

胶西北地区北截金矿闪长玢岩锆石 SHRIMP 年龄及其地质意义

耿科^{1,3)}, 王瑞江²⁾, 李洪奎³⁾, 单伟³⁾, 李大鹏³⁾

1) 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京, 100083;

2) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037;

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

内容提要:山东省招远市北截金矿是胶西北地区发现较早的金矿之一, 主要赋存于严格受 NEE 向断裂控制的黄铁绢英岩化蚀变带内, 是典型的破碎带蚀变岩型金矿。本文通过对矿区内切穿矿体的闪长玢岩、郭家岭序列下属北截岩体的地质背景和 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学研究, 得出闪长玢岩形成年龄为 117 ± 2 Ma, 北截岩体形成年龄为 129 ± 1 Ma, 限定北截金矿成矿年龄在 117~129 Ma 之间, 属早白垩世。锆石样品中测得 Ar_3 、 Z_3 、 J_3 等多个期次的继承锆石年龄, 表明北截岩体和闪长玢岩形成过程具有多重继承演化性。根据同源岩浆的成岩成矿时间差及岩体与金矿的空间位置, 判断郭家岭序列与金矿关系更为密切。讨论了胶东金矿的成矿期次和构造环境, 认为其形成于俯冲造山带的弧后伸展环境, 其形成与演化受中生代以来中国东部岩石圈大规模减薄、地幔上涌或陆缘裂谷的影响, 最终成因可能与地幔柱有关。

关键词: 锆石 SHRIMP 年龄; 闪长玢岩; 北截金矿; 胶西北; 郭家岭

北截金矿位于招远市城区西北 15 km, 是胶西北地区发现较早的金矿之一, 勘查历史十分悠久。阮鸿仪(1949)、上官俊(1950)考察过后认为其“含金颇富”。1963 年山东省地质局 807 队、1979 年山东省地质局第六地质队分别对该矿进行了普查, 提交金属量 0.78 t, 品位 17.61 g/t。2011 年烟台金山地质勘探有限公司补充详查后, 提交金属量 0.94 t, 品位 5.01 g/t, 属小型破碎带蚀变岩金矿^①。

北截金矿较区内焦家、三山岛等著名金矿研究程度略低。部分学者对其矿石成分(周清文, 1992)、控矿构造(颜丹平等, 1997)、成矿阶段(彭晓蕾等, 2000)、富集规律(唐宇等, 2012)等进行了研究。丛源(2005)认为其属于典型的造山型金矿, 成矿与玲珑花岗岩和郭家岭花岗岩关系密切。Groves 等(1998)、Goldfarb 等(1998, 2001, 2007)、毛景文等(2002)、陈衍景等(2004)、蒋少涌等(2009)、郭春影等(2011)也将胶东金矿划入造山型金矿范畴。李洪

奎等(2010, 2013a)认为胶东金矿属于造山型金矿, 但成因与郭家岭花岗闪长岩有关。

而另一部分学者对此持有异议。翟明国等(2004)认为胶东金矿形成的地质背景为中生代构造转折, 不具有典型的造山作用特征, 并提出“陆内非造山带型金成矿作用”的概念。汪在聪等(2010)指出, 热液矿床稳定同位素组成极易受热液复杂演化过程影响, 不能够简单根据测定结果投图来判断流体来源是否是变质流体。宋明春等(2010)认为胶西北三条主控矿断裂带形成一条大型伸展构造带, 胶东金矿与伟德山花岗岩或同时期基性脉岩关系密切。宋雪龙等(2014)则认为金矿与郭家岭和伟德山花岗岩都有关。

本文在前人研究基础上, 采用 SHRIMP 锆石 U-Pb 法对矿区内闪长玢岩岩脉及郭家岭序列北截岩体进行了年代学研究, 对北截金矿的成矿时间进行了限定, 并藉此来讨论其地质意义。

注: 本文由国土资源部大调查项目“全国重要矿产资源潜力评价成果集成”(编号: 12120114051301)、国土资源部公益性科研专项“胶东招平断裂带深部特征与金成矿过程研究”(编号: 201511029)和山东省 2012 年度整装勘查区项目“山东省招远—莱州地区金矿成矿条件和成矿规律研究”(编号: 鲁勘字 201203 号)联合资助。

收稿日期: 2015-02-10; 改回日期: 2015-05-05; 责任编辑: 郝梓国。

作者简介: 耿科, 男, 1982 年, 博士研究生, 工程师, 主要从事地质矿产勘查及矿床学研究。Email: gengke@126.com。通讯作者: 王瑞江, 男, 1956 年, 研究员, 主要从事区域矿产地质研究和科技管理工作。Email: wruijiang@mail.cgs.gov.cn。

1 矿床地质概况

按照板块构造的划分,北截金矿大地构造区划属华北板块(I级)之渤海陆块(Ⅱ级)(李洪奎等,2013b)下的胶北隆起区(Ⅲ级)内。矿区内地层很不发育,只有第四系沿河流、山间分布。有面积晚侏罗世玲珑序列弱片麻状黑云二长花岗岩出露,早白垩世郭家岭序列似斑状花岗闪长岩侵位其中,大量脉岩(主要是闪长玢岩、石英脉,少量煌斑岩)平行条带状穿插于中生代花岗岩中(图1)。NE向断裂系统发育,主要的控矿断裂——灵(山沟)—北(截)断裂属于焦家断裂带的次级构造,走向55°~65°,倾向SE,倾角73°~88°。

有两个主要矿化蚀变带,其中主矿体赋存于2号蚀变带中,位于灵北断裂上盘,严格受断裂控制。矿体控制走向长90m,倾向SE,倾角75°~85°,斜深240m,平均厚度4.96m,变化稳定,深部未封闭。

矿体围岩主要是郭家岭序列(K_1)北截岩体,岩性以花岗闪长岩为主,呈浅肉红色,似斑状结构,块状构造(图2a),主要由石英(27%~37%)、钾长石(30%±)和斜长石(20%~25%)组成,其次含有角闪石(1%~2%)、黑云母(3%~7%)、绢云母(2%~5%)、绿泥石(1%~5%)和碳酸盐矿物(<1%),副矿物有磷灰石、锆石和少量不透明矿物等。斑晶粒度0.5~2.5cm,呈浅肉红色,主要由钾长石组成,偶含石英斑晶,基质粒度0.1~0.5mm,为显晶质长英质矿物和暗色矿物。石英呈它形粒状充填在其他矿物颗粒间,粒度大小不一,常呈集合体状分布,基质中石英与长石呈显微花岗结构,有的小颗粒石英不规则状镶嵌于钾长石之中。斜长石呈自形一半自形板状,可见聚片双晶和卡钠复合双晶,双晶纹细密。钾长石呈半自形—它形粒状,少数大颗粒可见卡式双晶,石英、斜长石小颗粒镶嵌其中,大部分发生泥化,表面呈土状(图2b)。

