

# 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

王世进<sup>1</sup>, 万渝生<sup>2,3</sup>, 宋志勇<sup>1</sup>, 王伟<sup>4</sup>, 董春艳<sup>2</sup>, 张贵丽<sup>1</sup>

(1. 山东省地质调查院, 山东 济南 250013; 2. 中国地质科学院地质研究所, 北京, 100037; 3. 北京离子探针中心, 北京 100037; 4. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

**摘要:** 胶南-威海造山带荣成岩套花岗质片麻岩由闪长质片麻岩-石英闪长质片麻岩-英云闪长质片麻岩-奥长花岗质片麻岩-花岗闪长质片麻岩-黑云二长花岗质片麻岩-二长花岗质片麻岩类组成, 早期为 TTG 质花岗岩, 晚期为二长花岗岩类。自早到晚存在明显的富钾演化特征。根据新的 SHRIMP U-Pb 锆石定年结果, 该岩套早期闪长质片麻岩年龄为  $(741 \pm 10)$  Ma, 英云闪长质片麻岩年龄为 780~760 Ma。晚期二长花岗质片麻岩年龄为 760~714 Ma。所以, 可把荣成岩套花岗岩时代限定在 800~700 Ma 之间(南华纪), 其形成与华北克拉通岩石圈减薄有关。

**关键词:** 荣成岩套; 花岗质片麻岩; 南华纪; SHRIMP U-Pb 定年; 胶南-威海造山带; 山东省

中图分类号: P597.3

文献标识码: A

## 0 引言

荣成岩套侵入岩, 规模宏大, 广泛出露于桃村-东陡山断裂以东的荣成、威海、文登、牟平和沿海一带的胶南、日照、莒南、临沭等县市所辖地区, 面积达 2 920 km<sup>2</sup>。呈 NE, NNE 向展布的复式基岩、岩株状产出。组成复式侵入体的岩石单位(岩体)无规律出现, 相互穿切, 较早者多被冲碎成包体状, 界线平直, 脉动或涌动关系。展布方位与区域片麻理协调, 内部榴辉岩、变质地层包体较多, 且定向排列。侵入于荆山群地层和海阳所基性-超基性岩组合, 使其呈包体状残留其内, 被晚期侵入岩穿切(图 1)。

分布于胶南-文(登)威(海)碰撞造山带上的该套变质变形花岗闪长岩-二长花岗岩, 原划为胶南群大山沟组、甄家沟组的长英质片麻岩, 后改划为晚元古代晋宁期荣成超单元<sup>[1,2]</sup>。岩石经受低角闪岩相变质和韧性剪切带的叠加改造, 已变为一套灰色花岗质片麻岩系, 片麻理和糜棱面理颇为发育, 原岩为中酸性-酸性侵入岩类组合。共划分 14 个岩体, 早

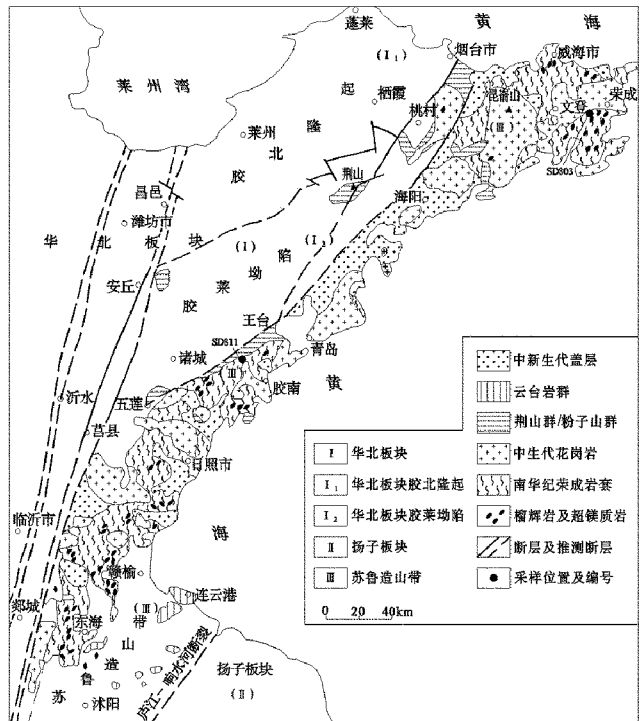


图 1 胶南-威海造山带地质简图  
期为变辉长岩-角闪闪长质片麻岩-TTG 质片麻

\* 收稿日期: 2011-05-16; 修订日期: 2012-04-06; 编辑: 陶卫卫

作者简介: 王世进(1950—), 男, 山东烟台人, 教授级高级工程师, 主要从事区域地质、矿产、农业地质调查研究工作; E-mail: shijinw63@163.com。

岩,晚期为二长花岗质片麻岩。

### 1 荣成岩套花岗岩基本特征

早期变辉长岩-角闪闪长质片麻岩,岩石呈灰黑色,粒状变晶结构,条带状、片麻状构造;TTG 质片麻岩类呈灰、深灰、灰白色,鳞片粒状变晶结构、花岗变晶结构,片麻状、条纹状构造。岩体内有榴辉岩和较多的闪长质包体。晚期二长花岗质片麻岩类,岩石呈灰一灰红色,鳞片粒状变晶或花岗变晶结构,糜棱变晶结构,片麻状、条带状构造,岩体内有榴辉岩及变质地层包体(基本特征见表 1,岩套花岗岩期次划分见表 2)。

