

# 鲁西中生代幔枝构造及其金矿化\*

胡华斌<sup>1,2</sup> 牛树银<sup>2</sup> 毛景文<sup>1,3</sup> 张忠义<sup>1</sup> 王银宏<sup>1</sup>

(1 中国地质大学, 北京 100083; 2 石家庄经济学院, 河北 石家庄 050031;

3 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

**摘 要** 文章在收集岩石学、岩石化学、同位素地质学、构造地质学和地球物理学等资料的基础上, 采用多学科相结合、相互验证和综合分析的方法, 论述了鲁西中生代地质特征和金矿床形成的关系。研究表明: 鲁西地区中生代典型的幔枝构造, 它是华北地幔亚热柱的次级构造单元。鲁西幔枝构造由核部岩浆-变质杂岩、外围盖层拆离滑脱层和上叠构造断陷-火山盆地 3 个单元组成。在上叠构造断陷-火山盆地单元内, 广泛分布幔源岩浆岩, 包括中基性到碱性的侵入岩、富钾火山岩和煌斑岩; 同时, 由于幔枝构造的上隆, 形成了与之相配套的放射状和环状断裂体系。结合前人中生代岩浆活动的年龄数据, 提出了鲁西中生代幔枝构造的活动经历了早侏罗世和早白垩世 2 个高潮期。按照构造控矿的特征, 鲁西幔枝构造中的金矿床可分为韧性剪切带型和外围拆离滑脱层型两种。

**关键词** 地质学 中生代 幔枝构造 金矿床 鲁西

**中图分类号**: P618.51; P542+.5

**文献标识码**: A

鲁西地区是指潍坊—临沂一线以西的山东省西部地区, 为东以沂沭断裂为界, 西以聊兰(聊城—兰考)断裂为界, 北以齐广(齐和—广饶)断裂为界, 南以开封—郯城秦岭隐伏隆起带为界的近圆形地块(金振奎等, 1999)。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岩岩体组成, 其中泰山岩群主要由斜长角闪岩和黑云变粒岩等组成, 和 TTG 岩系一起遭受了中-浅程度的变质作用; 古元古代造山花岗岩岩体主要有微绿山超单元、四海超单元、红门超单元和摩天岭超单元(宋明春等, 2001; 王世进等, 2002)。震旦系和古生界为盖层沉积, 其中震旦系土门群为海相碎屑岩组合, 下古生界长清群、九龙群和马家沟组为海相碳酸盐岩沉积, 上古生界为海陆交互相含煤碎屑岩建造。进入中生代, 鲁西幔枝构造强烈活动, 形成一系列 NW 向和 EW 向的火山断陷盆地, 其内广泛发育幔源侵入岩和火山岩, 并导致了鲁西地区燕山期金矿床的形成。

## 1 鲁西中生代幔枝构造的特征

### 1.1 鲁西幔枝构造的单元划分

幔枝构造——地幔热柱演化的第三级构造单元, 是地幔热柱多级演化在岩石圈浅部的综合表现形式, Maruyama (1994)称之为三次柱。幔枝构造一般由核部岩浆-变质杂岩、

外围盖层拆离滑脱层、上叠构造断陷-火山盆地等 3 个单元组成(牛树银等, 2002)。它们一起构成相互关联的统一整体。

鲁西幔枝构造中的岩浆-变质杂岩位于幔枝构造的中心, 呈不甚规则的圆形, 由古太古代泰山岩群、TTG 岩系和古元古代造山花岗岩岩体组成。核部岩浆-变质杂岩又被 3 条反向铲状断层切割成 4 条北西向长垣状块体(图 1)。

外围拆离滑脱层指的是幔枝核部岩浆-变质杂岩之上的所有盖层岩石。鲁西幔枝构造的外围拆离滑脱层主要由古生代地层组成。上叠断陷火山-沉积盆地是在幔枝隆升过程中叠加在不同构造单元之上的断陷火山-沉积盆地。鲁西地区中生代这类火山沉积盆地广泛发育, 呈 NW 向至 EW 向长条形或弧形, 共有大小盆地 23 处(宋莫南, 2001)。

### 1.2 强烈的幔源岩浆活动

鲁西地区中生代广泛发育典型的幔源岩浆岩, 包括侵入岩、富钾火山岩和一些煌斑岩。其中的侵入岩分布十分广泛, 类型多样, 但多数规模较小。根据岩石谱系, 可划分为铜石超单元(孔令广等, 2001)、沂南超单元(王世进等, 1998)、埠村超单元(田洪水等, 1998)、济南超单元、卧福山超单元和雪野超单元(王世进等, 2002), 各超单元内岩性多样。从岩性组合上可分为 5 组: ①二长闪长玢岩-二长斑岩、正长斑岩组合, 如平邑铜石岩体(图 2); ②辉石岩-二长闪长岩-正长岩组合, 如龙宝山岩体; ③橄榄苏长辉长岩-二辉闪长岩(角闪闪长岩)-石

\* 本文为中国地质调查局地质调查项目(编号: 200110200038)、国家自然科学基金项目(编号: 40272088)和国家重点基础规划发展项目(编号: G1999043211)成果

