

小秦岭地区构造控矿作用分析

燕建设¹ 牛树银² 冯建之³

孙卫志³ 孙爱群² 王杏村³ 崔燮祥³ 陈超²

(1. 河南省地质矿产勘查开发局, 河南 郑州 450012; 2. 石家庄经济学院, 河北 石家庄 050031;
3. 河南省地质矿产勘查开发局第一地质矿产调查院, 河南 洛阳 471023)

摘要:小秦岭金矿集中区以隆升幅度大、剥蚀程度深、构造活动强烈、构造形迹清楚、矿床分布集中而著称。本文论述了研究区从早到晚,经历了塑性流变褶皱→区域东西向主体褶皱→南北向横跨叠加褶皱→垂向隆升的横弯褶皱等 4 期褶皱作用,以及塑性流变→脆韧性压扭性→韧脆性张扭性→隆升造成的脆性正向拆离滑脱等 4 期剪切作用。主期脆韧性剪切作用发育于主体褶皱翼部的薄弱构造带。由于第三期的韧脆性剪切作用的改造为燕山期含矿流体的大规模贯入和成矿提供了良好的容矿条件。研究认为,成矿流体主要来自深源,通过地幔热柱多级演化,贯入到韧脆性剪切带中积聚成矿,而且矿区往往存在着—两条主要矿脉却控制着矿区 50%以上的金属储量。

关键词:褶皱构造;韧性剪切带;构造成矿;构造控矿;幔枝构造;豫西地区

中图分类号:P618.51;P613 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2013)02-0538-11

小秦岭是中国第二大金矿集中区,受到很多地质学家的广泛关注,开展了大量的深入研究,极大地促进了该区金矿的科学研究和生产开发^[1-7]。特别是近几年部署的中深部地质找矿,展示了巨大的找矿潜力,部分已经开展的中深部找矿表明,小秦岭矿集区不仅矿脉延长延深较大,单脉规模可观,并且与韧脆性剪切带密切相关,特别是规模较大的韧脆性剪切带控矿明显,例如 S505-S60 矿脉延长大于 16 km,自西向东分别控制了文峪、东闯、老鸦岔—金铜岔、杨寨峪等矿区的主要矿体,探明的黄金储量超过百吨。很显然,整个小秦岭矿集区中深部地质找矿的潜力更加巨大。

但是,该区的主要控矿构造是褶皱控矿?还是剪切带控矿?或是褶皱与剪切带都具有控矿作用?仍有不同的认识^[3,8-9]。野外调研发现,小秦岭地区褶皱规模从小到大,褶皱性质从塑性流变到韧脆性变形,相

关的剪切带也具有韧性—脆韧性—韧脆性—脆性的演化过程,剪切带与褶皱均很发育,且互为基础。因此,二者共同控制该区金矿的成矿作用。

1 区域地质概况

小秦岭地区位于华北陆块南缘,具有典型的地台型基底和盖层结构,轴部基底为太华群,与其中的 TTG 岩系和富钾质花岗岩侵入体组成花岗—绿岩带,具有深层次变形变质特征。外围残留有少量中上元古界,以浅层次脆性滑脱变形为主,变质较微弱(表 1)。

区内岩浆活动强烈而频繁,自太古宙到中生代都有表现,具有多旋回、多期次的特征。太古宙表现为中基性—中酸性火山喷发及 TTG 岩系;元古宙早期为中基性火山岩喷发,中后期为碱性火山岩喷发;加里东期为碱性花岗岩岩基和碱性脉岩侵入。中生代燕山

收稿日期:2012-03-15;改回日期:2012-08-01

项目资助:河南省地质勘查专项([2006]659)以及我国典型金属矿科学基地研究(200911007)项目资助。

作者简介:燕建设,男,1958年生,教授级高级工程师,主要从事固体矿产的地质找矿和勘查工作。

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

表 1 小秦岭地区太华群岩石单位划分简表
Table 1 Rock units of Taihua Group in Xiaolingling area

时代	层 壳	岩 石 单 位	代 号	厚度/m	岩 性 特 征
新太古界	上部表壳岩	焕池峪组	Ar _{3h}	>626	灰白色大理岩、透辉石镁橄榄石大理岩、白云石大理岩、蛇纹石阳起石岩。具蛭石化、矽卡岩化、绿帘石化
		观音堂组	Ar _{3g}	>714	黑云变粒岩、浅粒岩、黑云斜长片麻岩夹石英岩及斜长角闪岩。含石墨、硅线石、铁铝榴石等变质矿物
	下部深成岩	四范沟片麻状花岗岩	Ar _{3sf}		片麻状黑云二长花岗岩、片麻状似斑状黑云二长花岗岩、片麻状角闪花岗岩、片麻状黑云花岗岩闪长岩
		杨寨峪灰色片麻岩	Ar _{3ym}		条带状黑云斜长(更长)片麻岩、黑云角闪斜长片麻岩、片麻状斜长花岗岩
		基性喷发表壳岩	Ar _{3B}		斜长角闪岩、斜长角闪片麻岩,多以层状及包体形式产出

期岩浆活动强烈而广泛,形成花岗岩岩基和岩株,还有广泛分布的花岗伟晶岩以及少量煌斑岩类。

中生代燕山期两个重要的岩株是文峪岩体和娘娘山岩体。尤其文峪岩体与本区的成矿作用密切相关。文峪岩体位于研究区西部,近椭圆形,长轴北西西向,长 14.5 km,短轴北北东向,宽 7 km,出露面积约 65 km²。岩体与围岩的接触界线清楚,接触面向外倾斜,倾角一般为 50°~60°,岩体东部见少量围岩残留顶盖。岩体可划为三个相带:中心相带:分布在岩体的中南部,出露面积不大,为中粒似斑状黑云花岗岩;过渡相带:占岩体面积的绝大部分,由中粒黑云花岗岩,中粒含斑黑云花岗岩组成,与中心相带、边缘相带呈过渡关系;边缘相带,不规则分布在岩体的外缘。宽数十到千余米,局部可见数厘米到数十厘米的结晶边。岩性为中细粒花岗岩。娘娘山岩体位于研究区东端,呈梨形,长轴北北西向,长 7.5 km,短轴北东东向,宽 5.5 km,出露面积约 33 km²,接触面多为内倾,倾角 30°~50°。岩体中夹有较多的捕虏体,期后脉岩也较发育,除花岗质岩脉外,还有石英脉。岩体可划分为两个相带:内部相,分布在岩体的北东部,出露面积很小,以中粒似斑状黑云母花岗岩为主,含少量斑晶;外部相,占岩体面积的绝大部分。以中粒黑云母花岗岩为主,外围局部渐变过渡为中、细粒花岗岩,但界线不清。

