

西藏雅鲁藏布缝合带三叠系朗杰学群沉积岩古生物、地球化学特征及其物源区和构造背景分析

王金贵¹⁾, 张鑫全¹⁾, 魏文通¹⁾, 专少鹏¹⁾, 陈超¹⁾, 张振利²⁾, 常立海³⁾, 申宗义¹⁾

1) 河北省区域地质调查院, 河北廊坊, 065000; 2) 河北地质大学, 石家庄, 050031;

3) 黑龙江省生态地质调查研究院, 哈尔滨, 150030

内容提要:随着近年来对朗杰学群的解体,发现前人对于朗杰学群、涅如组、修康群及洛林岩群的研究存在混淆,研究对象是否为朗杰学群应重新审慎,同时,几者是否为同一构造背景产物仍存在较大争议。本文对朗杰学群命名地(贡嘎县姐德秀镇-朗杰学乡一带)的朗杰学群重矿物特征、地球化学特征及古生物化石进行了研究。朗杰学群砂岩主量元素和微量元素化学成分低于地壳克拉克值, SiO_2 含量平均为74.14%, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 值平均为0.70,反映砂岩成熟度较低,没有经历明显的成岩后生改造;化学蚀变指数(CIA)较集中,平均为71.55,属低级-中等风化程度,指示气候和构造环境都处于相对稳定状态;古环境分析显示, $100\text{Mg}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 值平均为7.85, $\text{CaO}/\text{Fe}+\text{CaO}$ 值平均为0.314,表明朗杰学群形成于中等盐度的深水厌氧环境,且由北向南沉积水体逐渐加深;重矿物以锆石为主,其次为金红石,分选磨圆较差,ATi指数为93.3~98.97,ZTR指数为48.01~85.75,反映朗杰学群物源区的火山岩较为丰富,且搬运距离较近;REE-La/Yb图解、Hf-La/Th图解、 $\text{F}_1\text{-F}_2$ 图解、Th/Sc-Zr/Sc图解及重矿物特征均显示朗杰学群物源区主要为中酸性火山岩及长英质陆源碎屑岩,结合前人研究的水流方向证据,并对比直孔-松多特提斯洋演化及南冈底斯中-晚三叠世岩浆岩与朗杰学群碎屑锆石峰值年龄(240Ma),确认了朗杰学群物源来自南冈底斯;构造判别图解显示朗杰学群为大陆岛弧与活动大陆边缘环境之间特定构造背景下的产物,形成环境更靠近活动大陆边缘一侧;古生物化石以凸海燕蛤(*Halobia convexa* Chen, 1964)为代表,显示朗杰学群形成于晚三叠世卡尼期;综合风化程度、物源区、构造背景及形成时代分析,朗杰学群的形成与雅鲁藏布特提斯洋的演化相吻合。

关键词:雅鲁藏布缝合带;朗杰学群;碎屑沉积岩;地球化学;重砂矿物;古生物;物源分析;构造背景

雅鲁藏布缝合带为现今世界上最年轻的结合带,备受世界各地学者的关注,朗杰学群作为雅鲁藏布缝合带的主体,存在及形成的意义重大,对其研究从未间断过,但认识至今尚未统一。

首先,对于其构造区划至今仍争论不休,朗杰学群系指分布在西藏南部夹在南、北两条蛇绿混杂岩带之间的一套晚三叠世绿片岩相浅变质岩系(图1b),呈近东西向展布,东起雅鲁藏布江大拐弯西侧的米林北东向拆离断层,向西经加查、曲松、泽当(乃东)、贡嘎、羊卓雍错以北、仁布至白朗东强堆,东西长约400km(图1c)。近年来,对于朗杰学群、涅如组、修康群及洛林岩群的研究存在混淆,部分学者将

几者或其中几者厘定为同一地层单元;对于其构造位置,多数人认为其属于雅鲁藏布缝合带,但也有学者将其划分为特提斯喜马拉雅构造带。朗杰学群为1962年藏南地质队在贡嘎县朗杰学乡测制,命名为晚三叠世朗杰学组,1980年,地科院王乃文把朗杰学组提升为朗杰学群,1:20万泽当幅区域地质调查(1994)将朗杰学群划分为姐德秀组、江雄组和宋热组3个部分,因此,前人对于朗杰学群的研究是否存在偏差?所调查的对象是否应划分为朗杰学群还有待考证。

其次,对于朗杰学群的物源存在多种解释,目前,不同学者提出了七种不同的物源解释(Liu

注:本文为冈底斯-喜马拉雅铜矿资源基地调查项目(编号:DD20160015-09)资助成果。

收稿日期:2019-03-19;改回日期:2019-07-23;网络发表日期:2019-10-10;责任编辑:任东;责任编辑:黄敏。

作者简介:王金贵,男,1986年生。理学硕士,矿产地质工程师,构造地质学专业,研究方向:区域构造与构造动力学,主要从事区域地质调查与研究。Email:airstarry@163.com。

引用本文:王金贵,张鑫全,魏文通,专少鹏,陈超,张振利,常立海,申宗义. 2020. 西藏雅鲁藏布缝合带三叠系朗杰学群沉积岩古生物、地球化学特征及其物源区和构造背景分析. 地质学报, 94(4):1208~1226, doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2020008.
Wang Jingui, Zhang Xinquan, Wei Wentong, Zhuang Shaopeng, Chen Chao, Zhang Zhenli, Chang Lihai, Shen Zongyi. 2020. Paleontology, geochemistry and provenance of sedimentary rocks from the Triassic Langjiexue Group in the Yarlung Zangbo suture zone, Tibet and their tectonic setting. Acta Geologica Sinica, 94(4):1208~1226.

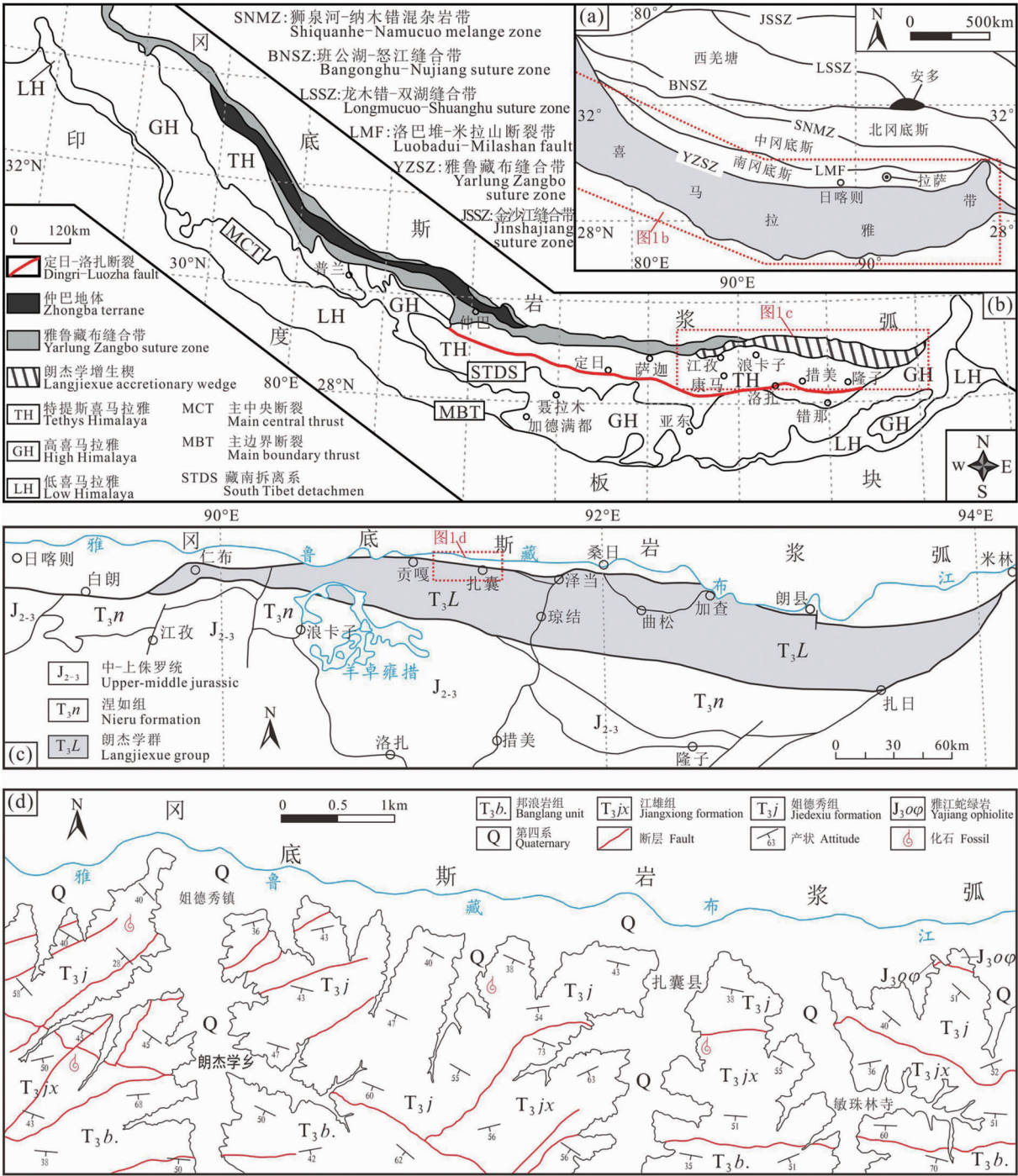


图 1 西藏雅鲁藏布缝合带大地构造位置及地质简图

(a, 据王旭辉等, 2018, 修改; b, 据解龙, 2017, 修改; c, 据曾庆高等, 2009, 修改)

Fig. 1 Tectonic position and simplified geologic maps of the Yarlung Zangbo suture zone in Tibet

(a, modified from Wang Xuhui et al., 2010; b, modified from Xie Long et al., 2017; c, modified from Zeng Qinggao et al., 2009)

Guanghua et al., 1994; Dai Jingen et al., 2008; Li Guangwei et al., 2010, 2014; Webb et al., 2013; Li Xianghui et al., 2016; Cai Fulong et al., 2016; Wang Jiangang et al., 2016; Zhang Chaokai et al., 2016)。①印度北缘是上三叠统朗杰学群(可能包含涅如组)的物源区(Liu Guanghua et al., 1994);②

上三叠统朗杰学群是拉萨地体的弧前盆地(Li Guangwei et al., 2010);③朗杰学群是晚三叠世新特提斯洋内弧产物(Li Guangwei et al., 2010);④朗杰学群是拉萨物源区跨过三叠纪裂谷形成的(Dai Jingen et al., 2008; Webb et al., 2013; Li Guangwei et al., 2014);⑤朗杰学群是印度和澳大

利亚之间的洋盆沉积物(Li Xianghui et al., 2016); ⑥朗杰学群的物源是从 West Papua 地区, 沿澳大利亚北缘, 经历了长距离搬运、最终沉积在印度北缘的(Cai Fulong et al., 2016); ⑦太平洋俯冲于冈瓦纳东南缘产生的 Gondwanide 造山带的剥蚀物质经历了数千公里的搬运到达印度北缘, 并为朗杰学群和涅如组提供了物源。(Wang Jiangang et al., 2016)。

另外, 前人的研究仅集中在江孜-浪卡子、仁布、琼结、朗县等地, 并且部分学者认为修康群、涅如组和朗杰学群为同一地质体(Li Guangwei et al., 2010; Li Xianghui et al., 2011; Zhang Chaokai et al., 2016), 而最新的 1:5 万区域地质调查对朗杰学群进行了解体, 将部分仁布、琼结、朗县一带的朗杰学群厘定为洛林岩群, 而江孜-浪卡子一带的朗杰学群多归属于涅如组或修康群, 鉴于修康群及涅如组特殊的构造混杂特征、变形程度、物质来源、沉积建造及空间分布特征, 将朗杰学群与修康群(或涅如组)视作同物异名是欠妥的, 进而, 东西向延伸 400km 的朗杰学群是否为同一地质体应重新审慎。因此, 研究朗杰学群的物质组成、变质变形、物质来源等应从朗杰学群的命名地着手, 本文对贡嘎县姐德秀镇-朗杰学乡一带的朗杰学群进行了详细调查研究, 分析了朗杰学群砂岩的地球化学信息, 结合重砂矿物及古生物证据, 揭示了源区的构造背景和物源属性, 为新特提斯洋演化提供有力的地球化学和古生物证据。

1 地质背景

一般认为, 冈底斯-喜马拉雅构造带由南至北分为低喜马拉雅、高喜马拉雅、特提斯喜马拉雅、雅鲁藏布缝合带和冈底斯岩浆弧五个构造-地层分带(图 1a, b), 经历了冈瓦纳古陆北缘自泛非运动以来长期的沉积-构造演变(Wang Liquan et al., 2013; Pan Guitang et al., 2013), 特别是受三叠纪以来雅鲁藏布洋盆的扩张、消减、闭合, 以及喜马拉雅地块与拉萨地块的强烈碰撞造山作用影响明显。研究区位于冈底斯岩浆弧与雅鲁藏布缝合带的衔接部位(图 1c), 以雅鲁藏布江北界断裂为界, 南部属雅鲁藏布缝合带, 主要有朗杰学群浊积岩、邦浪岩组增生杂岩及雅江蛇绿岩; 北部属冈底斯陆缘岩浆弧南缘, 发育中生代以来的岩浆弧盆体系。

本次研究的朗杰学群位于雅江蛇绿岩南侧, 邦浪岩组北侧, 与两者均呈断层接触关系(图 1d), 为

一套强变形、弱变质的深水浊积扇沉积物, 岩性组合以变质岩屑长石砂岩、变质长石石英砂岩、粉砂质板岩、绢云绿泥板岩及千枚岩为主(图 2), 呈叠瓦状逆冲构造样式, 地层多重叠置(图 2a), 可见原始沉积构造: 槽模、沟模、重荷模(图 2b)、平行层理、斜层理等, 局部缺失, 鲍马序列发育(图 2c)发育, 具由 ac 段向 bcd、cde 段组合转变的特点, 反映了由高流态向低流态转变的特征; 发育不同亚相的沉积物, 主水道亚相以砂砾岩沉积为主, 内扇亚相整体粒度较粗, 整体表现为向上粒度变细的间断正韵律沉积特征; 外扇亚相整体则表现为反韵律的沉积特征, 顶部发育正韵律的薄层沉积物, 反映了沉积过程中海退-海进的旋回过程; 呈局部有序, 整体无序的特征, 构造层次多为浅层次构造, 以脆性变形为主, 少见韧性变形特征(图 2d)。

