

# 胶东尚家庄钼矿床 Re-Os 同位素年龄及其地质意义

李 杰<sup>1</sup> 宋明春<sup>2</sup> 王美云<sup>3</sup> 李世勇<sup>4</sup>  
周明岭<sup>5</sup> 倪师军<sup>6</sup> 张成江<sup>7</sup> 丁正江<sup>8</sup> 岳跃破<sup>8</sup>

(1. 石家庄经济学院资源学院, 河北 石家庄 050031; 2. 山东省地质矿产勘查开发局, 山东 济南 250013; 3. 石家庄经济学院水资源与环境学院, 河北 石家庄 050031; 4. 山东省物化探勘查院, 山东 济南 250013; 5. 山东省第六地质矿产勘查院, 山东 威海 264209; 6. 成都理工大学地球化学系, 四川 成都 610059; 7. 成都理工大学地球科学学院, 四川 成都 610059; 8. 山东省第三地质矿产勘查院, 山东 烟台 264000)

**摘要:** 尚家庄钼矿床产于燕山晚期伟德山超单元斑状花岗闪长岩中, 受岩体内部裂隙构造控制, 呈 NW 走向, 主矿体呈似层状、大脉状产出, 具分支复合、膨胀夹缩等特点。3 件辉钼矿 Re-Os 同位素测年结果表明, 模式年龄为  $(115.5 \pm 1.6) \text{Ma}$  ~  $(117.6 \pm 1.6) \text{Ma}$ , 平均年龄为  $(116.4 \pm 1.6) \text{Ma}$ , 与胶东金矿大规模成矿的时代和赋矿围岩——伟德山超单元营盘单元的成岩时代一致, 说明胶东地区存在与金成矿同期的钼矿成矿作用。

**关键词:** 尚家庄钼矿; Re-Os 同位素年龄; 伟德山超单元; 成矿作用; 胶东金矿

**中图分类号:** P618.65; P597+.3      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-3657(2013)05-1612-10

胶东是中国最重要的金矿集中区, 前人对其进行了大量研究。在胶东东部的栖霞、福山、牟平、荣成等地还发育钼(钨)、铜、铅锌等有色金属矿产, 但较少有人研究。胶东尚家庄钼矿床发现于 20 世纪 70 年代, 近年由山东地质六队对该矿床进行了详查, 累计探明资源量钼金属量  $5.58 \times 10^4 \text{ t}$ , 为胶东地区除邢家山钼(大型)-钨(中型)矿外的第二大钼矿床, 目前尚未开发利用<sup>[1,2]</sup>。尚家庄钼矿床虽然勘查程度较高, 但尚未见对其详细研究的报道。笔者等在以往勘查工作的基础上, 测定了辉钼矿的 Re-Os 同位素年龄, 并且注意到这一年龄与胶东地区金矿大规模成矿的时代及赋矿岩体成岩年代<sup>[3]</sup>一致, 为研究金矿与多金属矿成矿的关系提供了依据。

## 1 区域地质概况

尚家庄钼矿位于胶东中部栖霞市, 大地构造位置处于华北板块东缘, 东邻苏鲁造山带, 属胶北隆起

东南部与胶莱盆地东北部的接触部位。成矿区位置西邻胶西北金成矿区和栖霞福金成矿小区, 东邻牟—乳金成矿小区, 属栖霞—福山有色金属成矿小区(图 1)。

区域地层主要有: 太古宙唐家庄岩群、胶东岩群, 古元古代荆山群、粉子山群、芝罘群, 新元古代蓬莱群, 中生代白垩纪莱阳群、青山群、王氏群及新生代五图群、临朐群和第四系, 中生代地层为一套陆相火山喷发-沉积岩系。岩浆岩主要由中生代花岗岩类、新元古代花岗质片麻岩及太古宙 TTG 质花岗岩类组成。区域构造主要为中生代断裂构造, 以 NE—NNE 走向最为发育, 另有少量 NNW 向、近 EW 向断裂。

尚家庄钼矿区以桃村断裂为界, 断裂东南属胶莱盆地东北缘, 主要由白垩纪莱阳群、青山群和王氏群组成; 断裂西北属胶北隆起东南部, 由早前寒武纪变质岩系和中生代侵入岩组成。赋矿的牙山岩体属

收稿日期: 2012-08-13; 改回日期: 2013-01-25

基金项目: 山东省地质矿产勘查开发局科研项目(KY201004)资助。

作者简介: 李杰, 男, 1982 年生, 博士, 讲师, 从事矿床地球化学科研和教学工作; E-mail: lijie-cdut.cn@163.com。

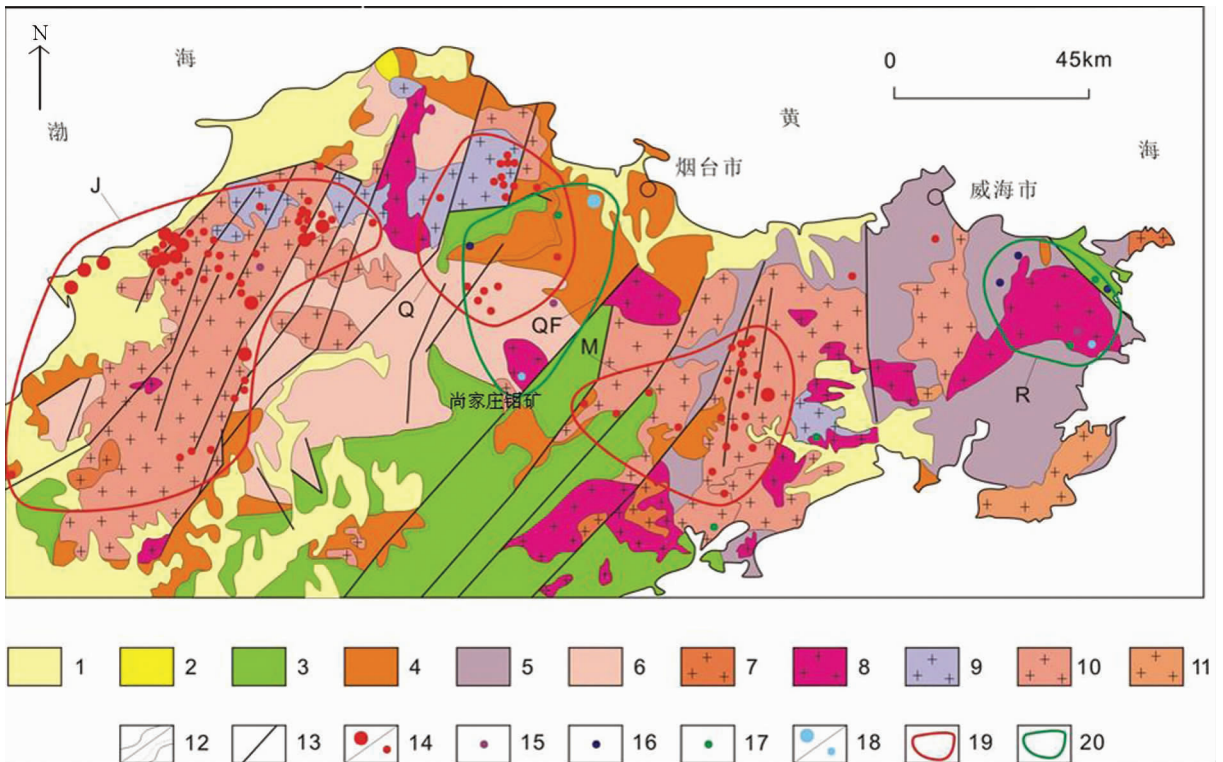


图 1 胶东地区区域地质及主要矿床分布和成矿分区图(据宋明春 2012)

