

地质与矿产

沂沭断裂带构造活动与胶东金矿形成关系之探讨

李洪奎, 陈国栋, 梁太涛, 耿科, 禚传源

(山东省地质科学研究所, 国土资源部金矿成矿过程与资源利用重点实验室, 山东省金属矿产成矿地质过程与资源利用重点实验室, 山东 济南 250013)

摘要:在对沂沭断裂带基本特征、形成演化与动力学特征进行论述的基础上,将与沂沭断裂带相匹配的一系列次级断裂构造统一划分为沂沭断裂带的羽状断裂系统。研究表明沂沭断裂带经历了大规模的左行平移、伸展、拉张及挤压作用,形成了以坳垒构造、盆岭构造、羽状构造系统及大陆边缘花岗岩系为特征的完整构造体系,与之同时伴生形成的胶东地区次级羽状构造系统,既是沂沭断裂带的次级断裂构造,又自成体系,是胶东地区的控矿容矿构造,它们的形成演化受沂沭断裂带的运动学特征和力学特征制约,整体上服从于沂沭断裂带的运动学机制,但又有各自的演化特征和力学特点,是胶东地区金矿形成的赋存场所。沂沭断裂带对胶东金矿的重要成矿贡献在于它不仅提供了幔源的物质来源并参与胶东地区的金矿成矿作用,致使胶东金矿越靠近沂沭断裂带其规模就越大,远离沂沭断裂带其规模就相对较小,这也反映了金矿规模与沂沭断裂带距离远近存在的内在联系。沂沭断裂带的强烈活动不仅形成了与之匹配的羽状控矿系统,为金矿定位提供了空间,而且由于沂沭断裂带切穿地幔而使幔源成矿物质参与了成矿,使胶东金矿越靠近沂沭断裂带其矿床规模越大,共同为成矿流体提供了通道和赋存部位,这是形成区内大型—超大型金矿床形成的关键性因素。

关键词:沂沭断裂带;羽状构造系统;胶东金矿;形成关系

中图分类号:P618.51

文献标识码:A

引文格式:李洪奎,陈国栋,梁太涛,等.沂沭断裂带构造活动与胶东金矿形成关系之探讨[J].山东国土资源,2017,33(11):6-14.LI Hongkui, CHEN Guodong, LIANG Taitao, etc. Study on the Relationship between Tectonic Activity in Yishu Fault Zone and the Formation of Gold Deposits in Jiaodong Area[J]. Shandong Land and Resources, 2017, 33(11): 6-14.

0 引言

中国东部侏罗纪时期发生的重大地质事件是郯庐断裂带大规模的左行走滑平移^[1-5],也是改变山东地质构造格局并导致成矿作用发生的重要构造事件^[6]。沂沭断裂带是郯庐断裂带在山东省境内的部分,它经历了大规模的左行平移、伸展、拉张及挤压作用的复杂过程,形成了以带内坳垒构造、主干断裂构造系统、断裂带两侧的盆岭构造、羽状构造系统及大陆弧花岗岩系为特点的沂沭断裂系统(图1)。

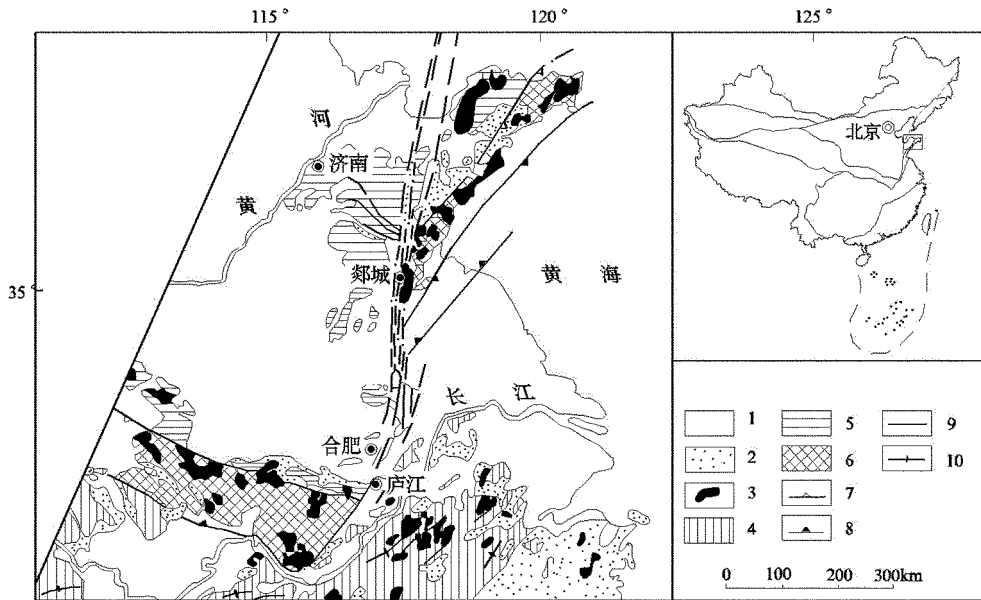
对于沂沭断裂带的形成背景、演化特征、发韧的

运动学轨迹、动力学性质、构造形迹、构造建造和改造以及坳垒构造的展布特征等,前人进行了深入的研究^[7-16],但对沂沭断裂带与胶东地区金矿形成关系的探讨则较少,王小凤等^[9]从宏观的尺度认为郯庐断裂带无论是对内生矿床还是外生矿床,其构造演化及其所形成环境都不同程度地在影响着整个成矿过程;万天丰等^[15]认为郯庐断裂带不仅在区域构造演化上具有重大的影响,而且是中国东部一条重要的内生金属成矿带,沿此带形成了一系列大中型金、银、铜、铁、铅锌等内生金属矿床;李洪奎等^[5-7]则认为沂沭断裂带对胶东地区金矿的形成起了一级

