

论扬子板块东北缘的俯冲与回撤对山东地块的影响

王照波^{1,2}, 王庆军¹

(1. 山东省第七地质矿产勘查院, 山东 临沂 276006; 2. 中国地质大学, 湖北 武汉 430074)

摘要:通过对山东中生代侵入岩体的时空展布、岩石化学及同位素特征的综合分析研究,提出了扬子板块东北缘俯冲与回撤的演化机制,分析了在这种机制下的成岩、成矿演化规律。认为扬子板块东北缘的俯冲与回撤控制了山东中生代的地质演化过程,其回撤在岩石圈深部造成的真空,导致软流圈物质的隆升,是胶东金矿大规模成矿作用的内在控制因素。

关键词:板块回撤;折返;苏鲁造山带;扬子板块;中生代;胶东金矿

中图分类号: P313

文献标识码: A

中生代,从三叠纪、侏罗纪到白垩纪,自 250 ~ 65 Ma,塑造了山东省现代整体地质构造格架的同时,也产生了胶东金矿的大规模成矿作用。其重要性不言而喻,那么中生代的山东,究竟发生了什么样的地质事件,其地质过程如何?前人为此做了大量的研究工作。笔者在收集、分析前人形成的大量地质资料的基础上,对山东中生代的地质演化过程进行解析。

1 山东区域地质概况

山东大地构造单元大部分属华北板块,东部沿海一带则属大别-苏鲁造山带(胶南造山带),扬子板块的东北缘以郯庐断裂带为西界,以黄海断裂为东界,以苏鲁碰撞带为北界形成插入华北的楔形体。华北板块在山东又划分为华北拗陷、鲁西地块与胶北地块 3 个Ⅲ级构造单元,而鲁西地块又进一步划分为鲁中隆起区、鲁西南潜隆区与沂沭断裂带 3 个Ⅳ级构造单元。该文重点论述的鲁西地区,主要指大地构造单元中的鲁中隆起区;鲁东地区主要指胶北隆起与胶莱盆地;沂沭断裂带主要指郯部-葛沟断裂以东与昌邑大店断裂以西之间的由火山岩盆地与汞丹山凸起组成的区域(图 1)。

山东省早前寒武纪基底构造演化同华北克拉通

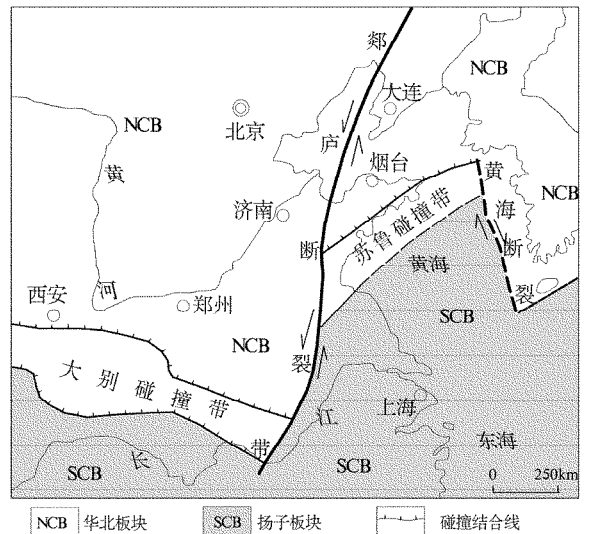


图 1 扬子板块东北缘区域地质图(据万丰年)

相似。大致以现在的沂沭断裂为界,山东东西两侧早前寒武纪变质岩系既有一定的相似性,又有显著的差异。中太古代出现以麻粒岩为代表的古陆块,西部麻粒岩伴有大面积的紫苏花岗岩,而东部则未见分布。新太古代东、西部虽然均存在大面积的 TTG 花岗岩系,但西部出现以科马提岩为代表的典型的绿岩带建造,而东部的绿岩建造中却未见典型的海相超镁铁质火山岩。古元古代西部发现大量花岗岩类侵入岩,而东部则分布有大面积陆缘海相沉

收稿日期:2013-12-08;修订日期:2014-02-18;编辑:曹丽丽

作者简介:王照波(1971—),男,山东临沂人,工程师,主要从事成矿预测研究工作;E-mail:lwzb@163.com。

积建造^[1]。

鲁西地区从新元古代到古生代的较为稳定的海相、滨海沉积的一套碳酸盐岩与碎屑岩,鲁东地区的古生代沉积地层现在已经由于隆起被剥蚀殆尽^[2]。此后就进入了大规模的岩浆侵入与火山喷发的中生代。

2 中生代岩浆岩时空分布规律

理解地质事件演化过程的关键是确定地质事件发生的时间。现代同位素地质年代学的发展,为准

确确定地质体的形成时间提供了依据。近些年来,众多研究者对山东地区的中生代地质事件(主要为岩浆活动与成矿)进行了同位素年代学研究,获得了大量测年数据^[3-35]。对测年数据进行图解,整理分析,总结规律,是分析中生代地质过程前提。

2.1 基于年龄分布串珠图的分析

根据前人报道的测年数据(共收集到的146个测年数据),制成同位素年龄分布串珠图(图2)。根据对这一图件进行分析,可以得到如下认识:

