

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2017.02.06

引用格式: 白宪洲,文龙,王玉婷,等.四川省西昌盆地上三叠统白果湾组地球化学特征及其意义[J].中国地质调查,2017,4(2): 51-58.

四川省西昌盆地上三叠统白果湾组地球化学特征及其意义

白宪洲,文龙,王玉婷,伏国通

(四川省地质调查院,成都 610081)

摘要:对四川省西昌盆地上三叠统白果湾组碎屑岩的主量元素、微量元素、稀土元素进行综合研究,得出其主量元素具有富 SiO_2 、 CaO 、 P_2O_5 ,贫 Al_2O_3 、 TFe_2O_3 、 MgO 、 Na_2O 、 K_2O 的特征;微量元素具有富 Zr、Cs、Th、U 等特征;稀土元素总量相对较高,轻重稀土元素分馏明显,轻稀土较重稀土相对富集,具有中等负铈异常。白果湾组物源区为长英质岩区,属于被动大陆边缘区;白果湾期的气候经历了湿润→干旱→湿润→干旱的变化过程;成分成熟度总体偏低,呈现高→低→高→低的变化规律,与 CIA 变化趋势呈负相关。本次研究为该区晚三叠世环境演化研究提供了基础资料。

关键词:西昌盆地;上三叠统;白果湾组;地球化学特征;构造背景;古风化

中图分类号: P534.51; P595

文献标志码: A

文章编号: 2095-8706(2017)02-0051-08

0 引言

碎屑沉积岩是源区内岩石成分、古化学风化条件和大地构造背景等信息的良好载体。研究发现,稀土元素以及某些微量元素能够有效地指示地质作用过程、物源区特征、大地构造背景以及物源区古化学风化特征^[1-5]。由于砂泥岩中的微量元素,特别是稀土元素、高场强元素 Cr、Co 等在沉积水体中的溶解度低,且在沉积作用过程中很少分异,所以尽管其地球化学成分受母岩、化学风化、搬运和分选等沉积过程,以及埋藏后成岩作用等因素的影响,但这些微量元素的相对稳定性使它们仍然能够指示物源区性质^[3,6]。因此研究碎屑岩的化学成分,对于追溯物源区性质和判别其构造背景^[7]有积极的意义。同时,碎屑沉积岩的某些化学成分也可以反映物源区古风化特征,为古气候的恢复提供地球化学证据。

西昌盆地地处四川省西南部,西至安宁河断裂,东至峨边断裂,南至则木河断裂,北至大渡河断

裂,为南北向展布的狭长构造盆地,面积约为 14 000 km²^[8]。上三叠统白果湾组广泛分布于盆地中,前人曾对其砂岩储层次生孔隙成因^[9]、沉积环境^[8]、古油藏痕迹^[10]等进行了详细研究,取得了一定的成果和认识。但对于白果湾组的沉积地球化学特征、物源区性质及构造背景、源区古风化作用及其对古气候的指示方面的研究则鲜见报导。笔者在对四川省西昌盆地中部越西县瓦里觉乡竹洛木村一带的白果湾组进行实测剖面的基础上,对其沉积地球化学特征进行了研究,为该区晚三叠世环境演化研究提供了基础资料。

1 地质背景及样品采集

西昌盆地为覆于较活动结晶基底上的较大型陆相盆地^[11]。在早、中三叠世时期,以甘洛—汉源断裂为界,两侧呈断块式差异升降。西侧继续上升为古陆剥蚀区,东侧继续沉降,接受沉积。从早三叠世到中三叠世早期(安尼期)依次沉积了以河流为主的陆相碎屑岩建造、滨海碎屑岩建造、陆屑

收稿日期: 2016-06-13; 修订日期: 2016-07-28。

基金项目: 中国地质调查局“龙门山—滇中成矿带通安和宁蒗地区地质矿产调查(编号: 121201010000150016-04)”项目资助。

第一作者简方数据: 白宪洲(1975—)男,博士,高级工程师,主要从事区域地质调查和地球化学研究工作。Email: 9793136@qq.com。

碳酸盐建造及蒸发岩、碳酸盐建造, 构成了一个完整的海进—海退旋回^[11]。中三叠世晚期(拉丁期), 受太平洋板块向西俯冲的影响, 本区东部也上升为陆地, 至此海水全部退出研究区, 结束了本区海侵的历史。到晚三叠世早期, 研究区与扬子板块主体一起成为统一的隆起剥蚀区, 缺失了拉丁期至诺利中期的沉积, 从此本区进入了一个新的发展阶段——陆内改造阶段, 也即开始进入西昌盆地的形成和演化阶段。此后经历了晚三叠世—早侏罗世前陆盆地形成阶段、中侏罗世—早白垩世盆地

形成与发展阶段、晚白垩世—古近纪盆地萎缩阶段、新近纪—第四纪盆地改造阶段。

白果湾组是西昌盆地形成初期沉积的一套陆相类磨拉石建造的砂砾岩。本次工作区在四川省越西县瓦里觉乡竹洛木村附近(图 1), 这里的上三叠统白果湾组出露齐全, 层序稳定, 露头较好(约 80%), 与下伏上二叠统峨眉山玄武岩组呈角度不整合接触关系, 其上与下一中侏罗统益门组呈整合接触关系, 顶底齐全, 构造变形较弱, 沉积构造丰富。

