

· 问题讨论 ·

文章编号: 1671-1947(2004)04-0246-05

中图分类号: P618.51; P611

文献标识码: A

对金矿成矿作用的重新认识

邵 军¹, 惠德峰², 孔祥民¹, 周乃武³

(1. 沈阳地质矿产研究所, 辽宁 沈阳 110033; 2. 陕西省太白金矿, 陕西 太白 721600;

3. 东北大学 资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110004)

摘 要: 含金建造是富含 C、S、Fe 的沉积岩系或火山沉积岩系, 根据形成环境和演化特点, 将含金建造划分 5 种类型。认为金元素地球化学二重性决定其成矿作用具有二重性, 含金建造是各种类型内生金矿床成矿物质的直接来源, 成矿热液来源于建造水。对独立金矿床进行了类型划分, 强调含金建造的存在是金矿成矿的基本条件, 运用液态矿源说和二次迁移论探讨了成矿作用机制, 并建立了金矿成矿模式。

关键词: 金; 二重性; 金矿床; 含金建造; 成矿作用; 成矿模式

浦志伟在《黄金开发史和金矿床成因》(R. W. Boyle, 1981) 一书的译著序言中写道: 目前流行的一些有关金矿成因的观点, 实际上先辈们在文艺复兴时期、中世纪、甚至更早的时候就以较为原始的形式提出过, 而各种学派又周期性地交替处于主导地位^[1]。这充分显示出创造性思维在探索中的能动作用以及人类对自然认识沿螺旋式轨道不断深化的趋势, 对于金矿成矿的认识也遵循这一规律。

长期以来, 对于金矿床成因认识的研究往往注重的是矿床的表现依据, 如由于金矿床产在各种各样的成矿环境和不同的地质地球化学条件下, 则认为成矿物质具有多源性。然而, 人们在观察和思考金矿成矿学时却忽略了一个最重要的事实, 那就是迄今为止所发现的规模(储量)最大的沉积型金矿床是南非的含铀砾岩型金矿床(或改造型砂金矿床); 储量最大、分布最广泛的岩金矿床与含碳、铁、硫的沉积建造有关, 如穆龙套、霍姆斯塔克以及所谓典型的“卡林型”金矿床; 尽管世界级绿岩带型金矿——西澳卡尔古里金矿田(储量达 3000 t), 矿床的直接围岩是赋存有 Cu-Ni 硫化物矿床的粗玄岩, 但金矿成矿物质却来源于含矿岩系中的层流沉积物^[2]; 加拿大赫姆洛金矿床是典型的与火山-沉积岩系有关的金矿床; 日本菱刈金矿是典型的火山热泉型金矿床, 但成矿物质却源于基底含矿岩系等等。因此, 有关金矿成矿物质来源具有多样性的观点和认识是不符合客观实际的。

我国胶西北地区的金矿床一直被认为与花岗岩有成因联系, 但忽略了大型、特大型金矿床(三山岛、焦家-新城、大尹格庄以及东风地区诸金矿等)皆产在岩体的接触带内, 特别是容矿断裂产状倾向或逐渐缓倾于变质岩系的事实。小秦岭金矿床几乎全部产于以含石墨、铁的碎屑沉积岩为主的太古宙变质岩系中, 也被认为金矿的成矿主导因素是燕山期花岗岩。滇、桂、黔

和陕、甘、川矿集区内金成矿的环境和条件基本相似, 但对矿床的成因的认识却存在较大差异, 如太白金矿具角砾岩型矿化和钠长石化, 被认为是碳酸盐岩浆成矿^[3,4]; 而近在咫尺的产在相同含矿岩系中的八卦庙石英脉型金矿, 却被认为是沉积-变质热液型金矿^[5]。二道沟-金厂沟梁金矿田内近在咫尺的 3 个矿床(直接围岩分别是斑岩、火山岩和变质岩), 被认为分别是斑岩型、火山岩型和变质岩型金矿床, 或者皆被认为是斑岩型金矿床^[6,7]。

