

胶东地区中生代花岗岩划分

王来明,任天龙,刘汉栋,宁振国,于晓卫,郭瑞朋,侯建华,朱学强

(山东省地质调查院,山东 济南 250013)

摘要:胶东地区是山东省中生代花岗岩最发育、最典型的地区,并与金矿关系密切。花岗岩的划分主要依赖20世纪80—90年代开展的1:5万区域地质调查工作,由于完成单位众多,完成时间不同,不同图幅对侵入岩的划分有别,因此对花岗岩的划分并不统一。本课题首次按“时代+岩浆事件+岩性”的划分方法对中生代花岗岩进行了详细划分。将胶东区域性广泛分布、具有成因联系、岩性相同、形成时代相同的花岗岩划分为同一期岩浆事件的产物,岩浆事件名称为期,是时代单位“世”以下区域性岩浆活动事件单位,共划分为晚侏罗世玲珑期(146~166 Ma)、早白垩世早期郭家岭期(123~135 Ma)、早白垩世晚期伟德山期(110~123 Ma)和崂山期(108~120 Ma),其中玲珑期为地壳重熔型花岗岩,郭家岭期、伟德山期为壳幔混合型花岗岩,崂山期为A型花岗岩。对于局限分布、特殊岩性的花岗岩称之为独立岩体,按“时代+岩性”的方法进行划分,划分为4个独立岩体:分别为晚三叠世宁津所岩体、晚三叠世槎山岩体、晚侏罗世垛崮山岩体、晚侏罗世文登岩体。胶东地区中生代构造岩浆演化反映了中国东部中生代构造体制转换过程,即由扬子板块和华北板块SN向挤压EW向伸展,到太平洋板块和欧亚板块NW向挤压NE方向伸展的转换过程。

关键词:花岗岩;中生代;划分;胶东

中图分类号:P544 **文献标识码:**A **doi:**10.12128/j.issn.1672-6979.2021.08.001

引文格式:王来明,任天龙,刘汉栋,等.胶东地区中生代花岗岩划分[J].山东国土资源,2021,37(8):1~14.WANG Laiming, REN Tianlong, LIU Handong, et al. Division of Mesozoic Granites in Jiaodong Area[J]. Shandong Land and Resources, 2021, 37(8): 1~14.

0 引言

胶东地区中生代花岗岩分布广泛,岩石类型多,是山东省中生代花岗岩最发育、最典型的地区,由于与金矿具有密切关系,受到国内外地质专家高度关注。许多专家学者发表了大量的研究成果^[1~18],通过年代学、岩石学、矿物学、地球化学及同位素地球化学数据,对胶东地区中生代花岗岩的形成时代、隆升剥蚀、侵位深度、岩石成因、构造背景及与金矿关系进行了深入研究^[19~30]。这些研究成果主要集中在某一岩体或者重要成矿带,导致不同地区的研究程度极度不平衡,半岛东部地区研究明显薄弱。另外,由于研究单位众多,各个侵入体的定名,岩浆岩的划分也不尽统一。

胶东地区是中国重要的金矿矿集区^[31~35],存在山东省内最古老的古陆核,也是秦岭-大别-苏鲁造山带重要的东延部分^[36~37],岩浆岩的统一划分、清理具有重要的意义。该地区乃至全山东省花岗岩的划分主要依靠1:5万区域地质调查工作,后续开展1:20万、1:25万区域地质调查及“山东省地层侵入岩构造单元划分对比意见”^[38]均在此基础上进行的修订。然而,胶东地区1:5万区域地质调查工作是20世纪80—90年代由多家地质勘查单位完成的,完成时间不同,不同图幅对侵入岩的划分有别,因此形成的地质成果有所差异,对花岗岩的划分不统一。再是胶东侵入岩是按“同源岩浆演化”理论进行的序列(超单元)—单元方法划分,与国内现行的“时代+岩性”^[38]的划分方法也不一致,得不到国内地质

收稿日期:2021-05-26;修订日期:2021-06-25;编辑:王敏

基金项目:本文受山东地勘基金项目胶东地区中生代花岗岩调查及与金矿关系研究(鲁勘字(2018)19号)和山东省莱州一招远金矿整装勘查区综合研究(鲁勘字(2014)7号)联合资助

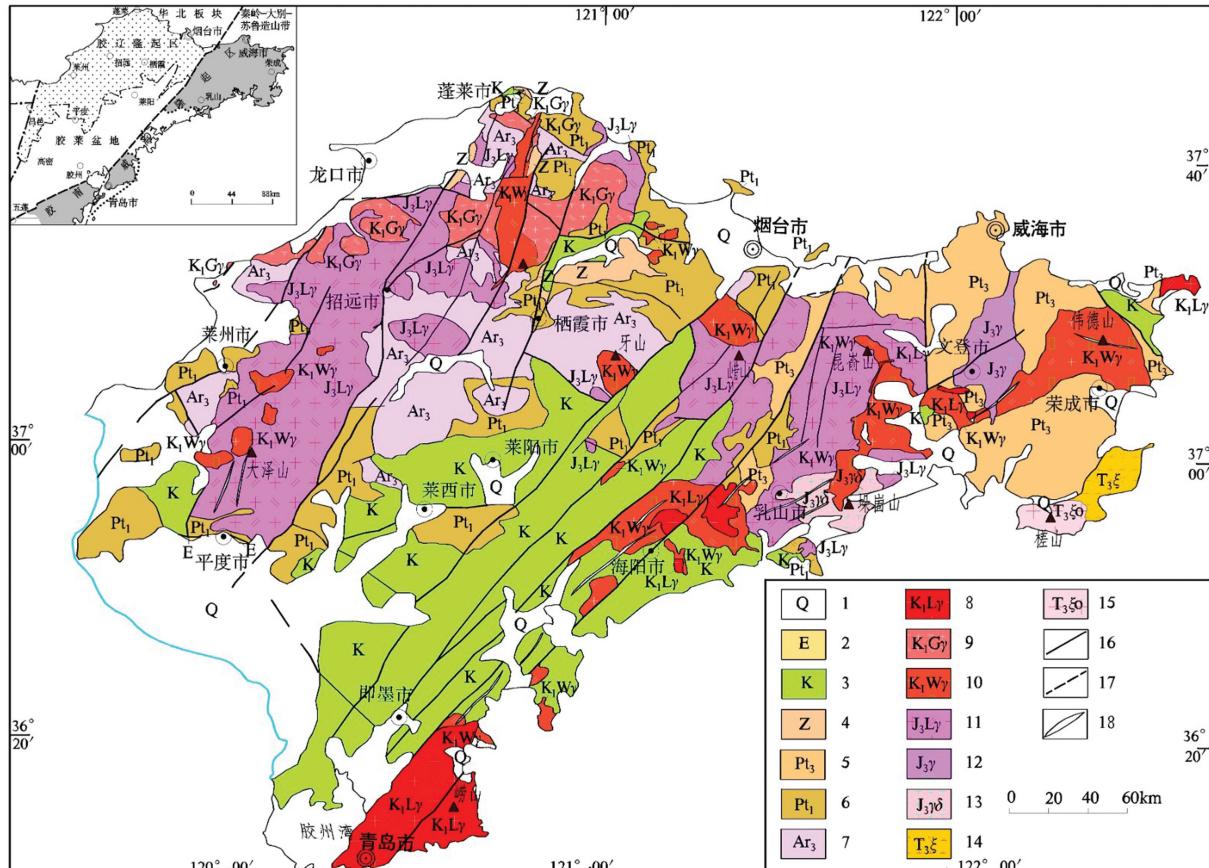
作者简介:王来明(1952—),男,山东寿光人,教授级高级工程师,主要从事区域地质调查工作;E-mail:wanglm1952@163.com

同行的认可,不便于对外学术交流。2017年中国地质调查局开展了关于同源花岗岩^[39]、浆混花岗岩填图^[40]方法的有益探索,在此基础上我们开展了胶东地区中生代花岗岩的划分与研究。本课题首次按“时代+岩浆事件+岩性”的划分方法,将区域性广泛分布的岩性相同、时代相同的花岗岩划分为同一期岩浆活动事件的产物,岩浆事件名称为期,是时代单位“世”以下区域性岩浆活动事件单位。将胶东中生代花岗岩划分为晚侏罗世玲珑期、早白垩世早期郭家岭期、早白垩世晚期伟德山期和崂山期。对于

不具有区域性广泛分布的花岗岩或独立侵入体,则按时代+岩性的划分方法进行划分。

1 区域地质概况

研究区位于华北板块与秦岭-大别-苏鲁造山带的叠接复合部位,划分为胶辽隆起区及胶南-威海造山带两个二级构造单元,中部被中生代陆相沉积盆地所覆盖(图1)。由于受华北与扬子板块碰撞及太平洋板块向欧亚板块俯冲影响,地质构造非常复杂,岩浆活动强烈,并伴随金矿的形成。



