

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

福建西部早古生代杂砂岩特征 及其源区和构造背景

朱玉磷 邱盛安

(闽西地质大队, 福建)



福建西部早古生代杂砂岩属富石英杂砂岩类。稳定碎屑石英的高含量和不稳定碎屑长石、岩屑的强烈贫化,表现了沉积物具再旋回特点。很高的 SiO_2 含量及 CaO 、 Na_2O 的贫化,并以低的 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 、 TiO_2 和高的变化极大的 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})$ 与被动大陆边缘沉积的杂砂岩相类似。稀土元素模式及其参数特征相似于现代的和古代的被动大陆边缘环境沉积的杂砂岩。分析表明,本套杂砂岩的源区是以沉积岩、浅变质岩为主和中—酸性火成岩混合组成,所处的大地构造背景为构造上不活动的被动大陆边缘或弧后盆地环境。

用砂岩的物质成分来再造古大地构造背景及追溯源区母岩性质的研究工作,随着60年代以来大量的深海钻探资料的积累而得到迅速发展。对不同板块构造背景下所沉积的现代深海砂进行的源区分析工作,证实了砂岩的成分直接受源区母岩的物质组成所控制;并随大地构造位置的不同而变化。A. W. Crook (1974)^[1]总结和讨论了由不同构造背景的源区所控制的不同成分的杂砂岩; J. B. Maynard等 (1982)^[2]较全面地统计了世界各种构造背景下现代砂沉积的构架颗粒及化学成分,指出了一系列判别准则;最近又由M. R. Bhatia (1983、1985)^[3,4]进一步研究了澳大利亚东部塔斯曼地槽中各种不同构造环境下所沉积的杂砂岩化学成分及稀土元素特征,提出了用杂砂岩成分来判别、重塑源区和构造背景的各种参数和模式,使这项研究工作逐步趋向于成熟。

本文研究了福建西部早古生代杂砂岩的岩石、化学、稀土元素模式等特征,并与前人总结的各类构造环境下沉积的杂砂岩成分比较,对比了现代不同构造背景下沉积的深海砂成分,进而讨论了福建西部早古生代杂砂岩的特征、源区母岩性质及其所处的大地构造背景等问题。

一、地质背景

福建西部加里东期所处的古构造位置为华南加里东阶段华夏洋壳演化区中部晚期褶皱带^[5]。该区早古生代地层岩性组合总体上为一套厚达8 000余米的浅变质砂、泥、硅质复理石建造,系半深海—深海相的浊流、底流及正常深海相沉积^①。本文研究区内的永安—清流一带早古生代地层发育较完整,尤以永安魏坊一带研究程度较高。几年来在该区进行的1:50 000区域地质调查工作,重新厘定了该套地层层序^②,综合了岩性组合特征。现将魏坊一带下古生界自下而上简介如下。

魏坊群 下部以中厚层状变质中细粒(含长石)石英杂砂岩为主,薄层变质粉砂岩、千枚状泥岩次之,砂、泥比值为1.80。岩层中发育完好的浊积岩沉积特征,鲍玛层序组合一般为

① 朱玉磷等, 1989, 论福建魏坊地区早古生代地层沉积特征。

② 朱玉磷等, 1988, 对福建西部早古生代地层划分及对比问题的商榷, 福建地质, 第7卷, 第2期。

本文1988年1月收到, 1989年3日改回, 沈晓毅编辑。

bcde、de、cde等。中部以薄层状变质细砂岩、粉砂岩、千枚状泥岩互层,各层间大多具清晰的顶底,有明显的底流改造特征。上部为特征的泥、硅质岩互层的条带组合,层厚相当稳定,一般在2—3cm,层中仅见一些水平纹层,系一种宁静环境下的深海硅、泥质交替的沉积。本段地层未见底,厚度大于743m。

东坑口群 为厚—巨厚层状的变质中细粒(含长石)石英杂砂岩,间夹少量中—薄层状变质粉砂岩或千枚状泥岩,鲍玛层序组合一般为ab、ac、acd等,以a段砂岩为主,甚至在其中、下部仅发育a段,岩性为单一的块状砂岩。本段地层整合于下伏魏坊群地层之上,厚度大于746m。

罗峰溪群下段 为薄层状变质泥硅岩、变质硅质岩与含碳千枚状泥岩或千枚状粉砂岩互层产出,为正常深海相沉积产物。下部以中薄层状砂、泥质浊积岩组合为主,并夹重晶石矿层及大理岩透镜体。本段地层整合于下伏东坑口群之上,为上泥盆统砂砾岩所覆,厚度大于655m。

关于本套地层的时代,前人在魏坊群中上部曾采获*Didymograptus* sp.,*Climacograptus* sp.而将魏坊群时代置于早奥陶世^①。按地层层序及本次工作所采获的大量在中—一晚奥陶世繁盛的几丁虫分子组合来看,东坑口群、罗峰溪群下段地层的时代置于中、晚奥陶世是比较适宜的。

本文分析的杂砂岩,岩石薄片矿物碎屑统计部分引自省区域地质调查队早古生代地层专题研究报告资料。硅酸盐全分析、稀土配分样品在永安魏坊一带主要是取自于上述三段地层中浊流成因的杂砂岩,清流一带的杂砂岩样均采自东坑口群中。

