

地质与矿产

山东胶东矿集区中生代构造事件与金矿成矿作用

李洪奎¹, 卜文峰², 嵇传源¹, 耿科¹, 梁太涛¹

(1.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综合利用重点实验室, 山东 济南 250013; 2.日照市国土资源局, 山东 日照 276800)

摘要:中生代胶东地区有2次重要的碰撞造山事件, 印支造山作用主要表现为扬子板块向华北板块俯冲, 形成苏鲁高压—超高压变质带, 同造山花岗岩及后造山高碱正长岩; 燕山造山作用的大陆动力学环境起源于中亚—特提斯构造域向滨太平洋构造域转化和太平洋板块的俯冲, 在胶东地区表现为3幕4期构造—岩浆事件并以3次造山和3次伸展为特征。胶东地区中生代构造—岩浆—沉积—成矿事件序列的时空演化也受控于这一地质作用过程, 尤其是侏罗纪至白垩纪这一阶段, 是胶东地区构造活动、岩浆侵入、地层沉积、火山喷发和成矿作用爆发时期, 是挤压、伸展交互转化时期。该文基于对中生代构造事件的研究, 厘定了构造与金矿成矿作用在空间上和时间上的高度耦合性。研究发现胶东地区在侏罗纪至白垩纪一阶段构造活动由早到晚经历了4期6阶段挤压—伸展过程, 第一期近S—N向挤压及NW—SE向挤压, 第二期早阶段NE—SW向挤压晚阶段NE—SW向引张, 第三期NW向引张, 第四期近E—W向挤压及近S—N向引张, 与构造—热事件相一致; 在金矿成矿作用方面, 表现为3期金矿成矿作用, 对应于由挤压向伸展转变阶段的成矿作用过程, 即第一幕伸展后的早期金矿成矿作用、第二幕伸展后的金矿主成矿期和第三幕伸展后的叠加金矿成矿作用。这种挤压—伸展构造活动的相互转化互为因果, 挤压为伸展提供了条件, 伸展为金矿的沉淀提供了空间, 也为下一次的挤压提供了前提, 并伴随着与岩浆—构造事件紧密相关的不同的成矿作用, 构成了挤压—伸展的构造—岩浆—成矿作用方式, 这是胶东地区形成大型、超大型金矿的动力学条件。

关键词:构造事件; 金矿; 成矿耦合; 山东胶东**中图分类号:** P618.51**文献标识码:** A

引文格式:李洪奎, 嵇传源, 耿科, 等. 山东胶东矿集区中生代构造事件与金矿成矿作用[J]. 山东国土资源, 2017, 33(1): 1-9. LI Hongkui, ZHUO Chuanyuan, GENG Ke, etc. Mesozoic Tectonic Events and Mineralization of Gold Deposits in Jiaodong Area in Shandong Province[J]. Shandong Land and Resources, 2017, 33(1): 1-9.

0 引言

众所周知, 中生代是中国大陆最终定位与中国东部叠加造山—裂谷发展阶段, 其最终定位是由于华北陆块与扬子陆块陆陆碰撞后使分离的中国大陆最终连为一体形成统一的中国大陆格局, 这一时期大致发生在晚三叠世。进入侏罗纪, 中国东部大陆边缘动力学体系发生了根本的变化, 185 Ma左右三联点扩张形成的太平洋是这一转变的标志和直接动力来源, 从此中国东部构造体系由特提斯构造域转

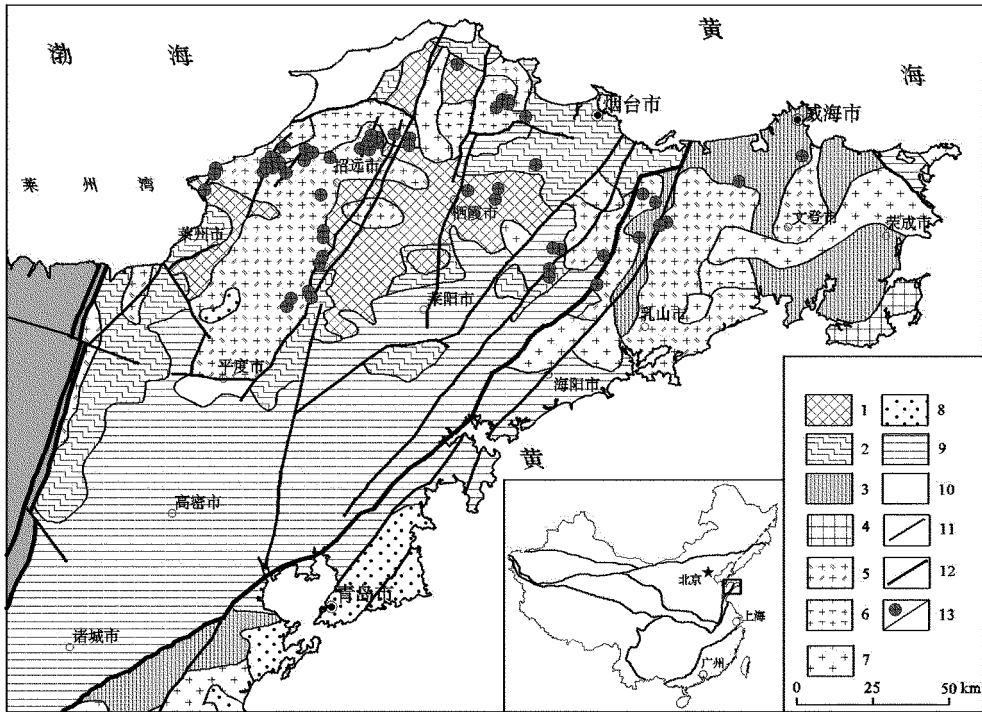
向太平洋构造域, 构造活动也进入受控于太平洋构造域的活动陆缘构造区, 导致中国东部构造系统重新发生、发展和再平衡时期, 其重大地质事件是华北克拉通破坏重构、火山喷发、强烈岩浆侵位、断裂构造强烈、隆升断陷和成矿大爆发^[1-4]。

