

doi:10.3969/j.issn.0563-5020.2014.01.016

江苏赣榆县石桥片麻岩地球化学 和锆石 U-Pb 年龄*

袁亚娟^{1,2} 夏斌^{1,2} 张玉泉² 夏连泽¹ 李贺²

(1.中山大学海洋学院 广州 510275; 2.中国科学院广州地球化学研究所 广州 510640)

摘要 通过野外和室内研究结果表明,石桥片麻岩是由沉积岩变质组成。在化学成分上,表现为高硅($\text{SiO}_2 = 75.22\% \sim 76.42\%$)、低铝($\text{Al}_2\text{O}_3 = 11.02\% \sim 12.29\%$)、富碱($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 8.00\% \sim 8.68\%$)和贫钙($\text{CaO} = 0.30\% \sim 0.82\%$),富集 Rb、Ba、Th、U 等大离子亲石元素,贫 Nb、Ta、Zr、Hf、Ti 等高场强元素,以及轻稀土相对富集(LREE/HREE = 6.06~7.14)、钕负异常较明显($\delta\text{Eu} = 0.18 \sim 0.56$)等。通过锆石成因类型及定年研究,获得超高压变质作用时间为 254 Ma 和退变质作用时间为 217 Ma,老核(继承锆石)岩浆碎屑锆石是异地多时代(元古代—古生代),其寄主岩的原岩为沉积岩,时代不会早于古生代。

关键词 地球化学 锆石 U-Pb 年龄 片麻岩 石桥 赣榆县 江苏省

中图分类号: P588, P597

文献标识码: A

文章编号: 0563-5020(2014)01-214-12

处在扬子克拉通北缘和华北克拉通南缘之间的石桥片麻岩,与斜长角闪岩、变质镁铁—超镁铁质岩、榴辉岩、绿辉石大理岩和硬玉石英岩等,均是大别—苏鲁超高压变质单元中的主要岩石类型(钟增球等, 2001; 杨启军等, 2004)。其中灰色片麻岩体积在 70%~80%以上(陈道公等, 2000; 王强等, 2000; 郑祥身等, 2000; 刘福来等, 2004)。因此,研究片麻岩的成岩和原岩的时代,对探讨大别—苏鲁超高压变质带的地质演化史有重要意义。20 世纪 80 年代末就开始了同位素地质年代学研究(李曙光等, 1989, 1997; Ames et al., 1996; 陈能松等, 1996; Rowley et al., 1997; Xue et al., 1997; Hacker et al., 1998; 程裕淇等, 2000; 陈道公等, 2000, 2007; 高天山等, 2000; 涂荫玖等, 2001; 吴元保等, 2001, 2007; 谢智等, 2001, 2004; 张宏飞等, 2001; 刘福来等, 2003; 郑永飞等, 2003, 2007; 龚冰等, 2004; Liu et al., 2004; 唐俊等, 2004; 刘贻灿等, 2005; Zheng et al., 2005, 2006; Wu et al., 2008; 夏斌等, 2008, 2009, 2010, 2011)。本文在前人工作的基础上,着重于锆石成因类型和定年研究。

1 地质、岩石简况

研究区位于华南板块与华北板块的结合部位,处在郯庐深断裂东侧的苏北—胶南地块超高压变质带内(图 1),该区出露的岩石为胶南群上亚群于家岭组片岩、片麻岩和下亚群甄家沟组的片麻岩(山东省地质矿产局, 1991),其后者即为本文研究的片麻岩,产

* 国家重点基础研究发展计划“973”项目(编号: 2009CB219401)和中国科学院知识创新项目(编号: 0734021)资助。

袁亚娟,女,1986年9月生,博士,构造地质学专业。E-mail: yyjli924@163.com

2013-06-05 收稿, 2013-09-18 改回。

状平缓($130^{\circ} \angle 12^{\circ}$),层面很平,岩层厚度:薄层单层厚为 3~5 cm 居多,厚层厚为 1 m 左右,发育反映原韵律层的黑白条带(图 2)。本文定年的锆石样品,采自石桥镇西南侧采石场(北纬 $35^{\circ}02.574'$,东经 $E119^{\circ}10.542'$):SQ1-1 采自薄层,SQ1-5 采自厚层。岩石为浅灰色—灰白色,具片麻状构造、等粒变晶结构。造岩矿物由石英、钾长石、斜长石和黑云母等组成。

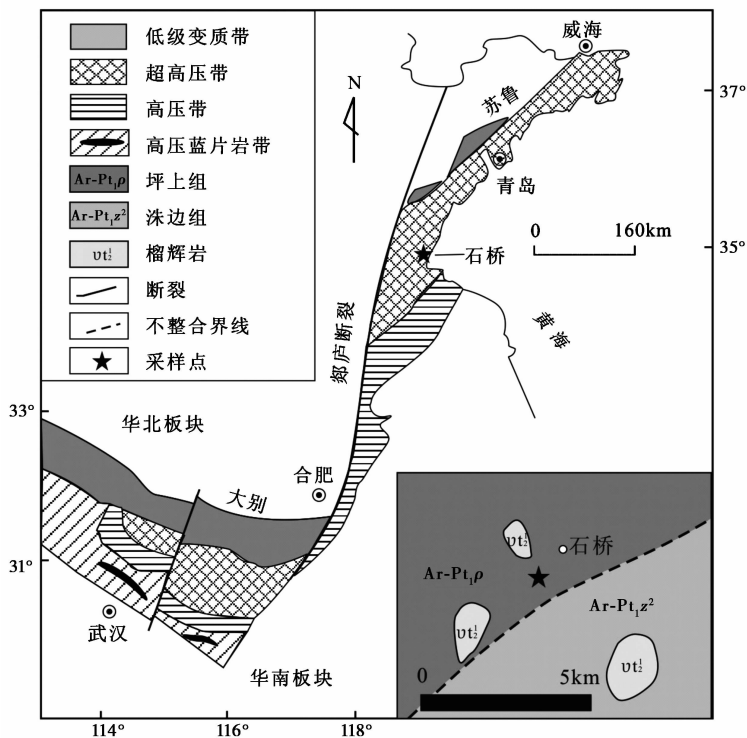


图 1 石桥地区地质简图(据山东省地质矿产局,1991 修改)

