

川西归宁地区西康群物源和构造背景:来自碎屑岩地球化学的约束

刘大明^{1,2}, 谭洪旗^{3*}, 朱志敏³, 姚虹佑², 余亮²

LIU Daming^{1,2}, TAN Hongqi^{3*}, ZHU Zhimin³, YAO Hongyou², YU Liang²

1. 成都理工大学地球科学学院, 四川 成都 610059;

2. 四川省地质矿产勘查开发局川西北地质队, 四川 绵阳 621000;

3. 中国地质科学院矿产综合利用研究所, 四川 成都 610041

1. College of Earth Science, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China;

2. Northwest Sichuan Geological Team, Sichuan Geology and Mineral Bureau, Mianyang 621000, Sichuan, China;

3. Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS, Chengdu 610041, Sichuan, China

摘要:川西归宁地区紧邻江浪穹隆和长枪穹隆,大面积出露三叠系西康群,主体表现为一套浅变质的浊积岩复理石建造。对该套地层的碎屑岩进行岩石学、地球化学特征研究,并对物源和其亲缘关系进行了探讨。结果显示,砂岩主量元素 SiO_2 、 P_2O_5 与上地壳相近, CaO 、 MgO 较高,而 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 K_2O 、 TiO_2 含量偏低;微量元素蛛网图呈“M”型向右缓倾,富 Th、U、La、Nd、Zr、Sm,贫 K、Nb、Sr、P、Hf 元素;样品轻、重稀土元素分馏明显,属轻稀土元素富集型,具中等负 Eu 异常;化学蚀变指数及成分成熟度均偏低,反映出物源区化学风化程度弱,沉积物具近源快速堆积的特征,是活动构造带的首次沉积;砂岩-泥岩套的物源区指纹判别图解及微量元素值显示该区西康群为上地壳长英质物源区。根据地球化学构造判别图解,并结合野外调查的古水流和古地理重建的证据,该套碎屑岩沉积于活动大陆边缘及大陆岛弧的构造背景,其物源区有可能来自于南东方向邻近的康滇古陆,与扬子地块西缘具有较强的亲缘关系。

关键词:西康群;地球化学特征;构造背景;物源;归宁

中图分类号:P588.21;P595 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2021)12-2135-14

Liu D M, Tan H Q, Zhu Z M, Yao H Y, Yu L. Tectonic setting and provenance of the Xikang Group in the Guining area, West Sichuan Province: Constraints from geochemistry of clastic sedimentary rocks. *Geological Bulletin of China*, 2021, 40 (12): 2135-2148

Abstract: The Xikang Group, distributed in the Guining area between the Changqiang Dome and Jianglang Dome in West Sichuan Province, is one set of low metamorphosed turbidite flysch. Based on the study of their petrological and geochemical characteristics of the clastic rocks, the provenance and affiliation were analyzed. The results show that the major elements of the sandstone, SiO_2 and P_2O_5 , are similar to the upper crust, with relatively high CaO and MgO , while the contents of Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O and TiO_2 are relatively low. The Chondrite-normalized trace element spider diagram of clastic sedimentary rocks is "M"-shaped and inclined to the right, rich in Th, U, La, Nd, Zr, Sm and poor in K, Nb, Sr, P, Hf. The rare earth elements of the samples display obvious fractionation in light and heavy REE, strong enrichment in light REEs with medium negative Eu anomaly. The chemical alteration index (CIA) and composition variation index value (ICV) are both low, reflecting the weak weathering degree of the source area and the characteristics of rapid

收稿日期:2019-12-19;修订日期:2020-11-09

资助项目:国家自然科学基金项目《川西里伍岩群变质-热事件:年代学证据及构造意义》(批准号:41603034)、中国地质调查局项目《四川九龙-可尔因大型锂资源基地综合调查评价》(编号:DD20190185)、《川西稀有金属矿集区综合地质调查》(编号:DD20160074)

作者简介:刘大明(1989-),男,在读博士生,工程师,从事岩石学、矿床学、地球化学方面的研究。E-mail:damingswust@163.com

*通信作者:谭洪旗(1984-),男,博士,高级工程师,从事基础地质调查研究。E-mail:hongqitan@163.com

accumulation of sediments near source, which represents the first deposition of the active structural belt. The fingerprint discrimination diagram and trace element value show that the source of the Xikang Group in this area was felsic in upper crust. According to geochemical tectonic setting discrimination diagrams, the structural background of the clastic rocks is active continental margin and continental island arc. Based on the paleocurrent evidence of field investigation and the reconstruction of paleogeography, it is inferred that the provenance of the Xikang Group might have come from the Kangdian ancient land in the southeast direction, and have an affinity to the Yangtze Block.

Key words: Xikang Group; geochemical characteristics; tectonic setting; provenance; Guining

西康群由“西康系”演变而来,广泛分布于雅江—巴颜喀拉盆地,是谭锡畴和李春昱于1930年在川西地质考察提出^[1];它是一套砂、板岩为主的巨厚复理石建造,时代为三叠纪^[2],与青海地区命名的“巴颜喀拉山群”为同一套地层。雅江—巴颜喀拉盆地位于青藏高原北东部,北起昆仑山主脉,南达金沙江,西至帕米尔高原,东达龙门山,呈倒三角围限于布青山—玛多—玛沁结合带以南,义敦结合带北东和扬子地块西缘被动边缘盆地北西,是世界上大规模分布的浊积岩盆地之一。印支期末—燕山早期,整个盆地随着大规模的滑脱—推覆造山过程完全关闭、隆起,构成了有着“中国地质百慕大”之称的松潘—甘孜造山带主体^[3]。因此,这套巨厚的三叠系复理石建造作为造山带的物质基础,记录了造山作用的重要过程,是探索该区域大地构造属性和演化历史的重要窗口^[4-5]。关于西康群,前人研究范围多集中于盆地中部壤塘、色达一带及北部青海地区,涉及岩石学、沉积学、地球化学、物质来源、时代等多个方面^[2-24]。以往研究表明,该套复理石沉积模式的解释主要有浊流沉积^[23-24]和海底扇^[16-17, 25]。浊流沉积受到砂质块体搬运、底流再改造砂体等观念的影响^[26-27],加之海底扇扇中及扇端也发育浊流沉积,而扇根缺失砾岩—粗砂岩沉积物的问题^[28],因此上述2种单一模式在西康群的解释均存在缺陷。西康群的沉积物质随着空间变化有所不同,物源区也存在差异,其分歧主要有华北板块和扬子地块之争^[4-18]。

川西归宁地区处于巴颜喀拉盆地最南缘,紧邻江浪穹隆和长枪穹隆,为扬子地块西缘与松潘—甘孜南缘的结合部位,大地构造位置较特殊。区内西康群形成以来经历了印支期—燕山早期低绿片岩相、燕山早期的高绿片岩相变质作用^[29],加之强烈的构造变形和褶皱叠加,导致地层厚度成倍增大,原有的沉积组构等特征多被破坏,野外地质观察和室内岩相学特征获得的信息较有限。而碎屑岩的矿物组成及地球化学成分变化特征,是判别沉积岩

物源和构造背景的有效依据,通过碎屑沉积岩组成的详细化学分析结果,可以揭示其源区特征和演化过程,反演形成时的构造环境,对物源和其亲缘关系进行探讨^[30-33]。因此,本文通过对川西归宁地区西康群野外地质特征、岩石学及地球化学分析,探讨区内西康群的物源区性质,分析其形成的构造环境及可能的物源区,为雅江残余盆地海底扇及沉积盆地的时空演化理论研究提供依据。

1 地质背景及岩石特征

研究区构造位置处于中国西南部青藏高原东侧的松潘—甘孜造山带南缘(图1-a),西邻甘孜—理塘结合带,东与扬子地块西缘接壤。区内经历了多期岩浆—沉积—构造—变质事件,是研究扬子地块西缘与松潘—甘孜造山带演化的关键区域。三叠系西康群是区内的地层主体,东部有少量古生界呈穹状出露。区域上火山岩与侵入岩同等发育,前者以二叠系大石包组海相基性火山岩为代表,是峨眉山大火成岩省同期海相喷发的产物;侵入岩有印支期同碰撞—后碰撞的嘎拉子岩体(约210 Ma)^[34]和燕山早期新火山—铁厂河A型花岗岩体(约160 Ma)^[35-36],暗示归宁地区经历了印支期—燕山早期强烈的岩浆活动。

区域地质填图将归宁地区西康群划分为中三叠统扎尕山组(T_2zg)、上三叠统杂谷脑组(T_3z)、侏倭组(T_3zw)、新都桥组(T_3xd)及两河口组(T_3lh)(图1-b),总体自下而上表现出由砂岩为主过渡到砂岩与板岩互层再到板岩为主的特征(表1),反映了沉积物粒度由粗变细、层厚由厚变薄、海水由浅到深的变化过程。研究区西康群发育不完整鲍马序列,层序较清晰(图版I-a~d);地层中见粒序层理(图版I-e)、槽模(图版I-f)、重荷模(图版I-g)、沟模(图版I-h)等反映浊流特征的沉积构造,少数地方保留有波痕示顶构造(图版I-i),古水流方向恢复为 $310^\circ\sim 330^\circ$,指示物源区位于南东方向。