- 1—第四系;2—新近系+古近系;3—白垩系;4—前寒武系;5—含榴辉岩的新元古代花岗岩质片麻岩;6—太古宙花岗岩绿岩带;
- 7—白垩纪崂山超单元;8—白垩纪伟德山超单元;9—白垩纪郭家岭超单元;10—侏罗纪玲珑超单元;11—三叠纪花岗岩类;
- 12—整合/不整合地质界线;13—断层;14—大-特大型金矿/中小型金矿;15—中小型银矿;16—中小型多金属(铅锌)矿;
- 17—中小型铜矿;18—大型铜矿/中小型铜矿;19—金矿成矿小区(J—胶西北成矿小区,Q—栖霞福成矿小区,M—牟乳成矿小区);
- 20—有色金属成矿小区(QF—栖霞-福山成矿小区,R—荣成成矿小区)

Fig.1 Regional geological map of Jiaodong area, showing the distribution of main metallic deposits and metallogenic subareas (after Song Mingchun, 2012)

- 1—Quaternary; 2—Tertiary; 3—Cretaceous; 4—Precambrian; 5—Neoproterozoic eclogite-bearing granitic gneiss; 6—Archaean granitic greenstone belt; 7—Cretaceous Laoshan ultra unit; 8—Cretaceous Weideshan ultra unit; 9—Cretaceous Guojialing ultra unit;
- 10—Jurassic Linglong ultra unit; 11—Triassic granite; 12—Conformable or unconformable geological boundary; 13—Fault;
- 14—Large-super-large/medium and small sized gold deposits; 15—Medium and small sized silver deposits; 16—Medium and small sized complex deposits (lead and zinc); 17—Medium and small sized copper deposits; 18—Large/medium and small sized molybdenum deposits;
- 19—Metallogenic area of gold deposits (J—Northwestern Jiaodong area, Q—Qixia-Penglai-Fushan area, M—Muping-Rushan area);
- 20—Metallogenic area of nonferrous metal deposits (QF—Qixia-Fushan area, R—Rongcheng area)

白垩纪伟德山超单元, 由 4 个单元呈环状分布构成(图 2), 其中的营盘单元与钼矿化关系密切。牙山岩体被桃村断裂左行切割, 向北位移的对应岩体被称为院格庄岩体。钼矿体主要受控于牙山岩体中的 NNW 向裂隙。

## 2 矿床地质特征

尚家庄钼矿床集中分布于南北长 900 m (84~102 线), 标高 140~722 m 范围内(图 3)。共圈定矿体 106 个, 其中主矿体 15 个, 其资源量占矿床总量的 97%<sup>[1]</sup>。

### 2.1 矿体特征

15 个主矿体控制的走向长度为 100~1010 m, 平均 225~754 m; 控制斜深 80~1050 m, 平均 199~582 m; 控制最大垂深 117~434 m; 矿体走向 318°~6°, 平均 337°~344°; 矿体倾角 10°~37°, 平均 20°~26°; 单工程厚度 0.89~54.64 m, 平均 4.98~19.37m, 厚度变化系数在 69%~107%, 绝大部分属厚度变化较稳定型, 仅 2 个矿体属厚度变化不稳定型; 单工程品位 0.03%~0.314%, 平均 0.051%~0.151%, 品位变化系数在 20%~132%, 绝大部分属品位变化均匀型, 仅 2 个矿体属品位变化较均匀型。矿体赋存于含斑中细粒

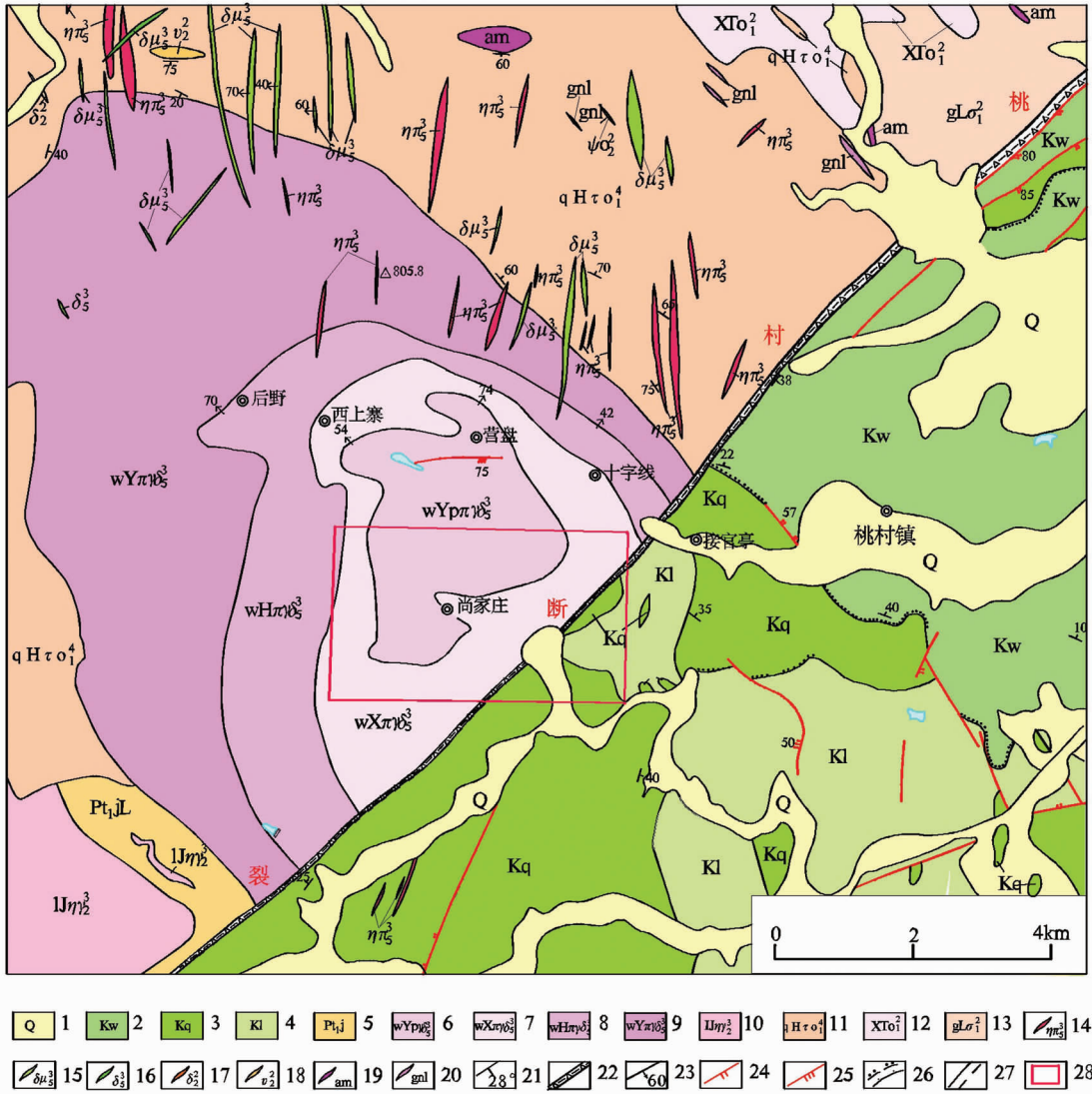


图2 尚家庄钼矿区地质图(据山东地质六队资料修改)

