

# 山东即墨马连山地区新元古代花岗质片麻岩 捕虏体的发现及其地质意义

侯建华,任天龙,杨仕鹏,朱学强,郭晶,黄永波  
(山东省地质调查院,济南 250013)

**摘要:**在苏鲁造山带中段即墨马连山地区新发现的花岗质片麻岩组合,为亚铝质-弱过铝质高钾钙碱性花岗岩类。呈捕虏体形体赋存于中生代崂山花岗岩中,普遍含有大理岩、变粒岩、片岩类等表壳岩包体。采用LA-MC-ICP-MS技术,对岩石中的锆石进行了U-Pb同位素测定,测得黑云二长花岗质片麻岩样品(D04)的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄,其中15个数据的加权平均值为 $770.2\pm 2.4\text{ Ma}$ ( $n=15$ ,MSWD=0.14),该年龄解释为原岩的形成时代。含石榴二长花岗质片麻岩样品(D0501)的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 $784.3\pm 6.6\text{ Ma}$ 和 $930\pm 5\text{ Ma}$ ,其中8个数据的加权平均值为 $784.3\pm 6.6\text{ Ma}$ ( $n=8$ ,MSWD=0.39),该年龄解释为原岩的形成时代;12个数据的加权平均值为 $930\pm 5\text{ Ma}$ ( $n=12$ ,MSWD=0.65),该年龄解释为早期残留锆石年龄。该套岩石形成于新元古代中期,其岩石特征、岩石化学特征与胶南月季山片麻岩及胶北高钾I型花岗质片麻岩相似,属苏鲁造山带基底岩系。该套岩石组合类型的新发现为造山带北段西边界的研究提供了新的依据。

**关键词:**花岗质片麻岩;新元古代;苏鲁造山带;锆石U-Pb;LA-MC-ICP-MS

**中图分类号:** P588.34<sup>5</sup>

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-4135(2016)02-0081-08

苏鲁造山带是秦岭-大别-苏鲁超高压变质带的东延部分<sup>[1-2]</sup>,虽然部分学者对造山带的边界问题存在不同观点,但对造山带主体岩性是由广泛发育的新元古代变质深成岩及零星出露的古元古代变质表壳岩组成的认识是基本一致的<sup>[3-5]</sup>。该套岩石组合集中分布于造山带北缘威海南缘五莲、日照地区,中部诸城地区也有发现<sup>[6]</sup>,而在即墨一带,虽然基底构造仍属造山带范围,但由于中生代陆相盆地的覆盖及侵入岩的破坏,作为造山带的证据明显不足。

近期,我们在开展山东1/5万即墨、鳌山卫等5幅区调工作时,在苏鲁造山带中段即墨马连山地区发现一套达角闪岩相变质的含大理岩、变粒岩及片岩等表壳岩残片的花岗质片麻岩,呈透镜状或不连续带状赋存于白垩纪高钾钙碱性花岗岩(崂山花岗岩)中。本文通过对该套片麻岩地质特征、岩石特征、岩石化学特征及年代学的对比研究,认为其具有苏鲁造山带主体岩性的属性特征。该套岩石组合在苏鲁造山带中段的新发现,为造山带的研究及划分提供了新证据。

## 1 地质特征

研究区位于苏鲁造山带中部,该系列花岗质片麻岩分布于牟-即断裂带的朱吴断裂以东的即墨市留村镇拖车乔东侧马连山及王哥庄一带(图1),以捕虏体形式赋存于中生代崂山花岗岩中(早白垩世二长花岗岩-正长花岗岩-碱长花岗岩),岩石类型包括含石榴二长花岗质片麻岩(图2a)、白云二长花岗质片麻岩、角闪黑云二长花岗质片麻岩、含石榴黑云正长花岗质片麻岩,以黑云二长花岗质片麻岩(图2b)最为常见。花岗质片麻岩中含古元古代变质表壳岩捕虏体(大理岩类、变粒岩等)。岩石构造变形强烈,片麻理、糜棱面理、拉伸线理及褶皱构造发育,其中片麻理总体呈NWW方向展布,局部为近南北向、北东向,倾向主要为NNE和NEE向,倾角多大于 $50^\circ$ ,拉伸线理基本与片麻理倾向一致。

## 2 岩石特征

即墨马连山地区二长花岗质片麻岩(样品D04、

收稿日期:2016-03-29

资助项目:中国地质调查局工作项目“山东1/5万即墨等5幅区域地质调查(1212011120749)”、“山东省地质系列图件编制和综合研究(1212010811029)”