Fig. 1 Simplified geological map of Shiqiao area(modified after Bureau of Geology and Mineral Exploration of Shandong Province, 1991)

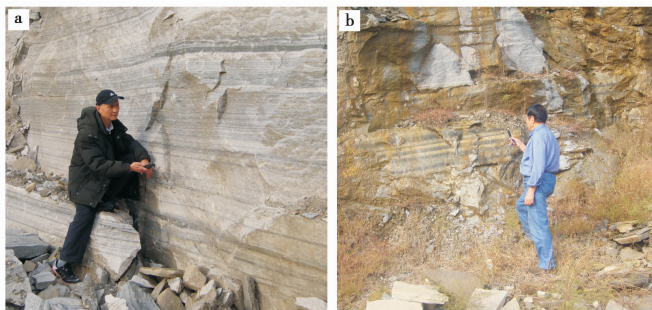


图 2 石桥片麻岩野外照片

a.薄层黑白条带;b.厚层黑白条带

Fig. 2 The outcrop image of gneiss in Shiqiao area

2 元素地球化学特征

全岩的主量和微量元素分析均在中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室完成。其中主量元素分析在 Varian Vista-PRO 型 ICP-AES (CCD 全谱直读 ICP-AES) 测定, 所有氧化物分析误差 (RSD) 小于 5%。微量元素包括稀土元素, 在 PE-Elan 6000 型 ICP-MS 测试, 元素误差小于 10%。

2.1 岩石化学

石桥片麻岩化学成分分析结果见表 1, 从表中可以看出: SiO_2 含量变化为 75.22%~76.42%, Al_2O_3 含量变化为 11.02%~12.29%, 总碱 ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) 含量变化为 8.00%~8.68%, CaO 含量变化为 0.30%~0.82%, 显示该片麻岩在岩石化学成分上高硅、贫铝、富碱和低钙。与苏鲁地区超高变质带内副片麻岩, 在岩石化学成分组成上具一致的特征性 (刘福来等, 2001, 2005)。

2.2 微量元素 (包括稀土元素)

石桥片麻岩微量元素从表中可以看出, 在组成上富集 Rb、Ba、Th、U 等大离子亲石元素, 贫 Nb、Ta、Zr、Hf、Ti 等高场强元素。在原始地幔标准化蛛网图 (图 3) 上, Nb、Sr、Ti 呈现“V”型谷; 稀土元素含量比较高 ($\text{TREE} = 170.51 \times 10^{-6} \sim 263.49 \times 10^{-6}$)、轻稀土相对富集 ($\text{LREE}/\text{HREE} = 6.06 \sim 7.14$)、铕负异常较明显 ($\delta\text{Eu} = 0.18 \sim 0.56$) 和稀土模式曲线为向右微倾斜的“V”型 (图 4)。

3 锆石 U-Pb 年龄

3.1 锆石分选

为了尽量排除交叉混样, 锆石分选采用以下流程 (张玉泉等, 2004) 分选锆石: 把 0.5 kg 左右的样品破碎成约 1 cm^3 的小块, 放入直径为 20 cm 的不锈钢钵中, 在 XZW100 型振动磨样机中研磨 3~5s 后取出, 此过程反复进行到样品全部通过 0.3 mm 的孔径筛, 洗去粉尘, 用铝制淘沙盘富集重矿物, 再通过磁选和电磁选, 将剩余非电磁部分再淘洗获得锆石精矿, 最后在双目镜下挑选出用于定年的锆石。

3.2 分析方法和精度

锆石 LA-ICP-MS 分析在中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室完成。将锆石与标样 ($\text{TEM} = 417 \text{ Ma}$) 置于玻璃板上, 用环氧树脂固定制成样品靶, 然后磨至约一半, 使锆石内部暴露, 暴露出锆石的中心面, 喷碳沫照阴极 (CL) 发光相。再擦掉碳沫, 即可进行 LA-ICP-MS U、Pb 含量测定, 采用单点剥蚀的方法 (激光剥蚀斑束直径为 $31 \mu\text{m}$, 频率为 8Hz)。详细的实验流程和数据处理见文献 (Liu et al., 2008; 涂湘林等, 2011)。应用实测 ^{204}Pb 校正锆石中的普通铅。单个数据点的误差均为 1σ , 年龄 $>800 \text{ Ma}$ 的数据点采用年龄为 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄, 年龄 $<800 \text{ Ma}$ 的数据点采用年龄为

表 1 石桥片麻岩主量/%和微量(包括稀土) $\times 10^{-6}$ 分析结果

Table 1 Representative composition of major and trace element contents in low-grade metamorphic rocks within Shiqiao area