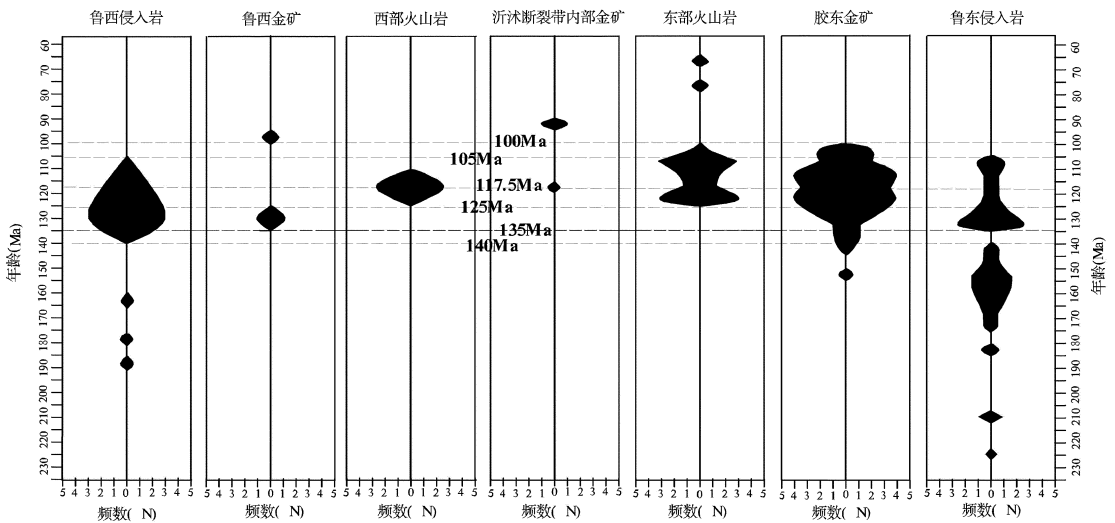


图2 山东中生代岩浆岩成岩及金矿成矿年龄分布串珠图

胶东与鲁西的岩浆侵入、火山喷发及成矿时代存在明显差异。胶东地区的岩浆侵入时间与成矿时间都早于鲁西地区,胶东的岩浆侵入、成矿与火山喷发大致存在两次峰值年龄,而鲁西基本上仅有一次峰值。胶东金矿的成矿时代峰值期晚于胶东岩浆岩的侵入高峰期,显示了明显的滞后特征,但胶东金矿的形成时间主要集中于第二个岩浆侵入期内。鲁西金矿成矿的高峰期与岩浆侵入的高峰期是一致的,这与鲁西金矿多形成于岩浆岩与围岩的接触带中的特征是吻合的。

山东省中生代的火山作用峰期时代略晚于岩浆侵入的时代。且沂沭断裂带两侧的火山是同时间喷发的,这表明约在125 Ma左右,沂沭断裂带两侧的裂谷是同时开启的,并暗示,在鲁西、鲁东岩浆上侵时,沂沭断裂带应尚没有大规模的张性活动。鲁西与鲁东金矿成矿作用的开启时间都早于火山喷发年龄,表明金矿的成矿与岩浆作用相关,而与火山作用

没有太多的内在联系。沂沭断裂带及其两侧的裂谷及拉分盆地中的火山喷发作用,是在鲁西与胶东岩浆侵入作用明显趋于减弱的情况之下开始的。沂沭断裂带东侧的火山作用的时间比西侧的长,并且东侧比西侧多了一个喷发旋回,形成了2个明显的峰值,且西侧火山喷发达到高潮时,东侧则出现了喷发的间歇期,但当东侧火山再次剧烈喷发时,西侧火山喷发已经停止,裂谷终结,这显示了其机制存在差异。当胶东火山喷发的第二次高潮到临之时,鲁西、胶东的岩浆侵入作用则趋于尾声。

2.2 鲁西中生代侵入岩时空展布特征

图3标注了鲁西侵入岩位置及其同位素年龄,图3中一个岩体中相同岩性或相近岩石的同位素年龄采用平均值,不同的岩性所获得的同位素年龄采用最高值进行标注,这样则显示为该岩体最早侵入时间。按照侵入时间,鲁西中生代侵入岩大致显示出呈3个自南西向北东逐渐变新的岩浆岩带,也就

是说,鲁西中生代岩浆岩的侵入首先是从平邑铜石岩体及苍山东部开始的,侵位时间为 182 ~ 160 Ma,为侏罗纪侵位。然后是沂南上峪岩体—济南岩体带侵位,侵位时间为 132 ~ 130 Ma,为早白垩世,最后为沂南铜井—淄博金岭岩体带,侵位时间稍后,为 128.5 ~ 126.5 Ma。

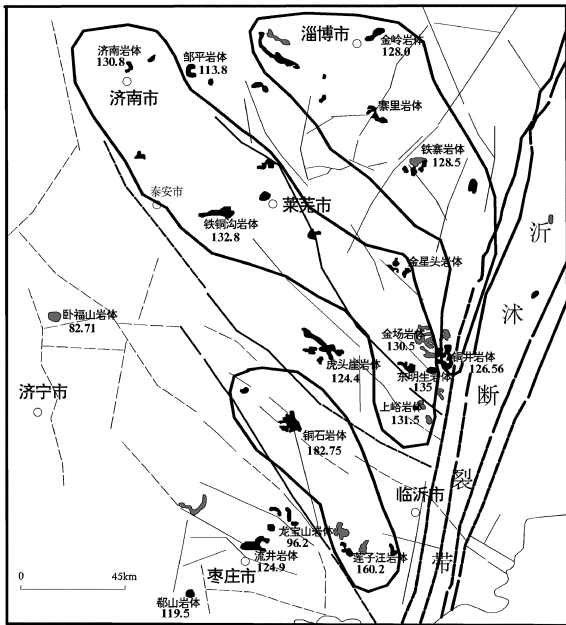


图3 鲁西中生代侵入岩时空展布图(底图据宋明春)
(数字表示侵位年龄,单位为 Ma)