二、杂砂岩的岩石学特征及源区、构造背景

所研究的杂砂岩,统计了191个岩石薄片的构架颗粒砂,以石英为主,一般占总量的50—80%,平均59.85%,不稳定的组分长石、岩屑仅占5.79%,其余为泥质杂基和胶结物。与欧洲克里米亚三叠系塔里歇斯卡耶组的17个富石英杂砂岩平均值^[1]和北大西洋西部地区的92个现代深海砂样的平均值^[1]比较(表1),明显介于二者之间,具典型的富石英杂砂岩类型。用该杂砂岩中碎屑石英、长石、岩屑的相对比例值与世界一些已知源区类型和大地构造背景的古砂岩、现代深海砂相比较(表2),很明显,本文所研究的杂砂岩与被动大陆边缘沉积的古砂岩、现代砂相似,指示了福建西部早古生代杂砂岩是属于被动边缘或弧后盆地(亦属被动边缘范畴)沉积的砂。

杂砂岩中杂基含量一般为20%,局部可高达40—50%。碎屑粒度变化在0.05—1.6mm,70多个岩石薄片粒度分析结果,其中处于浊积岩层序中的a、b单元的杂砂岩标准偏差0.80—1.80,表现了分选性较差、结构成熟度低的特征。

杂砂岩中所见岩屑以石英岩最多,千枚岩次之,变粒岩、英安岩、花岗岩等则极少见到。一些保存较好的长石碎屑,具有较清晰的双晶纹,是以钠—更长石为主的酸性斜长石,钾长石含量较斜长石更少。石英碎屑多以单晶颗粒出现,具镶嵌接触多晶者较少。

综合二十多个杂砂岩的重矿物分析结果,出现稳定的异源重矿物主要为锆石、电气石、磷灰石、独居石及榍石、金红石和少量的角闪石,偶尔还出现极少数的刚玉。这些重矿物大多呈滚圆状。锆石以浅褐黄色、浅粉红色、浅黄色为主,并可见一些晶面具熔蚀凹坑和裂纹,内部可见黑色固体及气液包体。

综上述,福建西部早古生代杂砂岩以富石英、低长石、岩屑的特征表现其成分的高成熟度及沉积物具高度的再旋回特点,而这种再旋回的性质则表明源岩是以沉积岩和变质沉积岩为主。再考虑重矿物的组合及其标型特征诸因素,认为源区尚存在部分中—酸性火成岩。对比已有资料

① 李兼海、朱义华、李仁杰,1983,论福建西部早古生代地层的划分及对比。福建地质,第2卷,第1期。

表 1 选定的杂砂岩和深海砂的形态组分 (%)⁽¹⁾

Table 1 Percentages of debris component of the selected graywacke and deep sea sand

组 分	杂 砂 岩 和 砂								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
石 英	8.8	0.4	—	29.16	19.57	26.93	48.94	80.2	59.85
钾 长 石	—	—	—	2.06	2.34	9.18	} 4.71	9.4	} 4.20
斜 长 石	67.5	12.7	2.0	2.92	21.05	18.36		1.0	
蛇 纹 岩	—	—	29.0	—	—	—	—	—	—
花岗岩及片岩	—	—	13.5	—	} 14.22	9.55	} 2.76	1.0	} 1.59
火山岩屑	2.5	63.6	13.0	—		11.02		—	
沉积岩屑	—	—	6.0	20.63	5.12	6.12	—	—	—
浅变质岩屑	—	—	12.0	9.96	22.45	—	—	1.0	—
白 云 母	—	—	—	—	0.75	—	} 5.65	} 1.0	} 1.11
黑 云 母	—	—	—	—	2.14	2.45			
绿 泥 石	1.7	—	—	—	7.67	0.37	—	—	—
辉石和普通角闪石	—	1.5	—	—	0.07	0.37	—	—	—
其他重矿物	0.4	0.6	1.5	—	—	1.08	—	5.2	微
碳酸盐物质	1.4	0.4	—	—	—	—	—	—	—
混杂的岩屑	—	—	—	—	—	—	0.53	1.0	—
基 质	16.02	20.3	—	35.24	—	10.31	15.41	—	20.08
胶 结 物	1.78	0.5	23.0	—	4.63	3.99	20.21	—	12.33
总 计	100.1	100.0	100.0	99.97	100.01	99.73	99.80	99.8	99.16

