

文章编号:1007-3701(2007)03-0049-07

对河台金矿成矿作用的新构想

窦海清,冷慧娟

(广东省地质勘查局七一九地质大队,广东 肇庆 526020)

摘要:通过分析区域成矿作用背景及河台地区加里东-燕山期成矿物质活化、迁移、富集、沉淀条件,认为燕山期华南地幔柱活动对河台金矿的形成起到关键作用,深源流体携带的大量成矿物质是金的主要来源,地幔柱构造、深大断裂、深部构造及韧性剪切带-韧脆性构造构成了完善的金的运移和再富集成矿体系。河台地区在燕山期具备了发生大规模成矿作用的主要条件。

关键词:成矿作用;成矿背景;地幔柱;成矿物质;含矿流体;燕山期;河台金矿

中图分类号:P618.51

文献标识码:A

河台金矿床位于 NE 向广宁 - 罗定断裂带与 NNE 向吴川 - 四会断裂带的交汇部位附近。由于经历了多期构造、岩浆、变质作用,因此成矿物质来源、矿床形成机制及主成矿期(阶段)等具复杂性和多解性^[1-15]。前人对矿床的成因有岩浆热液型、变质热液型、韧性剪切带型等多种观点,河台金矿的主成矿期有加里东期^[8]、海西 - 印支早中期^[1,5-7]、燕山期^[2,13]或矿床为复成金矿^[3]的各种看法,并得到了同位素测年数据的佐证^[8,9,14,15]。

本文在分析区域成矿作用及河台地区加里东 - 燕山期成矿物质活化、迁移、富集、沉淀特点的基础上,提出了燕山期华南地幔柱活动是河台金矿形成的关键因素的看法和金的活化 - 运移 - 再富集 - 成矿体系的新构想。

1 矿床概况

收稿日期:2007-04-18

作者简介:窦海清(1965—),男,工程师,从事矿产勘查工作。

区内出露的最早地层为晚元古代云开群,主要由一套夹火山碎屑的浅海相类复理石建造组成,变质较深并具强烈混合岩化。岩石类型主要为混合岩、云母石英片岩、石英片岩、黑云斜长变粒岩、局部夹变质中基性火山岩。奥陶系、志留系、泥盆系、石炭系、三叠系和第四系在本区局部出露。广宁 - 罗定断裂变质带和吴川 - 四会断裂变质带形成于加里东期,加里东期以后均有活动,前者为硅镁层断裂,后者则是切过地壳的深大断裂。区内的褶皱多形成于加里东运动期间。

区内大规模的岩浆活动开始于加里东期,加里东期、海西 - 印支期形成多种类型的花岗岩、混合花岗岩;燕山期,岩浆活动规模、强度趋于减弱,一般为酸性脉岩,深部则可能存在该期的隐伏岩体。

加里东期、海西 - 印支期、燕山期区内经历了中低压区域变质作用、混合岩化(变质)作用,动力变质作用等。

河台金矿目前发现的金矿体类型为蚀变糜棱岩型和含硫化物石英脉型,以前者为主。矿体围岩主要为晚元古代云开群。

2 华南地幔柱对区域成矿作用的影响

有关研究表明: Au, Ag 在地核中具有比较高的丰度, 受核幔边界低速带高热液体的影响产生的物质对流, 形成地幔柱构造。地幔流体可以携带大量成矿物质^[16~17], 上升幔流沟通了地幔和地壳之间的物质和能量的交换。物质成分上的壳 - 幔边界具有动态演化的特点, 并具有两侧物质成分的双向交换^[18~20]。

地球物理资料综合研究显示, 华南地区地壳比较薄, 约为 20 ~ 30 Km, 根据剪切波速度绘制出的上地幔结构图清楚地显示出华南地区下部有一个刚性柱体, 中间部分被软化成为软流圈的一部分。由此可以推测, 华南地区柱状刚性岩石圈很可能代表一个地幔冷柱, 该冷柱在燕山期曾是一个地幔热柱^[21]。

华南地幔柱决定了华南中生代以来的基本地质构造格局。区内岩石圈经历了碰撞挤压(224 ~ 265 Ma)、由挤压到伸展的构造转换(154 ~ 163 Ma)及强烈拉张伸展(80 ~ 120 Ma)三个阶段的构造演化过程^[4,18]。

