

鄂尔多斯盆地南缘南曹德组与庄河沟组碎屑 锆石年代学及其地质意义

康昱¹⁾, 陈刚¹⁾, 夏晓雨¹⁾, 任帅锋¹⁾, 张卫刚^{1,2)}, 师平平¹⁾

1) 大陆动力学国家重点实验室, 西北大学地质学系, 西安, 710069;

2) 中石油长庆油田分公司第八采油厂, 西安, 710021

内容提要:运用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学方法, 分析探讨了鄂尔多斯盆地南缘南曹德组和庄河沟组的沉积时代、物源特征及其所处的华北(鄂尔多斯地块)与北秦岭地体之间的构造演化关系。结果表明: 两件砂岩样品的碎屑锆石年龄谱基本一致, 测年数据集中分布在 820~995 Ma($n=13$)、1041~1203 Ma($n=23$)、1223~1451 Ma($n=36$)、1458~1650 Ma($n=24$)、1659~1935 Ma($n=39$)、2017~2445 Ma($n=7$) 6 个区间, 对应的峰值年龄分别接近 832Ma、1120 Ma、1330 Ma、1590 Ma、1856 Ma 和 2090 Ma。这与邻区经典的震旦系正目观组和罗圈组具有相似的碎屑锆石年龄谱特征, 年轻主峰年龄 832Ma, 包含有 4 个 820~834Ma 的年轻单颗粒锆石年龄, 显著有别于以往认为与之可比的研究区近邻剖面锆石 U-Pb 高频主峰年龄主要集中在 454Ma 的奥陶系平凉组, 由此认为南曹德组和庄河沟组应属于新元古代晚期 832Ma 之后或震旦纪的沉积岩石单元。锆石 U-Pb 年龄谱的区域对比进一步揭示, 南曹德组和庄河沟组的滨浅海沉积碎屑物源明显具有来自华北(鄂尔多斯)陆块与北秦岭(杂岩)地体的双向混合物源特征, 表明华北陆块与北秦岭地体至少在 832Ma 之前的格林威尔晚期已经碰撞拼合为一体, 随后在新元古代晚期拼合大陆边缘接受了大致与 Rodinia 超大陆裂解事件相当的陆缘海相碎屑岩沉积。

关键词: 鄂尔多斯盆地南缘; 南曹德组和庄河沟组; 锆石 U-Pb 定年; 沉积时代与物源

鄂尔多斯盆地南缘陕西礼泉唐王陵、永寿磨子沟和岐山窟山沟一带, 出露一套以泥灰岩—碎屑岩(南曹德组)、泥页岩夹砂岩(庄河沟组)、含燧石角砾藻云岩(皇坪组)和杂砾岩(昭陵组)为主要特征的海相沉积建造组合, 习惯上将其称之为广义的唐王陵砾岩或唐王陵组(Zhang Wentang et al., 1979; Zhang Jisen et al., 1981; Jian Wanchou et al., 1983; Li Qinzong et al., 1983; Fu Jiayuan et al., 1985; Hong Qingyu et al., 1985; Zhou Dingwu et al., 1994), 同时其沉积时代和沉积物源长期存在较大争议。早期部分学者将唐王陵砾岩与华北陆块西南缘经典的震旦系正目观组和罗圈组对比, 认为其属于晚前寒武纪晚期的冰碛砾岩或陆缘裂陷重力流沉积(Zhang Wentang et al., 1979; Liu Hongyun et al., 1980; Zhang Jisen et al., 1981; Ye Jian et al., 1983; Zhou Dingwu et al., 1994)和 Zhou Dingwu et al. (1994)将其下部组合的南曹德组、庄河沟组和皇

坪组归之于青白口纪, 上部组合的昭陵组砾岩归之于震旦纪, 并相继在泥页岩层段获得了晚前寒武纪晚期的碳质大化石、古植物化石和 696~654Ma 的全岩 Rb-Sr 年龄(Jian Wanchou et al., 1983; Fu Jiayuan et al., 1985; Shao Lei, 1988; Zhou Dingwu et al., 1994)。之后, 另有学者和陕西省区域地质志(1989)倾向于将其与鄂尔多斯盆地南缘奥陶系上统的平凉组对比, 认为它们同属奥陶纪晚期的陆缘斜坡深水重力流沉积(Chen Wanchuan et al., 1984; Zhang Kang et al., 1992; Ma Runhua, 1998; He Zixin et al., 2004)并报道在该套层系的皇坪组(也称唐二段)白云岩中局部偶见有可能属于奥陶纪的牙形刺、介形虫和放射虫等化石残片(Hong Qingyu et al., 1985; Li Qinzong et al., 1985), 但“化石不完整、种属难定”(Li Qinzong et al., 1985)或产出层位及图像属性不够明确而受到部分学者质疑(Jian Wanchou et al., 1983; Fu Jiayuan et al.,

注: 本文为国家自然科学基金重点项目(编号 41630312)、大陆动力学国家重点实验室科技部重点专项(编号 BJ14252)、国家基础科学人才培养基金(编号 XDCX2016-16)和中国地质调查局海相油气资源调查项目(编号 1212011220761)联合资助成果。

收稿日期: 2017-11-07; 改回日期: 2018-04-27; 责任编辑: 周健。

作者简介: 康昱, 男, 1992 年生。博士研究生, 主要从事盆地分析与油气地质研究。Email: m18629612820@163.com。通讯作者: 陈刚, 男, 1965 年生。教授, 博士生导师, 主要从事含油气盆地地质学研究。Email: chengang@nwu.edu.cn。

1985; Zhou Dingwu et al., 1994)。上述争议不同程度地制约了人们对鄂尔多斯地块南缘及其与北秦岭之间晚前寒武纪或早古生代构造古地理格局的认识。近年来,我们进一步开展了唐王陵砾岩露头剖面的野外地质勘查,并在永寿磨子沟剖面南段的南曹德组和乾县唐王陵柳树沟剖面南段的庄河沟组分别采集了两件砂岩样品,开展了碎屑锆石 U-Pb 年代学和沉积物源分析,探讨该套长期存有争议地层单元的沉积时代和物源,以期为(华北)鄂尔多斯地块与北秦岭关系研究提供新的约束。

1 地质背景与样品采集

鄂尔多斯盆地西南缘处于鄂尔多斯稳定地块与

秦岭-祁连构造活动带之间(图 1a)。受加里东期和燕山期造山运动的影响,该区地层发育不全,局部出露熊耳群基性火山岩和蓊县系白云岩,广泛出露新元古界震旦系以及下古生界寒武系和奥陶系,普遍缺失志留系—石炭系,整体以海相沉积为主,之后转入区域滨海沼泽、广阔内陆盆地的发展阶段,发育上古生界、中生界以碎屑岩为特征的陆相沉积。

本次研究样品分别采自磨子沟剖面南曹德组中部夹含的灰白色中粗粒石英砂岩样品(NCS)和唐王陵柳树沟剖面南段庄河沟组中部夹含的灰绿色细粒长石石英杂砂岩样品(ZHS),采样位置见图 1b,地理坐标分别为 34°36′45.5″N,108°3′37.7″E 和 34°36′51.5″N,108°28′3.4″E。

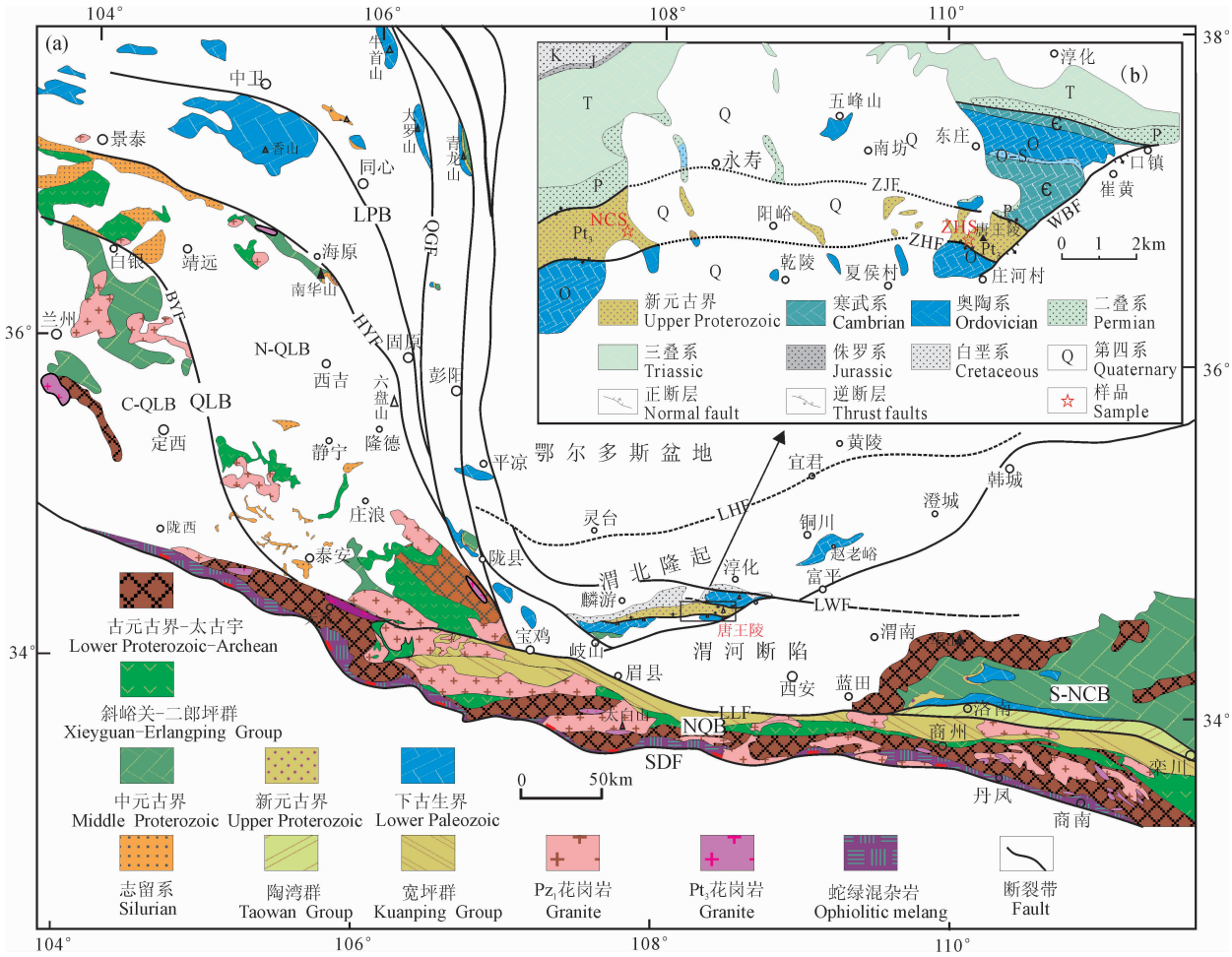


图 1 鄂尔多斯盆地西南缘构造格架(a)及研究区构造地质特征(b)

Fig. 1 Geotectonic framework of the southwestern margin of Ordos basin (a) and geotectonic feature of the study area (b) (a): LPB—六盘山构造带;QLB—祁连构造带;NQB—北秦岭构造带;S-NCB—华北南缘构造带;LHF—灵台-黄陵断裂;QGF—青铜峡-固原断裂;HYF—海原断裂;BYF—白银断裂;LWF—老龙山-灵宝-鲁山-舞阳断裂;LLF—洛南-栾川断裂;SDF—商丹断裂;(b): ZHF—庄河沟逆断层;ZJF—张家嘴逆断层;WBF—渭河断陷北缘断层

