皖赣相邻鄣公山地区变泥砂质岩石元素组成特征及源区分析

张彦杰 廖圣兵 周效华 姜 杨
余明刚 蒋 仁 赵希林 陈志洪 赵 玲 黄文成

(中国地质调查局南京地质调查中心,江苏 南京 210016)

提要:皖赣相邻的鄣公山地区位于江南造山带东段北缘,区内广布一套厚度巨大、低绿片岩相变质的以泥砂质细碎屑岩为主含少量火山物质的复理石建造体,大量高精度同位素测年数据显示,其形成于 822~850 Ma 的新元古代。其以斜切本区的景德镇—江潭构造带为界,南部为溪口岩群,北部属双桥山群,二者 REE、高场强元素(HFSE),如 Nb、Ta、Zr、Hf 及 Nd 同位素等具有相似的变化特征,显示区内浅变质碎屑岩具相同或相近的"原始"地壳物质组成特征;$(La/Yb)_N$=4.66~13.63,δ Eu=0.09~0.3,$(Gd/Yb)_N$=1.22~1.66,表明区内浅变质碎屑岩物源主要来自长英质岩石组成的后太古宙上地壳。碎屑锆石 U-Pb 年龄主要集中在 826~2600 Ma,并出现显著的 5 个峰值,大致为 2500 Ma,2000~2200 Ma,1800 Ma,960 Ma,827~841 Ma,其中以年轻碎屑锆石占绝对多数,大量的年轻碎屑锆石 U-Pb 年龄与碎屑岩密切共生的火山岩夹层年龄相近,反映浅变质碎屑岩物质主要来源于同时代火成岩类。溪口岩群和双桥山群浅变质碎屑岩大离子亲石元素(LILE)Rb、Cs、Sr、Ba、Th 等含量及其相关比值、Sr 同位素特征等存在一定差异,可能意味着溪口岩群和双桥山群碎屑岩在成岩过程中经历了不同的地质构造演化。区内浅变质火山-陆缘细碎屑岩形成于与板块构造体制相关构造-沉积环境,溪口岩群显示大陆边缘拉张构造背景下的沉积作用特征,而双桥山群原岩沉积构造环境与大陆岛弧关系较密切,显示板块俯冲阶段的沉积特征。

关 键 词:浅变质泥砂质岩石;元素组成;物源区;碎屑锆石 U-Pb 年龄;江南造山带北缘

中图分类号:P588.3 **文献标志码**:A **文章编号**:1000-3657(2012)05-1183-16

在皖赣相邻地带,广泛分布一套低绿片岩相变质的以泥砂质细碎屑岩为主含少量火山物质的复理石建造体,构成了该地区一个显著的地质特征,它和与之时代相当的地层构成了江南造山带物质组成的主体,制约着区域乃至中国南方显生宙以来的地质构造演化。该构造-地层体对应的区域构造属性先后有"江南古陆"[1]、"江南地背斜"[2]、古岛弧褶皱带[3]、元古宙造山带[4-11]之说。现阶段大量的研究显示,皖赣相邻浅变质碎屑岩形成于与新元古代板块构造体制相关构造-沉积环境[12-25]。然而,由于区内浅变质碎屑岩具原始沉积构造少、变质程度浅、变形强、岩性单一的特点,长期以来,对其划分对比、物质来源及原型沉积盆地的构造属性等一直存在不同的认识,制约了本地区构造格架的建立。本文在系统野外调查的基础上,通过元素地球化学、碎屑锆石同位素年代学等的分析,重点对皖赣相邻鄣公山地区浅变质细碎屑岩系物质组成、沉积构造环境及其物源区地质背景等进行探讨。

1 地质概况

皖赣相邻鄣公山地区位处江南造山带东段北缘,区内主要为一套厚度巨大、强变形、浅变质的以

收稿日期:2012-05-13;**改回日期**:2012-08-06

基金项目:中国地质调查局"安徽 1:5 万平里、江潭、瑶里、虹关幅区调"项目(1212010610609)和"晋宁期—加里东期构造-岩浆活动及构造格局演变对区域成矿作用的制约"项目(1212011121097)联合资助。

作者简介:张彦杰,男,1971 年生,高级工程师,长期从事区域地质调查工作;E-mail:njzyj@126.com。

泥砂质细碎屑岩为主含少量火山物质的复理石建造体(图 1)。其以斜切本区的景德镇—江潭构造混杂岩带(另文)为界,南部划归溪口岩群,自下而上划分板桥岩组及木坑岩组,含较多基性火山岩夹层,在江西乐平—婺源一带含有大量变细碧-石英角斑岩系[16,26];北部属双桥山群,按其沉积序列自下而上划分为横涌组、计林组、安乐林组。与南侧溪口岩群不同的是双桥山群构造变形相对较弱,夹大量酸性凝灰岩,局部夹安山岩及流纹岩,不含或少有基性火山岩夹层。以往,根据早期的同位素年代数据和时限分布较广的微古植物,将该套浅变质地层划归中元古代。然而,近年在研究区应用 SHRIMP 及 LA-ICP-MS 等测年方法在该套地层获得了一批集中于 822~850 Ma 锆石 U-Pb 年龄数据[19-21,23-24,27-28],标定了该套地层体在新元古界地层柱中的位置。根据本区及区域上新获取的大量同位素测年数据认为,溪口岩群原

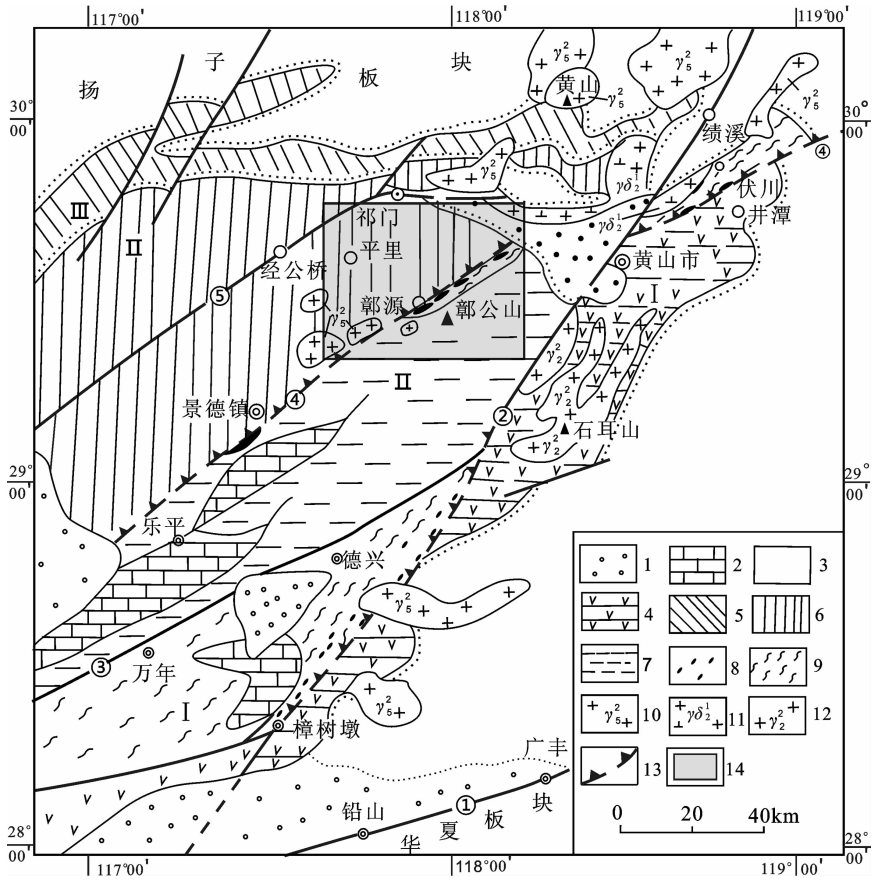


图 1 皖赣相邻区地质构造略图(据程光华等,2000,略改)[15]

1—中、新生界;2—石炭-三叠系;3—震旦系-上古生界;4—怀玉岛弧新元古代火山岩;5—九岭陆缘青白口纪晚期火山-沉积建造;6—新元古代双桥山群火山-沉积复理石;7—新元古代溪口岩群浅变质复理石;8—新元古代基性-超基性岩碎块;9—混杂岩带剪切基质;10—燕山期花岗岩;11—晋宁期花岗闪长岩;12—晋宁期花岗岩;13—推测俯冲断裂带;14—研究区位置。江南造山带东段北缘:Ⅰ—皖浙赣岛弧褶带;Ⅱ—鄣公山陆缘弧后盆地冲褶带;Ⅲ—九岭陆缘褶带—①—江绍复合断裂带;②—皖浙赣复合断裂带;③—乐安江断裂;④—景德镇-伏川复合断裂带;⑤—祁门复合断裂带

Fig.1 Sketch map showing geological structures in border area between Anhui Province and Jiangxi Province (after Chen Guanghua et al., 2000) [15]

1-Mesozoic-Cenozoic; 2-Carboniferous-Triassic; 3-Sinian-early Palaeozoic; 4-Neoproterozic volcanic rock of Huaiyu island arc; 5-Late Qingbaikou volcanic-sedimentary formation of Jiuling continental margin; 6-Neoproterzoic volcanic-sedimentary flysch of Shuangqiaoshan Group; 7-Neoproterzoic epimetamorphic flysch of Xikou Group complex; 8-Neoproterzoic basic-ultrabasic rock fragments; 9-Shearing matrix of the melange zone; 10-Yanshanian granite; 11-Jinningian granodiorite; 12-Jinningian granite; 13-Inferred subduction fault belt; 14-Location of the study area.

Northern margin of Jiangnan orogen: Ⅰ-Anhui-Zhejiang-Jiangxi island arc fold belt; Ⅱ-Thrust-fold belt of the back arc basin along Zhanggongshan continental margin; Ⅲ-Jiuling continental margin fold belt. ①- Jiangshan-Shaoxing fault belt; ②-Anhui-Zhejiang-Jiangxi fault belt; ③-Le'anjiang fault; ④-Jingdezhen-Fuchuan fault belt; ⑤-Qimen fault belt

岩形成年龄不小于 830 Ma,笔者约束的最佳估计值在 830~840 Ma，双桥山群原岩形成最可能时限在 822~832 Ma[24]。

区内变泥砂质岩石类型主要为板岩、千枚岩及变杂砂岩类,岩石种类有:(含砂)粉砂质板岩、凝灰质板岩、板岩及绢云(石英)千枚岩、绢云绿泥千枚岩、砂质绢云(石英)千枚岩、千枚状变(含砾)细凝灰质砂岩,千枚状变(含砂)粉砂岩、千枚状变岩屑长石砂岩等。板岩、千枚岩类矿物成分主要为绢云母,次为石英，变杂砂岩及变粉砂岩主要矿物成分为石英和绢云母,另有少量斜长石。基本反映其原岩为泥砂质碎屑沉积物。岩石中可见变余平行层理、水平层理、斜层理、交错层理、粒序层理等沉积构造。

