

文章编号: 1000-0550(2006) 03-0321-12

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

兰中伍^{1,2,3} 陈岳龙¹ 苏本勋^{1,2} 刘飞¹ 张宏飞⁴

(1 中国地质大学 地球科学与资源学院 北京 100083; 2 中国科学院地质与地球物理研究所 北京 100029;
3 中国科学院研究生院 北京 100049; 4 中国地质大学 地球科学学院 武汉 430074)

摘要 松潘—甘孜复理石带(位于中国中部)呈巨大的三角形区域,面积 $2.0 \times 10^5 \text{ km}^2$ 以上,其周围分别是华南板块、华北板块以及青藏高原大陆地块。从该带中部采集了六个砂岩样品,用 U-Pb 法对其中的锆石逐个进行分析。碎屑锆石的有较大的年龄变化范围,其年龄主要集中在元古代,并且含少量的晚太古代(25~26 亿年)物质,其它年龄反映从四堡期到三叠纪的印支期岩浆喷发事件。低 U 含量的锆石不协和性和铅丢失型式表明可能是由于后来岩浆喷发事件所致。加里东期锆石年龄峰值表明碎屑沉积物的源区可能来自北秦岭,其它的主要为扬子克拉通北缘、南秦岭。

关键词 松潘—甘孜 碎屑沉积物 锆石 U-Pb 法测年 源区

第一作者简介 兰中伍 男 1981 年出生 硕士研究生 地球化学

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

1 前言

中国中部三叠纪松潘—甘孜褶皱带是个重要地带,它的周围分别是华北板块、扬子板块及青藏高原地块。近几年来,虽然人们对松潘—甘孜盆地周围的这些地区做了大量研究,但是对于松潘—甘孜盆地尤其是该盆地内碎屑沉积物的来源的研究还很有限,并且就此问题也引起了许多争论。Nie 等人认为松潘—甘孜盆地内中上三叠世复理石沉积岩源自华北与华南板块间东部造山带的剥蚀,是由于大别山和山东地区超高压变质岩剥露、搬运并沉积的结果^[1]。李曙光等人认为华北板块不可能为该区提供物源^[2]。杨逢清等人认为松潘—甘孜褶皱带和南秦岭一起为古扬子板块的一部分,由于加里东运动使该地块从扬子板块的西北部裂解出来^[3]。而法国学者 Banguier 等认为松潘—甘孜地块在前吕梁期、吕梁期和加里东期碎屑物质来自华北板块,而在其它时期来自扬子板块^[4]。本文通过测定该盆地中部六个砂岩样品中碎屑锆石颗粒的年龄范围并结合该地区周围的板块构造环境讨论最后确定该盆地碎屑沉积物的来源不可能是单一的,但就本文的研究来看,其最可能的物源区为扬子板块北缘、南秦岭以及北秦岭。

2 区域地质概况及采样位置

松潘—甘孜复理石带(位于中国中部)呈巨大的三角形区域,其周围分别是华南板块、华北板块以及青藏高原地块。它覆盖了 20 多万平方千米的巨大三角形区域,相当于至少约 $2.0 \times 10^6 \text{ km}^2$ 的复理石沉积。在中国大陆的结构中,西秦岭—松潘地区位于华北板块(祁连山构造带东北方向)、扬子板块和印度板块(包括昌都—羌塘地块)的三角地带之间(图 1),该地区构成中国大陆最大的构造结,也是最为重要的构造转换域。样品 03SGZ-72 采自道孚—甘孜公路边的晚三叠雅安组砂岩,灰黑色,粒度中等;03SGZ-76 采自甘孜—新龙公路边的晚三叠两河口组砂岩,灰黑色,中细粒;03SGZ-83 采自新都桥—康定公路边的折多山口晚三叠杂谷脑组中—细粒砂岩;03SSP-1 为灰绿色粉—细砂岩;03SSP-6 采自漳扎镇灰黑色中—细粒砂岩;03SSP-13 采自中三叠统扎杂山组灰绿色细砂岩。

3 样品处理与测试方法

我们对所采的 6 个样品的常量元素进行了 X 射线荧光光谱分析(XRF 分析);并对其微量元素进行

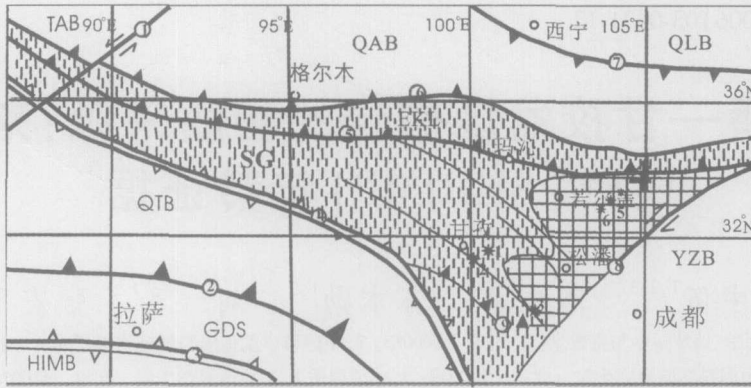


图 1 松潘—甘孜褶皱带及邻区板块构造单元图 (据杨宗让, 2002)

TAB 塔里木地块; HMB 喜马拉雅地块; QTB 羌塘地块; GDS 冈底斯地块; SG. 松潘—甘孜褶皱带; QAB 柴达木地块; EKL 东昆仑构造带; QLB. 祁连山构造带; YZB 扬子地块。

阿尔金断裂 班公湖—怒江蛇绿岩杂带 雅鲁藏布江缝合线 金沙江缝合线 阿尼玛卿蛇绿岩杂带 中昆仑蛇绿岩带 柴达木北缘蛇绿岩杂带 龙门山断裂 理塘蛇绿岩杂带。

Fig 1 Tectonic position of the Songpan-Ganze terrain

了电感耦合等离子体质谱分析 (ICP-MS 分析); 其中样品 SGZ-76 未进行常量元素的组成。两项测试均在中国科学院地质与地球物理研究所进行。

碎屑锆石颗粒是从这一地带中部的六个复理石样品中分选出来的, 之后用 SHRIMP U-Pb 同位素方法对颗粒逐个进行分析。分析数据的准确度和精密度通常由国家标准物质来监控的。按照地质调查项目要求, 对国家一级标准物质进行单个标准物质每个元素测量值与标准值的对数差计算。国家一级标准物质分析监控限要求如表 1 所示和精密度监控限见表 2。

表 1 一级标准物质监控限

Table 1 Supervisory control limitation of high-class standard substance

含量范围	$\Delta \lg C(\text{GBW}) = \lg C_i - \lg C_s$
检出限三倍以内	$\leq \pm 0.20$
检出限三倍以上	$\leq \pm 0.15$
1% - 5%	$\leq \pm 0.08$
> 5%	$\leq \pm 0.04$

表 2 精密度监控限要求

Table 2 Requirement for supervisory control limitation of precise degree

含量范围	$\Delta \lg C(\text{GBW}) = \lg C_i - \lg C_s$
检出限三倍以内	$\leq \pm 0.20$
检出限三倍以上	$\leq \pm 0.15$
1% - 5%	$\leq \pm 0.08$
> 5%	$\leq \pm 0.04$

通过对分析数据的检验, 常量元素、微量元素的精密度只有 Ta 不符为 38.6053%。通过计算基本分析与检查分析的相对偏差 ($RD\% = [(A_1 - A_2) / (A_1 + A_2)] \times 100\%$), 以衡量整批样品分析数据的重复性, 检查分析的监控限为: 检出限三倍以内 $RD\% \leq \pm 25\%$, 检出限三倍以上 $RD\% \leq \pm 20\%$ 。

常量元素中的七项的准确度均在三倍检出限以内。而 38 个微量元素中绝大多数的准确度都在三倍检出限以内, 只有 Co 和 Yb 略有偏差分别为 0.48102 和 -1.31575。

4 分析结果

经分析, 所测锆石 U-Pb 同位素组成见表 3。部分样品全岩主量、微量元素含量见表 4。所选的几颗代表性锆石的显微图象如图 2 所示。锆石 U-Pb 协和图如图 3 所示。锆石年龄分布图如图 4 所示。

4.1 锆石的形态特征描述及代表性锆石分析

反射光和投射光下锆石的特征: 颜色主要为浅紫红色、浅黄褐色、浅绿色和烟灰色; 六个样品中的锆石颗粒晶形大都保存完好, 其中复四方双锥, 四方双锥和柱状晶类为主, 少数为板柱状和粒状, 样品 03SSP-1 和 03SGZ-72 中短柱状和板柱状锆石居多; 其形态为棱角状自形晶体到带有剥蚀标志的磨圆锆石颗粒。保存完好的晶体很可能表明短距离的搬运。相反, 磨圆的颗粒表明它们经历了长距离的搬运或者说它们经历了侵蚀和沉积循环过程。颗粒大小除 03SSP-1 都较均匀。

