

松潘—甘孜碎屑沉积岩的地球化学与 Sm-Nd 同位素地球化学

陈岳龙¹ 唐金荣² 刘 飞¹ 张宏飞³ 聂兰仕¹ 蒋丽婷¹

(1. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院,北京 100083;2. 中国地质调查局发展研究中心,北京 100037;
3. 中国地质大学(武汉)地球科学学院,湖北 武汉 430074)

摘要:通过对松潘—甘孜地块与龙门山区的前寒武纪—三叠纪碎屑沉积岩的主量与微量元素地球化学及 Sm-Nd 同位素地球化学的系统研究,确定这些碎屑岩应属于杂砂岩与长石砂岩,其物质来源上应是镁铁质与长英质及石英+碳酸盐的混合物。从前寒武纪到三叠纪稀土总量增高、铕负异常更为明显,反映了壳内深熔作用的不断加强。晚古生代处于相对稳定的构造环境,而出现铈负异常。Nd 模式年龄在 1.6~2.4 Ga 之间,分布特征类似于扬子克拉通、南秦岭、北秦岭,而完全不同于华北克拉通,从而证明物质来源主要是扬子克拉通,是在扬子克拉通的基础上发展而成的构造单元。源区对比分析表明新元古代构造层应是沉积盆地的主要物源,其次是太古宙与古元古代,三叠纪的碎屑沉积岩中应含有晚古生代的幔源物质。三叠纪碎屑沉积岩的 Nd 同位素组成的空间分布特征说明北、东是剥蚀区,西、南为深水沉积区。

关键词:碎屑沉积岩;甘孜—松潘地块;Nd 模式年龄;物质来源;大地构造

中图分类号:P597 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3657(2006)01-0109-10

松潘—甘孜地块是中国大陆构造中重要的基本构造单元,诸多地块在此汇聚交接,它是东西向横贯中国大陆的中央造山系与南北向川滇—贺兰构造带的交汇区,主体为深海三叠系沉积序列^[1,2]。对该地块进行过构造学的研究,一些学者认为其中保存着古特提斯与新特提斯连续造山事件,是扬子陆缘上形成的“滑脱型”山链^[3,4];而杨宗让^[5]认为甘孜—松潘主体应属古特提斯洋晚石炭世—晚三叠世时期弧前盆地沉积楔和基底增生杂岩。沉积构造与古地理的研究表明东、西部和北部的发展存在明显差别^[1,2]。沈渭洲^[6]等在该地块中丹巴地区变沉积岩中获得 Sm-Nd 同位素年龄为 2.28~1.98 Ga,认为是扬子板块晚太古代地壳与板块边缘中—新元古代的混合产物。Bruguier^[7]等人对该地块的中—下三叠统的沉积岩中锆石 U-Pb 年龄研究认为主要来源是中元古代的源岩(1.8~2.0 Ga),有少量的晚太古代的物质(2.5~2.6 Ga),主要物源是中朝克拉通的南缘陆块,其次是扬子克拉通或盆地北缘的昆仑弧;上三叠统砂岩年龄谱中以震旦纪(约 760 Ma)为主,主要来自扬子克拉通。由于 Bruguier^[7]等人在方法上的局限性(用单颗粒蒸发法)、分析的颗粒数又极为有限,同时对 中国地质资料掌握不全面,他们的一些结论是难以经得起检

验的。

沉积盆地中砂岩的物质组成主要受物源区控制,通过分析其化学组成可以揭示沉积盆地的源区构造背景和物源属性;碎屑岩中锆石 U-Pb 年龄的分布反映了源区的岩浆/变质事件,进而反映源区构造层的结构。从沉积地球化学角度,研究沉积盆地的物质运移、沉积物源区与周缘陆块剥蚀区的耦合关系,不仅对沉积盆地周缘地块隆起和地块间运动学关系的研究,而且对于岩石圈深部作用与沉积响应的耦合研究具有重要的动力学意义。笔者通过甘孜—松潘地块及龙门山中出露的不同时代碎屑沉积岩的地球化学与 Sm-Nd 同位素地球化学的研究,揭示沉积盆地物源及构造归属。

1 地质概况

松潘—甘孜地块(带)位于中国西南部,特提斯—喜马拉雅造山系之东缘。以川西高原及巴颜喀拉山为主体的松潘—甘孜地块是一个中生代以来长期演化的造山带,其北侧以阿尼玛卿缝合带与劳亚古陆相隔,西侧以金沙江缝合带与冈瓦那大陆外缘的羌塘—昌都拼贴地体毗邻,东南缘以龙门山—锦屏山与扬子克拉通相连。造山带之西北部——巴颜喀拉山呈

收稿日期:2005-04-20;改回日期:2005-07-08

基金项目:国家自然科学基金项目(40234052、40173007)与教育部重点科研项目(重点 03032)共同资助。

作者简介:陈岳龙,男,1962年生,教授,博士生导师,主要从事地球化学的教学与科研工作;E-mail:chyl@cugb.edu.cn。

表 1 四川龙门山、甘孜—松潘地块中的(变)碎屑沉积岩
Table 1 (Meta)-clastic sedimentary rocks in the Longmen Mountains and Garzê—Songpan block, Sichuan Province

样号	岩性	地层	取样地	北纬 ^o	东经 ^o
GZ-03	中细粒砂岩	下石炭统	北川擂鼓镇东	31.7796	104.4431
GZ-04	中细粒砂岩	寒武系	万源—阿坝公路北川北	31.8405	104.4571
GZ-07	中细粒砂岩	志留系	万源—阿坝公路深坑子东	31.8671	104.3597
GZ-14	中细粒砂岩	泥盆系	成都—那曲公路大祁山寨北	31.5381	103.2859
GZ-15	中细粒砂岩	上三叠统侏倭组	成都—那曲公路新店子西	31.5244	103.2450
GZ-16	中细粒砂岩	上三叠统杂谷脑组	成都—那曲公路朴头东北	31.4048	103.1022
GZ-20	杂砂岩	上三叠统新都桥组	成都—那曲公路章当东	31.9289	102.1786
GZ-21	中细粒砂岩	上三叠统侏倭组	成都—那曲公路莫尔夏	31.9147	102.1004
GZ-47	中细粒砂岩	上三叠统侏倭组	丹巴东谷桥西南	30.7719	101.7220
GZ-51	中细粒砂岩	石炭系	映秀—炉霍公路钢炉房北	30.7120	101.7433
GZ-53	细砂岩	泥盆系	映秀—炉霍公路钢炉房北	30.6990	101.7489
GZ-72	中细粒砂岩	上三叠统雅江组	成都—那曲公路卡莎西南	31.6426	100.2648
GZ-76	中细粒砂岩	上三叠统两河口组	石渠—乡城公路鄂萨南	31.5393	100.0927
GZ-82	中细粒砂岩	上三叠统新都桥组	上海—樟木公路提如东	30.0578	101.7345
GZ-83	中细粒砂岩	上三叠统杂谷脑组	上海—樟木公路折多山顶	30.0743	101.8042
SP-1	粉砂—细砂岩	三叠系	南坪—红原公路缸厂东南	33.3117	104.1552
SP-6	中—细粒砂岩	三叠系	南坪—红原公路九寨沟镇	33.2940	103.8648
SP-13	中细粒砂岩	上三叠统扎尔山组	川主寺—若尔盖公路	32.8828	103.4570