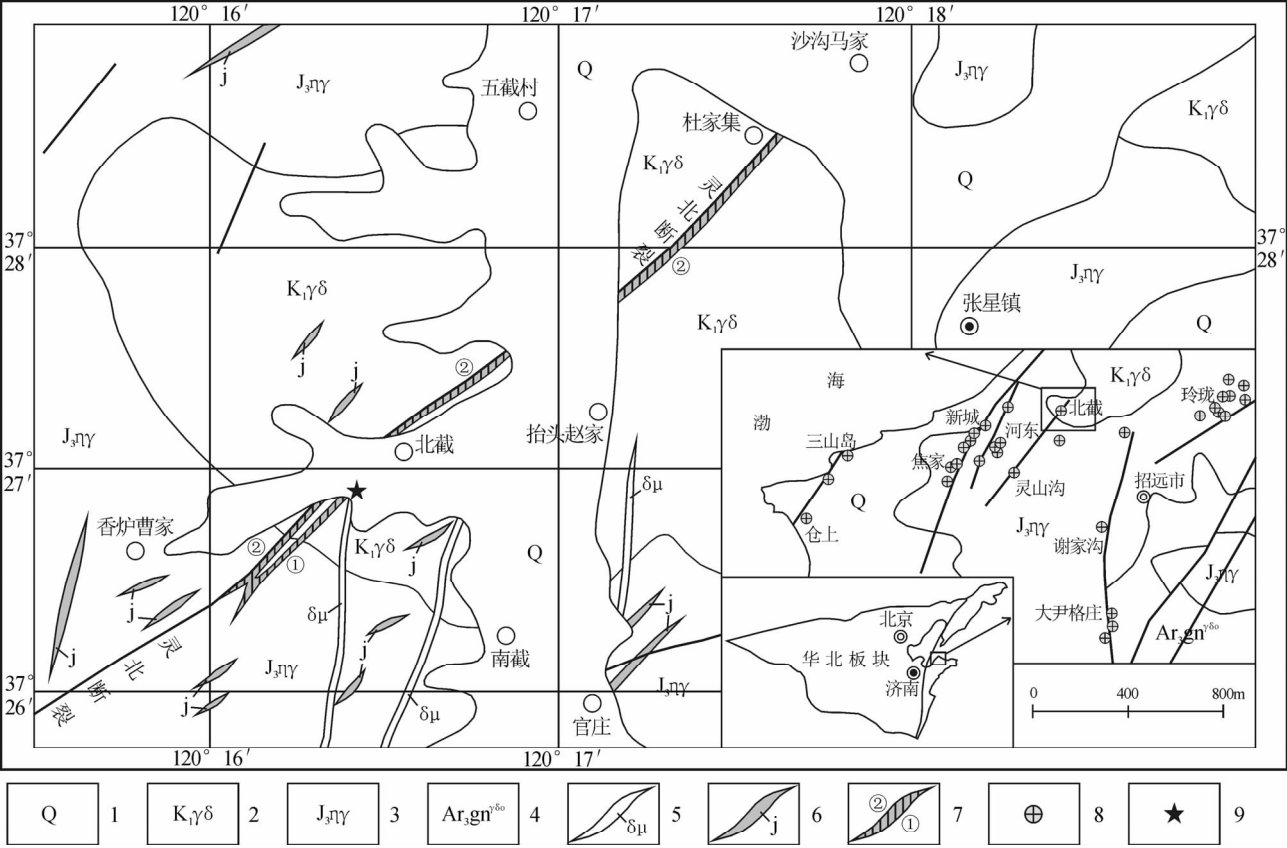


图 1 北截金矿地质简图

Fig. 1 Geological map of Beijie gold deposit

1—第四系;2—早白垩世郭家岭序列;3—晚侏罗世玲珑序列;4—新太古代栖霞 TTG;5—闪长玢岩;6—蚀变带;7—含矿蚀变带和编号;
8—岩金矿;9—样品位置

1—Quaternary;2—Early Cretaceous Guojialing sequence;3—Late Jurassic Linglong sequence;4—Neoproterozoic Qixia TTG;
5—diorite-porphryrite;6—alteration zone;7—gold-bearing alteration zone and number;8—gold deposit;9—sample location

矿区内可见多条闪长玢岩岩脉,走向 $5^{\circ}\sim 15^{\circ}$, 倾向 E, 倾角较陡, 宽度一般 $1\sim 2\text{m}$, 切穿矿体(图 2c)。闪长玢岩多呈灰黑色或灰绿色, 斑状结构, 斑晶多为斜长石, 并有少量角闪石和黑云母, 不超过 10%。其中角闪石多于黑云母。而长石一般为环带状或条纹状长石, 显示其为偏中性岩石。角闪石和黑云母多发生蚀变, 多为绿泥石化, 少量帘石化。石英含量较少(图 2d)。

2 锆石 SHRIMP 年代学研究

2.1 样品采集与分析方法

本次研究的花岗闪长岩锆石 SHRIMP 年龄样品采于山东省招远市辛庄镇北截金矿围岩(样号 BJ), 闪长玢岩锆石 SHRIMP 年龄样品采于北截金矿-98m 中段 144 线采场(样号 DP)。锆石单矿物挑选工作委托廊坊诚信地质服务公司完成, 先将样品进行机械破碎至 $63\sim 150$ 目, 然后通过磁选、重液

分选和锆石人工挑选, 获得单颗粒锆石。SHRIMP 锆石 U-Pb 测年工作在中国地质科学院北京离子探针中心完成。先将挑选出的纯净锆石裱在不含 U-Th-Pb 的环氧树脂靶上, 样品靶表面进行抛光处理, 用透射光和反光照相并喷金。然后用阴极发光 (CL) 照相, 选择无裂纹、无包体、生长环带较好的锆石颗粒, 进行年龄测定。详细制靶和实验流程参照宋彪等(2002)。本次工作共计测试点位 19 个, 对测定结果用标样的 U-Th-Pb 同位素含量及年龄进行校正, 普通铅根据实测的 ^{204}Pb 进行校正。单个数据点误差为 1σ , 加权平均年龄误差为 95% 可信度。数据处理采用 Squid 和 Isoplot (Ludwig, 2003) 程序, 由北京离子探针中心工作人员协助完成。