1—第四系;2—古近系;3—白垩系;4—震旦系;5—新元古界;6—古元古界;7—新太古界;8—崂山期花岗岩;9—郭家岭期花岗岩;10—伟德山期花岗岩;11—玲珑期花岗岩;12—晚侏罗世花岗岩;13—晚侏罗世花岗闪长岩;14—晚三叠世正长岩;15—晚侏罗世石英正长岩;16—断裂;17—推断断裂;18—脉岩

图1 胶东地区地质简图

区内内地层发育,以太古代、元古代、中生代及第四纪地层为主,另外在龙口盆地内发育有古近纪五图群、栖霞地区零星见新近纪临朐群基性-超基性火山岩(图1)。侵入岩以发育新太古代TTG岩系、南

华纪片麻状二长花岗岩、中生代花岗岩为特征。主要有中-新太古代TTG花岗岩,南华纪荣成序列片麻岩,晚侏罗世玲珑期花岗岩,早白垩世郭家岭期斑状二长花岗岩-花岗闪长岩、伟德山期斑状花岗闪长

岩-二长花岗岩、崂山期二长花岗岩-正长花岗岩-碱长花岗岩。脆韧性构造发育,前寒武纪结晶基底内发育褶皱、片麻岩穹窿构造以及不同层次、不同构造相的韧性剪切带等;脆性断裂以NE,NNE向为主,其次为EW向和NW向断裂,其中NNE向和NE向断裂是控制金矿的主要构造,如三山岛断裂带、焦家断裂带、招远-平度断裂带,著名的三山岛、焦家、新城、台上、大尹格庄、夏甸等大型、超大型金矿床均分布于上述三条断裂带中。

2 花岗岩类的划分原则

(1)按照《1:5万区域地质调查工作指南》(试行)和《区域地质图式图例》(GB/T985—2010),按“时代+岩性”的划分原则对花岗岩进行划分,时代表示到世,如:晚三叠世、晚侏罗世、早白垩世等。研究程度高的可进一步划分到期,如早白垩世早期、早白垩世晚期等。也可以用岩浆事件命名为期,如早白垩世(早期)郭家岭期、早白垩世(晚期)伟德山期、崂山期等。

(2)区域性广泛分布、具有成因联系且时代相同的花岗岩,反映的是一期区域性岩浆活动事件,其岩浆活动时间较长,岩浆型岩浆活动从开始到结束持续时间一般在10 Myr左右,而重熔型岩浆作用从开始到结束持续时间一般在20 Myr左右。区域性岩浆活动事件形成的花岗岩可归并为“期”,它是时

代单位“世”之内的岩浆活动事件单位,既有时代的意义,又有岩浆活动事件的意义,选择最具有代表性的岩体作为岩浆活动事件“期”的名称,如晚侏罗世玲珑期花岗岩($J_3 L\gamma$),是指为形成时代为146~166 Ma,由地壳重熔形成的二长花岗岩的总称,包括玲珑岩体、昆嵛山岩体、毕郭岩体、磁山岩体等。岩体内各侵入体的划分按“时代+岩浆事件+岩性”的方法进行表示,如玲珑岩体内细粒二长花岗岩表示为 $J_3 Lm\gamma\gamma$ 。

(3)局部分布的花岗岩或独立侵入体,是局部的岩浆侵入活动产物,其岩浆活动时间较短,一般在3~4 Myr左右,直接按“时代+岩性”的划分方法进行表示,如:晚三叠世宁津所正长花岗岩体规模小、不具区域对比性,划分为晚三叠世(208~212 Ma)的独立侵入体,正长花岗岩侵入体表示为 $T_3 \zeta\gamma$ 。

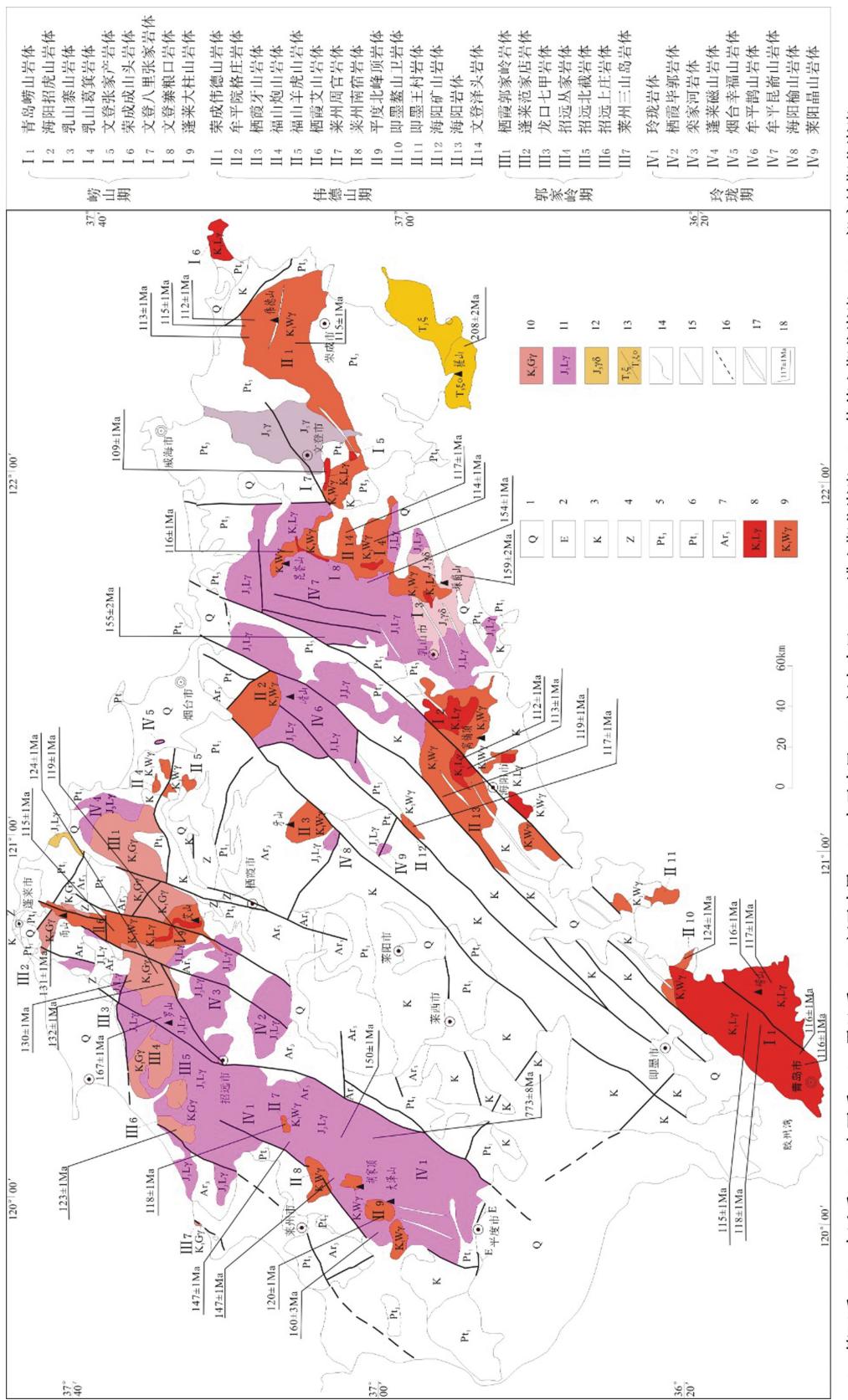
3 花岗岩的具体划分

胶东地区中生代岩体发育,按照地表出露情况(大致间断不相连)、成因联系、岩性组合、形成时代等,可识别出具有一定规模的42个岩体(杂岩体或复式岩体)(图2)。研究其内在联系,依据花岗岩划分原则,对胶东地区中生代花岗岩进行了详细划分。胶东中生代花岗岩(岩体)划分见表1,胶东中生代花岗岩(岩性)划分见表2。

表1 胶东中生代花岗岩(岩体)划分表

代	纪	世	地质年 龄/Ma	期(时代+ 岩浆事件)	岩体
中 生 代	白 垩 纪	早白 垩 世	145	崂山期	青岛崂山岩体、海阳招虎山岩体、蓬莱大柱山岩体、荣成成山头岩体、乳山葛箕山岩体、乳山寨山岩体、文登张家产岩体、文登八里张家岩体、文登寨粮口岩体
				伟德山期	荣成伟德山岩体、文登泽头岩体、海阳岩体、栖霞牙山岩体、牟平院格庄岩体、栖霞艾山岩体、莱州南宿山岩体、莱州周官岩体、平度北峰顶岩体、福山羊虎山岩体、福山炮山岩体、即墨鳌山卫岩体、即墨王村岩体、海阳矿山岩体
				郭家岭期	栖霞郭家岭岩体、招远丛家岩体、龙口七甲岩体(曲家)、蓬莱范家店岩体、莱州三山岛岩体、招远上庄岩体、招远北截岩体
	侏 罗 纪	晚侏 罗 世	163.5	玲珑期	招远玲珑岩体、蓬莱磁山岩体、牟平昆嵛山岩体、牟平鹊山岩体、栖霞毕郭岩体、海阳榆山岩体、莱阳晶山岩体、福山幸福山岩体
					乳山垛崮山岩体、文登岩体
	三 叠 纪	晚三 叠 世	201.3 235		荣成槎山岩体、荣成宁津所岩体

