冀西石湖金矿成矿物质来源及成矿作用探讨

陈 超[1] 牛树银[1] 王宝德[1] 孙爱群[1] 马宝军[1] 王文学[2] 高银仓[2]

(1. 石家庄经济学院资源学院,河北 石家庄 050031;2. 石家庄综合地质大队,河北 石家庄 050081)

提要:石湖金矿 101、116 矿脉深部延伸稳定,品位有所提高,产状变化不大,由于深部探矿进展较好,而使其成为太行山中段大型金矿。石湖金矿的矿脉明显受断裂构造控制,总体属岩浆期后热液石英脉-断裂构造蚀变岩型矿床。本文采用幔枝构造新视角开展研究,通过对地质背景研究及铅、硫、硅、碳、氢、氧同位素的分析表明:石湖金矿成矿物质主要来源于地球深部,成矿溶液主要为岩浆水,混有部分大气水。进而探讨了其成矿作用,建立了成矿模式,提出了具体找矿建议。

关 键 词:幔枝构造;成矿作用;物质来源;同位素;麻棚岩体;石湖金矿

中图分类号:P618.51;P611 **文献标志码**:A **文章编号**:1000-3657(2009)06-1340-10

近年来,冀西太行山中段金银矿地质找矿工作进展很快,迄今已发现金银矿床 7 处。石湖金矿是该区大型金矿,且深部、外围找矿潜力较大,许多单位在此做过大量工作,众多学者[1-10]对本区矿田构造、成矿规律、矿床成因、金的赋存状态等方面也做过大量的研究工作。

虽然本区积累了大量的地质资料,但对典型矿床的解剖不够系统,也尚未建立系统的成矿模式,特别是成矿物质来源的专题研究尚不够深入,本文拟采用幔枝构造新视角,通过深部流体研究,探讨成矿物质来源及其成矿作用。

1 成矿地质背景

区域上出露地层主要为中太古宇阜平群的中-高级变质岩系,主要岩石类型为黑云斜长片麻岩、角闪黑云斜长片麻岩、浅粒岩、斜长角闪岩和大理岩。原岩主要为陆源碎屑岩夹镁质碳酸盐,变质程度主要为高角闪岩相。

岩浆活动以燕山期侵入岩为主,区内较大的侵入岩体为麻棚岩体。其产出受 NNE 向紫荆关—灵山深大断裂和 NW 向断裂控制[11],与围岩阜平群呈侵入接触关系,出露形态呈鞋底状,面积约 65.0 km^2。岩体形成 5 个脉动单元,从外到内侵位时代由早到晚(151~119 Ma),一起构成从中基性向酸性过渡的同源岩浆演化序列[12]。此外,在麻棚岩体的外围发育有大量燕山晚期的 NW、SN、NE 向延伸的岩脉,其岩性主要为花岗斑岩、闪长玢岩、辉绿岩等。

区域构造运动以阜平运动和燕山运动表现比较强烈,褶皱、断裂构造均较为发育。褶皱构造可划分为 5 个期次;断裂构造以燕山期断裂构造表现最为明显,它们利用和改造了原有构造,以 NE 向、NW 向及近 SN 向断裂为主。同时,它们又是重要的导矿和储矿构造。

区域上矿点众多,有金矿、银矿、铅锌矿等,从幔枝构造理论的角度,它们位于阜平幔枝构造的不同部位。阜平幔枝构造成矿区是华北地幔亚热柱成矿域的组成部分,位于太行山中—北段涞源—阜平—平山一带,主体为阜平隆起,可划分为核部岩浆-变质杂岩金(铜)矿成矿亚区,已知金(铜)矿床(点)100 多处。矿床类型主要为剪切带型、断裂蚀变岩型和石英脉型,如石湖、土岭、西石门、李家庄、栗树槽、秋树林、北营西沟、秋卜硐等金银多金属矿床;外围拆离