该套地层体尽管经历较强构造变形，但总体层序仍可恢复,其沉积作用特征见图 2。

2　样品测试方法

样品均匀分布于研究区，野外用机械方法去除

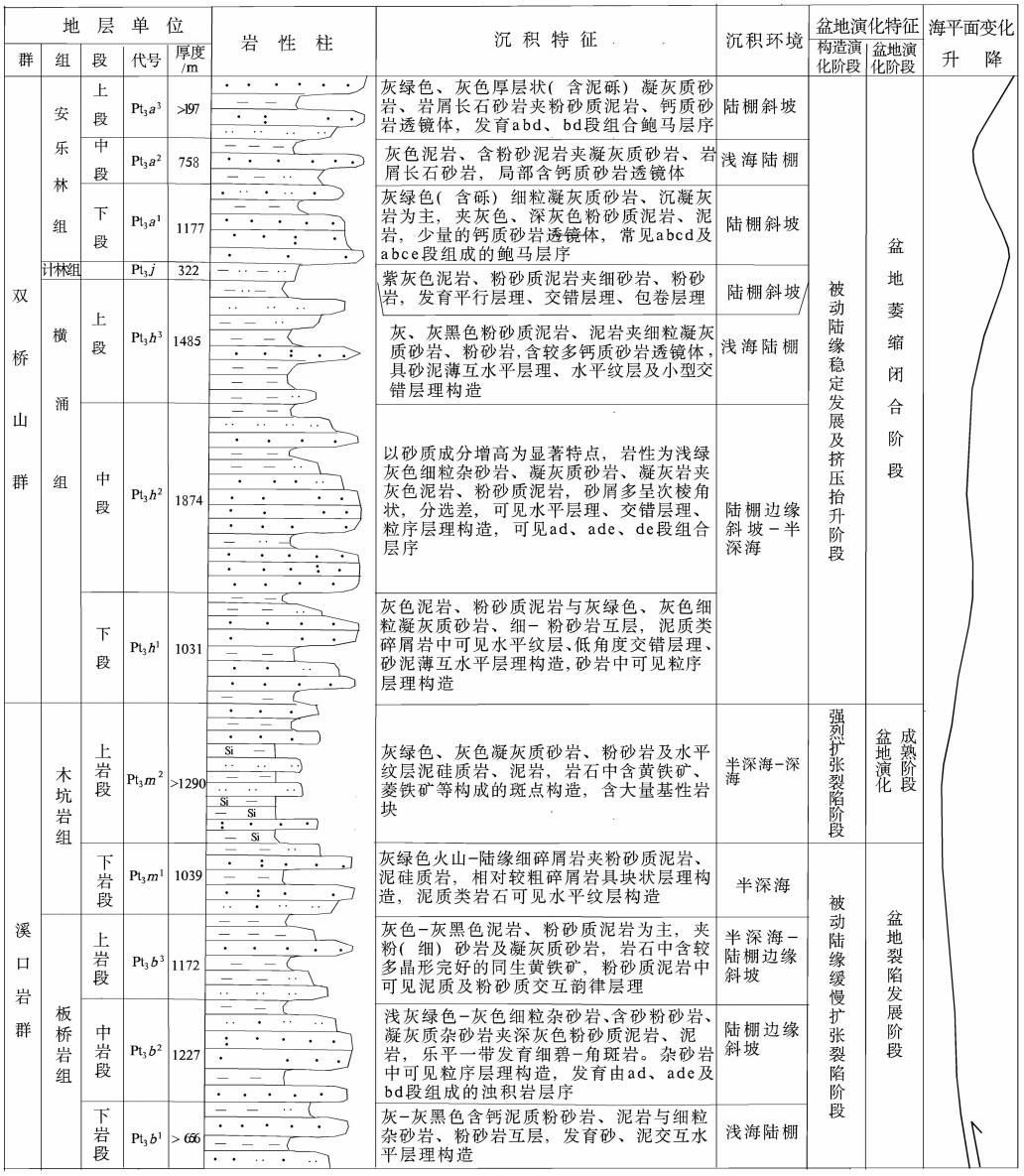


图 2　皖赣相邻新元古代地层综合柱状图及沉积盆地演化过程❶

Fig.2　Neoproterozoic composite stratigraphic column and sedimentary basin evolution process in the border area of Jiangxi and Anhui❶

❶中国地质调查局南京地质调查中心.安徽 1:5 万平里、江潭、瑶里、虹关幅区调报告,2009.

样品表层。全岩成分分析由国土资源部华东矿产资源监督检测中心完成。其中主元素使用 X 荧光光谱法,误差<0.5%;微量元素 Zr、Sr、Ba、Rb 和 Nb 用 X 荧光光谱法完成,分析误差<3%;稀土元素及其他微量元素采用高分辨率电感耦合等离子体光谱仪分析,误差<5%。

Rb、Sr 和 Sm、Nd 同位素分析在国土资源部中南矿产资源监督检测中心 Finnigan MAT261 可调多接收固体质谱仪上完成,用国际标准样 NBS987 和实验室标准 ZkbzNd 监控仪器工作状态,用国家一级标准物质 GBW04411 (Rb-Sr) 和 GBW04419 (Sm-Nd)监控分析流程。全部化学操作均在净化实验室净化工作柜内进行,使用的器皿由氟塑料、石英或铂金制成。所用试剂为市售高纯试剂经亚沸蒸馏器蒸馏。同位素测试方法及流程参见李华芹等的文献[29]。测试结果用 Ludwig 的 Isoplot/Ex2.x 软件进行处理[30],设定误差:$^{87}Rb/^{86}Sr$ 为 2%,$^{87}Sr/^{86}Sr$ 为 0.02%,$^{147}Sm/^{144}Nd$ 为 1%,$^{143}Nd/^{144}Nd$ 为 0.03%。

3 岩石地球化学特征

3.1 元素组成

溪口岩群 16 个样品的分析结果显示(表 1),变泥砂质岩石化学成分以高硅、铝,贫钙为特征,SiO_2 含量较高,为 58.73%~77.23%,平均 67.73%;Al_2O_3 为 12.23%~15.49%;平均 15.2%;TFe_2O_3 (=FeO + $0.9Fe_2O_3$)为 3.1%~6.7%,平均 4.8%;CaO 为 0.26%~2.26%,平均 1.02%;MgO 1.44%~2.45%;Na_2O 为 1.3%~4.14%;K_2O 含量 1.4%~3.92%。溪口岩群浅变质碎屑岩类样品稀土元素模式和某些微量元素组成特征较相似(图 3-a,图 4-a)。稀土总量(ΣREE)较高,为$(150.9\sim251.6)\times10^{-6}$,稀土总量平均为澳大利亚后太古宙平均页岩 PAAS(183.0×10^{-6})的 1.16 倍、北美页岩 NASC(173.2×10^{-6})的 1.23 倍、全球平均大陆上地壳成分 UCC(146.4×10^{-6})[31]的 1.46 倍。出现 Eu 负异常(δEu=0.12~0.31)及轻稀土元素(LREE)富集。所有样品重稀土元素(HREE)大致呈平坦型,轻重稀土分馏不明显($(La/Yb)_N$=3.52~11.38)。微量元素蛛网图(图 4-a)呈"大隆起"形式,除 Ti、P、Sr 略亏损外,其余元素均富集,其中 K、Rb、Ba、Th、Ta 等强烈富集,Zr、Hf、Sm、Y、Yb 弱富集。

双桥山群 24 个样品分析结果(表 1)显示,变砂岩类 SiO_2 含量为 58.42%~75.45%,平均 68.03%;Al_2O_3 为 10.59%~17.62%,平均 14.98%;CaO 为 0.06%~3.52%,变化较大,相比较,板岩、千枚岩类含量偏低;TFe_2O_3 除一个样为 0.8%外,其余样品为 4%~6%,平均 4.7%;MgO 0.54%~2.03%,平均 1.47%;K_2O 1.4%~3.71%,Na_2O 0.68%~2.94%,K_2O/Na_2O 比值大多数大于 1。总体上,双桥山群较溪口岩群 CaO、MgO 含量略低。双桥山群浅变质碎屑岩稀土总量较高,∑REE=$(165\sim244)\times10^{-6}$,稀土总量平均为澳大利亚后太古宙平均页岩 PAAS (183.0×10^{-6})的 1.1 倍、北美页岩 NASC(173.2×10^{-6})的 1.15 倍、全球平均大陆上地壳成分 UCC (146.4×10^{-6})[31] 的 1.37 倍。出现 Eu 负异常(δEu=0.09~0.3)及轻稀土元素(LREE)富集。所有样品重稀土元素(HREE)大致呈平坦型,轻重稀土分馏不强[$(La/Yb)_N$=4.66~13.6]。稀土元素的标准化曲线模式 (图 3-b) 与溪口岩群类似。微量元素蛛网图(图 4-b)呈"大隆起"形式,其特征与溪口岩群微量元素特征相似,相比,具有较强的 P 负异常和较弱的 Ti 负异常。

在尼格里值[(al+fm)-(c+alk)]-Si 图解(图 5)上,样品点基本落入泥质-砂质沉积岩区。在 t-SiO_2 图解(图 6)中,绝大多数样品落入分异较弱的粘土和含泥质混入物的砂质沉积区,显示该浅变质岩分异程度较弱。不难看出,区内浅变质岩系的原岩主体为结构及成分成熟度较低的细碎屑岩类,显微镜及野外露头显示,岩石中含有较多的火山凝灰岩屑。浅变质碎屑岩中富云母的泥质类岩石,SiO_2、CaO、Na_2O 含量相对较低,Al_2O_3、K_2O、MgO、TFe_2O_3 含量相对较高,含石英和斜长石的富砂质岩石则正好相反。从元素成分不难看出,溪口岩群与双桥山群浅变质碎屑岩具相似的元素成分特征,显示二者具有一致或相似的物源区。

3.2 Nd 和 Sr 同位素

溪口岩群浅变质碎屑岩 9 个样品 Nd 同位素分析结果表明(表 2):$^{147}Sm/^{144}Nd$ 范围变化较小,集中在 0.10~0.12,只有个别大于 0.12,平均值为 0.119,非常接近全球泥质沉积岩所代表的大陆地壳平均 $^{147}Sm/^{144}Nd$ 值0.118 [35],现代 $^{143}Nd/^{144}Nd$ 比值变化不大,为 0.511981~0.512125,平均值为 0.512100;$\varepsilon_{Nd}(t)$ 值变化范围为-1.52~-3.98,t_{DM} 年龄变化也比较小,集中为 1.6~1.8Ga。$^{87}Rb/^{86}Sr$ 初始值在 1.39~4.207,$^{87}Rb/^{86}Sr$ 平均值为 3.0716,$^{87}Sr/^{86}Sr$ 比值为 0.72111~0.75268,平均值为 0.7387。

表 1 浅变质碎屑岩常量(%)及微量元素(10^{-6})含量

Table 1 Major elements (%) and trace elements (10^{-6}) of the metamorphosed fine clastic rocks