2 样品特征及分析方法

2.1 样品特征

用于研究地球化学特征及重砂样品均为碎屑沉积岩, 样品采集于姐德秀镇-朗杰学乡一带, 采集避开了断裂带和强烈的风化带, 样品新鲜, 组构清晰, 未发生蚀变, 岩性主要为变质细粒岩屑长石砂岩、变质细砂岩, 由陆源砂屑(石英 25%±, 长石 35%~40%, 岩屑 20%±)、粉砂(10%~15%)、填隙物组成(5%±, 粘土杂基为主、硅质、铁质胶结物较少), 构成颗粒支撑, 接触式-孔隙式胶结结构, 矿物磨圆为次棱角状-次圆状, 分选性中等(图 3), 砂屑大小以 0.05~0.25mm 的细砂为主, <0.05 的粉砂次之, >0.25mm 的中粗砂较少, 均匀分布。以长石、岩屑为主, 石英次之。石英表面干净, 单晶为主, 多晶及硅质岩次之, 单晶粒内可见波状、带状消光。长石包括斜长石、钾长石, 斜长石具高岭土化、绢云母化、局部褐铁矿化、绿泥石化等; 钾长石具高岭土化等。岩屑主见流纹岩、粘土岩等, 部分被褐铁矿、绿泥石等交代。另见少量白云母、黑云母, 零星分布, 局部褐铁矿化, 黑云母局部绿泥石化。粘土呈隐晶-鳞片状, 分布于砂粒间, 环绕砂粒分布, 有时可见呈薄膜带状胶结, 部分变为绢云母、绿泥石等, 局部褐铁矿化。硅质部分重结晶为隐-微粒状石英, 常与粘土混杂, 环绕砂粒分布, 部分作为石英的次生加大边存在。铁质呈尘点状, 不均匀绕砂粒分布。

用于年代学研究的古生物大化石样品采集地点如图 1 所示, 样品保存完好, 具时代鉴定意义, 样品的采集、保存符合相关规范要求, 化石以双壳类、海百合

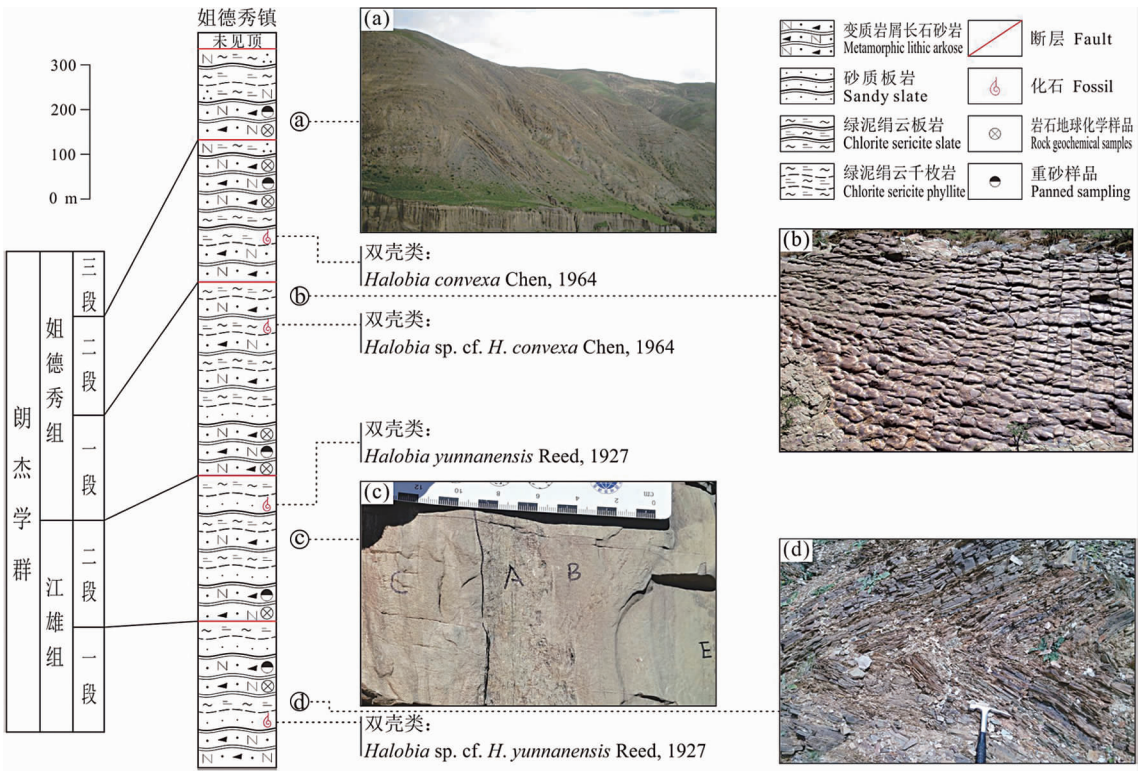


图 2 西藏贡嘎县朗杰学群地层综合柱状图及构造变形和原生沉积特征

Fig. 2 Comprehensive stratigraphic column, deformation and original depositional structure of Langjiexue group in Konggar county, Tibet

(a)—多期构造变形特征;(b)—沟膜底膜构造;(c)—鲍马序列;(d)—脆性变形

(a)—characteristics of multi-stage tectonic deformation;(b)—groove cast and bottom cast;(c)—bauma sequence;(d)—brittle deformation

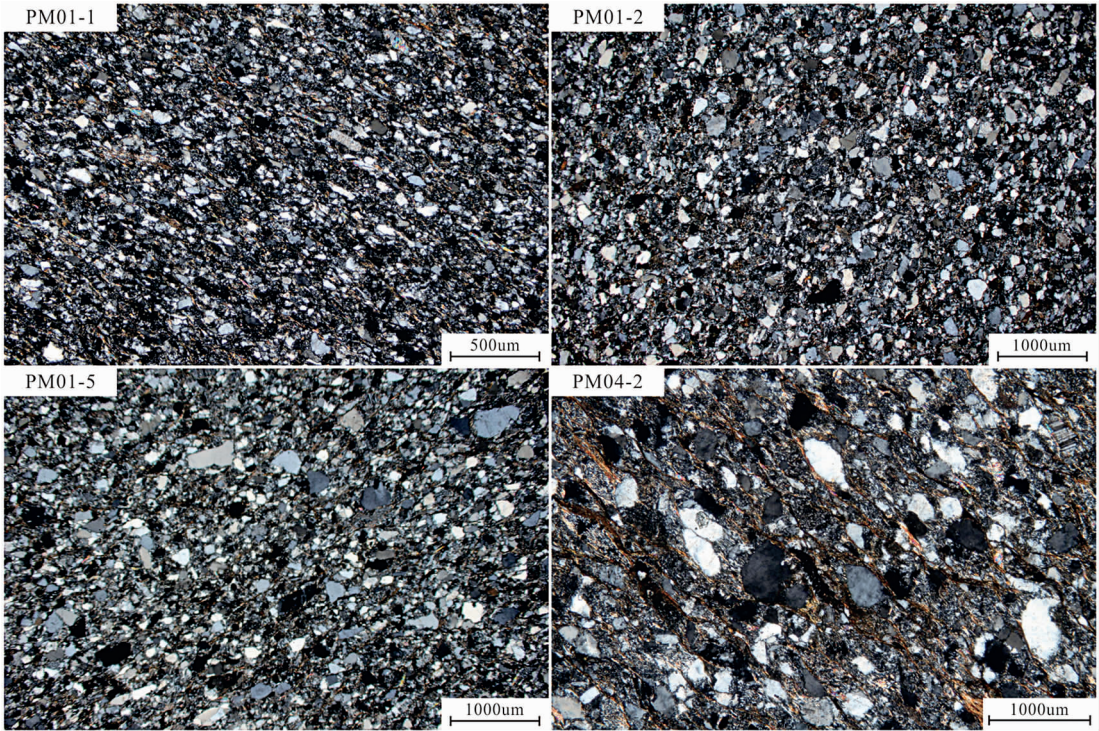


图 3 西藏贡嘎县朗杰学群碎屑沉积岩结构特征

Fig. 3 Structural characteristics of sedimentary rock of Langjiexue group in Konggar county, Tibet

茎及菊石印模为主,具鉴定意义的主要为双壳类。

2.2 分析方法

岩石地球化学分析测试由河北省区域地质调查院实验室完成,样品加工过程均在无污染设备中进行。主量元素采用碱烧法制备样品,使用 Axios^{max} X 射线荧光光谱仪完成分析测试,相对误差不大于 2%,烧失量、H₂O⁺ 和 H₂O⁻ 采用 P1245 电子分析天平完成测试。稀土元素和微量元素分析采用酸溶法制备样品,稀土元素和多数微量元素使用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)(X Serise2)完成测试,Zr、Ti、K 等元素在 X 射线荧光光谱仪(Axios^{max} X)上完成测试,分析精度高于 5%~10%,测试方法见文献(GaoJianfeng et al.,2003)。

重矿物分析在河北省区域地质调查院实验室完成,用去离子水和双氧水浸泡 2 天,分离出样品中的极细砂(63~125μm 部分,在恒温箱中低温(小于 60℃)烘干,烘干称重后得到该粒级碎屑矿物质量分数。利用缩分法取 1~2g 细砂样品于三溴甲烷(相对密度 2.89g/cm³)中进行重液分离,样品被分成轻矿物和重矿物,利用磁选机(LZC-1B)将重矿物分离出磁性组和无磁性组。重矿物鉴定在奥林巴斯 SZ61 体视显微镜和 SZX51 偏光显微镜下,采用条带计数法完成,并辅以油浸法(浸油折射率为 1.70),微量化学实验(主要试剂为 30%的 H₂O₂ 和 5%HCL 等)和电子探针分析,每个样品分析 500 颗以上的矿物以保证统计精度,最终得到各种重矿物颗粒百分含量。

古生物大化石经中国科学院南京地质古生物研究所廖卫华研究员鉴定,制片仪器为 Hillquist 薄片机,鉴定所用蔡司偏光显微镜 Axio Lab. A1 pol,根

据定性特征比较,采用多远变量统计分析定量指标测量(Zhao Xianshu et al.,1996),比较已发表的模式属种,从而鉴定出化石的属种归属。

3 地球化学、古生物、重矿物特征

3.1 主量元素

朗杰学群主量元素化学成分及特征化学参数见(表 1),主量元素在判别沉积岩类别方面具有极好的效果,SiO₂ 主要受石英含量控制,含量为 68.3%~78.4%,平均为 74.14%,显示了矿物成分成熟度较低;Al₂O₃ 则是粘土矿物和长石含量的反映,含量为 9.83%~16.8%,平均为 12.52%;Fe₂O₃ 含量为 0.59%~2.87%,平均为 1.32%,MgO 含量为 0.65%~1.34%,平均为 0.98%,说明沉积岩中镁铁矿物的含量较低;CaO 含量为 0.23%~3.39%,平均为 0.77%,CaO 比 MgO 含量低,说明沉积岩中方解石丰度小于白云石丰度;K₂O 含量为 1.15%~2.67%,平均为 1.72%,Na₂O 含量为 1.82%~2.94%,平均为 2.44%,K₂O/Na₂O 值为 0.44~1.37,平均为 0.70,指示沉积岩没有经历了明显的成岩后生改造;样品具少量 MnO 和 P₂O₅ 含量,推断有重矿物(磷灰石、绿帘石)存在。基于前人的研究,反映石英、长石和黏土类成分富集的指标常采用 SiO₂/Al₂O₃ 比值,可作为判别成分成熟度的指标;反应铁镁质矿物稳定性的指标常采用 Fe₂O₃/K₂O 比值,可指示不稳定矿物风化程度;Na₂O/K₂O 值也是判别成分成熟度的标识。测区朗杰学群砂岩地球化学分类图解(图 4)样品主要落入杂砂岩-岩屑砂岩区域,总体上与岩矿鉴定结果一致,反映砂岩成熟度较低。

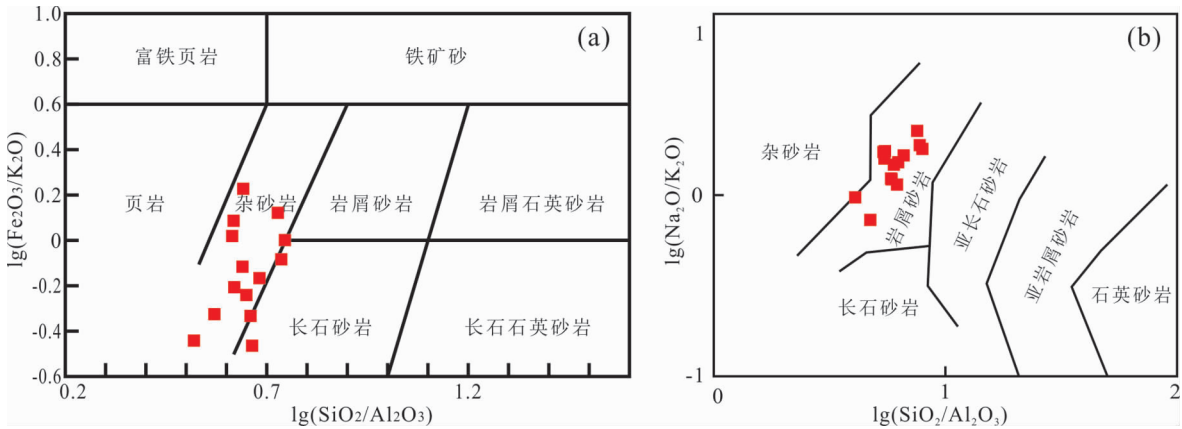


图 4 西藏贡嘎县朗杰学群砂岩地球化学分类图解(a,据 Herron,1988;b,据 Pettijohn et al.,1972)

Fig. 4 Geochemical plots for sandstones from Langjiexue group, Konggar county, Tibet
(a,after Herron,1988;b,after Pettijohn et al.,1972)

