

文章编号 1001-8166(2004)增-0093-09

地幔柱和地幔流体作用与深部找矿应用研究

刘显凡, 刘家铎, 张成江, 吴德超, 李佑国, 阳正熙

(成都理工大学, 四川 成都 610059)

摘 要 地球是一个复杂的系统,自形成以来,一直处于不停运动、分异和演化过程,它不仅存在着圈层结构,而且伴随其自转和公转的离心力,以及核幔间的温度差、压力差、密度差、粘度差、速度差和放射性蜕变等动热机制,同时存在着以地幔柱和地幔流体作用方式的物质垂向运动,这一过程,不仅直接向地壳带入核幔成矿物质,而且通过流体自身的超临界性质,将沿途活化已有初步富集的成矿物质转移至地壳适宜部位集中成矿。因此,大多与深大断裂有关的矿床,其成矿作用多与成矿物质的垂向运动密切相关,进而可能具备深部成矿的条件。研究从地幔柱和地幔流体作用入手,探讨了大型和超大型矿床形成的地球化学背景,揭示了开展深部找矿应用的前景。

关键词 地幔柱, 地幔流体, 地球化学, 超大型矿床, 深部找矿

中图分类号 P59 文献标识码 A

0 引 言

随着科学技术的发展和人类社会的进步,人们对矿产资源的需求量越来越大,但人们获取矿产资源的主要渠道——地表矿、浅部矿和易开采矿已渐趋枯竭,这就要求在新的成矿理论指导下开展新一轮找矿,而新一轮找矿的方向必然转向地壳深部。实际上,从不同角度和思路论证深部成矿的研究工作由来已久,但由于浅部地质作用对深部地质作用的混染和覆盖,客观上增加了对深部成矿研究的难度。因而,长期以来,人们对成矿作用的认识主要局限和倾向于地壳系统内的循环。随着地壳深部矿床及大型和超大型矿床的陆续发现和开采,人们不能不来自地幔的成矿作用叠加的思路和深度去分析和认识复杂的矿床成因机制。体现这一思路的代表性理论即地幔柱理论和地幔流体理论。

1 深部成矿理论概述

1.1 地幔柱成矿理论

地幔柱的产生与热点的形成相联系,最早提出这一新思路的代表性学者是 Wilson^[1],此后陆续有

不少国内外学者对热点、地幔柱和大规模玄武岩喷发做了专门论述,国外的代表性学者主要有 Morgan (1971), Anderson (1975), Hofmann (1992), Griffiths (1991), Maruyama (1994) 等;国内的代表性学者主要有:李春昱、邓晋福、王润民、张云湘、骆耀南、王登红、牛树银等。综合众多学者的论述,可将这一理论概述如下:

地幔柱是指由地球内部热点穿刺引发的地幔深部岩浆作用,可表现为大规模深部岩浆侵入和玄武岩喷发,其中人们主要关注的是与溢流玄武岩有关的地幔柱类型,而与深部岩浆侵入有关的地幔柱只是地幔柱演化的一个阶段。徐义刚^[2]认为,地壳性质和地球物理性质与下伏岩石圈地幔性质有强烈相关性,即如图 1 所示,在稳定克拉通区,地幔热流值低($< 40 \text{ mW/m}^2$)、地震波速高,地温梯度低,岩浆、构造活动不发育,岩石圈厚度大($> 150 \text{ km}$),岩石圈地幔以富集地幔(EM1)为主,在构造活动区,地幔热流值高($> 40 \text{ mW/m}^2$),岩石圈较薄($< 100 \text{ km}$),地幔波速低,岩石圈地幔以洋壳玄武岩(OIB)型地幔为主,富集地幔(EM1)相对较少,地幔柱发育,软流圈和莫霍面隆起,发育裂谷环境。王登红^[3]提出按起源深度、演化阶段

收稿日期:2004-04-10.

基金项目:中国地质调查局综合研究项目(编号 200110200046)资助.

