

鄂尔多斯盆地西南缘崆峒山组砾岩中的碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年及其构造意义

杨华^{1,2)}, 辛补社³⁾, 付金华^{1,2)}, 姚泾利^{1,2)}, 王多云³⁾

1) 中国石油长庆油田公司, 西安, 710018; 2) 低渗透油气田勘探开发国家工程实验室, 西安, 710018;
3) 北京师范大学资源学院, 北京, 100875

内容提要: 甘肃省平凉崆峒山地区是崆峒山组地层命名所在地, 该套地层主要由大套红色砾岩层组成, 通常称为崆峒山组砾岩。长期以来, 对崆峒山组砾岩的成因、形成时代和物源存在争议。本文选取崆峒山组砾岩层中的3块砾石为研究对象, 运用 LA-ICP-MS 方法对砾石样品中的碎屑锆石进行了年代学研究。结果表明, 崆峒山组砾岩碎屑锆石年龄谱可分为 380 ~ 479Ma、561 ~ 1198Ma、1285 ~ 1982Ma、2319 ~ 2612Ma 和 2714 ~ 2764Ma 共 5 个年龄区间。依据崆峒山组砾岩碎屑锆石年龄谱分布特征, 以及前人研究成果, 认为崆峒山组砾岩的主要物源来源于秦祁造山带, 少量来源于阿拉善地块和鄂尔多斯地块。崆峒山组砾岩的沉积时代为中三叠世至晚三叠世, 崆峒山组砾岩是秦祁造山带造山过程的沉积响应, 而非板内造山带的产物。

关键词: 鄂尔多斯盆地; 崆峒山组砾岩; 碎屑锆石; 物源; 沉积时代

崆峒山组砾岩是指分布于鄂尔多斯盆地西南缘崆峒山、泾河峡谷、大台子等地区, 以崆峒山地区为代表的一套红色粗砂砾岩系(甘肃省地质矿产局, 1989, 1997)。在大地构造位置上, 该套岩系位于西秦岭—祁连山与贺兰山—六盘山断褶带的交叉部位, 大地构造位置十分重要, 使其成为研究鄂尔多斯盆地中生代地层、沉积相和构造演化时不可回避、必须涉及的问题(刘化清等, 2006; 宋立军等, 2009)。长期以来, 研究者从不同角度对其进行了研究, 得出一些重要的成果, 但目前分歧依然颇多。首先, 对崆峒山组砾岩的成因环境存在分歧, 一种观点认为其形成与盆地西缘逆冲推覆体相关(陈刚, 1999; 王宏强, 2001); 另一种观点认为其形成与盆地南缘的秦祁造山带有关(刘和甫, 2001; 刘池洋等, 2005; 刘化清等, 2006; 赵红格等, 2007)。其次, 对于崆峒山砾岩的沉积时代, 有晚二叠世(刘绍龙, 1957)、中三叠至晚三叠世(甘肃省地质矿产局, 1997)、晚三叠世(刘化清等, 2006; 宋立军等, 2009)、晚侏罗世(康立权, 2009)和早白垩世^①等不同的观点。对于崆峒山组砾岩的来源, 也有不同的认识(刘化清等, 2006; 赵文智等, 2006; 杨华等, 2011)。

利用碎屑锆石年龄分布特征以及 Hf 同位素, 来

确定沉积物的物源、沉积时代和探讨区域构造演化等方面起着越来越重要的作用(Gehrels et al., 2003; Dickinson and Gehrels, 2009; Li Hongyan et al., 2010; Zhu Xiyan et al., 2011; Zhang Jin et al., 2011; 王超等, 2012; 张进等, 2012)。近期研究表明, 华北克拉通西部陆块西南部在早白垩世岩石圈已发生减薄(张宏法等, 2012), 在中三叠世可能暗示已活化(翁凯等, 2012)。崆峒山组砾岩作为鄂尔多斯盆地西南缘及周边地块构造演化的产物, 记录和保存了秦祁造山带的隆升剥蚀过程, 以及华北克拉通西部陆块活化等地质信息, 对其进行碎屑锆石 U-Pb 年代学研究, 对确定崆峒山组砾岩的形成环境、沉积时代和物质来源, 并最终为解释盆地西南缘的沉积边界、古地理和盆地构造属性, 以及对了解西秦岭—北祁连山造山带的造山过程, 华北克拉通的破坏, 均有重要地质意义。

1 地质背景

崆峒山组地层单元源于崆峒山系, 为毕庆昌和徐铁良二位学者于 1944 年手稿命名。崆峒山系以岩性之不同, 可以分为上下两部分。下部主要为紫红色砂岩、页岩、砂质页岩及粘土岩, 厚度在 300m

注: 本文为国家重大科技专项(编号 2011ZX05044)项目的成果。

收稿日期: 2013-02-26; 改回日期: 2013-12-10; 责任编辑: 黄敏。

作者简介: 杨华, 男, 博士, 教授级高级工程师。主要从事石油地质综合研究及油气勘探管理工作。Email: yh_cq@petrochina.com.cn。

左右;上部主要为砾岩,偶夹薄层紫红色砂岩,砾岩以灰色砂质石灰岩为主,石英岩及砂岩亦常见,砾石大小不等,排列无序,多具半棱角或者半圆形,胶结物为紫红色粘土及灰质,胶结结实,据毕庆昌和徐铁良二人估计,其厚度约在 700 ~ 2000m 之间,著名的

崆峒山即由此岩系组成(刘绍龙,1957)。崆峒山组(系)砾岩分布于鄂尔多斯盆地西南缘的崆峒山、泾河峡谷、十万沟、大阴山、大台子等地区,以崆峒山为代表的一套红色粗碎屑砂砾岩系,其上被六盘山群三桥组紫红色砾岩不整合覆盖,其下与上二叠统石

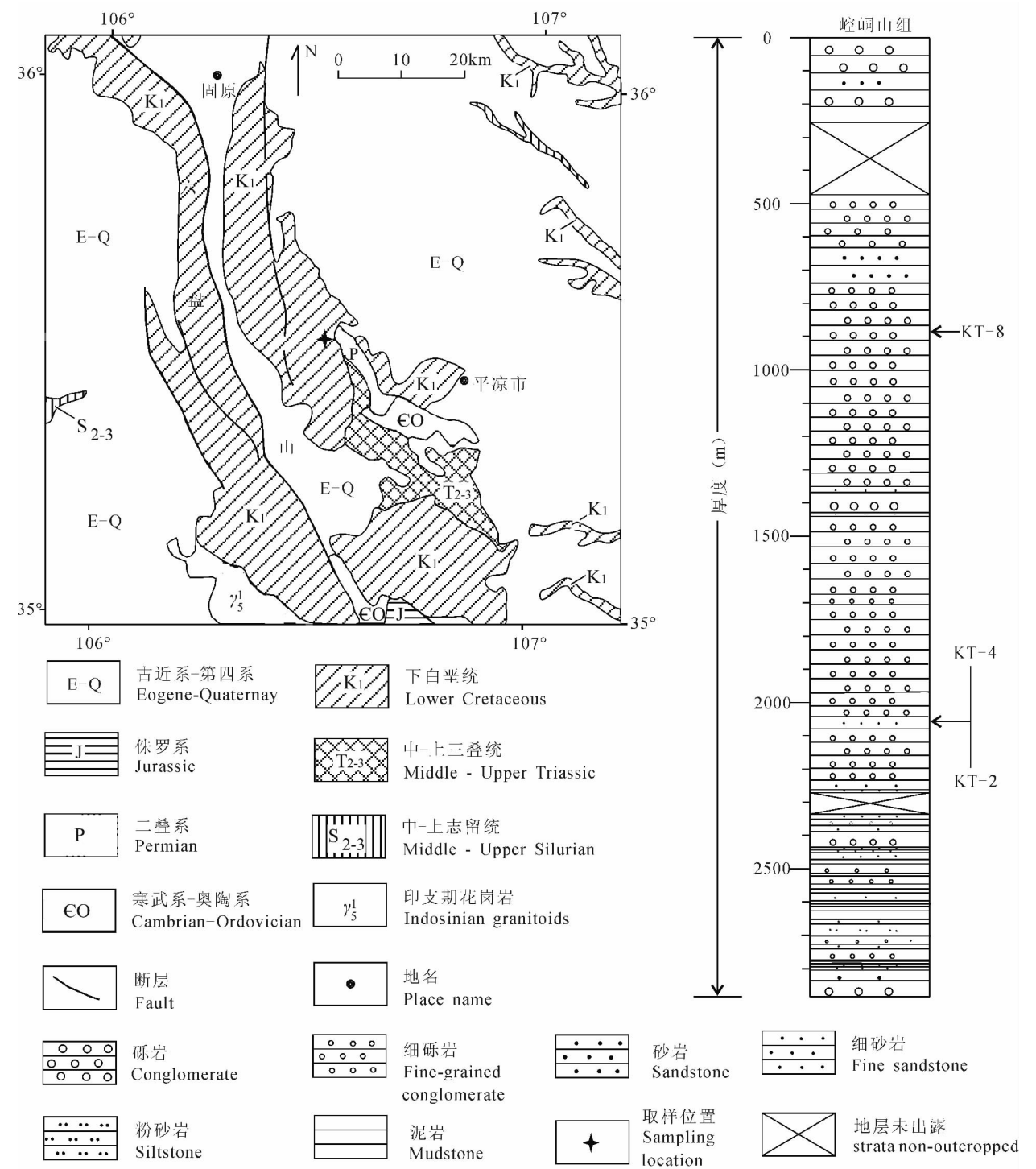


图 1 鄂尔多斯盆地西南缘崆峒山地区地质简图及取样位置

Fig. 1 Geologic sketch map of the Kongtongshan region in the southwestern Ordos basin and showing the sampling position

千峰组褐红色砂页岩整合、假整合接触(甘肃省地质矿产局,1989,1997)。

崆峒山组砾岩为一典型冲积扇相沉积,具有进积式冲积扇序列,序列下部为紫红色、灰紫色细砂岩、含砾砂岩互层,具有大型槽状交错层理或者块状层理,为扇中辫状河、碎屑流沉积;序列上部为紫红色、紫褐色、灰褐色及灰黄色砾岩,不显示层理,具有反序粒特征,越往序列上部,粒径越大,分选性越差,含泥增多,粒径最大可达 50~80cm,为典型的扇根碎屑流沉积(彭荣华^②;付金华等,2005)。

宋立军等(2009)曾对崆峒山组砾岩中的砾石成分垂向分布特征进行了详细研究,崆峒山组砾岩地层底部砾石成分多为砂岩砾石(80%),石英岩砾石(12%)与灰岩砾石(8%)较少,其中砂岩砾石以红色砂岩砾石为主(64%),灰绿色砂岩砾石较少(16%);崆峒山组砾岩地层中上部,砾石成分以灰岩砾石为主,占70%以上,砂岩砾石、白云岩砾石和石英岩砾石较少,分别占整个砾石的14%、9%和7%;崆峒山组砾岩地层上部,砾石成分以灰岩砾石为主,占整个砾岩砾石的77%左右,其次为白云岩砾石(10%)、砂岩砾石(7%)和石英岩砾石(6%)。显然,崆峒山组砾岩地层底部以砂岩砾石为主,中上部地层以灰岩砾石为主。对于砂岩砾石的来源,刘化清等(2006)认为主要来源于下二叠统山西组砂岩;赵文智等(2006)则认为其主要源于中二叠统下石盒子组。对于灰岩砾石的来源,二位学者均认为源于中奥陶统三道沟灰岩(刘化清等,2006;赵文智等,2006)。杨华等(2011)则认为崆峒山组砾岩主要源于下伏地层和秦祁造山带。

2 样品与分析方法

考虑到崆峒山组砾岩地层上下部砾石成分的差异,本次共采集3块砾石样品,其中2块采集于崆峒山组砾岩地层的底部,样品编号分别为KT-2和KT-4,岩性均为砂岩砾石,采集于崆峒山景区客运中心去往崆峒山东门售票处的泾平公路边的野外露头,其中KT-2采样点地理坐标为N35°33′42.62″、E106°31′33.45″;KT-4采样点地理坐标为N35°33′42.09″、E106°31′32.99″。第3块样品采于崆峒山景区“上天梯”景点附近的小路边露头,样品编号为KT-8,岩性为花岗岩砾石,采样地点地理坐标为N35°32′56.29″、E106°31′0.49″。这3块砾石样品的具体采样位置和采样层位参见图1。