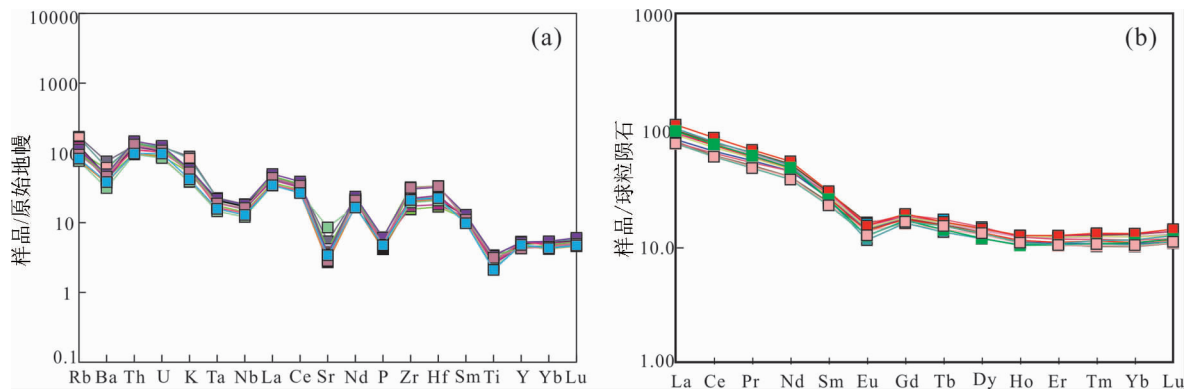


图 5 西藏贡嘎县朗杰学群砂岩原始地幔标准化微量元素蜘蛛图(a,标准化值据 Sun et al. ,1989)和球粒陨石标准化稀土元素配分图(b,标准化值据 Boynton,1984)

Fig. 5 Primitive-mantle normalized trace elements spider diagram (a,standardized values are from Sun et al. ,1989) and chondrite-normalized rare earth element diagram (b,standardized values are from Boynton,1984) for sandstone in Langjiexue group, Konggar county, Tibet

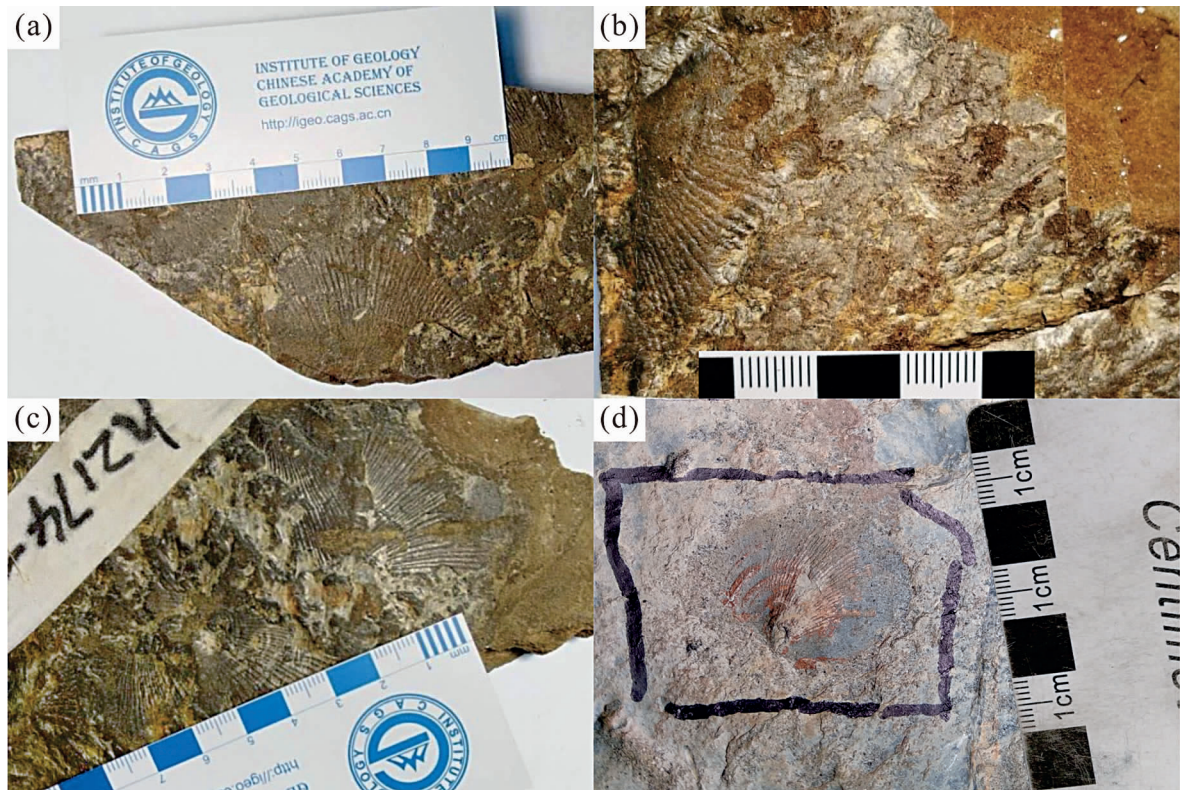


图 6 西藏贡嘎县朗杰学群双壳类古生物大化石

Fig. 6 The bivalves of Langjiexue group, Konggar county, Tibet

3.2 微量元素

微量元素分析的 27 种元素中(表 1),仅三分之一微量元素平均值略大于地壳克拉克值(据 Rudnick et al. ,2003),其余元素均低于地壳克拉克值。微量元素聚集类型:Hf、Cs、Zr、Li、Th 元素为强富集型,Rb、Nb、Ta、U、W、Pb 元素为弱聚集型,Sc、V、Cr、Co、Cu、Ni 元素为极分散型,其余元素为

分散型。微量元素分布类型:微量元素总体分异程度较高(图 5a)。

稀土元素总量变化不大, $\Sigma\text{REE}=140.6\times 10^{-6}\sim 191.0\times 10^{-6}$,轻稀土元素总量在 $104.3\times 10^{-6}\sim 138.5\times 10^{-6}$ 之间,重稀土元素总量在 $33.55\times 10^{-6}\sim 40.63\times 10^{-6}$ 之间, $\text{LREE}/\text{HREE}=2.81\sim 4.12$,说明轻稀土元素较重稀土元素富集。在球粒陨石标

表 1 西藏贡嘎县朗杰学群砂岩主量(%)和微量元素($\times 10^{-6}$)分析结果

Table 1	Major (%) and trace elements ($\times 10^{-6}$) compositions of sandstone in Langjiexue group, Konggar county, Tibet													
样品编号	PM01-1	PM01-2	PM01-5	PM01-6	PM01-8	PM01-9	PM01-10	PM01-11	PM01-12	PM01-13	PM01-14	PM04-1	PM04-2	PM04-3
项目														
SiO ₂	72.5	68.3	76.0	70.7	75.5	74.2	78.4	75.8	73.7	74.2	71.8	73.1	77.2	76.5
Al ₂ O ₃	13.2	16.8	12.2	14.9	12.2	12.7	9.86	12.7	12.6	9.83	13.3	13.4	11.7	9.9
TiO ₂	0.57	0.74	0.62	0.62	0.57	0.55	0.49	0.55	0.56	0.49	0.74	0.72	0.68	0.46
Fe ₂ O ₃	0.98	0.97	0.59	1.18	0.84	1.31	1.16	1.02	2.87	1.54	1.78	2.16	1.08	1.04
FeO	3.73	2.98	2.17	3.47	3.02	3.12	2.45	2.08	1.80	1.47	2.33	1.88	1.75	1.85
CaO	0.31	0.26	0.74	0.26	0.23	0.25	0.86	0.24	0.38	3.39	0.94	0.39	0.31	2.24
MgO	1.34	1.23	0.79	1.16	1.01	1.05	0.81	0.81	1.06	0.65	1.12	1.16	0.79	0.79
K ₂ O	1.57	2.67	1.71	2.50	1.82	1.71	1.15	1.78	1.70	1.16	1.70	1.77	1.59	1.26
Na ₂ O	2.75	2.60	2.60	1.82	2.08	2.11	2.08	2.62	2.08	2.63	2.94	2.81	2.63	2.38
MnO	0.05	0.02	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.09	0.10	0.05	0.04	0.04	0.07
P ₂ O ₅	0.13	0.12	0.09	0.12	0.09	0.10	0.09	0.11	0.12	0.10	0.13	0.13	0.11	0.10
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	5.49	4.07	6.23	4.74	6.19	5.84	7.95	5.97	5.85	7.55	5.40	5.46	6.60	7.73
Fe ₂₂ O ₃ /K ₂ O	0.62	0.36	0.35	0.47	0.46	0.77	1.01	0.57	1.69	1.33	1.05	1.22	0.68	0.83
Fe ₂ O ₃ *+MgO%	2.32	2.20	1.38	2.34	1.85	2.36	1.97	1.83	3.93	2.19	2.90	3.32	1.87	1.83
Al ₂ O ₃ /SiO ₂	0.18	0.25	0.16	0.21	0.16	0.17	0.13	0.17	0.17	0.13	0.19	0.18	0.15	0.13
K ₂ O/Na ₂ O	0.57	1.03	0.66	1.37	0.88	0.81	0.55	0.68	0.82	0.44	0.58	0.63	0.60	0.53
Al ₂ O ₃ /(K ₂ O/Na ₂ O)	3.06	3.18	2.82	3.45	3.13	3.34	3.05	2.88	3.33	2.59	2.86	2.92	2.77	2.71
Li	43.4	33.2	25	42	37.4	46.1	31.8	26.8	43.4	23.2	33.7	37.2	25	23.1
Be	1.5	2.29	1.49	1.96	1.44	1.44	0.95	1.44	1.55	0.96	1.44	1.53	1.25	1.03
Sc	10.9	12.3	8.37	10.8	8.22	9.3	6	7.99	10.2	7.51	9.28	7.46	6.67	5.98
V	63.6	83.8	55.1	58.6	56.8	55.9	43.7	50.1	53.7	42.8	81	73.4	63.7	38.3
Cr	49	56.6	41.1	44.3	44.6	41.5	29.8	32.8	40.6	30.4	43.6	39.7	34.1	26.2
Co	13.1	11.5	11	14.4	11	9.71	10.1	7.83	13.9	7.96	11.5	15.3	15.3	6.98
Ni	24.7	22.5	17.2	22.7	15.9	18	12.7	12.4	22.1	11.9	18	12.2	10.6	9.14
Cu	14.6	16.1	9.9	17	13.1	12.9	11.1	9.61	12.7	8.85	12.2	16.8	14.5	8.19
Zn	80.9	77.2	56.2	90.2	75.6	79.4	57.4	56.9	79.7	52.7	70	72.4	57.3	49.1
Ga	15.9	22.1	14.9	18.9	16.1	16.2	11.8	14.8	15	11	16	16.8	13.6	10.9
Rb	65.8	108	67.2	105	79.4	77.5	49.4	70.1	68.7	48.6	64.8	70.5	60.3	52.6
Sr	87.1	114	89	78.2	73.3	65	57	65.7	79.5	180	74.1	74.7	60.1	72.2
Zr	173	230	340	241	225	194	224	248	236	217	361	340	355	237
Nb	10.1	13.1	12.5	12.6	12.2	11.1	9.23	11.1	9.82	8.62	11.3	13	11.6	9.21
Mo	0.34	0.11	0.37	0.47	0.28	0.15	0.11	0.15	0.44	0.28	0.33	0.12	0.06	0.21
In	0.06	0.08	0.05	0.07	0.06	0.06	0.04	0.05	0.06	0.04	0.05	0.06	0.05	0.04
Sn	2.09	2.98	2.38	2.73	2.42	2.38	1.72	2.19	2.02	1.52	2.27	2.43	2.04	1.7
Cs	3.89	8.71	4.11	5.99	4.93	4.53	2.58	3.37	5	2.09	4.68	4.38	3.5	2.66
Ba	300	528	410	431	327	318	259	287	332	219	329	345	321	267
Hf	5.21	6.75	9.98	7.26	6.65	5.61	6.65	7.59	6.87	6.42	10.3	9.95	10.3	6.96
Ta	0.72	0.93	0.87	0.92	0.85	0.78	0.65	0.8	0.67	0.6	0.8	0.9	0.78	0.65
W	1.83	1.89	1.35	1.32	1.31	1.35	1.17	1.31	1.18	1.14	1.28	1.39	1.24	1.15
Tl	0.42	0.68	0.44	0.69	0.52	0.5	0.32	0.46	0.48	0.33	0.41	0.47	0.4	0.36
Pb	12.7	13.8	16	28.9	19.6	20.3	14.3	16.3	28.6	15.3	11.2	15.5	12.8	14.8
Bi	0.12	0.15	0.11	0.21	0.12	0.12	0.09	0.12	0.13	0.08	0.1	0.13	0.09	0.08
Th	8.42	10.8	11.9	11.3	10.4	9.5	8.46	10.5	9.36	8.09	11.5	12.5	11.3	8.34
U	1.9	2.55	2.52	2.62	2.25	2.18	1.83	2.28	2.15	1.77	2.37	2.65	2.28	2.06
Y	20.5	23.7	22.3	24	23.1	23.8	21.1	21.2	24.4	21.4	19.6	23.9	19.4	21.9
La	25.5	30.8	31.5	28.9	29.8	28	24.5	30	24	23.4	31.8	34.2	30.2	23.6
Ce	52.8	62.3	63.6	59.1	60.9	56.7	48.4	59.1	50.7	47.9	63.6	69	60.4	47.3
Pr	6.61	7.77	7.52	7.1	7.34	6.96	6	7.27	6.34	5.87	7.68	8.18	7.29	5.7
Nd	26.5	30.4	29.2	28.1	29.1	27.5	23.6	28	26.4	23.4	29.7	32.1	28.3	22.4
Sm	5.04	5.61	5.34	5.44	5.48	5.25	4.64	5.07	5.53	4.41	4.93	5.77	4.92	4.36
Eu	1.03	1.17	1.05	1.1	1.04	1.05	1.01	0.98	1.14	0.98	0.82	1.1	0.9	0.91