收稿日期:2016-05-31;修订日期:2017-01-23;编辑:曹丽丽

基金项目:山东招远—平度断裂带夏甸金矿深部成矿特征研究(编号:41572068)、国土资源部公益性行业科研专项胶东招平断裂带深部特征与金成矿过程研究(编号:201511029)、山东地质勘查基金项目山东省招远—莱州地区金矿成矿条件和成矿规律研究(编号:2012028)和山东省泰山学者建设工程专项联合资助

作者简介:李洪奎(1962—),男,山东昌乐人,研究员,主要从事地质调查、矿产资源勘查及矿床学研究工作;E-mail:lhklhk126@126.com



1—新生代岩类;2—中生界;3—中生代花岗岩;4—扬子板块前寒武—三叠系;5—华北板块前寒武系—三叠系;6—大别-苏鲁造山带;7—可能的缝合线;8—缝合线;9—冲断层;10—郯庐走滑断裂

图 1 沂沭断裂带构造位置略图

控制作用。沂沭断裂带呈 NNE 走向,主干断裂带两侧发育羽状或鱼骨状构造型式,共同组成沂沭断裂带羽状断裂系统,而胶东地区左行走滑断裂系是沂沭断裂主干断裂带的次一级左行断裂系,包括三山岛-仓上断裂、焦家-莱州断裂和招远-平度断裂等一系列断裂,与沂沭断裂带呈锐角斜交,经历了相似的变形过程,不仅为成矿流体提供了通道,也是金矿体的主要赋存场所,沿上述断裂带形成了一系列大型—超大型金矿床。该文以胶东地区金矿床越靠近沂沭断裂带其矿床规模越大的地质事实为例,对沂沭断裂带构造演化与胶东地区金矿形成关系进行初步探讨。

1 沂沭断裂带特征

1.1 沂沭断裂带基本特征

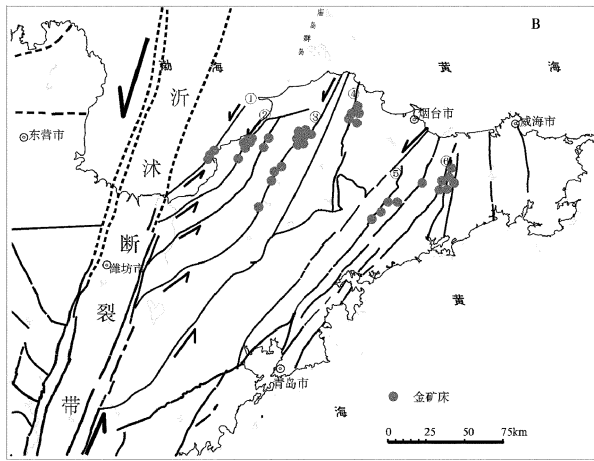
1.1.1 浅表构造特征

沂沭断裂带是区分鲁西地块和鲁东地块的划分性断裂,纵贯山东中部,南起郯城,北入渤海,沿着沂河、沭河及淮河分布,山东段出露长约 330 km,宽 20~60 km,呈 10°~25°方向展布^[7-8]。沂沭断裂带东西两侧在地层建造、变形变质特征、构造样式、成矿作用上均有较大的差异^[7]。鲁西地块区地层发育较全,主要有中太古代沂水岩群、新太古代泰山岩

群、古生代寒武-奥陶系及石炭-二叠系,中生代白垩系及新生代第四系等。鲁东地块区地层发育不全,缺失古生代地层,以古元古代变质岩系和中、新生代盖层为其特点。

沂沭断裂带自西向东依次由郯部-葛沟、沂水-汤头、安丘-莒县和昌邑-大店等 4 条主干断裂构成了“两堑夹一垒”的构造格局,各主干断裂两侧均有规模不等的近于平行的次级断裂组成断束,共同构成复杂的沂沭断裂带。断裂带内的构造岩发育有糜棱岩、断裂泥、构造透镜体、劈理带,断片内褶皱、冲断裂等,明显地反映出断裂的强烈挤压性质;堑垒结构的形成、断片的产生、局部构造角砾岩的存在为断裂张性活动的重要标志;主干断裂断面上出现水平或近水平擦痕,两侧岩层中的一些小型派生构造,如入字型褶曲和断裂等所显示的是扭性构造形迹。复杂的构造岩特征说明断裂带曾经历过多次运动的活动、叠加和改造,总体表现为压扭性—张性—压性及张性的发展过程。

沂沭断裂带的平面展布总体呈 NNE 走向,主干断裂带两侧发育羽状或鱼骨状构造形式,共同组成沂沭断裂带羽状断裂系统(图 2),鲁西和胶东左行走滑断裂系是沂沭断裂主干断裂带的次一级左行断裂系,统一反映沿主干断裂带左行平移的运动方式。



①三山岛-仓上断裂带;②焦家-朱桥断裂带;③招远-平度断裂带;④蓬莱潮水-栖霞观里断裂带;⑤牟平乳山-海阳郭城断裂带;⑥牟平-乳山断裂带

图2 沂沭断裂带与胶东羽状控容矿构造关系图

而在沂沭断裂带的东侧,主干断裂带与胶东次一级左行断裂系呈 $20^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 的角度相交,其左行剪切的方向与主干断裂带一致,构成一系列NNE向、NE向压扭性断裂构造系,指示断裂东侧向北平移的运动方式。

1.1.2 深部构造约束

沂沭断裂带不仅在浅部表现为堑垒结构的复杂构造带,而且是一条向下延伸,并穿切地壳到达上地幔的断裂破碎带与上地幔隆起带,其深大断裂的结论已被广大地质工作者所接受,一系列横穿沂沭断裂带的地学断面、重力剖面和电磁剖面提供了该断裂带丰富的岩石圈结构信息^[8]。沂沭断裂带最显著的岩石圈结构特征表现为软流圈的明显上隆且两侧的地壳结构呈现为明显的差异,同时显示沂沭断裂带已切入了上地幔。在大致近断裂带东侧的下地壳内有低速度异常体,可能是由于上地幔物质沿断裂向上侵扰的结果^[8]。这种现象更好地解释了来自上地幔的成矿物质沿次级羽状断裂进入胶东成矿系统,并与胶东金矿成矿物质相融合,导致胶东金矿越靠近沂沭断裂带,其矿床规模越大。

