鲁西幔枝构造及其控矿特征

牛树银1),孙爱群1),李玉静2),王宝德1),胡华斌1),毛景文2,3),李英平4)

1) 石家庄经济学院资源学院,石家庄,050031; 2) 河北省国土资源厅,石家庄,050051;

3) 中国地质科学院矿产资源研究所,北京,100037; 4) 山东省地质调查院,济南,250013

内容提要:从区域地层(岩体)中老外新分布,环状、放射状断裂的展布,轴部缓倾拆离滑脱构造的发育,幔源岩浆活动以及区域岩石学、岩石化学、同位素地质学等方面,探讨了鲁西幔枝构造特征。研究认为鲁西地区北西向陡倾韧性剪切带切割了深部华北地幔亚热柱向外拆离的地幔岩,导致其减压释荷形成深熔岩浆,强烈而完整的岩浆 演化序列表现出岩浆基性程度由高变低、侵入深度由深变浅、围岩蚀变由强变弱的总体演化趋势。幔枝构造演化 对内生成矿作用具有明显的控制作用,并带动围岩一起隆升,形成了典型的鲁西幔枝构造。其顶部发育的拆离掀 斜断块,使部分内生矿产被抬升到浅部。

关键词:幔枝构造;地幔热柱;构造控矿;成矿作用;鲁西地区

鲁西地区以其独特的地质特征和丰富的矿产资 源而备受地质学家的关注,地质研究程度颇高(林景 仟等,1997;徐金芳等,2000;于学峰,2001;李理 等,2007;张岳桥等,2007;杨文采等;2007;李洪奎 等,2007),但多从台隆构造、帚状构造、板内构造等 理论加以探讨,而对该区地质演化,尤其是燕山运动 以来的构造演化及其成矿作用尚存不同认识。特别 是鲁西与胶东仅一断裂相隔,胶东是中国东部金都, 大中型金矿星罗棋布,那么,鲁西内生矿产前景如 何,是本来就成矿较弱呢?还是剥蚀尚浅?本文拟 从地幔热柱多级演化的角度,简述鲁西地区的地质 构造特征,并探讨其形成机制及其成矿控矿作用。

幔枝构造(mantle branch structure)是地幔热 柱的第三级构造单元,是地幔热柱多级演化在岩石 圈浅部的综合表现。幔枝构造一般由核部岩浆一变 质杂岩、外围盖层拆离滑脱层、上叠断陷一火山沉积 盆地等三个单元组成(牛树银等,2002、2007)。它们 共同构成相互关联的统一整体。

1 鲁西幔枝构造的基本特征

郑庐断裂以西的山东省西部地区以往统称为鲁 西断隆,它耸立在华北平原中东部。其外围则多为 断陷盆地,构成了独特的地形地貌特征。

1.1 区域地层(岩石)展布

鲁西地区的地层(岩体)展布均以泰山—鲁山— 邹县一临沂地区为中心,向外呈环状展布。鲁西地 区基底由新太古代泰山岩群、TTG 岩系和古元古代 造山花岗质岩体组成。其中泰山岩群岩性主要由斜 长角闪岩和黑云变粒岩组成,并和 TTG 岩系一起 遭受了中一浅程度的变质作用。基底构造层主要出 露于中部地区,呈不甚规则的圆形展布,其上尚残留 有部分尚未完全拆离剥蚀掉的盖层掀斜地块。基底 构造层向外逐渐呈同心环状展布有古生界、中生界、 新生界。其中古生界主要由寒武系一中奥陶统碳酸 盐岩夹碎屑岩组成,中石炭统一二叠系则为海相地 层和陆相含煤碎屑岩建造;中生界缺失三叠系,仅发 育侏罗-白垩系,为一套陆相碎屑岩建造;新生界亦 以陆源碎屑沉积夹火山岩为主。地层(岩石)展布 表明:中新生代进入强烈地壳运动时期,不仅伴有 强烈的火山喷发、多期次岩浆侵入活动,同时伴有 大幅度的隆升,差异隆陷明显。甚至形成掀斜地 块,使得中新生界分布零星,且多表现为断陷盆地 中的箕状沉积。表明燕山运动以来,鲁西地区进 入了强烈的幔枝构造活动期,使得核部区强烈隆 升,盖层则大幅度向外拆离滑脱,形成了典型的鲁 西幔枝构造(图1)。

收稿日期:2008-09-25;改回日期:2009-02-07;责任编辑:郝梓国。

注:本文为国家自然科学基金(编号 40872137,40272088)和中国地质调查局(编号 1212010631106)资助的成果。

作者简介:牛树银,男,1952年生。教授。主要从事构造地质与构造成矿的教学和科研工作。Email:niusy@sjzue.edu.cn。





图 1 鲁西幔枝构造简图

Fig. 1 Geological sketch map of mantle branch structure in western Shandong

1一以老第三系为底的断陷火山-沉积盆地;2一以古生界为底的断陷沉积盆地;3一古生代拆离滑脱层;4一核部岩浆-变质杂岩;5一新生代玄 武岩(隐伏为虚线);6一反向铲状断层;7一次级拆离滑脱带;8一主拆离滑脱带;9一断层及推测断层;Ⅱ一基底外围主拆离滑脱带;Ⅲ一古生 界外围次级拆离滑脱带;Ⅲ一断陷-火山盆地与断陷沉积盆地界线;a一上五井断裂;b一金山一姚家峪断裂;c一文租断裂;d一肥城断裂;e-汶上一泗水断裂;f一郓城断裂;g一尼山断裂;h一微山断裂

1-Fault-depression volcano-sedimentary basin with the Early Tertiary series as the basement; 2-fault-depression sedimentary basin with the Paleozoic group as the basement; 3-Paleozoic detachment-slip layer; 4-magmatic-metamorphic complex in the core; 5-Cenozoic basalt (dashed line indicated the concealed); 6-reverse spade-shaped fault; 7-second-ordered detachment-slip belt; 8-main detachment-slip belt; 9—fault and deduced fault; I — Main detachment-slip belt in the periphery of the basement; II — second-ordered detachment-slip belt in the periphery of the Paleozoic; II-Boundary between fault depression-volcanic basin and fault depression sedimentary basin; a-Shangwujing fault; b-Jinshan-Yaojiayu fault; c-Wenzu fault; d-Feicheng fault; e-Wenshang-Sishui fault; f-Yuncheng fault; g-Nishan fault; h-Weishan fault

1.2 地质构造特征

630

鲁西幔枝区的断裂构造展布具有明显的规律 性。总体上以中部的新寨——泗水——平邑——蒙阴地区 为中心,向外呈同心环状和放射状断裂展布。根据 主要同心环状断裂展布,可划分为三个基本完善的 环状构造。从内向外分别为:①肥城一沂源一临 沂一曲阜环状断裂,该环状断裂实际上是古生界寒 武一奥陶系盖层与基底间的主拆离滑脱带。尽管拆 离滑脱带不尽连续,但总体呈环状,是在基底向上隆 升、盖层向外拆离过程中形成的一种正向滑脱带。 也可能原为盖层与基底间的不整合界面,在上隆过 程中被主拆离滑脱带所改造、利用。②巨野一粱 山-济南-淄博环状构造带,它是以古生界为底的 中新生界断陷一沉积岩系与古生界之间的拆离带。 断裂向外缓倾,倾角多为10°~30°,界面往往具有明 显的滑脱作用。中新生界的断陷沉积从内向外沉积 逐渐加厚,剖面上具有明显的箕状特征,外侧沉积厚 度最大可达 600~1000m。③马头集—范县—聊 塘一桓台环状断裂,它构成了以古生界为底的中新 生代断陷—沉积岩系与以老第三系为底的新生代火 山-沉积物的界线,同时亦是前述箕状沉积外围的铲 状断裂,断裂以高角度倾角向中部倾倒。