两岩体成因类型属壳幔质重熔型花岗岩^[10],与太华群呈侵入接触(图 1)。

区域构造变形以褶皱构造和剪切带较为发育,并对燕山期的成矿作用具有明显的控制作用。晚期的脆性断裂对矿体有一定的破坏作用。

2 构造变形作用分析

小秦岭地区的构造变形从早到晚,变形性质从塑性到脆性,变形规模从小到大,变形类型则是褶皱与剪切带同时形成,或相间发生,并互为基础、相互促进。

总体而言,结晶基底变质岩系经历了多期次强烈变形变质,形成了一系列复背斜(形)、复向斜(形)等复杂的褶皱构造以及不同方向、不同性质的剪切带,相互交织,构成了本区复杂的构造图案。为了便于论述,下边对褶皱和剪切带一起予以讨论。

2.1 第一期流变褶皱与韧性剪切带

第一期构造变形时地质体的埋深较大,地壳的地温梯度较高,压力较大,因此,岩石的流变性较强,褶皱幅度较小,一般多表现为小规模塑性流变褶皱,往往转折端明显加厚,翼部强烈拉薄,甚至出现一系列肠状褶皱。由于后期构造的强烈改造,早期流变褶皱的优选方位大多没有明显的规律。

第一期韧性剪切带亦多表现为小规模、强塑性流变为特征,韧性剪切带的长度多为几米至几十米,宽度多在几厘米至几十厘米,流变特征明显,多发育糜棱岩或超糜棱岩,常伴有明显的拉伸线理、旋转碎斑系、S-C 组构、书斜构造、拖曳褶皱等强变形标志。特别是在早期褶皱的倒转翼容易形成韧性剪切带(图 2)。

特别需要提及的重要问题是结晶基底的面理置换,由于早期强烈的构造变形,变质表壳岩多具变质成分-结构层(片麻理),此种结构层与岩石的原生沉积纹(层)理(S₀)基本一致。有些变形强烈的构造

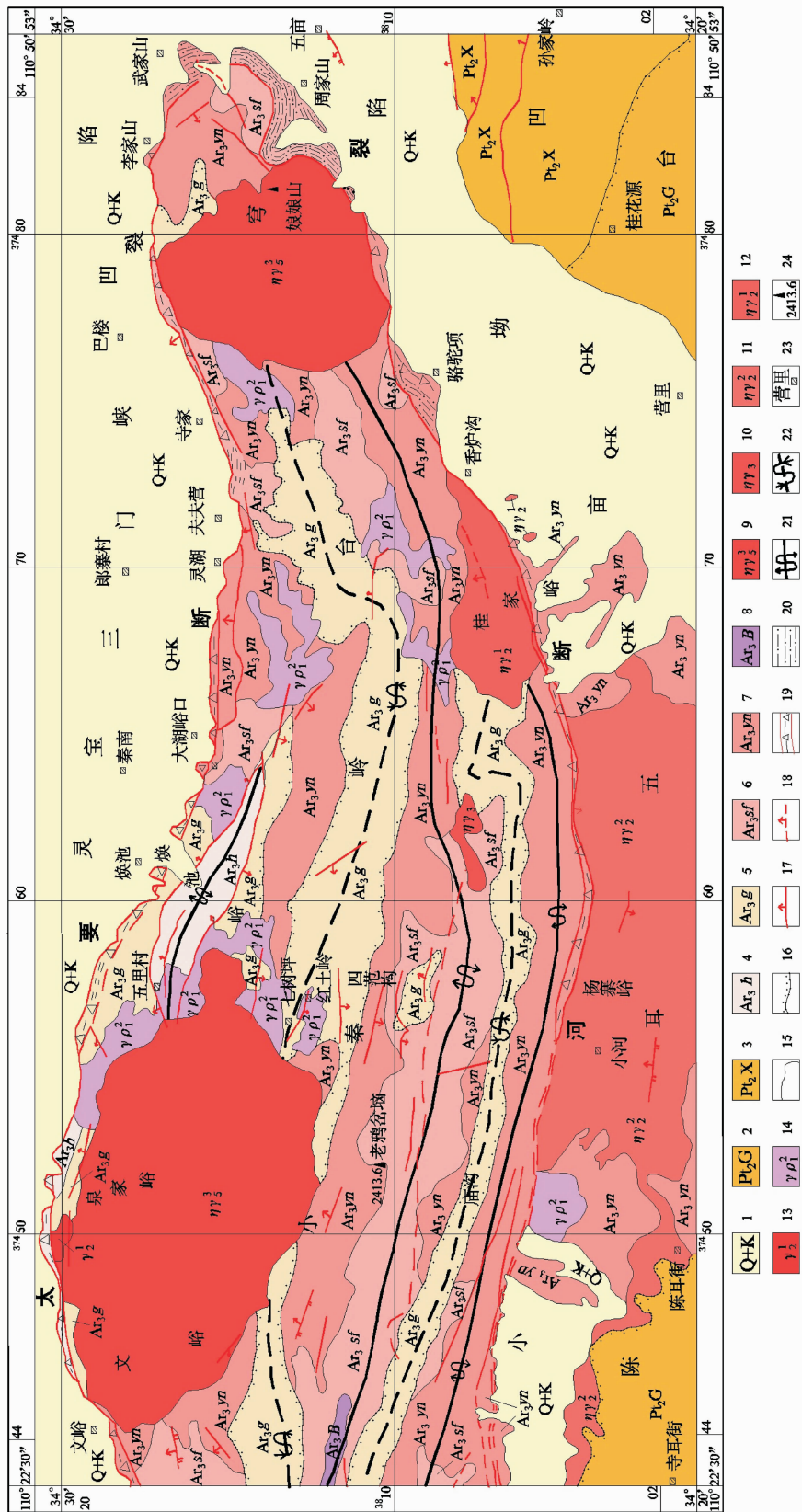
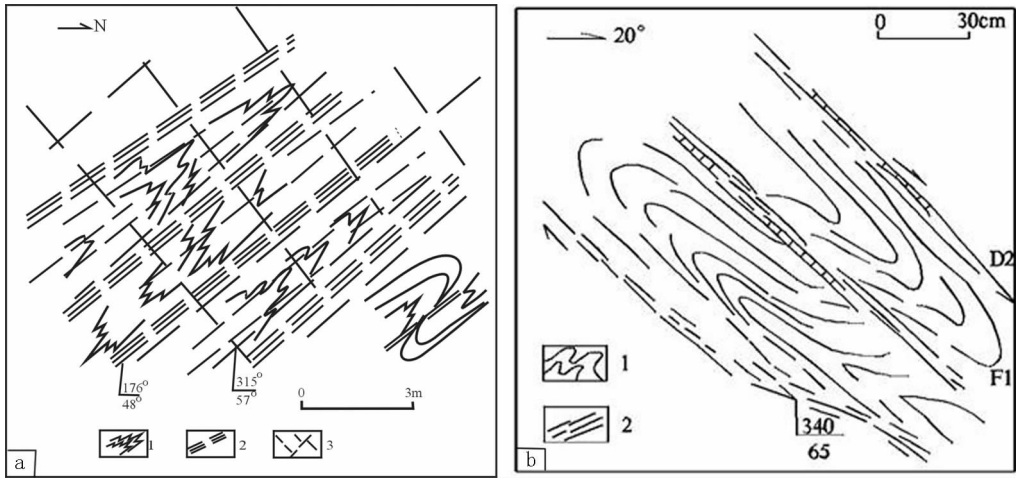