1.2 形成演化

沂沭断裂带的形成和演化,是地质界长期争论和探讨的焦点。由于地质构造演化的长期性和复杂性,对沂沭断裂带的形成演化有多种不同的认识^[9-13]。王小凤等^[9]将郯庐左行剪切走滑断裂发育

历史划分为6个时期、4个变形阶段,较全面地重现了从特提斯体制向太平洋体制的复杂历史转化过程,也在相当程度上反映了我国东部大陆边缘的动力学特征。李洪奎等^[7]依据沂沭断裂带深部构造和浅部构造岩、构造形迹、构造盆地建造和改造的特征,将沂沭断裂带的形成演化划分为孕育、诞生(J_1)、左行平移(J_2-J_3)、张扭性裂谷(K_1-K_2)和挤压断块差异性运动($E-Q$)等5个阶段。

一个不争的实事是:郯庐断裂带将大别-苏鲁造山带切断并产生大规模左行平移,而大别-苏鲁造山带是在三叠纪晚期华北和扬子两大板块强烈碰撞、拼合的记录^[17],侏罗纪受太平洋板块俯冲和地球动力学体制转换作用影响^[18-30],郯庐断裂带活化发生大规模左行平移,其最大距离在300 km左右^[8],沂沭断裂带在山东境内的左行平移距离大约在150 km左右^[7],中-晚侏罗世发生大规模左行平移。白垩纪沂沭断裂带处在大陆活动边缘裂谷系统,上地幔深熔岩浆不断从这里涌出,为成矿送来矿源和热源。而在它的东侧,由于板块热作用,地壳物质重熔形成大量的多期的花岗岩质岩石,成为胶东金矿成矿的重要母体^[6]。

2 羽状断裂次级羽状控矿容矿系统

受沂沭断裂带强烈左行平移影响,围绕沂沭断裂带形成了一系列力学性质相匹配的羽状断裂系统,这种羽状断裂在鲁西地区以醒目的NW向断裂构造及其控制的NW向断陷盆地为特色,而在胶东地区则以低角度相交的NNE-NE向断裂构造最为突出,这些构造围绕沂沭断裂带构成羽状分布格局(图2),共同构成了沂沭断裂带羽状构造体系。

2.1 胶东地区羽状断裂系统

胶东地区最发育的一组断裂是NE-NNE向断裂,组成沂沭断裂带羽状系统的右侧翼。NE-NNE向断裂发育的条数多、密度大,与沂沭断裂共同构成倒人字型格局。该组断裂的共同特点是延伸远,连续性好,通常长度可达100 km²以上,以左行压扭性为主,常控制或明显改造早期地质体。NE向断裂方位大都在 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 之间,部分为 $35^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 及 $50^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 之间,断裂沿走向呈舒缓波状,发育有十几米至上百米宽的破碎带。在胶北隆起区内NE向断裂剖面上呈铲式分布,是胶西北金矿的主要赋矿构造。

NNE 向断裂方位主要为 $10^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 之间,断面以 SE 倾为主,发育有几十至几百米乃至逾千米的破碎带。NNE 向断裂发育特点是北强、南弱,西强东弱,自西向东可划分为多个密集的断裂构造带,尤其在胶东玲珑序列花岗岩中发育一组带窄、延伸长、方位稳定、断距小的密集断裂束构成了三山岛断裂带、焦家断裂带、招远-平度断裂带、丰仪店断裂带和盘子涧断裂带等。

2.2 胶东羽状控矿容矿构造特征

沂沭断裂带次级羽状控矿容矿断裂构造由西向东依次为三山岛-仓上断裂带、焦家-朱桥断裂带、招远-平度断裂带、蓬莱潮水-栖霞观里断裂带、牟平孔辛头-海阳郭城断裂带,这些断裂带均以低角度($20^{\circ} \sim 30^{\circ}$)与沂沭断裂带相交,且是胶东地区最主要的控矿容矿构造(图 2)。断裂带总体走向 $10^{\circ} \sim 25^{\circ}$,个别可达 30° ,呈舒缓波状延伸,向 NW 或 SE 陡倾,倾角 $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 。破碎带蚀变发育,发育不同程度的糜棱岩、碎裂岩、构造角砾岩、构造透镜体、断层泥等。

2.2.1 三山岛-仓上断裂带

位于莱州湾东岸,沿花岗岩与前寒武纪结晶基底接触带发育,地表出露长约 11 km,宽约 50~200 m,呈不规则带状展布,沿走向呈舒缓波状弯曲,走向约 $NE 30^{\circ}$,倾向 SE,倾角 $35^{\circ} \sim 45^{\circ}$,部分地段陡立。断裂带局部迁就 EW 向构造,走向约 $NE 80^{\circ}$,由碎裂岩和糜棱岩系列组成,主裂面连续,沿其发育有 10~30 cm 的灰白色断层泥,总体属压剪性质。该断裂控制了三山岛、新立、仓上、西岭和三山岛北部海域等金矿床,目前查明金金属量有:仓上金矿 22 t、新立金矿 175 t、三山岛金矿 123 t、西岭村金矿 438 t、三山岛北部海域金矿 470 t,共计 1 228 t。