在上述3个岩体带结束侵位之后,岩浆的侵入作用就没有显示出再向前推进的特征,多在原有岩体周边形成新的侵入作用,形成杂岩体,并同时伴有火山喷发(蒙阴盆地火山岩 124.0 Ma 与费县方城盆地火山岩 119.0 Ma),在铜石岩体的南北两侧侵位了蒙阴虎头崖岩体(124.4 Ma)与苍山流井岩体(124.9 Ma),以及微山郗山岩体(119.5 Ma)。最后是苍山龙宝山岩体(96.2 Ma)与济宁卧福山岩体(82.7 Ma)的侵位,最后鲁西结束中生代岩浆岩的侵入。

鲁西中生代岩浆岩的侵位展布特征,显示了岩浆的侵位作用由南西方向开始,然后向东北方向推进的演化特征。这种特征除了在区域尺度上之外,还有就是在局部岩体中也显示的较为明显,如沂南上峪杂岩体也显示了此种演化特征。

2.3 鲁东中生代侵入岩时空展布特征

鲁东侵入岩的长轴走向为 NE 向,与主体构造线展布方向相一致(图4)。岩体按形成时代由东南

方向向北西方向依次展布,以石岛—甲子山岩体带开始,其侵入年龄为 225 ~ 212 Ma,向北西方向推进到文登—乳山岩体带,其侵位年龄为 160 Ma 左右,最后在最北西端侵位形成了艾山—玲珑岩体带,侵位年龄为 156 Ma。此后,经历了一个间歇期后,于 135 Ma 年再次活化,并由北西方向转为南东方向依次侵位了郭家岭—昆嵛山岩体,并在此后侵位了伟德山—崂山岩体带,侵位时间为 120 ~ 110 Ma。岩浆侵位方向转变后的侵位过程中,则为胶东金矿集中成矿期。

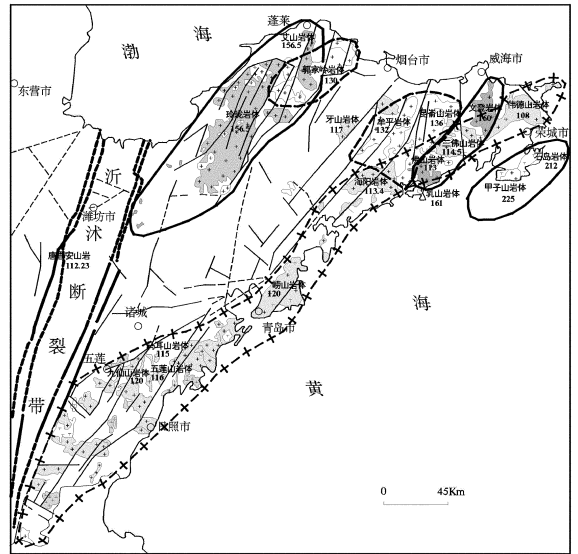


图4 鲁东中生代侵入岩时空展布图(底图据宋明春)
(图中数字表示岩体侵位年龄,单位为 Ma)

2.4 鲁西与胶东中生代侵入岩时空展布特征

根据山东中生代侵入岩的年龄分布串珠图与鲁西、鲁东中生代侵入岩的时空展布特征可以看出,鲁西与胶东侵入岩的时空差异明显,同时代岩体分布范围长轴方向不同,前者北西,后者北东;由早到晚岩体分布方向不同,前者北东,后者北西,鲁东则明显显示了向南东方向后撤的趋势。显然,鲁东与鲁西中生代岩浆岩侵位时的大地构造背景存在着巨大的差异。

3 中生代岩浆岩岩石化学演化特征

按照中生代岩浆的空间分带,选择了代表性的岩体,对其岩石化学演化特征进行对比分析。在前人测试的大量岩石化学数据^[36-56]的基础上,计算了相同岩体相同或相近岩石的岩石化学平均值(表1)。从岩石化学数据投点于硅碱图(图5)和 SiO₂ -

Al₂O₃/(MgO + Al₂O₃)演化趋势图(图6)中可见,无论鲁西的侵入岩还是胶东的侵入岩,都存在一个岩浆碱度与铝质含量的旋回性演化特征,表现为顺时针或逆时针的半环状演化轨迹;但是火山岩的演化

趋势具有单向性特征。侵入岩的旋回性演化与火山的单向性演化特征,可能是因为火山作用开始于岩浆侵入作用的后期,只与岩浆侵入旋回的后半部分相耦合。

表1 山东省中生代代表性岩体的平均岩石化学数据

区域	岩体名称	岩性	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
鲁西	铜石岩体	二长斑岩(30)	59.75	0.26	18.74	2.00	1.04	1.09	0.98	1.70	3.95	6.89	0.13
	上峪岩体	辉长闪长岩(6)	54.30	1.01	16.72	7.36	0.00	0.09	5.32	6.87	3.66	3.30	0.65
	铜井岩体	闪长玢岩(6)	57.85	0.63	15.54	4.48	0.00	0.05	2.10	6.44	3.88	3.01	0.20
	郝山岩体	正长岩(1)	67.58	0.20	15.81	1.53	0.03	0.14	0.49	1.53	6.59	3.90	0.20
	龙宝山岩体	正长斑岩(3)	68.82	0.08	16.37	1.43	0.46	0.04	0.47	0.62	6.29	4.25	0.29
西侧火山	汤头盆地	钾质火山岩(3)	65.74	0.42	16.04	3.71	0.00	0.05	0.83	0.83	6.11	5.09	0.30
	蒙阴盆地	粗安岩(10)	59.68	0.73	15.79	5.37	0.00	0.07	3.31	5.34	4.18	3.24	0.36
鲁东	石岛岩体	辉石正长岩(3)	60.01	0.57	16.95	2.87	1.56	0.12	1.65	3.40	4.61	6.83	0.12
	文登岩体	花岗闪长岩(4)	61.38	0.55	17.52	4.65 ^T		0.09	1.58	3.45	4.62	4.69	0.34
	玲珑岩体	花岗岩(18)	72.74	0.11	14.60	0.11	1.19	0.06	0.25	1.57	4.41	4.11	0.03
	郭家岭岩体	花岗岩(13)	67.90	0.33	15.56	0.67	1.60	0.06	1.29	2.70	4.50	3.94	0.19
	伟德山岩体	石英二长岩(4)	65.29	0.55	15.14	1.74	2.53	0.07	1.85	3	3.95	4.42	0.21
东侧火山	安丘莒县	火山岩(3)	60.42	0.75	17.09	6.31 ^T		0.09	1.89	0.93	6.18	4.19	0.43
	胶莱盆地	拉斑玄武岩(3)	49.55	1.55	14.47	12.39	0.00	0.14	7.09	9.10	2.78	0.25	0.16