作者简介:侯建华(1978-),高级工程师,2002年毕业于成都理工大学地质系,主要从事区域地质调查与研究, E-mail:js-carj@163.com。

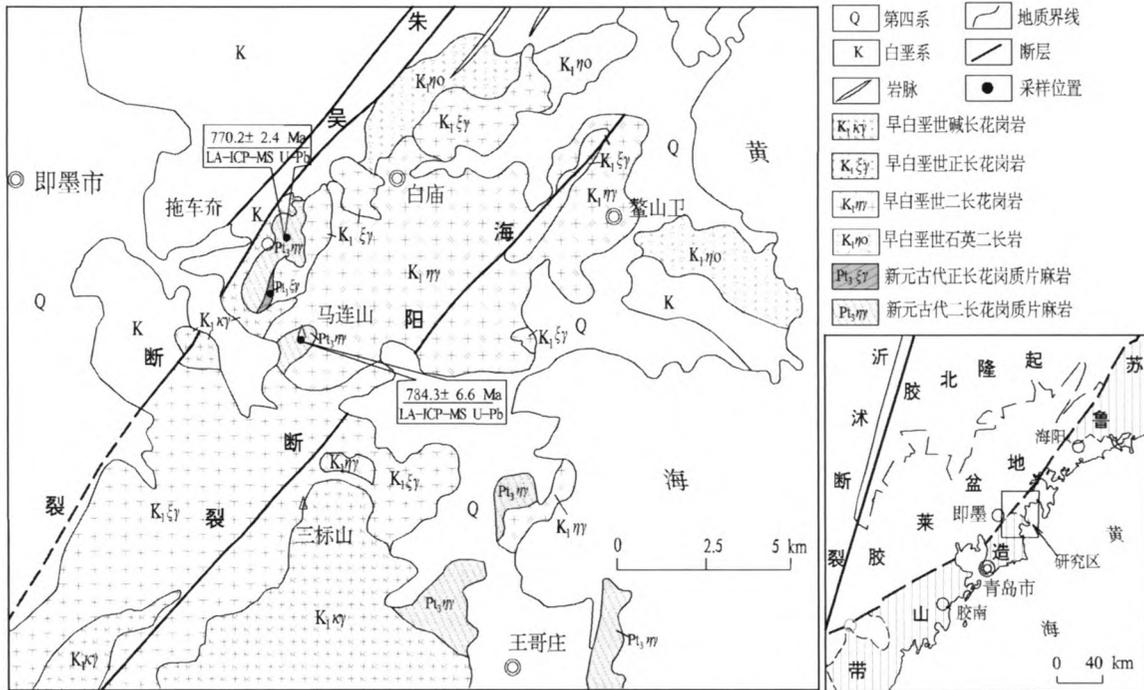


图1 即墨马连山地区地质简图及研究区大地构造位置图(大地构造位置图据山东省地质志,2012)

Fig.1 Geological sketch map and geotectonic map of the Malianshan, Jimo area

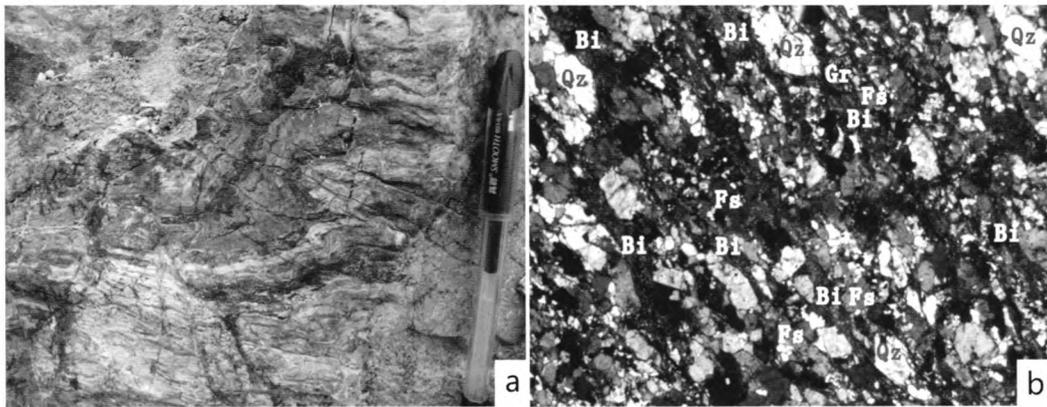


图2 即墨马连山地区二长花岗质片麻岩野外岩石特征及显微照片

Fig.2 Field rock character and photomicrograph of the monzonitic granitic gneiss from Malianshan, Jimo area

a.即墨马连山地区含石榴二长花岗质片麻岩中的野外岩性特征;b.即墨马连山地区二长花岗质片麻岩中的黑云母条带(×25 正交偏光)注:Qz.石英;Bi.黑云母;Fs.长石;Gr.石榴石

D0501)位于即墨市拖车乔东、马连山一带,被呈脉状的正长花岗质片麻岩(D6002)侵入(图1,表1)。二长花岗质片麻岩呈灰黑色,粒状变晶结构、糜棱结构,片麻状构造。岩石矿物组合为微斜长石+斜长石+石英+黑云母+多硅白云母+铁铝榴石+绿帘石+角闪石

表1 即墨马连山地区花岗质片麻岩样品采样位置

Tab.1 Location of the samples of the granitic gneiss from Malianshan, Jimo area

样号	岩性	GPS坐标
D04	黑云二长花岗质片麻岩	36°21' 15" ,120°33' 32"
D0501	含石榴二长花岗质片麻岩	36°20' 07" ,120°33' 49"
D6002	正长花岗质片麻岩	36°20' 54" ,120°34' 07"

(绿色)及微斜长石+斜长石+石英+黑云母+绿帘石+角闪石(绿色);其矿物组成包括斜长石为25%~35%,微斜长石为25%~30%,石英为22%~33%,黑云母为0%~15%,少量铁铝榴石、辉石、角闪石、多硅白云母等特殊变质矿物;次生矿物为阳起石、绿帘石、绿泥石及黝帘石等。

主要造岩矿物颗粒大小可以分为两类:似斑状半自形微斜长石、斜长石为d=1.5 mm~3 mm,浑圆状他形正长石、石英为0.3 mm~0.5 mm,充填于大颗粒微斜长石、斜长石的孔隙中,构成显微似斑状花岗岩结构。角闪石为绿色普通角闪石,多色性明显,多为

半自形短柱状并沿着长石的边界分布,向绿泥石退变质的特征明显。石榴石完整晶形少见,多为具有筛状变晶结构或孤岛状碎块组成的聚集体,向角闪石退变质特征明显,白云母为0.3 mm~1 mm,平行片麻理定向排列,并有扭曲变形。该套花岗质片麻岩普遍经历了区域变质作用,变质程度达高角闪岩相变质,总体矿物特征与大别地区的含榴花岗质片麻岩相似<sup>[7]</sup>,表现为富含钠长石、微斜长石。