	溪口岩群													
序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
样号	3301	3692	4267	405-2	4910	401-4	404-3	403-4	3304	4312	403-9	403-1	404-3	403-30
SiO_2	65.51	70.86	66.97	77.23	70.42	65.95	68.64	63.77	72.44	71.04	68.13	58.73	61.34	61.11
Al_2O_3	15.05	13.64	14.91	9.94	13.47	14.83	14.82	15.49	12.23	13.20	13.68	17.80	17.21	16.02
Fe_2O_3	2.19	1.06	0.94	1.09	0.91	0.53	0.37	1.59	1.41	1.36	1.65	4.30	1.22	1.57
FeO	3.64	3.87	4.49	3.42	3.93	3.56	3.90	2.55	3.17	3.76	3.25	2.82	5.29	3.91
CaO	2.26	0.38	0.65	0.28	0.35	0.66	1.12	3.19	0.88	0.40	0.33	1.02	0.26	0.52
MgO	1.99	1.64	2.15	1.43	1.53	1.72	1.78	2.20	1.44	1.61	1.79	1.95	2.02	2.45
Na_2O	1.59	2.38	3.10	1.30	2.97	4.03	4.14	3.66	2.33	2.13	2.06	1.65	2.28	1.71
K_2O	3.92	2.47	2.38	1.59	3.12	2.32	2.71	3.05	2.19	2.60	2.32	2.68	3.09	3.16
TiO_2	0.82	0.73	0.79	0.61	0.71	0.53	0.58	0.72	0.67	0.72	0.65	0.81	0.96	0.83
MnO	0.13	0.07	0.06	0.10	0.07	0.05	0.07	0.07	0.13	0.05	0.10	0.12	0.07	0.10
P_2O_5	0.16	0.13	0.19	0.08	0.13	0.16	0.16	0.23	0.12	0.14	0.17	0.19	0.10	0.19
L.O.I	2.30	2.45	3.06	2.74	2.33	1.56	1.53	3.12	2.68	2.66	3.20	4.48	4.06	4.05
总量	99.43	99.32	99.70	99.80	99.94	99.90	99.82	99.64	99.57	99.67	97.33	96.55	99.49	99.62
La	23.50	33.10	49.20	21.10	33.80	37.00	41.60	23.20	36.10	45.20	35.50	34.10	40.20	32.30
Ce	51.10	75.00	70.80	60.70	72.50	72.00	68.80	52.30	70.20	74.50	65.40	55.60	75.80	71.50
Pr	6.55	8.10	6.30	6.80	6.05	8.88	6.90	6.94	9.40	7.20	9.20	5.90	8.58	6.41
Nd	34.40	31.30	30.30	33.90	28.50	37.20	34.10	18.20	30.40	37.10	32.50	26.90	37.30	29.60
Sm	9.29	6.93	6.40	8.00	7.28	8.56	7.10	4.64	6.70	8.00	7.30	5.30	8.34	8.08
Eu	2.73	1.19	1.90	2.40	1.32	1.57	1.90	0.76	1.20	1.90	1.90	1.90	1.51	1.14
Gd	8.82	4.95	5.20	6.80	4.85	6.33	5.60	3.62	5.60	6.90	6.70	3.70	5.91	5.34
Tb	1.55	0.73	0.60	0.90	0.49	0.98	0.70	0.58	1.40	0.90	1.10	0.40	0.93	0.63
Dy	8.85	4.56	4.60	6.50	5.35	5.86	4.90	3.56	4.80	6.30	6.30	2.30	5.23	6.37
Ho	2.45	0.96	0.90	1.40	0.81	1.29	1.00	0.73	1.40	1.30	1.40	0.40	1.14	0.94
Er	5.75	2.98	2.90	4.10	3.25	3.91	3.10	2.33	2.80	4.10	4.00	1.10	3.41	3.18
Tm	0.83	0.41	0.50	0.70	0.36	0.52	0.50	0.32	0.60	0.60	0.60	0.20	0.45	0.43
Yb	4.52	2.72	3.10	4.30	2.78	3.65	3.30	2.20	3.40	4.40	4.00	1.00	3.17	3.07
Lu	0.67	0.43	0.40	0.50	0.40	0.49	0.40	0.33	0.50	0.50	0.60	0.10	0.43	0.42
Sc	34.80	12.40	10.80	21.60	7.02	20.7	17.10	13.20	10.30	9.90	11.80	8.20	10.10	6.82
Y	42.80	23.10	31.60	40.40	30.50	27.80	31.80	18.00	28.40	42.80	38.10	13.10	25.90	29.60
ΣREE	238.6	208.8	225.5	220.1	205.2	236.7	228.8	150.9	213.2	251.6	226.4	160.2	228.4	205.8
Ba	1190.0	369.0	613.0	416.0	602.0	539.0	623.0	341.0	447.0	549.0	555.0	608.0	354.0	395.0
Co	15.2	15.3	13.3	20.6	18.6	17.0	18.6	15.1	14.6	10.7	12.3	11.7	13.3	16.8
Sc	34.8	12.4	11.6	21.8	7.0	20.7	20.4	13.2	10.3	9.9	11.8	5.8	10.1	6.8
Cr	68.0	63.7	71.4	82.5	90.2	87.0	90.8	114.0	66.6	53.2	46.9	14.6	55.4	61.7
Ni	34.8	24.2	28.5	44.0	34.8	36.5	46.6	27.4	25.1	22.3	19.1	6.4	20.8	27.0
Ga	20.9	19.3	19.1	23.8	19.9	24.5	25.1	12.6	20.0	22.8	18.7	22.8	16.2	18.3
Ge	0.9	1.0	1.4	2.0	1.2	1.3	1.8	1.5	0.5	2.0	2.0	1.6	0.8	1.1
Rb	185.0	100.0	98.5	108.0	94.1	128.0	145.0	83.2	107.0	94.2	89.3	143.0	106.0	127.0
Nb	16.2	13.7	16.9	15.5	16.0	15.6	18.0	11.4	13.4	18.5	16.5	9.6	13.7	14.7
Cs	13.9	6.3	14.9	7.3	6.0	9.2	13.9	20.0	15.4	32.0	28.8	23.4	11.9	19.9
Hf	6.0	6.8	6.8	5.5	6.6	5.4	5.6	5.9	6.4	8.1	7.5	5.1	7.9	6.3
V	79.4	95.4	79.9	113.0	109.0	117.0	125.0	92.6	96.2	75.0	72.6	108.0	74.7	81.2
Sr	240.0	79.7	117.0	197.0	185.0	100.0	132.0	59.1	97.8	207.0	242.0	547.0	124.0	92.4
Zr	247.0	259.0	257.0	216.0	249.0	216.0	221.0	203.0	252.0	299.0	268.0	188.0	294.0	242.0
Ta	1.7	1.3	0.9	1.0	1.6	0.5	1.3	1.3	1.5	0.6	1.0	0.6	1.0	0.6
Th	14.9	12.2	8.7	9.1	9.7	14.6	11.1	9.2	13.2	9.3	7.7	5.9	17.1	14.6

续表 1

溪口岩群			双桥山群											
序号	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
样号	3401	3318	105-2	107-2	101-7	101-5	204-4	204-5	204-3	204-6	204-3	1232	1006	1008
SiO_2	72.04	70.43	75.45	65.75	58.51	71.74	58.42	68.93	68.53	68.42	72.41	69.53	67.69	70.72
Al_2O_3	13.48	12.91	10.95	17.62	16.24	17.49	17.59	14.76	13.81	13.44	12.16	13.11	12.28	13.40
Fe_2O_3	0.86	0.82	0.55	0.56	1.28	0.47	0.64	0.79	0.53	0.95	1.44	4.25	0.72	0.90
FeO	2.36	4.65	3.25	4.04	4.87	0.42	5.23	4.01	3.93	3.11	3.22	1.11	3.75	3.84
CaO	1.14	0.72	1.00	0.22	1.56	0.08	0.60	0.19	0.53	1.52	0.76	0.18	3.52	0.39
MgO	1.22	1.65	1.19	1.51	1.91	0.54	1.90	1.11	1.32	1.26	1.15	1.03	1.36	1.89
Na_2O	1.53	2.34	2.86	1.64	1.20	0.68	1.96	2.85	2.49	2.13	2.22	1.05	2.79	2.94
K_2O	3.48	2.17	1.40	3.71	3.18	2.88	3.39	1.86	2.29	2.72	2.17	2.40	1.90	1.91
TiO_2	0.35	0.74	0.58	0.85	0.83	0.86	0.82	0.63	0.62	0.58	0.64	0.70	0.60	0.67
MnO	0.07	0.10	0.06	0.06	0.11	0.01	0.08	0.08	0.12	0.11	0.07	0.15	0.19	0.15
P_2O_5	0.05	0.18	0.11	0.11	0.87	0.02	0.38	0.08	0.12	0.11	0.13	0.07	0.13	0.12
L.O.I	3.06	2.97	2.27	3.54	8.37	4.43	3.49	3.05	2.68	3.44	3.06	4.18	4.74	2.72
总量	99. 50	99.70	99.67	99.61	98.93	99.62	99.50	99.34	96.97	97.83	99.43	99.76	99.67	99.65
La	53.20	32.00	29.50	34.80	43.10	37.30	28.60	25.10	34.90	39.10	51.30	50.80	27.20	28.80
Ce	116.0	68.10	57.10	82.70	90.60	69.00	68.40	62.70	54.80	74.10	55.90	70.70	52.40	58.60
Pr	15.30	7.38	6.36	6.84	11.40	6.84	6.90	7.40	6.70	7.80	4.90	8.00	4.71	5.35
Nd	60.80	31.80	29.30	34.00	51.00	33.70	36.10	28.60	25.30	28.50	25.50	37.30	27.30	28.00
Sm	17.70	0.91	5.96	7.59	14.10	7.70	8.60	6.70	6.10	7.00	5.40	7.60	6.18	6.24
Eu	1.01	1.32	1.40	1.31	2.65	1.39	1.60	2.20	1.50	1.40	1.10	2.70	1.09	1.17
Gd	13.80	5.60	4.25	5.02	14.70	5.67	8.40	5.40	5.00	4.90	4.50	5.60	4.62	4.35
Tb	2.53	0.69	0.32	0.40	2.26	0.82	1.10	1.00	0.90	0.90	0.50	0.80	0.22	0.21
Dy	15.70	4.98	3.78	5.40	14.30	5.69	8.20	5.30	5.00	4.60	4.00	3.90	4.26	4.24
Ho	3.60	0.94	0.67	0.93	2.90	1.16	1.60	1.10	1.10	1.10	0.70	1.00	0.64	0.65
Er	10.90	2.99	2.60	3.66	7.36	3.61	4.50	3.00	2.80	2.70	2.40	2.80	2.60	2.52
Tm	1.45	0.42	0.27	0.38	0.89	0.46	0.70	0.50	0.50	0.50	0.40	0.50	0.28	0.30
Yb	10.30	2.94	2.49	3.37	5.01	3.26	4.40	2.90	2.90	2.70	2.70	3.20	2.30	2.45
Lu	1.50	0.41	0.32	0.44	0.70	0.45	0.50	0.40	0.40	0.40	0.30	0.40	0.33	0.37
Sc	5.59	12.10	8.07	17.10	17.20	14.90	16.70	12.40	11.20	10.60	10.50	13.00	9.75	6.45
Y	88.80	25.50	19.10	27.30	77.90	27.80	47.70	32.00	30.10	30.30	27.30	28.70	21.20	20.20
ΣREE	418.1	198.0	171.5	231.2	356.1	219.8	244.0	196.7	189.2	216.6	197.4	237.0	165.1	169.9
Ba	428.0	449.0	233.0	589.0	837.0	406.0	683.0	347.0	386.0	476.0	379.0	332.0	315.0	366.0
Co	1.7	14.6	14.3	17.1	14.0	14.0	16.9	13.3	13.0	11.1	15.5	0.0	13.6	17.8
Sc	5.5	12.1	8.1	17.1	17.2	14.9	13.0	15.4	12.9	9.2	13.2	6.8	9.8	6.5
Cr	24.0	66.8	54.6	75.8	78.4	66.8	75.7	71.0	55.9	57.7	55.2	0.3	53.5	54.8
Ni	11.9	23.6	13.6	29.3	38.0	25.0	35.2	22.7	21.5	20.1	23.7	3.9	22.8	23.5
Ga	25.9	18.2	13.5	25.6	26.5	22.1	25.8	18.6	18.5	17.7	16.8	20.5	16.5	17.7
Ge	1.0	0.9	1.1	1.5	1.3	1.1	1.7	1.2	1.5	1.5	1.5	1.8	1.1	1.4
Rb	162.0	93.6	51.9	156.0	132.0	116.0	125.0	72.5	94.2	105.0	90.7	482.0	81.2	79.1
Nb	32.8	13.9	9.8	16.4	18.8	14.6	18.2	13.9	13.7	13.5	12.3	39.2	10.6	13.0
Cs	12.9	<6.0	<6.0	12.5	14.1	<6.0	16.4	15.7	6.8	8.6	5.6	32.6	7.1	7.5
Hf	16.7	8.3	7.4	5.7	5.8	7.1	6.2	6.9	6.1	7.5	6.6	4.5	5.7	6.5
V	39.7	99.4	74.2	109.0	108.0	97.3	99.3	78.0	83.7	74.2	87.7	24.6	91.4	94.0
Sr	100.0	120.0	131.0	87.9	222.0	69.3	142.0	106.0	142.0	171.0	142.0	113.0	330.0	83.7
Zr	627.0	304.0	255.0	223.0	222.0	265.0	247.0	249.0	222.0	279.0	232.0	173.0	203.0	235.0
Ta	2.0	0.9	1.2	1.7	1.0	2.0	1.4	0.8	1.5	0.7	1.1	3.7	0.6	0.6
Th	23.10	12.70	9.6	14.3	13.5	12.1	9.1	9.5	11.2	9.7	7.1	52.0	9.9	11.7