收稿日期:2009-03-23;**改回日期**:2009-06-22

基金项目:国家自然科学基金(40872137、40272088)、河北省自然科学基金(D2007000751、D2008000534)项目资助。

作者简介:陈超,男,1981 年生,硕士,主要从事深部成矿机理与勘查研究;E-mail:goldcc@163.com。

通讯作者简介:牛树银,男,1952 年生,教授,主要从事构造地质学与构造成矿的教学与科研工作;E-mail:niusy@sjzue.edu.cn。

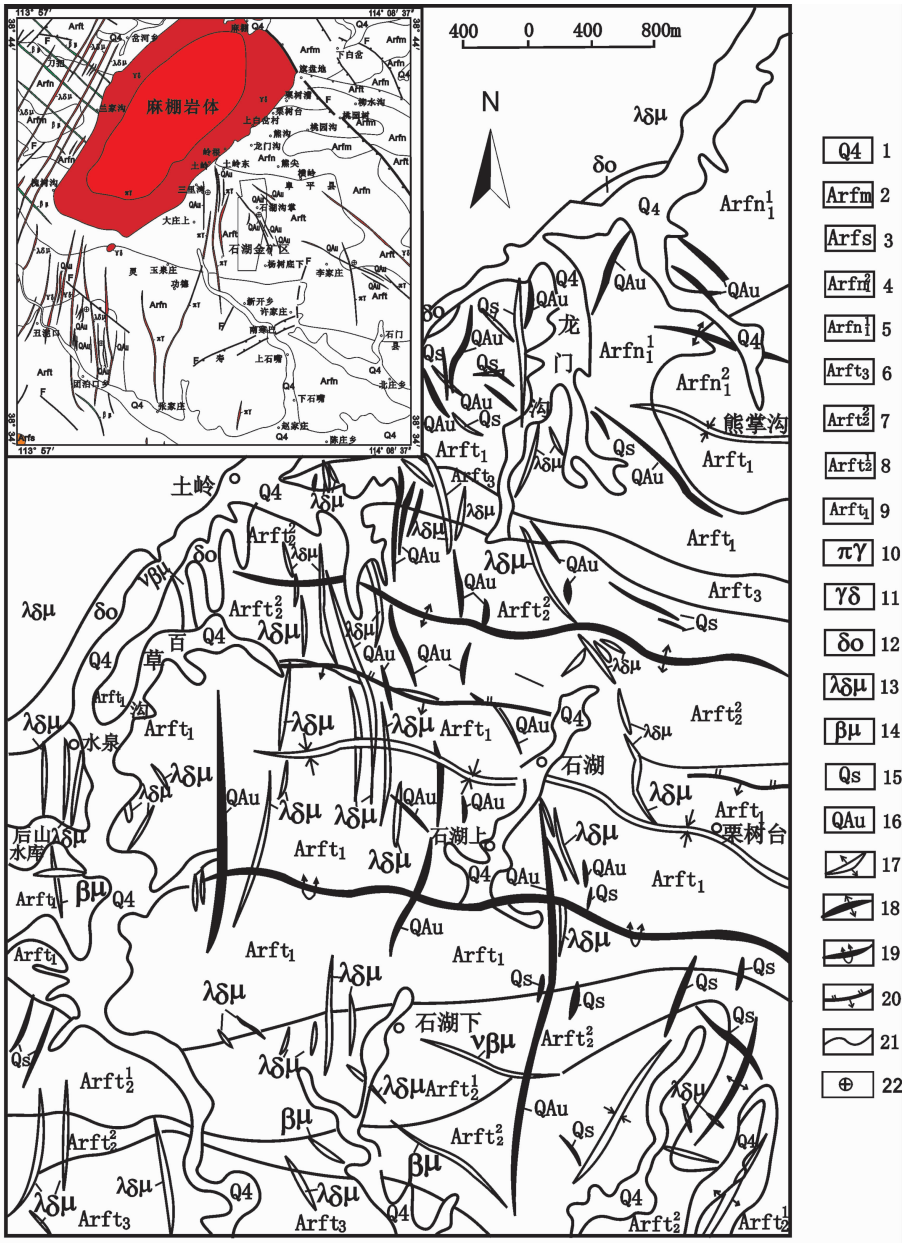

图 1 石湖金矿地质简图

1—第四系;2—漫山组;3—索家庄组;4—南营组下段(上亚段):黑云斜长片麻岩;5—南营组下段(下亚段):黑云斜长片麻岩夹斜长角闪岩;6—团泊口组上段:黑云斜长片岩,顶部为大理岩;7—团泊口组中段(上亚段):黑云斜长片麻岩夹斜长角闪岩;8—团泊口组中段(下亚段):黑云斜长片麻岩夹钾长浅粒岩;9—团泊口组下段:黑云斜长片麻岩;10—斑状花岗岩;11—花岗闪长岩;12—石英闪长岩;13—石英闪长玢岩;14—辉长辉绿岩;15—石英脉蚀变破碎带;16—含金石英脉;17—向斜;18—背斜;19—倒转背斜;20—逆冲推覆断层;21—地质界线;22—矿点

Fig.1 Geological sketch map of the Shihu gold deposit

1−Quaternary; 2−Manshan Formation; 3−Suojiazhuang Formation; 4−Lower Member (Upper Submember) of Nanying Formation: biotite plagioclase gneiss; 5−Lower Member (Lower Submember) of Nanying Formation: biotite plagioclase gneiss intercalated with amphibolite; 6−Upper Member of Tuanbokou Formation: biotite plagioclase gneiss with marble at the top; 7−Middle Member (Upper Submember) of Tuanbokou Formation: biotite plagioclase gneiss intercalated with amphibolite; 8−Middle Member (Lower Submember) of Tuanbokou Formation: biotite plagioclase gneiss intercalated with K−feldspar leucogranulitite; 9−Lower member of Tuanbokou Formation: biotite plagioclase gneiss; 10−Porpyritic granite; 11−Granodiorite; 12−Quartz diorite; 13−Quartz diorite porphyrite 14−Dolerites; 15− Quartz vein−bearing altered shatter zone; 16−Auriferous quartz vein; 17−Syncline;18−Anticline; 19−Reverse anticline; 20−Thrust nappe fault; 21−Geological boundary; 22−Ore spot

滑脱层与上叠断陷盆地银铅锌矿成矿亚区，已知银铅锌矿床(点)50 多处。矿床类型主要为拆离带型和断陷盆地次火山岩裂隙型，如涞源县镰巴岭、浮图峪等及灵丘县支家地、刁泉、硐沟等大、中型银(铅锌)、铜多金属矿床(点)。阜平幔枝构造成矿区，金、银铅锌矿床成矿作用表现出明显的时空分布与演化规律。

2 矿床地质特征

石湖金矿区域上位于太行山隆起中北段阜平幔枝构造轴部，燕山期麻棚岩体东侧，行政属河北灵寿县，矿床规模达到大型，是太行山中段重要的金矿资源基地(图 1)。1992 年建立国有矿山，2008 年矿山进行机构重组，改制为中国黄金集团石湖矿业有限公司。

区内变质作用及混合岩化作用强烈，出露的地层主要为太古宇阜平群团泊口组、南营组片麻岩系。总体而言，岩性从下部往上，依次为斜长角闪岩、黑云斜长片麻岩、钾长浅粒岩夹含矽线石石英球集合体的钾长浅粒岩-斜长角闪岩、大理岩；燕山期的构造-岩浆活动强烈，在区内西北部主要形成了麻棚岩体及一系列与岩体有关的近 SN 向不同岩性岩脉；区内构造主要以太古宇 NWW 轴向的石湖背斜及韧性剪切变形带和燕山期的 NW、近 SN、NNE 向断裂为格架。

2.1 矿体的特征及产状

石湖金矿目前已发现 50 余条矿化断裂蚀变带中，已有工程控制和已经开采的为 101、102、115、116 等矿脉。矿脉走向多为 340°~20°，倾向西或东，倾角 65°~90°，受 SN、NW 断裂严格控制。矿体长度一般几百米至上千米，最长 3200 m，目前开采最大延深可达 420 m。矿体平均厚度 0.452~2.04 m，Au 的品位为 3.52×10^{-6}~27.9×10^{-6}。矿体呈脉状、薄板状、透镜状，具分支复合，尖灭再现的特点。

2.2 矿石特征

矿石矿物成分比较复杂，以黄铁矿、方铅矿等金属硫化物为主；脉石矿物主要为石英、绿泥石、斜长石、绢云母、方解石、钾长石。矿石的主要结构有自形晶粒结构、半自形-他形晶粒结构、侵蚀结构、交代残余结构等。矿石构造以角砾状、细脉状、浸染状构造为主。金主要以银金矿或自然金嵌布于金属硫化物及石英中，粒度多在 0.022~0.3 mm，嵌布方式有粒间金、裂隙金和少量包裹金，金成色一般为 360~807，平均 654。