图 1 小秦岭地区构造地质纲要简图

1—中新世; 2—中元古界官道口群; 3—中元古界熊耳群; 4—新太古界观音堂组; 5—新太古界四范沟组; 6—新太古界杨寨峪组; 7—新太古界杨寨峪组; 8—新太古界基性表壳岩; 9—燕山期二长花岗岩; 10—加里东期二长花岗岩; 11—中岳期二长花岗岩; 12—五台期二长花岗岩; 13—五台期花岗岩; 14—阜平期花岗岩; 15—地质界线; 16—不整合地质界线; 17—断层; 18—推测性质的断层; 19—构造角砾岩; 20—糜棱岩带; 21—背斜(形)轴; 22—向斜(形)轴; 23—居民点; 24—山峰及标高

Fig.1 Structural-geological sketch map of Xiaoqingling area

1— Mesozoic and Cenozoic; 2— Middle Proterozoic Guandaokou Group; 3— Middle Proterozoic Xionger Group; 4— Archeozoic Huanchiyu Group; 5— Archeozoic Guanyintang Group; 6— Archeozoic Sifangou Group; 7— Archeozoic Yangzhayou Group; 8— Archeozoic basic supracrustal rocks; 9— Yanshanian adamellite; 10— Caledonian adamellite; 11— Zhongyue period adamellite; 12— Wutai period adamellite; 13— Wutai period granite; 14— Fuping period granite pegmatite; 15— Geological boundary; 16— Unconformity; 17— Fault; 18— Inferred fault; 19— Tectonic breccia; 20— Mylonite zone; 21— Anticline (shaped) axis; 22— Syncline (shaped) axis; 23— Residential area; 24— Mountain peak and its elevation



a:1-太华群变质岩系;2-韧性剪切带;3-晚期叠加节理; b:1-太华群变质岩系;2-韧性剪切带及充填石英脉

图 2 早期小规模柔流褶皱及其翼部发育的韧性剪切带

Fig.2 Early small flowage fold and the ductile shear zone developed in its limb

部位也可出现被构造面理置换,即 $S_1 \approx S_0$;而下部变质深层岩石则是通过残留的花岗质条带(代表 S_1)来识别的,有时甚至被晚期的片麻理(S_2)或伟晶质条带(代表 S_2)所切穿、置换,也可表现为斜长角闪岩包体被晚期片麻理(S_2)切穿,部分被转变为黑云母条带。

因此,区内结晶基底褶皱系列中,变质深成岩是以置换构造面理为变形面而显示的,只具形态意义,应属背、向形褶皱(片褶)系列;上部表壳岩单元可能存在置换构造面理 $S_1 \approx S_0$,但总体仍未达到区域透入性面理,故以 $S_1 \approx S_0$ 为基础的岩石组合层序,仍可大致代表地层层序,由其组成的褶皱,亦大致代表正常背、向斜构造系列。

第一期褶皱变形应发生在新太古代阜平运动,伴随地壳深部高角闪岩相条件下变质深成岩发生变质分异作用,发育强烈的柔流褶皱为特征,卿敏和刘连登(1995)亦认为第一期变形应发生在太古宙末期^[9]。

2.2 第二期区域性褶皱与翼部脆韧性剪切带

研究区结晶基底发育的第二期褶皱规模较大,从北往南分别展布有:五里村背斜、七树坪向斜、老鸦岔背形、庙沟向斜、上杨砦背形。以老鸦岔背形为主干,组成复背斜。褶皱枢纽走向西部呈北西西向,东部向北东偏转。主要为线性褶皱(图 3)。

由于褶皱总体形态清楚,野外出露较好,文中列出褶皱特征一览表(表 2),仅择五里村背斜和七树

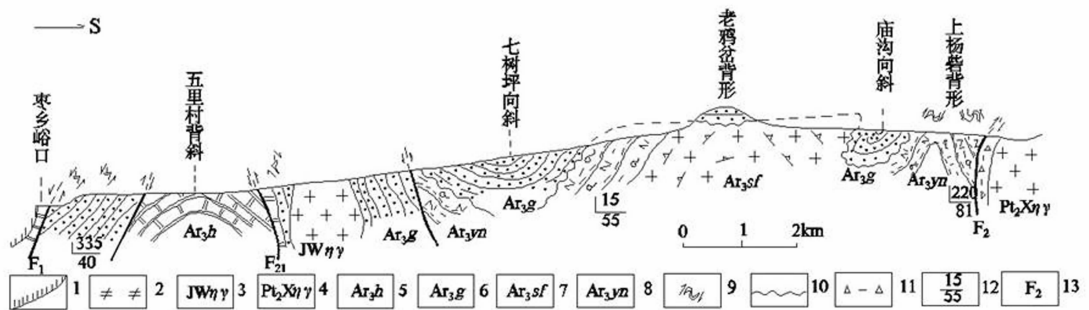


图 3 小秦岭地区构造格架简图

1—第四系;2—花岗伟晶岩;3—文峪岩体;4—小河岩体;5—焕池峪组;6—观音堂组;7—四范沟组片麻状花岗岩;8—杨寨峪组灰色片麻岩;9—长英质岩石;10—角度不整合界面;11—碎裂岩带;12—岩层或片麻理产状;13—断裂编号

Fig.3 Structural framework of Xiaqingling area

1-Quaternary; 2-Granitic pegmatite; 3-Wenyu rock mass; 4-Xiaohu rock mass; 5-Huanchiyu Formation; 6-Guanyintang Formation; 7-Zifangou Formation gneissic granite; 8-Yangzhaiyu Formation gray gneiss; 9-Felsic rocks; 10-Angular unconformity; 11-Cataclastic rock zone; 12-Attitude of strata or gneissose; 13-Serial number of fracture