续表 1

样品编号 项目	PM01-1	PM01-2	PM01-5	PM01-6	PM01-8	PM01-9	PM01-10	PM01-11	PM01-12	PM01-13	PM01-14	PM04-1	PM04-2	PM04-3
Gd	4.43	4.52	4.67	4.67	4.59	4.57	4.35	4.44	4.78	4.01	4.07	4.88	4.29	4.19
Tb	0.71	0.71	0.74	0.76	0.73	0.75	0.71	0.71	0.8	0.66	0.62	0.76	0.66	0.7
Dy	4.09	4.31	4.33	4.57	4.46	4.53	4.09	4.18	4.68	4.05	3.71	4.54	3.75	4.15
Ho	0.78	0.87	0.85	0.88	0.86	0.88	0.77	0.8	0.86	0.75	0.74	0.88	0.73	0.77
Er	2.21	2.56	2.43	2.55	2.47	2.5	2.14	2.25	2.39	2.11	2.2	2.58	2.15	2.14
Tm	0.34	0.4	0.39	0.41	0.39	0.39	0.32	0.36	0.37	0.33	0.36	0.42	0.34	0.34
Yb	2.19	2.63	2.49	2.66	2.52	2.5	2.06	2.24	2.34	2.09	2.36	2.67	2.23	2.13
ΣREE	152.7	177.8	176.4	170.2	172.8	165.4	143.7	166.6	154.7	141.4	172.2	191	165.6	140.6
LREE	117.5	138.1	138.2	129.7	133.7	125.5	108.2	130.4	114.1	106	138.5	150.4	132	104.3
HREE	35.25	39.7	38.2	40.5	39.12	39.92	35.54	36.18	40.62	35.4	33.66	40.63	33.55	36.32
La/Yb	11.64	11.71	12.65	10.86	11.83	11.2	11.89	13.39	10.26	11.2	13.47	12.81	13.54	11.08
(La/Yb) _N	7.87	7.91	8.55	7.34	7.99	7.57	8.04	9.05	6.93	7.57	9.11	8.66	9.15	7.49
LREE/HREE	3.33	3.48	3.62	3.2	3.42	3.14	3.04	3.6	2.81	2.99	4.12	3.7	3.93	2.87
δEu	0.65	0.69	0.63	0.65	0.62	0.64	0.68	0.62	0.66	0.7	0.54	0.62	0.59	0.64

准化蛛网图中(图 5b),样品 REE 配分模式曲线一致,LREE 右倾、HREE 相对平坦,说明物源相同且稳定。利用球粒陨石标准化(据 Boynton,1984)计算后,(La/Yb)_N值在 6.93~9.05 之间,说明轻重稀土间分馏部分较明显。δEu 呈弱的负异常,δEu=0.54~0.70。

3.3 古生物特征

用于本次研究的古生物大化石经中国科学院南京地质古生物研究所廖卫华研究员鉴定,具有时代鉴定意义的有 1 属 4 种:*Halobia* sp. cf. *H. yunnanensis* Reed, 1927(图 6a)、*Halobiayunnanensis* Reed, 1927(图 6b)、*Halobia* sp. cf. *H. convexa* Chen, 1964(图 6c)、*Halobia convexa* Chen, 1964(图 6d),双壳类化石组合面貌指示朗杰学群形成时代为晚三叠世早期(卡尼期)。

3.4 重矿物特征

通过对重砂矿物组分及含量的统计(表 2),显示朗杰学群砂岩的重矿物组合以锆石为主,其次为金红石、白钛石、电气石和赤褐铁矿,极少量磷灰石,偶见锐钛矿、绿帘石和榍石等。其中,锆石分两种,第一种为粉色,约占锆石总量的 85%±,半自形柱状、次滚圆柱状,透明,弱金刚光泽,表面较光滑,断口有溶磨痕迹,伸长系数 1.2~2.3 主,2.3~3.8 少,粒径 0.02~0.12 主,0.12~0.3 少,该类锆石磨圆度较低,分选性较好,搬运痕迹不明显,推测该类锆石距母岩区较近;第二种为浅玫瑰色,次滚圆柱状、粒状、滚圆粒状,透明-半透明,毛玻光泽,表面从较光滑→较粗糙呈过渡状,断口有溶磨痕迹,伸长系数 1.0~2.0 主、2.0~3.0 少,粒径 0.02~0.1 主、0.1~0.2 少,该类锆石磨圆度较高,分选性好,搬运

痕迹略显-较明显,推测该类锆石略经搬运而来,约占锆石总量的 15%±。

4 讨论

4.1 风化程度

化学蚀变指数(CIA)及 A-CN-K 图解是衡量源岩遭受化学风化强度最成熟的参数和图解,朗杰学群化学蚀变指数(CIA)为 57.75~76.49,平均为 71.55,属低级-中等风化程度。A-CN-K 图解中(图 7a),样品数据总体呈由上地壳向伊利石方向发展的演化线,与 A-CN 边呈小角度斜交,数据偏离了理想风化趋势线(IWT),演化线向伊利石方向偏转是成岩作用中发生钾长石交代的典型特征。另外,样品略分散,表明气候和构造环境都处于相对稳定状态,风化等级为低级-中等风化程度。由于氧化作用和风化作用中 U 相对 Th 容易丢失,Th/U 值随着风化程度的增加而增加,当 Th/U>4 时表明与风化作用有关,在 Th-Th/U 图解中(图 7b),朗杰学群砂岩样品 Th/U 值均位于 4~5 附近,显示了弱风化-中等风化作用。

4.2 古水深分析

碎屑岩中过渡金属元素 V/(V+Ni)比值可以作为古缺氧环境的判识标志(Wang Zhengming, 2003),相对于 Ni 来说 V 聚集在富硫化氢的强烈还原环境中,V/(V+Ni)值的变化受氧化还原电位控制,当 V/(V+Ni)≤0.46 时,为富氧环境,0.46<V/(V+Ni)<0.54 对应贫氧环境,当比值大于 0.54 为厌氧环境,表明水体较深或水体流动不畅(Zheng Ning et al.,2012)。朗杰学群 V/(V+Ni)为 0.708~0.858,平均约为 0.78,属于深水厌氧环

表 2 西藏贡嘎县朗杰学群砂岩重矿物含量表

Table 2 The heavy mineral contents of sandstones in Langjiexue group, Konggar county, Tibet

样品编号	内容	矿 物 名 称											
		锆石	磷灰石	锐钛矿	金红石	黄铁矿	榍石	绿帘石	白钛石	石榴子石	赤褐铁矿	磁铁矿	电气石
PM01-RZ1	所属部分重量(mg)	重部分 120											
	重量百分含量(%)	63.43		0.10	14.76	-			9.12			+	4.55
	重量(mg)	76.12		0.12	17.71				10.94				5.46
PM01-RZ2	所属部分重量(mg)	重部分 560											
	重量百分含量(%)	45.33			2.21				+		45.00	△	0.47
	重量(mg)	253.85			12.38						252.00		2.63
PM01-RZ3	所属部分重量(mg)	重部分 110											
	重量百分含量(%)	73.03	0.09	0.04	10.13	0.09			4.66		0.05	+	2.59
	重量(mg)	80.33	0.10	0.04	11.14	0.10			5.13		0.06		2.85
PM01-RZ4	所属部分重量(mg)	重部分 52											
	重量百分含量(%)	59.62	-	-	5.69	0.05			0.58		0.23	++	0.81
	重量(mg)	31.00			2.96	0.03			0.30		0.12		0.42
PM01-RZ5	所属部分重量(mg)	重部分 195											
	重量百分含量(%)	0.76	0.02	-	0.15	0.20	0.06	0.20	0.18	0.25	56.23	32.92	
	重量(mg)	1.48	0.04		0.29	0.39	0.12	0.39	0.35	0.49	109.65	64.19	

注：“-”表示 1-5 粒；“+”表示 5-10 粒；“++”表示 11-20 粒；“△”表示 21-50 粒；“△△”表示 51-100；“×”表示毫克数。

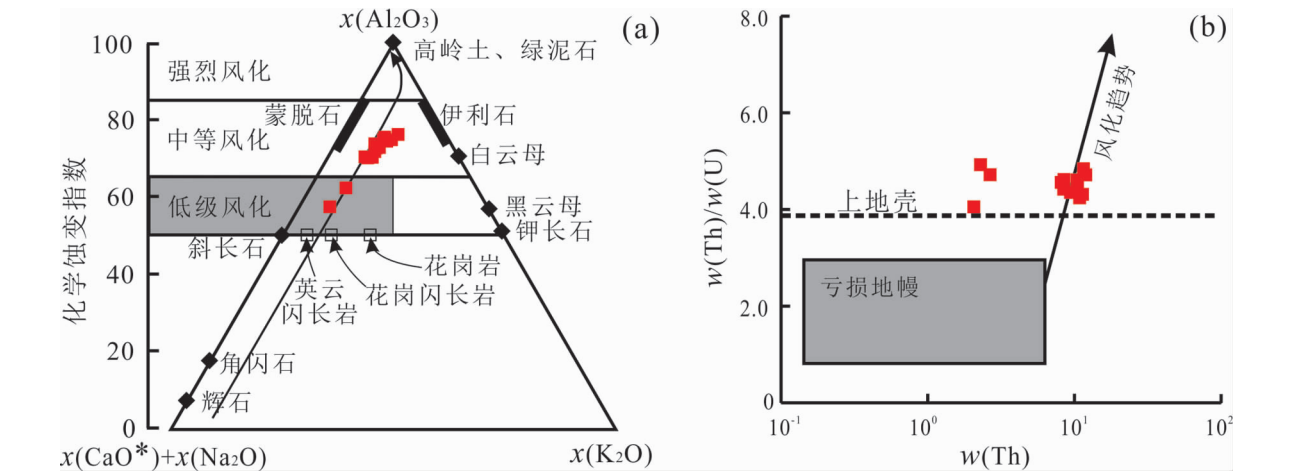


图 7 西藏贡嘎县朗杰学群砂岩风化程度判别 A-CN-K 图解(a,据 Nesbitt et al. ,1982)和 Th-Th/U 图解(b,据 Bhatia,1986)

Fig. 7 A-CN-K (a,after Nesbitt et al. ,1982) and Th/ U-Th(b,after Bhatia,1986) diagrams of sandstones in Langjiexue group, Konggar county, Tibet

境,且由北向南比值逐渐增大,指示还原程度逐渐增强,说明研究区由北向南水体深度逐渐加深。

稀土元素中 Ce 和 Eu 的含量是判别古水介质氧化还原状态的重要指标,可以反映沉积水体的深度,稀土元素球粒陨石标准化曲线(图 5b)显示,Ce 含量基本上不存在负异常,呈平滑过渡曲线,显示沉积环境为还原环境,而 Eu 负异常明显,指示沉积环境为咸水环境,因此,朗杰学群砂岩形成于相对较深的水体中。

砂岩中微量元素不仅代表母岩中的继承性特征,而且在不断沉降沉积过程中与沉积环境中的水体元素丰度趋同(Zheng Ning et al. ,2012),对不同深度水体微量元素进行对比(表 3),可见朗杰学群

的微量元素丰度与介于海水与远洋粘土环境之间,更靠近海水区域,与淡水环境明显不同,因此,进一步说明朗杰学群砂岩应为深水沉积环境。

4.3 古盐度分析

在沉积作用过程中,沉积介质的地球化学条件(如沉积水体盐度)影响着沉积物中微量元素的变化,微量元素(Mn、B、Br、Cl、Na、Sr、P、Ni、Co、V、Cr、U、Cu、As、Zn、Ga)对辅助判断古盐度已得到越来越多学者的关注。100Mg/Al₂O₃值可作为判别沉积水体盐度的指标(Zhang Shisan,1988),淡水沉积环境 100Mg/Al₂O₃<1,海陆过渡环境 100Mg/Al₂O₃值介于 1~10 之间,海水环境 100Mg/Al₂O₃值为 10~100 之间,朗杰学群 100Mg/Al₂O₃值为

表 3 西藏贡嘎县朗杰学群砂岩与不同水体地球化学参数对比

Table 3	Comparison of geochemical parameters between sandstones in Langjiexue group, Konggar county, Tibet and different water bodies							
项目	V	Cr	Ni	Pb	Zn	Sr	Li	Ga
河水	9×10^{-4}	1×10^{-3}	3×10^{-4}	1×10^{-3}	2×10^{-2}	7×10^{-2}	3×10^{-3}	9×10^{-5}
海水	1.2×10^{-3}	2×10^{-4}	5×10^{-4}	2×10^{-6}	4×10^{-4}	7.6	0.17	2×10^{-5}
远洋粘土	120.00	90.00	230.00	30.00	200.00	18.00	57.00	20.00
朗杰学群	58.6×10^{-6}	39.6×10^{-6}	16.4×10^{-6}	17.1×10^{-6}	68.2×10^{-6}	83.6×10^{-6}	33.7×10^{-6}	15.3×10^{-6}
项目	Rb	W	Be	Sc	Nb	Cs	Ta	Ti
河水	1×10^{-3}	3×10^{-5}	1×10^{-5}	4×10^{-6}	-	2×10^{-5}	-	3×10^{-3}
海水	12	1×10^{-5}	2×10^{-7}	6.7×10^{-7}	$<5\times10^{-5}$	2.9×10^{-4}	$<2.5\times10^{-6}$	$<9.6\times10^{-4}$
远洋粘土	110.00	1.00	2.60	19.00	14.00	6.00	1.00	4600.00
朗杰学群	70.5×10^{-6}	1.4×10^{-6}	1.4×10^{-6}	8.6×10^{-6}	11.1×10^{-6}	4.3×10^{-6}	0.8×10^{-6}	0.5×10^{-6}
项目	U	Th	La	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd
河水	4×10^{-5}	$<1\times10^{-4}$	4.8×10^{-5}	7.3×10^{-6}	3.8×10^{-5}	7.8×10^{-6}	1.5×10^{-6}	8.5×10^{-6}
海水	3.1×10^{-3}	6×10^{-8}	4.5×10^{-6}	1×10^{-6}	4.2×10^{-6}	8.0×10^{-7}	1.5×10^{-7}	1×10^{-6}
远洋粘土	2.60	13.40	42.00	10.00	41.00	8.00	1.80	8.30
朗杰学群	2.2×10^{-6}	10.2×10^{-6}	28.3×10^{-6}	7×10^{-6}	27.5×10^{-6}	5.1×10^{-6}	1×10^{-6}	4.5×10^{-6}
项目	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
河水	1.2×10^{-6}	7.2×10^{-6}	1.2×10^{-6}	4.2×10^{-6}	6.1×10^{-7}	3.6×10^{-6}	6.4×10^{-7}	
海水	1.7×10^{-7}	1.1×10^{-6}	2.8×10^{-7}	9.2×10^{-7}	1.3×10^{-7}	9.0×10^{-7}	1.47×10^{-7}	
远洋粘土	1.30	7.40	1.50	4.10	0.57	3.80	0.55	
朗杰学群	0.7×10^{-6}	4.2×10^{-6}	0.8×10^{-6}	2.3×10^{-6}	0.4×10^{-6}	2.4×10^{-6}	0.4×10^{-6}	

6.52~10.17 之间,平均为 7.85,属海陆过渡沉积环境;CaO/Fe+CaO 值亦能反映海水盐度(Lei Bianjun et al.,2002),比值小于 0.2 为低盐度,在 0.2~0.5 之间为中等盐度,大于 0.5 为高盐度,朗杰学群 CaO/Fe+CaO 值为 0.116~0.683,平均为 0.314,属中等盐度范畴;综合分析,朗杰学群沉积水体古盐度应为海陆过渡的中等盐度环境。