2.2 测试结果

从样品中选出的锆石多为无色-浅粉色, 棱角至次棱角长、短柱状, 晶形完整, 表面光滑, 阴极发光照片显示, 其环带结构十分发育, 为典型的岩浆结晶

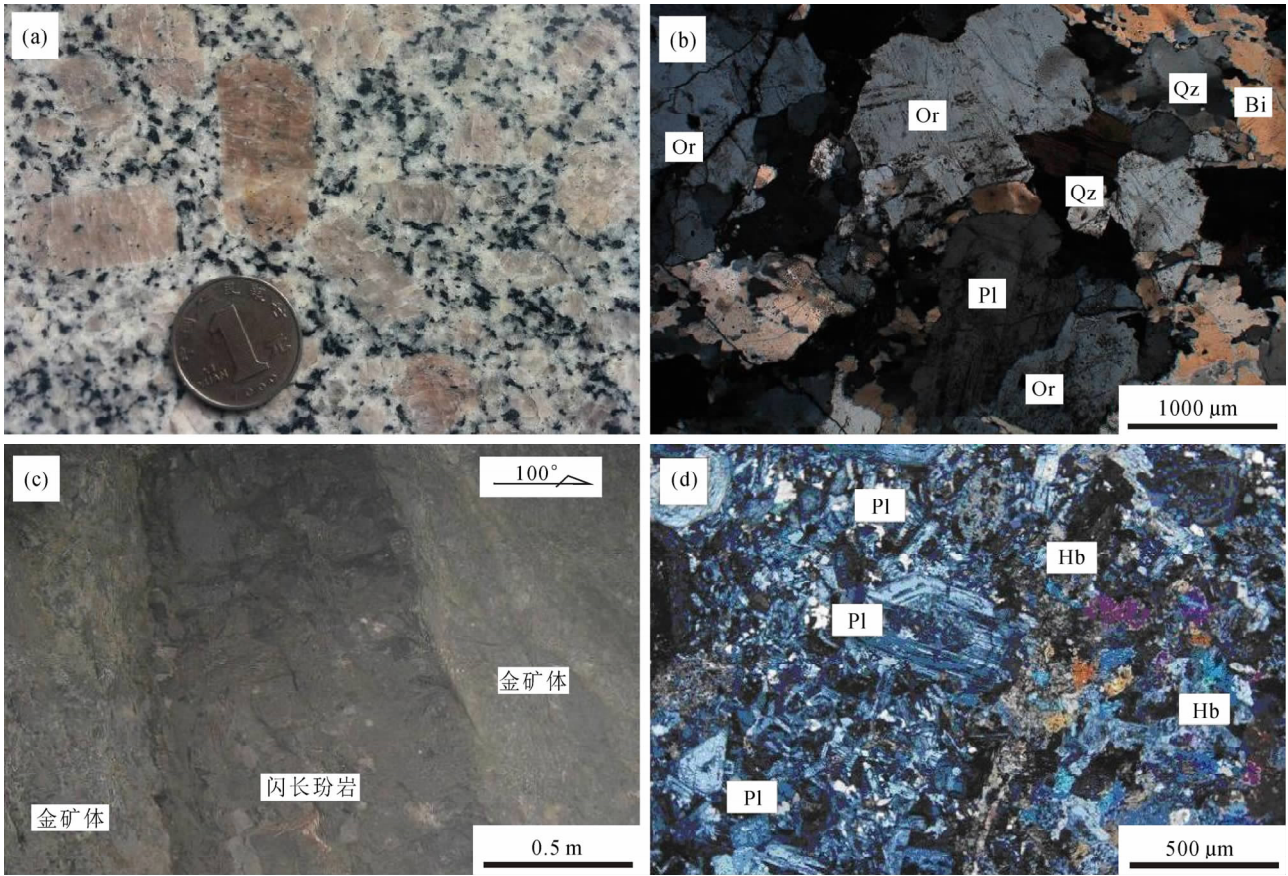


图 2 北截金矿花岗闪长岩和闪长玢岩石学特征

Fig. 2 Petrological signature of granodiorite and diorite-porphyrite in Beijie gold deposit

(a)—花岗闪长岩宏观特征; (b)—花岗闪长岩微观特征; (c)—闪长玢岩与金矿体关系; (d)—闪长玢岩微观特征

(a)—Macroscopic photography of granodiorite; (b)—microscopic photography of granodiorite; (c)—relationship of diorite-porphyrite and gold ore body; (d)—microscopic photography of diorite-porphyrite

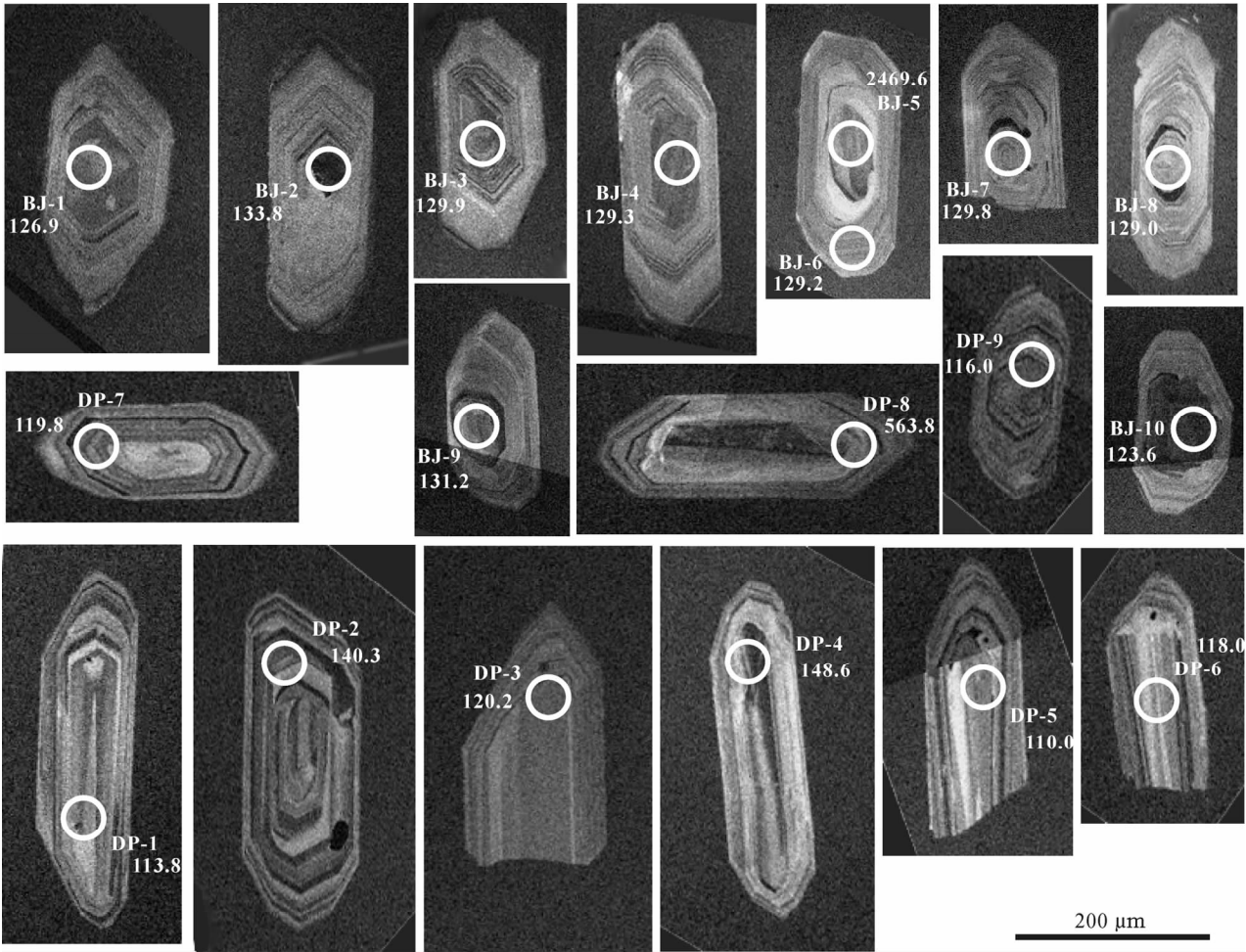


图 3 北截金矿花岗闪长岩和闪长玢岩锆石阴极发光图像

Fig. 3 CL imaging of zircons from granodiorite and diorite-porphyrite in Beijie gold deposit