1—新生代第四纪;2—中生代白垩纪王氏群;3—中生代白垩纪青山群;4—中生代白垩纪莱阳群;5—古元古代荆山群;6—白垩纪伟德山超单元营盘单元;7—白垩纪伟德山超单元西上寨单元;8—白垩纪伟德山超单元后野单元;9—白垩纪伟德山超单元崖西单元;10—侏罗纪玲珑超单元九曲单元;11—新太古代栖霞片麻岩套回龙乔岩体;12—新太古代西朱雀岩体;13—中太古代官地注组合黎儿埠岩体;14—二长斑岩;15—闪长玢岩;16—闪长岩;17—变闪长岩;18—变辉长岩;19—斜长角闪岩;20—麻粒岩;21—地层产状;22—断裂破碎带;23—实测断裂;24—张性断裂;25—压性断裂;26—实测及推测不整合地质界线;27—实测及推测地质界线;28—尚家庄钼矿床范围

Fig.2 Regional geological map of the Shangjiazhuang Mo deposit (modified after No. 6 Geological Party of Shandong Province)

1—Cenozoic Quaternary; 2—Mesozoic Cretaceous Wangshi Group; 3—Mesozoic Cretaceous Qingshan Group; 4—Mesozoic Cretaceous Laiyang Group; 5—Early Proterozoic Jingshan Group; 6— Yingpan unit of Cretaceous Weideshan ultra unit; 7— Xishangzhai unit of Cretaceous Weideshan ultra unit; 8— Houye unit of Cretaceous Weideshan ultra unit; 9— Yaxi unit of Cretaceous Weideshan ultra unit; 10— Jiuqu unit of Jurassic Linglong ultra unit; 11— Huilongkuang magmatic body of Archeozoic Qixia gneissic suite; 12— Archeozoic Xizhuoque magmatic body; 13— Lierbu magmatic body of Archeozoic Guandiwa unit; 14— Ivernite; 15— Diorite—porphyrite; 16— Diorite; 17— Altered diorite; 18— Metagabbro; 19— Plagioclase amphibolite; 20— Granulite; 21— Attitude of strata; 22— Fracture zone; 23— Measured fault; 24— Extension fracture; 25— Compressive fracture; 26— Measured or inferred unconformity; 27— Measured or inferred geological boundary; 28— Location of the Shangjiazhuang molybdenum deposit

花岗闪长岩、斑状中粒花岗闪长岩及绢英岩化花岗闪长质碎裂岩中,呈似层状、大脉状,具分枝复合、膨

胀夹缩等特点。其他次要矿体均呈透镜状产出(图4)。

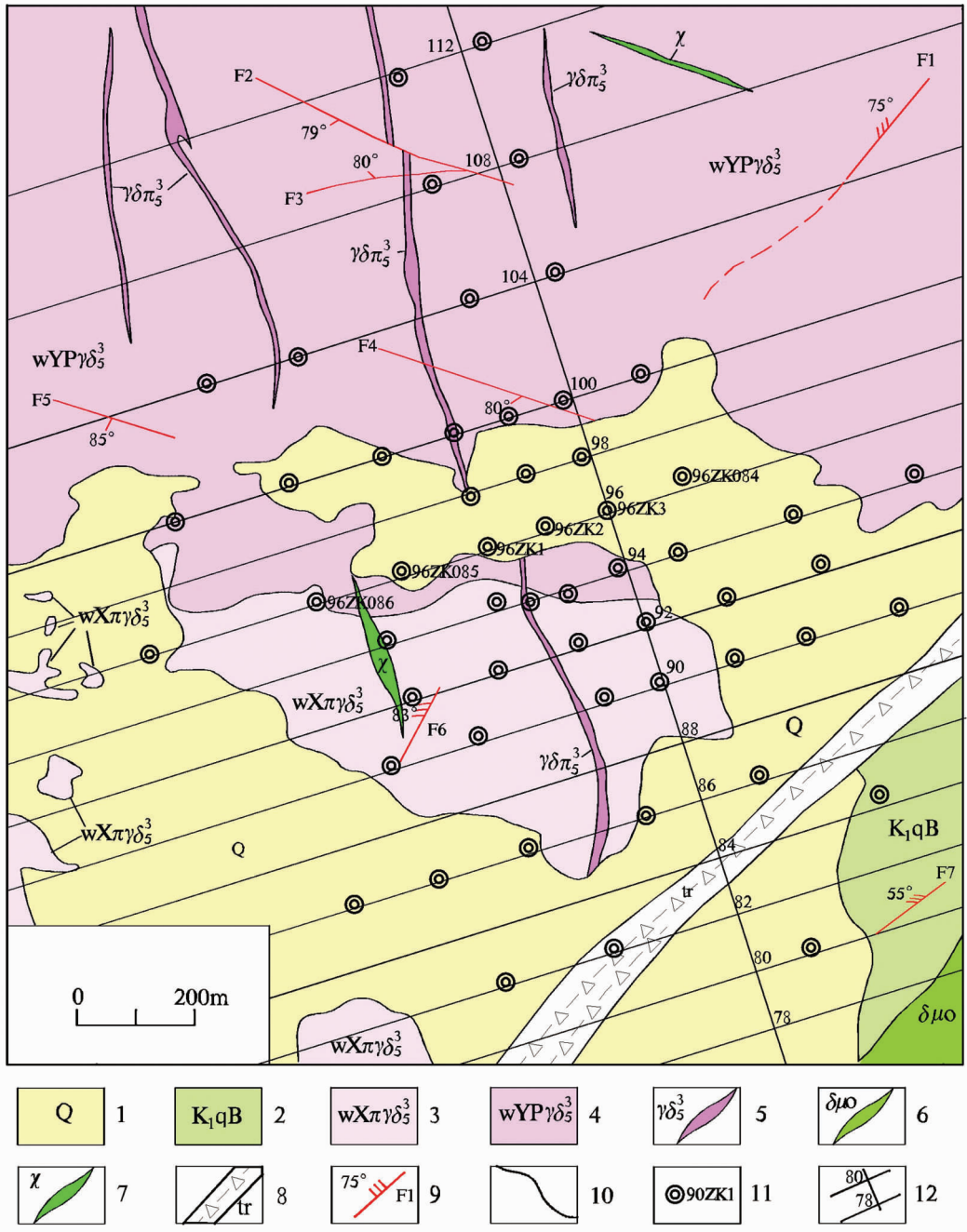


图 3 尚家庄钼矿床地质图(据山东地质六队资料修改)

1—第四系:砂砾层;2—白垩纪青山群八亩地组:玄武岩、凝灰岩;3—白垩纪伟德山超单元西上寨单元:斑状中粒黑云花岗闪长岩;4—白垩纪伟德山超单元营盘单元:含斑中细粒花岗闪长岩;5—花岗闪长斑岩脉;6—石英闪长玢岩;7—煌斑岩;8—蚀变破碎带;9—断层及编号;10—地质界线;11—钻孔及编号;12—勘探线及编号