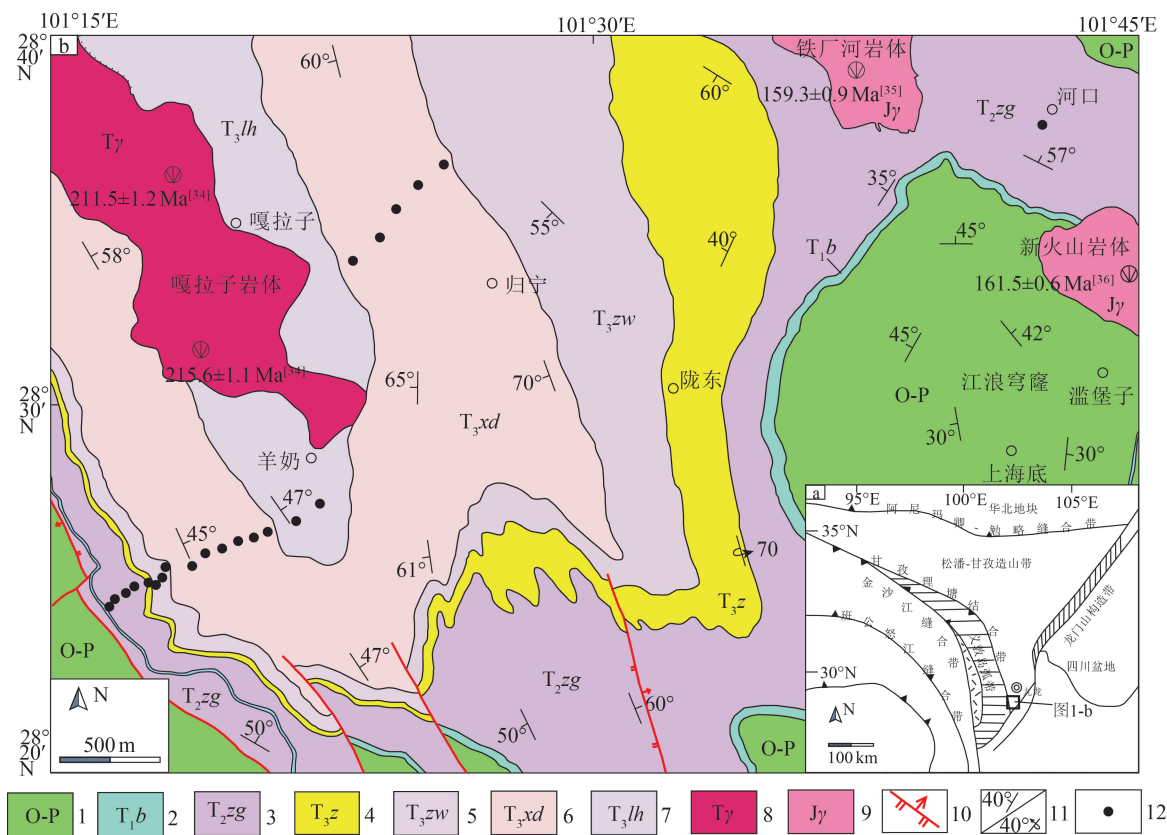


图 1 川西归宁地区区域地质略图及采样位置

Fig. 1 Simplified geological map and sampling location of the Guining area, West Sichuan Province

1—奥陶系-二叠系;2—波茨坦组;3—扎孔山组;4—杂谷脑组;5—休倭组;6—新都桥组;7—两河口组;
8—印支期花岗岩;9—燕山期花岗岩;10—逆断层;11—正常产状/倒转产状;12—样点位置

整套地层均经历了区域变质作用,主以变质长石砂岩为主,成熟度低,具近源搬运沉积的特点。镜下观察具变余砂状结构,粒状鳞片变晶结构,由变余碎屑(60%~90%)和变质矿物(10%~40%)组成(图版 I-j)。变余碎屑主要为石英、长石夹少量白云母,其中石英含量为 20%~30%,粒径为 0.06~0.7 mm,

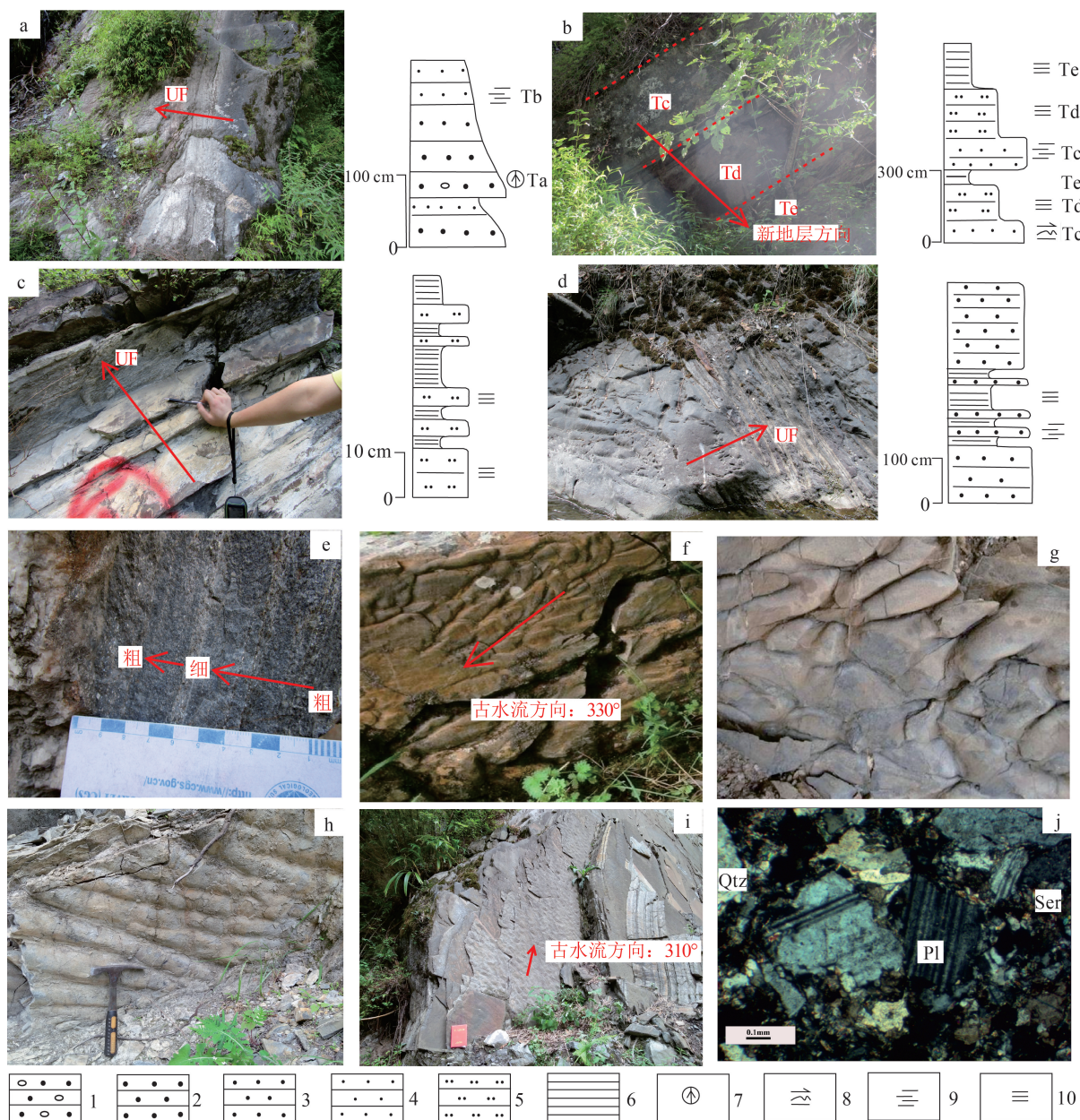
以单晶石英为主,少量多晶石英和硅质岩屑,有磨圆现象,颗粒形态清晰,杂乱分布,继承了原岩硅质部分;长石含量为 40%~60%,粒径为 0.08~0.5 mm,以斜长石为主,碱性长石次之;白云母含量小于 5%,粒径为 0.1~0.5 mm,无色片状,正中突起,平行消光。变质矿物主要为绢云母、方解石等,有轻

表 1 归宁地区三叠系西康群岩石地层特征

Table 1 Stratigraphic classification of the Triassic Xikang Group in the Guining area

群	组	代号	岩性描述
西康群	两河口组	T ₃ lh	下部为深灰色厚层-块状变质砂岩夹板岩,中部为变质砂岩与板岩互层,上部以板岩为主夹变质砂岩
	新都桥组	T ₃ xd	灰黑色绢云母板岩、钙质板岩、粉砂质板岩为主夹少量薄-厚层状变质砂岩、极少量含砾细砂岩及灰岩透镜体
	休倭组	T ₃ zw	深灰色薄-中层状变质砂岩与绢云母板岩、粉砂质板岩韵律互层
	杂谷脑组	T ₃ z	深灰色块状变质长石砂岩为主,夹灰黑色绢云母板岩、粉砂质板岩
	扎孔山组	T ₂ zg	深灰色中-厚层状变质长石细砂岩、变质钙质细砂岩夹深灰色粉砂质板岩、钙质板岩、薄-中层状灰岩

图版 I Plate I



a. 不完整鲍马序列 Tab 段; b. 不完整鲍马序列 Tcde 段; c. 向上变细变薄层序; d. 杂谷脑组基本层序; e. 正粒序层理; f. 槽模构造; g. 重荷模构造; h. 沟模构造; i. 层面及波痕示顶构造; j. 变质长石砂岩镜下特征(正交偏光); 1—含砾粗砂岩; 2—粗砂岩; 3—中砂岩; 4—细砂岩; 5—粉砂岩; 6—板岩; 7—正粒序层理; 8—波痕构造; 9—平行层理; 10—水平层理; UF—正粒序; Pl—斜长石; Ser—绢云母; Qtz—石英

微定向排列特征,其中绢云母含量 15%~25%,呈微细鳞片状;方解石含量 5%~15%,无色,微细粒状。砂岩中重矿物含量小于 5%,以菱铁矿为主,极少量锆石、电气石。

