

南秦岭东河群碎屑锆石 U-Pb 年龄及其板块构造意义*

毛世东^{1,2} 陈衍景^{2,3**} 周振菊³ 鲁颖淮⁴

MAO ShiDong^{1,2}, CHEN YanJing^{2,3**}, ZHOU ZhenJu³ and LU YingHuai⁴

1. 中国人民武装警察部队黄金第十二支队, 成都 611732

2. 中国科学院广州地球化学研究所矿物学与成矿学重点实验室, 广州 510640

3. 北京大学造山带与地壳演化重点实验室, 北京 100871

4. 中国地质大学地质作用过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083

1. 12th Gold Team of Chinese People's Armed Police, Chengdu 611732, China

2. Key Laboratory of Mineralogy and Metallogeny, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

3. Key Laboratory of Orogen and Crust Evolution, Peking University, Beijing 100871, China

4. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2012-10-03 收稿, 2012-12-15 改回.

Mao SD, Chen YJ, Zhou ZJ and Lu YH. 2013. U-Pb ages of detrital zircon grains from the Donghe Group in the Southern Qinling Microcontinent: Implications for tectonic evolution. *Acta Petrologica Sinica*, 29(1): 67–82

Abstract The Southern Qinling Microcontinent is an important tectonic unit of the Qinling orogenic belt. The Early Cretaceous sedimentary sequence is useful to trace the tectonic evolution of the Southern Qinling Microcontinent and sedimentary provenances. Detrital zircon grains from the Early Cretaceous sediments in Southern Qinling Microcontinent yield five U-Pb age clusters of 2600 ~ 2300Ma, 2050 ~ 1800Ma, 1200 ~ 750Ma, 650 ~ 400Ma and 350 ~ 200Ma, corresponding five supercontinental events, namely Kenor, Columbia, Rodinia, Gondwana and Pangaea, respectively. The zircon grains have very complicated sources, but mainly from the Northern Qinling Accretionary Belt and North China Craton, implying that the Southern Qinling Microcontinent was a part of the Qinling-North China united continent, never being an isolated continent, during Late Paleozoic. The youngest age peak constrained that the subduction duration of the Mian-Lue ocean plate northwardly beneath the Qinling-North China united continent was 350 ~ 200Ma; and that the continental collision between the Yangtze Craton and the Qinling-North China united continent began at the Triassic-Jurassic transition, and culminated in Jurassic, instead of in Triassic or earlier suggested in previous studies.

Key words Detrital zircon; U-Pb ages; Early Cretaceous; Southern Qinling Microcontinent; Tectonic evolution

摘 要 南秦岭微陆块是秦岭造山带的重要构造单元,其早白垩世沉积物是研究物源区及南秦岭微陆块构造演化的理想对象。南秦岭微陆块南缘观音坝盆地早白垩世砂砾岩中的碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄给出了 5 个年龄峰,范围分别是 2600 ~ 2300Ma、2050 ~ 1800Ma、1200 ~ 750Ma、650 ~ 400Ma 和 350 ~ 200Ma,对应于 Kenor、Columbia、Rodinia、Gondwana 和 Pangaea 等 5 次超大陆事件。碎屑锆石源区复杂,但主要源自华北克拉通和北秦岭增生带,表明晚古生代南秦岭微陆块是秦岭-华北联合大陆板块的一部分,而非独立的微陆块。最年轻的锆石年龄峰给出了勉略洋向秦岭-华北大陆俯冲的时限,即 350 ~ 200Ma; 扬子与秦岭-华北联合大陆板块的碰撞造山作用始于三叠纪-侏罗纪之交,强烈的挤压造山作用发生在侏罗纪,而非三叠纪或更早。

关键词 碎屑锆石; U-Pb 年龄; 早白垩世; 南秦岭微陆块; 构造演化

中图法分类号 P597.3

* 本文受国家 973 项目 (2012CB416602)、国家自然科学基金项目 (40902025、40703010、40730421、40425006)、国家危机矿山项目 (20089934) 和武警黄金部队科研项目联合资助。