锆石的挑选是在河北省廊坊市区域地质调查

院,进行专业化锆石挑选工作。挑选好的锆石送往北京离子探针中心,进行拍照和制靶等工序,具体制靶流程参考宋彪等(2002)的文献。锆石 U-Pb 同位素年龄的测定是在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室(GPMR)完成的。激光剥蚀系统为 GeoLas2005, ICP-MS 为 Agilent 7500a, 激光束斑为 32 μ m, 激光剥蚀过程采用氦气作为载气, 氩气作为补偿气, 并在等离子体气流中加入少量氮气, 以提高仪器的灵敏度、降低检出限和改善分析精密性等(Hu Zhaochu et al., 2008)。普通 Pb 的校正采用 Andersen(2002)的方法进行同位素比值校正, U-Pb 定年采用锆石标准 91500 作为外标, 进行同位素分馏校正, 每隔分析 5 个样品点, 分析 2 次 91500。锆石标准 91500 的 U—Th—Pb 同位素比值依据 Wiedenbeck 等(1995)的文献。数据处理采用软件 ICPMSDataCal 完成(Liu Yongsheng et al., 2008), 详细仪器操作流程和数据处理方法见 Liu Yongsheng 等(2008, 2010a, 2010b)的文献。单个数据的误差为 1 σ , 样品年龄加权平均值的误差为 2 σ 。锆石 U-Pb 谐和图和年龄分布直方图的绘制、以及年龄加权平均值的计算采用 Ludwig(2003)博士编写的 Isoplot 软件完成。文中数据排除不谐和度 > 10% 的测试点。对于 < 1000Ma 的锆石颗粒采用²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄, 对于 > 1000Ma 的锆石颗粒采用更准确的²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄。

3 分析结果

样品 KT-2、KT-4 和 KT-8 中的碎屑锆石各测点的 U、Th、Pb 含量及 Th/U 比值, U-Pb 表面年龄详见表 1, 锆石 U-Pb 年龄谐和曲线与年龄直方图见图 2, 代表性锆石颗粒阴极发光照片见图 3。

样品 KT-2: 镜下观察样品 KT-2 中的锆石颗粒呈现浅黄色或者无色透明, 晶形以次圆和次棱角状为主, 长柱状锆石颗粒很少见, 暗示锆石颗粒可能经历长距离搬运, 或者经历多期沉积旋回。锆石颗粒大小介于 50~100 μ m 之间。锆石的 Th 含量为 0.7 $\times 10^{-6}$ ~2423 $\times 10^{-6}$, U 含量 54 $\times 10^{-6}$ ~3975 $\times 10^{-6}$, Th/U 比值为 0.01~2.3, 平均值 0.77。锆石 CL 图像显示多数锆石颗粒具有弱的震荡环带、均色或者不规则分带结构, 有的也见增生边结构(图 3)。本次随机对 66 颗锆石进行了分析, 其中有 5 颗锆石 U-Pb 年龄谐和度较低(<90%), 未参与讨论, 其余 61 颗锆石的年龄为有效数据。直方图统计结果显示(图 2b), 锆石 U-Pb 年龄变化介于 458 ± 6 ~

表 1 鄂尔多斯盆地西南缘崆峒山组砾岩中的碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年结果
Table 1 Detrital zircon LA-ICP-MS U-Pb dating results of Kongtongshan Formation Conglomerate
in the southwestern margin of Ordos basin

点号	元素含量(×10 ⁻⁶) 及比值				同位素比值						年龄(Ma)					
	Pb*	Th	U	Th/U	$\frac{n(^{206}\text{Pb})}{n(^{238}\text{U})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{235}\text{U})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{206}\text{Pb})}$		$\frac{n(^{206}\text{Pb})}{n(^{238}\text{U})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{235}\text{U})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{206}\text{Pb})}$	
					测值	±1σ	测值	±1σ	测值	±1σ	测值	±1σ	测值	±1σ	测值	±1σ
样品编号 KT-2																
01	360.7	509.3	739.2	0.69	0.1994	0.0025	2.1809	0.0749	0.0782	0.0028	1172	14	1175	24	1152	48
02	782.6	74.3	1395.4	0.05	0.4798	0.0054	11.0916	0.3728	0.1653	0.0060	2526	23	2531	31	2511	41
03	856.1	2053.7	893.4	2.30	0.1643	0.0029	1.5438	0.0546	0.0674	0.0024	980	16	948	22	850	44
04	376.4	283.4	254.5	1.11	0.4463	0.0084	10.7176	0.3819	0.1721	0.0060	2379	37	2499	33	2578	35
05	14.1	0.7	166.5	0.01	0.0995	0.0032	1.0812	0.1224	0.0788	0.0093	611	19	744	60	1168	244
06	109.6	179.3	314.2	0.57	0.1660	0.0031	1.7143	0.0795	0.0752	0.0038	990	17	1014	30	1072	63
07	639.5	1088.1	1145.8	0.95	0.2265	0.0053	3.0684	0.1201	0.0972	0.0035	1316	28	1425	30	1570	40
08	327.6	129.0	172.6	0.75	0.7040	0.0099	27.6383	0.8572	0.2821	0.0090	3436	38	3406	30	3375	31
09	380.9	622.1	822.3	0.76	0.1740	0.0020	1.9000	0.0702	0.0787	0.0030	1034	11	1081	25	1163	55
10	89.3	153.0	145.9	1.05	0.1958	0.0038	2.1075	0.1321	0.0776	0.0048	1153	20	1151	43	1136	94
11	358.2	820.5	819.5	1.00	0.1388	0.0030	1.2860	0.0519	0.0672	0.0027	838	17	840	23	844	49
12	129.2	292.3	366.7	0.80	0.1322	0.0023	1.2509	0.0623	0.0685	0.0034	800	13	824	28	884	75
13	385.2	440.8	479.1	0.92	0.2786	0.0038	3.8138	0.1528	0.0988	0.0039	1584	19	1596	32	1602	54
14	611.1	859.4	1237.3	0.69	0.2647	0.0069	3.8299	0.1547	0.1037	0.0032	1514	35	1599	33	1691	38
15	1614.4	1076.3	1295.1	0.83	0.4504	0.0047	9.9957	0.2780	0.1596	0.0043	2397	21	2434	26	2451	33
16	155.3	128.5	332.1	0.39	0.2582	0.0037	3.4089	0.1242	0.0955	0.0036	1481	19	1506	29	1539	47
17	323.0	1038.4	841.9	1.23	0.1023	0.0014	0.9413	0.0475	0.0656	0.0031	628	8	674	25	792	83
18	69.8	146.8	179.7	0.82	0.1337	0.0034	1.4160	0.0879	0.0784	0.0050	809	19	896	37	1156	83
19	267.1	245.1	656.8	0.37	0.2371	0.0031	2.7973	0.0943	0.0850	0.0028	1372	16	1355	25	1315	45
20	726.6	768.0	1033.8	0.74	0.2734	0.0030	3.5234	0.0968	0.0931	0.0026	1558	15	1532	22	1489	35
21	1346.0	2423.0	1552.2	1.56	0.2642	0.0036	4.0416	0.1088	0.1106	0.0029	1511	19	1643	22	1810	29
22	239.1	469.6	517.8	0.91	0.1640	0.0026	1.5621	0.0640	0.0692	0.0029	979	14	955	25	905	58
23	383.2	175.5	303.6	0.58	0.5584	0.0094	14.8107	0.4699	0.1926	0.0060	2860	39	2803	30	2764	30
24	212.7	432.3	755.3	0.57	0.1362	0.0021	1.1688	0.0506	0.0623	0.0027	823	12	786	24	685	66
25	256.1	394.8	871.7	0.45	0.1630	0.0021	1.5949	0.0585	0.0707	0.0026	974	11	968	23	948	54
26	218.7	386.5	550.6	0.70	0.1686	0.0029	1.6212	0.0693	0.0696	0.0029	1004	16	978	27	917	60
27	89.9	82.9	442.8	0.19	0.1639	0.0030	1.5533	0.0694	0.0683	0.0029	979	17	952	28	877	62
28	856.5	587.9	558.6	1.05	0.5027	0.0080	10.8290	0.3036	0.1546	0.0040	2625	34	2509	26	2397	27
29	96.1	263.6	256.1	1.03	0.1144	0.0025	0.9932	0.0614	0.0637	0.0041	698	15	700	31	731	93
30	260.5	49.2	1685.7	0.03	0.1696	0.0023	1.6498	0.0519	0.0696	0.0022	1010	12	989	20	917	43
31	631.6	418.4	578.1	0.72	0.4463	0.0067	9.2234	0.2826	0.1476	0.0044	2379	30	2360	28	2319	32
32	101.5	410.5	242.7	1.69	0.0850	0.0017	0.7986	0.0607	0.0694	0.0056	526	10	596	34	911	124
33	435.2	319.2	759.3	0.42	0.3165	0.0054	4.6362	0.1285	0.1051	0.0028	1773	26	1756	23	1717	27
34	306.2	273.0	1691.9	0.16	0.1626	0.0027	1.5399	0.0457	0.0681	0.0020	971	15	946	18	872	35
35	806.8	355.5	622.4	0.57	0.5526	0.0069	14.5226	0.4357	0.1879	0.0057	2836	29	2784	29	2724	33
36	326.5	432.6	488.2	0.89	0.2255	0.0039	2.6500	0.1121	0.0840	0.0035	1311	21	1315	31	1292	55
37	17.1	21.3	54.0	0.39	0.1710	0.0053	1.8985	0.2028	0.0805	0.0090	1017	29	1081	71	1210	229
38	526.6	346.4	353.2	0.98	0.4490	0.0067	10.1212	0.3088	0.1615	0.0048	2391	30	2446	28	2472	32
39	235.9	260.8	735.6	0.35	0.1521	0.0024	1.6010	0.0630	0.0759	0.0030	913	13	971	25	1092	54
40	200.3	631.3	985.2	0.64	0.1080	0.0018	0.9432	0.0323	0.0631	0.0021	661	10	675	17	713	45
41	140.4	448.9	610.3	0.74	0.0948	0.0015	0.7962	0.0334	0.0618	0.0029	584	9	595	19	666	62
42	374.8	748.7	844.2	0.89	0.1475	0.0017	1.4541	0.0516	0.0713	0.0026	887	10	912	21	964	54
43	120.7	62.1	138.9	0.45	0.4415	0.0063	9.5398	0.3233	0.1556	0.0046	2357	28	2391	31	2409	38
44	101.7	54.0	204.3	0.26	0.3255	0.0048	4.9095	0.1729	0.1102	0.0039	1816	23	1804	30	1802	43
45	158.4	285.9	335.8	0.85	0.1658	0.0028	1.7548	0.0874	0.0769	0.0038	989	15	1029	32	1119	72
46	254.5	501.9	397.0	1.26	0.1785	0.0030	1.8202	0.0806	0.0739	0.0031	1059	16	1053	29	1039	62
47	602.3	439.0	282.9	1.55	0.5064	0.0060	12.1890	0.3204	0.1739	0.0046	2641	25	2619	25	2596	28