从印支期(220 Ma)造山运动期间到燕山期的早期阶段(190 ~ 125 Ma)由于地幔柱的逐渐上升, 受热动力作用的影响, 区域上表现为较强烈的火山喷发和岩浆侵入作用, 形成具有幔源 - 壳幔源混合 - 壳源为主的完整岩浆岩成分谱系, 晚期典型的碱性、偏碱性花岗岩具有深源的地球化学特点^[18]。中侏罗世可能是岩石圈构造由海西 - 印支期碰撞挤压到燕山期伸展减薄的转换期(154 ~ 163 Ma), 总体处于软流圈地幔上涌和岩石圈伸展减薄的构造背景^[4]。

在晚白垩世(约 100 Ma), 即燕山造山运动的主幕期间, 地幔柱作用进一步加强, 地幔 - 地核边界产生的热在地幔中以更高的地幔平均温度活动

对流, 表现为产生更高温度的岩浆作用, 岩浆活动规模和强度在前述基础上继续扩大, 成分上受更大深度范围的部分熔融以及更高分馏的结晶分异作用所控制^[18]。岩石圈在这一时期则整体处于一种强烈拉张伸展的过程^[4]。

地质、地球物理的标志特征还显示, 华南地幔柱构造的时空演化及其相互关系, 对该区中生代以来的地质构造、岩浆活动和成矿作用的贡献是肯定的^[22]。

区域上加里东期成矿作用强度不大, 一般仅形成矿化地质体或中小型金矿床。海西期的成矿作用亦不强烈。由于印支期处于强烈的挤压环境, 物质处于分散状态, 成矿作用不明显, 矿床数量极少, 该期内生金属的成矿作用主要表现为微弱的矿化和蚀变, 一般难以构成有工业价值的矿床。

在燕山期, 受华南地幔柱活动进一步加强的影响, 成矿作用明显强于前期各个阶段。大规模的成矿作用集中发生在中侏罗世及白垩纪, 燕山期成矿作用规模大、强度高, 是区域上成矿作用最为强烈的时期^[4]。

华南地区的花岗岩及有关矿床的一些特征表明, 华南地区在燕山期地幔可能发生上涌, 导致上覆地壳大面积重熔或生成同熔花岗质岩浆。由花岗质岩浆的分异演化形成了星罗棋布的稀土、稀有、钨、锡、锑、铜、钼、铋、铅、锌、银、金等矿产。华南地区的岩金矿床大多与燕山期花岗岩有着密切的时空关系, 成矿物质也来自深部^[21]。

河台金矿的形成处于上述区域成矿背景条件下, 其成矿物质来源与燕山期华南地幔柱的发展、演化密切相关, 来自深源的大量成矿物质, 在区内深、中、浅构造构成的有利于成矿的构造体系内, 得以运移、富集、成矿。燕山期华南地幔柱活动对于河台金矿床的形成具有重要贡献。

3 河台地区金的活化、迁移分析

3.1 金活化、迁移的一般特点

原生金矿中的金有相当一部分是通过地幔柱构造的作用而来自地核。从地核 - 地幔 - 地壳 - 近地表, 金元素经历了气相 - 气液混合相 -

含矿流体 - 固相的演变^[18-20]。

地幔流体是一种超临界流体,具有独特的溶解和输运能力,可以溶解 Au, Pt 以及性质相近的元素^[17]。高温高压条件下流体中的 Au 可以达到比较高的含量。金元素在深部流体中可能呈以下形式活化、迁移:

(1) 由于超临界状态的深源流体的独特性质, C-H-O-S 体系以及 P, S, Zn 等低沸点单质的存在可能导致高沸点金属 (Au, Ag, Sn, Cu) 或合金的沸点下降, 从而这些金属可以呈气相迁移^[23]。

(2) 高温条件下, 金主要以单质形式存在, 其依据为许多岩浆岩中含有 H_2 , CH_4 , C_2H_6 , C_4H_8 , C_4H_{10} , H_2S , SO_2 , CO 等强还原性气体。在高温、强还原性流体中, 金化合物的热稳定性差, 金配合物很难成为金活化、迁移的主要形式, 纳米微粒单质金的熔点相当低, 纳米微粒液态金则成为金活化、迁移的主要形式^[24,25]。