表 3 锆石的 U-Pb 同位素组成

Table 3 U-Pb isotopic compositions of zircons

spot	U / $\times 10^{-6}$	Th / $\times 10^{-6}$	^{232}Th / ^{238}U	204/206	207/206	208/206	conum 206(%)	Obs 206/238	$^{204}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	
									Age/M a	1σ err	Age/M a	1σ err	Age/M a	1σ err	Age/M a	1σ err
SSP13-1 1	133	53	0.41	3.3E-4	0.153	0.118	0.60	1.544	2191.5	53.2	2154.5	65.1	2200.2	56.3	2332	25
SSP13-2 1	223	200	0.93	4.7E-4	0.167	0.279	0.84	1.353	2580.6	58.5	2630.0	89.6	2572.0	66.8	2472	21
SSP13-3 1	220	109	0.51	2.9E-3	0.075	0.226	5.24	0.212	357.0	10.9	366.7	10.6	363.7	12.0	-1033	952
SSP13-4 1	364	196	0.56	9.3E-5	0.172	0.153	0.17	1.851	2405.4	54.3	2348.4	70.7	2411.7	58.3	2561	20
SSP13-5 1	327	156	0.49	2.8E-4	0.124	0.146	0.50	1.213	1930.2	45.8	1923.9	53.4	1935.0	49.0	1966	30
SSP13-6 1	101	61	0.62	1.0E-3	0.150	0.217	1.88	1.549	2180.6	56.9	2179.9	71.8	2175.7	63.0	2184	69
SSP13-7 1	124	60	0.50	5.1E-4	0.142	0.153	0.91	1.364	2038.4	51.2	2010.5	60.8	2044.2	55.0	2171	44
SSP13-8 1	960	516	0.56	9.8E-4	0.070	0.199	1.78	0.153	268.9	7.0	267.7	7.0	270.2	7.8	418	154
SSP13-9 1	172	107	0.64	3.9E-3	0.091	0.328	6.95	0.120	267.8	9.2	273.9	9.4	268.6	10.4	-879	1717
SSP13-10 1	706	163	0.24	3.4E-4	0.127	0.077	0.61	1.103	1771.6	40.1	1738.3	44.7	1775.0	41.6	1994	16
SSP13-11 1	120	95	0.82	3.8E-3	0.112	0.402	6.87	0.179	305.6	12.0	304.1	11.4	302.4	13.5	466	839
SSP13-12 1	1067	290	0.28	5.8E-5	0.171	0.075	0.10	1.685	2468.4	52.7	2433.8	71.2	2473.7	54.6	2556	7
SSP13-13 1	45	27	0.62	1.0E-3	0.156	0.290	1.83	1.150	1715.4	58.3	1630.2	63.3	1655.1	67.0	2267	103
SSP13-14 1	423	122	0.30	5.6E-4	0.085	0.124	1.02	0.245	449.7	11.8	438.3	11.7	447.4	12.5	1118	94
SSP13-15 1	372	602	1.67	9.9E-4	0.075	0.544	1.79	0.218	375.6	10.2	372.5	10.2	377.3	14.7	634	178
SSP13-16 1	176	171	1.01	2.5E-4	0.163	0.291	0.45	1.432	2265.9	53.6	2210.6	66.3	2266.9	62.0	2451	21
SSP13-17 1	418	170	0.42	1.1E-4	0.119	0.128	0.19	1.021	1777.0	41.2	1756.2	46.4	1775.0	43.7	1919	22
SSP13-18 1	347	78	0.23	8.3E-5	0.158	0.070	0.15	1.396	2307.8	51.9	2272.7	65.9	2305.9	53.5	2421	14
SSP13-19 1	463	150	0.34	5.6E-4	0.078	0.163	1.02	0.139	268.8	10.0	262.7	9.9	263.9	10.8	936	174
SSP13-20 1	466	248	0.55	2.6E-5	0.116	0.164	0.05	1.079	1762.5	40.6	1745.1	45.7	1759.8	43.9	1885	15
SSP13-21 1	138	123	0.92	1.3E-3	0.096	0.326	2.34	0.436	707.3	20.7	695.1	20.6	706.9	24.0	1127	259
SSP13-22 1	820	230	0.29	5.9E-4	0.065	0.108	1.06	0.232	404.8	10.5	404.0	10.6	405.6	11.0	473	121
SSP13-23 1	311	234	0.78	6.6E-4	0.071	0.284	1.18	0.150	261.6	7.3	258.3	7.3	259.0	8.5	672	94
SSP13-24 1	509	223	0.45	9.4E-4	0.065	0.172	1.70	0.157	267.0	7.3	267.2	7.2	267.6	7.8	238	203
SSP13-25 1	438	250	0.59	5.4E-4	0.066	0.200	0.98	0.246	446.3	12.0	445.1	12.1	446.9	13.5	538	116
SSP13-26 1	315	226	0.74	1.9E-4	0.074	0.284	0.34	0.163	274.1	7.6	267.6	7.6	267.6	8.8	971	113
SSP13-27 1	136	226	1.71	1.8E-3	0.088	0.571	3.34	0.319	520.4	16.3	518.1	15.9	524.4	22.7	652	272
SSP13-28 1	290	141	0.50	2.6E-4	0.159	0.149	0.48	1.395	2345.0	52.9	2323.9	68.8	2346.3	56.7	2410	16
SSP13-29 1	407	212	0.54	1.3E-3	0.076	0.220	2.27	0.153	253.5	7.1	251.3	6.9	252.6	7.8	538	228
SSP13-30 1	219	148	0.70	1.1E-3	0.084	0.275	1.93	0.128	246.9	7.1	241.6	7.1	244.4	8.3	894	96
SSP13-25 2	881	398	0.47	2.4E-4	0.060	0.153	0.44	0.204	386.9	9.9	386.0	10.0	387.1	10.7	463	65
SSP13-30 2	430	469	1.13	1.3E-3	0.081	0.396	2.33	0.116	211.9	6.2	209.0	6.2	212.0	7.7	669	346
SSP6-1 1	277	60	0.23	5.3E-5	0.117	0.073	0.10	1.048	1793.1	42.9	1777.1	48.6	1788.5	44.3	1901	22
SSP6-2 1	860	487	0.59	6.8E-5	0.118	0.166	0.12	1.255	1867.0	42.1	1860.7	48.7	1871.1	45.6	1906	13
SSP6-3 1	230	169	0.76	7.0E-5	0.123	0.219	0.13	1.352	1915.1	48.7	1902.6	56.6	1916.8	54.4	1987	25
SSP6-4 1	425	208	0.50	1.5E-4	0.135	0.148	0.27	1.238	2056.2	47.7	2039.8	57.0	2056.9	51.1	2133	17
SSP6-5 1	560	267	0.49	8.9E-6	0.149	0.134	0.02	1.301	2189.0	51.8	2151.0	63.3	2194.6	55.2	2333	11
SSP6-6 1	668	60	0.09	2.8E-4	0.066	0.065	0.51	0.230	440.6	11.5	437.1	11.8	435.4	11.8	681	196
SSP6-7 1	269	440	1.69	4.2E-5	0.167	0.472	0.08	1.475	2341.7	54.0	2281.4	68.3	2345.6	69.5	2522	16
SSP6-8 1	116	125	1.11	- - -	0.176	0.339	0.00	1.678	2470.1	62.0	2413.5	84.8	2436.5	73.0	2611	49
SSP6-9 1	634	318	0.52	3.0E-4	0.081	0.225	0.53	0.158	281.0	7.5	272.6	7.6	273.7	8.5	1113	146
SSP6-10 1	358	316	0.91	3.0E-5	0.100	0.286	0.05	0.836	1427.8	35.7	1410.0	38.3	1416.8	41.5	1625	25
SSP6-11 1	268	46	0.18	- - -	0.092	0.125	0.00	0.362	667.7	18.0	643.2	18.4	645.7	19.1	1469	123
SSP6-12 1	570	181	0.33	1.0E-4	0.113	0.102	0.19	1.030	1605.0	37.5	1578.9	41.0	1603.0	39.4	1826	18
SSP6-13 1	429	212	0.51	4.3E-4	0.094	0.249	0.77	0.134	259.6	7.6	248.2	7.5	250.0	8.7	1373	145
SSP6-14 1	533	45	0.09	6.8E-5	0.077	0.031	0.12	0.560	1038.4	27.1	1035.8	28.3	1037.2	27.4	1092	31
SSP6-15 1	676	109	0.17	6.7E-5	0.123	0.059	0.12	1.055	2045.4	46.2	2055.7	56.1	2037.6	47.4	1994	15
SSP6-16 1	282	84	0.31	1.7E-4	0.122	0.094	0.30	1.054	1683.7	40.9	1648.7	44.9	1685.6	42.7	1946	26
SSP6-17 1	842	275	0.34	2.1E-4	0.068	0.114	0.38	0.430	753.4	18.8	752.5	19.4	752.2	19.9	785	30
SSP6-18 1	630	438	0.72	3.8E-4	0.076	0.242	0.68	0.442	772.4	19.6	767.0	20.0	768.9	22.1	951	106