2 样品采集与测试

本次采集了 25 件变质砂岩样品进行主量、微量及稀土元素分析。采样过程中充分考虑了样品的

代表性,涵盖了区内西康群出露的各个地层单元,尽量避免蚀变、风化、矿化及后期构造对样品的影响,保证样品的新鲜程度。样品测试工作由中国地质科学院矿产综合利用研究所完成,室内粉碎至 200 目,主量元素采用 X 射线荧光光谱法测定,分析精度优于 5%;微量元素采用电感耦合等离子体质谱法测定,分析精度优于 10%,分析方法详见参考文献[37],质量满足要求。

3 地球化学特征

3.1 主量元素

主量元素分析结果见表 2。研究区西康群碎屑岩的 SiO_2 含量为 57.31%~69.68% (平均 64.68%); Al_2O_3 含量为 9.32%~16.09% (平均 10.25%), 这与富含长石、云母、粘土类矿物有关; TFe 含量变化大, 为 2.44%~7.04%。澳大利亚后太古代页岩 (PAAS) 主量元素被认为代表了上地壳的平均化学成分^[38], 与其相比, 区内碎屑岩 SiO_2 、 P_2O_5 含量与 PASS 相当, CaO 、 MgO 含量较高, 而 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 K_2O 、 TiO_2 含量偏低。在 $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3) - \log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ 碎屑岩分类图解中^[39] (图 2), 样品点均落于杂砂岩、长石砂岩和岩屑砂岩中, 与镜下鉴定结果基本一致。

3.2 微量元素

微量元素分析结果见表 3。与 Taylor 等^[40] 研究获得的大陆上地壳微量元素值相比, 研究区西康群碎屑岩铁族元素 Cr、V、Co、Ni 等高于上地壳丰度, 造岩元素中 Zr 与上地壳含量相当, 而放射性元素 Th、U 均略低于上地壳含量。微量元素球粒陨石标准化蛛网图曲线呈“M”型缓右倾 (图 3-a), 除极少数样品可能由于距离穹窿较近, 受区域动力热流变质作用影响而导致微量元素有所差异外, 大多数样品微量元素含量及变化趋势近乎一致。碎屑岩主体表现为富 Th、U、La、Nd、Zr、Sm, 贫 K、Nb、Sr、P、Hf 的特征。

3.3 稀土元素

稀土元素分析结果见表 4。川西归宁地区西康群碎屑岩的稀土元素总量 ΣREE 变化范围为 $76.88 \times 10^{-6} \sim 276.07 \times 10^{-6}$ (平均 144.32×10^{-6}), 其平均值与上地壳稀土元素含量 (165.35×10^{-6})^[38] 大致相当; 特征值 LREE/HREE 为 8.94~15.96 (平均 10.87), $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 值为 8.48~42.74 (平均 22.56), 轻、重稀土元素分馏明显, 属轻稀土元素富集型。从稀土元素球粒陨石标准化分布型式图 (图 3-b) 可

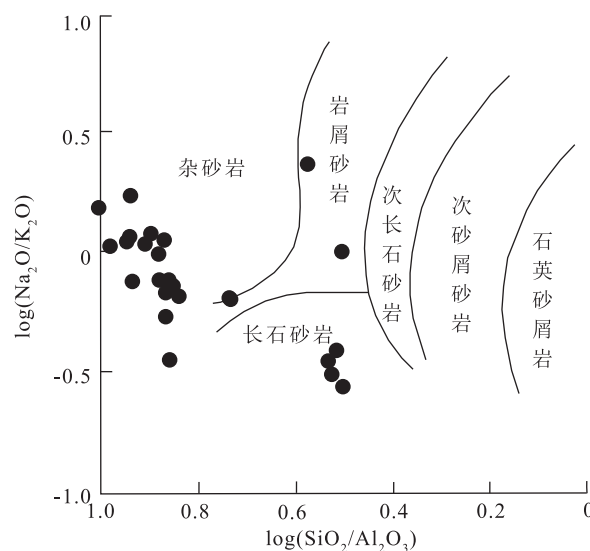


图 2 归宁地区碎屑岩的 $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3) - \log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ 分类图解^[39]

Fig. 2 Classification diagram of $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3) - \log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ for clastic sedimentary rocks in the Guining area

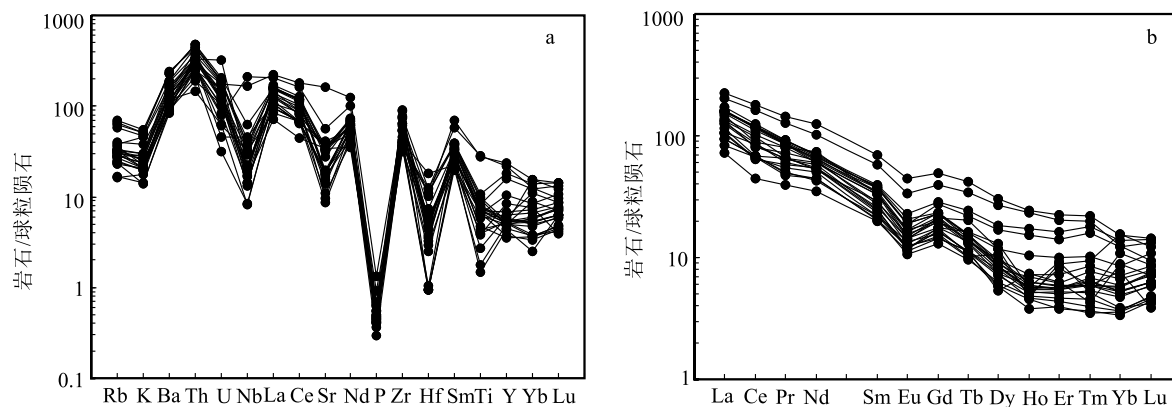


图 3 归宁地区碎屑岩微量元素球粒陨石标准化蛛网图(a)和稀土元素球粒陨石标准化分布型式图(b) (球粒陨石标准值据参考文献[41])

Fig. 3 Chondrite-normalized trace element spider diagrams(a) and chondrite-normalized REE patterns (b) of clastic sedimentary rocks in the Guining area

表 2 归宁地区西康群碎屑岩主量元素分析结果

Table 2 Major element concentration of the Xikang Group clastic sedimentary rocks in the Guining area

样品号	含量/%											CIA	ICV
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO		
PM02-126YQ1	72.72	8.10	1.66	1.76	4.57	1.38	1.34	1.51	0.35	0.18	0.04	65	1.38
PM02-127YQ1	51.92	14.95	1.85	4.14	6.57	3.77	3.04	1.06	0.69	0.15	0.10	74	1.16
PM02-12YQ1	53.04	9.58	1.06	3.93	11.87	3.10	1.62	1.03	0.53	0.14	0.11	72	2.09
PM02-18YQ1	55.36	7.14	2.92	1.11	13.56	1.82	1.37	1.03	0.43	0.16	0.14	68	2.86
PM02-21YQ1	67.79	7.49	0.50	1.98	7.31	2.12	1.30	1.43	0.45	0.12	0.05	64	1.73
PM02-40YQ1	52.56	16.28	0.79	4.65	6.31	3.34	3.30	0.90	0.61	0.26	0.09	76	1.02
PM02-44YQ1	67.83	6.48	0.90	1.84	8.86	1.68	0.94	1.42	0.29	0.17	0.09	63	2.20
PM02-74YQ1	71.54	8.64	1.75	2.17	3.85	1.93	1.55	1.65	0.51	0.12	0.05	64	1.33
PM02-91YQ1	52.93	15.52	2.48	4.56	4.74	4.10	3.30	1.02	0.74	0.18	0.13	74	1.09
PM02-108YQ1	65.23	8.38	0.77	2.79	6.05	2.88	1.53	1.49	0.49	0.12	0.05	65	1.57
PM19-18YQ1	72.62	8.23	1.95	2.16	4.30	1.46	1.45	1.08	0.11	0.14	0.13	70	1.34
PM19-35YQ1	71.52	9.43	0.13	3.30	3.78	3.26	1.35	1.49	0.29	0.11	0.05	69	1.10
PM19-82YQ1	75.74	9.33	0.34	2.34	1.68	2.70	1.35	1.60	0.32	0.13	0.04	69	0.82
PM19-112YQ1	73.73	8.28	0.36	3.38	3.50	2.37	0.91	1.52	0.20	0.14	0.07	68	1.19
PM19-106YQ1	78.15	7.95	0.39	2.23	2.34	1.76	1.28	1.33	0.13	0.10	0.07	67	0.97
PM10-97YQ1	43.15	13.28	2.00	7.89	13.26	4.08	2.99	2.93	2.05	0.38	0.11	60	2.34
PM10-101YQ1	69.84	9.77	0.85	3.06	4.08	2.81	1.96	1.28	0.57	0.13	0.04	68	1.21
PM10-106YQ1	67.61	8.94	1.23	2.87	5.97	2.42	1.83	1.31	0.53	0.13	0.06	67	1.54
PM10-107YQ1	67.82	9.16	1.13	3.23	5.24	2.47	1.96	1.40	0.53	0.13	0.06	66	1.47
PM15-48YQ1	57.39	17.23	3.09	5.88	4.96	3.85	3.57	1.38	0.80	0.16	0.15	73	1.14
PM10-81YQ1	57.23	14.94	1.29	10.71	1.61	3.58	1.15	2.58	2.10	0.19	0.22	76	1.30
PM10-11YQ1	63.48	8.46	0.75	3.12	9.15	2.36	1.70	1.27	0.48	0.11	0.09	67	1.95
PM10-14YQ1	66.54	8.91	1.33	2.97	6.82	2.64	1.74	1.17	0.61	0.13	0.06	69	1.64
PM10-46YQ1	73.96	9.99	0.32	2.12	2.88	2.28	2.52	0.90	0.58	0.12	0.05	70	0.93
PM10-48YQ1	74.72	9.91	0.75	2.80	2.24	1.98	1.90	1.01	0.50	0.082	0.05	72	0.93
测区平均值	64.98	10.25	1.22	3.48	5.82	2.65	1.88	1.39	0.60	0.15	0.08	69	1.45
PASS(上地壳)	62.40	18.88	7.18	—	1.29	2.19	3.68	1.19	0.99	0.16	2.19		