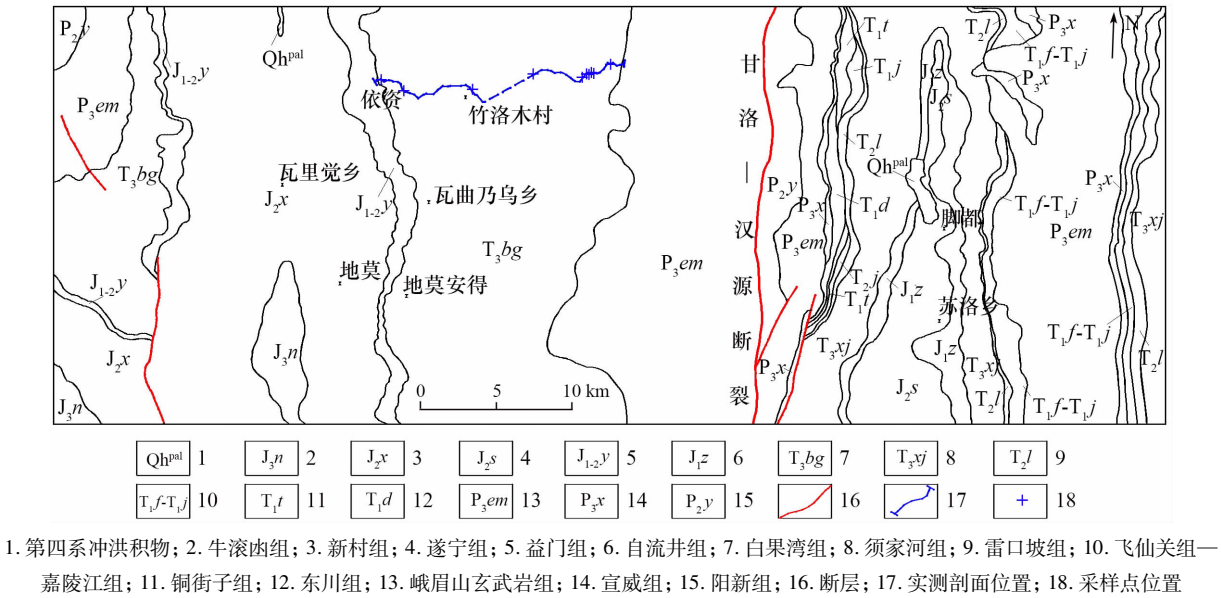


图 1 西昌盆地地质背景略图及采样位置

Fig. 1 Geological background and sampling points of the study area

研究区白果湾组可分为 4 段。一段为粗碎屑岩段, 厚 107.5 m, 岩性为灰绿色、青灰色、灰色、灰黄色砾岩, 含砾粗粒长石石英砂岩夹灰绿、深灰色、灰色粉砂岩、泥岩, 自下而上韵律性显著, 发育均匀层理、粒序层理、平行层理、板状交错层理、楔状交错层理、水平层理等沉积构造; 二段为细碎屑岩段, 厚 52.3 m, 岩性为灰色、深灰色、灰黑色碳质粉砂岩、泥岩及煤线, 局部夹厚—巨厚层状粗—细砂岩, 发育水平层理, 并见植物化石; 三段为细碎屑岩向上变细变薄的旋回段, 厚 863.4 m, 岩性表现为灰白、灰、深灰色粗—细粒岩屑长石、岩屑砂岩、岩屑石英砂岩、粉砂岩、泥岩组成的韵律旋回, 总体上具向上变细变薄的韵律特征, 砂泥岩厚度比由底部(6~8):1, 逐渐向上变为(1~2):1, 局部见煤线, 发育粒序层理、平行层理、板状交错层理、楔状交错层

理、水平层理等沉积构造, 局部见波痕; 四段为泥岩夹砂岩段, 厚 251 m, 岩性表现为灰、青灰色粉砂岩、泥岩夹厚—中厚层状中—细粒岩屑长石砂岩, 其中砂岩中见平行层理、板状交错层理, 泥岩中多发育水平层理。该剖面共分为 337 层, 本次工作在 22、45、46、54、62、71、154、182、287 和 336 层采集岩石地球化学样品, 通过澳实分析检测(广州)有限公司对所采样品进行主量元素、微量元素及稀土元素分析, 以期对白果湾组的沉积地球化学特征进行研究。

2 分析结果

2.1 主量元素特征

西昌盆地上三叠统白果湾组砂泥岩的主量元素分析结果见表 1。各样品常量元素平均值与 Tay-

lor 和 McLennan^[3] 发表的大陆上地壳成分相比,具有富 SiO₂ (砂岩中高达 72% ~ 84%)、CaO、P₂O₅, 贫 Al₂O₃、TFe₂O₃、MgO、Na₂O、K₂O 的特点, TiO₂、MnO 含量与大陆上地壳相当。

表1 白果湾组岩石主量元素含量及元素比值
Tab.1 Major elements content and element ratios of the rocks in Baiguowan Formation