SSP6-19	1	495	152	0.32	2.6E-4	0.120	0.107	0.47	0.959	1790.3	50.6	1773.9	57.2	1785.6	53.1	1901	23
SSP6-20	1	220	179	0.84	3.3E-4	0.119	0.257	0.60	1.253	1851.5	50.2	1847.2	57.9	1847.7	56.9	1879	34
SSP6-21	1	581	85	0.15	1.0E-4	0.081	0.063	0.19	0.467	936.6	23.8	926.5	24.5	930.7	24.4	1174	38
SSP6-22	1	498	175	0.36	2.2E-4	0.189	0.108	0.40	1.918	2639.8	58.0	2602.5	85.1	2640.5	60.8	2711	12
SSP6-23	1	322	60	0.19	5.1E-4	0.123	0.069	0.91	1.213	1806.4	48.5	1791.9	55.0	1810.6	50.1	1903	32
SSP6-24	1	310	90	0.30	5.1E-4	0.122	0.106	0.92	1.097	1718.0	42.8	1696.5	47.6	1717.8	44.9	1877	35
SSP6-25	1	545	310	0.59	6.4E-4	0.080	0.203	1.15	0.507	894.0	22.5	892.1	23.3	892.9	24.9	945	70
SSP6-26	1	407	166	0.42	4.3E-4	0.124	0.132	0.77	1.128	1784.2	42.5	1761.8	47.7	1788.0	45.2	1935	35
SGZ72-1	1	121	71	0.61	---	0.072	0.214	0.00	0.350	723.5	21.0	715.9	21.4	713.6	23.3	990	71
SGZ72-2	1	482	851	1.82	4.1E-4	0.077	0.564	0.74	0.468	889.3	22.8	886.4	23.6	890.2	32.0	968	55
SGZ72-3	1	815	281	0.36	3.7E-4	0.080	0.123	0.68	0.511	887.8	21.8	881.3	22.3	887.5	23.1	1061	54
SGZ72-4	1	1429	336	0.24	4.9E-4	0.070	0.108	0.89	0.213	417.6	10.7	413.6	10.8	414.7	11.3	710	132
SGZ72-5	1	817	352	0.45	4.7E-4	0.069	0.142	0.85	0.542	969.8	24.0	980.4	25.2	974.2	25.6	691	162
SGZ72-6	1	369	205	0.57	2.6E-4	0.122	0.186	0.47	1.035	1718.2	41.1	1688.7	45.5	1710.0	44.9	1932	24
SGZ72-7	1	99	171	1.78	3.6E-3	0.129	0.638	6.56	0.464	738.7	26.7	726.3	24.4	743.5	37.6	1142	409
SGZ72-8	1	460	60	0.14	9.7E-4	0.086	0.106	1.75	0.230	424.4	11.6	415.8	11.4	418.9	12.1	990	139
SGZ72-9	1	546	165	0.31	1.7E-4	0.178	0.097	0.31	1.539	2377.9	53.8	2293.9	67.6	2374.3	56.1	2612	13
SGZ72-10	1	455	334	0.76	8.1E-4	0.085	0.272	1.47	0.387	732.1	19.6	723.1	19.9	727.4	22.6	1037	115
SGZ72-11	1	1031	450	0.45	4.3E-4	0.076	0.159	0.77	0.467	795.0	20.4	790.8	20.8	792.5	22.0	926	86
SGZ72-12	1	401	376	0.97	2.9E-4	0.164	0.298	0.52	1.459	2170.1	51.2	2093.2	60.6	2156.4	59.1	2457	20
SGZ72-13	1	753	664	0.91	5.1E-4	0.080	0.319	0.92	0.487	766.5	21.1	759.3	21.5	757.3	24.8	998	72
SGZ72-14	1	690	262	0.39	8.0E-5	0.118	0.124	0.14	0.968	1612.8	37.9	1577.3	41.4	1607.8	40.1	1904	40
SGZ72-15	1	290	511	1.82	6.7E-4	0.095	0.610	1.22	0.539	863.7	23.4	845.3	25.8	844.5	34.2	1322	235
SGZ72-16	1	294	315	1.11	1.6E-3	0.097	0.411	2.85	0.318	552.6	16.3	542.2	15.7	546.8	19.7	1045	232
SGZ72-24	1	389	258	0.69	7.5E-4	0.101	0.269	1.35	0.383	770.7	21.0	746.3	21.0	757.4	23.9	1445	124

表 4 样品全岩主量 (wt%)、微量元素含量 ($\times 10^{-6}$) 分析数据表

Table 4 Whole rock analyses of major (wt%) and trace elements ($\times 10^{-6}$) in selected samples

样号	SGZ72	SGZ76	SGZ83	SSP01	SSP06	SSP13	样号	SGZ72	SGZ76	SGZ83	SSP01	SSP06	SSP13
S O_2	69.45		63.57	50.86	61.63	69.93	Zr	215.95	228.31	235.38	157.40	372.75	207.63
T O_2	0.393		0.41	0.58	0.48	0.57	Nb	9.37	12.52	8.76	14.69	9.78	10.90
A I_2O_3	6.93		6.86	9.62	6.35	13.3	Cs	1.88	4.36	8.61	4.61	3.45	4.54
F e_2O_3	2.72		2.49	4	2.62	4.02	Ba	210.56	307.14	181.99	304.88	180.48	387.24
M nO	0.09		0.06	0.09	0.05	0.04	La	31.33	36.69	29.16	33.15	37.31	33.22
M gO	0.82		2.23	2.53	2.44	1.6	Ce	60.16	70.52	56.07	66.21	72.49	67.31
C aO	7.42		11.18	14.36	11.45	1.63	Pr	6.99	8.16	6.50	7.75	8.37	7.57
N a $_2$ O	1.52		1.09	0.87	1.03	2.69	Nd	24.62	28.04	22.81	27.18	29.48	26.66
K $_2$ O	1.04		1.19	1.79	0.98	2.19	Sm	4.94	5.38	4.48	5.62	5.91	5.07
P $_2$ O $_5$	0.11		0.12	0.14	0.12	0.13	Eu	0.93	1.07	0.88	1.03	0.98	1.13
F eO	1.48		2.1	2.7	1.66	2.52	Gd	4.64	4.61	3.98	5.08	5.34	4.59
LOI	7.97		10.34	14.78	12.37	3.43	Tb	0.72	0.64	0.58	0.78	0.79	0.65
TOTAL	99.47		99.53	99.62	99.52	99.52	Dy	4.26	3.70	3.34	4.52	4.55	3.71
L i	23.19	30.74	30.86	40.57	25.06	25.87	Ho	0.86	0.72	0.67	0.96	0.91	0.74
B e	0.93	1.59	1.11	1.40	0.93	1.83	Er	2.48	2.10	1.95	2.81	2.71	2.23
S c	6.40	9.41	6.57	10.09	6.67	9.93	Tm	0.35	0.30	0.29	0.42	0.41	0.32
V	30.07	61.18	44.44	71.13	53.16	43.33	Yb	2.31	2.02	1.87	2.72	2.69	2.14
C r	45.54	76.50	30.79	46.60	47.73	52.78	Lu	0.33	0.29	0.27	0.42	0.42	0.31
C o	5.37	8.05	5.71	8.6	5.13	9.58	H f	5.96	6.43	6.57	4.63	10.85	5.91
N i	40.24	37.85	36.91	44.04	31.25	30.85	Ta	0.64	0.84	0.57	0.96	0.76	0.85
C u	12.62	13.28	17.66	25.28	13.29	16.86	Tl	0.19	0.35	0.30	0.52	0.25	0.42
Z n	34.92	63.36	37.86	56.26	137.24	58.77	Pb	9.44	13.83	10.71	3.66	10.43	17.52
G a	8.07	12.65	8.03	12.13	7.54	15.51	B i	0.07	0.13	0.10	0.18	0.11	0.15
R b	41.67	79.69	53.74	81.34	42.30	87.51	Th	8.72	11.14	8.81	13.58	13.56	9.37
S r	235.29	178.02	187.43	853.29	201.20	193.39	U	1.76	2.24	2.16	3.19	3.47	2.11
Y	24.95	19.89	18.53	20.38	20.66	19.84							