第一作者简介 胡华斌, 男, 1966 年生, 在读博士, 主要从事矿床学方面的科研工作。

收稿日期 2003-06-13; 改回日期 2003-09-05; 张绮玲编辑。

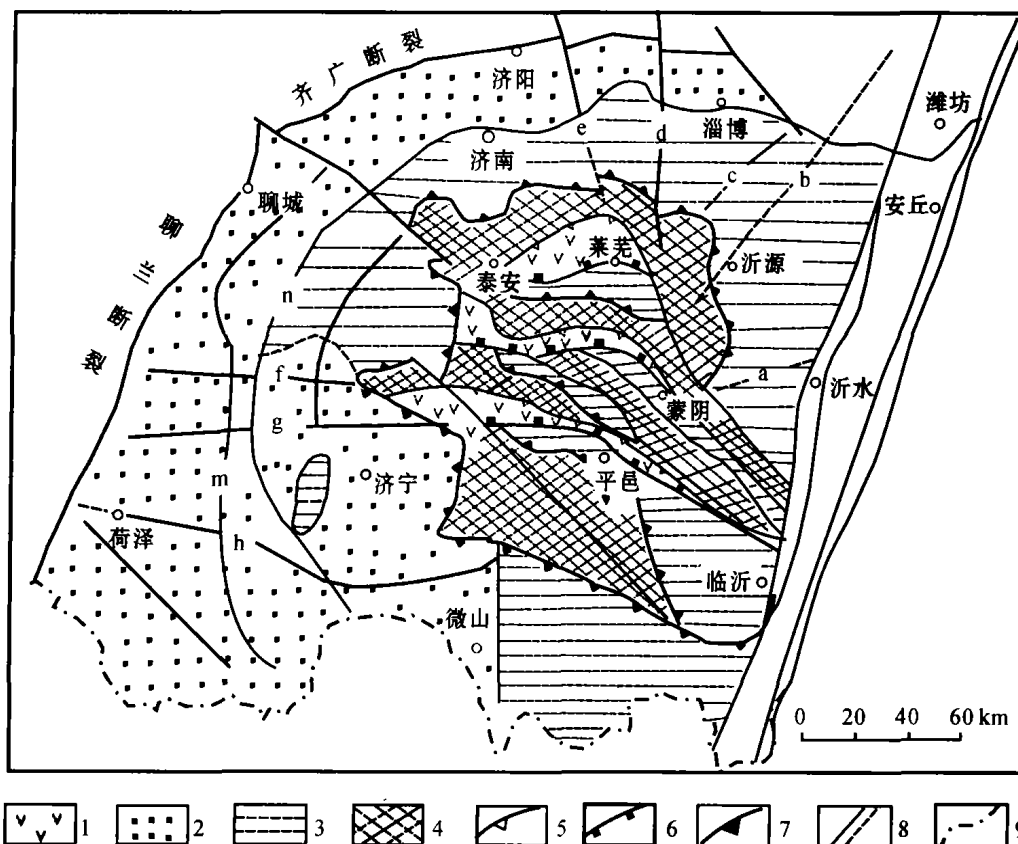


图 1 鲁西中生代幔枝构造简图

1—中生代断陷火山-沉积盆地;2—晚古生代碎屑沉积;3—早古生代拆离滑脱层;4—核部岩浆-变质杂岩;5—反向铲状断层;6—次级拆离滑脱带;7—主拆离滑脱带;8—断裂及推断断裂;9—省界;a—夏蔚断裂;b—上五井断裂;c—淄河断裂;d—金山-姚家峪断裂;e—白泉庄-五色崖断裂;f—汶上-泗水断裂;g—郛城断裂;h—凫山断裂;m—曹县断裂;n—巨野断裂

Fig. 1 Sketch map of Mesozoic mantle-branch structures in western Shandong

1—Mesozoic fault-depression volcanic-sedimentary basin; 2—Late Paleozoic clastic rock; 3—Early Paleozoic detachment-slip layer; 4—Magmatic and metamorphic complex core; 5—Reverse listric fault; 6—Secondary detachment-slip zones; 7—Dominant detachment-slip zones; 8—Fault or inferred fault; 9—Provincial boundary; a—Xiayu fault; b—Shangwujing fault; c—Zihe fault; d—Jinshan-Yaojiayu fault; e—Beiquanzhuang-Wuseya fault; f—Wenshang-Sishui fault; g—Yuncheng fault; h—Fushan fault; m—Caoxian fault; n—Juye fault

英二长岩组合,如章丘东北部岩体;④闪长(玢)岩-石英二长闪长(玢)岩-花岗(斑)岩组合,如沂南铜井一带岩体;⑤碳酸岩类,如雪野岩体。前两类分布于鲁西南,居于临沂—费县—平邑—泗水一线之南。第三类主要分布于此线以北的广大地区,第四类则主要在鲁西的东部、近沂沭断裂带地域。碳酸岩分布在鲁西莱芜—淄博一带的八陡、乐瞳、东石码、胡家庄、雪野等地。