2.2.2 焦家-朱桥断裂带

位于三山岛断裂以东约 15 km,地表可见长度约 50 km,宽几十至几百米,最大宽度 1 000 余米,沿中生代花岗岩与胶东基底岩系接触带展布,局部切穿岩体。其下盘发育一系列与之近平行的伴生断裂,如河西、侯西和望儿山断裂等。焦家断裂带主裂面稳定、连续,沿走向和倾向均呈舒缓波状展布,分支复合、膨胀夹缩现象明显,形成巨大的断裂破碎带,沿主断面发育有 10~30 cm 厚的灰白色及灰黑色断层泥,连续、稳定,局部发生小褶皱。断裂带内部具有明显的分带结构,由中心向两侧依次发育断

层泥砾带、挤压片理带、构造透镜体带、密集裂隙带和稀疏裂隙带。该断裂带具有多期活动的特点,根据断裂带总体延伸特点及伴生和派生构造,成矿前表现为压剪性变形特征;成矿期构造表现为继承性和新生性,不同阶段的矿化叠加,岩石脆性破裂及含矿次级断裂的发育,使得矿脉形态及容矿裂隙表现为张剪性特征;成矿后构造行迹保留较完整,断层泥、断面上的斜冲和水平擦痕、构造透镜体的出现,反映成矿后为压剪性变形特征。带内产有焦家、新城、马塘、寺庄、纱岭、东季、红布、河东、河西等特大型、大型金矿床,已查明金金属量约 1 240 t。

2.2.3 招远-平度断裂带

南起平度市,向北经招远后变成一组 NE, NNE 向断裂束,并经蓬莱入海,沿 NE 方向延长 100 余千米。总体来看,断裂以西为玲珑序列花岗岩,以东为胶东岩群、新太古代 TTG 岩系和荆山群变质岩系;在破头青地段,断裂带沿滦家河岩体与玲珑岩体的接触面延伸。总体展布方向为 $NE 30^{\circ} \sim 40^{\circ}$,局部向东或向西偏转,倾向 E,倾角 $30^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 。根据其构造形迹,可以判断该断裂具有复杂的演化史,且以左行剪切为主,早期以左行韧性剪切为主,晚期主要以脆性变形为主,经历了左行张剪→右行剪切→左行压剪等多次活动。玲珑、台上、水旺庄、东风深部、台上深部、破头顶深部、岭南、阜山、九曲、大尹格庄、夏甸、姜家窑和旧店等金矿床赋存于该断裂带中,已查明金金属量超过 1 000 t。

2.2.4 蓬莱潮水-栖霞观里断裂带

蓬莱潮水-栖霞观里断裂带北起蓬莱解宋营,经潮水、崮寺店向南至栖霞观里,陆域可见延伸达 70 km。总体走向 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$,断面有向东倾斜和向西倾斜的变化特征。该断裂内发育多条平行的滑动面,倾角较陡,一般在 60° 以上。中部横切早白垩世郭家岭序列,北部切割粉子山群,向南作为藏家庄断陷盆地的西界。断裂带内岩性主要显示脆性变形特征,见有碎裂岩、碎粒岩及碎裂岩化的花岗岩及构造透镜体、片理化带、断层泥等。局部见有长英质矿物的拉长及糜棱岩化等现象,并有大量的花岗斑岩、辉绿岩、闪长玢岩等脉岩沿断裂或在断裂两侧 NNE 向的裂隙中贯入,该带产有陡崖、苏家店等金矿床,已查明金金属量超过 50 t。

2.2.5 牟平孔辛头-海阳郭城断裂带

该断裂北起牟平孔辛头,向南经观水、郭城至即

墨,与牟平-即墨断裂相交为同一断裂。

郭城断裂走向 40° 左右,倾向NW,倾角较陡,一般 $34^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 。断裂西盘为莱阳群、青山群;东盘为古元古代荆山群变质岩系;南部进入胶莱盆地,形成一组平行断面。断裂破碎带宽度一般 $6\sim 20\text{ m}$,局部达 30 m 。带内构造岩为碎裂岩化岩石、构造角砾岩及断层泥。带内蚀变为硅化、褐铁矿化、碳酸盐化。见有闪长玢岩脉、闪斜煌斑岩脉充填。构造岩特征显示为张扭-压扭性活动特征,并以左旋压扭活动为主。该带已查明金金属量大于 80 t 。

2.2.6 牟平-乳山断裂带

主要发育在昆崙山杂岩体中,由4条NNE向相互平行、等距分布的压剪性断裂组成,由东到西分别为:王格庄-冯家断裂、将军石-金青顶断裂、金牛山断裂和牟平-塘家沟断裂。断裂总体走向 $NE 15^{\circ}$,倾向SE或NW,一般为陡倾斜,倾角 $60^{\circ}\sim 85^{\circ}$,断裂带大多被含金石英脉所充填。依据断裂带总体展布的特点及伴生、派生构造的性质,该断裂主体表现为压剪性。在成矿期这些断裂表现了继承性和新生性,特别是成矿地段表现为张性的特点,显示矿体的形成与断裂的局部张性活动有关^[31-32],金青顶和邓格庄等金矿床赋存于该断裂带中^[33]。该带已查明累计金金属量约 260 t 。

这些羽状断裂既是沂沭断裂带的次级断裂构造,又自成体系,是胶东地区的控矿容矿构造,它们的形成演化受沂沭断裂带的运动学特征和力学特征制约,整体上服从于沂沭断裂带的运动学机制,但又有各自的演化特征和力学特点。

胶东地区NNE向成矿带成矿前构造应力场为韧性压剪状态,成矿早期应力场向脆性剪张转换,成矿主期应力场转换为脆性剪张状态,成矿后构造应力场又重新转换为压剪状态,成矿期构造应力值明显低于成矿前古应力值。空间上,成矿早期构造应力场主压应力方位为NW—SE方向,主压应力、剪应力、能量、运移势和破裂系数值从主断裂向两侧呈降低趋势,而在次级断裂裂隙发育部位常出现高应力值;成矿主期最大主压应力方位为NE—SW方向,最小主应力方位为NW—SE,中间主应力轴近于直立,主压应力、剪应力、能量及运移势值从主断面向两侧呈升高趋势。可见,胶东地区成矿主期构造应力场正处于由较强的挤压作用分布阶段向较弱的剪张作用分布阶段转换的时空界面,在已形成矿化