2.3 围岩与矿化

与成矿关系密切的围岩蚀变有硅化、绢云母化、黄铁绢英岩化和绿泥石化。它们在空间上形成明显分带，从矿脉向围岩依次为硅化带-绢英岩化带-碳酸盐化带-绿泥石化带。但分带不对称，有的分带也不完全。围岩蚀变的规模、产状及其分带无一例外地受控矿构造控制。矿化强度与硅化、黄铁绢英岩化关系最密切，它们的蚀变带宽度及强度与金矿化强度成正比。

2.4 地球化学特征

矿区与金矿成矿有关的元素主要有 Hg、Ag、As、Sb、Bi、Cu、Pb、Zn、Co、Ni 等，各类岩石其他微量元素含量与其矿物组成有关。通过对石湖金矿区 3 条勘探线深部(纵向)构造带(钻孔中)地球化学样品的相关性统计分析[13]表明，Au 与 Bi、Pb、Ag 显正相关，Au 与 Bi 相关系数竟达 0.941，说明它们在深部成矿过程中为同生富集。Pb、Ag 与 Au 相关系数稍低，为伴生富集，反映了矿脉多呈黄铁矿多金属硫化物-含金石英脉矿石的特点。

3 成矿物质来源探讨

成矿物质来源一直是困扰成矿理论和找矿靶区优选的关键问题，也一直是地质学家关注并努力探索的重要地学命题之一。弄清楚成矿物质来源的问题，对于分析成矿作用和建立成矿模式具有举足轻重的意义，目前研究成矿物质来源比较有效的方法仍是同位素地球化学特征。

3.1 硫同位素特征

通过对石湖金矿矿石(黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿)样品的硫同位素分析，同时兼顾收集到其他学者的相关资料，可以发现本矿区硫同位素有如下特征(表 1)：

(1)本矿区 $\delta^{34}S_{V-CDT}$(‰)的范围为-1.2~3.0，位于地球深部岩浆硫(-5~5)范围之内，尤其 Fsh-17 样品 $\delta^{34}S_{V-CDT}$(‰)的范围为-1.2~0.6，平均值-0.43，极差 1.8，均一化程度较高，说明成矿物质来源于地球深部的特征。

(2)本矿区硫化物硫同位素值具有 $\delta^{34}S_{黄铁矿}$(‰)>$\delta^{34}S_{黄铜矿}$(‰)>$\delta^{34}S_{方铅矿}$(‰)的演化趋势，表明硫同位素反应基本达到了平衡。

(3)从矿区硫同位素的示踪，可以说明本矿区成

表 1 石湖金矿硫同位素特征

Table 1 Sulfur isotope features of the Shihu gold deposit

原样号	矿区	样品名称	$\delta^{34}S_{V\text{-}CDT}$/‰	资料来源
Fsh-17	石湖金矿	黄铁矿	0.6	本课题组
Fsh-17	石湖金矿	方铅矿	−1.2	
Fsh-17	石湖金矿	黄铜矿	−0.7	
Fsh-1	石湖金矿	黄铁矿	3.0	
R1	石湖金矿	黄铁矿	2.21	中南大学❶
R2	石湖金矿	黄铁矿	2.20	
R3	石湖金矿	黄铁矿	2.36	
R4	石湖金矿	黄铁矿	2.36	
R5	石湖金矿	黄铁矿	−2.15	
ZK50-7	石湖金矿	黄铁矿	1.668	冶金一局 520 队❷
ZK50-6	石湖金矿	黄铜矿	0.947	
YD2Q-3	石湖金矿	闪锌矿	2.759	
YD1-F	石湖金矿	黄铁矿	2.751	
YD3Q-3	石湖金矿	闪锌矿	4.014	
YD1-D	石湖金矿	黄铁矿	2.400	
ZK33-3	石湖金矿	方铅矿	1.581	
ZK49	石湖金矿	黄铁矿	5.037	

注:由中国地质科学院矿产资源研究所测试,2007。

矿溶液硫同位素组成具有相当均一性，来源于地壳深部或者上地幔，这一结论也得到许多学者数据的支持和论证(表 1)。

3.2 铅同位素特征

通过对本矿区矿石硫化物样品(4 件)进行铅同位素测试(表 2),结合太行山科研队对本矿区的科研成果,经统计分析,可以发现本矿区铅同位素有如下特征:

本次测试的铅同位素数据，可以发现本矿区的铅同位素值大体非常接近，极差极小，其中 $^{206}Pb/^{204}Pb$ 值范围为 15.981~16.208,极差仅为 0.327;$^{207}Pb/^{204}Pb$ 值范围为 15.164~15.204，极差仅为 0.04;$^{208}Pb/^{204}Pb$ 值范围为 36.847~37.176,极差为 0.329。

根据铅同位素组成在演化曲线上 (Doe 和 Zartman [14])的投点位置可以看出(图 2):矿石中铅主要落在地幔附近和地幔与下地壳之间，均表明成矿物质为深部来源。需要说明的是,5 号样品的铅落在上地壳以上,由于本矿区成矿为多期次,推测该期成矿流体在自深部上升途中，其混入壳源物质较多造成。

3.3 硅、氧同位素特征

本矿区硅质岩中石英的 $\delta^{30}Si$(‰)变化范围仅仅在 0.1~0.5 很窄的区间内,平均值为 0.23(表 3)。位于热液来源(−1.5~0.8)和生物成因硅质岩(−1.1~1.7)范围内,接近火山喷发-化学沉积硅质岩(−0.4~−0.5),而与交代成因硅质岩(2.4~3.4)相差甚远(根据 Clayton 等 [15]、Douthitt [16]、丁悌平等 [17])。目前为止，太行山地区硅质岩中至今尚未发现硅藻

表 2 石湖金矿铅同位素特征

Table 2 Lead isotope features of the Shihu gold deposit

原样号	取样地点	样品名称	铅同位素组成			资料来源
			$^{206}Pb/^{204}Pb$	$^{207}Pb/^{204}Pb$	$^{208}Pb/^{204}Pb$	
Fsh-17	石湖金矿	闪锌矿	16.006	15.168	36.892	本课题组
Fsh-17	石湖金矿	方铅矿	16.049	15.179	36.900	
Fsh-17	石湖金矿	黄铜矿	16.208	15.204	37.176	
Fsh-1	石湖金矿	黄铁矿	15.981	15.164	36.847	
ST430	石湖 101 脉 560 中段	硅化岩中黄铁矿	16.559	15.667	38.496	太行山科研队❸
ST380	石湖 108 脉东侧	石英闪长玢岩	16.469	15.115	37.202	
TL447	土岭东沟	硅化岩中方铅矿	16.374	15.294	37.251	
XcT392	麻棚岩体	斑状二长花岗岩	16.365	15.223	37.033	
TZ8415	阜平上白岔	方铅矿	16.121	15.274	37.010	

注:由中国地质科学院矿产资源研究所测试,2007。

❶中南大学.河北石湖金矿成矿规律及深边部找矿预测研究,2006.