续表 1

	双桥山群											
序号	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
样号	101-5-2	101-8-1	101-9-4	101-21	101-24	3109-1	3202	3683	3612	204-45	3159	101-92
SiO_2	70.08	64.10	71.67	62.45	64.18	66.81	74.51	70.91	65.43	65.78	74.23	66.38
Al_2O_3	13.03	15.64	12.73	15.39	14.34	15.77	11.49	13.40	16.59	14.66	11.35	16.23
Fe_2O_3	0.86	3.96	1.37	1.22	1.08	0.76	0.42	0.68	0.86	0.77	0.74	0.89
FeO	3.71	1.62	3.43	4.45	4.39	4.61	4.02	4.31	4.32	4.13	4.42	4.30
CaO	0.83	0.06	0.52	0.28	0.73	0.21	0.47	0.49	0.76	0.81	0.24	0.35
MgO	1.20	1.31	1.50	1.72	1.90	2.03	1.57	1.56	1.81	1.48	1.64	2.51
Na_2O	2.06	1.02	2.52	1.23	1.88	2.05	2.19	2.41	1.57	2.08	1.79	2.54
K_2O	2.28	3.02	2.53	3.66	2.74	3.28	1.81	2.37	3.56	2.84	1.89	2.18
TiO_2	0.62	0.68	0.68	0.69	0.67	0.82	0.64	0.72	0.76	0.70	0.70	0.64
MnO	0.10	0.06	0.08	0.06	0.09	0.06	0.08	0.07	0.06	0.09	0.06	0.28
P_2O_5	0.11	0.08	0.14	0.15	0.11	0.13	0.12	0.14	0.12	0.13	0.11	0.08
L.O.I	3.12	4.39	2.68	3.24	3.30	3.12	2.36	2.57	3.84	3.20	2.50	3.33
总量	99.00	99.94	99.7	99.8	99.41	99.65	99.680	99.63	99.68	96.67	99.67	99.71
La	41.90	36.30	28.80	23.20	25.30	34.10	27.90	29.90	34.60	26.00	30.50	34.70
Ce	57.10	67.50	59.80	61.40	54.80	69.50	56.50	61.80	79.10	57.80	62.00	69.80
Pr	5.80	7.00	7.30	6.90	5.50	6.79	7.28	6.98	8.26	5.30	6.72	8.47
Nd	28.50	35.10	27.10	33.30	27.90	31.40	26.60	29.20	32.5	26.90	28.80	34.90
Sm	6.10	7.60	5.60	7.30	5.80	6.99	6.67	6.80	7.74	5.60	6.67	8.44
Eu	1.40	1.90	1.30	1.60	1.20	1.15	1.04	1.18	1.20	1.10	0.98	0.89
Gd	4.60	5.90	4.50	5.80	4.60	6.16	5.16	5.11	5.90	4.50	4.43	6.64
Tb	0.60	0.90	0.60	0.80	0.50	0.47	1.12	0.72	0.90	0.50	0.34	1.03
Dy	4.30	5.80	4.10	5.50	4.30	5.90	4.55	4.57	5.34	4.10	3.94	6.60
Ho	0.80	1.20	0.80	1.00	0.80	0.89	1.17	0.95	1.11	0.80	0.62	1.42
Er	2.70	3.70	2.50	3.30	2.80	3.23	2.93	2.83	3.30	2.50	2.48	4.38
Tm	0.40	0.60	0.40	0.50	0.40	0.37	0.44	0.41	0.49	0.40	0.28	0.57
Yb	2.90	3.90	2.50	3.40	3.10	3.28	2.58	2.75	3.17	2.80	2.41	4.08
Lu	0.30	0.40	0.40	0.40	0.40	0.42	0.41	0.43	0.49	0.40	0.36	0.56
Sc	10.80	15.30	11.00	14.80	13.40	9.50	10.70	12.40	16.20	11.70	2.29	9.47
Y	22.90	35.10	22.70	32.50	27.20	32.10	23.30	23.70	27.40	26.30	23.80	33.80
∑REE	191.1	228.2	179.4	201.7	178.0	212.3	178.4	189.7	227.7	176.7	176.6	225.7
Ba	368.0	464.0	348.0	460.0	455.0	395.0	239.0	422.0	662.0	392.0	246.0	448.0
Co	13.3	14.5	16.4	19.5	19.2	14.1	12.7	15.5	15.4	14.7	17.7	16.2
Sc	9.3	15.5	11.0	14.1	13.1	9.5	10.7	12.4	16.2	12.7	2.3	9.5
Cr	55.7	62.3	58.8	66.1	62.1	82.5	85.7	65.7	75.8	63.3	119.0	60.7
Ni	19.4	27.2	20.5	32.7	28.6	33.7	17.9	24.4	31.0	22.7	28.0	32.3
Ga	14.0	21.6	14.4	22.2	20.1	23.2	15.9	18.5	24.4	18.2	16.1	25.3
Ge	1.8	2.0	2.0	1.4	1.6	1.1	1.1	0.9	1.3	1.7	1.2	1.3
Rb	80.9	131.0	86.7	164.0	114.0	152.0	100.0	105.0	162.0	99.6	90.3	97.7
Nb	11.3	16.4	11.5	16.2	15.0	15.8	12.6	12.9	14.5	13.7	13.7	16.0
Cs	10.5	13.2	6.4	12.6	9.1	<6.0	17.2	14.0	16.8	9.6	6.1	<6.0
Hf	7.3	6.3	6.8	6.0	6.5	5.7	7.3	7.1	5.7	6.9	11.0	5.8
V	80.0	96.5	88.7	97.9	92.3	106.0	78.7	100.0	109.0	97.0	84.0	84.6
Sr	84.5	61.2	126.0	90.2	95.0	57.0	78.5	125.0	84.4	119.0	67.5	165.0
Zr	229.0	239.0	233.0	240.0	247.0	222.0	268.0	261.0	223.0	257.0	400.0	208.0
Ta	0.8	0.5	1.3	0.6	1.0	1.5	1.0	1.4	0.9	1.0	0.7	1.0
Th	6.0	13.3	6.6	11.9	9.6	16.3	12.5	13.5	15.7	10.2	15.1	15.8

注:样品数据引自❶。序号 4~5、9、17、29、35、39、为变杂砂岩类;1~3、6~7、10、22~25、27~28、36 为砂质千枚岩类;11~15、18~21、26、30~34、40 为千枚岩类;8、16、37~38 为板岩类。

❶中国地质调查局南京地质调查中心.安徽 1:5 万平里、江潭、瑶里、虹关幅区调报告,2009.

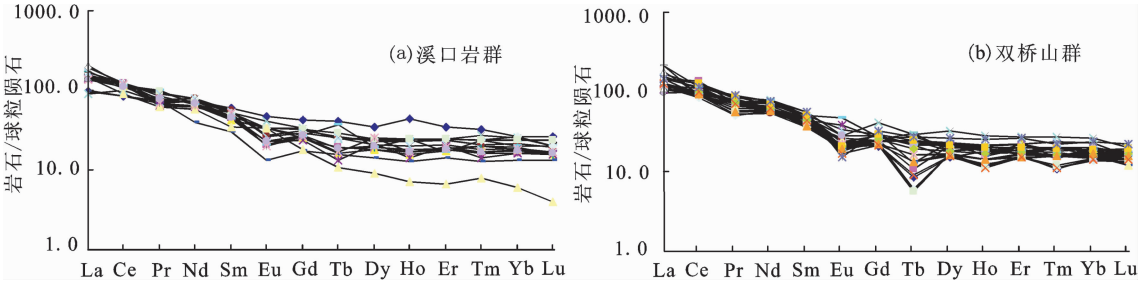


图 3 鄞公山地区浅变质碎屑岩稀土元素分布模式(球粒陨石数值据 Boynton,1984)[32]

Fig.3 Chondrite-normalized REE patterns of epimetamorphic clastic rocks in Zhanggongshan area (chondrite data after Boynton,1984) [32]

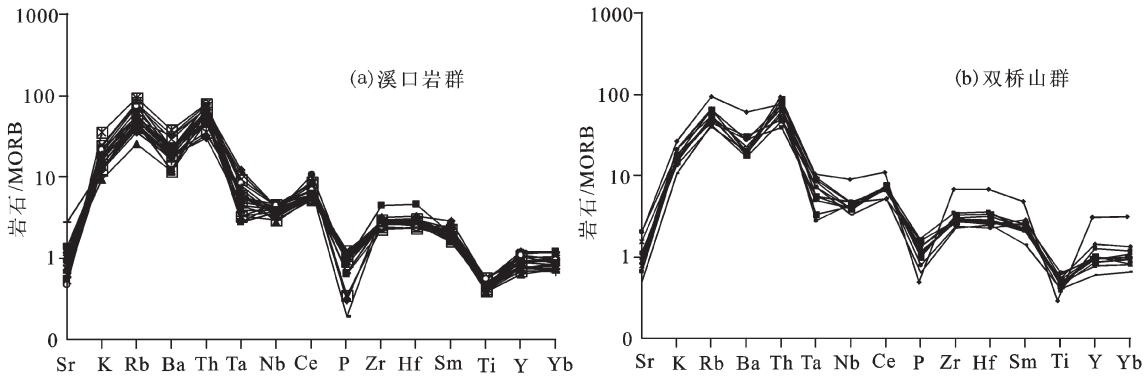


图 4 鄞公山地区浅变质碎屑岩微量元素蛛网图(标准化数值据 Pearce,1983)[33]

Fig.4 Normalized trace elements patterns of epimetamorphic clastic rocks in Zhanggongshan area (M0RB data after Pearce,1983) [33]

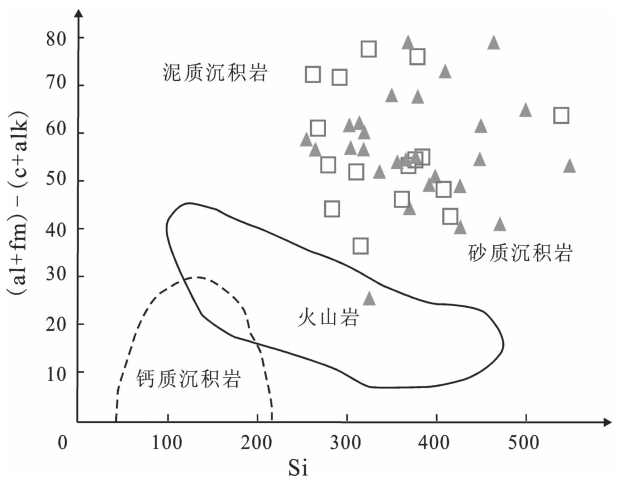


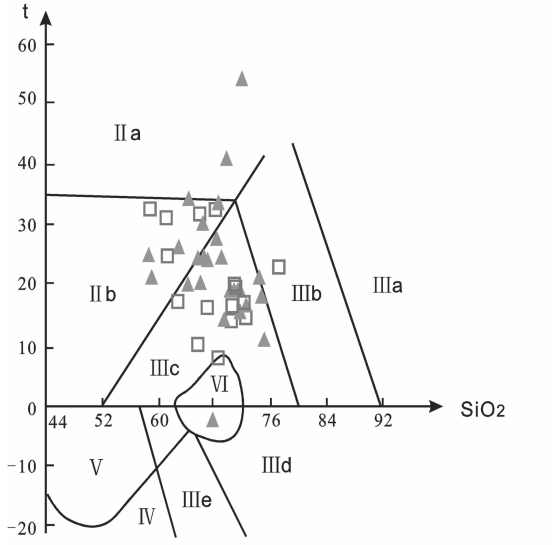
图 5 (al+fm)-(c+alk)-Si 图解(据 H.G.F.温克勒,1976)[34]

□溪口岩群碎屑岩 ▲双桥山群碎屑岩

Fig.5 (al+fm)-(c+alk)-Si diagram (after Winkler H G F, 1967)[34]