(3) 金属矿产 Cu, Au, Pb, Zn 的络合剂一般为 $AgCO_2$, SO_2 , Cl_2 , H_2S 等, 上地幔一般富集这样一些络合物。金在高温高压条件下溶解度高, 形成的络阴离子伴随酸性或碱性成矿流体可以迁移很远的距离^[26]。

在中、低温热液中, 金一般以一价或三价离子的形式存在于络合物中。当含矿流体与岩石发生化学反应时, 二者之间出现物质交换, 围岩中某些组分发生活化, 为流体萃取, 形成新的含矿流体, 或者含矿流体内成矿物质析出沉淀, 形成矿化。由于流体运移通道附近热水 - 岩石交代反应发生的范围是十分有限的^[23], 萃取围岩组分的种类、数量、范围受到限制, 流体远距离运移过程中的围岩情况复杂多变, 而且萃取与析出、沉淀是双向的, 成矿物质在流体中可能进一步富集, 也可能贫化, 特别在发生多期次地质作用后, 浅部流体对围岩组分的萃取具有不确定性。

含矿流体的迁移是化学和物理动力共同驱动的结果, 两种方式难以截然分开。深源流体的运移方式可能为扩散、渗透、涌流, 或熔于熔体中, 并随熔体一起上升, 构造流体可以沿孔隙渗透、沿断裂破碎带运移、通过流体活动形成的水压破裂运移^[23,27]。

深大断裂及其一级断裂是重要的岩石圈物质的发散地带, 在这些地带, 地幔物质和流体 (包括岩浆) 向上涌动, 强烈的壳幔相互作用, 导致地幔流体向表壳运移^[27]。一旦岩石圈发生破裂, 地幔流体将穿越壳幔界面进入地壳^[17]。

韧性剪切带中流体作用与深部流体作用和深部熔融作用有密切关系。在大的构造带或韧性剪切带可以发生大规模的对流和流体的循环^[26]。

3.2 河台地区金的活化、迁移分析

河台地区从加里东期 - 燕山晚期, Au 元素活化、迁移条件有所差异, 而中生代发生的地幔柱多次脉动上涌及其作用的逐步加强, 对大量成矿物质的提供起到了关键作用。

加里东期区内发生中低区域变质作用, 出现水平韧性剪切及褶皱隆起, 广宁 - 罗定断裂变质带和吴川 - 四会断裂变质带开始形成, 并伴有 I 型花岗岩、S 型花岗岩的侵入和, 混合花岗岩的形成, 处在有利的金活化、迁移条件中, 含矿流体与变质作用、岩浆作用、构造作用关系密切, 成矿物质主要来源于地层, 少量来自岩浆岩或与岩浆岩同源。

海西 - 印支期, 河台金矿区附近产生了大范围的 S 型花岗岩或混合花岗岩类^[11]。随着断裂变质作用的发展, 形成了各种断裂变质岩, 由于构造、岩浆活动进一步发展, 具备了较为有利的金活化、迁移的条件。

虽然加里东 - 海西 - 印支期成矿物质具有比较有利的活化、迁移条件, 但成矿物质的大量活化存在以下一些不利因素:

(1) 由于组分活化主要是通过流体 - 岩石之间的相互作用实现, 物质交换的种类、数量和范围受到限制。流体对成矿物质的萃取具有不确定性, 金的活化是低效率的。

(2) 变质流体的活动规模、强度有限, 难以发生大规模的矿化作用。

(3) 河台金矿有关物理化学参数计算的成矿深度为 2~4 Km^[5,7,12], 如果成矿物质由基底、围岩或基底与围岩共同提供, 矿床与矿源层在空间上处在相近或相同的建造内, 这种系统或建造自成矿的条件要求较苛刻, 缺乏高度的分馏、分异, 难以实现成矿元素的富集。