注:括号内数字为参与平均的数据的个数,T处所标数据为全铁数值。

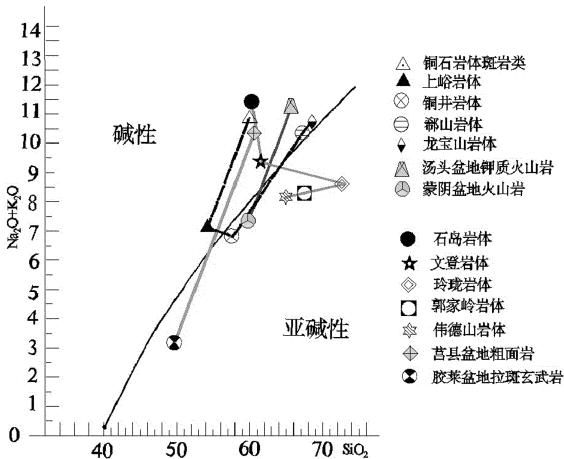


图5 山东省中生代岩浆岩硅碱图

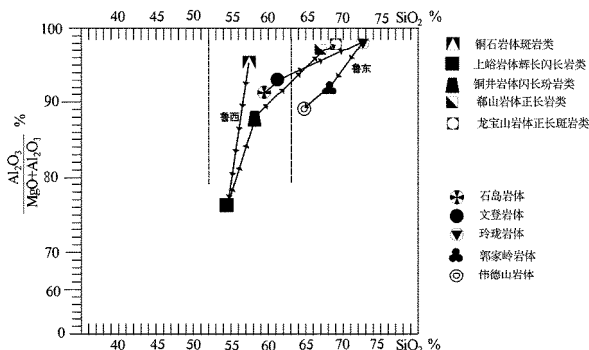


图6 山东省中生代岩浆岩岩幔特征元素趋势图

在碱度演化方面,鲁西地区由铜石岩体至上峪

岩体、铜井岩体,岩石的碱度趋于降低,但是在铜井岩体之后,随着时间的推移,岩石的碱度又出现了显著的增高。胶东地区由石岛岩体向文登岩体、玲珑岩体,碱度趋于降低,但此后侵位的郭家岭岩体与伟德山岩体出现了碱度增高特征。

在铝镁的演化趋势图解中,鲁西在上峪岩体(131.5 Ma)侵入后出现拐点,由向基性发展的趋势转变为向中酸性发展。而胶东则是以玲珑岩体侵入之后出现转折点,由向酸性演化的趋势转变为向中性发展。胶东玲珑岩体最后的侵位年龄为150.1 Ma,郭家岭岩体的侵位年龄则表现的较为分散,具有较长的侵位演化时间(148.4 ~ 115 Ma,平均侵位年龄为138 Ma),鲁西的上峪、铜井岩体的侵位年龄为131 ~ 128 Ma。上述中生代岩浆岩时空展布规律和岩石化学的演化趋势反映出,鲁东在150.1 ~ 138 Ma之间的一个时段地质演化发生了逆向转化,鲁西则在131 Ma左右时地质演化发生了逆向转化。鲁西岩浆岩物质组分出现转变的时间显示要比鲁东晚些时间。

4 关于扬子板块俯冲与回撤的讨论

4.1 鲁西中生代岩浆作用与扬子板块俯冲有关

目前对于华北板块中生代大规模富集岩石圈地幔的形成机制尚存在不同的认识,主要有:①华北中生代地幔的富集主要与扬子-华北板块碰撞及其之间的大陆深俯冲作用有关,由于深俯冲的扬子大陆地壳同软流圈地幔相互作用形成富集地幔^[57];②华北中生代地幔的富集主要与岩石圈大规模拆沉作用有关,由于太古宙古老地壳物质被拆沉而重循环进入地幔,导致地幔成分发生改变形成富集地幔^[58,59];③华北中生代地幔的富集与古太平洋板块的俯冲有关,是俯冲板片析出熔体和岩石圈地幔熔体混合作用的结果^[60]。

山东中生代地幔的富集存在因俯冲进入地幔的壳源物质的影响,鲁西北部济南—邹平一带镁铁质岩石的 ISr 值变化于 0.703 96 ~ 0.705 98^[61],而南部费县—蒙阴一带镁铁质岩石变化于 0.708 44 ~ 0.712 47,胶莱盆地中生代镁铁质岩石的 ISr 值则为 0.707 24 ~ 0.707 50^[62](Fan et al. 2001),因此,有人认为华北克拉通南缘幔源岩石极可能存在有因深俯冲而进入地幔的扬子陆壳的影响。李友连^[29]选择亏损地幔分别与华北板块上壳、华北板块下壳及扬子板块下壳作为二元混合的端员,进行模拟计算显示,郯城神泉钠质火山岩的 Sr, Nd 同位素组成最接近亏损地幔与扬子克拉通下地壳的混合线,说明火山岩源区中应含有因俯冲进入地幔的扬子陆壳组分。