内生金矿床(only gold deposits)是典型的热液矿床, 成矿作用具有“后生性”特征。成矿热液有“岩浆源”、“变质源”、“火山源”、“混合源”等观点, 对成矿物质来源有“岩浆源”、“侧分泌”、“活化-淬取”、“渗滤”等认识。但是, 金矿成矿热液、成矿物质来源问题始终是困扰矿床研究的关键问题, 也是金矿成矿学必须回答的根本问题。

1 金成矿地球化学性状的二重性

1.1 金的地球化学性状二重性

金元素地球化学性质具有亲铁性和亲硫性的双重特点。周乃武^[8]等认为在高温高压条件下金呈分散状态赋存且相对富集是其亲铁性所致, 亲硫性决定金能够被溶液溶解并被热液迁移, 而造成金沉淀富集的主因是成矿流体体系性质发生改变, 同时, 特别强调碳在稳定金的溶解度和成矿过程中的重要作用。金的亲铁性是“幔源说”的依据, 而金的亲硫性是“壳源说”的依据。还原环境是金迁移和富集的重要条件, 也是形成含金沉积建造的充要条件。因此, 缺氧的早前寒武纪是砾岩型金矿的重要形成时期, 也是内生金矿床的重要时期。

1.2 金的成矿作用二重性

金的情性、向心性、幔源性以及不能够形成独立矿床是由金

的亲铁性和原子态属性决定的,而金的活泼性、离心性、壳源性以及能够形成独立矿床是金亲硫性和多价态(含胶体)属性所致。很显然,金的地球化学二重性决定了金的成矿作用二重性。

区域成矿研究表明,金与铁质超基性岩有关的铜-镍硫化物矿床、块状硫化物矿床、夕卡岩型和斑岩型矿床等密切伴生,同时也往往形成独立的金矿床,如加拿大诺兰达地区、菲律宾碧瑶地区、我国长江中下游地区的伴生金矿床和独立金矿床等。无论是伴生金矿床还是独立金矿床,成矿物质来源皆被认为是幔源的。

从赋矿围岩的角度分析,独立金矿床均与含碳质的相对富铁富硫的碎屑岩系或者火山-沉积岩系有关,可以认为独立金矿形成的矿源层即所谓的“含矿建造”实际上是矿源层中的富含铁、硫和碳(特别是有机碳)特定岩系^[9],就成矿物质来源及其演化而言,金成矿过程就是由“幔源”直接转换为“壳源”(喷气沉积矿源)的过程。因此,可以认为沉积作用形成的含金建造(含古砂金)是金矿床的主要矿源岩。

2 含金建造及金矿床类型的划分

2.1 含金建造及其类型

2.1.1 含金建造的性质

含金建造是以富含铁、硫、碳为地球化学标型特征的碎屑沉积岩系,是在弧后盆地或裂谷构造环境和相对封闭的还原条件下沉积形成的。

2.1.2 含金建造类型

J. H. Simon 等^[10]将作为金矿床围岩的碎屑岩(不包括火山岩和火山碎屑岩)划分为铁建造和板岩-杂砂岩建造,并指出铁建造代表低能条件,矿床具明显的层控性;而板岩-杂砂岩建造代表高能浊积沉积环境,矿床虽与单一岩层的地层没有严格的层控关系,但岩系控矿特征十分明确。

刘东升^[11]认为以碳酸盐岩建造为主体,夹有大量的碎屑岩及硅质岩、基性火山岩和火山凝灰岩的含金建造应具有以下特征:①富含有机质,一般在0.5%左右;②具浊积岩特征(完整的鲍马系列、明显的浊积岩底模构造——槽模及重荷模);③夹有硅质岩;④含有火山凝灰物质;⑤有较高含量的含铁碳酸盐矿物(含铁白云石-菱铁矿)。强调含金建造的形成环境是浅海相或滨海潮坪相。