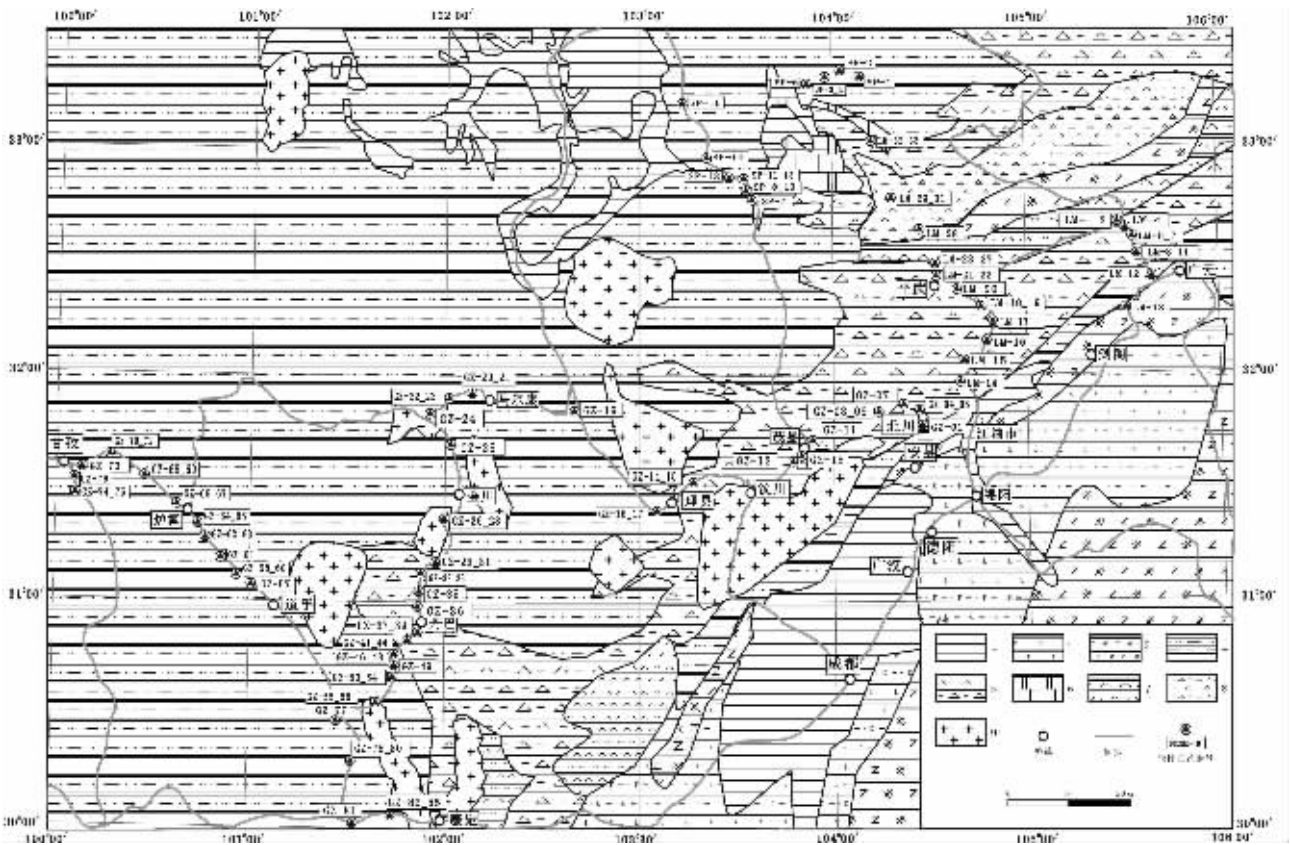


图 1 甘孜—地块及龙门山研究区地质简图与样品分布图(据中国地质调查局 1 : 50 万数字地质图改编)

- 1—第四系河流沉积;2—白垩系泥岩、砂岩;3—侏罗系砂岩、泥岩;4—三叠系砂岩、板岩;5—古生代碎屑岩、泥岩;
- 6—石炭系白云岩、灰岩;7—前寒武纪变质中基性火山岩;8—深海—次深海相浊积岩;9—花岗岩类

Fig.1 Geological sketch map of the Garzê—Songpan block and Longmen Mountains showing the distribution of samples (modified from the Digital Geological Map of China Geological Survey at a scale of 1 : 500000)

- 1—Quaternary fluvial sediment;2—Cretaceous mudstone and sandstone;3—Jurassic sandstone and mudstone;4—Triassic Sandstone and slate;
- 5—Palaeozoic clastic rocks and mudstone;6—Carboniferous dolomite and limestone;7—Precambrian meta-intermediate-mafic volcanic rocks;
- 8—Abyssal-bathyal turbidite;9—Granitoids

近东西向条带状展布,而东侧——川西高原却犹如一个倒三角形的大口袋往南急剧收敛,东北部的摩天岭又与中国的脊梁——秦岭造山带连接^[9]。

甘孜—松潘地块主体由近东西向的 5 个弧形逆冲—滑脱叠置岩片(摩天岭、马尔康、丹巴、雅江、木里)组成,其中位于西部的马尔康及雅江岩片是由以三叠系西康群为主的被动陆缘半深海复理石、斜坡相复理石、边缘海复理石及碳酸盐台地相组成的复理石楔。复理石楔底部为下三叠统的柔性滑脱层。由古生代与前震旦变质基岩组成的摩天岭、丹巴及木里岩片,以发育自北往南的多层次深层滑脱及逆冲推覆构造为特征。甘孜—松潘地块主体被 NW 向鲜水河断裂一分为二^[9]。

龙门山—锦屏山构成甘孜—松潘地块与扬子克拉通西缘之间的前陆逆冲楔,其形成与甘孜—松潘地块内褶皱系的发展是同期的,主要形成于晚三叠世(两期主要的构造作用:卡尼期末与诺利克期末)^[8,9],其后经历了燕山期与喜马拉雅期的多次构造事件^[9]。徐士进^[10]等从甘孜—松潘带中丹巴地区的花岗岩类的研究确定该带形成于晋宁期,是中元古代中晚期变质火山沉积岩构成的基底部分熔融产生的,并且龙门山—锦屏山、甘孜—松潘及扬子板块西缘新元古代造山带都是古扬子板块的重要组成部分。

甘孜—松潘地块以甘孜—理塘缝合带为界,以东主体由三叠系西康群组成(西延到青海为巴颜喀拉山群);以西出露三叠系义敦群为代表的优地槽型火山岩、碎屑岩和碳酸盐岩。西康群是在扬子克拉通的基础上发展的被动大陆边缘,早—中三叠世属滨海—浅海环境,为砂泥质、钙质建造;晚三叠世开始处于被动大陆边缘构造环境,沉积巨厚的深海—半深海浊流相沉积。上三叠统复理石建造自下而上可分为侏倭组、新都桥组、两河口组和雅江组^[11]。在炉霍出露的下三叠统从上到下为日拉沟组,为灰绿色板岩、结晶灰岩、粉砂岩;波茨沟组,岩性为深灰色板岩、粉砂岩^[12]。