4.4 古气候分析

化学蚀变指数(CIA)能较好的指示沉积古气候条件,Nesbitt 等(1982,1989)对地壳和典型气候条件下不同种类岩石、矿物的 CIA 值进行比较(表 4),大体上可推断出沉积物沉积时的气候环境,朗杰学群砂岩化学蚀变指数(CIA)介于 57.75~76.49 之间,平均为 71.55,反映温暖、湿润气候条件下中等化学风化程度。

风化程度、古水深及古盐度与古气候有着直接的关系,SiO₂/Al₂O₃+K₂O+Na₂O 双变量图(图 8)可以用于碎屑岩沉积古气候条件的判别,朗杰学群砂岩投图大多位于半干旱的环境,极少数为干旱的环境,指示了沉积环境略不稳定,反映了较低的化学成熟度,与化学蚀变指数(CIA)结果一致。特征元素比值包含重要的古气候信息,Sr/Cu 值介于 1.3~5.0 时为温湿气候,大于 5.0 时为干热气候(Lerwan et al.,1982),也有学者(Liu Gang et al.,2007;Xie Shangke et al.,2010)将该数值界定为 1~10 为温湿气候,大于 10 为干热气候,朗杰学砂岩

表 4 各类地质体的 CIA 值

Table 4	CIA values for various geological bodies	
岩石和矿物	CIA 值	气候和风化程度
平均上地壳	50	
更新世冰碛岩(基质)	50~55	反映寒冷、干燥气候条件下
更新世冰川粘土(冰水沉积)	60~65	低等化学风化程度
黄土	65~70	反映温暖、湿润气候条件下
平均页岩	70~75	中等化学风化程度
亚马逊泥岩	80~90	反映炎热、潮湿的热带、亚热带
残留粘土	85~100	气候条件下强化学风化程度

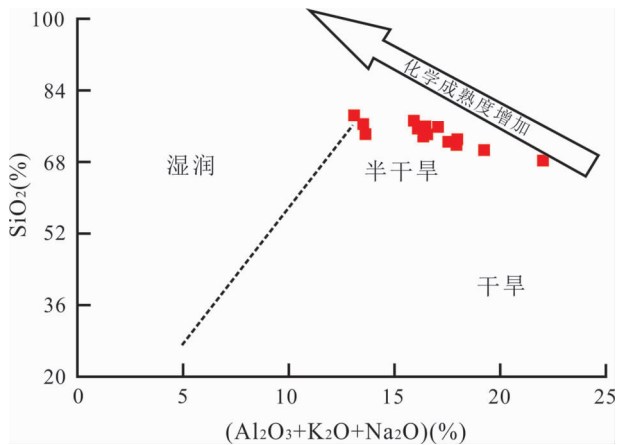


图 8 西藏贡嘎县朗杰学群砂岩古气候判别图
(据 Suttner et al.,1986)

Fig. 8 Paleoclimatic discrimination diagram of Langjiexue group, Konggar county, Tibet (after Suttner et al.,1986)

Sr/Cu 值为 4.16~20.36,平均为 7.10,属温湿气候范围。

4.5 物源区分析

根据 Girty 等研究, Al_2O_3/TiO_2 值可用于初步确定沉积物的源区成分: 当 $Al_2O_3/TiO_2 < 14$ 时, 反映来源于镁铁质岩石, 当 Al_2O_3/TiO_2 值介于 19~28 之间时, 反映来源于长英质岩石 (Girty et al., 1996)。研究区朗杰学群 Al_2O_3/TiO_2 值为 17.21~24.03, 平均值为 21.08, 显示物源为长英质岩石。

普遍认为沉积岩中微量元素 (含稀土元素) 在物理搬运或化学溶解过程中变化不大, 受源区岩石微量元素丰度控制明显, 因此, 砂岩中微量元素被广泛用作判别源区岩石的主要标志。在 REE-La/Yb 图解 (图 9a) 中样品均落入钙质泥岩-花岗岩-碱性玄武岩的交汇区域, 属于靠近陆壳一侧; 随着成岩作用的

演化 Zr、La、Hf、Th 和稀土元素在酸性岩石中富集, Co、Cr、Ni 等高温元素在基性岩石中富集, 因此, 酸性岩与基性岩相对富集元素的比值常应用研究物源, 在 Hf-La/Th 图解 (图 9b) 中样品均落入长英质物源区, 反映物源区属性为上地壳环境; 因研究区朗杰学群砂岩风化程度较低, 可用经典 F_1 - F_2 物源属性判别图解 (图 9c), 样品投图均落入酸性火成岩与石英沉积岩区域交汇处, 显示为两者混合产物, 同时, 投图结果未表现出无规律、分散等特征, 进一步说明不稳定主量元素 K_2O 、 Na_2O 、 CaO 等未出现明显丢失, 风化程度较低; Th 在酸性岩中赋存, 相反 Sc 赋存在基性岩中, Th/Sc 值在沉积再循环过程中不会发生改变, 因此常被用来进行物源化学成分变化的研究; 在 Th/Sc-Zr/Sc 图解中 (图 9d), 样品位

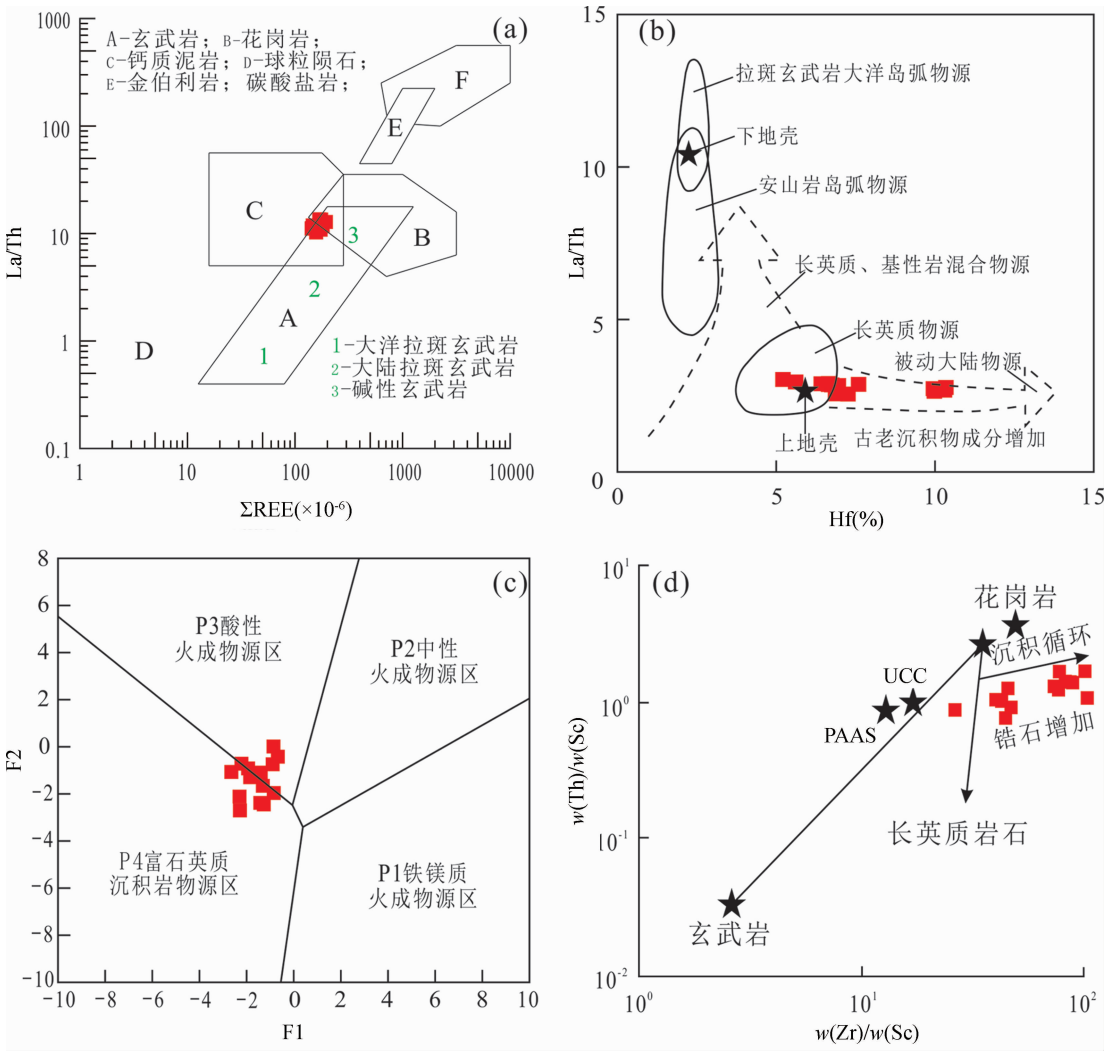


图 9 西藏贡嘎县朗杰学群砂岩微量元素物源分析图(a,据 Allagre,1978;b,据 Floyd et al.,1987; c,据 Roser et al.,1988;d,据 Mclennan et al.,1995)

Fig. 9 Source analysis diagrams of the sandstones in Langjiexue group Konggar county, Tibet (a,after Allagre,1978; b,after Floyd et al.,1987;c,after Roser et al.,1988;d,after Mclennan et al.,1995)

于成分演化线(BFG)左侧,落入长英质岩石与花岗岩区域,同时显示了 Zr 元素富集,而 Zr 元素往往因沉积再循环过程中锆石的富集而增大,但综合风化指数分析,风化程度较低的朗杰学群砂岩不会导致 Zr 的富集,而是粒度较粗的砂岩间接的导致了锆石的富集,同时,锆石的富集也反映了沉积物以滚动搬运为主,悬浮载荷中缺少锆石。

沉积岩的物质组成和岩石成分反映了源岩从风化剥蚀到搬运沉积成岩整个过程,记载了源岩属性及其风化-剥蚀-搬运和沉积作用以及构造运动等多方面的信息,稳定重矿物抗风化剥蚀能力强(Yue Yan,2010)。本次研究通过分析朗杰学群重矿物特征(表 5),来判别其母岩矿物组分及物源区岩石

属性。

本次研究采用 Morton et al. (1994)的指数分配方案确定物源区的含义。其中,ZTR 指数反映物源搬运距离,ATi 指数用于判断物源为火山岩的样品数量和风化程度,GZi 指数旨在分析是否存在角闪岩或麻粒岩物源,MZi 指数旨在探讨物源具有深成岩的比例。通过重矿物组合及各相关组合指数来看,重矿物指数 ATi 指数最高,为 93.3~98.97,说明朗杰学群的物源区火山岩较为丰富;ZTR 指数为 48.01~85.75,说明其物源供给区距离不远,但部分样品搬运距离较远,说明此浊积扇分布较宽;大量粉色磨圆较差的锆石亦说明其搬运距离不大。MZi 指数较低,说明物源区中、酸性深成侵入岩一般。

表 5 西藏贡嘎县朗杰学群砂岩重矿物特征

Table 5 Heavy mineral characteristics of sandstones in Langjiexue group, Konggar county, Tibet

矿物名称	有用矿物及副矿物特征描述(粒径:mm)
锆石	锆石分两种,粉色,半自形柱状、次滚圆柱状,透明,弱金刚光泽,表面较光滑,断口有溶磨痕迹,伸长系数 1.2~2.3 主,2.3~3.8 少,粒径 0.02~0.12 主,0.12~0.3 少,该类锆石磨圆度较低,分选性较好,搬运痕迹不大明显,推测该类锆石距母岩区较近,约占锆石总量的 85%±;少数浅玫瑰色,次滚圆柱状、粒状、滚圆粒状,透明-半透明,毛玻光泽,表面从较光滑→较粗糙呈过渡状,断口有溶磨痕迹,伸长系数 1.0~2.0 主、2.0~3.0 少,粒径 0.02~0.1 主、0.1~0.2 少,该类锆石磨圆度较高,分选性好,搬运痕迹略显-较明显,推测该类锆石略经搬运而来,约占锆石总量的 15%±
磷灰石	无色,半自形柱粒状、次滚圆-滚圆粒状,透明,玻-毛玻光泽,中硬度,粒径 0.01~0.12
锐钛矿	灰蓝色,半自形次滚圆粒状,半透明,油脂光泽,高硬度,粒径 0.05~0.15
金红石	桔红色,半自形次滚圆柱状、次棱角-次滚圆块状,透明-微透明,油脂光泽,高硬度,粒径 0.02~0.3
黄铁矿	铜黄色,次棱角块状、半自形立方体状,不透明,金属光泽,高硬度,粒径 0.02~0.25
楣石	浅黄色,次棱角-次滚圆扁粒状,透明,油脂光泽,中高硬度,粒径 0.02~0.35
绿帘石	黄绿色,次棱角块状、次滚圆粒状,透明,玻璃光泽,高硬度,粒径 0.03~0.3
白钛石	灰色、驼色,次滚圆扁粒状、次棱角块状,不透明,瓷状光泽,中硬度,粒径 0.02~0.2
石榴子石	黑色,半自形次滚圆粒状,不透明,金属光泽,高硬度,粒径 0.02~0.25
赤褐铁矿	黑褐色,多保留磁铁矿外型、次棱角块状少,不透明,弱金属光泽,高硬度,粒径 0.01~0.25,有蚀变
电气石	褐色,半自形次滚圆柱粒状,透明,玻璃光泽,高硬度,粒径 0.02~0.3

综合以上,说明朗杰学群的物源主要来自长英质岩石,其次为火成岩区,结合前人研究的古水流方向(Li Xianghui et al., 2004, Huang Jianguo, 2004)、重矿物组合(Zeng Qinggao et al., 2009)、碎屑锆石年代学及 Hf 同位素方面证据(Li Guangwei et al., 2010),认为朗杰学的物源主要来源于冈底斯岩浆弧带的中酸性火山岩及长英质陆源碎屑岩。近年来冈底斯直孔-松多特提斯洋的最新研究,早-中三叠世时期南冈底斯与北冈底斯处于俯冲收缩期(Xu Xiangzhen et al., 2007;Chen Songyong et al., 2007;Zeng Lingsen et al., 2009;Li Fenqi et al., 2012;Lin Yanhao et al., 2013),两者之间海沟的存在导致朗杰学群的物源不可能来源于北冈底斯,同时,结合风化程度(低-中等)、重矿物 ZTR 指数分析,朗杰学群物源应源于南冈底斯岩浆弧带,另外,南冈底斯岩浆弧带最新发现的中-晚三叠世的岩浆

岩(Li Fenqi et al., 2012;Wang Chao et al., 2016)与朗杰学群碎屑锆石峰值年龄(240Ma)相吻合,进一步证实了物源来自南冈底斯。