马启波等^[9]将含金建造划分为两大类,一类是以冒地槽相深海沉积为主的含碳浊积岩系以及类复理石沉积,形成于裂谷环境,部分发育于深海盆地;另一类是以浅海台地相为主的含碳粉屑岩、不纯薄层碳酸盐岩及黏土岩,形成于较稳定的盆地环境,特别是台地斜坡带。

综合研究认为,含金建造是富含Fe-S-C,沉积物成分和粒度具有良好的分选性,来源于陆源并夹有大量海底火山物质的沉积岩石组合。含金建造划分为5种类型:①太古宙和中新代岛弧带火山喷发旋回间歇期形成的火山喷气-层流沉积物型含金建造;②元古宙与条带状铁建造(硫化物-碳酸盐相)有关的沉积岩±火山沉积岩系中的含金建造;③古生代以及部分

中生代的含碳质的浊积岩岩系中的含金建造;④不纯碳酸盐-含碳质泥岩岩系;⑤地盾元古宙的砾岩-杂砂岩沉积岩系中的含金建造^[12]。

2.2 金矿类型划分

金矿床分类的原则各异,划分方案很多。本文以成矿地质背景(含金建造)为主要依据,对金矿床类型进行划分(表1)。这一划分方案基本上涵盖了目前已知的金矿床以及它们的成矿环境和成矿条件,突出强调含铁、硫、碳的含金建造的存在是金矿成矿的基本条件。

3 成矿作用与成矿模式

3.1 成矿物质来源

地幔是金元素最为富集的场所,是与金矿成矿密切相关的含金建造中金元素的供给源,当幔源岩浆进入地球表壳时,金由于岩浆中的硫达到过饱和和引发分馏作用而脱离岩浆,并伴随物质沉积下来,形成海底含金沉积物。这些含金的海底沉积物及其沉积之后的地质作用演化的产物就是含金建造,是金矿成矿物质的直接来源。金矿成矿物质的另一来源是所谓的“转生含金建造”,主要是金矿化地质体的风化剥蚀产物,形成的金矿床主要是浊积岩型金矿床。

含金建造是沉积岩系或由沉积岩系演化(变质、变形及花岗岩化等)的产物,因此,成矿流体水主要为成岩期的建造水。伴随成岩期岩-水的分离,大量的呈吸附状态的金及其他可溶性物质被溶解在建造水中,形成稀薄的偏碱性的含矿热液。由于含金岩系主要由泥质和砂质岩石组成,成岩期形成的稀薄含矿溶液主要被封存在岩石孔隙和微裂隙中。

3.2 成矿作用

自然界中多种矿化类型的金矿床是不同性质的地质作用对不同含金建造的叠加再造结果。金矿床的形成过程就是含金建造或砂金矿经过变质作用、岩浆作用达到再富集的作用过程,即含金沉积物的沉积、成岩及其之后的地质作用改造都属于金矿床形成和定位的过程。成矿流体形成时处在相对高温高压的地壳深部,地壳抬升事件不仅是流体中金等成矿物质发生沉淀的充要条件,也是矿床定位的充要条件,金矿床一般赋存在正向地质构造单元,如背斜构造、穹隆构造、花岗质热穹隆和火山机构中的事实便是最好的证明。

金矿成矿作用可以归纳为:

(1)含金沉积物沉积成矿,形成的矿床是各个地质历史时期形成的砂金矿床。

(2)含金沉积物的成岩成矿,代表矿床是“超微细粒浸染型”或“卡林型”金矿床。成矿作用过程是:含金沉积物在固结、成岩过程中形成了含金热液,并且含金热液被封存在相对孤立的岩石孔隙或裂隙内(类似于石油矿床的油气藏——含油层),由于地壳抬升和(或)深部岩浆上涌作用,使含金热液物化性质发生改变,导致金沉淀而形成金矿床。由于成矿溶液中的As、Sb、Hg等挥发性元素几乎与金同时发生沉淀,形成的金矿石多属于难选冶矿石。