序号	1	2	3	4	5	6	7
样号	SQ-1-1	SQ-1-2	SQ-1-5	C7-103-27	C6-78-17	B1083	B1324
SiO ₂	76.42	75.87	75.22	70.92	75.82	68.33	74.12
TiO ₂	0.12	0.12	0.28	0.46	0.16	0.50	0.26
Al ₂ O ₃	12.29	12.08	12.02	13.45	12.66	15.38	13.06
Fe ₂ O ₃	1.41	2.18	2.60	1.44	2.02	3.43	1.94
MnO	0.03	0.04	0.10	0.10	0.06	0.06	0.05
MgO	0.10	0.09	0.31	1.23	0.38	0.99	0.30
CaO	0.52	0.30	0.82	2.30	1.37	2.66	1.31
Na ₂ O	4.48	4.66	4.36	4.45	5.30	5.00	4.42
K ₂ O	3.90	4.02	3.67	2.62	1.85	2.46	3.20
P ₂ O ₅	0.02	0.02	0.03	0.12	0.10	0.14	0.06
L.O. I	0.26	0.16	0.23	0.34	0.26	0.86	1.36
Total	99.55	99.54	99.64	99.71	99.89	99.32	99.26
Na ₂ O+K ₂ O	8.38	8.68	8.00	7.03	7.15	7.46	7.62
Na ₂ O/K ₂ O	1.14	1.15	1.18	1.42	2.86	2.03	1.38
Sc	2.87	2.297	5.1	14.3	7.73	6.04	3.16
V	0.96	0.49	12.87	73.1	11.7	33.6	16.1
Cr	6.45	6.92	10.08	101	116	6.42	7.51
Co	1.30	0.85	2.59	10.1	2.61	5.89	2.67
Ni	2.15	0.21	2.40	22.9	8.49	5.70	3.45
Rb	116.4	111.6	71.45	86.9	22.0	47.6	100
Sr	26.68	28.3	71.48	162	53.1	814	135
Y	37.27	43.91	57.31	33.2	51.0	33.3	23.5
Zr	146.9	259.8	418.7	178	91.5	232	175
Nb	14.56	14.42	14.65	18.1	9.18	13.2	11.4
Ba	721.7	614.4	573	556	266	1074	1154
Hf	5.52	7.85	10.63	3.73	3.93	5.81	3.41
Ta	1.12	1.01	0.80	0.52	1.68	1.05	0.93
Th	11.22	8.56	7.50	11.8	5.24	7.27	11.1
U	1.64	1.29	1.64	1.64	1.11	0.93	1.20
La	40.87	41.68	51.54	54.2	35.3	46.0	60.2
Ce	58.1	104.2	103.9	90.0	58.5	74.4	102
Pr	9.14	10.61	13.01	8.76	6.13	7.54	10.2
Nd	32.72	38.45	46.19	37.0	27.4	27.7	32.8
Sm	6.18	7.47	9.82	6.32	5.61	5.88	5.42
Eu	0.33	0.56	1.70	1.48	1.02	1.55	1.16
Gd	5.09	6.78	8.76	8.34	6.16	6.05	4.72
Tb	0.98	1.31	1.63	0.92	1.20	1.02	0.73
Dy	6.17	8.08	10.07	5.67	7.66	6.32	4.02
Ho	1.32	1.66	2.19	1.20	2.02	1.33	0.87
Er	4.02	4.79	6.28	4.43	6.45	4.31	2.55
Tm	0.63	0.69	0.94	0.24	0.58	0.63	0.39
Yb	4.28	4.48	6.44	3.65	5.95	4.37	2.68
Lu	0.68	0.65	1.02	0.63	1.14	0.67	0.41
TREE	170.51	231.41	263.49	222.84	165.12	187.77	228.15
LREE/HREE	6.36	7.14	6.06	7.89	4.30	6.60	12.94
δ Eu	0.18	0.24	0.56	0.62	0.53	0.79	0.70
La/Yb	6.85	6.67	5.74	10.65	4.26	7.55	16.11

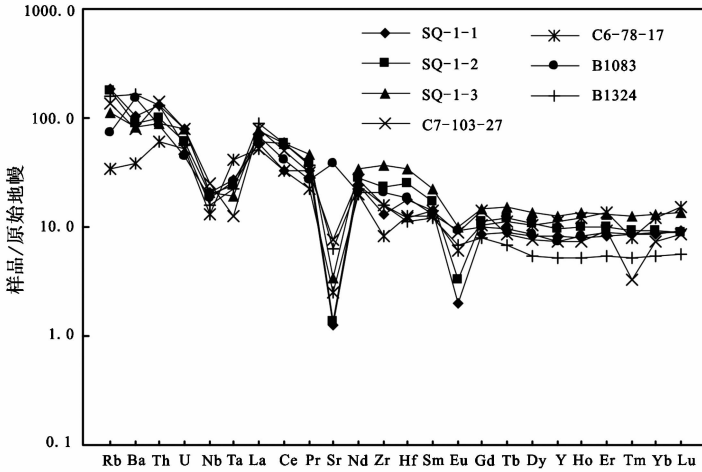


图3 石桥片麻岩微量元素原始地幔标准化蛛网图(原始地幔标准化值据 Sun and McDough, 1989) C7-103-27,C6-78-17(据刘福来等, 2001); B1083,B1324(据刘福来等, 2005)

Fig. 3 Primitive mantle-normalized spider diagram for gneiss in Shiqiao area(the primitive mantle values from Sun and McDough, 1989) C7-103-27,C6-78-17(after Liu et al., 2001); B1083,B1324(after Liu et al., 2005)

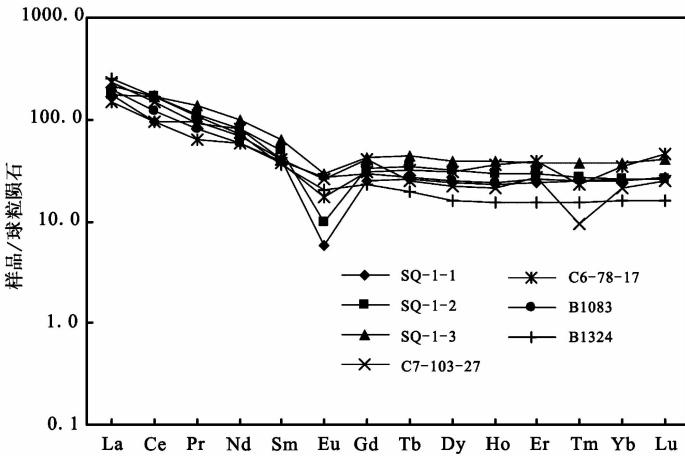


图4 石桥浅变质岩稀土元素球粒陨石标准化配分图(球粒陨石标准化值据 Sun and McDough, 1989) C7-103-27,C6-78-17(据刘福来等, 2001); B1083,B1324(据刘福来等, 2005)