(脉)而相对脆弱的岩石物理界面地段,是形成有富金硫化物和裂隙金叠加的富金矿石的有利构造条件,即金属硫化物成矿作用发生于剪压变形构造岩相向剪张变形构造岩相转换的时空界面。

3 沂沭断裂与胶东金矿关系探讨

3.1 金矿规模与沂沭断裂带距离差异的内在联系

胶东金矿规模与沂沭断裂带距离远近总体上呈反相关关系,展读胶东金矿地质图可以发现,距离沂沭断裂带越近其金矿规模就越大,反之距离沂沭断裂带越远其金矿规模就相对较小。这种离沂沭断裂带近金矿体规模大、远则金矿体规模渐小的内在联系是:胶东羽状控矿系统的形成和演化有着深部壳幔结构原因,与沂沭断裂带的剪切深熔作用密不可分。中生代板块俯冲挤压,地幔上隆,并导致莫霍面呈波状起伏,实质是深部地质构造特征的显示,反映幔隆与幔凹的交替产出。莫霍面凹陷区与挤压构造体制紧密相关,幔凹后的局部变形则与拉张环境相互关联,而不同构造部位金成矿系统的聚矿功能不同,表现为凹陷区的局部隆起部位金的成矿强度明显小于其他地段^[6]。按照地壳均衡理论,地壳厚度与地表大型隆起区和凹陷区相间的构造特征对应,胶东金矿集中区为相对于周边的地幔隆起区,莫霍面高出 $2\sim 3.5\text{ km}$ 。由于岩石圈厚度长期增加,其下富含流体组分和成矿组分的软流圈得以形成,并通过壳幔相互作用,将含矿流体系统输运到更高的层位。金矿床往往产于莫霍面的梯度变化处或变形部位,它既与幔隆及幔凹的交替产出有关,也与沂沭断裂带深断裂对莫霍面的影响有关。沂沭断裂带是深切地幔的成熟岩石圈断裂,其剪切深熔作用是成矿元素和成矿流体得以活化、运移的重要驱动力,是成岩成矿作用发生的根本原因之一。

三山岛金矿带的资源量为 $1\ 228\text{ t}$ 。该带距沂沭断裂带最近,约 13 km ,其矿体规模最大,在胶东金矿区是独一无二的(图3)。而图4也反映了这种变化规律,进一步说明了沂沭断裂带对胶东金矿的成矿贡献,也反映了金矿规模与沂沭断裂带距离远近存在的内在联系,即深切地幔的沂沭断裂带在胶东金矿成矿过程中提供了幔源的物质来源,参与胶东地区的金矿成矿作用,致使胶东金矿越靠近沂沭断裂带其规模就越大,远离沂沭断裂带其规模就相对

较小。

因此,胶东羽状控矿系统(包括三山岛-仓上断裂带、焦家-朱桥断裂带、招远-平度断裂带等)与沂沭断裂带呈锐角斜交,经历了相似的变形过程,是沂

沭断裂带的次级断裂。它们不仅为成矿流体提供了通道,也是矿体的主要赋存部位,这是形成胶东地区大型-超大型金矿床的关键性因素。

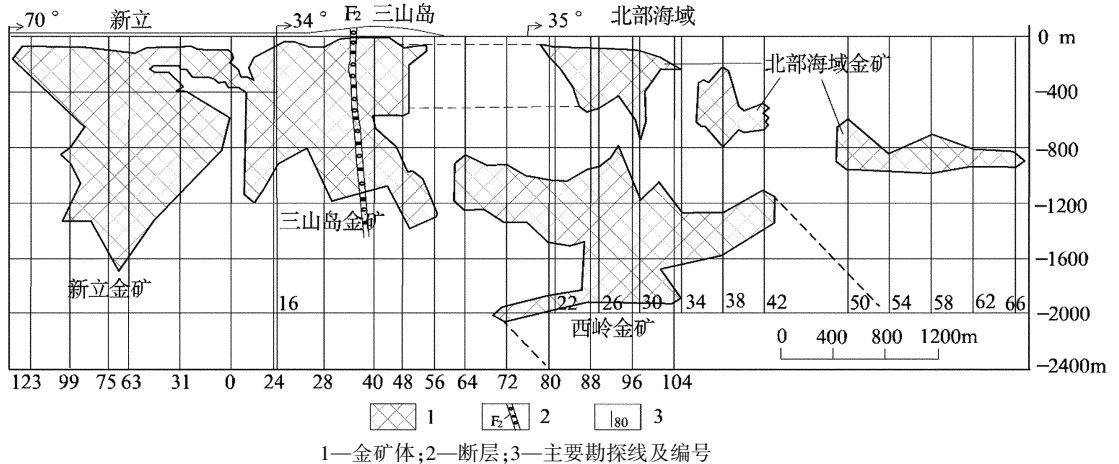


图 3 三山岛金矿带矿体垂直纵投影图①

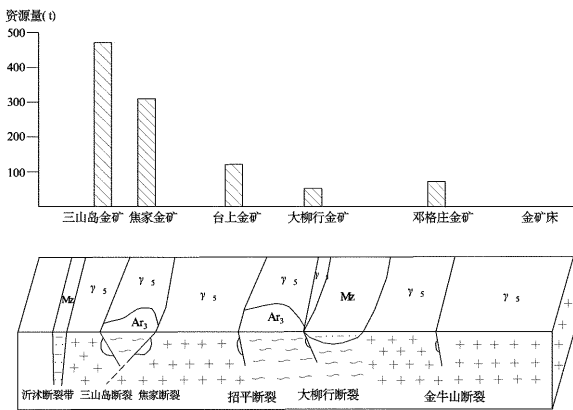


图 4 胶东地区金矿规模与沂沭断裂带距离关系示意图

3.2 控矿构造形变差异对金矿化类型的控制

胶东地区的控矿断裂主要为三山岛-仓上断裂带、焦家-朱桥断裂带、招远-平度断裂带、蓬莱潮水-栖霞观里断裂带、牟平-乳山断裂带以及其复杂的更低序次的断裂,共同组成了胶东金矿的控矿构造系统,它们在构造变形中表现出韧脆性断裂构造带复杂性,无论是大的破碎带还是规模较小的断裂,都具有破碎蚀变的共同特征。蚀变带的产状及分布与主断裂带基本一致,中心为蚀变较强的黄铁绢英岩质