注:依据岩体出露规模排序。



1—第四系；2—古近系；3—白垩系；4—震旦系；5—新元古界；6—古元古界；7—新太古界；8—崂山期花岗岩；9—伟德山期花岗岩；10—郭家岭期花岗岩；11—玲珑期花岗岩；12—晚侏罗世花岗岩；13—晚三叠世—正长岩；14—地质界线；15—断层；16—推断层；17—脉岩；18—本次测年样品位置

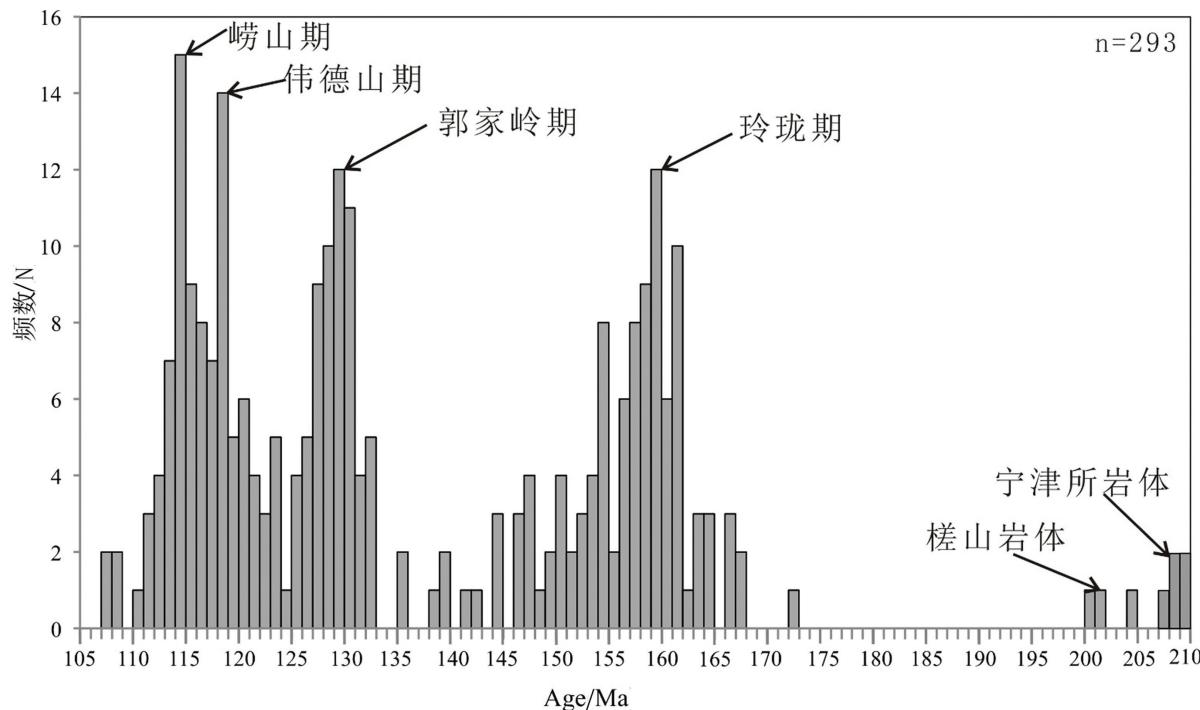


图 3 胶东地区中生代花岗岩锆石 U-Pb 同位素年龄频率统计直方图

(资料来源:自测 49 件,部分数据引自参考文献[8,11,23,41-79])

3.1 具有区域性广泛分布的花岗岩划分

我们认为区域性广泛分布、具有成因联系、岩性相同、时代相同的花岗岩为一次区域性岩浆活动的产物,将其归并为“期”。胶东地区中生代岩浆活动频繁,历时长,但具有阶段性集中活动的特征。应用近 20 年来获得的单颗粒锆石 SHRIMP U-Pb 及 LA-ICP-MS U-Pb 年龄数据进行统计(图 3),胶东中生代岩浆事件从晚三叠世开始、缺失早、中侏罗世,经历晚侏罗至早白垩世,从晚侏罗世开始基本连续分布,其中在 154~162 Ma, 127~131 Ma, 118~121 Ma, 113~117 Ma 为 4 个年龄峰值区间,根据典型性岩体的命名原则及岩性组合、分布范围等,划分为晚侏罗世玲珑期(J_3L)、早白垩世早期郭家岭期(K_1G)、早白垩世晚期伟德山期(K_1W)和崂山期(K_1L)四期。伟德山期与崂山期形成时代接近,但伟德山期为闪长岩-石英二长岩-二长花岗岩的 I 型花岗岩,崂山期为富含晶洞构造的二长花岗岩-正长花岗岩-碱长花岗岩的 A 型花岗岩,两者具有明显差异,野外多处见有崂山期花岗岩侵入伟德山期岩体,崂山期的同位素年龄也稍晚于伟德山期,所以单

独划期。

3.1.1 晚侏罗世玲珑期花岗岩

指形成时代为晚侏罗世,形成年龄主要集中在 146~166 Ma 的一期岩浆活动事件的产物,持续时间 20 Myr, 峰期为 154~162 Ma。其岩性主要由细粒混合花岗岩-细粒二长花岗岩-中粒二长花岗岩-中粗粒二长花岗岩组成,是胶东地区具有典型性和代表性的地壳重熔型花岗岩,重熔的地壳以太古宙变质地层和 TTG 类岩石为主,元古代荆山群、粉子山群变质地层也有参与。该期花岗岩与金矿在空间上关系极为密切,近 90% 的金矿分布其中,为金矿成矿围岩或母岩。

玲珑期花岗岩广泛分布于招远、平度、莱州、牟平和乳山地区,总体上呈近东西向展布,主要岩体有玲珑岩体、毕郭岩体、昆嵛山岩体、鹊山岩体、磁山岩体等(图 2),以玲珑岩体最具代表性,故命名为玲珑期。

表2 胶东中生代花岗岩岩性划分表

代	纪	世	期	岩体	岩性	代号	同位素年龄/Ma	
							本项目	收集
中生代 MZ	白垩纪 K	早白垩世	崂山	青岛崂山	晶洞碱长花岗斑岩	K ₁ L $\kappa\gamma\pi$		
					晶洞细粒碱长花岗岩	K ₁ L $\bar{f}\kappa\gamma$		
					晶洞中细粒碱长花岗岩	K ₁ Lm $f\kappa\gamma$	117±1	114±2 ^[80]
					晶洞中粒碱长花岗岩	K ₁ Lm $\kappa\gamma$	116±1	
					晶洞中粗粒碱长花岗岩	K ₁ Lm $c\kappa\gamma$		
					晶洞细粒正长花岗岩	K ₁ L $f\xi\gamma$		115±1 ^①
					晶洞中细粒正长花岗岩	K ₁ Lm $f\xi\gamma$	118±1	
					晶洞中粒正长花岗岩	K ₁ Lm $\xi\gamma$	115±1	
					晶洞细粒二长花岗岩	K ₁ L $f\eta\gamma$		
					晶洞中细粒二长花岗岩	K ₁ Lm $f\eta\gamma$	116±1	
			海阳招虎山	海阳招虎山	晶洞中粒二长花岗岩	K ₁ Lm $\eta\gamma$	116±1	120±2 ^[80]
					晶洞细粒正长花岗斑岩	K ₁ L $\xi\gamma\pi$	113±1	
					晶洞细粒正长花岗岩	K ₁ L $f\xi\gamma$		
					晶洞含斑细粒正长花岗岩	K ₁ Lp $f\xi\gamma$		
					晶洞中细粒正长花岗岩	K ₁ Lm $f\xi\gamma$		
					晶洞中粒正长花岗岩	K ₁ Lm $\xi\gamma$		
			蓬莱大柱山	蓬莱大柱山	晶洞细粒二长花岗岩	K ₁ L $f\eta\gamma$	117±1	
					晶洞中细粒二长花岗岩	K ₁ Lm $f\eta\gamma$		
			荣成成山头	荣成成山头	晶洞斑状粗粒二长花岗岩	K ₁ Lp $c\eta\gamma$		
					晶洞中粗粒二长花岗岩	K ₁ Lm $c\eta\gamma$		
			乳山葛箕	乳山葛箕	晶洞细粒二长花岗岩	K ₁ L $f\eta\gamma$		
					晶洞细粒正长花岗岩	K ₁ L $f\xi\gamma$		
			文登张家产	文登张家产	晶洞中粒正长花岗岩	K ₁ Lm $\xi\gamma$		
					晶洞中粒正长花岗岩	K ₁ Lm $\xi\gamma$	109±1	
			文登八里张家	文登八里张家	晶洞中粗粒石英正长岩	K ₁ Lm $c\xi\delta$		
					晶洞中粗粒石英正长岩	K ₁ Lm $c\xi\delta$		
			荣成伟德山	荣成伟德山	细粒二长花岗岩	K ₁ W $f\eta\gamma$	112±1, 111±1	
					含斑中细粒二长花岗岩	K ₁ Wm $f\eta\gamma$		
					含斑中粗粒二长花岗岩	K ₁ Wm $c\eta\gamma$		114±2 ^[46]
					斑状中粒二长花岗岩	K ₁ Wpm $\eta\gamma$	115±1, 114±1	
					巨斑中粗粒黑云角闪石英二长岩	K ₁ Wjp $mc\eta\delta$		
					斑状中粒角闪石英二长岩	K ₁ Wpm $\eta\delta$		
					含斑中粒角闪黑云石英二长岩	K ₁ Wm $\eta\delta$		
					含斑中细粒角闪黑云石英二长岩	K ₁ Wm $f\eta\delta$		
					中粗粒黑云角闪石英二长闪长岩	K ₁ Wmc $\eta\delta\delta$	113±1	
					细粒石英闪长岩	K ₁ Wf $\delta\delta$		
			伟德山	伟德山	中细粒二长花岗岩	K ₁ Wm $f\eta\gamma$	117±1	111±2 ^[51]
					粗中粒二长花岗岩	K ₁ Wcm $\eta\gamma$	114±1, 111±1	
					巨斑斑状粗中粒二长花岗岩	K ₁ Wjp $mc\eta\gamma$		
					含巨斑斑状中粒二长花岗岩	K ₁ Wjp $m\eta\gamma$		
					斑状中细粒花岗闪长岩	K ₁ Wm $f\gamma\delta$		
					含斑细粒花岗闪长岩	K ₁ Wf $\gamma\delta$		
					中粗粒黑云角闪石英二长闪长岩	K ₁ Wmc $\eta\delta\delta$		
					巨斑中粗粒含黑云角闪石英二长岩	K ₁ Wjp $mc\eta\delta$		
					斑状中粒角闪石英二长岩	K ₁ Wpm $\eta\delta$		115±2 ^[50]
					含斑中粒角闪黑云石英二长岩	K ₁ Wm $\eta\delta$	116±1	
			文登泽头	文登泽头	中粒辉石角闪二长闪长岩	K ₁ Wm $\eta\delta$		115±2 ^[50]
					中粒辉石闪长岩	K ₁ Wmv δ		