Fig. 4 Chondrite-normalized REE distribution patterns for gneiss in Shiqiao area(the chondrite values from Sun and M Dough, 1989) C7-103-27,C6-78-17(after Liu et al., 2001); B1083,B1324(after Liu et al., 2005)

$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄,其加权平均值为 95%的置信度。

3.3 分析结果

石桥片麻岩锆石“CL”图像所显示的结构,均为具有老核(继承锆石)新壳(没有韵律环带)的变质复合锆石。其中“继承锆石”多为岩浆碎屑锆石。年龄测定结果(表2,图5,图6):

表 2 石桥片麻岩锆石 LA ICP MS U-Pb 年龄数据

Table 2 LA-ICP-MS U-Pb dating results of zircons from gneiss in Shiqiao area

序号	测点	Pb/ $\times 10^{-6}$	Th/ $\times 10^{-6}$	U/ $\times 10^{-6}$	Th/ U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ /Ma	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ /Ma
1	SQ1-1-1-1	35	171	202	0.85	0.0564±44	0.9423±649	0.1179±23	478±174	718.4±13.5
2	SQ1-1-1-2	27	21	702	0.03	0.0412±36	0.1997±159	0.0342±7	error	217.1±4.4
3	SQ1-1-2-1	161	84	340	0.25	0.1552±106	7.6842±4537	0.3449±66	2406±117	1910.4±31.8
4	SQ1-1-3-1	155	124	345	0.36	0.1619±123	7.3943±4689	0.3185±50	2475±128	1782.5±24.3
5	SQ1-1-4-1	18	58	198	0.30	0.0569±51	0.5891±627	0.0730±29	487±199	454.4±17.5
6	SQ1-1-5-1	20	142	115	1.24	0.0592±50	0.8789±775	0.1084±29	572±179	663.4±16.7
7	SQ1-1-5-2	45	38	997	0.04	0.0454±32	0.2517±183	0.0402±7	error	254.4±4.4
8	SQ1-1-6-1	13	85	79	1.07	0.0688±72	1.1375±1215	0.1210±31	894±216	736.5±17.8
9	SQ1-1-6-2	32	73	678	0.11	0.0500±39	0.3292±309	0.0480±21	195±18	302.4±12.7
10	SQ1-1-7-1	32	181	189	0.96	0.0626±53	1.0444±899	0.1216±24	694±188	740.0±13.6
11	SQ1-1-8-1	26	106	154	0.69	0.0570±46	1.0057±843	0.1247±25	500±178	757.7±14.6
12	SQ1-1-9-1	16	74	111	0.67	0.0649±51	0.9689±815	0.1039±25	772±166	637.2±14.5
13	SQ1-1-9-2	51	83	1054	0.08	0.0439±28	0.2665±172	0.0426±10	error	269.1±6.5
14	SQ1-1-10-1	10	53	57	0.93	0.0602±71	1.0042±1128	0.1206±34	611±259	734.1±19.4
15	SQ1-1-11-1	24	95	174	0.54	0.0492±50	0.7600±771	0.1078±35	167±209	659.8±20.6
16	SQ1-5-1-1	20	51	288	0.18	0.0528±47	0.6576±831	0.0862±65	320.4±203.7	533.2±38.6
17	SQ1-5-2-1	16	127	99	1.28	0.0532±54	0.7594±782	0.1044±36	298.2±238.9	640.1±20.9
18	SQ1-5-3-1	16	108	172	0.63	0.0511±57	0.4485±489	0.0643±21	255.6±227.8	401.9±12.9
19	SQ1-5-4-1	10	38	131	0.29	0.0621±91	0.7730±1348	0.0872±56	679.6±315.6	538.8±33.4
20	SQ1-5-5-1	7	46	37	1.26	0.0768±100	1.3154±1644	0.1230±39	1116.7±263.1	747.8±22.4
21	SQ1-5-6-1	9	53	53	0.99	0.0530±75	0.9124±1246	0.1177±36	327.8±292.6	717.1±20.7
22	SQ1-5-7-1	10	59	53	1.12	0.0669±77	1.1689±1330	0.1230±36	835.2±244.4	747.9±20.9
23	SQ1-5-8-1	22	135	222	0.61	0.0644±61	0.5798±619	0.0626±22	753.7±201.8	391.6±13.5
24	SQ1-5-9-1	9	43	32	1.35	0.0532±41	0.7623±589	0.0991±23	344.5±175.9	609.2±13.7
25	SQ1-5-10-1	6	43	41	1.05	0.0637±96	0.9118±1381	0.1055±47	731.5±324.8	646.8±27.2
26	SQ1-5-11-1	47	149	656	0.23	0.0524±47	0.4669±475	0.0638±24	301.9±205.5	398.6±14.7
27	SQ1-5-12-1	13	87	63	1.38	0.0573±59	1.0486±968	0.1303±34	501.9±229.6	789.6±19.4