### 3 采样和分析方法

我们在即墨市拖车乔东及马连山灰白色二长花岗质片麻岩中采集了三件样品(D04、D0501、D6002),其中两件(D0501、D04)进行了锆石U-Pb定年。锆石的分选在河北省区域地质矿产调查研究所实验室完成,LA-MC-ICP-MS锆石U-Pb同位素测年工作在中国地质调查局天津地质调查中心测试实验室的激光烧蚀多接收器电感耦合等离子体质谱仪上用标准测定程序<sup>[8]</sup>完成,分析仪器为Thermo Fisher公司的Neptune型质谱仪和美国ESI公司的UP193-FX-ArF准分子激光器(激光束直径为35  $\mu\text{m}$ ,频率8~10 Hz,能量密度13~14 J/cm<sup>2</sup>)。用中国地质大学刘勇胜编写的ICPMSDaTaCal程序<sup>[9]</sup>和K.Ludwig博士编写的Isoplot<sup>[10]</sup>进行数据处理和U-Pb谐和图绘制。用标准锆石GJ-1和标准玻璃NIST610分别校正U/Pb分馏和U含量。

在无污染的情况下,将用于测试主量和微量元素的全岩样品碎至200目以下。全岩主量元素分析的样品由山东第四地质矿产勘查院实验室分析完成,微量元素分析则由山东省地质科学研究院国家重点实验室完成。

## 4 测试结果

### 4.1 二长花岗质片麻岩中锆石U-Pb年龄

从即墨马连山地区二长花岗质片麻岩样品中分离出的锆石呈粉黄色,部分锆石的CL图像见图3。锆石为短柱状到长柱状,粒径介于20~150  $\mu\text{m}$ 之间,表面受溶蚀,内部结构清晰,大多数锆石具有结晶成分环带,可见残留锆石核,个别具有变质边。锆石晶体测定位置主要位于结晶成分环带上,个别位于核部及边部,可能出现混合年龄,不能代表锆石的真实年龄。

即墨马连山地区二长花岗质片麻岩LA-MC-ICP-MS锆石U-Pb同位素分析结果见表2,部分年龄标注在图3中。图4和表2中的数据表明,即墨马连山二长花岗质片麻岩<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U年龄数据主要集中在617~941 Ma之间,可分为两组617~792 Ma及921~941 Ma。D04样品大部分数据投影点位于谐和线上及附近,个别分析点偏离谐和线,其中16个分析点集中在770 Ma左右,10点Pb丢失,采用15个分析点获得的<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U年龄加权平均值为770.2 $\pm$ 2.4

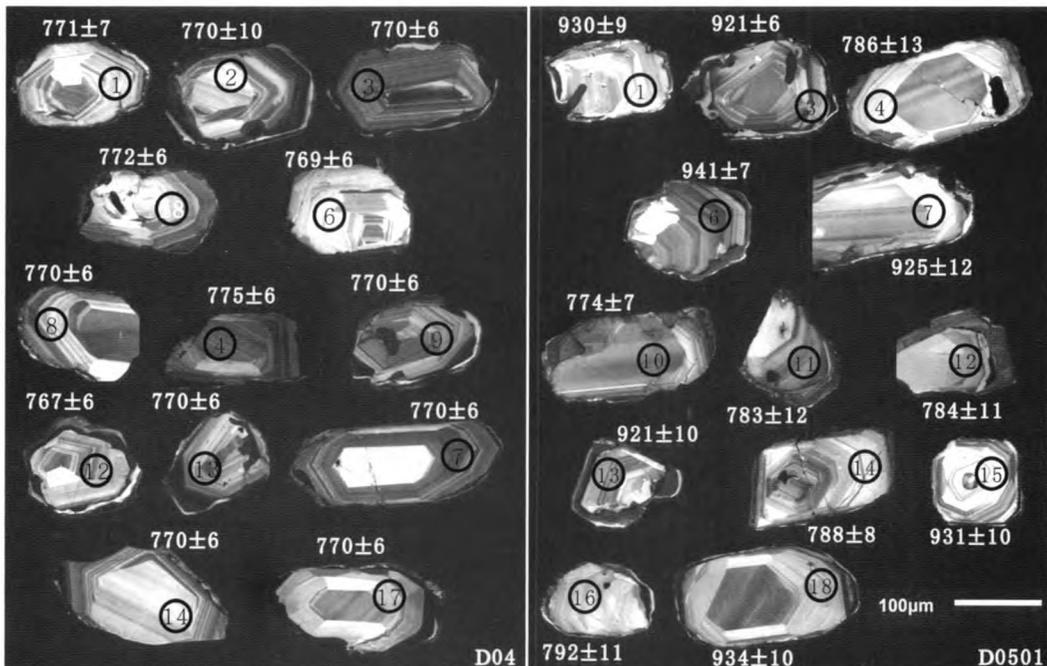


图3 即墨马连山地区二长花岗质片麻岩锆石阴极发光图像及年龄值

Fig.3 CL images and ages of the zircons of monzonitic granitic gneiss from Malianshan, Jimo area

表2 即墨马连山地区二长花岗质片麻岩锆石LA-MC-ICP-MS U-Pb测年数据表

Tab.2 U-Pb isotope compositions of the zircons of monzonitic granitic gneiss from Malianshan, Jimo area measured by LA-MC-ICP-MS