碎裂岩。蚀变程度自断裂带中心向两侧依次减弱,蚀变矿化具有明显的不对称性。蚀变带变形从中心到外部是脆性-韧性-脆性裂隙的变化。断裂上盘蚀变带宽度比较小,为绢英岩化花岗质碎裂岩、绢英岩化花岗岩、黑云母二长花岗岩。断裂下盘发育最为完整,矿体的规模随着钾化带宽度增加而增大。

破碎带蚀变岩型金矿床,亦即通常称谓的焦家式金矿,产于大而连通的宽大破碎蚀变带的弥散空间中,多沿中生代侵入岩与基底岩系的接触带、不同岩体间的接触带而发育成宽大的构造破碎带,进而在含金热液作用下交代蚀变而成金矿床,是胶东金矿最重要的金矿矿床类型。

裂隙充填型金矿,即通常所说玲珑式石英脉型金矿床,它产于不同期次的玲珑序列花岗岩、郭家岭序列花岗岩及基底岩系形成的断裂裂隙内,沿张裂连通空间充填而成金矿床,是胶东金矿的主要矿床类型。

玲珑式金矿床所处的断裂构造以压扭性断裂为主,矿液多沿剪切裂隙充填,形成简单的脉状矿体。其主要特点是,因所处的断裂构造所限,所以矿床规模多以中、小型为主,个别也有大型的(如玲珑金矿田 108 号脉),多形成矿脉群。所处的断裂构造的

① 山东省第三地质矿产勘查院,李国华,山东辽上特大型金矿找矿过程及经验探讨,2015 年。

倾角陡倾,造成金矿体高角度近乎直立,局部反倾,其倾角均大于 50° 。玲珑式金矿床受主干断裂伴生、派生的低级别、低序次的断裂控制,这些断裂是复合形成的压扭性或张扭性断裂,它的局部地段常形成相对宽大的引张扩容空间,矿液运移至此,充填沉淀形成含金石英脉型金矿。

控矿构造发生时的变形特征与其应力状态有对应性,压剪性断裂构造多形成挤压碎裂岩而发育弥散空间,张性断裂则形成引张碎裂岩和扩容空间。由于断裂构造的形成具有多期次特点,构造活动并非以单一的压性、张性运动学方式表现出来,而是压扭、张扭交互进行或先压扭后张扭、先张扭后压扭等复杂的运动特征,更重要的是构造运动性质与金矿成矿热液沉淀时的耦合是其关键因素,决定了金质是在大而连通的弥散空间还是在张性扩容空间沉淀,从而形成蚀变岩型金矿或者是充填石英脉型金矿,抑或是二者的过渡类型,或者是在此基础上根据赋矿围岩和构造性质不同而确定的其他金矿类型,但成矿的本质是热液金矿床,造成了控矿构造形变差异对金矿化不同类型的控制作用^[34-36]。

3.3 金矿成因的差异性与统一性

由于金矿形成时的构造性质和力学特点的差异性,导致了金矿成因的差异与统一。胶东金矿是在同一的大地构造背景环境下、由同一成矿作用形成的具有成因相同、时代相近、在不同构造部位、不同围岩条件形成的一系列金矿自然类型组合,无论破碎带蚀变岩型、石英脉型、富硫化物石英脉型,还是层间滑脱剥离带型、构造角砾岩型金矿,其本质是由于成矿时所处构造位置、力学性质和容矿空间不同而表现出的差异性,在成矿物质和热液来源上具有统一性。

3.4 沂沭断裂带成生发展与成矿的同步性

李洪奎^[7]依据前述沂沭断裂带深部构造和浅部构造岩、构造形迹、构造盆地建造和改造的特征,将沂沭断裂带的演化划分为5个阶段,研究表明:沂沭断裂带构造活动的力学性质与胶东金矿的成矿发生具有同步性。

在 J_1 期间,Izanagi 板块由SE向NW俯冲挤压,胶东地块以左行剪切方式沿郯庐断裂带拼贴于华北板块之上,导致胶东地区发生强烈褶皱作用,深层次活化,出现相对挤压区和相对拉张区。北部金矿集

中区在壳内构造薄弱带发生剪切深熔作用,地壳增厚并发生花岗岩浆活动。同时,由于断裂的剪切深熔作用,产生剪切深熔型花岗岩和相关脉岩,太古宙—元古宙绿岩地体强烈活化改造,其内金及相关元素被激活,并以流体相运移。

J_2 — J_3 期间,由于板块俯冲,郯庐断裂带因边界效应而发生大规模的左行平移。在NW—SE向强烈构造挤压条件下,胶东地区发生裂解作用,胶东坳陷开始形成。

K_1 — K_2 期间,洋壳俯冲速度明显降低,该区转为板内拉张带,挤压作用逐渐减弱,直至 K_2 转为拉张阶段。在挤压作用向拉张作用转换的过渡阶段,胶东地区花岗岩化作用强烈,NE向构造岩浆带发育成熟,此时,真空泵吸作用促使成矿流体进入剪切裂隙系统,使其成为矿化热液最佳吸收带,造成含矿热液大量释放,形成了胶东金矿集中区。