裴福萍等^[13]对费县和方城玄武岩研究认为,其具有的高 ISr、低 $\epsilon\text{Nd}(t)$ 特征应与岩浆起源于断离的扬子俯冲板片和软流圈的混熔作用相关。杨承海等^[12]通过对⁸⁷Sr/⁸⁶Sr(t)和 Pb 同位素的研究认为,自东南向西北方向,鲁西早白垩世高镁闪长岩的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr(t)比值和 Pb 同位素比值逐渐降低,而 $\epsilon\text{Nd}(t)$ 值逐渐升高。断离的扬子克拉通俯冲板片是改造鲁西东南侧岩石圈地幔性质的主体,扬子克拉通沿北西方向与华北克拉通之间的俯冲碰撞是产生上述同位素空间变化的动因。

上述研究成果显示,鲁西中生代的岩浆岩侵入活动,受到了扬子板块俯冲的影响。

4.2 关于扬子板块东北缘板块回撤问题的认识

对于扬子板块东北缘向华北板块的俯冲,目前国内学者具有较为一致的认同。并且很多学者提出了碰撞物质的折返概念^[63-71]。但是是否存在俯冲后的板块回撤呢?尚没有人论及。该文通过综合分

析认为,扬子板块俯冲完成后,在其东北缘发生了一个沿着俯冲反方向的撤离过程,称之为板块回撤。

该文设想,在扬子板块向华北板块俯冲之后,由于俯冲到山东陆块之下的扬子板块东北缘的回撤,导致了岩石圈深部抽空,引发了软流圈的大规模上涌,进而诱发了“克拉通破坏”、或“岩石圈减薄”,这可能是胶东大规模岩浆作用、成矿作用的深部动力机制,同时也是苏鲁造山带深部高压物质折返的主要因素。

三叠纪时扬子板块向北漂移,其东北缘部位首先与华北板块的东南缘(今山东及黄海区域)碰撞。碰撞作用形成了扬子板块对于华北板块的俯冲,同时这种局部碰撞导致了沂沭断裂带的左行走滑与黄海断裂的右行走滑^[72],从而使得扬子板块的东北缘得以楔入华北板块的内部,这有点类似与印度板块东北角的南迦巴瓦一带的构造形式。175 ~ 135 Ma 之间,扬子板块的运动方向由正北向转为北西向,伴随俯冲作用形成了一系列岩浆岩的带状侵位。135 Ma,运移方向改变为北东向^[73]。扬子板块的主体部分的继续北移,受到中部(应在大别一带)的阻挡,近似于杠杆的作用,导致了板块东北缘的回撤(图7)。

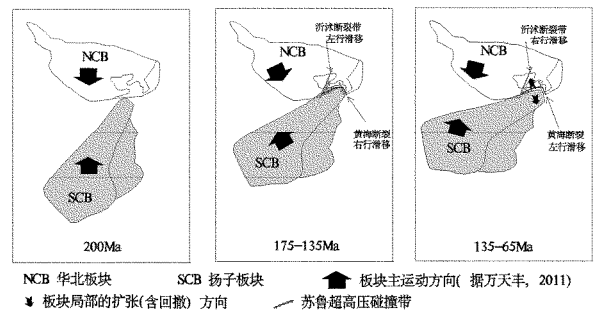


图7 扬子板块东北缘的俯冲与回撤过程示意图

板块回撤应是板块碰撞过程中由于板块碰撞的角度的改变、自身运移过程中的旋转或者其他板块的推挤或阻碍造成的碰撞过程中的局部板块的回撤,这种回撤使岩石圈浅部处于拉张环境而产生张性构造、深部虚脱而导致软流圈的隆起,这种双重作用对成矿极其有利。对于板块的回撤是个案还是在其他造山带的部分地段也存在类似现象,目前尚不清楚,基于很多板块运移过程中的旋转特征以及大约有 80% 的为斜向碰撞,推测应该还会存在。

4.3 板块回撤机制下的山东省中生代地质演化

晚三叠世,胶东在板块碰撞的影响下向北西方

向推挤,导致了沂沭断裂带产生大规模左旋走滑运动(图8A)。

180~148 Ma,由于扬子板块俯冲作用的影响,在鲁西形成了铜石杂岩体,在胶东玲珑岩体大规模侵位(图8B)。

间(图8C)。伴随回撤力度加大,胶东拉张了胶莱盆地,同时沂沭断裂带右行旋扭形成安丘莒县、鄌鄆、马站、郯城等火山岩盆地,鲁西的平邑-方城盆地、蒙阴盆地也同时被拉张形成火山喷发。扬子板块回撤在岩石圈形成的拉张空间的同时,在深部形成真空状态,导致了软流圈的上隆,这是胶东金矿形成的关键内在因素。

大约115 Ma,在山东大规模的岩浆侵入活动基本结束时,胶莱盆地又发生了一次规模较大的火山喷发活动,同时进一步的拉伸环境下又形成了胶东部分金矿的成矿。

在100 Ma时,胶莱盆地的火山活动结束,终结了这次山东的岩浆旋回与金矿成矿,预示着扬子板块的回撤对山东的影响最终结束。

该文为山东省地质矿产勘查局在中国地质大学(武汉)举办的总工程师培训班学习期间完成的毕业论文,以授课教师的新理论为指导,提出的关于扬子板块东北缘俯冲与回撤的新认识,由于这一认识的提出主要是以山东省的地质资料为基础,难免带有偏颇,甚至是不成熟的,还需今后更加广泛而深入的研究与分析。

致谢:谨向中国地质大学(武汉)马昌前、王国灿、吕新彪、刘天佑、段秀燕等老师致以诚挚的谢意!山东地矿局宋明春研究员给予了审阅并提出了很多宝贵的建议,在此表示由衷的感谢!

参考文献:

[1] 宋明春. 山东省大地构造单元组成、背景和演化[J]. 地质调查与研究, 2008, 31(3): 165-167.