### 2 分析技术

重砂分选、制靶以及透、反射光和阴极发光在北京离子探针中心完成。锆石测年是在北京离子探针中心的网络虚拟实验室,通过 SHRIMP 远程共享控制系统(SHRIMP Remote Operation System, SROS),利用北京离子探针中心已购置,现暂放于澳大利亚堪培拉澳洲科学仪器制造公司(ASI)的 SHRIMP II 仪器上完成的。锆石测年方法与 Williams(1998)所描述的类似。一次离子流强度约 4 nA,束斑直径约 30 μm。样品测定为 5 组扫描。使用标准锆石为 M257(U = 840 × 10<sup>-6</sup>) (Nasdala, 2008)和 TEMORA (年龄=417 Ma)(Black et al., 2003),用于未知样品的 U 含量标定和年龄校正。TEMORA 和待测锆石之比为 1:3~1:4。由于为年轻锆石,使用<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄。使用<sup>204</sup>Pb 做普通铅年龄校正。数据处理采用 SQUID 和 ISOPLOT 程序(Ludwig, 2001)。单个数据点误差为 1σ,加权平均年龄误差为 95%置信度。

### 3 锆石特征和测年结果

#### 3.1 胶州市大张八中细粒角闪闪长质片麻岩 (SD811) 锆石测年结果

大张八中细粒角闪闪长质片麻岩(SD811)样品采之胶州市大张八村东南,岩石经历区域变质作用,片麻状构造明显(图 2),但仍保留岩体特征。锆石呈柱状,阴极发光图像中具板状环带(图 3)。在 12 颗锆石上进行了 14 个数据点分析(表 3),U, Th 含量和



图 2 大张八中细粒角闪闪长质片麻岩野外照片

Th/U 比值分别为(159~725) × 10<sup>-6</sup>, (73~1 077) × 10<sup>-6</sup>和 0.46~1.53。除 4.1 和 7.2 外,其余数据点在谐和线或其附近集中分布,给出<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 加权平均年龄为(741 ± 10) Ma(图 4),代表了闪长岩(角闪闪长质片麻岩变质原岩)的形成时代。