(a): LPB—Liupanshan structure belt; QLB—Qilian structure belt; NQB—North Qinling structure belt; S-NCB—south margin of North China structure belt; LHF—Lingtai-Huangling fault; QGF—Qingtongxia-Guyuan fault; HYF—Haiyuan fault; BYF—Baiyin fault; LWF—Laolongshan-Lingbao-Lushan-Wuyang fault; LLF—Luonan-Luanchuan fault; SDF—Shandan fault; (b): ZHF—Zhuanghegou thrust fault; ZJF—Zhangjiagou thrust fault; WBF—north margin of Weihe fault depression normal fault

2 分析方法

锆石分选工作在河北省区域地质矿产调查研究所实验室完成, 锆石颗粒的样品制靶和阴极发光 (CL) 照片的拍摄以及锆石的 LA-ICP-MS 测试分析均在西北大学大陆动力学国家重点实验室进行。锆石的阴极发光图像在 Quanta400FEG 型电子显微镜和联动的 Mono CL3+ 型阴极发光探头分析仪上拍摄完成; 锆石 LA-ICP-MS 测试仪器为准分子激光剥蚀系统 Geolas200M 和 Elan6100DCR 型四级杆质谱仪, 激光剥蚀斑束直径为 $30\mu\text{m}$ 。采用国际标准锆石 91500 作为外标进行同位素分馏校正, 元素含量采用人工合成硅酸盐玻璃 NIST610 作为外标,²⁹Si 为内标进行校正。同位素比值和元素含量数据处理采用 Glitter(ver4.0) 软件完成, 之后在普通铅校正的基础上利用 Isoplot(ver3.0) 宏程序计算年龄并绘制谐和图(Ludwing, 2003)。在分析过程中, 对于年龄<1 Ga 的锆石采用²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄, 年龄>1 Ga 的锆石则采用²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄; 文中所采用的锆石 U-Pb 年龄均为谐和年龄, 谐和度控制在(90%~110%)。

3 分析测试结果

3.1 锆石特征

样品中分选出的锆石主要呈浅黄色自形、半自形透明晶体, 形态上多呈短柱状和次圆柱状, 部分受到破碎作用而晶形不完整, 断口有磨蚀痕迹, 粒径一般为 $15\sim 200\mu\text{m}$, 磨圆度和分选性较差。锆石 CL 图像显示(图 2), 大部分锆石具有明显的震荡环带, 显示岩浆锆石特征; 另有少数锆石的 CL 发光性较差、无明显的成分环带。两件样品的锆石 Th、U 含量分别为 $13.9\times 10^{-6}\sim 919\times 10^{-6}$ 和 $26.5\times 10^{-6}\sim 1176.5\times 10^{-6}$, Th/U 比值介于 0.18~1.44 之间; 其中, Th/U 比值大于 0.4 的锆石占所测总数的 85%, 介于 0.1~0.4 之间的占 15%, 未发现比值小于 0.1 的变质锆石, 相应的锆石 U-Pb 年龄分布特征见图 3。

3.2 测年结果

南曹德组砂岩样品 NCS 中测试获得了 71 个满足谐和度要求的单颗粒锆石 U-Pb 年龄(表 1)。年龄分布范围为 827~2679 Ma, 主要集中在 820~874 Ma ($n=5$)、1088~1286 Ma ($n=19$)、1319~

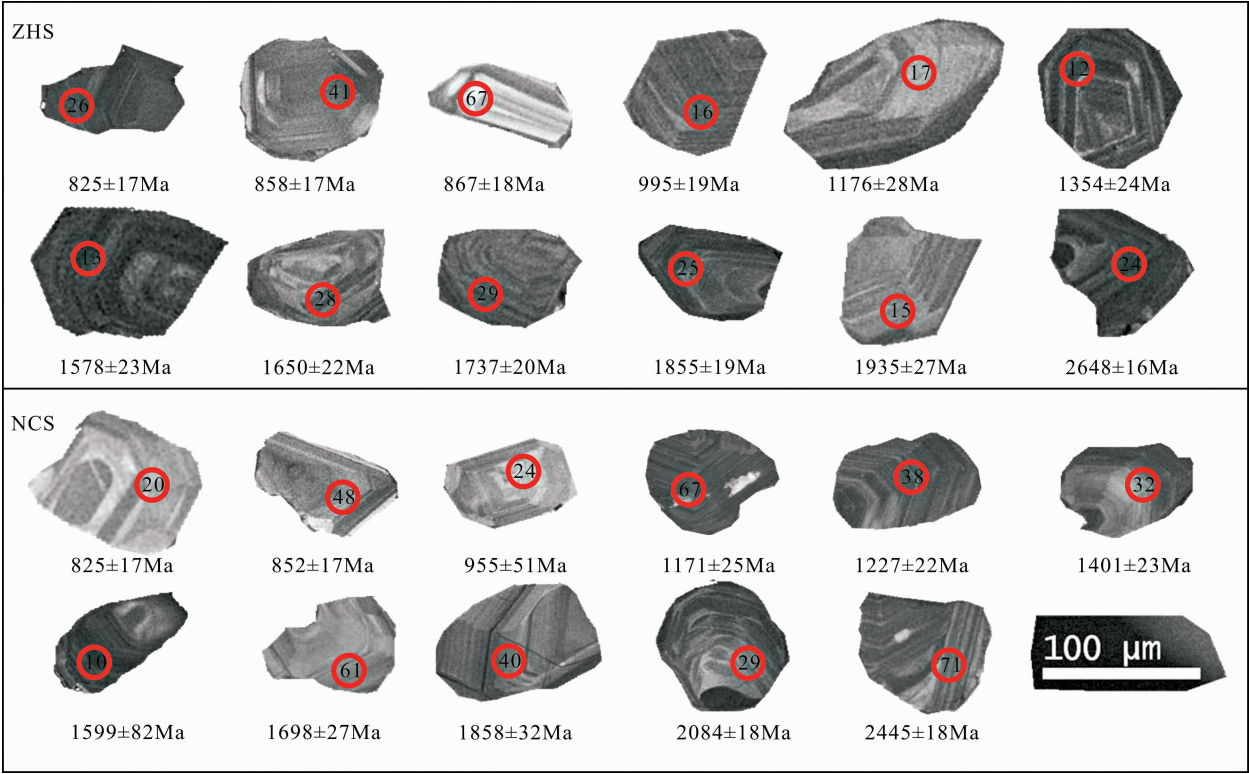


图 2 唐王陵砾岩 ZHS 和 NCS 砂岩样品部分代表性锆石阴极发光 (CL) 图像 (红圈代表测年点位置)
Fig. 2 Representative CL images of detrital zircons for the sandstone samples ZHS and NCS from the Tangwangling conglomerate sedimentary rocks (the red circles indicate the sites of U-Pb age analyses)

表 1 唐王陵砾岩 ZHS 和 NCS 砂岩样品 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年数据

Table 1 LA-ICP-MS U-Pb data for zircons of the sandstone samples ZHS and NCS from the Tangwangling conglomerate																
测点	Th	U	Th U	同位素比值						同位素年龄(Ma)						谐和度 (%)
	(×10 ⁻⁶)			²⁰⁷ Pb ²⁰⁶ Pb	1δ	²⁰⁷ Pb ²³⁵ U	1δ	²⁰⁶ Pb ²³⁸ U	1δ	²⁰⁷ Pb ²⁰⁶ Pb	1δ	²⁰⁷ Pb ²³⁵ U	1δ	²⁰⁶ Pb ²³⁸ U	1δ	
ZHS																
01	205.8	379.3	0.54	0.1156	0.0039	5.4697	0.1312	0.3428	0.0070	1889	19	1896	21	1900	34	100.6
02	277.4	508.8	0.55	0.0911	0.0031	3.0176	0.0753	0.2399	0.0049	1449	22	1412	19	1386	25	95.7
03	716.0	617.8	1.16	0.1127	0.0045	4.6371	0.1505	0.2981	0.0067	1843	29	1756	27	1682	33	91.3
04	95.8	105.8	0.90	0.0795	0.0043	2.0683	0.0996	0.1884	0.0045	1186	58	1138	33	1113	25	93.8
05	13.9	47.4	0.29	0.0740	0.0067	1.9175	0.1653	0.1878	0.0057	1041	125	1087	58	1109	31	106.5
06	111.8	101.7	1.10	0.1136	0.0048	5.0569	0.1776	0.3226	0.0075	1858	32	1829	30	1802	37	97.0
07	320.9	319.3	1.01	0.0963	0.0034	3.6777	0.0970	0.2768	0.0058	1553	23	1567	21	1575	29	101.4
08	182.7	649.7	0.28	0.0762	0.0027	1.9483	0.0503	0.1853	0.0038	1099	24	1098	17	1096	21	99.7
09	42.6	39.6	1.08	0.0978	0.0061	3.4357	0.1982	0.2546	0.0071	1582	67	1513	45	1462	36	92.4
10	101.6	120.7	0.84	0.1118	0.0044	5.0470	0.1603	0.3271	0.0073	1829	28	1827	27	1824	36	99.7
12	150.1	367.5	0.41	0.0867	0.0031	2.8134	0.0759	0.2351	0.0049	1354	24	1359	20	1361	25	100.5
13	246.1	344.0	0.72	0.0976	0.0035	3.4389	0.0920	0.2555	0.0053	1578	23	1513	21	1467	27	93.0
14	296.1	687.0	0.43	0.0767	0.0027	1.9842	0.0534	0.1876	0.0039	1112	25	1110	18	1108	21	99.6
15	199.4	324.2	0.62	0.1186	0.0046	5.1385	0.1590	0.3141	0.0070	1935	27	1842	26	1761	34	91.0
16	645.7	1176.5	0.55	0.0801	0.0028	1.8461	0.0468	0.1669	0.0034	1200	23	1062	17	995	19	93.7
17	83.1	327.4	0.25	0.0791	0.0030	2.1839	0.0635	0.2000	0.0042	1176	28	1176	20	1175	23	99.9
18	510.5	740.1	0.69	0.1139	0.0041	4.7529	0.1281	0.3023	0.0064	1863	22	1777	23	1703	32	91.4
19	584.6	438.3	1.33	0.1035	0.0035	3.9441	0.0990	0.2761	0.0057	1688	21	1623	20	1572	29	93.1
20	173.0	342.1	0.51	0.1149	0.0038	5.3972	0.1307	0.3405	0.0070	1878	20	1884	21	1889	34	100.6
21	236.4	588.3	0.40	0.0750	0.0027	1.8617	0.0515	0.1799	0.0037	1068	26	1068	18	1067	20	99.9
22	145.6	515.1	0.28	0.1062	0.0036	4.1317	0.1032	0.2818	0.0059	1736	21	1661	20	1601	29	92.2
23	158.2	399.1	0.40	0.1166	0.0040	5.2432	0.1302	0.3260	0.0068	1904	20	1860	21	1819	33	95.5
24	144.7	821.4	0.18	0.1794	0.0056	12.3939	0.2643	0.5006	0.0101	2648	16	2635	20	2616	43	98.8
25	312.7	556.7	0.56	0.1134	0.0037	4.9207	0.1154	0.3145	0.0064	1855	19	1806	20	1763	32	95.0
26	303.9	477.8	0.64	0.0689	0.0028	1.2985	0.0438	0.1366	0.0029	896	36	845	19	825	17	97.6
27	257.2	574.6	0.45	0.0771	0.0028	1.8367	0.0517	0.1726	0.0036	1124	27	1059	18	1026	20	91.3
28	213.5	277.6	0.77	0.1014	0.0035	3.9616	0.1035	0.2831	0.0059	1650	22	1626	21	1607	30	97.4
29	152.7	452.3	0.34	0.1063	0.0035	4.5573	0.1096	0.3108	0.0064	1737	20	1741	20	1744	32	100.4
30	187.1	211.3	0.89	0.0912	0.0070	3.0012	0.2162	0.2385	0.0078	1451	87	1408	55	1379	41	95.0
31	283.7	799.1	0.35	0.0840	0.0028	2.3257	0.0568	0.2008	0.0041	1292	21	1220	17	1179	22	91.3
32	223.2	377.9	0.59	0.0808	0.0030	1.8584	0.0546	0.1668	0.0035	1216	28	1066	19	994	20	93.2
33	422.2	318.1	1.33	0.0912	0.0033	2.9930	0.0817	0.2378	0.0050	1451	24	1406	21	1375	26	94.8
34	688.6	1089.0	0.63	0.0841	0.0027	2.3534	0.0538	0.2028	0.0041	1295	20	1229	16	1191	22	92.0
35	918.9	1042.1	0.88	0.0973	0.0034	3.3585	0.0879	0.2502	0.0053	1573	22	1495	20	1440	27	91.5
36	97.0	99.2	0.98	0.0792	0.0055	2.0115	0.1293	0.1841	0.0053	1177	82	1119	44	1089	29	92.5
37	109.8	221.9	0.50	0.0872	0.0053	2.5809	0.1427	0.2146	0.0059	1319	127	1276	42	1250	31	104.0
38	14.4	26.5	0.55	0.0802	0.0068	2.3825	0.1926	0.2154	0.0072	1201	107	1237	58	1258	38	104.7
39	115.5	122.3	0.94	0.1007	0.0051	3.8685	0.1737	0.2785	0.0072	1637	46	1607	36	1584	36	96.8
40	394.2	585.1	0.67	0.0986	0.0033	3.5557	0.0873	0.2614	0.0054	1598	21	1540	19	1497	28	93.7
41	340.3	483.8	0.70	0.0661	0.0025	1.2984	0.0384	0.1424	0.0030	810	30	845	17	858	17	101.5
42	154.6	201.1	0.77	0.0691	0.0034	1.3164	0.0556	0.1381	0.0032	902	50	853	24	834	18	97.8
43	251.4	576.3	0.44	0.0702	0.0025	1.5189	0.0415	0.1570	0.0033	933	26	938	17	940	18	100.2
44	172.6	195.6	0.88	0.0970	0.0036	3.8261	0.1131	0.2859	0.0062	1568	26	1598	24	1621	31	103.4
45	325.0	540.7	0.60	0.1089	0.0036	4.3031	0.1022	0.2865	0.0059	1782	19	1694	20	1624	30	91.1
46	403.5	1154.8	0.35	0.0759	0.0026	1.5784	0.0396	0.1507	0.0031	1093	23	962	16	905	17	94.1
47	182.9	328.4	0.56	0.0867	0.0031	2.7644	0.0744	0.2312	0.0049	1354	24	1346	20	1341	26	99.0
48	264.5	352.4	0.75	0.1087	0.0036	4.3563	0.1081	0.2907	0.0061	1778	20	1704	20	1645	30	92.5
49	250.0	656.7	0.38	0.0846	0.0028	2.4207	0.0599	0.2076	0.0043	1306	22	1249	18	1216	23	93.1
50	104.9	268.2	0.39	0.0863	0.0035	2.5505	0.0849	0.2142	0.0048	1346	32	1287	24	1251	25	92.9
51	227.2	713.1	0.32	0.1093	0.0035	4.6223	0.1053	0.3069	0.0063	1787	19	1753	19	1725	31	96.5
54	304.8	427.9	0.71	0.0982	0.0033	3.7082	0.0903	0.2740	0.0057	1590	20	1573	19	1561	29	98.2