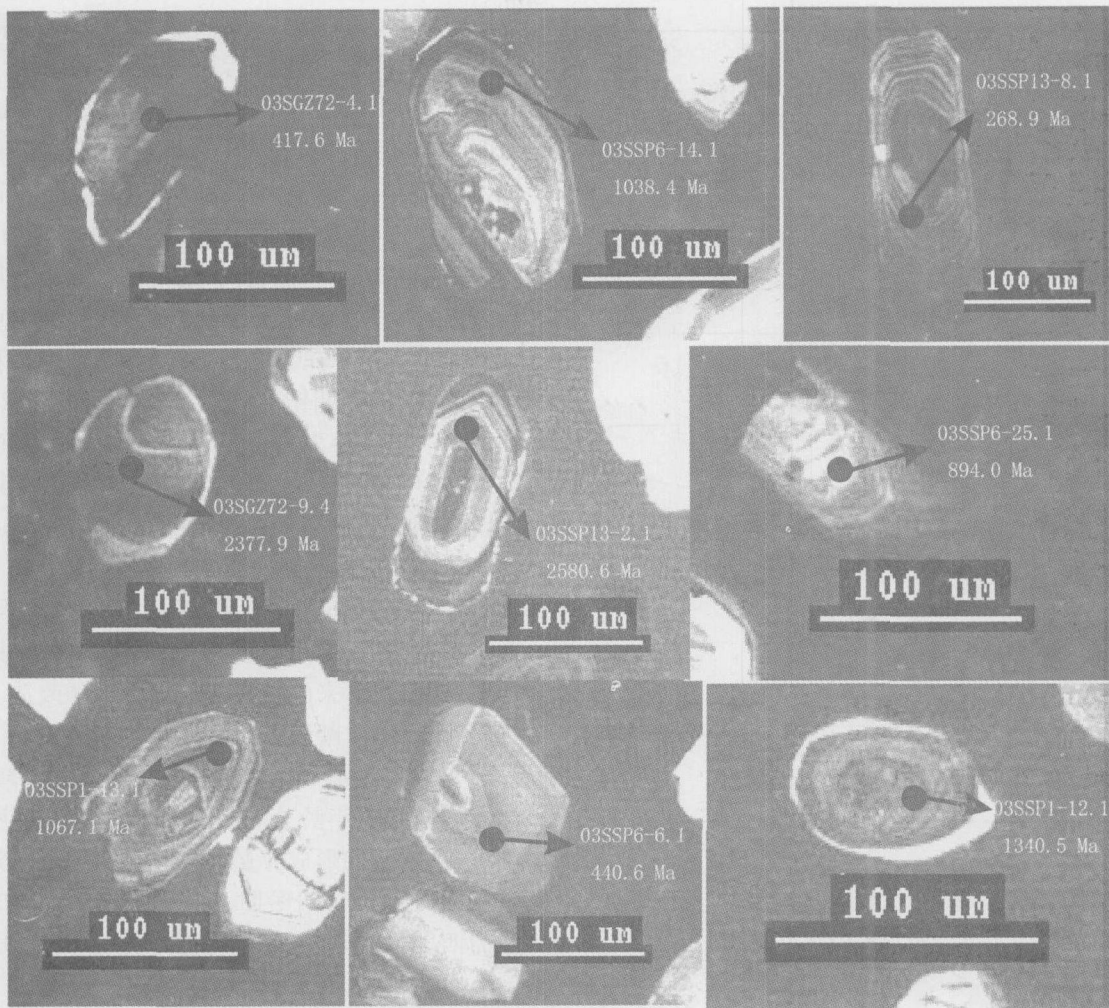


图 2 代表性锆石微区 CL 图象及相应 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄

Fig 2 Micro-zone CL images of representative zircons and their corresponding $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages

在所研究的 130 颗锆石颗粒中, 仅有 7 颗锆石的 Th/U 比值小于 0.1, 按照周美孚等人的研究所确定的标准结合其结构特征, 判断这些锆石应为变质锆石颗粒^[5]。其余的 Th/U 比值大于 0.1 的锆石应为岩浆锆石颗粒。变质锆石已经看不到环带结构现象, 只有几颗可见到明亮的增生边。而大多数年龄较小的锆石都可见到明显的环带结构和明暗相间的结构特征 (见图 2)。

对六个样品中 120 多个颗粒的测量统计结果表明: 锆石的长一般在 23~195 μm 之间, 宽在 15~40 μm 之间。除 03SGZ-76 外所测沉积岩样品中锆石的长宽比小于 2, 这也进一步验证了沉积岩中的锆石长宽比大都小于或等于 2^[6]。

4.2 $U-Pb$ 同位素分析结果

在图 3-a 中, 各颗粒大都贴近谐和曲线分布, 根据颗粒的 $\text{Th}/\text{U} > 0.1$ 判断, 大多数颗粒 (130 粒中有

123 粒) 应为岩浆锆石颗粒。在后期的地质活动中只有少量的铅丢失。颗粒 03SSP13-2.1 基本在曲线上, 其核部的 $\text{Pb}-\text{Pb}$ 年龄为 $2652 \pm 88 \text{ Ma}$ 为前吕梁期岩浆锆石颗粒。在阴极发光下观察该颗粒, 核部为所测点, 且颗粒棱角已磨蚀, 由此可推测该颗粒一定经历了长距离的搬运。边部见到的明显的增生边说明该颗粒在后期的地质活动中可能经历了岩浆变质增生事件。其余颗粒的形成时期为吕梁期、四堡期和加里东期, 代表性颗粒分别为 03SSP13-12.1、03SSP13-7.1 和 03SSP13-25.1。其中颗粒 03SSP13-12.1 和 03SSP13-7.1 均有不同程度的磨圆, 颗粒 03SSP13-25.1 可见明显的增生边, 可能是后来岩浆喷发事件所导致的结果。

在图 3-b 中, 颗粒 03SSP6-22.1 核部的 $\text{Pb}-\text{Pb}$ 年龄为 $2711 \pm 12 \text{ Ma}$ 为前吕梁期岩浆锆石颗粒, 并具有明显的增生边和较高的磨圆度。颗粒 03SSP6-3.1 核

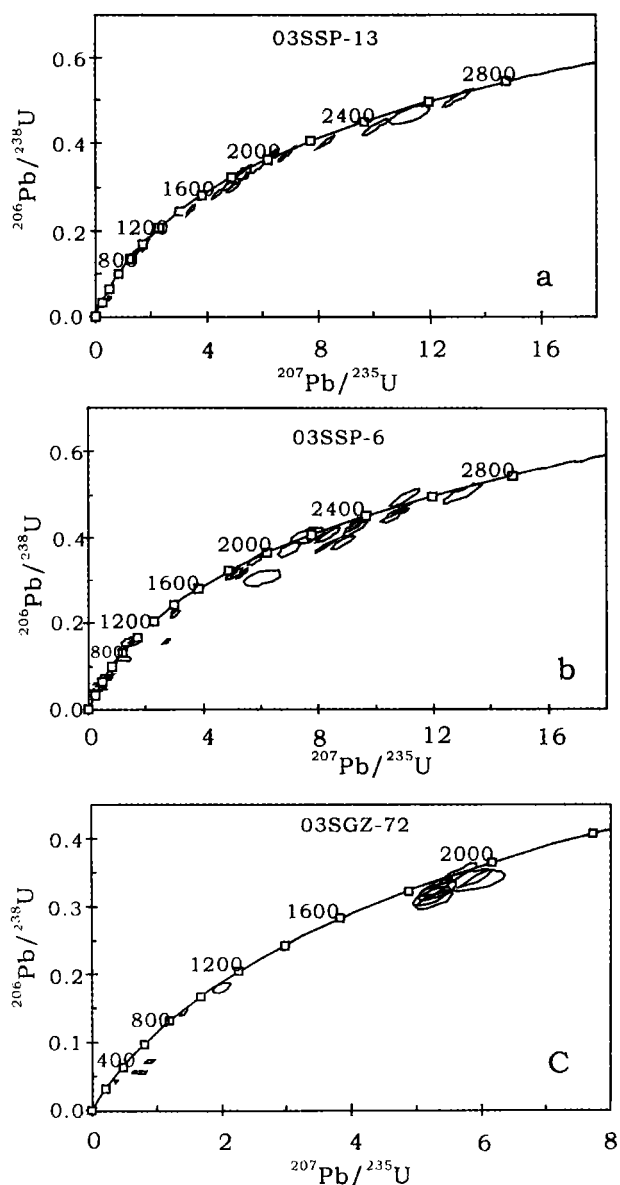


图 3 松藩—甘孜盆地沉积岩中锆石颗粒的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 协和图解

Fig. 3 Concordia plot of $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ and $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ for zircons in sedimentary rocks of Songpan-Ganze basin

部的 Pb-Pb 年龄为 $1899 \pm 84 \text{ Ma}$ 磨圆度非常高, 近于圆形, 推测其一定经过了长距离的搬运。颗粒 03SSP6-14 1 核部的 Pb-Pb 年龄为 $1131 \pm 6 \text{ Ma}$ 为四堡期锆石颗粒。由于该颗粒的 $\text{Th}/\text{U} < 0.1$, 为变质锆石颗粒。所以其边部的增生边应为变质增生边。颗粒 03SSP6-25 1 核部的 Pb-Pb 年龄为 $945 \pm 70 \text{ Ma}$ 为晋宁期的岩浆锆石颗粒。该颗粒已经碎裂, 可见不太明显的环带结构, 磨圆度不高, 还可见较明显的棱角。颗粒 03SSP6-17 1 核部的 Pb-Pb 年龄为 $785 \pm 30 \text{ Ma}$

为震旦期的岩浆锆石颗粒。该颗粒边部发育厚度不均匀的增生边, 可能是后期岩浆喷发所致。颗粒为 03SSP6-13 1 的三组 U-Pb 年龄均在 $250 \pm \text{Ma}$ 并且具有明暗相间的环带结构, 自形程度较高, 无明显的磨蚀, 且铅丢失非常少, 应为华力西期岩浆锆石。