放射状断裂主要有夏蔚断裂、淄河断裂、上五井 断裂、金山一姚家峪断裂、白泉庄一五色崖断裂、文 租断裂、长清断裂、汶上一泗水断裂、蒙山断裂、郓城 断裂、荷泽断裂、凫山断裂、尼山断裂,独角山断裂 等。尤以尼山断裂、郓城断裂、汶上一泗水断裂、肥 城断裂、文租断裂、金山一姚家峪断裂、上五井断裂 等规模较大,特征明显。一般情况,放射状断裂面以 陡倾为主,同心环状断裂向外缓倾为主。两者相互 切错,表明两组断裂为同应力场、同构造期的产物。 分析认为应是鲁西幔枝构造形成期间发育的断裂体 系。

值得指出的是,鲁西幔枝构造核部岩浆--变质 杂岩区还出现了四条隆拗相间的构造组合,它们亦 是幔枝构造活动的产物,并具有明显的弧形拆离滑 脱带。四个隆起带自南向北依次为:①尼堤山一母 子山;②蒙山;③徂莱山-新甫山-孟良岗;④泰 山一鲁山一沂山。而在每条弧形隆起的凹侧,则为 四条弧形断陷带,自南向北依次为泗平(泗水一平 邑)断陷、汶蒙(大汶口-蒙阴)断陷、肥城断陷和莱 芜断陷。各断陷均为中新生代断陷火山-沉积建造。 断陷与隆起之间均发育典型的铲状断裂,并控制着 断陷中的箕状沉积。实际上,它们均是鲁西幔枝上 隆、盖层向外拆离过程中被弧形断裂阻挡的掀斜断 块,从隆起至断陷,表现出明显的由变质基底杂岩→ 寒武-奥陶系→石炭-二叠系→侏罗-白垩系→第三-第四系展布。其间的不整合面作为构造薄弱面,多 被改造为拆离滑脱断层,如新泰断陷,这种特征就相 当明显(图 2)。铲状断裂外侧又为另一个隆拗组 合,明显表现出了鲁西幔枝隆升过程中,从核部向外 围拆离滑脱的总体特征。

实际上,这种幔枝构造隆升机制具有相当的普 遍性。铜石隆起就是鲁西幔枝的一个次级隆起构 造。该区出露最老地层为太古宇泰山群变质杂岩, 其上为古生界寒武系一奥陶系碎屑岩一碳酸盐岩建 造,中生界侏罗系一白垩系碎屑岩建造,在断陷区发 育有新生界堆积物。岩浆岩可分为早晚两期,早期



图 2 新泰地区掀斜断块剖面示意图

Fig. 2 Generalized section of tilted fault block in Xintai area

1-第四系;2-粉砂岩;3-细砂岩;4-粗砂岩;5-砂砾岩;6-页岩;7-碳酸盐岩;8-变质岩系;9-煤层;10-铲状断裂带;11-拆离滑脱层 1-Quaternary; 2-siltstone; 3-fine sandstone;4-gritstone; 5-sandy conglomerate; 6-shale; 7-Carbonate Rock;

8—metamorphic rock series: 9—coal seam: 10—listric fault zone: 11—decoupling detachment lavers

为太古代花岗闪长岩和元古代二长花岗岩,并经变 形变质作用形成了结晶基底岩系;晚期为中生代构 造一岩浆活动期间形成的细晶二长闪长斑岩一中斑 二长闪长斑岩一二长斑岩构成的铜石次火山杂岩 体。这里同样具有典型的环状构造和放射性构造, 同时,对燕山期成矿作用有着明显的控制作用(图 3)。

1.3 幔源岩浆活动

鲁西地区中新生代广泛发育典型的幔源岩浆 岩,包括侵入岩、富钾火山岩和煌斑岩脉,从岩石谱 系看可划分为五组:①二长闪长斑岩—二长斑岩、正 长斑岩组合,以平邑铜石岩体为代表;②辉石岩—二 长闪长岩—正长岩组合,以枣庄沙沟岩体为代表;③ 橄榄苏长辉长岩—二辉闪长岩(角闪闪长岩)—石英 二长岩组合,以邹平地区岩体为代表;④闪长(斑) 岩—石英二长闪长(斑)岩—花岗(斑)岩组合,以沂 南铜井—带岩体为代表;⑤碳酸岩类,以雪野岩体为 代表。前两类分布于鲁西南,居于临沂—费县—平 邑—泗水—线之南,第三类主要分布于此线以北的 广大地区,第四类则以鲁西的东部、近沂沐断裂带地 域为多。碳酸岩分布在鲁西莱芜—淄博一带的八 陡,乐疃、东石码、胡家庄、雪野等地。亦表明从幔枝 构造核部向外,岩浆岩的基性程度变低。

鲁西中生代岩浆活动可分为两期,其一为早侏 罗世,主要形成了铜石碱性杂岩体,其⁴⁰ Ar/³⁹ Ar 年 龄在 188 ~ 190Ma(林景仟等,1997)。另一期在早 白垩世,年龄为 110 ~ 130Ma。济南岩体、郭店一 带的岩体、桓台金岭镇岩体、铜井区岩体、莱芜地区 的一些岩体均形成于此时期。91 件 K-Ar 年龄数据 统计显示,多数样点(56 件)集中于 110 ~ 132Ma 年 龄段。鲁西富钾火山岩样品的⁴⁰ Ar-³⁹ Ar 坪年龄值 变化于(114.8±0.6) ~ (124.3±0.6)Ma(邱检生 等,2001),其火山活动的高潮期应在此范围内,由此 可见,鲁西地幔热柱中生代活动的高潮时期为早侏 罗世和早白垩世,其中早白垩世的活动尤为强烈。 这也与一些学者提出的早白垩世为全球地幔柱活动 的高潮时期相一致(刘建明等,2001)。

1.4 鲁西幔枝构造的形成机制

华北地块经历了漫长的稳定地台型演化之后, 自燕山运动以来进入了地幔热柱演化阶段。由于华 北地幔亚热柱呈蘑菇状向外围扩展,加之地幔位势 差的存在,使岩石圈深部地幔物质可通过上地幔顶 部幔壳过渡带、中地壳低速带(韧性流变拆离带)等 向外围方向拆离流变。而这些低速软层一旦被持续



9—strata attitude: 10—ore deposit

活动的陡倾韧性剪切带所切割,加之剪切带造成的 减压释荷作用,便可导致原本具有一定熔融性质的 低速软化物质转变为深熔岩浆源,并可沿陡倾韧性 剪切带上侵,甚至通过浅部脆性断裂直达地表,导致 火山喷发。岩浆演化的总体趋势为从偏基性一偏中 性一偏酸性一偏碱性演化。岩浆侵位深度由深成一 浅成一超浅成演化,或者说随着成岩时序的演变,总 体演化趋势是岩石的基性程度由高变低。成岩深度 由深变浅,围岩蚀变由强变弱,构成完整的侵入旋 回。

鲁西幔枝构造区所具有的地形特征、地层(岩体)展布、环状、放射状断裂及上部缓倾拆离滑脱体 系、幔壳岩浆组合、热液型金属矿产的形成均具有典 型意义。

2 鲁西幔枝构造的控矿作用

鲁西是山东省黄金找矿潜力很大的新区。近年 来,许多学者对鲁西金矿成因进行了大量的探索。 归纳起来其认识主要有:隐爆角砾岩成因的归来庄 金矿(祝德平等,1998;沈昆等,2001)和卓家庄金矿 (沈远超等,2000;曾庆栋等,2000)、似层状浸染型的 磨坊沟金矿(徐金芳等,2000;胡华斌等,2004)、斑岩 型的平邑银洞沟金矿(于学峰,2001)、砂卡岩型临朐 铁寨金矿(郭瑞朋,1999)和沂源金星头金矿(张荣隋 等,2001)等。实际上,尽管上述类型金矿特征有所 不同,但是,均受鲁西幔枝构造的控制,是在统一的 幔枝构造背景下形成的浅成中低温热液矿床。

按照控矿构造的特征划分,鲁西地区的金矿可 分为韧性剪切带型、爆破角砾岩型和拆离滑脱层型 等三种。前者虽然矿点很多,但在规模上尚未取得 突破。后两者是鲁西地区特殊金矿类型,简要探讨 其成矿特征。