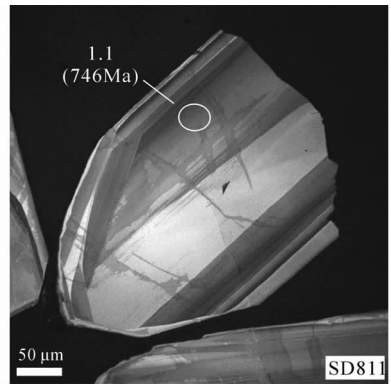


图 3 大张八中细粒角闪闪长质片麻岩 (SD811) 锆石阴极发光图像

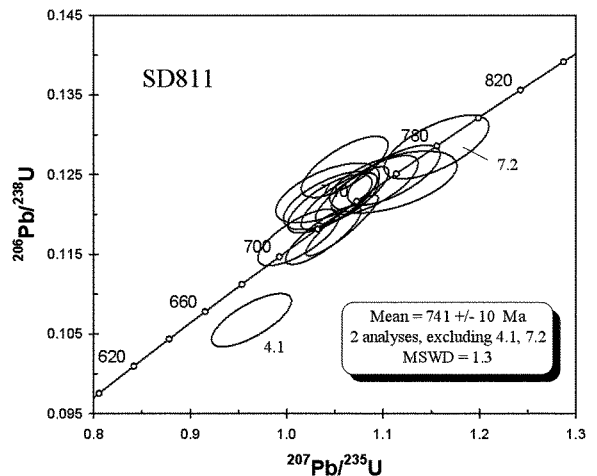


图 4 大张八中细粒角闪闪长质片麻岩锆石 SHRIMP U - P 年龄

表 1 荣成岩套闪长质-花岗闪长质片麻岩各单元特征

单元	地质特征	岩石学特征	矿物组成(%)		
			石英 云母	斜长石 角闪石	钾长石 其他
滕家	分布于荣成-邱家带的东北部呈 NNE 向延伸的不规则带状展布,面积 114km <sup>2</sup> ,侵入大时家单元,内含海阳所超单元、荆山群及榴辉岩包体,也见少量细粒闪长质包体	条带片麻状细粒含黑云花岗闪长岩:浅灰色、灰白色,鳞片粒状变晶结构,片麻状构造。变晶矿物粒径 0.1~1mm,局部黑云母富集成条带	26.70	54.00	13.60
			6.20		
泊于	分布于崮山-天福山带的北部东侧,呈近 SN 向带状延伸,面积 18.52km <sup>2</sup> ,包于威海亚超单元中	条纹片麻状中细粒含角闪黑云花岗闪长岩:深灰色,中细粒变晶结构,片麻状及条纹状构造。主要矿物粒度≤100,少数可达 3mm,暗色矿物与浅色矿物分别集中、相间排列构成条痕构造	27.50	37.50	12.50
			12.50	5.00	
中村	分布于荣成-邱家带南部,呈 NE 向透镜状产出,侵入大时家单元,面积 2.41km <sup>2</sup> 。侵入体中有少量闪长质包体	片麻状斑状中细粒含黑云角闪花岗闪长岩:灰白色,似斑状结构,基质鳞片花岗变晶结构,片麻状构造。斑晶为条纹长石,含量 15%~20%,粒径 0.5~1.2mm;基质粒径 0.5~2mm	21.00	40.30	18.00
			8.90	11.80	
大时家	分布于荣成-邱家带西南部,呈 NE 向延伸的不规则带状产出,面积 43.23km <sup>2</sup> ,侵入荆山群及海阳所超单元。含较多细粒暗色闪长质包体	片麻状中细粒含黑云角闪花岗闪长岩:灰白色,鳞片粒状变晶结构,片麻状构造。矿物粒径 0.5~3mm	23.76	48.84	16.39
			6.44	3.60	
小屯	分布于胶南断隆北缘的五莲-王台带,呈 NNE 向带状展布,面积不足 20km <sup>2</sup> ,侵入老黄山单元	片麻状中细粒斜长花岗岩:灰白-白色,变余半自形粒状结构,他形粒状变晶结构,定向构造,常有显著的糜棱岩化,矿物粒径 0.2~4mm		59.26	33.09
东孤石	零星出露于荣成-邱家带的西北侧、崮山-天福山带及威海-文登带的西侧,呈透镜状分布,内含闪长质及富云包体	中细粒角闪黑云英云闪长质片麻岩:灰白色,鳞片粒状变晶结构,片麻状、条痕状构造。主要矿物粒径 0.2~2mm	12~25	54~70	1~16
			12~19	0~19	
岔河	分布于相沟-壮岗带的中部北侧及黄墩-东港带西部,呈不规则带状产出,面积约 50.8km <sup>2</sup> 。内含较多荆山群变粒岩包体	条带状中细粒含角闪黑云石英二长闪长岩:灰黑色片柱状粒状变晶结构,片麻状构造。变晶矿物粒径 0.6~1mm。原岩矿物粒径 1~4mm	10.9	57.01	9.1
			8.5	8.2	
花林	分布于五莲-王台带的东端,呈透镜状产出,面积 4.65km <sup>2</sup>	片麻状细粒角闪石英闪长岩:灰黑色,半自形柱状粒状结构,片麻状构造,主要矿物粒径 0.1~0.5mm	22	58	5
			10		5
大张八	分布于五莲-王台带,呈透镜状、条带状产出,面积不超过 20km <sup>2</sup> 。其内常有角闪石岩及变质地层包体	片麻状中细粒角闪闪长岩:暗绿色,中细粒粒状柱状变晶结构,变余半自形粒状结构,定向构造,单矿物粒径 0.5~1.5mm,矿物集合体所显示的原矿物粒径≤4mm	30	61.89	3.97
			1.81		
御驾山	庙山岩体分布于荣成-邱家带及桃林-宝山带西部,呈带状产出,面积约 68.69km <sup>2</sup> ,侵入邱家、宝山等单元	细纹片麻状细粒二长花岗岩:浅肉红色,细粒变晶结构,变余糜棱结构,片麻状构造,细纹构造,变晶矿物粒径 0.1~1mm	36.04	22.15	40.24
			0.53		磁铁矿 0.98
和徐疃	分布于威海-文登带的北段中部,呈近 SN 走向带状分布,面积 31.52km <sup>2</sup> ,侵入大时家和邱家单元	片麻状含斑中粒二长花岗岩:灰白色,中粒变晶结构,似斑状结构,片麻状构造。斑晶含量 5%,粒径 5~7mm,基质粒径 0.3~2mm	33.99	28.03	30.49
			2.30		磁铁矿+ 角闪石 3.00
玉林店	构成玉林店-午极带及黄墩-东港带的主体,在后安-车轮山后带中段及相沟-壮岗带的东段也有分布。呈带状分布,面积约 356.87km <sup>2</sup> ,侵入岔河、大时家、宝山等单元	片麻状中细粒含黑云二长花岗岩:浅灰色、灰白色,鳞片粒状变晶结构,片麻状构造。矿物粒径 0.1~4mm	22.02	36.58	35.82
			3.58		
邱家	构成荣成-邱家带及后安-车轮山后带的主体,在威海-文登带、崮山-天福山带及相沟-壮岗带中也见分布,总面积 1065.67km <sup>2</sup> ,侵入滕家、大时家、宝山单元,见榴辉岩包体	片麻状细粒含黑云二长花岗岩:浅肉红色,细粒变晶结构,片麻状构造,矿物粒径 0.1~1mm	27.73	41.01	26.83
			7.47		
甄家沟	分布于桃林-宝山带北侧及相沟-壮岗带西段,呈带状分布,面积约 373.16km <sup>2</sup> ,侵入宝山单元,内有较多荆山群包体及榴辉岩包体	片麻状细粒含二云二长花岗岩:风化色土黄,他形粒状变晶结构,片麻状构造,变晶矿物粒径 0.5~1mm	31.30	30.93	33.13
			4.65		
威海	主要见于威海-文登带及崮山-天福山带,在桃林-宝山带及黄墩-东港带也有少量分布,呈带状分布,面积约 432.3km <sup>2</sup> ,其内见荆山群包体、富云包体及榴辉岩包体	条带片麻状细粒含黑云二长花岗岩:灰白色,细粒变晶结构,条带状及片麻状构造。主要矿物粒径 0.3~1mm	28.15	30.45	32.15
			8.50		磁铁矿 0.36
宝山	分布于桃林-宝山带及相沟-石桥带,总面积 307.2km <sup>2</sup> ,呈 NEE-近 EW 向条带状展布,侵入荆山群及海阳所超单元。其内有榴辉岩包体及富云包体	片麻状中细粒二云二长花岗岩:浅灰色,不等粒鳞片粒状变晶结构,片麻状构造,部分变余糜棱结构,条带状构造,变晶矿物粒径 0.1~1mm,矿物集合体粒径 1~3mm	34.38	32.72	29.84
			2.2	11.88	
宝山	分布于桃林-宝山带及相沟-石桥带,总面积 307.2km <sup>2</sup> ,呈 NEE-近 EW 向条带状展布,侵入荆山群及海阳所超单元。其内有榴辉岩包体及富云包体	片麻状中细粒二云二长花岗岩:浅灰色,不等粒鳞片粒状变晶结构,片麻状构造,部分变余糜棱结构,条带状构造,变晶矿物粒径 0.1~1mm,矿物集合体粒径 1~3mm	18.54	34.49	25.87
			12.95		绿帘石 6.69 石榴石 1.44