测点	含量( $\times 10^{-6}$ )		$\frac{^{232}\text{Th}}{^{238}\text{U}}$	同位素比值						年龄/Ma					
	Pb	U		$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1 $\sigma$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1 $\sigma$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1 $\sigma$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1 $\sigma$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1 $\sigma$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1 $\sigma$
D04															
01	12	88	0.65	0.1270	0.0011	1.1809	0.0347	0.0674	0.0019	771	7	792	23	851	59
02	39	331	0.08	0.1269	0.0016	1.1629	0.0353	0.0665	0.0016	770	10	783	24	821	50
03	27	183	0.88	0.1268	0.0010	1.1338	0.0105	0.0648	0.0006	770	6	770	7	769	18
04	33	219	0.91	0.1278	0.0010	1.1304	0.0086	0.0642	0.0005	775	6	768	6	747	15
05	25	181	1.29	0.1005	0.0009	0.9084	0.0122	0.0655	0.0008	617	6	656	9	792	26
06	48	259	1.71	0.1268	0.0010	1.1350	0.0095	0.0649	0.0005	769	6	770	6	773	17
07	17	115	0.99	0.1269	0.0010	1.1338	0.0145	0.0648	0.0008	770	6	770	10	768	26
08	13	96	0.62	0.1268	0.0011	1.1347	0.0311	0.0649	0.0017	770	6	770	21	770	57
09	47	308	1.08	0.1268	0.0010	1.1364	0.0100	0.0650	0.0005	770	6	771	7	774	17
10	16	101	1.4	0.1148	0.0011	1.1674	0.0218	0.0738	0.0013	701	7	785	15	1035	34
11	224	475	10.98	0.0426	0.0004	0.3129	0.0043	0.0533	0.0006	269	2	276	4	341	28
12	28	188	1.00	0.1263	0.0010	1.1372	0.0221	0.0653	0.0013	767	6	771	15	783	41
13	28	217	0.49	0.1269	0.0010	1.1352	0.0160	0.0649	0.0009	770	6	770	11	771	28
14	19	125	1.13	0.1268	0.0010	1.1340	0.0137	0.0649	0.0008	770	6	770	9	770	24
15	25	174	0.79	0.1268	0.0010	1.1342	0.0119	0.0648	0.0006	770	6	770	8	769	21
16	26	166	1.20	0.1269	0.0011	1.2056	0.0293	0.0689	0.0015	770	7	803	20	897	44
17	16	116	0.81	0.1269	0.0010	1.1371	0.0163	0.0650	0.0009	770	6	771	11	774	30
18	18	130	0.71	0.1272	0.0010	1.1398	0.0224	0.0650	0.0013	772	6	772	15	774	41
D0501															
01	11	56	1.01	0.1553	0.0015	1.5390	0.0302	0.0719	0.0014	930	9	946	19	983	39
02	18	256	0.32	0.0620	0.0011	0.5118	0.0120	0.0599	0.0010	388	7	420	10	598	36
03	25	136	0.95	0.1535	0.0010	1.4734	0.0232	0.0696	0.0016	921	6	920	14	917	47
04	11	75	0.44	0.1297	0.0022	1.1668	0.0178	0.0652	0.0010	786	13	785	12	782	31
05	18	164	0.41	0.1037	0.0014	0.9020	0.0184	0.0631	0.0006	636	9	653	13	712	21
06	28	152	0.86	0.1572	0.0012	1.5620	0.0244	0.0721	0.0016	941	7	955	15	988	47
07	8	46	0.81	0.1543	0.0021	1.4778	0.0316	0.0694	0.0015	925	12	921	20	912	43
08	14	97	0.53	0.1294	0.0013	1.3537	0.0140	0.0759	0.0008	785	8	869	9	991	20
09	19	194	0.53	0.0858	0.0012	0.8321	0.0178	0.0704	0.0016	531	7	615	13	939	46
10	24	154	0.91	0.1276	0.0012	1.1390	0.0369	0.0647	0.0021	774	7	772	25	765	69
11	35	265	0.31	0.1292	0.0023	1.1729	0.0195	0.0658	0.0009	783	14	788	13	801	29
12	21	159	0.30	0.1293	0.0019	1.1705	0.0151	0.0657	0.0011	784	11	787	10	796	36
13	27	134	1.03	0.1536	0.0016	1.5146	0.0830	0.0715	0.0025	921	10	936	51	972	70
14	21	146	0.57	0.1300	0.0013	1.1525	0.0126	0.0643	0.0012	788	8	778	9	751	40
15	13	68	1.04	0.1554	0.0018	1.5099	0.0215	0.0704	0.0010	931	10	934	13	941	29
16	11	65	0.75	0.1307	0.0018	1.2447	0.0562	0.0691	0.0030	792	11	821	37	901	89
17	9	53	0.74	0.1303	0.0017	1.1610	0.0278	0.0646	0.0014	790	11	782	19	761	46
18	19	103	0.79	0.1559	0.0017	1.5127	0.0369	0.0704	0.0014	934	10	936	23	939	41
19	41	189	1.50	0.1561	0.0012	1.5218	0.0193	0.0707	0.0009	935	7	939	12	948	27
20	37	200	0.96	0.1542	0.0015	1.4657	0.0180	0.0690	0.0008	924	9	916	11	897	23
21	39	231	0.60	0.1555	0.0018	1.5001	0.0188	0.0700	0.0008	932	11	930	12	927	24
22	14	55	0.75	0.1549	0.0018	1.5214	0.0661	0.0712	0.0023	928	11	939	41	964	66
23	36	220	0.42	0.1554	0.0017	1.5021	0.0239	0.0701	0.0016	931	10	931	15	932	48

注:数据测试单位为中国地质调查局天津地质调查中心测试实验室

Ma( $n=15$ , MSWD=0.14), 该年龄被解释为岩浆结晶年龄。D0501样品大多数投影点位于谐和线上及附近, 9、11点偏离,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄数据分为明显的三组, 3个分析点年龄值均小于700 Ma, 其测点位置均位于

变质边及结晶环带之间, 为混合年龄; 8个分析点年龄值在780 Ma左右,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 $784.3 \pm 6.6$  Ma( $n=8$ , MSWD=0.39), 该年龄被解释为岩浆结晶年龄; 12个分析点年龄值在930 Ma左右,