2.1 爆破角砾岩型——归来庄型金矿

归来庄金矿位于铜石杂岩体外围的东侧(图 4)。经勘探证实,为一与构造-隐爆角砾岩有成因联 系的大型金(银)矿床。含矿岩石为脉状隐爆角砾岩 体,角砾岩体明显受两组断裂控制,主体断裂呈近 EW(285°)向展布,西起归来庄村西北,东到小平安 庄村南,控制长度大于2000m,宽度变化较大,一般 为5~15m,最窄处仅0.48m,最宽达20m以上。次 级断裂为北东(55°~60°)向展布,在两者交汇的部 位往往角砾岩带变宽,金矿的品位变富。在延伸方 向,含金角砾岩体倾向南,倾角45°~68°,延伸超过 650m。由于两组断裂的影响,含金角砾岩体沿走向 及倾向均呈舒缓波状。在剖面上,总体表现出缓倾 段较紧闭,陡倾段较宽大,应具有张扭性正断性质。

含矿隐爆角砾岩总体呈脉状侵位到铜石杂岩体 东侧的寒武系、奥陶系之中,顶底板为大角度相切的 中上寒武统一下奥陶统,断裂造成的水平错距 30~ 180m,垂直断距一般在 50~90m,最大者 100m 以 上,围岩普遍发育了碎裂岩和构造裂隙。在已控制 的 12 个矿体中,以 I 号矿体规模最大,其储量占矿 床总储量的 98%以上,其余 11 个矿体均为单工程 控制的零星小矿体。

I号矿体主要分布在 35~24 勘探线之间的 130 ~-300m 标高地段,矿体产状与主裂面基本一致, 走向近 EW(80°~95°),倾向南,倾角 45°~68°。控 制矿体长度 550m,斜深 650m。矿体呈不规则脉状, 沿走向及倾向呈舒缓波状延伸,分支复合、膨胀狭缩 变化明显。根据矿体的展布和形态特征,将 I 号矿 体分为 I-1,I-2 两个支矿体。

I-1 号矿体为 I 号矿体的主矿体, 展布于 24~35 勘探线 130~-300m 标高地段, 长度 550m, 斜深最



图 4 归来庄金矿区地质略图 (据林景仟等,1997 修改补充)

Fig. 4 Geological sketch map of the Guilaizhuang

gold deposit (after Lin Jingqian et al., 1997)

奥陶系:1-北庵庄组;2-东黄山组;3-纸坊庄组;寒武系:4-凤山组;5-长山组;6-崮山组;7-二长斑岩;8-二长闪长斑 岩;9-萤石化硅化角砾岩;10-硅化白质灰岩;11-二长斑岩; 12-矿体号;13-地质界线;14-断层;15-岩层产状;16-矿化 隐爆角砾岩

Ordovicaian: 1—Beiyanzhuang Formation; 2—Donghuangshan Formation: 3—Zhifangzhuang Formation; Cambrian: 4— Fengshan Formation; 5—Changshan Formation; 6—Gushan Formation; 7—monzonitic porphyry; 8—monzonitic diorite porphyry; 9—flouritized-silicified breccia; 10—silicified dolomatic limestone; 11—monzonitic porphyry; 12—orebody No.; 13—geological boundary; 14—fault; 15—attitude; 16 mineralized hidden explosion breccia

大 650m,呈不规则脉状,具有分支、复合膨缩等特 点。矿体主要赋存于断裂带的角砾岩体内,矿石类 型以角砾岩含金矿石为主。矿体厚度一般在 3.33 ~10.10m,最大厚度 22.45m,平均厚度 6.21 m。 单工程 Au 品位一般 4.74×10⁻⁶~11.36 × 10⁻⁶, 最高者达 26.37×10⁻⁶,平均品位 7.58×10⁻⁶。

I-2 号矿体分布在 30~35 勘探线 130~-150m 标高地段,长度 200~250m,斜深 300m,呈不规则脉 状,有尖灭再现的特点,主要赋存于构造带西段下盘 的分支断裂中,与 I-1 矿体特征相似。

总的来说,I号矿体的规模大,矿化连续性较好,矿体厚度、品位变化较大,大致是沿走向由中部向两端,垂向由浅到深,呈厚度变小、品位变低的趋势。

角砾岩中有典型的隐爆特征,角砾大小混杂, 没有分选,没有磨圆,且成分混杂,从已经找到的砾 石成分来看,除了以寒武一奥陶系的灰岩、泥质灰 岩、页岩、泥质白云岩角砾为主以外,还发现有二长 斑岩、闪长岩、辉石岩的角砾,以及混合花岗岩、片麻 岩的角砾。表明脉状隐爆角砾岩体不仅震裂了寒 武一奥陶系赋矿围岩,同时也带上来部分变质基地 角砾和不同岩浆岩角砾,从岩石成分角度说明了隐 爆角砾岩体的成因及其复杂性。而矿化是隐爆角砾 岩稍后的成矿作用,与成矿相关的蚀变在火成岩成 分角砾岩中主要为硅化、绢云母一水云母化,冰长石 化、萤石化、碳酸盐化等,早期曾发生过黑云母化;在 灰岩、白云岩中蚀变较弱。矿石中金属矿物含量少, 颗粒细,呈浸染状分布,主要有自然金、银金矿、碲化 物及某些硫化物矿物。成矿温度低,深度浅(为700 ~1500m),是一种与碱性次火山隐爆作用有关、富 含贵金属的石英一萤石一冰长石型浅成中一低温热 液金矿床。

类似金矿还有卓家庄金矿等。

2.2 拆离滑脱带型——磨坊沟型金矿

磨坊沟式金矿是指鲁西平邑县铜石地区赋存在 太古宇泰山岩群与盖层之间不整合面之上的下寒武 统朱砂洞组碳酸盐岩中的金矿。这种金矿被认为是 层状、似层状金矿,具有极大的找矿远景(林景仟等, 1997;徐金芳等,2000)。但是,其成矿作用、控矿构 造等尚需深入探讨。本文认为控矿构造具有拆离带 特征,是幔枝构造外围拆离带控矿的典型实例。

磨坊沟式金矿,主要展布在梨方沟、东大湾、磨 坊沟、郝家山头、刘家庄北岭一带,赋矿地层为下寒 武统白云岩化灰岩、微细晶灰岩及白云岩。矿体呈 层状、似层状展布,矿层厚一般为 3~10 m,在有其 它方向的断裂交汇处,矿层往往变厚,品位变富。总 体上看,矿体主要展布在主拆离带之上的次级拆离 带中,一般距寒武系与基底太古宙花岗片麻岩之间 拆离带(早期为不整合,作为构造薄弱面,燕山期被 拆离带所利用和改造)20~30m。

磨坊沟金矿共圈定了两个金矿体,其中 I 号矿体长 340m,厚 0.60~4.80m,平均厚度 2.82m;金品位 1.09×10⁻⁶~25.21×10⁻⁶,平均金品位 11.57×10⁻⁶,矿体产状与岩层产状基本一致,为 325°~35° \angle 8°~20°; II 号矿体长 200m,厚 1.20~3.20m,平均厚度 2.05m;金品位 1.64×10⁻⁶~12.88×10⁻⁶,平均金品位 4.54×10⁻⁶;矿体产状亦与含矿岩层产状一致,为 10°~20° \angle 8°~20°。

梨方沟一东大湾金矿矿体呈似层状,矿体长 634m,实测厚度 4.8m,金品位 2.19×10⁻⁶~7.24× 10^{-6} ,平均金品位 4.9×10⁻⁶。矿体产状与含矿岩 层产状基本一致,为 270°~290°∠5°~15°(图 5)。 就总体变化而言,磨坊沟式金矿含矿层中金矿 化普遍,但金品位变化较大。变化的规律与含矿岩 石的破碎程度、裂隙的发育程度及蚀变强弱程度呈 正相关关系。

矿石的结构有粒状结构、微晶结构、泥质结构、 交代残余结构、交代环边结构和星点状结构等。矿 石构造主要有浸染状构造、脉状构造、条带状构造、 网脉状构造、层纹状构造、块状构造、角砾状构造、晶 洞状构造等。