(1) SQ1-1(薄层)继承锆石

Th 的含量变化为 $58 \times 10^{-6} \sim 181 \times 10^{-6}$, U 的含量变化为 $57 \times 10^{-6} \sim 345 \times 10^{-6}$, Th/U 较集中在 0.25~1.24 之间。其年龄值分别为古元古代(2475 Ma、2406 Ma)、新元古代(757 Ma、740 Ma、736 Ma、734 Ma、718 Ma、663 Ma、659 Ma 和 637 Ma)和古生代(454 Ma 和 302 Ma); 变质锆石(变质复合锆石的新壳): Th 的含量变化为 $21 \times 10^{-6} \sim 38 \times 10^{-6}$, U 的含量变化为 $702 \times 10^{-6} \sim 997 \times 10^{-6}$, Th/U 较集中在 0.03~0.04 之间, 年龄值为 254 Ma、217 Ma, 属于中生代, 相当于早、晚三叠世。此外, 在 SQ1-1 中 SQ1-1-6-2 和 SQ1-1-9-2 两个测点, Th、U 比值偏高(Th/U=0.08~0.11), 暗示测点涉及到继承锆石的成分使年龄值偏高。



图5 石桥片麻岩锆石的 CL 图像及测点位置

Fig. 5 Cathodoluminescence images of zircons from Shiqiao gneiss and sites of points for analyses

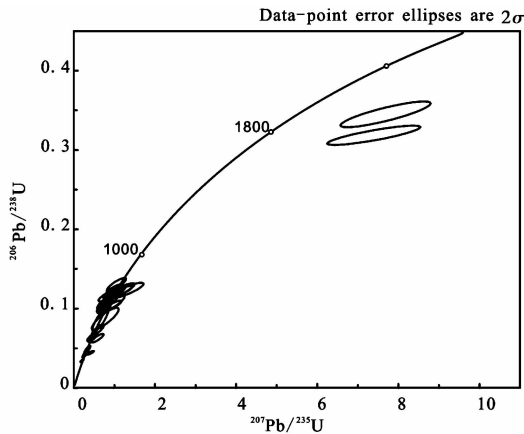


图6 石桥片麻岩锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 6 Concordia diagrams of U-Pb data for the zircon from gneiss in Shiqiao area

(2)SQ1-5(厚层)继承锆石

Th 的含量变化为 $38 \times 10^{-6} \sim 149 \times 10^{-6}$, U 的含量变化为 $32 \times 10^{-6} \sim 656 \times 10^{-6}$, Th/U 在 0.23~1.38 之间。其年龄值分别为新元古代(789 Ma、747 Ma、747 Ma、717 Ma、646 Ma、640 Ma 和 609 Ma)和古生代(538 Ma、533 Ma、401 Ma、398 Ma 和 391 Ma)。详情见表 2。

4 讨论与结论

4.1 石桥片麻岩锆石成因类型

常见的锆石类型主要有岩浆锆石、变质锆石、岩浆复合锆石和变质复合锆石(张玉泉等, 2004)。其中变质复合锆石中老核为继承锆石,表明其在寄主岩变质作用过程中,原封不动的保存下来。石桥片麻岩中的继承锆石,绝大部分是岩浆碎屑锆石,暗示在锆石结晶之后经过了搬运、破碎和再堆积的过程。另外,根据锆石 CL 图像(图 5),环带结构上表现为粗细不同,同样暗示它们并非一次岩浆作用的产物,而是多次的、多时代的。所以,不同结构和多时代的岩浆碎屑锆石聚集在一起,暗示其来源非原地而是异地,同时表明其原岩为沉积岩。

4.2 石桥片麻岩的原岩属性

根据野外和室内研究表明,石桥片麻岩的原岩是沉积岩,其依据:1)反映原沉积岩韵律层的黑白条带,尽管很薄(几毫米~数厘米),但很稳定分布(图 2);2)在变质复合锆石中的老核(继承锆石),是多时代的岩浆碎屑锆石;3)石桥片麻岩化学成分与邻区的东海县内的中国大陆科学钻探工程预先导孔中片麻岩(副片麻岩)(刘福来等, 2001)和主孔 2 000~3 000 m 副片麻岩的化学成分具一致性,暗示其沉积环境的一致性。

4.3 石桥片麻岩成岩和原岩时代

上述资料表明石桥片麻岩由沉积岩变质而成。因此,早-中三叠世的超高压变质时间(250 Ma 左右),即是它的成岩时间。至于原岩(沉积岩)时代,从变质复合锆石的老核(继承锆石)定年表明,既有大量的“继承锆石”是古元古代(2 475 Ma 和 2406 Ma)和新元古代(789~609 Ma),又有比较多的古生代(538 Ma、533 Ma、454 Ma、401 Ma、398 Ma、391 Ma 和 302 Ma),所以作为继承锆石的寄主岩(沉积岩),时代不会早于古生代。

4.4 结 论

石桥片麻岩中“继承锆石”是异地、多时代的;其原岩是沉积岩;时代不会早于古生代。

致谢 本次 U-Pb 年龄测定工作得到中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室孙卫东、涂湘林等研究员协助,并提出了许多宝贵的意见,在此表示衷心的感谢!