表 2 小秦岭地区小秦岭地区褶皱特征一览
Table 2 Fold feature list of Xiaoling area

褶皱名称	枢纽走向	核部岩石单位	北翼产状(°)		南翼产状(°)		延展长度/m	长宽比值
			倾向	倾角	倾向	倾角		
五里村背斜	北西西	涣池峪组 (观音堂组)	356~37	33~72	145~208	48~60	7000	4.6~14
七树坪向斜	北西西—北东	观音堂组	185~210	41~52	10~30	45~85	22000	7.3~11
老鸦岔背形	北西西—北东	片麻状花岗岩 灰色片麻岩	315~10	48~80	127~198	54~67	18000	4.5~9
庙沟向斜	北西西, 东部向北 弯转	(涣池峪组) 观音堂组	345~10	45~87	347~35	29~76	13000	13~26
上杨砦背形	北西西—北东	片麻状花岗岩 灰色片麻岩	350~39	35~80	185~205	75~85	12500	9.6~12.5

坪向斜简述如下:

五里村背斜两翼被逆冲(韧脆性剪切带)断层破坏,使核部出露涣池峪组,两翼出露下部层位观音堂组。其间以断层接触。

七树坪向斜核部出露观音堂组,翼部出露杨寨峪灰色片麻岩及四范沟片麻状花岗岩。北翼南倾,南翼北倾。褶皱形态在枣乡峪一带较为清楚,东部渐变为向南或南东的单向倾斜,显示南翼岩层倒转。

区内褶皱的近东西向平行展布及长英质脉体、片麻理产状与背、向斜的组合关系等表明,第二期褶皱发生于新太古代末五台运动,是在深部角闪岩相条件下,近南北向挤压作用形成的以老鸦岔复背斜为主体的不协调复式褶皱系列。

在第二期褶皱作用期间及期后,区域上形成了一系列与褶皱同向的脆韧性剪切带。它在产状上与复背斜密切相关,多发育于褶皱,特别是背斜两翼的层间薄弱带或已经存在的构造薄弱面上,也有人从成因上称作褶—断型脆韧性剪切带,最初形成受第二期褶—断作用构造应力场统一变形机制的控制,其后又经历了绿片岩相脆韧性剪切带等复杂演化历史。

脆韧性剪切带按走向可分为4组,即近东西向、近南北向、北东向、北西向。以近东西向剪切带为主,剪切带延深延长较大,多密集成带,以逆冲性质为主,实际上是伴随第二期近东西向褶皱同时或稍后形成的同向脆韧性剪切带。近南北向剪切带以张性为主,北东向、北西西剪切带则以剪切为主,它们一般规模较小,是近东西向主要脆韧性剪切带的配套构造。

脆韧性剪切带明显不同于早期韧性剪切带,早期韧性剪切带以角闪岩相变质作用环境为主,变形多以规模较小、流变性较强为特征;第二期脆韧性剪切带则以绿片岩相变质作用环境为主,且多以规模

较大线状展布,密集排列成带为特征,为后期的成矿作用提供了非常好的构造扩容空间。

2.3 第三期叠加褶皱与韧脆性剪切带

小秦岭地区第三期褶皱作用发生了很大的调整,主压应力方向转变为近东西向,对第二期近东西向主褶皱进行了叠加改造,使其发生了南北向蛇状弯曲,即以第二期近东西向褶皱的轴面为参考面($AP_2 \approx S_2$),发生了南北向褶皱。

这种褶皱作用在区域规模和中小尺度上均有明显的表现形式。区域上整个小秦岭地区的主期褶皱都发生了蛇状弯曲,大湖—杨寨峪南北一线发生了显著的向南弯曲,或者说该线以西第二期褶皱轴面偏向北西西,该线以东第二期褶皱轴面偏向北东东,形成了区域规模的第三期与第二期褶皱的横跨形式(图1)。

这种第三期与第二期褶皱的横跨形式在中小尺度,甚至矿区尺度同样表现明显,以东闯金铅矿区为例(图4),矿区位于老鸦岔背形构造近轴部,略偏向南翼。不仅第三期与第二期褶皱构造的横跨叠加,使第二期褶皱形成了多次南北向弯曲,包括褶皱翼部韧脆性剪切带中充填的铅金矿脉也同样被第三期褶皱作用弯曲成蛇状形态,与第二期褶皱一起叠加上了第三期褶皱的烙印。

伴随第三期褶皱作用的是燕山期低绿片岩相脆韧性剪切带^[9],这不仅缘于燕山期地壳的地温梯度有所降低,还因为第三期主压应力为近东西向,与第二期构造线方向呈大角度相交,对第二期的脆韧性剪切带来讲,挤压构造应力对第二期脆韧性剪切带的改造视方向不同而有所差别,如果由于第三期褶皱的叠加,研究区段处于近东西向,那么,第二期脆韧性剪切带就会叠加上张性破裂作用;如果由于第三期褶皱的叠加,研究区段被改造成波状弯曲,而处