□Xikou Group clastic rocks;

▲Shuang Qiaoshan Group clastic rocks



IIa—分异的粘土沉积;IIb—分异较弱的粘土; IIIb—含泥质混入物的砂质沉积; IIIc—分异弱的砂质沉积;IIId—分异弱的长石质砂岩和长岩砂岩; IIIe—含碳酸盐混入的砂岩;IV—砂质碳酸盐岩;V—基性岩和凝灰岩;VI—前寒武纪奥长质花岗岩类岩石

图 6 t-SiO_2 图解(据 H.G.F.温克勒,1976)[34]

□溪口岩群碎屑岩 ▲双桥山群碎屑岩

Fig.6 t-SiO_2 diagram (after Winkler H G F, 1967)[34]

□-Xikou Group clastic rocks;▲-Shuangqiaoshan Group clastic rocks

双桥山群浅变质碎屑岩 11 组样品测试结果表明（表 2），$^{147}Sm/^{144}Nd$ 大都为 0.10~0.14，平均值为 0.119；$\varepsilon_{Nd}(t)$值变化范围在−0.43~−8.94,较溪口岩群变化范围显著。t_{DM} 年龄在 1.5~1.8 Ga,平均值为 1.7 Ga,与溪口岩群 t_{DM} 值范围接近,十分相似于李献华等[14]统计的扬子古陆南缘新元古代变质沉积岩的 t_{DM} 年龄(1.60~1.89 Ga),表明它们来源于共同的或具有相同地壳存留年龄的物源区，这从一个侧面反映了分布于鄣公山地区的这套碎屑岩形成年龄不应大于 1.6 Ga。双桥山群 $^{87}Rb/^{86}Sr$ 初始值有较大变化范围，其中 7 个样品在 0.6191~3.008,4 个样品在 3.968~6.695,11 个样品平均值为 2.997。$^{87}Sr/^{86}Sr$ 比值在 0.71902~0.77263,平均值为 0.7401。

溪口岩群和双桥山群浅变质碎屑岩具相近的 Nd 同位素特征,Sm/Nd 比值相近，为 0.182~0.229,平均 0.196,与地壳岩石平均值(0.195)十分相似,亦接近沈渭洲等[36]统计的华南地壳岩石的 Sm/Nd 比值(0.201),暗示溪口岩群和双桥山群浅变质碎屑岩具一致或相似的物源区。但二者 Sr 同位素特征表现出明显的差异，反映二者经历不同的构造沉积环境和/或后期构造演化。

4 讨 论

4.1 碎屑锆石 U-Pb 年龄

笔者与加拿大滑铁卢大学林寿发博士和南京大学王晓磊教授在本区分别获得 3 组碎屑锆石 SHRIMP U-Pb 年龄和 1 组碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄(数据未发表)。单颗粒锆石 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄主要集中在 826~2 600 Ma 并出现显著的 5 个统计峰值，大致为 2 500 Ma,2 000~2 200 Ma,1 800 Ma,950 Ma,827~841 Ma。这与江南造山带西段的桂北、湘西北浅变质碎屑岩中单颗粒锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄特征[37]相似。

本区 4 个样品共 97 个锆石测点中年轻碎屑锆石测点 57 个,锆石具岩浆结晶锆石成因特征(林寿发和王晓磊面告,2008)，最年轻碎屑锆石 $^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄分别为（835.4±9.4)Ma（溪口岩群)、(841.5±8)Ma(溪口岩群)、(837.8±8.6)Ma(双桥山群)、(827.4±6.6)Ma(双桥山群)。这与本区双桥山群碎屑岩密切共生的凝灰岩、安山岩及流纹岩等火山

表 2 浅变质碎屑岩 Nd-Sr 同位素数据

Table 2 Nd-Sr isotopic characteristics of epimetamorphic clastic rocks

地层单位	序号	样号	$Sm/10^{-6}$	$Nd/10^{-6}$	$Rb/10^{-6}$	$Sr/10^{-6}$	$^{147}Sm/^{144}Nd$	$^{143}Nd/^{144}Nd$	$^{87}Rb/^{86}Sr$	$^{87}Sr/^{86}Sr$	$\varepsilon_{Nd}(t)$	$\varepsilon_{Nd}(0)$	t_{DM}(Ma)
溪口岩群	1	3301	9.095	47.84	175.80	257.50	0.1150	0.512085	1.973	0.73370	-2.01	-15.8	1624±5
	2	3692	6.280	33.15	100.60	74.31	0.1146	0.512094	3.917	0.74665	-1.79	-14.1	1621±6
	3	4267	6.246	33.48	91.61	190.30	0.1129	0.511981	1.390	0.72111	-3.82	-14.1	1764±6
	7	404-3	7.832	39.27	123.30	95.04	0.1207	0.512045	3.754	0.74336	-3.40	-15.1	1807±5
	9	3304	7.213	39.07	100.30	120.40	0.1177	0.511999	2.407	0.73752	-3.98	-15.8	1716±7
	10	4312	6.794	35.10	122.60	84.35	0.1171	0.512061	4.207	0.75268	-2.70	-14.1	1715±5
	13	404-3	8.004	40.67	115.80	123.10	0.1191	0.512125	2.718	0.73021	-1.67	-15.6	1648±5
	15	3401	13.950	60.79	162.90	94.11	0.1388	0.512407	5.000	0.75011	-1.72	-13.1	1510±4
	16	3318	6.456	34.14	91.65	116.30	0.1144	0.512107	2.279	0.73345	-1.52	-14.7	1598±6
双桥山群	17	105-2	6.138	33.47	56.49	144.70	0.1110	0.512110	1.127	0.72273	-1.18	-14.1	1541±7
	18	107-2	7.015	37.06	157.10	81.79	0.1145	0.512110	5.568	0.76424	-8.94	-15.1	1632±8
	19	101-7	11.08	49.95	130.40	192.00	0.1342	0.512206	1.962	0.73014	-0.43	-14.7	1806±6
	27	1006	5.832	29.2	77.95	363.40	0.1208	0.512194	0.619	0.71902	-1.06	-12.6	1566±3
	28	1008	5.729	29.17	77.68	74.68	0.1188	0.512136	3.008	0.73723	-0.18	-12.3	1626±6
	31	101-9	5.186	27.06	96.41	170.10	0.1159	0.512157	1.637	0.72629	-0.96	-12.1	1545±11
	35	3202	5.772	28.76	96.50	70.40	0.1214	0.512019	3.968	0.74809	-3.95	-13.1	1863±3
	36	3683	6.114	33.63	99.96	127.60	0.1100	0.512097	2.265	0.73391	-0.55	-14.1	1545±4
	37	3612	6.857	36.65	139.70	60.55	0.1132	0.511982	6.695	0.77263	-2.11	-14.3	1767±3
	39	3159	6.303	33.77	89.77	58.76	0.1129	0.511941	4.428	0.76159	-4.56	-13.9	1824±4
	40	101-92	7.259	33.25	95.63	163.30	0.1321	0.512173	1.691	0.72517	-0.80	-14.6	1820±6

注:序号对应样品同表 1,t_{DM} 的计算中所用亏损地幔参数($^{143}Nd/^{144}Nd)_{DM}$ =0. 513151，($^{147}Sm/^{144}Nd)_{DM}$=0. 2136。

岩夹层中获得的 5 组锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄(822~831 Ma,详细数据另文发表)相近或在误差范围内一致,也与高林志等[20]在本区北邻的双桥山群斑脱岩中获得的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 (831±5 Ma)相近,上述年龄与紧邻本区的皖南许村、歙县、休宁花岗岩类侵入体成岩时代 (826~850 Ma)[17,38,39]处于同一构造-岩浆演化阶段, 这一信息可能反映浅变质碎屑岩有相当物质来源于同时代火成岩类。张传林等(2012)❶认为,扬子与华夏之间的洋壳向北俯冲及地幔柱上升, 使古扬子南侧的弧后盆地打开(大约在 860 Ma 开始), 地幔柱的上升导致大规模的地壳熔融以及被俯冲带流体/融体交代的岩石圈地幔部分熔融, 形成了巨量的侵入岩及火山岩,同时,由于地幔柱导致的地壳快速隆升,使这些岩浆岩快速地被剥蚀、搬运并沉积在弧后盆地中,形成了巨厚的低成熟度的碎屑岩类。

样品中其余年龄组 (大致有 2500 Ma,2 000~2 200 Ma,1 800 Ma,950 Ma) 亦反映本区及邻区古老物质经历的不同时期的构造-热事件, 最老的年龄约 2 500 Ma,显示华南地区可能存在或曾经存在过古元古代末期—新太古代早期的陆壳。总之,不同时代锆石的混合, 说明区内浅变质细碎屑岩在沉积成岩过程中具有以同时代火成岩为主的广泛的沉积物源。多组锆石年龄,记录了江南造山带东北缘前南华纪地质演化的复杂,构造-热事件的频繁。

4.2 源区成分特征

形成区内这套巨厚的新元古代沉积地层必有一个稳定物源区。沉积物的分选和再循环作用可由 Th/Sc-Zr/Sc 图解判断, 直接来源于火成岩的沉积物其 Th/Sc-Zr/Sc 为简单的正相关关系,再循环沉积物的 Zr/Sc 值比 Th/Sc 值有大幅度增加。在 Th/Sc-Zr/Sc 图解(图 7)上,与来源于火成岩沉积物的分布趋势一致, 显示源区岩石可能有相当组分为经历了一定风化作用的火成岩类。

REE、高场强元素(HFSE),如 Nb、Ta、Zr、Hf 等,它们在地壳各种作用过程中性质稳定, 因此可用作“原始”物源组成特征的指示剂[41]。溪口岩群样品 Nb 含量变化范围为 (13.7~18.5)×10⁻⁶, 平均 15×10⁻⁶;Ta 含量变化范围为 (0.5~1.7)×10⁻⁶, 平均 1.1×10⁻⁶;Zr 含量为(203~299)×10⁻⁶,平均 243.6×10⁻⁶;Hf 含量变

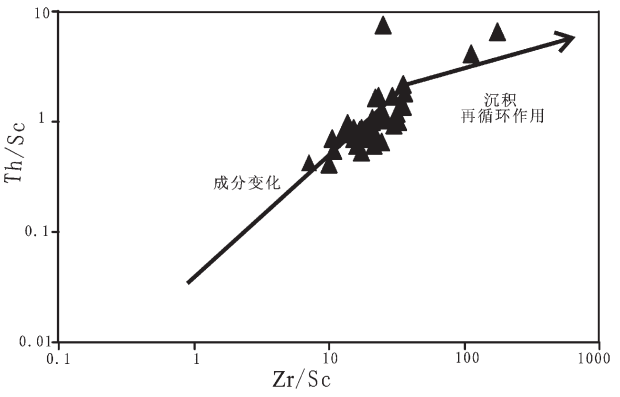


图 7 鄣公山地区浅变质碎屑岩 Zr/Sc -Th/Sc
(据 McLennan 等,1990) [40]

Fig.7 Th/Sc-Zr/Sc isotopic characteristics of epimetamorphic clastic rocks in Zhanggongshan area (after Mclennan, et al., 1990) [40]

化范围为(5.4~8.1)×10⁻⁶,平均 6.4×10⁻⁶,Nb/Ta=14,Zr/Hf=38。双桥山群 24 个样品 Nb 含量变化范围为(9.8~39.2)×10⁻⁶, 平均 15×10⁻⁶;Ta 含量变化范围为(0.5~3.7)×10⁻⁶,平均 1.2×10⁻⁶;Zr 含量为(173~279)×10⁻⁶,平均 243×10⁻⁶;Hf 含量变化范围为(4.5~11)×10⁻⁶,平均 6.6×10⁻⁶,Nb/Ta=13,Zr/Hf=37,与 Condie (1990)[35]计算的上地壳 Nb/Ta、Zr/Hf 比值较为接近(Nb/Ta=12.6,Zr/Hf=37)。从上述数据清晰看出,溪口岩群和双桥山群浅变质碎屑岩具有相似的 REE、高场强元素(HFSE)含量变化特征。Nd 同位素特征也揭示了这一点, 显示区内浅变质碎屑岩具相同或相近的“原始”物质组成特征。

沉积岩中的 $(Gd/Yb)_N$ 值可以反映母岩的特点,太古宙地层的$(Gd/Yb)_N$ 值常大于 2.0,后太古宙年轻地层的$(Gd/Yb)_N$ 值常小于 2.0[44]。区内溪口岩群浅变质碎屑岩的$(Gd/Yb)_N$ 值为 1.29~1.61,平均 1.54;双桥山群浅变质碎屑岩$(Gd/Yb)_N$ 值为 1.22~1.66,平均 1.45,表明其母岩来自年轻的后太古宙上地壳。区内浅变质碎屑岩的稀土配分模式呈轻稀土富集、重稀土亏损、Eu 负异常的特征,表明其主要物质来源于上地壳, 这还可从 Hf-La/Th 和 Th/Sc-εNd(0)元素对比图(图 8)得到佐证。在 F1-F2 图(图 9-a) 上样品点大都落在长英质火成物源区及石英岩沉积物源区相邻区域, 少部分落在中性岩火成物源区;在 REE-La/Yb 图(图 9-b)上样品点主要落

❶中国地质调查局南京地质调查中心.晋宁期—加里东期构造-岩浆活动及构造格局演变对区域成矿作用的制约项目 2012 年设计书,2012.