Fig.3 Geological map of the Shangjiazhuang Mo deposit (modified after No. 6 Geological Party of Shandong Province)

1-Quaternary: sandy gravel strata; 2-Mesozoic Cretaceous Qingshan Formation: basalt, tuff; 3- Yingpan unit of Cretaceous Weideshan ultra unit: porphyritic medium-grained granodiorite; 4- Xishangzhai unit of Cretaceous Weideshan ultra unit: porphyritic medium-grained biotitic granodiorite; 5-Granodiorite porphyry; 6-Quartz diorite-porphyrity; 7-Lamprophyre; 8-Altered fracture zone; 9-Fault and its serial number; 10-Geological boundary; 11-Drill hole and its serial number; 12-Exploration line and its serial number

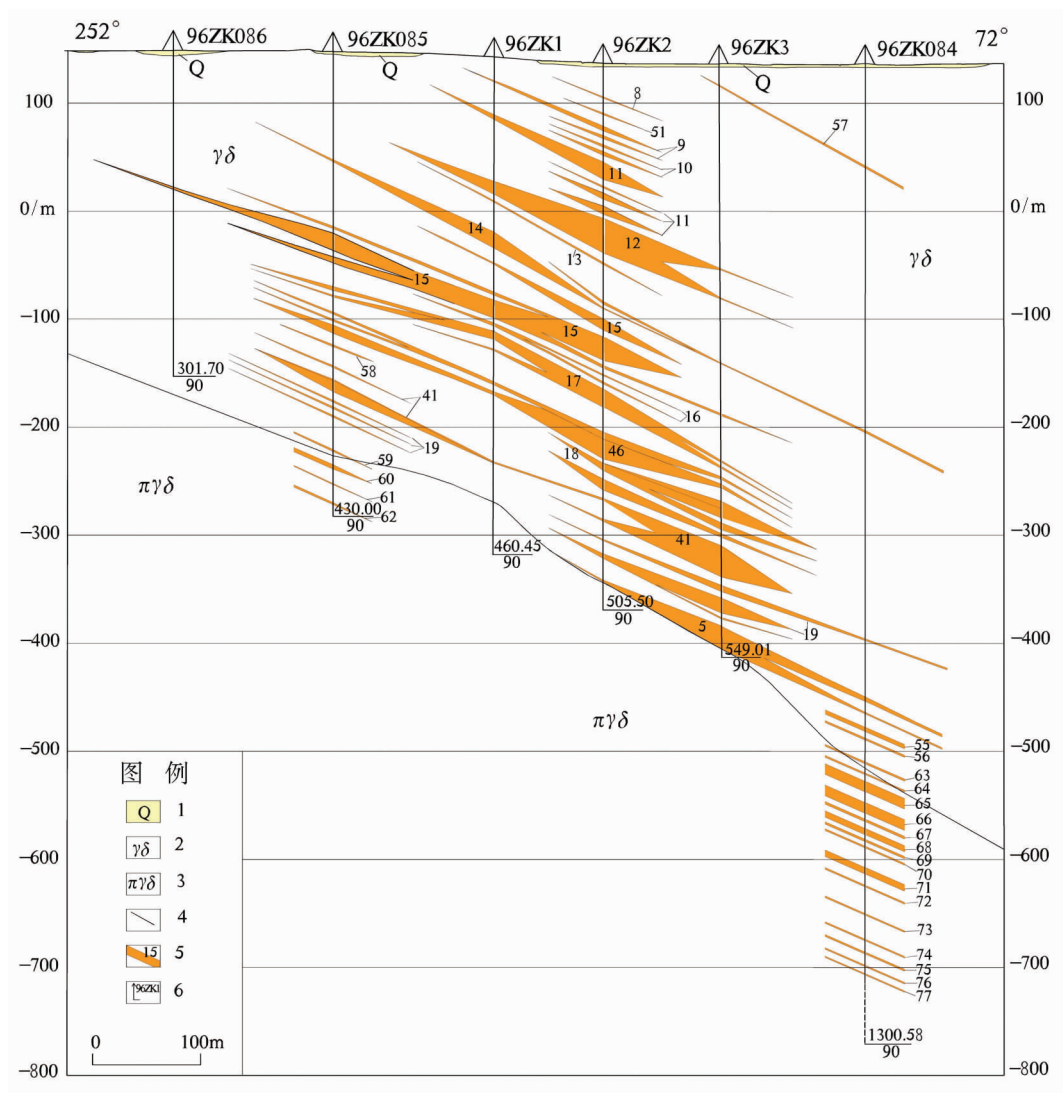


图4 尚家庄钼矿区96号勘探线剖面图(据山东地质六队资料修改)

1—第四系;2—中粒花岗岩闪长岩;3—斑状中粒花岗岩闪长岩;4—地质界线;5—矿体及编号;6—钻孔及编号

Fig.4 Schematic geological section along No. 96 exploration line in the Shangjiazhuang Mo deposit

(modified after No. 6 Geological Party of Shandong Province)

1—Quaternary; 2—Medium-grained granodiorite; 3—Porphyritic medium-grained granodiorite; 4—Geological boundary

5—Ore body and its serial number; 6—Drill hole and its serial number

## 2.2 矿石特征

### 2.2.1 矿石矿物成分

矿石矿物成分复杂, 主要金属矿物有辉钼矿、黄铜矿、黄铁矿, 次有磁黄铁矿、闪锌矿, 少量黝铜矿、方铅矿、白铁矿等; 主要非金属矿物为长石、石英, 次为黑云母、角闪石、绢云母, 少量方解石、绿泥石、磷灰石、锆石、榍石等; 表生矿物见少量褐铁矿、孔雀石、软锰矿(图5-a, 5-b)。辉钼矿在矿石内多数以叶片状单体和集合体沿岩石裂隙及石英间隙分布, 在石英细脉两侧较为富集。多数单独出现, 少数内含黄铁矿、黄铜

矿包体, 有时可见与黄铜矿、黄铁矿共生, 少数呈包体分布于黄铜矿内(图5-c, 5-d, 5-e, 5-f)。

### 2.2.2 矿石结构构造

矿石结构主要为填隙结构、叶片状结构(图5-b, 5-e), 即叶片状辉钼矿单体和集合体沿岩石和石英的裂隙或间隙发育; 其次为自形—他形晶粒状结构、乳浊状结构、包含结构(图5-c)。矿石主要构造为浸染状构造, 且多呈细脉状, 少量呈星点状。