岩石学、岩石地球化学研究表明,前4类岩石是在幔源正长质岩浆或辉长质岩浆与地壳熔融物参与下生成的岩石组合(林景仟等,1996)。碳酸岩是一类岩浆成因、碳酸盐矿物含量大于50%、 $\text{SiO}_2$ 含量小于10%的幔源岩石(Woolley et al., 1989)。Nd、Sr、Pb、O、C同位素及痕量元素地球化学特征和高温高压实验岩石学证据充分说明碳酸岩来源于富集地幔(杨学明等,1998)。其岩浆的形成主要与含 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$ 流体的地幔交代作用和地幔岩石的部分熔融作用有关(秦朝建等,2001)。鲁西地区碳酸岩的岩石结构、构造、岩石化学成分、微

量元素特征、稀土元素模式曲线均与世界典型碳酸岩的相近,应为地幔物质形成的碳酸岩(储同庆等,1997)。

鲁西中生代富钾火山岩多分布于陆相断陷火山盆地中,火山岩的主体部分主要由偏碱性的中基性火山碎屑岩与熔岩组成,岩性包括粗面玄武岩、钾玄岩及相应成分的火山集块岩、火山角砾岩等。煌斑岩多分布在火山盆地的外围,可区分为两类:一类为偏碱性超镁铁质煌斑岩;另一类为偏碱性的中基性煌斑岩(邱检生等,2001)。

鲁西及其邻区同时代的富钾火山岩、煌斑岩和碳酸岩的Sr、Nd同位素组成具有相似性,如蒙阴盆地的富钾火山岩 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 为0.708715~0.711418,  $\epsilon_{\text{Nd}}$ 为-11.47~-17.54,煌斑岩的 $\epsilon_{\text{Nd}}$ 为-11.57~-19.64(邱检生等,2001);鲁西碳酸岩的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 为0.70998~0.71048,  $\epsilon_{\text{Nd}}$ 为-14.1~-16.7(英基丰等,2001;储同庆等,1997)。这些较高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值和较低 $\epsilon_{\text{Nd}}$ 值的岩体,具有壳源物质的特点,但蒙阴地区富钾火山岩和煌斑岩中含有铬透辉石和铬金云母等幔源捕虏晶,又



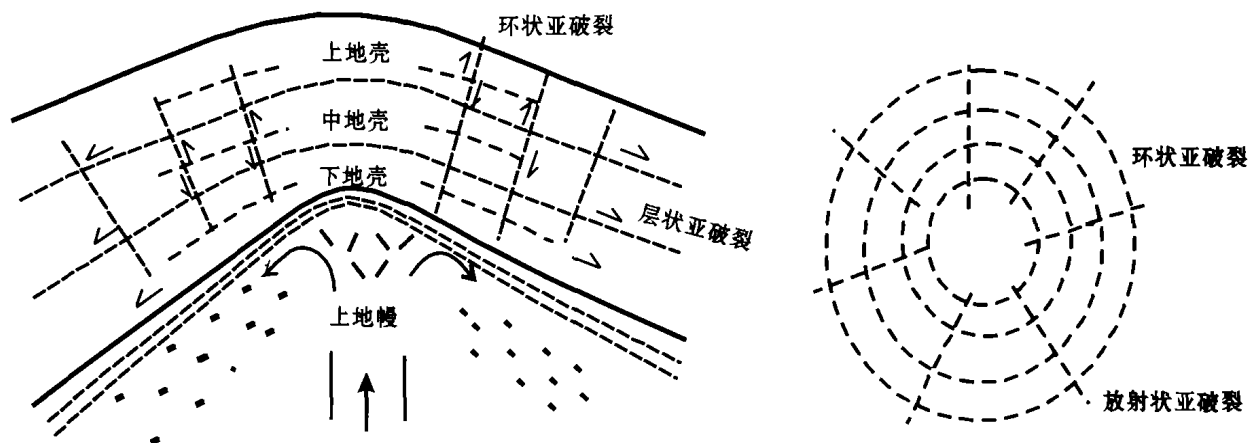


图3 幔枝构造中放射状-环状断裂的形成机制(据牛树银等,2002)

Fig. 3 Sketch showing genetic mechanism of radial and ringed faults in mantle-branch structure(after Niu, 2002)

为两期:一期为早侏罗世,主要形成了铜石碱性杂岩体,其 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄在188~190 Ma(林景仟等,1996);另一期在早白垩世,年龄为110~130 Ma。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(除铁铜沟的花岗闪长岩外)均形成于此时期。91件岩石K-Ar年龄数据统计显示,多数样点(56件)集中于110~132 Ma年龄段。邹平区岩体两个 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄数据也在110~132 Ma之间(林景仟等,1996)。鲁西富钾火山岩样品的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪年龄值变化于 $(114.8 \pm 0.6) \sim (124.3 \pm 0.6)$  Ma(邱检生等,2001),其火山活动的高潮期应在此范围内。煌斑岩的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为 $(119.6 \pm 0.7)$  Ma,相当于早白垩世(邱检生等,2001)。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。这也与部分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(Larson, 1991)。

### 1.5 现代地球物理证据

渤海湾盆地三维地震层析成像资料显示,在 $v_p = 7.8 \sim 8.0$  km/s的上部出现了 $v_p = 8.3$  km/s以上的高速体(路凤香等,2000)。在北京—冲绳海槽间壳幔结构剖面上,明显地显示出两个 $v_s < 4.3$  km/s的地幔隆起(冯福闯等,1996),实际上相当于两个地幔亚热柱,一个是冲绳海槽,另一个是以渤中为中心的地幔亚热柱(牛树银,2001)。鲁西幔枝构造正是渤中地幔亚热柱的次级单元,是地幔亚热柱在岩石圈浅部的表现形式。在鲁西幔枝构造的临沂附近,人工深地震探测和大地电磁测深的综合成果,进一步表明上地幔形成了明显的隆起,隆起的幅度以第二构造层最大,落差达50 km以上(曹国权,1996)。