[2] 牛保祥, 陆荣莉, 杨斌, 等. 鲁东地块的大地构造位置[J]. 山东国土资源, 2004, 20(4): 41-45.

[3] 胡华斌, 毛景文, 刘敦一, 等. 鲁西铜石岩体的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地学前缘, 2004, 11(2): 453-460.

[4] 谭东娟, 林景任, 许文良. 铜石杂岩体⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄—兼论归来庄金矿成矿时代[J]. 山东地质, 1993, 9(2): 68-72.

[5] 林景任, 谭东娟, 金焯. 鲁西地区中生代火成活动的⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄[J]. 岩石矿物学杂志, 1996, 51(3): 214-218.

[6] 王永, 范宏瑞, 胡芳芳, 等. 鲁西西南铜井闪长质岩体锆石 U-Pb 年龄、元素及同位素地球化学特征[J]. 岩石矿物学杂志, 2011, 30(4): 553-566.

[7] 李洪奎, 耿科, 李逸凡, 等. 沂南县铜井金矿床锆石 SHRIMP-U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 2011, 30(3): 497-500.

[8] 阎国翰, 蔡剑辉, 任康绪, 等. 郯庐断裂带晚中生代富碱侵入岩 Nd, Sr, Pb 同位素特征及源区性质探讨[J]. 岩石学报, 2008, 24(6): 1223-1236.

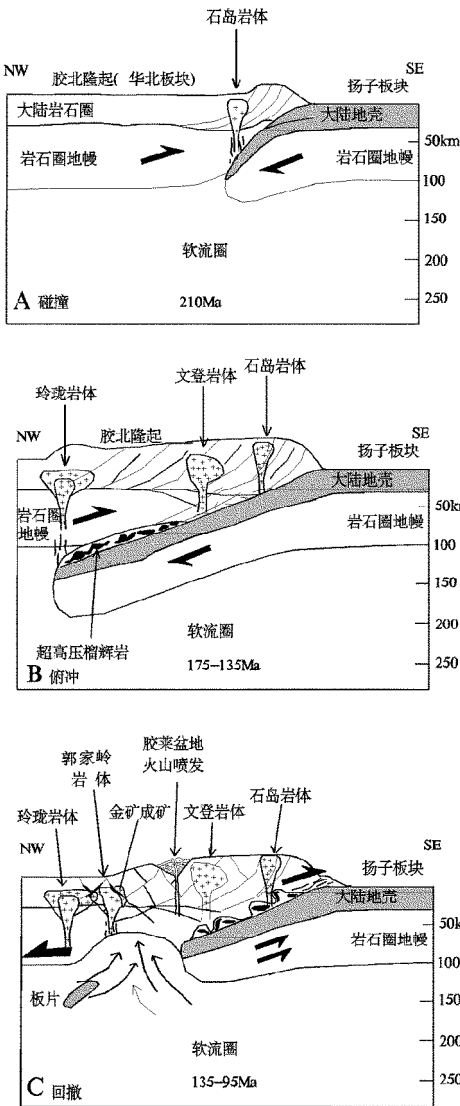


图8 扬子板块东缘碰撞、俯冲与回撤过程示意图

大约135 Ma,扬子板块首先在胶东一带发生回撤,导致了岩石圈下部的抽空(岩石圈减薄),回撤的带动作用造成了沂沭断裂带的右行走滑。在回撤过程中,依次形成了郭家岭岩体与伟德山岩体系列。同时也带动了高压榴辉岩的折返。