山东胶东金矿集区面积不足全国大陆的0.2%, 而黄金储量占全国的四分之一, 是我国最大的黄金矿集区(图1)。胶东金矿集区内密集分布的230多个金矿床中, 有超大型金矿床10个, 大型、中型金矿床42个, 它具有区域集中、规模大、储量多

收稿日期: 2016-06-04; **修订日期:** 2016-10-16; **编辑:** 王敏

基金项目: 本文为国家自然科学基金项目山东招远—平度断裂带夏甸金矿深部成矿特征研究(41572068)、胶东招平断裂带深部特征与金矿成矿过程研究(201511029)、山东省招远—莱州地区金矿成矿地质条件及成矿规律研究(2012028)和山东省泰山学者建设工程专项经费共同资助的成果

作者简介: 李洪奎(1962—), 男, 山东昌乐人, 研究员, 主要从事地质矿产勘查及深部勘查技术方法研究工作; E-mail: lhklhk126@126.com



1—太古宙 TTG+表壳岩;2—元古宙变质表壳岩;3—高压—超高压变质带;4—三叠纪岩浆杂岩;5—侏罗纪玲珑侵入岩;6—早白垩世郭家岭侵入岩;7—早白垩世伟德山侵入岩;8—早白垩世崂山侵入岩;9—白垩纪沉积—火山沉积岩系;10—新生代沉积—火山沉积岩系;11—主要地质界线;12—主要断裂;13—金矿床

图 1 胶东矿集区大地构造位置图

和成矿期短的特点^[5]。这一罕见的陆内动力学金矿成矿过程,已经引起地学界众多学者的高度重视^[6-8]。胶东金矿集中区是区域尺度地质成矿作用的综合产物,其形成演化受大陆岩石圈和深断裂控制,与太平洋板块俯冲和地球动力学体制转换有关^[8]。金矿成矿作用(Golden ore-forming process)是地壳中金元素集中形成金矿床的各种地质作用的总和,是金矿成矿物质在一定地质历史发展阶段和构造环境中多次活动、长期演化、高度聚集的产物^[9]。

1 中生代重大地质事件及构造时序

1.1 二次重大地质事件

胶东地区中生代发生二次重大构造事件^[2-4,10]:一是三叠纪陆-陆碰撞造山,形成苏鲁高压—超高压变质带及同造山花岗岩及后造山高碱正长岩;二是侏罗-白垩纪伊佐奈岐(Izanagi)板块由 SE 向 NW 俯冲挤压,胶东地体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构造变形和岩浆侵入作用,可进一步分为 3 幕 4 期岩浆

事件^[4,11](图 1)。

1.1.1 三叠纪陆-陆碰撞造山事件

几近与山东海岸线平行,沿日照—胶南—荣成—威海等地呈 NE 向展布,外露宽 20~100 km,断续长约 450 km 的高压—超高压变质带,是扬子板块和华北板块陆-陆碰撞造山后形成的一条 HP-UHP 变质带,称为苏鲁高压—超高压变质带^[12-15],是秦岭—大别碰撞带的东延部分。对秦岭—大别碰撞带的研究表明:秦岭—大别碰撞带在三叠纪晚期最后完成碰撞、拼合,碰撞带内及其两侧的边缘残余海完全消失,大量的同碰撞期变质和岩浆作用的年龄数据,均为 240~205 Ma^[16-19],显示了三叠纪晚期完成拼合^[20]。胶南—威海高压—超高压变质带大致经历了强烈碰撞、俯冲和折返 3 个阶段,其时限主要在 250~205 Ma,约 45 Ma^[20-22],属三叠纪构造事件,碱性正长岩侵位代表陆-陆碰撞造山阶段的结束,同时证明三叠纪末期已经完成南北板块的拼合,到侏罗纪—白垩纪时期应力场与三叠纪已经完全不同,进而转入燕山造山作用阶段^[2-4,10]。

1.1.2 侏罗-白垩纪板块俯冲事件

胶东地区侏罗-白垩纪是由中亚-特提斯构造域

向滨太平洋构造域转化和构造再造的剧烈重塑期,表现为太平洋板块相对欧亚板块的俯冲作用^[2]。在这一构造背景下,胶东地区侏罗-白垩纪板块俯冲事件可进一步分为 3 幕 4 期侵入岩浆-构造事件。李洪奎^[4]对胶东地区新近获得的 71 个 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄统计表明:其年龄值集中在 160~110 Ma,其中在 160~150 Ma、130~125 Ma 和 120~100 Ma 表现为 3 次强烈构造-岩浆事件,代表了燕山造山事件 3 个构造幕,即第一幕(早期)、第二幕(中期)和第三幕(晚期)造山事件,包括四期岩浆活动,即晚侏罗世玲珑花岗岩组合、早白垩世早期郭家岭花岗闪长岩组合、早白垩世早-中期伟德山花岗岩组合和早白垩世中期崂山 A 型晶洞过碱性正长花岗岩组合^[2-5]。

据李洪奎研究^[4],第一幕(早期)造山事件的实体为晚侏罗世玲珑-昆嵛山片麻状二长花岗岩组合,年龄值集中在 160~150 Ma^[2],是区域构造挤压导致地壳增厚引起地壳重熔的产物,代表了大陆弧花岗岩特征^[8],其后的伸展引张形成了各种密集分布的脉岩群。第二幕(中期)造山事件的实体是早白垩世早期郭家岭花岗闪长岩-花岗岩组合(130~126 Ma)和稍晚的莱阳陆内盆地形成的火山-沉积岩建造组合,构造应力体制由挤压为主向伸展为主转换。第三幕(晚期)分为早阶段的伟德山闪长岩-花岗闪长岩-花岗岩组合和晚阶段的后造山 A 型崂山晶洞过碱性正长花岗岩组合,A 型崂山过碱性晶洞花岗岩标志着燕山造山过程的结束。