表 1 金矿床类型
Table 1 The types of gold deposits

矿床类型	矿 床 亚 类	典 型 矿 床
太古宙绿岩带型金矿床	1) 与基性熔岩喷气沉积 - “含碳层流沉积”含金建造有关的金矿床 2) 与中酸性火山 - 沉积建造有关的金矿床 3) 与碳酸盐“硫化物相 BIF”含金建造有关金矿床	西澳卡尔古利金矿田, 加拿大 Horns-McIntyre、Kerr-Addison, 印度 Kolar, 巴西 Fachuca-Nie、Aljier-Monjje 金矿床, 胶西北矿集区金矿床 加拿大 Hemlo、Yellowknife, 小秦岭矿集区, 排山楼金矿床等 美国 Homestake, 津巴布维, 加拿大 Pick Crow, 印度 Kolar 部分金矿床, 巴西 Bosajim de Malina 金矿床, 东风山金矿床
元古宙沉积岩型金矿床	1) 与含碳浊积岩型含金建造有关金矿床 2) 与含碳砂砾岩含金建造有关金矿床 3) 与碳酸盐 - 碎屑岩含碳浊积岩型含金建造有关金矿床	辽南金矿床, 胶东蓬家乔金矿床等 南非兰德型含铀砾岩型金矿床 辽南与铅锌矿含矿建造有关的金矿床
古生代浊积岩型金矿床	1) 与含碳浊积岩型含金建造有关金矿床 2) 与不纯碳酸盐型含金建造有关金矿床	穆龙套金(-银-钨)成矿带, 澳大利亚 Bendigo-Ballarat 成矿带金矿床 美国内华达矿集区金矿床, 滇黔桂、陕甘川矿集区金矿床
伴生金矿床	1) 与含金块状硫化物矿床有关金矿床 2) 与含金铜镍硫化物矿床有关金矿床 3) 与含金斑岩、夕卡岩型铁铜矿床有关金矿床	日本菱刈金矿床, 菲律宾碧瑶地区金矿床, 浙江遂昌金矿床等 云南墨江铜厂金矿床, 陕西煎茶岭金矿床等 智利 Elindio 金矿床, 湖北大冶鸡笼山金矿床等
砂金矿床	1) 古砂金矿床 2) 第四纪砂金矿床	陕西黄龙金矿床, 第三纪埋藏砂金矿床等
风化壳型金矿床	风化壳型金矿床	西澳 Buddington 铝土型金矿床等

(3) 成岩后的叠加、改造成矿, 目前发现的金矿床绝大多数属于此成矿作用成矿。含金建造成岩期形成的含金热液以相对孤立封存的状态赋存在地壳的深部, 当受到变质和构造 - 岩浆热动力的作用时, 相对孤立封存的状态被打破, 并发生运移而形成成矿流体。因此, 变质作用、构造 - 岩浆作用导致含金热液最终转变为成矿流体, 成矿流体能够被存储是形成成矿流体库的重要地质条件。

3.3 成矿模式

根据石油的成矿理论, 以成矿流体的形成和演化为依据, 建立了理想的金矿成矿模式(图 1)。模式中引用了石油成矿理论中的成矿流体库、自生自储型、一次迁移和二次迁移概念。所谓自生自储型成矿流体库相当于油气藏, 成矿流体库相当于他生他储型油气藏。对于成油过程中的一次或者初次迁移是指油气聚集生油层形成油气藏的过程, 二次迁移是指形成他生他储型油气藏油气的聚集过程。所不同的是, 金矿成矿模式中的一次迁移是指成矿流体聚集形成成矿流体库的迁移整个过程, 因为从成矿流体形成到最终定位于成矿流体库一般要经历复杂的过程(每一次构造热事件都会导致流体流动), 而从成矿流体库进入到成矿部位(即成矿圈闭)的迁移称为二次迁移。因此, 这一成矿模式可以简称为“液态矿源二次迁移”金矿成矿模式^[13]。