第一作者简介: 毛世东,男,1978 年生,博士生,矿床学专业, E-mail: maoshidong78@163.com

** 通讯作者: 陈衍景,男,教授,矿床学专业, E-mail: yjchen@pku.edu.cn

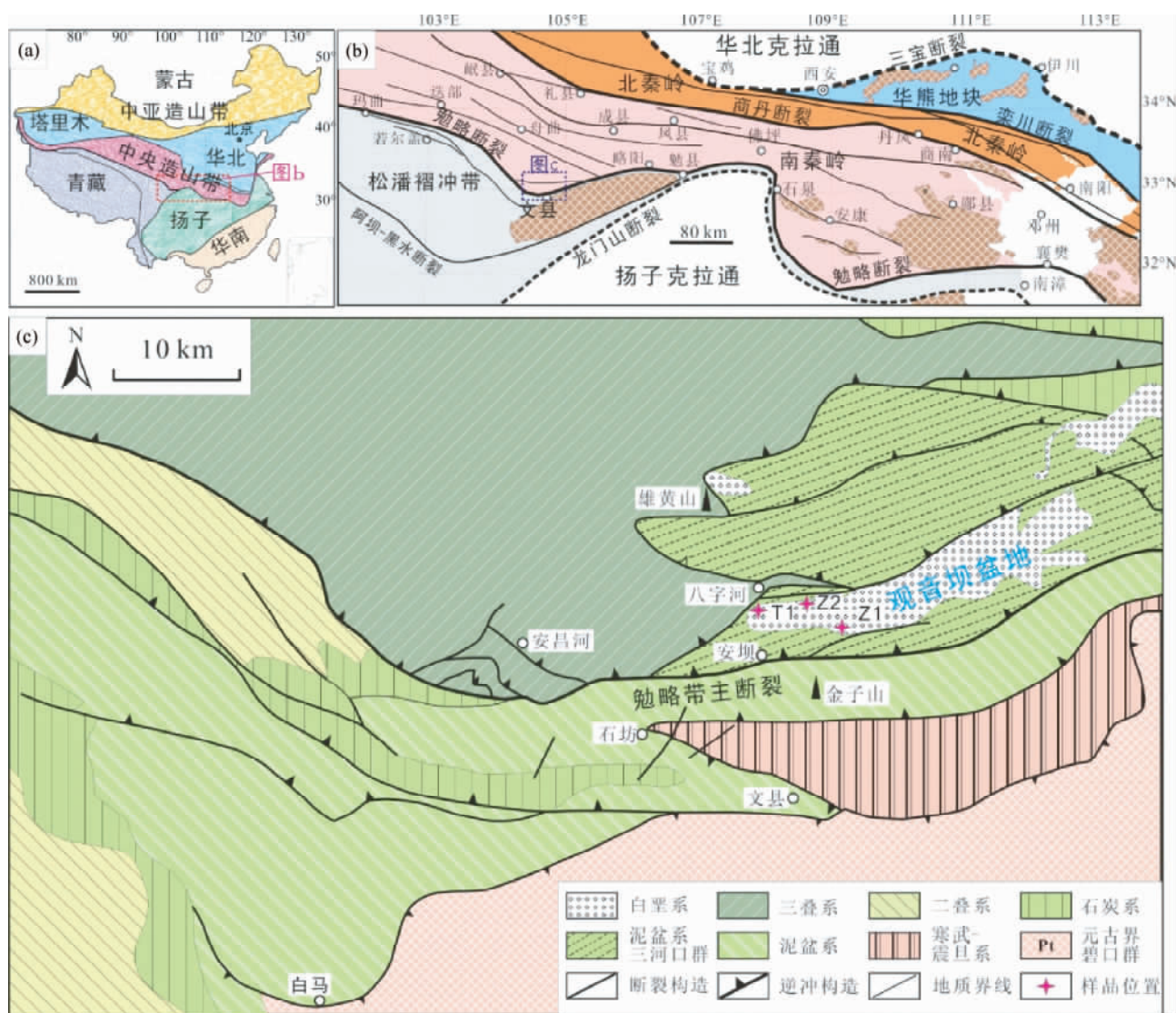


图1 甘肃观音坝盆地早白垩世沉积物地质背景及采样位置(a, b 据 Li *et al.*, 2012)

Fig.1 Regional geology of Early Cretaceous sediment in Guanyinba basin, Gansu, showing sample locations (a, b are modified after Li *et al.*, 2012)

