异是引起太古宙矿床中金和贱金属分离的主要因素。低盐度的溶液 [$c(\text{NaCl})$ 接近0.5 mol/L或更低]才能几乎完全萃取源岩中的金, 然后足以饱和并允许在沉淀场所进行有效的沉淀, 而且正是在 $c(\text{NaCl})$ 接近0.5 mol/L的NaCl溶液中获得了最低的贱金属对金的比值。在200~300℃和pH为4~6时, 仅仅是 $c(\text{NaCl})$ 高于1.0 mol/L的溶液能够转移足够的贱金属而形成具有经济意义的块状硫化物矿床。这表明要么是具有高盐度, 要么是低pH值的那些形成块状硫化物的溶液才可能是迁移贱金属所必要的。

R. P. Ilchik和M. D. Barton (1997)为验证其所提出的卡林型金矿床的非岩浆模式, 设计了分两步进行的实验用以揭示流体-岩石的相互作用及质

量的搬运。实验表明: 有利于搬运金的是来自含硫化物、氯含量低、中等氧化状态(低于磁黄铁矿、黄铁矿、磁铁矿组合)的弱酸性流体(即与长石砂岩达到平衡), 这种流体并不适宜于贱金属的迁移, 从而阐明了卡林型金矿中缺乏贱金属的原因。

P. Emsbo et al. (1999)在研究卡林北矿带卡林型金矿床与SEDEX型金-贱金属矿床的成因联系时指出: 泥盆纪含金的SEDEX型矿床是预富集了金的卡林型金矿床的矿源。前者含碳、富集重晶石, 在随后的热事件期间, 通过硫酸盐的热化学反应、含硫有机化合物的分解和黄铁矿的溶解能产生出H₂S, 产生的H₂S能够从这些富集了金的岩石中将金转移出来, 并进一步富集形成卡林型金矿床; 这种可能性与硫同位素的研究结论是一致的。

P. M. Herzig和M. D. Hannington (1995)对现代洋底多金属块状硫化物矿床中金及其他元素的含量及分布进行了系统的概括和总结(表4)。大洋中脊矿床中含金从 $<0.2 \times 10^{-6}$ 到 2.6×10^{-6} , 平均 1.2×10^{-6} , 此处热液流体同富含有机质的沉淀物反应引起的强烈还原环境限制了热液中能被转移的金。与大陆地壳(或弧后地壳)中不成熟的海底裂谷有关的硫化物的金显得最为丰富, 这种构造背景是

表4 洋中脊和弧后扩张中心多金属硫化物的化学成分($w_B/\%$)(汪东波, 1999)

Table 4 Chemical composition ($w_B/\%$) of seafloor polymetallic sulfides from mid-ocean ridges and back-arc spreading centers

	洋中脊		弧后(扩张)脊	
	火山岩中 ¹	沉积岩中 ²	洋内 ³	陆内 ⁴
样品数	890	57	317	28
Fe	23.6	24.0	13.3	7.0
Zn	11.7	4.7	15.1	18.4
Cu	4.3	1.3	5.1	2.0
Pb	0.2	1.1	1.2	11.5
As	0.03	0.30	0.10	1.50
Sb	0.01	0.06	0.01	0.30
Ba	1.7	7.0	13.0	7.2
Ag(10^{-6})	143	142	195	2766
Au(10^{-6})	1.2	0.8	2.9	3.8

1. Explorer洋脊, Endeavour洋脊; 主喷口和高海隆地区; 轴部海山; ASHES和CASAM; Cleft块段: N和S地区; 东太平洋隆起, Galapagos裂谷; TAG; 活动海丘, Mir和Alvin带, Snake洼地, 大西洋中脊24.5°N。2. Escanaba海沟, Guaymas海盆。3. Mariana海沟, Manus海盆, 北富士海盆, Lau海盆; Kings三联点, White Church, Vai Lili, Hine Hina地区。4. 冲绳(Okinawa)海沟。