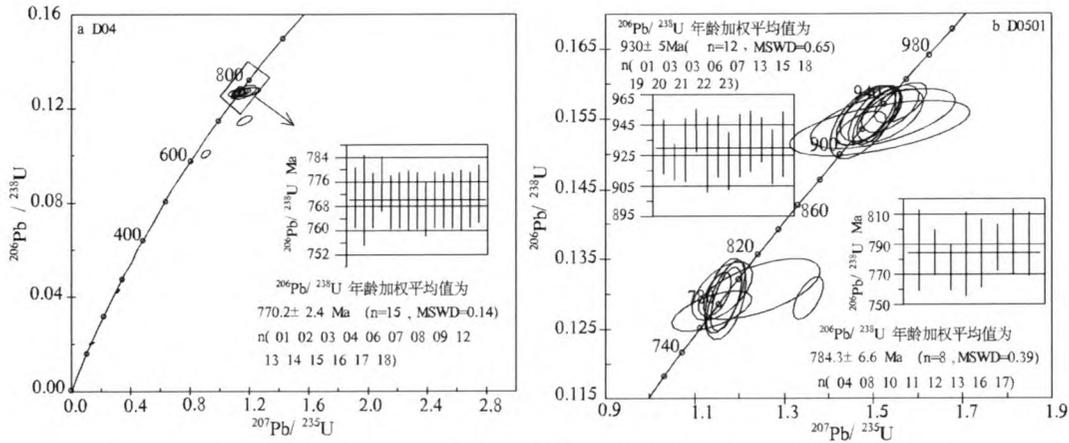


图4 即墨马连山地区二长花岗质片麻岩的锆石U-Pb谐和图

Fig.4 U-Pb concordia diagram of the zircons of monzonitic granitic gneiss from Malianshan, Jimo area

$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄加权平均值为  $930 \pm 5 \text{ Ma}$  ( $n=12$ ,  $\text{MSWD}=0.65$ ),  $\text{Th}/\text{U}$  偏高, 可能为早期残留锆石年龄。

4.2 主量元素

即墨地区花岗质片麻岩的主量元素和微量元素分析结果见表3。从表3可以看出, 岩石中  $w(\text{SiO}_2)=67.89\% \sim 74.26\%$ ,  $w(\text{Al}_2\text{O}_3)=13.56\% \sim 15.40\%$ , 高碱  $w(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})=8.33\% \sim 8.78\%$ ,  $w(\text{CaO})=0.43\% \sim 1.95\%$ ,  $w(\text{MgO})=0.27\% \sim 1.18\%$ ; 里特曼指数为  $2.70 \sim 3.10$ ,  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  为  $0.52 \sim 1.17$ 。其分异指数  $\text{DI}$  为  $84.83 \sim 93.33$ , 固结指数  $\text{SI}$  为  $2.61 \sim 9.11$ , 表明岩浆分离结晶较好, 分异程度较高。在  $\text{Ab}-\text{An}-\text{Or}$  图解上, 位于奥长花岗岩和花岗岩区域(图5)。在  $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}$  图解上(图6), 投点均位于高钾系列,  $\text{A}/\text{CNK}=0.89 \sim 1.12$ , 属亚铝质-弱过铝质高钾钙碱性花岗岩, 标准矿物成分相当于奥长花岗岩-花岗岩。

4.3 微量元素和稀土元素

微量元素标准化采用 Sun & MacDonough, 1989, 原始地幔成分<sup>[11]</sup>; 稀土配分采用《花岗岩类区 1/5 万区域地质填图方法指南》推荐的球粒陨石原始平均值<sup>[12]</sup>。

即墨马连山地区花岗质片麻岩稀土总量( $\sum \text{REE}$ )为  $257 \times 10^{-6} \sim 310 \times 10^{-6}$ ,  $\sum \text{LREE}$  为  $216 \times 10^{-6} \sim 252 \times 10^{-6}$ ;  $\sum \text{HREE}$  为  $14 \times 10^{-6} \sim 24 \times 10^{-6}$ ;  $\sum \text{LREE}/\sum \text{HREE}=10.33 \sim 17.00$ , 为轻稀土富集型;  $\text{La}_N/\text{Yb}_N=11.58 \sim 26.03$  表明轻重稀土元素分异比较明显;  $\text{La}_N/\text{Sm}_N=5.08 \sim 6.06$  较高表明轻稀土元素富集并且分馏明显,  $\text{Gd}_N/\text{Yb}_N=1.56 \sim 2.64$  较低表明重稀土元素分馏不明显。  $\delta \text{Eu}=0.48 \sim 0.9$ , 除 D6002 样外,  $\text{Eu}$  具明显负异常, 表明岩浆演化过程中有斜长石的分离结晶

表3 即墨马连山地区花岗质片麻岩的主量和微量元素组成  
Tab.3 Major and trace elements compositions of granitic gneiss from Malianshan, Jimo area

样号	D04	D0501	D6002	样号	D04	D0501	D6002
$\text{SiO}_2$	71.34	67.89	74.26	Pr	11.36	13.59	13.20
$\text{TiO}_2$	0.25	0.59	0.33	Nd	37.08	48.80	49.20
$\text{Al}_2\text{O}_3$	13.56	15.40	13.68	Sm	5.95	7.89	7.10
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0.66	1.70	1.57	Eu	0.89	1.29	1.93
FeO	0.93	1.29	0.16	Gd	5.37	7.26	5.75
MnO	0.05	0.14	0.05	Tb	0.70	1.05	0.72
MgO	0.47	1.18	0.27	Dy	4.06	6.07	3.44
CaO	1.56	1.95	0.43	Ho	0.77	1.23	0.66
$\text{Na}_2\text{O}$	4.64	5.79	3.88	Er	2.51	3.73	1.94
$\text{K}_2\text{O}$	4.11	2.99	4.45	Tm	0.36	0.57	0.27
$\text{P}_2\text{O}_5$	0.06	0.23	0.05	Yb	2.52	3.84	1.80
$\text{H}_2\text{O}^*$	1.20	0.25	0.05	Lu	0.40	0.60	0.28
烧失量	0.72	0.67	0.25	Hf	1.54	1.26	1.83
Total	99.61	100.20	100.21	Ta	0.70	0.92	0.60
Sc	3.15	9.93	6.25	Pb	20.34	198.00	13.66
V	137.10	45.83	228.30	Th	11.15	8.02	8.58
Cr	9.50	64.20	15.60	U	0.84	2.24	0.67
Co	2.56	8.45	4.53	$\sum \text{REE}$	257.62	310.72	284.79
Ni	3.70	13.08	9.10	$\sum \text{LREE}$	216.53	251.57	252.73
Ga	26.10	19.33	33.10	$\sum \text{HREE}$	16.69	24.35	14.86
Rb	77.00	66.36	98.20	$\text{La}_N/\text{Yb}_N$	15.87	11.58	26.03
Sr	12.72	289.80	42.04	$\text{La}_N/\text{Sm}_N$	6.06	5.08	5.94
Y	24.40	34.80	17.20	$\text{Gd}_N/\text{Yb}_N$	1.76	1.56	2.64
Zr	58.57	33.70	52.12	$\delta \text{Eu}$	0.48	0.51	0.90
Nb	12.30	13.85	11.70	$\sigma$	2.70	3.10	2.22
Ba	1136.00	383.80	1638.00	DI	92.29	84.83	93.33
La	55.85	62.00	65.30	FL	65.35	60.26	68.22
Ce	105.40	118.00	116.00	A/CNK	0.89	0.99	1.12