在图 3-c 中, 颗粒按 Pb-Pb 年龄可分为三组, 分别为吕梁期锆石颗粒、晋宁期锆石颗粒以及加里东期岩浆锆石颗粒。代表颗粒 03SGZ72-12 1 核部的 Pb-Pb 年龄为 $2457 \pm 20 \text{ Ma}$ 具有明显的增生边和较高的磨圆度, 为吕梁期锆石颗粒。颗粒 03SGZ72-13 1 核部的 Pb-Pb 年龄为 $998 \pm 72 \text{ Ma}$ 该颗粒中间可见一凹陷, 且无环带结构, 成分较均匀, 可能为晋宁期新生岩浆锆石颗粒。颗粒 03SGZ72-4 1 核部的 Pb-Pb 年龄为 $710 \pm 132 \text{ Ma}$ 三组 U-Pb 年龄分别为 $417.6 \pm 10.7 \text{ Ma}$ $413.6 \pm 10.8 \text{ Ma}$ 和 $414.7 \pm 11.3 \text{ Ma}$ 该颗粒形状近于椭圆, 并且具有较明亮的增生边, 说明其形成于加里东期, 在后来的岩浆活动中受到了改造。

4.3 锆石的年龄分布特征

实验共测得了 120 多个锆石颗粒的 131 个数据样点。锆石的年龄分布特征如图 (见图 4) 所示。由图可见, 锆石的形成年龄可分为 8 个阶段: 分别为前吕梁期、吕梁期、四堡期、晋宁期、震旦期、加里东期、华力西期以及印支期。所测得的数据可表明: 砂岩中锆石主体结晶于元古代, 所测最老年龄为 2640 Ma 可能代表扬子克拉通的基底; 岩石结晶后在新元古代、早古生代和晚古生代末期的构造变质事件中形成锆石的增生边及新生颗粒。含 U 低的锆石的不谐和铅丢失模式表明可能是由于后来的构造岩浆运动所致。440~400 Ma 的协和锆石颗粒可以证明加里东运动的发生。

5 岩石地球化学

5.1 微量元素分析

从图 5-a 中可以看到, 当砂岩样品的稀土元素以北美页岩 (NASC) 标准化时, 轻稀土元素中 Ce 出现不太明显的富集。

而在图 5-b 中, 当样品以球粒陨石 (DMSP) 标准化时^[7], Eu/Eu^* 的比值在 $0.52 \sim 0.70$ 之间, 平均值为 0.61 , 表明元素 Eu 出现较强的负异常, 这和以 NASC 标准化时大致相同。

在两图中, 重稀土元素中 Yb 元素均有微弱的富集, 说明其原岩可能为钙碱性玄武岩, 并经过了一定的变质作用, 只不过由于变质级别比较低, 没有出现

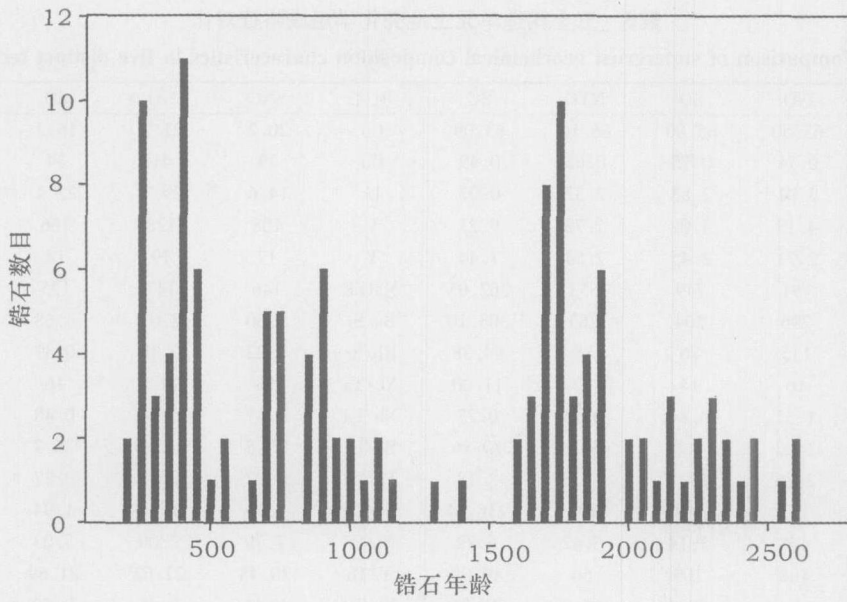


图 4 锆石年龄分布柱状图

Fig 4 Column graph for zircon age distribution

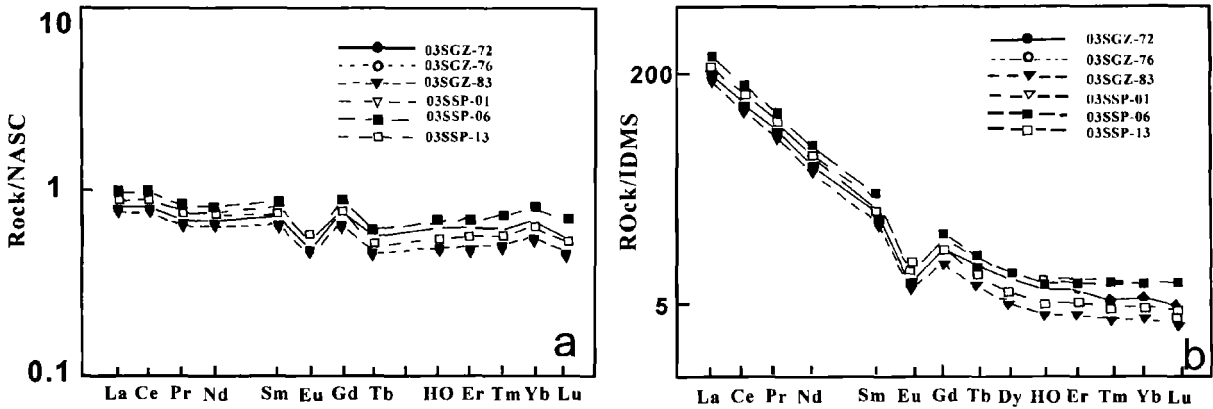


图 5 松潘—甘孜盆地三叠系稀土元素分布形式图 (a 以 NASC 为标准; b 以 IDMS 为标准)

Fig 5 Triassic REE distribution model of Songpan-Ganze basin (a b are based on NASC and IDMS respectively)

易于富集重稀土元素的矿物 (比如石榴子石) 出现。

Eu 的负异常可能是由于源岩中的斜长石和钾长石结晶吸收 Eu 元素从而造成了源区岩石 Eu 的亏损或负异常。

5.2 元素特征对比

从五个构造单元上地壳化学组成特征对比中 (见表 5) 可以看到, 扬子克拉通北缘和南秦岭、华北克拉通南缘以及北秦岭相比, 显示出低的 TD_2 、 MgO 、 Ba/Ni 、 Sc/Cr 、 Ni/Co 、 V 含量以及 Ba/Sr 、 Rb/Sr 、 Nb/La 、 Ba/La 、 Yb/Hf 比值, 而 Zr/Hf 含量和 ΣREE 总量相对较高, 松潘—甘孜盆地在这些元素及稀土元素比值上的变化趋势与之相同; 北秦岭和扬子克拉通北

缘、南秦岭以及华北克拉通南缘相比, 具有高的 Lj 、 Y 、 Th 含量以及高的 Y/Tb 比值, 松潘—甘孜盆地这些元素含量及稀土元素的比值的变化趋势与之也相同, 并且 Th/La 和 Sc/Th 比值与北秦岭也相近。

从以上分析可以看出, 松潘—甘孜盆地碎屑沉积物在常量元素含量、稀土元素含量、稀土元素总量以及稀土元素的比值上的这些特征主要与扬子克拉通北缘相似, 其次秦岭相似, 仅有少部分与南秦岭相似, 而与华北克拉通南缘相似的几乎没有。由此, 我们可以判断, 尽管已有研究认为松潘—甘孜盆地的碎屑物质来自扬子板块^[3-8], 但我们的研究却表明扬子克拉通北缘和北秦岭都有可能就是松潘—甘孜盆地碎屑

表 5 五个构造单元上地壳化学组成特征对比

Table 5 Comparison of supercrust geochemical composition characteristics in five distinct tectonic units