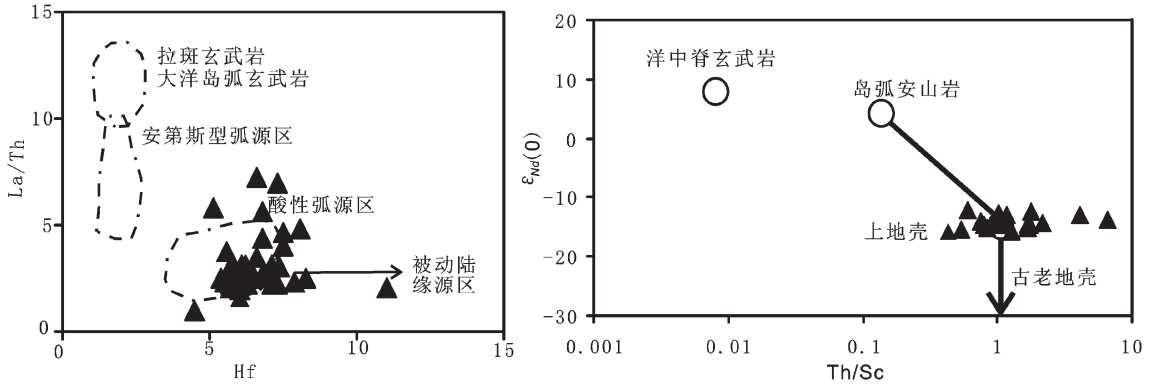


图 8 鄣公山地区浅变质碎屑岩 La/Th−Hf(Fedo C M 等 1996)[42]和 $\varepsilon_{Nd}(0)$−Th/Sc(伍家善等,1998)[43]图

Fig.8 La/Th−Hf isotopic characteristics (after Fedo C M, et al., 1996) [42] and $\varepsilon_{Nd}(0)$−Th/Sc isotopic characteristics (after Wu, et al., 1998) [43] of epimetamorphic clastic rocks in Zhanggongshan area

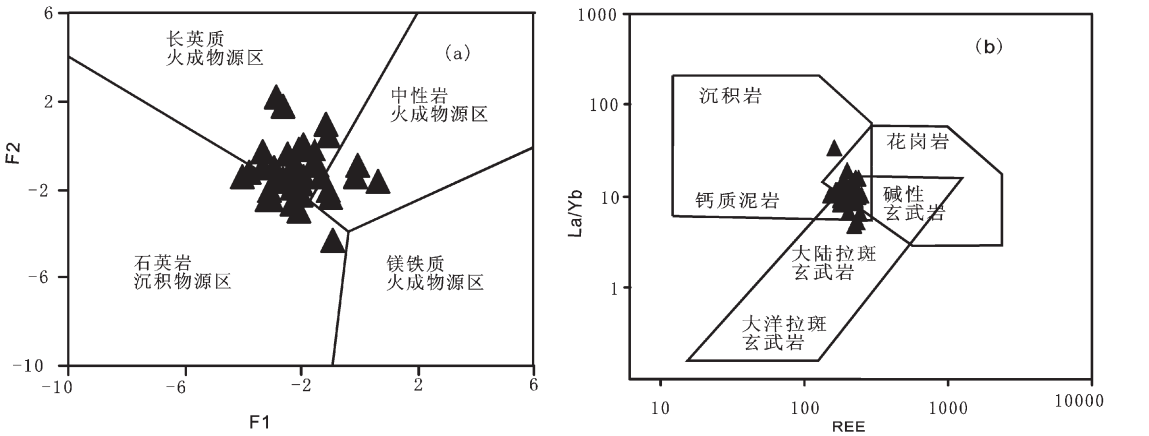


图 9 鄣公山地区浅变质碎屑岩物源区判别图解

A—据 Roser 等(1988)[45];b—据 Allegre 等(1978)[46]

Fig.9 Prominence discrimination diagram of epimetamorphic clastic rocks in Zhanggongshan area

a−After Roser et al. (1988) [45]; b−After Allegre et al. (1978) [46]

在沉积岩、花岗岩及玄武岩的交汇区域,这些信息显示区内浅变质碎屑岩源区岩石可能主要为酸性火成岩及沉积岩类。

泥质类岩石的 Cr/Th 值主要受局部源区及构造作用的影响,是源区敏感的指示参数,可以记录上地壳成分的变化[47]。研究区溪口岩群浅变质细碎屑岩的 Cr/Th 值为 1.04~12.39,双桥山群其值为 3.84~12.68,远远低于太古宙上地壳的平均值(31),反映源区科马提岩−玄武岩组分含量低, 而以花岗质成分为主。沉积岩中 Cr 和 Ni 的含量指示源区镁铁质−超镁铁质组分的贡献大小, 与太古宙沉积岩相比,研究区岩石 Ni 和 Cr 含量较低,溪口岩群碎屑岩中两者的含量分别为(6.4~46.6)×10⁻⁶、(14.6~114)×10⁻⁶、双桥山群(3.9~38)×10⁻⁶、(53.5~119)×10⁻⁶,这表明, 物源区的镁铁质−超镁铁质岩石组分并不重要,沉积物主要来源于中酸性源区。

大离子亲石元素 (LILE)Rb、Cs、Sr、Ba、Th 等在地壳各种地质作用过程中易溶于水,活动性强,易迁移,可作为地壳演化及作用发生的示踪剂[41]。区内溪口岩群碎屑岩 Rb(83.2×10⁻⁶~185×10⁻⁶,平均 116.49×10⁻⁶)、Cs(5.59×10⁻⁶~34.8×10⁻⁶,平均 13.39×10⁻⁶)、Sr(59.1×10⁻⁶~242×10⁻⁶, 平均 139.53×10⁻⁶)、Ba (341×10⁻⁶~623×10⁻⁶, 平均 485.86×10⁻⁶)、Th (5.9×10⁻⁶~23.1×10⁻⁶,平均 12.07×10⁻⁶)的含量与双桥山群浅变质碎屑岩 Rb(51.9×10⁻⁶~164×10⁻⁶,平均 108.12×10⁻⁶)、Cs(2.3×10⁻⁶~17.2×10⁻⁶,平均 11.68×10⁻⁶)、Sr(57×10⁻⁶~330×10⁻⁶,平均 120.55×10⁻⁶)、Ba(233×10⁻⁶~683×10⁻⁶,平均 427×10⁻⁶)、Th(6~16.3×10⁻⁶,平均 11.49×10⁻⁶)存在一定差异,Rb/Cs 值分别为 10、12;Sr/Ba 为 0.32、0.28。二者 $^{87}Rb/^{86}Sr$ 及 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 比值亦表现出显

著差异。这些信息可能意味着溪口岩群和双桥山群成岩过程中经历了不同的地质构造演化，可能处于不同的构造沉积环境。

综上认为，溪口岩群与双桥山群浅变质碎屑岩具相同或相近的物源区。二者大离子亲石元素含量具有一定差异，预示可能处于不同的构造沉积环境。

4.3 原岩沉积构造环境

区内溪口岩群变泥砂质岩石∑REE=(150.9~251.6)×10^{-6}；δEu=0.12~0.31；$(La/Yb)_N$=3.52~24.56，Th/Sc=0.42~4.13，La/Sc=0.68~5.88，La/Yb=4.91~15.9，La/Th=1.57~5.78。双桥山群变泥砂质岩石∑REE=(165~244)×10^{-6}；δEu=0.09~0.3；$(La/Yb)_N$=4.66~13.63，Th/Sc=0.54~7.65，La/Sc=2.04~13.26，La/Yb=6.5~19，La/Th=0.97~7.23。上述数值与 Bhatia et al. [48]所提出的不同构造环境背景 REE、微量元素参数相比较，具有大陆边缘沉积物的特点。在碎屑岩微量元素判别图(图 10)中，溪口岩群样品点主要落在大陆边缘及其附近区域，显示拉张构造背景下的沉积作用特征。双桥山群样品投影点主体落在大陆岛弧区域，少部分落在活动大陆边缘及其附近区域，与溪口岩群存在差异，因此，笔者认为，双桥山群原岩沉积构造环境与大陆岛弧关系较密切，显示板块俯冲阶段的沉积特征。

新元古代早期，古华南洋发生向北的洋内俯冲，俯冲诱发古扬子板块东南缘引张，形成大陆边缘弧及陆缘盆地 [6-7,10-11,13-14]。沉积盆地演化及充填特征(图 2)显示：早期盆地充填以溪口岩群火山-陆缘碎屑复理石建造为特征，拉张初期火山物质较少，以溪口岩群板桥岩组为代表的陆棚边缘斜坡-浅海陆棚细碎屑岩沉积为主；随着进一步拉张，海侵范围扩大，海盆加深，火山活动增强，形成乐平—婺源一带细碧-石英角斑岩系及木坑岩组下段海侵体系域半深海火山-陆缘碎屑浊流沉积。随着拉张强度的不断增强，陆壳减薄直至开裂，地幔岩浆活动，形成鄱源—伏川一带具初始洋壳特征的基性岩组合[25]。伴随海盆进一步扩大，海平面上升达到最高，沉积容纳空间大，海水最深，形成木坑岩组上段半深海-深海相欠补偿盆地沉积硅泥质岩类。由于地幔岩浆活动，释放了地幔热柱大量的热能，壳下热对流强度减弱，从而导致初始洋盆不再扩张或壳下对流方式的改变导致盆地带地壳收缩，以鄱源—伏川基性-超基性岩为代表的初始洋壳发生向北的有限俯冲，俯冲消减使初始洋盆不断狭缩，最终转化为大陆边缘海盆环境，双桥山群属该构造盆地沉积响应，为陆缘弧构造-沉积环境下形成的一套火山-沉积建造体。