作者简介:刘显凡(1957-)男,教授,主要从事矿物学、岩石学和矿床地球化学研究. E-mail:liuqiujiang@sina.com

诺铜矿的美国中大陆裂谷即位于加拿大太古宙地盾南缘、美国中西元古宙基底块体,以及东部格林威尔造山带之间的三重拼接部位上,形成三叉拼接裂谷^[7-9]。

(3) 地幔柱喷发极大部分发生在地质历史转折时期,火山岩覆盖了大面积森林与沼泽地,导致生物演化大茂大灭,因此普遍存在暗色岩系和黑色岩系的密切共生,为金属沉淀和还原提供了良好的介质条件^[4]。如近年发现的滇黔边界铜矿区有沥青、煤系、油页岩地层和大量大羽羊齿类碳化—硅化木。显然,有机质对成矿起了重要作用^[10,11]。

朱炳泉等^[4]认为上述成矿有利因素造就了4个优势资源系统,即:地幔柱岩浆分异成矿系统、地幔柱同生火山热液系统、地幔柱同构造盆地油气系统和地幔柱岩石组合形成的优势生态体系。

地幔柱成矿理论较之板块构造理论更好地解释了陆—陆碰撞成矿、陆弧碰撞成矿和碰撞向伸展转换成矿的理论问题。毛景文(2003)认为地幔柱理论与板块理论的结合正在引起矿床学的一场新的革命。这一成矿理论,对于开展深部找矿具有重要指导意义。

1.2 地幔流体成矿理论

已有研究认为,温度升高及氧逸度的变化是使地幔发生脱气(排除C、H₂等)作用的主要原因^[12],地幔中的水除来自含水的地幔矿物外,主要是通过洋壳俯冲带入,并可同时带入Si、Al、Na、K、Cl、P、S等常量元素和挥发份元素^[13-15]。正是地幔中的水与地幔脱气汇合并溶解地幔中的碳、氢、氧(以CH₄和CO₂存在)构成具超临界性质的流体,并以其异常强大的萃取和运载矿质的能力,形成高温富硅碱质和挥发份的深源含矿流体^[16,17]。杜乐天^[18]称其为幔汁,强调流体中的挥发分、热和碱质,认为地幔流体作用实质上就是一种碱交代作用。

孙丰月等^[19]提出,上地幔存在2个C-H-O流体储区:一是300~66 km深处的富水流体储区(相当于岩石圈以下的上地幔部分),与金云母橄榄岩平衡,溶解了大量的K₂O、SiO₂、Al₂O₃等,溶质呈过铝性特征;二是53 km至莫霍面之间的富CO₂流体储区(相当于岩石圈中的上地幔部分),与角闪石橄榄岩平衡,溶质含量相对较少,成分以富钠为特点,显过碱性特征。这种富钠质的碱性幔流体,其交代产物常富含角闪石,并共生填隙状的金云母和碳酸盐矿物,构成较为典型的地幔流体交代作用的标志^[20]。

孙丰月等^[19]总结了地幔流体对大陆板内成矿作用的主要意义有5个方面:

(1) 有利于含金刚石的金伯利岩和钾镁煌斑岩形成。

(2) 运载幔源成矿元素进入地壳成矿。

(3) 改造地壳物质,使其中成矿元素发生活化转移而成矿。

(4) 直接为形成热液矿床提供较多的硅和碱。

(5) 在地壳中产生异常高的地热梯度,加速地表水的深循环和深浅(壳幔)两源混合成矿,直至形成浅成低温热液矿床。

这种地幔流体并非总与岩体相伴,它可以远离岩体沿裂谷或深断裂上升直接交代不同岩石,将自身携带的矿质和沿途萃取的矿质运载至适宜的容矿部位形成壳幔两源叠加的不同类型和矿种的矿床^[21],进而导致由岩体到围岩,从高温到低温的系列成矿效应^[22]。

2 深部成矿的可能性和必然性

以往矿床勘探开采的主要对象是地表矿和浅部矿,因而在以往的矿床研究中,对成矿作用的认识主要局限于地壳浅部的地质作用过程,涉及到深部因素也仅仅在于岩浆作用或岩浆期后热液作用,即人们更多地注意或观察到的是岩浆作用、岩浆期后热液或地壳中的热液和大气降水下渗后被加热形成的热液参与成矿的过程,它们分别对应典型的岩浆矿床、岩浆期后热液矿床或地壳热液改造矿床,其成矿物质主要来源于岩浆岩体或地层岩石。随着科学技术的发展和矿床勘探开采深度的加大,以及对矿床成因研究的不断深入,人们逐渐注意到许多新近发现的大型和超大型矿床不具有典型的岩浆矿床特征,也非单纯地壳热液改造成因所能解释。因此,近年来,国内外地质研究者已逐步开始重视地幔柱和地幔流体在形成大型和超大型矿床方面所起的重要作用。