(4) 当“矿源层”位于较浅部位时,浅部流体不易萃取“矿源层”内的成矿物质,由于围压较小,整体处于开放性的空间,即使形成含矿热液,也容易流散而不易集中。

(5) 尽管受到华南地幔柱构造作用的影响,但其影响的深度、规模、强度和时限有限,作用结果以发生规模较大的岩浆活动为特点,组分的分异、分馏作用相对较弱,矿质在流体中相对均匀分布,这一时期的深源流体总体贫乏成矿物质,深源富矿流体并不发育。以往测定的同位素样品表明,少部分样品放射性成因铅和源区 μ 、 ω 值都较低,可能是岛弧铅与下地壳或上地幔铅混合的结果(年龄值为 300 ~ 400 Ma)^①。

加里东 - 海西 - 印支期,流体活动和成矿物质的活化、迁移多发生在中 - 浅部地质作用背景下,地幔柱活动较弱,部分来自上地幔的成矿物质可能发生矿化。虽然局部矿化强度可能比较大,但总体看成矿物质来源贫乏,处在低丰度值的背景条件下,尽管具备了有利于金活化、迁移的条件,但相应的地质作用难以形成含大量成矿物质的含矿流体,对形成金矿床的直接贡献较弱。

在燕山期,随着地幔柱活动的逐步加强,物质来源更加广泛,在高温、高压条件下,深部流体独特的活化、迁移、富集作用可以形成具有更高金丰度值的深源含矿流体。尤其在地幔柱晚期脉动上涌阶段,由于长期的、大空间、多阶段的、具有继承性的分异作用的规模、强度、范围进一步增加,深部含矿流体经历了弱分异、贫乏成矿物质 - 强分异、富集成矿物质的演变,流体内成分的高度分异以及成矿元素的大量富集是其它地质作用难以达到的。

河台金矿的有关研究显示,燕山期区内受到华南地幔柱的影响,具有来自上地幔 - 下地壳成矿物质活化、迁入的特征。

卫片资料显示,在矿区内存在 4 个隐伏的环形构造,除了双富坑环形构造可能由地貌引起外,其余环形构造可能与地下热隆起有关,可能由隐伏岩体侵位所致^②。另外,矿床中可见少量闪斜煌斑岩、辉绿岩^③,因其切穿剪切带,故时代应属燕山期。

矿区深源元素 Ni, Co, Cr 含量较高,其分布与一定的层位有关,工业矿体及其所在的地层中,深

源元素 Ni, Co, Cr 含量明显高于其它地层,北矿带和南矿带赋矿地层中,含量明显高于中矿带。在横贯矿区的化探剖面上,北矿带和南矿带地层中 Au 含量较高,反映矿区明显存在一个矿源层,这个矿源层中,初始成矿物质可能来自上地幔^④。

硫同位素测定结果显示, $\delta^{34}\text{S}$ 值为 -3.4 ~ -2.4‰, 平均 -0.88‰, 接近于零, 与陨石硫相当, 说明 Au 成矿过程中硫化剂所含的硫来自深源(成都地质学院, 张志兰等, 1988)。即使是无工业矿化, 糜棱岩中的黄铁矿与矿体中的黄铁矿同位素组成也非常相近, 反映二者硫源的一致性, 其变化范围较小, 显示深源特征。整个河台矿区与金矿化有关的黄铁矿和磁黄铁矿的硫同位素组成十分稳定, 矿床之间无明显的区别, 表明硫的来源是单一的^⑤。

从矿石铅同位素组成来看, 成矿物质有下地壳或上地幔镁铁质源岩中的成矿物质参与。云西矿床磁黄铁矿较常见, 成分中含 Ni 较高, 并发现存在镍黄铁矿, 表明它们不仅形成于较还原的环境, 还可能与其深部来源有关^⑥。

矿区方解石的 $\delta^{13}\text{C}$ 为 -3.6 ~ -1.1‰, 也具有深源特征^⑦。

在燕山期, 地幔柱构造、吴川 - 四会深大断裂、罗定 - 广宁深大断裂、深部构造、韧性剪切带形成了完善的、可以导致大量富含成矿物质的深部流体向浅部迁移的化学 - 物理构造体系。流体迁移轨迹为: 地幔柱构造 - 深大断裂 - 深部构造或韧性剪切带。含矿流体的运移方式从深源流体运移过渡为构造流体运移, 流体迁移驱动力从以化学驱动力为主过渡到以物理驱动力为主。