在 K_2 期间,太平洋区板块运动状态发生改变,由原来的Izanagi 板块向NNW俯冲挤压变为太平洋板块的NWW向运动,郯庐断裂带发生右旋压扭性活动。胶东地区的构造状态已从NW—SE向挤压转为SE—NW向拉张,裂谷构造形成,并延续至今近纪。在此期间,火山侵入岩系及与其相关的金多金属硫化物的成岩成矿作用发生。

沂沭断裂带成生发展与金矿成矿的同步性表现在: J_2 — J_3 期间沂沭断裂带发生大规模的左行平移时期,与金矿有关的成矿作用和金矿早期定位时间160~150 Ma 年龄段相吻合; K_1 期间即早白垩世早期沂沭断裂带发生挤压与伸展交互进行阶段,同位素年龄在115~120 Ma 是胶东金矿形成的集中定位时期,也与区内金矿主成矿期的年龄相吻合;而 K_1 期间主要在早白垩世晚期,大致成矿时间为95~110 Ma,基本代表了区内金银及多金属矿形成时期,也是区内金矿的叠加成矿期。这与沂沭断裂带构造运动阶段具有同步性,反映了构造活动对金矿形成的定位作用。

综上所述,沂沭断裂带的强烈活动不仅形成了与之匹配的羽状控矿系统,为金矿定位提供了空间,而且由于沂沭断裂带切穿地幔而使幔源成矿物质参与了成矿,使胶东金矿越靠近沂沭断裂带其矿床规模越大,它们共同为成矿流体提供了通道和赋存部位,这是形成区内大型—超大型金矿床形成的关键性因素。

4 结论

(1) 沂沭断裂带在经历了大规模的左行平移、伸展、拉张及挤压作用下,形成了以堑垒构造、盆岭构造、羽状构造系统及大陆边缘花岗岩系,其运动学方式表现出明显的多样性,具有韧性与脆性、挤压与引张、左行与右行等性质复杂的构造变形特征,形成围绕沂沭断裂带的羽状断裂系统,与胶东地区金矿的形成有着十分密切的关系。

(2) 与沂沭断裂带大规模的左行走滑平移同时伴生形成的胶东地区次级羽状构造系统,既是沂沭断裂带的次级断裂构造,又自成体系,是胶东地区的控矿容矿构造,它们的形成演化受沂沭断裂带的运动学特征和力学特征制约,整体上服从于沂沭断裂带的运动学机制,但又有各自的演化特征和力学特点,胶东地区成矿主期构造应力场正处于由较强的挤压作用分布阶段向较弱的剪张作用分布阶段转换的时空界面,在已形成矿化(脉)而相对脆弱的岩石物理界面地段,是形成有富金硫化物和裂隙金叠加的富金矿石的有利构造条件。为区内金质的成矿提供了深源通道和合适的沉淀场所。

(3) 沂沭断裂带对胶东金矿的重要成矿贡献在于:深切地幔的沂沭断裂带在胶东金矿成矿过程中提供了幔源的物质来源,参与胶东地区的金矿成矿作用,致使胶东金矿越靠近沂沭断裂带其规模就越大,远离沂沭断裂带其规模就相对较小,这也反映了金矿规模与沂沭断裂带距离远近存在的内在联系。

(4) 沂沭断裂带生成发展与胶东地区金矿的成矿时代具有的同步性,表现在沂沭断裂带发生挤压与伸展交互进行阶段,是胶东金矿形成的集中定位时期,也与区内金矿主成矿期大致吻合。

参考文献:

- [1] 姜春发,王宗起,李锦轶.中央造山带开合构造[M].北京:地质出版社,2000:1-107.
- [2] 姜春发.中央造山带几个重要地质问题及其研究进展[J].地质通报,2002,21(8-9):453-455.
- [3] 张国伟,张本仁,袁学诚,等.秦岭造山带与大陆动力学[M].北京:科学出版社,2001:1-885.
- [4] 殷鸿福,张克信.中央造山带的演化及其特点[J].地球科学——中国地质大学学报,1998,23(5):438-442.
- [5] 李洪奎,于学峰.山东省大地构造相研究[M].北京:地质出版社,2012:9-19,281-314.
- [6] 李洪奎,耿科,崔传源,等.胶东金矿构造环境与成矿作用[M].北京:地质出版社,2016:344-383.
- [7] 李洪奎,杨永波,杨锋杰.山东沂沭断裂带构造演化与成矿作用[M].北京:地质出版社,2009:93-99.
- [8] 王小凤,李中坚,陈柏林,等.郯庐断裂带[M].北京:地质出版社,2005:329-338.
- [9] 徐嘉炜,马国烽.郯庐断裂带研究的十年回顾[J].地质论评,1992,38(4):316-324.
- [10] 徐嘉炜.郯城-庐江平移断裂系统[A]//构造地质论丛(3)[C].北京:地质出版社,1984:18-32.
- [11] 徐嘉炜.试论郯-庐断裂带的平移及其地质与找矿意义[J].地质矿产研究,1978,(5):1-30.
- [12] 徐嘉炜.郯-庐断裂带的平移运动及其地质意义[A]//国际地质学术论文集——为二十六届国际地质大会撰写(1)构造地质-地质力学[C].北京:地质出版社,1980:129-142.
- [13] 徐嘉炜.郯庐断裂带巨大的左行平移运动[J].合肥工业大学学报,1980,(1):4-29,130-131.
- [14] 万天丰.郯庐断裂带的演化与古应力场[J].地球科学——中国地质大学学报,1995,20(5):526-534.
- [15] 万天丰,朱鸿,赵磊,等.郯庐断裂带的形成与演化综述[J].现代地质,1996,10(2):159-168.
- [16] 邓乃恭.中生代华夏类型构造和郯庐断裂体系的特征与形成机制[A]//构造地质论丛(3)[C].北京:地质出版社,1984:33-38.
- [17] 李洪奎,陈莉,韩廷宝,等.郯庐断裂带形成演化与大别-苏鲁造山带的关系探讨[J].地球科学前沿,2016,6(1):44-54.
- [18] 徐树桐,刘贻灿,江来利,等.大别山的构造格局及演化[M].北京:科学出版社,1994:1-175.
- [19] 徐树桐,刘贻灿,江来利,等.大别山造山带构造同几何学和运动学[M].合肥:中国科学大学出版社,2002:1-133.
- [20] 汤加富,候明金,高天山,等.秦岭-大别-苏鲁造山带地质研究新进展——论中国东部弧形构造带的成因[A]//中国东部岩石圈结构与构造岩浆演化[C].北京:原子能出版社,1998:95-101.
- [21] 汤加富.大别山及邻区地质构造特征与形成演化——地幔差速环流与陆内多期造山[M].北京:地质出版社,2003:13-148.
- [22] 徐嘉炜,刘德良,李秀新.中国东部中生代南北陆块的对接——论大别山碰撞带及其意义[A]//中生代地质学术讨论会论文集[C].北京:地质出版社,1987.
- [23] Okay.A.I and Sengor.A.M.C. Evidence for intracontinental thrust-related exhumation of the ultra-high-pressure rocks in China[J]. Geology, 1992,(20):411-414.
- [24] Okay.A.I, Xu S, Sengor.A.M.C. Coesite from the Dabie Shan eclogites, Central China. Eur. J[J]. Mineral, 1989,(1):595-598.
- [25] Yin A and Nie S Y. An indentation model for the north and south China collision and the development of the Tan-Lu and Honam fault systems, east Asia[J]. Tectonics, 1993,12(4):801-813.
- [26] 刘国惠,张寿广,游振东,等.秦岭造山带主要变质岩群及变质