一般认为,形成大型超大型矿床的大地构造环境主要包括大陆裂谷带、稳定地块(克拉通)内巨型断裂带和热点构造、陆—陆碰撞带、被动大陆与活动大陆边缘、岩石圈不连续界面或不同大地构造单元的接合部位、洋脊和大洋盆地等。显然,这些构造环境均伴随各类重大地质事件,并以发育深大断裂而与地幔深部相联系,提供巨量矿质供应,进而达到源、运、储、保等成矿因素的最佳匹配,形成多重分异富集的叠加与复合成矿。表3列出的目前国内外部

分大型矿床的深部找矿成果表明,大型超大型矿床的勘探深度一般在 500 ~800 m,采深在 500 ~600 m,深部矿化带均大于 1 000 m。据有色矿产地质调查中心调研(2002),91 个资源危机矿山中,已明确 51 个有深部矿产资源开发潜力,占 58%,还有约 1/4 的危机矿山有待进一步工作。可见深部矿产资源丰富,找矿潜力巨大。

表 3 国内外部分大型矿床的深部找矿成果

Table 3 Deep prospecting achievements of part large ore deposits in domestic and abroad

国内		国外	
矿床	采深(m)	矿床	采深(m)
安徽铜陵冬瓜山铜矿	800 ~1000	南非兰德金矿	4000
广东凡口铅锌矿	>500	南非巴布顿金矿	3800
云南会泽麒麟厂铅锌矿	>1000	印度科拉提金矿	3200
山东招远金矿	>800	美国绿岩型金矿	2000
云南大红山铁铜矿	1100	加拿大绿岩型金矿	2600

转引自翟裕生,2003

图 2 为全球 108 个和中国 48 个超大型矿床的成矿时代分布特征,图 3 为中国各主要类型大型矿床的成矿时代分布特征。两图表明,大型和超大型矿床的成矿时代分布具有从老至新矿床数和矿种急剧增多,其中绝大部分为中生代成矿。且新生代成矿又多于中生代成矿,表现全球成矿演化趋势为:成矿频率随地史进化而增长,矿床类型伴随参于成矿的物质由少到多而复杂化,聚矿能力由弱到强,反映了成矿条件和成矿环境的逐步多样化,表现为高丰度元素较早成大矿,低丰度元素需多次地质作用叠加富集,因而多在较晚期成矿,这暗示了深部地质作用的发生、发展和不同层位可能出现的矿源层的增多,是中生代,尤其是新生代形成大型和超大型矿床的重要地球化学背景,而深部地质作用的发生和发展则体现为地幔柱和地幔流体作用的发生和发展及其相伴的深源矿质和矿化剂的聚集,也是形成壳幔矿质叠加富集的充分必要条件,也是具备深部成矿的充分必要条件。

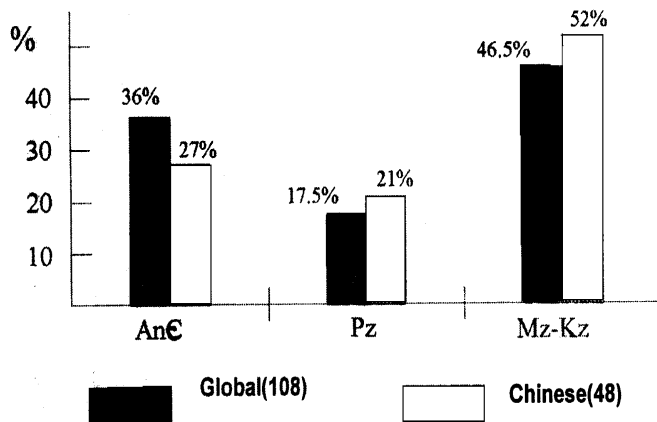


图 2 全球和中国超大型矿床的成矿时代分布(转引自翟裕生,2003)

Fig. 2 Diagram of distribution of metallogenic epochs for global and Chinese superlarge ore deposits

(from Zhai Yusheng, 2003)

3 地幔柱与地幔流体作用的转换关系及实例分析

3.1 理论依据

地幔柱是地质学家的一种假设,其作用区域以表现地震波速低为特征,因而可用地球物理方法探测而又称之为低速柱,广义的地幔流体作用包括幔

源岩浆熔体、超临界流体和由此演变的热液作用的综合效应,流体的临界点在相图上是气体—液体共存曲线的终点,其值随流体组成和所处温压不同而变化,在该点气相和液相之间的差别刚好消失,当体系的温度和压力超过临界点值时,体系中的流体就被称作超临界流体,它具有一系列不同于常温常压下流体的特殊物理化学性质,尤其对多数矿物和岩石具有超强的溶解和迁移矿质的能力。可以理解,