A. 斜长杂砂岩, 石炭纪, 新英格兰, 澳大利亚 (Crook, 1960b)。

B. 31个泥盆系火山岩屑贫石英杂砂岩样的平均值, 新英格兰, 澳大利亚 (Chappell, 1968)。

C. 蛇纹岩杂砂岩, 三叠系; 哥伦比亚北海岸盆地 (Zimmerle, 1968)。

D. 5个岩屑石英含量中等的杂砂岩的平均值, 马丁斯堡组, 奥陶系; 阿帕拉契亚 (McBride, 1962)。

E. 76个岩屑石英含量中等的杂砂岩样的平均值, 泥盆纪坦纳 (Fanner) 杂砂岩; 德国哈尔茨 (Harz) (Huckenholz, 1959)。

F. 7个岩屑石英含量中等的杂砂岩样的平均值, 轴部相, 上古生界和中生界; 新西兰地槽 (Dickinson, 1971)。

G. 17个富石英杂砂岩岩样的平均值, 克里米亚 (Crimea) 三叠系塔里歇斯卡耶 (Tarricheskaya) 组 (Logvinenko 等, 1961)。

H. 92个现代深海砂样的平均值; 北大西洋, 西部地区 (Hubert 和 Neal, 1967)。

I. 191个富石英杂砂岩薄片统计平均值, 福建西部早古生代。

(表 1、2), 与所研究的杂砂岩成分相类似的现代砂或古代富石英杂砂岩类的出现往往与构造上静止的大陆边缘相毗邻, 表明源区属于一种稳定的大陆地台型构造背景。

三、杂砂岩化学成分特征及其源区和构造背景

采自闽西永安、清流一带的早古生代杂砂岩的硅酸盐化学全分析结果列于表 3 中, 并且对比了澳大利亚东部塔斯曼地槽中的 Bendigo、Cookman 杂砂岩系的化学成分。经对比, 本文所分析的 25 个杂砂岩化学成分与已确认的被动大陆边缘沉积的 Bendigo、Cookman 杂砂岩系的化学成分在标准偏差允许的范围内几乎完全相似。说明它们之间具有相类似的沉积构造背景与源区母岩性质。这些被动边缘砂岩以 SiO_2 的高丰度和 Na_2O 、 CaO 及 TiO_2 的低丰度为特征。从表 1、2 中同样可见这些特征, 显示了富石英杂砂岩的共有特点。贫化的 CaO 、 Na_2O 含量, 是由于在搬运过程中不稳定碎屑 (长石、岩屑) 亏损引起的, 从而揭示了杂砂岩具有成分高成熟度和沉积物再旋回的特点, 这个结果则说明了源区母岩中的沉积岩或沉积变质岩占有绝对优势。

表 4 引用了 M. R. Bhatia (1983) 总结的各种不同构造背景下沉积的杂砂岩化学成分主要参

表 2 所选定的杂砂岩和现代砂的碎屑组分 (%) 及源区构造背景
 Table 2 Percentages of the debris components of the graywackes and the deep sea sand; showing different geotectonic backgrounds

产 地	时 代	样 数	碎 屑 组 分			源区构造背景
			Q	F	L	
1 福建西部	O	191	91	6	3	被动大陆边缘
2 北大西洋西部	Q ₄	92	88	11	1	
3 欧 洲	T	17	86	8	6	
4 Bendigo	O	9	94	3	3	
5 Cookman	S	8	87	1	12	
6 Hodgkinson	D	21	71	18	11	活动大陆边缘 } 大陆岛弧
7 Hill End	S-D	29	54	17	23	
8 阿帕拉契亚	O	5	45	8	47	
9 德国哈尔茨	D	76	23	28	49	
10 新 西 兰	P ₂ -M ₂	7	33	34	33	
11 秘鲁海沟	Q ₄	46	18	44	38	
12 Tomworth	D	11	8	41	51	大洋岛弧
13 澳大利亚	C		11	86	3	
14 澳大利亚	D	31	1	16	83	

1. 191个石英类杂砂岩岩石薄片统计平均值, 福建西部早古生代。

2、3、8、9、10、13、14中数据引自A. W. Crock (1974)⁽¹⁾, 其中的2相当于表1中的H、3相当于G、8相当于D、9相当于E、10相当于F、13相当于A、14相当于B。

4、5、6、7、12, 澳大利亚东部塔斯曼地槽古生代杂砂岩 (M. R. Bhatia)⁽²⁾。

11. 取自于秘鲁一智利海沟中的46个现代沉积砂的平均值 (L. N. Yerino和J. B. Maynard, 1984)⁽³⁾。

数特征。表中可见, 福建西部杂砂岩具有较低的 $Fe_2O_3 + MgO$ (2.75%), Al_2O_3/SiO_2 (0.12), TiO_2 (0.49%) 和变化极大且高的 K_2O/Na_2O (1.28—27.38, 平均9.27), $Al_2O_3/(CaO + Na_2O)$ (4.09—86.21, 平均27.05), 与所列举的被动边缘型砂岩特征相吻合。Bhatia 指出⁽³⁾, 虽然被动边缘与活动边缘的参数特征有少量重叠, 但表4中 K_2O/Na_2O , $Al_2O_3/(CaO + Na_2O)$ 值显示的巨大变化, 正是被动边缘型砂岩区别于活动边缘型砂岩的重要根据之一。

在 $Fe_2O_3 + MgO$ 对 TiO_2 和 Al_2O_3/SiO_2 , $Al_2O_3/(CaO + Na_2O)$, K_2O/Na_2O 值所做的图解中, 图1a、b中大部分样品投入所圈定的被动边缘区域, 仅少量样品由于 TiO_2 , Al_2O_3/SiO_2 值偏高而落于区外。在图1c、d中绝大多数样品均落到图外, 但其 $Fe_2O_3 + MgO$ 值正处于图上所标定的被动边缘范围之内, 这些点之所以落于图外, 是由于其 K_2O/Na_2O 和 $Al_2O_3/(CaO + Na_2O)$ 值很高所致, 而这一点恰是被动大陆边缘型砂岩典型特征的反映。

以这些杂砂岩化学成分投绘于 $CaO-Na_2O-K_2O$ 三端元图解上 (图2), 图上也标出了各种构造背景的砂岩成分分布范围。这些样品在图中的分布区与被动边缘型的澳大利亚东部塔斯曼地槽的 Bendigo、Cookman 杂砂岩系相一致, 指出了它们所处的大地构造环境的源区物质是相类似的。图上所有样品点均集中于 K_2O 一侧, 充分显示出其相对富 K_2O 而贫 CaO 、 Na_2O , 表明了这些杂砂岩具有高成熟度及再旋回的特点。

采用 Bhatia (1983) 提出的判别公式及判别函数系数值对杂砂岩的化学组成进行判别分析。以11个主要元素的氧化物作为变量计算得出判别得分值, 将所算得的判别得分值投入判别函数对 I 和 II 的直角坐标图 (图3) 中。如图3所示, 有77.3%的点集中在被动边缘区内, 只有部分落入活动边缘区。这个结果指出了这些样品的沉积环境是处于被动边缘, 少量样品的偏离说明了被动