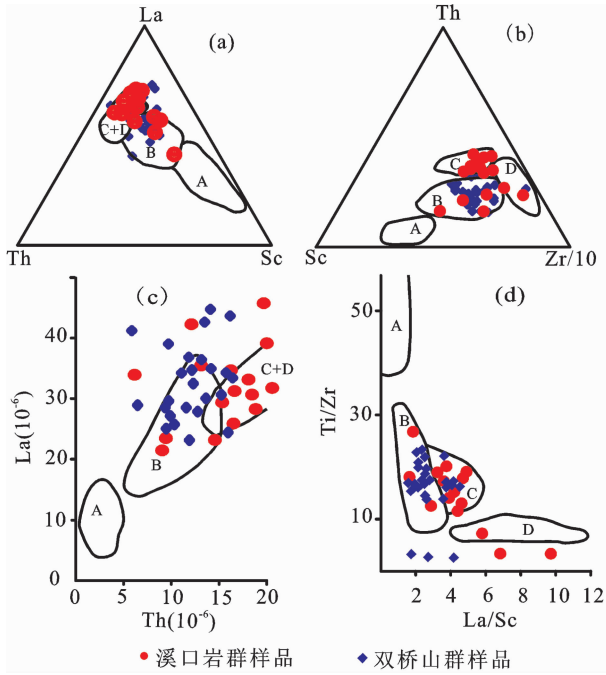


图 10 浅变质碎屑岩构造判别图解(据 Bhatia，1986)[48]
A—大洋岛弧；B—大陆岛弧；C—活动大陆边缘；D—被动大陆边缘
Fig.10 Tectonic discrimination diagram for Neoproterozoic epimetamorphic clastic rocks (after Bhatia, 1986) [48]
A-Oceanic island arc; B-Continental island arc; C-Active continental margin; D-Passive continental margin

5 结 论

(1)皖赣相邻的鄣公山地区位于江南造山带东段北缘，区内广布一套厚度巨大、低绿片岩相变质的以泥砂质细碎屑岩为主含少量火山岩的复理石建造体，大量高精度同位素测年数据显示，其形成于822~850 Ma 的新元古代。以斜切本区的景德镇—江潭构造混杂岩带为界，南部为溪口岩群，含较多基性火山岩夹层；北部属双桥山群，构造变形较南侧溪口岩群相对较弱，夹大量酸性凝灰岩，局部夹安山岩及流纹岩，不含或少有基性火山岩夹层。

(2)溪口岩群与双桥山群浅变质碎屑岩具有相似的元素成分特征，富云母的泥质岩石，SiO_2、CaO、Na_2O 含量相对较低，Al_2O_3、K_2O、MgO、TFe_2O_3 含量相对较高，与含石英和斜长石的富砂质岩石则正好相反。所有样品具相似的稀土及微量元素含量特征。溪口岩群和双桥山群浅变质碎屑岩 REE、高场强元

素(HFSE),如 Nb、Ta、Zr、Hf 及 Nd 同位素等具有相似的变化特征,显示区内浅变质碎屑岩具相同或相近的“原始”地壳物质组成特征,$(La/Yb)_N$=4.66~13.63、δ Eu=0.09~0.3、$(Gd/Yb)_N$=(1.22~1.66)×10^{-6},表明区内浅变质碎屑岩物源主要来自长英质岩石组成的后太古宙上地壳。但二者大离子亲石元素(LILE)Rb、Cs、Sr、Ba、Th 等含量及相关比值、Sr 同位素特征存在一定差异,可能反映二者经历不同的构造沉积环境和/或后期构造演化。研究显示,溪口岩群具大陆边缘拉张构造背景下的沉积作用特征,而双桥山群原岩沉积构造环境与大陆岛弧关系较密切,为板块俯冲阶段的沉积特征。

(3)单颗粒碎屑锆石 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄分布在 826~2600 Ma,并出现显著的 5 个统计峰值,大致为 2500 Ma,2000~2200 Ma,1800 Ma,950 Ma,827~841 Ma,其中以年轻碎屑锆石占绝对多数(4 个样共 97 个测点中年龄介于 827~841 Ma 的测点占 57 个),锆石具岩浆结晶锆石成因特征,年轻的碎屑锆石年龄与笔者在双桥山群凝灰岩、安山岩及流纹岩等火山岩夹层中获得的 5 组锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄(822~831 Ma)相近或在误差范围内一致,也与紧邻本区的皖南许村、歙县、休宁花岗岩类侵入体成岩时代(826~850 Ma)相近,这一信息可能反映浅变质碎屑岩成分主要来源于同时代火成岩类。样品中其余年龄信息亦反映本区及邻区古老物质经历的不同时期的构造-热事件,最老的年龄约 2 500 Ma,显示华南地区可能存在或曾经存在过古元古代早期—新太古代末期的陆壳。

致谢:本文资料主要来自笔者等完成的安徽 1:5 万瑶里等 4 幅区调项目。项目成果得到于庆文、邢光福、张克信、李超岭研究员及杨明桂、江来利、杜建国教授级高工的评审认定。加拿大滑铁卢大学林寿发博士和南京大学王晓磊教授提供了有限的同位素年龄数据。成文过程中与南京地质调查中心程光华、曾勇教授级高工、张传林研究员及中国地质科学院地质研究所高林志、丁孝忠研究员进行过富有意义的交流;审稿人提出了具体的修改意见并对文稿不当之处直接进行了修改,在此一并致以衷心感谢!

参考文献(References):

[1] 黄汲清. 中国主要地质构造单元. 中央地质调查所地质专版, 1945.
Huang jiqing. The main tectonic units in China. Central Geological Survey geological feature, 1945(in Chinese).

[2] 郭令智, 俞剑华, 施央申. 华南加里东地槽区大地构造几个问题的探讨[J]. 南京大学学报, 1963, 2:1-17.
Guo Lingzhi, Yu Jianhua, Shi Yangshen. Disscussion about several geotectonic problems in Caledonian geosyncline region of south China[J].Journal of Nanjing University, 1963, (2):1-17(in Chinese with English abstract).

[3] 郭令智, 施央申, 马瑞士, 等. 中国东南部地体的研究 [J]. 南京大学学报, 1984, 20(4):732-739.
Guo Lingzhi, Shi Yangshen, Ma Ruishi, et al. Tectonostratigraphic terranes of southeast China [J]. Journal of Nanjing University, 1984, 20(4):732-739.

[4] 陈冠宝, 徐树桐, 张渝昌, 等. 皖南造山带的演化及其在油气田勘探中的意义[J]. 石油实验地质, 1994, 20(2):103-109.
Chen Guanbao, Xu Shutong, Zhang Yuchang, et al. Evolution of the south Anhui orogen and its significance for exploration of oil and gas fields [J]. Experimental Petroleum Geology, 1994, 20(2):103-109(in Chinese with English abstract).

[5] 水涛, 徐步台, 梁如华, 等. 绍兴-江山古陆对接带 [J]. 科学通报, 1986, 31(6):444-448.
Shui Tao, Xu Butai, Liang Ruhua, et al. Paleoland colisional zone of Jiangshan-Shaoxing [J]. Chinese Science Bulletin, 1986, 31(6):444-448(in Chinese).

[6] 徐备. 论赣东北—皖南晚元古代沟弧盆体系 [J]. 地质学报, 1990, (1):33-41.
Xu Bei. The late proterozoic trench-basin-arc system in northeastern Jiangxi-southeastern Anhui Provinces [J]. Acta Geological Sinica, 1990, 1:33-41(in Chinese with English abstract).

[7] 徐备, 郭令智, 施央申. 皖浙赣地区元古代地体和多期碰撞造山带. 北京:地质出版社, 1992.
Xu Bei, Guo Linzhi, Shi Yangshen. Proterozoic Terranes and Multiphase Collision Orogens in Anhui-Zhejiang-Jiangxi Area[M]. Beijing:Geological Publishing House. 1992(in Chinese with English abstract).

[8] 程海. 浙西北晚元古代早期碰撞造山带的初步研究[J]. 地质论评. 1991, 37(3):203-212,218.
Cheng Hai. The late Proterozoic collision orogen in northwestern Zhejiang Province [J]. Geological Review, 1991, 37 (3):203-212, 218(in Chinese with English abstract).

[9] 马长信, 刘荣贵, 吕桂德, 等. 赣东北前震旦纪地质 [M]. 北京:地质出版社, 1992.
Ma Changxin, Liu Ronggui, Lv Guide, et al. Precambrian Geology of Northeastern Jiangxi Province[M]. Beijing:Geological Publishing House, 1992(in Chinese with English abstract).

[10] 舒良树, 施央申, 郭令智, 等. 江南中段板块-地体构造与碰撞造山运动学[M]. 南京:南京大学出版社, 1995:1-174.
Shu Lingshu, Shi Yangshen, Guo Lingzhi, et al. Plate Tectonic Evolution and the Kinematics of Collisional Orogeny in Middle Jiangnan, Eastern China [M]. Nanjiang: Publishing House of

Nangjing University, 1995:1 -174 (in Chinese with English abstract).

[11] 郭令智, 卢华复, 施央申, 等. 江南中、新元古代岛弧的运动学和动力学[J]. 高校地质学报, 1996, 2(1):1-13.
Guo Lingzhi, Lu Huafu, Shi Yangshen, et al. The Meso - Neoproterozoic Jiangnan island arc: its kinematics and dynamics[J]. Geological Journal of Universities, 1996, 2 (1):1-13 (in Chinese with English abstract).

[12] 马荣生, 王爱国. 皖南晚元古代碰撞造山带构造轮廓[J]. 安徽地质, 1994, 4(2):14-22.
Ma Rongsheng, Wang Aiguo. Tectonic outline of the late Proterozoic collisional orogenic belt in south Anhui [J]. Geology of Anhui, 1994,4(2):14-22(in Chinese with English abstract).

[13] 赵建新, 李献华, McCulloch M T, 等. 皖南和赣东北蛇绿岩成因及其构造意义:元素和 Sm-Nd 同位素制约[J]. 地球化学, 1995, 24(4):311-324.
Zhao Jianxin, Li Xianhua, McCulloch M T, et al. Petrogenesis of ophiolites from south Anhui and northeast Jiangxi, and their tectonic implications:chemical and Sm-Nd isotopic constraints[J]. Geochimica, 1995, 24 (4):311 -324 (in Chinese with English abstract).

[14] 李献华, McCulloch M T. 扬子南缘沉积岩的 Nd 同位素演化及其大地构造意义[J]. 岩石学报, 1996, 12 (3):361-368.
Li Xianhua, McCulloch M T. Nd isotopic evolution of sediments from the southern margin of the Yangtze Block and its tectonic significance [J]. Acta petrologica Sinica, 1996, 12 (3): 361-368(in Chinese with English abstract).

[15] 程光华, 汪应庚. 江南东段构造格架 [J]. 安徽地质, 2000, 10(1): 1-8.
Cheng Guanghua, Wang Yinggeng. The structural framework of the eastern section of the Jiangnan orogen [J]. Geology of Anhui, 2000, 10(1):1-8(in Chinese with English abstract).

[16] 楼法生, 黄志忠, 宋志瑞, 等. 华南中部中新元古代造山带构造演化探讨[J]. 地质调查与研究, 2003, 26(4):200-206.
Lou Fasheng, Huang Zhizhong, Song Zhiri, et al. Geotectonic evolution model of the Middle-New Proterozoic orogenic belt in the central part of south China[J]. Geological Survey and Research, 2003., 26(4):200-206(in Chinese with English abstract).

[17] Wu Rongxin, Zheng Yongfei, Wu Yuanbao. Zircon U-Pb Age, Element and Oxygen Isotope Geochemisty of Neoproterozoic Granites at Shiershan in South Anhui Province [J]. Geological Journal of China Universities, 2005, 11(3):364-382.

[18] Zheng Y F, Zhang S B, Zhao Z F et al. Contrasting zircon Hf and O isotopes in the two episodes of Neoproterozoic granitoids in South China: Implications for growth and reworking of continental crust. Lithos, doi: 10. 1016/j. Lithos. 2006. 10. 003.

[19] Wang Xiaolei, Zhao Guochun, QI J S, et al . LA-ICPMS U-Pb zircon geochronology of the Neoproterozoic igneous rocks from northern Guangxi, South China: implications for petrogenesis and tectonic evolu-tion[J]. Precambrian Research, 2006, 145:111-130.

[20] 高林志, 杨明桂, 丁孝忠, 等. 华南双桥山群和河上镇群凝灰岩中的锆石 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄--南新元古代造山带演化的制约[J].地质通报, 2008, 27(10):1744-1751.
Gao Linzhi, Yang Minggui, Ding Xiaozhong, et al . SHRIMP U-Pb zircon dating of tuff in the Shuangqiaoshan and Heshangzhen groups in South China——constraints on the evolution of the Jiangnan Neoproterozoic orogenic belt [J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27(10): 1744-1751(in Chinese with English abstract).