期锆石(图 3)。锆石颗粒大小多在 50~100 μm ,个别可达 200 μm 。相比之下闪长玢岩中锆石的长宽比更大一些。锆石内部结构清晰,环带规整,少数具有核幔结构,反映其继承性生长的特点。部分锆石具有暗色边缘,可能遭受后期流体作用所致。

本次 SHRIMP 测试结果见表 1。从中可知,除了点 BJ-10 Th 含量较高为 2481×10^{-6} 外,其余测点 U 含量为 $(132\sim 895)\times 10^{-6}$,Th 含量为 $(131\sim 581)\times 10^{-6}$,Th/U 比值为 0.30~1.34 变化不大且接近于 1,反映这些锆石均属岩浆成因。

由 BJ 样品 9 个锆石的测点取得了较为一致的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄,波动范围为 123.6~133.8Ma,且在一致曲线上离散分布,其加权平均值为 $129\pm 1\text{Ma}$,MSWD=1.8(图 4a)。另有 1 个测点年龄为 2469.6Ma。由 DP 样品 6 个锆石的测点取得了较为一致的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄,波动范围为 110.0~120.2Ma,且在一致曲线上离散分布,其加权平均值

为 $117\pm 2\text{Ma}$,MSWD=2.2(图 4b)。另有 3 个测点年龄分别为 140.3Ma、148.6Ma、563.8Ma。

3 讨论

3.1 北截金矿成矿年龄限定

关于胶东金矿的成矿年龄已有不少学者研究(表 2)。本次工作 BJ 样品所测得的锆石 SHRIMP 年龄 $129\pm 1\text{Ma}$ 代表了郭家岭岩序北截岩体的成岩年龄,同时也代表了北截金矿成矿前围岩的年龄;而 DP 样品所测得的锆石 SHRIMP 年龄 $117\pm 2\text{Ma}$ 则代表了闪长玢岩的结晶年龄,即成矿后脉岩的年龄。因此北截金矿的成矿年龄应当介于 117~129Ma 之间,与前人认同的胶东金矿成矿年龄区间 $120\pm 10\text{Ma}$ (张连昌等,2002;周新华等,2002;毛景文等,2003;胡芳芳等,2006;李洪奎等,2013a)十分吻合。

本次测年结果中测得了多个期次的锆石核部年龄,其中 2469.6Ma 可能来自于栖霞 TTG(Ar_3)或胶东

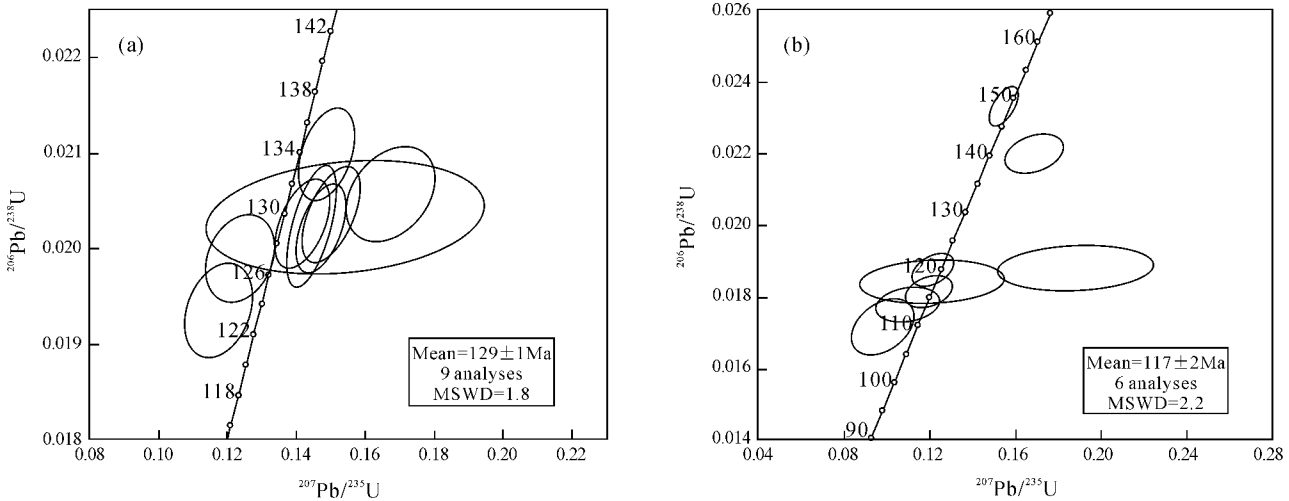


图 4 北截金矿花岗岩闪长岩和闪长玢岩锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 4 U-Pb Concordia diagram of zircon from granodiorite and diorite-porphyrite in Beijie gold deposit

(a)—花岗岩闪长岩; (b)—闪长玢岩

(a)—granodiorite; (b)—diorite-porphyrite

岩群(Ar₃);563.8Ma 可能来自于蓬莱群(Z);148.6Ma 只能来自于玲珑序列(J₃)。这也反映出区内中生代花岗岩和脉岩的形成具有复杂的陆壳混染过程。

胶东金矿主成矿期与伟德山序列的形成时间 105~127Ma(宋明春等,2010)更为近似,与郭家岭序列有 5~10Ma 的时间差。谭俊等(2006)研究表明,同源岩浆成因金矿的成岩成矿存在着一定的时

间差,介于 0~16Ma,均值约为 7Ma。且郭家岭序列与金矿形影不离,而在金矿最为发育的胶西北地区,伟德山序列很不发育,地表仅在艾山出露,深部钻孔也鲜有发现。因此将郭家岭序列确定为胶东金矿成矿母岩更为合适。

3.2 有关胶东金矿成矿期次

胶东金矿所处的渤海陆块(李洪奎等,2013b)

表 1 北截金矿花岗岩闪长岩和闪长玢岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年数据表

Table 1 SHRIMP U-Pb data of zircons from granodiorite and diorite-porphyrite in Beijie gold deposit