①山东省地质调查院,山东省1:5万店集、王村、即墨、鳌山卫、崔格庄幅区域地质调查,2013年。

续表2 胶东中生代花岗岩岩性划分表

代	纪	世	期	岩体	岩性	代号	同位素年龄/Ma	
							本项目	收集
中生代 白垩纪 MZ	早白垩世	海阳			石英二长斑岩	K ₁ W $\eta\sigma\pi$		
					细粒二长花岗岩	K ₁ W $f\eta\gamma$		
					斑状中粒二长花岗岩	K ₁ Wpm $\eta\gamma$	119±1	
					中粗粒二长花岗岩	K ₁ Wmc $\eta\gamma$		
					中细粒角闪石英二长岩	K ₁ Wmf $\eta\sigma$		
					细粒辉石闪长岩	K ₁ Wsf $\varphi\delta$		
		栖霞牙山			含斑中细粒二长花岗岩	K ₁ Wmf $\eta\gamma$		
					巨斑斑状粗中粒二长花岗岩	K ₁ Wjpmc $\eta\gamma$		
					含巨斑斑状中粒二长花岗岩	K ₁ Wjpm $\eta\gamma$		
					斑状中粒二长花岗岩	K ₁ Wpm $\eta\gamma$		118±3 ^[55]
					斑状中粒黑云角闪石英二长岩	K ₁ Wpm $\eta\sigma$		
		牟平院格庄			巨斑斑状粗中粒二长花岗岩	K ₁ Wmc $\eta\gamma$		119±1
					含巨斑斑状中粒二长花岗岩	K ₁ Wjpm $\eta\gamma$		119±1 ^②
					斑状中粒二长花岗岩	K ₁ Wpm $\eta\gamma$		118±1 ^②
		伟德山			二长花岗斑岩	K ₁ W $\eta\gamma\pi$		
					花岗闪长斑岩	K ₁ W $\gamma\delta\pi$		
					石英闪长玢岩	K ₁ W $\delta\sigma\mu$		
					含巨斑斑状中粗粒二长花岗岩	K ₁ Wjpmc $\eta\gamma$		
					密斑中粗粒二长花岗岩	K ₁ Wpmc $\eta\gamma$	115±1	
					含斑中粗粒二长花岗岩	K ₁ Wmc $\eta\gamma$	114±1, 119±1	118±1 ^[75]
					细粒石英闪长岩	K ₁ Wf $\delta\sigma$		
					含斑中细粒二长花岗岩	K ₁ Wmf $\eta\gamma$		119±1 ^[81]
		莱州南宿			密斑中粗粒含二长花岗岩	K ₁ Wpmc $\eta\gamma$		114±2 ^③
					含斑细粒花岗闪长岩	K ₁ Wf $\gamma\delta$		
					中细粒石英二长闪长岩	K ₁ Wmf $\eta\delta\sigma$		
		莱州周官			中细粒石英闪长岩	K ₁ Wmf $\delta\sigma$	118±1	
					含斑中粗粒二长花岗岩	K ₁ Wmc $\eta\gamma$	120±1	120±2 ^③
		平度北峰顶			含斑细粒花岗闪长岩	K ₁ Wf $\gamma\delta$		
					含斑中粒花岗闪长岩	K ₁ Wm $\gamma\delta$		112±2 ^③
					石英闪长玢岩	K ₁ W $\delta\sigma\mu$		116±5 ^[82]
		福山羊虎山			花岗闪长斑岩	K ₁ W $\gamma\delta\pi$		
					中细粒角闪黑云石英二长岩	K ₁ Wmf $\eta\sigma$		121±1 ^①
		即墨鳌山卫			中粒角闪黑云石英二长岩	K ₁ Wm $\eta\sigma$	124±1	
					中粒角闪黑云石英二长岩	K ₁ Wm $\eta\sigma$		121±1 ^①
		即墨王村			中细粒石英二长岩	K ₁ Wmf $\eta\sigma$		
					细粒闪长岩	K ₁ Wf δ	117±1	
		海阳矿山			斑状中细粒二长花岗岩	K ₁ Gpmf $\eta\gamma$		126±2 ^[60]
					斑状中粒花岗闪长岩	K ₁ Gpm $\gamma\delta$		
					斑状中细粒角闪石英二长岩	K ₁ Gpmf $\eta\sigma$		125±1
		栖霞郭家岭			斑状中粒二长花岗岩	K ₁ Gpm $\eta\gamma$		
					斑状粗中粒花岗闪长岩	K ₁ Gpm $\gamma\delta$		
					斑状中粒角闪石英二长岩	K ₁ Gpmf $\eta\sigma$		
					斑状中粒二长花岗岩	K ₁ Gpm $\eta\gamma$		
		招远丛家			斑状粗中粒花岗闪长岩	K ₁ Gpm $\gamma\delta$		131±1 ^③
					斑状中粒角闪石英二长岩	K ₁ Gpm $\eta\sigma$		
					含斑中粒角闪石英二长闪长岩	K ₁ Gm $\eta\delta\sigma$		
					斑状中粒二长花岗岩	K ₁ Gpm $\eta\gamma$	130±1	
		龙口七甲			斑状中粒花岗闪长岩	K ₁ Gpm $\gamma\delta$		139±2 ^③
					斑状中粒角闪石英二长岩	K ₁ Gpm $\eta\sigma$	124±1	139±1
					含斑中粒石英二长闪长岩	K ₁ Gm $\eta\delta\sigma$	132±1	
					斑状中细粒二长花岗岩	K ₁ Gpmf $\eta\gamma$	131±1	
		蓬莱范家店			斑状粗中粒花岗闪长岩	K ₁ Gpm $\gamma\delta$		
					细粒角闪石英二长闪长岩	K ₁ Gf $\eta\delta\sigma$		

①山东省地质调查院,山东省1:5万店集、王村、即墨、鳌山卫、崔格庄幅区域地质调查,2013年。②山东省第三地质矿产勘查院,山东1:5万水道幅、观水幅、冯家幅矿产地质调查项目成果报告,2018年。③山东省地质调查院,山东省莱州-招远金矿整装勘查区综合研究,2018年。