续表 1

测点	Th	U	$\frac{\text{Th}}{\text{U}}$	同位素比值						同位素年龄(Ma)						谐和度 (%)
	$(\times 10^{-6})$			$\frac{{}^{207}\text{Pb}}{{}^{206}\text{Pb}}$	1δ	$\frac{{}^{207}\text{Pb}}{{}^{235}\text{U}}$	1δ	$\frac{{}^{206}\text{Pb}}{{}^{238}\text{U}}$	1δ	$\frac{{}^{207}\text{Pb}}{{}^{206}\text{Pb}}$	1δ	$\frac{{}^{207}\text{Pb}}{{}^{235}\text{U}}$	1δ	$\frac{{}^{206}\text{Pb}}{{}^{238}\text{U}}$	1δ	
55	147.5	208.8	0.71	0.0974	0.0043	3.5370	0.1328	0.2633	0.0063	1576	37	1536	30	1507	32	95.6
56	134.3	135.7	0.99	0.0766	0.0035	2.1385	0.0829	0.2024	0.0047	1112	42	1161	27	1188	25	106.8
57	246.0	592.4	0.42	0.0930	0.0031	3.2884	0.0812	0.2566	0.0054	1487	21	1478	19	1472	27	99.0
58	90.3	108.6	0.83	0.1109	0.0044	4.9887	0.1614	0.3265	0.0075	1813	29	1817	27	1821	36	100.4
59	296.5	457.3	0.65	0.1038	0.0034	4.0843	0.0987	0.2854	0.0060	1694	20	1651	20	1619	30	95.6
60	264.3	530.3	0.50	0.1144	0.0037	5.1854	0.1205	0.3289	0.0069	1870	19	1850	20	1833	33	98.0
61	322.6	434.5	0.74	0.0887	0.0030	2.8366	0.0710	0.2322	0.0049	1397	22	1365	19	1346	25	96.3
62	256.9	508.3	0.51	0.1060	0.0035	4.4797	0.1091	0.3067	0.0065	1732	20	1727	20	1724	32	99.5
63	169.8	304.9	0.56	0.1058	0.0035	4.5169	0.1108	0.3098	0.0065	1728	20	1734	20	1739	32	100.6
64	228.9	158.6	1.44	0.1129	0.0046	4.7627	0.1617	0.3060	0.0072	1847	30	1778	28	1721	35	93.2
65	119.4	163.4	0.73	0.0764	0.0032	2.1235	0.0742	0.2018	0.0045	1105	36	1156	24	1185	24	107.2
66	105.6	194.9	0.54	0.2166	0.0069	17.4450	0.4067	0.5846	0.0126	2955	17	2960	22	2968	51	100.4
67	128.5	179.6	0.72	0.0690	0.0032	1.3695	0.0546	0.1440	0.0033	900	46	876	23	867	18	99.0
68	46.7	75.9	0.61	0.0745	0.0041	1.8650	0.0924	0.1816	0.0046	1056	60	1069	33	1076	25	101.9
69	574.5	455.4	1.26	0.0986	0.0033	3.4872	0.0861	0.2566	0.0054	1598	21	1524	19	1472	28	92.1
71	101.3	100.4	1.01	0.1039	0.0042	4.1547	0.1390	0.2903	0.0067	1695	31	1665	27	1643	34	96.9
72	112.2	176.5	0.64	0.0916	0.0036	3.0913	0.1012	0.2451	0.0055	1458	31	1431	25	1413	29	96.9
73	83.0	122.5	0.68	0.0813	0.0035	2.3066	0.0861	0.2061	0.0047	1227	39	1214	26	1208	25	98.5
74	151.9	327.4	0.46	0.0853	0.0030	2.6973	0.0720	0.2297	0.0049	1321	24	1328	20	1333	26	100.9
75	64.0	60.0	1.07	0.1122	0.0049	5.1181	0.1925	0.3312	0.0082	1835	35	1839	32	1844	40	100.5
NCS																
01	103.5	112.2	0.92	0.0823	0.0047	2.2090	0.1157	0.1948	0.0051	1251	62	1184	37	1147	28	91.7
03	65.2	107.2	0.61	0.0776	0.0031	1.9982	0.0641	0.1867	0.0041	1137	32	1115	22	1104	22	97.1
04	46.8	52.8	0.89	0.1122	0.0043	4.9692	0.1542	0.3212	0.0073	1835	27	1814	26	1796	35	97.9
05	19.9	31.0	0.64	0.1158	0.0055	5.2595	0.2174	0.3294	0.0085	1893	39	1862	35	1835	41	96.9
06	70.8	171.7	0.41	0.0691	0.0029	1.3147	0.0464	0.1380	0.0030	901	38	852	20	833	17	97.8
07	26.4	29.9	0.88	0.0791	0.0061	2.0462	0.1492	0.1876	0.0058	1175	96	1131	50	1108	31	94.3
08	124.2	205.2	0.61	0.0911	0.0046	3.0949	0.1404	0.2464	0.0056	1449	99	1431	35	1420	29	98.0
10	180.4	366.5	0.49	0.0986	0.0042	3.8453	0.1414	0.2827	0.0062	1599	82	1602	30	1605	31	100.4
11	55.2	131.3	0.42	0.0813	0.0039	2.4020	0.1010	0.2144	0.0047	1228	96	1243	30	1252	25	102.0
12	38.5	116.6	0.33	0.0707	0.0051	1.5894	0.1063	0.1631	0.0042	948	151	966	42	974	23	100.8
13	65.6	184.3	0.36	0.0837	0.0041	2.5221	0.1098	0.2185	0.0049	1286	98	1278	32	1274	26	99.1
14	45.5	94.3	0.48	0.1006	0.0052	3.9589	0.1803	0.2854	0.0068	1635	98	1626	37	1618	34	99.0
15	45.1	48.3	0.93	0.0771	0.0041	1.9296	0.0905	0.1816	0.0045	1123	55	1091	31	1075	24	95.7
16	38.0	80.8	0.47	0.0873	0.0048	2.5854	0.1271	0.2149	0.0050	1744	109	1780	44	1811	39	103.8
17	89.7	113.6	0.79	0.0901	0.0036	2.9961	0.0998	0.2413	0.0054	1477	111	1350	39	1271	27	86.1
18	49.0	63.7	0.77	0.1067	0.0062	4.7715	0.2499	0.3243	0.0080	2017	68	1985	27	1954	36	96.9
19	92.6	164.1	0.56	0.0925	0.0053	2.7782	0.1441	0.2179	0.0051	1184	43	1110	27	1073	23	90.6
21	105.6	265.2	0.40	0.1242	0.0047	6.0610	0.1865	0.3540	0.0076	1384	23	1355	19	1337	25	96.6
22	123.8	239.4	0.52	0.0795	0.0037	1.9845	0.0785	0.1811	0.0042	955	51	1002	28	1024	22	107.2
23	71.6	193.3	0.37	0.0881	0.0030	2.7991	0.0721	0.2305	0.0048	2237	31	2145	33	2050	44	91.6
24	63.9	90.4	0.71	0.0709	0.0035	1.6839	0.0732	0.1722	0.0040	1505	25	1427	21	1375	27	91.4
25	51.3	40.3	1.27	0.1408	0.0060	7.2669	0.2660	0.3744	0.0095	1469	98	1476	35	1480	30	100.7
27	99.9	265.9	0.38	0.0939	0.0034	3.0763	0.0860	0.2377	0.0051	2084	18	2112	20	2142	38	102.8
28	85.8	140.1	0.61	0.0921	0.0046	3.2767	0.1473	0.2581	0.0058	1696	22	1651	21	1615	30	95.2
29	83.6	189.8	0.44	0.1290	0.0042	7.0083	0.1612	0.3941	0.0082	1234	37	1185	25	1159	24	93.9
30	208.2	157.7	1.32	0.1040	0.0036	4.0811	0.1059	0.2847	0.0060	1401	23	1392	20	1386	26	98.9
31	68.0	111.8	0.61	0.0815	0.0035	2.2138	0.0795	0.1970	0.0045	1398	29	1339	23	1302	26	93.1
32	77.2	161.3	0.48	0.0889	0.0031	2.9397	0.0782	0.2399	0.0051	2445	18	2418	22	2386	42	97.6
33	60.7	149.9	0.41	0.0887	0.0034	2.7383	0.0845	0.2239	0.0049	1410	90	1413	31	1414	28	100.3
34	75.3	115.6	0.65	0.1590	0.0052	9.8170	0.2309	0.4479	0.0095	1319	37	1319	27	1319	27	100.0
35	41.4	121.5	0.34	0.0893	0.0041	3.0195	0.1209	0.2453	0.0055	1659	26	1639	24	1624	31	97.9
36	44.1	121.8	0.36	0.0852	0.0036	2.6663	0.0962	0.2271	0.0052	1227	22	1255	18	1271	24	103.6