“液态矿源二次迁移”金矿成矿模式认为, 成矿热液来源于建造水, 形成于含金建造成岩期。在构造热事件中热液发生流动、分异和浓缩作用, 并在地壳深部积聚、存储形成成矿流体库。

深部的具有成矿流体库的地体或地块在抬升作用下, 成矿流体库被导通, 成矿流体沿着导通通道运移(上升)进入韧性、脆性形变构造内, 实现成矿流体由地壳深部向浅部的迁移过程^[14]。在此过程中, 流体库内不同地球化学性质的流体伴随构造的脉动过程依次间歇性地迁移, 成矿流体迁移次序是流体库按照不同层次封存的成矿流体的次序^[15]。同时, 韧性、脆性形变构造内成矿流体中金等成矿物质伴随构造脉动沉淀而形成矿床^[16]。内生金矿成矿作用可划分以下 6 个阶段: ①以氢离子交代为特征的近矿围岩蚀变阶段; ②石英脉 - 铁、镁形成阶段, 成矿流体以偏碱性的 $\text{SiO}_2\text{-H}_2\text{O-Na}_2(\text{Fe-Mg-Ca})\text{CO}_3$ 流体为主; ③铁硫化物沉淀阶段, 成矿流体以铁 - 羰基化合物 (COS-Fe) 流体^[17] 为主; ④自然金沉淀阶段, 成矿流体以含金的低盐度 $\text{COS-H}_2\text{O}$ 流体为主; ⑤贱金属硫化物交代铁硫化物、沉淀阶段, 成矿流体以含贱金属的 $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ 高盐度流体为主; ⑥方解石脉形成阶段。

4 结论

金元素的地球化学性质具有亲铁和亲硫的双重特性, 既可形成伴生矿床, 也可以形成独立的矿床。含金建造是含碳、硫、铁的沉积岩系或火山喷发沉积岩系, 是内生金矿床成矿物质的直接来源。含金建造成岩期形成的建造水是初始含金热液, 构造热事件促使含金热液发生流动、分异和浓缩作用, 在地壳深部积聚、存储形成成矿流体库, 内生金矿床可以统称为建造水热液型, 具有相同或相似的成矿作用过程和成矿机制。