起源于地幔深部的流体一般相应具备超临界流体的条件,它可以通过核幔作用、地幔分异作用或地幔脱气作用形成,并在运移过程中沿途与矿物岩石发生反应而改变流体和矿物岩石的物理化学性质,主要表现为粘度和强度降低,扩散速率和电导率提高,地震波衰减,以及液相线温度降低等,不同的金属则可伴随流体性质演化的不同阶段发生活化 and 沉淀^[15];

而且,当从超临界流体状态迅速膨胀到低压、低温的气体或液体状态,原流体中溶质的溶解度急剧下降而迅速成核和生长成微粒而沉积^[23]。因此,地球物理实测的低速柱对应抽象的地幔柱,表现为地幔流体作用的综合效应,并通过超临界流体的地球化学行为而实现,它是深部过程—流体作用—成矿叠加三者之间联系的纽带。

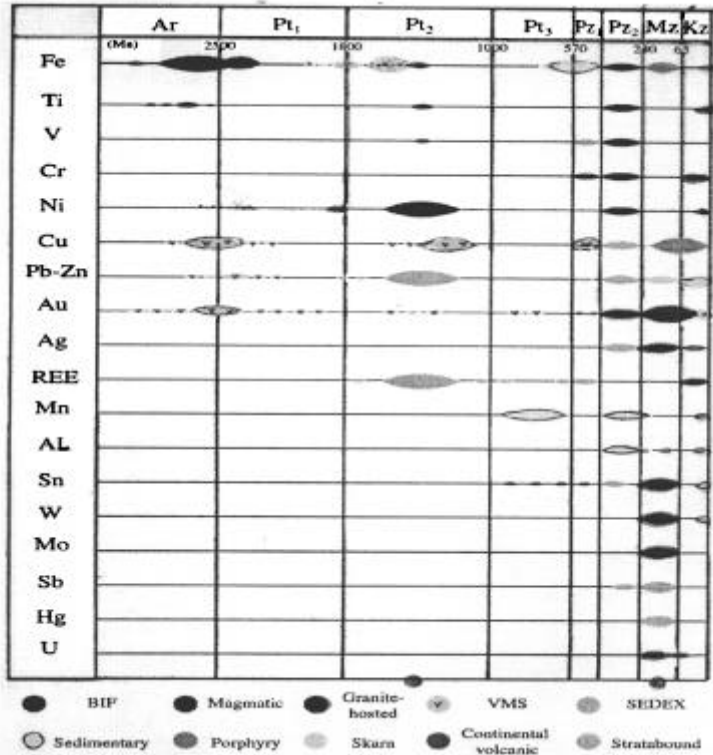


图3 中国各主要类型大型矿床的成矿时代分布(转引自翟裕生,2003)

Fig.3 Diagram of distribution of metallogenic epochs for main types large ore deposits in China (from Zhai Yusheng, 2003)

3.2 地幔柱与地幔流体作用的深部成矿机制

滇黔桂微细浸染型金矿是我国重要的金矿类型和产出地区,位于扬子地台与华南加里东褶皱系的结合部位,属滇黔桂裂谷^[24,25]。金矿体赋存于寒武系—三叠系碎屑岩和不纯碳酸盐岩中,因其成矿与岩浆作用无直接联系,所以前人研究多倾向于认为该类型金矿的形成主要是地壳热液改造地层围岩所致。但是,随着研究工作的不断深入,新的流体成矿理论的建立和完善,单一的地壳热液改造论难于解释以下基本地质事实:

(1) 在空间上,矿床的分布明显受深大断裂控制,矿体的产出又明显受次级断裂的制约,且赋矿地层具多时代、多层位特征,但同一层位,既可赋矿,也可不赋矿,如下三叠统夜郎组(T_1Y) 在紫木幽金矿是赋矿地层,而在戈塘金矿却不赋矿。因此,该类型金矿不具典型层控特征,不存在特定的矿源层^[26]。

(2) 在黔西南和桂西北分别发现呈岩墙和岩脉状零星产出的燕山期偏碱性超基性侵入岩与石英斑岩和花岗斑岩^[27]。配合最新地球物理资料^[28],证明该区大面积隐伏有超基性—基性—酸性岩浆岩,并