续表2 胶东中生代花岗岩岩性划分表

代	纪	世	期	岩体	岩性	代号	同位素年龄/Ma	
							本项目	收集
中生代 MZ	侏罗纪 J	郭家岭	莱州三山岛	斑状中粒二长花岗岩	K ₁ Gpm $\eta\gamma$		127±2 ^③	
			招远上庄	巨斑状中粒花岗闪长岩	K ₁ Gjm $\gamma\delta$	123±1	127±1 ^[67]	
			招远北截	斑状粗中粒花岗闪长岩	K ₁ Gpcm $\gamma\delta$		127±1 ^[15]	128±1 ^[64]
		招远玲珑		花岗伟晶岩	J ₃ L $\gamma\beta$			
				中粗粒二长花岗岩	J ₃ Lmc $\eta\gamma$	147±2, 147±1		
				含斑粗中粒二长花岗岩	J ₃ Lpcm $\eta\gamma$	167±1, 159±1		
				中粒二长花岗岩	J ₃ Lm $\eta\gamma$	150±1	154±1	
				中细粒含石榴二长花岗岩	J ₃ Lmf $\eta\gamma$			
				弱片麻状细粒含石榴二长花岗岩	J ₃ Lf $\eta\gamma$	160±3		
				混合岩化花岗岩	J ₃ L γ m	773±8	154±2 ^③	
		蓬莱磁山		花岗伟晶岩	J ₃ L $\gamma\beta$			
				含斑中粗粒二长花岗岩	J ₃ Lpcm $\eta\gamma$			
				中粒二长花岗岩	J ₃ Lm $\eta\gamma$			
				细粒二长花岗岩	J ₃ Lf $\eta\gamma$	155±2	157±2 ^[65]	
		玲珑		花岗伟晶岩	J ₃ L $\gamma\beta$			
				中粗粒二长花岗岩	J ₃ Lmc $\eta\gamma$			
				中粒二长花岗岩	J ₃ Lm $\eta\gamma$	154±1, 155±2		
				中细粒二长花岗岩	J ₃ Lmf $\eta\gamma$			
				弱片麻状细粒含石榴二长花岗岩	J ₃ Lf $\eta\gamma$			
				混合岩化花岗岩	J ₃ L γ m			
		牟平昆嵛山		中粒二长花岗岩	J ₃ Lm $\eta\gamma$		161±2 ^[73]	
				中细粒二长花岗岩	J ₃ Lmf $\eta\gamma$			
				细粒含石榴二长花岗岩	J ₃ Lf $\eta\gamma$			
		牟平鹊山		花岗伟晶岩	J ₃ L $\gamma\beta$			
				中粗粒二长花岗岩	J ₃ Lmc $\eta\gamma$			
				中粒二长花岗岩	J ₃ Lm $\eta\gamma$			
		栖霞毕郭		中细粒含石榴二长花岗岩	J ₃ Lmf $\eta\gamma$			
				花岗伟晶岩	J ₃ L $\gamma\beta$			
				中粗粒二长花岗岩	J ₃ Lmc $\eta\gamma$			
		海阳榆山		中细粒含石榴二长花岗岩	J ₃ Lmf $\eta\gamma$			
				中细粒含石榴二长花岗岩	J ₃ Lmf $\eta\gamma$			
		莱阳晶山		中粒二长花岗岩	J ₃ Lm $\eta\gamma$			
				斑状中细粒二长花岗岩	J ₃ Lpmf $\eta\gamma$		159±2 ^[82]	
		晚侏罗世	垛崮山	弱片麻状中粒含绿帘石花岗闪长岩	J ₃ m $\eta\delta$		163±1 ^[76]	
				弱片麻状斑状中粒含绿帘石黑云花岗闪长岩	J ₃ pm $\eta\delta$	159±2		
			文登	巨斑斑状中粒二长花岗岩	J ₃ jmp $\eta\gamma$		157±1 ^[43]	
				斑状中粗粒二长花岗岩	J ₃ pmc $\eta\gamma$			
				含斑中细粒二长花岗岩	J ₃ mf $\eta\gamma$			
				含斑中粗粒二长花岗岩	J ₃ mc $\eta\gamma$		158±1 ^[76]	
				细粒二长花岗岩	J ₃ f $\eta\gamma$			
			荣成槎山	细粒正长花岗岩	T ₃ f $\xi\gamma$			
				斑状中粗粒正长花岗岩	T ₃ pmc $\xi\gamma$			
				粗粒正长花岗岩	T ₃ c $\xi\gamma$		200±3 ^[83]	
				中粗粒正长花岗岩	T ₃ mc $\xi\gamma$	208±2		
				中粒正长花岗岩	T ₃ m $\xi\gamma$			
		荣成宁津所	中细粒石英正长岩	中细粒石英正长岩	T ₃ m $\xi\delta$		209±2 ^[77]	
				斑状中粗粒石英正长岩	T ₃ pmc $\xi\delta$			
				巨斑中细粒含辉角闪黑云正长岩	T ₃ p $\varphi\psi\delta$			
			多斑中细粒含黑云辉石正长岩	多斑中细粒含黑云辉石正长岩	T ₃ pmf $\varphi\delta$		209±7 ^[8]	
				斑状中粒含黑云辉石正长岩	T ₃ pmc $\varphi\delta$		212±2 ^[83]	
				斑状中粗粒含角闪正长岩	T ₃ pmc $\psi\delta$			
				中粗粒含角闪正长岩	T ₃ mc $\psi\delta$		210±3 ^[83]	
				中粒含角闪正长岩	T ₃ m $\psi\delta$			

③山东省地质调查院,山东省莱州-招远金矿整装勘查区综合研究,2018年。

3.1.2 早白垩世早期郭家岭期花岗岩

指形成时代为早白垩世早期,形成年龄为 123~135 Ma 的一期岩浆活动事件的产物,持续时间 12 Myr,峰期为 127~131 Ma。岩性主要为中粒二长闪长岩-斑状石英二长岩-斑状花岗闪长岩-斑状二长花岗岩。该期花岗岩是胶西北地区具有典型性和代表性的壳幔混合型花岗岩,产生于中生代构造体制转换阶段,岩石圈减薄初期,由幔源岩浆和胶北地体的基底岩石早前寒武纪变质岩系部分熔融形成的酸性岩浆混合形成,与金矿在空间上和时间上关系密切。

郭家岭期花岗岩广泛分布于莱州、招远、栖霞和蓬莱地区,总体上呈东西向展布,主要岩体有郭家岭岩体、三山岛岩体、上庄岩体、北截岩体、丛家岩体、七甲岩体、范家店岩体,以郭家岭岩体最具代表性,故命名为郭家岭期。

3.1.3 早白垩世晚期伟德山期花岗岩

指形成时代为早白垩世晚期,形成年龄为 110~123 Ma 的一期岩浆活动的产物,持续时间近 13 Myr,峰期为 114~119 Ma。岩性主要由细粒角闪长岩-中粒二长闪长岩-斑状石英二长岩-斑状二长花岗岩组成。该期花岗岩是胶东地区以及胶南地区具有典型性和代表性的壳幔混合型花岗岩,是中生代构造体制转换,岩石圈减薄的高峰期产物,与胶莱盆地青山群中酸性火山岩,构成了中国东部白垩纪最强烈岩浆活动的物质载体,它们的形成时间与部分金矿形成时间基本一致。

伟德山期花岗岩广泛分布于蓬莱、栖霞、牟平、海阳、荣成地区,总体呈近 EW 向展布,主要岩体有伟德山岩体、艾山岩体、南宿岩体、牙山岩体、院格庄岩体、海阳岩体,以伟德山岩体最具代表性,故命名为伟德山期。

3.1.4 早白垩世晚期崂山期花岗岩

形成时代为早白垩世晚期,形成年龄为 108~118 Ma 的一期岩浆活动的产物,持续时间 10 Myr,峰期为 113~116 Ma。岩性主要由晶洞二长花岗岩-晶洞正长花岗岩-晶洞碱长花岗岩组成,为富碱花岗岩类。该期花岗岩形成于拉张环境,下地壳深部岩浆沿北东向断裂上侵就位,是典型的拉张型 A 型花岗岩。

崂山期花岗岩广泛分布于崂山、平度、蓬莱、海阳和荣成地区,总体呈 NE 向展布,受 NE 向断裂控

制,主要岩体有崂山岩体、北峰顶岩体、天崮山-大柱山岩体、招虎山岩体、成山头岩体,以崂山岩体最具代表性,故命名为崂山期。该期花岗岩在胶南地区也广泛分布。

上述四期花岗岩代表了中国东部中生代构造体制转换过程,既由扬子板块和华北板块 SN 向挤压 EW 向伸展,到太平洋板块和欧亚板块 NW 向挤压 NE 向伸展的转换过程。区域性岩浆活动从开始到结束一般为 10 Myr 左右,而重熔性岩浆活动持续时间要长得多,为 20 Myr,是岩浆活动事件的两倍。玲珑期重熔型花岗岩长时间的重熔作用,有利于新太古代胶东岩群中的金元素充分活化、分异(离)、迁移和富集或成矿。

3.2 局部分布的花岗岩或独立侵入岩体的划分

具有局限分布,岩性特殊且单独侵入的岩体划分为独立岩体,主要有晚三叠世宁津所岩体、槎山岩体,晚侏罗世文登岩体、垛崮山岩体等。独立侵入体按照“时代+岩性”方法直接表示。

3.2.1 宁津所岩体

形成于晚三叠世,局限分布半岛东部荣成市宁津所、石岛一带,面积约 116 km²,形成时代 208~212 Ma,为印支期扬子板块与华北板块陆陆碰撞同折返花岗岩^[78],岩性主要由斑状辉石正长岩-角闪正长岩-石英正长岩组成,为深源碱性岩。