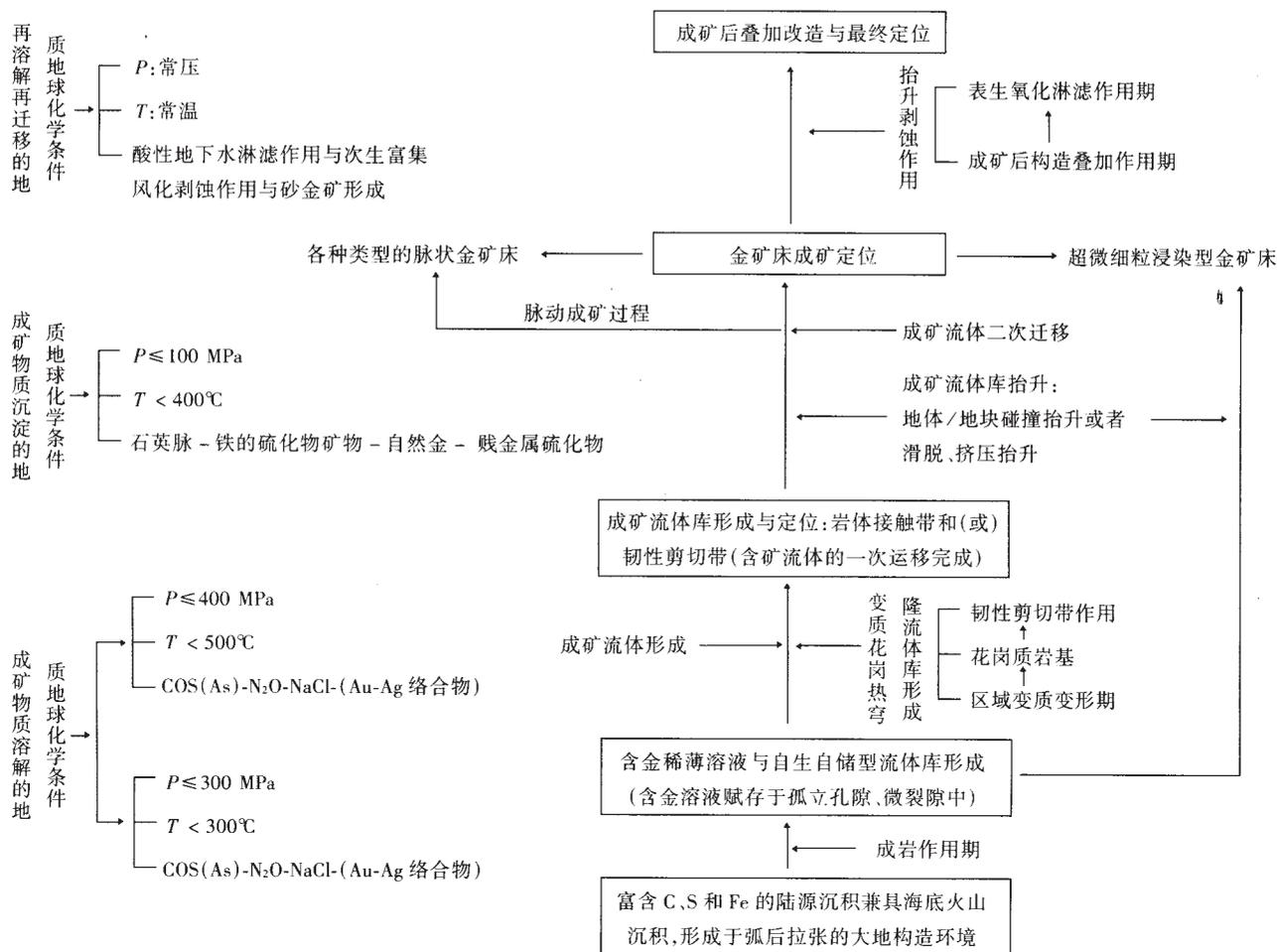


图1 金矿床液态源及二次迁移成矿模式

Fig. 1 The metallogenetic model of "liquid state ore-source" and "secondary transportation" for gold deposits

参考文献:

[1]Boyle R W. 黄金开发史和金矿床成因[M]. 北京:原子能出版社,1991.
 [2]Keays R R. The geology, geochemistry and genesis of gold deposits[J]. Mineralium Deposita, 82: 17—48.
 [3]陕西省地质矿产局第三地质队,武汉地质学院研究生院(北京),陕西省地质矿产局西安测试中心. 陕西双王金矿床地质特征及其成因[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1989.
 [4]惠德峰. 双王金矿床矿化类型问题研究[J]. 黄金学报, 2001, 3(1): 1—5.
 [5]韦龙明,曹远贵,王民良. 陕西八卦庙金矿床地质特征及其成因分析[M]. 南京:南京大学出版社,1994. 286—305.
 [6]林宝钦,商翎,Taylor B E,等. 华北陆台辽西冰长石-绢云母型低温浅成热液脉状金矿床[A]. 中国地质科学院“七五”对外科技成果选编[C]. 1995. 60—79.
 [7]王建平,刘永山,董法先,等. 内蒙古金厂沟梁金矿控矿构造分析[M]. 北京:地质出版社,1992.
 [8]周乃武. 论金的亲硫性[M]. 矿山地质, 1990, 11(2): 77—82.
 [9]马启波,等. 中国热液金矿床黄金建造及成矿作用与找矿方向[M]. 北京:地质出版社,1994.
 [10]Simon J H. 碎屑沉积地体的金矿成矿作用[A]. 沈阳:1989 国际金矿地质与勘探学术会议论文集[C]. 1989. 50—57.
 [11]刘东升,编. 中国卡林型(微细浸染型)金矿[M]. 南京:南京大学出版社,1994. 1—36.
 [12]苗昌德. 国内外金银矿床图册[M]. 北京:冶金工业出版社,1993.
 [13]周乃武. 液态矿源说二次迁移论——内生金矿成矿模式与找矿模型[J]. 黄金学报, 1999, 1(2): 85—89.
 [14]Fyfe W S, et al. Fluids in earth's crust[M]. Amsterdam-Oxford-New York: Elsevier Scientific Publishing Company, 1978.
 [15]Sibson R H. Crustal stress, faulting and fluid flow[A]. In: Hickman S H, et al., eds. Open-file Report - U. S. Geological Survey[C]. 1994. 334—348.
 [16]李伟源. 欧洲共同体国家地壳流体研究的概况和进展[J]. 地学前缘 1996, 3(4): 313—323.
 [17]科兹洛夫斯基 E A. 科拉超深钻井[M]. 北京:地质出版社,1989.