前已述及,中生代地幔热柱的活动有两个高潮期。结合新近纪渤海周边地区大量的幔源岩浆活动(谷俐等,2000),可知中生代以来,鲁西地幔柱的活动经历了早侏罗世、早白垩世和新近纪3次高潮期以及其间的3次宁静期。这也与中生代以来,中国东部岩石圈减薄所经历的上升-回落(许文良等,2000)的过程相吻合。

## 2 鲁西幔枝构造中的金矿成因

### 2.1 幔枝构造中金矿的类型

鲁西是山东省的黄金新区。近十年,许多学者对鲁西金矿床的成因进行了大量的探索。沈远超等(1998)、沈昆等(2001)、于学峰(2001)按照赋矿围岩的岩性及产状特征划分为:隐爆角砾岩成因的归来庄金矿床和卓家庄金矿床、似层状浸染型的磨坊沟金矿床、斑岩型的平邑银洞沟金矿床、夕卡岩型的临朐铁寨金矿床和沂源金星头金矿床、古溶洞型的平邑张理北金矿点和红旗村金矿点、破碎蚀变岩型的平邑董李金矿床以及绿岩带型的蒙阴埠洼金矿床和新泰岳家庄金矿床。笔者认为,以上不同类型的金矿床都富集在鲁西中生代幔枝构造的不同构造部位,虽然赋矿围岩的岩性及产状特征差别很大,但是鲁西地区的金矿床都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,鲁西地区的金矿床可分为韧性剪切带型和外围拆离滑脱层型两种金矿床。

鲁西幔枝构造是华北地幔亚热柱(二级构造单元)的次级构造单元,是地幔热柱在岩石圈浅部的综合表现形式,鲁西地区的地质构造、幔源岩浆岩和金矿床是地幔热柱多级演化的产物。由于鲁西中生代幔枝构造的演化经历了早侏罗世和早白垩世两个高潮,鲁西地区的金矿床多与中生代幔源岩浆岩有关,尤其是外围拆离滑脱层型金矿床又与中生代多期碱性杂岩体和岩脉有关。

### 2.2 轴部韧性剪切带型金矿床

在鲁西泰山-新甫山-蒙山断块凸起区内呈NW向展布的下港-化马湾-蒙山构造活动带,是韧性剪切带、岩浆及热液长期活动、多次叠加的复杂构造带。该韧性剪切带断续长200~300 km,宽10~30 km。区内已知的金矿有化马湾、岳家庄、埠洼金矿等,这些金矿床均分布在燕山期侵入岩体的附近(图2)。

轴部韧性剪切带金矿床以岳家庄金矿床为代表(图4)。岳家庄金矿床产于太古宙泰山岩群中,最重要的控矿构造是幔枝构造中呈NW向放射状展布的脆性断层。从区域上看,这些NW向展布的脆性断层是大型南盐店-关山头断裂系的分支断裂,它们是受到沂沭断裂带的牵引而形成的帚状断裂(杜子图等,1999),是燕山期中酸性岩体和金矿床的控岩导矿断裂(曹国权,1996),其中岳家庄金矿II号矿脉就是富集在NW向脆性断层及与之伴生的张节理中(辛后田等,2000)。显然,它们是在中生代幔枝构造隆升的过程中,含矿热液沿次级断裂及其伴生的裂隙迁移、富集成矿的。

### 2.3 外围拆离滑脱层型金矿床

外围拆离滑脱层型金矿床包括归来庄金矿床、卓家庄金矿床和磨坊沟金矿床等。归来庄金矿床(储量35 t)是鲁西地区唯一的大型金矿床,磨坊沟金矿床属似层状浸染型,具有很好的找矿远景。外围拆离滑脱层型金矿床是鲁西幔枝构造中最为重要的金矿类型。目前,山东第二地质勘查院正在进行深入的勘探工作。

磨坊沟金矿床产于寒武系朱砂洞组下部的灰质白云岩及白云质灰岩中,矿体距不整合面(主拆离断层)20~30 m(图5)。鲁西幔枝构造的主拆离带叠加在新太古代泰山群与下古生界寒武系朱砂洞组之间的角度不整合面之上。含矿层为一次级拆离带,拆离带内NW向张性断裂控制了矿体的延伸方向,矿石品位与岩石的破碎程度呈正相关关系,矿体与围岩呈渐变过渡关系。推测该次级拆离带在地壳浅处顺层产出,距主拆离带不远,向下归并到主拆离带上,含矿热液就是沿次级拆离带运移富集的。