以钙碱性火山岩(包括安山岩、英安岩和流纹岩)居主导地位的。Lau 弧后盆地中的 Valu Fa Ridge 的多金属硫化物的含金量可达 29×10^{-6} , 平均 3.3×10^{-6} ($n=75$)。在冲绳海沟, 富金的硫化物矿床(金可高达 24×10^{-6} , 平均 3.8×10^{-6} , $n=28$) 出现在裂开的大陆壳中, 且有些类似于黑矿型块状硫化物。对来自中 Manus 海盆的硫化物的初步分析表明其平均含金 30×10^{-6} ($n=10$), 最高可达 50×10^{-6} 以上; 东 Manus 海盆中一个烟囱的平均含金量是 15×10^{-6} (最大值 54.9×10^{-6} , $n=26$)。在西 Woodlark 海盆中的重晶石烟囱中也发现了高达 21×10^{-6} 的金, 这里的洋底扩张进入巴布亚新几内亚大陆地壳中。同 MORB 型火山岩有关的成熟弧后扩张中心的硫化物矿床仅有 $0.1 \times 10^{-6} \sim 4.3 \times 10^{-6}$ 的金, 同大洋中脊硫化物矿床类似。S. Dawson (1994) 指出: “黑烟囱”中随机取样, 含 Au $0.11 \times 10^{-6} \sim 4.9 \times 10^{-6}$, 并有重要的 Cu、Zn、Ag(Pb) 矿化。以火山岩为主、缺少沉积物的由 Fe-Cu 硫化物构成的高温 (350°C) 黑烟囱通常含金 $\leq 0.2 \times 10^{-6}$, 在黑烟囱中, 大多数金被转移到扩散的热液柱 (hydrothermal plume) 中, 热液堆积物内部和网脉带中的块状硫化物金含量显示出同高温烟囱组合的相似性。金的最高含量 (可达 6.7×10^{-6}) 通常出现在低温 ($< 300^\circ\text{C}$), 闪锌矿为主, 伴生有硫盐、晚阶段重晶石和非晶质硅的组合中。陆上块状硫化物矿床通常平均含金为 1.2×10^{-6} , 规模在 $5 \sim 10$ Mt 间, 大于 10×10^{-6} 的特别高的金含量通常出现在同长英质火山岩有关的块状硫化物矿床中, 大多数情况下这些金矿床形成于弧后环境或岛弧环境下, 此点同现代洋底富金的块状硫化物矿床十分近似 (汪东波, 1999; 汪东波等, 1999)。综上所述可以看出, 在岛弧和弧后环境下沉积喷流作用在形成铅锌等贱金属富集的同时, 除因共沉淀作用导致金在块状硫化物中的富集外, 在喷流中心的外部、上部沉积物中还造成了金的局部初始富集; 这可能是引起金矿床与铅锌矿床特殊的时空分布关系的根本原因。

沉积喷流作用引起金的初始富集以及金矿床同海底沉积喷流作用的密切关系已有广泛的报道 (福斯特, 1991)。在津巴布韦绿岩带, U. Lotz 和 H. Puchelt (1994) 在 Royal Family Mine 识别出两种产在变质碳酸盐岩沉积物中的低品位且同喷流有关的“矿胚”(protore), 矿胚呈透镜状产在韧性剪切带中。这两种矿胚是: ① 产在碳质千枚岩和页岩中的贱金

属为主的浸染状硫化物矿体; ② 轻度含碳的以毒砂为主的富金硫化物条带状含铁建造 (BIF)。岩石学、矿物学和稳定同位素地球化学研究表明这两种矿胚是由海底热液喷流作用形成的, 第一种矿胚的形成同高盐度的富 Cl^- 的流体对流循环有关, 第二种矿胚的形成同低盐度富含 S、As、Sb 的流体有关。G. 普伊特 (1995) 在讨论加拿大阿比提比绿岩带中金矿的成因时指出: 喷气成因含铁建造 (金有时可达到开采程度) 以及介于硫化物型和浅成热液型矿床之间的萨尔拜矿床, 其金的淀积发生在早期, 这可以通过沉积物中存在含黄铁矿和金的矿化砾岩得以证实, 而这类沉积物即相当于火山岩的侧向过渡产物。B. Fehlberg 和 C. W. Giles (1984) 将西澳 Spargoville 金矿床归入与火山喷流作用有关的金矿床, 该矿床的矿体赋存在水下酸性火山-碎屑沉积岩中, 矿体为层状和透镜状, 细粒自然金产在同富黑云母变杂砂岩整合的含毒砂的阳起石-石英-碳酸盐岩条带中。矿体具有强烈的下盘蚀变和硫化物分带, 从矿体中心向外蚀变为毒砂带 \rightarrow 黄铁矿带, 在毒砂带和黄铁矿带间矿物学、蚀变作用均为突变, 界线清晰。同硅化、绢云母化一起的黄铁矿化带, 作为蚀变晕, 是在下部补给系统热液的流动过程中发展演化的。通常把毒砂带和与其有关的金矿化看作沉积在海底喷气点边部或之上的喷气岩, 但它们同通常所说的喷气岩、燧石、条带状含铁建造及某些碳酸盐岩不同, 因为它是由混合的碎屑硬砂岩组成的, 是化学沉积组分同可变比例的浊积硬砂岩碎屑成分的混合产生的稀释的碳酸盐岩-硫化物喷气物。在国内, 喷流型金矿床的典型矿例尚未发现, 但喷流作用同金矿化具有密切的时空关系已被鉴别确认。如产在秦岭造山带内的庞家河、双王金矿床与热水沉积成因的钠长角砾岩关系密切, 即说明此类矿床同沉积喷流作用具有明显的内在联系 (汪东波, 1999; 汪东波等, 1999)。