本文涉及的(变)碎屑沉积类分布于龙门山及甘孜—理塘缝合带以东的甘孜—松潘地块中(图 1)。样品(表 1)包括寒武系、志留系、泥盆系、石炭系、三叠系。

2 样品处理与分析方法

所采碎屑沉积岩样品先在显微镜下观察岩石薄片的结构与组成,并确定分析样品。全岩样品手工粗碎至 1~2 cm,挑选无蚀变、风化的新鲜颗粒约 100 g,由无污染碎样机粉碎至 200 目缩分出 3 份 5 g 样品,在中国科学院地质与地球物理研究所分别进行岩石化学全分析、微量元素分析、Sm-Nd 同位素组成分析。Sm-Nd 同位素分析取大约 100 mg 全岩粉末样品,加入适量的 ¹⁴⁹Sm-¹⁵⁰Nd 混合稀释剂和纯化的 HF-HClO₄,密封加热将样品完全分解。由 AG 50W-X12 交换树脂(200~400 目)柱将稀土元素与其他元素分离,而 Sm 与 Nd 之间的分离和纯化是在涂敷 P507 的 Teflon 粉末柱上进行。Sm 和 Nd 同位素比值质谱测定采用双铷金属带形式。Sm-Nd 全流程本底小于 50 pg。同位素比值测量采用德国

Finnigan 公司 MAT262 固体源质谱计,浓度(或 ¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd)误差小于 0.5%。Nd 同位素组成质量分馏标准化至 ¹⁴⁶Nd/¹⁴⁴Nd=0.7219。分析期间,JMC 标准 ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 测定值的平均值为 0.511937±10(2σ);BCR-1 的 ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 测定值的平均值为 0.512594±10(2σ)。

3 岩石化学与微量元素地球化学

显微镜下观察到多数碎屑沉积岩主要由石英(18%~78%)、斜长石(0~30%)、钾长石(0~8%)及伊利石(0~27%)、蒙脱石(0~18%)等粘土矿物组成;胶结物为碳酸盐,在 GZ-51 中碳酸盐胶结物可达 80%,其他样品中为 4%~55%;可见到磷灰石、石榴石、榍石、锆石等副矿物。表 1 中 13 个代表性样品的岩石化学与微量元素如表 2 所示。

从表 2 可以看出:三叠系砂岩的 SiO₂ 含量为 48.64%~87.31%,SiO₂ 含量在 65%以下的砂岩,其 CaO 含量均在 10%以上;泥盆系、石炭系的样品以最低的 SiO₂ 含量(19.19%~34.67%),最高的 CaO(27.56%~43.29%)与烧失量(24.01%~34.51%)为特征。在 SiO₂/Al₂O₃ 对 Na₂O/K₂O 比值图解^[13](图 2)上,这些砂岩均属杂砂岩或长石砂岩。对 CaO 含量超过 10%的样品,取平均 5%的 CaO 含量对其岩石化学进行校正后,与未列入表中的龙门山区及甘孜—松潘地块中前寒武纪到三叠纪碎屑沉积岩一起作 SiO₂ 与 K₂O/Na₂O 比值关系^[13]

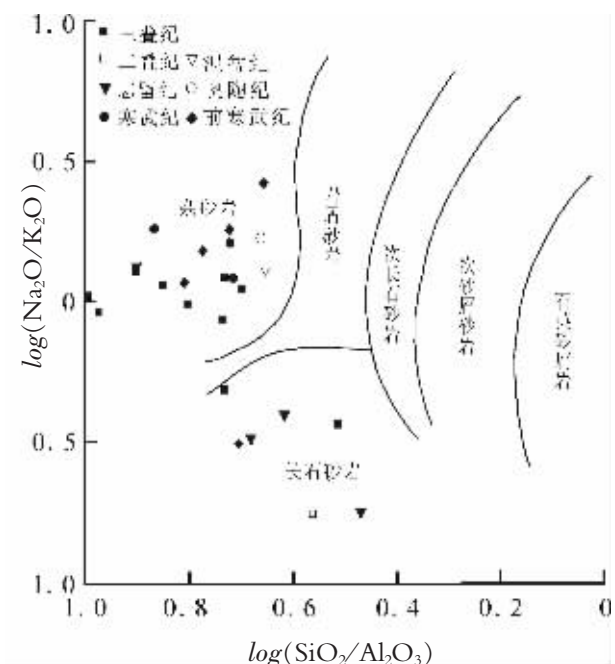


图 2 甘孜—松潘地块与龙门山区碎屑沉积岩类的 Na₂O/K₂O-SiO₂/Al₂O₃ 分类

Fig.2 Classification diagram of Na₂O/K₂O vs. SiO₂/Al₂O₃ for clastic sedimentary rocks in the Longmen Mountains and Garzê-Songpan block

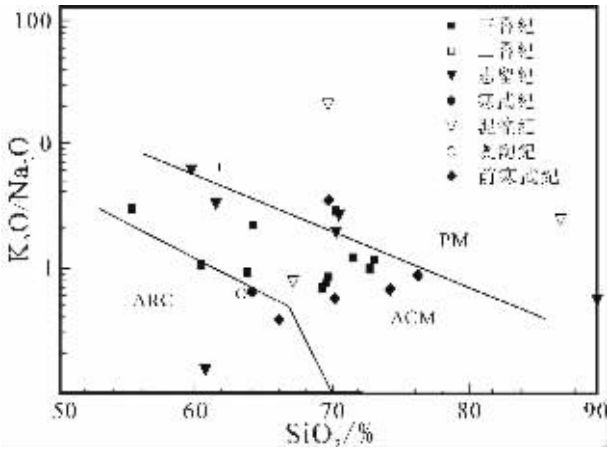


图3 甘孜—松潘地块与龙门山区碎屑沉积岩类 K_2O/Na_2O-SiO_2 构造环境判别

ARC—活动大陆边缘;ARC—大洋岛弧区;PM—被动大陆边缘
 Fig.3 Discrimination diagram of tectonic settings of K_2O/Na_2O vs. SiO_2 for clastic sedimentary rocks in the Longmen Mountains and Garzè-Songpan block, Sichuan Province
 ARC—Active continental margin;ARC—Area of ocean island arc;
 PM—Passive continental margin

(图3)说明,前寒武纪(主要是震旦纪)—寒武纪—奥陶纪—志留纪的碎屑沉积岩多数位于活动大陆边缘、少数位于大洋岛弧区,这与笔者曾经证明的新元古代扬子克拉通西缘的岛弧构造环境^[4]及孙传敏^[5]、徐士进等^[6]所得出的晋宁期该区属扬子板块活动大陆边缘的组成部分、早古生代扬子克拉通边缘具强烈的构造作用^[4]是一致的。晚古生代的泥盆纪、二叠纪碎屑沉积岩多数样品落在被动大陆边缘构造环境中。三叠纪除个别样品点位于被动大陆边缘与大洋岛弧区,其他样品点均落在活动大陆边缘区,说明了大量非成熟地壳为此期形成的沉积岩提供了物质。

稀土元素球粒陨石^[7]标准化分布型式(图4),总体上从前寒武纪到三叠纪稀土总量逐渐增高、负铕异常变得更加明显、轻/重稀土比值增高,反映了随时代变新源区地壳壳内分异程度的增加。岩石的 Na_2O/K_2O 比值与稀土元素总量之间的关系(图5)说明,所有样品点基本都位于高 Na_2O/K_2O 比值、低稀土总量(MF),低 Na_2O/K_2O 比值、低稀土总量(QC),低 Na_2O/K_2O 比值、高稀土总量(FS)三端员所组成的三角形区中。幔源基性岩石一般具低的稀土元素含量与高的 Na_2O/K_2O 比值,因此MF端员代表着镁铁质岩石;石英与碳酸盐以低 Na_2O/K_2O 比值与低稀土元素含量为特征,QC端