以看出,碎屑岩的 δEu 值为 0.61~0.68,具中等负 Eu 异常;除 3 个样品重稀土元素出现差异外(可能是由于距离穹窿较近,受热流变质作用影响),其余样品曲线变化趋势大体一致,向右缓倾斜,暗示研究区西康群各地层碎屑岩的物质来源基本稳定且同源。

4 讨 论

4.1 源区风化程度

化学蚀变指数(CIA)可以定量的反映物源区的化学风化程度^[42],是确定物源区风化程度的重要化学指标,其表达式为: $\text{CIA} = [\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})] \times 100$ (式中的化学成分的含量均为摩尔数), CaO^* 指岩石中硅酸盐矿物中所含 CaO 的

摩尔数。在计算过程中,按照 McLennan^[43]和 Panahi 等^[44]研究中的方法对 CaO^* 进行了校正,即先用 P_2O_5 校正磷酸盐中的 CaO($\text{CaO}^* = \text{CaO} - (10/3 \times \text{P}_2\text{O}_5)$),如果校正后 CaO 摩尔数小于 Na_2O 摩尔数的,以校正后的 CaO^* 值参与计算;如果校正后 CaO 摩尔数大于 Na_2O 摩尔数的,则采用 Na_2O 摩尔数作为 CaO^* 值参与计算。大部分新鲜的未风化火成岩 CIA 值约为 50,未经交代的砂岩 CIA 值在 50~80 之间,大于 80 表示遭受强风化^[9, 13, 45-46]。由表 2 可以看出,归宁地区西康群碎屑岩的 CIA 化学蚀变指数在 60~76 之间(平均值 69),反映物源区经历了低程度的化学风化作用。

$\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{CaO}) - \text{K}_2\text{O}$ 图解可以直观地反

表 3 归宁地区西康群碎屑岩微量元素分析结果
Table 3 Trace element concentration of the Xikang Group clastic sedimentary rocks in the Guiling area

样品编号	元素含量/ 10^{-6}																	
	Cr	Ni	Co	Li	Rb	Cs	Sr	Ba	V	Sc	Nb	Ta	Zr	Hf	Ga	U	Th	Cr/Zr
PM02-126YQ1	41.1	27.0	9.5	24.1	62.5	4.57	133	258	45.0	6.08	4.26	0.302	162	0.577	11.9	0.83	7.6	0.25
PM02-127YQ1	90.6	45.9	16.1	68.9	135.0	10.20	258	459	99.6	14.7	9.36	0.706	136	1.33	20.8	1.53	12.7	0.67
PM02-12YQ1	66.9	40.6	14.5	41.2	77.5	4.45	298	236	51.3	7.62	3.49	0.215	122	0.583	14.3	1.16	9.1	0.55
PM02-18YQ1	45.7	21.5	5.8	12.6	53.7	3.21	250	214	37.5	5.61	4.14	0.253	156	0.662	8.6	1.24	7.2	0.29
PM02-21YQ1	72.0	25.4	8.3	8.47	55.8	2.98	134	214	30.0	5.13	3.26	0.239	286	0.473	10.5	0.89	10.9	0.25
PM02-40YQ1	111.0	54.5	16.0	66.2	145.0	10.1	198	546	113.0	16.6	8.16	0.618	151	1.180	21.9	1.48	13.9	0.74
PM02-44YQ1	63.6	20.6	5.7	16.6	38.8	2.39	262	203	25.0	3.68	3.49	0.244	161	0.459	9.6	0.66	7.8	0.40
PM02-74YQ1	67.4	27.1	8.9	20.2	65.9	4.15	141	268	49.0	7.31	4.6	0.379	233	0.795	13.3	1.04	9.9	0.29
PM02-91YQ1	102.0	53.8	21.0	63.3	152.0	9.40	127	587	110.0	16	9.05	0.636	138	1.180	25.3	1.57	12.9	0.74
PM02-108YQ1	56.6	26.2	7.8	11.5	66.1	4.20	240	263	47.5	6.75	4.68	0.319	208	0.608	13.6	0.92	9.1	0.27
PM19-18YQ1	44.0	21.6	5.9	30.7	83.0	5.57	79	281	37.6	10.3	2.02	<0.1	155	1.930	10.1	0.50	4.18	0.28
PM19-35YQ1	53.4	26.2	11.6	50.2	74.7	8.54	121	331	60.6	10.6	5.45	0.9	156	<0.1	13.2	2.58	9.8	0.34
PM19-82YQ1	64.5	25.6	10.7	54.9	68.9	6.57	70	277	49.6	10.9	7.07	0.48	294	0.560	12.1	0.81	7.7	0.22
PM19-112YQ1	63.7	29.2	10.0	68.4	55.3	4.00	113	217	61.9	16.1	5.29	0.32	340	<0.1	12.3	0.83	5.5	0.19
PM19-106YQ1	39.9	20.0	9.9	31.8	57.1	2.94	63	238	44.0	7.67	2.07	<0.1	134	<0.1	10.5	0.25	6.2	0.30
PM10-97YQ1	126	104.0	39.1	31.6	89.1	2.83	1180	395	170.0	19.6	40.6	2.96	252	1.07	24.5	1.39	8.6	0.50
PM10-101YQ1	84.9	36.2	12.1	28.6	76.0	4.04	128	445	54.2	9.54	5.05	0.325	247	0.396	12.7	1.40	10.7	0.34
PM10-106YQ1	69.3	33.7	12.0	26.7	72.7	4.10	246	381	46.8	7.99	4.93	0.347	209	0.514	13.3	0.98	9.5	0.33
PM10-107YQ1	75.4	34.2	13.3	28.6	77.6	5.42	228	397	48.8	8.28	5.36	0.428	214	0.481	12.7	1.15	9.9	0.35
PM15-48YQ1	105.0	51.2	20.0	33.9	161.0	7.67	239	547	132.0	17.5	15.6	1.19	138	0.111	24.0	1.64	13.7	0.76
PM10-81YQ1	155.0	81.2	26.9	39.6	38.0	0.76	410	252	213.0	24	52	3.36	299	1.300	24.4	0.63	7.26	0.52
PM10-11YQ1	62.6	31.3	10.3	24.4	71.2	4.68	239	318	45.9	6.87	8.05	0.594	178	0.371	12.6	1.02	8.9	0.35
PM10-14YQ1	86.9	30.4	10.5	29.8	70.4	5.45	233	335	46.8	8.24	10.7	0.845	353	0.347	14.3	1.44	11.9	0.25
PM10-46YQ1	61.8	48.5	13.9	38.1	92.5	6.33	102	314	59.2	12.9	11.2	0.809	143	0.269	16.0	0.36	8.1	0.43
PM10-48YQ1	44.2	33.9	9.8	26.6	63.4	5.37	138	328	40.2	8.59	7.9	0.617	143	0.313	12.0	0.49	7.9	0.31
测区平均	74.1	38.0	13.2	35.1	80.1	5.20	225	332	68.7	10.74	9.51	0.74	200.32	0.70	14.98	1.07	9.24	0.40
上地壳	63.88	36.03	11.13	29.73	74.38	5.46	178.	324	48.0	9.15	9.46	0.72	204.25	0.33	13.73	0.83	9.20	

表 4 归宁地区西康群碎屑岩稀土元素分析结果
Table 4 REE concentration of the Xikang Group clastic sedimentary rocks in the Guining area