参 考 文 献

- 山东省地质矿产局. 1991. 山东省区域地质志. 北京:地质出版社. 26—44.
- Bureau of Geology and Mineral Exploration of Shandong Province. 1991. Regional Geology of Shandong Province. Beijing: Geological Publishing House. 26—44.
- 陈道公, Isachsen C, 支霞臣等. 2000. 安徽潜山片麻岩锆石 U-Pb 年龄. 科学通报, **45**(2): 214—217.
- Chen Daogong, Isachsen C, Zhi Xiachen et al. 2000. Zircon U/Pb ages for gneiss from Qianshan, Anhui. *Chinese Science Bulletin*, **45**(8): 764—767.
- 陈道公, 倪涛, 谢烈文. 2007. 大别地体超高压变质岩石锆石 Lu-Hf 同位素研究. 岩石学报, **23**(2): 331—342.
- Chen Daogong, Ni Tao and Xie Liewen. 2007. Zircon Lu-Hf isotopic compositions of ultra-high pressure metamorphic rocks from Dabie Terrain, China. *Acta Petrologica Sinica*, **23**(2): 331—342.
- 陈能松, 游振东, 索书田等. 1996. 大别山区中酸性麻粒岩和变形花岗岩的锆石 U-Pb 年龄, 科学通报, **41**(11): 1009—1011.
- Chen Nengsong, You Zhendong, Suo Shutian et al. 1996. U-Pb zircon ages of intermediate granulites and deformed granites in Dabie Mountains, Central China. *Chinese Science Bulletin*, **41**(22): 1886—1890.
- 程裕淇, 刘敦一, Williams I S 等. 2000. 大别山碧溪岭深色榴辉岩和片麻状花岗岩锆石 SHRIMP 分析——晋宁期高压—超高压变质作用同位素年代学依据. 地质学报, **74**(3): 193—205.
- Cheng Yuqi, Liu Dunyi, Williams I S et al. 2000. SHRIMP U-Pb dating of zircons of a dark-coloured eclogite and a garnet-bearing gneissic-granitic rock from Bixiling, eastern Dabie area——Isotope chronological evidence of noproterozoic HP-UHP metamorphism. *Acta Geologica Sinica*, **74**(3): 193—205.
- 高天山, 李惠民, 汤加福等. 2000. 大别山岳西碧溪岭地区片麻状斜长花岗岩锆石 U-Pb 年龄, 安徽地质, **10**(3): 205—208.
- Gao Tianshan, Li Huimin, Tang Jiafu et al. 2000. The U-Pb age of zircon from the gneissic plagiogranite in the Bixiling area, Yuexi, the Dabie Mountains. *Geology of Anhui*, **10**(3): 205—208.
- 龚冰, 郑永飞, 吴元保. 2004. 胶南桃行超高压变质岩的氧同位素地球化学及其年代学制约. 岩石学报, **20**(5): 1097—1115.
- Gong Bing, Zheng Yongfei and Wu Yuanbao. 2004. Oxygen isotope geochemistry of UHP metamorphic rocks at Taohang in the Sulu Terrane and its constraints on radiometric dating. *Acta Petrologica Sinica*, **20**(5): 1097—1115.
- 李曙光, Hart S R, 郑双根等. 1989. 中国华北、华南陆块碰撞时代的钐—钕同位素年龄证据. 中国科学(B 辑), **19**(3): 312—319.
- Li Shuguang, Hart S R, Zheng Shuanggen et al. 1989. Timing of collision between the North and South China Blocks: The Sm-Nd isotopic age evidence. *Science in China*(Series B), **32**: 1391—1400.
- 刘福来, 许志琴, 宋彪. 2003. 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. 地质学报, **77**(2): 229—237.
- Liu Fulai, Xu Zhiqin and Song Biao. 2003. Determination of UHP and retrograde metamorphic ages of the Sulu Terrane: Evidence from SHRIMP U-Pb dating on zircons of gneissic rocks *Acta Geologica Sinica*, **77**(2): 229—237.
- 刘福来, 许志琴, 杨经绥等. 2005. 中国大陆科学钻探工程主孔 2000~3000 米正、副片麻岩的地球化学性质及其成因机制. 岩石学报, **21**(2): 305—324.
- Liu Fulai, Xu Zhiqin, Yang Jingsui et al. 2005. Geochemical characteristics and genetic mechanism of orthogneiss and paragneiss in the depth intervals of 2000~3000 m from main drill hole of Chinese Continental Scientific Drilling Project. *Acta Petrologica Sinica*, **21**(2): 305—324.
- 刘福来, 许志琴, 杨经绥等. 2004. 中国大陆科学钻探工程主孔及周边地区花岗质片麻岩的地球化学性质和超高压变质作用标志的识别. 岩石学报, **20**(1): 9—26.
- Liu Fulai, Xu Zhiqin, Yang Jingsui et al. 2004. Geochemical characteristics and UHP metamorphism of granitic gneisses in the