- 演化[M].北京:地质出版社,1994:1-190.
- [27] 陆松年,陈志宏,李怀坤,等.秦岭造山带中两条新元古代岩浆岩带[J].地质学报,2005,79(2):165-173.
- [28] 杨经绥,吴才来,张建新,等.中央巨型超高压变质带和两期超高压变质作用的年代学证据[J].科学中国人,2005,(8):49-54.
- [29] 许志琴,杨经绥,李化启,等.中国大陆印支碰撞造山系及其造山机制[J].岩石学报,2012,28(6):1697-1709.
- [30] 刘福来,许志琴,宋彪.苏鲁地体超高压和退变质时代的厘定:来自片麻岩锆石微区 SHRIMP U-Pb 定年的证据[J].地质学报,2003,77(2):229-237.
- [31] 邓军,翟裕生,杨立强,等.构造演化与成矿系统动力学——以鲁东金矿集中区为例[J].地学前缘,1999,6(2):315-320.
- [32] 高太忠,赵伦山,杨敏芝.山东牟乳金矿带成矿演化机理探讨[J].大地构造与成矿学,2001,25(2):155-160.
- [33] 杨立强,邓军,王中亮,等.胶东中生代金成矿系统[J].岩石学报,2014,30(9):447-467.
- [34] 李洪奎,李逸凡,耿科,等.山东鲁东地区中生代构造-岩浆事件与金矿成矿作用[J].地球科学前沿,2013,3(3):141-154.
- [35] 李洪奎,时文革,李逸凡,等.山东胶东地区金矿成矿时代研究[J].黄金科学技术,2013,21(3):1-9.
- [36] 李洪奎,嵯传源,耿科,等.胶东金矿成矿构造背景探讨[J].山东国土资源,2012,28(1):5-13.

Study on the Relationship between Tectonic Activity in Yishu Fault Zone and the Formation of Gold Deposits in Jiaodong Area

LI Hongkui, CHEN Guodong, LIANG Taitao, GENG Ke, ZHUO Chuanyuan

(Key Laboratory of Gold Mineralization Processes and Resources Utilization, Ministry of Land and Resources, Key Laboratory of Metallogenic Process and Resource Utilization of Metallic Minerals of Shandong Province, Shandong Geological Sciences Institute, Shandong Jinan 250013, China)

Abstract: Based on analyzing basic characteristics of Yishu fault belt, formation, evolution and dynamic characteristics, a series of secondary faults which matched with Yishu fault belt have been classified into pinnate fault system. It is showed that Yishu fault zone has experienced large-scale sinistral strike-slip movement, extension, pull apart and compression, and formed a complete structural system with graben and horst, basin and range tectonics, pinnate tectonic system and continental margin granites, associated with the formation of second-order tectonic system. It is not only the secondary fault structure of Yishu fault zone, but also an ore controlling structure. Its formation and evolution are restricted by the kinematics and mechanics of Yishu fault. The whole movements not only obey the kinematics of Yishu fault zone, but also have their own evolution and mechanical characteristics. It is the occurrence place of gold deposit in Jiaodong area. An important contribution of Yishu fault zone to Jiaodong gold deposit is that it not only provides the material source of mantle, but also plays an important role in gold mineralization in Jiaodong area. The scale of gold deposit becomes larger and larger when it is close to Yishu fault belt. It reflects that there is a inner relation of the size between Yishu fault zone and the distance. It also reflects the intrinsic link distance the size and distance of gold yishu fault. With the strong activity of Yishu Fault not only formed with matching feather ore control system, to provide a space for the gold location, but also because of the Yishu Fault Zone and the metallogenic material cut through mantle mantle in the Jiaodong gold mineralization, the closer the Yishu Fault Zone of the deposit scale is larger, their common ore fluid supply channel and the occurrence site, this is a key factor in the formation of large superlarge gold deposit formation.

Key words: Yishu fault zone; plume tectonic system; Jiaodong gold deposit; formation