造山带作为盆地沉积物的物源区,其形成和演化控制着盆地的成因、物质组成和充填序列,通过研究沉积记录可以了解物源区的构造属性和物质组成(Dickinson and Suczek, 1979; 陈衍景, 1996; 李任伟等, 2005)。盆地碎屑沉积物中碎屑锆石的 U-Pb 年龄组成可帮助约束物源区的性质和演化,了解盆地和造山带的构造背景(Machao and Gauthier, 1996; Ireland *et al.*, 1998)。锆石 Lu-Hf 同位素体系较为稳定(Kinny and Maas, 2003),既可提供沉积物源区岩浆岩的形成年龄,还可提供岩浆岩的源岩形成信息(Stevenson and Patchett, 1990)。因此,单颗粒碎屑锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素的联合应用,是探索沉积盆地及其物源区地壳性质和构造演化的有力工具(Griffin *et al.*, 2004; Condie *et al.*, 2005)。

南秦岭广泛发育早白垩世山间断陷盆地沉积物,为研究

南秦岭微陆块物质来源和发展演化提供了良好条件。甘肃省文县北部的观音坝盆地发育早白垩世东河群,本文作者运用 LA-ICP-MS 方法研究了东河群砂砾岩碎屑中的锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素地球化学特征,探讨东河群砂砾岩物源区(南秦岭微陆块)的性质、物质来源和构造演化,为全面认识南秦岭微陆块的构造演化历史提供科学依据。限于篇幅,本文重点介绍 U-Pb 年龄结果及其地质意义。

1 地质背景

秦岭造山带横亘中国大陆腹地,大地构造上联接华北和扬子克拉通(图 1a),是古亚洲构造域与特提斯构造域的转换带(Huang and Chen, 1987),或者说是古特提斯构造带的

最北部(陈衍景, 2010; Li *et al.*, 2011a), 是认识中国陆区乃至东亚大陆构造和古特提斯洋演化的关键地区(张国伟等, 2001; Ernst *et al.*, 2007)。

秦岭造山带自北向南包括了华北克拉通南缘(华熊地块)、北秦岭增生带、南秦岭微陆块、扬子克拉通北缘松潘前陆褶冲带(含碧口地块)等4个二级构造单元, 不同构造单元之间的分界均为深大断裂带, 自北向南分别为三宝断裂、栾川断裂、商丹缝合带、勉略缝合带、龙门山-大巴山断裂(图1b; 陈衍景等, 2009)。

张国伟等(2001)高度重视了商丹缝合带和勉略缝合带在显生宙以来构造意义, 将秦岭造山带古生代构造格局概括为“三块两缝”(图1b), 即华北、南秦岭和扬子陆块以及商丹和勉略缝合带。新元古代-早古生代, 南秦岭属于扬子陆块的北缘, 北秦岭属华北克拉通南缘, 之间被原特提斯秦岭洋(商丹洋)所分隔; 原特提斯洋板块向北俯冲消减, 在华北古板块南缘发育沟-弧-盆体系(胡受奚等, 1988; Li and Sun, 1996); 早古生代末, 原特提斯洋闭合, 扬子与华北古板块沿商丹缝合带碰撞。晚古生代早期, 勉略洋打开, 形成古特提斯洋的一部分, 南秦岭微陆块与扬子陆块分离(Meng and Zhang, 2000); 与此同时, 沿商丹缝合带发生伸展, 形成商丹再生海盆(陈衍景和富士谷, 1992; 陈衍景等, 2004), 使南秦岭微陆块广泛发育晚古生代-三叠纪沉积地层。晚古生代晚期至三叠纪, 勉略洋板块俯冲到南秦岭之下, 在勉略缝合带保留了年龄为 350 ~ 242Ma 的蛇绿岩残片(Lai *et al.*, 2008), 在秦岭造山带广泛发育三叠纪陆缘弧环境的花岗岩类(李诺等, 2007; 陈衍景, 2010; Jiang *et al.*, 2010; Ni *et al.*, 2012)。三叠纪之后, 秦岭地区不再发育海相沉积, 标志着古特提斯洋彻底闭合, 扬子与华北两大陆板块之间全面碰撞, 致使三叠系及其以下地层强烈变形和变质(Mattauer *et al.*, 1985)。在秦岭造山带内部, 迄今少见侏罗系地层, 侏罗纪被认为是最强烈的造山隆升期(Zhang *et al.*, 2002; Li *et al.*, 2012)。白垩纪开始, 断陷盆地在秦岭造山带内部广泛出现(Chen *et al.*, 2007)。秦岭造山带内的白垩系断陷盆地多沿商丹、勉略等大断裂带发育, 近东西向延长, 呈地堑式或箕状盆地。盆地沉积物与下伏地层或岩石呈角度不整合, 具磨拉石特点(陈衍景和富士谷, 1992; 张国伟等, 2001)。