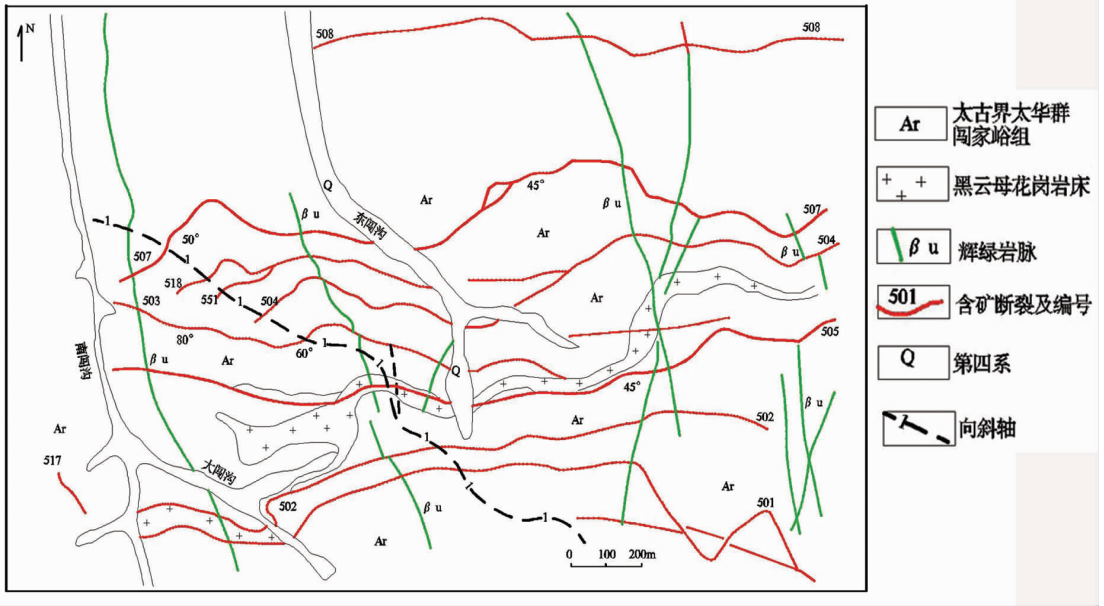


图 4 东闯金铅矿区矿床地质简图

Fig.4 Geological sketch map of the Dongchuang gold deposit in Xiaqingling area

于北东向或北西向,那么,第二期脆韧性剪切带就会被改造成为张扭性或压扭性剪切带。

第三期脆韧性剪切带的叠加与改造作用,对燕山期的成矿作用有着明显的不同。

2.4 第四期横弯褶皱与区域隆升作用

燕山运动晚期,小秦岭地区总体进入了垂向运动阶段,外围则发生了大幅度的断陷,最突出的表现是小秦岭地区逐渐隆起成山,轴部老鸦岔、杨砦峪等地海拔高度超过两千多米,岩浆-变质杂岩裸露,上盘盖层多被拆离滑脱到外围地区,小秦岭隆升与其南北断陷间形成的盆-岭构造格局逐渐显现(图 5)。

区域隆升作用对剪切带的叠加改造表现在两个方面,一是使早期形成的剪切带不断隆升,逐渐被抬升至浅部,二是在早期韧性剪切带-脆韧性剪切带-脆韧性剪切带的基础上叠加了脆性断裂,使剪切带多次发生剪切(断裂)带力学性质的转变。特别是小秦岭幔枝构造^[4]外围的边界剪切带活动幅度更大,性质转变形迹更加明显。

南侧叠加在剪切带之上的晚期断裂东起周家山,向西经小河(白花峪口),到洛南驾鹿一带,简称小河断裂。总长约 150 km,河南境内约 50 km,宽度出露不全,最大可达 5 km。西部产状 12~15°∠60~

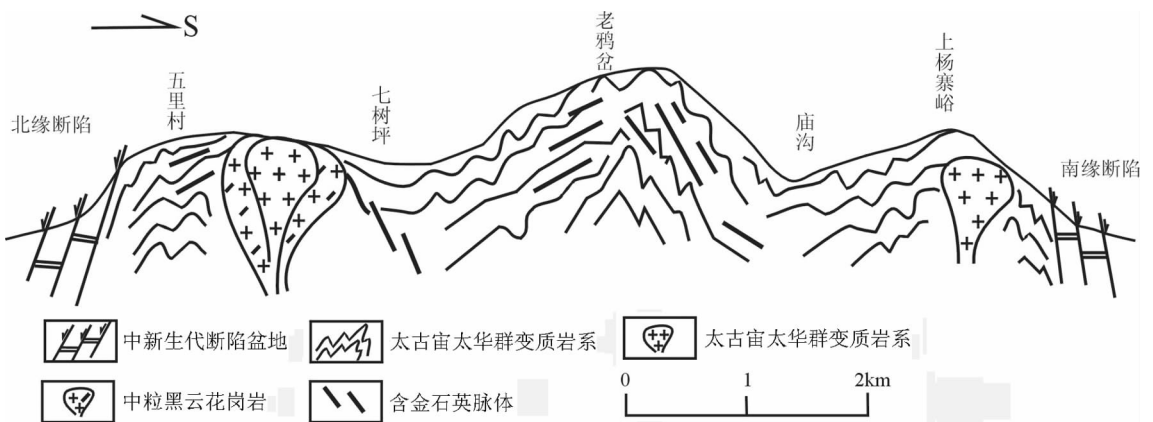


图 5 小秦岭幔枝构造中生代盆-岭构造简图

Fig.5 Sketch map of Mesozoic and Cenozoic basin-and-range structure in Xiaqingling mantle branch

80°, 东部周家山则变为 140°∠70°。该剪切带中还侵入有小河花岗岩、辉绿岩脉和正长岩脉等。在演变历史中, 早期角闪岩相糜棱岩带之上叠加有晚期呈线状、带状分布的绿片岩相构造片岩、千糜岩、糜棱岩, 甚至局部发育脆性构造角砾岩。力学性质上反映出早期左行逆冲-走滑至晚期引张正断的多期次复杂变形史。

北侧叠加在边界剪切带之上的晚期断裂, 东起武家山, 向西经大湖、石母峪、太要、华山至兰田流峪, 简称太要断裂。亦呈近东西向波状弯曲, 总长约 150 km。由于晚期山前断陷破坏和第四系覆盖, 造成沿剪切带出露残缺不全, 在石母峪地区剪切带宽超过 1 km。剪切带产状约 360°∠60~80°。在早期糜棱岩中见有伟晶岩脉、辉绿岩脉, 且二者又受到后期的脆韧性剪切-韧脆性剪切作用而发生糜棱岩化, 燕山晚期又被脆性活动叠加形成带状角砾岩带, 表明了早期左行逆冲-走滑韧性剪切带在燕山晚期又叠加了引张正断作用。

3 深源流体与金的成矿作用

归纳小秦岭幔枝构造的成矿作用可以发现, 该区域的主要矿脉多呈近东西向展布在主期褶皱构造两翼的脆韧性-韧脆性剪切带中, 甚至一脉举足轻重, 所占金属储量达到整个矿床金属储量的 50% 以上, 有的达到 90% 以上, 这显然表明金的成矿作用与区域性剪切带密切相关, 而且成矿流体贯入成矿的特征明显。

3.1 金的成矿作用分析

小秦岭幔枝构造是华北东部地幔热柱南缘的幔枝构造, 可概略地表述为在地幔热柱多级演化过程中, 来自核-幔边界的含矿热液, 呈气态-气液混合相-液相随同地幔热柱多级演化向上运移。小秦岭幔枝构造中, 在第二期近东西向褶皱两翼构造薄弱带基础上形成的逆冲性脆韧性剪切带, 在第三期横跨叠加构造应力场的作用下, 被改造成张扭性韧脆性剪切带, 并成为良好的构造扩容空间, 为含金成矿流体贯入-积聚-沉淀-结晶提供了最佳场所, 最终构成小秦岭幔枝构造区中, 从大到小的区域剪切带-构造扩容带-矿田-矿床-矿脉-矿体体系。