注: 主量元素含量单位为%, 微量元素为  $10^{-6}$

作用。球粒陨石标准化曲线(图7)呈右倾“V”型曲线, 表明熔融过程中的分异作用强烈。在不相容元素原始地幔标准化微量元素蜘蛛网图上(图8), 花岗质片麻岩均表现出强烈的富集大离子亲石元素  $\text{Rb}$ 、

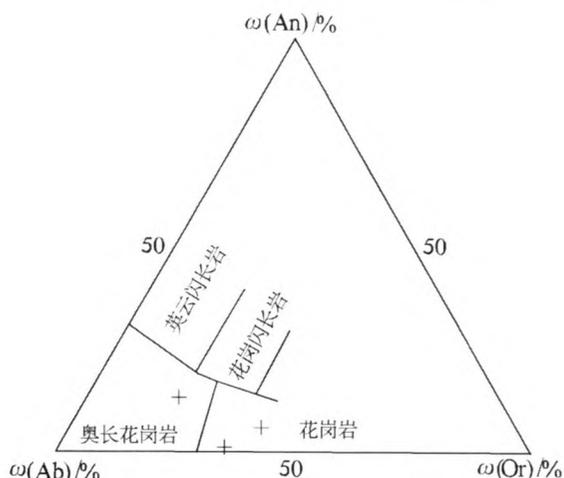


图5 即墨马连山花岗质片麻岩Ab-An-Or图解  
Fig.5 Ab-An-Or diagram of granitic gneiss from Malianshan, Jimo area

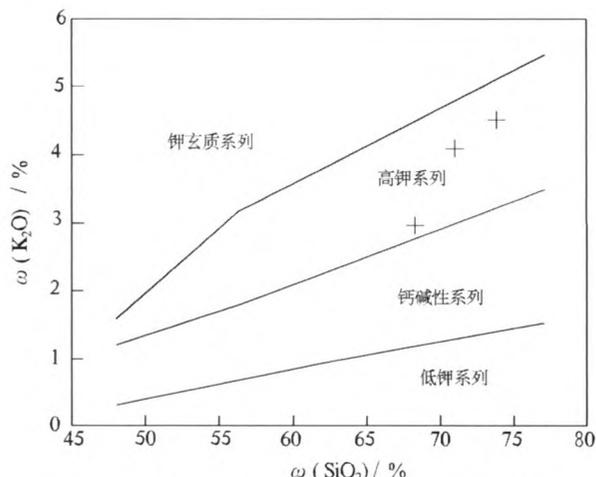


图6 即墨马连山花岗质片麻岩SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O图解  
Fig.6 SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O diagram of granitic gneiss from Malianshan, Jimo area

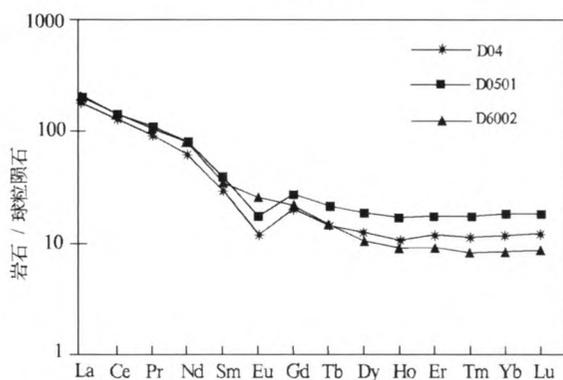


图7 即墨马连山花岗质片麻岩稀土元素配分图  
Fig.7 Chondrite-normalized REE patterns of granitic gneiss from Malianshan, Jimo area

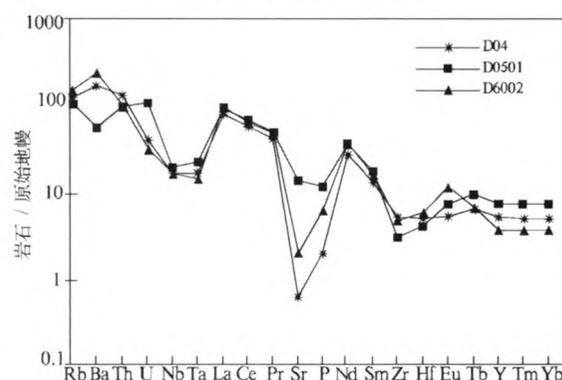


图8 即墨马连山花岗质片麻岩微量元素蛛网图  
Fig.8 MORB normalized trace element spidergrams of granitic gneiss from Malianshan, Jimo area

Ba而贫Sr的特征,所有样品均表现出P负异常。其中高场强元素Nb、Ta、Zr、Hf为明显负异常,轻稀土元素La、Ce、Pr相对富集。特征元素比值Nb/Ta为15.05~19.6, Zr/Hf为26.75~38.12。微量元素含量及变化特征基本在薛怀民等在胶东地区划分的高钾I型片麻岩类变化范围之内<sup>[4]</sup>。