样品编号	岩性	w _B /%												K ₂ O/Al ₂ O ₃ /		CIA	ICV
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	TFe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	烧失量	总量	Al ₂ O ₃	TiO ₂		
22H1	长石岩屑砂岩	72.67	0.19	5.21	1.92	0.07	2.79	6.44	0.01	1.86	0.43	2.60	99.96	0.36	27.42	27.46	4.29
45H1	碳质泥岩	52.08	0.90	27.93	1.32	0.01	0.57	0.14	0.07	7.98	0.39	3.48	99.7	0.29	31.03	75.57	0.45
46H1	碳质泥岩	57.72	1.00	26.62	1.51	0.01	0.63	0.13	0.08	7.67	0.44	2.67	100.39	0.29	26.62	75.39	0.47
54H1	碳质泥岩	40.38	0.53	16.66	3.33	0.01	1.35	0.08	0.07	3.98	0.32	3.38	98.90	0.24	31.43	78.44	0.65
62H1	岩屑石英砂岩	54.38	0.17	5.43	3.01	0.20	0.49	17.95	0.01	1.36	0.35	3.17	99.15	0.25	31.94	13.71	6.92
71H1	岩屑砂岩	51.77	0.34	6.16	4.43	0.09	1.30	17.15	0.03	1.39	0.44	5.44	99.03	0.23	18.12	15.81	6.39
154H1	长石岩屑砂岩	80.39	0.41	10.18	2.79	0.02	0.61	0.17	1.66	1.44	0.45	1.92	99.86	0.14	24.83	68.86	0.83
182H1	泥岩	75.95	1.22	15.32	0.81	0.01	0.42	0.04	0.42	1.84	0.23	2.11	99.83	0.12	12.56	84.73	0.39
287H1	岩屑长石砂岩	82.80	0.33	7.33	2.74	0.07	0.74	1.00	0.73	1.06	0.41	3.05	99.40	0.14	22.21	63.72	1.12
336H1	长石石英砂岩	84.42	0.35	7.51	3.43	0.02	0.79	0.25	0.13	0.78	0.33	2.55	99.97	0.10	21.46	83.21	0.82
平均值		65.26	0.54	12.84	2.53	0.06	0.97	4.34	0.32	2.94	0.38	3.04	99.62	0.22	24.76	58.69	2.23
大陆上地壳 ^[3]		65.89	0.50	15.17	4.49	0.07	2.20	4.19	3.89	3.39	0.20		99.58	0.20	30.34	61.81	2.03

注: CIA = [Al₂O₃ / (Al₂O₃ + CaO* + Na₂O + K₂O)] × 100, 式中的化学成分含量均为摩尔分数, CaO* 是指岩石中硅酸盐矿物中所含 CaO 的摩尔分数; ICV = (Fe₂O₃ + K₂O + Na₂O + CaO + MgO + TiO₂) / Al₂O₃, 式中的化学成分的含量均为摩尔分数。

K₂O / Al₂O₃ 值常用来确定细碎屑岩源区岩石的成分,在碱性长石中, K₂O / Al₂O₃ 值为 0.4 ~ 1.0, 在伊利石中约为 0.3, 在其他黏土矿物中接近于 0^[12]。Cox 等^[13] 研究表明, 当泥质岩中 K₂O / Al₂O₃ 值大于 0.5 时, 说明母岩中具有相当数量的碱性长石; K₂O / Al₂O₃ 值小于 0.4 时, 说明母岩中只含有少量的碱性长石。西昌盆地白果湾组岩石样品的 K₂O / Al₂O₃ 值为 0.10 ~ 0.36, 小于 0.4, 表明母岩中碱性长石的含量较低。Girty 等^[14] 认为, 沉积物中 Al₂O₃ / TiO₂ 值小于 14 时, 沉积物物源可能来源于铁镁质岩石; 而 Al₂O₃ / TiO₂ 值为 19 ~ 28 之间时, 物源可能来源于安山质和流纹质岩石(或者花岗闪长质和英云闪长质)岩石。研究区砂泥岩样品中有 1 件样品(182H1) Al₂O₃ / TiO₂ 值小于 14, 可能来源于铁镁质岩石; 10 件样品的 Al₂O₃ / TiO₂ 值平均为 24.76, 介于 19 ~ 28 之间, 说明其物源可能来源于安山质和流纹质岩石(或者花岗闪长质和英云闪长质岩石)。岩石样品中化学蚀变指数(CIA)介于 13.71 ~ 84.73, 平均值为 58.69, 说明西昌盆地白果湾组显示了中等程度的源区风化历史; 成分成熟

度指数(ICV)介于 0.39 ~ 6.92, 平均值为 2.23, 说明西昌盆地白果湾组的成分成熟度较低, 为近距离搬运的产物。

2.2 微量元素特征

西昌盆地白果湾组微量元素含量见表 2。由表可见, 西昌盆地白果湾组岩石与 Taylor 和 McLennan^[3] 发表的大陆上地壳微量元素值相比: 白果湾组岩石微量元素中富 Zr、Cs 及放射性元素 Th、U 等, 它们的丰度均值均大于上地壳丰度; 贫 Ga、Sr 等, 其中 Ga 的丰度(16.31 × 10⁻⁶) 小于上地壳丰度(17 × 10⁻⁶), 造岩元素 Sr 的丰度(97.01 × 10⁻⁶) 小于下地壳(230 × 10⁻⁶) 和上地壳(350 × 10⁻⁶)。总体来看, 白果湾组岩石的微量元素丰度与上地壳丰度相当, 这与其形成于陆相盆地的构造背景比较一致。

Cr 和 Zr 的丰度主要反映铬铁矿和锆石的含量, 其比值可以反映镁铁质与长英质物质对沉积物的相对贡献^[7-12]。本区砂泥岩的 Cr / Zr 值变化范围不大, 为 0.18 ~ 0.71, 平均值为 0.29, 全部小于 1, 说明源区物质多以长英质为主。