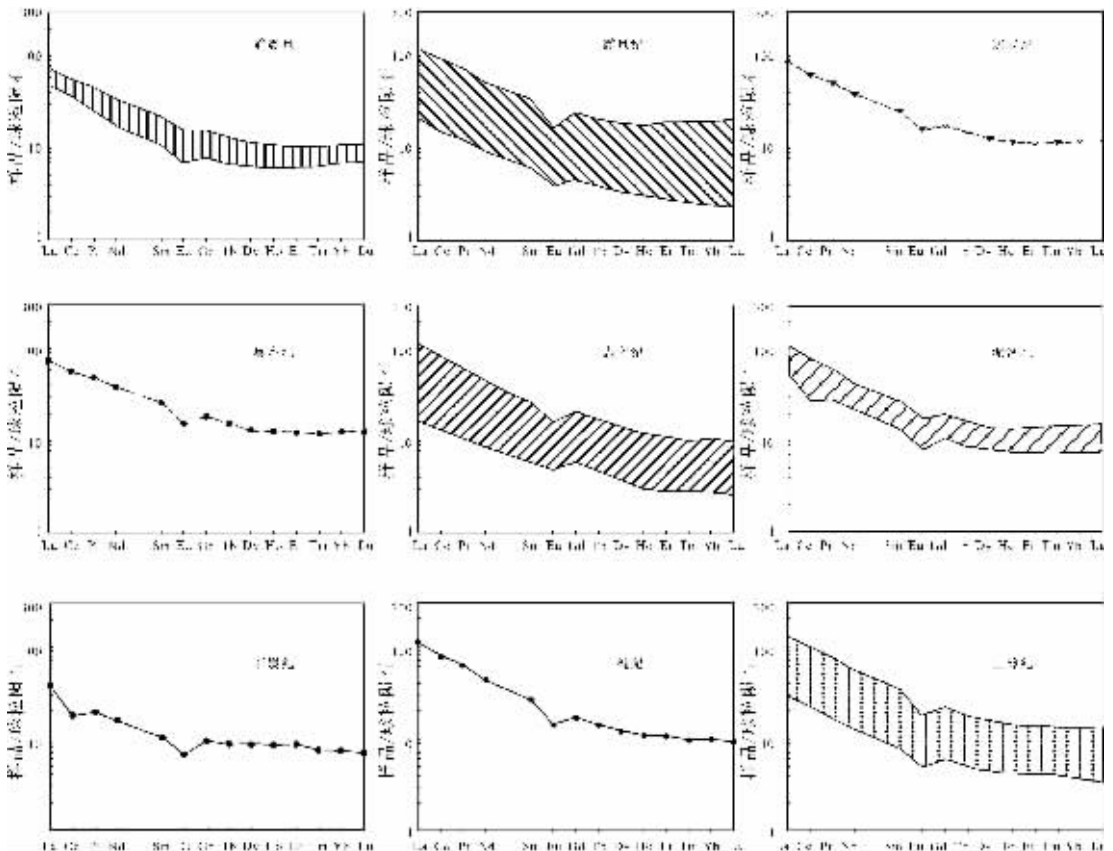


图4 甘孜—松潘地块与龙门山区碎屑沉积岩类的REE球粒陨石标准化分布型式

Fig.4 Chondrite-normalized REE distribution patterns of clastic sedimentary rocks in the Longmen Mountains and Garzè-Songpan block, Sichuan Province

表 2 四川龙门山、甘孜—松潘地块中代表性碎屑沉积岩的岩石化学与微量元素

Table 2 Contents of trace elements and petrochemistry of representative clastic sedimentary rocks in the Longmen Mountains and Garzê-Songpan block, Sichuan Province

元素	GZ-03	GZ-04	GZ-14	GZ-1	GZ-2	GZ-47	GZ-51	GZ-53	GZ-7	GZ-8	SP-1	SP-6	SP-1
SiO ₂ /10 ⁻²	31.01	64.24	87.31	57.69	71.77	48.64	19.91	34.67	69.45	63.57	50.86	61.6	69.9
TiO ₂	0.07	0.53	0.36	0.41	0.58	0.69	0.05	0.15	0.39	0.41	0.58	0.48	0.57
Al ₂ O ₃	1.29	12.49	4.49	7.37	13.45	15.29	0.87	3.68	6.93	6.86	9.62	6.35	13.3
Fe ₂ O ₃	0.00	1.32	1.07	1.46	1.39	0.45	0.00	0.47	1.07	0.16	1.00	0.78	1.22
FeO	2.94	2.67	2.19	1.60	2.52	6.04	0.62	0.44	1.48	2.10	2.70	1.66	2.52
MnO	1.10	0.07	0.04	0.08	0.05	0.09	0.11	0.18	0.10	0.06	0.09	0.05	0.04
MgO	1.73	2.43	1.14	3.08	1.72	3.65	1.05	0.84	1.82	2.23	2.53	2.44	1.60
CaO	32.25	4.46	0.06	13.22	1.22	10.18	43.29	27.56	7.42	11.18	14.36	11.4	1.63
Na ₂ O	0.00	3.54	0.22	1.12	2.18	1.09	0.00	0.00	1.52	1.09	0.87	1.03	2.69
K ₂ O	0.14	2.17	0.51	0.86	2.54	3.04	0.10	1.23	1.04	1.19	1.79	0.98	2.19
P ₂ O ₅	4.47	0.18	0.04	0.11	0.15	0.15	0.02	1.41	0.11	0.11	0.14	0.12	0.13
LOI	24.01	5.10	1.67	12.63	1.78	8.92	34.51	28.72	7.97	10.34	14.78	12.3	3.43
Li/10 ⁻⁶	6.69	28.1	32.7	40.2	36.01	45.2	1.30	12.3	23.2	30.9	40.6	25.0	25.8
Be	1.48	1.10	0.38	1.21	1.68	3.20	0.21	1.17	0.93	1.11	1.40	0.93	1.82
Sc	8.19	9.44	5.93	6.93	9.63	10.7	1.87	5.26	6.39	6.57	10.1	6.67	9.93
V	16.8	83.2	33.8	52.1	60.0	116	5.20	317	30.1	44.4	71.1	53.1	43.3
Co	4.16	57.4	26.9	27.7	50.0	85.6	4.59	51.1	45.5	30.8	46.6	47.7	52.7
Ga	12.0	89.9	19.8	16.9	34.0	50.9	12.3	66.8	40.2	36.9	44.0	31.2	30.8
Rb	7.90	61.8	23.0	41.9	101	153	3.74	58.7	41.7	53.7	81.3	42.3	87.5
Sr	514	133	18.9	175	264	223	241	407	235	187	853	201	193
Y	108	23.0	14.7	19.2	14.2	23.4	20.2	22.1	25.0	18.5	20.4	20.6	19.8
Zr	32.5	152	354	155	203	136	10.8	46.5	216	235	157	372	207
Nb	1.47	9.51	7.37	9.51	12.3	16.2	0.84	3.46	9.37	8.76	14.7	9.78	10.9
Cs	0.38	2.78	1.26	1.81	5.54	8.87	0.09	0.64	1.88	8.61	4.61	3.45	4.54
La	36.70	17.6	22.3	22.3	27.0	40.0	11.7	17.8	31.3	29.2	33.2	37.3	33.2
Ce	74.5	39.5	47.0	43.1	52.6	76.8	14.4	23.0	60.2	56.1	66.2	72.4	67.3
Pr	8.77	5.20	5.61	5.17	6.29	8.82	2.37	3.58	6.99	6.50	7.75	8.37	7.57
Nd	38.1	20.4	21.8	19.5	22.1	30.7	9.45	14.0	24.6	22.8	27.2	29.4	26.6
Sm	11.0	4.15	4.58	4.06	4.25	6.02	1.99	2.74	4.94	4.48	5.62	5.91	5.07
Eu	3.37	1.13	0.84	0.82	0.93	1.20	0.49	0.61	0.93	0.88	1.03	0.98	1.13
Gd	14.8	4.36	3.81	3.87	3.41	5.21	2.44	2.89	4.64	3.98	5.08	5.34	4.59
Tb	2.38	0.66	0.56	0.61	0.47	0.77	0.41	0.42	0.72	0.58	0.78	0.79	0.65
Dy	14.5	3.80	2.99	3.56	2.67	4.48	2.77	2.67	4.26	3.34	4.52	4.55	3.71
Ho	3.07	0.79	0.57	0.75	0.54	0.90	0.61	0.61	0.86	0.67	0.96	0.92	0.74
Er	7.92	2.27	1.63	2.13	1.60	2.72	1.81	1.89	2.48	1.95	2.81	2.71	2.23
Tm	1.11	0.33	0.25	0.32	0.25	0.40	0.24	0.29	0.35	0.29	0.42	0.41	0.32
Yb	6.77	2.08	1.67	2.13	1.64	2.56	1.55	2.01	2.31	1.87	2.72	2.69	2.14
Lu	0.97	0.31	0.26	0.32	0.26	0.40	0.22	0.35	0.33	0.27	0.42	0.42	0.31
Hf	0.91	4.44	10.2	4.34	5.66	4.11	0.32	1.01	5.96	6.57	4.63	10.8	5.91
Ta	0.17	0.69	0.54	0.62	2.67	1.47	0.09	0.08	0.64	0.57	0.96	0.76	0.85
Tl	0.14	0.33	0.10	0.19	0.51	0.81	0.02	0.36	0.19	0.30	0.52	0.25	0.42
Pb	2491	6.23	6.82	14.6	11.3	22.9	8.05	8.70	9.44	10.7	3.66	10.4	17.5
Bi	0.28	0.13	0.13	0.16	0.17	0.61	0.03	0.24	0.07	0.10	0.18	0.11	0.15
Th	6.08	5.71	6.86	7.84	8.52	14.4	1.19	4.23	8.72	8.81	13.6	13.5	9.37
U	16.1	1.90	2.07	1.86	1.80	3.43	0.32	5.68	1.76	2.16	3.19	3.47	2.11