4.6 构造环境判别

由于地球化学数据在沉积学的研究中存在多解性,所以,在应用地球化学特征判别沉积形成的构造环境时,任何一个参数都有其局限性,必须综合利用(Bhatia, 1983; Yu Bingsong et al., 1998; Zheng Ning et al., 2012)。

Bhatia(1983)建立了不同构造背景下砂岩的主量元素特征(表 6),朗杰学群主量元素特征主要介于活动大陆边缘各平均值之间。Fe₂O₃ + MgO 变化为 1.85%~3.93%之间,平均 2.31%,接近于被动大陆边缘平均值(2.89%);Al₂O₃/SiO₂ 变化为 0.13%~0.25%;平均 0.11%,与活动大陆边缘平均值近相同(0.18);K₂O/Na₂O 变化为 0.44%~

1.37%,平均0.72%,介于大陆岛弧和活动大陆边缘平均值之间(0.61%~0.99%),接近于活动大陆边缘;Al₂O₃/(Na₂O+CaO)变化为2.59%~

3.45%,平均3.01%,介于活动大陆边缘与被动大陆边缘平均值之间(2.56%~4.16%),接近于活动大陆边缘平均值。

表 6 不同大地构造环境砂岩的化学成分对比 (据杨宗耀等,2015)

对比项	研究区	显生宙不同构造环境下杂砂岩				PAAS	上陆壳
		大洋岛弧	大陆岛弧	活动大陆边缘	被动大陆边缘		
SiO ₂ (%)	74.14	58.83±1.60	70.69±2.60	73.86±4.00	81.95±6.20	62.80	66.00
Al ₂ O ₃ (%)	12.52	17.11±1.70	14.04±1.10	12.89±2.10	8.41±2.20	18.90	15.20
TiO ₂ (%)	0.6	1.06±0.20	0.64±0.10	0.46±0.10	0.49±0.20	1.00	0.50
Fe ₂ O ₃ (%)	1.32	1.95±0.50	1.43±0.50	1.3±0.50	1.32±1.60	-	-
FeO(%)	2.44	5.52±2.10	3.05±0.40	1.58±0.90	1.76±1.20	6.50	4.50
CaO(%)	0.77	5.83±1.30	2.68±0.90	2.48±1.00	1.89±2.30	1.30	4.20
MgO(%)	0.98	3.65±0.70	1.97±0.50	1.23±0.50	1.39±0.80	2.20	2.20
K ₂ O(%)	1.72	1.6±0.60	1.89±0.50	2.9±0.50	1.71±0.60	3.70	3.40
Na ₂ O(%)	2.44	4.1±0.80	3.12±0.40	2.77±0.70	1.07±0.60	1.20	3.90
MnO(%)	0.05	0.15	0.10	0.10	0.05	0.11	-
P ₂ O ₅ (%)	0.11	1.71±0.60	0.16±0.10	0.09	0.12	0.16	-
Fe ₂ O ₃ *+MgO(%)	2.31	11.73	6.79	4.63	2.89	9.35	7.15
Al ₂ O ₃ /SiO ₂	0.17	0.29	0.20	0.18	0.10	0.30	0.23
K ₂ O/Na ₂ O	0.73	0.39	0.61	0.99	1.60	3.08	0.87
Al ₂ O ₃ /(K ₂ O/Na ₂ O)	3.01	1.72	2.42	2.56	4.15	7.56	1.88

元素 Fe 和 Ti 由于迁移能力低,在海水中停留时间较短而具判别意义,Mg 在海水中停留的时间较长,但因浊流沉积的大陆边缘型砂岩在埋藏期间,由于其渗透性较差而保持大体不变,从而也具判别意义,另外,具有 Fe₂O₃+MgO、TiO₂、Al₂O₃/SiO₂ 值由大洋岛弧、大陆岛弧、活动大陆边缘到被动大陆边缘逐渐降低的特点。因此,在氧化物构造环境判别图中(图 10),朗杰学群砂岩多集中落在活动大陆边缘区内,Fe₂O₃+MgO-TiO₂图解中(图 10a)多集中于活动大陆边缘与被动大陆边缘一侧;Fe₂O₃+MgO-Al₂O₃/SiO₂判别图解中(图 10b)多集中于活动大陆边缘构造环境;SiO₂-Na₂O/K₂O 判别图解中(图 10c,d)均落入活动大陆边缘区域。

沉积岩中微量元素化学性质相对稳定,能够很好的记录物源区经搬运、沉积、成岩过程中的陆源组分,能够起到示踪沉积演化和追踪物源的作用。目前,一些微量元素(如 La、Th、Y、Zr、Ti、Co、Ni)及其特征比值(如 Zr/Hf、Eu/Eu*、Ta/Nb、La/Sc、Th/U 等)常被用于研究物源区及古沉积环境特征(Bhatia et al.,1986)。

在微量元素构造环境判别图中,朗杰学群砂岩多集中落在大陆岛弧-活动大陆边缘区内,La/Sc-Ti/Zr 图解中(图 11a)多集中于活动大陆边缘与大陆岛弧分界附近;Zr-Th-Co 三角图解中(图 11b)均落入大陆岛弧区域。

Bhatia(1986)建立了不同源区构造背景下砂岩稀土元素特征判别标志(表 7)。朗杰学群砂岩 La 平均为 28.3×10⁻⁶,介于大陆岛弧与活动大陆边缘之间;Ce 平均为 57.27×10⁻⁶,指示靠近大陆岛弧一侧;∑REE 平均为 163.6×10⁻⁶,介于澳大利亚后太古代页岩与大陆岛弧与活动大陆边缘之间;La/Yb 平均值为 11.97,指示靠近活动大陆边缘一侧;(La/Yb)_N平均值为 8.09,介于大陆岛弧与活动大陆边缘之间,更靠近活动大陆边缘;∑LREE/∑HREE 为 3.38,均小于特征参数(小于大洋岛弧值)。Eu 具弱负异常,Eu/Eu* 平均值为 0.64,靠近活动大陆边缘一侧。

综合分析,朗杰学群岩石地球化学分析结果显示,其形成的构造环境应为大陆岛弧与活动大陆边缘环境之间特定构造背景下的产物,各项指标均指示其形成环境更靠近活动大陆边缘一侧。

4.7 特提斯构造演化

大量的研究资料已经表明,整个三叠纪时期,雅鲁藏布特提斯洋处于扩张发展期。玉门混杂岩带在该时期形成了初始的洋盆(Huang Jianguo,2005),该蛇绿混杂岩带内中-晚三叠世硅质岩放射虫证实了该观点(Zhu Jie et al.,2005;Zhang Jidong et al.,2016;Chen Shudi,2018;Shu Deliang et al.,2018)。同时,混杂岩带的南侧接受早-中三叠世吕村组及晚三叠世涅如组沉积(被动大陆边缘接近活动大陆边

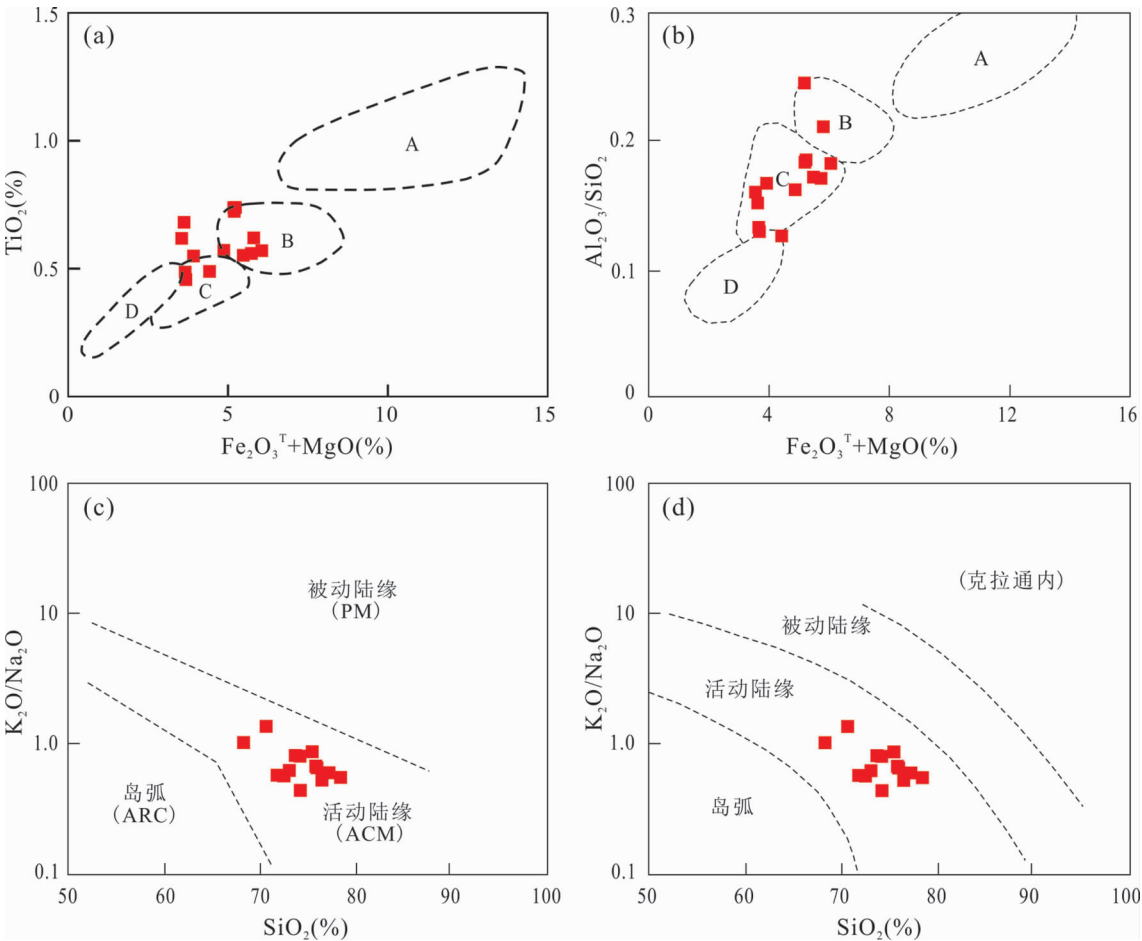


图 10 西藏贡嘎县朗杰学群砂岩氧化物构造环境判别图(a,b,据 Bhatia,1983;c,d,据 Roser et al. ,1986)
Fig. 10 Tectonic discrimination diagrams of oxides of sandstones in Langjiexue group, Konggar county, Tibet
(a,b,after Bhatia,1983;c,d,after Roser et al. ,1986)
A—大洋岛弧;B—大陆岛弧;C—活动大陆边缘;D—被动大陆边缘
A—ocean island arc;B—continental island arc;C—active continental margin;D—passive continental margin

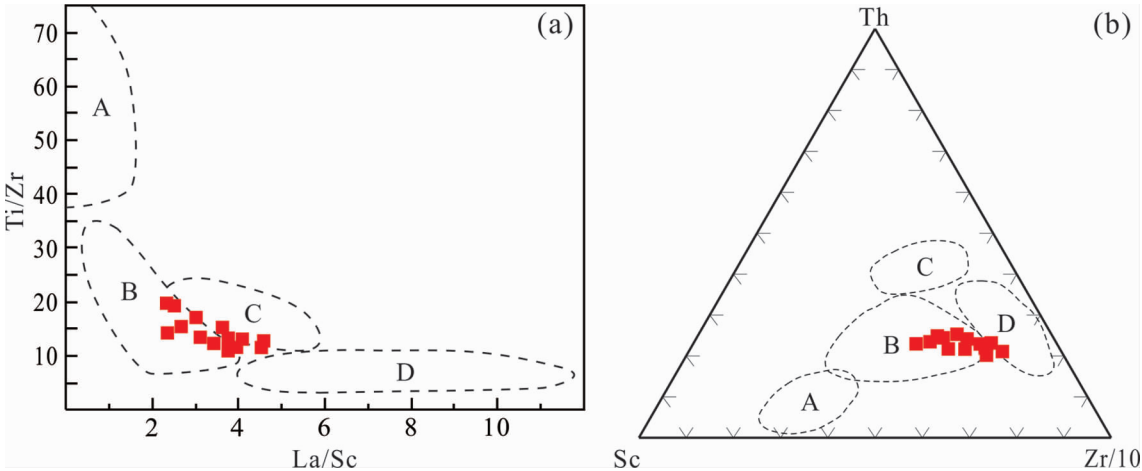


图 11 西藏贡嘎县朗杰学群砂岩微量元素构造环境判别图(底图据 Bhatia et al. ,1986)
Fig. 11 Tectonic discrimination diagrams of trace elements of sandstones in Langjiexue group, Konggar county, Tibet
(Base diagram after Bhatia et al. ,1986)
A—大洋岛弧;B—大陆岛弧;C—活动大陆边缘;D—被动大陆边缘
A—ocean island arc;B—continental island arc;C—active continental margin;D—passive continental margin

表 7 不同构造背景砂岩稀土元素特征比较(×10⁻⁶)

Table 7 REE characteristics of sandstone from different tectonic environments (×10⁻⁶)

构造背景 物源区类型	研究区	大洋岛弧	大陆岛弧	活动大陆边缘	被动大陆边缘	上地壳	PAAS
		未切割的岩浆弧	切割的岩浆弧	基底隆起	克拉通内构造高地		
La	28. 3	8±1. 7	27±4. 5	37	39	30	38
Ce	57. 27	19±3. 7	59±8. 2	78	85	64	80
ΣREE	163. 65	58±10	146±20	186	210	146	161
La/Yb	11. 97	4. 2±1. 3	11. 0±3. 6	12. 5	15. 9	-	-
(La/Yb)N	8. 09	4. 2±1. 3	7. 5±2. 5	8. 5	10. 8	9. 2	9. 2
LREE/HREE	3. 38	3. 8±0. 9	7. 7±1. 7	9. 1	8. 5	9. 47	-
δEu	0. 64	1. 01±0. 11	0. 79±0. 13	0. 6	0. 82	0. 65	0. 64

(大洋岛弧、大陆岛弧、活动大陆边缘、被动大陆边缘数据据 Bhatia,1985;Bhatiaet al. ,1986)

缘的沉积环境),北侧接受活动大陆边缘早-中三叠世查曲浦沉积和晚三叠世(卡尼期)朗杰学群深海浊流沉积。早侏罗世雅鲁藏布特提斯洋处于俯冲消减期(Huang Feng et al. ,2015;Lang Xinghai et al. , 2014;Tafti et al. ,2014),形成了初始俯冲的代表产物(前弧玄武岩系),并逐渐演化形成成熟的火山岛弧,到晚白垩世结束俯冲消减转化为碰撞造山(莫宣学等,2006),直至第四纪时期的高原隆升。