大约128 Ma,鲁西地区也出现了板块小幅度的回撤,依次形成了龙宝山岩体、郯山岩体与卧福山岩体。

大约125 Ma 是山东火山岩盆地全面开启的时

- [9] 杨承海. 鲁西中生代高镁闪长岩的年代学与地球化学: 对华北克拉通岩石圈演化的制约[D]. 博士论文, 2007; 1-86.
- [10] 蓝廷广, 范宏瑞, 胡芳芳, 等. 山东微山稀土矿床成因: 来自云母 Rb-Sr 年龄、激光 Nd 同位素及流体包裹体的证据[J]. 地球化学, 2011, 40(5): 428-440.
- [11] 杨承海, 许文良, 杨德彬, 等. 鲁西济南辉长岩的形成时代: 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年证据[J]. 地球学报, 2005, 26(4): 321-325.
- [12] 杨承海, 许文良, 杨德彬, 等. 鲁西上峪辉长-闪长岩的成因: 年代学与岩石地球化学证据[J]. 中国科学 D 辑, 2008, 38: 44-55.
- [13] 裴福萍, 许文良, 王清海, 等. 鲁西费县中生代玄武岩及幔源捕虏晶的矿物化学: 对岩石圈地幔性质的制约[J]. 高校地质学报, 2004, 10(1): 88-92.
- [14] 杨承海, 许文良, 杨德彬, 等. 鲁西中生代高 Mg 闪长岩的成因: 年代学与岩石地球化学证据[J]. 地球科学, 2006, 31(1): 81-83.
- [15] 许文良, 王冬艳, 王清海, 等. 华北地块中东部中生代侵入杂岩中角闪石和黑云母的⁴⁰Ar/³⁹Ar 定年: 对岩石圈减薄时间的制约[J]. 地球化学, 2004, 33(3): 221-231.
- [16] 郭瑞朋. 临胸铁寨杂岩体基本特征及其与金矿化关系的探讨[J]. 山东地质, 1999, 15(4): 24-29.
- [17] 王世进, 王来明, 万渝生, 等. 鲁东地区侵入岩形成时代和期次划分——锆石 SHRIMP U-Pb 年龄的证据[J]. 山东国土资源, 2009, 25(12): 8-13.
- [18] 胡世玲, 王松山, 桑海清, 等. 山东玲珑和郭家岭岩体的同位素年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 1987, 3(3): 83-86.
- [19] 于津海. 胶东东部崑崙山混合杂岩体的形成时代及成因[J]. 地质论评, 1989, 35(4): 285-290.
- [20] 胡芳芳, 范宏瑞, 杨进辉, 等. 鲁东崑崙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 Hf 同位素制约[J]. 岩石学报, 2007, 23(2): 387-390.
- [21] 宋明春, 严庆利. 胶南地区伟德山超单元中闪长质包体的特征及岩浆成因[J]. 山东地质, 2000, 16(4): 16-19.
- [22] 王世进, 万渝生, 宋志勇, 等. 鲁东文登地区文登型(超单元)花岗岩体的 SHRIMP U-Pb 锆石年代学[J]. 山东国土资源, 2012, 28(2): 1-6.
- [23] 赵广涛, 曹钦臣, 王德滋, 等. 崑崙山花岗岩锆石 U-Pb 年龄测定及其意义[J]. 青岛海洋大学学报, 1997, 27(3): 382-386.
- [24] 王世进, 张成基, 杨恩秀, 等. 鲁西地区中生代侵入岩期次划分[J]. 山东国土资源, 2009, 25(2): 18-22.
- [25] 王世进, 张成基. 山东省侵入岩期次划分及岩石单位代号的厘定[J]. 山东国土资源, 2009, 25(1): 23-26.
- [27] 邱检生, 刘亮, 李友连. 山东汤头盆地钾质及钠质火山岩的年代学与地球化学: 对华北克拉通岩石圈减薄的启示[J]. 岩石学报, 2012, 28(4): 1044-1056.
- [28] 牛漫兰, 谢成龙, 宋传中, 等. 郯庐断裂带早白垩世火山岩的 K-Ar 年龄及其构造意义[J]. 地质科学, 2007, 42(2): 382-387.
- [29] 李友连, 邱检生, 刘亮. 山东郯城神泉钠质火山岩的年代学与地球化学——对源区地幔性质与岩石成因的启示[J]. 岩石矿物学杂志, 2012, 31(6): 783-792.
- [30] 周建波, 郑永飞, 赵子福, 等. 山东五莲中生代岩浆岩的锆石 U-Pb 年龄[J]. 高校地质学报, 2003, 9(2): 185-189.
- [31] 李洪奎, 杨永波. 沂水南小尧金矿锆石 U-Pb 同位素特征及其地质意义[J]. 山东国土资源, 2009, 25(3): 21-24.
- [32] 李洪奎, 耿科, 李逸凡, 等. 沂南县铜井金矿床锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 2011, 30(3): 497-450.
- [33] 邱检生, 王德滋, 罗清华, 等. 鲁东胶莱盆地青山组火山岩的⁴⁰Ar-³⁹Ar 定年——以五莲分岭山火山机构为例[J]. 高校地质学报, 2001, 7(3): 351-355.
- [34] 唐嘉锋, 刘玉琳, 王启飞. 山东中生代火山岩年代学研究[J]. 岩石学报, 2008, 24(6): 1333-1336.
- [35] 罗镇宽, 关康, 苗来成, 等. 胶东招掖地区与金矿化有关花岗岩类继承锆石年龄及其意义[J]. 地球学报, 1997, 18(增刊): 138-141.
- [36] 李瑛. 山东平邑铜石杂岩体的岩石学特征及含矿性[J]. 山东地质, 1994, 10(1): 24-28.
- [37] 孙振明, 王新建, 丁培超, 等. 山东张里金矿碱性次火山岩特征与成矿作用[J]. 世界地质, 2012, 31(1): 93-97.
- [38] 孔令广, 甘延景. 岩石谱系单位划分及成因[J]. 山东地质, 2001, 17(2): 23-26.
- [39] 董树义, 顾雪祥, 李科, 等. 山东沂南金矿床成矿物质来源探讨[J]. 地球与环境, 2010, 38(3): 295-299.
- [40] 邱检生, 王德滋, 任启江. 山东沂南金场矽卡岩型金铜矿床地质地球化学特征及矿床成因[J]. 矿床地质, 1996, 15(4): 330-335.
- [41] 夏庆霖, 陈永清. 鲁西龙宝山金矿地球化学特征[J]. 地质与勘探, 2001, 37(4): 13-17.
- [42] 周伟伟, 蔡剑辉, 闰国翰. 鲁西龙宝山岩体岩石地球化学特征及其意义[J]. 高校地质学报, 2013, (4): 221-223.
- [43] 张荣隋, 甘延景. 沂源县金星头杂岩体基本特征及与金矿化的关系[J]. 山东地质, 2001, 17(1): 24-27.
- [44] 高林, 陈斌. 鲁西地块济南辉长岩岩石学、地球化学和 Os-Nd-Sr 同位素研究[J]. 地球科学与环境学报, 2013, 35(2): 19-26.
- [45] 赵海玲, 邓晋福, 贺怀宇. 造山带陆壳增厚的一个岩石学记录——以济南辉长岩及其包体研究为例[J]. 地学前缘, 1998, 5(4): 251-256.
- [46] 田京祥, 张日田, 范跃春, 等. 山东郯山碱性杂岩体地质特征及与稀土矿的关系[J]. 山东地质, 2002, 18(1): 21-26.
- [47] 董振信. 山东某铁矿区内燕山期侵入杂岩的造岩矿物和蚀变矿物特征[J]. 地质学报, 1978, (2): 81-86.
- [48] 毛建仁. 胶东玲珑-滦家河花岗岩体岩石学特征及形成条件[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 1983, (3): 34-37.
- [49] 王炳成, 李福堂. 玲珑花岗岩的岩石学和矿物学特征[J]. 山东地质, 1985, 1(1): 1-6.
- [50] 张华锋, 翟明国, 何中甫, 等. 胶东崑崙山杂岩中高锆花岗岩地球化学成因及其意义[J]. 岩石学报, 2004, 20(3): 370-