续表 1

测点	Th	U	$\frac{\text{Th}}{\text{U}}$	同位素比值						同位素年龄(Ma)						谐和度 (%)
	$(\times 10^{-6})$			$\frac{{}^{207}\text{Pb}}{{}^{206}\text{Pb}}$	1δ	$\frac{{}^{207}\text{Pb}}{{}^{235}\text{U}}$	1δ	$\frac{{}^{206}\text{Pb}}{{}^{238}\text{U}}$	1δ	$\frac{{}^{207}\text{Pb}}{{}^{206}\text{Pb}}$	1δ	$\frac{{}^{207}\text{Pb}}{{}^{235}\text{U}}$	1δ	$\frac{{}^{206}\text{Pb}}{{}^{238}\text{U}}$	1δ	
37	76.3	82.4	0.93	0.1019	0.0038	4.0252	0.1176	0.2865	0.0063	1276	25	1232	20	1206	23	94.5
38	63.6	254.0	0.25	0.0812	0.0028	2.4415	0.0617	0.2180	0.0045	1122	178	1163	57	1185	29	105.6
39	148.2	202.6	0.73	0.0833	0.0030	2.3637	0.0648	0.2058	0.0044	1203	89	1139	48	1105	31	91.9
40	326.6	420.8	0.78	0.0770	0.0067	2.1422	0.1762	0.2017	0.0054	1088	43	1119	26	1135	24	104.3
41	52.1	114.2	0.46	0.0802	0.0059	2.0691	0.1437	0.1870	0.0057	1246	34	1214	24	1195	24	95.9
42	37.2	97.8	0.38	0.0758	0.0034	2.0114	0.0781	0.1926	0.0044	1886	21	1916	22	1944	36	103.1
43	106.9	236.8	0.45	0.0820	0.0033	2.3041	0.0776	0.2038	0.0045	1860	22	1805	22	1758	33	94.5
44	111.7	114.1	0.98	0.1154	0.0039	5.6007	0.1418	0.3519	0.0075	1930	72	1912	28	1895	36	98.2
45	96.3	104.4	0.92	0.1137	0.0040	4.9161	0.1309	0.3135	0.0067	1394	28	1348	23	1318	26	94.5
46	78.5	177.7	0.44	0.1183	0.0047	5.5710	0.1824	0.3417	0.0074	894	38	864	20	852	17	98.6
47	56.1	139.3	0.40	0.0885	0.0034	2.7701	0.0843	0.2269	0.0049	1478	32	1434	26	1405	29	95.1
48	70.6	130.1	0.54	0.0689	0.0029	1.3421	0.0470	0.1414	0.0031	1333	32	1371	25	1395	28	104.7
49	110.7	266.4	0.42	0.0925	0.0038	3.1064	0.1048	0.2435	0.0055	1790	24	1822	24	1850	35	103.4
50	34.7	75.2	0.46	0.0858	0.0035	2.8569	0.0948	0.2416	0.0054	1419	106	1351	36	1308	28	92.2
51	60.0	84.8	0.71	0.1095	0.0040	5.0171	0.1416	0.3324	0.0073	1193	74	1171	41	1160	29	97.2
52	40.6	117.6	0.35	0.0897	0.0049	2.7817	0.1350	0.2250	0.0054	1223	66	1151	37	1113	27	91.0
53	33.3	69.3	0.48	0.0798	0.0052	2.1699	0.1293	0.1972	0.0055	1399	45	1370	32	1351	30	96.6
54	27.5	73.8	0.37	0.0811	0.0048	2.1053	0.1145	0.1884	0.0050	1442	24	1403	21	1377	26	95.5
55	26.9	62.1	0.43	0.0887	0.0043	2.8529	0.1199	0.2331	0.0057	1164	106	1172	33	1176	24	101.0
56	99.9	152.5	0.66	0.0908	0.0032	2.9816	0.0821	0.2382	0.0051	1320	37	1245	26	1202	25	91.1
57	105.5	221.5	0.48	0.0787	0.0041	2.1713	0.1024	0.2002	0.0045	1717	96	1711	37	1705	35	99.3
58	33.3	64.7	0.51	0.0852	0.0036	2.4084	0.0866	0.2050	0.0046	1811	26	1832	25	1851	36	102.2
59	49.6	84.8	0.58	0.1052	0.0054	4.3922	0.1991	0.3029	0.0071	1698	27	1646	25	1604	32	94.5
60	42.8	59.9	0.71	0.1107	0.0042	5.0762	0.1522	0.3326	0.0074	889	40	839	21	820	17	97.7
61	75.5	71.1	1.06	0.1041	0.0040	4.0562	0.1248	0.2826	0.0063	1414	22	1437	20	1452	27	102.7
62	89.1	122.0	0.73	0.0687	0.0030	1.2845	0.0467	0.1357	0.0030	1348	32	1273	24	1229	25	91.2
63	96.2	192.1	0.50	0.0895	0.0031	3.1164	0.0803	0.2526	0.0053	1607	27	1599	24	1593	31	99.1
64	228.4	256.3	0.89	0.0864	0.0035	2.5039	0.0820	0.2101	0.0047	1495	44	1445	32	1411	31	94.4
65	38.3	78.3	0.49	0.0991	0.0037	3.8309	0.1146	0.2803	0.0062	1171	25	1147	19	1134	22	96.8
66	244.5	184.4	1.33	0.0933	0.0045	3.1498	0.1325	0.2447	0.0060	1580	32	1594	28	1604	33	101.5
67	141.7	196.1	0.72	0.0790	0.0028	2.0948	0.0577	0.1924	0.0041	2103	25	2114	27	2125	41	101.0
68	131.9	147.5	0.89	0.0977	0.0040	3.8043	0.1307	0.2824	0.0065	1151	26	1178	19	1192	23	103.6
70	30.1	42.6	0.71	0.1304	0.0049	7.0190	0.2136	0.3904	0.0089	1826	29	1849	28	1869	37	102.4
71	61.1	181.3	0.34	0.0782	0.0028	2.1892	0.0605	0.2031	0.0043	1910	25	1938	26	1964	38	102.8
72	28.4	47.2	0.60	0.1116	0.0044	5.1756	0.1680	0.3363	0.0077	2679	16	2687	21	2698	46	100.7
73	55.3	52.3	1.06	0.1169	0.0044	5.7417	0.1720	0.3561	0.0080	1782	22	1835	23	1881	35	105.6
74	122.2	161.1	0.76	0.1829	0.0058	13.1053	0.2918	0.5198	0.0108	2090	18	2101	21	2112	37	101.1
75	61.1	95.2	0.64	0.1090	0.0038	5.0912	0.1360	0.3389	0.0073	1847	22	1850	23	1853	35	100.3
76	72.9	176.6	0.41	0.1294	0.0042	6.9186	0.1612	0.3876	0.0081	2111	20	2125	23	2139	39	101.3
77	66.8	98.8	0.68	0.1129	0.0039	5.1859	0.1376	0.3331	0.0071	1581	25	1602	23	1618	31	102.3
78	69.3	87.8	0.79	0.1310	0.0045	7.1073	0.1827	0.3936	0.0085	1612	23	1627	22	1638	31	101.6
79	49.5	94.3	0.53	0.0977	0.0036	3.8451	0.1095	0.2853	0.0062	1744	109	1780	44	1811	39	103.8
80	81.9	131.7	0.62	0.0994	0.0035	3.9625	0.1081	0.2892	0.0062	1477	111	1350	39	1271	27	86.1

1495 Ma ($n=20$)、1505~1744 Ma ($n=12$)、1782~1930 Ma ($n=11$)和 2017~2237 Ma($n=6$)共 6 个年龄区间,相应的峰值年龄分别为 832 Ma、1200 Ma、1400 Ma、1590 Ma、1840 Ma 和 2090 Ma (图 4);其中,年轻年龄组分中包含有 820Ma、833Ma 和 852Ma 三个最为年轻的单颗粒锆石;古老年龄组分中存在一颗 $2679\pm 16\text{Ma}$ 的太古宙锆石。

庄河沟组砂岩样品 ZHS 中测试获得了 75 个满足谐和度要求的单颗粒锆石 U-Pb 年龄(表 1)。年龄分布范围为 825~2955 Ma,主要集中在 825~995 Ma ($n=8$)、1041~1395 Ma ($n=22$)、1449~1487 Ma ($n=5$)、1553~1650 Ma ($n=11$)和 1688~1935 Ma ($n=23$)共 5 个年龄区间,相应的峰值年龄分别为 852 Ma、1112 Ma、1311 Ma、1586 Ma 和

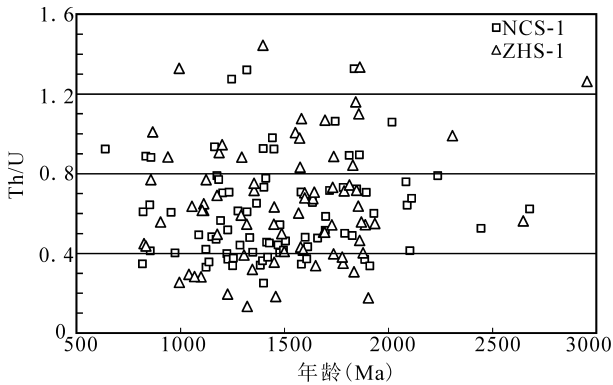


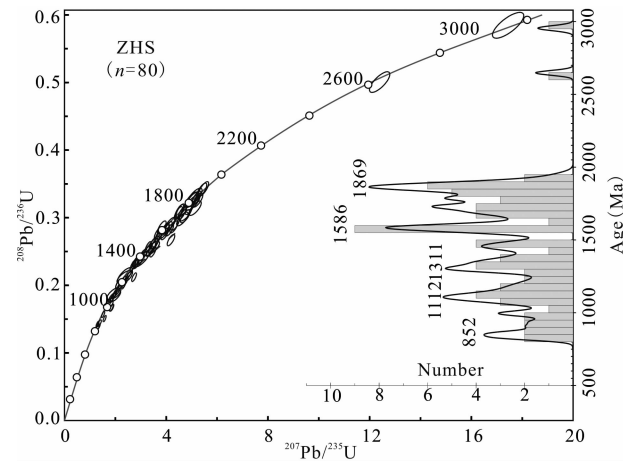
图 3 唐王陵砾岩 ZHS 和 NCS 砂岩样品 Th/U 比值与 U-Pb 年龄关系图