员应代表着石英与碳酸盐胶结物的含量;以花岗岩为代表的长英质岩石具高的稀土元素含量与较低的 Na₂O/K₂O 比值, FS 应代表长英质岩石在这些岩石中的贡献。多数三叠纪砂岩以较大比例的长英质岩石为特征;前寒武纪的碎屑沉积岩物质来源较为复杂,多数样品铁镁质组分的含量较高;晚古生代的碎屑沉积岩,以长英质岩石与石英、碳酸盐组成为主,可

能反映了此时扬子克拉通西缘处于相对稳定的被动大陆边缘。

4 Sm-Nd 同位素地球化学

龙门山、甘孜—松潘地块中碎屑沉积岩的 Sm-Nd 分析(表 3)表明。SiO₂ 含量最低、CaO 含量最高的 GZ-03、GZ-

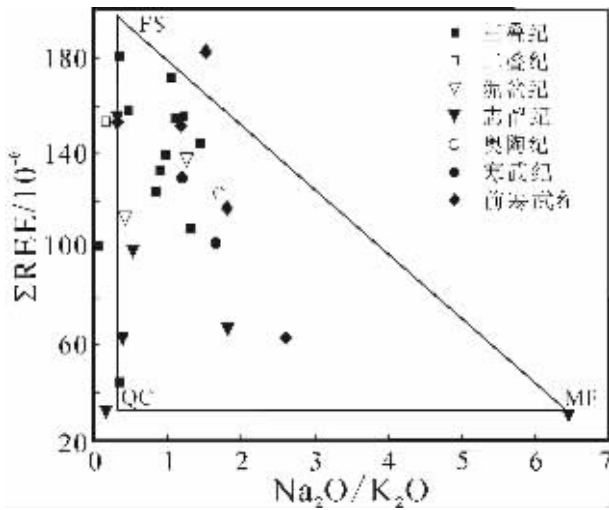


图5 甘孜—松潘地块与龙门山区碎屑沉积岩类稀土总量与 Na₂O/K₂O 比值图解

Fig.5 Plot of the total REE content vs. Na₂O/K₂O for clastic sedimentary rocks in the Longmen Mountains and Garzê-Songpan block

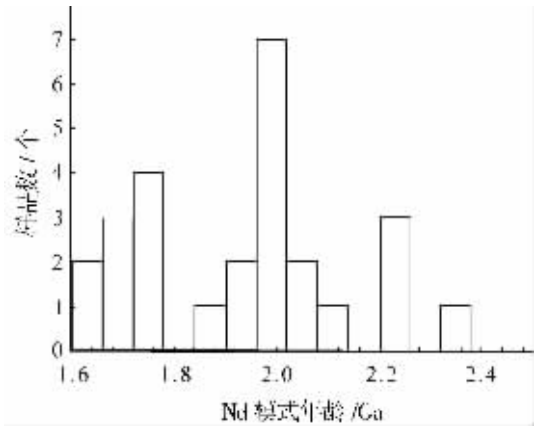


图6 甘孜—松潘地块与龙门山碎屑沉积岩 Nd 模式年龄分布直方图

Fig.6 Histogram of Nd model ages for clastic sedimentary rocks in the Longmen Mountains and Garzê-Songpan block, Sichuan Province

表3 四川龙门山、甘孜—松潘地块中碎屑沉积岩的 Sm-Nd 同位素组成

Table 3 Sm-Nd isotopic compositions of clastic sedimentary rocks in the Longmen Mountains and Garzê-Songpan block, Sichuan Province

样号	时代/Ma	Sm/10 ⁻⁶ ①	Nd/10 ⁻⁶	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd ± 2σ ^②	t _{DM} /Ga ^③	t _{DM} /Ga ^④
GZ-03	石炭纪/318	10.92	37.06	0.1784	0.512132, 12		1.70
GZ-04	寒武纪/510	4.44	20.77	0.1295	0.512170, 10	1.77	
GZ-07	志留纪/426	4.51	15.90	0.1715	0.511947, 8		2.01
GZ-9	志留纪/426	2.44	8.55	0.1727	0.511942, 10		2.03
GZ-12	志留纪/426	4.09	18.51	0.1336	0.511973, 13		1.82
GZ-14	泥盆纪/398	4.92	22.12	0.1346	0.511873, 11		1.96
GZ-15	晚三叠世/210	4.01	18.94	0.1280	0.511880, 9	2.25	
GZ-16	晚三叠世/210	4.03	21.29	0.1147	0.511834, 11	2.02	
GZ-20	晚三叠世/210	6.30	45.62	0.1191	0.512124, 12	1.65	
GZ-21	晚三叠世/210	4.41	23.93	0.1114	0.512021, 12	1.68	
GZ-47	三叠纪/237	6.13	32.48	0.1142	0.511876, 8	1.95	
GZ-51	石炭纪/318	1.75	7.44	0.1420	0.512034, 11		1.73
GZ-53	泥盆纪/398	2.62	13.63	0.1165	0.512018, 11	1.77	
GZ-72	晚三叠世/210	5.05	25.85	0.1182	0.511838, 13	2.09	
GZ-76	晚三叠世/210	5.56	30.10	0.1119	0.511835, 8	1.96	
GZ-82	晚三叠世/210	7.18	37.20	0.1168	0.511957, 11	1.87	
GZ-83	晚三叠世/210	4.46	23.59	0.1144	0.511847, 13	1.99	
SP-1	三叠纪/237	4.44	23.32	0.1141	0.511874, 10	1.95	
SP-13	中三叠世/237	4.98	26.38	0.1143	0.512083, 11	1.63	
SP-6	三叠纪/237	5.30	28.62	0.1120	0.511809, 10	2.00	
LM-11	三叠纪/237	3.57	18.77	0.1151	0.512009, 11	1.76	
LM-26	震旦纪/600	5.21	26.39	0.1195	0.512100, 10	1.69	