矿石中的金矿物主要有自然金、碲金银矿、银金 矿三种。金矿物颗粒细小,粒径多数介于 0.005 ~ 0.05mm之间。伴生金属矿物主要为黄铁矿、方铅 矿、闪锌矿等。脉石矿物主要有方解石、白云石、石 英、萤石、绢云母等。

围岩蚀变为高岭石化、黄铁绢英岩化、方解石 化、萤石化等。成矿主要经历了石英一黄铁矿、多金 属硫化物、金一碲化物三个阶段。金矿物主要呈微 细浸染状包含于石英集合体中,少部分呈星点状散 布于石英与方解石或白云石晶体间。金矿的形成主 要与黄铁绢英岩化有关。

幔枝构造核部岩浆一变质杂岩的隆升往往引起 盖层向外围正向拆离带的发育。拆离带最早是作为 变质核杂岩的组成部分提出的,特指核部岩浆一变 质杂岩与外围盖层之间的正向断层(Davis,1988), 现在被广泛运用于伸展体制下,核部隆起与外围盖 层间的正向拆离带,可划分为主、次级拆离带。主拆 离带特指变质基底岩系与上盘盖层之间的拆离带, 次级拆离带是指主拆离带上盘或下盘地层中沿薄弱 面发育的拆离带,这些拆离带往往发育在主拆离带 上、下盘一定距离内,多呈组分布,是隆、拗之间的耦 合带。

拆离带与外围盖层产状相近时,拆离带往往沿 地层中的某个薄弱面滑动,然后在一定距离内向下 斜切地层,进入下一个薄弱面,沿这个薄弱面滑动一 定距离后,再次斜切进入下一个薄弱面。

磨坊沟式金矿是中生代地幔柱多级演化特定时 空背景的产物。容易挥发的Au、Se、Te等成矿物质 呈气态(张荣华等,2006)随地幔柱一地幔亚柱一起 上升到壳幔边界,并随沿壳幔边界向外拆离流变的 地幔物质一起向外围运移,同时伴生大规模的碱交 代作用,加之岩浆的多次抽提,使成矿物质进一步富 集。富含Au、Se、Te等的成矿流体沿深、浅层次的 拆离滑脱带向上运移,并可在有利的成矿扩容空间 成矿。鲁西地区发育深、浅两个层次的拆离滑脱构



Fig. 5 Geological profile of the Lifanggou second-ordered detachment belt-type gold deposits
1一厚层灰岩;2一白云岩;3-灰岩;4-白云岩化灰岩;5-含砾粗砂岩;6-底砾岩;7-结晶岩系;8-中生代二长斑岩;
9-硅化、方解石化、萤石化金矿体;10-主、次级拆离滑脱带

1—Thick-layered limestone; 2—dolomite; 3—limestone; 4—dolomitized limestone; 5—gravel-bearing coarse sandstone; 6—basement breccia; 7—crystalline series; 8—Mesozoic monzonitic porphyry; 9—silicified, calcitized and fluoritized gold orebody; 10—main and secondary detachment-slip belts

造。浅层次沿太古宇变质基底岩系与寒武系之间的 拆离带发育,深层次拆离带则沿中地壳低速高导层 发育(燕守勋等,1996)。磨坊沟式金矿就是产在太 古宇变质基底岩系与寒武系间拆离滑脱带之上的次 级拆离带之中(图5)。至于成矿为什么沿次级拆离 带发育,则与含矿流体的迁移及断裂的发育特征有 关。一般情况下,如果幔枝构造外围拆离带上盘是 同倾向的沉积盖层,那么,拆离带在发育过程中,往 往就会发育陡倾切层的断坡和顺层滑动的断坪相间 排列。成矿过程中由于有一定的覆盖,含矿流体在 一定温、压条件下往往会沿裂隙向上运动,并沿次级 拆离带聚集成矿。如果次级拆离带有其它方向的裂 隙发育,则容矿空间变大,矿化变富。在河北省北部 张宣幔枝构造、冀东幔枝构造中很多中生代金矿均 有这种特征(Wang Baode et al, 2003; Niu Shuyin et al, 2003, 2004)

类似金矿还有梨方沟、东大湾、磨坊沟等金矿。

3 鲁西成矿作用的地球化学特征

就总体而言,鲁西地区的剥蚀程度偏浅,现发现 的金矿也多为浅成低温热液矿床。矿石亦多为少硫 化物类型。即便是有硫化物矿物,也多是细粒黄铁 矿,给选矿带来较大的困难。针对这种情况,研究工 作有针对性地选择了流体包裹体测温、碳氧氢同位 素测试等方法来探讨成矿特征。

3.1 流体包裹体的均一温度和盐度

该区实测了方解石和石英中流体包裹体的均一 温度和盐度(表 1),归来庄矿区方解石均一温度在 110~250℃之间,以低温部分峰值较为突出,冰点变 化于-2.8~-9.3℃之间,对应的盐度在4.65%~ 13.18%之间。在样号为 Gj-c-3 的样品中,石英包 裹体的冰点温度较低,达-13.4℃,对应的盐度为 17.26%。计算得出流体的密度在 0.878~1.029 之 间。

梨方沟矿区均一温度集中于 103~208℃之间, 其中在样号为 DF-3 的样品中,石英包裹体的均一 温度较低,仅为 103℃。方解石包裹体的均一温度 较为集中,峰值为 170~190℃,冰点温度变化于 -2.8~-9.3℃之间,对应的盐度为 4.65%~ 13.18%,计算得出流体的密度在 0.842~0.994 之 间。

3.2 稳定同位素测试结果

碳氧氢同位素测试(表 2)。共测试金矿样品 14 件,其中方解石 11件,石英 3件。归来庄金矿 5件 方解 石 的 δ^{13} C_{PDB} 值 为 $-3.3\% \sim 0.0\%$,平均 -1.9%; δD_{SMOW} 为 $-48\% \sim -61\%$,平均 -54%; $\delta^{18}O_{SMOW}$ 值为 $+11.5\% \sim +17.7\%$,平均 +15.9%。 梨方沟金矿 5件方解石的 δ^{13} C_{PDB} 值为 $-0.2\% \sim$ -7.3%,平均 -4.2%; δD_{SMOW} 为 $-63\% \sim -70\%$, 平均 -66%; $\delta^{18}O_{SMOW}$ 值为 $+18.4\% \sim +21.2\%$,平