1.2 晚侏罗世-早白垩世构造活动序次

对于胶东地区中生代以来主要构造期次(主要是燕山期晚侏罗世-早白垩世时期)划分及古构造应力场反演是个十分复杂的问题,而构造期次和相对时代顺序的确定对于研究构造活动时限和成矿作用又是个十分重要的问题,需要建立在野外准确而又全面的观察和测量基础上。通过对 3 个典型矿床(大尹格庄、夏店及金亭岭)井下及地表构造解剖,结合区域构造演化特征,将该区中生代以来重要构造活动划分为 4 期 6 阶段。

(1)第一期近 S-N 向挤压及 NW-SE 向挤压

该期为该区中生代以来最早的一期构造,可能反应了中生代区域陆内造山运动的后期效应,是形成该区控矿断裂总体格局的最重要的一期构造运动,使控矿断裂构造体系进一步发育。从该次构造

期次划分及古构造应力场研究的结果分析,该期构造运动可划分为 2 个阶段:①早期阶段近 S-N 向挤压。在该构造运动过程中,早期阶段造成应力场为近 S-N 向挤压,形成了 NNE-SSW 方向的左行平移断层(表 1、图 2)。②晚期阶段 NW-SE 向挤压。该阶段的应力场为 NW-SE 向挤压,主要形成相伴生的 NWW-SEE 向的右行平移断层及近 S-N 向的左行平移断层(表 1、图 2)。

(2)第二期早期阶段 NE-SW 向挤压及晚期阶段 NE-SW 向引张

Koppers 等利用古地磁资料总结了 140 Ma 以来太平洋内海山链的延伸方向及太平洋板块的扩张方向,认为 140~125 Ma 期间,太平洋板块俯冲方向为 NE-SW 向,在俯冲早期,研究区区域应力场为 NE-SW 向挤压,但很快随着太平洋板块的继续俯冲,俯冲带陆缘转为 NE-SW 向引张构造环境(表 1、图 2)。在该应力场作用下,招远-平度断裂带以正断层运动为主,兼微量左行平移。

早期阶段 NE 向挤压形成的断层切割第一期构造运动晚期阶段 NW 向挤压形成的断层,而 NE 向及 NW 向挤压形成的断层又同时切割第一期早期阶段近 S-N 向挤压形成的平移断层。

(3)第三期 NW 向引张

125~110 Ma,太平洋板块俯冲方向为 NW 俯冲,在该区域构造背景下,研究区构造应力场转为 NW 向引张,在这种古应力场作用下,招远-平度断裂带以正断层运动为主(表 1、图 2)。本期活动的断层构造切割 NE 向引张活动的断层,两者又同时切割近 S-N 向挤压的断层。

(4)第四期近 E-W 向挤压及近 S-N 向引张

110~100 Ma,太平洋板块由东向西俯冲,区内构造应力场表现为 E-W 向挤压及 S-N 向引张,此时,区内 NE 向为主的断层以右行平移运动为主(表 1、图 2)。在野外观测中,可见大量 E-W 向挤压构造切割早期各类构造。

(5)成矿期构造应力场及控矿断裂活动特征

该区经历了长期构造演化和众多次数的构造运动,中生代以来,就经历了多次构造活动,确定成矿期构造活动十分重要。该次通过野外矿体与构造关系的观察,初步对与成矿期对应的构造活动进行了研究。

(6)成矿期的构造应力场及所对应的构造期次

表 1 不同方向断裂部分测量数据统计分析

序号	运动方向	断面倾向	断面倾角	擦痕产状	应力方向	活动期	断裂形式	构造环境
1	S	110	45	24S	近 S—N 向挤压、平移断裂	第一期早期阶段 160~150Ma	形成 NNE—SSW 方向的左行平移断层	总体挤压环境
2	S	70	80	40N				
3	S	260	80	25S				
4	S	290	65	15N				
5	S	120	68	50S				
6	S	288	66	25N				
7	S	297	87	15S				
8	S	295	84	近水平				
9	S	310	40	30S				
10	S	106	88	15S				
11	S	125	83	10N				
12	S	142	38	20S				
1	S	250	72	40S	NW—SE 向挤压、平移断裂	第一期晚期阶段 150~140Ma	形成相伴生的 NNE—SEE 向的右行平移断层及近 S—N 向的左行平移断层	总体呈 SE—NW 向伸展
2	S	85	50	15S				
3	S	65	80	25N				
4	S	255	60	近水平				
5	S	267	70	25S				
6	S	270	47	15S				
7	E	180	70	25W				
8	S	78	60	35S				
9	E	20	81	40W				
10	E	20	83	10E				
11	S	270	60	20N				
12	S	72	86	15S				
13	E	25	80	40W				
14	E	24	78	35W				
15	E	195	83	20E				
1	N	70	55	75N	NE—SW 向引张断裂	第二期 140~125Ma 早期 NE—SW 向挤压晚期 NE—SW 向引张	以正断层运动为主,兼微量左行平移	早期近 EW 向挤压,晚期 NE—SW 向伸展
2	N	60	60	70N				
3	N	70	45	50N				
4	N	85	50	50N				
5	N	257	72	80S				
6	N	345	64	55E				
7	N	190	74	70W				
8	N	96	60	60N				
1	N	125	55	60S	NW 向引张断裂	第三期 125~110Ma	NE 向引张活动的断层及右行张扭断裂	伸展作用
2	N	350	70	70W				
3	N	140	30	70E				
4	N	135	55	60S				
5	N	105	50	70S				
6	N	315	32	70E				
7	N	110	60	50S				
8	N	295	70	近直立				
9	N	316	16	70S				
10	N	155	80	近直立				
11	N	135	65	80E				
12	N	122	74	75S				
13	N	125	64	80N				
14	N	135	41	60W				
15	N	167	33	65E				
1	S	40	59	25E	近 E—W 向挤压及近 S—N 向引张断裂	第四期 110~100Ma 近 E—W 向挤压及近 S—N 向引张	NE 向为主的断层以右行平移运动为主	挤压为主
2	E	295	58	35S				
3	E	134	65	30S				
4	E	127	57	15S				
5	S	210	80	20W				
6	S	40	59	25E				
7	S	30	50	20W				
8	E	330	55	30E				
9	E	165	50	30W				
10	E	145	75	15W				
11	E	160	57	40W				