对应地幔上隆、磁异常及地热场^[29],显示成矿与热点和地幔柱活动有关。

(3) 根据多种方法测定和分析确认^[30,31],该类型金矿的成矿年龄基本限定在燕山晚期至喜山早期,即不同层位产出的金矿床成矿时代基本一致。由此表明,该类型金矿应有统一的成因机制,其基本成因特征在于控制裂谷和金矿分布的断裂构造具壳幔贯通性,它们是深源矿质和流体通过地幔柱和地幔流体作用直接进入地壳与浅源矿质和流体混染并交代岩石成矿的有利通道,在垂向上形成一个与地幔流体作用有关的上升成矿体系。在系统地质—地球化学研究基础上,采用硅同位素结合硅质阴极光研究进一步证明^[26], SiO_2 沉淀量与矿质沉淀量成正比,而深部有利溶矿构造中 SiO_2 沉淀量明显高于浅部,这不仅意味着有一定深度和埋藏封闭是成矿的有利条件,更重要的是揭示了在一定深度容矿构造中幔源与壳源矿质通过流体与岩石之间的相互作用是形成大型和超大型矿床的重要地球化学背景。显然,该类型金矿应具有较好的潜在深部找矿远景。近年来的勘探工作已揭示黔西南贞丰县烂泥沟金矿已在大于 800 m 深处发现高品位原生矿石,金矿规模已被定为超大型,基本证实了理论研究推断。

3.3 熔体向液体转换的成矿过程

滇黔桂微细浸染型金矿主要表现热液作用特征,这已是不争的事实。然而,热液的性质如何?即热液中是否有地幔流体参与?地幔流体参与成矿的作用有多大?则是各家认识差异的焦点。

已有研究表明^[32],该类型金矿原生矿石中的金主要以不可见微细浸染状赋存于富砷的黄铁矿和毒砂中。然而,更值得注意的是,在含砷的硫化物中,经电子探针成分测定证实,在成矿蚀变凝灰岩中,发现了与闪锌矿共生的辉砷钴矿(CoAsS)晶体(图 4 照片 1),它的出现标志热液中含有相当浓度的 Co,这从矿物成分上揭示了成矿热液的幔源特征。此外,辉砷钴矿晶体在正交偏光下全消光,具等轴晶系对称,表明结构中各元素呈无序分布。幔源成矿热液上升充填时的温度至少不低于 300 。

地球的不均匀增长理论认为^[33],地幔流体伴随地球的形成和发展表现为由挥发分少的富金属的还

原态向富 C-H-O 挥发分的氧化态演化,地核分离可能是发生在富金属的还原态阶段,而增长则是发生在富挥发分的氧化态阶段。Jana 等^[34]通过实验研究发现,幔源 C-H-O 流体的不同组合所具有的氧化还原性质对所含金属成分的分配影响很大,当流体具氧化性质时,金属容易进入碳酸盐熔体,当流体处于还原性质时,金属则易保持在金属熔体中。因此,该类型金矿原生矿石中的金主要赋存于金属硫化物中,表明幔源含矿流体在与地壳岩石作用成矿时具有还原性质。

图 4 照片 2 至照片 4 显示由成矿蚀变围岩到矿质原生矿石中的热液硅化石英中黄铁矿和毒砂等硫化物呈固熔体分离溶出的渐变过程。这一结构现象表明,富含 SiO_2 和硫化物成分的幔源成矿流体,初始为熔浆,在沿深大断裂通道上升运移过程中,伴随壳幔相互作用,熔浆逐步转化为具还原性质的超临界流体直至液相流体,这种熔浆至液相流体的演变可以对应地幔柱作用向地幔流体作用的演变。这一演化作用过程,可以发生在岩体附近,表现由高温到低温的系列成矿效应;也可能发生在远离岩体的地层岩石中,表现中低温至低温流体成矿特征。云南滇西地区新生代成矿特征也较好地体现了熔浆至液相流体的演化作用过程^[22]。

4 结 语

综上所述表明,地幔柱与地幔流体作用是两个既有区别,又有联系,不可截然分开的深部地质作用的表现形式,在其作用过程中,流体的性质可以伴随沿深大断裂通道上升运移,与壳源矿质和流体混染叠加导致物理化学条件变化,由熔浆流体向超临界流体直至液相流体演变,其幔源流体作用与成矿的关系表现为:构造通道和岩性赋矿条件是决定赋矿部位的主要因素,成矿规模受制于幔源与壳源矿质和矿化剂的叠加程度,而形成矿种则受制于混合流体获取的矿质种类及其运移过程中流体温压和赋矿部位的变化,并由此导致的系列成矿效应。这一成矿过程,不仅具有深部成矿条件,而且具备形成大型和超大型矿床的重要地球化学背景。因此,凡是具备构造控矿、多因耦合、多源叠加的矿床,必然具有沿深大断裂分布的深部成矿潜力和深部找矿远景。