表 3 福建西部早古生代杂砂岩化学成分数据(%)和地球化学成熟度指数

Table 3 The data of the chemical compositions (%) and the maturity index of geochemical for the early Palaeozoic graywacke in western Fujian

	YQ01	YQ02	YQ03	YQ04	YQ05	YQ06	YQ07	YQ08	YQ09	YQ10	YQ11	YQ12	YQ13	YQ14	YQ15
SiO ₂	75.31	87.19	83.86	79.21	83.40	86.06	76.81	85.26	84.09	85.40	73.24	75.18	81.23	82.39	78.67
Fe ₂ O ₃	3.22	0.96	1.34	2.80	1.93	1.24	1.55	2.85	1.98	1.81	1.00	2.51	1.32	2.97	2.66
FeO	1.92	1.22	2.00	0.90	1.22	1.34	2.63	0.62	1.30	2.07	6.20	3.02	1.96	0.82	0.84
Al ₂ O ₃	11.14	6.47	7.38	10.69	7.99	6.86	10.21	6.60	7.60	5.56	11.68	11.42	8.99	8.05	10.46
TiO ₂	0.53	0.37	0.37	0.50	0.35	0.42	0.67	0.28	0.34	0.35	0.49	0.58	0.41	0.55	0.58
CaO	0.19	0.06	0.14	0.03	0.03	0.25	0.32	0.06	0.03	0.26	0.11	0.03	0.09	0.06	0.24
MgO	1.11	0.47	0.72	0.43	0.66	0.39	1.50	0.43	0.72	0.81	1.55	1.61	1.07	0.56	0.57
K ₂ O	2.86	0.68	1.84	2.06	1.58	1.78	2.48	0.86	1.29	1.10	2.26	2.31	1.70	1.67	2.32
Na ₂ O	0.12	1.34	0.14	0.09	0.09	0.13	1.22	0.12	0.15	0.08	0.17	0.12	0.48	0.06	0.26
P ₂ O ₅	0.15	0.06	0.13	0.07	0.07	0.06	0.25	0.06	0.05	0.14	0.09	0.10	0.07	0.09	0.07
MnO	0.10	0.04	0.04	0.06	0.21	0.06	0.06	0.08	0.08	0.06	0.03	0.03	0.20	0.06	0.02
Al ₂ O ₃ /SiO ₂	0.15	0.07	0.99	0.13	0.10	0.08	0.13	0.08	0.09	0.07	0.16	0.15	0.11	0.10	0.13
Fe ₂ O ₃ + MgO	4.33	1.43	2.06	3.23	2.59	1.63	3.05	3.28	2.70	2.62	2.55	4.12	2.39	3.53	3.23
Al ₂ O ₃ /CaO + Na ₂ O	36.41	4.62	26.08	86.21	64.44	17.96	6.57	37.50	41.30	16.40	42.32	78.76	15.77	66.53	20.84
K ₂ O/Na ₂ O	24.66	0.51	12.89	21.91	16.81	13.48	2.03	7.41	8.38	14.10	13.61	20.09	3.54	27.38	8.85
	YQ16	YQ17	YQ18	YQ19	YQ20	YQ21	YQ22	YQ23	YQ24	YQ25	\bar{X}	Bd ^① /SD	Ck ^① /SD		
SiO ₂	84.95	78.82	76.11	75.52	75.98	75.22	75.30	73.17	80.75	76.69	79.59	83.79	5.0	85.63	5.5
Fe ₂ O ₃	1.38	1.09	1.48	1.15	1.27	1.38	0.67	1.82	0.94	0.93	1.69	0.55	0.2	0.53	0.5
FeO	1.22	3.19	2.86	3.00	3.06	3.10	3.38	2.70	3.38	2.99	2.28	1.57	0.5	0.48	—
Al ₂ O ₃	7.51	9.60	10.29	11.27	11.29	11.36	10.78	12.65	8.71	10.81	9.41	7.36	2.5	7.85	2.7
TiO ₂	0.38	0.44	0.86	0.62	0.55	0.58	0.65	0.55	0.44	0.53	0.49	0.49	0.1	0.27	0.1
CaO	0.06	0.06	0.57	0.83	0.05	0.12	0.24	0.09	0.16	0.21	0.17	0.18	—	0.10	—
MgO	0.68	1.40	1.07	1.47	1.83	1.35	1.50	1.57	1.29	1.71	1.06	0.98	0.38	0.39	0.4
K ₂ O	1.82	2.42	2.84	2.40	2.22	2.53	3.00	3.22	1.79	2.34	2.05	1.30	0.5	1.27	0.8
Na ₂ O	0.48	0.13	1.86	1.87	1.66	1.63	1.36	1.40	1.97	0.95	0.72	1.36	0.4	0.89	1.5
P ₂ O ₅	0.08	0.06	0.17						0.11	0.12	0.10	0.13	—	0.08	—
MnO	0.04	0.09	0.08	0.06	0.06		0.08	0.07	0.06	0.03	0.07	0.2	—	0.01	—
Al ₂ O ₃ /SiO ₂	0.09	0.12	0.14	0.15	0.15	0.15	0.14	0.17	0.11	0.14	0.12				
Fe ₂ O ₃ + MgO	2.06	2.49	2.55	2.62	3.10	2.73	2.17	3.39	2.23	2.64	2.75				
Al ₂ O ₃ /CaO + Na ₂ O	13.91	50.53	4.23	4.17	6.60	6.49	6.74	8.49	4.09	9.32	27.05				
K ₂ O/Na ₂ O	3.79	18.62	1.53	1.28	1.34	1.55	2.21	2.30	0.91	2.46	9.27				