注:据《招远—平度断裂带招远—夏甸段金矿深部找矿预测中期报告》(招金矿业股份有限公司,2014),有改动。

对大多数矿床来说,一般都经历了多期构造活动,确定同成矿期构造十分困难。而同成矿期构造活动的确定是控矿构造研究中最重要的一部分。该次主要根据同成矿期断层与矿脉的相互关系,以及矿脉形态和组合特征,来确定成矿期的古构造应力场。

井下观察发现,破碎带内石英脉常呈短而粗的形态,脉体宽窄变化大,脉体产状变化大,延伸不远,这种形态反映了成脉过程断裂的张性特征。大的脉体旁侧派生节理内充填的黄铁矿微脉均指示为正断层;石英脉尾端常为树枝状分叉,显示其充填于张性节理中。

该区的闪长玢岩脉的形成时代被认为与成矿时代接近,井下观察表明,闪长玢岩脉的形成时的构造应力场为 NW—SE 向引张。闪长玢岩脉切穿矿化花岗岩,因此,可能形成于成矿后或成矿晚期阶段。

上述特征显示,研究区成矿时主要控矿断裂显示出引张特征,然而,另外一些证据表明,NE 向控矿断裂又具有左行平移的特征,为同成矿期侧羽状白云石(菱铁矿)脉,脉的总体走向为 230°~50°,均反映了 NE 走向断裂同成矿期的左行平移。

(7) 成矿期断裂活动特征

上述特征表明,研究区 NNE 向及 NE 向的控矿断裂在成矿期一方面表现出正向下滑性质,另一方面又表现出左行平移特征。因此,分析认为,成矿期由挤压向引张的转换时期,即成矿早阶段应力场可能相当于第一期和第二期早阶段的挤压,成矿作用后期主要发生在 NW—SE 向引张构造背景,与该次研究中构造期次划分的构造应力第二期相对应,σ₁ 为:278°∠82°,σ₂ 为 49°∠5°,σ₃ 为 139°∠6°,σ₁ 近直立;σ₃ 为 NW—SE 向,近水平。

从表 1 和图 2 中可以看出:胶东地区中生代以来尤其是晚侏罗世至早白垩世时期的构造活动期次,显示了区内构造力学性质由挤压向伸展转变的特性,由早到晚经历了挤压→伸展、再挤压→再伸展的过程,而周期性的挤压—伸展变化是与构造背景及力学性质息息相关的,这种周期性变化不断改变和调整着区内应力场的变化,进而调整着区内的金矿成矿物质沉淀的地球物理、地球化学条件,为金质最终沉淀富集提供了空间,造就了挤压—伸展手风琴式构造成矿模式。

2 金矿成矿事件与构造耦合

2.1 金矿成矿事件

根据研究^[4,23],胶东金矿可分为早期、主成矿期和叠加成矿期 3 次主要的成矿事件。

2.1.1 早期成矿事件

侏罗纪时期,由于构造体系发生重大转折,太平洋伊佐奈岐板块由 SE 向 NW 方向的欧亚板块俯冲,导致郯庐断裂带大规模左行平移并拼贴于华北板块,在剪压作用下玲珑—昆崮山片麻状花岗岩强力侵位。该岩石组合为过铝质花岗岩和钾质花岗岩,以具较明显的负锫异常和铝含量较低区别于埃达克