注:①所用年龄根据地层时代,采用第32届国际地质大会推荐的国际地层年表年龄^[8];②¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 比值误差 2σ, 即=0.0000×;③亏损地幔模式年龄计算据参考文献[16];④为二阶段模式年龄,即对于 ¹⁴³Sm/¹⁴⁴Nd 比值>0.13 的样品,假定高的 ¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd 比值是由于岩石形成时壳内分异作用所致^[19]。

51、GZ-53 的模式年龄分别为 1.70 Ga、1.73 Ga、1.77 Ga,其中 2 个样品因 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 比值 >0.13 由二阶段模式计算出,它们与 SiO_2 高达 71.77% 的三叠纪碎屑沉积岩的 Nd 模式年龄并不存在明显差别,说明了尽管钙质胶结物的含量较高,但对 Nd 模式年龄并不存在明显的影响。GZ-51 与 GZ-53 的稀土元素总量分别只有 50.45×10^{-6} 、 72.86×10^{-6} , 在所讨论的碎屑沉积岩中是最低的,因此在用稀土元素含量来讨论岩石成因时应尽量采用钙质胶结物含量较低的样品。

从这些模式年龄分布(图 6,表 3)来看,Nd 模式年龄介于 1.6~2.4 Ga,峰值在 2.0 Ga,与扬子克拉通、南秦岭、北秦岭的碎屑岩、变碎屑岩及花岗岩等的 Nd 模式年龄分布特征^[20]是一致的,也与沈渭洲等^[21]对丹巴地区志留纪、泥盆纪、三叠纪变质沉积岩及笔者对四川广元的震旦—侏罗纪的(变质)碎屑沉积岩^[19]所获得的 Nd 模式年龄也是一致的,而明显不同于华北克拉通中 Nd 模式年龄的分布特征^[20]。从而说明,甘孜—松潘地块及龙门山的物质主要来自扬子克拉通西缘,而不是 Bruguier 等^[7]仅从锆石 U-Pb 年龄对比推断的有华北克拉通来源的物质。

5 讨论与结论

从图 7 可知,震旦纪、寒武纪样品具较高的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值,志留纪、泥盆纪样品的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值变化范围较大,至石炭纪时变化范围最小;三叠纪的样品变化范围最大,部分样品的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值

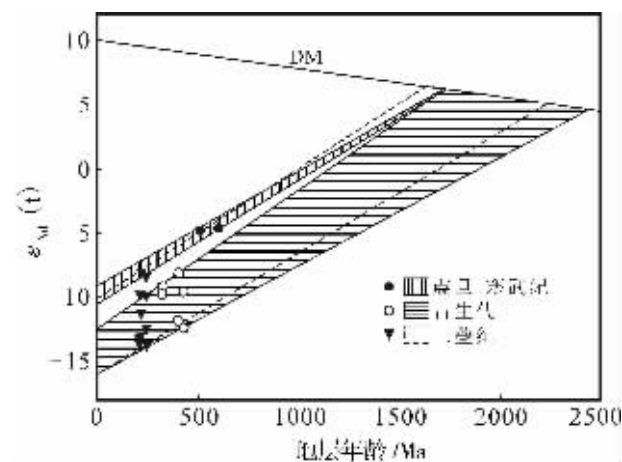


图 7 甘孜—松潘地块与龙门山碎屑沉积岩的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 与地层年龄图解

DM—亏损地幔演化线;不同时代碎屑沉积岩与亏损地幔演化线的相交反映了其亏损地幔模式年龄

Fig.7 Plot of $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ vs. ages of strata for clastic sedimentary rocks in the Longmen Mountains and Garzê-Songpan block, Sichuan Province

DM—evolution line of depleted mantle. The site of intersection of the evolution line of the depleted mantle with clastic sedimentary rocks of different ages indicates Nd model ages of their depleted mantle

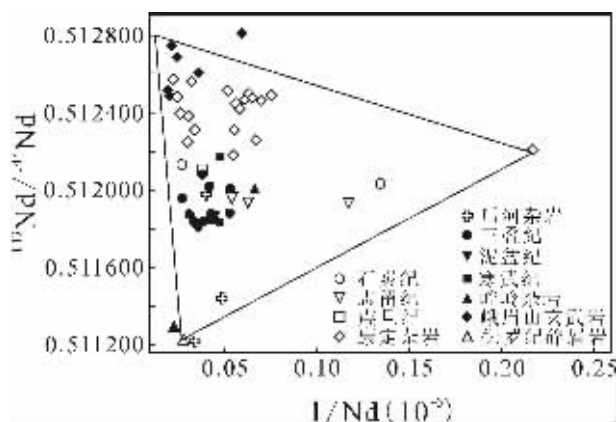


图 8 扬子克拉通西缘主要地壳增长构造层与松潘—甘孜地块、龙门山区碎屑沉积岩的 Nd 同位素组成与 Nd 含量关系图解

Fig.8 Plot of Nd isotopic ratios vs. Nd contents for clastic sedimentary rocks in the Longmen Mountains and Garzê-Songpan block, Sichuan Province, and main tectonic layer for crustal growth on the western margin of the Yangtze craton

甚至比古生代的高,最小模式年龄甚至低于震旦—寒武纪的,说明此时可能有新的幔源物质的加入,其他大部分样品的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值与模式年龄与古生代的基本相同,说明他们物质来源上总体是一致的。

扬子克拉通西缘地壳增长的主要构造层包括以崆岭高级变质地体为代表的太古代^[22,23],以后河群为代表的古元古代变质杂岩^[24],以康定杂岩、苏雄组火山岩等为代表的新元古代^[14,25-27],以峨眉山玄武岩为代表的晚古生代^[28-29]。这些代表性构造层岩石与各时代碎屑沉积岩(图 8)表明,龙门山、甘孜—松潘地块中的碎屑沉积岩都可由康定杂岩中的偏基性岩石为代表的(三叠纪的碎屑沉积岩也可由峨眉山玄武岩作为物源)高 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比值、高 Nd 含量端员与以崆岭、后河杂岩为代表的低 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比值、高 Nd 含量的长英质岩石的古老地壳端员或低 Nd 含量、中等 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比值的较年轻的长英质地壳端员之间的混合加以解释,古生代部分样品接近其源区长英质岩石的端元组成,可能反映了此时源区的物源经过长距离的搬运到达沉积盆地中,而镁铁质组分在长距离的搬运过程中因为均已分解而对沉积岩的贡献有限。

从三叠纪碎屑沉积岩 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值的空间分布等值线(图 9)来看,三叠纪碎屑岩的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 高值区在北、东部,往南、往西愈加变低,说明剥蚀源区在北、东部,近源有大量的镁铁质岩石风化为沉积盆地提供物质;向西、南方向水体加深,从源区来源的物质经过长距离的搬运与分选,镁铁质岩石风化解,而剩下的是粘土质与耐风化的石英,是对源区物质均匀化过程。构造研究表明中—晚三叠世是扬子板块与秦岭微板块间勉略古洋盆封闭、两板块碰撞对接