点号	元素含量($\times 10^{-6}$)及比值				同位素比值						年龄 (Ma)					
	Pb*	Th	U	Th/U	$\frac{n(^{206}\text{Pb})}{n(^{238}\text{U})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{235}\text{U})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{206}\text{Pb})}$		$\frac{n(^{206}\text{Pb})}{n(^{238}\text{U})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{235}\text{U})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{206}\text{Pb})}$	
					测值	$\pm 1\sigma$	测值	$\pm 1\sigma$	测值	$\pm 1\sigma$	测值	$\pm 1\sigma$	测值	$\pm 1\sigma$	测值	$\pm 1\sigma$
48	92.1	131.5	249.4	0.53	0.1821	0.0030	1.6991	0.0862	0.0684	0.0036	1079	16	1008	32	881	77
49	119.8	410.1	375.1	1.09	0.0964	0.0017	0.7692	0.0490	0.0584	0.0038	593	10	579	28	546	109
50	108.5	139.3	258.2	0.54	0.2183	0.0039	2.3830	0.1068	0.0789	0.0035	1273	21	1238	32	1170	60
51	159.8	352.8	218.3	1.62	0.1641	0.0034	1.5787	0.0920	0.0696	0.0041	979	19	962	36	917	86
52	225.4	346.1	478.2	0.72	0.1991	0.0029	2.0526	0.0699	0.0746	0.0026	1170	15	1133	23	1058	45
53	419.3	257.7	569.6	0.45	0.3809	0.0057	5.8599	0.1845	0.1106	0.0034	2080	26	1955	27	1809	36
54	318.8	520.6	512.3	1.02	0.2070	0.0039	2.1915	0.0862	0.0767	0.0031	1213	21	1178	27	1112	49
55	167.7	508.2	563.1	0.90	0.1027	0.0017	0.7971	0.0466	0.0551	0.0030	630	10	595	26	416	100
56	417.7	313.6	242.9	1.29	0.4741	0.0084	10.5442	0.3315	0.1610	0.0051	2501	37	2484	29	2466	30
57	47.1	75.7	66.7	1.13	0.2083	0.0065	2.4331	0.1885	0.0858	0.0065	1220	35	1252	56	1334	102
58	241.6	372.3	988.9	0.38	0.1793	0.0030	1.9152	0.0728	0.0765	0.0026	1063	17	1086	25	1108	49
59	175.7	252.1	651.0	0.39	0.1531	0.0022	1.3682	0.0532	0.0644	0.0026	918	12	875	23	755	58
60	400.6	227.2	281.8	0.81	0.4951	0.0089	12.0174	0.3873	0.1756	0.0058	2592	38	2606	30	2612	30
61	148.4	441.8	509.5	0.87	0.0992	0.0018	0.7874	0.0457	0.0576	0.0034	610	11	590	26	515	95
62	659.2	234.9	451.7	0.52	0.6330	0.0077	20.1516	0.5721	0.2283	0.0065	3162	30	3099	27	3040	30
63	405.1	1992.7	3975.4	0.50	0.0736	0.0010	0.6639	0.0199	0.0648	0.0019	458	6	517	12	769	40
64	219.3	392.7	419.9	0.94	0.1690	0.0025	1.5657	0.0653	0.0668	0.0028	1007	14	957	26	830	62
65	385.5	413.5	1511.4	0.27	0.1744	0.0021	1.8083	0.0575	0.0745	0.0024	1036	11	1048	21	1055	45
66	931.5	597.9	637.8	0.94	0.4541	0.0072	9.8121	0.2635	0.1555	0.0042	2413	32	2417	25	2407	25
样品编号 KT-4																
01	221.8	199.2	219.3	0.91	0.3456	0.0073	5.3141	0.2250	0.1117	0.0044	1913	35	1871	36	1827	47
02	191.3	402.9	186.0	2.17	0.1859	0.0037	1.9572	0.1043	0.0759	0.0039	1099	20	1101	36	1091	74
03	531.3	485.4	813.8	0.60	0.2933	0.0051	3.9637	0.1191	0.0976	0.0029	1658	25	1627	24	1578	31
04	191.5	466.6	362.4	1.29	0.1351	0.0023	1.1510	0.0595	0.0619	0.0033	817	13	778	28	671	81
05	1418.3	1139.1	1625.3	0.70	0.3486	0.0046	5.2900	0.1848	0.1085	0.0037	1928	22	1867	30	1774	44
07	194.8	437.1	1016.9	0.43	0.1049	0.0020	0.7931	0.0365	0.0543	0.0027	643	11	593	21	383	69
08	322.2	364.6	722.1	0.50	0.2179	0.0035	2.3826	0.0761	0.0781	0.0024	1271	18	1237	23	1150	39
09	375.8	1018.2	3384.9	0.30	0.0691	0.0009	0.5282	0.0164	0.0544	0.0017	431	5	431	11	388	47
10	761.5	1151.9	12185.5	0.09	0.0608	0.0010	0.4755	0.0142	0.0562	0.0018	380	6	395	10	458	39
11	352.2	335.0	706.5	0.47	0.2317	0.0045	2.7610	0.1335	0.0864	0.0045	1343	24	1345	36	1348	103
12	283.0	350.1	1097.5	0.32	0.1588	0.0024	1.5250	0.0571	0.0682	0.0026	950	13	940	23	875	52
13	787.2	495.6	1276.6	0.39	0.3390	0.0057	5.3593	0.1648	0.1125	0.0034	1882	27	1878	26	1841	32
14	344.1	639.5	1597.9	0.40	0.1189	0.0019	1.0841	0.0380	0.0653	0.0023	724	11	746	19	783	47
16	130.6	284.9	336.3	0.85	0.1348	0.0030	1.4941	0.0695	0.0811	0.0040	815	17	928	28	1223	57
17	380.5	450.2	484.8	0.93	0.2566	0.0041	3.3885	0.1221	0.0947	0.0032	1472	21	1502	28	1521	44
18	183.4	281.2	517.3	0.54	0.1625	0.0027	1.6679	0.0660	0.0740	0.0029	971	15	996	25	1043	53
19	386.6	452.1	739.0	0.61	0.2275	0.0043	2.6328	0.0930	0.0839	0.0030	1321	23	1310	26	1290	40
20	561.6	1860.6	4300.1	0.43	0.0700	0.0011	0.5533	0.0175	0.0570	0.0018	436	7	447	11	490	42
21	144.2	216.7	342.0	0.63	0.1630	0.0053	2.0003	0.0950	0.0900	0.0041	973	29	1116	32	1425	45
22	271.8	345.2	978.1	0.35	0.1660	0.0025	1.6611	0.0568	0.0715	0.0023	990	14	994	22	970	45
23	593.8	758.0	1566.2	0.48	0.1870	0.0024	2.2068	0.0674	0.0846	0.0027	1105	13	1183	21	1307	39
24	407.7	137.1	1899.7	0.07	0.1051	0.0039	0.9631	0.0642	0.0654	0.0031	644	23	685	33	788	79
25	328.3	339.8	931.8	0.36	0.2038	0.0045	2.6007	0.1040	0.0919	0.0037	1195	24	1301	29	1464	43
26	240.9	572.3	591.4	0.97	0.1269	0.0020	1.2407	0.0507	0.0702	0.0029	770	11	819	23	934	58
27	237.8	370.1	741.5	0.50	0.1508	0.0033	1.5281	0.0646	0.0727	0.0029	905	18	942	26	1007	51
28	1142.0	1485.1	975.3	1.52	0.2669	0.0039	3.8392	0.1229	0.1030	0.0032	1525	20	1601	26	1679	38
29	204.5	342.5	560.1	0.61	0.1545	0.0032	1.7717	0.0731	0.0831	0.0034	926	18	1035	27	1272	49
30	599.6	1131.2	751.1	1.51	0.1762	0.0031	1.8790	0.0739	0.0766	0.0029	1046	17	1074	26	1110	51
31	1132.9	1469.5	2195.5	0.67	0.2463	0.0036	3.8683	0.1181	0.1132	0.0035	1420	19	1607	25	1851	34
32	546.5	1014.6	1151.7	0.88	0.1582	0.0027	1.5606	0.0524	0.0715	0.0025	947	15	955	21	973	41
33	417.5	823.6	1735.7	0.47	0.1241	0.0016	1.2159	0.0385	0.0704	0.0022	754	9	808	18	939	43
34	343.3	782.4	2713.5	0.29	0.0802	0.0013	0.7487	0.0313	0.0677	0.0030	497	8	567	18	860	95

点号	元素含量(×10 ⁻⁶) 及比值				同位素比值						年龄 (Ma)					
	Pb*	Th	U	Th/U	$\frac{n(^{206}\text{Pb})}{n(^{238}\text{U})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{235}\text{U})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{206}\text{Pb})}$		$\frac{n(^{206}\text{Pb})}{n(^{238}\text{U})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{235}\text{U})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{206}\text{Pb})}$	
					测值	±1σ	测值	±1σ	测值	±1σ	测值	±1σ	测值	±1σ	测值	±1σ
35	1141.6	515.0	1294.6	0.40	0.4676	0.0076	12.1560	0.3511	0.1868	0.0049	2473	33	2617	27	2714	27
36	642.8	850.7	2747.1	0.31	0.1891	0.0051	2.3293	0.1078	0.0877	0.0030	1116	28	1221	33	1376	49
37	172.2	301.0	453.0	0.66	0.1459	0.0026	1.3483	0.1016	0.0670	0.0052	878	14	867	44	838	166
38	236.8	74.2	1552.2	0.05	0.1552	0.0022	1.5710	0.0503	0.0734	0.0026	930	12	959	20	1026	72
39	220.6	1604.5	1398.0	1.15	0.0466	0.0007	0.4189	0.0195	0.0646	0.0031	294	5	355	14	761	72
40	336.9	245.1	165.5	1.48	0.4622	0.0081	10.2895	0.3748	0.1596	0.0056	2449	36	2461	34	2452	38
41	252.9	328.2	962.2	0.34	0.1576	0.0028	1.6235	0.0583	0.0741	0.0028	944	16	979	23	1045	44
42	495.4	540.3	2834.8	0.19	0.1277	0.0029	1.5411	0.0607	0.0858	0.0030	775	16	947	24	1334	42
43	166.3	181.9	330.2	0.55	0.2251	0.0053	2.7966	0.1256	0.0891	0.0038	1309	28	1355	34	1407	51
44	568.9	1426.6	1748.4	0.82	0.1710	0.0041	2.0135	0.0890	0.0839	0.0031	1018	22	1120	30	1289	50
45	279.5	523.4	2048.6	0.26	0.0909	0.0023	0.7254	0.0280	0.0577	0.0023	561	14	554	16	520	44
46	256.3	949.6	1845.3	0.51	0.0650	0.0010	0.5401	0.0207	0.0595	0.0023	406	6	439	14	587	57
47	1107.0	1216.8	2298.8	0.53	0.2064	0.0059	3.7764	0.1711	0.1285	0.0043	1210	31	1588	36	2078	42
48	307.7	393.9	818.9	0.48	0.2075	0.0113	2.5264	0.2025	0.0860	0.0046	1215	60	1280	58	1339	78
49	318.6	442.9	1130.6	0.39	0.1681	0.0039	1.7703	0.1033	0.0746	0.0035	1002	22	1035	38	1058	80
50	501.9	313.1	738.3	0.42	0.3175	0.0083	6.6556	0.3467	0.1521	0.0089	1777	41	2067	46	2369	102
51	415.3	702.6	1423.0	0.49	0.1532	0.0021	1.3510	0.0519	0.0630	0.0025	919	11	868	22	709	59
52	194.7	427.4	530.9	0.80	0.1350	0.0023	1.1655	0.0615	0.0621	0.0034	816	13	785	29	676	83
53	370.0	477.1	1640.5	0.29	0.1614	0.0025	1.5581	0.0731	0.0690	0.0034	965	14	954	29	898	71
54	190.0	211.7	406.0	0.52	0.2289	0.0049	2.5742	0.1751	0.0800	0.0054	1329	25	1293	50	1198	101
55	324.4	537.5	296.8	1.81	0.2084	0.0050	2.6811	0.1784	0.0905	0.0058	1220	27	1323	49	1436	90
56	377.4	367.3	1367.0	0.27	0.1826	0.0038	2.1626	0.1192	0.0837	0.0045	1081	21	1169	38	1285	75
57	306.7	1217.0	1425.2	0.85	0.0771	0.0013	0.6442	0.0322	0.0597	0.0032	479	8	505	20	592	78
58	614.5	1194.5	1333.3	0.90	0.1692	0.0034	2.0426	0.0879	0.0864	0.0039	1008	19	1130	29	1348	52
59	256.5	610.2	1331.5	0.46	0.0974	0.0017	0.9684	0.0403	0.0707	0.0029	599	10	688	21	949	57
60	320.3	263.2	549.9	0.48	0.2871	0.0053	4.0435	0.1435	0.1001	0.0035	1627	26	1643	29	1626	39
样品编号 KT-8																
01	18116.8	2751.6	158.7	17.33	0.2962	0.0051	4.4134	0.3369	0.1089	0.0079	1672	26	1715	63	1781	115
02	10350.0	1535.4	107.4	14.30	0.3313	0.0062	4.8406	0.3421	0.1063	0.0071	1845	30	1792	59	1736	102
03	10933.6	1459.1	100.6	14.51	0.3215	0.0079	4.9123	0.3119	0.1132	0.0071	1797	38	1804	54	1851	79
04	22992.9	3701.5	225.2	16.44	0.3169	0.0046	4.6417	0.2295	0.1065	0.0052	1774	22	1757	41	1741	69
05	12328.4	1661.2	136.8	12.15	0.3098	0.0048	4.8310	0.2477	0.1127	0.0056	1740	23	1790	43	1843	71
06	21915.4	3352.7	195.7	17.14	0.3078	0.0056	4.4308	0.1904	0.1041	0.0044	1730	27	1718	36	1698	53
07	8135.8	1260.9	122.2	10.32	0.2962	0.0062	4.4811	0.2294	0.1084	0.0052	1672	31	1727	42	1773	63
08	8705.7	1258.0	130.3	9.65	0.3171	0.0058	4.4013	0.1909	0.1012	0.0045	1775	28	1713	36	1646	53
09	9745.5	1449.5	134.7	10.76	0.3044	0.0056	4.5487	0.2025	0.1080	0.0047	1713	28	1740	37	1766	54
10	5577.0	802.1	94.1	8.52	0.3219	0.0069	4.8563	0.2742	0.1095	0.0061	1799	33	1795	48	1790	72
11	26883.1	4399.3	370.3	11.88	0.3206	0.0052	4.7405	0.1511	0.1065	0.0032	1793	25	1774	27	1741	35
12	5387.5	805.7	95.6	8.43	0.3180	0.0061	4.8748	0.2446	0.1112	0.0057	1780	30	1798	42	1820	63
13	3896.0	514.8	92.6	5.56	0.3144	0.0063	4.6926	0.2490	0.1073	0.0055	1762	31	1766	44	1754	68
14	14697.9	2381.4	330.5	7.21	0.3134	0.0041	4.7255	0.1588	0.1084	0.0036	1757	20	1772	28	1773	42
15	4585.4	679.6	113.2	6.00	0.3092	0.0052	4.4860	0.2050	0.1052	0.0049	1737	25	1728	38	1719	59
16	4986.6	823.4	129.4	6.36	0.3036	0.0059	4.0689	0.1851	0.0969	0.0045	1709	29	1648	37	1566	56
17	3949.7	586.4	112.6	5.21	0.3122	0.0064	4.2351	0.2351	0.0979	0.0053	1752	32	1681	46	1584	73
18	6175.8	842.1	147.1	5.72	0.3162	0.0069	4.9845	0.2244	0.1144	0.0054	1771	34	1817	38	1870	50
19	4442.9	634.7	182.3	3.48	0.3289	0.0057	5.0301	0.2273	0.1097	0.0047	1833	28	1824	38	1795	57
20	6897.7	1120.5	273.8	4.09	0.3068	0.0043	4.9640	0.1638	0.1160	0.0037	1725	21	1813	28	1896	39
21	941.5	153.6	62.1	2.47	0.3313	0.0076	4.9193	0.2681	0.1101	0.0064	1845	37	1806	46	1801	66
22	1917.6	352.9	140.4	2.51	0.3162	0.0055	4.5327	0.2087	0.1038	0.0049	1771	27	1737	38	1693	59
23	1822.4	290.7	140.9	2.06	0.3159	0.0053	4.7658	0.3022	0.1094	0.0072	1770	26	1779	53	1790	123
24	2222.5	360.5	176.7	2.04	0.3547	0.0076	5.6060	0.2590	0.1139	0.0049	1957	36	1917	40	1863	53
25	73.3	71.8	147.7	0.49	0.3171	0.0058	4.3081	0.2184	0.0979	0.0050	1776	28	1695	42	1585	67