## 5 讨论

### 5.1 与胶北、胶南地区花岗片麻岩对比

即墨马连山地区二长花岗岩质片麻岩形成年龄为 $770.2 \pm 2.4$  Ma,  $784.3 \pm 6.6$  Ma,属于新元古代中期,后期经历了区域变质作用。山东该时代侵入岩类仅发育于苏鲁造山带<sup>[13]</sup>,且与区域上苏鲁造山带新元古代花岗质片麻岩类形成时代(700 Ma~800 Ma)<sup>[14-15]</sup>相吻合。苏鲁造山带是华北板块与扬子板块在三叠纪陆陆碰撞后的产物<sup>[6]</sup>,其主体岩性为新元古代的花岗质片麻岩类,夹有不同类型的副片麻岩、大理岩、

变粒岩、云母片岩等典型的变沉积岩<sup>[5]</sup>,集中分布于胶北威海、荣成及胶南五莲、日照等地。王来明等在胶南日照-莒县一带划分的月季山片麻岩典型岩体主要矿物组分为石英21.30%~37.18%,斜长石30.48%~35.80%,钾长石23.85%~38.90%,黑云母1.92%~11.01%,含少量的普通角闪石、石榴子石及白云母等<sup>[3]</sup>,研究区矿物组分与胶南月季山片麻岩基本相当;而薛怀民等在胶北地区的研究表明,苏鲁造山带基底片麻岩可分为高钾I型花岗质片麻岩(部分相当于月季山片麻岩)及富钠的A型花岗质片麻岩,前者富钾( $K_2O/Na_2O$ 接近或大于1)和亚铝质,强烈亏损Sr、Nb和Ta,轻稀土分馏强而重稀土几乎无分馏,具极强的Eu负异常( $\delta Eu=0.47 \sim 0.61$ );后者则以偏碱和富钠,高Y、Zr、Ga及稀土丰度为特征,稀土元素分馏程度强,弱到中等的Eu负异常<sup>[4]</sup>,本区D04、D0501样品微量元素在胶北地区高钾I型花岗质片麻岩含量及变化范围之内。虽然,区内花岗质片麻

岩岩石类型单一、分布规模局限,但是同时代地质体在造山带典型地区(胶北、胶南)均能找到对应的岩石类型,结合野外地质特征及构造位置,充分说明该套岩石组合属苏鲁造山带基底岩系。

### 5.2 岩石成因

花岗岩的成因机制主要有两个:一是地幔成因的镁铁质岩浆分离结晶而成,并伴有或未受到壳物质的同化;二是地壳岩石的部分熔融。即墨马连山地区新元古代花岗岩 Nb/Ta(15.05~19.6)与球粒或洋脊玄武岩等未分异岩石中的 Nb/Ta(17±2)接近,说明花岗岩未经历较高分离结晶作用;且具有总体较高的 SiO<sub>2</sub> 含量,明显 Nb、Ta 亏损,富集大离子亲石元素,均显示大陆边缘弧岩浆活动的特征。以上证据表明即墨地区花岗质片麻岩并非幔源镁铁质岩浆分离结晶而成。即墨崂山地区乃至苏鲁造山带内含石榴石二长花岗质片麻岩比较常见。普遍认为,石榴石对重稀土分馏效应十分显著,而即墨地区花岗质片麻岩类具平坦的重稀土元素模式和相对高的 Y 和 Yb 丰度,指示残留相中不含石榴石。根据实验资料,当压力约 1.0 GPa 时熔体相中出现石榴石;当然压力不能太高,该片麻岩具比较明显负 Eu 异常及 Sr 负异常指示残留相中有斜长石,在高压下(为 1.5 GPa),斜长石在残留相中是不稳定的。据薛怀民等在苏鲁造山带东缘荣城、海阳一带的研究指出新元古代花岗岩的成岩压力应在 0.8 GPa~1.0 GPa 之间<sup>[4]</sup>,接近于正常厚度的地壳底部。而该套花岗片麻岩属高钾系列, K<sub>2</sub>O 偏高(D0501 样品除外),这样要求源区具有比较高的 K<sub>2</sub>O 含量,这些花岗岩可能起源于变质的含水中性弱碱性岩<sup>[17]</sup>。许志琴等认为南苏鲁(临沭-连云港地区)中不同类型高压-超高压变质岩石的原岩形成于由大陆玄武质岩石、辉长岩、表壳岩和花岗岩组成的被动大陆边缘拉伸构造环境<sup>[18]</sup>。基于所属的大陆边缘的构造属性,受俯冲板片脱水交代的下地壳镁铁质岩是这些高钾钙碱性花岗岩可能的源区。

### 5.3 构造意义

对于苏鲁造山带北段西边界的划分现今仍存在不同认识,争论的焦点集中在以牟平-即墨断裂带哪条主干断裂为界。张成基等认为以荆山-莱山一线(桃村断裂)为界<sup>[19]</sup>;王来明等、李洪奎等认为与朱吴断裂大致相当为界<sup>[3,20]</sup>,而薛怀民等认为以牟平-海阳断裂为界<sup>[4]</sup>。本次工作新发现的含变质表壳岩包体

的二长花岗质片麻岩分布于即墨拖车乔到东部沿海王哥庄一带,西以朱吴断裂为界与中生代火山岩断层接触,且分布于断裂以东区域,断裂以西未见出露。这样,造山带基底变质岩的分布范围扩大至跨海阳断裂向北西延伸十几公里至朱吴断裂附近,虽然未发现典型的榴辉岩,但仍可为苏鲁造山带北段西边界的研究提供直接的野外地质证据。

## 6 结论

(1)在山东即墨地区新发现的新元古代花岗质片麻岩为一套亚铝质-弱过铝质的高钾钙碱性花岗岩类;标准矿物相当于奥长花岗岩-花岗岩,采用 LA-MC-ICP-MS 技术,测得该系列花岗质片麻岩的 <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄分别为 770.2±2.4 Ma 和 784.3±6.6 Ma,其形成时代为新元古代中期。