- main drilling hole of Chinese Continental Scientific Drilling Project and its adjacent area. *Acta Petrologica Sinica*, **20**(1): 9—26.
- 刘福来, 许志琴, 张泽明等. 2001. 中国大陆科学钻探工程预先导孔中片麻岩—花岗质片麻岩的岩石学和地球化学研究. *地质学报*, **75**(1): 70—81.
- Liu Fulai, Xu Zhiqin, Zhang Zeming et al. 2001. Petrology and geochemistry of gneiss and granitic gneiss from pre-pilot drillhole (CCSD-PP1), Chinese Continental Scientific Drilling Project. *Acta Geologica Sinica*, **75**(1): 70—81.
- 刘贻灿, 李曙光. 2005. 大别山下地壳岩石及其深俯冲. *岩石学报*, **21**(4): 1059—1066.
- Liu Yican and Li Shuguang. 2005. Lower crustal rocks from the Dabie Mountains and their deep subduction. *Acta Petrologica Sinica*, **21**(4): 1059—1066.
- 唐俊, 郑永飞, 吴元保等. 2004. 胶东地块东部变质岩锆石 U-Pb 定年和氧同位素研究. *岩石学报*, **20**(5): 1039—1062.
- Tan Jun, Zheng Yongfei, Wu Yuanbao et al. 2004. Zircon U-Pb ages and oxygen isotopes of high-grade metamorphic rocks in the eastern part of the Shandong Peninsula. *Acta Petrologica Sinica*, **20**(5): 1039—1062.
- 涂湘林, 张红, 邓文峰等. 2011. RESOLUTION 激光剥蚀系统在微量元素原位微区分析中的应用. *地球化学*, **40**(1): 83—98.
- Tu Xianglin, Zhang Hong, Deng Wenfeng et al. 2011. Application of RESOLUTION in-situ laser ablation ICP-MS in trace element analyses. *Geochimica*, **40**(1): 83—98.
- 涂荫玖, 杨晓水, 郑永飞等. 2001. 皖东南黄片麻岩的锆石 U-Pb 年龄. *岩石学报*, **17**(1): 157—160.
- Tu Yinjiu, Yang Xiaoyong, Zheng Yongfei et al. 2001. U-Pb dating of zircon from gneiss at Nanhuan in East Anhui. *Acta Petrologica Sinica*, **17**(1): 157—160.
- 王强, 许继锋, 王建新等. 2000. 北大别山 adakite 型灰色片麻岩的确定及其与超高压变质作用的关系. *科学通报*, **45**(10): 1017—1024.
- Wang Qiang, Xu Jifeng, Wang Jianxin et al. 2000. The recognition of adakite-type gneisses in the North Dabie Mountain and its implication to ultrahigh pressure metamorphic geology. *Chinese Science Bulletin*, **45**(21): 1927—1933.
- 吴元保, 陈道公, 夏群科等. 2001. 大别山双河地区花岗质片麻岩锆石的离子探针定年. *矿物岩石地球化学通报*, **20**(4): 298—301.
- Wu Yuanbao, Chen Daogong, Xia Qunkun et al. 2001. SIMS U-Pb dating of zircons from Shuanghe orthogneiss, Dabie area. *Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry*, **20**(4): 298—301.
- 吴元保, 唐俊, 张少兵等. 2007. 北大别两期混合岩化作用: SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄证据. *科学通报*, **52**(8): 939—944.
- Wu Yuanbao, Tang Jun, Zhang Shaobing et al. 2007. SHRIMP zircon U-Pb dating for two episodes of migmatization in the Dabie orogen. *Chinese Science Bulletin*, **52**(13): 1936—1842.
- 夏斌, 李建峰, 张玉泉等. 2008. 江苏东海县磨山片麻状碱性花岗岩锆石 SHRIMP 定年研究. *地质学报*, **82**(8): 1052—1055.
- Xia Bin, Li Jianfeng, Zhang Yuquan et al. 2008. Zircon SHRIMP dating of the gneissic alkaline granite from Moshan, Donghai, Jiangsu Province. *Acta Geologica Sinica*, **82**(8): 1052—1055.
- 夏斌, 李建峰, 张玉泉等. 2009. 江苏省东海县片麻状碱性花岗岩的成因及年代学研究. *地质科学*, **44**(1): 213—230.
- Xia Bin, Li Jianfeng, Zhang Yuquan et al. 2009. Chronology and meta-sedimentary genesis for gneissic alkaline granites in Donghai County, Jiangsu Province. *Chinese Journal of Geology*, **44**(1): 213—230.
- 夏斌, 蔡周荣, 张玉泉等. 2010. 大别山岳西县石英混合岩锆石 SHRIMP 定年及其地质意义. *地质学报*, **84**(2): 206—209.
- Xia Bin, Cai Zhourong, Zhang Yuquan et al. 2010. SHRIMP U-Pb dating of migmatite in Shiguan of Yuexi County, Dabie Mountains and its geological significance. *Acta Geologica Sinica*, **84**(2): 206—209.
- 夏斌, 王敏, 张玉泉等. 2011. 江苏东海片麻状碱性花岗岩地质地球化学及其年代学研究——以驼峰、牛山两地为例. *地质学报*, **85**(9): 1464—1476.