点号	元素含量(×10 ⁻⁶) 及比值				同位素比值						年龄 (Ma)					
	Pb *	Th	U	Th/U	$\frac{n(^{206}\text{Pb})}{n(^{238}\text{U})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{235}\text{U})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{206}\text{Pb})}$		$\frac{n(^{206}\text{Pb})}{n(^{238}\text{U})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{235}\text{U})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{206}\text{Pb})}$	
					测值	±1σ	测值	±1σ	测值	±1σ	测值	±1σ	测值	±1σ	测值	±1σ
26	81.4	74.8	171.4	0.44	0.3378	0.0079	4.8563	0.2121	0.1045	0.0043	1876	38	1795	37	1705	47
27	87.2	99.8	163.4	0.61	0.3038	0.0045	4.4566	0.1976	0.1061	0.0049	1710	22	1723	37	1733	59
28	137.0	159.4	250.9	0.64	0.2990	0.0047	4.4046	0.1708	0.1069	0.0043	1686	23	1713	32	1747	48
29	101.5	104.3	179.9	0.58	0.3182	0.0050	4.5582	0.1862	0.1032	0.0042	1781	25	1742	34	1683	52
30	46.0	42.8	97.9	0.44	0.3288	0.0079	4.5299	0.2459	0.0997	0.0055	1833	38	1736	45	1618	65
31	86.3	89.9	173.7	0.52	0.3063	0.0050	4.5514	0.1903	0.1075	0.0046	1723	25	1740	35	1757	53
32	53.4	47.1	112.9	0.42	0.3061	0.0057	4.4545	0.1860	0.1054	0.0044	1722	28	1723	35	1721	49
33	55.8	79.5	137.2	0.58	0.2400	0.0058	3.4086	0.1659	0.1039	0.0051	1387	30	1506	38	1695	55
34	62.1	62.9	128.8	0.49	0.3121	0.0057	4.1814	0.1878	0.0975	0.0046	1751	28	1670	37	1576	56
35	63.7	64.7	123.1	0.53	0.3158	0.0065	4.4826	0.2646	0.1035	0.0062	1769	32	1728	49	1687	79
36	115.9	86.4	161.0	0.54	0.3447	0.0058	6.4802	0.2872	0.1360	0.0062	1909	28	2043	39	2176	54
37	179.2	218.0	313.2	0.70	0.3215	0.0053	4.6286	0.1958	0.1036	0.0044	1797	26	1754	35	1689	54
38	110.0	101.6	222.4	0.46	0.3199	0.0061	5.3517	0.2085	0.1204	0.0047	1789	30	1877	33	1963	43
39	93.2	101.5	174.5	0.58	0.3251	0.0051	4.6203	0.1673	0.1029	0.0040	1814	25	1753	30	1677	44
40	66.3	60.0	130.8	0.46	0.3366	0.0070	4.6548	0.1959	0.1007	0.0043	1870	34	1759	35	1637	48
41	279.5	268.7	541.6	0.50	0.3240	0.0041	5.0150	0.1489	0.1109	0.0033	1809	20	1822	25	1814	36
42	149.4	151.4	237.1	0.64	0.3259	0.0067	4.9654	0.3249	0.1105	0.0076	1819	32	1813	55	1808	128
43	41.1	40.2	80.6	0.50	0.3171	0.0087	4.3912	0.2526	0.1038	0.0065	1776	42	1711	48	1692	66
44	79.1	77.1	155.8	0.49	0.3091	0.0048	4.8574	0.2299	0.1133	0.0055	1736	24	1795	40	1853	63
45	245.3	241.1	459.3	0.52	0.3321	0.0045	4.8303	0.1510	0.1051	0.0034	1848	22	1790	26	1716	38
46	81.8	77.3	176.9	0.44	0.3085	0.0048	4.7686	0.1965	0.1120	0.0047	1733	24	1779	35	1831	52
47	73.1	70.0	141.5	0.49	0.3381	0.0071	4.9731	0.2236	0.1099	0.0058	1877	34	1815	38	1797	52
48	56.5	50.0	81.7	0.61	0.3422	0.0120	5.7448	0.7647	0.1218	0.0168	1897	57	1938	115	1982	258
49	188.0	190.7	311.6	0.61	0.3351	0.0047	5.0037	0.1995	0.1079	0.0043	1863	23	1820	34	1763	52
50	55.0	51.8	117.2	0.44	0.3254	0.0060	4.6967	0.2397	0.1052	0.0054	1816	29	1767	43	1718	67
51	64.8	67.3	127.1	0.53	0.3326	0.0069	4.8286	0.2432	0.1059	0.0057	1851	33	1790	42	1730	62
52	53.4	52.5	107.8	0.49	0.3284	0.0061	4.9975	0.2351	0.1106	0.0054	1831	29	1819	40	1810	59
54	82.9	90.7	142.5	0.64	0.3374	0.0065	4.6903	0.2089	0.1008	0.0046	1874	31	1766	37	1639	54
55	52.5	45.4	101.1	0.45	0.3474	0.0072	5.5220	0.2917	0.1149	0.0061	1922	35	1904	45	1878	65
56	127.6	133.8	214.1	0.62	0.3538	0.0087	5.3234	0.2459	0.1093	0.0054	1953	41	1873	39	1788	49
57	25.8	243.3	308.6	0.79	0.0449	0.0012	0.3975	0.0373	0.0673	0.0069	283	7	340	27	846	153
58	55.8	48.8	112.9	0.43	0.3362	0.0065	4.7943	0.2295	0.1033	0.0051	1868	31	1784	40	1685	60
59	83.3	79.9	158.8	0.50	0.3344	0.0062	5.4423	0.2201	0.1170	0.0047	1860	30	1892	35	1910	46
60	127.9	133.4	213.9	0.62	0.3438	0.0065	5.4332	0.2234	0.1128	0.0046	1905	31	1890	35	1845	47

3375 ± 31 Ma 之间,分为 458 ~ 698 Ma、800 ~ 1334 Ma、1489 ~ 1810 Ma 和 2319 ~ 2612 Ma 共 4 个年龄区间。458 ~ 698 Ma 年龄区间有 8 粒锆石,占 13.11%,峰值年龄为 628 Ma,次峰值 458 Ma;800 ~ 1334 Ma 区间有 30 粒锆石,占 49.18%,相对概率峰值年龄 985 Ma;1489 ~ 1810 Ma 区间有 9 粒锆石,占 14.75%,峰值年龄为 1816 Ma;2319 ~ 2612 Ma 区间有 11 粒锆石,占 18.03%,峰值年龄为 2429 Ma。

样品 KT-4:镜下观察锆石也以显示浅黄色或者无色透明,晶形多见浑圆、碎片状,相对于 KT-2,该组锆石颗粒偏小,介于 30 ~ 100 m 之间。锆石的 Th 含量为 23.6 × 10⁻⁶ ~ 1816 × 10⁻⁶,U 含量 166 × 10⁻⁶ ~ 12185 × 10⁻⁶,Th/U 比值为 0.02 ~ 2.17。随

机对 58 粒锆石进行了 U-Pb 定年分析,除去测点 16、21、29、31 等共计 11 个测点,其余 47 颗锆石的年龄数据有效。锆石 U-Pb 年龄变化介于 380 ± 6 ~ 2714 ± 27 Ma,依据该组锆石的年龄分布直方图,可分为 380 ~ 479 Ma、561 ~ 1679 Ma、1774 ~ 1841 Ma 共 3 个年龄区间。380 ~ 479 Ma 区间有 5 粒锆石,占 10.64%,相对概率峰值为 432 Ma;561 ~ 1679 Ma 区间有 37 粒锆石,占 78.72%,相对概率峰值为 953 Ma;1774 ~ 1841 Ma 区间有 3 粒锆石,占总数的 6.38%,峰值为 1841 Ma;2 颗分散年龄 2452 ± 38 Ma、2714 ± 27 Ma。47 颗锆石中除了测点 09、10、12、13、22 等 14 个测点的 Th/U 比值低于 0.4,介于 0.05 ~ 0.39 之间,其他 33 个测试点的 Th/U 比值介于 0.4

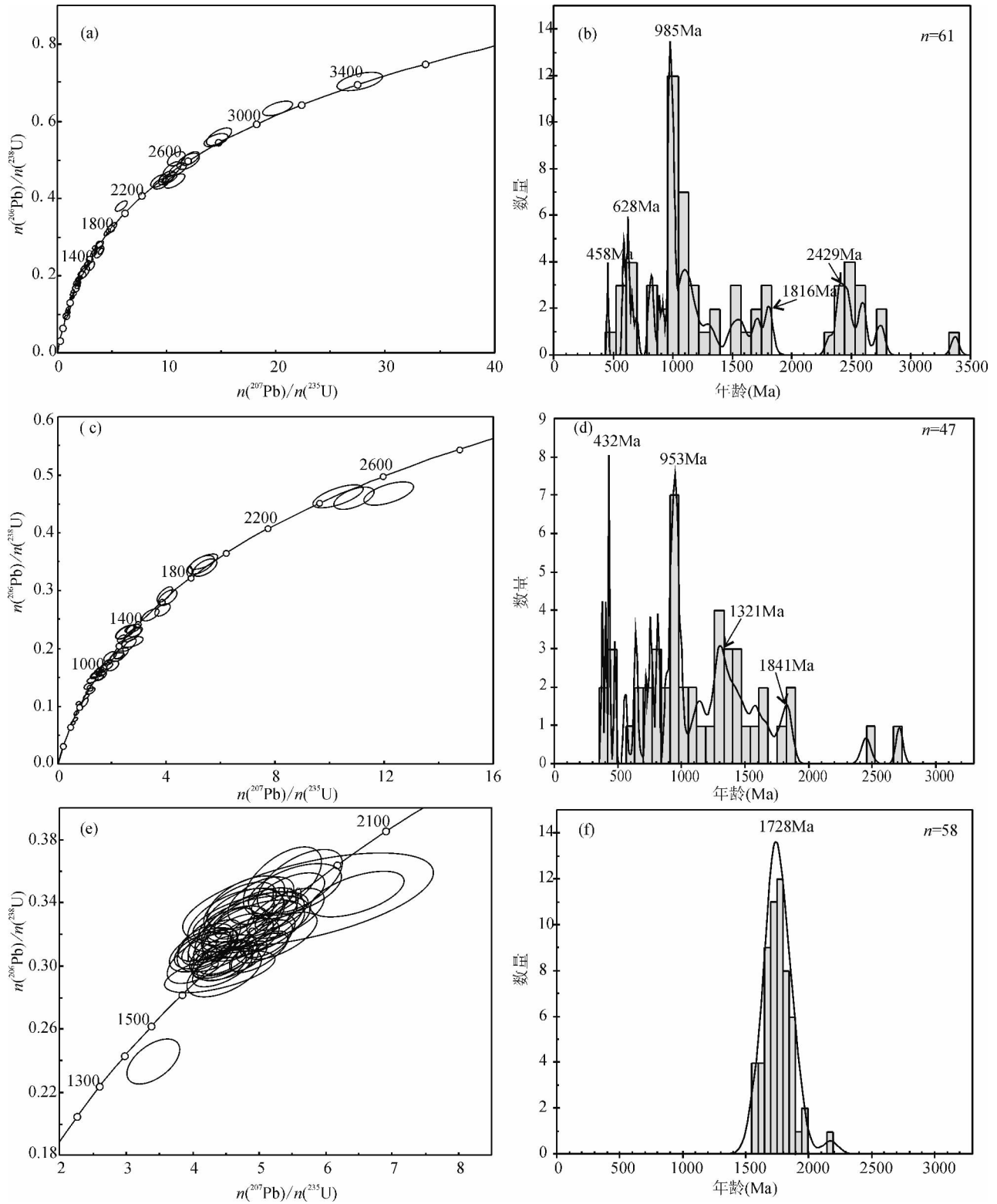


图2 鄂尔多斯盆地西南缘崆峒山组砾岩样品 KT-2(a,b)、KT-4(c,d)和 KT-8(e,f) 中的碎屑锆石年龄谐和图和直方图

Fig. 2 Histograms and concordia plots of detrital zircon U-Pb ages of selected from samples KT-2(a,b), KT-4(c,d) and KT-8(e,f) of the Kongtongshan Formation Conglomerate in the southwestern margin of Ordos basin