5 结论

(1)朗杰学群古生物化石以双壳类、菊石及海百合为主,双壳类主要为凸海燕属:*Halobia* sp. cf. *H. yunnanensis* Reed, 1927、*Halobiayunnanensis* Reed, 1927、*Halobia* sp. cf. *H. convexa* Chen, 1964、*Halobia convexa* Chen, 1964,指示朗杰学群形成时代为晚三叠世早期(卡尼期)。

(2)古环境分析显示,朗杰学群形成于中等盐度的深水厌氧环境,且由北向南沉积水体逐渐加深,化学蚀变指数(CIA)平均为 71. 55,反映温暖、湿润气候条件下经历了低-中等风化作用,同时,重矿物 ZTR 指数也显示物源搬运距离较短。

(3)朗杰学群物源主要来源于南冈底斯岩浆弧带的中酸性火山岩及长英质陆源碎屑岩。

(4)朗杰学群为大陆岛弧与活动大陆边缘环境之间特定构造背景下的产物,各项指标均指示其形成环境更靠近活动大陆边缘一侧。

References

Allagre C J. 1978. Quantitative models of trace planet. Earth and Planetary Science Letters, 38(1): 1~25.
Bhatia MR. 1983. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. The Journal of Geology, 91(6): 611~627.
Bhatia M R. 1985. Rare Earth Element Geochemistry of Australian Paleozoic Graywackes and Mudrocks: Provenance and Tectonic Control. Sedimentary Geology, 45(1~2): 97~113.
Bhatia M R. 1986. Morphological structure of bismuth-doped n-type

amorphous germanium sulphide semiconductors. Journal of Materials Geology, 5: 1281~1284.
Bhatia M R, Crook K A W. 1986. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. Contrib. Mineral. petrol, 92: 181~193.
Boynton W V. 1984. CosmochemivStry of the rare earth elements: Meteorite studies. In Henderson P. eds., Rare earth element geochemistry. Development in geochemistry, 2. Elsevier Amsterdam, 63~107.
Cai Fulong, Ding Lin, Laskowski A K, Kapp P, Wang Houqi, Xu Qiang, Zhang Liyun. 2016. Late Triassic paleogeographic reconstruction along the Neo-Tethyan Ocean margins, southern Tibet. Earth and Planetary Science Letters, 435: 105~114.
Chen Songyong, Yang Jingsui, Luo Liqiang, Li Zhaoli, Xu Xiangzhen, Li Tianfu, Ren Yufeng Li Huaqi. 2007. MORB-type eclogites in the Lhasa block, Tibet, China: Petrochemical evidence. Geological Bulletin of China, 26(10): 1327~1339(in Chinese with English abstract).
Chen Shudi. 2018. Triassic radiolarian and early evolution of the new tethys ocean in the yarlung zangbo suture zone, south Tibet. Abstract collection of the 12th national member congress of the Paleontological Society of China and the 29th Annual Academic Conference. Palaeontological Society of China(in Chinese with English abstract)
Dai Jingen, Yin An, Liu Wencan, Wang Chengshan. 2008. Nd isotopic compositions of the Tethyan Himalayan Sequence in southeastern Tibet. Science in China Series D: Earth Sciences, 51(9): 1306~1316.
Floyd P A, Leveridge B E. 1987. Tectonic environment of the Devonian Gramscatho Basin SouthComwall: Framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstone. Journal of Geology Society London, 144(4): 531~542.
Gao Jianfeng, Lu Jianjun, Lai Mingyuan, Lin Yuping, Pu Wei. 2003. Analysis of Trace Elements in Rock Samples Using HR-ICPMS, Journal of NanJing University(Natural Sciences), 39 (06): 844~850(in Chinese with English abstract).
Girty G H, Ridge D L, Knaack C. 1996. Provenance and depositional setting of Paleozoic chert and argillite, Sierra Nevada, California. Journal of Sedimentary Research, 66(1): 107~118.
Huang Feng, Xu Jifeng, Chen Jianlin, Kang Zhiqiang, Dong Yanhui. 2015. Early Jurassic volcanic rocks from the Yeba Formation and Sangri Group: Products of continental marginal arc and intra-oceanic arc during the subduction of Neo-Tethys Ocean? Acta Petrologica Sinica, 31(7): 2089~2100(in Chinese with English abstract).
Huang Jianguo. 2005. Petrological characteristics and geotectonic environment analysis of Langjiexue group in Langxian, Tibet. Kunming University of Science and Technology(in Chinese with English abstract).

- Herron M M. 1988. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *Journal of Sedimentary Research*, 58(5): 820~829.
- Lang Xinghai, Tang Juxing, Xie Fuwei, Li Zhijun, Huang Yong, Ding Feng, Yang Huanhuan, Zhou Yun, Wang Qin. 2014. Geochronology and geochemistry of the southern porphyry in the Xiongcu district, Tibet and its geological implications. *Geotectonica et Metallogenia*, 38(3): 609~620.
- Lei Bianjun, Que Hongpei, Hu Ning, Niu Zhijun, Wang Hua. 2002. Geochemistry and sedimentary environments of the Palaeozoic siliceous rocks in western Hubei. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 22(02): 70~79(in Chinese with English abstract).
- Lewan M D, Maynard J B. 1982. Factors controlling enrichment of vanadium and nickel in the bitumen of organic sedimentary rocks. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 46: 2547~2560.
- Li Fenqi, Liu Wei, Wang Baodi, Zhang Shizhen. 2012. The continuation of the subduction of Paleo-Tethys Ocean within Lhasa block in Early-Middle Triassic: evidence from volcanic rocks and HP metamorphic rocks. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 31(02): 119~132(in Chinese with English abstract).
- Li Guangwei, Liu Xiaohan, Pullen Alex, Wei Lijie, Liu Xiaobing, Huang Feixin, Zhou Xuejun. 2010. In-situ detrital zircon geochronology and Hf isotopic analyses from Upper Triassic Tethys sequence strata. *Earth and Planetary Science Letters*, 297: 461~470.
- Li Guangwei, Sandiford M, Liu Xiaohan, Xu Zhiqin, Wei Lijie, Li Huaqi. 2014. Provenance of Late Triassic sediments in central Lhasa terrane, Tibet and its implication. *Gondwana Research*, 25: 1680~1689.
- Li Xianghui, Mattern F, Zhang Chaokai, Zeng Qinggao, Mao Guozheng. 2016. Multiple sources of the Upper Triassic flysch in the eastern Himalaya Orogen, Tibet, China: Implications to palaeogeography and palaeotectonic evolution. *Tectonophysics*, 666: 12~22.
- Li Xianghui, Wang Yin, Xu Wenli, Sun Yong, Kong Qingyou, Zeng Qinggao, Xie Yaowu, Mao Guozheng, Ciren Nima, Zhou Yong, Liu Ling. 2011. Contrasting the Upper Triassic Flysch Langjue Group and Nieru Formation in Southern Tibet. *Acta Geologica Sinica*, 85(10): 1551~1562(in Chinese with English abstract).
- Lin Yanhao, Zhang Zeming, Dong Xin, Xiang Hua, Yan Rong. 2013. Early Mesozoic metamorphism and tectonic significance of the eastern segment of the Lhasa terrane, south Tibet. *Journal of Asian Earth Sciences*, 78(12): 160~183.
- Liu Gang, Zhou Dongsheng. 2007. Application of microelements analysis in identifying sedimentary environment—Taking Qianjiang formation in the Jianghan basin as an example. *Petroleum Geology and Experiment*, 29(03): 307~310+314(in Chinese with English abstract).
- Liu Guanghua, Einsele G. 1994. Sedimentary history of the Tethyan basin in the Tibetan Himalayas. *Geologische Rundschau*, 83: 32~61.
- McLennan S M, Hemming S R, Taylor S R. 1995. Early Proterozoic crustal evolution: Geochemical and Nd-Pb isotopic evidence from metasedimentary rocks, southwestern North America. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59(6): 1153~1177.
- Morton A C, Hallsworth C. 1994. Identifying provenance: specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones. *Sedimentary Geology*, 90: 241~256.
- Mo Xuanxue, Zhao Zhidan, DePaolo D J, Zhou Su, Dong Guochen. 2006. Three types of collisional and postcollisional magmatism in the Lhasa block, Tibet and implications for India intra-continental subduction and mineralization: evidence from Sr-Nd isotopes. *Acta Petrologica Sinica*, 22(4): 795~803(in Chinese with English abstract).
- Nesbitt H W, Young G M. 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 299(5885): 715~717.
- Nesbitt H W, Young G M. 1989. Formation and diagenesis of weathering profiles. *The Journal of Geology*, 97: 129~147.
- Pan Guitang, Wang Liquan, Zhang Wanping, Wang Baodi, Yuan Sihua, Wang Guocan, Li Rongshe, Mo Xuanxue, Zhang Kexin, Zhu Dicheng, Liu Hongfei, Feng Yimin, Yin Fuguang, Ji Wenhua, Luo Jianning, Yan Yangji, Wang Peisheng, Zheng Jiankang, Dong Guochen, Zhu Tongxing, Geng Quanru, Jiang Xinsong, Wang Fangguo, He Shiping, Yao Dongsheng. 2013. Tectonic map and instructions in Qinghai-Tibet Plateau and its adjacent regions(1: 1.5 million). Beijing: Geological Publishing House, 24~105(in Chinese with English abstract).
- Pettijohn F J, Potter P E. 1972. Siever R. Sand and sandstone. New York: Springer-Verlag, 1~618.
- Qu Lihua, Liu Xifang, Li Jinsuo, Qi Lujing. 2015. Geochemical Characteristics of Sedimentary Rocks from the Triassic Kanglu Formation, North Qiangtang Basin (Tibet): Implications for Provenance and Tectonic Setting. *Geoscience*, 29(04): 789~803(in Chinese with English abstract).
- Roser B P, Korsch R J. 1986. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio. *Journal of Geology*, 94: 635~650.
- Roser B P, Korsch R J. 1988. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. *Chemical Geology*, 67(1~2): 119~139.
- Rudnick R L, Gao S. 2003. Composition of the continental crust. *Treatise Geochem*, 3: 1~64.
- Shu Deliang, Tian Shuofeng, Gong Zilu, Zhang Hui, Xu Jiusheng. 2018. Discovery and geological significance of radiolarians in the siliceous rocks of the Dasang Formation in the western segment of the Yajiang suture zone, Tibet. *Scientific and technological innovation*, 20(02): 35~37(in Chinese with English abstract).
- Sun S S, Mc Donough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geological Society, London, Special Publications*, 42(1): 313~345.
- Suttner L J, Dutta P K. 1986. Alluvial sandstone composition and palaeoclimate, framework mineralogy. *Journal of Sedimentary Petrology*, 56(3): 329~345.
- Tafti R, Lang J R, Mortensen J K, Oliver J L and Rehaglati C M. 2014. Geology and geochronology of the Xietongmen (Xiongcu) Cu-Au porphyry district, Southern Tibet, China. *Economic Geology*, 109(7): 1967~2001.
- Wang Chao, Ding Lin, Zhang Liyun, Kapp Paul, Alex Pullen, Yue Yahui. 2016. Petrogenesis of Middle-Late Triassic volcanic rocks from the Gangdese belt, southern Lhasa terrane: Implications for early subduction of Neo-Tethyan oceanic lithosphere. *Lithos*, 262: 320~333.
- Wang Congshan, Chen Wenxi, Shan Fulong. 2016. Geochemical Characteristics of the Xungba Formation Sandstones in the Xungba Basin, Tibet, and its Constraints on Provenance and Tectonic Setting. *Acta Geologica Sinica*, 90(06): 1195~1207(in Chinese with English abstract).
- Wang Jiangang, Wu Fuyuan, Garzanti E, Hu Xiumian, Ji Weiqiang, Liu Zhichao, Liu Xiaochi. 2016. Upper Triassic turbidites of the northern Tethyan Himalaya (Langjue Group): The terminal of a sediment-routing system sourced in the Gondwanide Orogen. *Gondwana Research*, 34: 84~98.
- Wang Liquan, Pan Guitang, Ding Jun, Yao Dongsheng, Luo Jianning, Yan Yangji, Zheng Jiankang, Wang Peisheng, Chen