综上所述, 河台地区在燕山期具备了形成大型矿床所需的成矿物质来源和富矿流体的迁移条件。

4 河台金矿金的富集、成矿分析

① 宜昌地质矿产研究所, 广东清远 - 肇庆地区金矿带的构造分析、成矿时代及矿床成因的研究, 1989。

② 黄满湘, 宋宏邦, 广东河台金矿成矿规律及找矿预测研究, 2003。

③ 中国地质科学院成矿远景区划室, 广东省地质矿产局七一九地质大队, 粤西河台地区金矿大比例尺成矿预测成果报告, 1993。

4.1 金富集、成矿的一般特征

Au在地核-地幔-地壳的分布丰度呈降低趋势。Au的惰性表现在活化上,也表现在析出沉淀上。如:熔体中斜长石、钾长石、石英等浅色矿物对金排斥,使得金不易进入岩浆矿物晶格,而进入流体相,发生富集^[23];而花岗岩中的金主要以不容易释放的状态存在。金的相对化学活性使其能够在比较广泛的物理、化学条件下赋存于流体中迁移,在长期、多阶段的地质演化过程中,特别是在高温、高压条件下,含矿流体中金的析出、沉淀更多的表现出惰性特征,其析出沉淀呈少量、分散的特点,在迁移过程中深源含矿流体内的金有相对富集的趋势。

当含矿流体的温度、压力、化学成分、pH、Eh值等条件发生改变时,便出现金的沉淀或金的赋存形式的变化。根据相关研究^[18,23,26,28],成矿物质的析出沉淀可由含矿流体与气液、其它流体或固体之间的物理化学作用来实现,其作用过程、结果具有不同的特点。

(1)气液作用:含矿热液随着温度或压力条件的变化,其组分之间原有的物理化学平衡受到破坏,导致成矿物质从热液中析出沉淀。在温度或压力快速下降的条件下,可以导致成矿物质在短时间内、在相对较小的空间内析出沉淀,从而形成具有工业价值的矿床。如:含有大量挥发分的含矿热液遇到减压环境时常会导致溶液减压沸腾,从而使成矿物质从热液中沉淀析出。

(2)流体作用:不同的流体在运移过程中相遇发生混合,流体成分上的不同以及物理、化学条件等的差异,可导致混合流体的组分之间发生化学反应,引起含矿流体中成矿物质的析出沉淀。地壳中存在大规模的流体运移,其运移距离可达数百~上千公里。陆壳大部分剖面在脆性状态下,所具渗透性足以使大气降水渗入到地壳深达12 Km的反应带。理论分析计算表明:地壳浅部以水为主的流体甚至可以渗透到地壳几十公里深处,特别是在长期活动的深大断裂带附近,为在地壳形成浅部流体提供了充足的水源。流体与流体之间相互作用引起成矿物质的析出沉淀是高效率的,特别是晚期富含成矿物质的深部流体与浅部流体的混合具有突出

的成矿意义。

(3)围岩(固体)作用:当含矿流体中某些组分与岩石发生化学反应,在萃取围岩组分形成新的含矿流体时,部分组分逐渐析出沉淀,在岩石中形成新的矿物组合。在物理、化学等条件发生渐变、构造空间又较大的情况下,析出、沉淀的成矿物质倾向于相对分散分布,不利于矿床的形成。

4.2 河台金矿金的富集、成矿分析

金矿成矿流体是富水的 $H_2O-NaCl-CO_2$ 体系。其盐度含量变化很大,温度和压力也变化很大,即使是在同一矿床中也是如此,这表明金矿成矿流体系统是一个复杂多变且极不稳定的系统^[9]。这些特点也体现在在河台金矿形成的物理、化学条件上,如:温度、压强、盐度、水和气体特征等^[6-7,11-15],说明形成河台金矿的直接流体具有复杂多变的物理化学条件,是深源富矿流体与浅部流体的混合流体。

河台地区从加里东期-燕山期,金元素富集、沉淀的过程和结果也有所不同。

加里东-海西-印支期地质作用特点使得流体内含矿物质的富集、析出主要是以流体-固体之间的相互作用实现,由于物理化学作用时间较长,物理化学条件处在渐变过程,成矿物质的富集相对分散、均匀分布,不易集中析出、沉淀,不利于矿体的形成,矿化作用的主要结果是出现金的初始富集,造成云开群地层金丰度值的升高,或者形成金的化探异常,或者局部出现矿化石英脉或含金石英脉。这一时期的地质作用对后期金矿床形成的主要贡献是:为以后大规模成矿作用的发生拓展了导矿和赋矿空间,特别是这一时期赋矿建造内韧性剪切构造的出现及后期的发展、演化,使得在燕山期发生大规模成矿作用具备了有利的赋矿空间。