表 2 荣成岩套花岗岩期次划分

地质年代					岩石单位			本次划分代号	
代	纪	世(期)	阶段	次	岩套	典型产地	岩性		同位素年龄(Ma)及说明
元 古 代	南 华 纪	南 华 期	第 一 阶 段	c	荣 成	邱家	细粒二长花岗质片麻岩(含双山子含磁铁矿细粒二长花岗质片麻岩、庙山细粒细粒二长花岗质片麻岩)	胶南月季山单锆石 U-Pb 年龄 796.6±19.5, 757.3±14.1 <sup>(1)</sup> ; 莒南双山子锆石 U-Pb 谐和年龄 1213.59 <sup>(2)</sup> 。单锆石 U-Pb 年龄: 莒南 1180.9 <sup>(2)</sup> , 854 <sup>(3)</sup> ; 胶南杨家洼 855±5 <sup>(1)</sup> ; 日照牛二姑 1055±19 <sup>(4)</sup> ; 五莲后苇场锆石 U-Pb 谐和线上交点年龄 731±68 <sup>(5)</sup> ; 牟平初村南锆石 U-Pb 年龄 648.82 <sup>(1)</sup> 。荣成上庄锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 772±14 (李向辉等, 2007)	Nh <sup>1c</sup> gn <sup>7</sup> f
						和徐疃	含斑中粒二长花岗质片麻岩		Nh <sup>1c</sup> gn <sup>7</sup> m
						玉林店	细中粒含黑云二长花岗质片麻岩	单锆石 U-Pb 年龄: 牟平东柳家 856, 890; 牟平孟良口子 648 <sup>(6)</sup> , 936.6 <sup>(7)</sup>	Nh <sup>1c</sup> gn <sup>7</sup> f m
						宝山	中细粒黑云二长花岗质片麻岩	锆石 U-Pb 谐和线上交点年龄: 诸城报子岭 783±18。锆石质谱计双带源逐层蒸发法: 莒南刘莲坡 888±16, 莒南陈石门 805.59±9.26 <sup>(2)</sup> , 胶南尚庄单颗粒锆石 Pb-Pb 年龄 1221±19.5 <sup>(6)</sup> 锆石 U-Pb 年龄: 莒南甄家沟 896 <sup>(9)</sup> , 胶南陡楼 881 <sup>(10)</sup> 诸城桃行 838±100(龚冰等, 2004)	Nh <sup>1c</sup> gn <sup>7</sup> mf
						甄家沟	细粒含黑云二长花岗质片麻岩	莒南邱官庄单锆石 Pb-Pb 年龄 839±40 <sup>(12)</sup> , 莒南甄家沟锆石 U-Pb 谐和线 813±24 <sup>(10)</sup> , 青岛仰口花岗岩片麻岩锆石 U-Pb 等时线年龄 871±46 (李曙光等, 1993), 798±75 (郑永飞, 2003)	Nh <sup>1c</sup> gn <sup>7</sup> f
						威海	条带细粒含黑云二长花岗质片麻岩	威海皂埠锆石 U-Pb 年龄 682 <sup>(11)</sup> , 760±49, 751±27; 威海温泉 723±36, 744±63(唐俊等, 2004—2005), 786±20; 威海孙家疃 714±14(李向辉等, 2007)	Nh <sup>1c</sup> gn <sup>7</sup> fb
						滕家	条带细粒含黑云花岗闪长质片麻岩	滕家锆石 U-Pb 年龄 797±5 <sup>(11)</sup>	Nh <sup>1b</sup> gn <sup>7</sup> b
						泊于	条纹中细粒含角闪黑云花岗闪长质片麻岩		Nh <sup>1b</sup> gn <sup>7</sup> ps
						中村	斑状中细粒含黑云角闪花岗闪长质片麻岩		Nh <sup>1b</sup> gn <sup>7</sup> p
						大时家	中细粒含黑云角闪花岗闪长质片麻岩	大时家锆石 U-Pb 年龄 787 <sup>(11)</sup> , 738±17(唐俊等, 2004)	Nh <sup>1b</sup> gn <sup>7</sup> mf
						小屯	中细粒斜长花岗质片麻岩	小屯单锆石 Pb-Pb 年龄 1370.6 <sup>(1)</sup>	Nh <sup>1b</sup> gn <sup>7</sup> mf
						东孤石	中细粒云英云闪长质片麻岩	东孤石单锆石 Pb-Pb 年龄 805±17 <sup>(12)</sup> , 锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 780~760(万渝生、王世进等, 2009)	Nh <sup>1b</sup> gn <sup>7</sup> mf
						岔河	条带状中细粒角闪黑云石英二长闪长质片麻岩		Nh <sup>1b</sup> gn <sup>7</sup> b
						花林	细粒角闪石英闪长质片麻岩		Nh <sup>1b</sup> gn <sup>7</sup> f
						a	大张八	中细粒角闪闪长质片麻岩	锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 741±10(万渝生、王世进等, 2009)
仰口	变辉长岩	锆石 LA-ICP-MSU 法 U-Pb 年龄 785±15(刘福来等, 2009)	$\nu$ Nh <sup>1a</sup>						