### 2.2.3 矿石类型

矿石自然类型有三种: 细脉—网脉状(绢英岩

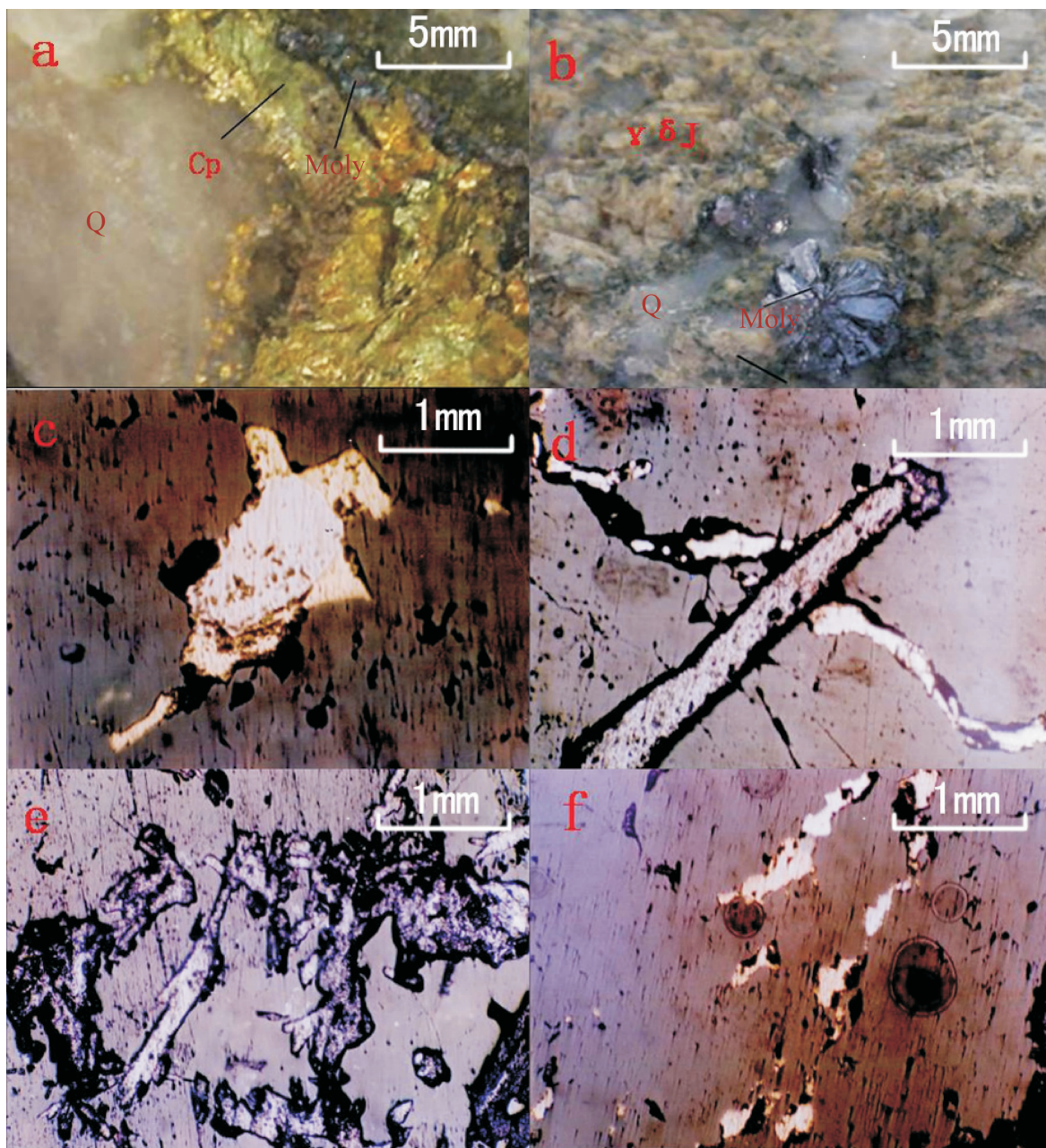


图 5 尚家庄钼矿矿石显微照片

a—缓倾破碎带中局部的黄铜矿、辉钼矿石英脉,有少量浸染状钼矿化,100ZK3,452 m处; b—辉钼矿集合体呈菊花状分布于绢英岩化花岗闪长岩中,90ZK1,380 m处; c—黄铜矿(浅黄色)沿磁黄铁矿(白色)周边分布而辉钼矿(暗灰色)又沿黄铜矿(浅黄色)边缘分布; d—辉钼矿(灰白色)穿插黄铁矿(白色)细脉; e—叶片状辉钼矿(浅灰色)单体和集合体在石英(灰色)集合体内分布; f—黄铁矿(灰白色)、黄铜矿(浅黄色)、辉钼矿(暗灰色)和闪锌矿(浅紫灰色)沿石英间隙呈断续的细脉状分布; Cp—黄铜矿; Moly—辉钼矿; Q—石英;  $\gamma \delta J$ —绢英岩化花岗闪长岩

Fig.5 Micrograph of ores in the Shangjiazhuang Mo deposit

a—Quartz vein locally with chalcopyrite and molybdenite in low-angle fracture zone, 100ZK3, 452m; b—Rosette aggregation of molybdenite preserved in granodiorite with sericitization and greisenization, 90ZK1, 380m; c—Chalcopyrite (pale yellow) distributed along the edge of pyrrhotite (white), and molybdenite (dark gray) distributed along the edge of chalcopyrite (pale yellow); d—Molybdenite (grayish white) penetrating pyrite vein (white); e—Foliaceous molybdenite (light gray) preserved in quartz vein (gray); f—Pyrite (grayish white), chalcopyrite (pale yellow), molybdenite (dark gray), sphalerite (lilac) scattered along the fracture of quartz; Cp—Chalcopyrite; Moly—Molybdenite; Q—Quartz;  $\gamma \delta J$ —Granodiorite with sericitization and greisenization

化)花岗闪长岩型、细脉浸染状(绢英岩化)花岗闪长岩型和网脉浸染状绢英岩化花岗闪长质碎裂岩型。

矿石中钼全部以辉钼矿形式存在,工业矿体平均品位 0.101%,矿床平均品位 0.066%,伴生有益组分铜平均含量 0.04%。矿石工业类型为含铜低品位钼矿石。

### 2.3 围岩蚀变

围岩蚀变类型主要有钾长石化、黑云母化、硅化、绢英岩化、绿泥石化和碳酸盐化。蚀变规模大,强度不一,叠加作用明显,地表具有明显分带性,钻孔内分带不明显。各带之间为渐变关系,由矿体向围岩依次为绢英岩化带→绿泥石碳酸盐化带→钾长石化带。碳酸盐化、绿泥石化常相伴产出,是分布最广的蚀变,在矿体及其附近与绢英岩化叠加。

## 3 辉钼矿 Re-Os 同位素测年

### 3.1 样品采集和处理

本次年龄测试样品,分别采自尚家庄钼矿床 96ZK085、90ZK1-2 和 98ZK3 孔,所采样品均为原生辉钼矿矿石,赋矿围岩为伟德山超单元营盘单元花岗闪长岩。

辉钼矿 Re-Os 同位素测试工作在国家地质实验测试中心 Re-Os 同位素实验室完成。Re-Os 化学分离步骤和质谱测定主要包括:分解样品、蒸馏分离 Os、萃取分离 Re、质谱测定四步,具体测试步骤见参考文献<sup>[4-8]</sup>。

实验采用国家标准物质 GBW04436(JDC)为标样,监控化学流程和分析数据的可靠性。普 Os 是根据原子量表(WIESER,2006)和同位素丰度表(Bohlkea,2005),通过  $^{192}\text{Os}/^{190}\text{Os}$  测量比计算得出, $^{187}\text{Os}$  是  $^{187}\text{Os}$  同位素总量。Re、Os 含量的不确定度包括样品和稀释剂的称量误差、稀释剂的标定误差、质谱测量的分馏校正误差、待分析样品同位素比值测量误差,置信水平 95%。模式年龄的不确定度还包括