甘肃省文县北部的观音坝盆地位于勉略缝合带北侧, 南秦岭微陆块的南缘, 盆地沉积物为一套紫红色砂砾岩、泥岩、灰色页岩(图1), 出露约 150km², 呈 NEE 向展布, 并与西北部的徽成盆地断续相连。该套沉积物产多种植物化石, 限定其时代为侏罗纪-白垩纪; 1999 年 1:5 万区域地质调查中(董翰等, 2000), 发现了鱼类化石 *Lycoptera* sp., 属早白垩世标准化石分子, 使该套地层被厘定为早白垩世。

观音坝盆地早白垩世地层属东河群(代号: K_{1D}), 主要沿八字河断续分布, 沉积建造发育程度受断裂控制, 总体构成一个较为平缓开阔的向斜构造, 角度不整合覆盖于强变形、低级变质的泥盆系三河口群、三叠系等地层之上(图1c)。

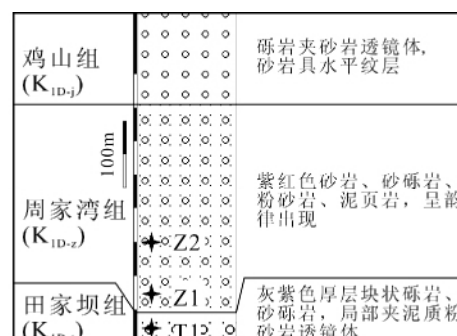


图2 观音坝盆地早白垩世东河群地层柱状图及采样层位

Fig. 2 Stratigraphic column of the Early Cretaceous Donghe Group in Guanyinba basin, showing sample locations

东河群, 自下而上划分为3个岩性组(图2): 田家坝组(K_{1D-t})、周家湾组(K_{1D-z})和鸡山组(K_{1D-j}), 各组之间为整合接触。其中, 田家坝组厚约 89.81m, 主要岩性为灰紫色厚层-块状粗砾岩、砂砾岩, 局部夹泥质粉砂岩透镜体, 属近源洪积物; 周家湾组厚约 614.61m, 为一套浅紫红色系碎屑岩建造, 主要岩性为砂砾岩、砂岩、粉砂岩、泥页岩, 呈韵律出现, 属湖相沉积。鸡山组厚约 273.76m, 为一套巨厚层砾岩, 夹砂岩透镜体, 砂岩具水平纹层, 具湖岸沉积特点。

2 样品分析

3件样品采集自东河群不同层位(图2), 岩性均为紫红色-浅紫红色砂砾岩, 砂或砾石成分主要为灰岩、板岩、粉砂岩、石英岩等, 钙铁质或泥质胶结。砾石分选性差, 棱角、次棱角状, 大小悬殊, 砾径多为 0.2 ~ 1.0cm, 少数为 2 ~ 7cm, 显示山间近源沉积的特点。样品 T1 采自田家坝组下部, Z1 采自周家湾组下部, Z2 采自周家湾组中部(图2)。

采用常规方法将样品粉碎至 80 ~ 100 目, 经淘选和电磁方法分离后, 在双目镜下挑选出晶形和透明度较好的锆石颗粒。锆石制靶在中国科学院地质与地球物理研究所电子探针实验室完成, 首先将锆石粘在双面胶上, 其次用环氧树脂固定, 最后打磨抛光至锆石暴露。锆石结构图像系应用透射光、反射光和阴极发光(CL)采集, 分别在北京大学造山带与地壳演化实验室和西北大学大陆动力学国家重点实验室完成, 仪器为加载于扫描电镜的 Mono CL3 + 型阴极发光装置(美国 Gatan 公司生产)。