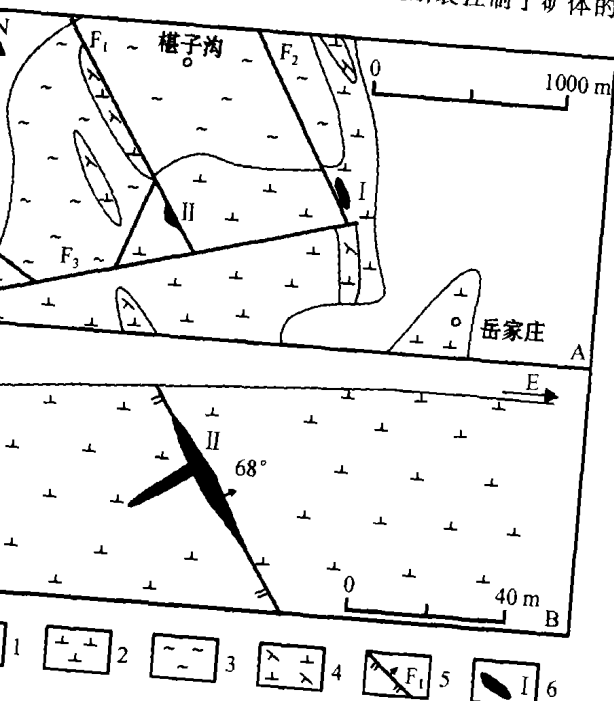


图4 岳家庄金矿地质略图(A)及矿体剖面图(B)  
1—第四系;2—TTG岩系;3—泰山岩群;4—闪长玢岩;  
5—断层及编号;6—矿体及编号  
Geological sketch map and (A) orebody section (B)  
of the Yuejiazhuang gold deposit  
1—Quaternary; 2—TTG gneiss; 3—Taishan Group; 4—Diorite  
porphyrite; 5—Fault and its serial number; 6—Gold orebody  
and its serial number

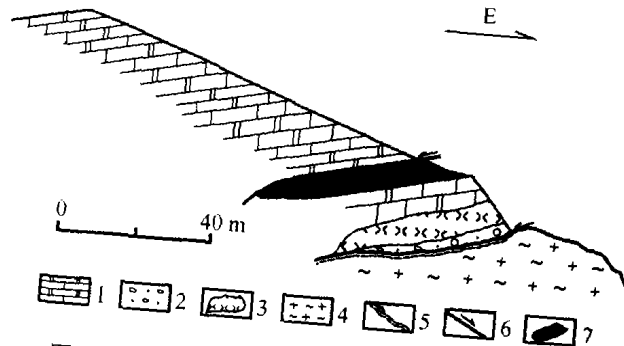


图5 磨坊沟外围拆离滑脱层型金矿地质剖面图  
1—灰质白云岩;2—砾岩;3—正长斑岩;4—太古宙片麻状花岗岩;  
5—主拆离断层;6—次级拆离断层;7—矿体

Fig. 5 Geological section of detachment-slip layer type  
gold deposits in Lifanggou  
1—Calcite dolomite; 2—Conglomerate; 3—Syenite porphyry; 4—  
Archaean biotite granite; 5—Dominant detachment-slip fault;  
6—Secondary detachment-slip fault; 7—Gold orebody

## 3 结论

(1) 鲁西地区在中生代广泛发育了典型的幔源岩浆岩,包括侵入岩、富钾火山岩和一些煌斑岩。它们是地幔热柱作用的产物。鲁西地区的放射状、环状断裂是幔枝构造上升过程中产生的断裂构造体系。

(2) 鲁西幔枝构造的活动在中生代经历了两个高潮期。一期为早侏罗世,年龄为188~190 Ma,形成了铜石碱性杂岩体;另一期在早白垩世,年龄为110~130 Ma,形成鲁西地区多数侵入岩、富钾火山岩和一些煌斑岩。其中又以早白垩世的活动最为强烈,鲁西地区的金矿床多与中生代地幔热柱的多期、多级演化有关。

(3) 按照幔枝构造单元的划分,鲁西地区的金矿床可分为韧性剪切带型和外围拆离滑脱层型两种,其中外围拆离滑脱层式金矿床是本区金矿床的主要类型。

致谢 在室内收集资料及论文撰写过程中得到了李厚民博士的帮助,在此深表谢意!

## References

- Cao G Q. 1996. Early Precambrian geology of western Shandong[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~210 (in Chinese with English abstract).  
Chu T Q and Shen W Z. 1997. Isotopic geochemistry of granitic rocks