❷冶金局 520 队.河北省灵寿县新开乡土石金矿区矿段中间勘探地质报告,1990.

❸太行山科研队.太行山构造岩浆带对金属矿的控制研究,1993.

表 3 石湖金矿硅氧同位素特征

Table 3 Silicon and oxygen isotope features of the Shihu gold deposit

样品号	矿区名称	样品名称	$\delta^{18}O_{V\text{-}SMOW}$‰	$\delta D_{V\text{-}SMOW}$‰	$\delta^{30}Si_{NBS\text{-}28}$‰	$\delta^{13}C_{PDB\text{-}}$‰
Fsh-17	石湖	石英	13.8	−87	0.1	−4.9
Fsh-17-1	石湖	石英	13.3	−89	0.1	−5.0
Fsh-18	石湖	石英	11.5	−105	0.5	

注:由中国地质科学院矿产资源研究所测试,2007。

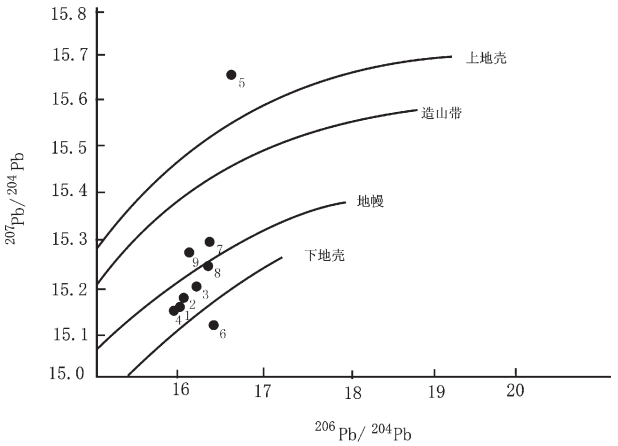

图 2 铅同位素演化图

1~4—本课题组;5~9—太行山科研队

Fig.2 The structural evolution mode of lead isotope

1~4−This paper; 5~9−Scientific Research Party of Taihangshan

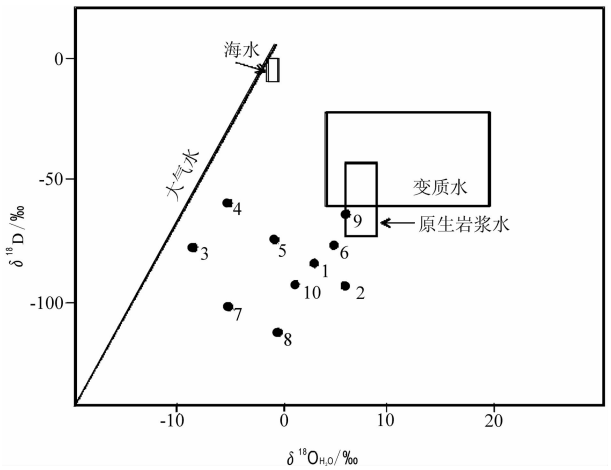

图 3 太行山中北段金矿 $\delta^{18}O$−δD 坐标图

1—石湖(燕郊队);2—石湖(太行山科研队);3—栾木厂;4—小岭根;5—大石峪;6—栗树槽;7—大湾;8—浮图峪;9—桃园;10—镰巴岭

Fig.3 $\delta^{18}O$−δD coordinate chart of gold deposits in northern and middle Taihang Mountains

1−Shihu (Geological Party of Yanjiao);2−Shihu (Scientific Research Party of Taihangshan);3−Luanmuchang; 4−Xiaolinggen;5−Dashiyu; 6−Lishucao;7−Dawan;8−Futuyu;9−Taoyuan;10−Lianbaling

等生物结构,可以排除生物成因的可能,它们应主要由岩浆热液来源 SiO_2 经化学作用形成。

本区含矿层硅质岩石英的 $\delta^{18}O$ (‰) 值为 11.5~13.8,平均值为 12.87(表 2),其值范围位于变质石英范围(11.2~16.4)一侧边部,与火成石英范围(8.3~11.2)接近(据 Clayton 等 [15]、Savin [18]),其特征与南秦岭中生代造山期岩浆活动形成的脉石英(如山阳小河口矽卡岩型铜矿床中脉石英 $\delta^{18}O$ (SMOW)=14.52‰,祁思敬等,1993)[19]较为相似,说明氧同位素组成反映研究区硅质岩具有热液来源特征。

3.4 碳氢氧同位素特征

从表 3 可以看出,本矿区的 $\delta^{13}C$(‰)值变化范围在−4.9~−5.0,平均值−4.95,接近于地幔来源,落入泰勒(1976)初生碳(−5~8)范围。与自然界某些已知地质体中的 $\delta^{13}C$(‰)值相比,本区的 $\delta^{13}C$(‰)值落入岩浆氧化态碳和岩浆成因的碳酸盐的碳同位素组成范围之内, 综合分析表明矿区的碳酸盐岩为岩浆热液成因。此外,冶金一局 520 队对矿化蚀变破碎带中的碳酸盐矿物作过碳同位素的测试,研究结果表明 $\delta^{13}C$(‰)值变化范围在−4.29~−5.90,平均值−4.91,也接近于初生碳(−5~8,泰勒,1976),从而也表明矿区的碳酸盐岩为岩浆热液成因。

将本矿区收集的氢、氧同位素平均值投点于 $\delta^{18}O$−δD 坐标图(图 3,据 Taylor [20])上,可见本矿床氢、氧同位素均在原生岩浆水附近,而远离大气水和变质水,说明成矿热液中的氢、氧同位素都来自岩浆热液源。为了对比研究,笔者还收集了太行山中北段其他一些金矿氢、氧同位素资料,数据表明太行山中北段区域上大部分矿区成矿热液都来自岩浆热液源,只有栾木厂、小岭根两矿区氢、氧同位素平均值落点靠近大气水线, 说明太行山中北段区域成矿热液主要来自岩浆热液源,有部分大气水的加入。