① Bd、Ck为澳大利亚东部早古生代塔斯曼地槽中被动大陆边缘环境下沉积的Bendigo、Cookman杂砂岩系，样品数 Bd为7个、Ck为8个⁽³⁾，SD为1次标准偏差。

表 4 不同构造背景下沉积的杂砂岩化学成分主要参数⁽³⁾

Table 4 The main parameter of chemical composition of graywacke sedimenting various geotectonic backgrounds

构造背景	TiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ + MgO (%)	Al ₂ O ₃ /SiO ₂	K ₂ O/Na ₂ O	Al ₂ O ₃ /CaO + Na ₂ O
大洋岛弧	0.8—1.4	8—14	0.24—0.33	0.2—0.4	1—2
大陆岛弧	0.5—0.7	5—8	0.15—0.20	0.4—0.8	0.5—2.5
活动边缘	0.25—0.45	2—5	0.1—0.2	≈1	
被动边缘	较低	较低	较低	>1, 且变化大	较高, 变化大
福建西部	0.49	2.75	0.12	9.27, 变化极大	27.05, 变化极大

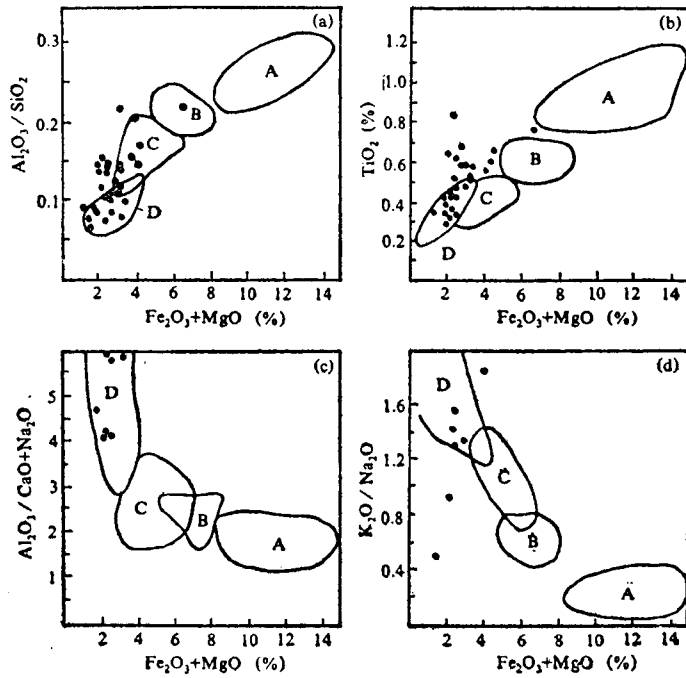


图 1 砂岩构造背景的化学成分判别图⁽³⁾

Fig. 1 The discrimination for the geotectonical backgrounds with the chemical compositions of sand rocks

A—大洋岛弧; B—大陆岛弧; C—活动边缘; D—被动边缘

A—Oceanic island arcs; B—Continent island arcs; C—Active margin; D—Passive margin

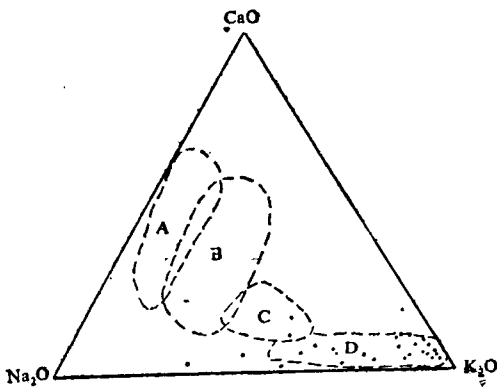


图 2 杂砂岩CaO-Na₂O-K₂O三组分图解

Fig. 2 The CaO-Na₂O-K₂O ternary pot of graywacke

A—大洋岛弧; B—大陆岛弧; C—活动边缘; D—被动边缘

A—Oceanic island arcs; B—Continent island arcs; C—Active margin; D—Passive margin

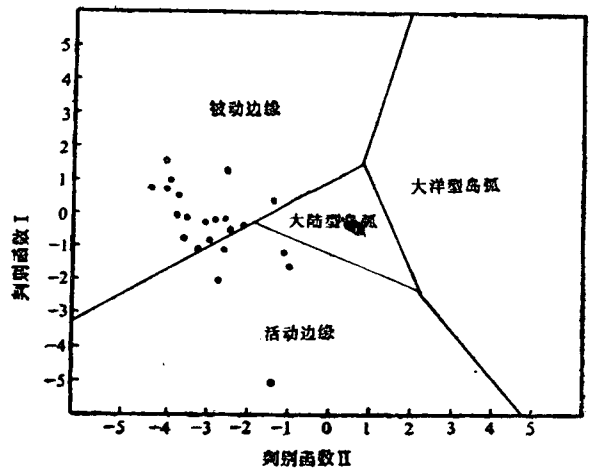


图 3 杂砂岩构造背景的化学成分函数 I 对 II 的判别比数图解

(据Bhatia, 1983)⁽³⁾

Fig. 3 The discriminating ratios of Function I to Function II of the chemical composition of graywackes of the geotectonic backgrounds

表 5 福建西部早古生代杂砂岩稀土元素数据 (ppm) 和参数特征
 Table 5 REE data (ppm) and their characteristic for the early Palaeozoic graywacke in western Fujian