- carbonatite in central Shandong[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 17(1): 82~85(in Chinese with English abstract).
- Deng J F, Mo X X, Zhao H L, et al. 1994. Lithosphere root/de-rooting and activation of the east China continent[J]. *Geoscience*, 8(3): 349~356(in Chinese with English abstract).
- Deng J F, Zhao H L, Wu Z X, et al. 1992. A mantle plume beneath the north part of China continent and lithosphere motion[J]. *Geoscience*, 6(3): 267~274(in Chinese with English abstract).
- Du Z T, Chen J Q, Wang X L, et al. 1999. Brush structure and its genetic mechanism on the northern margin of the Luxi uplift [J]. *Regional Geology of China*, (3):329~333(in Chinese with English abstract).
- Feng F K and Song L H. 1996. Mantle diapir tectonics: thermo-dynamic analysis of circum-western Pacific Basins [J]. *Earth Science*, 21(4):383~394(in Chinese with English abstract).
- Gu L, Dai T G and Fan W M. 2000. Mesozoic-Cenozoic volcanism and the significance of deep processes in the Bohai region [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 24(1):9~17(in Chinese with English abstract).
- Hu S X, Sun J G, Ling H F, et al. 2001. Genetic relationship between eclogite, lamprophyre, gold deposit and enriched mantle of Su-Lu active continental margin in the Mesozoic, China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 17(3): 425~435(in Chinese with English abstract).
- Jin Z K, Liu Z R and Shi Z Z. 1999. Types and genetic mechanism of fault in western Shandong[J]. *J. Univ. Petroleum*, 23(5):1~5(in Chinese).
- Kong L G and Gan Y J. 2001. Family classification of Mesozoic Tongshi complex and its origin in west Shandong[J]. *Geology of Shandong*, 17(2):23~27(in Chinese with English abstract).
- Larson R L. 1991. Latest pulse of earth, evidence for a mid-Cretaceous superplume [J]. *Geology*, 19:547~550.
- Lin J Q, Tan D J and Jin Y. 1996.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  ages of Mesozoic igneous activities in western Shandong[J]. *Acta Petrologica et Mineralogical*, 15(3):213~220(in Chinese with English abstract).
- Lu F X, Zheng J P, Li W P, et al. 2000. The main evolution pattern of Phanerozoic mantle in the eastern China: the "Mushroom cloud" model [J]. *Earth Science Frontiers*, 7(1): 97~107(in Chinese with English abstract).
- Maruyama S. 1994. Plume tectonics [J]. *Geol. Soc. Japan*, 100(1):24~49.
- Niu M L, Zhu G and Song C Z. 2001. Mesozoic volcanic activities and deep processes in the Tan-Lu fault zone [J]. *J. Hefei Univ. Technology*, 24(2): 147~153(in Chinese with English abstract).
- Niu S Y, Li H Y, Sun A Q, et al. 2002. Mantle branch structure theory and exploration practice [M]. Beijing: Seismology Press, 1~243(in Chinese).
- Niu S Y, Sun A Q, Shao Z G, et al. 2001. The multiple evolution of mantle plume and its mineralization [M]. Beijing: Seismology Press. 1~225(in Chinese).
- Qing C J and Qiu Y J. 2001. Recent progress in carbonatite research [J]. *Advance in Earth Sciences*, 16(4): 501~507(in Chinese with English abstract).
- Qiu J S, Xu X S and Luo Q H. 2001. Potash-rich volcanic rocks and lamprophyres in western Shandong province:  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  dating and source tracing[J]. *Chinese Science Bulletin*, 46(18):1500~1508(in Chinese).
- Shen K, Ni P and Lin J Q. 2001. Characteristics and evolution of ore fluids in Guilaizhuang gold deposit, southeast Shandong[J]. *Chinese J. Geology*, 36(1): 1~13(in Chinese with English abstract).
- Shen Y C, Zeng Q D, Liu T B, et al. 1998. Discussion of the types and ore exploring direction of Shandong gold deposits [J]. *Gold Science and Technology*, 6(3): 1~5(in Chinese with English abstract).
- Song D N. 2001. Basic characteristics and evolution history of Mesozoic basins in Shandong province[J]. *Geology of Shandong*, 17(5): 5~17(in Chinese with English abstract).
- Song M C and Li H K. 2001. Study on regional geological structural evolution in Shandong province[J]. *Geology of Shandong*, 17(6): 12~21, 38(in Chinese with English abstract).
- Tian H S, Sang Z X, Zhong Y W, et al. 1998. Bucun superunit and its emplacement mechanism [J]. *Geology of Shandong*, 14(2): 11~18(in Chinese with English abstract).
- Wang S J, Zhang C J and Lu M Y. 1998. Basic characteristics of Mesozoic Yinan superunit in west of Shandong[J]. *Geology of Shandong*, 14(4): 4~15(in Chinese with English abstract).
- Wang S J, Zhang C J, Song M C, et al. 2002. Classification of intrusives' units and its code names in Shandong province[J]. *Geology of Shandong*, 18(1): 9~20(in Chinese with English abstract).
- Woolley A R and Kemp D R C. 1989. Carbonatite: nomenclature, average Chemical compositions and element distribution[A]. In: Bell K, ed. *Carbonatite-Genesis and Evolution* [C]. London: Unwin Hyman. 1~14.
- Xin H T, Li J J, Shen B F, et al. 2000. Ore-control-structure features of Yuejiazhuang gold deposits in Xintai City, Shandong Province, China [J]. *Progress in Precambrian Research*, 23(1): 35~43(in Chinese with English abstract).
- Xu J F, Shi Y C, Liu C C, et al. 1999. Genetic type, spatial distribution and ore-generating geological anomalies of gold deposits, western Shandong province, China [J]. *Earth Science*, 24(5): 468~471(in Chinese with English abstract).
- Xu W L, Wang D Y and Wang S M. 2000. pTtc model of Mesozoic and Cenozoic volcanisms and lithospheric evolution in eastern China [J]. *J. Changchun Univ. Sci. & Tech.*, 30(4):329~335(in Chinese with English abstract).
- Yang X M, Yang X Y, Lebas M J, et al. 1998. Geological and geochemical characteristics of carbonatites and their implication for tectonic settings [J]. *Advance in Earth Sciences*, 13(5): 457~466(in Chinese with English abstract).
- Ye B D, Shen Y Z and Zhu J C. 1986. The compilation of isotope age in China [C]. Beijing: Geol. Pub. House. 616~623(in Chinese).
- Ying J F and Zhou X H. 2001. Characterization of trace elements and Sr, Nd isotopes of carbonatites in the western Shandong Province [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 20(4):

309~311(in Chinese with English abstract).