尽管引起金矿化与铅锌矿化密切的时空关系的机理目前尚不清楚, 但从地质、物理化学、地球化学的合理性及上述实验结果可以推断出造成金矿床与铅锌矿床空间上既相伴产出、又上下分层的原因可能同形成金矿床和铅锌矿床的流体组分、元素的迁移形式及矿床的定位时间有关。铅锌矿床的形成主要同海底沉积喷流作用有关, 与铅锌成矿有关的流体的喷流作用发生在同生断裂形成的早期, 成矿时代同沉积时代相同; 此时, 铅锌在高盐度、高水岩比

条件下,以卤化物为配体形成铅锌络合物迁移,在适宜的空间与海水、喷流物、沉淀物中的含硫物质发生反应,导致铅锌的沉淀;而金矿床的最终定位时间则明显滞后,属后生成因,在沉积喷流作用形成铅锌矿床的同时,由于受流体的组分、盐度、循环方式的限制,金只有少量同铜、铅、锌共沉淀,大多数则转移到后期低温的热液柱中,并在沉积物中发生初始富集;在铅锌矿床形成后,由于流体中铅锌的活度降低,其中的硫可同金形成络合物,导致金的迁移,或在对应的沉积物中发生富集;在后期构造-变质-岩浆作用的影响下,金以硫的络合物形式从上述沉积物、基底物质中被转移出来,进入低盐度、低水岩比的成矿体系中,在适宜的构造-物理化学条件下沉淀,由此形成上述金同铅锌“同位”、不同期、分层产出的现象(汪东波,1998a;汪东波,1998b;汪东波,1999;汪东波等,1999;Herzig et al., 1995; Wang D B et al., 2000)。

3 应用

从秦岭、卡林北矿带、长坑、青城子等矿田金矿床与铅锌矿床的时空分布规律可以看出,金矿化与铅锌矿化间存在着明显的内在联系,这种联系是由统一的盆地热水沉积活动引起的,金矿床的出现还同碰撞造山后期的岩浆侵入热事件密不可分。如果这种时空分布关系在特定的地质背景条件下具有普遍性,则在今后找矿过程中,两类矿床的出现可以互为标志,并可能带动众多贱金属矿区的金矿勘查。根据上述金与铅锌矿化的时空关系,结合现有的找矿线索,笔者提出应加强我国元古宙裂谷、晚古生代拗陷内重要铅锌矿田的金矿、铅锌矿的勘查工作,促进金矿勘查的突破。

加强对比研究,坚定在辽吉东部元古宙裂谷内寻找大型-特大型金矿的信心。继在辽宁青城子铅锌矿外围找到大型小佟家堡子金矿后,在青城子铅锌矿的外围大石桥组三段五层中又发现了一批重要的矿点和化探异常,说明在该层位分布区仍有巨大的找矿潜力。此外,在大石桥组上部的盖县组片岩中,除已发现的猫岭大型金矿外,近年的地球化学普查工作还发现了一批规模大、组合好、强度高的化探异常,并在小佟家堡子外围发现了良好的矿化线索。

在吉林南部地区,中元古界集安群、老岭群中分布有集安正岔、金厂沟西岔、通化金厂刀条背等铅锌矿床(芮宗瑶等,1994),近十几年来,在铅锌矿外围的上部层位中,又相继发现了错草、南岔、金厂沟、复兴屯和荒山沟等金矿床,金与铅锌矿床的时空分布关系同辽东青城子地区极其相似,考虑到两者处在相同的地质背景条件下,经历了相似的地质发展演化史,因此,吉南元古宙分布区的金矿找矿前景良好。