表 2 白果湾组岩石的微量元素含量
Tab.2 Trace elements content of the rocks in Baiguowan Formation

样品编号	岩性	$w_B/10^{-6}$															Cr/Zr
		Cr	Ga	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Cs	Ba	Hf	Ta	Co	Sc	Th	U	
22H1	长石岩屑砂岩	30	6.2	60.7	35.3	22.8	117	7.4	2.68	152	3.7	0.6	5	3	8.47	1.65	0.26
45H1	碳质泥岩	70	42.1	224.0	124.0	46.2	235	25.8	11.95	281	7.3	2.0			39.20	7.21	0.30
46H1	碳质泥岩	90	36.8	232.0	69.1	42.4	250	26.5	11.65	331	7.7	2.2			40.40	5.00	0.36
54H1	碳质泥岩	90	21.7	203.0	49.4	29.2	126	11.0	19.55	399	3.7	0.8			12.95	4.75	0.71
62H1	岩屑石英砂岩	30	5.2	40.1	205.0	10.0	76	3.6	0.88	127	2.2	0.2	2	2	3.48	0.71	0.39
71H1	岩屑砂岩	50	7.0	50.0	267.0	17.9	281	7.1	2.15	179	7.4	0.5	7	5	6.61	1.59	0.18
154H1	长石岩屑砂岩	40	10.6	47.9	68.1	14.2	179	8.4	1.39	226	5.0	0.5	7	5	7.06	1.43	0.22
182H1	泥岩	90	17.7	92.9	55.3	22.7	391	26.8	13.30	401	11.0	2.1	2	9	20.90	5.16	0.23
287H1	岩屑长石砂岩	50	8.0	45.5	53.7	17.0	188	7.4	1.91	181	4.9	0.6	8	5	7.31	1.62	0.27
336H1	长石石英砂岩	60	7.8	31.3	43.2	13.0	238	8.7	1.34	134	6.4	0.7	11	5	7.62	1.48	0.25
	平均值	60	16.3	102.7	97.0	23.5	208	13.3	6.68	241	5.9	1.0			15.40	3.06	0.29
	大陆上地壳 ^[3]	35	17.0	112	350.0	22.0	190	25.0	4.60	550	5.8	2.2			10.07	2.80	0.18
	大陆下地壳 ^[3]	235	18.0	5.3	230.0	19.0	70	6.0	0.47	150	2.1	0.6			1.06	0.28	3.36

2.3 稀土元素特征

西昌盆地白果湾组岩石的稀土元素含量及元素比值见表 3。由此可见,白果湾组岩石的稀土总量相对较高,但不同样品之间含量变化较大,在 $76.96 \times 10^{-6} \sim 419.49 \times 10^{-6}$ 之间,平均值为 167.06×10^{-6} ,相比地壳中的稀土元素总量 112×10^{-6} 高。轻重稀土元素分馏明显,轻稀土较重稀土相对富集,LREE/HREE 值为 6.42 ~ 13.69,平均值为 9.60; $(La/Yb)_N$ 为 6.02 ~ 14.35,平均值为9.20; $(La/Sm)_N$ 为 2.69 ~ 9.54,平均值为5.08; $(Gd/Yb)_N$ 为0.53 ~ 2.19,平均值为1.34; $(La/Sm)_N > (Gd/Yb)_N$ 。 δEu 为 0.32 ~ 0.68,平均值为 0.53,具有中等负铕异常。

表 3 白果湾组岩石稀土元素含量及元素比值
Tab.3 REE content and element ratios of the rocks in Baiguowan Formation

样品编号	$w_B/10^{-6}$													
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
22H1	20.30	42.00	5.45	21.20	4.75	0.75	4.18	0.69	3.71	0.83	2.37	0.34	2.28	0.31
45H1	106.00	202.00	18.90	56.40	6.99	0.65	4.72	1.04	7.11	1.74	5.34	0.99	6.60	1.01
46H1	66.50	130.50	13.55	44.80	5.21	0.51	4.33	0.88	6.79	1.50	5.32	0.90	6.60	0.92
54H1	37.10	74.90	8.22	29.50	5.26	0.97	5.11	0.82	5.07	1.05	3.17	0.47	3.14	0.44
62H1	16.60	33.80	3.61	12.80	2.54	0.52	2.41	0.33	1.76	0.32	1.09	0.17	0.89	0.12
71H1	23.60	45.70	5.12	19.10	3.50	0.64	3.23	0.46	2.57	0.58	1.65	0.28	1.91	0.27
154H1	32.70	66.00	7.28	26.40	4.70	0.81	3.07	0.46	2.61	0.49	1.59	0.26	1.54	0.25
182H1	28.00	52.50	5.60	17.70	2.78	0.50	2.87	0.56	3.65	0.79	2.47	0.43	3.03	0.46
287H1	22.30	44.30	5.29	20.00	4.33	0.77	3.85	0.58	3.04	0.63	1.70	0.29	1.79	0.24
336H1	23.90	48.50	5.62	21.40	4.03	0.84	3.39	0.45	2.30	0.44	1.35	0.21	1.56	0.21
最小值	16.60	33.80	3.61	12.80	2.54	0.50	2.41	0.33	1.76	0.32	1.09	0.17	0.89	0.12
最大值	106.00	202.00	18.90	56.40	6.99	0.97	5.11	1.04	7.11	1.74	5.34	0.99	6.60	1.01
平均值	37.70	74.02	7.86	26.93	4.41	0.70	3.72	0.63	3.86	0.84	2.61	0.43	2.93	0.42