样品	²⁰⁶ Pb _c (%)	U (×10 ⁻⁶)	Th (×10 ⁻⁶)	²³² Th/ ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb (×10 ⁻⁶)	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±%	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±%	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±%	errcorr	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U(Ma)	±%	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb(Ma)	±%
BJ-1	0.32	580	406	0.72	9.9	0.0452	4.8	0.12	5.1	0.0199	1.6	0.307	126.9	2.0	-44	117
BJ-2	-0.38	712	581	0.84	12.8	0.0515	3.2	0.15	3.6	0.0210	1.5	0.428	133.8	2.0	263	74
BJ-3	-0.13	338	166	0.51	5.9	0.0535	3.1	0.15	3.5	0.0203	1.6	0.450	129.9	2.0	350	71
BJ-4	-0.21	478	342	0.74	8.3	0.0507	3.2	0.14	3.6	0.0203	1.5	0.431	129.3	2.0	228	75
BJ-5	0.01	233	131	0.58	93.5	0.1654	0.4	10.65	1.6	0.4668	1.5	0.961	2469.6	31.3	2512	7
BJ-6	-0.09	433	218	0.52	7.5	0.0517	2.6	0.14	3.3	0.0202	2.1	0.627	129.2	2.7	274	60
BJ-7	3.54	308	168	0.56	5.6	0.0549	16.8	0.15	16.9	0.0203	2.0	0.116	129.8	2.5	407	376
BJ-8	-0.20	476	293	0.64	8.2	0.0528	2.8	0.15	3.2	0.0202	1.5	0.475	129.0	2.0	320	65
BJ-9	-0.63	320	286	0.93	5.6	0.0590	4.7	0.17	5.0	0.0206	1.6	0.323	131.2	2.1	566	103
BJ-10	0.90	487	2481	5.27	8.2	0.0439	5.1	0.12	5.4	0.0194	1.8	0.323	123.6	2.1	-115	126
DP-1	1.43	216	271	1.30	3.3	0.0447	8.6	0.11	8.8	0.0178	1.8	0.206	113.8	2.0	-74	210
DP-2	-0.46	500	147	0.30	9.4	0.0556	5.0	0.17	5.3	0.0220	1.6	0.308	140.3	2.2	437	111
DP-3	-1.88	132	169	1.32	2.1	0.0722	12.3	0.19	12.5	0.0188	2.2	0.177	120.2	2.6	993	251
DP-4	0.14	895	367	0.42	18.0	0.0479	2.2	0.15	2.7	0.0233	1.5	0.555	148.6	2.2	97	53
DP-5	0.75	340	440	1.34	5.1	0.0414	8.7	0.10	9.2	0.0172	3.0	0.324	110.0	3.3	-260	221
DP-6	0.86	147	180	1.26	2.4	0.0475	18.1	0.12	18.2	0.0185	2.2	0.118	118.0	2.5	75	431
DP-7	0.44	534	396	0.77	8.6	0.0471	5.0	0.12	5.3	0.0188	1.7	0.321	119.8	2.0	52	119
DP-8	0.11	325	157	0.50	25.6	0.1330	1.1	1.68	1.9	0.0914	1.6	0.814	563.8	8.4	2138	19
DP-9	0.22	643	290	0.47	10.1	0.0479	5.9	0.12	6.1	0.0182	1.6	0.264	116.0	1.8	92	139

地质历史悠久而复杂,经历了太古宙陆核形成、元古宙碰撞拼贴、古生代隆升剥蚀、中生代地台活化等演化阶段,决定了胶东金矿具有多期次叠加改造成矿的特点。

毛景文等(2003,3005)总结华北、长江中下游金属矿床同位素年龄的基础上,提出中国东部大规模成矿时间在 200~160Ma、140Ma 左右和 130~110Ma 三个时期,分别对应的地球动力学环境为碰撞造山、构造体制大转折、岩石圈大规模拆沉。李洪奎等(2013a)提出胶东地区中生代具有钼金、金银、金多金属矿三期成矿事件(表 3),对应年龄分别为 160~140Ma、130~110Ma、105~80Ma。

杨立强等(2014)进一步研究了近年来胶东金矿蚀变绢云母 Ar-Ar 年龄,指出胶东地区早白垩世可能存在 134~126Ma、122~119Ma、110~107Ma 三期金成矿事件。本文认为这个结论还值得进一步研究,仅从统计直方图(图 5)上看,确实存在三个年龄峰值,但细看除了主成矿期 120Ma 左右峰值比较明显外,另两个峰值只有 2~3 个数据。在统计数据样本较少的情况下,不同实验室的系统误差对统计结果的影响将显著增大,这里不能够排除由于统计样品数量不够而造成的“年龄间隔”,也可能相关测年数据足够多之后会由三峰式分布变成正态分布。这一点还有待于更多胶东金矿年龄数据的发布,或相

表 2 胶东金矿年龄统计表
Table 2 Statistics of ages from gold deposits in Jiaodong area

金矿床	年龄(Ma)	测试对象	同位素体系	计算方法	资料来源
莱州新城	116.6±5.3	黄铁绢英岩	Rb-Sr	等时线年龄	杨进辉等,2000b
招远玲珑西山	121.8±3.5	矿石、黄铁矿	Rb-Sr	等时线年龄	杨进辉等,2000a
招远玲珑大开头	122.5±3.1	矿石、黄铁矿	Rb-Sr	等时线年龄	杨进辉等,2000a
招远玲珑大开头	120.0±29	矿石、黄铁矿	Rb-Sr	等时线年龄	杨进辉等,2000a
招远玲珑九曲	121.6±8.1	黄铁矿	Rb-Sr	等时线年龄	杨进辉等,2000a
招远玲珑九曲	110.6±2.4	矿石	Rb-Sr	等时线年龄	杨进辉等,2000a
招远玲珑九曲	110.0±10.0	矿石	Rb-Sr	等时线年龄	杨进辉等,2000a
招远玲珑九曲	111.7±3.8	矿石、黄铁矿	Rb-Sr	等时线年龄	杨进辉等,2000a
乳山蓬家夼	118.42±0.25	石英	Ar-Ar	坪年龄	张连昌等,2002
乳山蓬家夼	120.53±0.49	石英	Ar-Ar	坪年龄	张连昌等,2002
乳山蓬家夼	117.49±0.25	黑云母	Ar-Ar	坪年龄	张连昌等,2002
平度大庄子	117.39±0.64	石英	Ar-Ar	坪年龄	张连昌等,2002
乳山发云夼	128.49±7.2	黄铁矿	Rb-Sr	等时线年龄	张连昌等,2002
莱州东季	116.07±0.3	钾长石	Ar-Ar	坪年龄	李厚民等,2003
莱州东季	115.22±0.2	石英	Ar-Ar	坪年龄	李厚民等,2003
莱州仓上	121.3±0.2	绢云母	Ar-Ar	坪年龄	Zhang 等,2003
莱州焦家	119.2~120.5(8)	绢云母、白云母	Ar-Ar	坪年龄	Li 等,2003
莱州新城	120.2~120.7(8)	绢云母	Ar-Ar	坪年龄	Li 等,2003
莱州望儿山	119.4~121.0(9)	绢云母、白云母	Ar-Ar	坪年龄	Li 等,2003
乳山金青顶	117±3	热液锆石	U-Pb	谐和图	胡芳芳等,2004
乳山金青顶	128.8±0.1	绢云母	Ar-Ar	坪年龄	胡芳芳等,2006
蓬莱河西	122.3±3.1	黄铁矿	Rb-Sr	等时线年龄	侯明兰等,2006
蓬莱黑岚沟	114±27	黄铁矿	Rb-Sr	等时线年龄	侯明兰等,2006
蓬莱大柳行	120±22	黄铁矿	Rb-Sr	等时线年龄	侯明兰等,2006
乳山蓬家夼	119.1~120.9(7)	绢云母	Ar-Ar	坪年龄	Li 等,2006
乳山金青顶	107.7~109.3(6)	绢云母	Ar-Ar	坪年龄	Li 等,2006
招远玲珑	120.6±0.9	单颗粒黄铁矿	Rb-Sr	等时线年龄	Qiu 等,2008
招远玲珑	122	单颗粒石英	Rb-Sr	等时线年龄	Qiu 等,2008
招远玲珑	120	单颗粒绢云母	Rb-Sr	等时线年龄	Qiu 等,2008
乳山胡八庄	126.5±5.6	绢云母	Rb-Sr	等时线年龄	蔡亚春等,2011
招远大尹格庄	130.52±0.52	绢云母	Ar-Ar	坪年龄	Yang 等,2014
招远大尹格庄	128.67±0.5	白云母	Ar-Ar	坪年龄	Yang 等,2014
招远大尹格庄	113.37±0.56	绢云母	Ar-Ar	坪年龄	Yang 等,2014
招远大尹格庄	126.8±0.59	绢云母	Ar-Ar	坪年龄	Yang 等,2014
莱州望儿山	130.35±0.96	白云母	Ar-Ar	坪年龄	Li 等,2015