燕辽沉降带等元古宙拗陷带的金矿找矿潜力不容忽视。在长城系高于庄组中产出重要的高板河式铅锌矿、八家子改造型铅锌矿,上述矿床分布在高于庄组黑色页岩向白云岩的过渡部位及白云岩中,八家子铅锌矿的岩浆改造作用明显(芮宗瑶等,1994)。直至90年代初期,在冀东青龙、迁安、宽城和北京密云地区相继发现了一批产在中元古界碳酸盐岩中的浸染型金矿——“长城式金矿”后,金矿的找矿工作才引起重视。这些金矿床的容矿围岩为长城系高于庄组三段、四段,蓟县系杨庄组和雾迷山组;赋矿围岩为白云岩和白云质灰岩(李俊建等,1998)。此外在长城系底部的常州沟组还发现了“洞子沟式铅锌银矿”,在其上部的大红峪组和团山子组中又发现了后龙沟金矿等矿化线索^①。在燕辽沉降带内金、铅锌矿化的类型、时空分布及对应关系同秦岭、青城子地区十分相似,而金矿的找矿工作又处于起步阶段,因此金矿找矿潜力巨大。基于同样的考虑和有关信息,应加强对辽西、内蒙古西部元古宙分布区金矿的勘查工作。

对我国晚古生代拗陷带内的金矿找矿工作仍需加强,铅锌矿的找矿值得重视。20年的勘查实践证明秦岭泥盆纪铅锌金矿带的找矿潜力依然巨大,突出体现在该区成矿地质背景条件有利,后期地质演化历史复杂,已知铅锌矿带的外围及深部的铅锌找矿工作在近10年内投入较少,在西成、凤太矿田的隐伏铅锌矿的找矿尚需从理论、勘查方法上进一步探索,矿田内大量的次生晕金异常尚未查证。根据金与铅锌矿化的特殊时空分布规律,受美国卡林矿带内发现沉积喷流型铅锌金矿的启发,笔者认为在我国南方晚古生代拗陷内除继续关注金矿的找矿外,还应加强铅锌矿的勘查工作。如在广东粤中拗陷内的三州晚古生代断陷盆地中已发现著名的与沉积喷流有关的长坑-富湾超大型金银矿,区内发育一

① 中国有色金属工业华北地质勘查局找矿设计, 1999。

套有利于 SEDEX 型铅锌矿形成的沉积建造;在华南海西拗陷及邻区(永安—梅州拗陷)发育与沉积喷流有关的贱金属矿床(玉水铜矿等);在高明、高州均已发现重要的铅锌找矿线索^①。笔者主要论述了沉积喷流型铅锌矿床与金矿床的时空分布规律及成因联系,事实上与岩浆期后热液有关的铅锌矿床与金矿床的时空及成因关系也很密切,例如,在江西银山铅锌矿床的深部已发现具有重要经济价值的金铜矿体,在湖南水口山—康家湾铅锌矿田也发现了规模达中等的独立金矿床。随着科研工作的深入,通过典型矿田的解剖,查明控制两类矿床的时空分布的主要条件及机理,必将极大地推进铅锌、金矿田的找矿工作。