资料来源: (1)山东省区域地质调查队, 1:5 万胶南二幅区域地质调查报告, 1996 年; (2)山东省第七地质队 1:5 万板泉崖四幅区域地质调查报告, 1996 年; (3)山东省区域地质调查队, 1:20 万日照赣榆幅区域地质调查报告, 1982 年; (4)山东省区域地质调查队, 1:5 万坪上三幅区域地质调查报告, 1996 年; (5)长春地质学院, 1:5 万诸城八幅区域地质调查报告, 1995 年; (6)山东省第三地质队, 1:5 万牟平六幅区域地质调查报告, 1990 年; (7)山东省第三地质队, 1:5 万滕家八幅区域地质调查报告, 1995 年; (8)山东省第八地质队, 1:5 万日照六幅区域地质调查报告, 1995 年; (9)山东省区域地质调查队, 1:5 万莒南二幅区域地质调查报告, 1988 年; (10)山东省区域地质调查队, 1:20 万青岛(含灵山卫)、高密幅区域地质调查报告, 1992 年; (11)山东省区域地质调查队, 1:20 万威海四幅区域地质调查报告, 1993 年; (12)山东省地质调查院, 1:25 万威海、乳山幅区域地质调查报告, 2003。

### 3.2 荣成市东孤石英云闪长质片麻岩(SD803)锆石测年结果

东孤石英云闪长质片麻岩呈透镜状、长条状产出, 主要见于荣成市东孤石村及威海市草庙子以西等地, 与滕家、威海片麻岩等呈构造强制平行接触关

系,片麻理走向与界线平行。岩体中见有细粒闪长质及富云包体,包体与寄主岩石多数呈截然关系,个别呈渐变模糊界线。岩石呈灰白色、灰色,鳞片粒状



图 5 荣成市东孤石英云闪长质片麻岩(SD803)

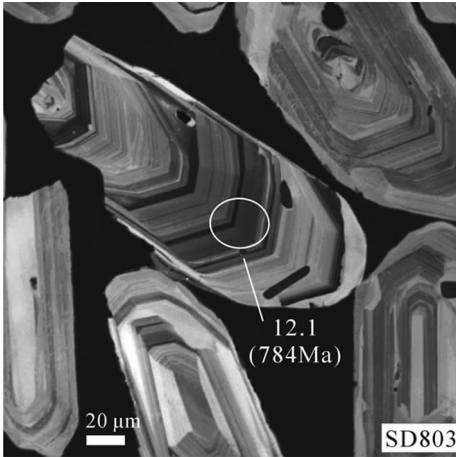


图 6 荣成市东孤石英云闪长质片麻岩锆石阴极发光图像

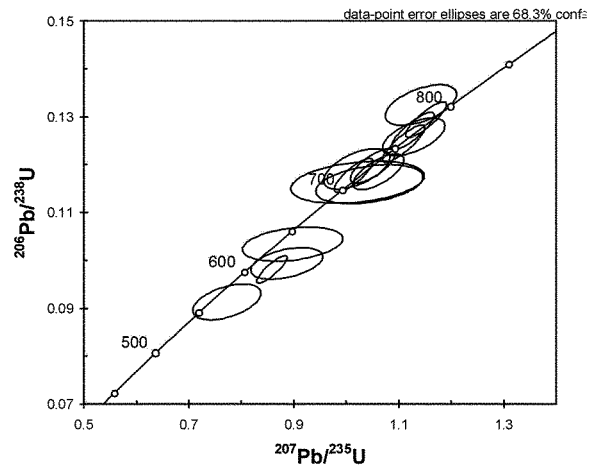


图 7 荣成市东孤石英云闪长质片麻岩(SD803)锆石 SHRIMP U-Pb 年龄

变晶结构、变余半自形粒状结构,片麻状、条痕状构造,主要矿物粒径在 0.2~2 mm 左右。石英含量不稳定,有时较少而成为石英闪长质片麻岩。东孤石英云闪长质片麻岩样品(SD803)采于东孤石村南公路边(图 5),锆石呈柱状,阴极发光图像中具密集岩浆环带(图 6)。部分锆石边部可能存在变质增生边,但宽度太窄,不能做年龄测定。在 13 颗岩浆锆石上进行了 15 个数据点分析(表 4),U,Th 含量和 Th/U 比值分别为(6~1011)×10<sup>-6</sup>, (34~645)×10<sup>-6</sup>和 0.38~1.53。谐和图上,数据点沿谐和线分散分布,显示出不同程度的铅丢失,可能与中生代构造热事件强烈影响有关。最靠近上交点的数据点应最接近岩浆锆石形成时代(图 7)。根据<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄,英云闪长岩形成时代大致为 760~780 Ma。