样品编号	$w_B/10^{-6}$			δEu	$(La/Yb)_N$	$(Ce/Yb)_N$	$(La/Sm)_N$	$(Gd/Yb)_N$	LREE/HREE	La/Sm
	ΣREE	LREE	HREE							
22H1	109.16	94.50	14.71	0.50	6.02	4.77	2.69	1.49	6.42	4.27
45H1	419.49	390.90	28.55	0.33	10.85	7.93	9.54	0.58	13.69	15.16
46H1	288.31	261.10	27.24	0.32	6.81	5.12	8.03	0.53	9.58	12.76
54H1	175.22	156.00	19.27	0.56	7.98	6.18	4.44	1.32	8.09	7.05
62H1	76.96	69.90	7.09	0.63	12.60	9.84	4.11	2.19	9.85	6.54
71H1	108.61	97.70	10.95	0.57	8.35	6.20	4.24	1.37	8.92	6.74
154H1	148.16	137.90	10.27	0.61	14.35	11.11	4.38	1.62	13.43	6.96
182H1	121.34	107.10	14.26	0.54	6.24	4.49	6.34	0.77	7.51	10.07
287H1	109.11	97.00	12.12	0.57	8.42	6.41	3.24	1.74	8.00	5.15
336H1	114.20	104.30	9.91	0.68	10.35	8.06	3.73	1.76	10.52	5.93
最小值	76.96	69.90	7.09	0.32	6.02	4.49	2.69	0.53	6.42	4.27
最大值	419.49	390.90	28.55	0.68	14.35	11.11	9.54	2.19	13.69	15.16
平均值	167.06	151.64	15.44	0.53	9.20	7.01	5.08	1.34	9.60	8.06

在稀土配分曲线(图2)上,所有样品都呈现较一致的右倾轻稀土富集、重稀土亏损的配分模式。由于稀土元素在水体中停留时间短,几乎全部进入了沉积物中,这些相容和不相容元素的比例能够区分碎屑岩中长英质、铁镁质的来源^[3-4,12]。基性岩的LREE/HREE值低,无Eu异常^[15],而酸性岩通常具有较高的LREE/HREE值和负Eu异常^[16],从西昌盆地白果湾组稀土配分模式可以看出,白果湾组碎屑岩物源区可能为长英质岩区。

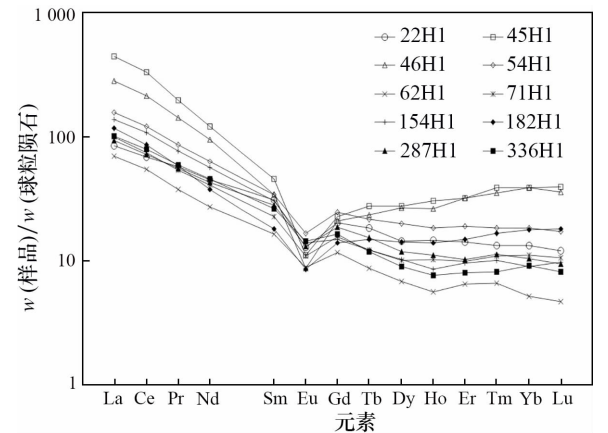


图2 白果湾组球粒陨石稀土元素配分曲线

Fig.2 Chondrite-normalized REE distribution patterns of the rocks in Baiguowan Formation

3 物质来源及构造环境分析

3.1 物质来源

通过以上对西昌盆地白果湾组岩石主量元素、微量元素、稀土元素特征的分析,得出西昌盆地白果湾组物源区为长英质岩区。从主量元素来看,西昌盆地白果湾组岩石的 K_2O/Al_2O_3 值为0.10~0.36,小于0.4,表明母岩中碱性长石的含量较低。 Al_2O_3/TiO_2 均值为24.76,介于19~28之间,说明其物源区可能来源于安山质和流纹质岩石(或者花岗闪长质和英云闪长质岩石)^[14]。ICV介于0.39~6.92,平均值为2.23,说明西昌盆地白果湾组的成分成熟度较低,为近距离搬运的产物。从微量元素来看,白果湾组岩石的微量元素丰度与上地壳丰度相当,Cr/Zr值变化范围不大,为0.18~0.71,平均值为0.29,全部小于1,说明物源区物质多以长英质为主^[12];从稀土元素来看,白果湾组岩石的稀土总量相对较高,高于地壳中的稀土元素总

量,轻重稀土元素分馏明显,轻稀土较重稀土相对富集,具中等的负铕异常,显示其物源区可能为长英质岩区。

3.2 物源区构造背景

Bhatian^[17]认为 $TFe_2O_3 + MgO/TiO_2$ 含量及 Al_2O_3/SiO_2 、 K_2O/Na_2O 和 $Al_2O_3/(CaO + Na_2O)$ 值是大地构造背景判别中最重要的判别参数。从表4看出,研究区内上述判别参数变化较大,与被动大陆边缘的砂岩成分相近。

表4 西昌盆地白果湾组主要元素特征

Tab.4 Major elements characteristics of the rocks in Baiguowan Formation of Xichang Basin