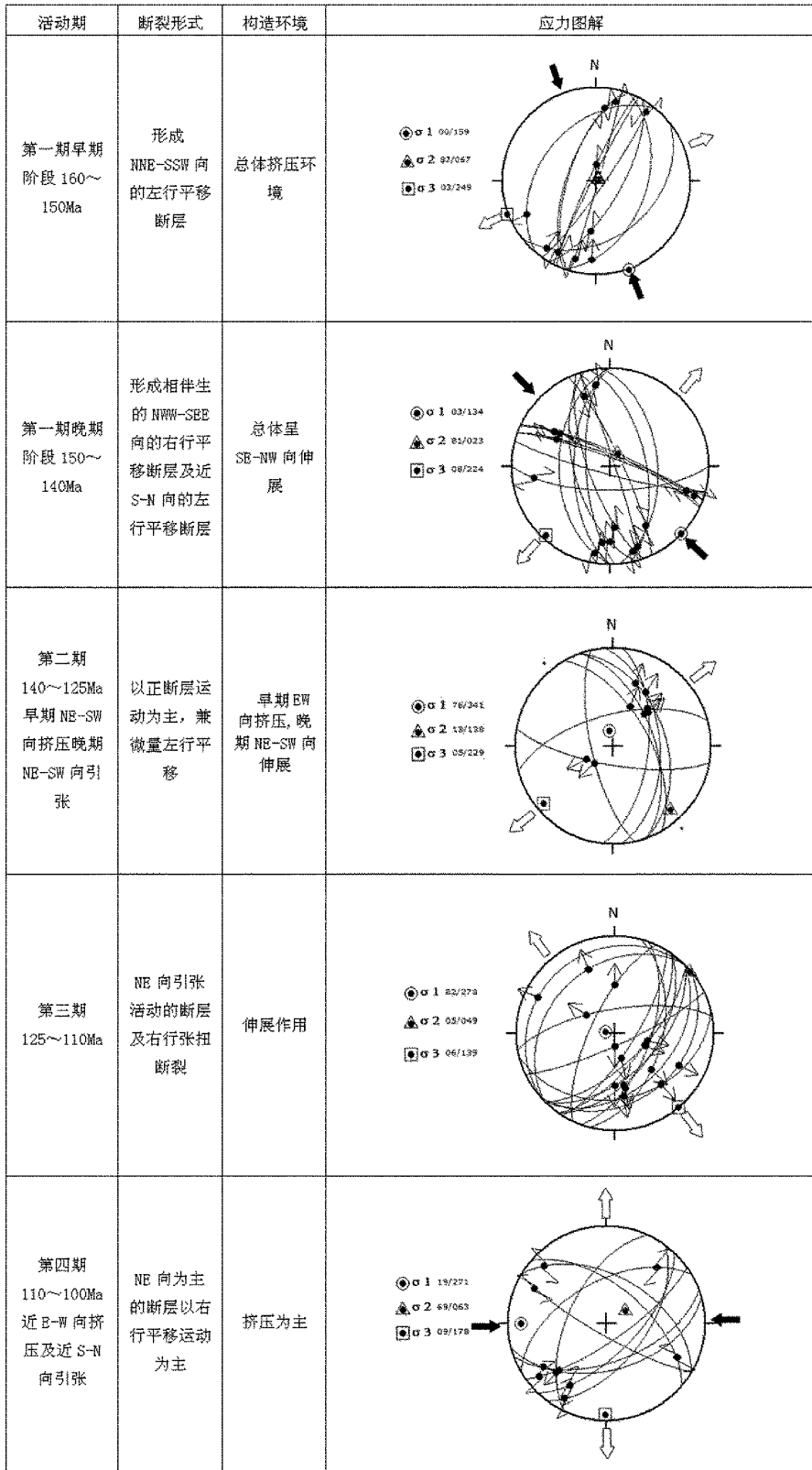


图 2 主要构造期次及应力特征

岩^[24],是陆壳重熔型花岗岩^[25]。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,并向流体相运移,在玲珑岩体、昆崙山岩体内、外接触带尤其是玲珑岩体与结晶基底形成的接触带处形成金质聚焦的有利场所。

2.1.2 主成矿事件

白垩纪是中国东部构造体制转折的重要时期,表现为强烈的岩石圈减薄,构造岩浆活动非常活跃。在早白垩世,胶东则发育了与岩石圈减薄有关的大规模岩浆作用、大范围盆地断陷、高强度金矿成矿爆发、高速度地壳隆升、多期次幔源岩浆活动和多式样脆性断裂切割等地质构造事件。研究表明:白垩纪时期胶东地区造山挤压和伸展事件频发,主成矿事件与挤压向拉张作用转换有关^[4,11]。130~126 Ma 郭家岭岩体在挤压作用下强力定位,并伴有快速隆

升,之后转入拉张,金矿在这一时期沿构造有利部位定位。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^[1]。在 120 Ma 左右胶东地区发生了大规模金矿成矿作用,形成的金矿床具有区域集中、规模大、富集强度高和成矿期短的特点^[24],这与区内基础地质事件相吻合。据吕古贤等^[26-30]的研究:成矿期构造应力值明显低于成矿前古应力值,与金矿有关的成矿期应力差为 $(256.84 \sim 451.78) \times 10^5 \text{ Pa}$,成矿时代为 125.8~105.0Ma。而据胡芳芳^[31-32]、范宏瑞等^[33]资料,金青顶金矿成矿年龄 117~121 Ma,邓格庄金矿成矿年龄 120 Ma,与上述结论相一致,其主要成矿期如图 3 所示。

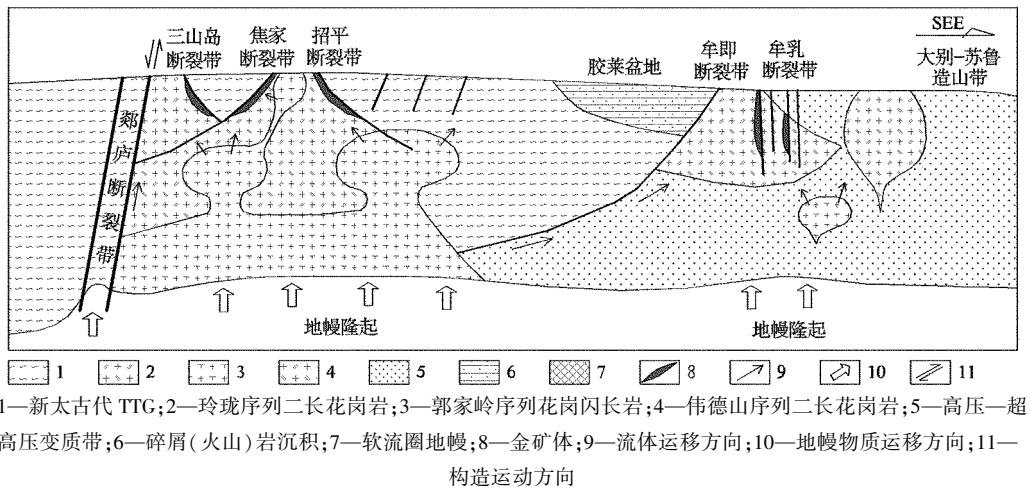


图 3 山东胶东地区金矿成矿模式简图

(据李洪奎,2013 改编)

2.1.3 叠加成矿事件

早白垩世晚期,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 NNW 向运动,郯庐断裂带发生右旋扭性活动。胶东地区的构造状态已从 NW—SE 向挤压转为 SE—NW 向拉张。118~111 Ma 时,伟德山造山晚期闪长岩—花岗闪长岩—花岗岩组合定位,也是区内金矿的叠加成矿期及多金属矿的主成矿期。110~90 Ma 时,出现后造山 A 型崂山晶洞过碱性碱长花岗岩—正长花岗岩组合侵入活动,代表了大规模的伸展作用^[34],标志着燕山造山过程的结束。