样品编号	元素含量/ 10^{-6}														特征值				
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	Σ REE/ / 10^{-6}	LREE/ HREE	(La/Yb) _N	Eu/Eu [*]
PM02-126YQ1	27.1	41.5	6.19	25.7	3.75	0.709	3.09	0.372	1.46	0.215	0.651	0.089	0.609	0.115	5.6	111.55	15.90	31.92	0.62
PM02-127YQ1	37.4	73.8	8.73	31.6	5.76	1.100	4.70	0.541	2.11	0.309	0.907	0.152	0.978	0.192	7.64	168.28	16.02	27.43	0.63
PM02-12YQ1	24.9	39.6	5.47	25.5	3.97	0.831	3.60	0.504	2.44	0.413	1.190	0.216	1.210	0.218	10.6	110.06	10.24	14.76	0.66
PM02-18YQ1	17.1	27.5	3.75	16.5	3.01	0.655	2.96	0.423	2.04	0.394	1.010	0.198	1.140	0.200	9.83	76.88	8.190	10.76	0.66
PM02-21YQ1	38.0	70.2	8.04	29.6	5.2	0.872	4.30	0.498	2.02	0.294	0.835	0.135	0.800	0.151	7.76	160.95	16.82	34.07	0.55
PM02-40YQ1	38.5	72.2	8.31	30	5.65	1.100	4.70	0.576	2.16	0.313	0.944	0.152	0.965	0.188	8.21	165.76	15.58	28.62	0.63
PM02-44YQ1	25.4	40.4	5.2	23.3	3.38	0.697	3.32	0.425	1.87	0.333	0.907	0.161	0.914	0.160	8.35	106.47	12.16	19.93	0.63
PM02-74YQ1	36.7	72.8	8.11	28.3	5.07	0.832	4.09	0.483	1.88	0.261	0.725	0.101	0.616	0.124	7.94	160.09	18.33	42.74	0.54
PM02-91YQ1	37.7	72.4	8.38	31.3	5.88	1.200	4.76	0.585	2.30	0.337	0.918	0.174	1.010	0.182	8.38	167.13	15.28	26.77	0.67
PM02-108YQ1	31.2	49.5	6.91	29.2	4.22	0.761	3.55	0.407	1.50	0.255	0.623	0.092	0.569	0.110	5.83	128.90	17.14	39.33	0.59
PM19-18YQ1	22.4	42.5	4.56	18.0	3.42	0.640	2.44	0.330	0.93	0.240	1.100	0.160	0.420	0.160	6.87	97.30	15.83	38.26	0.64
PM19-35YQ1	22.4	42.0	4.82	19.8	3.33	0.780	3.22	0.380	2.68	0.280	1.360	0.150	1.300	0.099	13.3	102.60	9.84	12.36	0.72
PM19-82YQ1	31.2	59.6	6.31	24.4	4.42	0.820	4.36	0.760	2.96	0.270	1.480	0.240	2.640	0.310	8.03	139.77	9.74	8.48	0.56
PM19-112YQ1	30.0	53.4	5.68	25.2	3.60	0.680	3.60	0.610	3.28	0.320	1.540	0.130	1.860	0.220	9.31	130.12	10.26	11.57	0.57
PM19-106YQ1	22.4	41.8	4.64	20.9	3.10	0.720	2.97	0.420	1.36	0.420	1.040	0.110	1.510	0.180	7.89	101.57	11.68	10.64	0.72
PM10-97YQ1	52.8	110	13.8	58.1	10.70	2.600	10.20	1.560	7.67	1.390	3.720	0.558	2.610	0.365	36.9	276.07	8.83	14.51	0.75
PM10-101YQ1	36.4	67.9	8.07	30.4	5.35	0.979	4.79	0.572	2.42	0.353	0.980	0.151	0.842	0.146	9.05	159.35	14.54	31.01	0.58
PM10-106YQ1	34.6	54.4	7.55	34.2	5.14	0.941	4.42	0.513	2.16	0.321	0.946	0.162	0.883	0.161	8.1	146.40	14.30	28.11	0.59
PM10-107YQ1	32.5	62.7	7.55	28.1	5.01	0.981	4.08	0.526	2.31	0.358	0.969	0.150	0.895	0.160	8.81	146.29	14.48	26.05	0.64
PM15-48YQ1	37.8	72.5	8.62	33.0	6.00	1.320	5.82	0.910	4.68	0.972	2.680	0.455	2.340	0.358	28.5	177.46	8.74	11.59	0.67
PM10-81YQ1	48.5	98.4	12	47.4	8.94	1.930	8.15	1.270	6.81	1.320	3.340	0.508	2.130	0.241	34.1	240.94	9.14	16.33	0.68
PM10-11YQ1	29.7	50.1	6.27	28.3	4.4	0.910	4.00	0.590	2.98	0.585	1.660	0.262	1.450	0.274	16.2	131.48	10.14	14.69	0.65
PM10-14YQ1	40.6	77.2	8.78	32.7	5.73	1.080	5.69	0.817	4.31	0.862	2.350	0.406	2.070	0.334	25.1	182.93	9.86	14.07	0.57
PM10-46YQ1	25.2	52.4	6.04	26.9	3.81	0.685	3.39	0.410	1.81	0.292	0.867	0.131	0.654	0.106	8.33	122.70	15.02	27.64	0.57
PM10-48YQ1	19.9	41.2	4.51	21.0	3.19	0.619	2.68	0.359	1.60	0.275	0.766	0.117	0.638	0.121	7.02	96.98	13.79	22.37	0.63
测区平均	32.0	59.4	7.13	28.9	4.88	0.978	4.36	0.594	2.71	0.455	1.340	0.210	1.240	0.200	12.31	144.32	12.87	22.56	0.63
上地壳	30	64	7.1	26	4.5	0.88	3.8	0.64	3.5	0.8	2.3	0.33	2.2	0.32	22				

映源岩风化程度^[45],理想状态下风化趋势近平行于 A-CN 边。从图 4 可以看出,样品点连线基本平行于理想风化趋势,且大多数样品的风化程度明显低于平均页岩,表明碎屑岩成岩之前,其化学风化作用弱。

另外,风化作用的增强会导致沉积物中的 U 流失而造成 Th/U 值增大^[47-48],Th/U 值也可以示踪风化及沉积过程。归宁地区西康群碎屑岩的 Th/U 值多数集中在 5.7~11.5 之间(平均 8.5),从图 5 可以看出,样品点集中落于上地壳(Th/U>3.8)的区域,同样暗示了较弱的化学风化程度。

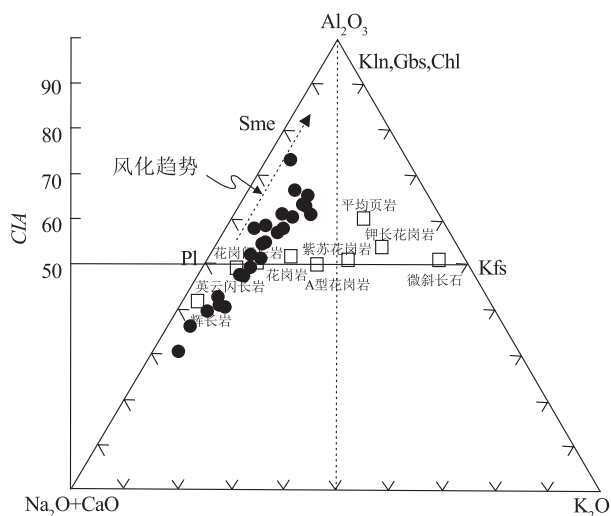


图 4 归宁地区碎屑岩 Al_2O_3 -($\text{Na}_2\text{O}+\text{CaO}$)- K_2O 图解^[45]

Fig. 4 Al_2O_3 -($\text{Na}_2\text{O}+\text{CaO}$)- K_2O diagram of clastic sedimentary rocks in the Guining area

Sme—绢云母;Kln—高岭石;Gbs—三水铝矿;Chl—绿泥石;
Pl—斜长石;Kfs—钾长石

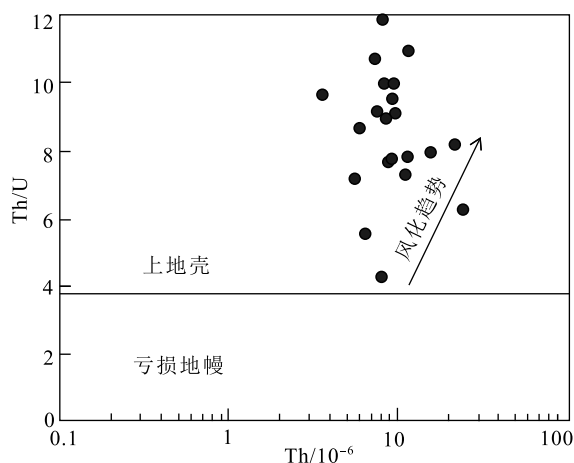


图 5 归宁地区碎屑岩 Th-Th/U 图解^[47]

Fig. 5 Th-Th/U diagram of clastic sedimentary rocks in the Guining area

4.2 沉积物成熟度

La/V 、 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 和成分变异指数(ICV)值可有效判别沉积物的成熟度^[49],其中 ICV 还可判断碎屑沉积岩序列代表第一次沉积还是再循环的沉积产物^[50]。一般情况下,粘土矿物少的细碎屑岩的 ICV 值大于1,反映是在活动的构造带首次沉积,而含有大量粘土矿物的细碎屑岩的 ICV 值小于1,反映沉积物是在经历了再循环或强烈风化条件下沉积^[50-51]。研究区样品的 La/V 值为0.23~1.27, $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 值为3.2~9.1,表明沉积物成熟度偏低。从表1可以看出,本次研究的碎屑岩 ICV 指数在0.82~2.85之间,绝大多数大于1,平均值1.45,暗示其沉积物是活动构造带的首次沉积,往往形成于活动大陆边缘的构造环境,属构造活动时期的初始沉积。由此可见,归宁地区西康群碎屑岩总体成熟度低,具近源沉积的特征,反映物源区经历了快速抬升及剥蚀的过程。

4.3 源区物质组成

A-CN-K图解能直观反映源岩风化程度外,还可用于限定源岩的成分^[45]。在没有发生K交代的情况下,钾长石(Kfs)-斜长石(Pl)连线与样品点风化趋势线交点可以反映未风化源岩中2种长石的比例,从而限定源岩的成分。如图4所示,投图结果暗示源岩区可能存在类似花岗类岩石成分的物质。

微量元素Th、Sc、Co、Cr在搬运过程中能够很快进入沉积物中,能有效反映碎屑岩的物源性质^[40, 43, 52]。由表3可以看出,归宁地区砂岩的Th/Sc平均值为1.03,与上地壳Th/Sc值(0.97)相当,远高于下地壳的值(0.03),表明源区物质以上地壳长英质为主,与图5反映结果一致。Cr和Zr元素主要反映铬铁矿和锆石的含量,其比值也可以区别镁铁质与长英质物质来源^[52],归宁地区西康群样品的Cr/Zr平均值为0.40,属长英质物源区。

同时,Roser等^[53]基于主量元素提出的砂岩-泥岩套物源区指纹判别图解可有效判别碎屑岩的源区性质,将砂岩源区划分为4种性质类型,即基性火山岩物源区、中性火山岩物源区、酸性火山岩物源区及成熟大陆石英质物源区。研究区西康群碎屑岩样品主要落入成熟大陆石英质物源区(图6)。为进一步更好地探讨研究区碎屑岩物源区性质,利用 La/Th -Hf源区判别图解^[54-56](图7),样品的 La/Th 值(2.31~6.68)及Hf含量(小于 1.3×10^{-6})均较低,