Fig. 3 Zircon age and Th/U relationship diagram for the sandstone samples ZHS and NCS from the Tangwangling conglomerate

1869 Ma (图 4); 其中, 年轻年龄组分中包含有 825Ma、834Ma、858Ma 和 867Ma 四个最为年轻的单颗粒锆石; 古老年龄组分中存在 2648 ± 16 Ma 和 2955 ± 17 Ma 的两颗太古宙锆石。

4 数据分析与讨论

南曹德组和庄河沟组两件砂岩样品的碎屑锆石 U-Pb 测年结果表明, 它们的年龄谱及其主值年龄区间对应的峰值年龄分布特征基本相似(图 4), 总体显示了它们应该属于唐王陵砾岩下部层段沉积时代和物源相近的统一建造组合单元。因此, 在进行相关问题讨论的时候可以将这两件样品的碎屑锆石测年数据合并处理(图 5b)。



4.1 地层时代

碎屑锆石的最小年龄可用来限定地层的最大沉积时代(Dickinson et al., 2009)。本次所测唐王陵砾岩下部层段南曹德组与庄河沟组砂岩样品的碎屑锆石年龄主要包括 820~995Ma ($n=13$), 1041~1203 Ma ($n=23$), 1223~1451 Ma ($n=36$), 1458~1650 Ma ($n=24$), 1659~1935 Ma ($n=39$), 2017~2445 Ma ($n=7$) 等 6 个区间, 对应的峰值年龄分别为 832Ma、1120Ma、1330Ma、1590Ma、1856Ma 和 2090Ma; 其中, 最年轻锆石年龄组分主要集中在 820~905Ma ($n=8$), 峰值年龄为 832Ma(图 5c), 接近或稍早于新元古代青白口纪与(南华纪)震旦纪之间 800Ma 或 780Ma 的分界年龄(Gao Linzhi et al., 2011; Zhang Sengui et al., 2015), 说明唐王陵砾岩下部层段南曹德组和庄河沟组的沉积时代下限至多在新元古代青白口纪晚期。与之相似, Zhang Wenlong et al. (2016)测试获得了唐王陵砾岩上部层段昭陵组砂岩样品的碎屑锆石 U-Pb 年轻年龄峰值接近 815Ma(图 5b); 与之相反, 鄂尔多斯盆地南缘唐王陵砾岩近邻剖面以往认为与之可比的奥陶系平凉组砂岩和凝灰岩碎屑锆石 U-Pb 年代学分析结果表明, 岐山交街剖面平凉组砂岩碎屑锆石 U-Pb 年龄谱的高频主值区间主要集中在 443~477Ma, 峰值年龄接近 454Ma(Yang Fu et al., 2015) (图 5a), 礼泉西陵沟、淳化铁瓦殿、耀县桃曲坡和富平赵老峪剖面平凉组凝灰岩的锆石 U-Pb 年龄全部集中在 451.5~465.8Ma 之间(Chen Cheng et al., 2012; Wu Sujuan et al., 2014; Wang Zhentao et

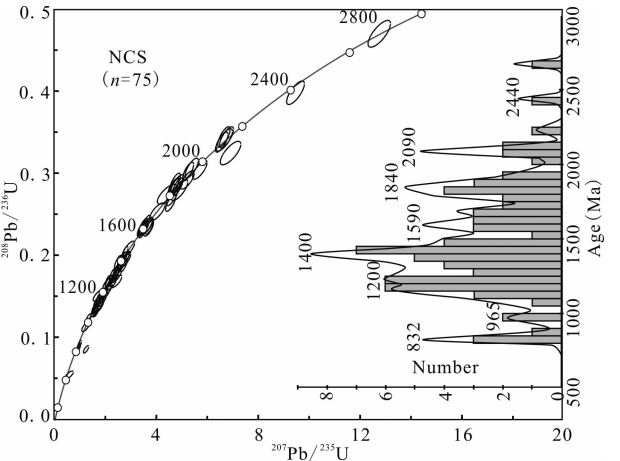


图 4 唐王陵砾岩 ZHS 和 NCS 砂岩样品碎屑锆石 U-Pb 年龄谱和图及年龄谱特征

Fig. 4 U-Pb concordia diagrams of detrital zircons and correlation to probability plots of zircon ages for the sandstone samples ZHS and NCS from the Tangwangling conglomerate

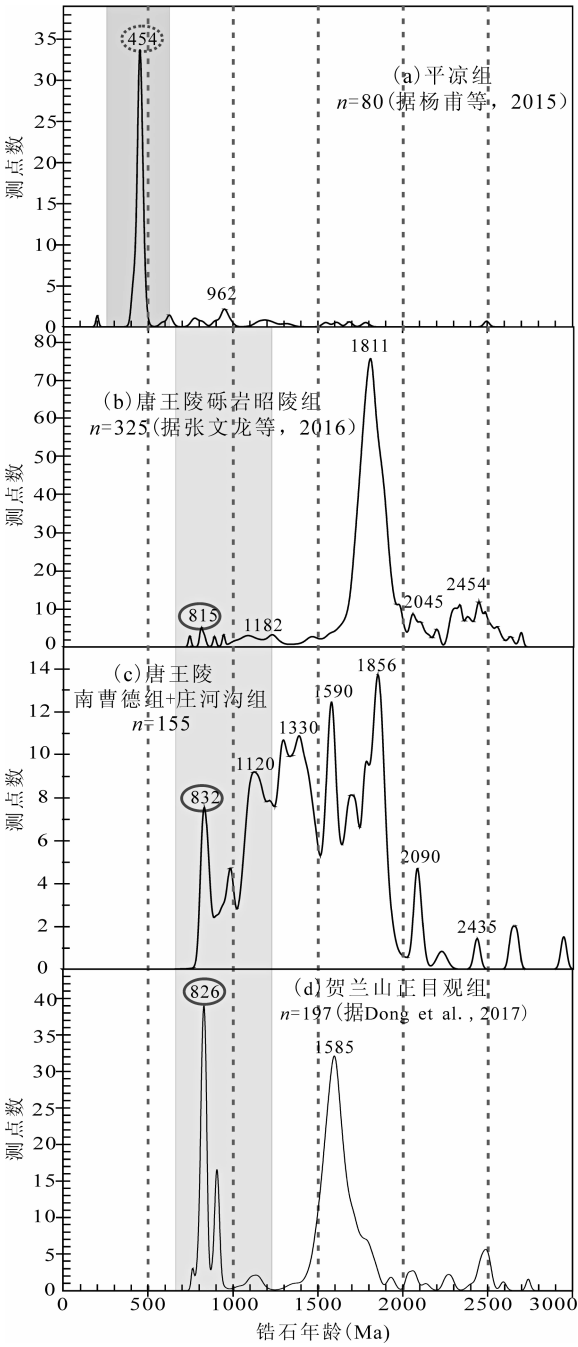


图 5 唐王陵砾岩(b、c)碎屑锆石 U-Pb 年龄频率直方图
及其与平凉组(a)、正目观组(d)年龄数据对比
Fig. 5 Contrasting relative probability plots of detrital
zircons for the TWL conglomerate (b、c), Pingliang
Formation (a) and Zhengmuguan Formation (d)

al., 2018), 揭示了平凉组主体属于奥陶纪晚期(北秦岭)弧后海相碎屑岩沉积。

最近, Dong Xiaopeng and Hu Jianmin (2017) 对鄂尔多斯盆地西缘贺兰山苏峪口剖面经典的震旦系正目观组砂岩样品进行了锆石 U-Pb 定年, 年龄谱分析结果揭示了正目观组砂岩存在 2.48Ga、

1.67Ga、0.9Ga、0.82Ga 等 4 个与主值年龄区间相应的峰值年龄(图 5d), 其中最年轻锆石组分的峰值年龄与唐王陵砾岩各组段的已有测年结果基本接近。另外, Hu Bo et al. (2015) 对鄂尔多斯盆地南缘相邻洛南上张湾剖面经典的震旦系罗圈组砂岩进行了碎屑锆石 U-Pb 定年, 获得了 2.5Ga、2.2~2.0Ga、1.8Ga、1.6Ga、1.2 和 1.1Ga 等 5 个与主值年龄区间相应的峰值年龄, 其中最年轻锆石组分的峰值年龄接近或略大于唐王陵砾岩各组段的已有测年结果。

综合上述分析可以看出, 研究区唐王陵砾岩下部层段南曹德组和庄河沟组的碎屑锆石 U-Pb 年龄谱及其最小峰值年龄不仅与其上部层段昭陵组基本相似, 而且总体可与盆地西、南缘近邻剖面的震旦系正目观组和罗圈组相比; 但明显不同于奥陶系上统的平凉组, 尤其是显著缺少平凉组砂岩主要源于晚奥陶世北秦岭碰撞火山弧物源区的锆石 U-Pb 高频峰值年龄(454Ma)记录(图 5)。进一步结合前人曾在庄河沟组和昭陵组海相沉积泥页岩中获得的大量属于晚前寒武纪的碳质大化石、古植物化石和多组 696~654Ma 全岩 Rb-Sr 年龄等相关证据资料(Jian Wanchou et al., 1983; Fu Jianyuan et al., 1985; Shao Lei, 1988; Zhou Dingwu et al., 1994), 综合分析认为, 唐王陵砾岩下部层段南曹德组和庄河沟组及其上部层段昭陵组应该主体属于与鄂尔多斯盆地西南缘正目观组和罗圈组可比的新元古代晚期或震旦纪陆缘海相碎屑岩沉积。

4.2 沉积物源分析

4.2.1 早前寒武纪锆石碎屑物源

鄂尔多斯盆地南缘研究区南曹德组和庄河沟组锆石 U-Pb 测年数据中共有 32 颗锆石年龄(1811~2955Ma)属于古元古代-新太古代, 约占锆石测点总数的 22%, 主峰年龄主要集中在古元古代末的 1.8Ga, 其余次峰年龄分别接近 2.1Ga、2.4Ga 和 2.6Ga。近邻区域, 华北(鄂尔多斯)陆块南缘出露有太华群、登封群和安沟群等新太古代-古元古代的高变质结晶基底岩系。其中, 太华群发育新太古代和古元古代两次主要构造岩浆变质事件, 主要包含 2.7~2.6Ga、2.5~2.1Ga、2.0~1.9Ga 三组峰期年龄(Diwu Chunrong et al., 2010; Shi Yu et al., 2014); 登封群和安沟群主要形成于 2.5Ga, 且共同经历了华北区域峰值年龄接近 1.8Ga 的区域构造热变质事件(Xue Liangwei et al., 2004; Gao Shan et al., 2005; Yang Chonghui et al., 2009)。因此,