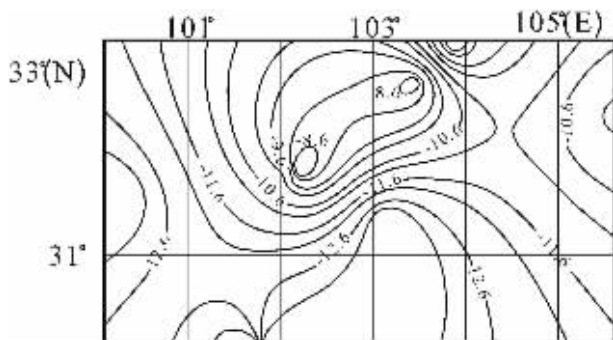


图9 三叠纪碎屑沉积岩 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值的空间分布等值线图

Fig.9 Contours of $\epsilon_{Nd}(t)$ values for Triassic clastic sedimentary rocks in the Garzê-Songpan block, Sichuan Province

的主要阶段^①, 此过程中强烈的构造作用将大量的基性岩浆抬升到地表为三叠统的沉积岩提供了大量的物源。因此, 此时既可能有来自扬子克拉通西缘的各类岩石, 又有来自北部勉略洋关闭时由于碰撞作用而抬升到地表的基性岩石。

综上所述, 可以得出如下结论:

(1) 甘孜—松潘地块与龙门山中的前寒武纪到三叠纪碎屑沉积岩的岩石类型主要为杂砂岩与长石砂岩, 由 SiO_2 与 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值图解反映多数时代属构造环境为活动大陆边缘, 反映了源区物质中有较大的镁铁质岩石作为这些沉积岩的物源; 晚古生代时一些样品点位于被动大陆边缘区, 说明此时源区地壳处于较稳定的状态; 三叠纪时随着勉略洋的封闭, 有新的幔源基性岩石出露到剥蚀区成为松潘—甘孜沉积盆地的物源。

(2) Nd 模式年龄分布与扬子克拉通、南秦岭、北秦岭类似, 为 1.6~2.4 Ga, 峰值为 2.0 Ga, 完全不同于华北克拉通中具大量太古代 Nd 模式年龄的分布特征, 说明松潘—甘孜地块物质来源主要是扬子克拉通, 基本不含华北克拉通的组分。

(3) 松潘—甘孜地块与龙门山区的碎屑沉积岩从物质来源上看是镁铁质、长英质与石英+碳酸盐胶结物 3 种组分的混合产物, 所对应的构造层主要是新元古代(康定杂岩、苏雄火山岩), 其次是太古代与古元古代的扬子克拉通基底物质(如崆岭杂岩、后河杂岩), 三叠纪的碎屑沉积岩中应含有更年轻的晚古生代幔源镁铁质岩石。

(4) 三叠纪的碎屑沉积岩的 Nd 同位素空间分布上表现出东、北高, 往南、西愈加变低, 说明此时在南、西方向为深水环境, 沉积物经过较长距离搬运后, 镁铁质在其中所占的比

例明显降低; 北部、东部近源区搬运距离短, 含有较多的镁铁质组分, 明显表现出非成熟性。

参考文献(References):

- [1] 青海地质矿产局. 青海省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1991.1~662.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Qinghai Province. Regional Geology of Qinghai Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991.1~662(in Chinese with English abstract).
- [2] 四川地质矿产局. 四川省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1991.1~730.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Sichuan Province. Regional Geology of Sichuan Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991. 1~662 (in Chinese with English abstract).
- [3] 许志琴, 侯立伟, 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, 1992.1~190.
Xu Zhiqin, Hou Liwei, Wang Zongxiu, et al. Building Process of the Ganze-Songpan Orogenic Belt [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992. 1~190 (in Chinese with English abstract).
- [4] 王宗秀, 许志琴, 杨天南. 松潘—甘孜滑脱型山链变形构造演化模式[J]. 地质科学, 1997, 32:327~336.
Wang Zongxiu, Xu Zhiqin, Yang Tiannan. A model for deformation structure evolution of Songpan-Ganze Orogeny[J]. Scientia Geologica Sinica, 1997, 32:327~336 (in Chinese with English abstract).
- [5] 杨宗让. 川西松潘—甘孜弧前盆地的形成及演化[J]. 沉积与特提斯地质, 2002, 22(3):53~59.
Yang Zongrang. The formation and evolution of the Songpan-Ganze fore-arc basin, western Sichuan[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2002, 22(3):53~59 (in Chinese with English abstract).
- [6] 沈渭洲, 陆怀鹏, 徐士进, 等. 丹巴地区变质沉积岩 Sm-Nd 同位素研究[J]. 地质科学, 1998, 33(3):367~373.
Shen Weizhou, Lu Huai peng, Xu Shijin, et al. Sm-Nd isotopic study on metasediments in the area of Danba, China [J]. Scientia Geologica Sinica, 1998, 33(3):367~373 (in Chinese with English abstract).
- [7] 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 Planet. Sci. Lett., 1997, 152(1-4):217~231.
- [8] 刘顺. 论龙门山中北段东缘印支运动晚幕的性质[J]. 成都理工大学学报, 1998, 25(4):524~528.
Liu Shun. On properties of tectonic movement in east margin of middle and northern Longmen Mountains at the end of Triassic period[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 1998, 25

① 张国伟, 等. 西秦岭—松潘构造形成演化与大陆动力学研究(中期报告), 2004.