表 3 大张八中细粒角闪闪长质片麻岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄

Spot	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-6</sup>	<sup>232</sup> Th/	10 <sup>-6</sup>	<sup>207</sup> Pb* /	± %	<sup>207</sup> Pb* /	± %	<sup>206</sup> Pb* /	± %	err	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	%
	U	Th	<sup>238</sup> U	<sup>206</sup> Pb*	<sup>206</sup> Pb*		<sup>235</sup> U		<sup>238</sup> U			Age	
SD811-1.1	199	220	1.15	21.0	0.0616	2.7	1.042	3.4	0.1227	2.0	.593	746 ±14	-13
SD811-2.1	282	177	0.65	29.6	0.0623	2.4	1.046	3.1	0.1218	2.0	.634	741 ±14	-8
SD811-3.1	214	255	1.23	23.3	0.0610	1.9	1.060	2.8	0.1260	2.0	.718	765 ±14	-19
SD811-3.2	418	506	1.25	43.8	0.0629	1.5	1.054	2.5	0.1216	1.9	.786	740 ±14	-5
SD811-4.1	241	318	1.36	22.1	0.0655	2.0	0.964	2.8	0.1068	2.1	.726	654 ±13	17
SD811-5.1	306	383	1.29	31.0	0.0627	1.9	1.012	2.7	0.1171	2.0	.731	714 ±14	-2
SD811-6.1	725	1077	1.53	74.0	0.0646	1.0	1.057	2.3	0.1186	2.1	.904	723 ±15	5
SD811-7.1	292	363	1.29	31.1	0.0640	1.9	1.091	2.7	0.1237	2.0	.722	752 ±14	-2
SD811-7.2	159	73	0.48	17.6	0.0652	2.3	1.155	3.1	0.1285	2.0	.661	779 ±15	0
SD811-8.1	281	191	0.70	29.3	0.0624	1.9	1.045	2.8	0.1214	2.0	.726	738 ±14	-7
SD811-9.1	365	440	1.25	36.9	0.06412	1.4	1.038	2.5	0.1174	2.1	.831	716 ±14	4
SD811-10.1	281	385	1.42	30.3	0.0645	2.0	1.111	2.8	0.1250	2.0	.695	759 ±14	0
SD811-11.1	169	173	1.06	18.1	0.0649	3.3	1.111	3.9	0.1241	2.1	.526	754 ±15	2
SD811-12.1	501	223	0.46	52.8	0.06326	1.4	1.068	2.4	0.1224	1.9	.817	745 ±14	-4

表 4 荣成市东孤石英云闪长质片麻岩(SD803)锆石 SHRIMP U-Pb 年龄

Spot	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-6</sup>	232Th/	10 <sup>-6</sup>	207Pb*/	±%	207Pb*/	±%	206Pb*/	±%	err	206Pb/238U	207Pb/206Pb	0%
	U	Th	238U	206Pb*	206Pb*		235U		238U		corr	Age	Age	Discordant
SD8031.1	154	101	0.68	15.9	0.0621	3.4	1.020	4.1	0.1191	2.4	.573	725 ±16	677 ±72	-7
SD8032.1	146	78	0.56	14.9	0.0650	2.2	1.061	3.0	0.1185	2.1	.689	722 ±14	773 ±46	7
SD8033.1	6	0	0.01	0.2	-0.6200	95.0	-1.6	100	0.0186	41	.395	119 ±48		
SD8034.1	368	174	0.49	37.9	0.0636	1.8	1.051	2.7	0.1197	2.0	.734	729 ±14	730 ±39	0
SD8035.1	128	98	0.79	10.1	0.0613	4.9	0.772	5.6	0.0913	2.7	.486	563 ±15	651 ±100	13
SD8036.1	579	314	0.56	48.9	0.0634	1.1	0.858	2.2	0.0981	1.9	.868	604 ±11	723 ±24	17
SD8037.1	365	135	0.38	36.9	0.0624	1.4	1.014	2.4	0.1178	2.0	.825	718 ±13	689 ±29	-4
SD8038.1	62	38	0.63	6.3	0.0637	7.8	1.021	8.2	0.1163	2.5	.304	709 ±17	731 ±170	3
SD8039.1	166	245	1.53	18.0	0.0651	2.8	1.128	3.5	0.1258	2.1	.589	764 ±15	776 ±59	2
SD80310.1	615	342	0.57	67.2	0.0643	1.3	1.126	2.4	0.1270	2.0	.850	771 ±15	752 ±27	-3
SD80311.1	68	38	0.58	6.9	0.0653	6.0	1.044	6.5	0.1159	2.3	.358	707 ±15	785 ±130	10
SD80311.2R	16	0	0.02	0.8					0.0453	11		285 ±30		
SD80312.1	1011	645	0.66	113.0	0.0646	1.2	1.152	2.2	0.1294	1.9	.852	784 ±14	760 ±25	-3
SD80313.1	574	309	0.56	61.5	0.0647	1.2	1.109	2.4	0.1244	2.1	.858	756 ±15	764 ±26	1
SD80313.2R	155	67	0.44	17.7	0.0625	3.3	1.142	3.9	0.1325	2.1	.535	802 ±16	693 ±71	-16
SD80314.1R	94	34	0.38	8.4	0.0630	6.7	0.898	7.0	0.1034	2.3	.322	634 ±14	707 ±140	10
SD80314.2C	106	72	0.70	9.1	0.0647	4.6	0.887	5.1	0.0994	2.2	.428	611 ±13	765 ±97	20

## 4 讨论和结论

该岩套原岩早期为 TTG 岩类,晚期为二长花岗岩类,规模由小到大。组成矿物为钾长石、石英、斜长石、角闪石、黑云母,结构上变化规律不明显,显示以矿物成分为主的岩浆演化序列。岩套中包体的数量多、类型全,对其岩浆成因有较好的指示作用。主要类型有变质表壳岩包体、榴辉(闪)岩包体、麻粒岩包体、富云包体及闪长质包体,各种包体均呈透镜状或长条状展布,其长轴方向平行于围岩片麻理走向。变质表壳岩包体分布较广,显示部分岩浆来源于上地壳物质的熔融。榴辉(闪)岩、麻粒岩包体的存在,说明围岩岩浆形成于高温、高压环境。从区域上看,这类包体主要分布在调查区中南部,而近造山带北西边界则很少见;从时间上看,主要分布于早期各片麻岩中,而晚期片麻岩则很少见,说明早期的片麻岩岩浆来源较深。闪长质包体,多数呈条带状或长透镜状分布于花岗质片麻岩中,其边界多数较模糊。从规模上看,从早到晚由大到小,该类包体可能源于地幔。