注:年龄值括号内数值为单件样品测试次数;只统计了 2000 年以来发表的数据。

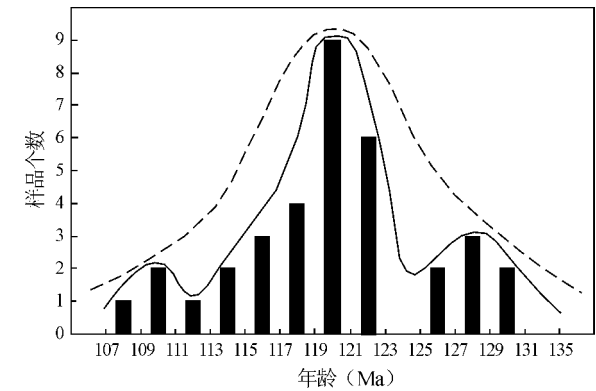


图 5 胶东金矿年龄分布直方图

Fig. 5 Distribution histogram of ages from gold deposits in Jiaodong area

关地质证据的支持。随着同位素测年技术的不断发展和完善,测试对象的年龄结果越来越精确,每一期成矿事件的划分也将越来越细致。

3.3 胶东金矿成因探讨

自 Groves 等(1998)、Goldfarb 等(1998)提出造山型金矿概念以来,其迅速成为地球科学研究的热点。胶东金矿产出的大地构造背景十分微妙,同时处于华北—扬子板块碰撞造山带、太平洋板块—欧亚板块俯冲造山带的边缘。陈衍景等(2004)认为胶东大规模金成矿作用形成于华北—扬子板块陆陆碰撞后的减压增温体制,而更多学者认为与太平洋板块白垩纪以来的俯冲有关(蒋少涌等,2009;郭春影等,2011),还有的认为与两个都有关(周新华等,2002;李洪奎等,2010、2011)。

但是,从构造环境上看,中国东部与典型的造山型金矿产地——北美科迪勒拉造山带存在显著差异。中国东部所处的太平洋板块西缘是海沟—岛弧—弧后盆地体系,而北美科迪勒拉造山带所处的太平洋板块东缘是海沟—大陆弧体系。事实是,不管是碰撞造山作用还是俯冲造山作用,其必然结果之一就是陆壳发生增厚,这与侏罗—白垩纪以来中国东部岩石圈大规模减薄(吴福元等,1999、2014;邓晋福等,2003;翟明国等,2005)的现象明显不符。周军等(2004)指出中国东部与金矿相关的花岗岩类可能

形成于一个以伸展为主导的环境。翟明国(2004)认为可能与大规模地幔隆起有关。Goldfarb 等(2007)也指出,亚洲东部的造山型金矿与世界其他典型造山型金矿不同,可能与白垩纪南太平洋海盆中的巨型地幔柱有关。张旗等(2009)认为中国东部燕山期大规模岩浆活动与太平洋板块俯冲完全无关,可能与超级地幔柱有关;并将大火成岩省分为 B 型(发育玄武岩)和 G 型(发育大规模花岗质岩浆)两大类。牛树银等(2011)认为胶东恰好位于地幔热柱的中心部位,深源含金热液通过地幔热柱多级演化的形式迁移到各种有利部位成矿。Charles 等(2013)表明,亚洲东部晚白垩世大规模伸展盆地与变质核杂岩、岩浆作用伴生,是大型裂谷系统的突出表现。而大型裂谷系统的出现则往往是受地幔柱上升作用的影响。

因此,胶东金矿形成于俯冲造山带的弧后伸展环境,其形成与演化受中生代以来中国东部岩石圈大规模减薄、地幔上涌或陆缘裂谷的影响,最终成因可能与地幔柱有关。

4 结论

(1)SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学研究表明北截金矿成矿前围岩(花岗闪长岩)形成于 $129 \pm 1\text{Ma}$,成矿后脉岩(闪长玢岩)形成于 $117 \pm 2\text{Ma}$,限定了北截金矿的成矿年龄为 $117 \sim 129\text{Ma}$ 。

(2)花岗闪长岩、闪长玢岩锆石样品中测得 Ar_3 、 Z 、 J_3 等多个期次的继承锆石年龄,表明该地区中生代花岗岩和脉岩的形成经历了复杂的陆壳混染过程。

(3)根据同源岩浆的成岩成矿时间差及岩体与金矿的空间位置,郭家岭序列更接近于胶东金矿成矿热液的岩浆源。

(4)胶东金矿形成于俯冲造山带的弧后伸展环境,其形成与演化受中生代以来中国东部岩石圈大规模减薄、地幔上涌或陆缘裂谷的影响,最终成因可能与地幔柱有关。

致谢:胶东野外工作得到山东招金集团有限公

表 3 胶东金矿中生代成矿期次(据李洪奎等,2013a 整理)

Table 3 Mesozoicmetalogenic stage of gold deposit in Jiaodong area (after Li et al. , 2013)

年龄(Ma)	岩浆事件	成矿系列	典型矿床	矿床年龄来源
160~140	玲珑—昆崙山片麻状二长花岗岩	Mo-W-Au	邢家山钨钼矿、留村金矿	刘善宝等,2011;姜晓辉等,2011
130~110	郭家岭花岗闪长岩—花岗岩	Au-Ag	望儿山金矿、玲珑金矿	Li 等, 2015;Qiu 等, 2008
105~80	伟德山闪长岩—花岗闪长岩—花岗岩	Cu-Pb-Zn-Mo-Au	尚家庄钼矿	李杰等,2013;

司的大力支持,SHRIMP 锆石 U-Pb 测年及数据处理由杨之青研究员协助完成,薄片鉴定得到了刘鹏瑞研究员和孙雨沁工程师的大力帮助,梁太涛、嵯传源工程师在讨论中给予了很大启发,稿件得到了审稿人给出的宝贵意见,在此一并表示谢意。

注 释

① 信息来源于山东省国土资源资料档案馆馆藏资料。

参 考 文 献

蔡亚春,范宏瑞,胡芳芳,杨奎峰,蓝廷广,于虎,柳玉明. 2011. 胶东胡八庄金矿成矿流体、稳定同位素及成矿时代研究. 岩石学报, 27(5): 1341~1351.