RE-UNDERSTANDING OF THE METALLOGETICS OF GOLD DEPOSITS

SHAO Jun¹, HUI De-feng², KONG Xiang-min¹, ZHOU Nai-wu³

(1. *Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, Shenyang 110033, China*; 2. *Taibai Gold Mine of Shaanxi Province, Taibai 721600, China*;
3. *Institute of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China*)

Abstract: Auriferous formations, which are made of sedimentary rocks or volcanic-sedimentary rocks containing C, S and Fe, can be divided into five types depending on their forming conditions and evolution. The dual nature of Au element determines its characteristics of dual mineralization process. Metallogenic materials of all endogenetic gold deposits come directly from auriferous formations. The metallogenic hydrothermal fluids are evolved from water in the auriferous formations. Absolute gold deposits are classified as six types, based on auriferous formations that are the foundation of Au-mineralization. The mineralization mechanism of gold deposits is discussed referring “liquid state ore-source” and “secondary transportation”. The metallogenic model of gold deposit is set up.

Key words: Au; dual characteristics; gold deposit; auriferous formation; metallogenic process; metallogenic model

作者简介:邵军(1963—),男,研究员,1986年毕业于河北地质学院矿产普查专业,主要从事矿产地质研究和资源评价工作,现为吉林大学博士研究生,通讯地址 沈阳市北陵大街 25 号,邮政编码 110033, E-mail//sysjun@cgs.gov.cn

(上接第 232 页)

PROSPECTING CRITERIA FOR COPPER-ZINC DEPOSITS IN QINGYUAN, LIAONING PROVINCE

YU Feng-jin^{1,2}, WANG En-de¹, SONG Xiao-jun³, ZHANG Yun-feng³, YANG Tie-jun³, LI Wei³, WANG Xi-hua³

(1. *Institute of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China*; 2. *Liaoning Bureau of Non-ferrous Geological Survey, Shenyang 110002, China*; 3. *Fushun Institute of Geological Exploration, Fushun 113015, China*)

Abstract: The ore-control factors of the massive sulfide Cu-Zn deposits in Qingyuan Archeozoic granite-greenstone include submarine volcanic eruption, sedimentation, taphrogeosyncline structures and folding. The comprehensive prospecting criteria are established in such aspects as thin interbedded belts, dome borders, fold axes, zero lines of vertical secondary derivation, TEM anomalies, K₂O/Na₂O value, bulogen family element anomalies, mercury anomalies and so on.

Key words: Cu-Zn deposit; ore-control feature; prospecting criterion; Qingyuan area

作者简介:于凤金(1965—),男,高级工程师,东北大学资源与土木工程学院博士研究生,主要从事有色金属、贵金属矿产普查与勘探工作,通讯地址 沈阳市和平区柳州街 17 号,邮政编码 110002, E-mail//kuangye@geology-ln.com