	Results of	inter other in	iometric meas	arement for fi	ulu melusions	in optition mar	gold deposits	at I mgyi, wes	dern Shandong
矿区	样号	主矿物	类型(个数)	大小(μm)	气液比(%)	均一温度(℃)	冰点(℃)	盐度(%)	密度(g/cm ³)
	石英	原生(9)	4~8	$5 \sim 10$	$137 \sim 182$	$-9.3 \sim -10$	13.1~13.94	0.99~1.009	
	石英	原生(5)	$8 \sim 14$	$5 \sim 90$	$280 \sim 469$	$-1.0 \sim -10.3$	13.9~14.25	0.64~0.886	
	方解石	原生(7)	$6 \sim 20$	$5 \sim 60$	193~219	$-2.0 \sim -3.2$	4.65~5.26	0.90~0.911	
	Gfb-2	石英	原生(14)	$4 \sim 40$	5~80	287~500	$-4.0 \sim -5.5$	6.74~8.55	0.662~0.8
归来庄	Gfb-3-1	方解石	原生(14)	$4 \sim 18$	~ 5	$120 \sim 147$	$-3.0 \sim -4.7$	5.86~7.45	0.97~0.996
金矿	Gfb-4	方解石	原生(12)	$3 \sim 8$	- 5	$119 \sim 169$	$-6.0 \sim -9.3$	8.81~13.18	0.98~1.027
	方解石	原生(18)	$4 \sim 10$	$5 \sim 60$	$116\!\sim\!250$	$-5.0 \sim -6.2$	8.68~9.47	0.95~1.012	
	石英	原生(4)	$3 \sim 4$	$5 \sim 10$	$179 \sim 205$	$-7.7 \sim -8$	11.34~11.7	0.95~0.974	
	方解石	原生(12)	$4 \sim 30$	$5 \sim 50$	$110 \sim 237$	$-4.0 \sim -6.2$	7.31~9.47	0.87~1.012	
	石英	原生(5)	3~10	$5 \sim 10$	$165 \sim 230$	$-1.0 \sim -13.4$	16.8~17.26	0.98~1.029	
梨方沟 金矿	萤石	原生(5)	~3	$5 \sim 10$	133~140	$-6.0 \sim -6.1$	9.21~9.34	0.99~0.997	
	方解石	原生(14)	$4 \sim 12$	- 5	$133 \sim 195$	$-7.0 \sim -9.3$	11.7~13.18	0.96~0.994	
	萤石	原生(5)	3~10	- 5	$135 \sim 148$	$-6.0 \sim -8.6$	9.98~12.39	0.99~1.002	
	石英	原生(5)	$4 \sim 12$	$5 \sim 90$	$349 \sim 450$	$-4.0 \sim -4.8$	6.88~7.59	0.5~0.708	
	DF-3	石英	原生(5)	$3 \sim 6$	- 5	$103 \sim 157$	$-3.0 \sim -3.7$	5.71~6.01	0.95~0.961
	DF4-3	石英	原生(12)	$4 \sim 12$	5~50	$148 \sim 298$	$-4.0 \sim -9.3$	6.74~13.18	0.842~1.01
	萤石	原生(14)	$4 \sim 12$	- 5	$136 \sim 154$	$-8.0 \sim -9.3$	12.1~13.18	1~1.019	
	石英	原生(11)	$3 \sim 6$	- 5	$175 \sim 225$	$-8.0 \sim -9.1$	12.2~12.96	0.93~0.983	
	DF-5	方解石	原生(15)	$3 \sim 6$	- 5	$162 \sim 208$	$-2.0 \sim -5.6$	4.65~8.68	0.91~0.939
	DF-6	萤石	原生(10)	3~8	5~10	$115 \sim 161$	$-5.0 \sim -8.3$	7.86~12.05	0.99~1.001
磨坊沟 金矿	MF-1	石英	原生(15)	2~10	5~70	140~384	$-7.0 \sim -8.7$	11.2~12.51	0.70~0.982
	MF3-1	方解石	原生(12)	$2 \sim 4$	- 5	$195 \sim 260$	$-3.0 \sim -4.7$	6.3~7.45	0.83~0.887
	MF4-4	石英	原生(17)	$4 \sim 20$	5~75	$121 \sim 214$	$-5.0 \sim -8.9$	8.28~12.73	0.972~1.03
	MF4-5	石英	原生(15)	$6 \sim 20$	5~10	$129\!\sim\!205$	$ -6.0 \sim -9.8$	9.86~13.83	0.96~0.997
	MF5	石革	原生(12)	4~14	5~30	138~368	$-3.0 \sim -11.5$	$5.41 \sim 15.47$	$0.64 \sim 1.036$

表 1 鲁西平邑地区浅成低温热液金矿床流体包裹体显微测温结果

Table 1	Results of m	icrothermometric	measurement for	or fluid	inclusions	in epithermal	gold	deposits a	t Pingyi,	western Shandong
---------	--------------	------------------	-----------------	----------	------------	---------------	------	------------	-----------	------------------

测试单位:中国地质大学;测试者:胡华斌;测试时间:2003年10月。

表 2 鲁西铜石地区代表性金矿床及围岩碳氧氢同位素测试结果

Table 2 Results of measurement of C, H and O isotopes for the representative gold deposits and country rocks

in the Tongshi region of western Shandong

样品编号	样品名称	样品来源	$\delta^{13}C_{PDB}(\%)$	$\delta D_{SMOW}(\%)$	$\delta^{18} O_{SMOW}(\%_0)$	<i>t</i> (°C)	$\delta^{18}\mathrm{O}_{\bigstar}(\%)$
Gfb-1	方解石	归来庄金矿	-3.3	-61	15.5	150.2	-0.37
Gfb-2	方解石	归来庄金矿	-3.2	-57	11.5	150.2	-4.32
Gfb-4	方解石	归来庄金矿	-0.1	-48	17.5	150.2	1.63
Gfb-5	方解石	归来庄金矿	0.0	-50	17.7	150.2	1.83
Gfb-6	方解石	归来庄金矿	-2.8	-53	17.3	150.2	1.43
Df-1-1	方解石	梨方沟金矿	-3.7	-65	19.3	181	5.77
Df-3	方解石	梨方沟金矿	-7.3	-63	20.7	181	7.17
Df-4-2	方解石	梨方沟金矿	-6.6	-67	21.2	181	7.67
Df-8	方解石	梨方沟金矿	-3.1	_	20.1	181	6.57
Df-k-s	方解石	梨方沟金矿	-0.2	-70	18.4	181	4.87
Mf-3-1	方解石	磨坊沟金矿	-5.9	_	21.5		
Df-3	石英	梨方沟金矿	_	-73	24.8	139	8.3
Zhs-1	石英	卓家庄金矿	_	-70	22.2	161	7.7
Gj-c	石英	归来庄金矿	_	_	19.3	191	6.43
Df-h-1	石灰岩	梨方沟围岩	1.5	_	23.3		
Df-h-2	石灰岩	梨方沟围岩	1.8	_	24.9		
Gl-h-1	石灰岩	归来庄围岩	2.0	_	24.9		
Gl-h-2	石灰岩	归来庄围岩	2.7	_	23.6		
Gl-h-3	石灰岩	归来庄围岩	1.6	_	23.2		

均+19.9%。磨坊沟金矿1件方解石的 δ^{13} C_{PDB}值为 -5.9%, δ^{18} O_{SMOW}值为21.5%,未检测出氢同位素 含量。梨方沟金矿1件石英的 δ D_{SMOW}为-73%, δ^{18} O_{SMOW}值为+24.8%。卓家庄金矿1件石英的 δ D_{SMOW}为-70%, δ^{18} O_{SMOW}值为+22.2%。归来庄 金矿1件石英的 δ^{18} O_{SMOW}值为+19.3%,未检测出 氢同位素的含量。另外,本次研究还测试了梨方沟 金矿和归来庄金矿5件石灰岩围岩样品的碳氧同位 素,其结果一并列出加以对比。

通过对归来庄金矿方解石中 63 件包裹体测温 数据,和梨方沟金矿方解石中 30 件包裹体测温数据 平均,分别得到二矿区方解石包裹体的平均均一温 度为 150.2℃和 181℃,利用同位素分馏公式计算矿 化流体的 δ¹⁸O_{*}值,结果列于表 2 中。根据梨方沟 金矿和卓家庄金矿石英包裹体的均一温度,计算矿 化流体的 δ¹⁸O_{*}值分别为 8.3‰和 7.7‰。

3.3 成矿物质来源

归来庄和梨方沟金矿床分别产于寒武系和上寒 武一下奥陶统灰岩和白云岩中,上覆岩层的累计厚 度约在700~1700m,成矿深度较浅。方解石和石英 的包裹体测温结果表明:包裹体冰点温度变化于 -2.8~-13.4℃之间,对应的盐度范围为 4.65% ~17.26%。均一温度主要变化于103℃~260℃之 间,属于浅成低温热液矿床的范畴。鲁西铜石金矿 田中 ôD_{SMOW} 在 - 48‰ ~ - 70‰ 之间, Ohmoto (1986)认为岩浆流体的氢同位素值在-40%~ -80‰之间。反映了本区岩浆热液对成矿流体的贡 献。梨方沟、磨坊沟和卓家庄金矿区方解石和石英 的 δ^{18} O_{*} 值在 4.9‰ ~ 8.3‰ 之间,与 Sheppard (1986)界定的岩浆水范围(5.5%~9.5%)基本吻 合。在 δD_{SMOW}-δ¹⁸O_{*}图解上,以上三矿区大部分点 落入岩浆水的范围内(图 6)。归来庄金矿成矿流体 的 δ^{18} O_{*} 值 较 低, 在 - 4. 3% ~ + 1. 8% 之间, 在 δD_{sMOW}-δ¹⁸O_x图解上明显偏离岩浆水,表现出向大 气降水线的"漂移"现象,反映了成矿流体与大气降 水发生了混合。实际上,梨方沟、磨坊沟和卓家庄金 矿均产于寒武系朱砂洞组白云质灰岩中,上覆岩层 的累计厚度约1700m,而归来庄金矿产出位置变浅, 上覆岩层厚度变薄,上部循环水加入较多,这可能也 是造成归来庄金矿与梨方沟金矿和磨坊沟金矿 $δ^{18}O_{*}$ 值相差较大的地质原因。