衰变常数的不确定度(1.02%),置信水平 95%。

实验全流程空白 Re 为  $(0.0022\pm 0.0017)\text{ng}$ ,普 Os 为  $(0.0004\pm 0.0001)\text{ng}$ , $^{187}\text{Os}$  为  $(0.0002\pm 0.0001)\text{ng}$ ,远远低于所测样品中的铼、钨含量,因此不会影响实验中铼、钨含量测定的准确性。

### 3.2 测试结果

Re-Os 同位素测定结果(表 1)表明,辉钼矿  $^{187}\text{Re}$  为  $17.74\times 10^{-9}\sim 23.72\times 10^{-6}$ , $^{187}\text{Os}$  为  $34.35\times 10^{-9}\sim 45.69\times 10^{-9}$ ,Re 与  $^{187}\text{Os}$  含量变化比较协调,得到模式年龄  $(115.5\pm 1.6)\text{Ma}\sim (117.6\pm 1.6)\text{Ma}$ ,平均年龄为  $(116.4\pm 1.6)\text{Ma}$ ,指示成矿年代为早白垩世。

## 4 讨 论

### 4.1 钼矿、金矿、伟德山花岗岩成矿、成岩时代的耦合

前人对胶东金矿进行了大量同位素测年,早期研究者认为有多期成矿作用存在<sup>[9]</sup>。近年来,采用高精度方法(Ar-Ar,SHRIMP U-Pb)对成矿期的绢云母、流体包裹体、石英、锆石的年龄测试范围在  $121.3\sim 113.5\text{Ma}$ <sup>[10]</sup>,因此研究者普遍认为,胶东金矿集中形成于早白垩世中晚期。胶东不同类型金矿是同一构造背景、同一成因、同一时代形成的产于不同构造部位、不同围岩条件的不同自然类型<sup>[10]</sup>。

伟德山花岗岩广泛分布于胶东东部地区,是胶东燕山期岩浆活动的重要组成部分,前人测试的同位素年龄测试结果多在  $135\sim 85\text{Ma}$ ,且集中于  $127\sim 105\text{Ma}$  年龄段中<sup>[11]</sup>,说明伟德山花岗岩主体形成于早白垩世。牙山岩体和院格庄岩体的锆石 SHRIMP 同位素年龄分别为  $117.7\text{Ma}$  和  $113.4\text{Ma}$ <sup>[12]</sup>。

以往许多研究者认为,胶东金矿成矿与玲珑花岗岩或郭家岭花岗岩有关,郭家岭花岗岩岩浆期后热液活动是导致金矿成矿的直接原因<sup>[13]</sup>。也有学者注意到金矿同位素年龄与玲珑花岗岩和郭家岭花岗岩的差异,认为金矿的形成与同时代的煌斑岩和中基性岩墙关系密切<sup>[14]</sup>。鉴于伟德山花岗岩及同期脉

表 1 尚家庄钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素测定结果

样号	样重/g	Re $\pm 2\sigma/10^{-6}$	$^{187}\text{Os}\pm 2\sigma/10^{-9}$	$^{187}\text{Re}\pm 2\sigma/10^{-6}$	$^{187}\text{Os}\pm 2\sigma/10^{-9}$	模式年龄/Ma
96ZK085	0.05039	30.49 $\pm$ 0.24	0.0319 $\pm$ 0.0108	19.16 $\pm$ 0.15	37.58 $\pm$ 0.31	117.6 $\pm$ 1.6
90ZK1-2	0.05058	28.23 $\pm$ 0.21	0.0215 $\pm$ 0.2081	17.74 $\pm$ 0.13	34.35 $\pm$ 0.30	116.1 $\pm$ 1.6
98ZK3	0.05051	37.75 $\pm$ 0.29	0.0214 $\pm$ 0.2146	23.72 $\pm$ 0.18	45.69 $\pm$ 0.39	115.5 $\pm$ 1.6

岩在胶东地区出露面积大、范围广,且其形成时代与金矿同位素年龄一致,宋明春等提出伟德山花岗岩及同期脉岩是金矿成矿的直接原因,花岗岩浆在金矿成矿作用中起到了“热机”作用<sup>[5]</sup>。

尚家庄钼矿床产于牙山岩体中,二者的同位素年龄高度吻合,说明成矿与成岩同时。伟德山花岗岩大规模岩浆活动之时,也是金矿和钼矿成矿之期。很可能钼矿与金矿构成了与伟德山花岗岩有关的同一成矿系列,在伟德山花岗岩内部形成高温的钼(矿),而在其外围则形成相对较低温的金矿。

以往有人测得尚家庄钼矿赋矿围岩——含斑中细粒花岗闪长岩的 K-Ar 同位素年龄为 166.3 Ma<sup>[2]</sup>,据此认为钼矿形成于侏罗纪。最近有人对福山邢家山钼矿进行了成矿时代研究<sup>[6]</sup>,测试的透闪石透辉岩型和石榴透辉砂卡岩型钼矿石中辉钼矿的 Re-Os 同位素年龄为  $(161 \pm 1.0) \text{Ma}$  (模式年龄加权平均值),由此提出:胶东半岛中生代有 2 期成矿作用,邢家山钼矿可能与侏罗纪钙碱性花岗岩有成因联系,钼钼矿床与金矿床形成的构造背景可能不同。然而,区域地质调查表明,邢家山钼矿控矿的幸福山斑状花岗闪长岩体是与白垩纪伟德山超单元有关的小岩体,而与侏罗纪玲珑超单元差异很大,即幸福山岩体应当形成于白垩纪。对牙山岩体和院格庄岩体的同位素年龄测试,发现了 4 组继承锆石年龄,其中 152~160 Ma 组继承锆石年龄表明伟德山期岩体中捕获了玲珑期岩体<sup>[2]</sup>。因此,笔者认为,伟德山超单元及与之有关的有色金属矿中测试的侏罗纪同位素年龄很可能是受到早期地质事件影响所致。

#### 4.2 钼矿床成矿物质来源

Re-Os 同位素体系不仅可以精确地确定硫化物矿床形成的时间,同时还可以示踪成矿物质来源以及指示成矿过程中不同来源物质混入的程度<sup>[17]</sup>。一般认为:从地幔来源到壳幔混源再到地壳来源,辉钼矿中的 Re 含量成 10 倍地下降,从  $n \times 10^{-4} \sim n \times 10^{-5} \sim n \times 10^{-6}$ <sup>[18]</sup>。尚家庄钼矿床辉钼矿中 Re 含量为  $17.74 \times 10^{-6} \sim 23.72 \times 10^{-6}$ ,平均  $20.21 \times 10^{-6}$ ,随着深度加深,Re 含量有增高的趋势,指示成矿物质应可能为壳幔混合来源,且以壳源为主。笔者(2012)对尚家庄钼矿床硫、铅同位素研究发现,二者也显示出了混合源的特征,铅同位素显示了更好的地幔源铅特点。