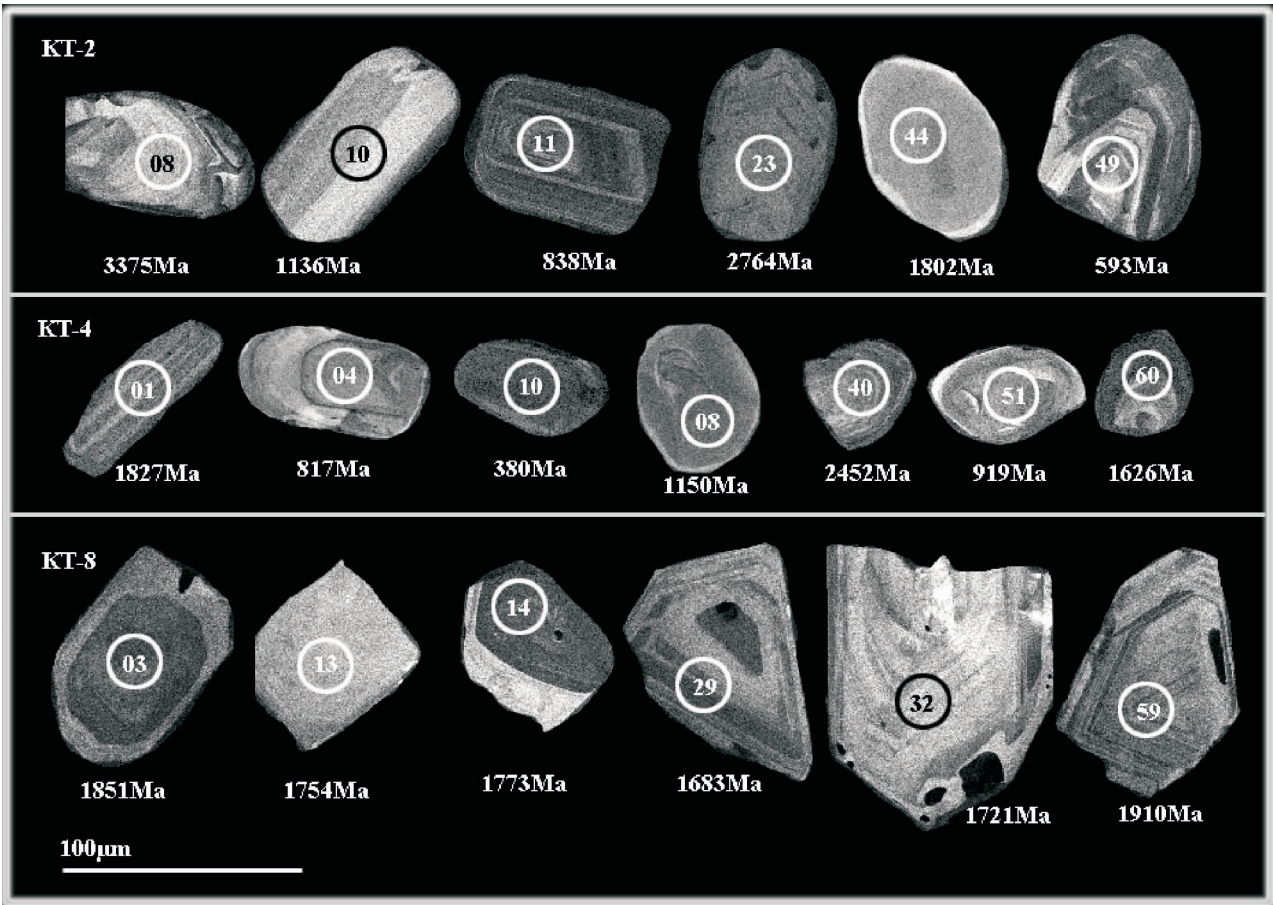


图 3 鄂尔多斯盆地西南缘崆峒山组砾岩样品 KT-2、KT-4 和 KT-8 中的代表性碎屑锆石阴极发光照片
Fig. 3 Representative cathodoluminescence images of selected detrital zircon grains from samples KT-2, KT-4 and KT-8 of the Kongtongshan Formation Conglomerate in the southwestern margin of Ordos basin

~2.17 之间,多数为岩浆锆石。

样品 KT-8:对样品 KT-8 中的 59 颗锆石进行了 U-Pb 定年分析,除去测点 57,其余 58 颗锆石 U-Pb 年龄为有效数据。锆石 U-Pb 年龄变化介于 $1566 \pm 56 \sim 2176 \pm 57\text{Ma}$,相对概率峰值为 1755Ma 。58 颗锆石的 Th/U 比值介于 0.42 ~ 17.33 之间,为岩浆锆石。代表性锆石的 CL 图像见图 3,显示核幔结构、弱震荡环带结构或均色。

4 讨论

4.1 物源分析

将 3 块样品中的碎屑锆石年龄合并进行统计, U-Pb 年龄变化介于 $380 \pm 6 \sim 3375 \pm 31\text{Ma}$ 之间。依据崆峒山组砾岩碎屑锆石年龄分布直方图,其年龄可分为 $380 \sim 479\text{Ma}$ 、 $561 \sim 1198\text{Ma}$ 、 $1285 \sim 1982\text{Ma}$ 、 $2319 \sim 2612\text{Ma}$ 和 $2714 \sim 2764\text{Ma}$ 共 5 个年龄区间,以及分散年龄 2176Ma 和 3375Ma 各 1 粒锆石,这些

年龄分布区间与北秦岭,以及西秦岭大草滩群和北秦岭葫芦河群碎屑锆石年龄分布特征较相似,而与鄂尔多斯地块碎屑锆石年龄分布特征差异比较明显(图 4)。

$380 \sim 479\text{Ma}$ 年龄区间共有 6 粒锆石,占总体(166 粒)的 3.61%,对应早海西期至加里东期构造岩浆热事件的年龄。该组年龄区间中除了锆石 KT-4-10 的 Th/U 比值为 0.09,为变质锆石,其年龄 $380 \pm 6\text{Ma}$ 代表变质年龄外,其余均为岩浆锆石。该颗变质锆石年龄与天水东岔镇一带出露的宽坪群经历的变质热事件年龄 $383 \pm 2\text{Ma}$ 较吻合(何世平等, 2007a)。加里东期的岩浆活动在西秦岭和北祁连广泛发育,出露于西秦岭天水党川地区的党川花岗岩,侵位于秦岭群和草滩沟群中,其成岩年龄为 $438 \pm 3\text{Ma}$ (王婧等,2008)。出露于西秦岭北缘天水北道区利桥乡以北的百花岩浆杂岩体,主要由辉长岩、闪长岩和石英闪长岩组成,其辉长岩的锆石 U-Pb 年

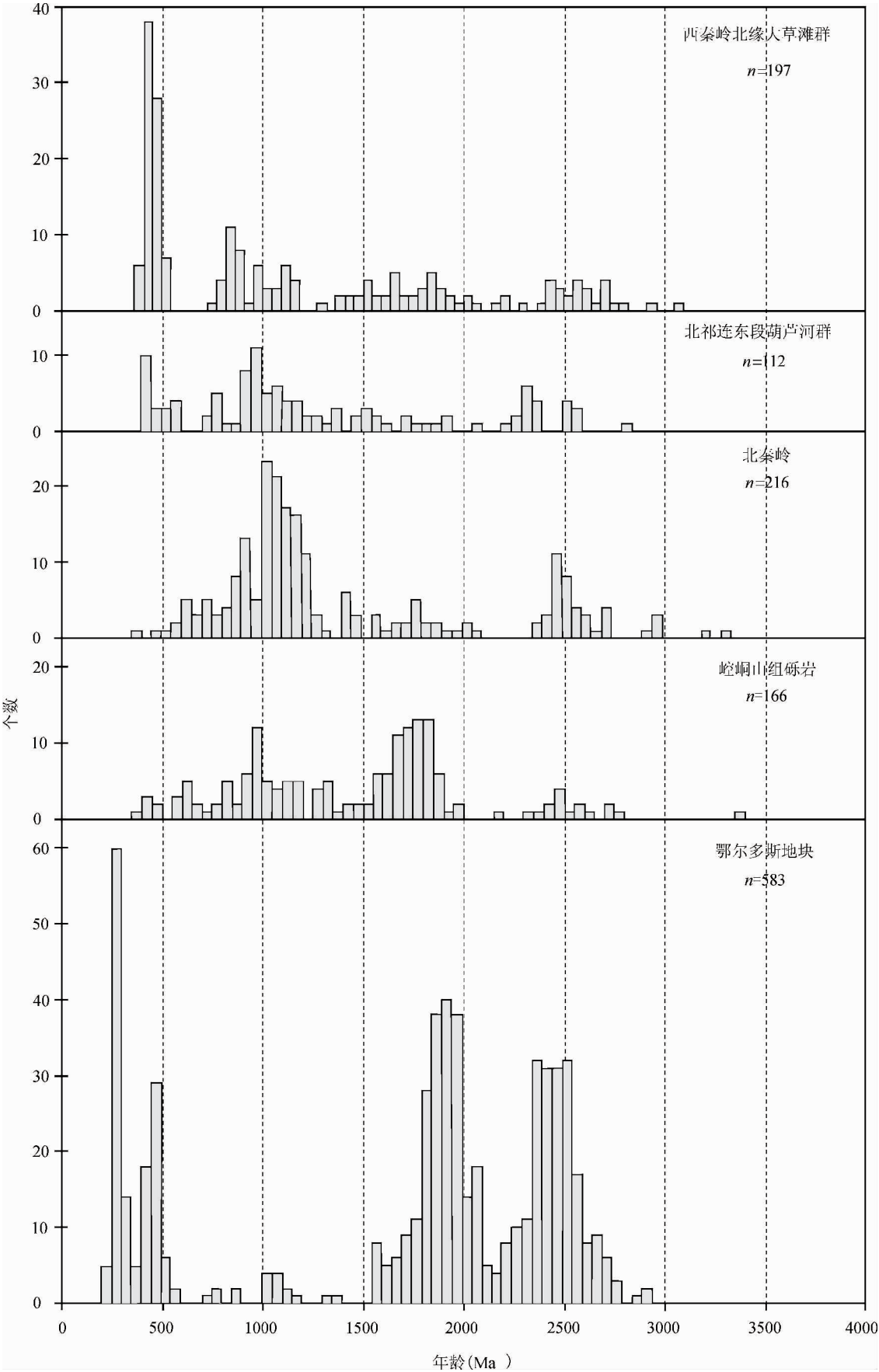


图 4 鄂尔多斯盆地西南缘崆峒山组砾岩及周围碎屑锆石年龄分布直方图
Fig. 4 Histogram of detrital zircons U-Pb ages of Kongtongshan Formation Conglomerate
in the southwestern margin of Ordos basin and peripheral region

数据来源: 西秦岭大草滩群, 陈义兵等, 2010; 吴树宽等, 2012。北祁连山东段葫芦河群, 裴先治等, 2012。北秦岭, 第五春荣等, 2010; Diwu Chunrong et al. , 2012。鄂尔多斯地块, 宋立军等, 2010; 韩天佑等, 2011; Darby and Gehrels, 2006; Diwu Chunrong et al. , 2012
Data sources: The Dachaoan Group in western Qinling Mountains, Chen Yibing et al. , 2010; Wu Shukuan et al. , 2012. The Huluhu Group in the eastern section of the northern Qilian Mountains, Pei Xianzhi et al. , 2012. Northern Qinling Mountains, Diwe Chunrong et al. , 2010, 2012. Ordos block, Song Lijun et al. , 2010; Han Tianyou et al. , 2011; Darby and Gehrels, 2006; Diwu Chunrong et al. , 2012