Yu X F. 2001. Ore-forming series and model of Tongshi gold field in Pingyi, Shandong Province [J]. *Geology of Shandong*, 17(3-4): 59~64(in Chinese with English abstract).

#### 附中文参考文献

曹国权. 1996. 鲁西早前寒武纪地质[M]. 北京:地质出版社. 1~210.

储同庆, 沈渭州. 1997. 鲁中碳酸岩中磷灰石同位素地球化学研究[J]. *矿物学报*, (3): 329~333.

邓晋福, 赵海玲, 吴宗絮, 等. 1992. 中国北方大陆下的地幔热柱与岩石圈运动[J]. *现代地质*, 6(3): 267~274.

邓晋福, 莫宣学, 赵海玲, 等. 1994. 中国东部岩石圈根/去根作用与大陆“活化”[J]. *现代地质*, 8(3): 349~356.

杜子图, 陈建强, 王训练, 等. 1999. 鲁西隆起北缘帚状构造的厘定及成因机制[J]. *中国区域地质*, (3): 329~333.

冯福闯, 宋立珩. 1996. 幔流底辟构造—环西太平洋盆地热力学分析[J]. *地球科学*, 21(4): 383~394.

谷俐, 戴塔根, 范蔚茗. 2000. 渤海周边中、新生代火山作用及其深部过程意义[J]. *大地构造与成矿学*, 24(1): 9~17.

胡受奚, 孙景贵, 凌洪飞, 等. 2001. 中生代苏—鲁活动大陆边缘榴辉岩、煌斑岩、金矿及富集地幔间的成因联系[J]. *岩石学报*, 17(3): 425~435.

金振奎, 刘泽容, 石占中. 1999. 鲁西地区断裂构造类型及其形成机制[J]. *石油大学学报(自然科学版)*, 23(5): 1~5.

孔令广, 甘延景. 2001. 鲁西铜石中生代复式岩体岩石谱系单位划分及成因[J]. *山东地质*, 17(2): 23~27.

林景仟, 谭东娟, 金 焯. 1996. 鲁西地区中生代火成活动的<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar年龄[J]. *岩石矿物学杂志*, 15(3): 213~220.

路凤香, 郑建平, 李伍平, 等. 2000. 中国东部显生宙地幔演化的主要样式: “蘑菇云”模型[J]. *地学前缘*, 7(1): 97~107.

牛漫兰, 朱 光, 宋传中. 2001. 郯庐断裂带中生代火山活动与深部过程[J]. *合肥工业大学学报*, 24(2): 147~153.

牛树银, 李红阳, 孙爱群, 等. 2002. 幔枝构造理论与找矿实践[M]. 北京:地震出版社. 1~243.

牛树银, 孙爱群, 邵振国, 等. 2001. 地幔热柱多级演化及其成矿作用[M]. 北京:地震出版社. 1~225.

秦朝建, 裘偷卓. 2001. 岩浆(型)碳酸岩研究进展[J]. *地球科学进展*, 16(4): 501~507.

邱检生, 徐夕生, 罗清华. 2001. 鲁西富钾火山岩和煌斑岩的<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar定年及源区示踪[J]. *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[J]. *地质科学*, 36(1): 1~13.

沈远超, 曾庆栋, 刘铁兵, 等. 1998. 山东省金矿类型及找矿方向探讨[J]. *黄金科学技术*, 6(3): 1~5.

宋莫南. 2001. 山东中新生代盆地基本特征及演化过程[J]. *山东地质*, 17(5): 5~17.

宋明春, 李洪奎. 2001. 山东省区域地质构造演化探讨[J]. *山东地质*, 17(6): 12~21, 38.

田洪水, 桑忠禧, 仲衍伟, 等. 1998. 济南东部埠村超单元及其就位机制[J]. *山东地质*, 14(2): 11~18.

王世进, 张成基, 吕明英. 1998. 鲁西地区沂南超单元的基本特征[J]. *山东地质*, 14(4): 4~15.

王世进, 张成基, 宋明春, 等. 2002. 山东省侵入岩岩石单位及其代号的厘定[J]. *山东地质*, 18(1): 9~20.

辛后田, 李俊健, 沈保丰. 2000. 新泰市岳家庄金矿构造控矿特征[J]. *前寒武纪研究进展*, 23(1): 35~43.

徐金方, 石玉臣, 刘长春, 等. 1999. 鲁西金矿的成因类型、空间分布及其致矿地质异常[J]. *地球学报*, 24(5): 468~471.

许文良, 王冬艳, 王嗣敏. 2000. 中国东部中生代火山作用的pTt模型与岩石圈演化[J]. *长春科技大学学报*, 30(4): 329~335.

杨学明, 杨晓勇, M J Lebas. 1998. 碳酸岩的地质地球化学特征及其大地构造意义[J]. *地球科学进展*, 13(5): 457~466.