参考文献

- Dawson S 1994. 黑烟囪大有潜力[J]. 地质科技动态, (8~9): 8~9.
- 福斯特 R P 1991. 金矿预测的新进展[J]. 国外地质科技, (2): 33~37.
- 李俊建, 沈宝丰, 翟安民, 等. 1998. 冀东地区以中元古代碳酸盐岩为容矿岩的浸染型金矿床模式[J]. 矿床地质, 17(增刊): 331~334.
- 刘国平. 1998. 青城子主要金矿床地质地球化学研究[博士论文][D]. 北京: 北京大学地质系.
- 刘君. 1995. 青城子矿田构造应变和变形结构及控矿作用[A]. 走向地学新世纪——首届有色系统青年地质工作者学术讨论会论文集[C]. 北京: 冶金工业出版社, 263~267.
- 普伊特 G. 1995. 加拿大阿比提比绿岩带地质和成矿研究的一些近况[J]. 地质科技动态, (2): 1~2.
- 芮宗瑶, 施林道, 方如恒, 等. 1994. 华北陆块南缘及邻区有色金属矿床地质[M]. 北京: 地质出版社, 54~168.
- 汪东波. 1998a. 金与铅锌矿化的关系[J]. 矿床地质, 17(增刊): 345~348.
- 汪东波. 1998b. 金同铅锌矿化的分离及共生[J]. 地质找矿论丛, 13(4): 53~60.
- 汪东波. 1999. 沉积喷流作用与金矿化的关系[J]. 地质与勘探, 35(1): 1~5.
- 汪东波, 邵世才, 徐勇. 1999. 金矿化过程中两个地球化学问题探讨[J]. 地球科学, 24(3): 292~297.
- Wood S A. 1989. 多相矿石矿物溶解度实验在太古宙绿岩带贱金属矿化同金矿化分离研究中的应用[J]. 地质科学译丛, (2): 1~5.
- 翟裕生, 张湖, 宋鸿林, 等. 1997. 大型构造与超大型矿床[M]. 北京: 地质出版社, 14~44.
- 张复新. 1996. 秦岭浸染状金矿床与热水沉积铅锌矿床地质地球化学共生富集关系[J]. 西北地质, 17(2): 13~17.
- Emsbo P, Hutchinson R W, Hofstra A H, et al. 1999. Syngenetic Au on the Carlin trend: Implications for Carlin-type deposits[J]. *Geology*, 27(1): 59~62.
- Fehlberg B, Giles C W. 1984. Archaean volcanic exhalative gold mineralization at Spargoville, Western Australia[A]. In: Foster R P ed. *Gold'82, the geology, geochemistry and genesis of gold deposits* [M]. Rotterdam: Balkema. 285~303.
- Fyfe W S, Kerrich R. 1984. Gold: natural concentration processes[A]. In: Foster R P ed. *Gold'82, the geology, geochemistry and genesis of gold deposits*[M]. Rotterdam: Balkema. 99~128.
- Herzig P M, Hannington M D. 1995. Polymetallic massive sulfide at the modern seafloor: a review [J]. *Ore Geol. Rev.*, 10(1): 95~115.
- Ilchik R P, Barton M D. 1997. An amagmatic origin of Carlin-type gold deposits [J]. *Econ. Geol.*, 92(3): 269~288.
- Lotz U, Puchelt H. 1994. Gold mineralization in carbonaceous metasediments of Zimbabwean greenstone belts (part A): Royal Family Mine, Filabusi district—evidence for metamorphic mobilization of gold from sedimentary protore [M]. Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Geologische Landesämter in der Bundesrepublik Deutschland. 447~512.
- Wang Dongbo, Shao Shicai, Xu Yong. 2000. Spatial and temporal distribution of Au and Pb-Zn mineralization: phenomenon, mechanism and implication [J]. *Acta Geologica Sinica*, 74(3): 504~510.

① 1999年地质调查项目进展和成果 中国地质调查局, 2000.

The Space-Time Relationship of Gold to Lead-Zinc Mineralization and Its Application

Wang Dongbo¹, Shao Shicai¹, Liu Guoping¹ and Xu Yong²

(1 Beijing Institute of Geology for Mineral Resources, Beijing 100012; 2 State Administration of Nonferrous Metals Industry, Beijing 100814)

Key words: gold deposit, lead-zinc deposit, time-space distribution, ore-forming fluid

Abstract

In 1990s, some medium-large-size gold deposits were successively discovered in such lead-zinc metallogenic belts of China as the Qinling lead-zinc metallogenic belt in Shaanxi Province and Gansu Province, and the Qingchengzi lead-zinc orefield in Liaoning province. Gold deposits and lead-zinc deposits spatially coexist in the same tectonic unit, whereas lead-zinc orebodies commonly occur beneath gold orebodies, with gold mineralization being obviously younger than lead-zinc mineralization.

According to the preliminary geological-geochemical study, lead-zinc precipitated from the marine sedimentary-exhalative system characterized by high water/rock ratio, high salinity and abundant chlorides; at the same time, most of gold was transported into epithermal plume and primarily accumulated in sediments. At late (magmatism) metamorphism-tectonism stage, gold migrated into the medium-high temperature metamorphic fluids characterized by low water/rock ratio and low activity of chlorides, and precipitated at the favorable structural site. In the same tectonic unit, therefore, the coexistence of gold and lead-zinc deposits and the separation of gold from lead-zinc resulted from the differences in chemical constituents and circulation forms of ore-forming fluids. Such a space-time relationship between gold and lead-zinc can be used as a criterion in mineral exploration. According to the space-time relationship of gold to lead-zinc mineralization, greater importance should be attached to the prospecting for gold and lead-zinc deposits in Proterozoic rifts and Paleozoic depressed basins of China.

(上接第 69 页)(Continued from p. 69)

isotope variation during hydrothermal mineralizations. These models involve judgement of isotope equilibrium between hydrothermal minerals, reservoir effect of hydrothermal degassing and mineral precipitation on isotopic composition, two-member mixing relevant to ore genesis which includes mixing of two different sorts of fluids, mineral precipitation due to fluid mixing or fluid-rock interaction, and secondary alteration of hydrothermal calcite. The models place quantitative constraints on isotope geothermometry, tracing of fluid origin, and mechanism of hydrothermal mineralization.