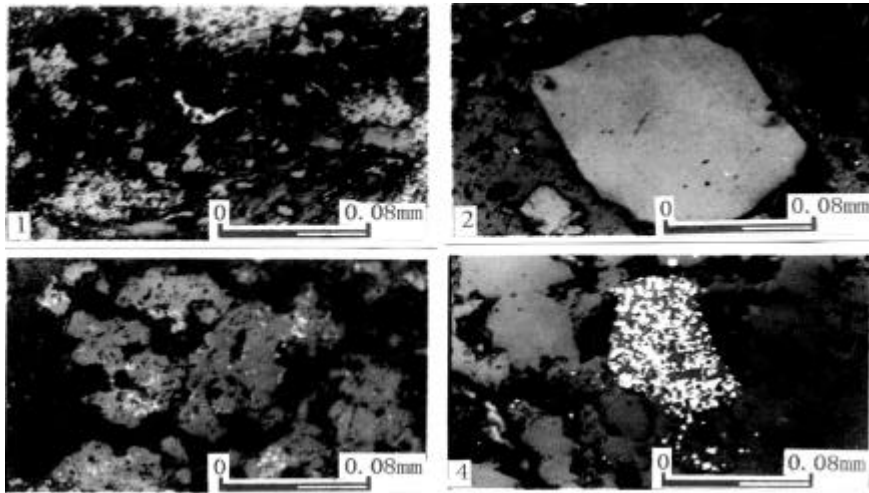


图4 微细浸染型金矿成矿热液蚀变岩(矿石)中的辉砷钴矿晶体及硅化石英与硫化物的固熔体分离溶出渐变现象

Fig.4 Cobaltite and gradual change of unmixing of solid solution for silicified quartz - sulfide in ore-bearing hydrothermal altered rocks (ores) from Carlin - type gold deposits

照片1 成矿蚀变凝灰岩中与闪锌矿共生的辉砷钴矿晶体

Photo.1 Cobaltite coexisting with sphalerite in ore - altered tuff

照片2 强硅化蚀变岩中硅化石英晶体含固熔体分离的微条纹状硫化物晶体(-) 10×16

Photo.2 Fine - striae sulfide of unmixing of solid solution in silicified quartz from strong silicified rocks.

照片3 成矿蚀变凝灰岩中硅化石英晶体含固熔体分离的蠕虫状硫化物晶体(+) 10×16

Photo.3 Vermiform sulfide of unmixing of solid solution in silicified quartz from ore - altered tuff

照片4 砷质原生矿石中硅化石英含固熔体分离的细粒黄铁矿和细针状、茅头状毒砂晶体(-) 10×16

Photo.4 Fine granular pyrites and fine needle and spear arsenopyrite of unmixing of solid solution in silicified quartz from arsen - primary ores

参考文献(References) :

- [1] Wilson J Tuzo. A possible origin of the Hawaiian islands [J]. Canadian Journal of Physics, 1963, 41: 863-870.
- [2] Xu Yigang(徐义刚). Melt - rock interaction in the upper mantle and the evolution of continental mantle [J]. Earth Science Frontiers (地学前缘), 1998, 5(supp): 76-85 (in Chinese).
- [3] Wang Denghong(王登红). The Mantle Plume and its Metallogeny [M]. Beijing: Seismological Press, 1998. 120-160.
- [4] Zhu Bingquan(朱炳泉), Chang Xiangyang(常向阳), Hu Yaoguo(胡耀国), et al. Geochemical steep zones and resource systems of mantle plumes [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry (矿物岩石地球化学通报), 2003, 22(4): 287-293 (in Chinese).
- [5] Wang Denghong(王登红). An approach about some problems in the study of mantle plume [A]. Contribution of Academic Discussion in Emei Mantle Plume and Effect of Resource Environment [C]. Chengdu, 2003. 45-56 (in Chinese).
- [6] Zhang Ronghua(张荣华), Hu Shumin(胡书敏), Wang Jun(王军), et al. Investigations of influx of deep fluids carrying metal to earth crust and its experiments study [J]. Mineral Deposits (矿床地质), 2002, 21(supp): 095-1098 (in Chinese).
- [7] Ripley E M, Lambert D D, Frick L R. Re - Os, Sm - Nd, and Pb isotopic constraints on mantle and crustal contributions to magmatic sulfide mineralization in the Duluth complex, Midcontinent Rift, Minnesota [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1998, 62: 349-3365.
- [8] Nicholson S W, Shirey S B. Midcontinent rift volcanism in the Lake Superior region: Sr, Nd, and Pb isotopic evidence for a mantle plume origin [J]. Journal of Geophysical Research, 1990, 95: 851-10868.
- [9] Shirey S B, Kiewit W, Bery J H, et al. Temporal changes in the sources of flood basalts: isotopic and trace element evidence from