陈衍景, Pirajno F, 赖勇, 李超. 2004. 胶东矿集区大规模成矿时间和构造环境. 岩石学报, 20(4): 907~922.

丛源. 2005. 胶东西北部北截一大河一带造山型金矿的地质特征及矿化富集规律. 吉林大学. 1~56.

邓晋福, 苏尚国, 赵海玲, 莫宣学, 肖庆辉, 周肃, 刘翠, 赵国春. 2003. 华北地区燕山期岩石圈减薄的深部过程. 地学前缘, 10(3): 41~50.

郭春影, 张文钊, 葛良胜, 夏锐. 2011. 中国造山型金矿床时空分布及找矿前景. 矿物学报, 2011(Supp.): 340~341.

侯明兰, 蒋少涌, 姜耀辉, 凌洪飞. 2006. 胶东蓬莱金成矿区的 S-Pb 同位素地球化学和 Rb-Sr 同位素年代学研究. 岩石学报, 22(10): 2525~2533.

胡芳芳, 范宏瑞, 杨进辉, 王非, 翟明国. 2006. 胶东乳山金矿蚀变岩中绢云母 40Ar/39Ar 年龄及其对金成矿事件的制约. 矿物岩石地球化学通报, 25(2): 109~114.

胡芳芳, 范宏瑞, 杨进辉, 万渝生, 刘敦一, 翟明国, 金成伟. 2004. 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. 科学通报, 49(12): 1190~1198.

蒋少涌, 戴宝章, 姜耀辉, 赵海香, 侯明兰. 2009. 胶东和小秦岭: 两类不同构造环境中的造山型金矿省. 岩石学报, 25(11): 2727~2738.

姜晓辉, 范宏瑞, 胡芳芳, 杨奎峰, 孙宗峰, 孙之夫. 2011. 胶西北留村金矿成矿流体特征与矿床成因. 矿床地质, 30(3): 511~521.

李洪奎, 耿科, 嵯传源, 梁太涛, 张贵丽. 2010. 山东胶东碰撞造山型金矿形成的动力学背景. 地球科学与环境学报, 32(Supp.): 13~14.

李洪奎, 李逸凡, 耿科, 嵯传源, 梁太涛, 杨之利. 2013a. 山东鲁东地区中生代构造-岩浆事件与金矿成矿作用. 地球科学前沿, 3: 141~154.

李洪奎, 杨永波, 耿科, 曹丽丽. 2013b. 山东重大基础地质问题研究进展. 岩石学报, 29(2): 594~606.

李厚民, 毛景文, 沈远超, 刘铁兵, 张连昌. 2003. 胶西北东季金矿床钾长石和石英的 Ar-Ar 年龄及其意义. 矿床地质, 22(1): 72~77.

李杰, 宋明春, 王美云, 李世勇, 周明岭, 倪师军, 张成江, 丁正江, 岳跃破. 2013. 胶东尚家庄钼矿床 Re-Os 同位素年龄及其地质意义. 中国地质, 40(5): 1612~1621.

刘善宝, 王登红, 陈毓川, 周会青, 屈文俊, 王成辉. 2011. 胶东半岛烟台地区邢家山钼钼矿床地质特征及其辉钼矿 Re-Os 同位素测年. 地质通报, 30(8): 1294~1302.

毛景文, 李厚民, 王义天, 张长青, 王瑞廷. 2005. 地幔流体参与胶

东金矿成矿作用的氢氧碳硫同位素证据. 地质学报, 79(6): 839~857.

毛景文, 张作衡, 王义天, Jia Yiefei, Kerrich R. 2002. 华北克拉通周缘中生代造山型金矿床的氮同位素和氮含量记录. 中国科学(D辑), 32(9): 705~716.

毛景文, 张作衡, 余金杰, 王义天, 牛宝贵. 2003. 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. 中国科学(D辑), 33(4): 289~299.

牛树银, 孙爱群, 张建珍, 马宝军, 王宝德, 陈超, 张福祥, 刘成, 张晓飞. 2011. 胶东西北部金矿集区中深部控矿构造探讨. 地质学报, 85(7): 1094~1107.

彭晓蕾, 李碧乐, 张渊, 孙丰月. 2000. 山东招远北截金矿床的矿化特征及成矿意义. 黄金, 21(11): 9~11.

宋彪, 张玉海, 万渝生, 简平. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论. 地质论评, 5(增): 26~30.

宋明春, 崔书学, 伊丕厚, 徐军祥, 袁文花, 姜洪利. 2010. 胶西北金矿集区中深部大型-超大型金矿找矿与成矿模式. 北京: 地质出版社. 1~339.

宋雪龙, 李俊建, 李秀章, 党智财, 赵泽霖, 于成鹏. 2014. 胶东金矿床成矿流体、稳定同位素及成矿时代研究进展. 地质找矿论丛, 29(1): 13~19.

唐宇, 从源, 李碧乐, 高兵, 吴强. 2012. 胶东西北部北截一大河一带造山型金矿矿化富集规律及潜力评价. 中国矿业, 21(Supp.): 457~460.

谭俊, 魏俊浩, 谭文娟, 郭大招. 2006. 同源岩浆成因金矿成岩成矿时差的统计研究. 地质论评, 52(1): 54~62.

汪在聪, 刘建明, 刘红涛, 曾庆栋, 张松, 王永彬. 2010. 稳定同位素热液来源示踪的复杂性和多解性评述——以造山型金矿为例. 岩石矿物学杂志, 29(5): 577~590.

吴福元, 孙德有. 1999. 中国东部中生代岩浆作用与岩石圈减薄. 长春科技大学学报, 29(4): 313~318.

吴福元, 徐义刚, 朱日祥, 张国伟. 2014. 克拉通岩石圈减薄与破坏. 中国科学: 地球科学, 44(11): 2358~2372.

颜丹平, 万天丰, 柴久春. 1997. 山东招远北截金矿床地质特征及深部成矿预测. 矿床地质, 16(4): 365~375.