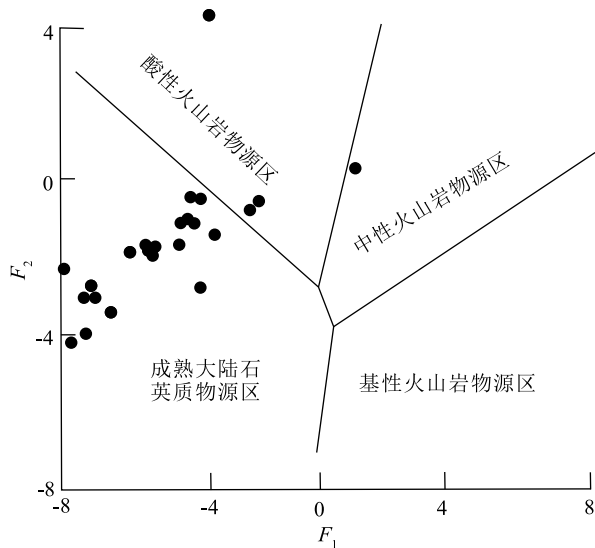
图6 归宁地区碎屑岩源区性质函数判别图解^[53]

Fig. 6 Provenance discrimination diagram of clastic sedimentary rocks in the Guining area

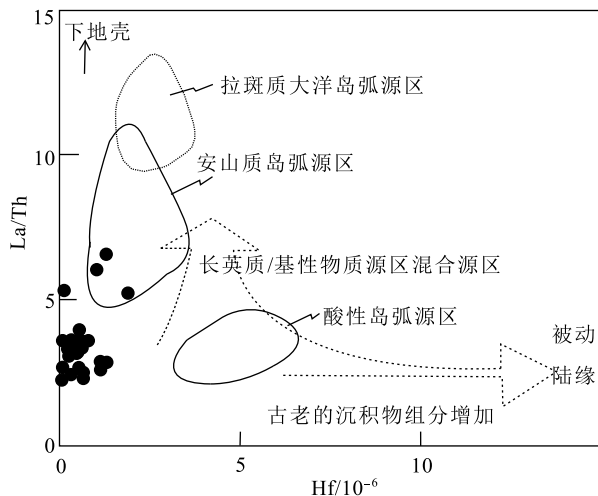
图7 归宁地区碎屑岩 Hf-La/Th 图解^[54]

Fig. 7 Hf-La/Th diagram of clastic sedimentary rocks in the Guining area

样点集中,同样反映了源区具有长英质的物质组成。

4.4 构造背景判别

碎屑沉积岩的地球化学特征与物质组成密切相关,而物质组成与其物源和大地构造环境有关,因此碎屑沉积岩地球化学特征可以用来反演构造背景^[56]。Bhatia 等^[57]通过研究认为,沉积物的 Fe、Ti 元素不易流失,在水中驻留时间很短,能较好地反映母岩性质,Mg 在一定程度上也能代表母岩的原始含量,并利用这几种元素氧化物作为参数建

立了判别图解,划分出大洋岛弧、大陆岛弧、活动大陆边缘及被动大陆边缘 4 种典型的砂岩构造环境^[57]。将研究区 25 件样品主量元素分析结果投入判别图中(图 8),样品大多落于活动大陆边缘、大陆岛弧区内或附近,说明归宁地区的西康群碎屑岩物源区具有活动大陆边缘及大陆岛弧构造背景的特点。

Bhatia 等^[57]通过研究澳大利亚东部的 5 个已知物源区构造背景的浊积岩层序中杂砂岩及泥岩的地球化学特征后,建立了不同构造背景判别图解。归宁地区碎屑岩 Th 含量为 $4.18 \times 10^{-6} \sim 13.90 \times 10^{-6}$ (平均值 9.24×10^{-6}),U 含量 $0.25 \times 10^{-6} \sim 2.58 \times 10^{-6}$ (平均值 1.07×10^{-6}),Sc 含量 $3.68 \times 10^{-6} \sim 24.00 \times 10^{-6}$ (平均值 10.74×10^{-6}),Sc/Cr 值为 $0.06 \sim 0.26$ (平均值 0.15),Th/U 值 $3.75 \sim 24.72$ (平均值 10.11),Zr/Th 值为 $10.07 \sim 61.82$ (平均值 23.60),Th/Sc 值为 $0.30 \sim 2.12$ (平均值 1.03)。从表 5 可以看出,这些值均与大陆岛弧和活动大陆边缘环境的碎屑岩特征类似。25 件砂岩微量元素结果投入 La-Th-Sc、Th-Sc-Zr/10 图解(图 9)中,样品大多落入大陆岛弧区域,少量落于活动大陆边缘区域,同样表明了归宁地区西康群碎屑岩物源区构造背景为大陆岛弧和活动大陆边缘。

稀土元素很难在天然水体中溶解,化学性质较稳定,可作为构造背景的良好指示剂^[32]。归宁地区西康群碎屑岩的 La 含量 $17.10 \times 10^{-6} \sim 52.80 \times 10^{-6}$ (平均含量 32.0×10^{-6}),Ce 含量 $27.50 \times 10^{-6} \sim 110 \times 10^{-6}$ (平均 59.4×10^{-6}), ΣREE 含量 $76.88 \times 10^{-6} \sim 276.07 \times 10^{-6}$ (平均值 114.32×10^{-6}), $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 值为 $8.48 \sim 42.74$ (平均值 22.56),LREE/HREE 平均值 12.87,Eu/Eu* 平均值 0.63,各特征值与大陆岛弧和活动大陆边缘构造环境相近(表 6)。这也与主量、微量元素判别结果基本一致。

4.5 可能的物源区

前人对巴颜喀拉盆地三叠系碎屑岩的物源也进行过大量的研究工作,证据涵盖了沉积学、地球化学、同位素等多个领域,争议较大。诸多学者通过岩石学、地球化学、Rb-Sr 及 Sm-Nd 同位素特征,结合区域构造演化背景,认为巴颜喀拉盆地三叠系碎屑岩物质来源为东昆仑-西秦岭造山带、大别山造山带^[9-14]。邹定邦等^[15]、杜德勋等^[16]总结出的古流向主要为自北西向南东,也支持了这一观

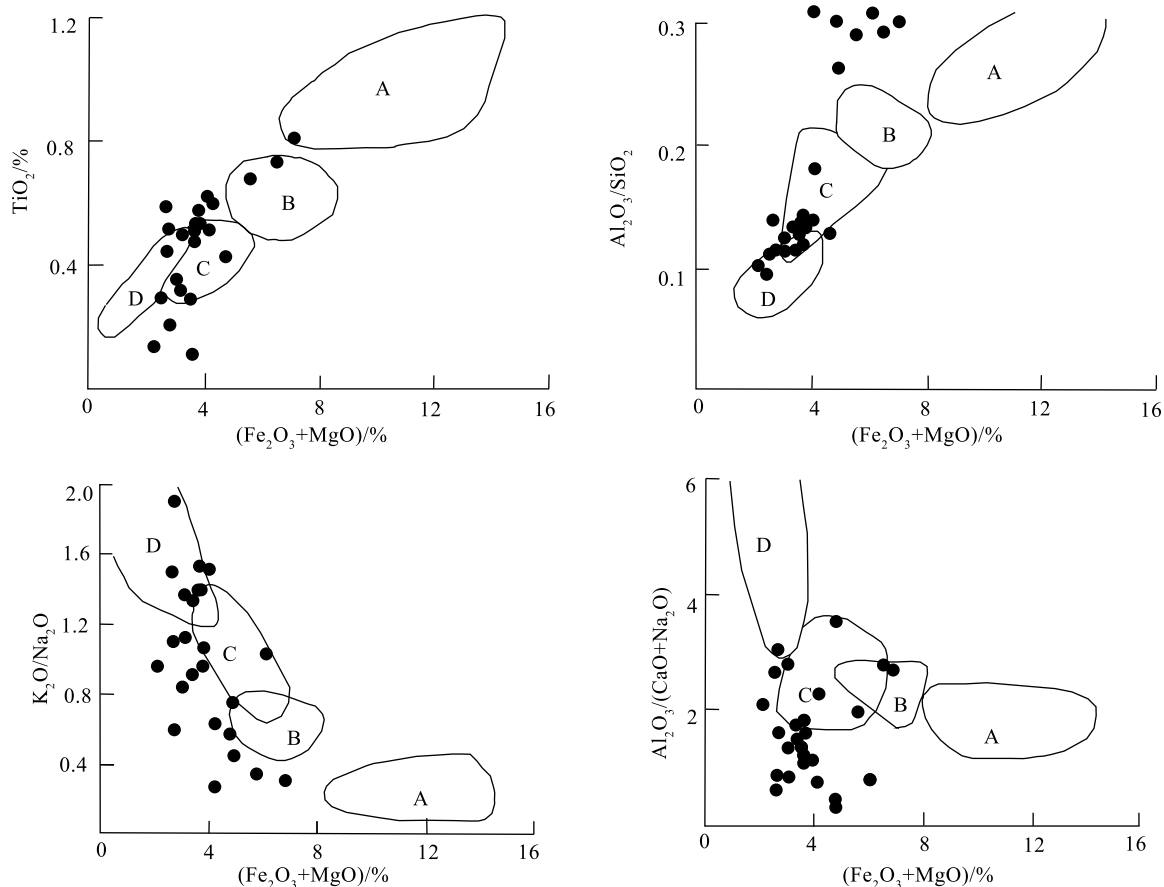
图 8 归宁地区碎屑岩主量元素与构造背景关系判别图^[57]

Fig. 8 Discrimination diagrams of major element compositions for the tectonic setting of the clastic sedimentary rocks in the Guining area

A—大洋岛弧; B—大陆岛弧; C—活动大陆边缘; D—被动大陆边缘

表 5 归宁地区西康群碎屑岩微量元素特征^[55]

Table 5 Trace element features of the Xikang Group clastic sedimentary rocks in the Guining area