3.2.2 槎山岩体

形成于晚三叠世,局限分布于荣成市之南的槎山、人和一带,面积 108 km²,形成时代为 208 Ma 左右。主要岩性为细粒正长花岗岩、中粒正长花岗岩、粗粒正长花岗岩等,常与宁津所岩体伴生,为晚三叠世岩浆演化的深演化阶段。

3.2.3 垛崮山岩体

形成于晚侏罗世,仅分布于乳山市东部的大孤山、垛崮山一带,面积约 140 km²,形成时代为(161±1) Ma,(163±1) Ma^[8,76]。岩性由斑状中粒绿帘石花岗闪长岩-中粒绿帘石花岗闪长岩组成,造岩矿物以含有岩浆成因绿帘石区别于玲珑期花岗岩,显示其具有较深的侵位深度,可能源于基性下地壳的重熔^[8]。

3.2.4 文登岩体

形成于晚侏罗世,分布于文登市文登营、汪疃,威海市治口一带,面积约 290 km²,形成时代为

157~161 Ma^[8,43,76]。岩性主要由含斑中粗粒二长花岗岩-斑状中粗粒二长花岗岩-巨斑状二长花岗岩组成,岩石普遍发育似斑状结构,巨斑晶,多含有白云母,以区别于玲珑期花岗岩,为壳源重熔型花岗岩,岩体含有大量的 700~800 Ma 的继承锆石,揭示了物质来源为苏鲁造山带,也反映了物源上与玲珑期花岗岩的差异。

局部分布的岩体或独立侵入岩体从开始到结束时间较短,一般为 3~4 Myr。

4 中生代构造岩浆演化

晚二叠世以来,扬子板块持续向华北板块俯冲,随着大洋闭合,板块碰撞形成大陆碰撞型造山带^[79],超高压变质作用发生在 240~220 Ma^[83-85],同碰撞后的伸展环境下,苏鲁超高压地体的折返和富集岩石圈地幔低程度部分熔融,产生了碱性岩石^[86],主要为宁津所的石英正长岩及槎山的正长花岗岩,形成时代为 204~212 Ma。

侏罗纪早期,由于古太平洋板块向亚洲大陆腹地的低角度俯冲作用,华北东部地区发生幕式挤压变形与地壳增厚事件。古太平洋板块向西俯冲开始时间可能在 180~170 Ma 左右^[87],造成华北克拉通东侧地壳持续增厚。晚侏罗世(~160 Ma)俯冲加厚造山带岩石圈在不同层位发生了部分熔融,生成地壳原地重熔型 S 型花岗质岩浆^[11,88],沿断裂上升,底侵侵位,形成玲珑期花岗岩岩体,局部岩浆活动形成垛崮山岩体、文登岩体。大约至 140 Ma,扬子板块与华北板块完全拼合,东部地壳本期增厚事件也达到了顶峰,此期可能相当于张旗等认为的中国东部高原的形成期^[9]。

早白垩世早期,中国东部岩石圈开始大规模拆沉,可能因岩石圈拆沉减少了下插板块的阻力,伊泽奈奇(古太平洋)板块俯冲加速(300 mm/a)^[87],同时也由于前者的阻挡和下插洋壳的重力下沉作用,俯冲角度变陡,并导致了郯庐断裂带发生大规模左旋平移。由于冷洋壳快速俯冲,其周围形成了明显的反向地热梯度,导致了地幔物质的对流,形成了上升幔流柱,引起岩石圈的拆沉、垮塌,软流圈上涌,130 Ma 左右下地壳与地幔混熔岩浆底侵,陆续发育了一套中-中酸性侵入岩类-郭家岭期花岗岩。郭家岭期花岗岩是太平洋板块向欧亚板块持续俯冲的岩浆产物。受太平洋板块初期形成运动的影响,岩石

圈开始减薄,地幔岩浆上涌,形成壳幔混合岩浆上侵而形成的,与大陆边缘岛弧岩浆或减薄岩石圈相似。

早白垩世晚期大规模岩浆活动集中在 110~123 Ma,峰值为 120 Ma,代表了华北地区中生代岩石圈减薄的峰值事件^[89-90],与胶东金矿床主成矿阶段形成时代(120±5) Ma 一致^[91-94]。由于伊泽奈奇(古太平洋)板块运动方向发生转变,向 NWW 向欧亚大陆俯冲,在上升的幔流柱的影响下,岩石圈加剧拆沉,壳幔强烈作用^[95-96],壳幔重熔岩浆与幔源物质大规模迅速上升,形成了壳幔混合成因的伟德山期花岗岩,具有“弧”花岗岩特征。在幔隆区(盆地区),下部熔浆沿断裂上升形成侵入体(崂山期花岗岩)、喷出地表形成了双峰式青山群火山岩。崂山期花岗岩是转换的结束期产物,太平洋板块运动尾期,太平洋板块基本定型,形成于大陆裂谷环境,地壳深部岩浆沿北东向断裂上侵就位,是典型的裂解型花岗岩-A 型花岗岩。

5 结论

胶东地区是山东省中生代花岗岩最发育、最典型的地区,且与金矿关系密切。我们首次按“时代+岩浆事件+岩性”的划分方法对中生代花岗岩进行了详细划分。将区域性广泛分布、具有成因联系、岩性相同、时代相同的花岗岩划分为同一期岩浆事件的产物,共划分为四个“期”:分别为晚侏罗世玲珑期(146~166 Ma)、早白垩世早期郭家岭期(123~135 Ma)、早白垩世晚期伟德山期(110~123 Ma)和崂山期(108~118 Ma)。对于局限分布、特殊岩性的花岗岩称之为独立岩体,按“时代+岩性”的方法进行划分,划分为 4 个独立岩体:分别为晚三叠世宁津所岩体、晚三叠世槎山岩体、晚侏罗世垛崮山岩体、晚侏罗世文登岩体。岩浆型岩浆活动从开始到结束持续时间一般在 10 Myr 左右,而重熔型岩浆作用从开始到结束持续时间一般在 20 Myr 左右。局部分布的岩体或独立侵入岩体从开始到结束时间较短,一般为 3~4 Myr。

胶东地区中生代构造岩浆演化反映了中国东部中生代构造体制转换过程,既由扬子板块和华北板块 SN 向挤压 EW 向伸展,到太平洋板块和欧亚板块 NW 挤压 NE 方向伸展的转换过程:早期挤压阶段形成了玲珑期的地壳重熔型花岗岩,转换初期形成了郭家岭期壳幔混合型花岗岩,峰期为伟德山期