龄为 $449.7 \pm 3.1\text{Ma}$, 为百花岩浆杂岩的形成年龄 (裴先治等, 2007a)。出露于陕西凤县唐藏小峪河一带的唐藏岩体中的石英闪长岩, 其结晶年龄为 $454.7 \pm 1.9\text{Ma}$ (陈隽璐等, 2008), 以及分布于祁连山东段的阎家店闪长岩, 形成年龄为 $440.2 \pm 0.92\text{Ma}$ (裴先治等, 2007b) 和 $441 \pm 10\text{Ma}$ (Zhang Hongfei et al. , 2006)。清水地区黄门川花岗岩侵位于陇山杂岩群中, 形成年龄为 $440.5 \pm 4.4\text{Ma}$ (魏方辉等, 2012)。出露于北祁连山东段红土堡的枕状玄武岩和灰绿岩墙, 其形成年龄为 $443.4 \pm 1.7\text{Ma}$ 和 $385.7 \pm 7.9\text{Ma}$ (何世平等, 2007b)。显然, 上述这些加里东期岩体有可能参与崆峒山组砾岩的物源供给。鄂尔多斯地块碎屑锆石年龄谱图中也含有 $380 \sim 479\text{Ma}$ 年龄段的锆石颗粒 (图 4), 其统计数据来源于 Diwu Chunrong 等 (2012) 对鄂尔多斯盆地内部的现代河流 (泾河和洛河) 所做的碎屑锆石年代学研究。考虑到在早古生代华北地块处于稳定克拉通期, 而在其南缘却由于北秦岭洋的关闭, 在秦岭—大别一线形成一条加里东期的火山弧 (Lerch et al. , 1995, 1996; 李洪颜等, 2009)。因此, 鄂尔多斯地块所含该年龄区间的锆石颗粒, 也应该来源于秦岭造山带, 而非鄂尔多斯地块本身。

$561 \sim 1198\text{Ma}$ 年龄区间共有 57 粒锆石, 约占 34.34%。该组年龄段主体代表的是新元古代岩浆热事件年龄。出露于北祁连中段玉石沟蛇绿岩中的辉长岩结晶年龄 $550 \pm 17\text{Ma}$ (史仁灯等, 2004), 以及出露于中祁连东段的花岗岩, 形成年龄介于 $756 \pm 2.2 \sim 888 \pm 2.5\text{Ma}$ 之间 (雍拥等, 2008)。出露于祁连山造山带东段榆中县南兴隆山群火山岩的年龄为 $1032 \sim 1172\text{Ma}$ (徐学义等, 2008)。出露于西秦岭天水市新阳一元龙镇的花岗质片麻岩, 其形成年龄介于 $914.7 \pm 7.6 \sim 981 \pm 5\text{Ma}$ 之间, 出露于北秦岭造山带的木其滩斜长角闪岩, 其形成年龄为 $762.5 \pm 4.6\text{Ma}$ (张志国等, 2008), 及北秦岭宽坪群中的变基性火山岩形成年龄为 943Ma (第五春荣等, 2010)。上述这些岩体的岩浆活动事件年龄与该组

年龄区间较为一致, 对崆峒山组砾岩的物源供给有一定贡献。

$1285 \sim 1982\text{Ma}$ 年龄区间共有 86 粒锆石, 占总数的 51.8%, 该组年龄段的锆石颗粒主要来源样品 KT-8 中的碎屑锆石。从图 4 可以看出, 该组年龄段所反映的构造岩浆热事件在秦岭和祁连山造山带, 以及鄂尔多斯地块 (华北地块的一部分) 均有响应。王银川等 (2012) 在祁连山造山带东段古元古界陇山群中新识别出中元古代长宁驿花岗质片麻岩, 其形成年龄为 $1765 \pm 57\text{Ma}$ 。分布于北秦岭的秦岭岩群, 其岩浆成因锆石颗粒的年龄集中在 $1400 \sim 1600\text{Ma}$ 和 $850 \sim 950\text{Ma}$ 左右, 记录了两期主要岩浆活动 (杨力等, 2010)。分布于秦岭—祁连山结合部位的陇山岩群, 主要为一套中深变质的火山—侵入岩和碎屑岩系, 存在 $1.9 \sim 1.95\text{Ga}$ 的变质热事件, 其相应的锆石 Th/U 比值介于 $0 \sim 0.08$ (何艳红等, 2005)。在华北地块, 普遍存在 1.85Ga 和 2.0Ga 岩浆热事件活动, 代表哥伦比亚超大陆汇聚的完成 (赵春国等, 2002; 赵春国, 2009; 翟明国, 2011; Wilde et al. , 2002; Xia Xiaoping et al. , 2006, 2009; Santosh et al. , 2007)。考虑到鄂尔多斯地块基底岩在 $2035 \sim 2030\text{Ma}$ 曾有大规模的花岗岩侵位和 $1850 \sim 1630\text{Ma}$ 变质热事件 (Hu Jianmin et al. , 2013), 而在崆峒山砾岩碎屑年龄中基本不存在 $\sim 2.03\text{Ga}$ 锆石颗粒, 且 $\sim 1.85\text{Ga}$ 的锆石颗粒均为岩浆成因锆石 (表 1), 而鄂尔多斯地块 $\sim 1.85 \sim 1.63\text{Ga}$ 多为变质成因锆石。因此, 笔者认为该组年龄段的锆石应该来源秦祁造山带。

$2319 \sim 2612\text{Ma}$ (12 粒) 和 $2714 \sim 2764\text{Ma}$ (3 粒) 年龄区间, 这 2 组年龄区间的锆石颗粒在鄂尔多斯地块、秦祁造山带的基底岩中均有发育 (图 4)。近 2.5Ga 是华北地块 (包括鄂尔多斯地块) 地壳生长的一次快速增长期, 有大量的岩浆活动记录 (Kusky et al. , 2001; Zhao Guochun et al. , 2002; Wang Zhihong et al. , 2004)。分布于北祁连山的陇山杂岩记录了 2.35Ga ($2.35 \sim 2.4\text{Ga}$) 和 2.5Ga ($2.45 \sim 2.5\text{Ga}$) 2

次岩浆事件。在祁连山基底岩和秦岭岩群也存在 2.7~3.0Ga 年龄的锆石(董国安等,2007;万渝生等,2011)。依据 Nd 模式年龄分析,鄂尔多斯地块 Nd 模式年龄介于 3.2~2.4Ga 之间(Wu Fuyuan et al., 2005)。据此,鄂尔多斯地块可能不存在 >3.2Ga 的古老锆石颗粒。样品 KT-2 中获得 1 粒 3.3Ga 的锆石,测点为 KT-2-08,其锆石 U-Pb 年龄为 3375 ± 31 Ma,其可能来自秦祁造山带基底岩,暗示秦祁造山带可能存在太古宙基底(裴先治等,2007c;张英利和王宗起,2011)。通过上述分析,说明鄂尔多斯地块基底岩、秦祁造山带基底岩有可能向崆峒山组砾岩提供物源。

崆峒山组砾岩中的砾石主要由砂岩砾石和灰岩砾石组成,砂岩砾石主要位于地层的下部,灰岩砾石主要位于地层的中上部。前人对崆峒山组砾岩的物源进行了探讨,认为灰岩砾石源于中奥陶统三道沟组(刘化清等,2006;赵文智等,2006);砂岩砾石主要源于下二叠统山西组(刘化清等,2006)与中二叠统下石盒子组(赵文智等,2006)。除了石盒子组地层在北秦岭造山带的商县大荆-洛南兑山一带的山间盆地少量分布外,山西组、下石盒子组和三道沟组地层主要分布在华北地块区(陕西省地质矿产局,1989)。据此,可以理解为前人研究认为崆峒山组的主要物源为华北地块,但是崆峒山组碎屑锆石年龄谱中含有大量中新元古代及加里东期锆石颗粒又做和解释(图4)。况且前人研究已证实盆地内部的山西组和下石盒子组地层中的砂岩碎屑锆石颗粒年龄分布特征中缺失中新元古代时间段的锆石颗粒记录(杨斌虎,2009;罗静兰等,2010;马收先等,2011;朱涛^⑨),即使在山西组山1段地层中偶有2颗新元古代锆石(1067 ± 39 Ma 和 1065 ± 43 Ma),目前在盆地北缘及华北地块地区还没有与该年龄相当事件的报道(罗静兰等,2010)。杨锐等(2012)曾对盆地西南部下石盒子组地层的物源进行了探讨,结果表明北祁连和西秦岭造山带的变质岩、岩浆岩和沉积岩为其物源。紧邻崆峒山东南方向的安口地区,刘少峰等(1997)曾对该地区出露的延长群地层(崆峒山组砾岩是其在盆地西南缘的相变产物)物源进行了研究,结果显示其物源为一套变质碎屑岩和变质火山岩,为东祁连褶皱逆冲带中的陈家河组和葫芦河组。需要指出的是,Zhang Jin 等(2011)曾对鄂尔多斯盆地西缘偏南的牛首山和小罗山地区的米钵山组(可与三道沟组相对比)中的杂砂岩进行了碎屑锆石物源分析,结果显示物源主要来源于阿拉善地块、

北祁连山火山弧和敦煌地块,而华北地块则被排除在主要物源区之外。

露头古水流测量是揭示古物源最直接和最有力的手段,宋立军等(2010)对崆峒山地区的古水流方向进行了测试。古水流数据结果表明:崆峒山剖面20组砾石最大扁平面和2组交错层理数据,砾石最大扁平面数据倾向范围为 $230^\circ \sim 270^\circ$,交错层理倾向在 $80^\circ \sim 90^\circ$ 之间,显示古流向在 $50^\circ \sim 90^\circ$,峰值在 70° 左右,与韩永林等(2005)以东北向($60^\circ \sim 80^\circ$)为主,少量为南东向($100^\circ \sim 170^\circ$)的测量结果较为一致。阿拉善地块近些年来识别出新元古代的岩浆记录,李献华等(2004)报道了阿拉善地块金川超镁铁岩体(锆石 U-Pb 年龄 827 ± 8 Ma)形成于新元古代。耿元生等(2002)报道了阿拉善右旗阿拉腾敖包乡大布苏山的眼球状片麻岩(971 Ma)和可克托勒盖花岗片麻岩(845 Ma),形成于晋宁期的厘定。在阿拉善东部叠布斯格岩群和波罗斯坦庙变形深成片麻岩中的锆石记录了古元古代晚期的构造岩浆热事件,它们可分为 2000~1900 Ma 的早期事件和 1850~1800 的晚期事件(耿元生等,2010)。宫江华等(2011)报道了阿拉善地块的南缘龙首山岩群上部变沉积岩中的碎屑锆石年龄集中在 2.01~2.15 Ga,花岗质片麻岩的岩浆锆石年龄主要在 2.04~2.17 Ma 之间,变质锆石的年龄在 1.89~1.93 Ga 之间。考虑到崆峒山地区有少量南东向古水流的存在,且崆峒山组砾岩的碎屑锆石年龄谱中也确实存在上述年龄段的锆石颗粒,不能排除阿拉善地块少量参与崆峒山组砾岩的物源供给。

总而言之,通过上述讨论,并结合前人研究成果和崆峒山组砾岩中的碎屑锆石年代学数据,笔者倾向于认为崆峒山组砾岩主要源于秦祁造山带,少量源于阿拉善地块,而鄂尔多斯地块不大可能参与崆峒山组砾岩的物源供给。这也从侧面说明崆峒山组砾岩不是板内造山带的产物,即崆峒山组砾岩不是盆地西缘逆冲褶皱断带的构造演化产物,而是秦祁造山带的构造演化的产物。

4.2 沉积时代

关于崆峒山组砾岩的沉积时代,目前还是争议颇多,早期学者认为其沉积时代为晚二叠世(刘绍龙,1957)。康立权(2009)依据野外观察,综合区域地质构造研究后认为崆峒山组砾岩可与千阳县出露的芬芳河组可对比,两者是同一套地层,时代应属晚侏罗世。姚志刚等?对鄂尔多斯盆地西缘晚三叠世物源进行了分析,认为崆峒山后山剖面的大套砾岩

主体应归下白垩三桥组。一些学者从鄂尔多斯盆地及其周边区域构造演化的角度出发,对崆峒山组砾岩的形成时代进行了限定,表明崆峒山组砾岩的沉积时代为晚三叠世(刘化清等,2006;宋立军等,2009),也有认为崆峒山组砾岩形成时代为中三叠世至晚三叠世(甘肃省地质矿产局,1997)。在平凉崆峒山地区,崆峒山组其下与石千峰群整合接触,其上被六盘山群三桥组不整合接触,横向过渡为延长组及二马营组(高振家等,2000),这也大致限定崆峒山组砾岩的沉积年龄介于二叠世至白垩世之间。本次在 3 块样品测试中发现 2 颗锆石的年龄较小,分别是锆石 KT-4-39 和锆石 KT-8-59,它们的 U-Pb 年龄为 $294 \pm 5\text{Ma}$ 和 $283 \pm 7\text{Ma}$ 。这 2 颗锆石年龄谐和度均为 81%,未作为有效数据参与讨论。一些学者将锆石 U-Pb 年龄谐和度在 80% ~ 120% 之间的年龄数据也作为有效数据加以讨论(张英利和王宗起,2011;张英利等,2012)。这也就是说崆峒山组砾岩的最大沉积年龄为早二叠世。《甘肃省区域地质志》一书(甘肃省地质矿产局,1989)记载在平凉大台子、老林沟一带的崆峒山组砾岩中采集到 *Bernoullia zeilleri*、*Danaeopsis fecunda*、*Todites shensiensis*、*Protoblechnum hughesi*、*Cladophlebis gracilis* 等延长组植物化石,《甘肃省岩石地层》编写组(甘肃省地质矿产局,1997)认为这套地层中上部的地质时代属于中三叠晚期至晚三叠世,下部地层的地质时代属于中三叠世早期。