- (4):524~528 (in Chinese with English abstract).
- [9] 刘树根,赵锡奎,罗志立,等.龙门山造山带—川西前陆盆地系统构造事件研究[J].成都理工学院学报,2001,28(3):221~230.
- Liu Shugen, Zhao Xikui, Luo Zhili, et al. Study on the tectonic events in the system of the Longmen mountain—west Sichuan foreland basin, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2001, 28(3):221~230(in Chinese with English abstract).
- [10] 徐士进,王汝成,沈渭洲,等.松潘—甘孜造山带中晋宁期花岗岩的 U-Pb 和 Rb-Sr 同位素定年及其大地构造意义[J].中国科学(D 辑),1996,26(1):52~58.
- Xu Shijin, Wang Rucheng, Shen Weizhou, et al. U-Pb, Rb-Sr isotopic chronology of Jinning granites in Songpan—Ganze Orogenic Belt and its tectonic significances [J]. Science in China (Series D), 1996, 39(6):576~586(in Chinese).
- [11] 邹光富.甘孜—理塘板块缝合带研究的新进展[J].四川地质学报, 1995, 15(4):257~263.
- Zou Guangfu. Advance of the research on the Garze—Litang plate junction[J]. Acta Geologica Sichuan, 1995, 15(4):257~263(in Chinese with English abstract).
- [12] Pettijohn F J, Potter P E, Siever R. Sand and Sandstone[M]. New York:Springer Verlag, 1973.1~618.
- [13] Roser B P, Korsch R J Determination of tectonic setting of sandstone mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio [J]. J. Geol., 1986, 94:635~650.
- [14] 陈岳龙, 罗照华, 赵俊香, 等. 从锆石 SHRIMP 年龄及岩石地球化学特征论四川冕宁康定杂岩的成因 [J]. 中国科学 (D 辑), 2004, 34(8):687~697.
- Chen Yuelong, Luo Zhaohua, Zhao Junxiang, et al. Petrogenesis and dating of the Kangding complexes, Sichuan Province[J]. Sci. in China (Series D), 2005, 48(5):622~634(in Chinese).
- [15] 孙传敏. 川西元古代蛇绿岩与扬子板块西缘元古代造山带[J]. 成都理工学院学报, 1994, 21(4):11~16.
- Sun Chuanmin. Proterozoic ophiolites in west Sichuan and orogenic belt along the western margin of the Yangtze craton[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 1994, 21(3):11~16(in Chinese with English abstract).
- [16] Chen Y L, Yang Z F. Nd model ages of sedimentary profile from the northwest Yangtze Craton, Guangyuan, Sichuan Province, China and their geological implication[J]. Geochem. Journal, 2000, 34(4):263~270.
- [17] Boynton W V. Geochemistry of the rare earth elements: Meteorite studies[A]. In: Henderson P (ed.). Rare Earth Element Geochemistry[C]. Elsevier, 1984, 63~114.
- [18] Gradstein F M, Ogg J G, Smith A G. A new geologic time scale with special reference to Precambrian and Neogene [J]. Episodes, 2004, 27(2):83~100.
- [19] 李献华, McCulloch M T. 扬子南缘沉积岩的 Nd 同位素演化及其大地构造意义[J]. 岩石学报, 1996, 12(3):359~369.
- Li Xianhua, McCulloch M T. Nd isotopic evolution of sediments from the southern margin of the Yangtze block and its tectonic significance[J]. Acta Petrologica Sinica, 1996, 12(3):359~369(in Chinese with English abstract).
- [20] 张本仁, 高山, 张宏飞, 等. 秦岭造山带地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 2002.1~187.
- Zhang Benren, Gao Shan, Zhang Hongfei, et al. Geochemistry of the Qinling Orogenic Belt[M]. Beijing: Science Press, 2002.1~187 (in Chinese with English abstract).
- [21] 凌文黎, 高山, 张本仁, 等. 扬子陆核古元古代晚期构造热事件与扬子克拉通演化[J]. 科学通报, 2000, 45(21):2343~2348.
- Ling Wenli, Gao Shan, Zhang Benren, et al. Late Paleoproterozoic tectonic—thermal events of the Yangtze continental nucleus and the Yangtze craton's evolution [J]. Chinese Sci. Bull., 45(21):2343~2348(in Chinese).
- [22] 高山, Qiu Yumin, 凌文黎, 等. 崆岭高组变质地体单颗粒锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究——扬子克拉通 >3.2Ga 陆壳物质的发现[J]. 中国科学(D 辑), 2001, 31(1):27~35.
- Gao Shan, Qiu Yuming, Ling Wenli, et al. SHRIMP single zircon U-Pb dating of the Kongling high-grade metamorphic terrain: evidence for >3.2Ga old continental crust in the Yangtze craton [J]. Science in China (Series D), 2001, 44(4):326~335(in Chinese).
- [23] 凌文黎, 高山, 张本仁, 等. 扬子克拉通北缘早前寒武纪地壳演化——后河杂岩元素和同位素地球化学限制 [J]. 矿物岩石, 1997, 17(4):26~32.
- Ling Wenli, Gao Shan, Zhang Benren, et al. Early Precambrian continental crust evolution at the northern margin of Yangtze craton: constrain from the elemental and isotopic geochemical study of Houhe complex[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 1997, 17(4):26~32(in Chinese with English abstract).
- [24] 李献华, 李正祥, 周汉文, 等. 川西新元古代玄武质岩浆岩的锆石 U-Pb 年代学、元素和 Nd 同位素研究: 岩石成因与地球动力学意义[J]. 地学前缘, 2002, 9(4):329~338.
- Li Xianhua, Li Zhengxiang, Zhou Hanwen, et al. U-Pb zircon geochronological, geochemical and Nd isotopic study of Neoproterozoic basaltic magmatism in western Sichuan: petrogenesis and geodynamic implications[J]. Earth Sci. Frontiers, 2002, 9(4):329~338(in Chinese with English abstract).
- [25] Li Z X, Li XH, Kinny P D, et al. Geochronology of Neoproterozoic syn-rift magmatism in the Yangtze Craton, South China and correlation with other continents: evidence for a mantle super-plume that broke up Rodinia [J]. Precambrian Res., 2003, 122:85~109.
- [26] 李献华, 周汉文, 李正祥, 等. 川西新元古代双峰式火山岩成因的微量元素和 Sm-Nd 同位素制约及其大地构造意义 [J]. 地质科学, 2002, 37(3):264~276.
- Li Xianhua, Zhou Hanwen, Li Zhengxiang, et al. Petrogenesis of Neoproterozoic bimodal volcanics in western Sichuan and its tectonic implications: geochemical and Sm-Nd isotopic constraints [J]. Chinese Journal of Geol., 2002, 37(3):264~276 (in Chinese with English abstract).
- [27] 张招崇, 王福生. 峨眉山玄武岩 Sr、Nd、Pb 同位素特征及其物源

探讨[J].地球科学,2003,28(4):431~439.

(4):431~439(in Chinese with English abstract).

Zhang Zhaochong, Wang Fusheng. Sr, Nd and Pb isotopic characteristics of Emeishan basalt province and discussion on their source region[J]. Earth Sci. -Journal of China Univ. of Geosci., 2003, 28

[28] Chung S L, Jahn B M. Plume-lithosphere interaction in generation of the Emeishan flood basalts at the Permian-Triassic boundary [J]. Geology, 1995,23:889~892.

Elemental and Sm-Nd isotopic geochemistry of clastic sedimentary rocks in the Garzê-Songpan block and Longmen Mountains

CHEN Yue-long, TANG Jin-rong, LIU Fei, ZHANG Hong-fei, NIE Lan-shi, JIANG Li-ting

- (1. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;
2. Development and Research Centre of China Geological Survey, Beijing 100037, China;
3. School of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China)

Abstract: Based on systematic studies of major and trace element and Sm-Nd isotopic geochemistry, the Precambrian to Triassic clastic sedimentary rocks in the Garzê-Songpan block and Longmen Mountains have been finished. The rocks are determined to be graywacke and arkose and their material source should be a mixture of mafic and felsic materials and quartz+carbonate. The total REE contents of the rocks increase gradually and negative Eu anomalies become more evident from Precambrian to Triassic rocks, which may imply intensifying crustal anatexis. The tectonic setting was relatively stable during the Late Paleozoic; therefore there appear pronounced negative Ce anomalies. The Nd model ages range between 1.6 and 2.4 Ga; this age range is similar to that of the Yangtze craton, South Qinling and North Qinling and quite different from that of the North China craton. Therefore, the provenance of the sedimentary rocks in the Garzê-Songpan block and Longmen Mountains is the western margin of the Yangtze craton, and the block is a tectonic unit that developed on the basis of the Yangtze craton. The correlation between provenances of the western Yangtze craton shows that the source materials of the sedimentary basin should mainly be the Neoproterozoic tectonic layer and secondarily the Archean and Paleoproterozoic tectonic layers. Triassic clastic sedimentary rocks may contain Late Paleozoic mafic mantle-derived, and the spatial distribution of the Nd isotopic composition indicates that there occurred denudating areas in the east and north and deep-water depositional areas in the west and south in the Garzê-Songpan basin during the Triassic.

Key words: clastic sedimentary rocks; Garzê-Songpan block; Nd model age; provenance; tectonics

About the first author: CHEN Yue-long, male, born in 1962, majors in chemical geodynamics; E-mail: chyl@cugb.edu.cn.