- Yongmin, Mo Xuanxue, Zhang Kexin, Wang Guocan, Wang Baodi, Li Rongshe, Zhu Dicheng, Xiang Shuyuan, Liu Hongfei, Jiang Xinsheng, Zhu Tongxing, Yuan Sihua, Zhang Wanping, Ji Wenhua, Geng Quanru, Dong Guochen, Yin Fuguang. 2013. Geotectonic map and instructions in Qinghai-Tibet Plateau and its adjacent regions (1: 1.5 million). Beijing: Geological Publishing House, 18~84 (in Chinese with English abstract).
- Wang Xuhui, Lang Xinghai, Deng Yilin, Cui Zhiwei, Lou Yuming, Han Peng. 2018. Zircon U-Pb Geochronology, Geochemistry and Tectonic Implications of the Tangbai Porphyritic Granite Pluton in Southern Margin of Gangdese, Tibet. *Geological Journal of China Universities*, 24(01): 41~55 (in Chinese with English abstract).
- Wang Zhilong, Hu Xicong, Shi Xiaolong, Huang Qiangtai, Zheng Hao, Shi Shengmei. 2017. Sedimentary rocks and geochemical characteristics as well as detrital zircon of Abushan Formation in Woruobale and Bailong area, Tibet, and their indicating significance for provenance information. *Geological Bulletin of China*, 36(7): 1188~1203 (in Chinese with English abstract).
- Wang Zhengming. 2003. Geochemical indicators for diagnosing anoxic sedimentary environment. *Acta Geologica Gansu*, 12(02): 55~58 (in Chinese with English abstract).
- Webb A A G, Yin An, Dubey C S. 2013. U-Pb zircon geochronology of major lithologic units in the eastern Himalaya: Implications for the origin and assembly of Himalayan rocks. *Bulletin of the Geological Society of America*, 125: 499~522.
- Xie Long. 2017. The background and styles of the Mesozoic continental margin rift basin in eastern Tethys Himalaya, South Tibet. Chengdu University of Technology (in Chinese with English abstract).
- Xie Shangke, Wang Zhengjiang, Wang Jian, Zhuo Jiewen. 2010. The Middle and Late Ordovician trace elements geochemistry characters in Qijiang County, Chongqing City. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 30(4): 60~65 (in Chinese with English abstract).
- Xu Xiangzhen, Yang Jingsui, Li Tianfu, Chen Songyong, Ren Yufeng, Li Zhaoli, Shi Yuruo. 2007. SHRIMP U-Pb ages and inclusions of zircons from the Sumdo eclogite in the Lhasa block, Tibet, China. *Geological Bulletin of China*, 26(10): 1340~1355 (in Chinese with English abstract).
- Yang Zongyao, Tang Juxing, Wang Hao. 2015. The role of sandstone geochemistry in distinguishing paleotectonic environments. *Acta Mineralogica Sinica*, 35(S1): 963~964 (in Chinese with English abstract).
- Yue Yan. 2010. Introduction of the provenance analysis of heavy mineral. *Sci-tech Information Development Economy*, 20(12): 138~139 (in Chinese with English abstract).
- Yu Bingsong, Yue Changshuo. 1998. Some information about the inner earth contained in composition of sedimentary rocks. *Earth Science Frontiers*, 5(3): 105~112 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Chaokai. 2016. Sedimentary Geology of the Upper Triassic flysch in the eastern Himalaya Orogen, Tibet, China. Nanjing university (in Chinese with English abstract).
- Zhang Jidong, Fan Yonggui, Sun Xiao, Peng Qianfan, Guo Jincheng, Li Xian, Hou Liguang, Chen Haiyan, Hu Ne. 2016. Middle-Late Triassic radiolarian fossils from the Zhongba region, Xizang and their geological implications. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 36(04): 1~6 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Shishan. 1988. Study and application of magnesium-aluminum content ratio in sedimentary strata. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 21(02): 112~113 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Zhenkai, Zhou Yaoqi, Peng Tianming, Yu Shanshan, Yue Huiwen, Zhou Tengfei, Liu Jiazhao. 2017. Geochemical Characteristics and Signatures of Siltstones from Laiyang Group at Lingshan Island, Qingdao, Shandong. *Earth science*, 42(03): 357~377 (in Chinese with English abstract).
- Zeng Lingsen, Liu Jing, Gao Li'e, Chen Fangyuan, Xie Kejia. 2009. Early Mesozoic high-pressure metamorphism within the Lhasa Block, Tibet and its implications for regional tectonics. *Earth Science Frontiers*, 16(2): 140~151 (in Chinese with English abstract).
- Zeng Qinggao, Li Xianghui, Xia Bin, Xu Wenli, Ciren Nima, Pu Qiong, Li Jun. 2009. Heavy mineral assemblages and provenance analysis of the Upper Triassic in Renbu area, southern Tibet. *Geological Bulletin of China*, 28(1): 38~44 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Xianshu, Zhang Junling, Chen Deling. 1996. Application of multivariate statistics analysis to classification and identification of paleontologic fossils. *Journal of Xi'an Mining Institute*, 16(02): 183~185 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Ning, Liu Yanxue, Ding Xiaozhong, Li Tingdong, Geng Shufang, Cheng Muwei, Qian Lixin. 2012. Geochemical characteristics and sedimentary environment of Lower Cambrian greywacke in southwestern Jiangxi Province. *Geological Bulletin of China*, 31(7): 1115~1125 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Jie, Du Yuansheng, Liu Zaoxue, Feng Qinglai, Tian Wangxue, Li Jinping, Wang Changping. 2005. Mesozoic radiolarian chert from the middle sector of the Yarlung-Zangbo suture zone, Tibet and its tectonic implications. *Science in China (Series D)*, 5(12): 1131~1139 (in Chinese with English abstract).

参 考 文 献

- 陈松永, 杨经绥, 罗立强, 李兆丽, 徐向珍, 李天福, 任玉峰, 李化启. 2007. 西藏拉萨地块 MORB 型榴辉岩的岩石地球化学特征. *地质通报*, (10): 1327~1339.
- 陈迪舒. 2018. 藏南雅鲁藏布缝合带中的三叠纪放射虫与新特提斯洋的早期演化. *中国古生物学会 (Palaeontological Society of China). 中国古生物学会第十二次全国会员代表大会暨第 29 届学术年会论文摘要集. 中国古生物学会.*
- 高剑峰, 陆建军, 赖鸣远, 林雨萍, 濮巍. 2003. 岩石样品中微量元素的高分辨率等离子质谱分析. *南京大学学报 (自然科学版)*, 39(06): 844~850.
- 黄丰, 许继峰, 陈建林, 康志强, 董彦辉. 2015. 早侏罗世叶巴组与桑日群火山岩: 特提斯洋俯冲过程中的陆缘弧与洋内弧?. *岩石学报*, 31(07): 2089~2100.
- 黄建国. 2005. 西藏朗县地区郎杰学群岩石学特征及大地构造环境分析. *昆明理工大学.*
- 雷卞军, 阙洪培, 胡宁, 牛志军, 汪华. 2002. 鄂西古生代硅质岩的地球化学特征及沉积环境. *沉积与特提斯地质*, 22(02): 70~79.
- 李奋其, 刘伟, 王保弟, 张士贞. 2012. 拉萨地块内部古特提斯洋早中三叠世仍在俯冲——来自火山岩和高压变质岩的证据. *岩石矿物学杂志*, 31(02): 119~132.
- 李祥辉, 王尹, 徐文礼, 孙勇, 孔庆友, 曾庆高, 谢饶武, 毛国政, 尼玛次仁, 周勇, 刘玲. 2011. 试论西藏南部上三叠统复理石郎杰学群与涅如组. *地质学报*, 85(10): 1551~1562.
- 刘刚, 周东升. 2007. 微量元素分析在判别沉积环境中的应用——以江汉盆地潜江组为例. *石油实验地质*, 29(03): 307~310.

十314.

莫宣学, 赵志丹, Don J DEPAOLO, 周肃, 董国臣. 2006. 青藏高原拉萨地块碰撞-后碰撞岩浆作用的三种类型及其对大陆俯冲和成矿作用的启示: Sr-Nd 同位素证据. 岩石学报, 22(04): 795~803.

潘桂棠, 王立全, 张万平, 王保弟, 袁四化, 王国灿, 李荣社, 莫宣学, 张克信, 朱弟成, 刘鸿飞, 冯益民, 尹福光, 计文化, 罗建宁, 颜仰基, 王培生, 郑建康, 董国臣, 朱同兴, 耿全如, 江新胜, 王方国, 何世平, 姚冬生. 2013. 青藏高原及邻区大地构造图及说明书(1: 150 万). 北京: 地质出版社, 24~105.

屈李华, 刘喜方, 李金锁, 齐路晶. 2015. 北羌塘三叠系康鲁组沉积岩地球化学特征及其物源区和构造背景分析. 现代地质, 29(04): 789~803.

舒德亮, 田硕丰, 龚自禄, 张辉, 徐久晟. 2018. 西藏雅江缝合带西段达桑组硅质岩中放射虫的发现及地质意义. 科学技术创新, 20(02): 35~37.

王丛山, 陈文西, 单福龙. 2016. 西藏雄巴地区中新世雄巴组砂岩地球化学特征及对物源区、构造背景的指示. 地质学报, 90(06): 1195~1207.

王立全, 潘桂棠, 丁俊, 姚冬生, 罗建宁, 颜仰基, 郑建康, 王培生, 陈永民, 莫宣学, 张克信, 王国灿, 王保弟, 李荣社, 朱弟成, 向树元, 刘鸿飞, 江新胜, 朱同兴, 袁四化, 张万平, 计文化, 耿全如, 董国臣, 尹福光. 2013. 青藏高原及邻区地质图及说明书(1: 150 万). 北京: 地质出版社, 18~84.

王旭辉, 郎兴海, 邓煜霖, 崔志伟, 娄渝明, 韩鹏. 2018. 西藏冈底斯南缘汤白斑状花岗岩锆石 U-Pb 年代学、地球化学及地质意义. 高校地质学报, 24(01): 41~55.

王争鸣. 2003. 缺氧沉积环境的地球化学标志. 甘肃地质学报, 12(02): 55~58.

王志龙, 胡西冲, 石晓龙, 黄强太, 郑浩, 师胜梅. 2017. 西藏窝若巴勒一白龙地区阿布山组沉积岩石、地球化学特征及碎屑锆石对物源信息的指示意义. 地质通报, 36(07): 1188~1203.

解龙. 2017. 特提斯喜马拉雅东段中生代大陆边缘裂谷盆地的背景与样式. 成都理工大学.

谢尚克, 汪正江, 王剑, 卓皆文. 2010. 綦江观音桥中上奥陶统微量元素地球化学特征. 沉积与特提斯地质, 30(04): 60~65.

徐向珍, 杨经绥, 李天福, 陈松永, 任玉峰, 李兆丽, 石玉若. 2007. 青藏高原拉萨地块松多榴辉岩的锆石 SHRIMP-U-Pb 年龄及锆石中的包裹体. 地质通报, (10): 1340~1355.

杨宗耀, 唐菊兴, 王豪. 2015. 砂岩地球化学在判别古构造环境中的作用. 矿物学报, 35(S1): 963~964.

岳艳. 2010. 浅谈重矿物物源分析方法. 科技情报开发与经济, 20(12): 138~139+146.

于炳松, 乐昌硕. 1998. 沉积岩物质成分所蕴含的地球深部信息. 地学前缘, 5(03): 105~112.

张朝凯. 2016. 喜马拉雅造山带东段上三叠统复理石沉积地质研究. 南京大学.

张计东, 范永贵, 孙肖, 彭芊芊, 郭金城, 李先, 侯立光, 陈海燕, 胡訥. 2016. 西藏仲巴中-晚三叠世放射虫化石特征及其地质意义. 沉积与特提斯地质, 36(04): 1~6.

张士三. 1988. 沉积岩层中镁铝含量比的研究及其应用. 矿物岩石地球化学通讯, 21(02): 112~113.

张振凯, 周瑶琪, 彭甜明, 于珊珊, 岳会雯, 周腾飞, 刘加召. 2017. 山东灵山岛莱阳群粉砂岩地球化学特征及意义. 地球科学, 42(03): 357~377.

曾令森, 刘静, 高利娥, 陈方远, 谢克家. 2009. 青藏高原拉萨地块早中生代高压变质作用及大地构造意义. 地学前缘, 16(02): 140~151.

曾庆高, 李祥辉, 夏斌, 徐文礼, 尼玛次仁, 普琼, 李君. 2009. 西藏仁布地区上三叠统重矿物组合与物源分析. 地质通报, 28(01): 38~44.

赵贤淑, 张俊岭, 陈德岭. 1996. 多元统计分析在古生物化石分类鉴定中的应用. 西安矿业学院学报, 16(02): 183~185.

郑宁, 刘燕学, 丁孝忠, 李廷栋, 耿树方, 程木伟, 钱丽欣. 2012. 赣西南下寒武统杂砂岩地球化学特征和沉积环境. 地质通报, 31(07): 1115~1125.

朱杰, 杜远生, 刘早学, 冯庆来, 田望学, 李金平, 王昌平. 2005. 西藏雅鲁藏布江缝合带中段中生代放射虫硅质岩成因及其大地构造意义. 中国科学(D 辑: 地球科学), 35(12): 1131~1139.

Paleontology, geochemistry and provenance of sedimentary rocks from the Triassic Langjiexue Group in the Yarlung Zangbo suture zone, Tibet and their tectonic setting

WANG Jingui^{*1)}, ZHANG Xinquan¹⁾, WEI Wentong¹⁾, ZHUAN Shaopeng¹⁾, CHEN Chao¹⁾,
ZHANG Zhenli²⁾, CHANG Lihai³⁾, SHEN Zongyi¹⁾

1) *Regional Geology Survey Institute of Hebei Province, Langfang, Hebei, 065000;*

2) *Hebei GEO University, Shijiazhuang, 050031;*

3) *Heilongjiang General Institute of Ecological Geological Survey and Research, Haerbin, 150030*

** Corresponding author: airstarry@163.com*

Abstract

With the decomposition of the Langjiexue Group in recent years, it has been found that the previous studies on the Langjiexue Group, Nieru Group, Xiukang Group and Luolin Group are confused. The study of Langjiexue Group should be reconsidered. Moreover, it is controversial whether the above strata were formed in the same tectonic environments. In this paper, we study the heavy mineral characteristics, geochemical characteristics and paleontological fossils of the Langjiexue Group in the Jiedexiu Town, Langjiexue country, Gongga County, China. The chemical composition of major and trace elements in the Langjiexue Group are lower than the Clarke value of the crust. The average content of SiO_2 is 74.14%, and the average value of $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ is 0.70. The above characteristics indicate that the maturity of sandstone is low, and it has not undergone obvious epigenetic reworking. The chemical alteration index (CIA) is relatively concentrated, averaging 71.55, which belongs to low-medium weathering degree, indicating that the climate and tectonic environment were in a relatively stable state. The average values of $100\text{Mg}/\text{Al}_2\text{O}_3$ and $\text{CaO}/\text{Fe}+\text{CaO}$ are 7.85 and 0.314 respectively, indicating that the Langjiexue Group formed in a deep-water anaerobic environment with moderate salinity and gradually deepened from north to south. Heavy minerals are mainly poorly separated zircon and rutile. ATi index is 93.3~98.97, ZTR index is 48.01~85.75, reflecting that volcanic rocks in the source area of the Langjiexue Group were abundant, and their transportation distance was relatively short. REE-La/Yb diagrams, Hf-La/Th diagrams, F1-F2 diagrams, Th/Sc-Zr/Sc diagrams and heavy mineral characteristics show that the source area of Longjiexue Group comprises intermediate-acid igneous rocks and continental margin clastic rocks. Based on the evidence of paleocurrent direction, the evolution of the Zhikong-Songdo Tethys Ocean, the Middle-Late Triassic magmatic rocks in South Gangdise, and the peak age (240 Ma) of clastic zircons from the Langjiexue Group, the provenance of the Langjiexue Group is South Gangdise. Tectonic discriminant diagrams show that the Langjiexue Group is a product of a specific tectonic setting between the continental island arc and the active continental margin environment, and the formation environment is closer to the active continental margin side. Paleontological fossils, represented by *Halobia convexa*, indicate that the Langjiexue Group was formed during the Carnian-Norian period of the Late Triassic. Based on the analysis of weathering degree, provenance area, tectonic background and formation age, the formation of the Langjiexue Group coincides with the evolution of the Yarlung Zangbo Tethys Ocean.

Key words: Yarlung Zangbo suture zone; Langjiexue Group; clastic sedimentary rocks; geochemistry; placer mineral; paleontology; source analysis; tectonic background