2.2 金矿成矿与构造岩浆事件耦合

胶东金矿特征集中体现在 3 期金矿成矿热事件、3 个金矿成矿系列和 3 期金矿成矿作用上。

胶东金矿 3 期成矿热事件:是指晚侏罗世—早白垩世形成的 3 幕 4 期岩浆活动,即 160~150 Ma 形成的玲珑片麻状二长花岗岩组合构造热事件,130~125 Ma 形成的郭家岭压剪性花岗闪长岩组合构造热事件,120~105 Ma 形成的伟德山二长花岗岩组合构造热事件和 118~95 Ma 形成的崂山 A 型晶洞碱性花岗岩组合构造热事件,与金矿关系密切的是玲

珑、郭家岭和伟德山3个构造—岩浆热事件,崂山晶洞碱性花岗岩代表了燕山旋回在区内的结束。

胶东金矿3个成矿系列:胶东中生代构造演化对成矿作用起着制约与控制作用,构造—岩浆—成矿事件与区域构造事件具有相互耦合性,金矿、多金属矿的形成与定位同3幕4期的花岗岩紧密相联,3个成矿系列则与玲珑、郭家岭和伟德山花岗岩的构造—岩浆热事件相耦合,成矿作用滞后于构造—岩浆事件约10 Ma左右。3个成矿系列是胶北地区与晚侏罗世玲珑花岗岩有关的Mo(W)—Au矿成矿系列;胶北地区与早白垩世中酸性岩浆有关的Au(Ag)矿成矿系列,是胶东金矿的主成矿期;胶北地区与早白垩世中酸性岩浆有关的Cu—Pb—Zn—Mo—Au矿成矿系列,与铜、铅、锌、钼矿有关,也是区内金矿的叠加成矿期及多金属矿的主成矿期,成矿年龄81~105 Ma。

胶东金矿3期成矿作用:早期成矿期,即与玲珑—崂山片麻状二长花岗岩组合有关的早期金矿成矿作用,典型矿床是留村金矿和邢家山钼钨矿,其形成年龄在141~160 Ma之间。主成矿期,即与郭家岭弱片麻状花岗闪长岩—花岗岩组合有关的主成矿期金矿成矿作用,其典型矿床为焦家金矿、三山岛金矿和玲珑金矿等。叠加成矿期,即与伟德山造山晚期闪长岩—花岗闪长岩—花岗岩组合、雨山浅成—超浅成石英闪长玢岩—花岗闪长斑岩—石英二长玢岩组合有关的晚期金矿叠加成矿作用,是区内金矿的叠加成矿期及Cu—Pb—Zn—Mo多金属矿的主成矿期,成矿年龄90~105 Ma。

3 讨论

山东陆块区是一个镶嵌、叠覆、年轻但又保存了几乎所有地质时期形成的地质记录的块体,其形成演化涉及多个动力学体制,具有独特的地球动力学背景,因而具有丰富多彩的大地构造组合和叠覆。山东是一系列不同起源且经历了不同演化的微大陆及地块经多期增生和碰撞而形成的复合大陆^[2,4,11],其漫长的板块构造演化明显具有阶段性。中生代晚期(尤其是白垩纪)是该区板块构造演化史上的一个重要转换期^[25]。这种变化集中表现在中国及邻区构造演化由原来的南、北分异,转变为东、西分异,西部以构造的继承性为特色,东部则新生构造起了主要作用。而中生代构造体制转折总体表现为陆内

伸展和与地幔隆起相伴的大规模岩石圈减薄,及由EW向到NNE向的盆岭格局重组。对华北东部中生代构造格局研究表明,从岩石圈深部物质上涌开始到地壳浅表层响应为止,都记录了华北早中生代所经历的构造体制转折的重大变革,中生代岩石圈减薄在胶东地区表现得尤为明显。

胶东大规模成矿时代为中生代,控矿围岩为胶东克拉通基底岩系,控矿热力学条件是中生代岩浆,成矿的动力学过程受华北东部中生代构造体制制约^[1,6-8,35,36]。这一罕见的陆内动力学过程,已经引起地学界的高度重视。应该强调的是,中国大陆处于特提斯、古亚洲洋和太平洋3大构造域的结合部位,它们的相互作用及陆内过程都影响着中国东部大陆,而胶东地区构造—岩浆事件也受控于该动力学机制^[37]。中生代是胶东金矿最重要的构造成岩成矿期,其金矿主成矿期为120 Ma^[2,4,11],金矿形成与基底岩系活化改造、同造山期花岗岩的形成关系密切。

胶东地区金矿成矿期断裂活动特征表明:研究区NNE向及NE向的控矿断裂在成矿期一方面表现出正向下滑性质,另一方面又表现出左行平移特征。因此,分析认为,成矿期由挤压向引张的转换时期,即成矿早阶段应力场可能相当于第一期和第二期早阶段的挤压,成矿作用后期主要发生在NW—SE向引张构造背景,与该次研究中构造期次划分的构造应力第二期相对应,其 $\sigma_1:278^\circ \angle 82^\circ$, $\sigma_2:49^\circ \angle 5^\circ$, $\sigma_3:139^\circ \angle 6^\circ$, σ_1 近直立; σ_3 为NW—SE向,近水平。

胶东地区晚侏罗世至早白垩世时期的构造活动期次,显示了区内构造力学性质由挤压向伸展转变的特性,由早到晚经历了挤压→伸展、再挤压→再伸展的过程,而周期性的挤压—伸展变化则与构造背景及力学性质息息相关,这种周期性变化不断改变和调整着区内应力场的变化,进而调整着区内的金矿成矿物质沉淀的地球物理、地球化学条件,为金质最终沉淀富集提供了空间。

4 结语

(1)胶东地区中生代构造方面由早到晚经历了4期6阶段挤压—伸展过程,其应力特征表现为挤压伸展的交互特点。

第一期近S—N向挤压及NW—SE向挤压;该

期为该区中生代以来最早的一期构造,可能反映了中生代区域陆内造山运动的后期效应,是形成该区控矿断裂总体格局的最重要的一期构造运动,使控矿断裂构造体系进一步发育。从对构造期次划分及古构造应力场研究的结果分析,该期构造运动可划分为 2 个阶段:早阶段 NW—SE 向挤压,晚阶段的近 S—N 向挤压。①早阶段近 S—N 向挤压,形成了 NNE—SSW 方向的左行平移断层;②晚阶段 NW—SE 向挤压,主要形成相伴生的 NWW—SEE 向的右行平移断层及近 S—N 向的左行平移断层。