叶伯丹, 申永治, 朱杰层. 1986. 全国同位素地质年龄数据汇编[C]. 第四集. 北京:地质出版社. 616~623.

英基丰, 周新华. 2001. 鲁西地区中生代碳酸岩类的微量元素和铷、钕同位素组成特征[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 20(4): 309~311.

于学峰. 2001. 山东平邑铜石金矿田成矿系列及成矿模式[J]. *山东地质*, 17(3-4): 59~64.

## Mesozoic Mantle-branch Structure and Related Gold Deposits in Western Shandong

Hu Huabin<sup>1,2</sup>, Niu Shuyin<sup>2</sup>, Mao Jingwen<sup>1,3</sup>, Zhang Zhongyi<sup>1</sup> and Wang Yinong<sup>1</sup>

(1 China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2 Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang 050031, Hebei, China; 3 Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

#### Abstract

Viewed from mantle-plume, this paper discusses characteristics of regional geology and related gold deposits in western Shandong. It is proved that Luxi (western Shandong) area was a typical mantle-branch structure in Mesozoic, which was composed of three units, i. e., igneous-metamorphic complex, surrounding detachment-

slip layers and overlapped fault volcanic basin. In the overlapped fault volcanic basin there occurred extensive magmatic rock consisting of potassium-rich intermediate-basic to alkaline volcanic rocks and lamprophyre. Due to the uplifting of the mantle-branch structure, radial and ringed faults were formed. According to the isotopic age data, it is held that the activities of Mesozoic mantle-branch structure in western Shandong experienced two climax periods: one is Early Jurassic ranging from 188 Ma to 190 Ma, whereas the other is Early Cretaceous ranging from 110 Ma to 130 Ma, with the latter being more extensive. According to characteristics of the ore-control structure, The gold deposits related to this structure might be divided into two types, i. e. the ductile shear zone type and the detachment-slip layer type, with the gold deposits of the latter type being more important.

**Key words:** geology, Mesozoic, mantle-branch structure, gold deposits, western Shandong

西藏高原盐湖资源潜力评价及锂硼铯元素提取技术探索研究

## “西藏高原盐湖资源潜力评价及锂硼铯元素提取技术探索研究” 获得重要成果

“西藏高原盐湖资源潜力评价及锂硼铯元素提取技术探索研究”为中国地质科学院于 2000 年设立的地质调查项目,执行期限 3 年。2003 年 12 月 27 日通过评审验收,并被评为优秀。主要研究成果如下:

1. 对班戈湖资源量评价得到  $\text{LiCl} \times \times$  万吨,  $\text{B}_2\text{O}_3 \times \times$  万吨,  $\text{KCl} \times \times \times$  万吨;对色林错、班戈湖等 7 个湖泊进行了湖卤虫、西藏拟蚤资源量评价;对青藏铁路 II 期工程西藏段西侧有资料的 44 个湖泊进行了资源量评价,查明盐类资源有硼、锂、钾、石盐、镁、芒硝、碱、铷、铯等 9 种,其中  $\text{B}_2\text{O}_3$ 、 $\text{LiCl}$ 、 $\text{KCl}$  资源量巨大。

2. 于 2001 年在班戈湖建立了目前世界上海拔最高的“盐湖资源与环境试验观测站”,进行气象-水文-水化学-盐湖生物的定时、定点长期观测。据 2001 年 6 月至 2002 年 5 月的观测结果统计,班戈湖年均气温为  $0.1^\circ\text{C}$ ,年降水量为 263.9 mm,年蒸发量为 1978.1 mm,年日照时数为 2747.6 h,年旬平均风速为  $0.5 \sim 5 \text{ m/s}$ 。在 2001 年 5 月至 2002 年 10 月,色林错水位平均上升约 30 cm;班戈湖水位平均下降 24.4 cm,与水位涨缩变化相对应,并均能产生不良生态环境效应,课题组对此提供了进一步的研究思路。

3. 硫酸盐型卤水提锂技术的研究结果表明,对富锂卤水以兑卤方式可有效降低  $\text{Mg/Li}$  比值。对班戈湖、色林错、杜佳里 3 个碳酸盐型盐湖卤水提锂的小型实验结果表明,制富锂卤水需采用“两阶段方式”,并对班戈湖碳酸盐型富锂卤水在盐田中应用“不蒸发而升温”法而使混盐中  $w(\text{Li}_2\text{CO}_3)$  达 22.4%。据此并结合扎布耶盐湖提锂技术,给出了西藏碳酸盐型盐湖盐田工艺-选矿工艺流程图。

4. 与其他项目联合,开展了高纯碳酸锂制备方法的研究。以工业碳酸锂为原料,筛选出了一种杂质去除剂,并应用苛化-碳化法、碳化法、碳化-离子交换法,确定了制备高纯碳酸锂工艺流程,制得符合国家标准 (GB-8764-88) 和国际医药级标准的高纯碳酸锂产品。该流程具有工艺简单、原材料消耗少、成本低、锂回收率高(锂回收率 97.79%)、杂质分离彻底(钙去除率 88.34~89.31%)等优点。为提高资源利用价值和锂产品的经济价值提供了新的方法和途径。

(中国地质科学院矿产资源研究所 赵元艺 供稿)