“弧”花岗岩,末期在构造带发育崂山期A型花岗岩。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 郭敬辉,陈福坤,张晓曼,等.苏鲁超高压带花岗岩[J].中国地质大学学报,2001,20(5):521-525.
- [3] 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):46-52.
- [4] Li S G, Santosh M. Metallogeny and craton destruction: Records from the North China Craton[J]. Ore Geology Reviews, 2014, 56: 376-414.
- [5] Qian Q, Chung S L, Lee T Y, et al. Mesozoic high Ba-Sr granitoids from North China: Geochemical characteristics and geological implications[J]. Terra Nova, 2010, 15(4): 272-278.
- [6] 赛盛勋,赵天明,王中亮,等.玲珑黑云母花岗岩成因:矿物学特征约束[J].岩石学报,2016,32(8): 2477-2493.
- [7] 王德滋,周新民.中国东南部晚中生代花岗岩-侵入杂岩成因与地壳演化[M].北京:科学出版社,2002:1-290.
- [8] 郭敬辉,陈福坤,张晓曼,等.苏鲁超高压带北部中生代岩浆侵入活动与同碰撞-碰撞后构造过程:锆石U-Pb年代学[M].岩石学报,2005,21(4):1281-1301.
- [9] 张旗,王元,龙王焰.燕山期中国东部高原下地壳组成初探,埃达克质岩Sr、Nd同位素制约[J].岩石学报,2001,17(4):505-513.
- [10] 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):1-15.
- [11] 张娟.苏鲁造山带中生代岩浆岩地球化学研究[D].北京:中国科学技术大学,2011:1-177.
- [12] 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):1946-1956.
- [13] 关康,罗镇宽,苗来成,等.郭家岭型花岗岩地球化学特征与金矿化的关系[J].地质找矿论丛,1997,12(4):1-8.
- [14] 黄涛,杨立强,刘向东,等.胶北地体地壳演化:玲珑黑云母花岗岩继承锆石U-Pb年龄、微量元素和Hf同位素证据[J].岩石学报,2014,30(9):2574-2594.
- [15] 李洪奎,李大鹏,耿科,等.胶东地区燕山期岩浆活动及其构造环境:来自单颗粒锆石SHRIMP年代学的记录[J].地质学报,2017,91(1):136-179.
- [16] 林博磊,李碧乐.胶东玲珑花岗岩的地球化学、U-Pb年代学、Lu-Hf同位素及地质意义[J].成都理工大学学报(自然科学版),2013,40(2):147-160.
- [17] 杨进辉,朱美妃,刘伟,等.胶东地区郭家岭花岗闪长岩的地球化学特征及成因[J].岩石学报,2003,19(4):692-700.
- [18] 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):2447-2467.
- [19] Chen B, Jahn B M, Suzuki K. Petrological and Nd-Sr-Os isotopic constraints on the origin of high-Mg adakitic rocks from the North China Craton: Tectonic implications[J]. Geology, 2013, 41(1): 91-94.
- [20] 陈竟志,姜能.胶东晚三叠世碱性岩浆作用的岩石成因:来自锆石U-Pb年龄、Hf-O同位素的证据[J].岩石学报,2011,27(12):3557-3574.
- [21] 陈衍景,Franco Pirajno,赖勇,等.胶东矿集区大规模成矿时间和构造环境[J].岩石学报,2004,20(4):907-922.
- [22] 豆敬兆,付顺,张华锋.胶东郭家岭岩体固结冷却轨迹与隆升剥蚀[J].岩石学报,2015,31(8):2325-2336.
- [23] Goss S C, Wilde S A, Wu F Y, et al. The age, isotopic signature and significance of the youngest Mesozoic granitoids in the Jiaodong Terrane, Shandong Province, North China Craton[J]. Lithos, 2010, 120(3): 309-326.
- [24] Hou M L, Jiang Y H, Jiang S Y, et al. Contrasting origins of late Mesozoic adakitic granitoids from the northwestern Jiaodong Peninsula, east China: implications for crustal thickening to delamination[J]. Geological magazine, 2007, 144(4): 619-631.
- [25] Mao J W, Wang Y T, Li H M, et al. The relationship of mantle-derived fluids to gold metallogenesis in the Jiaodong Peninsula: Evidence from D-O-C-S isotope systematics[J]. Ore Geology Reviews, 2008, 33(3): 361-381.
- [26] 邱连贵,任凤楼,曹忠祥,等.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.
- [27] Song M C, Li S Z, Santosh M, et al. Characteristics and metallogenesis of gold deposits in the Jiaodong Peninsula, Eastern North China Craton[J]. Ore Geology Reviews, 2015, 65: 612-625.
- [28] 罗镇宽,苗来成.胶东招莱地区花岗岩和金矿床[M].北京:冶金工业出版社,2002:12-82.
- [29] 阳琼艳.胶东玲珑金矿中生代岩浆作用与金成矿动力学研究[D].北京:中国地质大学(北京),2013:70-81.
- [30] 宋明春,崔书学,伊丕厚,等.胶西北金矿集中区深部大型-超大型金矿找矿与成矿[M].北京:地质出版社,2010:198-210.
- [31] 宋明春,崔书学,姜洪利.山东胶西北矿集区和焦家金矿田成矿构造系统[J].地质通报,2011,30(4):573-578.
- [32] 邓军,杨立强,方云,等.胶东地区壳-幔作用与金成矿效应[J].地质科学,2000,35(1):60-70.
- [33] 李洪奎,卜文峰,禚传源,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):1-34.
- [34] 翟明国,杨进辉,刘文均.胶东大型黄金矿集区及大规模成矿作用[J].中国科学(D辑),2001,33(7):545-552.
- [35] 邓军,杨立强,王庆飞,等.胶东矿集区金成矿系统组成与演化概论[J].矿床地质,2006,25(增刊):67-70.
- [36] 李三忠,郑祺亮,李玺瑶,等.中国东部苏鲁造山带的印支期俯冲级性及其造山过程[J].海洋地质与第四纪地质,2017,37(4):18-32.
- [37] 张增奇,张成基,王世进,等.山东省地层侵入岩构造单元划分

- 对比意见[J].山东国土资源,2014,30(3):1-23.
- [38] 王涛,童英,郭磊,等.侵入岩填图方法体系及专题研究[J].地质通报,2017,36(11):1954-1962.
- [39] 童英,郭磊,王涛,等.同源花岗岩谱系填图:内蒙古二连宝德尔石林花岗岩填图试点[J].地质通报,2017,36(11):1963-1969.
- [40] 王连训,马昌前,熊富浩,等.浆混花岗岩专题填图方法初探:以东昆仑加鲁河地区为例[J].地质通报,2017,36(11):1972-1986.
- [41] 王世进,万渝生,王伟,等.山东崂山花岗岩形成时代-锆石SHRIMP U-Pb定年[J].山东国土资源,2010,16(10):1-5.
- [42] 王世进,万渝生,王伟,等.鲁东地区玲珑型(超单元)花岗岩锆石SHRIMP定年[J].山东国土资源,2011,28(2):1-10.
- [43] 王世进,万渝生,宋志勇,等.鲁东文登地区文登型(超单元)花岗岩的SHRIMP锆石年代学[J].山东国土资源,2012,27(4):1-7.
- [44] 王世进,万渝生,宋志勇,等.山东胶南-威海造山带荣成岩套花岗质片麻岩的形成时代-锆石SHRIMP U-Pb定年[J].山东国土资源,2012,28(5):1-8.
- [45] 赵睿.胶东半岛构造演化及金成矿作用[D].北京:中国地质大学(北京),2016:18-54.
- [46] 丁正江,孙丰月,刘福来,等.胶东伟德山地区铜钼多金属矿锆石U-Pb法测年及其地质意义[J].岩石学报,2013,29(2):0607-0618.
- [47] 胡芳芳,范宏瑞,杨进辉,等.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.
- [48] 胡芳芳,范宏瑞,杨奎锋,等.胶东牟平邓格庄金矿床流体包裹体研究[J].岩石学报,2007,23(9):2155-2164.
- [49] Tang H Y,Zheng J P,Yu C M. Age and composition of the Rushan intrusive complex in the northern Sulu orogen, eastern China: petrogenesis and lithospheric mantle evolution[J]. Geol. Mag.,2009,146(2):199-215.
- [50] Tang H Y,Zheng J P,Yu C M,et al. Multistage crust-mantle interactions during the destruction of the North China Craton: Age and composition of the Early Cretaceous intrusions in the Jiaodong Peninsula[J]. Lithos,2014,190-191:52-70.
- [51] 李增达,于晓飞,王全明,等.胶东三佛山花岗岩的成因:成岩物理化学条件、锆石U-Pb年代学及Sr-Nd同位素约束[J].岩石学报,2018,34(2):447-468.
- [52] 宋明春,李杰,周建波,等.胶东早白垩世高镁闪长岩类的发现及其构造背景[J].岩石学报,2020,36(1):279-296.
- [53] 张田,张岳桥.胶东半岛中生代侵入岩浆活动序列及其构造制约[J].高校地质学报,2007,13(2):323-336.
- [54] 张田,张岳桥.胶北隆起晚中生代构造—岩浆演化历史[J].地质学报,2008,82(9):1210-1228.
- [55] 张岳桥,李金良,张田,等.胶东半岛牟平—即墨断裂带晚中生代运动学转换历史[J].地质论评,2007,53(3):289-300.
- [56] 王瑞良,张招崇,曾庆栋,等.胶东栖霞金矿集区早白垩世花岗岩形成时代及成矿意义[J].大地构造与成矿学,2019,43(1):186-198.
- [57] Li X H,Fan H R,Zhang Y W,et al. Rapid exhumation of the northern Jiaobei Terrane, North China Craton in the Early Cretaceous: insights from Al-in-hornblende barometry and U-Pb geochronology[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2018,160:365-379.
- [58] Li X H,Fan H R,Hu F F,et al. Linking lithospheric thinning and magmatic evolution of late Jurassic to early cretaceous granitoids in the Jiaobei Terrane, southeastern North China Craton[J]. Lithos,2019,324-325:280-296.
- [59] 关康,罗镇宽,苗来成,等.胶东招掖郭家岭型花岗岩锆石SHRIMP年代学研究[J].地质科学,1998,33(3):318-328.
- [60] 罗贤冬,杨晓勇,段留安,等.胶北地块与金成矿有关的郭家岭岩体和上庄岩体年代学及地球化学研究[J].地质学报,2014,88(10):1874-1888.
- [61] 李洪奎,李大鹏,耿科,等.胶东地区燕山期岩浆活动及其构造环境:来自单颗粒锆石SHRIMP年代学的记录[J].地质学报,2017,91(1):136-179.
- [62] Yang Q Y,Santosh M,Shen J F,et al . Juvenile vs. recycled crust in NE China: Zircon U-Pb geochronology, Hf isotope and an integrated model for Mesozoic gold mineralization in the Jiaodong Peninsula[J]. Gondwana Research, 2014, 25: 1445-1468.
- [63] 万多.山东胶东地区招平断裂带北段金矿成矿规律与成矿预测[D].长春:吉林大学,2014,80-90.
- [64] 陈广俊,孙丰月,李玉春,等.胶东郭家岭花岗闪长岩U-Pb年代学、地球化学特征及地质意义[J].世界地质,2014,33(1):39-47.
- [65] Yang K F,Fan H R,Santosh M,et al. Reactivation of the Archean lower crust: Implications for zircon geochronology, elemental and Sr-Nd-Hf isotopic geochemistry of late Mesozoic granitoids from northwestern Jiaodong Terrane, the North China Craton[J]. Lithos,2012,146-147:112-127.
- [66] Yang K F,Jiang P,Fan H R,et al. Tectonic transition from a compressional to extensional metallogenetic environment at ~120 Ma revealed in the Hushan gold deposit, Jiaodong, North China Craton[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2018,160:408-425.
- [67] 王朝.郯庐断裂带构造特征及其对矿产的控制与影响[D].合肥:合肥工业大学,2013,37-60.
- [68] 苗来成,罗镇宽,黄佳展,等.山东招掖金矿带内花岗岩类侵入体锆石SHRIMP研究及其意义[J].中国科学(D辑),1997,27(3):207-213.
- [69] Zhang X O,Cawood Peter A ,Wilde Simon A ,et al. Geology and timing of mineralization at the Gangshang gold deposit, north-western Jiaodong Peninsula, China[J]. Mineralium Deposita,2003,38:141-153.
- [70] Jiang N,Chen J Z,Guo J H,et al. In situ zircon U-Pb, oxygen and hafnium isotopic compositions of Jurassic granites