第二期阶段 NE—SW 向挤压晚阶段 NE—SW 向引张:利用古地磁资料总结了 140 Ma 以来太平洋板块扩张方向,认为 140~125 Ma,太平洋板块俯冲方向为 NE—SW 向,在俯冲早阶段,研究区区域应力场为 NE—SW 向挤压,但很快随着太平洋板块的继续俯冲,俯冲带陆缘转为 NE—SW 向引张构造环境。在该应力场作用下,招远—平度断裂带以正断层运动为主,兼微量左行平移。该期早阶段 NE—SW 向挤压形成的断层切割第一期构造运动晚阶段 NW—SE 挤压的断层,而 NE 及 NW 挤压的断层又同时切割第一期早阶段近 S—N 向挤压形成的平移断层。

第三期 NW 向引张:125~110 Ma,太平洋板块俯冲方向为向 NW 俯冲,在该区域构造背景下,研究区构造应力场转为 NW 向引张,在这种古应力场作用下,招远—平度断裂带以正断层运动为主。本期活动的断层构造切割第二期 NE—SW 向引张活动的断层,两者又同时切割第一期近 S—N 向挤压的断层。

第四期近 E—W 向挤压及近 S—N 向引张:110~100 Ma,太平洋板块由东向西俯冲,区内构造应力场表现为 E—W 向挤压及 S—N 向引张,此时,区内 NE 向为主的断层以右行平移运动为主,在野外观测中,可见大量 E—W 向挤压构造切割早期各阶段构造。

(2)金矿成矿方面,表现为 3 个金矿成矿期,对应于由挤压向伸展转变阶段的成矿作用过程,即第一幕伸展后的早期金矿成矿作用、第二幕伸展后的金矿主成矿期和第三幕伸展后的叠加金矿成矿作用。早期成矿期,即与玲珑—昆崮山片麻状二长花岗岩组合有关的早期金矿成矿作用,典型矿床是留村金矿和邢家山钼钨矿,其形成年龄在 141~160 Ma

之间。主成矿期,即与郭家岭弱片麻状花岗闪长岩—花岗岩组合有关的主成矿期金矿成矿作用,其典型矿床为焦家金矿、三山岛金矿和玲珑金矿等。叠加成矿期,即与伟德山造山晚期闪长岩—花岗闪长岩—花岗岩组合、雨山浅成—超浅成石英闪长玢岩—花岗闪长斑岩—石英二长玢岩组合有关的晚期金矿叠加成矿作用,是区内金矿的叠加成矿期及 Cu—Pb—Zn—Mo 多金属矿的主成矿期,成矿年龄 90~105 Ma。

(3)胶东地区构造—岩浆事件和金矿成矿作用受控于特提斯、古亚洲洋和太平洋 3 大构造域的相互作用,是导致区内大规模成矿的动力学条件。胶东地区构造事件与金矿成矿作用在时间和空间上具有高度耦合性,构造事件中挤压—伸展的相互转化作用互为因果,挤压为伸展提供了条件,伸展为金矿的沉淀提供了空间,也为下一次的挤压提供了前提。构造运动是地球内、外部热力学与动力学的平衡,每一个构造幕,均符合于挤压造山及其后的伸展作用,随后又是挤压造成的岩浆侵位以及造山后的伸展作用,并伴随着与岩浆—构造事件紧密相关的不同的成矿作用,构成了挤压—伸展的手风琴式构造—岩浆—成矿作用方式,这是胶东地区形成大型、超大型金矿的动力学条件。

参考文献:

- [1] 邓军,翟裕生,杨立强,等.构造演化与成矿系统动力学——以胶东金矿集中区为例[J].地质前缘,1999,6(2):315-320.
- [2] 李洪奎,李逸凡,耿科,等.山东胶东碰撞造山型金矿成矿作用探讨[J].大地构造与成矿学,2011,35(4):533-542.
- [3] 李洪奎,嵇传源,耿科,等.胶东金矿成矿构造背景探讨[J].山东国土资源,2012,28(01):5-13.
- [4] 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.
- [5] 李逸凡,李洪奎,汤启云,等.山东旧店金矿黄铁矿型特征及其地质意义[J].黄金科学技术,2015,23(2):45-50.
- [6] 陈衍景,郭光军,李欣.华北克拉通花岗岩绿岩地体中金矿床的成矿时间、空间和地球动力学背景[J].中国科学(D辑),1998,28(1):35-40.
- [7] 邓晋福,罗照华,苏尚国,等.岩石成因、构造环境与成矿作用[M].北京:地质出版社,2004:1-381.
- [8] 邓晋福,莫宣学,赵海玲,等.中国东部岩石圈根/去根作用于大陆活化[J].现代地质,2005,8(3):349-356.
- [9] 地球科学大辞典编委会.地球科学大辞典(基础学科卷)[M].北京:地质出版社,2006:883.
- [10] 李洪奎,杨永波,耿科,等.山东重大基础地质问题研究进展