项目	SNC	NQ	SQ	NYC	SG	项目	SNC	NQ	SQ	NYC	SG
S ₂ O ₃	64.0	63.50	65.00	66.10	63.09	Co	20.2	21.2	16.2	15.6	7.07
TiO ₂	0.68	0.71	0.75	0.65	0.49	Cu	29	41	34	34.6	16.50
MgO	2.86	3.01	2.88	2.32	0.07	Li	14.6	29.7	22.4	20.8	29.38
CaO	4.25	4.13	3.02	2.72	9.21	V	108	128	106	95	50.55
K ₂ O	2.47	2.71	2.45	2.54	1.44	Y	17	19	18	18	20.71
Ba	823	791	749	653	262.05	ΣREE	146	147	125	155	173.67
Sr	317	296	204	263	308.10	Ba/Sr	2.60	2.67	3.68	2.48	1.14
Rb	71	115	76	85	64.38	Rb/Sr	0.22	0.39	0.37	0.32	0.28
Nb	13	16	14	12	11.00	Nb/Ta	16	12.2	16	16	14.27
Ta	0.78	1.31	0.84	0.73	0.77	Nb/La	0.37	0.44	0.48	0.32	0.33
Th	9.3	14.7	7.8	9.3	10.86	Ba/La	23.5	21.79	25.7	17.2	7.84
Sc	19.8	20.6	15.1	13.5	8.18	Th/La	0.27	0.41	0.27	0.25	0.32
Zr	185	167	194	196	236.24	Sc/Th	2.13	1.40	1.94	1.45	0.77
Hf	5.15	4.8	5.14	5.42	6.72	Ni/Co	1.79	2.09	3.03	2.36	5.52
Cr	74	108	109	66	49.99	Y/Tb	20.48	22.62	21.69	20.00	30.16
Ni	39.8	44.3	49.0	36.8	36.86	Yb/Hf	0.44	0.46	0.50	0.43	0.36

表中, SNC代表华北板块南缘, NQ代表北秦岭, SQ代表南秦岭, NYC代表扬子克拉通北缘, SG为松潘—甘孜盆地。除 SG外, 其它数据均为引用张本仁等(2002)秦岭造山带地球化学。In the table SNC represents for the south margin of north China block, NQ for north Qinling, SQ for south Qinling, NYC for the north margin of Yangtze craton and SG for Songpan-Gangze basin. Except for SG, other data refer to Geochemistry of Qinling Orogeny Belt edited by Zhang Benren *et al.* (2002).

沉积物的源区, 而扬子板块作为碎屑沉积物的源区的比例更大些。

6 讨论

6.1 年龄范围及源区

吕梁期形成的锆石颗粒占据主体, 前吕梁期锆石颗粒共三颗, 年龄为 2 600 Ma 左右, 为晚太古代物质。这三个颗粒的源区应为扬子地台的北缘基底。首先, 从年龄上来讲, 它和勉略宁地区鱼洞子地体深变质火山沉积岩的年龄正相近^[9], 据张宗清等人测得南秦岭最老变玄武质岩石鱼洞子群的 U-Pb 年龄为 2 693 ± 9 Ma^[10], 据高山等人测得扬子陆块北缘崆岭群变沉积岩中最老的锆石 U-Pb 年龄为 3 300 Ma^[11], 而据李英等人测得北秦岭最老变质玄武质岩石秦岭群的年龄主要集中与 2 100 ± 150 Ma^[12]。因此, 可以看出, 北秦岭并不存在太古宙基底, 而前吕梁期的这三颗锆石颗粒年龄最接近于扬子板块北缘的鱼洞子群岩体, 所以这三颗锆石颗粒最可能来自扬子板块北缘。

吕梁期锆石颗粒的年龄范围为 2 500~1 800 Ma。在这一年龄段的锆石颗粒共有 33 颗, 占了 130 颗锆石总颗粒的 25.4%。和这一期的锆石年龄相一致的岩体有南秦岭的陡岭群变玄武质岩体以及扬子陆块北缘的火地垭群^[13]。吕梁期岩浆锆石颗粒的火

山岩或侵入岩物源区在川西南和滇中、柴达木盆地南缘、塔里木板块以及华北地区的吕梁山都有分布。塔里木板块和柴达木盆地为海西期昆仑山褶皱带所围绕, 因此也排除其为吕梁期碎屑颗粒的物源区。北秦岭的秦岭群虽然在年龄上与之相一致, 但是该群岩体和我们所采的样品相比, 其 ΣREE、Ce/La 和 Th 的值远远高于样品这些元素的含量^[14], 因此, 可以排除其为物源区的可能性。再由表 3 通过五个构造单元上地壳化学组成特征对比可知, 吕梁期锆石颗粒应主要来自扬子板块北缘以及南秦岭。

四堡期的锆石颗粒根据其 U-Pb 年龄可分为两组: 分别为 1 800~1 600 Ma 及 1 600~1 000 Ma, 其中 1 800~1 600 Ma 的颗粒有 23 个, 1 600~1 500 Ma 的颗粒没有, 而 1 600~1 000 Ma 的颗粒有 9 个。和 1 800~1 600 Ma 期间的锆石年龄相一致的岩体有豫西地区熊耳群火山岩和扬子陆块北缘的铁船山群岩体^[15-16]。但稀土元素球粒陨石标准化的分配模式中熊耳群长英质火山岩表现为仅具有不太明显的 Eu 负异常^[17], 而我们稀土元素球粒陨石标准化的分配模式中却可见到明显的 Eu 负异常。

而对于 1 600~1 000 Ma 的锆石, 它和 1 000~800 Ma 的晋宁期锆石一起, 为中新元古代锆石颗粒。它们的年龄(1 600~800 Ma)和扬子地块北缘、秦岭造山带西南侧的勉略宁地区的碧口群火山岩的年龄

(1 611~ 764 Ma) 正相吻合。这套岩体由一套巨厚的绿泥片岩相浅变质火山沉积岩系组成。下部郭家沟组基性火山岩的 K-Ar 年龄为 1 000~ 1 500 Ma^[18]; 上部东沟坝组中酸性火山岩的 U-Pb 年龄为 800~ 900 Ma。况且, 该群岩体的稀土元素球粒陨石标准化的分配模式中可见到强烈的 Eu 负异常^[19], 其稀土元素分配曲线也非常接近于我们的稀土元素分配曲线。

而且, 李献华等人的研究也表明, 扬子块体西北缘在 860~ 750 Ma 期间存在大规模的岩浆活动, 并与 Rodina 超级大陆下的一个超级地幔柱活动有关^[19]。况且, 据法国人研究表明, 该时期碎屑锆石的物质组成也和扬子克拉通北缘的物质组成相一致。因此, 中新元古代的岩浆锆石颗粒应主要来自扬子克拉通北缘和南秦岭。

震旦纪的锆石颗粒有 12 颗, 年龄在 800~ 570 Ma 之间, 这样的锆石颗粒在华北板块是找不到的。这些颗粒的最可能的来源为扬子克拉通的北缘和西缘地区。锆石颗粒 03SGZ72-1. 1 的 Pb-Pb 年龄为 990 Ma 和扬子物源区年龄相一致, 因为在 900~ 1 000 Ma 期间就已提出沿着该板块的北缘发生了消减^[3]。

加里东期的锆石颗粒总共有 19 颗, 其中奥陶纪的占了 13 颗。这说明加里东期的岩浆活动主要集中在奥陶纪。这些颗粒只有两种成因。一部分是前期岩浆活动生成的颗粒在加里东期岩浆活动中受到了部分改造, 造成了一部分铅丢失; 另一部分是加里东期岩浆活动中新生的锆石颗粒。这些颗粒的可能来源有祁连山—北秦岭、昆仑岛弧以及南秦岭—北大巴山, 因为这些地方加里东期火山活动均有相当分布。

如果按照就近原则的话, 我们很可能认为这些颗粒来自南秦岭—北大巴山地带, 是由于志留—泥盆纪时华北板块与扬子板块对接促使古秦岭洋向西减退, 从而把这些碎屑物质带到松潘—甘孜盆地。但是, 早奥陶世—中奥陶世时, 华北陆块南缘抬升遭受剥蚀, 并且在东昆仑地区有岛弧活动出现, 而扬子板块早奥陶世为被动大陆边缘^[17], 川西、滇东一带沉积了具交错层理的砂岩与页岩, 代表滨岸沉积环境。

根据王学仁等和孙勇等通过研究该群火神庙组绿片岩上覆硅质岩中牙形石和放射虫化石表明, 北秦岭的二郎坪群火山岩的年龄主要为早、中奥陶世, 和我们所测得的这一期锆石年龄相一致^[20, 21]。另外, 二郎坪群火山岩稀土元素组成显示出 LREE 明显富集右倾型及 LREE 略亏损和稍富集平坦型的两种模式, 这也和我们的稀土元素组成图相符; 还有, 二郎坪

群变杂砂岩区别于丹凤群杂砂岩的显著特征是其高的 ΣREE 、 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 和低的 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{MgO}$ 比值 (分别为 109: 98.156: 0.80 和 3.64: 5.16), 这也和我们的样品中的数据相符 (见表 6)。

所以, 基于以上几点原因, 我们可以有理由认为加里东期的锆石颗粒最可能来自北秦岭。

晚古生代华力西期锆石颗粒主要集中在二叠纪, 而且这些锆石的年龄主要在 270~ 250 Ma 间, 正好和晚二叠世早期四川西部峨眉山玄武岩的年龄相一致。攀西地区晚二叠世—中三叠世为古陆隆起并遭受剥蚀, 这里的岩浆热事件是地幔柱和岩石圈相互作用的结果, 不是裂谷作用的产物^[22]。随后, 在晚二叠世晚期至早中三叠世, 该地区经历了一次海侵。因此, 这些碎屑锆石颗粒很可能就是海退过程中被带到松潘—甘孜盆地的。