研究表明,伟德山花岗岩是由壳源酸性岩浆与幔源基性岩浆混合形成的<sup>[10]</sup>,花岗岩中含有的大量

微粒闪长质包体,显示出有岩浆过冷却和岩浆混合的痕迹<sup>[9]</sup>,这正是由于壳源酸性岩浆大比例混入的结果。前人对胶东金矿硫、铅同位素研究表明,二者均显示了混合源的特征<sup>[15]</sup>。由此分析,胶东金矿、钼矿与伟德山花岗岩存在物质来源上的渊源关系。

#### 4.3 矿床成因机制

白垩纪,太平洋板块向欧亚板块俯冲,地幔上隆,软流圈上涌,诱发壳幔相互作用,在胶东产生高氧逸度富水岩浆。主要受浮力影响,岩浆向上多次脉动式被动侵位,形成了包含若干侵入体的壳-幔混合源花岗岩类(伟德山超单元)。

来自幔源玄武质岩浆侵位于地壳底部,使局地上覆下地壳物质发生部分熔融,形成壳幔混合花岗质岩浆,随着岩浆的形成和演化,分异产生出高温热液流体,高温的流体具有很强的活动性、溶解性和渗透能力,其活化并携带了花岗质岩浆中大量的成矿物质,逐渐演化成含矿的成矿流体,由于这种底侵作用使得陆壳垂向增生加厚,最终导致了陆壳的拆沉,从而使岩石圈减薄,软流圈上涌造成减压熔融,成矿流体在深部应力和温压差的作用下向上运移,当含矿流体运移到岩体边部时,遇到与外界连通的裂隙,温度和压力迅速降低,体系的物理化学条件突变,打破了含矿流体稳定存在的化学平衡,流体便卸载成矿物质成矿。

大洋板块俯冲产生的岩浆弧常出现斑岩型的矿床<sup>[20,21]</sup>,尚家庄钼矿区位于太平洋板块向欧亚板块俯冲区域,赋存于早白垩世牙山斑状花岗岩体中。而研究区东部的中生代三佛山、昆崙山等岩体均表现出埃达克岩的性质<sup>[2]</sup>。因此,本文认为尚家庄钼矿床属斑岩型钼矿床,但未表现出典型的斑岩型矿床的蚀变分带特征。

## 5 结 论

(1) 尚家庄钼矿辉钼矿 Re-Os 同位素模式年龄为  $(115.5 \pm 1.6) \text{Ma} \sim (117.6 \pm 1.6) \text{Ma}$ , 平均年龄为  $(116.4 \pm 1.6) \text{Ma}$ , 指示成矿时代为早白垩世。

(2) 辉钼矿中 Re 含量为  $17.74 \times 10^{-6} \sim 23.72 \times 10^{-6}$ , 平均  $20.21 \times 10^{-6}$ , 指示成矿物质为壳幔混合来源,越往深部 Re 含量有增高的趋势,说明成矿物质最终可能来源于幔源物质。

(3) 尚家庄钼矿同位素年龄与胶东金矿大规模成矿时代一致,与伟德山超单元牙山岩体的成岩时代



高度吻合,说明胶东地区存在与金成矿同期的钼矿成矿作用,且二者均与伟德山花岗岩密切相关,可能是同一成矿系列的产物。

(4) 钼矿、金矿成矿均与白垩纪中国东部强烈的岩石圈减薄和大规模岩浆活动有关,为同一构造背景下的产物。

**致谢:**感谢山东地质六队提供基础地质资料以及对野外工作的支持与帮助!

## 参考文献 (References):

- [1] 时占华,王福江,孙立功,等.山东省栖霞市尚家庄矿区钼矿详查报告[R].山东省第六地质矿产勘查院,2009.  
Shi Zhanhua, Wang Fujiang, Sun Ligong, et al. Detailed Survey Report of Shangjiazhuang Molybdenum Deposit in Qixia Area, Shandong province [R]. Shandong Provincial 6th Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, 2009(in Chinese).
- [2] 孔庆友,张天祯,于学峰,等.山东矿床[M].济南:山东科学技术出版社,2006:384-386.  
Kong Qingyou, Zhang Tianzhen, Yu Xuefeng, et al. Shandong Deposits [M]. Jinan: Shandong Science and Technology Publishing House, 2006. 384-386(in Chinese)
- [3] 宋明春.山东省大地构造格局和地质构造演化[D].中国地质科学院,2008.  
Song Mingchun. Tectonic Framework and Tectonic Evolution of the Shandong Province [D]. Chinese Academy of Geological Sciences, 2008 (in Chinese with English abstract).
- [4] Du Andao, Wu Shuqi, Sun Dezhong, et al. Preparation and certification of Re-Os dating reference materials: Molybdenite HLP and JDC [J]. Geostandard and Geoanalytical Research, 2004, 28 (1): 41-52.
- [5] 杜安道,赵敦敏,王淑贤,等. Carius 管溶样和负离子热表面电离质谱准确测定辉钼矿铼-钨同位素地质年龄[J]. 岩矿测试, 2001, 20(4):247-252.  
Du Andao, Zhao Dunmin, Wang Shuxian, et al. Precise Re-Os Dating for Molybdenite by ID-NTIMS with Carius Tube Sample Preparation [J]. Rock and mineral analysis, 2001, 20(4):247-252(in Chinese with English abstract).
- [6] 杜安道,屈文俊,王登红,等. 辉钼矿亚晶粒范围内 Re 和 <sup>187</sup>Os 的失耦现象[J]. 矿床地质, 2007, 26(5):572-580.  
Du Andao, Qu Wenjun, Wang Denghong, et al. Subgrain-size decoupling of Re and <sup>187</sup>Os within molybdenite [J]. Mineral Deposits, 2007, 26(5):572-580(in Chinese with English abstract).
- [7] 屈文俊,杜安道. 高温密闭溶样电感耦合等离子体质谱准确测定辉钼矿铼-钨地质年龄[J]. 岩矿测试, 2003, 22(4):254-262.  
Qu Wenjun, Du Andao. Highly Precise Re-Os Dating of Molybdenite by ICP-MS with Carius Tube Sample Digestion [J]. Rock and Mineral Analysis, 2003, 22(4):254-262 (in Chinese with English abstract).
- [8] 蒋少涌,杨竞红,赵葵东,等. 金属矿床 Re-Os 同位素示踪与定年研究[J]. 南京大学学报(自然科学), 2000, 36(6):669-677.  
Jiang Shaoyong, Yang Jinghong, Zhao Kuidong, et al. Re-Os isotope tracer and dating methods in ore deposits research [J]. Journal of Nanjing University (Natural Sciences), 2000, 36(6): 669-677(in Chinese with English abstract).
- [9] 王鹤年,汪耀,陈延安. 胶东西北部混合岩、花岗岩及其与金矿化的关系[J]. 南京大学学报, 1984(增刊):29-40.  
Wang Henian, Wang Yao, Chen Yanan. The relationship about the migmatites, granites and the gold mineralization in Northwest of Jiaodong area [J]. Journal of Nanjing University, 1984(supp.): 29-40 (in Chinese with English abstract).
- [10] 宋明春,崔书学,伊丕厚,等. 胶西北金矿集中区深部大型-超大型金矿找矿与成矿模式[M]. 北京:地质出版社,2010.  
Song Mingchun, Cui Shuxue, Yi Pihou, et al. Prospecting and Metallogenic Model of Large and Super-large scale Deep-seated Gold Deposits in Northwestern Shandong Peninsula Concentration Region of Gold Deposits, Eastern China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2010 (in Chinese).
- [11] 宋明春,王沛成,梁帮启,等. 山东省区域地质 [M]. 济南:山东省地图出版社,2003.  
Song Mingchun, Wang Peicheng, Liang Bangqi, et al. Shandong Regional Geology [M]. Jinan: Shandong Map Publishing House, 2003(in Chinese).
- [12] 邱连贵,任凤楼,曹忠祥,等. 胶东地区晚中生代岩浆活动及对大地构造的制约[J]. 大地构造与成矿学, 2008, 32(1):117-123.  
Qiu Liangu, Ren Fenglou, Cao Zhongxiang, et al. Late Mesozoic magmatic activities and their constraints on geotectonics of Jiaodong region [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2008, 32(1): 117-123(in Chinese with English abstract).
- [13] 李士先,刘长春,安郁宏,等. 胶东金矿地质 [M]. 北京:地质出版社,2007:271-279.  
Li Shixian, Liu Changchun, An Yuhong, et al. Geology of Gold Deposits in Shandong Peninsula [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007:271-279(in Chinese).
- [14] 毛景文,李厚民,王义天,等. 地幔流体参与胶东金矿成矿作用的氧氢碳硫同位素证据[J]. 地质学报, 2005, 79(6):839-857.  
Mao Jingwen, Li Houmin, Wang Yitian, et al. The relationship between mantle-derived fluid and gold ore-formation in the eastern Shandong Peninsula: Evidences from D-O-C-S isotopes [J]. Acta geologica sinica, 2005, 79: 839-857 (in Chinese with English abstract).
- [15] 宋明春,崔书学,周明岭,等. 山东省焦家矿区深部超大型金矿床及其对“焦家式”金矿的启示[J]. 地质学报, 2010, 84(9):1349-1357.  
Song Mingchun, Cui Shuxue, Zhou Mingling, et al. The deep oversize gold deposit in the Jiaojia Field, Shandong province and its enlightenment for the Jiaojia-type gold deposits [J]. Acta geologica sinica, 2010, 84(9):1349-1357(in Chinese with English abstract).
- [16] 刘善宝,王登红,陈毓川,等. 胶东半岛烟台地区邢家山钼钨矿床地质特征及其辉钼矿 Re-Os 同位素测年[J]. 地质通报, 2011,