燕山期含矿流体内金的析出、沉淀成矿与加里东-海西-印支期比较,具备以下有利条件:

(1)深部含矿流体在向浅部迁移的过程中,成矿物质还可进一步在流体内浓缩、再富集。

(2)赋矿建造内韧性剪切带向脆韧性-韧脆性-脆性演化,为含矿流体内成矿物质的大量析出、沉淀提供了有利空间。

(3)成矿物质会优先选择赋矿建造内加里东

期、海西 - 印支期发生矿化的有利构造空间就位, 出现近位、同位或重位成矿的情况。

(4) 由于有浅部流体的加入, 深源含矿流体 - 气液、深源含矿流体 - 浅部流体、深源含矿流体 - 固体有可能同步作用于受到脆性改造的早期韧性构造或脆韧性 - 韧脆性构造区域, 导致含矿流体的温度、压力、化学成分、pH、Eh 值等的变动范围及其变化速率有利于 Au 元素的析出、沉淀, 富集成矿。

因此, 河台地区在燕山期具备了富含矿质的深源流体内的成矿物质大量析出、沉淀的有利的物理、化学条件。

5 结论

5.1 成矿物质来源与主成矿期

从区域成矿作用背景以及河台地区金的活化、迁移、富集、沉淀特征分析, 受燕山期华南地幔柱的影响, 成矿物质主要来自深源, 可能混染少量其它来源的成矿物质, 主成矿期在燕山晚期。

5.2 成矿物质迁移、成矿特点

燕山期形成了地幔柱构造 - 深大断裂 - 深部构造或韧性剪切带 - 韧脆性构造构成的完善的金的运移 - 再富集成矿体系。

由于含矿流体的运移会沿用前期的构造空间, 成矿物质也会优先选择前期矿化建造等有利空间就位, 导致矿床的成因特征等具有多解。

综上所述, 受燕山期地质作用, 特别是华南地幔柱作用的重要影响, 河台地区具备了发生大规模成矿作用的主要条件: 短时间内流体可以活化、运移充足的成矿物质; 富含矿质的流体能够高效率的富集、就位于有利的赋矿构造内成矿。