本区矿层中包裹体均为气液两相盐水溶液,未 发现 CO₂ 型包裹体。比美国科罗拉多的 Creple Creek 金矿(Thompson T B et al, 1985),河北东坪



图 6 鲁西铜石地区金矿床成矿流体氢氧同位素组成 Fig. 6 Hydrogen and oxygen isotopic composition of ore-forming fluids for the gold deposits in the Tongshi region of western Shandong

碲化物金矿床(Mao Jingwen et al, 2003; 王宝德 等,2003),四川大水沟碲(金)矿床(陈毓川等,1996; 毛景文等,2000)、河南祁雨沟热液角砾岩体型金矿 床(范宏瑞等,2000)、北祁连山与斑岩有关的碲金 型金矿床(杨建国等,2002)中的包裹体类型相对简 单。而铜石杂岩体中则发现了较多的 CO₂型包裹体 (沈昆等,2001)。由于铜石杂岩体主体侵位于新太 古代花岗闪长岩或古元古代二长花岗岩与寒武一奥 陶系盖层之间的主拆离滑脱面上,主体侵位深度在 2000m 左右,而成矿(磨坊沟金矿、卓家庄金矿和归 来庄金矿)则发生在相对较浅的部位,反映了流体在 向上运移的过程中,发生较多的 CO₂逸散,以致在矿 层中未保留 CO₂型包裹体。大量岩浆热液方解石的 出现,则表明成矿流体中可能有 CO₂气体的存在。

现有资料普遍认为,鲁西铜石地区金矿床在成 因上与铜石杂岩体中的二长斑岩有密切的联系(林 景仟等,1997;徐金芳等,2000)。铜石杂岩体的 87 Sr/ 86 Sr在0.7012~0.7024之间,硅化碳酸盐化 二长闪长斑岩、火成角砾岩中黄铁矿的 34 S值介于 -0.71‰~2.990‰之间(林景仟等,1997)。这些 数据显示了铜石碱性杂岩体的地幔来源。铜石地区 金矿床中方解石的 13 CPDB值在0.0‰~一7.3‰之 间,其中归来庄金矿的 13 CPDB值为一3.3‰~ 0.0‰,梨方沟金矿和磨坊沟金矿 13 CPDB值为 -0.2‰~一7.3‰,而矿区围岩石灰岩的 13 CPDB值 为正值,在1.5‰~2.7‰之间,显示了成矿流体中 碳同位素与围岩碳同位素的差别。Faure(1986)界 定的地幔 δ¹³ C_{PDB} 值为 - 7%。本区金矿床中碳同位 素数值,尤其是归来庄金矿中的碳同位素与地幔值 有较大的偏离。氢氧同位素有力地证明了成矿流体 起源于岩浆热液,由于成矿流体经过了较长距离的 运移,金矿床的围岩是石灰岩,成矿流体中的碳同位 素不可避免地要与围岩发生同位素的交换。

碳氧同位素图解被广泛地用于成矿物质来源的 研究(毛景文等,2003;刘建明等,2003;孙景贵等, 2001)。本区金矿中方解石碳氧同位素变化范围较 宽,投影点较为分散,一个数据点落入原生碳酸岩的 范围,并与鲁西巴陡碳酸岩、胶东基性岩脉、和胶东 金矿中方解石的碳氧同位素投影点较为接近,反映 了成矿物质的地幔或深部来源,多个数据点靠近沉 积岩区,表明成矿流体与围岩又有一定的成因联系。 从总体上看,数据点多数位于 Ray 等界定的全球原 生碳酸岩与鲁西张夏剖面寒武系石灰岩之间,说明 了成矿流体的混合来源。

4 幔枝构造成矿作用

一般情况下,地幔具有一定的可塑性,因此,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。例如铁镍等元素,不仅其比重较大, 而且熔点和沸点亦高,所以成为主要成核元素。铜、 铅、锌、金、银等元素,尽管其比重也较大,但其熔点 和沸点较低,容易进入迁移状态。以金为例,依据金 的非专属性、金的特性及金的原子结构模型,推测



Fig. 7 Map of metallogenic model in western shandong region

1—奥陶系;2—寒武系;3—基底变质岩系;4—燕山期酸性岩类;5—燕山期中性岩类;6—基性岩脉;7一中酸性岩脉;8—归来庄式金矿;9— 梨方沟式金矿;10—断裂蚀变岩型金矿;11—拆离带型金矿;12—斑岩型金矿;13—矽卡岩型金矿;14—脉型金矿;15—陡倾韧性剪切带; 16—脆韧性拆离带;17—深部韧性剪切带;18—浅部大气降水与深部流体

1—Ordovician; 2—Cambrian; 3—basement metamorphic rock series; 4—Yanshanian acid rock; 5—Yanshanian intermediate rock; 6—mafic dikes; 7—intermediate-acid dikes; 8—Guilaizhuang-type gold deposits; 9—Lifanggou-type gold deposits; 10—fracture alterated-type gold deposits; 11—detachment zone type gold deposits; 12—porphyry type gold deposits; 13—skarn type gold deposits; 14—vein type gold deposits; 15—steeply inclined ductile shear zone; 16—brittle-ductile detachment zone; 17—deep seated ductile shear zone; 18—shallow atmospheric water and deep-seated fluids

99%的金都集中在地核之中,金以紫色气体状态混 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,形成气一液混合相,与地幔中的甲 烷类物质(CH4)一起,随地幔热柱多级演化继续向 上运移(牛树银等,2002;王登红等,2008)(图7)。

这种气一液混合相金在遇到幔源深断裂,与岩 浆一起上涌并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;而在近地表咸水(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,则才开始聚集成固态金。

张荣华等(2006)通过高温高压实验证实了多种 元素具有很强的气态迁移能力,超临界流体水通过 黑云母石英片岩并经过化学反应后,主反应釜在 430~435℃和压力为32MPa条件下,形成超临界流 体。在第一分离釜130℃和10MPa条件下发生减 压沸腾分离成气液两相。这时气相内普通存在Fe、 Ni、Zn、Cd、Mo、Cr、Mn、Na、Si、P、As、Bi、Ba、Ca、 Mg、W等元素,而且常常发现;气相内的 Na、Si、 Mg、As、Bi、Ba等元素往往比液相内含量高。这表 明高温高压下气相是迁移金属的可能介质。

根据实验结果可以推导出如下认识:①深部流体进入地壳中浅部,气与液分离时,超临界流体内原有金属元素重新分配;②高温高压的蒸汽相可以携带一些金属由深部地幔进入浅部地壳,也就是说,气相可以携带金属进入地表。

5 几点基本认识

鲁西隆起是一较为典型的幔枝构造,它不仅有 强烈的岩浆活动、典型的构造特征,还明显地控制着 该区的内生金属成矿作用,很值得深入探讨。

(1)鲁西地区中生代广泛发育典型的幔源岩浆 岩,包括侵入岩、富钾火山岩和煌斑岩。它们是幔枝 构造活动的直接产物,是华北地幔亚热柱——幔枝 构造活动的具体表现(杨文采等,2007),尤以早白垩 世幔枝构造活动主期活动最为强烈。特别是侵入 岩,随着成岩时序的演变,总体演化趋势是岩石的基 性程度由高变低,成岩深度由深变浅,围岩蚀变由强 变弱,构成完整的侵入旋回。 (2)晚中生代以来,在原华北地台的基础上,鲁 西幔枝构造快速隆升,并形成典型的放射状-环状断 裂体系,两者相互切错,并控制着幔枝构造的形成。 从幔枝构造的核部向外,依次展布有核部基底变 质一岩浆杂岩、寒武-奥陶系盖层、石炭-二叠系盖 层,其间为滑动明显的拆离构造。