综上所述:通过对矿区铅、硫、硅、碳、氢、氧同位素的分析表明,成矿溶液主要来自岩浆水,可能有大

气水的加入,成矿物质主要来源于地球深部的特征。

4　成矿作用

成矿作用是矿床学研究的重点[21-27]。地壳上绝大部分地区无矿化或矿化较弱是正常的,而某些区段成矿则是异常现象,说明有成矿物质的大规模聚集。很显然,成矿作用发生的必要条件首先是成矿物质来源,而成矿物质的来源有两种基本认识:一种认为主要萃取自围岩;一种认为主要来自深源。过去曾一度下大力气寻找矿源层,但结果并不理想。而更多的证据表明成矿物质主要来自深源,甚至可能来自核-幔边界,通过地幔柱多级演化向上迁移[28-31]。幔枝构造则是地幔柱多级演化的第三级构造单元,即地幔柱多级演化在地表(壳)的表现形式[30-32]。

4.1　金的反重力迁移

成矿元素本身的特性对其的赋存状态和迁移形式具有非常重要意义[33-35]。以金为例,依据金的非专属性、金的特性及新构造出的金的原子结构模型,推测 95%以上的金都集中在地核之中,并以紫色气体状态混合于铁镍之间。在强烈的外核对流及核幔差异旋转过程中,大量的金蒸气聚集在核幔界面附近。一旦由于天文因素激发或地内因素扰动,地核物质便可穿越核幔界面,并以地幔热柱的形式向地表喷溢,金蒸气亦必然作为地幔热柱的组成成分呈反重力作用一起向上运移。当金蒸气到达地幔软流圈时,一部分金蒸气变成液态,形成气-液混合相,与地幔中的甲烷类物质(CH_4)一起,随地幔热柱多级演化继续向上运移。

这种气-液混合相金在遇到幔源深断裂、与岩浆一起上涌时,部分气-液混合相金与岩浆一起进行分异作用。在分异过程中,液态金在地表淡水作用下,可直接变成固态金;而在地表咸水(海水)作用下,往往以络合物的形式迁移,直到当有淡水或细菌(生物)等因素作用时,才开始聚集成固态金。

4.2　成矿模式

很显然,有充足的深部矿质供给、有很好的上升迁移通道和具有利的成矿储矿空间是形成大矿甚至超大型矿的充分条件。前已论述,深部成矿物质主要搭载岩浆活动,随地幔热柱多级演化向上运移。到了岩石圈浅部,金、银等矿质除了受岩浆活动影响,还会受到地壳构造应力场的控制,最终在幔枝构造的不同构造扩容带中沉淀成矿。

在幔枝构造体系中,具体的成矿控矿构造则是脆-韧性剪切带,主、次级拆离带,铲状断裂,岩体内、外接触带,次火山岩构造,不同方向、不同性质的断裂,甚至裂隙,它们分别控制着矿带、矿田、矿床、矿体、矿脉等的就位及储集,是主要的成矿控矿构造。

在太行山中段,绝大多数金、银矿床集中分布于阜平幔枝构造的轴部,以石湖金矿为例,矿体明显受断裂构造控制,总体属岩浆期后热液石英脉—断裂构造蚀变岩型矿床[8],实际上就是幔枝构造成矿控矿的典型实例。

石湖金矿的形成与区内构造-岩浆活动密切相关。进入中生代燕山期,构造活动频繁,由于区域变质核杂岩的隆升而形成阜平幔枝,同时发育 NNE、NW 向两组断裂,这两组断裂的交叉部位便很好地控制着岩体的侵位和演化。本区多阶段成矿与麻棚岩体多期次脉动演化关系十分密切,石湖金矿主成矿年龄为(120.74±0.78) Ma,略晚于麻棚岩体的主侵入时代(151~119 Ma),说明成矿流体很可能是岩浆期后热液。区域构造多阶段活动导致麻棚岩体的多期次侵入,这不仅打通了深部成矿物质迁移通道,而且在岩体外围形成了一系列构造裂隙(如近 SN 及 NW 向断裂等),构造裂隙往往被晚期岩脉充填,岩脉与围岩间的岩性强度差异形成构造薄弱地带,加之晚期构造活动出现的构造扩容作用,为深部流体的贯入与沉淀成矿提供了条件,也为本区岩浆期后的含矿流体活动提供了储集场所(图 4)。

5　找矿方向

从以上成矿作用分析,地幔热柱多级演化是金迁移、沉淀的主要外在因素,幔枝构造则是主要具体控矿构造。深部矿源的巨量供给和有利的迁移、沉淀构造空间是形成大型金矿,乃至巨型金矿带必不可少的先决条件,这对于具体的找矿方向有着重要意义。

石湖金矿区,目前已经发现 50 余条硅化石英-断裂蚀变岩型矿化带,而仅 101、116 号矿脉勘探提交黄金储量 22.28 t,加上储量正变及深部增储,两条矿脉金储量已达 30.0 t,深部和外围的找矿潜力仍然很大。根据国内外大型金矿的开采规律,从目前石湖开采中段的趋势,矿脉深部品位有变富趋势[36],深部至少还有 400 m 的纵向延伸,这与成矿物质的深部来源不无关系。而外围注意寻找其他近 SN、NW 向矿脉,特别是与其具有相同的演化特征和构