- Xia Bin, Wang Min, Zhang Yuquan et al. 2011. Geological and geochemical characteristics of the gneissic alkali granite in Donghai, Jiangsu Province, and chronology research: Two examples from the Tuofeng and Niushan regions. *Acta Geologica Sinica*, **85**(9): 1464—1476.
- 谢 智, 陈江峰, 张 翼等. 2001. 大别造山带北部石竹河片麻岩的锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. *岩石学报*, **17**(1): 139—144.
- Xie Zhi, Chen Jianfeng, Zhang Xun et al. 2001. Zircon U-Pb dating of gneiss from Shizhuhe in north Dabie and its geologic implications. *Acta Petrologica Sinica*, **17**(1): 139—144.
- 谢 智, 高天山, 陈江峰. 2004. 北大别片麻岩的多阶段演化: 锆石 U-Pb 年代学证据. *科学通报*, **49**(16): 1653—1659.
- Xie Zhi, Gao Tianshan and Chen Jiangfeng. 2004. Multi-stage evolution of gneiss in the north Dabie, Evidence from zircon U-Pb chronology. *Chinese Science Bulletin*, **49**(18): 1963—1969.
- 杨启军, 钟增球. 2004. 大别—苏鲁超高压地体中面理化石榴花岗岩的成因研究. *地球科学*, **29**(2): 169—176.
- Yang Qijun and Zhong Zengqiu. 2004. Genesis of garnet-bearing granites in UHP terrane of Dabie-Sulu orogenic belt, Central China. *Earth Science*, **29**(2): 169—176.
- 张宏飞, 钟增球, 高山等. 2001. 大别山西部面理化石榴花岗岩锆石 U-Pb 年龄. *科学通报*, **46**(10): 843—846.
- Zhang Hongfei, Zhong Zengqiu, Gao Shan et al. 2001. U-Pb zircon age of the foliated garnet-bearing granites in western Dabie Mountains, Central China. *Chinese Science Bulletin*, **46**(19): 1657—1660.
- 郑祥身, 金成伟, 瞿明国等. 2000. 北大别灰色片麻岩原岩性质的探讨: Sm-Nd 同位素年龄及同位素成分特点. *岩石学报*, **16**(2): 194—198.
- Zheng Xiangshen, Jin Chengwei, Zhai Mingguo et al. 2000. Approach to the source of the gray gneisses in North Dabie Terrain: Sm-Nd isochron age and isotope composition. *Acta Petrologica Sinica*, **16**(2): 194—198.
- 郑永飞, 陈福坤, 龚 冰等. 2003. 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. *科学通报*, **48**(2): 110—119.
- Zheng Yongfen, Chen Fukun, Gong Bing et al. 2003. Protolith nature of ultrahigh pressure metamorphic rocks in the Dabie-Sulu orogenic belt: Evidence from zircon oxygen isotope and U-Pb age. *Chinese Science Bulletin*, **48**(2): 110—119.
- 郑永飞, 陈仁旭, 张少兵等. 2007. 大别山超高压榴辉岩和花岗岩片麻岩中锆石 Lu-Hf 同位素研究. *岩石学报*, **23**(2): 317—330.
- Zheng Yongfei, Chen Renxu, Zhang Shaobing et al. 2007. Zircon Lu-Hf isotope study of ultrahigh-pressure eclogite and granitic gneiss in the Dabie orogen. *Acta Petrologica Sinica*, **23**(2): 317—330.
- 钟增球, 索书田, 张宏飞等. 2001. 桐柏—大别碰撞造山带的基本组成与结构. *地球科学*, **21**(4): 560—576.
- Zhong Zengqiu, Suo Shutian, Zhang Hongfei et al. 2001. Major constituents and texture of the Tongbai-Dabie collisional orogenic belt. *Earth Science*, **21**(4): 560—576.
- Ames L, Zhou G Z and Xiong B C. 1996. Geochronology and isotopic character of ultrahigh-pressure metamorphism with implications for collision of the Sino-Korean and Yangtze Cratons, Central China. *Tectonics*, **15**(2): 472—489.
- Hacker B R, Ratschbacher L, Webb L et al. 1998. U/Pb zircon ages constrain the architecture of the ultrahigh-pressure Qinling-Dabie orogen, China. *Earth and Planetary Science Letters*, **161**(1): 215—230.
- Liu F L, Xu Z Q, Liou J G et al. 2004. SHRIMP U-Pb ages of ultrahigh-pressure and retrograde metamorphism of gneisses, south-western Sulu Terrane, eastern China. *Journal of Metamorphic Geology*, **22**(4): 315—326.
- Liu Y S, Hu Z C, Gao S et al. 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard. *Chemical Geology*, **257**(1—2): 34—43.
- Rowley D B, Xue F, Tucker R D et al. 1997. Ages of ultrahigh pressure metamorphism and protolith orthogneisses from the eastern Dabie Shan; U/Pb zircon geochronology. *Earth and Planetary Science Letters*, **151**(3—4): 191—203.
- Wu Y B, Gao S, Zhang H F et al. 2008. Timing of UHP metamorphism in the Hong'an area, western Dabie Mountains, China: Evidence from Zircon U-Pb age, trace element and Hf isotope composition. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **155**(1): 123—133.
- Sun S S and McDough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition

and processes. *Geological Society, London, Special Publications*, **42**(1): 313—345.

Xue F, Rowley D B, Turker R D et al. 1997. U-Pb ages of granitoid rocks in the north Dabie complex, eastern Dabie Shan, China. *The Journal of Geology*, **105**(6): 744—753.

Zheng Y F, Wu Y B, Zhao Z F et al. 2005. Metamorphic effect on zircon Lu-Hf and U-Pb isotope systems in ultrahigh-pressure eclogite-facies metagranite and metabasite. *Earth and Planetary Science Letters*, **240**(2): 378—400.

Zheng Y F, Zhao Z F, Wu Y B et al. 2006. Zircon U-Pb age, Hf and O isotope constraints on protolith origin of ultrahigh-pressure eclogite and gneiss in the Dabie orogen. *Chemical Geology*, **231**(1—2): 135—158.

Geochemical characteristic and zircon U-Pb ages of gneiss in Shiqiao area, Ganyu Country, Jiangsu Province

Yuan Yajuan^{1, 2} Xia Bin^{1, 2} Zhang Yuquan² Xia Lianze¹ Li He²

(1. Marine college of Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275;

2. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640)

Abstract

The gneiss in Shiqiao area are characterized by high SiO_2 ($\text{SiO}_2 = 75.22\% \sim 76.42\%$), low Al_2O_3 ($\text{Al}_2\text{O}_3 = 11.02\% \sim 12.29\%$), alkali-rich ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 8.00\% \sim 8.68\%$) and low CaO ($\text{CaO} = 0.30\% \sim 0.82\%$). They are further characterized by enrichment in large-ion lithophile elements such as Rb, Ba, Th and U and depletion in high field-strength elements such as Nb, Ta, Zr, Hf and Ti. The concentration of rare earth elements (REE) is in the range $170.51 \times 10^{-6} \sim 263.49 \times 10^{-6}$. These rocks are enriched in light REE (LREE/HREE = 6.06 ~ 7.14) and lack of obvious Eu negative anomaly ($\delta\text{Eu} = 0.18 \sim 0.56$). We yield the zircon U-Pb age of 254 Ma corresponding to the UHP time, and 217 Ma are retrograde time. Above all, a large number of allochthonous inherited zircon are formed in different times, which indicates the original rock of the Shiqiao gneiss should be sedimentary rocks and it may not be earlier than the Paleozoic era.

Key Words Geochemistry, Zircon U-Pb ages, Gneiss, Shiqiao, Ganyu County, Jiangsu Province