样品编号	w(TFe ₂ O ₃ + MgO)/%	w(TiO ₂)/%	Al ₂ O ₃ /SiO ₂	K ₂ O/Na ₂ O	Al ₂ O ₃ /(CaO + Na ₂ O)
22H1	4.71	0.19	0.07	186.00	0.81
45H1	1.89	0.90	0.54	114.00	133.00
46H1	2.14	1.00	0.46	95.88	126.76
54H1	4.68	0.53	0.41	56.86	111.07
62H1	3.50	0.17	0.10	136.00	0.30
71H1	5.73	0.34	0.12	46.33	0.36
154H1	3.40	0.41	0.13	0.87	5.56
182H1	1.23	1.22	0.20	4.38	33.30
287H1	3.48	0.33	0.09	1.45	4.24
336H1	4.22	0.35	0.09	6.00	19.76
平均值	3.50	0.54	0.22	64.78	43.52
被动大陆边缘 ^[17]	2.89	0.49	0.10	1.60	4.15
活动大陆边缘 ^[17]	4.63	0.46	0.18	0.99	2.56
大洋岛弧 ^[17]	11.73	1.06	0.29	0.39	1.72
大陆岛弧 ^[17]	6.79	0.64	0.20	0.61	2.42

陆源碎屑中的微量元素(包括部分稀土元素)与常量元素相比,具有较大的稳定性,尤其是La、Th、Ti、Zr、Sc等,在风化搬运和沉积过程中很少受其他地质作用的影响。因此,陆源碎屑的微量元素地球化学特征更适宜于研究源区类型及大地构造背景^[2,18]。Bhatia和Crook^[2]通过对东澳大利亚5个已知构造背景的古杂砂岩套的微量元素地球化学特征进行研究,提出一套判别物源区类型和大地构造背景的准则。应用Bhatia图解(图3),在Th-Sc-Zr/10图解中,西昌盆地白果湾组岩石大都投落于被动大陆边缘区内;在La-Th-Sc图解中,大部分样品投落于被动大陆边缘和活动大陆边缘区内;在Th-Hf-Co图解中,样品投落于长英质火山岩和长石砂岩区。由此可见,西昌盆地白果湾组的物源区构造背景应为被动大陆边缘区。

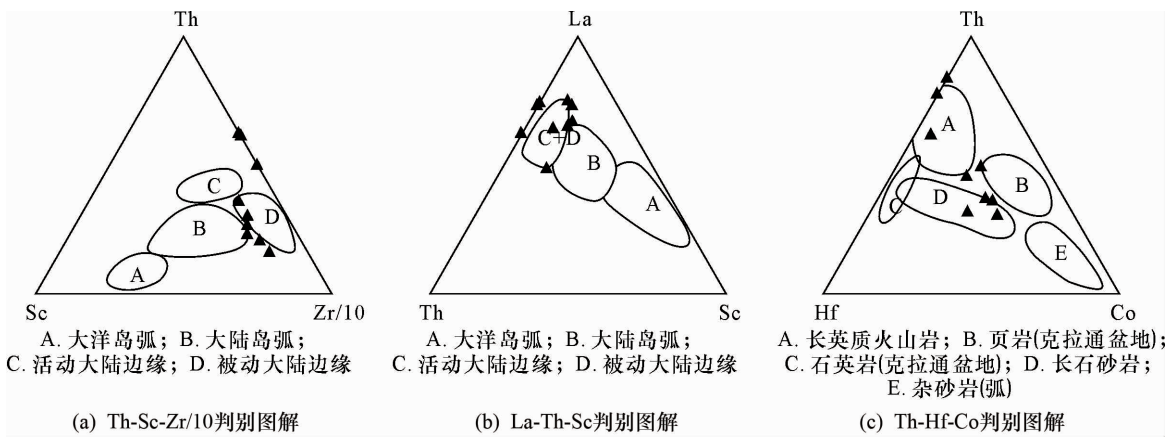


图3 西昌盆地白果湾组构造背景判别图解

Fig. 3 Discrimination of tectonic setting of Baiguowan Formation in Xichang Basin

区域研究表明,甘孜—理塘洋盆和西秦岭地区洋盆的闭合作用导致扬子地块西南缘的金沙江—哀牢山缝合带、昌宁—孟连缝合带和甘孜—理塘缝合带处于强烈的俯冲碰撞环境^[19],松潘—甘孜地区的海相沉积盆地褶皱回返,最终形成松潘—甘孜造山带,康滇构造带则变为前陆环境,并开始迅速接受陆相沉积,形成了甘洛盆地、西昌盆地、楚雄盆地等一系列中生代盆地,而研究区则多为山前或山间盆地堆积形成的山前磨拉石、碎屑岩建造,这与用沉积地球化学判别的被动大陆边缘区的结论一致。

3.3 源区古风化作用及其对古气候的指示

Nesbitt 等^[20]提出用细碎屑沉积岩的 CIA 指数确定物源区的化学风化程度,该指数是目前被广泛应用于确定物源区风化特征的化学指标。由于白果湾组细碎屑岩相对较少,本次以砂岩和泥岩作为研究对象对源区古风化作用进行研究。由表 1 可以看出,西昌盆地白果湾组碎屑岩的 CIA 指数变化范围为 13.71 ~ 84.73,平均值为 58.69,总体反映物源区风化程度中等。随着沉积作用的发展,源区的化学风化作用经历了强→弱→强→弱的变化过程。鉴于陆源的风化程度主要受气候和构造隆升速率的影响^[12, 21],对该区的研究表明^[22],上三叠统白果湾组的埋深在 7.6 ~ 5.8 km,川东北这一时期的沉积—沉降速率较低,平均为 45 ~ 50 Ma^[23],反映构造隆升作用不强。因此可以将 CIA 指数作为该区环境变化的一个替代指标,将其投图(图 4)可以发现,西昌盆地白果湾期的气