荣成片麻岩套形成之后遭受了多期次的变质变形作用改造,其原始组构已很难恢复,岩体就位机制也就无法准确确定。早期的花岗闪长质片麻岩均分布在造山带的中部,而晚期的二长花岗质片麻岩则分布于北西侧近造山带边界的部位。结合造山作用构造特点认为,早期可能为穹起就位机制,后期是膨

胀式底辟就位机制。由于板块俯冲造成壳源物质活化而部分熔融,形成的岩浆因密度差所带来的浮力和造山过程中挤压力促使岩浆强力上侵。造山作用的阶段性特点,使岩浆具有被动就位的构造特点,造山挤压力会引起侧向扩张而形成膨胀式底辟。

笔者曾认为是扬子板块向华北板块之下俯冲,下地壳发生重熔形成荣成超单元变质变形花岗岩<sup>[3]</sup>。张丕建等认为荣成超单元属华北板块与扬子板块碰撞同构造期花岗岩。其中大时家亚超单元形成于活动板块边缘,导源于洋陆俯冲以幔源物质为主,硅铝质物质为辅的壳幔混合岩浆;威海亚超单元形成于陆陆碰撞带,为硅铝质陆壳广泛熔融的产物<sup>[4]</sup>。王兰中等<sup>[5]</sup>依据 1:20 万威海四幅区域地质调查测得荣成超单元锆石 U-Pb 年龄分别为威海单元 687 Ma、滕家单元 797 Ma、大时家单元 787 Ma,将其划为新元古代晋宁期。宋明春等<sup>[6]</sup>认为文登-威海地区的荣成超单元可分解成大时家角闪花岗质片麻岩、滕家黑云花岗闪长质片麻岩、威海条带状二长花岗质片麻岩、邱家浅色二长花岗质片麻岩等 4 种片麻岩体,具有 TTG 质花岗岩成分;而胶南地区荣成超单元主要为二长花岗质片麻岩,包括威海、宝山、御驾山、庙山等 4 个单元,测得单颗粒锆石 Pb-Pb 年龄御驾山岩体(757.3±14.1)Ma、庙山岩体(796.8±19.5)Ma<sup>[7]</sup>。

该岩套宏观特征表明是在板块俯冲和韧性剪切作用的环境下强力穹起机制就位的,属同造山期的

花岗岩类。以往的锆石 U - Pb 年龄为 648~1121 Ma, 多数年龄为 753~896 Ma<sup>[8,9]</sup>。李向辉等测得荣成片麻岩锆石 SHRIMP 年龄分别为 (772±14) Ma, (714±14) Ma, (786±20) Ma<sup>[10]</sup>。唐俊等在威海市皂埠花岗片麻岩岩浆锆石 U - Pb 定年得到的原岩谐和年龄和不一致线上交点年龄分别为 (760±49) Ma 和 (751±27) Ma, 威海温泉花岗片麻岩岩浆核锆石 U - Pb 定年 (723±36) Ma, (744±63) Ma<sup>[11,12]</sup>。郑永飞等测得青岛仰口片麻岩锆石 U - Pb 年龄 (798±75) Ma<sup>[13]</sup>, 李曙光等测得锆石 U - Pb 等时线年龄 (871±46) Ma<sup>[14]</sup>。刘福来等测得青岛仰口变辉长岩锆石 LA - ICP - MSU 法 U - Pb 年龄 (785±15) Ma<sup>[15]</sup>。该次新的锆石 SHRIMP U - Pb 年龄测定, 大张八单元中细粒角闪闪长质片麻岩岩浆锆石年龄为 (741±10) Ma, 东孤石单元中细粒云英闪长质片麻岩岩浆锆石年龄为 760~780 Ma<sup>[16]</sup>。结合地质关系, 确定荣成岩套形成时代为新元古代南华纪, 与 Rodinia 超大陆裂解过程的岩浆活动时间相吻合。唐俊等测得威海地区花岗片麻岩锆石 U - Pb 年龄, 其变质谐和年龄和不一致线下交点年龄分别为 (232±4) Ma 和 (241±33) Ma; 郑永飞等 (2003)<sup>[13]</sup> 测得青岛仰口片麻岩的变质年龄为 (224±14) Ma, 日照岚山头片麻岩的变质年龄为 (224±27) Ma。大量的年代学资料证实<sup>[17-19]</sup>, 大别-苏鲁造山带是扬子板块向华北板块深俯冲的陆陆碰撞造山带, 其超高压变质作用发生在 240~230 Ma。

苏鲁造山带主要由南华纪荣成岩套及月季山岩套、铁山岩套组成, 其大地构造位置属于扬子板块的北缘, 而非华北板块的南缘。郑永飞等<sup>[13]</sup> 对大别-苏鲁造山带榴辉岩和花岗片麻岩中的锆石研究结果表明, 大多数锆石具有大的岩浆成因核和窄的变质增生边, 岩浆成因核具有新元古代年龄 700~800 Ma, 榴辉岩和花岗片麻岩的原岩分别为低  $\delta^{18}\text{O}$  的基性和酸性岩浆, 对应于扬子板块北缘与新元古代裂谷构造有关的双模式岩浆活动, 其成因与 Rodinia 超大陆裂解、雪球地球事件和裂谷岩浆活动相耦合的高温大气降水热液蚀变有关。薛怀民等认为<sup>[20]</sup>, 新元古代扬子克拉通北缘处于裂谷环境随着岩石圈范围内的拉张, 地幔来源的玄武质岩浆上涌, 导致以早元古代为主的地壳物质发生部分熔融, 形成长英质岩浆, 两种岩浆分别喷发, 构成双峰式火山岩组合, 部分未喷出地表的长英质岩浆定位在地壳的