矿床的形成是在一定的温度、压力等条件下完成的, 因此, 矿床的分布具有一定的规律性和丛聚性, 不但表现出与岩浆岩体和剪切带的密切关系, 而

且同类矿床集中分布形成矿田, 如小秦岭金矿田, 甚至包括区外的熊耳山金-银矿田、南泥湖钨-钼矿田等也具有一定的可比性。由于不同地区温压条件和围岩条件的差异, 这些矿床也会产生一定变化, 但总体表现出从中高温向中低温演化的成矿系列。前者主要出现在幔枝构造的核部变质杂岩区, 后者主要出现在幔枝构造外围甚至盖层沉积地层之中^[11-12]。由于它们均为中生代幔枝构造控制的热液成矿, 因此, 各类矿床的基本特征具有较大的相似性。

上述认识得到了矿床矿石中硫-铅-氧-氢等同位素组成以及成矿流体成分等地球化学特征的支持。

3.2 成矿流体的地球化学分析

金主要以分散状态赋存在黄铁矿等硫化物中, 通过寄主矿物元素来源分析, 可以间接探讨金的来源。硫化物由阳离子金属元素和阴离子硫元素组成, 其来源可能是不同的。

3.2.1 硫同位素特征

小秦岭 14 个金矿区和太华群变质岩及花岗岩中 326 个 $\delta^{34}\text{S}$ 值的分布特征(表 3, 图 6)表明, 硫同位素以较富 ^{34}S 为特征, 变化范围-12.5~11.5, 但大部分集中于+1~+5, 主要集中于+2~+3, 表明硫主要来自深源。而小秦岭燕山期花岗岩与太华群变质岩 $\delta^{34}\text{S}$ 组成与金矿特征接近, 说明三者之间有着密切的成因联系。

3.2.2 铅同位素特征

小秦岭地区金矿与太华群变质岩、文峪花岗岩、辉绿岩铅同位素组成比较接近(表 6-9), 金矿床 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 17.054~17.999, 平均为 17.138; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 15.333~15.582, 平均为 15.394; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 37.342~38.475, 平均为 37.706。表明硫同位素相对稳定, 投点多数落在地幔铅附近, 只有个别点较为分散(图略), 说明金矿床在成因上与地幔上涌密切关系。

氢氧同位素特征亦反映成矿物质主要来自深源, 在成矿作用过程中有部分变质水和天水的加入^[10]。

4 构造成矿作用分析

很多金矿成矿作用研究, 包括矿床地球化学、同位素地球化学研究表明, 成矿物质主要来自幔源^[13-14], 甚至核幔源(或者源自核-幔界面), 以气态-气液态-含矿流体的形式, 通过地幔热柱-地幔亚热柱-幔枝构造的多级演化向上迁移^[15-16, 20-21], 也有地质学家称软流圈上涌或地幔蘑菇云构造^[17-18]。当然,

表 3 小秦岭地区主要金矿床、花岗岩和变质岩系硫同位素组成

Table 3 Sulfur isotopes of main gold deposits, granites and metamorphic rocks in Xiaqingling area

矿 区	样品数(个)	$\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$	
		平均值	变化范围
杨寨峪	79	2.1	-7.9~7.1
四范沟	18	1.5	-5.7~4.9
金碛岔	25	-1.8	-12.5~8.3
老鸦岔	14	1.3	-7.6~5.3
东闯	6	5.0	2.4~7.1
文峪	81	2.9	-4.7~6.4
和尚洼	5	1.9	-3.2~3.9
抢马	35	5.7	-0.7~8.8
红土岭	9	0.5	-2.8~2.7
金渠沟	8	-3.3	-6.2~0.2
黑峪子	5	-0.7	-3.3~1.8
大湖	24	-3.9	-12.2~2.9
灵湖	14	-1.5	-9.3~5.9
武家山	3	8.6	7.4~11.5
平均		1.31	-12.5~11.5
太华群	17	3.0	-5.4~10.5
花岗岩	7	3.1	2.1~3.4

注:资料据黎世美等(1996)改编。

不管赋予什么概念,表明很多地质学家逐渐把研究的注意力转向深部过程和深部作用。因为,大规模深源岩浆活动既是成矿物质运移的载体,同时又为成矿流体上升开辟了通道,由于岩浆上侵的液压致裂作用,在岩体的上部形成一系列的环状、放射状断裂,甚至使早期业已存在的区域性脆-韧性、韧-脆性剪切带及其更上部的断裂体系也就成为了很好的

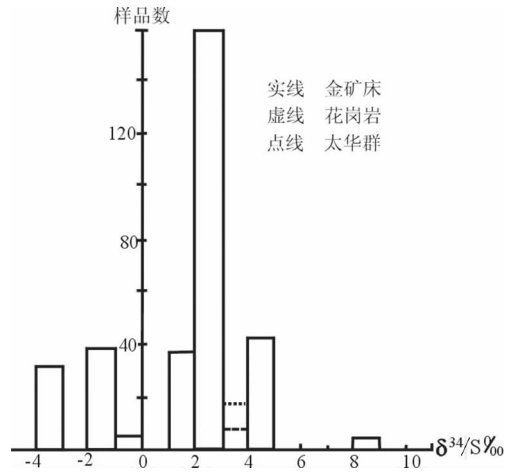


图 6 小秦岭金矿硫化物 $\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$ 平均值分布图

Fig.6 The distribution of average sulfide $\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$ values in the Xiaqingling gold deposit

成矿控矿构造。毛景文等^[19]挑选玲珑、焦家、三山岛、蓬家夬等 10 个矿床中成矿主期的黄铁矿、绢云母和钾长石进行了硫、氢、氧同位素测试,同时对比测定了玲珑花岗岩和郭家岭花岗闪长岩中黑云母和钾长石的氢、氧同位素,结果表明这些金矿虽然产出形式有差别,但都是同一深部流体库中流体上涌、与围岩发生强烈水岩反应和与地壳流体混合,通过交代和沉淀成矿的^[19,22]。

当搭载幔枝构造岩浆活动向上迁移的气-液混合相含金流体进入上述构造扩容带时,含矿流体尚有一定的温度-压力梯度,换句话说,含矿流体具有一定的液压致裂作用,一旦溶透或致裂而贯通某一

表 4 小秦岭地区金矿床及太华群、花岗岩等铅同位素组成
Table 4 Lead isotope composition of gold deposits, Taihua Group and granite in Xiaqingling area

矿区	样品数	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}(\alpha)$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}(\beta)$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}(\gamma)$
杨寨峪	2	17.078	15.477	37.789
四范沟	10	17.054	15.361	37.509
金碛岔	5	17.107	15.354	37.823
东闯	3	17.075	15.439	37.606
文峪	9	17.097	15.389	37.644
和尚洼	2	17.001	15.402	37.469
抢马	1	17.047	15.333	37.342
大湖	4	17.176	15.457	37.699
灵湖	4	17.611	15.338	38.475
平均	40	17.138	15.394	37.706
文峪花岗岩	2	17.172	15.439	37.654
辉绿岩	1	17.999	15.582	38.199
太华群	7	17.698	15.527	38.635