 10^{-6}

构造背景	Th	U	Zr	Sc	Co	Sc/Cr	Th/U	Zr/Th	Th/Sc
大洋岛弧	2.27±0.7	1.09±0.21	96±20	19.5±5.2	18±6.3	0.57±0.16	2.1±0.78	48.0±13.4	0.15±0.08
大陆岛弧	11.1±1.1	2.53±0.24	229±27	14.8±1.7	12±2.7	0.32±0.06	4.6±0.45	21.5±2.4	0.85±0.13
活动大陆边缘	18.8±3.0	3.90±0.5	179±33	8.0±1.1	10.0±1.7	0.30±0.02	4.8±0.38	9.5±0.7	2.59±0.5
被动大陆边缘	16.7±3.5	3.20±0.8	298±80	6.0±1.4	5.0±2.4	0.16±0.02	5.6±0.07	19.1±5.8	3.06±0.8
归宁地区西康群	9.24	1.07	200.32	10.74	—	0.15	10.11	23.60	1.03

表 6 归宁地区西康群碎屑岩 REE 参数^[58]

Table 6 Rare earth element features of the Xikang Group clastic sedimentary rocks in the Guining area

 10^{-6}

构造背景	La	Ce	ΣREE	La/Yb	(La/Yb) _N	LREE/HREE	Eu/Eu*
大洋岛弧	8±1.7	19±3.7	58±10	4.2±1.3	2.8±0.9	3.8±0.9	1.04±0.11
大陆岛弧	27±4.5	59±8.2	146±20	11±3.6	7.5±2.5	7.7±1.7	0.79±0.13
安第斯型大陆边缘	37.00	78.00	186.0	12.50	8.5	9.10	0.60
被动大陆边缘	39.00	85.00	210.0	210.00	10.8	8.50	0.56
归宁地区西康群	32.0	59.4	114.32	13.95	22.56	12.87	0.63

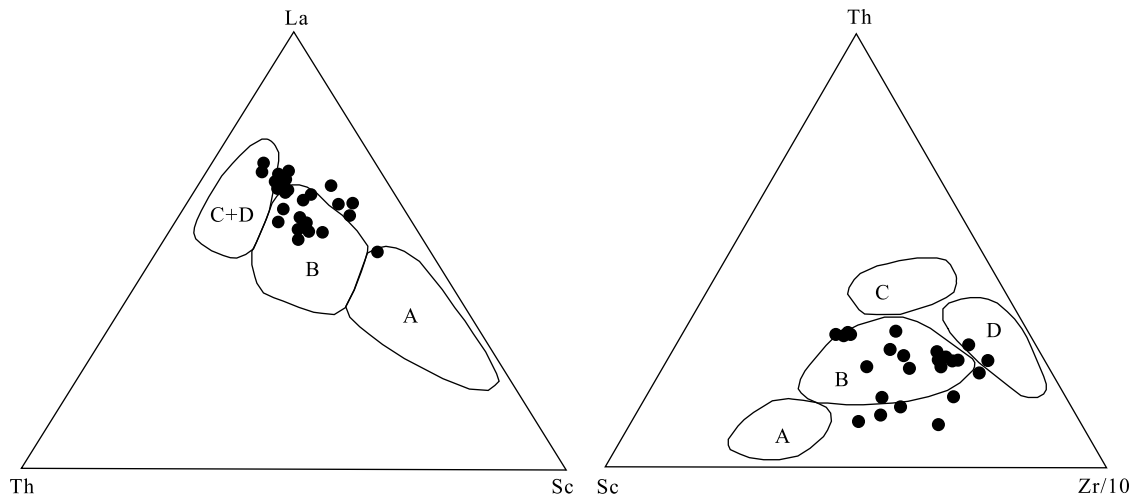
图9 归宁地区西康群微量元素与构造背景关系判别图^[57]

Fig. 9 Discrimination diagrams of trace element for the tectonic setting of the clastic sedimentary rocks, Guining area

A—大洋岛弧; B—大陆岛弧; C—活动大陆边缘; D—被动大陆边缘

点。Bruguier 等^[8]对该盆地的中下三叠统沉积岩中锆石 U-Pb 年龄研究认为,物源区主要为华北地块(中朝克拉通),次为扬子地块。笔者也曾对盆地中部青海达卡地区的巴颜喀拉山群物源区进行了讨论,岩石学和地球化学特征反映其物源区以中酸性火山岩为主,认为东昆仑地块可能为其物源区^[58],其砂岩的物质成分与本次研究的碎屑岩物质成分有明显差异,两者应该不是同一物源区。由此可见,该盆地三叠系碎屑岩具有多物源区的特征,不同地区都可能有着不同的物质供应区。

然而,古生代,华北地块与松潘甘孜地块之间存在一宽阔的特提斯洋,不可能形成大陆岛弧,华北地块缺失泥盆系和下石炭统,长期处于暴露风化条件下,稳定性元素占主要地位,这与巴颜喀拉盆地中三叠统碎屑岩成熟度低、风化程度弱、形成于活动大陆边缘和大陆岛弧构造背景明显不符^[5];至中三叠世末期,秦岭造山带已全面隆起,很显然华北地块不能跨越该造山带为松潘—甘孜地区输送物质^[7],这些证据均排除了物源区为华北地块的可能。部分学者^[4-7]通过碎屑岩的地球化学、碎屑锆石 U-Pb 年龄、Sm-Nd 同位素特征研究也证实,砂岩的碎屑锆石特征、同位素特征均与华北地块有着很大区别,而与扬子地块吻合,与周边构造单元综合对比后认为物源区最有可能为扬子地块。

戴宗明等^[17]认为三叠系巴颜喀拉盆地从南至北,有康滇大陆、龙门山古陆、摩天岭地块、东昆仑—

西秦岭地块、中亚后海西地台提供了南东—北西、东—西、北东—南西、北—南等不同方向的沉积物源。综合前面讨论情况,归宁地区西康群碎屑岩构造背景具有大陆岛弧和活动大陆边缘的双重性,野外收集的古流向为南东—北西,指示物质来源于南东方向,且物源区以上地壳长英质为主,基本没有火山岩物质的加入,沉积物成熟度低,属于快速剥蚀沉积的近源堆积物。根据盆地古地理特征,三叠纪,在南东方向邻近有康滇古陆存在^[59],以出露康定杂岩和会理群为特征,前者主体为新元古代岩浆作用的产物^[60],后者为中元古代以各类片岩、千枚岩和砂、板岩等为主的一套区域变质岩,并夹有岩浆杂岩;上震旦统一古生界为一套稳定型陆源碎屑岩及碳酸盐岩交替的岩性组合^①。由此可见,康滇古陆三叠纪之前的主要物质组成与研究区碎屑岩的物质组成有相似性,主体为长英质类物质。

基于上述讨论,笔者认为研究区西康群碎屑岩的物源区有可能是南东方向邻近的康滇古陆,与扬子地块西缘有较强的亲缘关系。

5 结 论

(1) 归宁地区西康群碎屑岩以浅变质长石砂岩为主,沉积物化学蚀变指数(CIA)和成分变异指数(ICV)低,反映了源区化学风化程度弱,碎屑岩成熟度低,为活动构造带的首次沉积,具有近源快速堆积的特征。

(2) 地球化学特征显示, 归宁地区西康群碎屑岩源区物质以上地壳长英质物源为主。

(3) 归宁地区西康群碎屑岩沉积于活动大陆边缘及大陆岛弧的构造背景, 古水流为南东—北西方向, 结合古地理特征, 认为其物源可能来自于南东方向邻近的康滇古陆, 与扬子地块西缘具有较强的亲缘关系。

致谢: 参加野外工作人员有四川省地矿局川西北地质队罗绍强、赵学森、李江涛等, 中国地质科学院矿产综合利用研究所杨合兴、唐德强清绘部分图件, 审稿老师和编辑部老师对完善本文提出了诸多建设性意见, 在此一并表示感谢。