较深部位, 并进一步分异演化主要为以长石为主的矿物分离结晶形成花岗岩类侵入体。

致谢: 样品靶由陶华、叶青制作。锆石标准由 Nasdala 和 Black 提供。该文得到山东省地质系列图件编制与综合研究项目 (1212010811029) 和北京离子探针中心基础研究项目的资助。

## 参考文献:

- [1] 张成基, 王世进. 山东省侵入岩谱系单位划分序列[J]. 山东地质, 1996, 12(2): 92-106.
- [2] 张成基, 王世进. 胶南造山带研究新进展[J]. 山东地质, 1997, 13(1): 1-11.
- [3] 王世进, 张成基. 胶南造山带形成与演化[J]. 山东地质, 1997, 13(1): 12-21.
- [4] 张丕建, 刘殿浩. 胶东东部荣成超单元的岩石谱系划分及成因探讨[J]. 山东地质, 1998, 14(2): 19-25.
- [5] 王兰中, 王来明. 荣成超单元基本特征[J]. 山东地质, 1994, 10(2): 13-22.
- [6] 宋明春, 王来明, 王兰中. 鲁东荣成片麻岩套及其成因[J]. 山东地质, 1995, 11(2): 32-43.
- [7] 宋明春, 张京信, 吕发堂. 胶南地区前寒武纪侵入岩的岩石谱系单位划分及地壳演化[J]. 山东地质, 1997, 13(1): 40-49.
- [8] 宋明春, 王沛成. 山东省区域地质[M]. 济南: 山东省地图出版社, 2003: 1-500.
- [9] 王世进, 张成基, 宋明春, 等. 山东省侵入岩岩石单位及其代号的厘定[J]. 山东地质, 2002, 18(1): 9-20.
- [10] 李向辉, 陈福坤, 李潮峰, 等. 苏鲁造山带荣成超高压地体片麻岩锆石年龄和铅同位素组成特征[J]. 岩石学报, 2007, 23(2): 351-368.
- [11] 唐俊, 郑永飞, 吴元保, 龚冰. 威海地区超高压变质花岗片麻岩锆石 U - Pb 定年和氧同位素研究[J]. 地球科学, 2005, 30(6): 692-706.
- [12] 唐俊, 郑永飞, 吴元宝, 等. 胶东地块东部变质岩锆石 U - Pb 定年和氧同位素研究[J]. 岩石学报, 2004, 20(5): 1039-1062.
- [13] 郑永飞, 陈福坤, 龚冰, 等. 大别-苏鲁造山带超高压变质岩原岩性质: 锆石氧同位素和 U - Pb 年龄证据[J]. 科学通报, 2003, 48(2): 110-119.
- [14] 李曙光, 张志敏, 张巧大, 等. 青岛榴辉岩及胶南片麻岩的 U - Pb 年龄——胶南群中晋宁期岩浆事件的证据[J]. 科学通报, 1993, 38(19): 1773-1777.
- [15] 刘福来, 刘平华. 北苏鲁仰口地区变辉长岩中锆石 U - Pb 定年、微量元素和 Hf 同位素特征及其地质意义[J]. 岩石学报, 2009, 25(9): 2113-2131.
- [16] 王世进, 王来明, 王渝生, 等. 鲁东地区侵入岩形成时代和期次划分[J]. 山东国土资源, 2009, 25(12): 8-20.
- [17] 刘福来, 薛怀民. 苏鲁-大别超高压岩石中锆石 SHRIMP U - Pb 定年研究——综述和最新进展[J]. 岩石学报, 2007, 23

(11):2737-2756.

- [18] 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.

- [19] 宋明春,韩景敏,宫述林. 苏鲁造山带大规模岩浆活动的证据:

新元古代多成因花岗质片麻岩[J]. 矿物岩石, 2007, 27(2): 22-32.

- [20] 薛怀民,刘福来,孟繁聪. 苏鲁造山带胶南区段片麻岩原岩的成因: 地球化学及 Nd 同位素证据[J]. 岩石学报, 2007, 23(12): 3239-3248.

## The Forming Age of Granitic Gneiss in Rongcheng Rock Series in Jiaonan – Weihai Orogen Belt

WANG Shijin<sup>1</sup>, WAN Yusheng<sup>2,3</sup>, SONG Zhiyong<sup>1</sup>, WANG Wei<sup>4</sup>, DONG Chunyan<sup>2</sup>, ZHANG Guili<sup>1</sup>

(1. Shandong Geological Surveying Institute, Shandong Jinan 250013, China; 2. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3. Beijing SHRIMP Center, Beijing 100037, China; 4. Geology and Geophysical Institute of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

**Abstract:** Granitic gneisses in Rongcheng rock series of Jiaonan – Weihai orogen belt is composed of dioritic gneiss – quartz dioritic gneiss – tonalitic gneiss – trondhjemitic granitic gneiss – granodioritic gneiss – biotite monzonitic granitic gneiss – monzonitic granite. It is TTG granitoids in early period, while is monzogranite in the late period. It has obvious evolution characteristics of potassium – rich from early to late period. According to new SHRIMP U – Pb zircon dating results, the age of dioritic gneiss in early period is  $(741 \pm 10)$  Ma, and the age of tonalite gneiss is 780 ~ 760 Ma. The age of adamellite gneiss in late period is 760 ~ 714 Ma. Therefore, the era of Rongcheng rock series is limited between 800 ~ 700 Ma (Nanhua). Its formation has close relation with lithospheric thinning of the North China craton.

**Key words:** Rongcheng rock series; granitic gneiss; Nanhuaian; The SHRIMP U – Pb dating; Jiaonan – Weihai orogenic belt; Shandong province