研究区南曹德组和庄河沟组古元古代—新太古代的碎屑锆石应该主要来自华北(鄂尔多斯)陆块南缘的古老变质基底岩系。

4.2.2 中元古代锆石碎屑物源

研究区南曹德组和庄河沟组的锆石 U-Pb 测年数据中共有 104 颗锆石年龄(1041~1790Ma)属于中元古代,占样品总测点数的 71%,其中包含 1041~1203Ma ($n=23$)、1223~1451Ma ($n=36$) 和 1458~1650Ma ($n=24$) 三个主要年龄区间,对应的峰值年龄分别为 1.12Ga、1.39Ga 和 1.60Ga。已有研究表明,华北陆块自古元古代末期约 1.8Ga 的区域变质事件后进入地台演化阶段,发育约 1.78Ga、1.72~1.62Ga、1.38~1.32Ga 和 0.9~0.8Ga 四期中—新元古代岩浆作用(Zhai Mingguo et al., 2014),但除了华北陆块南缘裂陷槽发育的峰期年龄主要集中在 1.78~1.62Ga 的熊耳群火山岩和碱性花岗岩外(Peng et al., 2008; He et al., 2009; Cui et al., 2010, 2011; Zhai Mingguo et al., 2014),其余中新元古代岩浆活动事件主要发育在与研究区位置相距较远的华北陆块东、北缘;研究区所在华北(鄂尔多斯)陆块南缘毗邻的北秦岭地区,较古老的秦岭岩群副变质岩中残存有大量 1.8~1.6Ga、1.6~1.4Ga 和少量 1.3~1.1Ga 的锆石 U-Pb 年龄记录(Lu Songnian et al., 2006; Yang Li et al., 2010)。因此,华北南缘浅变质的熊耳群火山岩、碱性花岗岩和北秦岭较古老的秦岭群变质杂岩应该主体上构成了研究区南曹德组和庄河沟组的中元古代锆石碎屑物源。

4.2.3 新元古代锆石碎屑物源

研究区南曹德组和庄河沟组的锆石 U-Pb 测年数据中共有 10 颗锆石 U-Pb 年龄(825~995Ma)属于新元古代,约占样品总测点数的 7%。近些年来,在华北(鄂尔多斯)陆块西南缘相邻北秦岭古老变质杂岩中相继发现了不少新元古代侵入岩的构造热年代学记录。诸如:拉鸡庙 973 ± 6 Ma 的闪长岩体(Liu Junfeng et al., 2009)、牛角山 955 ± 13 Ma 的二长花岗岩体(Wang Tao et al., 2005)、德河 948 ± 9 Ma 的花岗片麻岩体(Liu Bingxiang et al., 2013)、石槽沟 925 ± 11 Ma 的花岗片麻岩体(Chen et al., 2004)、寨根 914 ± 10 Ma 的黑云母花岗片麻岩体(Chen et al., 2006)、官山 929 ± 16 Ma 和 911 ± 18 Ma 的黑云母花岗片麻岩体(Chen et al., 2006; Lu Songnian et al., 2003)、蔡凹 889 ± 10 Ma 的花岗闪长岩体(Zhang Chengli et al., 2004)、商

南 889 ± 22 Ma 的二长花岗岩体(Lu Songnian et al., 2003)、两河口 863 ± 17 Ma 和 852 ± 2 Ma 的黑云花岗片麻岩体(Chen Junlu et al., 2004)、黄土坳 844 ± 4 Ma 的黑云母花岗岩体(Chen et al., 2006)等;此外,新元古代栾川群中还发现了峰值年龄主要集中在 826~830Ma 的基性侵入岩(Wang et al., 2011)。因此,研究区南曹德组和庄河沟组新元古代 820~995Ma 的碎屑锆石应该主要来自北秦岭的新元古代构造岩浆岩系。

4.3 构造古地理环境讨论

已有研究表明,华北陆块的初始 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值和 Pb 同位素比值明显低于其南缘相邻的北秦岭(杂岩)地体,这一差异明显的地球化学分区特征指示华北陆块与北秦岭(杂岩)地体至少在晚前寒武纪之前应该属于不存在亲缘关系的相互独立块体(Dong Yunpeng et al., 2003)。但是,晚前寒武纪以来二者究竟是在何时以何种方式拼合为一体的,以及华北陆块南缘与北秦岭晚前寒武纪构造古地理格局及其是否受到了格林威尔期 Rodinia 超大陆拼合及随后裂解事件的影响等,一直是人们关注和争议的热点问题,至少目前依然存在晚前寒武纪格林威尔期与早古生代加里东晚期两大主要争议(Dong et al., 2014; Yu et al., 2015)。

研究区唐王陵砾岩下部层段南曹德组和庄河沟组的碎屑锆石 U-Pb 测年数据及其组合年龄谱特征均存在接近 1.8Ga 的高频主峰年龄,以及相对偏低频的 2.44Ga 最老峰值年龄和 1.12Ga、0.83Ga 的年轻峰值年龄,这不仅显示了与其共同出露在华北(鄂尔多斯)陆块西南缘统一构造单元的震旦系正目观组和罗圈组具有沉积时代和物源的可比性,而且指示了这套新元古代晚期的滨浅海相陆源碎屑沉积具有来自华北陆块与北秦岭杂岩地体的双向混合物源特征。其中,主峰年龄接近 1.8Ga 和 2.44Ga 的古老碎屑锆石颗粒,应该主要来自于华北(鄂尔多斯)陆块的变质基底岩系;年轻年龄组分(995~820Ma)及其峰值年龄接近 0.83Ga 的碎屑锆石颗粒,显然主要来自于北秦岭新元古代晚期的中酸性岩浆岩系。由此推断,这一时期华北(鄂尔多斯)陆块与北秦岭(杂岩)地体之间不存在分隔其南、北双向物源的深海洋盆,至少此时(甚或在此之前?)的北秦岭(杂岩)地体已经拼合为华北(鄂尔多斯)地块南部增生型大陆边缘的重要组成部分,并在此背景下发育形成了华北(鄂尔多斯)陆块西南缘包括唐王陵砾岩及其近邻区段正目观组和罗圈组在内的新元古代晚

期或震旦纪陆缘裂陷海槽沉积。

研究区唐王陵砾岩下部层段南曹德组主要发育滨浅海相碳酸盐岩夹碎屑岩沉积,尤其是上部层段发育了一套厚达百余米的崩塌角砾岩沉积(Jian Wanchou et al., 1983; Ye Jian et al., 1983; Zhou Dingwu et al., 1994),这些 4~5m 甚或 20~30m 的巨砾大都呈次棱角状,主要由滑塌揉皱褶曲的灰白色细粒石英砂岩、紫红色泥页岩和灰绿色泥灰岩组成,表现为未固结成岩的同沉积期断裂活动构造环境下的沉积建造特点。实际上,唐王陵砾岩上部层段昭陵组的沉积环境更为动荡,其中昭陵组一段主要发育含燧石条带白云岩大型滑塌块体的泥页岩沉积,向上的昭陵组二段转变为大规模的间歇性水下泥石流、碎屑流夹颗粒流或浊流沉积(Ye Jian et al., 1983; Hong Qingyu., 1985; Zhang Kang et al., 1992),昭陵组三段又突变为偏浅水的泥石流或冲积扇沉积(Ye Jian et al., 1983),这些多期次近源快速堆积、厚度巨大(>600m)的杂砾岩沉积和水体忽深忽浅的活跃变化特点共同指示了陆缘断陷盆地沉积特征(Zhang Kang et al., 1992; Zhou Dingwu et al., 1994)。相邻区域,与之近邻的洛南罗圈组和贺兰山正目观组的震旦系砾岩(或冰碛岩?),共同发育于华北(鄂尔多斯)陆块西南缘的统一构造单元,虽然对其是否属于或与“冰碛岩”成因有关的问题还存有争议,但大多数学者更倾向认为它们总体属于新元古代晚期围绕华北(鄂尔多斯)陆块西南部断裂活动型大陆边缘的滨浅海水下扇或伴有重力流改造的冰川或泥石流堆积扇沉积(Liu Hongyun et al., 1980; Zhang Jisen et al., 1981; Ye Jian et al., 1983; Wu Ruitang et al., 1988; Zhou Dingwu et al., 1994; Cai Xiongfei et al., 2013; Zhang Wenlong et al., 2016)。

鄂尔多斯盆地南缘南曹德组和庄河沟组的上述碎屑锆石 U-Pb 年龄谱及其物源对比特征,从碎屑锆石年代学的物源示踪角度进一步提供或印证了北秦岭地区中一新元古代洋盆转换的构造岩浆变质事件记录,碎屑锆石年龄谱中包含有两组来自北秦岭物源区峰值年龄接近 1120Ma 和 832Ma 的年轻锆石组分,一方面较好地记录了北秦岭地区与格林威尔期 Rodinia 超大陆拼合及其随后初始裂解时间近乎接近的两期构造岩浆活动事件,另一方面提供并支持了华北(鄂尔多斯)陆块与北秦岭地体的碰撞拼合-隆升事件主要发生在峰值年龄接近 1.12Ga 的格林威尔碰撞造山期,同时也限定了华北(鄂尔多斯)

陆块与北秦岭地体拼合增生型大陆边缘的碰撞后伸展断陷沉积主要发生在峰值年龄接近 0.83Ga 之后的新元古代晚期,它们共同表明华北(鄂尔多斯)陆块西南缘及其相邻北秦岭地区很可能经历或至少一定程度上受到了 Rodinia 超大陆拼合-裂解事件的影响。

5 结论与认识

(1)鄂尔多斯盆地南缘唐王陵砾岩下部层段的南曹德组和庄河沟组碎屑锆石 U-Pb 年龄主要包含 820~995 Ma ($n=13$)、1041~1203 Ma ($n=23$)、1223~1451 Ma ($n=36$)、1458~1650 Ma ($n=24$)、1659~1935 Ma ($n=39$)、2017~2445 Ma ($n=7$) 等 6 个主值年龄区间,对应 832 Ma、1120 Ma、1330 Ma、1590 Ma、1856 Ma、2090 Ma 多组峰值年龄。

(2)南曹德组和庄河沟组碎屑锆石 U-Pb 年龄谱与鄂尔多斯盆地西、南缘经典的震旦系正目观组和罗圈组基本一致,最年轻的峰值年龄接近 832Ma,显著有别于以往认为与之可比的研究区近邻剖面奥陶系上统平凉组,尤其是明显缺少平凉组 454Ma 的高频主峰年龄,表明其沉积时代应该为新元古代晚期或震旦纪。

(3)鄂尔多斯地块南缘南曹德组和庄河沟组沉积具有来自华北(鄂尔多斯)陆块与北秦岭(杂岩)地体的双向混合物源特征,指示同沉积期华北陆块与北秦岭(杂岩)地体之间不存在分隔其南、北双向物源的深海洋盆,至少此时或在此陆缘裂陷沉积之前北秦岭地体已经拼合为华北陆块南部增生型大陆边缘的重要组成部分。

致谢:感谢成都理工大学刘树根教授,中国地质大学何登发教授,西北大学翦万筹教授、周鼎武教授和刘池阳教授,以及大陆动力学国家重点实验室董云鹏教授、柳小明研究员和第五春荣博士在实验分析和问题讨论方面的多方帮助和启示。

References

- Bureau of Geology and Mineral Resource of Shaanxi Province. 1989. Regional Geology of Shaanxi Province. Beijing: Geological Publishing House, 1~698 (in Chinese).
- Cai Xiongfei, Yang Jie, He Wenjian, Zeng Zuoxun. 2013. A restudy of the Upper Sinian Zhengmuguan and Tuerkeng Formation in the Helan Mountains. *Journal of Stratigraphy*, 37 (3): 377~386 (in Chinese with English abstract).
- Chen Cheng, Shi Xiaoyin, Pei Yunpeng, Wang Xinqiang. 2012. K-Bentonites from the Jinsushan Formation of Late Ordovician,