La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	La/Yb	$\frac{La_N}{Yb_N}$	$\frac{Eu}{Eu^*}$	ΣREE	La/Sm	$\frac{\Sigma LREE}{\Sigma HREE}$
xp01	30.95	54.71	7.78	27.61	5.17	0.77	4.68	0.94	3.92	0.86	0.39	2.46	0.44	21.10	12.85	7.47	0.53	164.78	5.99	7.9
xp02	33.08	55.36	8.11	25.20	5.00	0.65	4.08	0.85	3.14	0.76	0.37	2.37	0.40	19.21	13.96	8.29	0.49	161.55	6.62	8.9
xp03	36.65	52.26	8.28	28.46	5.78	0.84	4.95	1.02	4.36	0.84	0.43	2.37	0.46	24.10	15.47	9.19	0.54	173.97	6.34	7.9
xp04	35.13	50.80	8.11	25.72	5.52	0.77	4.51	0.94	3.75	0.84	0.40	2.37	0.46	21.50	14.82	0.80	0.53	164.14	6.36	8.0
xp05	42.12	55.68	11.34	40.64	8.71	1.20	6.77	1.19	4.97	1.22	0.54	3.16	0.55	27.88	13.33	7.92	0.53	210.34	4.84	7.3
xp06	41.27	73.27	9.60	33.61	6.47	0.77	5.12	1.02	3.75	0.81	0.39	2.28	0.45	21.10	18.10	10.75	0.47	202.97	6.38	10.2
xp07	42.63	74.90	10.27	36.35	7.24	0.99	5.90	1.19	4.27	1.05	0.53	2.90	0.51	25.83	14.70	8.73	0.52	217.36	5.89	9.5
xp08	37.18	63.17	8.44	30.78	6.04	0.90	5.47	1.02	4.01	0.85	0.42	2.20	0.43	21.42	16.90	10.03	0.54	184.96	6.16	9.0
xp09	38	71	8.3	35	6.7	1.26	5.8	<1	4.7	0.94	0.60	3.0	<0.5	30	12.67	7.52	0.66	209.80	5.67	8.35
xp10	40	85	8.3	33	6.5	1.25	5.3	<1	4.6	1.00	0.55	3.2	<0.5	29	12.50	7.42	0.69	222.00	6.15	9.4
xp11	48	84	12.3	40	7.8	1.33	6.8	<1	5.1	1.28	0.80	3.4	<0.5	36	14.12	8.38	0.60	251.71	6.15	8.8
xp12	37	67	7.2	36	5.9	1.16	5.3	<1	4.3	0.93	0.48	2.7	<0.5	26	13.70	8.14	0.68	194.87	6.27	8.8
xp13	48	84	10.9	39	7.2	1.36	5.8	<1	4.7	1.09	0.60	3.0	<0.5	28	16.00	9.50	0.68	237.45	6.67	10.0
xp14	55	95	12.9	45	8.2	1.46	6.7	<1	5.0	1.32	0.60	3.1	<0.5	31	17.74	10.53	0.64	269.98	6.71	10.3
xp15	45	85	7.9	35	7.4	1.39	6.6	<1	5.4	1.09	0.67	3.7	<0.5	37	12.16	7.22	0.65	241.35	6.08	8.1
xp16	40	71	7.5	30	5.3	1.06	4.8	<1	3.5	0.89	0.38	2.3	<0.5	21	17.39	10.32	0.70	191.52	7.55	10.1
\bar{x}	40.63	70.13	9.20	33.65	6.56	1.07	5.54	1.01	4.34	0.99	0.51	2.78	0.48	26.26	14.76	8.76	0.59	199.92	6.24	8.9

注: La_N, Yb_N为球粒陨石标准化值。

边缘与活动边缘有一些重叠, 或有可能指示了其源区存在变质岩和中一酸性火成岩成分。

从上述杂砂岩化学成分及其参数特征分析, 本文所研究的杂砂岩具有高度的再旋回特点, 源区母岩以沉积岩为主, 变质岩、中一酸性火成岩也有相当数量, 所处为被动大陆边缘的构造上稳定的环境。

四、杂砂岩的稀土元素特征与其源区和构造背景

一般认为, 稀土元素(REE)是不活泼的, 在沉积过程中只有稍许的变化。虽然也有人指出, 在地台沉积物大面积的风化剖面中, 轻稀土元素(LREE)有微弱富集, 但在地槽沉积物中, 由于风化条件普遍较差, REE分异较少, 所以源岩的REE特征被如实地保存在由浊流和重力流作用沉积的复理石沉积物中^[1]。而本文所研究对象, 正是地槽型浊流快速沉积的复理石中的杂砂岩, 因此可以利用其REE特征与各种大地构造背景源岩的REE特征对比, 进而判别其类型。

杂砂岩的稀土元素分析结果及一些参数列于表5中。这些杂岩砂都具有较高的 Σ REE含量(平均199.92ppm), La含量也较高(40.63ppm), La/Yb值平均为14.76, La_N/Yb_N平均值为8.76, La/Sm值平均6.24, 这些特征都极类似于俄罗斯地台、北美地台粘土平均值及深埋的墨西哥湾现

表 6 各种构造背景中安山岩、沉积物稀土元素(ppm)及参数

Table 6 REE (ppm) contents of andisite and sediment of various geotectonic backgrounds