对于印支期的两颗岩浆锆石颗粒, 其最可能的成因是印支期秦岭全面隆升时, 伴随其广泛而强烈地花岗岩活动所致, 且这一期花岗岩浆的年龄为 345~ 211 Ma^[23]。

6.2 侵蚀或沉积和板块机制间的关系

松潘—甘孜盆地积累了如此庞大的碎屑物质, 至今独一无二, 也给我们为判定其源区和地形形成的特殊机制带来了困难。这种抬升的地形的形成机制可发现在中三叠世时华北板块底部的松潘海洋的消减过程中, 这一过程伴随着华北板块南缘安第斯型山脉的形成^[3]。而且, 通过以上分析得知, 松潘—甘孜盆地碎屑物质的源区不可能是单一的, 最可能的两个物源区为扬子板块北缘和南秦岭。其它物源区, 不能说没有, 只能说几率很小。

豫西坳拉槽 (东起汝南、确山, 西至晋陕豫交界的潼关, 南临秦岭海槽) 在长城纪初为坳拉槽沉积, 先是沉积了大量碎屑岩、泥页岩建造, 接着就是熊耳群火山岩系大规模喷溢, 火山岩厚 6 000~ 7 000 m。在长城纪晚期—蓟县纪, 强烈的火山喷发之后, 豫西坳拉槽进入凹陷期演化阶段^[23, 24]。

中元古代末, 芹峪运动使豫西坳拉槽发生构造反转, 隆升变形, 成为剥蚀区。但是, 由于北秦岭是在新元古代从扬子板块裂解出去的^[17, 25], 并自那时开始做为华北板块南缘一个独立发展单元, 因此, 即使熊耳群火山岩经剥蚀向南搬运, 也不可能越过北秦岭的阻挡, 最多只能堆积在北秦岭的北缘。

由此, 我们可以断定, 熊耳群火山岩不可能为该期碎屑锆石颗粒的源区。

在中新元古代时期, 扬子板块早期古陆仅限于上扬子和康滇古陆, 周围均为活动的岛弧盆体系。西缘和北缘是以中元古界盐边群和峨边群等为代表的火山岩盆地。晋宁运动后, 扬子地区基本稳定下来^[26-27]。古生代时期, 扬子板块陆缘从活动状态向稳定状态转化。由此可判断, 晚四堡期、晋宁期和震旦期形成的锆石颗粒更可能来自扬子板块的西缘和北缘。并且也是由于古秦岭海的向西消减而被带到松潘—甘孜盆地的。

祁连山中南部和东昆仑地区的地槽状态始于中寒武世, 只是到了志留纪末等加里东运动才使整个祁连地槽封闭褶皱升起, 形成北西西向的褶皱系。况且, 祁连山离北秦岭较远, 因此, 其不可能为物源区。

有人提出松潘—甘孜盆地所积累的碎屑物质源自大别山造山带, 该造山带在晚三叠世的华北板块与扬子板块碰撞过程中被抬升后来遭受剥蚀。但是大别地区黄土岭麻粒岩锆石 9 次 Pb-Pb 测定表明大别古陆形成时代老于 2 814 Ma 麻粒岩相基底变质事件发生在约 2 000 Ma 左右^[28]; 大别山西部熊店加里东期榴辉岩锆石的峰变质年龄在 424~480 Ma (U-Pb) 之间^[29]; 北大别印支期燕子河片麻岩锆石的变质年龄在 238 Ma (U-Pb) 左右^[30]。

这样, 如果说松潘—甘孜盆地的碎屑物质大部分来自大别山造山带的话, 那么首先, 所研究的 130 颗锆石中应该存在年龄为 2 000 Ma 左右的变质锆石, 但我们所具有的 7 颗变质锆石中却找不到这一年龄段的颗粒; 其次, 在这 130 颗锆石颗粒中, 只有两粒属于印支期, 而这两粒又不是变质锆石; 再者, 在这 7 颗变质锆石颗粒中虽然有两颗锆石的年龄和加里东期榴辉岩变质锆石年龄相吻合, 但是我们并不能排除它们是由于先存锆石经过了某一局部地质条件的改变使其受到改造而成为变质锆石。

因此, 基于以上几点原因, 我们的结论是: 并不排除松潘—甘孜盆地内的碎屑物质有可能来自大别山造山带, 只是就现有的资料和数据来看, 只能说这些碎屑物质来自那里的可能性很小。

所以, 通过以上分析, 我们的结论是: 在所有岩浆期锆石颗粒中, 只有加里东期锆石可能来自北秦岭, 其余的锆石颗粒主要来自扬子板块北缘和南秦岭。

7 结语及有待解决的问题

对松潘—甘孜盆地内砂岩中单颗粒锆石传统的 U-Pb 分析表明: 松潘—甘孜盆地含有从晚太古代到

三叠纪的所有岩浆期锆石颗粒。其中晚太古代的碎屑颗粒最可能来自扬子板块的北缘; 吕梁期和早四堡期的碎屑颗粒最可能来自扬子板块的北缘和南秦岭; 晚四堡期—震旦纪和最可能来自扬子板块的北缘和西北缘; 加里东期的碎屑颗粒最可能来自北秦岭; 华力西期碎屑颗粒最可能来自扬子西北缘的峨嵋山玄武岩地区。因此, 今天松潘—甘孜盆地内的如此庞大的碎屑沉积物质其物源区不可能是单一的, 但就目前的分析来看, 其最可能的两个物源区为扬子板块北缘和南秦岭。但不管怎么说, 它们都是由于古秦岭洋的向西撤退而被搬运到了该盆地内。有待解决的问题: (1) 如果不以 $Th/U < 0.1$ 来区分锆石是否为变质锆石的话, 那么我们所研究的这 130 颗锆石颗粒中是否会存在更多的变质锆石? 如果这样的话, 其源区会不会扩展到包括大别山造山带。(2) 对所采的六个样品进行 Nd 同位素测试, 得到 $Sm-Nd$ 等时线年龄及 ϵ_{Nd} 值, 从而判断样品的源区特征。

致谢 论文在写作和修改过程中, 张本仁院士、郭敬辉研究员以及张华峰博士提出了宝贵的意见, 在此表示感谢。另外, 感谢聂兰仕同学提供了相关的资料和必要的图件。

参考文献 (References)

- Nie S, Yin A, Rowley D B, *et al*. Exhumation of the Dabie Shan ultrahigh-pressure rocks and accumulation of the Songpan-Ganze flysch sequence, central China. *Geology*, 1994, 22: 999~1002.
- 李曙光, 刘德良, 陈移之, 等. 扬子陆块北缘地壳的钕同位素组成及其构造意义. *地球化学*, 1994, 23(增刊): 10~17 [Li Shuguang, Liu Deliang, Chen Yizhi, *et al*. Neodymium isotopic compositions of continental crust in the northern margin of Yangtze block and its tectonic implications. *Geochimica*, 1994, 23(Supp): 10~17].
- 杨逢清, 殷鸿福, 杨恒书, 等. 松潘甘孜地块与秦岭褶皱带、扬子地台地关系及其发展史. *地质学报*, 1994, 68(3): 208~218 [Yang Fengqing, Yin Hongfu, Yang Hengshu, *et al*. The Songpan-Ganze massif: its relationship with the Qinling fold belt and Yangtze platform and development. *Acta Geologica Sinica*, 1994, 68(3): 208~218].
- Bruquier O, Lancelotti JR, Mahville J. U-Pb dating on single detrital zircon grains from the Triassic Songpan-Ganze flysch (Central China): provenance and tectonic connections. *Earth and Planetary Science Letters*, 1997, 152: 217~231.
- Zhou Meifu, Yan Danping, *et al*. SHRIMP U-Pb zircon geochronological and geochemical evidence for Neoproterozoic arc-magmatism along the western margin of the Yangtze Block, South China. *Earth and Planetary Science Letters*, 2002, 196: 51~67.
- 潘兆麟. *结晶学与矿物学*. 北京: 地质出版社, 2001. 169~174 [Pan Zhaolin. *Crystallography and Mineralogy*. Beijing: Geological Publishing House, 2001. 169~174].