杨进辉, 周新华. 2000a. 胶东地区玲珑金矿矿石和载金矿物 Rb-Sr 等时线年龄与成矿时代. 科学通报, 45(14): 1547~1553.

杨进辉, 周新华, 陈立辉. 2000b. 胶东地区破碎带蚀变岩型金矿时代的测定及其地质意义. 岩石学报, 16(3): 454~458.

杨立强, 邓军, 王中亮, 张良, 郭林楠, 宋明春, 郑小礼. 2014. 胶东中生代金成矿系统. 岩石学报, 30(9): 2447~2467.

翟明国, 范宏瑞, 杨进辉, 苗来成. 2004. 非造山带型金矿——胶东型金矿的陆内成矿作用. 地学前缘, 11(1): 85~98.

翟明国, 樊祺诚, 张宏福, 隋建立. 2005. 华北东部岩石圈减薄中的下地壳过程岩浆底侵、置换与拆沉作用. 岩石学报, 21(6): 1509~1526.

张连昌, 沈远超, 刘铁兵, 曾庆栋, 李光明, 李厚民. 2002. 山东胶莱盆地北缘金矿 Ar-Ar 法和 Rb-Sr 等时线年龄与成矿时代. 中国科学 D 辑, 32(9): 727~734.

张旗, 金惟俊, 李承东, 王元龙. 2009. 中国东部燕山期大规模岩浆活动与岩石圈减薄: 与大火成岩省的关系. 地学前缘, 16(2): 21~51.

周军, 祁世军. 2004. 造山带金矿研究现状与存在的问题. 地球科学与环境学报, 26(2): 16~23.

周清文. 1992. 北截金矿金银矿物赋存规律及选矿产品金嵌连状态研究. 有色矿冶, 1992(4): 4~10.

周新华, 杨进辉, 张连昌. 2002. 胶东超大型金矿的形成与中生代华北大块岩石圈深部过程. 中国科学(D辑), 32(Supp.): 11~

20. Charles N, Augier R, Gumiaux G, Monie P, Chen Yan, Faure M, Zhu Rixiang. 2013. Timing, duration and role of magmatism in wide rift systems: Insights from the Jiaodong Peninsula (China, East Asia). *Gondwana Research*, 24(1): 412~428.
- Goldfarb R J, Groves D I, Gardoll S. 2001. Orogenic gold and geologic time; a global synthesis. *Ore Geology Reviews*, 18(1-2): 1~75.
- Goldfarb R J, Hart C, Davis G, Groves D I. 2007. East Asian gold: deciphering the anomaly of Phanerozoic gold in Precambrian cratons. *Economic Geology*, 102(3): 341~345.
- Goldfarb R J, Phillips G N, Nokleberg W J. 1998. Tectonic setting of synorogenic gold deposits of the Pacific Rim. *Ore Geology Reviews*, 13(1-5): 185~218.
- Groves D I, Goldfarb R J, Gebre-Mariam M, Hagemann S G, Robert F. 1998. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geology Reviews*, 13(1-5): 7~27.
- Li Jianwei, Vasconcelos P M, Zhang Jun, Zhou Meifu, Zhang Xiaojun, Yang Fenghua. 2003. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ constraints on a temporal link between gold mineralization, magmatism, and continental margin transtension in the Jiaodong gold province, Eastern China. *Journal of Geology*, 111: 741~751.
- Li Jianwei, Vasconcelos P, Zhou Meifu, Zhao X F, Ma C Q. 2006. Geochronology of the Pengjiakuang and Rushan gold deposits, eastern Jiaodong gold province, northeastern China: Implications for regional mineralization and geodynamic setting. *Economic Geology*, 101(5): 1023~1038.
- Li Yujie, Li Shengrong, Santosh M, Liu Sheng'ao, Zhang Long, Li Wentao, Song Yingxin, Wang Bixue. 2015. Zircon geochronology, geochemistry and stable isotopes of the Wang'ershan gold deposit, Jiaodong Peninsula, China. *Journal of Asian Earth Sciences*, in press.
- Ludwig K R. 2008. User's manual for isoplot 3. 70, a geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley: Berkeley Geochronology Center Special Publication. 4: 25~32.
- Qiu Lili, Chen Fukun, Yang Jinhui, Fan Hongrui. 2008. Single grain pyrite Rb - Sr dating of the Linglong gold deposit, eastern China. *Ore Geology Reviews*, 34(3): 263~270.
- Yang Liqiang, Deng Jun, Goldfarb R J, Zhang Jing, Gao Bangfei, Wang Zhongliang. 2014. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronological constraints on the formation of the Dayingezhuang gold deposit: New implications for timing and duration of hydrothermal activity in the Jiaodong gold province, China. *Gondwana Research*, 25: 1469~1483.
- Zhang Xiaou, Cawood P A, Wilde S A, Liu Ruqi, Song Hailin, Li Wen, Snee W. 2003. Geology and timing of mineralization at the Cangshang gold deposit, north-western Jiaodong Peninsula, China. *Mineralium Deposita*, 38: 141~153.

Zircon SHRIMP Age of Diorite-Porphyrite in Beijie Gold Deposit from the Northwest Jiaodong Area and Its Geological Implications

GENG Ke^{1,3)}, WANG Ruijiang²⁾, LI Hongkui³⁾, SHAN Wei³⁾, LI Dapeng³⁾

1) School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences in Beijing, Beijing 100083, China;

2) Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

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

Abstract

The Beijie gold deposit in Zhaoyuan city is one of the earliest discovered gold deposit in the northwest Jiaodong area. It is a typical altered tectonite-type gold deposit which lies in beresitization alteration zone strictly controlled by an NEE fault. This article studies geological background and zircon SHRIMP geochronology of diorite-porphyrite cutting through orebody and Beijie intrusion from Guojialing sequences. Dating result of zircons from diorite-porphyrite is $117 \pm 2\text{Ma}$ and Beijie intrusion is $129 \pm 1\text{Ma}$, suggesting that the Beijie gold deposit was formed in early Cretaceous with an age of $117 \sim 129\text{Ma}$. Multiple stages of inherited zircon age of $\text{Ar}_3, \text{Z}, \text{J}_3$ gained from zircons in Beijie intrusion and diorite-porphyrite imply that the process of rock forming was very complicated and inherited. Guojialing sequence is $5 \sim 10\text{Ma}$ earlier than gold deposits in the Jiaodong area, and it is more closer to gold deposits in space distribution, suggesting that it is much more closer to a magma source of ore-forming fluid in the Jiaodong area. Ore-forming stage and tectonic environment of Jiaodong gold deposits are also discussed. It is concluded that the Jiaodong gold concentration area was formed in an environment of back-arc extending. Its formation and evolution were controlled by large-scale lithospheric thinning, mantle upwelling, and continental margin rift in east China in Mesozoic. It was very probably related to a mantle plume.

Key words: zircon SHRIMP age; diorite-porphyrite; Beijie gold deposit; northwest Jiaodong area; Guojialing