- from the North China craton: Evidence for Triassic subduction of continental crust and subsequent metamorphism – related ^{18}O depletion[J]. *Lithos*, 2012, 142 – 143: 84 – 94.
- [71] Ma L, Jiang S Y, Dai B Z, et al. Multiple sources for the origin of Late Jurassic Linglong adakitic granite in the Shandong Peninsula, eastern China: Zircon U – Pb geochronological, geochemical and Sr – Nd – Hf isotopic evidence[J]. *Lithos*, 2013, 162 – 163: 251 – 263.
- [72] 陈俊, 孙丰月, 王力, 等. 胶东招披地区梁家河花岗岩锆石 U – Pb 年代学、岩石地球化学及其地质意义[J]. 世界地质, 2015, 34(2): 283 – 295.
- [73] 刘晓阳, 谭俊, 王怀洪, 等. 胶东范家庄地区晚侏罗世低镁埃达克质花岗岩成因及构造背景[J]. 地球科学, 2020, 45(2): 451 – 466.
- [74] Zhang J, Zhao Z F, Zheng Y F, et al. Zircon Hf – O isotope and whole – rock geochemical constraints on origin of postcollision mafic to felsic dykes in the Sulu orogen[J]. *Lithos*, 2012, 136: 225 – 245.
- [75] Li X H, Fan H R, Hu FF, et al. Linking lithospheric thinning and magmatic evolution of late Jurassic to early cretaceous granitoids in the Jiaobei Terrane, southeastern North China Craton[J]. *Lithos*, 2019, 324 – 325: 280 – 296.
- [76] 王栋. 胶东地区侏罗纪花岗岩的 U – Pb – Hf 同位素特征及其大地构造意义研究[D]. 北京: 中国地质科学院, 2012: 19 – 40.
- [77] Zhao Z F, Zheng Y F, Zhang J, et al. Syn – exhumation magmatism during continental collision: Evidence from alkaline intrusives of Triassic age in the Sulu orogen[J]. *Chemical Geology*, 2012, 328: 70 – 88.
- [78] 陈竟志, 姜能. 胶东晚三叠世碱性岩浆作用的岩石成因: 来自锆石 U – Pb 年龄、Hf – O 同位素的证据[J]. 岩石学报, 2011, 27(12): 3557 – 3574.
- [79] 郑永飞. 超高压变质与大陆碰撞研究进展: 以大别 – 苏鲁造山带为例[J]. 科学通报, 2008, 53(18): 2129 – 2152.
- [80] 王世进, 万渝生, 王伟, 等. 山东崂山花岗岩形成时代: 锆石 SHRIMP U – Pb 定年[J]. 山东国土资源, 2010, 26(10): 1 – 5.
- [81] Li X C, Fan H R, Santosh M, et al. An evolving magma chamber within extending lithosphere: An integrated geochemical, isotopic and zircon U – Pb geochronological study of the Gushan granite, eastern North China Craton[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2012, 50: 27 – 43.
- [82] 宋英昕, 宋明春, 李世勇, 等. 胶东晚中生代三期成矿岩体和 3.5 Ga 锆石的发现及成矿动力学背景[J]. 地质学报, 2019, 93(2): 440 – 458.
- [83] Zheng Y F, Wang Z R, Li S G, et al. Oxygen isotope equilibrium between eclogite minerals and its constraints on mineral Sm – Nd chronometer[J]. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 2002, 66(4): 625 – 634.
- [84] Liu F L, Gerdes A, Zeng L S, et al. SHRIMP U – Pb dating, trace elements and the Lu – Hf isotope system of coesite – bearing zircon from amphibolite in the SW Sulu UHP terrane, eastern China[J]. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 2008, 72(12): 2973 – 3000.
- [85] Liu F L, Xu Z Q, Liou J G, et al. SHRIMP U – Pb ages of ultrahigh – pressure and retrograde metamorphism of gneisses, south – western Sulu terrane, eastern China[J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 2010, 22(4): 315 – 326.
- [86] Xu H J, Zhang J F, Wang Y F, et al. Late Triassic alkaline complex in the Sulu UHP terrane: Implications for post – collisional magmatism and subsequent fractional crystallization [J]. *Gondwana Research*, 2016, 35: 390 – 410.
- [87] Maruyama S, Isozaki Y, Kimura G, et al. Paleogeographic maps of the Japanese Islands: Plate tectonic synthesis from 750 Ma to the present[J]. *Island Arc*, 1997, 6(1): 121 – 142.
- [88] 王德滋, 周新民. 中国东南部晚中生代花岗质火山 – 侵入杂岩成因与地壳演化[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 1 – 290.
- [89] 翟明国, 樊祺诚, 张宏福, 等. 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[J]. 岩石学报, 2005(6): 1509 – 1526.
- [90] 翟明国, 孟庆任, 刘建明, 等. 华北东部中生代构造体制转折峰期的主要地质效应和形成动力学探讨[J]. 地学前缘, 2004, 11(3): 285 – 297.
- [91] 杨进辉, 周新华, 陈立辉. 胶东地区破碎带蚀变岩型金矿时代的测定及其地质意义[J]. 岩石学报, 2000, 16(3): 454 – 458.
- [92] 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.
- [93] 杨立强, 邓军, 葛良胜, 等. 胶东金矿成矿时代和矿床成因研究述评[J]. 自然科学进展, 2006, 16(7): 797 – 802.
- [94] 宋雪龙, 李俊建, 李秀章, 等. 胶东金矿床成矿流体、稳定同位素及成矿时代研究进展[J]. 地质找矿论丛, 2014, 29(1): 13 – 19.
- [95] 翟明国, 朱日祥, 刘建明, 等. 华北东部中生代构造体制转折的关键时限[J]. 中国科学 D 辑, 2003, 33(10): 913 – 920.
- [96] 吴福元, 葛文春, 孙德有, 等. 中国东部岩石圈减薄研究中的几个问题[J]. 地学前缘, 2003, 10(3): 51 – 60.

Division of Mesozoic Granites in Jiaodong Area

WANG Laiming, REN Tianlong, LIU Handong, NING Zhenguo, YU Xiaowei, GUO Ruipeng, HOU Jianhua, ZHU Xueqiang

(Shandong Institute of Geological Surveying, Shandong Jinan 250013, China)

Abstract: Jiaodong area is the most developed and typical area of Mesozoic granite in Shandong province, which is closely related to gold deposits. The division of granite mainly depends on regional geological survey with the scale of 1 : 50000 carried out in 1980s to 1990s. Due to many completion units, different completion times and different map sheets, the division of intrusive rocks is different, so the division of granite is not unified. In this paper, Mesozoic granites are divided in detail according to the division method of "age + magmatic event + lithology" for the first time. The granites widely distributed in Jiaodong area, with genetic connection, the same lithology and the same formation age are divided into the products of the same magmatic event. The magmatic event is named as the regional magmatic activity event unit below the "epoch", which is divided into Linglong period of late Jurassic (146~166Ma), Guojialing period of early Cretaceous (123~135Ms) Weideshan period (110~123Ma) and Laoshan period (108~120Ma) in late period of early Cretaceous. Linglong period is crustal remelting granite, Guojialing period and Weideshan period are crust mantle mixed granite, and Laoshan stage is A type granite. Granite with limited distribution and special lithology is called independent rock mass. According to the method of "age + lithology", it is divided into four independent rock masses, they are Ningjinsuo rock mass of late Triassic, Chashan rock mass of late Triassic, Duogushan rock mass of late Jurassic and Wendeng rock mass of late Jurassic. The Mesozoic tectonomagmatic evolution in Jiaodong area reflects the transformation process of Mesozoic tectonic system in eastern China. It is the transformation process of SN compression to EW extension of Yangtze plate, and NW compression of North China plate to NE extension of Pacific plate and Eurasian plate.

Key words: Granites; Mesozoic; division; Jiaodong area