- 7 杨学明, 杨晓勇, 等. 岩石地球化学. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2000 150~170 [Yang Xueming, Yang Xiaoyong *et al.* Rock Geochemistry. Hefei: Chinese University of Science and Technology Press, 2000 150~170]
- 8 苏本勋, 陈越龙, 兰中伍, 等. 松潘—甘孜地块前寒武纪—三叠系沉积岩地球化学研究. 沉积学报, 2005, 23(3): 487~497 [Su Bensun, Chen Yuecong, Lan Zhongwu *et al.* The Precambrian-Triassic sedimentary geochemical study of the Songpan-Ganze block. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2005, 23(3): 487~497]
- 9 秦克令, 宋述光, 何世平. 陕西勉略宁区鱼洞子花岗岩—绿岩地体地质特征. 西北地质科学, 1992, 13(1): 65~74 [Qin Keling, Song Shuguang, He Shiping. The geological characteristics of the Yudongzi granite-greenstone terrain and its gold-bearing property in Mianlue Ning area Shanxi. *Northwest Geoscience*, 1992, 13(1): 65~74]
- 10 张宗清, 张国伟, 唐素寒, 等. 鱼洞子群变质岩年龄及秦岭造山带太古宙基底. 地质学报, 2001, 75(2): 198~204 [Zhang Zongqing, Zhang Guowei, Tang Suohan *et al.* On the age of metamorphic rocks of the Yudongzi Group and the Archean crystalline basement of the Qinling orogen. *Acta Geologica Sinica*, 2001, 75(2): 198~204]
- 11 高山, 齐玉麟, 凌文黎. 崆岭高级变质地体单颗粒锆石 SHRMP U-Pb 年代学研究—扬子克拉通 > 3.2Ga 陆壳物质的发现. 中国科学(D), 2001, 31(1): 27~35 [Gaoshan, Qiyulin, Ling Wenli. Single zircon SHRMP U-Pb geochronological study on Kongling high metamorphic terrane: discovery of more than 3.2Ga continental crust in Yangtze craton. *Science in China (Series D)*, 2001, 31(1): 27~35]
- 12 李英, 赵东林, 何瑞芳. 北秦岭东部变质岩系同位素年代学及热历史研究. 西安地质学院学报, 1994, 16(3): 1~9 [Li Ying, Zhao Donglin, He Ruifang. Discussion of isotopic geochronology and heat history of metamorphic rocks series in eastern part of the North Qinling ranges. *Journal of Xi'an College of Geology*, 1994, 16(3): 1~9]
- 13 张宗清, 张国伟, 付国民, 等. 秦岭变质地层年龄及其构造意义. 中国科学(D), 1996, 26(3): 216~222 [Zhang Zongqing, Zhang Guowei, Fu Guannin *et al.* The ages of Qinling metamorphic strata and their tectonic implications. *Science in China (Series D)*, 1996, 26(3): 216~222]
- 14 Gao Shan, Zhang Benren, Gu Xiaoming *et al.* Silurian-Devonian coupling of the North China and Yangtze plates: evidence from the geochemistry of sedimentary rocks. *Science in China (B)*, 1991, 34(11): 1372~1380
- 15 任富根, 李惠民, 殷艳杰, 等. 熊耳群火山岩系等上限年龄及其地质意义. 前寒武纪研究进展, 2000, 23(3): 140~146 [Ren Fugen, Li Huimin, Yin Yanjie *et al.* The upper chronological limit of Xiong'er Group's volcanic rock series and its geological significance. *Progress in Precambrian Research*, 2000, 23(3): 140~146]
- 16 凌文黎, 周炼, 张宏飞, 等. 扬子克拉通北缘元古宙基底同位素地质年代学和地壳增生历史: 火地堰群. 地球科学, 1996, 21(5): 495~500 [Ling Wenli, Zhou Lian, Zhang Hongfei *et al.* Isotopic geochronology and crustal growth of proterozoic basement along the northern margin of Yangtze craton: The Huodiyan group. *Earth Science*, 1996, 21(5): 495~500]
- 17 张本仁, 高山. 秦岭造山带地球化学. 北京: 科学出版社, 2002. 150~180 [Zhang Benren, Gao Shan. *Geochemistry of Qinling Orogenic Belt*. Beijing: Science Press, 2002. 150~180]
- 18 陕西省地质矿产局. 陕西省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1980 [Shaanxi Bureau of Geological Mineralogy. *Shaanxi Regional Geological Magazine*. Beijing: Geological Publishing House, 1980]
- 19 李献华, 李正详, 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. 地学前缘, 2002, 9(4): 329~338 [Lixianhua, Lizhengxiang, Zhou Hanwen *et al.* U-Pb zircon geochronological geochemical and Nd isotopic study of neoproterozoic basaltic magmatism in western Sichuan: Petrogenesis and geodynamic implications. *Earth Science Frontiers*, 2002, 9(4): 329~338]
- 20 王学仁, 华洪, 孙勇. 河南西峡湾潭地区二郎坪群微体化石研究. 西北大学学报, 1995, 25(4): 353~358 [Wang Xueren, Hua Hong, Sun Yong. A study on microfossils of the Erlangping Group in Wantan area, Xixia county, Henan Province. *Journal of Northwest University*, 1995, 25(4): 353~358]
- 21 孙勇, 卢欣祥, 韩松, 等. 北秦岭早古生代二郎坪蛇绿岩片的组成和地球化学. 中国科学(D), 1996, 26(增刊): 49~55 [Sun Yong, Lu Xinxiang, Han Song *et al.* The composition and geochemistry of the north Qinling in early Paleozoic Erlangping ophiolite. *Science in China (D)*, 1996, 26(Supp): 49~55]
- 22 何斌, 徐义刚, 肖龙, 等. 潘西裂谷存在吗? 地质论评, 2003, 49(6): 572~582 [He Bin, Xu Yigang, Xiao Long *et al.* Does the Panzhuo-Xichang rift exist? *Geological Review*, 2003, 49(6): 572~582]
- 23 车自成, 刘良, 罗金海. 中国及其邻区区域大地构造学. 北京: 科学出版社, 2001. 30~40, 278~432 [Che Zicheng, Liu Liang, Luo Jinhai. *Regional earth tectonics of China and its adjacent areas*. Beijing: Science Press, 2001. 278~432]
- 24 夏天亮, 刘衍伦. 中国区域地质. 北京: 地质出版社, 1990. 72~90 [Xiantianliang, Liuyanlin *et al.* *Regional Geology in China*. Geological Publishing House, 1990. 72~90]
- 25 陆松年, 李怀坤, 陈志宏, 等. 新元古时期中国古大陆与罗迪尼亚超大陆的关系. 地学前缘, 2004, 11(2): 515~521 [Lu Songnian, Li Huaikun, Chen Zhihong *et al.* Relationship between neoproterozoic cratons of China and the Rodinia. *Earth Science Frontiers*, 2004, 11(2): 515~521]
- 26 蔡希源, 康玉柱. 中国古生代海相油气田形成条件与分布. 乌鲁木齐: 新疆科技工业出版社, 2002. 17~59 [Caixiyuan, Kangyuzhu. *The Gas and Oil Field Forming Conditions of Paleozoic and Its Distribution in China*. Urumqi: Xinjiang Science and Technology and Industry Press, 2002. 17~59]
- 27 刘本培, 金秋琦. 地史学教程. 北京: 地质出版社, 1996. 110~132 [Liubenpei, Jin Qiuqi. *Geological History Teaching Course*. Beijing: Geological Publishing House, 1996. 110~132]
- 28 吴元保, 陈道公, 夏群科, 等. 北大别黄土岭麻粒岩锆石 U-Pb 离子探针定年. 岩石学报, 2002, 18(3): 378~382 [Wu Yuanbao, Chen Daogong, Xia Qunko *et al.* SM-SU-Pb dating of zircons in granulite of Huangtuling from Northern Dabie Shan. *Acta Petrologica*

Sinica 2002, 18(3): 378~382]

29 简平, 刘敦一, 杨巍然, 等. 大别山西部熊店加里东期榴辉岩锆石离子探针定年. 科学通报, 2000, 45(19): 2090~2093 [Jian Ping Li Dunyi Yang Weiran *et al.* Zircon ion probe dating on the Xong-dian Caledonian eclogite of north Dabie. Chinese Science Bulletin 2000, 45(19): 2090~2093]

30 葛宁洁, 夏群科, 吴元保, 等. 北大别燕子河片麻岩的锆石 U-Pb 年龄: 印支期变质事件等确定. 岩石学报, 2003, 19(3): 513~516 [Ge Ningjie Xia Qunke Wu Yuanbao *et al.* Zircon U-Pb ages of Yanzhe gneiss from Northern Dabie, China: evidence for Jurassic metamorphism. Acta Petrologica Sinica 2003, 19(3): 513~516]

The Origin of Sandstones from the Songpan-Ganze Basin, Sichuan, China: evidence from SHRMP U-Pb dating of clastic zircons

LAN Zhong-wu^{1,2} CHEN Yue-long¹ SU Ben-xun^{1,2} LU Fei¹ ZHANG Hong-fei³

(1. College of Earth Sciences and Resources, Chinese University of Geosciences, Beijing 100083

2. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029;

3. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049;

4. School of Earth Sciences, Chinese University of Geosciences, Wuhan 430074)

Abstract The Songpan-Ganze basin (Central China) covers a huge triangular area of more than 200,000 km² and is bounded by the continental blocks of South China, North China and the Tibetan plateau. The six sandstone samples collected from this belt were analyzed grain-by-grain using SHRMP U-Pb method. The detrital zircons yield a wide range of ages, which are focused on Proterozoic with minor contribution from late Archean material. The discordance and Pb loss patterns from low U zircons indicate that they might be resulted from the subsequent magmatism events, including the Sibao to the Indosinian periods. The Caledonian appearance of zircons indicates that the origin of these clastic sediments might originate from the Northern Qinling belt, other zircons originated mainly from the north margin of the Yangtze craton and the south Qinling belt.

Key words Songpan-Ganze; clastic sediments; U-Pb dating method on zircons; origin