(2)即墨地区新元古代花岗质片麻岩属苏鲁造山带基底岩系,具有大离子亲石元素 Rb、Ba、Th 富集,高场强元素 Nb、Ta、Zr、Hf 亏损,轻稀土元素富集且分异明显,重稀土基本无分异, Eu 负异常等特征。

(3)在苏鲁造山带中段含变质表壳岩包体的花岗质片麻岩的新发现为造山带北段西边界的研究提供了新的地质证据。

**致谢:**感谢中国地质大学(北京)朱弟成教授、天津地调中心初航以及山东省地质调查院的田京祥、宋志勇研究员认真审阅了本文初稿并提出了许多宝贵意见,本文正是在这些意见的基础上修改和完善的,在此一并表示衷心的感谢。

### 参考文献:

- [1]葛宁洁,李曙光,彭中华,等.大别山东段榴辉岩的成分特征及其成因意义[J].地质通报,1993,67(2):109-122.
- [2]徐惠芬,杨天南,刘福来,等.2001.苏鲁高压-超高压带南部花岗片麻岩-花岗岩的多时代演化[J].地质学报,2001,75(3):371-377.
- [3]王来明,宋明春,王沛成.苏鲁超高压变质带的结构与演化[M].北京:地质出版社.2005:15-27.
- [4]薛怀民,刘福来,孟繁聪.苏鲁造山带胶东区段花岗片麻岩类的常量与微量元素地球化学:扬子克拉通北缘新元古代活动大陆边缘的证据[J].岩石学报,2006,22(7):1779-1790.
- [5]孔庆波.苏鲁地体古元古代花岗质片麻岩锆石的 U-Pb 定年、REE 和 Lu-Hf 同位素特征[J].地质通报,2009,28(1):51-62.
- [6]陆松年,李惠民,李怀坤,等.胶南新元古代花岗片麻岩中淡色脉体的锆石年代学和稀土元素研究[J].地质调查与

- 研究.2005,28(4):207-212.
- [7] 杨启军,钟增球.大别-苏鲁超高压地体中面理化含榴花岗岩的成因研究[J].地球科学—中国地质大学学报,2004,29(2):171-176.
- [8] 李怀坤,耿建珍,郝爽,等.用激光烧蚀多接收器等离子质谱仪(LA-MC-ICP-MS)测定锆石U-Pb同位素年龄的研究[J].矿物学报,2009,(增刊):600-601.
- [9] Liu Y S, Hu Z C, Gao S, et al. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard[J]. Chemical Geology, 2008,257:34-43.
- [10] Ludwig K R.3.0. A Geochronological Toolkit for Micro-soft Excel[M]. Berkeley Geochronology Center, Special Publication, 2003,(4):1-70.
- [11] Sun S S and MacDonough W F. Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Implications for Mantle Composition and Processes[J]. Geological Society London, Special Publications. 1989,42:313-345.
- [12] 地质矿产部.1/5万区域地质填图方法指南[M].武汉:中国地质大学出版社,1991:33.
- [13] 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,2014,20(03):1-23.
- [14] 郑永飞,龚冰,赵子福,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.
- [15] 胡建,邱检生,王汝成,等.新元古代Rodinia超大陆裂解事件在扬子北东缘的最初响应:东海片麻状碱性花岗岩的锆石U-Pb年代学及Nd同位素制约[J].岩石学报,2007,23(06):1321-1333.
- [16] 英基丰,张宏福,周新华,等.苏鲁造山带深部岩石圈的属性:来自麻粒岩和橄榄岩捕虏体的制约[J].矿物岩石地球化学通报,2013,32(3):328-334.
- [17] Roberts MP, Clemens JD. Origin of high-potassium, calc-alkaline, I-type granitoids [J]. Geology,1993,21:825-828.
- [18] 许志琴,刘福来,戚学祥,等.南苏鲁超高压变质地体中罗迪尼亚超大陆裂解事件的记录[J].岩石学报,2006,22(7):1745-1760.
- [19] 张成基,王世进.胶南造山带研究新进展[J].山东地质,1997,13(1):1-10.
- [20] 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,2013,29(02):594-606.

## The discovery of Neo Proterozoic granitic gneiss xenolith in Malianshan of Jimo, Shandong province, and its geological significance

HOU Jian-hua, REN Tian-long, YANG Shi-peng, ZHU Xue-qiang, GUO Jing, HUANG Yong-bo

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

**Abstract:** The large-scale granitic gneiss xenolithes were first discovered in Laoshan series granites at the middle part of the Sulu orogen, Malianshan Jimo area. And they generally captures the supracrustal rock inclusion such as marble, granulite, schist and so on. The granitic gneiss belongs to subaluminous-weakly peraluminous high-k calc-alkaline granitoid. By using the method of LA-MC-ICP-MS to measure the U-Pb isotope of zircon, shows that the  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  age of biotite granite-gneiss (D04) is  $770.2 \pm 2.4$  Ma ( $n=15$ ,  $\text{MSWD}=0.14$ ) which is the age of the protolith. The weighted average of  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  ages from garnetiferous granite-gneiss (D0501) are  $784.3 \pm 6.6$  Ma and  $930 \pm 5$  Ma, separately representative the age of the protolith and relict zircon. The LA-MC-ICP-MS zircon U-Pb dating shows that it was formed in the Mid Neoproterozoic. According to the features of petrological and lithochemical analysis, and compare with the Yuejishan gneiss and I type granitic gneiss of Jiaobei, it is suggested that the granitic gneiss belongs to the fundamental series of the Sulu orogenic belt. So, the discovery of granitic gneiss provides a new direct field evidence to study the western boundary of the north Sulu orogenic belt.

**Key words:** granitic gneiss; Neo Proterozoic; Sulu orogenic belt; zircon U-Pb; LA-MC-ICP-MS