- the 1100 Ma old Keweenaw Magnetite Formation, Ontario, Canada [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1994, 58: 4475-4490.
- [10] Zhu B Q, Hu Y G, Zhang Z W, et al. Discovery of the copper deposits with features of the Keweenaw type in the border area of Yunnan-Guizhou Provinces [J]. *Science in China (D)*, 2003, 46(supp): 60-72 (in Chinese).
- [11] Ho E S, Mauk J L. Relationship between organic matter and copper mineralization in the Proterozoic Nonesuch Formation, northern Michigan [J]. *Ore Geology Reviews*, 1996, 11: 71-82.
- [12] Spera F J. Dynamics of trans-lithospheric migration of metamorphic fluid and alkaline magma [A]. Menzies M A, et al, eds. *Mantle Metasomatism* [C]. London: Academic Press Geology Series, 1987, 1-20.
- [13] Peacock S M. Fluid processes in subduction zones [J]. *Science*, 1990, 248: 329-337.
- [14] Philippot P. Trace element enrichments in eclogite veins: Implications for fluid composition and transport during subduction [J]. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 1991, 106: 417-430.
- [15] Su Genli (苏根利), Xie Hongsen (谢鸿森), Ding Dongye (丁东业), et al. Physicochemical properties of supercritical water and their significance [J]. *Geology-Geochemistry (地质地球化学)*, 1998, 26(2): 83-89 (in Chinese).
- [16] Cao Ronglong (曹荣龙), Zhu Shouhua (朱寿华). The mantle fluid and metallogeny [J]. *Advance in Earth Sciences (地球科学进展)*, 1995, 10(4): 323-329 (in Chinese).
- [17] Du Letian (杜乐天). The relationship between crust fluids and mantle fluids [J]. *Earth Science Frontiers (地学前缘)*, 1996, 3(3-4): 172-180 (in Chinese).
- [18] Du Letian (杜乐天). Mantle fluids, and magma origin of basalts and alkaline rocks [J]. *Earth Science Frontiers (地学前缘)*, 1998, 5(3): 145-157 (in Chinese).
- [19] Sun Fengyue (孙丰月), Shi Zhun li (石准立). Discussion of some geologic processes between mantle C-H-O fluids and hydrocarbon [J]. *Earth Science Frontiers (地学前缘)*, 1995, 2(1-2): 167-174 (in Chinese).
- [20] Dawson J B. Contrasting types of upper mantle metasomatism [A]. In: Komar J ed. *Kimberlites: The Mantle and Crust - Mantle Relationships* [C]. Amsterdam: Elsevier, 1984. 289-294.
- [21] Xie Rongju (谢荣举), Peng Shenglin (彭省临). Potash alteration and metasomatism and their implications to mineralization [J]. *Geotectonics and Mineralization (大地构造与成矿学)*, 1998, 22(3): 274-279 (in Chinese).
- [22] Liu Xianfan (刘显凡), Liu Jiaduo (刘家铎), Zhang Chengjiang (张成江), et al. Effect of series mineralization of mantle fluid metasomatism [J]. *Mineral Deposits (矿床地质)*, 2002, 21(supp): 1002-1004 (in Chinese).
- [23] Zhu Ziqiang (朱自强). *The Technology of Supercritical Fluids. Principle and Applying* [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2000. 1-517 (in Chinese).
- [24] Liu Huaizhi (柳淮之). Mineralization in Yangtze platform rift and mineralization [J]. *Journal of Guilin Institute of Metallurgical Geology (桂林冶金地质学院学报)*, 1994, 14(1): 10-20 (in Chinese).
- [25] Zhu Lam in (朱赖民), Liu Xianfan (刘显凡), Jin Jingfu (金景福), et al. The study of the time-space distribution and source of ore-forming fluid for the fine-disseminated gold deposits in the Yunnan-Guizhou-Guangxi area [J]. *Scientia Geologica Sinica (地质科学)*, 1998, 33(4): 463-473 (in Chinese).
- [26] Liu Xianfan, Ni Shijun, Lu Qixia, et al. Geochemical tracing of ore-forming material sources of carlin-type gold deposits in the Yunnan-Guizhou-Guangxi triangle area [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1999, 73(1): 30-39.
- [27] Yang Keyou (杨科佑), Chen Feng (陈丰), Su Wencha (苏文超), et al. Carlin-type gold deposits in the Yunnan-Guizhou-Guangxi area: Geological-geochemical characters and prospecting. A Comparative study of Chinese and Canadian Gold Deposits [M]. Beijing: Seismological Press, 1994. 17-30 (in Chinese).
- [28] Wang Yangeng (王砚耕), Wang Liting (王立亭), Zhang Mingfa (张明发). Structure of the shallow crust and the distribution model of gold deposits in the Nanpanjiang region [J]. *Guizhou Geology (贵州地质)*, 1995, 12(2): 79-100 (in Chinese).
- [29] Zhu Lam in (朱赖民), Jin Jingfu (金景福), Liu Xianfan (刘显凡), et al. On the possibility of the participation of juvenile fluids in the gold deposit formation in southwest Guizhou [J]. *Geological Review (地质论评)*, 1997, 43(6): 586-592 (in Chinese).
- [30] Zhang Feng (张峰), Yang Keyou (杨科佑). A Study of metallogenic epochs of tectonic track for the micro-disseminated gold deposits in western Guizhou [J]. *Chinese Science Bulletin (科学通报)*, 1992, 37(17): 1593-1595 (in Chinese).
- [31] Hu Ruizhong (胡瑞忠), Su Wencha (苏文超), Li Zeqin (李泽琴), et al. A possible evolution path of the ore-forming hydrothermal solution for micro-disseminated gold deposits in the Yunnan-Guizhou-Guangxi Triangle Area: Geochronological evidence [J]. *Acta Mineralogica Sinica (矿物学报)*, 1995, 15(2): 144-149 (in Chinese).
- [32] Liu Xianfan, Ni Shijun, Jin Jingfu, et al. On the mechanism of transformation from primary ores into oxidized ores in finely disseminated gold deposits [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1998, 72(3): 291-298.
- [33] Chen Jinyang (陈晋阳), Zheng Haifei (郑海飞), Zeng Yishan (曾贻善). Study of C-O-H fluids under high-temperatures and high-pressures [J]. *Geology-Geochemistry (地质地球化学)*, 2002, 30(1): 91-96 (in Chinese).
- [34] Jana D, Walker D. Core formation in the presence of various C-O-H volatile species [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1999, 63(15): 2299-2310.