(3)鲁西幔枝构造的形成不仅沟通了深部矿质 来源的通道,在有利的构造部位形成金刚石矿、金矿 等内生金属矿产。矿床的产出亦明显受着幔枝构造 的控制,如归来庄隐爆角砾岩型金矿、磨坊沟拆离带 型金矿、卓家庄断裂蚀变岩型金矿。而且,幔枝构造 的隆升作用把深部矿床抬升到近地表,便于现代的 开采。

但是,对比胶东地区,鲁西剥蚀尚浅,现已发现 开采的金矿多为矿头,深部仍具有很大的找矿前景。

致谢:作者衷心感谢李廷栋院士、陈毓川院士、翟 裕生院士所给予的热情指导和鼓励,感谢毛景文博 士、聂风军博士、王来明博士等所给予的热情帮助。

参考文献

- 陈毓川,毛景文,骆耀南等.1996.四川大水沟碲(金)矿床地质和地球 化学.北京:原子能出版社,1~146.
- 范宏瑞,谢奕汉,郑学正等.2000.河南祁雨沟热液角砾岩体型金 矿床成矿流体研究.岩石学报,16(4):559~563.
- 郭瑞朋. 1999. 临朐铁寨杂岩体基本特征及其与金矿化关系的探 讨. 山东地质, 15(4):24~29.
- 胡华斌,毛景文,牛树银等. 2004. 鲁西平邑地区磨坊沟金矿床的流 体包裹体研究.现代地质,18(4):529~536.
- 李洪奎,杨锋杰,牛树银,李英平,田京祥,郝兴中.2007.山东龙泉站 金矿区稳定同位素特征及其地质意义.地质学报,(5):81(5): 635~639.
- 李理,钟大赉,时秀朋. 2007. 鲁西隆起和济阳坳陷新生代隆坳耦 合关系. 地质学报,81(9):1217~1228.
- 林景仟,谭东娟,于学峰等. 1997. 鲁西归来庄金矿成因,济南:山东 科学技术出版社,1~160.
- 刘建明,叶杰,徐九华等. 2001. 初论华北东部中生代金矿成矿的地 球动力学背景. 地球物理学进展,16(1): 39~45.
- 刘建明,叶杰,徐九华等.2003.胶东金矿床碳酸盐矿物的碳-氧和 锶-钕同位素地球化学研究.岩石学报,19(4):775~784.
- 毛景文,魏家秀. 2000. 大水沟碲矿床流体包裹体的 He、Ar 同位素 组成及其示踪成矿流体的来源. 地球学报,21(1):58~61.
- 毛景文,李晓峰,张作衡等.2003.中国东部中生代浅成热液金矿的 类型、特征及其地球动力学背景.高校地质学报,9(4):620~ 637.
- 牛树银,李红阳,孙爱群等. 2002. 幔枝构造理论与找矿实践. 地震 出版社,1~243.
- 牛树银,孙爱群,王宝德.2007. 地幔热柱与资源环境. 地质出版社, 1~264.

- 邱检生,徐夕生,罗清华.2001.鲁西富钾火山岩和煌斑岩的⁴⁰ Ar-³⁹ Ar定年及源区示踪.科学通报,46(18):1500~1508.
- 沈昆,倪培,林景仟. 2001. 鲁西南归来庄金矿成矿流体特征和演 化. 地质科学,36(1):l~13.
- 沈远超,曾庆栋,刘铁兵等.2000.山东平邑卓家庄金矿地质特征及成 矿预测.地质与勘探,36(4)20~23.
- 孙景贵,胡受奚,沈昆等.2001.胶东金矿区矿田体系中基性一中基性 脉岩的碳、氧同位素地球化学研究.岩石矿物学杂志,20:47~ 56.
- 王宝德,牛树银,孙爱群等.2003. 冀北地区中生代金银多金属矿床 成矿物质来源和深部过程探讨.地质学报,77(3):379~386.
- 王登红,许建祥,张家菁等,2008. 华南深部找矿有关问题探讨. 地 质学报,82(7):865~872.
- 徐金芳,于学峰,唐好生.2000.鲁西下寒武统层状金矿一磨坊沟式 金矿地质特征.山东地质,16(2):9~16.
- 燕守勋,王桂梁,邵震杰等. 1996. 鲁西地壳隆升的伸展构造模式. 地质学报,70(1):1~11.
- 杨建国 马中平 任有祥等. 2002. 北祁连山与斑岩有关的碲金型金 矿床地质特征和成因模型. 西北地质,35(2):24~33.
- 杨文采,张学民,于常青. 2007.华北东部上地幔破裂带.地质学报, 81(10):1305~1313.
- 于学峰. 2001.山东平邑铜石金矿田成矿系列及成矿模式.山东地质,17(3-4):59~64.
- 曾庆栋, 沈远超, 刘铁兵等. 2000. 山东平邑铜石地区金矿类型及找矿 方向. 黄金科学技术, 8(2): 21~25.
- 张荣华, 胡书敏, 张雪彤. 2006. 金铜在气相中的迁移实验及矿石的 成因. 矿床地质, 25(6):705~714.
- 张荣隋,甘延景.2001. 沂源县金星头杂岩体基本特征及与金矿化的 关系.山东地质,7(1):24~29.
- 张岳桥,董树文,赵越等. 2007. 华北侏罗纪大地构造:综评与新认识. 地质学报,81(11):1462~1480.
- 祝德平,左守良,王洪青.1998.平邑归来庄金矿 I 号矿体地质特征及 成因探讨.黄金,19(11):12~15.
- Chen Yuchuan, Mao Jingwen, Luo Yaonan, et al. 1996. Geology and Geochemistry of the Dashuigou Te (Au) Deposit in Sichuan Province. Atomic Energy Press, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Davies C A, Lister G. S. 1988. Detachment faulting in continental extension, Perspectives from the southwestern U. S. Cordillera. Geological Science of America Special Paper, 1∼218.
- Fan Hongrui, Xie Yihan, Zheng Xuezheng, et al. 2000. Oreforming fluids in hydrothermal breccia-related gold mineralization in Qiyugou, Henan Province. Acta Petrologica Sinica, 16(4), 559~563.
- Faure G. 1986. Principles of isotope geology, 2nd edition. New York: Wiley and Sons. 497~507.
- Guo Ruipeng. 1999. Discussion on the relation between basic characteristics of Tiezhai complex and its gold mineralization in Linqu. Geology of Shandong, 15(4):24~29(in Chinese with English abstract).
- Hu Huabin, Mao Jingwen, Niu Shuyin, et al. 2004. Study on fluid in clusions of mofanggou gold deposits in pingyi, western

Shandong. Geoscience, 18(4): 529~536.