- Southern Ordos Basin: SHRIMP dating and tectonic environment. *Geoscience*, 26(2): 205~219 (in Chinese with English abstract).
- Chen Danling, Liu Liang, Sun Yong, Zhang Anda, Zhang Chengli, Liu Xiaoming, Luo Jinhai. 2004. Determination of the Neoproterozoic Shicaogou syn-collisional granite in the eastern Qinling Mountains and its geological implications. *Acta Geologica Sinica(English Edition)*, 78(1): 73~82.
- Chen Junlu, Wang Zongqi, Xu Xueyi, Zheng Zuoxun, Wang Hongliang, He Shiping. 2007. Geochemical characteristics and petrogenetic investigation of the Lianghekou granite pluton, northern Qinling Mountains. *Acta Petrologica Sinica*, 23(5): 1043~1054 (in Chinese with English abstract).
- Chen Wanchuan, Hao Shumin, Huang Jiabin. 1984. Characteristics and formational mechanism of the sediment gravity flow of the Tangwangling Formation of Shaanxi. *Experimental Petroleum Geology*, 6(3): 203~212 (in Chinese with English abstract).
- Chen Zhihong, Lu Songnian, Li Huaikun, Li Huimin, Xing Zhenqun, Zhou Hongying, Song Biao. 2006. Constraining the role of the Qinling orogeny in the assembly and break up of Rodinia; Tectonic implications for Neoproterozoic granite occurrences. *Journal of Asian Earth Science*, 28: 99~115.
- Cui Minli, Zhao Baolin, Peng Peng, Zhang Lianchang, Shen Xiaoli, Guo Zhihua, Huang Xuefei. 2010. Zircon/baddeleyite U-Pb dating for the Paleo-proterozoic intermediate-acid intrusive rocks in Xiaoshan Mountains, west of Henan Province and their constraints on the age of the Xiong'er Volcanic Province. *Acta Petrologica Sinica*, 26(5): 1541~1549 (in Chinese with English abstract).
- Cui Minli, Zhao Baolin, Zhang Lianchang. 2011. U-Pb dating of baddeleyite and zircon from the Shizhaigou diorite in the southern margin of North China Craton: Constraints on the timing and tectonic setting of the Paleo-proterozoic Xiong'er Group. *Gondwana Research*, 20: 184~193.
- Dickinson W R, Gehrels G E. 2009. Use of U-Pb ages of detrital zircons to infer maximum depositional ages of strata: A test against a Colorado Plateau Mesozoic database. *Earth and Planetary Science Letters*, 288(1/2): 115~125.
- Diwu Chunrong, Sun Yong, Lin Ciluan, Wang Hongliang. 2010. LA-ICP-MS U-Pb zircon geochronology and Lu-Hf isotope of the Taihua Complex on the southern margin of the North China Craton. *Chinese Science Bulletin*, 55(21): 2112~2123 (in Chinese with English abstract).
- Dong Xiaopeng, Hu Jianmin, Li Zhenhong, Zhao Yi, Gong Wangbin, Yang Yong. 2017. Provenance of Ediacaran (Sinian) sediments in the Helanshan area, North China Craton: Constraints from U-Pb geochronology and Hf isotopes of detrital zircons. *Precambrian Research*, 298: 490~511.
- Dong Yunpeng, Zhang Guowei, Zhu Binquan. 2003. Proterozoic tectonics and evolutionary history of the North Qinling terrane. *Acta Geoscientia Sinica*, 24(1): 3~10 (in Chinese with English abstract).
- Dong Yunpeng, Yang Zhao, Liu Xiaoming, Zhang Xiaoning, He Dengfeng, Li Wei, Zhang Feifei, Sun Shengsi, Zhang Hongfu, Zhang Guowei. 2014. Neoproterozoic amalgamation of the Northern Qinling terrain to the North China Craton: Constraints from geochronology and geochemistry of the Kuanping ophiolite. *Gondwana Research*, 225: 77~95.
- Fu Jiayuan. 1985. Micropalaeoflora assemblage from Tangwangling Formation of Liquan, Shaanxi and discussion on its stratigraphic age. *Bulletin Tianjin Institute Geology and Mineral Resource*, 13: 75~86 (in Chinese with English abstract).
- Gao Linzhi, Ding Xiaozhong, Pang Weihua, Zhang Chuanheng. 2011. New geologic time scale of Meso- and Neoproterozoic of China and geochronologic constraint by SHRIMP zircon U-Pb dating. *Journal of Stratigraphy*, 35(1): 1~7 (in Chinese with English abstract).
- Gao Shan, Zhou Lian, Ling Wenli. 2005. Age and geochemistry of volcanic of Angou Group at the Archean Proterozoic boundary. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 30(3): 259~263 (in Chinese with English abstract).
- He Yanhong, Zhao Guochun, Sun Min, Xia Xiaoping. 2009. SHRIMP and LA-ICP-MS zircon geochronology of the Xiong'er volcanic rocks: Implications for the Paleo-Mesoproterozoic evolution of the southern margin of the North China Craton. *Precambrian Research*, 168(3/4): 213~222.
- He Zixin, Yang Hua, Yuan Xiaoqi. 2004. The geological section Atlas of Ordos Basin. Beijing: Petroleum Industry Press, 1~422 (in Chinese with English abstract).
- Hu Bo, Zhai Mingguo, Wu Jialin, Jia Xiaoliang, Zhang Haidong. 2015. Detrital zircons LA-ICP-MS U-Pb dating of Neoproterozoic tillite in the south margin of NCC and geological implication. *Acta Mineralogica Sinica*, 31: 701 (in Chinese with English abstract).
- Jian Wanchou, Ye Jian. 1983. A discussion about the age of the TWL conglomerate. *Journal of Xi'an Geological Institute*, 5(2): 1~8 (in Chinese with English abstract).
- Li Qinzong, Yang Yingzhang, Jia Jinchang. 1983. The age and origin of the "TWL conglomerate" in Liquan County, Shaanxi province. *Geology of Shaanxi*, 1(1): 47~56 (in Chinese with English abstract).
- Liu Bingxiang, Nie Hu, Qi Yue, Yang Li, Zhu Xiyan, Chen Fukun. 2013. Genesis and geological significances of Neoproterozoic granitoids in the North Qinling terrain, SW Henan China. *Acta Petrologica Sinica*, 29(7): 2437~2455 (in Chinese with English abstract).
- Liu Hongyun, Dong Rongsheng, Li Jianlin. 1980. Problems of classification and correlation of the Sinian System. *Scientia Geological Sinica*, (4): 307~321 (in Chinese with English abstract).
- Liu Junfeng, Sun Yong, Sun Weidong. 2009. LA-ICP-MS zircon dating from the Lajimiao mafic complex in the Qinling orogenic belt. *Acta Petrologica Sinica*, 25(2): 320~330 (in Chinese with English abstract).

- Lu Songnian, Li Huaikun, Chen Zhihong. 2003. Meso-Neoproterozoic Geological Evolution of the Qinling and Its Response to Rodinia Event. Beijing: Geological Publishing House, 118~124 (in Chinese).
- Lu Songnian, Chen Zhihong, Xiang Zhenqun, Li Huimin, Sng Biao, Li Huaikun. 2006. U-Pb ages of detrital zircons from the para-metamorphic rocks of the Qinling Group and their geological significance. *Earth Science Frontiers*, 13(6): 303~310 (in Chinese with English abstract).
- Ma Runhua. 1998. Lithostratigraphy of Shaanxi Province. Wuhan: China University of Geosciences Press, 48~145 (in Chinese).
- Peng Peng, Zhai Mingguo, Ernst R E. 2008. A 1.78 Ga large igneous province in the North China craton: The Xiong'er volcanic province and the North China dyke swarm. *Lithos*, 101: 260~280.
- Shao Lei. 1988. The new data about the late Precambrian strata of Mozigou in Qianxian county, Shaanxi Province. *Journal of northwest university: Natural Science Edition*, 18(1): 96~106 (in Chinese with English abstract).
- Shi Yu, Yu Jinhai, Yang Qijun, Liu Xijun, Feng Zuohai, Zhu Yuhua. 2014. Zircon U-Pb age from Taihua group in Xiaolinling area and crustal evolution of the southern North China Craton. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 36(1): 218~229 (in Chinese with English abstract).
- Wang Tao, Zhang Zongqing, Wang Xiaoxia, Wang Yanbin, Zhang Chengli. 2005. Neoproterozoic collisional deformation in the core of the Qinling orogen and its age: Constrained by zircon SHRIMP dating of strongly deformed syn-collisional granites and weakly deformed granitic veins. *Acta Geologica Sinica*, 79(2): 220~231 (in Chinese with English abstract).
- Wang Zhentao, Zhou Hongrui, Wang Xiulian, Jing Xunchun, Ma Boyong. 2018. First report on zircon U-Pb geochronology of K-bentonites from the lower part of the upper Ordovician Taoqupo formation in Yaoxian, Shaanxi. *Acta Geologica Sinica*, 92(2): 330~340 (in Chinese with English abstract).
- Wu Ruitang, Guan Debao. 1988. On the glaciogene characteristics of the Luoquan Formation and its reworking by gravity flows. *Acta Geologica Sinica*, 1: 78~89 (in Chinese with English abstract).
- Wu Sujuan, Li Zhenhong, Hu Jianmin, Gong Wangbin. 2014. Confirmation of Ordovician sediments in south margin of Ordos basin by SHRIMP U-Pb zircon dating of volcanic tuff interlayers and its significance. *Geological Review*, 60(4): 903~912 (in Chinese with English abstract).
- Xue Liangwei, Zhang Tianyi, Xu Li, Lu Xinxiang. 2004. A discussion on the classification and dating of the Dengfeng Group. *Acta Geoscientia Sinica*, 25(2): 229~234 (in Chinese with English abstract).
- Yang Chonghui, Du Lilin, Ren Liudong, Wan Yusheng, Song Huixia, Yuan Zhenlei, Wang Shiyan. 2009. SHRIMP U-Pb ages and stratigraphic correlation of the Angou Group on the southern margin of the North China Craton. *Acta Petrologica Sinica*, 25(8): 1853~1862 (in Chinese with English abstract).
- Yang Fu, Chen Gang, Chen Qiang, Ding Chao, Gao Lei, Lei Panpan, Zhang Wenlong. 2015. U-Pb dating of detrital zircon from Upper Ordovician Pingliang Formation in the southwest margin of the Ordos basin and provenance analysis. *Geological Review*, 61(1): 172~182 (in Chinese with English abstract).
- Yang Li, Chen Fukun, Yang Yizeng, Li Shuangqing, Zhu Xiyan. 2010. Zircon U-Pb ages of the Qinling group in Danfeng area: Recording Mesoproterozoic and Neoproterozoic magmatism and early Paleozoic metamorphism in the North Qinling terrain. *Acta Petrologica Sinica*, 26(5): 1589~1603 (in Chinese with English abstract).
- Yu Shan, Li Sanzhong, Zhao Shujuan, Cao Haohao, Suo Yanhui. 2015. Long history of a Grenville orogen relic-The North Qinling terrane: Evolution of the Qinling orogenic belt from Rodinia to Gondwana. *Precambrian Research*, 271: 98~117.
- Zhai Mingguo, Hu Bo, Peng Peng, Zhao Taiping. 2014. Meso-Neoproterozoic magmatic events and multi-stage rifting in the NCC. *Earth Science Frontiers*, 21(1): 100~119 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Chengli, Liu Liang, Zhang Guowei, Wang Tao, Chen Danling, Yuan Honglin, Liu Xiaoming. 2004. Determination of Neoproterozoic post-collisional granites in the north Qinling Mountains and its tectonic significance. *Earth Science Frontiers*, 11(3): 33~42 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Jisen, Fei Anqi. 1981. Late Sinian tillite exposed in Tangwangling region of Liquan County in Shaanxi Province. *Journal of Stratigraphy*, 5(1): 10~15 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Kang. 1992. Olistostrome in Ordovician system, western and southern margin of Ordos basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 10(1): 11~18 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Sengui, Zhang Yunbai, Yan Huijun. 2015. Introduction to the stratigraphic chart of China (2014). *Journal of Stratigraphy*, 39(4): 359~366 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Wenlong, Chen Gang, Gao Lei, Zhang Ruohui, Yang Fu, Shi Xiaolin, Shen Jinjiang. 2016. Detrital zircon U-Pb geochronology from Zhaolin Formation in Tangwangling. *Acta Sedimentologica Sinica*, 34(3): 497~505 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Wentang, Zhu Zhaoling, Yuan Kexing, et al.. 1979. Boundaries of Earlier Precambrian and Precambrian in southern and southwest of North China plate. *Journal of Stratigraphy*, 3(1): 51~56 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Dingwu, Zhao Zhongyuan, Li Yinde, et al. 1994. Geological Features of Southwest Margin of Ordos Basin and Its Relationships with Qinling Orogenic Belt. Beijing: Geological Publishing House, 1~96 (in Chinese).