- 376.
- [51] 孟繁聪,孙岱生,李胜荣. 胶东磁山花岗岩的特征及其成矿性[J]. 矿床地质, 2001, 20(4): 394-499.
- [52] 刘春华,孙景贵,郑常青. 伟德山岩体岩浆混合作用的岩相学标志[J]. 辽宁地质, 1997, (2): 125-131.
- [53] 刘春华,孙景贵,郑常青. 胶东文登岩体——二长花岗质岩石,地球化学特征及成因探讨[J]. 吉林地质, 1995, 14(4): 51-56.
- [54] 高天山,陈江峰,谢智,等. 苏鲁超高压变质带中三叠纪石岛岩体的地球化学研究[J]. 岩石学报, 2004, 20(5): 1025-1032.
- [55] 赵广涛,王德滋,曹钦臣. 崂山花岗岩岩石地球化学与成因[J]. 高校地质学报, 1997, 3(1): 1-6.
- [56] 刘春华,孙景贵,郑常青. 胶东文登岩体——二长花岗质岩石地球化学特征及成因探讨[J]. 吉林地质, 1995, (14)4: 5-58.
- [57] 周新华,张宏福,英基丰,等. 大陆深俯冲后效作用的地球化学记录——华北中生代岩石圈地幔源区特征变异的讨论[J]. 岩石学报, 2005, 21(4): 1255-1263.
- [58] 洪大卫,王涛,童英. 华北地台和秦岭-大别-苏鲁造山带中生代花岗岩与深部地球动力学过程[J]. 地学前缘, 2003, 10(3): 231-257.
- [59] Gao S, Rudnick RL, Xu WI, Yuan HL, Liu YS, Puetzell, Liu X, Huang Hand Wang XR. 2008 Recycling deep cratonelithos Phereand geneation of intraplate magmatism. Earth Planet. Sei. Lett. , 270: 41-53.
- [61] Chen B, Jahn BM, AarkawaYandzhaiMG. 2004. Petrogenesis of the Mesozoic intursive eomPlexesofrm the southem Taihangooorgen, north China Carton: elemental and Sr-Nd-Pb isotopieconstraints. Contrib. Minearl. Petrol. , 148: 489-501.
- [62] 李全忠,谢智,陈江峰,等. 济南和邹平辉长岩的 Pb-Sr-Nd 同位素特征和岩浆源区中下地壳物质贡献[J]. 高校地质学报, 2007, 13(2): 297-310.
- [63] Fan W M, Guo F, Wang Y J, et al. 2001. Post-orogenic bimodal vol-canism along the Sulu orogenic belt in eastern China[J]. Physicsand Chemistry of the Earth(A), 26: 733-746.
- [64] Coleman R G, Wang X M. Ultrahigh Pressure Metamorphism. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 1-528.
- [65] Hacker B R, Liou J G. When Continent Collide: Geodynamics and Geochemistry of Ultrahigh-Pressure Rocks. Dordrecht: KluwerAcademic Publishers, 1998. 1-323.
- [66] Carswell D A, Compagnoni R. Ultra-high pressure metamorphism. Eur Mineral Union Notes Mineral, 2003, 5: 1-508.
- [67] Chopin C. Ultrahigh-pressure metamorphism: Tracing continental crust into the mantle. Earth Planet Sci Lett, 2003, 212: 1-14.
- [68] Liou J G, Tsujimori T, Zhang R Y, et al. Global UHP metamorphism and continent subduction/collision: The Himalayan model. IntGeol Rev, 2004, 46: 1-27.
- [69] 侯泉林,刘庆,李俊,等. 大别山晚中生代剪切带特征及年代学制约[J]. 地质科学, 2007, 42(1): 114-123.
- [70] Xu Z Q, Zeng L S, Liu F L, et al. Polyphase subduction and exhumation of the Sulu high-pressure-ultrahigh-pressure metamorphic terrane. Geol Soc Am Spec Paper, 2006, 403: 93-113.
- [71] Zheng Y-F, Fu B, Li Y-L, et al. Oxygen and hydrogen isotope geochemistry of ultrahigh pressure eclogites from the Dabie Mountains and the Sulu terrane. Earth Planet Sci Lett, 1998, 155: 113-129.
- [72] Zheng Y-F, Fu B, Xiao Y-L, et al. Hydrogen and oxygen isotope evidence for fluid-rock interactions in the stages of pre-and post-UHP metamorphism in the Dabie Mountains. Lithos, 1999, 46: 677-693.
- [73] 万天丰. 中国大地构造学[M]. 北京:地质出版社, 2011: 132-180.

Study on Impace of Subduction and Retracement of the Northeastern Margin of the Yangtze Plate to Shandong Block

WANG Zhaobo^{1,2}, WANG Qingjun¹

(1. No. 7 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Linyi 276006, China; 2. China University of Geosciences, Hubei Wuhan 430074, China)

Abstract: Through comprehensive analysis on time area distribution, chemical and isotopic characteristics of the rock of Mesozoic intrusions in Shandong province, subduction and evolution mechanisms of the northeastern margin of the Yangtze plate have been put forward, and evolution mechanism of mineralization has been analyzed. It is regarded that subduction and retracement of the northeastern margin of the Yangtze plate controlled Mesozoic geological evolution in Shandong province. Its retracement has caused the vacuum of the lithosphere, and the uplifting of material is in asthenosphere. It is an internal controlling factor of mass gold mineralization in Jiaodong gold deposit.

Key words: Plate retracement; exhumation; Sulu tectonic belt; Yangtze plate; Mesozoic period; Jiaodong gold deposit