- [J].岩石学报,2013,(2):594-606.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 黄德志,董树文,叶朝暉.大别与胶南造山带北缘地层对比意义[A]//中国科协首届青年学术讨论会“兴皖之光”卫星会议论文集[C].合肥:安徽科学技术出版社,1992:52-58.
- [15] 李锦轶.中朝地块与扬子地块碰撞的时限与方式——长江中下游地区震旦纪—侏罗纪沉积环境的演变.地质学报[J].2001,75(1):25-34.
- [16] 李曙光,刘德良,陈移之,等.大别山南麓含柯石英榴辉岩的 Sm-Nd 同位素年龄[J].科学通报,1992,7(4):346-349.
- [17] 李曙光,刘德良,陈移之,等.中国中部蓝片岩的形成时代[J].地质科学,1993,28(1):21-27.
- [18] 李曙光,肖益林,刘德良.大别山石马地区石榴黑云片麻岩的 Sm-Nd, K-Ar 年龄及冷却速率[J].地质科学,1995,30(2):174-181.
- [19] 王道轩,刘因,李双应,等.大别超高压变质岩折返至地表的时间下限:大别山北麓晚侏罗世砾岩中发现榴辉岩砾岩[J].科学通报,2001,46(14):1216-1220.
- [20] 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,2009:99-105.
- [21] 李洪奎,耿科,糕传源,等.山东省优势大地构造相划分初步方案[J].山东国土资源,2010,26(6):1-6.
- [22] 宋明春,赵庆龄.山东日照官山闪长玢岩锆石 SHRIMP 年龄:印支期岩浆热事件及其对超高压变质岩折返历史的限定[J].地质通报,2004,23(12):1254-1258.
- [23] 于学峰,李洪奎,单伟.山东胶东矿集区燕山期构造热事件与金矿成矿耦合探讨[J].地质学报,2012,86(12):141-154.
- [24] 张旗,钱青,王二七,等.燕山中晚期的中国东部高原:埃达克岩的启示[J].地质科学,2001,36(2):248-255.
- [25] 宋明春,徐军祥,王沛成.山东省大地构造格局和地质构造演化[M].北京:地质出版社,2009:36-37.
- [26] 吕古贤,刘瑞珣,王方正,等.关于成岩成矿深度构造校正测算的理论、方法和实例[J].地质科学,2003,38(4):546-563.
- [27] 吕古贤,刘瑞珣,王方正,等.成岩成矿深度构造校正测算和实测[J].地质力学学报.2000,6(3):50-62.
- [28] 吕古贤.关于构造作用力影响静水压力问题[J].科学通报.1995,40(3):286.
- [29] 吕古贤.山东省玲珑金矿田成矿深度的研究与测算[J].科学通报.1995,40(15):1398-1402.
- [30] 吕古贤.山东玲珑金矿田和焦家金矿田成矿深度的测算与研究方法[J].中国科学(D辑).1997,27(4):337-342.
- [31] 胡芳芳,范宏瑞,杨进辉.胶东乳山含金石英脉型金矿的成矿年龄:热液锆石 SHRIMP 法 U-Pb 测定[J].科学通报,2004,49(12):1191-1198.
- [32] 胡芳芳,范宏瑞,杨进辉.胶东昆嵛山地区官家辉长闪长岩成因:岩石地球化学、锆石 U-Pb 年代学与哈 Hf 同位素制约[J].岩石学报,2007,23(2):369-380.
- [33] 范宏瑞,胡芳芳,杨进辉,等.胶东中生代构造体制转折过程中流体演化和金的大规模成矿[J].岩石学报,2005,21(5):1317-1328.
- [34] 洪大卫,王涛,童英.中国花岗岩概述[J].地质论评,2007,53(增刊):9-16.
- [35] 鲁安怀,吕古贤,王文正,等.文登南部陆陆碰撞与流体成矿[J].地球学报,1998,19(2):187-194.
- [36] 毛景文,张作衡,余立金,等.华北及邻区中生代大规模成矿的地球动力学背景:从金属矿床年龄精测得到启示[J].中国科学(D辑),2003,33(4):289-299.
- [37] 邱连贵,任风楼,曹忠祥.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.

Mesozoic Tectonic Events and Mineralization of Gold Deposits in Jiaodong Area in Shandong Province

LI Hongkui¹, BU Wenfeng², ZHUO Chuanyuan¹, GENG Ke¹, LIANG Taitao¹

(1. 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; 2. Rizhao Bureau of Land and Resources, Shandong Rizhao 276800, China)

Abstract: There are two important collisional events in Jiaodong area. Indosinian orogeny is mainly presented as the subduction from Yangtze plate to the North China plate, which formed Sulu HP-UHP metamorphic belt, synorogenic granites and post orogenic high alkali syenites. Dynamic environment of continental Yanshan orogeny came from the transformation of ethys tectonic domain in central Asia to the Pacific tectonic domain and the subduction of the Pacific plate. It represented as 3 periods and four stages tectonic magmatic events in Jiaodong area with the characteristics of three orogenic stages and three extension. Time and space evolution of Mesozoic tectonic struc-

tures—magma—sedimentary mineralization event series in Jiaodong area is also controlled by the geological processes, especially the stage from Jurassic to Cretaceous. This stage is the eruption period of tectonic activity, magma intrusion, strata sedimentary, volcano eruption and mineralization, it is also reciprocal transformation of extrusion and stretching period in Jiaodong area. Based on the study of Mesozoic tectonic events, high coupling between structures and the mineralization of gold deposits in space and time has been defined. It is found that Jiaodong area has experienced 4 periods and 6 stages extrusion—stretching process from Jurassic to Cretaceous. The first stage is the extrusion with the trend of nearly S—N and NW—SE. The second stage is the extrusion with the trend of NE—SW in early period and the extrusion with the trend of NE—SW in late period. The stage is the extrusion with the trend of NW, The fourth stage is the extrusion with the trend of nearly E—W and the compression with the trend of S—N, which is consistent with tectonic thermal events. In terms of gold mineralization, it is showed as three gold mineralization, and corresponding to the transition from compression to extension mineralization, that is early gold mineralization agter the first stretching stage, gold mineralization after the second stretching stage, and gold mineralization after the third stretchingand superposition stage. The mutual transformation of extrusion and extensional tectonics is reciprocal causation. Extrusion provides conditions for the extension, while extension provides space for the gold deposits. It also provides the premise for next extrusion, accompanying with different mineralization which has close relation with magma tectonic events. It formed extrusion—stretching structure—magma—mineralization. This is the dynamics conditions of large and super large gold deposits formed in Jiaodong area.

Key words: Tectonic events; gold deposit; metallogenic coupling; Jiaodong area in Shandong province