[21] 高林志, 张传恒, 刘鹏举, 等. 华北-江南地区中、新元古代地层格架的再认识[J]. 地球学报, 2009, 30(4):433-446.
Gao Linzhi, Zhang Chuanheng, Liu Pengju, et al. Recognition of Meso- and Neoproterozoic stratigraphic framework in North and South China[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2009, 30(4):433-446(in Chinese with English abstract).

[22] 杨明桂, 黄水保, 楼法生, 等. 中国东南陆区岩石圈结构与大规模成矿作用[J]. 中国地质, 2009, 36(3):528-542.
Yang Minggui, Huang Shuibao, Lou Fasheng, et al. Lithospheric structure and large-scale metallogenic process in Southeast China continental area [J]. Geology in China, 2009, 36 (3):528-542(in Chinese with English abstract).

[23] 张彦杰, 廖圣兵, 周效华, 等. 江南造山带北缘鄣公山地区新元古代地层构造变形特征及其动力学机制[J].中国地质, 2010, 37 (4):978-994.
Zhang Yanjie, Liao Shengbing, Zhou Xiaohua, et al . Structural deformation features and dynamic mechanism of Neoproterozoic strata in Zhanggongshan region, northern margin of the Jiangnan orogen [J]. Geology in China, 2010, 37 (4):978-994 (in Chinese with English abstract).

[24] 张彦杰, 周效华, 廖圣兵, 等. 皖赣相邻鄣公山地区新元古代地壳组成及造山过程[J]. 地质学报, 2010, 84(10):1401-1427.
Zhang Yanjie, Zhou Xiaohua, Liao Shengbing, et al. The Crustal Composition and Orogenic Process in Neoproterozoic in Zhanggongshan Area of Anhui-Jiangxi Border Region [J]. Acta Geologica Sinica, 2010, 84 (10):1401 -1427 (in Chinese with English abstract).

[25] 张彦杰, 周效华, 廖圣兵, 等. 江南造山带北缘鄣源基性岩地质-地球化学特征及成因机制[J]. 高校地质学报, 2011, 17(3):393-405.
Zhang Yanjie, Zhou Xiaohua, Liao Shenbing, et al. Geological and geochemical characteristics and petrogenesis of the mafic rocks from Zhangyuan, northern Jiangnan orogen [J]. Acta Geologica Sinica, 2011, 17(3):393-405.

[26] 曾勇, 杨明桂, 赖新平, 等. 赣东北地区中晚元古代的岩浆作用与构造环境[J]. 华南地质与矿产, 2002,3:37-43.
Zeng Yong, Yang Minggui, Lai Xinping, et al. Middle -Late Proterozoic magmatism and its tectonic settings in northeastern Jiangxi Province [J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2002, 3: 37-43(in Chinese with English abstract).

[27] Wang Xiaolei, Zhao Guochun, Zhou Jincheng, et al. Geochronology and Hf isotopes of zircon from volcanic rocks of

the Shuangqiaoshan Group, South China: Implications for the Neoproterozoic tectonic evolution of the eastern Jiangnan orogen [J]. Gondwana Research, 2008, 14:355-367.

[28] 周金城, 王孝磊, 邱检生. 江南造山带形成过程中若干新元古代地质事件[J]. 高校地质学报, 2009, 15(4):453-459.
Zhou Jincheng, Wang Xiaolei, Qiu Jiansheng. Some Neoproterozoic geological events involved in the development of the Jiangnan Orogen [J]. Geological Journal of China Universities, 2009, 15(4):453-459(in Chinese with English abstract).

[29] 李华芹, 谢才富, 常海亮, 等. 新疆北部有色贵金属矿床成矿作用年代学[M]. 北京:地质出版社, 1998:10-25.
Li Huaqing, Xie Caifu, Chang Hailiang, et al. Northern Xinjiang nonferrous and precious metal deposits mineralization chronology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998:10 -25 (in Chinese with English abstract).

[30] Ludwig K R. Isoplot/Ex, rev. 2', 49: A geochronological Toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley Geochronological Center, Special Publication No.1, 2001, 1-55.

[31] Hugh R. Rollison. 岩石地球化学 [M]. 杨学明, 杨晓勇, 陈双喜译. 合肥:中国科学技术大学出版社, 2000:1-243.
Hugh R.Rollison. Using Geochemical Data: Evalution, Presentation, Interpretation [M]. London:Longman Publishing Group, 1992:1-352.

[32] Boynton W V. Geochemistry of the rare earth elements: Meteorite studies [C]//Henderson P (ed.). Element Geochemistry. Amsterdam: Elsevier, 1984:63-114.

[33] Pearce J A. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins[C]//Hawkesworth C J, Norry M J. Continental Basalts and Mantle Xenoliths. Nantwich: Shiva Publishing, 1983:158-185.

[34] H G F 温克勒. 变质岩成因[M]. 张旗,周云生译. 北京:科学出版社, 1976:100-105.
Winkler H G F. Peptrogenesis of Metamorphic Rocks(2nd ed)[M]. New York: Springer-Verlag, 1967. 237p.

[35] Condie K C. Wronkiewicz D J. The Cr/Th ratio in Preeambrian pelites from the Kaapvaal Carton as an index of craton evolution[J]. Earth Planet Sci. Lett.,1990,97(3/4):256-267.

[36] 沈渭洲, 朱金初, 刘昌实, 等. 华南基底变质岩的 Sm-Nd 同位素及其对花岗岩类物质来源的制约[J]. 岩石学报, 1993, 9(2):115-124.
Shen Weizhou, Zhu Jinchu, Liu Changshi et al. Sm-Nd Isotopic study of basement metamorphic rocks in South China and its constraint on material sources of granitoids [J]. Acta Petrologica Sinica, 1993, 9(2):115-124.

[37] Wang Xiaolei, Zhou Jincheng, Griffin W L, et al. Detrital zircon geochronology of Precambrian basement sequences in the Jiangnan orogen: Dating the assembly of the Yangtze and Cathaysia Blocks [J]. Precambrian Research, 2007, 159:117-131.

[38] 李献华, 李正祥, 葛文春, 等. 华南新元古代花岗岩锆石 U-Pb 年龄及其构造意义 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2001, 20 (4): 271-273.
Li Xianhua, Li Zhengxiang, Ge Wenchun, et al. U-Pb Zircon ages of the Neoproterozoic granitoids in South China and their tectonic implications [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2001, 20 (4):271-273 (in Chinese with English abstract).

[39] 薛怀民, 马芳, 宋永勤, 等. 江南造山带东段新元古代花岗岩组合的年代学和地球化学: 对扬子与华夏地块拼合时间与过程的约束[J]. 岩石学报, 2010, 26(11):3215-3244.
Xue Huaimin, Ma Fang, Song Yongqin, et al. Geochronology and geochemisty of the Neoproterozoic granitoid association from eastern segment of the Jiangnan orogen, China:Constraints on the timing and process of amalgamation between the Yangtze and Cathaysia blocks [J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26 (11):3215-3244(in Chinese with English abstract).

[40] McLennan S M, Taylor S R, McCulloch M T, et al. Geochemical and Nd-Sr isotopic composition of deep-sea turbidites:Crustal evolution and plate tectonic association [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1990, 54(7):2015-2050.

[41] 马振东, 陈颖军. 华南扬子与华夏陆块古-中元古代基底地壳微量元素地球化学示踪探讨[J]. 地球化学, 2000, 29(6):525-531.
Ma Zhendong, Chen Yingjun. Geochemical discussion on Paleo-Mesoproterozoic basement crust of Yangtze and Cathaysia cratons in southern China:Using trace elements as tracers [J]. Geochimica, 2000, 29(6):525-531(in Chinese with English abstract).

[42] Fedo C M, Eriksson K A, Krogstad E J. Geochemistry of shales from the Archean (-3.0Ga) Buhwa greenshone belt, Zimbabwe: Implications for provenance and source weathering [J].Geochim Cosmochim Acta, 1996, 60(10):1751-1763.

[43] 伍家善, 耿元生, 沈其韩. 中朝古大陆太古宙地质特征及构造演化[M]. 北京:地质出版社, 1998.1-212.
Wu Jiashan, Geng Yuansheng, Shen Qihan. Archaean Geology Characteristics and Tectonic Evolution of Sino-Korea Paleo-Continent [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1998:1-212 (in Chinese with English abstract).

[44] Taylor S R, S M Mclennan. The continental crust: its composition and evolution[J]. Blackwell. New York, Oxford. 1985:1-328.

[45] Roser B P, Korsch R J. Provenance signatures of sandstone- mudst one suites determined using discriminant function analysis of major-element data [J]. Chemical Geology, 1988:67(1/2):119-139.

[46] Allegre C J, Minster J F. Quantitative models of trace element behaviour in magmatic processes [J]. Earth and Planetary Science Letters 1978, 38:1-25.

[47] Nelson B k, DePaolo D J. Comparison of isotope and petrographic provenance indicator sinsediments from Tertiary continental basins of New Mexico[J]. J. Sediment Petrol., 1988, 58:348-357.

[48] Bhatia M R, Crook K A W. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins [J]. Contrib. Mineral Petrol., 1986, 92:181-193.

Element characteristics and prominence analysis of meta- argillo - arenaceous rocks in Zhanggongshan area,Anhui-Jiangxi border region

ZHANG Yan-jie, LIAO Sheng-bin, ZHOU Xiao-hua, JIANG Yang, YU Ming-gang, JIANG Ren, ZHAO Xi-ling, CHEN Zhi-hong, ZHAO ling, HUANG Wen-cheng

(*Nanjing Center of China Geological Survey, Nanjing* 210016, *Jiangsu, China*)

Abstract: Located in the northern margin of the Jiangnan orogen (south of the Yangtze River), Zhanggongshan area of Anhui-Jiangxi border region contains very thick low greenschist-facies metamorphic flysch rocks dominated by argillo-calcareous fine-grained elastic rocks with minor volcanic materials. High precise isotopic dating shows that it was probably formed in Neoproterozoic between 821~840 Ma. It was bordered by obliquely crossed Jindezhen-Yintan structural belt with Xikou Group located in the southern part and Shuangqiaoshan Group in the northern part. REE and HFSE in these two groups, such as Nb, Ta, Zr, Hf and Nd, show similar characteristics, indicating that epimetamorphic rocks within the area have the same or similar original crust compositions, while the data $(La/Yb)_N$=4.66~13.63, δ Eu=0.09~0.3 and $(Gd/Yb)_N$=1.22~1.66 suggest that these low-grade metamorphic rocks mainly came from Late Archean upper crust composed of felsic rocks. Detrital zircon U-Pb ages are largely 826~2600Ma, showing evidently 5 peaks, i.e., 2500Ma, 2000~2200Ma, 1800Ma, 958Ma and 827~841Ma, dominated by young detrital zircons whose ages are very close to ages of volcanic rocks interbeded with clastic rocks, indicating that epimetamorphic rocks mainly resulted from contemporary igneous rocks. Differences in content and ratios of large-ion lithophile elements such as (LILE), Rb, Cs, Sr, Ba and Th, together with variations of Sr isotopic characteristics, suggest that Xikou Group and Shuangqiaoshan Group detrital rocks experienced different tectonic evolutions. Epimetamorphic volcanic-margin fine-grained clastic rocks were formed in a plate tectonic system related tectonic-sedimentary environment in which Xikou Group shows depositional characteristics of extensional continental margin while original rocks of Shuangqiaoshan Group display a continental island arc closed tectonic depositional environment, suggesting plate subduction depositional characteristics.

Key words: epimetamorphic argillo- arenaceous rocks; element characteristics; prominence; detrital zircon U-Pb age; Jiangnan orogen

---

About the first author: ZHANG Yan-jie, male, born in 1971, senior engineer, mainly engages in regional geological survey; E-mail: njzyj@126.com.