	大洋岛弧 ^①		大 陆 ^①	安 第 ^①	俄罗斯 ^②	美利坚 ^②	墨 西 ^③	福 建 ^④
	低 钾	“其它的”	岛 弧	斯 型	陆台粘土	陆台粘土	哥 湾	西 部
La	3.0	11.7	17	28.5	34	35.5	38.48	40.63
Ce	6.9	23.5	37	60.7	67	71	75.7	70.13
Pr	1.27	2.9	4.7	7.3	8.7	7.9		9.20
Nd	7.8	17	18.3	30.6	30.5	33.5		33.65
Sm	2.6	4.15	3.87	4.9	6.9	6.3	7	6.56
Eu	1.0	1.37	1.11	1.29	1.4	1.26	1.43	1.07
Gd	2.4	3.4	3.1	4.3	5.6	5.73	7.5	5.54
Tb	0.52	0.70	0.57	0.65		0.97	0.93	1.01
Dy	3.0	3.5	3.15	3.55	4.5	6.0		4.34
Ho	0.9	0.86	0.76	0.60		1.2	1.15	0.99
Er	2.5	2.5	2.2	1.7	3.3	3.3		3.06
Yb	2.55	1.86	2.04	1.5	2.6	3.3	2.83	2.78
Σ REE	34.4	73.46	93.79	146	200	204	186.25	199.92
La/Yb	1.2	6.4	8.9	16.5	13.08	10.76	13.59	14.76
La _N /Yb _N	0.7	3.73	4.95	11.3	7.77	6.84	8.08	8.76
La/Sm	1.2	4.0	4.3	5.3	4.93	5.6	5.49	6.24
Σ LREE	1.8	4.6	6.8	10.7	8.02	7.85	7.4	8.9
Σ HREE								
Eu/Eu*	1.3	1.18	1.03	0.96	0.73	0.7	0.66	0.59
Th	0.72	1.95	5.36	6.0				18.4
U	0.37	0.62	1.6	1.25				3.9
Th/U	1.7	2.8	3.6	4.8				4.9

① 不同构造背景的安山岩数据据Bailey (1981)^[4]。

② 据罗诺夫(1967)、哈斯金等(1966)^[5]。

③ 4个深埋的墨西哥湾沉积物稀土上均值, S. Chaudhuri等,(1979)^[7]。

④ Th, U含量为26个杂砂岩均值。

代沉积物 (表6)。

从砂岩REE数值所作的稀土模式图上 (图4) 可以看出, 其模式与北美页岩 (NAS) 型式相似, 并且可明显有别于活动边缘、大陆岛弧、大洋岛弧的平均安山岩模式。并以 Σ LREE (轻稀土元素La—Sm) 比 Σ HREE (重稀土元素Gd—Yb) 富集度高, Σ LREE/ Σ HREE为7.3—10.3 (平均8.9), 显著的负Eu/Eu*异常为特征 (Eu/Eu*为0.47—0.69, 平均0.59), 类似于深埋的墨西哥湾沿岸沉积物、大西洋西北部现代浊流沉积和澳大利亚塔斯曼地槽中处于被动边缘沉积的Bendigo、Cookman杂砂岩系的REE特征⁽⁴⁾。算得dCe、dEu、dTb、dTm异常型式为“— + +”, 这一特征也与被动边缘环境、地台沉积物一致, 而可以与其他各种构造环境相区别。同时, Tb、Tm的正异常也反映了其物质来源于上地壳⁽⁸⁾。

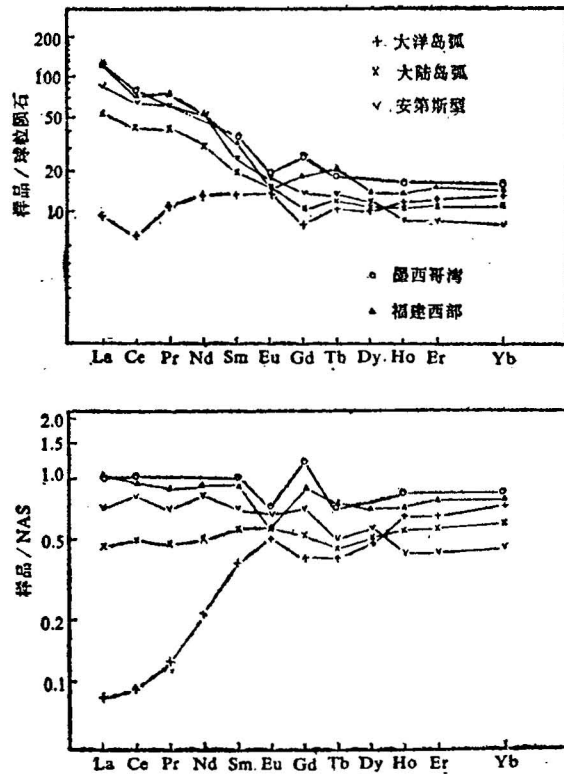


图4 各种构造背景及杂砂岩的REE模式 (据表6数据)

Fig. 4 The REE models of the graywacke of various geotectonic backgrounds (data from table 6)

NAS为北美页岩REE均值; 墨西哥湾现代沉积物, 福建西部杂砂岩代表被动边缘环境。

NAS is the average value of REE abundance of the shale in North America shale. the modern sediment in Mexico gulf, the gray wacke in western Fujian representing passive border environment.