注:资料据河南地调一队。

主要构造剪切带时,特别是由于第三期张扭性构造叠加改造的韧脆性剪切带时,可能犹如煤矿突水一样,在短时间就会灌满剪切带,并逐渐降压降温冷却结晶。这种推理的依据是,在某些矿区有几十条矿脉,而其中一或两条矿脉的金属储量占全矿金属储量的 50%~90%,很显然这是因为液压致裂贯入主剪切带后,含矿流体温度-压力迅速降低,贯入力降低,因此,其他的脉岩含矿率便大大降低。关于此问题叶天竺先生曾讲过一个很有道理,且非常有趣的比喻:“汶川有上百条断裂,当应力积累达到破裂点时,有一两条断裂活动(释放能量——地震)就够了,不可能上百条断裂都活动。”其次,在小秦岭地区,甚至也包括在胶东、冀东等地区有很多金矿,主体矿脉沿走向或沿倾向均有很大的延伸,特别是倾向上的延深,其温度-压力,甚至包括流体成分、pH、Eh 值等都变化不大,这也许是最好的解释。

5 结 论

小秦岭幔枝构造地区的成矿作用有其显著的特征,这些特征的总结归纳,对该区的成矿作用总结和深部与外围找矿有重要的参考价值和指导意义。

(1)小秦岭地区的褶皱构造与剪切带构造均十分发育,它们是在同一构造应力场的作用下,经历了至少 4 期以上的区域构造变形演化,褶皱构造与剪切带构造相辅相成、互为基础,共同构成了小秦岭地区的构造演化历史。特别是该区隆升强度大,剥蚀作用强烈,植被覆盖少,构造形迹清楚,矿床分布集中,是难得的良好天然实验室。

(2)小秦岭经历的 4 期褶皱构造从早到晚分别是:小型塑性流变褶皱-区域东西向主体褶皱-南北向横跨叠加褶皱-垂向隆升的横弯褶皱作用;相应的剪切作用从早到晚,也经历了塑性流变剪切-脆韧性压扭性(逆冲)剪切-韧脆性张扭性剪切-隆升造成的脆性正向拆离滑脱作用等 4 个期次的变形。当然这是 4 期最为强烈的变形构造,其间还夹有一些较弱的变形构造。

(3)主体褶皱翼部的薄弱构造带为主期压扭性(逆冲)脆韧性剪切带提供了形成基础,且逆冲性或压扭性剪切带的延深和延长一般都比较大,第三期的张扭性韧脆性剪切改造作用则为燕山期含矿流体大规模贯入和成矿创造了很好的容矿条件。晚期幔枝构造的大幅度隆升作用则把一定深度形成的矿

体抬升到地壳浅部,为人们创造了很好的找矿和采矿条件。

(4)很显然,在诸多成矿控矿因素中,区域性褶皱作用和剪切作用,特别是第三期区域性张扭性韧脆性剪切作用是重要的成矿作用,应有目的地加大矿田构造研究,以指导深部和外围进一步地质找矿。

致谢:衷心感谢陈毓川院士所给予的热情指导和鼓励,在野外研究工作期间,得到了地方主管部门和有关地勘部门的大力支持和帮助,在此深表谢意,同时感谢审稿专家提出的指导意见。

参考文献(References):

- [1] 陈衍景, 富士谷. 豫西金矿成矿规律 [M]. 北京: 地震出版社, 1992:1-234.
Chen Yanjing, Fu Shigu. Gold Mineralization in West Henan [M]. Beijing: Seismological Press, 1992:1-234 (in Chinese with English abstract).
- [2] 陈衍景. 秦岭印支期构造背景、岩浆活动及成矿作用 [J]. 中国地质, 2010, 37(4):854-865.
Chen Yanjing. Indosinian tectonic setting, magmatism and metallogenesis in Qinling Orogen, central China [J]. Geology in China, 2010,37(4):854-865 (in Chinese with English abstract).
- [3] 胡正国, 钱壮志. 小秦岭西段拆离-变质杂岩核构造 [J]. 地质找矿论丛, 1994, 9(2):58-66.
Hu Zhengguo, Qian Zhuangzhi. Detachment-metamorphic complex core structure configuration [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 1994, 9 (2):58-66 (in Chinese with English abstract).
- [4] 王志光, 崔崑, 徐孟罗, 等. 华北地块南缘地质构造演化与成矿 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1997:1-310.
Wang Zhiguang, Cui Bo, Xu Mengluo, et al. Tectonic Evolution and Mineralization of the Southern Margin of the North China Block [M]. Beijing: China Metallurgical Industry Press, 1997:1-310 (in Chinese with English abstract).
- [5] 张进江, 郑亚东, 刘树文. 小秦岭金矿田中生代构造演化与矿床形成 [J]. 地质科学, 2003, 38(1):74-84.
Zhang Jinjiang, Zheng Yadong, Liu Shuwen. Mesozoic tectonic evolution and ore-deposits formation in the gold mine field of Xiaoqinling [J]. Chinese Journal of Geology, 2003, 38(1):74-84 (in Chinese with English abstract).
- [6] 卢欣祥, 尉向东, 于在平, 等. 小秦岭-熊耳山地区金矿的成矿流体特征 [J]. 矿床地质, 2003, 22(4):377-385.
Lu Xinxiang, Yu Xiangdong, Yu Zaiping, et al. Characteristics of ore-forming fluids in gold deposits of Xiaoqinling-Xiong'ershan area [J]. Mineral Deposits, 2003, 22(4):377-385 (in Chinese with English abstract).
- [7] 卢欣祥, 尉向东, 董有, 等. 小秦岭-熊耳山地区金矿特征与地幔流体 [M]. 北京: 地质出版社, 2004:1-128.