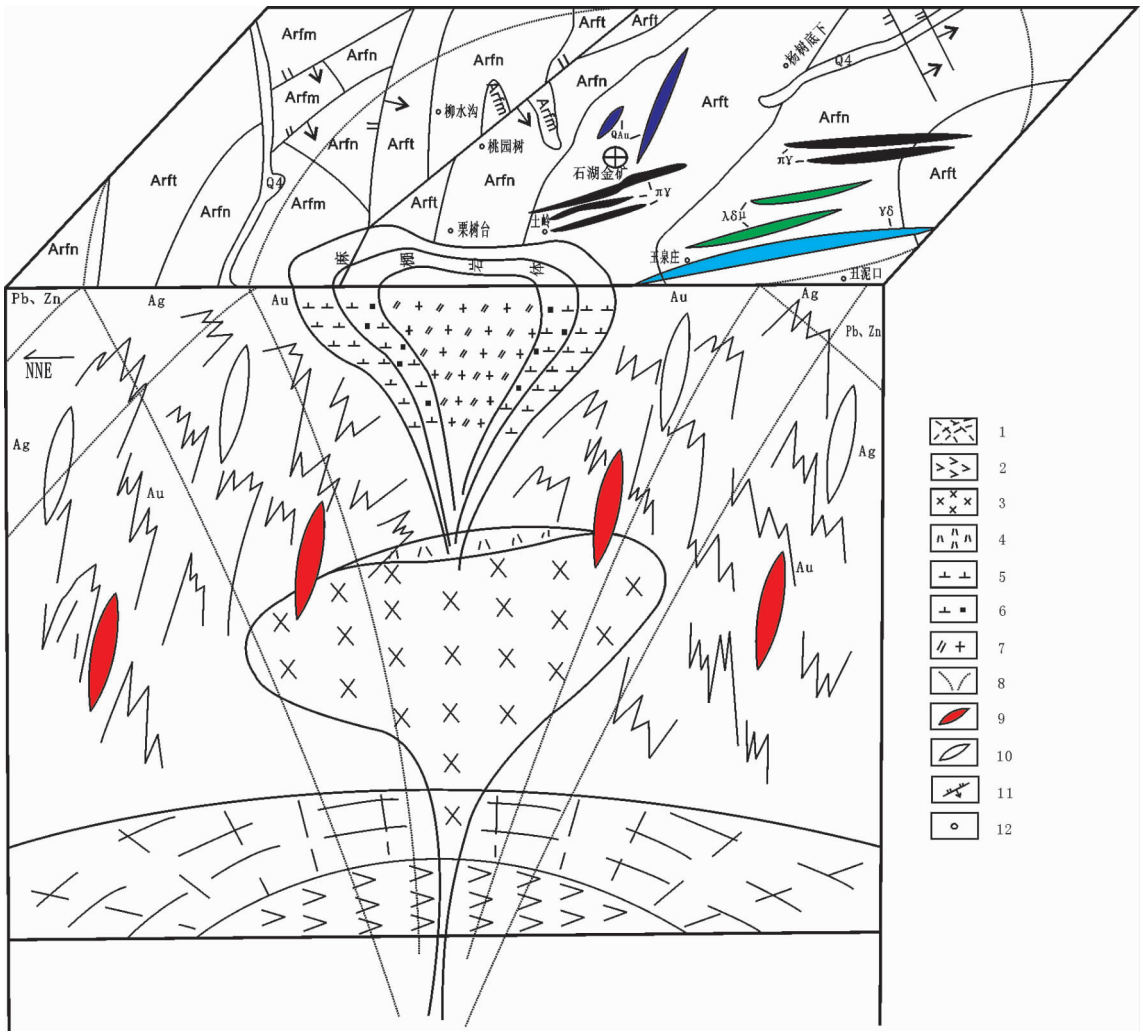

图 4 麻棚地区成矿作用与找矿方向模式(部分图例见图 1)

1—中地壳低速高导层;2—辉石岩;3—辉石闪长岩;4—辉石闪长岩上部同化混染带;5—闪长岩;6—石英闪长岩;7—斑状二长花岗岩;8—矿种分界趋势线;9—基性岩脉;10—中酸性岩脉;11—断层;12—地点

Fig.4 Metallogenic and ore-prospecting model of Mapeng area (some symbols as for Fig. 1)

1-Medium crust low-velocity high-conductivity layer; 2-Pyroxenite; 3-Pyroxene diorite; 4- Assimilation and hybridization zone in the upper part of pyroxene diorite; 5-Diorite; 6-Quartz diorite; 7-Porphyritic monzogranite; 8-Trend line of mineral species boundaries; 9-Mafic dike; 10-Intermediate-acidic dyke; 11-Fault; 12-Location

造性质,在成矿控矿特征上亦应有一定的可比性。同时,应加大研究力度,特别是加强矿田构造解剖,指导深部和外围找矿。

区域上,麻棚地区位于阜平幔枝构造轴部,从理论上讲,金、银、铅锌等成矿元素一起随地幔热柱多级演化,搭载于岩体往上迁移,而轴部主拆离带或断裂蚀变岩型矿床往往以成矿温度较高的铜金矿为主,向外逐渐过渡到成矿温度稍低的银铅锌矿为主;在剖面上,银、铅锌矿往往下面有出现金矿的可能,这与金、银、铅锌自身元素的不同地球化学“活性”有关。本区金的成矿作用明显受着构造裂隙的控制,而这种成因的构造裂隙不会孤立存在,应该多是成组出现。因此,在麻棚岩体的南侧和北西侧外围,特别是麻棚岩体侵位期后的脉岩分布区应该注意找寻相同或相近类型的金、银矿产。据已掌握情况看,麻棚岩体北西侧相对剥蚀较浅,应该注意在北营西沟、丑泥口、杨家庄、秋卜洞等构造发育,且区域地球化学组合异常明显的地区找寻银金矿,特别应注意深

部地质找矿。

参考文献(References):

[1] 牛树银, 孙爱群, 邵振国, 等. 地幔热柱多级演化及其成矿作用[M]. 北京:地震出版社, 2001:41-175.
Niu Shuyin, Sun Aiqun, Shao Zhenguo, et al. The Multiple Evolution of Mantle Plume and its Mineralization [M]. Beijing: Seismological Press, 2001:41 -175 (in Chinese with English Summary).

[2] 张亚雄, 陈松岭, 彭省临, 等. 河北灵寿县土岭—石湖金矿田控矿构造研究[J]. 大地构造与成学, 1996, 20(1):71-80.
Zhang Yaxiong, Chen Songling, Peng Shenglin, et al. Study on the gold ore structural controlling over TS ore-field, Lingshou, Hebei Province [J]. Geoteetoniea et Metallogenia, 1996, 20 (1):71-80(in Chinese with English abstract).

[3] 张亚雄, 朱惠超, 陈松岭, 等. 石湖金矿成矿规律与找矿预测[J]. 中南工业大学学报, 1995, 26(5):570-574.
Zhang Yaxiong, Zhu Huichao, Chen Songling, et al. Researches on the metallogenic regularities of the Shihu gold ore deposit and its exploration prospect [J]. Journal of Central South University of Technology (Natural Science), 1995, 26 (5):570-574 (in Chinese with English abstract).