候经历了从湿润(40 层以下)→干旱(40 ~ 60 层)→湿润(60 ~ 150 层)→干旱(150 层以上)的变化过程。

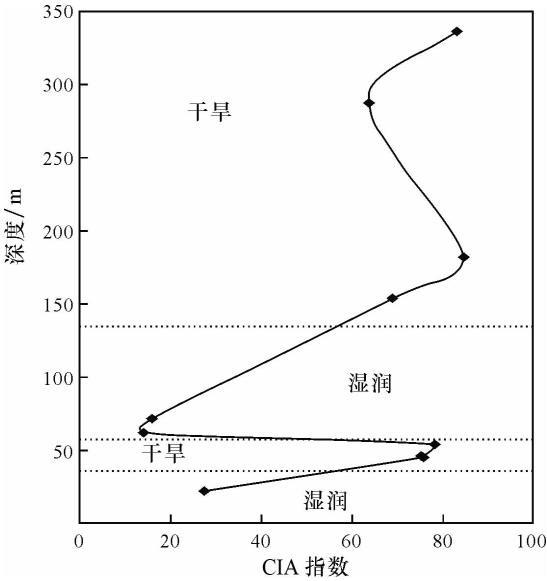


图4 白果湾组 CIA 变化趋势

Fig. 4 CIA trend in Baiguowan Formation

研究表明可以用 ICV 指数来定量反映沉积物的成分成熟度^[7]。西昌盆地白果湾组碎屑岩的 ICV 指数在 0.39 ~ 6.92 之间,平均值为 2.23,成分成熟度总体上偏低,这与其为近源沉积的地质特征吻合。将 ICV 指数投图(图 5),白果湾组碎屑岩成分成熟度也存在高→低→高→低的变化规律,与 CIA 趋势呈负相关。

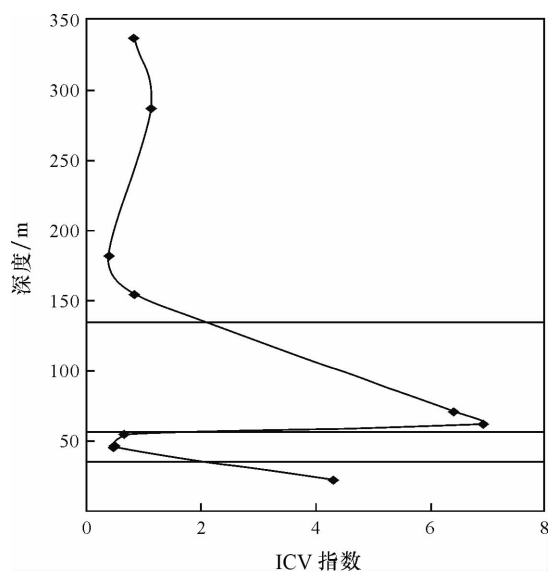


图5 白果湾组 ICV 变化趋势

Fig.5 ICV trend in Baiguowan Formation

4 讨论与结论

(1)西昌盆地白果湾组碎屑岩的地球化学特征表现为: 主量元素具有富 SiO_2 、 CaO 、 P_2O_5 , 贫 Al_2O_3 、 TFe_2O_3 、 MgO 、 Na_2O 、 K_2O 的特点; 微量元素富 Zr、Cs 及放射性元素 Th、U 等, 与上地壳丰度相当; 稀土元素比地壳中的稀土元素总量高, 轻重稀土元素分馏明显, 轻稀土较重稀土相对富集, 具有中等的负铕异常。

(2)西昌盆地白果湾组岩石的 $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 值为 0.10 ~ 0.36, 小于 0.4; $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 均值为 24.76, 介于 19 ~ 28 之间; Cr/Zr 值变化范围不大, 为 0.18 ~ 0.71, 平均值为 0.29, 全部小于 1, 说明西昌盆地白果湾组物源区为长英质岩区。

(3)白果湾组碎屑岩的 $\text{TFe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}/\text{TiO}_2$ 含量及 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})$ 值等特征值与被动大陆边缘的砂岩成分相近, 通过 Th - Sc - Zr/10、La - Th - Sc、Th - Hf - Co 图解判别其物源区为被动大陆边缘区。

(4)西昌盆地白果湾组碎屑岩的 CIA 指数变化范围为 13.71 ~ 84.73, 平均值为 58.69, 总体反映物源区可能处于一个半干旱的气候条件。西昌盆地白果湾期的气候经历了从湿润(40 层以下)→干旱(40 ~ 60 层)→湿润(60 ~ 150 层)→干旱(150 层以上)的变化过程。ICV 指数在 0.39 ~ 6.92 之间, 平均值为 2.25, 成分成熟度总体偏低, 白果湾组

碎屑岩成分成熟度也存在高→低→高→低的变化规律, 与 CIA 趋势呈负相关。

参考文献:

- [1] Cullers R L, Basu A, Suttner L J. Geochemical signature of provenance in sand - size material in soils and stream sediments near the Tobacco Root batholith, Montana, U. S. A. [J]. Chem Geol, 1988, 70(4): 335 - 348.
- [2] Bhatia M R, Crook K A. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins [J]. Contribut Mineral Petrol, 1986, 92(2): 181 - 193.
- [3] Taylor S R, McLennan S M. The Continental Crust: Its Composition and Evolution [M]. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1985.
- [4] McLennan S M, Hemming S, McDaniel D K, et al. Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics [J]. Spec Pap Geol Soc Am, 1993, 284: 21 - 40.
- [5] 白宪洲, 何明友, 王玉婷, 等. 四川若尔盖地区西康群地球化学特征及其物源区和古风化程度分析 [J]. 现代地质, 2010, 24(1): 151 - 157.
- [6] McLennan S M. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes [J]. Rev Mineral Geochem, 1989, 21(8): 169 - 200.
- [7] Condie K C. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: Contrasting results from surface samples and shales [J]. Chem Geol, 1993, 104(1/4): 1 - 37.
- [8] 唐勇, 覃建雄. 四川西昌盆地三叠系沉积环境分析 [J]. 四川地质学报, 2007, 27(2): 92 - 95.
- [9] 覃建雄, 张长俊, 徐国盛. 西昌盆地上三叠统白果湾组砂岩储层次生孔隙成因探讨 [J]. 中国海上油气: 地质, 1996(2): 83 - 89.
- [10] 文龙, 项茜, 刘埃平, 等. 西昌盆地上三叠统白果湾组古油藏痕迹研究 [J]. 天然气勘探与开发, 2008, 31(3): 6 - 9.
- [11] 王运生, 李云岗. 西昌盆地的形成与演化 [J]. 成都理工学院学报, 1996(1): 85 - 90.
- [12] Wronkiewicz D J, Condie K C. Geochemistry of Archean shales from the Witwatersrand Supergroup, South Africa: Source - area weathering and provenance [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1987, 51(9): 2401 - 2416.
- [13] Cox R, Lowe D R, Cullers R L. The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1995, 59(14): 2919 - 2940.
- [14] Girty G H, Ridge D L, Knaack C, et al. Provenance and depositional setting of Paleozoic chert and argillite, Sierra Nevada, Cali-

- fornia[J]. J Sediment Res, 1996, 66(1): 107–118.
- [15] 李志红, 罗照华, 陈岳龙, 等. 康定—泸定地区变质侵入岩的地质地球化学特征及其构造环境[J]. 现代地质, 2008, 22(2): 181–189.
- [16] 覃小锋, 夏斌, 黎春泉, 等. 阿尔金构造带西段前寒武纪花岗岩质片麻岩的地球化学特征及其构造背景[J]. 现代地质, 2008, 22(1): 34–44.
- [17] Bhatia M R. Plate Tectonics and Geochemical Composition of Sandstones[J]. J Geol, 1983, 91(6): 611–626.
- [18] Bhatia M R, Taylor S R. Trace – element geochemistry and sedimentary provinces: A study from the Tasman Geosyncline, Australia[J]. Chem Geol, 1981, 33(1–4): 115–125.
- [19] 胡健民, 孟庆任, 石玉若, 等. 松潘 – 甘孜地体内花岗岩锆石 SHRIMP U – Pb 定年及其构造意义[J]. 岩石学报, 2005, 21(3): 867–880.
- [20] Nesbitt H W, Young G M. Early proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites[J]. Nature, 1982, 299(5885): 715–717.
- [21] 顾雪祥, 刘建明, Schulz O, 等. 扬子地块南缘元古代浊积岩源区风化特征和源岩性质的沉积地球化学记录[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2003, 30(3): 221–235.
- [22] 武昱东, 王宗起, 罗金海, 等. 川西南甘洛地区中—新生代构造沉降史分析及对铅锌保存的约束[J]. 地质学报, 2015, 89(8): 1471–1483.
- [23] 程立雪. 川东北晚三叠世—侏罗纪盆缘造山隆升作用的沉积响应[D]. 成都: 成都理工大学, 2014.

Geochemical characteristics and their implications of Upper Triassic Baiguowan Formation in Xichang Basin, Sichuan Province

BAI Xianzhou, WEN Long, WANG Yuting, FU Guotong
(Sichuan Institute of Geological Survey, Chengdu 610081, China)

Abstract: Through the comprehensive research on major elements, trace elements and rare earth elements of the clastic rocks in Upper Triassic Baiguowan Formation of Xichang Basin Sichuan Province, this research found that the major elements are rich in SiO_2 , CaO and P_2O_5 , and lack of Al_2O_3 , TFe_2O_3 , MgO , Na_2O and K_2O . The trace elements are rich in Zr, Cs, Th and U. The capacity of rare earth elements are relatively higher. The fractionation of light and heavy rare earth elements is obvious. The light rare earth elements is richer than the heavy ones, and have medium negative europium anomaly. The provenance of Baiguowan Formation in Xichang Basin is felsic rocks and passive continental margin area. The climate period experienced the process from humid to arid and to humid and arid again. Compositional maturity of Baiguowan Formation rocks is generally low, and shows the variation from high to low, and to high and low again. The variation is negatively correlated with chemical alteration index(CIA). This paper provides basic data for the study of environmental evolution of Late Triassic.

Key words: Xichang Basin; Upper Triassic; Baiguowan Formation; geochemistry; tectonic setting; paleoweathering

(责任编辑: 常艳)