- Lu Xinxiang, Yu Xiangdong, Dong You, et al. Characteristics of Gold Deposits and Mantle Fluids of Xiaolinling -Xiong'ershan Region [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004:1-128 (in Chinese with English abstract).
- [8] 简文星, 胡家杰. 小秦岭金矿田东段控矿断裂形成机理 [J]. 有色金属矿产与勘查, 1994, 3(2):83-89
- Jian Wenxing, Hu Jiajie. The formational mechanism of ore -controlling fractures in the Eastern part of The Xiaolinling gold ore field[J]. Geological Exploration for Non-ferrous Metals, 1994, 3(2): 83-89(in Chinese with English abstract).
- [9] 卿敏, 刘连登. 小秦岭不同性质剪切带与金矿的时空关系及其找矿意义[J]. 黄金科学技术, 1995, 3(2):17-20.
- Qing Min, Liu Liandeng. The different shear zone and gold mineralization in the temporal relation and its prospecting significance of Xiaolingling area [J]. Gold Science and Technology, 1995, 3(2):17-20(in Chinese with English abstract).
- [10] 冯建之, 岳铮生, 肖荣阁. 小秦岭深部金矿成矿规律与成矿预测 [M]. 北京:地质出版社, 2009:1-268.
- Feng Jianzhi, Yue Zhengsheng, Xiao Rongge. Deep Gold Metallogenic Regularity and Metallogenic Prognosis in Xiaolingling Area [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2009:1-268(in Chinese).
- [11] 颜正信, 孙卫志, 薛成. 小秦岭金矿田中深部构造控矿规律及盲矿预测——以文峪矿区 S505 矿脉为例 [J]. 黄金, 2007, 28(12): 17-21.
- Yan Zhengxin, Sun Weizhi, Xue Cheng. Ore -controlling structure rule and blind ore -prospecting of medium -deep part in Xiaolinling gold orefield——with No. S505 vein as an example in Wenyu gold orefield[J]. Gold, 2007, 28(12):17-21(in Chinese with English abstract).
- [12] 冯建之. 小秦岭金矿田大湖钼金矿床地质特征 [J]. 矿产与地质, 2011, 25(1):9-16.
- Feng Jianzhi. Geological characteristics of Dahu Mo-Au deposit in Xiaolinling gold field[J]. Mineral Resources and Geology, 2011, 25(1):9-16(in Chinese with English abstract).
- [13] 王团华, 谢桂青, 叶安旺, 等. 豫西小秦岭—熊耳山地区金矿成矿物质来源研究——兼论中基性岩墙与金成矿作用关系 [J]. 地球学报, 2009, 30(1):27-38.
- Wang Tuanhua, Xie Guiqing, Ye Anwang, et al. Material sources of gold deposits in Xiaolinling -Xiong'ershan area of western Henan Province as well as the relationship between gold deposits and intermediate-basic dykes[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2009, 30(1):27-38(in Chinese with English abstract).
- [14] 冯建之, 孙卫志, 牛树银, 等. 华熊亚热柱—幔枝构造体系及其控矿作用[J]. 地质找矿论丛, 2011, 26(2):143-150.
- Feng Jianzhi, Sun Weizhi, Niu Shuyin, et al. Huashan -Xiongershan sub -mantle plume branch structure system and its control on ore[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2011, 26(2):143-150(in Chinese with English abstract).
- [15] 牛树银, 孙爱群, 王宝德, 等. 地幔热柱与资源环境[M]. 北京:地质出版社, 2007, 1-264.
- Niu Shuyin, Sun Aiqun, Wang Baode, et al. Mantle Plume and Natural Resources Environment[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007:1-264(in Chinese with English abstract).
- [16] 牛树银, 孙爱群, 马宝军, 等. 华北东部地幔热柱的特征与演化 [J]. 中国地质, 2010, 37(4):931-942.
- Niu Shuyin, Sun Aiqun, Ma Baojun, et al. Characteristics and evolution of the mantle plume in eastern North China [J]. Geology in China, 2010, 37(4):931-942(in Chinese with English abstract).
- [17] 肖庆辉, 丘瑞照, 伍光英, 等. 中国东部中生代软流层上涌造山作用[J]. 中国地质, 2006, 33(4):730-749.
- Xiao Qinghui, Qiu Ruizhao, Wu Guangying, et al. Mesozoic asthenospheric upwelling orogeny in eastern China [J]. Geology in China, 2006, 33(4):730-749(in Chinese with English abstract).
- [18] 袁学诚. 再论岩石圈地幔蘑菇云构造及其深部成因 [J]. 中国地质, 2007, 34(5):737-758.
- Yuan Xuecheng. Mushroom structure of the lithospheric mantle and its genesis at depth: revisited [J]. Geology in China, 2007, 34(5):737-758 (in Chinese with English abstract).
- [19] 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氢氧碳硫同位素证据[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 (6):839-857 (in Chinese with English abstract).
- [20] Fukao Y, Maruyama S, Inoue H. Geologic implication of the whole mantle P-wave tomography [J]. J. Geol. Soc. Jpn, 1994, 100(1): 4-23.
- [21] Steinberger B, Antretter M. Conduit diameter and buoyant rising speed of mantle plumes: Implications for the motion of hot spots and shape of plume conduits [J]. Geochemistry Geophysics Geosystems, 2006, 7(11):1-25.
- [22] Mao Jingwen, Wang Yitian, Li Houmin, et al. The relationship of mantle -derived fluids to gold metallogenes in the Jiaodong Peninsula: Evidence from D-O-C-S isotope systematics [J]. Ore Geology Reviews, 2008, 33:361-381.

An analysis of structural ore-controlling role in Xiaoqingling area

YAN Jian-she¹, NIU Shu-yin², FENG Jian-zhi³, SUN Wei-zhi³,
SUN Ai-qun², WANG Xing-cun³, CUI Xie-xiang³, CHEN Chao²

(1. Henan Geological Exploration and Exploitation Bureau; Zhengzhou 450012, Henan, China; 2. Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang 050031, Hebei, China; 3. The 1st Geological Survey Institute of Henan Geological Exploration and Exploitation Bureau; Luoyang 471023, Henan, China)

Abstract: The Xiaoqingling gold ore concentration area is known for its great uplift amplitude, high denudation extent, intense tectonic movement, clear structural features and concentrated distribution of ore deposits. The study area experienced four periods of folding, comprising from early to late plastic flow folding → regional EW-trending main folding → NS-trending crossing superimposed folds → transverse folding of vertical uplift, and was subjected to four periods of shearing, in order of plastic flowing → brittle ductile transpression → ductile brittle tensile shearing → brittle forward detachment caused by uplift. The main stage brittle-ductile shearing was developed in the main limb of the weak tectonic belt. The third phase ductile-brittle shearing process of Yanshanian period provided favorable ore-hosting conditions for the large-scale injection of ore-forming fluids and mineralization. Researches show that the ore-forming fluids were mainly derived from the depth and, through the multistage evolution of mantle plume, injected into the ductile shear zone to form ore deposits via accumulation. In the ore district, there often exist one or two main ore veins which control more than 50% of metallic reserves.

Key words: fold structure; ductile shear zone; structural ore-forming role; ore-controlling structure; mantle branch; western Henan

About the first author: YAN Jian-she, male, born in 1958, professor, engages in geological prospecting and exploration.

About the corresponding author: NIU Shu-yin, male, born in 1952, professor, supervisor of doctor candidates, mainly engages in the teaching and study of structural geology and structural ore-forming process; E-mail: niusy@sjzue.edu.cn.