[4] 杨殿范, 李高山, 贾克实. 河北石湖金矿区控矿构造特征与成矿预测[J]. 河北地质学院学报, 1992, 15(5):516-520.
Yang Dianfan, Li Gaoshan, Jia Keshi. The analysis of constraint character to ore deposit and forecasting of ore-forming in Shihu gold mine, Hebei Province [J]. Journal of Heibei College of Geology, 1992, 15(5):516-520(in Chinese with English abstract).

[5] 刘伟, 戴塔根, 傅文杰, 等. 冀西石湖金矿成矿流体特征 [J]. 中国地质, 2007, 34(2):335-341.
Liu Wei, Dai Tagen, Fu Wenjie, et al. Characteristics of ore-forming fluids of the Shihu gold deposit,western Hebei [J]. Geology in China, 2007, 34(2):335-341(in Chinese with English abstract).

[6] 陈锦荣. 太行山北段土岭—石湖金矿床地质特征及成因 [J]. 黄金地质科技, 1993(4):10-16.
Chen Jinrong. Geological characteristics and genesis of the TS gold deposit in the north of Taihangshan area[J]. Gold Geological Science and Technology, 1993, (4):10-16(in Chinese with English abstract).

[7] 韩进朝. 石湖金矿 116 号脉找矿前景分析 [J]. 黄金, 2002, 23(1):9-11.
Han Jinchao. Analysis of the ore-finding prospects of vein No. 116 of Shihu Gold Deposit[J]. Gold, 2002, 23(1):9-11(in Chinese with English abstract).

[8] 牛树银, 陈超, 孙爱群, 等. 冀西石湖金矿成矿地质特征 [J]. 黄金科学技术, 2008, 16(6):1-5.
Niu Shuyin, Chen Chao, Sun Aiqun, et al. Metallogenic geological characteristics of Shihu Gold Deposit in the western Hebei Province [J]. Gold Science and Technology, 2008, 16 (6):1-5 (in Chinese with English abstract).

[9] 杨殿范, 李高山, 贾克实, 等. 太行山区土岭、石湖金矿床成矿条件及成因探讨[J]. 长春地质学院学报, 1991, 21(1):47-53.
Yang Dianfan, Li Gaoshan, Jia Keshi, et al. Study on the ore-forming conditions and genesis of Tuling and Shihu gold deposit in the Taihang mountain region[J].Journal of Changchun University of Earth Science,1991, 21(1):47-53(in Chinese with English abstract).

[10] 张步升, 王守一, 李金海. 石湖金矿矿床特征及金的赋存机理研究[J]. 贵金属地质, 1997, 6(3):183-187.
Zhang Busheng, Wang Shouyi, Li Jinhai. Characterisics of deposit and occurrence of gold in Shihu gold deposit[J]. Journal of Precious Metallic Geology, 1997, 6 (3):183-187 (in Chinese with English abstract).

[11] 喻学惠, 任建业, 张俊霞. 太行山中段铜-金成矿条件及找矿方向[M]. 北京:地质出版社, 1996:61-84.
Yu Xuehu, Ren Jianye, Zhang Junxia. The metallogenic Condition and Prospecting Direction of the Copper-Gold in the Middle of Taihangshan Mountains [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1996:61-84 (in Chinese with English Summary).

[12] 王自力, 陈超, 牛树银, 等. 太行山中段麻棚岩体的成因探讨[J]. 河北地质, 2007, (4):6-9.
Wang Zili, Chen Chao, Niu Shuyin, et al. Discussion on the genesis of Mapeng granitic intrusion in the middle of Taihangshan mountains[J]. Hebei Geology, 2007, (4):6-9(in Chinese).

[13] 刘荣访. 河北省灵寿县石湖金矿的构造地球化学特征[J]. 北京地质, 2001, 13(4):13-19.
Liu Rongfang. The structurai geochemical characteristics of Shihu gold mines in Hebei Province [J]. Beijing Geology, 2001, 13(4):13-19(in Chinese with English abstract).

[14] Zartman R E, Doe B R. Plumbtectonics——The mode [J]. Tectonophysis, 1981, 75:135-162.

[15] Clayton R N, Steiner A. Oxygen isotope studies of the geothermal system at Wairakei, New Zealand [J]. Geochimca et Cosmochimca Acta, 1975, 39(5):1179-1186.

[16] Douthitt C B. The geochemistry of the stable isotopes of silicon[J]. Geochimca et Cosmochimca Acta, 1982, 46(8):1449-1458.

[17] 丁悌平, 蒋少涌, 万德芳, 等. 硅同位素地球化学[M]. 北京:地质出版社, 1994:9-88.
Ding Tiping, Jiang Shaoyong, Wan Defang, et al. Silicon Isotope Geochemistry [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1994:9-88(in Chinese).

[18] Savin S M, Epstein S. The oxygen isotopic compositions of coarse grained sedimentary rock sand minerals [J]. Geochimca et Cosmochimca Acta, 1970, 34(3):323-329.

[19] 祁思敬, 李英, 隗合明, 等. 秦岭热水沉积型铅锌(铜)矿床[M]. 北京:地质出版社, 1993.
Qi Sijing, Li Ying, Wei Heming, et al. Lead-zinc Metallogenic Belt of Devonian System in Qinling Mountians [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993(in Chinese).

[20] Taylor H P. The application of oxygen and hydrogen isolope studes to problems of hydrothermal alteration and ore deposition[J].

Econ.Geol, 1974, 69:843-883.

[21] 陈毓川, 毛景文, 骆耀南, 等. 四川大水沟碲(金)矿床地质和地球化学[M]. 北京:原子能出版社, 1996:1-146.
Chen Yuchuan, Mao Jingwen, Luo Yaonan, et al. Geology and Geochemistry of Dashuigou Te(Au) Ore Deposit, Sichuan Province [M].Beijing:Atomic Energy Press, 1996:1-146.

[22] 杜乐天. 地壳流体与地幔流体间的关系[J].地学前缘, 1996, 3(3/4):341-346.
Du Letian. The relationship between crust fluids and mantle fluids[J]. Earth Science Frontiers, 1996, 3 (3/4):341-346 (in Chinese with English abstract).