锆石 U-Pb 定年在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。锆石定年仪器为带有 Shield Torch 的 Agilent 7500a 型 ICP-MS; 激光剥蚀系统为德国 MicroLas 公司生产的 GeoLas200M, 激光器为 ComPex102 Excimer(工作物质 ArF, 波长 193nm)。以氦气作为剥蚀物质的载气, 斑束直径为 44μm, 频率为 8Hz, 每个分析点的气体背景采集时间为 30s,

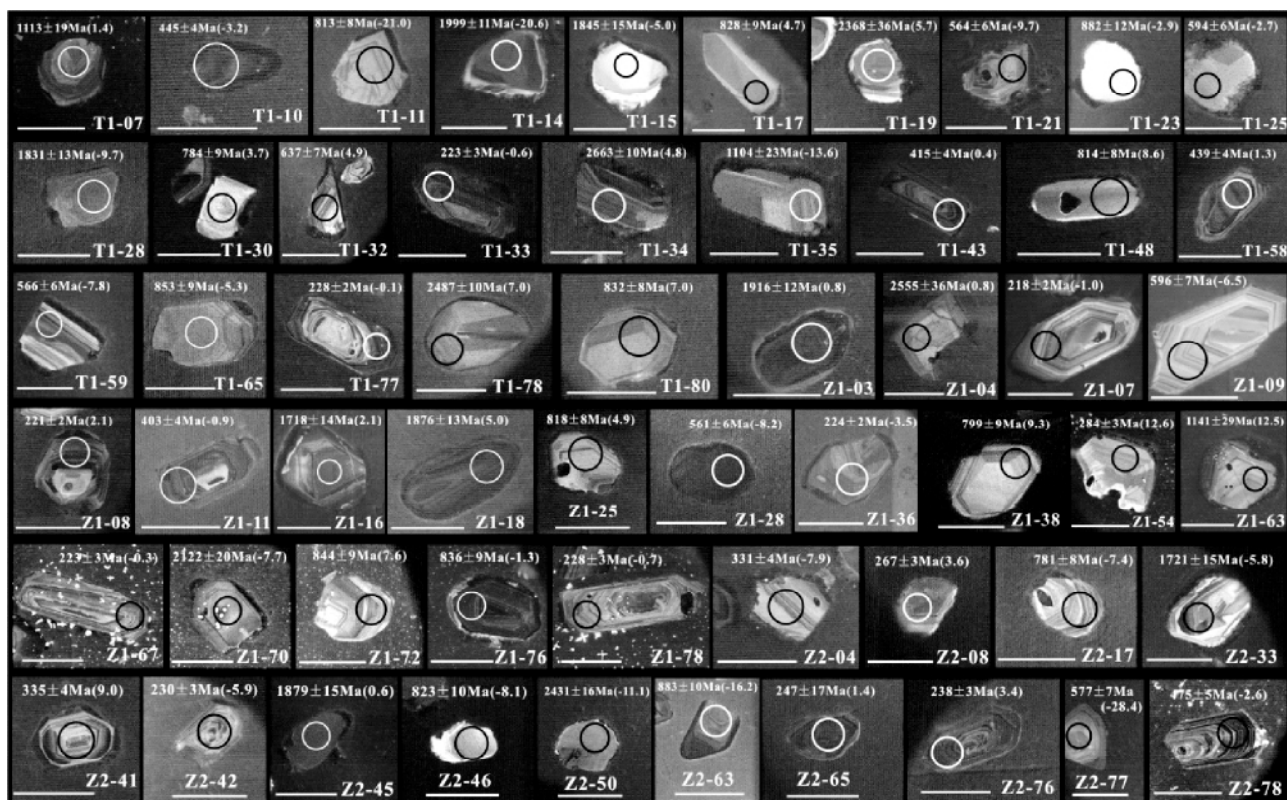


图3 早白垩世东河群碎屑锆石阴极发光图像

44 μm 圆为 U-Pb 和 Hf 同位素分析点位置,分析点号位于锆石图像下方,图中括号前为锆石 U-Pb 年龄,括号内为 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值,线比例尺长度为 100 μm

Fig. 3 Cathodoluminescence images of detrital zircon grains from the Donghe Group

Circles with 44 μm diameter indicate the locations of laser ablation. Spot numbers, ages and $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ values (in brackets) are labeled. The bar is 100 μm long