参 考 文 献

蔡雄飞, 杨捷, 何文键, 曾佐勋. 2013. 贺兰山震旦系研究的新进

展——对正目观组、兔儿坑组的再认识. 地层学杂志, 37(3): 377~386.

陈诚, 史晓颖, 裴云鹏, 王新强. 2012. 鄂尔多斯盆地南缘晚奥陶世钾质斑脱岩—SHRIMP 测年及其成因环境. 现代地质, 26(2): 205~219.

陈隽璐, 王宗起, 徐学义, 曾佐勋, 王洪亮, 何世平. 2007. 北秦岭两河口岩体的地球化学特征及其成因. 岩石学报, 23(5): 1043~1054.

陈万川, 郝蜀民, 黄家斌. 1984. 陕西唐王陵组沉积物重力流特征和形成机理. 石油实验地质, 6(3): 203~212.

崔敏利, 张宝林, 彭澎, 张连昌, 沈晓丽, 郭志华, 黄雪飞. 2010. 豫西崤山早元古代中酸性侵入岩锆石/斜锆石 U-Pb 测年及其对熊耳火山岩系时限的约束. 岩石学报, 26(5): 1541~1549.

第五春荣, 孙勇, 林慈鑫, 王洪亮. 2010. 河南鲁山地区太华杂岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学及 Hf 同位素组成. 科学通报, 55(21): 2112~2123.

董云鹏, 张国伟, 朱炳泉. 2003. 北秦岭构造属性与元古代构造演化. 地球学报, 24(1): 3~10.

傅嘉媛. 1985. 陕西礼泉唐王陵组微古植物组合及其地层时代讨论//中国地质科学院天津地质矿产研究所论文集. 北京: 中国地质学会, 13: 75~86.

高林志, 丁孝忠, 庞维华, 张传恒. 2011. 中国中一新元古代地层年表的修正. 地层学杂志, 35(1): 1~7.

高山, 周炼, 凌文黎. 2005. 华北克拉通南缘太古一元古界安沟群火山岩的年龄及地球化学. 地球科学—中国地质大学学报, 30(3): 259~263.

何自新, 杨华, 袁效奇. 2004. 鄂尔多斯盆地地质剖面图集. 北京: 石油工业出版社, 1~422.

洪庆玉. 1985. 唐王陵组岩石学特征及沉积物重力流. 石油与天然气地质, 6(1): 49~59.

胡波, 翟明国, 吴佳林, 贾晓亮, 张海东. 2015. 华北陆块南缘上元古界冰碛岩碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及其地质意义. 矿物学报(增刊), S1: 701.

翦万筹, 叶俭. 1983. 论“唐王陵砾岩”的层位. 西安地质学院学报, 5(2): 1~8.

李钦仲, 杨应章, 贾金昌. 1983. 陕西礼泉“唐王陵砾岩”的时代及其成因. 陕西地质, 1(1): 47~56.

刘丙祥, 聂虎, 齐珏, 杨力, 祝喜艳, 陈福坤. 2013. 豫西南地区北秦岭地体新元古代花岗岩类岩石成因及其地质意义. 岩石学报, 29(7): 2437~2455.

刘鸿允, 董榕生, 李建林等. 1980. 论震旦系划分与对比问题. 地质科学, (4): 307~321.

刘军锋, 孙勇, 孙卫东. 2009. 秦岭拉鸡庙镁铁质岩体锆石 LA-ICPMS 年代学研究. 岩石学报, 25(2): 320~330.

陆松年, 李怀坤, 陈志宏. 2003. 秦岭中一新元古代地质演化及对 Rodinia 超级大陆事件的响应. 北京: 地质出版社, 118~124.

陆松年, 陈志宏, 相振群, 李怀坤, 李惠民, 宋彪. 2006. 秦岭岩群副变质岩碎屑锆石年龄谱及其地质意义探讨. 地学前缘, 13(6): 303~310.

马润华. 1998. 陕西省岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社, 48~145.

陕西省地质矿产局. 1989. 陕西省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1~698.

邵磊. 1988. 陕西乾县磨子沟晚前寒武纪地层新资料. 西北大学学报: 自然科学版, 18(1): 96~106.

时毓, 于津海, 杨启军, 刘希军, 冯佐海, 朱显桦. 2014. 小秦岭地区太华群锆石 U-Pb 年龄及华北克拉通南缘地壳演化. 地球科学与环境学报, 36(1): 218~229.

王涛, 张宗清, 王晓霞, 王彦斌, 张成立. 2005. 秦岭造山带核部新元古代碰撞变形及其时代——强变形同碰撞花岗岩与弱变形脉体锆石 SHRIMP 年龄限定. 地质学报, 79(2): 220~231.

王振涛, 周洪瑞, 王训练, 景秀春, 马伯永. 2018. 陕西耀县上奥陶统桃曲曲组下部钾质斑脱岩 U-Pb 年龄的首次报道. 地质学报, 92(2): 330~340.

吴瑞棠, 关德保. 1988. 论罗圈组的冰成特征及重力流改造. 地质学报, 1: 78~89.

吴素娟, 李振宏, 胡健民, 公王斌. 2014. 鄂尔多斯盆地南缘赵老峪剖面奥陶系凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义. 地质论评, 60(4): 903~912.

薛良伟, 张天义, 徐莉, 卢欣祥. 2004. 登封群的定年及其划分问题的探讨. 地质学报, 25(2): 229~234.

杨崇辉, 杜利林, 任留东, 万渝生, 宋会侠, 原振雷, 王世炎. 2009. 华北克拉通南缘安沟群的 SHRIMP 年龄及地层对比. 岩石学报, 25(8): 1853~1862.

杨甫, 陈刚, 陈强, 丁超, 高磊, 雷盼盼, 张文龙. 2015. 鄂尔多斯盆地西南缘上奥陶统平凉组碎屑岩锆石 U-Pb 年龄及物源分析. 地质论评, 61(1): 172~182.

杨力, 陈福坤, 杨一增, 李双庆, 祝喜艳. 2010. 丹凤地区秦岭岩群片麻岩锆石 U-Pb 年龄: 北秦岭地体中一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.

翟明国, 胡波, 彭澎, 赵太平. 2014. 华北中一新元古代的岩浆作用与多期裂谷事件. 地学前缘, 21(1): 100~119.

张成立, 刘良, 张国伟, 王涛, 陈丹玲, 袁洪林, 柳小明. 2004. 北秦岭新元古代后碰撞花岗岩的确定及其构造意义. 地学前缘, 11(3): 33~42.

张吉森, 费安琦. 1981. 陕西礼泉县唐王岭震旦纪晚期冰碛砾岩. 地层学杂志, 5(1): 10~15.

张抗. 1992. 鄂尔多斯盆地西南缘奥陶系滑塌堆积. 沉积学报, 10(1): 11~18.

章森桂, 张允白, 严惠君. 2015. 《中国地层表》(2014) 正式使用. 地层学杂志, 39(4): 359~366.

张文龙, 陈刚, 章若辉, 高磊, 杨甫, 师晓林, 申锦江. 2016. 唐王陵昭陵组砾岩碎屑锆石 U-Pb 年代学分析. 沉积学报, 34(3): 497~505.

张文堂, 朱兆玲, 袁克兴, 等. 1979. 华北南部、西南部寒武系及上前寒武系的分界. 地层学杂志, 3(1): 51~56.

周鼎武, 赵重远, 李银德, 等. 1994. 鄂尔多斯盆地西南缘地质特征及其与秦岭造山带的关系. 北京: 地质出版社, 1~96.

Detrital Zircon U-Pb Geochronology and Its Geological Implication of the Nancaode and Zhuanghegou Formations in the Southern Margin Ordos Basin

KANG Yu¹⁾, CHEN Gang¹⁾, XIA Xiaoyu¹⁾, REN Shuaifeng¹⁾, ZHANG Weigang^{1,2)}, SHI Pingping¹⁾

1) *State Key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Xi'an, 710069;*

2) *Changqing Oilfield Company, PetroChina Company Limited, CNPC, Xi'an, 710021*

Abstract

The south Ordos basin (S-OB) is located at the west part of the South-sector of North China Block (S-NCB), involved in the multiple orogeny of the North Qinling Belt (NQB) that is composed of the S-NCB to the north and the north Qinling terrain (NQT) to the south. The pre-Ordovician tectonic correlation between the NQT and NCB, as well as the tectonic affinity of the NQT, is still controversial. Here, detrital zircon U-Pb dating analysis of 2-sample sandstones from the neritic-littoral deposits of Nancaode and Zhuanghegou Formations, outcropped in the S-OB, are carried out at the State Key Lab. of Continental Dynamics, China. All the concordant zircons ($n=155$) from sampled sandstones show broadly similar age patterns with a wide range of 825~2445 Ma. The largest population of zircons exhibits ages of 1659~1935 Ma ($n=39$) with a peak age at ca. 1.86 Ga; and the subordinate populations display ages of 2017~2445 Ma ($n=7$), 1458~1650 Ma ($n=24$), 1223~1451 Ma ($n=36$), 1041~1203 Ma ($n=23$) and 825~995 Ma ($n=13$) with the peak ages of ca. 2.09 Ga, 1.59 Ga, 1.33 Ga, 1.12 Ga and 0.83 Ga, respectively. It indicates that the detritus of the the 2-formation deposits were mainly sourced from the metamorphic basement rocks of the NCB and subordinately from the complex and igneous rocks of the NQT. Also, the spectrum of the 2-sample zircon ages, with youngest peak age of 832Ma, is quite similar to that of interlayered sandstones of the late Neoproterozoic (Sinian) tillites exposed in the neighbor study areas of the southwest Ordos basin, but very different from that of sandstones of the Ordovician Pingliang formation outcropped in the S-OB, suggesting the deposit time of the analyzed sample host rocks to be late Neoproterozoic (Sinian) with no more than ca. 0.83 Ga. All of the above reveal that the sedimentary sources of late Neoproterozoic Nancaode and Zhuanghegou Formations are bidirectionally from the NCB and NQT, indicating the NQT was amalgamated to the NCB during the Grenvillian collision to late uplift process. So, it can be supported that the S-NCB amalgamated with NQT as an integrated continental margin developed an extensional sedimentary process after ca. 0.83 Ga, probably corresponding to the Rodinia break-up event.

Key words: zircon U-Pb dating; deposition age and sources; Nancaode and Zhuanghegou Formations; southern margin of the Ordos basin