笔者就从鄂尔多斯盆地西南缘区域构造演化及崆峒山组砾岩物质来源角度出发,对崆峒山组砾岩的沉积时代给予分析。早中三叠世,鄂尔多斯盆地基本继承了海西期以来的平稳构造格局,在盆地西南缘发育辫状河、辫状河三角洲、滨浅湖及冲积扇相(付金华等,2005;邓秀芹等,2008;王峰等,2010)。此时来自于北祁连山葫芦河群、西秦岭大草滩群等早古生代地层,以及加里东期岩浆岩等开始剥蚀搬运,在崆峒山地区发生近源堆积,崆峒山组砾岩的下段砂砾岩层开始形成。中三叠世晚期,鄂尔多斯盆地构造演化进入重大转折期,表现在盆地沉积环境从早期滨浅湖、河流三角洲相沉积,转变为半深湖—深湖相沉积。在西秦岭造山带,沉积环境也发生重大变化,由中三叠世早期的滨浅海沉积,突变为晚三叠世陆相沉积,表明在中三叠世时期区域上曾经历过一次明显的地壳抬升(殷鸿福等,1992; Meng Qingren et al., 2005)。这次地壳隆升事件被裂变径迹年龄所证实,其隆升始于 240Ma,隆升最高时速可

达 $17.75^\circ\text{C}/\text{Ma}$ (郑德文等,2004),这次隆升造山过程伴有强烈的火山喷发事件,在鄂尔多斯盆地西南部形成大面积沉凝灰岩,凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 $241.3 \sim 239.7\text{Ma}$ ^①,为印支运动第一幕的表现形式(陈安清等,2011)。西秦岭—北祁连山的快速隆升,使得秦祁造山带的奥陶纪灰岩,陇山群、秦岭群和宽坪群,以及造山带基底岩开始接受剥蚀,开始给崆峒山组砾岩提供物源供给。由于造山带隆升快速,使得崆峒山组砾岩中上段地层中的砾石无序杂乱堆积。从西秦岭钾长石裂变径迹年龄来看,这次隆升时段为 $240 \sim 200\text{Ma}$ (郑德文等,2004)。崆峒山砾岩就是印支期秦祁造山带造山过程的沉积响应。从上面的讨论中,笔者认为将崆峒山组砾岩的沉积时代定为中三叠世至晚三叠世还是较为恰当。需要指出的是,目前认为崆峒山组砾岩是延长组在盆地西南缘的相变产物,而笔者对延长组长 7 底部稳定存在一层凝灰岩进行了锆石 SHRIMP U-Pb 定年($241.3 \sim 239.7\text{Ma}$ ^②),说明延长组地层具有穿时性,从侧面印证将崆峒山组砾岩的沉积时代定为中三叠至晚三叠世是较合理的。

5 结论

(1) 运用 LA-ICP-MS 方法,对崆峒山组砾岩中的 3 块砾石样品进行了碎屑锆石年代学研究,结果显示碎屑锆石年龄可分为 $380 \sim 479\text{Ma}$ 、 $561 \sim 1198\text{Ma}$ 、 $1285 \sim 1982\text{Ma}$ 、 $2319 \sim 2612\text{Ma}$ 和 $2714 \sim 2764\text{Ma}$ 共 5 个年龄区间,以及分散年龄 $2176 \pm 54\text{Ma}$ 和 $3375 \pm 31\text{Ma}$ 各 1 粒锆石。

(2) 通过分析碎屑锆石年龄分布特征,并结合前人研究成果,笔者认为崆峒山组砾岩的主要物源来源于西秦岭—北祁连造山带,少量来源于阿拉善地块。

(3) 结合鄂尔多斯盆地西南缘周缘区域构造演化及崆峒山组砾岩的物质来源,笔者认为崆峒山组砾岩的沉积时代为中三叠世至晚三叠世。崆峒山砾岩是秦祁造山带造山过程的沉积响应,即崆峒山组砾岩是板缘造山带的产物,而非板内造山带的产物。

注 释 / Notes

- ① 姚志刚,周立发,高璞. 2007. 鄂尔多斯盆地西缘晚三叠世沉积物源研究. 第九届全国固体核径迹学术研究会论文集,78.
- ② 彭荣华. 1989. 陇东地区三叠系延长组大幅度增加工业储量区块研究. 中石油长庆油田内部报告.
- ③ 朱涛,王洪亮,孙勇,徐学义,第五春荣,张红. 2011. 鄂尔多斯盆地南缘铜川地区石盒子组碎屑锆石年代谱系及其意义. 中国矿物岩石地球化学学会第 13 届学术年会论文集,562.

④ 王多云,辛补社,杨华,付金华,姚泾利,张瑜. 鄂尔多斯盆地延长组长7底部凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及地质意义(待刊)

参 考 文 献 / References

陈刚. 1999. 中生代鄂尔多斯盆地陆源碎屑成分及其构造属性. 沉积学报,17(3):409~413.

陈安清,陈洪德,侯明才,楼章华,徐胜利,李洁,苏中堂. 2011. 鄂尔多斯盆地中一晚三叠世事件沉积对印支运动 I 幕的指示. 地质学报,85(10):1681~1690.

陈隽璐,徐学义,王洪亮,王宗起,曾佐勋,王超,李平. 2008. 北秦岭西段唐藏石英闪长岩体的形成时代及其地质意义. 现代地质,22(1):46~51.

陈义兵,张国伟,鲁如魁,梁文天,第五春荣,郭秀峰. 2010. 北秦岭—祁连结合区大草滩群碎屑锆石 U-Pb 年代学研究. 地质学报,84(7):947~962.

邓秀芹,蔺昞晓,刘显阳,庞锦莲,吕剑文,李士祥,刘鑫. 2008. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组沉积演化及其与早印支运动关系的讨论. 古地理学报,10(2):159~166.

翟明国. 2011. 克拉通化与华北陆块的形成. 中国科学(D辑:地球科学),41:577~595.

第五春荣,孙勇,刘良,张成立,王洪亮. 2010. 北秦岭宽坪岩群的解体及新元古代 N-MORB. 岩石学报,26(7):2025~2038.

董国安,杨怀仁,杨宏仪,刘敦一,张建新,万渝生,曾建元. 2007. 祁连地块前寒武纪基底锆石 SHRIMP U-Pb 年代学及其地质意义. 科学通报,52(13):1572~1585.

付金华,郭正权,邓秀芹. 2005. 鄂尔多斯盆地西南地区上三叠统延长组沉积相及石油地质意义. 古地理学报,7(1):34~44.

甘肃省地质矿产局. 1989. 甘肃省区域地质志. 北京:地质出版社.

甘肃省地质矿产局. 1997. 甘肃省岩石地层. 武汉:中国地质大学出版社.

高振家,陈可强,魏家庸. 2000. 中国岩石地层词典. 武汉:中国地质大学出版社.

耿元生,王新社,沈其韩,吴春明. 2002. 阿拉善地区新元古代晋宁期变形花岗岩的发现及其地质意义. 岩石矿物学杂志,21(4):412~420.

耿元生,王新社,吴春明,周喜文. 2010. 阿拉善变质基底古元古代晚期的构造热事件. 岩石学报,26(4):1159~1170.

宫江华,张建新,于胜尧. 2011. 阿拉善地块南缘龙首山岩群及相关岩石的起源和归属. 岩石矿物学杂志,30(5):795~818.

韩天佑,李慧,李文厚,田永强,刘广林,马海勇,李继宏. 2011. 鄂尔多斯盆地延河剖面延长组碎屑锆石 U-Pb 年龄分布特征及地质意义. 西北地质,44(1):105~111.

韩永林,李健,王海红,张钊. 2005. 鄂尔多斯盆地西南缘晚三叠世早期沉积体系分析. 低渗透油气田,10(4):1~4+34.

何世平,王洪亮,陈隽璐,徐学义,张宏飞,任光明,余吉远. 2007a. 北秦岭西段宽坪岩群斜长角闪岩锆石 LA-ICP-MS 测年及其地质意义. 81(1):79~87.

何世平,王洪亮,徐学义,张宏飞,任光明. 2007b. 北祁连东段红土堡基性火山岩 LA-ICP-MS U-Pb 年代学及其地质意义. 地球科学进展,20(2):143~151.

何艳红,孙勇,陈亮,李海平,袁洪林,柳小明. 2005. 陇山杂岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 岩石学报,21(1):125~134.

康立权. 2009. 甘肃平凉"崆峒山砾岩"地层时代的商榷. 甘肃地质,18(4):93~96.

李洪颜,徐义刚,黄小龙,何斌,罗震宇,燕滨. 2009. 华北克拉通北缘晚古生代活化:山西宁武—静乐盆地上石炭统太原组碎屑锆石 U-Pb 测年及 Hf 同位素证据. 科学通报,54(5):632~640.

李献华,苏犁,宋彪,刘敦一. 2004. 金川超镁铁侵入岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及地质意义. 科学通报,49(4):401~402.

刘池洋,赵红格,王锋,陈洪. 2005. 鄂尔多斯盆地西缘(部)中生代构造属性. 地质学报,79(6):737~747.

刘和甫. 2001. 盆地—山岭耦合体系与地球动力学机制. 地球科学,26(6):581~596.

刘化清,李相博,白云来,冯明,房乃珍,廖建波. 2006. 鄂尔多斯盆地"崆峒山组砾岩"成因初步分析. 天然气地球科学,17(5):668~671.

刘绍龙. 1957. 甘肃东部二道沟、三道沟、太统山煤系地层及崆峒山系地层时代问题的讨论. 地质评论,17(3):340~346.

刘少峰,柯爱蓉,吴丽云,黄思骥. 1997. 鄂尔多斯西南缘前陆盆地沉积物物源分析及其构造意义. 沉积学报,15(1):156~160.

罗静兰,魏新善,姚泾利,刘新社,刘小洪. 2010. 物源与沉积相对鄂尔多斯盆地北部上古生界天然气优质储层的控制. 地质通报,29(6):811~820.

马收先,孟庆任,曲永强. 2011. 华北地块北缘上石炭统一—三叠统碎屑锆石研究及其地质意义. 地质通报,30(10):1485~1500.

裴先治,丁仁平,张国伟,刘会彬,李佐臣,李向阳,刘战庆,孟孙. 2007a. 西秦岭天水地区百花基性岩浆杂岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及地球化学特征. 中国科学(D辑:地球科学),37(增刊):224~234.

裴先治,孙仁奇,丁仁平,刘会彬,李佐臣,刘战庆,孟勇. 2007b. 陇东地区阎家店闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年及其地质意义. 中国地质,34(1):8~16.

裴先治,孟勇,丁仁平,李佐臣,刘战庆,刘会彬,李高阳,李瑞保. 2007c. 祁连—秦岭造山带交接部位 25 亿年碎屑锆石的发现及其地质意义. 地球科学与环境学报,29(2):111~116.

裴先治,李佐臣,李瑞保,裴磊,刘成军,高景民,魏方辉,吴树宽,王银川,陈有析. 2012. 祁连造山带东段早古生代葫芦河群变质碎屑岩中碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄:源区特征和沉积时代的限定. 地学前缘,19(5):205~224.

陕西省地质矿产局. 1989. 陕西省区域地质志. 北京:地质出版社.

史仁灯,杨经绥,吴才来,Wooden J. 2004. 北祁连玉石沟蛇绿岩形成于晚震旦世的 SHRIMP 年龄证据. 地质学报,78(5):649~657.

宋彪,张玉海,万渝生,简平. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论. 地质评论,48(增刊):26~30.

宋立军,赵靖舟,袁炳强,刘池洋,吴冲龙. 2009. "崆峒山组砾岩"形成演化的动力学机制分析. 大地构造与成矿学,33(4):508~519.

宋立军,陈隽璐,张英利,刘池洋,吴冲龙,张小浩. 2010. 鄂尔多斯盆地西南部汭水河地区上三叠统碎屑锆石 U-Pb 年代学特征及其地质意义. 地质学报,84(3):370~386.

万渝生,刘敦一,董春艳,殷小艳. 2011. 西峡北部秦岭群变质沉积岩锆石 SHRIMP 定年:物源区复杂演化历史和沉积、变质时代确定. 岩石学报,27(4):1172~1178.

王超,何世平,时超,于浦生. 2012. 塔里木盆地西南缘铁克里克地区博查特塔格组的组成和时代:来自碎屑锆石 U-Pb 年龄的指示. 地质通报,31(8):1233~1243.

王峰,田景春,范立勇,陈蓉,邱军利. 2010. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组沉积充填演化及其对印支构造运动的响应. 天然气地球科学,21(6):882~889.

王宏强. 2001. 鄂尔多斯中生代盆地构造应力场特征及其转换与沉积. 西安:西北大学硕士论文.

王婧,张宏飞,徐旺春,蔡宏明. 2008. 西秦岭党川地区花岗岩的成因及构造意义. 地球科学(中国地质大学学报),33(4):475~485.