THE PROCESSES OF MANTLE PLUME AND MANTLE FLUID AND THEIR APPLYING STUDY FOR THE DEEP PROSPECTING

LIU Xian-fan , LIU Jia-duo , ZHANG Cheng-jiang ,
W U De-chao , LI You-guo , YANG Zheng-xi
(Chengdu University of Technology , Chengdu 610059 , China)

Abstract The earth is a complicated system , and it has been continuously moving , differentiating and evolving since it had been formed . Not only has the earth layering structure , but it has vertical movement of materials . The movement is prompted by the mechanism of force and heat of the centrifugal force to be formed by the rotation and revolution of the earth , and difference of temperature , pressure , density , viscosity and velocity in the between core and mantle , and radioactive heat , et al . The expressive means of the mechanism of force and heat are the processes of mantle plume and mantle fluid . Not only are ore-materials of core and mantle carried directly into crust , but ore-materials of crust are activated and accumulated into proper location by the mantle fluid having the supercritical nature . Therefore , in general , the mineralization of the deposits , which are controlled by the deep and large fractures , are related closely to materials vertical movement and maybe have the condition of ore-forming in deep . On the basis of the study in processes of mantle plume and mantle fluid , in this paper , geochemical background forming large and superlarge deposits are approached , and the potential reserve for deep prospecting are brought to light .

Key words Mantle plume ; Mantle fluid ; Geochemistry ; Superlarge deposits ; Deep prospecting .