在成文过程中得到了凌井升等高级工程师的指导, 在此致以衷心感谢。

参考文献

- [1] 邱小平. 两广云开大山地区开合旋回转换与金成矿作用的关系[J]. 地质通报, 2004, 23(3), 272—278.
- [2] 王斯亮. 河台金矿区外围找矿的方向[J]. 黄金科学技术, 2004, 12(1), 1—4.
- [3] 龚朝阳. 河台金矿蚀变糜棱岩型金矿成因探讨[J]. 黄金科学技术, 2004, 12(4), 3—6.
- [4] 蔡明海, 彭松柏, 孟祥金, 等. 桂东 - 粤西地区中生代成矿规律及动力学机制探讨[J]. 华南地质与矿产, 2001, 2, 35—42.
- [5] 李建甘. 河台金矿床成矿地质规律[J]. 黄金科学技术, 2002, 10(2), 16—21.
- [6] 周永章. 华南河台金矿田的地质地球化学研究(摘要)[J]. 地质地球化学, 1993, 21(5), 79—81.
- [7] 朱义年, 刘成湛. 广东河台金矿成矿过程的地球化学研究[J]. 桂林冶金地质学院院报, 1990, 10(3), 291—297.
- [8] 翟伟, 袁桂帮, 李兆麟, 等. 粤西河台金矿床富硫化物含金石英脉锆石 U - Pb 测年及意义[J]. 地质论评, 2005, 51(3), 117—123.
- [9] 翟伟, 李兆麟, 孙晓明, 等. 粤西河台金矿锆石 SHRIMP 年龄及其地质意义[J]. 地质论评, 2006, 52(5), 116—125.
- [10] 陆建军, 王鹤年, 沈渭州, 等. 河台金矿同位素地质研究[J]. 地质找矿论丛, 1990, 5(1), 88—96.
- [11] 戴爱华, 王鹤年. 河台金矿形成机制的实验研究[J]. 资源调查与环境, 1988, 9(3), 27—40.
- [12] 刘伟, 黄满湘, 欧阳玉飞. 广东河台金矿成矿流体特征[J]. 矿产与地质, 2005, 25(5), 13—18.
- [13] 欧阳玉飞, 黄满湘, 刘伟. 广东河台金矿床成因研究[J]. 地质找矿论丛, 2005, 20(3), 20—23 + 29.
- [14] 凌井升, 裘有守, 陈础廷, 等. 云开大山及其外围金矿远景区成矿条件[M]. 北京: 地质出版社, 2000, 1—97.
- [15] 陈好寿, 李华芹. 云开隆起金矿带流体包裹体等时线年龄[J]. 矿床地质, 1991, 10(4), 332—341.
- [16] 丁振举, 姚书振, 方金云. 地幔流体及其成矿作用[J]. 地质科技情报, 1997, 16(1), 72—76.
- [17] 刘丛强, 黄智龙, 李和平, 等. 地幔流体及其成矿作用[J]. 地学前缘, 2001, 8(4), 231—243.
- [18] 李子颖, 李秀珍, 林锦荣. 试论华南中新世地幔柱构造、铀成矿作用及其找矿方向[J]. 铀矿地质, 1999, 15(1), 9—16.
- [19] 牛树银, 李红阳, 孙爱群, 等. 地幔热柱的多级演化及其成矿作用——以冀北地区为例[J]. 矿床地质, 1996, 15(4), 298—307.
- [20] 吴福元. 壳 - 幔物质交换的岩浆岩石学研究[J]. 地学前缘, 1998, 5(3), 95—103.
- [21] 毛景文, 李红艳, 王登红, 等. 华南地区中生代多金属矿

- 床形成与地幔柱关系[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1998, 17(2), 130—132.
- [22] 谢桂清, 胡瑞忠, 赵军红, 等. 中国东南部地幔柱及其与中生代大规模成矿关系初探[J]. 大地构造与成矿学, 2001, 25(2), 179—186.
- [23] 秦大军. 韧性剪切作用与深源流体演化和金矿化的耦合关系[J]. 地质地球化学, 1997, 3(3), 58—63.
- [24] 杜乐天, 陈安福, 王 驹等. 地球的排氢作用[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1995, (3), 193—195.
- [25] 郑大中. 金的高温热液地球化学新探[J]. 四川地质学报, 1996, 16(3), 267—273.
- [26] 陆广浩, 张湘炳, 王岳军, 等. 构造成矿理论的研究进展及在金矿找矿中的应用[J]. 地质科学, 2002, 37(4), 462—472.
- [27] 毛景文, 李晓峰. 深部流体及其与成矿成藏关系研究现状[J]. 矿床地质, 2004, 23(4), 520—529.
- [28] 胡文宣, 孙 睿, 张文兰, 等. 金矿成矿流体特点及深—浅部流体相互作用成矿机制[J]. 地学前缘, 2001, 8(4), 281—287.
- [25] 郑大中. 金的高温热液地球化学新探[J]. 四川地质学

New Thoughts about Ore – Forming Process of Hetai Gold Deposit

DOU Hai – qing, LENG Hui – juan

(No. 719 Geological Team, Guangdong Bureau of Geology Exploration, Zhaoqing 526020, Guangdong, China)

Abstract: Based on the analysis of the regional deposit – forming background and the conditions of activation, migration, enrichment and precipitation of ore – forming materials in Hetai area from Caledonian to Yanshanian period, believe that the pulsation and upwelling of the mantle plume in late Yanshanian period in South China plays a key word on formation of Hetai gold deposit. mass of ore – forming materials caarried by deeply – derived fluid is major source of gold. Mantle plume tectonics, deep big fault belt, deep structure and ductile shear zone, ductile – brittle structure composition perfect migration, enrichment once more and metallogenic system of gold. Hetai area possessed main geological condition that took place large scale mineralization in the Yanshanian period.

Key words: mineralization; deposit – forming background; mantle plume; ore – forming materials; the metallogenic fluids; Yanshanian period; Hetai gold deposit