从杂砂岩及各种不同构造环境的源岩Th、U含量的变化来看也具有很明显的规律 (表6)。统计了26个杂砂岩的Th、U背景值, Th含量平均为18.4ppm, U平均为3.9ppm, Th/U值平均为4.9。从表6中可见各种构造背景具有从大洋岛弧→大陆岛弧→活动边缘→被动边缘, 其Th、U含量及T/hU值稳定递增, 这一特征可以很明显的把被动边缘环境与其他构造背景相区别。一般来说, Th、U的高含量主要与中酸性火成岩关系较为密切, 故可以推断其源区所存在的中一酸性岩浆岩占有一定的比例。

将最具有代表性的REE模式和参数表示在图4和表6上。从表6中可明显看出, 不同的构造

背景因其源区类型不同,所以在其REE特征上呈现出很大的变化。从大洋岛弧→大陆岛弧→活动边缘→被动边缘,La、Ce、 Σ REE、La/Sm、Th、U、Th/U具有规律的递增,而Eu/Eu*则有规律递减。福建西部早古生代杂砂岩的这些参数特征明显与被动大陆边缘型杂砂岩、现代沉积物、地台沉积物相似,而和其他构造背景有着显著的差别。因此,其所处源区的构造背景为稳定的被动大陆边缘类型。

五、结 论

1. 福建西部早古生代杂砂岩属典型的富石英杂砂岩类型,其构架砂颗粒石英、长石、岩屑的相对比例平均为 $Q_{91}F_6L_3$ 。重矿物组合为锆石-电气石-磷灰石-独居石类型。

2. 杂砂岩化学特征表现了具有高含量的 SiO_2 (79.59%)和较低的 CaO (0.17%)、 Na_2O (0.72%)。参数特点为较低的 $Fe_2O_3 + MgO$ (2.75%)、 Al_2O_3/SiO_2 (0.12)、 TiO_2 (0.49%)和高的变化极大的 K_2O/Na_2O (1.28—27.38, 平均9.27)、以及 $Al_2O_3/(CaO + Na_2O)$ (4.09—86.2 平均27.05)。

3. 稀土元素特征揭示了具有较高的 Σ REE (199.92ppm)、La (40.63ppm)、Ce (70.13 ppm)含量,各种稀土参数La/Yb (14.76)、 La_N/Yb_N (8.76)、La/Sm (6.24)、 Σ LREE/ Σ HREE (8.9)和被动边缘型的砂岩、现代砂极为相似。Eu/Eu*的亏损、dTb、dTm的正异常均显示了其具有上地壳物源特征。

4. 杂砂岩的上述特征与已知的被动边缘型的古代杂砂岩、现代深海砂具有非常一致的相似性,说明了这些杂砂岩的沉积环境也是处于构造上稳定的被动大陆边缘或弧后区盆地。

5. 一系列证据提示了这些杂砂岩的源区母岩以沉积岩为主,浅变质岩和中~酸性火成岩混合组分为次的特征。

本文是1:50000安砂、贡川幅区域地质调查中下古生界地层专题研究部分,系集体劳动成果,参加野外工作的主要人员还有张志贤、李金华、邹喜春等,成文中还收集了一些前人资料,之后承省地质科学研究所所长王振民、省地矿局边效曾高级工程师的审阅,在此一一表示谢意!

参 考 文 献

- [1] 罗正华、刘铭全译 (Crook, A. W. 著), 1982, 岩石成因与大地构造: 复理石层粗砂碎屑岩(杂砂岩)成分变化的意义。板块构造与沉积作用, 第160—167页。地质出版社。
- [2] 杨红译 (Yerino, L. N., Maynard, J. B. 著), 1986, 秘鲁—智利海沟及其邻区现代海砂的岩石学, 国外地质, 第4期。
- [3] Bhatia, M. R., 1983, Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. The Journal of Geology, Vol. 91, No. 2, pp. 11—629.
- [4] 陈世益译 (Bhatia, M. R. 著), 1987, 澳大利亚古生代杂砂岩和泥岩的稀土元素地球化学: 源区和构造控制。地质地球化学, 第5期。
- [5] 杨巍然、胡德祥、张旺生, 1986, 华南加里东阶段古构造特征。华南地区古大陆边缘构造史, 第39—64页, 武汉地质学院出版社。
- [6] 文启忠、余素华, 1979, 沉积过程中的稀土元素。地质地球化学, 第5期。
- [7] 余素华译 (Chaudhuri, S. 著), 1981, 墨西哥湾海岸深部埋藏的沉积物中稀土元素的分布。地质地球化学, 第2期。
- [8] 戴凤岩、张翎钧, 1987, 稀土元素中某些元素异常值在岩石成因研究中的意义。武汉地质学院地质科技情报, 第6卷, 第2期。

THE CHARACTERISTICS OF THE EARLY PALAEOZOIC GRAYWACKE IN WESTERN FUJIAN AND ITS PROVENANCE AND TECTONIC SETTING

Zhu Yulin and Qiu Sengan

(*Western Fujian Geological Party, Fujian*)

Abstract

The study of petrology, major element geochemistry and REE patterns shows that graywacke in western Fujian belongs to typical quartz-rich graywacke. The high content of stable clastic quartz and strong depletion of unstable clastic feldspar and rock fragments suggest the recyclicity of sediments. The major element geochemical analysis reveals a very high SiO_2 content and depletion of CaO and Na_2O . It is similar to graywacke deposited at the passive continental margin in low ratios of $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ and $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ and a low TiO_2 content and greatly varied high $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ and $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})$. The REE patterns and characteristics of REE parameters are similar to those of the graywacke deposited at the modern and ancient passive continental margin.

A series of synthetic analyses show that the protolith of the early Paleozoic graywacke in western Fujian is composed of a mixture of mainly sedimentary rocks and low-grade metamorphic rocks and intermediate-acid igneous rocks. The tectonic setting is the tectonically inactive passive continental margin or the back-arc basin.

作者简介

朱玉磷, 生于1954年3月, 1982年毕业于福州大学地矿系地质专业, 从事区域地质调查与矿产普查工作。现为福建省地矿局闽西地质大队地质矿产工程师, 通讯地址: 福建清流。