王银川,裴先治,李佐臣,李瑞保,裴磊,魏方辉,刘成军,高景民,吴树

- 宽,陈有妍. 2012. 祁连造山带东段张家川地区长宁驿中元古代花岗岩质片麻岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其构造意义. 地质通报,31(10):1576~1587.
- 魏方辉,裴先治,李瑞保,李佐臣,裴磊,高景民,王银川,刘成军,吴树宽,陈有妍. 2012. 甘肃天水地区早古生代黄门川花岗岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及构造意义. 地质通报,31(9):1496~1509.
- 翁凯,李荣四,徐学义,梁积伟,张雪. 2012. 鄂尔多斯盆地西南缘龙门隐伏碱性杂岩体地球化学特征. 新疆地质,30(4):471~476.
- 吴树宽,裴先治,李佐臣,李瑞保,裴磊,陈有妍,高景民,刘成军,魏方辉,王银川. 2012. 西秦岭造山带北缘大草滩群物源研究. 地质通报,31(9):1469~1481.
- 徐学义,王洪亮,陈隽璐,何世平,武鹏,高婷. 2008. 中祁连东段兴隆山群基性火山岩锆石 U-Pb 定年及岩石成因研究. 岩石学报,24(4):827~840.
- 杨斌虎. 2009. 鄂尔多斯盆地上古生界盒8、山1段物源与沉积相及其对优质天然气储层的影响. 西安:西北大学博士论文.
- 杨华,付金华,欧阳征健,孙六一. 2011. 鄂尔多斯盆地西缘晚三叠世构造——沉积环境分析. 沉积学报,29(3):429~439.
- 杨力,陈福坤,杨一增,李双庆,祝禧艳. 2010. 丹凤地区秦岭岩群片麻岩锆石 U-Pb 年龄:北秦岭地体中—新元古代岩浆作用和早古生代变质作用的记录. 岩石学报,26(5):1589~1603.
- 杨锐,彭德堂,潘仁芳,石书缘,张莉. 2012. 鄂尔多斯盆地西南部上古生界盒8段物源分析. 石油地质与工程,26(3):1~5. 殷鸿福,杨逢清,黄其胜,赖旭龙. 1992. 秦岭及邻区三叠系. 武汉:中国地质大学出版社.
- 雍拥,肖文交,袁超,李继亮,闫臻,毛启贵. 2008. 中祁连东段花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及地质意义. 新疆地质,26(1):62~70.
- 张进,李锦轶,刘建峰,李岩峰,曲军峰,冯乾文. 2012. 早古生代阿拉善地块与华北地块之间的关系:来自阿拉善东缘中奥陶统碎屑锆石的信息. 岩石学报,28(9):2912~2934.
- 张宏法,包洪平,彭天朗,王润三,白海峰,马占荣. 2012. 鄂尔多斯盆地西南边部超钾质岩及构造意义. 中国地质,39(5):1172~1182.
- 张英利,王宗起. 2011. 西秦岭造山带徽县—成县盆地早白垩世沉积物源分析——锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学的制约. 地质通报,30(1):37~50.
- 张英利,王宗起,闫臻,王涛. 2012. 库鲁克塔格下古生界土什布拉克组形成的时代及源区:碎屑锆石 U-Pb 年代学证据. 地质学报,86(4):548~560.
- 张志国,陈隽璐,徐学义,杜志刚,张占武,王洪亮,李平. 2008. 木其滩岩组形成时代、地球化学特征——对北秦岭构造演化的制约. 岩石学报,27(3):757~769.
- 赵国春,孙敏, Wilde S A. 2002. 华北克拉通基底构造单元特征及早元古代拼合. 中国科学(D辑:地球科学),32:538~549.
- 赵国春. 2009. 华北克拉通基底主要构造单元变质作用演化及其若干问题讨论. 岩石学报,25:1772~1792.
- 赵红格,刘池洋,王建强,王锋,银燕. 2007. 鄂尔多斯盆地西部晚三叠世构造属性探讨. 中国地质,34(3):384~391.
- 赵文智,王新民,郭彦如,刘化清,白云来. 2006. 鄂尔多斯盆地西部晚三叠世原型盆地恢复及其改造演化. 石油勘探与开发,33(1):6~13.
- 郑德文,张培震,万景林,李大明,王非,袁道阳,张广良. 2004. 西秦岭北缘中生代构造活动的 $40\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 、FT 热年代学证据. 岩石学报,20(3):696~706.
- Andersen T. 2002. Correction of common Lead in U-Pb analyses that do not report Pb-204. Chemical Geology, 192(1~2):59~79.
- Darby B J, Gehrels G. 2006. Detrital zircon reference for the North China Block. Journal of Asian Earth Sciences, 26(6):637~648.
- Dickinson W R, Gehrels G E. 2009. U-Pb ages of detrital zircons in Jurassic eolian and associated sandstones of the Colorado Plateau: Evidence for transcontinental dispersal and intraregional recycling of sediment. Geological Society of America Bulletin, 121(3~4):408~433.
- Diwu Chunrong, Sun Yong, Zhang Hong, Wang Qian, Guo Anlin, Fan Longgang. 2012. Episodic tectonothermal events of the western North China Craton and North Qinling Orogenic Belt in central China: Constraints from detrital zircon U-Pb ages. Journal of Asian Earth Sciences, 47:107~122.
- Gehrels G E, Yin An, Wang Xiaofeng. 2003. Detrital zircon geochronology of the northeastern Tibetan Plateau. Geological Society of America Bulletin, 115(7):881~896.
- Hu Jianmin, Liu Xinshe, Li Zhenhong, Zhao Yue, Zhang Shuanhong, Liu Xiaochun, Qu Hongjie, Chen Hong. 2013. SHRIMP U-Pb zircon dating of the Ordos Basin basement and its tectonic significance. Chinese Science Bulletin, 58(1):118~127.
- Hu Zhaochu, Gao Shan, Liu Yongsheng, Hu Shenghong, Chen Haihong, Yuan Honglin. 2008. Signal enhancement in laser ablation ICP-MS by addition of nitrogen in the central channel gas. Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 23(8):1093~1101.
- Kusky T M, Li Jianghai, Tucker R D. 2001. The Archean Dongwanzi ophiolite complex, North China craton; 2. 505-billion-year-old oceanic crust and mantle. Science, 292(5519):1142~1145.
- Lerch M F, Xue Feng, Kröner A, Zhang Guowei, Todt W. 1995. A Middle Silurian—Early Devonian magmatic arc in the Qinling Mountains of Central China. The Journal of Geology, 103(4):437~449.
- Lerch M F, Xue F, Kröner A, Todt W. 1996. Early Paleozoic Island arc accretion to the North China Craton and the Shang Dan fault zone; A major paleoplate boundary in eastern Asia. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 101(B8):17813~17826.
- Li Hongyan, He Bin, Xu Yigang, Huang Xiaolong. 2010. U-Pb and Hf isotope analyses of detrital zircons from Late Paleozoic sediment: Insights into interactions of the North China Craton with surrounding plates. Journal of Asian Earth Sciences, 39(5):335~346.
- Liu Yongsheng, Hu Zhaochu, Gao Shan, Günther D, Xu Juan, Gao Changgui, Chen Haihong. 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard. Chemical Geology, 257(1~2):34~43.
- Liu Yongsheng, Gao Shan, Hu Zhaochu, Gao Changgui, Zong Keqing, Wang Dongbing. 2010a. Continental and Oceanic Crust Recycling-induced Melt—Peridotite Interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb Dating, Hf Isotopes and trace Elements in Zircon from Mantle Xenoliths. Journal of Petrology, 51(1~2):537~571.
- Liu Yongsheng, Hu Zhaochu, Zong Keqing, Gao Changgui, Gao Shan, Xu Ju'an, Chen Haihong. 2010b. Reappraisal and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS. Chinese Science Bulletin, 55(15):1535~1546.
- Ludwig K R. 2003. User's manual for ISOPLLOT 3.0: A geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley: Berkeley Geochronology Center Special Publication, 1~70.
- Meng Qingren, Wang Erchie, Hu Jianmin. 2005. Mesozoic sedimentary evolution of the northwest Sichuan basin: Implication for continued clockwise rotation of the South China block. Geological Society of

- America Bulletin, 117(3~4): 396~410.
- Santosh M, Wilde S A, Li J H. 2007. Timing of paleoproterozoic ultrahigh-temperature metamorphism in the North China Craton: evidence from SHRIMP U-Pb zircon geochronology. *Precambrian Research*, 159(3): 178~196.
- Wang Zhihong, Wilde S A, Wang Kaiyi, Yu Liangjun. 2004. A MORB—arc basalt—adakite association in the 2.5 Ga Wutai greenstone belt: late Archean magmatism and crustal growth in the North China Craton. *Precambrian Research*, 131(3~4): 323~343.
- Wiedenbeck M, Alle P, Corfu F, Griffin W L, Meier M, Oberli F. 1995. Natural zircon Standards for U—Th—Pb, Lu—Hf, Trace-element and REE analyses. *Geostandards Newsletter*, 19(1): 1~23.
- Wilde S A, Zhao Guochun, Sun Min. 2002. Development of the North China Craton during the late Archaean and its final amalgamation at 1.8 Ga: Some speculations on its position within a global Palaeoproterozoic supercontinent. *Gondwana Research*, 5(1): 85~94.
- Wu Fuyuan, Zhao Guochun, Wilde S A, Sun Deyou. 2005. Nd isotopic constraints on crustal formation in the North China Craton. 24(5): 523~545.
- Xia Xiaoping, Sun Min, Zhao Guochun, Luo Yan. 2006. LA-ICP-MS U-Pb geochronology of detrital zircons from the Jining Complex, North China Craton and its tectonic Significance. *Precambrian Research*, 144(3): 199~212.
- Xia Xiaoping, Sun Min, Zhao Guochun, Wu Fuyuan, Xie Liewen. 2009. U-Pb and Hf isotopic study of detrital zircons from the Luliang khondalite, North China Craton, and their tectonic implications. *Geological Magazine*, 146(5): 701~716.
- Zhang Hongfei, Zhang Benren, Harris N, Zhang Li, Chen Yuelong, Chen Nengsong, Zhao Zhidan. 2006. U-Pb zircon SHRIMP ages, geochemical and Sr—Nd—Pb isotopic composition of intrusive rocks from the Longshan—Tianshui Area in the southeast corner of Qilian orogenic belt, China: Constraints on petrogenesis and tectonic affinity. *Journal of Asian Earth Science*, 27(6): 751~764.
- Zhang Jin, Li Jinyi, Liu Jianfeng, Feng Qianwen. 2011. Detrital zircon U-Pb ages of Middle Ordovician flysch sandstones in the western ordos margin: New constraints on their provenance and tectonic implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 42(5): 1030~1047.
- Zhao Guochun, Wilde S A, Cawood P A, Sun Min. 2002. SHRIMP U-Pb zircon ages of the Fuping Complex: Implications for Late Archean to Paleoproterozoic accretion and assembly of the North Craton. *American Journal of Science*, 302(3): 191~226.
- Zhu Xiyun, Chen Fukun, Li Shuangqing, Yang Yizeng, Nie Hu, Siebel W, Zhai Mingguo. 2011. Crustal evolution of the North Qinling terrain of the Qinling Orogen, China: evidence from detrital zircon U-Pb ages and Hf isotopic composition. *Gondwana Research*. 20(1): 194~204.

LA-ICP-MS U-Pb Dating of Detrital Zircons from Kongtongshan Formation Conglomerate in the Southwestern Margin of Ordos Basin and Its Tectonic Significance

YANG Hua^{1,2)}, XIN Bushe³⁾, FU Jinhua^{1,2)}, YAO Jinli^{1,2)}, WANG Duoyun³⁾

1) *PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an, 710018;*

2) *National Engineering Laboratory for Exploration and Development of Low-Permeability Oil and Gas Fields, Xi'an, 710018;*

3) *College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing, 100875*

Abstract: Kongtongshan Formation is nominated in Kongtongshan region of Pingliang, Gansu Province. The strata is mainly composed of thick-bedded red Conglomerate and is usually named Kongtongshan Formation Conglomerate. It has been controversial about genetic mechanism, provenance and sedimentary age of Kongtongshan Formation Conglomerate. In this paper, the authors conducted LA-ICP-MS zircon U-Pb isotope geochronologic method to analyze the age of detrital zircon from three samples of Kongtongshan Formation Conglomerate. The results show that the age spectra of detrital zircon can be evidently divided into five groups: 380~479Ma, 561~1198Ma, 1285~1982Ma, 2319~2612Ma and 2714~2764Ma. Based on the age of detrital zircon features and combined with previous research results, the authors contend that the provenance of Kongtongshan Formation Conglomerate mainly from Qinling—Qilian Orogenic belt and minor from Alxa massif and Ordos Block. The sedimentary age of Kongtongshan Conglomerate is the middle to late Triassic Epoch. The Kongtongshan Formation Conglomerate should be sedimentary response of interplate Orogenic Belt rather than intraplate Orogenic Belt.

Key words: Ordos Basin; Kongtongshan Formation Conglomerate; detrital Zircons; provenance; sedimentary age