参考文献

- [1] 谭锡畴, 李春昱. 四川西康地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1959.
- [2] 饶荣标. 川西“西康群”研究的新进展[J]. 地层学杂志, 1987, 11(1): 64-68.
- [3] 许志琴, 侯立玮, 王宗秀, 等. 中国松潘—甘孜造山带的造山过程[M]. 北京: 地质出版社, 1992.
- [4] 兰中伍, 陈岳龙, 苏本勋, 等. 四川松潘—甘孜盆地砂岩的物质来源: 来自锆石 U-Pb(SHRMP) 年龄证据[J]. 沉积学报, 2006, 24(3): 321-332.
- [5] 苏本勋, 陈岳龙, 刘飞, 等. 松潘—甘孜地块三叠系砂岩的地球化学特征及其意义[J]. 岩石学报, 2006, 22(4): 961-970.
- [6] 陈岳龙, 唐金荣, 刘飞, 等. 松潘—甘孜碎屑沉积岩的地球化学与 Sm-Nd 同位素地球化学[J]. 中国地质, 2006, 33(1): 109-118.
- [7] 刘飞, 陈岳龙, 苏本勋, 等. 松潘—甘孜地区三叠系碎屑沉积岩地球化学特征及其锆石年龄研究[J]. 地球学报, 2006, 27(4): 289-296.
- [8] Bruguier O, Lancelot J R, Malavieille J. U-Pb dating on single detrital zircon grains from the Triassic Songpan-Ganze flysch(Central China): provenance and tectonic correlations[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1997, 152: 217-231.
- [9] 佟鑫, 周汉文, 朱云海, 等. 青海格尔木市黑海地区三叠系巴颜喀拉山群变质碎屑岩地球化学特征及物源分析[J]. 岩石矿物学杂志, 2014, 33(4): 630-644.
- [10] 李朋武, 高锐, 管焱, 等. 古特提斯洋的闭合时代的古地磁分析: 松潘复理石杂岩形成的构造背景[J]. 地球学报, 2009, 30(1): 39-50.
- [11] Nie S Y, Yin A, David B R, et al. Exhumation of the Dabie Shan ultra-high-pressure rocks and accumulation of the Songpan-Ganzi flysch sequence, central China[J]. Geology, 1994, 22(11): 999-1002.
- [12] She Z B, Ma C, Roger M, et al. Provenance of the Triassic Songpan-Ganzi flysch, west China[J]. Chemical Geology, 2006, 231(1/2): 159-175.
- [13] Tang Y, Sang L K, Yuan Y M, et al. Geochemistry of Late Triassic pelitic rocks in the NE part of Songpan-Ganzi Basin, western China: Implications for source weathering, provenance and tectonic setting[J]. Geoscience Frontiers, 2012, 3(5): 647-660.
- [14] Yan Z, Fu C L, Jonathan C, et al. Triassic turbidites in the West Qinling Mountains, NW China: Part of the collisional Songpan-Ganzi Basin or an active forearc basin? [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2020, Article in press.
- [15] 邹定邦, 饶荣标, 陈永明, 等. 南巴颜喀拉山三叠系浊积岩[C]// 青藏高原地质文集编委会. 青藏高原地质文集. 北京: 地质出版社, 1984, (2): 27-42.
- [16] 杜德勋, 罗建宁, 惠兰. 巴颜喀拉三叠纪沉积盆地岩相与古地理—以阿坝—若尔盖盆地为例[J]. 岩相古地理, 1998, 18(1): 1-17.
- [17] 戴宗明, 于远山, 王大可. 造山带复理石区海底扇填图的必要性[J]. 四川地质学报, 2000, 20(2): 81-86.
- [18] 朱迎堂. 可可西里—巴颜喀拉三叠系沉积盆地的形成及演化[D]. 成都理工大学博士学位论文, 2006.
- [19] 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.
- [20] 张勤文. 松潘—甘孜印支地槽西康群复理石建造沉积特征及其大地构造背景[J]. 地质论评, 1981, 27(5): 405-412.
- [21] 梁斌, 何文劲, 谢启兴, 等. 川西北壤塘地区三叠纪西康群低级变质作用[J]. 矿物岩石, 2003, (1): 42-45.
- [22] 王全伟, 梁斌, 朱兵, 等. 川西北壤塘地区西康群深海浊积砂岩沉积地球化学特征[J]. 地质地球化学, 2001, 29(4): 82-85.
- [23] 曾宜君, 黄思静, 阚泽忠, 等. 四川西部三叠系西康群地球化学特征与大地构造背景[J]. 沉积与特提斯地质, 2006, 26(1): 22-29.
- [24] Zhu M, Chen H L, Zhou J, et al. Provenance change from the Middle to Late Triassic of the southwestern Sichuan basin, Southwest China: Constraints from the sedimentary record and its tectonic significance[J]. Tectonophysics, 2017, 700/701: 92-107.
- [25] Ingersoll R V, Dickinson W R, Graham S A. Remnant-ocean submarine fans: largest sedimentary systems on Earth[C]// Chan M A, Archer A W. Extreme depositional environments: Mega end members in geologic time. Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper, 2003, 370: 191-208.
- [26] 李利阳. 浊流沉积研究的新进展: 鲍马序列、海底扇的重新审视[J]. 沉积与特提斯地质, 2015, 35(4): 106-112.
- [27] Shanmugam G. New perspectives on deep-water sandstones: Origin, recognition, initiation, and reservoir quality[M]. Amsterdam: Elsevier, 2012.
- [28] 夏宗实. 川西地区“西康群”研究工作中若干基本问题的思考[J]. 四川地质学报, 1993, 13(1): 60-65.
- [29] 谭洪旗. 松潘—甘孜地块南缘穹隆体物质组成、变形—变质特征及成矿响应[D]. 成都理工大学博士学位论文, 2019.
- [30] Dickinson W R, Beard L S, Brakenridge G R, et al. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting[J]. Geological Society of America Bulletin, 1983, 94(2): 222-235.
- [31] Bhatia M R. Composition and classification of Paleozoic flysch mudrocks of Eastern Australia: implications in provenance and tectonic setting interpretation[J]. Sedimentary Geology, 1985, 41(3/4): 249-268.
- [32] Bhatia M R. Rare earth element geochemistry of Australian Paleozoic graywackes and mudrocks: Provenance and tectonic control[J]. Sedimentary Geology, 1985, 45(1/2): 97-113.
- [33] 谭洪旗, 刘玉平. 滇东南猛洞岩群构造环境: 变质碎屑岩地球化学约束[J]. 地质学报, 2017, 91(7): 1416-1432.

- [34] 刘大明, 松潘-甘孜南部三岩龙-嘎拉子花岗岩体地球化学、年代学及构造意义[D]. 成都理工大学硕士学位论文, 2018.
- [35] 周家云, 谭洪旗, 龚大兴, 等. 乌拉溪铝质 A 型花岗岩: 松潘-甘孜造山带早燕山期热隆伸展的岩石记录[J]. 地质论评, 2014, 60(2): 348-362.
- [36] 周家云, 谭洪旗, 龚大兴, 等. 川西江浪穹隆核部新火山花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年和 Hf 同位素研究[J]. 矿物岩石, 2013, 33(4): 42-52.
- [37] Qi L, Gregoire D C. Determination of Trace Elements in Twenty Six Chinese Geochemistry Reference Materials by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry[J]. Geostandards Newslett, 2000, 24: 51-63.
- [38] 赵振华. 微量元素地球化学原理[M]. 北京: 科学出版社, 1997: 125-129.
- [39] Pettijohn F J, Potter P E, Siever R. Sand and Sandstone [M]. New York: Springer Verlag, 1973.
- [40] Taylor S R, McLennan S M. The continental crust: its composition and evolution[M]. Oxford: Blackwell, 1985: 1-312.
- [41] Sun S S, McDonough W F. Chemical and Isotopic Systematics of Ocean Basalts: Implications for Mantle Composition and Process[C]//Saunders A D, Norry M J. Magmatism in Ocean Basins. Geological Society, London, Special Publications, 1989, 42: 313-345.
- [42] Nesbitt H W, Young G M. Early Proterozoic climate motions inferred from major element chemistry of lutites[J]. Nature, 1982, 299: 715-717.
- [43] McLennan S M. Weathering and global denudations[J]. Journal of Geology, 1993, 101: 295-303.
- [44] Panahi A, Young G M, Rainbird R H. Behavior of major and trace elements (including REE) during paleoproterozoic pedogenesis and diagenetic alteration of an Archean granite near Ville Marie, Quebec, Canada[J]. Trace Elements in Precambrian Paleosol, 2000, 64: 2199-2220.
- [45] Fedo C M, Nesbitt H W, Young G M. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance [J]. Geology, 1995, 23(10): 921-924.
- [46] 程先钰, 任邦方, 田健, 等. 内蒙古北山白云山蛇绿混杂岩带南部锡林柯博组碎屑岩地球化学特征、源区属性及构造意义[J]. 地质通报, 2020, 39(6): 893-904.
- [47] McLennan S M, Taylor S R. Sedimentary rocks and crustal evolution revisited: Tectonic setting and secular trends [J]. The Journal of Geology, 1991, 99(1): 1-21.
- [48] McLennan S M, Taylor S R. Th and U in sedimentary rocks: crustal evolution and sedimentary recycling[J]. Nature, 1980, 285: 621-624.
- [49] Rorer B P, Korsch R J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO_2 content and $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ ratio[J]. The Journal of Geology, 1986, 94(5): 635-650.
- [50] 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]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1995, 59: 2919-2940.
- [51] 冯连君, 储雪蕾, 张启锐, 等. 化学蚀变指数(CIA)及其在新元古代碎屑岩中的应用[J]. 地学前缘, 2003, 10(4): 539-544.
- [52] Wronkiewicz D, JcCondie K C. Geochemistry of Archean shales from the Witwatersrand Supergroup, South Africa: Source-area weathering and provenance [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1987, 51: 2401-2416.
- [53] Roser B P, Korsch R J. Provenance signatures of sandstone-mudstone suits determined using discriminant function analysis of major-element data[J]. Chem. Geol., 1988, 67: 119-139.
- [54] Floyd P A, Leveridge B E. Tectonic environment of the Devonian Gramscatho basin, South Cornwall: Framework mode and Geochemical evidence from turbiditic sandstones [J]. Journal of the Geological Society, 1987, 144(4): 531-542.
- [55] 缪宇, 韦少港, 吕晓春, 等. 滇东北中元古界下昆阳群鹅头厂组变质岩地球化学特征及其形成环境[J]. 地质通报, 2020, 39(10): 1539-1548.
- [56] Dickinson W R. Plate tectonic evolution of sedimentary basins[J]. AAPG Continuing Education Course, 1978, A157: 1-56.
- [57] Bhatia M R, Crook A W. Trace element characteristics of greywacke and tectonic setting discrimination of sedimentary basin[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1986, 92: 181-193.
- [58] 刘大明, 孙占营, 杨鹏涛, 等. 青海省达卡地区三叠系巴颜喀拉山群岩石学特征及物源分析[J]. 地质科技情报, 2018, 37(2): 71-78.
- [59] 成都地质矿产研究所. 中国南方岩相古地理系列丛书: 中国南方岩相古地理图集(震旦系—三叠系)[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
- [60] 刘树人, 闫全人, 刘秋根, 等. 扬子克拉通西缘康定杂岩中花岗质岩石的成因及其构造意义[J]. 岩石学报, 2009, 25(8): 1883-1896.
- ①张建东, 秦宇龙, 胡朝云, 等. 四川大地构造相图说明书. 四川省地质调查院, 2012.