- Li Hongkuil; Yang Fengjie; Niu Shuyin, et al. 2007. Characteristics and Geological Significance of Steady Isotopes in Golden Ore in the Longquanzhan Area of Yishu Fault Zone, Shandong Province. Acta Geologica Sinica, 81(5): 635~639. (in Chinese with English abstract).
- Li Li, Zhong Dalai, Shi Xiupeng. 2007. Cenozoic uplifting/ subsidence coupling between the west Shandong rise and the Jiyang depression, Northern China. Acta Geologica Sinica, 81 (9): 1217~1228(in Chinese with English abstract).
- Lin Jingqian, Tan Dongjuan, Yu Xuefeng, et al. 1997. Genesis of the Guiliazhuang Gold deposit in western Shandong. Jinan: Shangdong Science and Technology Press, $1 \sim 160$ (in Chinese).
- Liu Jianming, Ye Jie, Xu Jiuhua, et al. 2001. Preliminary discussion on geodynamic background of Mesozoic gold metallogeny in easternnorth China with examples from eastern Shandong province. Progress in Geophysics, 16(1): 39~45(in Chinese with English abstract).
- Liu Jianming, Ye Jie, Xu Jiuhua, et al. 2003. C-O and Sr-Nd isotopic geochemistry of carbonate minerals from gold deposits in East Shandong, China. Acta Petrologica Sinica, 19(4):775~ 784(in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Wei Jiaxiu. 2000. He and Ar isotopic composition of fluid inclusions from the Dashuigou Te deposit and their functions intracing the source of ore-forming fluids. The Earth. 21(1):58~61(in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Li Xiaofeng, Zhang Zuoheng, et al. 2003. Types, characteristics and geodynamics background of Mesozoic epithermal gold deposits in eastern China. Geological Journal of Chinese Universities. 9(4):620~637. (in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Li Yinqing, Richard G H. et al. 2003. Fluid inclusion and nobale gas studies of the Dongping Gold deposit, Hebei province, China: a mantle connection for mineralization?. Econ. Geol., 98: 517~534.
- Niu Shuyin, Li Hongyang, Sun Aiqun, et al. 2002. Theory of Mantle Branch Structure and Ore Exploration Practice. Beijing: Seismological Press, 1~243 (in Chinese).
- Niu Shuyin, Hou Quanlin, Hou Zengqian, et al. 2003. Cascaded evolution of mantle plumes and metallogensis of core-and mantle-derived elements. Acta Geolgica Sinica, 77 (4): 522 ~ 536.
- Niu Shuyin, Sun Aiqun, Li Hongyang, et al. 2004. Mantle/Crust eco-environmental effects as exemplified by Zhangjiakou-West Beijing Region. Chinese Journal of Geochemistry, 23(1):1~ 14.
- Niu Shuyin, Sun Aiqun, Wang Baode, et al. 2007. Mantle plume and natural resources environment. Beijing: Geology Publish, 1 ~264 (in Chinese).
- Ohmoto H. 1986. Stable isotope geochemistry of ore deposits. Rev. in Mineral, 16: 491~559.

- Qiu Jiansheng, Xu Qisheng, Luo Qinghua. 2001. ⁴⁰ Ar-³⁹ Ar dating of K-rich volcanic rocks and lamprophyries in western Shandong and source region tracing. Bulletin of Science. 46(18):1500~ 1508 (in Chinese with English abstract).
- Shen Kun, Ni Bei, Lin Jingqian. 2001. Characteristics and evolution of ore-forming fluids for the Guilaizhuang gold deposit in southwestern Shandong. Scientia Geologica Sinica. 36(1):1~ 13 (in Chinese with English abstract).
- Shen Yuanchao, Zeng Qingdong, Liu Tiebing, et al. 2000. Geological characteristics and metallogenetic prediction of the Zhuojiazhuang gold deposit at Pingyi, Shandong. Geology and Exploration. 36(4)20~23 (in Chinese with English abstract).
- Sun Jinggui, Hu Shouxi, Shen Kun, et al. 2001. Carbon and oxygen isotope geochemistry of basic-intermediate basic vein rocks in the Jiaodong gold ore field system. Journal of Rocks and Minerals. 20, 47~56 (in Chinese with English abstract).
- Sheppart S M F. 1986. Characterization and isotopic variations in natural waters. Rev. in Mineral. ,165~183.
- Thompson T B, Trippel A D, Dwelley P C. 1985. Mineralized veins and breccias of the Cripple Creek district, Colorado. Econ. Geol., 80: 1669~1688.
- Wang Baode, Niu Shuyin, Sun Aiqun, et al. 2003. On the source of ore-forming materials deep processes for the Mesozoic Au-Ag polymetallic ore deposits in northern Hebei Province, China. Acta Geologica Sinica. 77(3): 379 ~ 386 (in Chinese with English abstract).
- Wang Baode, Niu Shuyin, Sun Aiqun, et al. 2003. The isotopic composition of noble gases in gold deposits and the source of ore-forming materials in the region of north Hebei, China. Chinese Journal of Geochemistry, 22(4):313~319.
- Wang Denghong, Xu Jianxiang, Zhang Jiajing, et al. 2008. Several issues on the deep prospecting in South China. Acta Geologica Sinica. 82(7):865~872 (in Chinese with English abstract).
- Xu Jinfang, Yu Xuefeng, Tang Haosheng. 2000. Geological characteristics of Lower Cambrian stratiform gold deposit in

western Shandong-The Mofanggou-type gold deposits. Shandong Geology. 16(2): 9 \sim 16 (in Chinese with English abstract).

- Yan Shouxun, Wang Guiliang, Shao Zhenjie, et al. 1996. Extensional structure model of crust uplift in western Shandong. Acta Geologica Sinica, 70(1):1∼11 (in Chinese with English abstract).
- Yang Jianguo, Ma Zhongping, Ren Youxiang, et al. 2002. Geological characteristics and genetic model of the Te-Au-type gold deposits associated with porphyries in northern Qilian Mountains. Northwest Geology. 35 (2): 24 ~ 33 (in Chinese with English abstract).
- Yang Wencai, Zhang Xuemin, Yu Changqing. 2007. Upper mantle crack zones in the eastern Part of North China. Acta Geologica Sinica,81(10):1305~1313(in Chinese with English abstract).
- Yu Xuefeng. 2001. Metallogenetic series and metallogenetic model of the Tongshi gold ore field at Pingyi, Shandong Province. Shandong Geology. 17(3-4):59~64 (in Chinese with English abstract).
- Zeng Qingdong, Shen Yuanchao, Liu Tiebing, et al. 2000. Gold ore types and ore-search orientation in the Tongshi area, Pingyi, Shandong Province. Gold Science and Technology. 8(2):21~ 25 (in Chinese with Englsih abstract).
- Zhang Rongsui Gan Yanjing. 2001. Fundamental characteristics of the Jinxingtou complex in Yiyuan County and their relations with gold mineralization. Shangdong Geology. 7(1):24~29 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yueqiao, Dongshuwen, Zhaoyue, et al. 2007. Jurassic tectonics of north China: a synthetic view. Acta Geologica Sinica, 81(11):1462~1480(in Chinese with English abstract).
- Zhu Deping, Zuo Shouliang, Wang Hongqing et al. 1998. Geological characteristics and genesis of the No. I orebody of the Guilaizhuang gold deposit in Pingyi. Gold. 19(11), 12~15 (in Chinese with English abstract).

Mantle Branch Structure in Western Shandong and Its Ore-Controlling Characteristics

NIU Shuyin¹⁾, SUN Aiqun¹⁾, LI Yujing²⁾, WANG Baode¹⁾, HU Huabin¹⁾, MAO Jingwen^{2,3)}, LI Yingping⁴⁾
1) Resources College, Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang, 050031; 2) Department of Land and Resources of Hebei Province, Shijiazhuang, 050051; 3) Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geosciences, Beijing, 100037; 4) Institution of Provincial Geological Survey, Shandong, Jinan, 250013

Abstract

The characteristics of mantle branch structures in western Shandong Province, China are discussed in this study, especially distribution characteristics and ages of the regional strata, the development of ringlike and radial faults, the development of gently inclined detachment-slip structures in the axial part, mantle-source magmatic activities, regional petrology, petrochemistry and isotope geology. The study indicated that the NW sharply plunged ductile shear zone in the region of western Shandong cuts through the mantle rocks detached from the deep-seated North China mantle sub-plume, hence leading to unloading in response to depressurization and thereafter the formation of anatexis magma. The intense and complete magmatic evolution series not only manifests a variation trend of alkalinity of magma from high to low and its intrusive depth from deep to shallow, but also reflects that the wall-rock alteration shows a general evolution trend from strong to weak. The evolution of mantle structure played an important role in controlling endo-mineralogenesis, accompanied with the rise of the country rocks. As a result, typical mantle branch structures were formed as observed in western Shandong. The detachment-tilt fault block developed mainly at the top of the mantle branch structure, resulting in that part of endogenic ores were uplifted to the shallow levels.

Key words: mantle branch structure; mantle plume; tectonic ore-controlling; minerogenesis; region of western Shandong Province