- 30(8):1294-1302.
- Liu Shanbao, Wang Denghong, Chen Yuchan, et al. Geological characteristics and molybdenite Re-Os age of the Xingjiashan W-Mo deposit in Yantai area, Jiaodong Peninsula, Shandong Province [J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30 (8):1294-1302 (in Chinese with English abstract).
- [17] 王辉, 任云生, 赵华雷, 等. 吉林安图刘生店钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素定年及其地质意义[J]. 地球学报, 2011, 32(6):707-715.
- Wang Hui, Ren Yunsheng, Zhao Hualei, et al. Re-Os Dating of molybdenite from the Liushengdian molybdenum deposit in antu Area of Jilin Province and its geological Significance [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2011, 32(6):707-715(in Chinese with English abstract).
- [18] Mao Jingwen, Zhang Zhaochong, Zhang Zuoheng, et al. Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Xiaoliugou W (Mo) deposit in the northern Qilian Mountains and its geological significance[J]. Geochim Cosmochim Acta, 1999, 63(11-12):1815-1818.
- [19] 张华锋, 翟明国, 何中甫, 等. 胶东昆崙山杂岩中高铯花岗岩地球化学成因及其意义[J]. 岩石学报, 2004, 20:369-380.
- Zhang Huafeng, Zhai Mingguo, He Zhongfu, et al. Petrogenesis and implications of the sodium-rich granites from the Kunyushan complex eastern Shandong Province [J]. Acta Petrol Sin, 2004, 20: 369-380 (in Chinese with English abstract).
- [20] 芮宗瑶, 黄崇轲, 齐国明, 等. 中国斑岩铜(钼)矿床[M].北京:地质出版社, 1984.
- Rui Zongyao, Huang Chongke, Qi Guoming, et al. Porphyry Copper (Molybdenum) Deposits in China [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1984 (in Chinese) .
- [21] 张文钊, 葛良胜, 肖力, 等. 中国斑岩型金矿床[M].北京:地质出版社, 2009, 170-218.
- Zhang Wenzhao, Ge Liangsheng, Xiao Li, et al. Porphyry Gold Deposits in China [M]. Beijing:Geological Publishing House, 2009:170-218 (in Chinese) .
- [22] 张旗, 王焰, 钱青, 等. 中国东部中生代埃达克岩的特征及其构造-成矿意义[J]. 岩石学报, 2001, 17(2):236-244.
- Zhang Qi, Wang Yan, Qian Qing, et al. The characteristics and tectonic-metallogenic significance of the adakites in Yanshan Period from eastern China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2001, 17 (2):236-244 (in Chinese with English abstract).

## The molybdenite Re-Os age and genetic analysis of the Shangjiashuang Mo deposit in Jiaodong area

LI Jie<sup>1</sup>, SONG Ming-chun<sup>2</sup>, WANG Mei-yun<sup>3</sup>, LI Shi-yong<sup>4</sup>, ZHOU Ming-ling<sup>5</sup>, NI Shi-jun<sup>6</sup>, ZHANG Cheng-jiang<sup>7</sup>, DING Zheng-jiang<sup>8</sup>, YUE Yue-po<sup>8</sup>

(1. College of Resources, Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang 050031, Hebei, China; 2. Shandong Bureau of Geology and Mineral Resources, Ji'nan 250013, Shandong, China; 3. Scholl of Water Resources and Environment, Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang 050031; 4. Geophysics and Geochemistry Research Institute of Shandong Province, Ji'nan 250013, Shandong, China; 5. Shandong 6th Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Weihai 264209, Shandong, China; 6. Geochemistry Department, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 7. College of Earth Science, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 8. Shandong 3rd Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Yantai 264000, Shandong, China)

**Abstract:** The Shangjiashuang Mo deposit is hosted in the porphyritic granodiorite which belongs to Weideshan Late Yanshanian ultra unit. It is controlled by the fractures in the interior of the magmatic body and in NW direction. The main ore bodies assume stratoid and large vein forms, and are characterized by branching and recombination as well as expansion and pinch-out. Re-Os dating of three molybdenite separates from ores has yielded weighted ages  $(115.5 \pm 1.6)\text{Ma} \sim (117.6 \pm 1.6)\text{Ma}$ , and a weighted mean age of  $(116.4 \pm 1.6)\text{Ma}$ , implying that the metallogenic epoch of Mo is nearly identical with the large-scale metallogenic epoch of Au in Jiaodong area, and nearly the same as the diagenetic epoch of their country rock—Yingpan unit of Weideshan super unit. It is proved that there existed a series of Au and Mo ore-forming processes which occurred almost in the same metallogenic epoch and were related to Weideshan granite in Jiaodong area.

**Key words:** Shangjiashuang Mo deposit; Re-Os isotope age; Weideshan ultra unit; metallogenesis; gold deposits in Jiaodong area

**About the first author:** LI Jie, male, born in 1982, doctor, majors in geochemistry; E-mail: lijie-cdut.cn@163.com.