[23] 侯增谦, 李红阳. 试论幔柱构造与成矿系统——以三江特提斯成矿域为例[J]. 矿床地质, 1998, 17(2):97-113.
Hou Zengqian, Li Hongyang. A tentative discussion on the mantle plume tectonics and metallogenic system as exemplified by the Sanjiang Tethyan metallogenic domain [J]. Mineral deposits, 1998, 17(2):97-113(in Chinese with English abstract).

[24] 毛景文, 王志良. 中国东部大规模成矿时限及其动力学背景的初步探讨[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2000, 19(4):403-405.
Mao Jingwen, Wang Zhiliang. Time limit of large -scale mineralization in eastern China and its metallengic dynamic setting[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2000, 19(4):403-405(in Chinese).

[25] 聂凤军, 江思宏. 地球演化过程中金属矿产的形成[J]. 中国地质, 2001, 28(4):24-31.
Nie Fengjun, Jiang Sihong. The forming of metallic deposits in the evolution of the Earth[J]. Geology in China, 2001, 28(4):24-31(in Chinese).

[26] 江思宏, 聂凤军, 白大明, 等. 北山北带岩浆活动与金矿成矿作用[J]. 中国地质, 2001, 28(3):24-28.
Jiang Sihong, Nie Fengjun, Bai Daming, et al. Magmatism in the northern Beishan area and mineralization of the gold deposit [J]. Geology in China, 2001, 28(3):24-28(in Chinese).

[27] 侯增谦, 莫宣学, 杨志明, 等. 青藏高原碰撞造山带成矿作用:构造背景、时空分布和主要类型[J]. 中国地质, 2006, 33(2):340-351.
Hou Zengqian, Mo Xuanxue, Yang Zhiming, et al. Metallogeneses in the collisional orogen of the Qinghai-Tibet Plateau:Tectonic setting, tempo-spatial distribution and ore deposit types[J]. Geology in China, 2006, 33(2):340-351(in Chinese with English abstract).

[28] Fukao Y, Maruyama S, Inoue H. Geological implication of the whole mantle P-wave tomography[J]. J Geol Soc Japan, 1994, 100(1):4-23.

[29] Maruyama S. Plume tectonics[J]. Jour. Geol. Soc. Japan, 1994, 100(1):24-49.

[30] 牛树银, 罗殿文, 叶东虎, 等. 幔枝构造及其成矿规律[M]. 北京:地质出版社, 1996:1-124.
Niu Shuyin, Luo Dianwen, Ye Donghu, et al. Mantle Branch Structure and Its Mineralization [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1996:1-124(in Chinese with English Summary).

[31] 牛树银, 李红阳, 孙爱群, 等. 幔枝构造理论与找矿实践 [M]. 北京:地震出版社, 2002:1-243.
Niu Shuyin, Li Hongyang, Sun Aiqun, et al. Mantle Branch Structure Theory and Exploration Practice[M]. Beijing:Seismological Press, 2002:1-243(in Chinese with English Summary).

[32] 牛树银, 孙爱群, 王宝德. 地幔热柱与资源环境[M]. 北京:地质出版社, 2007:1-183.
Niu Shuyin, Sun Aiqun, Wang Baode. Mantle Plume and Natural Resources Environment[M]. Beijing:Geological Publishing House, 2007:1-183(in Chinese with English Summary).

[33] 邓晋福, 莫宣学, 赵海玲, 等. 中国东部岩石圈根/去根作用与大陆"活化"[J]. 现代地质, 1995, 8(3):349-356.
Deng Jinfu, Mo Xuanxue, Zhao Hailing, et al. Lithosphere root/de -rooting and activation of the east China continent [J]. Geoscience, 1995, 8(3):349-356(inChinesewith English abstract).

[34] Niu Shuyin, Hou Quanlin, Hou Zengqian, et al. Cascaded evolution of mantle plumes and metallogensis of core and mantle-derived elements[J]. Acta Geolgica Sinica, 2003, 77(4):522-536.

[35] 霍明远. 金的结构模型与地质找矿[C]//涂光炽, 霍明远. 金的经济地质学. 北京:科学出版社, 1991:1-7.
Huo Mingyuan. Atomic structure model of gold and its mineralization mode[C]//Tu Guangchi, Huo Mingyuan(eds). Gold Economics. Beijing:Science Press, 1991:1-7(in Chinese).

[36] 陈超, 王自力, 牛树银, 等. 石湖金矿深部找矿潜力分析[J]. 河北地质, 2007, (2):12-15.
Chen Chao, Wang Zili, Niu Shuyin, et al. Analysis on prospecting potentiality in the deep of the Shihu gold deposit [J]. Hebei Geology, 2007, (2):12-15(in Chinese).

A tentative discussion on ore-forming material sources and mineralization of the Shihu gold deposit in western Hebei Province

CHEN Chao[1], NIU Shu-yin[1], WANG Bao-de[1], SUN Ai-qun[1],
MA Bao-jun[1], WANG Wen-xue[2], GAO Yin-cang[2]

(1. *Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang* 050031, *Hebei, China;*
2. *Geological Research Party of Shijiazhuang, Shijiazhuang* 050081, *Hebei, China*)

Abstract: With the stable extension of No. 101 and No. 116 ore veins revealed by the prospecting work at depth, the grade of Au has been steadily increased and the Shihu gold deposit has gradually become a large-size gold deposit in the middle of Taihang Mountains. In general, the deposit belongs to a post-magmatic hydrothermal deposit of quartz vein-fault altered rock type, with its ore veins strictly controlled by the fault structure. On the basis of studying the geological setting and analyzing ore-forming lead, sulfur, silicon, carbon, hydrogen and oxygen isotopes and from the new angle of view of the mantle branch structure ore-forming theory, the authors revealed that the ore-forming materials mainly came from the deep part of the earth and the metallogenic solutions were derived mainly from the magmatic water and partly from the atmosphere water. This paper has also discussed the ore-forming process of the Shihu gold deposit, established a metallogenic model for this area, and put forward some suggestions for further prospecting.

Key words: mantle branch structure; mineralization; material sources; isotope; Mapeng granitic intrusion; Shihu gold deposit

---

About the first author: CHEN Chao, male, born in 1981, master, mainly engages in the study of deep ore-forming mechanism and exploration; E-mail: goldcc@163.com.

About the corresponding author: NIU Shu-yin, male, born in 1952, professor, engages in teaching and scientific research on tectonics and its related mineralization; E-mail: niusy@sjzue.edu.cn.