信号采集时间为 40s。详细实验过程参见 Yuan *et al.* (2004, 2008)。

激光剥蚀方式为单点剥蚀,分析仪器校正采用标准参考物质 NIST610。ICP-MS 数据采集选用质量峰采点的跳峰方式。年龄以国际标准锆石 91500 为外标。以 GLITTER (ver 4.0) 软件计算测试结果,采用 Andersen (2002) 的方法进行同位素比值校正以扣除普通 Pb 影响,采用 Isoplot3.0 程序 (Ludwig, 2003) 绘制谐和图。所获同位素比值和年龄误差均在 1σ 水平。

年龄 > 1000Ma 的古老锆石往往存在铅丢失现象,但其 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 比值往往保持稳定,故以 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄作为锆石结晶年龄 (Blank *et al.*, 2003); 对于 < 1000Ma 的年轻锆石,则采用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄。对于 > 1000Ma 的锆石,以 $100 \times (^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} \text{ 年龄}) / (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \text{ 年龄})$ 计算谐和度; 对于 < 1000Ma 的锆石,则以 $100 \times (^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} \text{ 年龄}) / (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \text{ 年龄})$ 计算谐和度。对于谐和度 < 90% 或 > 110% 的数据,不参与下文的讨论。

3 分析结果

透射光观察和 CL 图像 (图 3) 显示,本文获取的碎屑锆石主要呈浅黄色、浅紫色半透明,部分锆石颗粒晶形保存完好,呈自形半自形棱柱状,部分呈浑圆状。其中,样品 Z1 和 Z2 中锆石粒径和形貌较为相似,完整颗粒的长轴在 75 ~ 300 μm ,短轴在 30 ~ 125 μm ,长/宽比变化于 1.6 ~ 3.8。样品 T1 中锆石粒径相对较小,完整颗粒的长轴在 70 ~ 190 μm ,短轴在 45 ~ 90 μm ,长/宽比介于 1.6 ~ 3.4。大部分锆石颗粒振荡环带发育,属岩浆锆石,少量锆石具核边结构或均质结构。通常,CL 强度不均一时,锆石来源复杂 (Zhu *et al.*, 2011b)。锆石 U-Pb 分析结果见表 1。

东河群 3 件砂砾岩样品碎屑锆石分析共获得了 225 个有效年龄数据,年龄分布范围为 3059 ~ 208Ma (图 4、图 5),主要峰值集中在 2600 ~ 2300Ma, 2000 ~ 1700Ma, 1200 ~ 880Ma, 860 ~ 735Ma, 660 ~ 515Ma, 490 ~ 400Ma, 340 ~ 250Ma 和 240 ~ 208Ma,此外还有部分次要峰值为 > 2600Ma 和 2200

表 1 早白垩世东河群砂砾岩碎屑锆石 U-Pb 年龄

Table 1 U-Pb ages of detrital zircon grains from the Early Cretaceous sediments

测点号	含量($\times 10^{-6}$)				同位素比值						年龄(Ma)					
	Pb*	U	Th	Th/U	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1 σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1 σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1 σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1 σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1 σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1 σ
Z1-01	14	72	114	1. 56	0. 0680	0. 0017	1. 1332	0. 0269	0. 1208	0. 0014	869	31	769	13	735	8
Z1-02	204	422	306	0. 72	0. 1213	0. 0018	5. 7851	0. 0803	0. 3459	0. 0035	1975	12	1944	12	1915	17
Z1-03	125	309	63	0. 20	0. 1173	0. 0017	5. 3530	0. 0753	0. 3309	0. 0033	1916	12	1877	12	1843	16
Z1-04	58	102	32	0. 31	0. 1698	0. 0036	10. 2874	0. 1866	0. 4395	0. 0049	2555	36	2461	17	2348	22
Z1-05	156	338	46	0. 14	0. 1357	0. 0023	6. 9781	0. 0987	0. 3729	0. 0037	2174	31	2109	13	2043	17
Z1-07	21	506	153	0. 30	0. 0505	0. 0011	0. 2392	0. 0052	0. 0344	0. 0004	217	31	218	4	218	2
Z1-08	21	488	279	0. 57	0. 0534	0. 0013	0. 2574	0. 0062	0. 0349	0. 0004	347	35	233	5	221	2
Z1-09	8	61	45	0. 75	0. 0599	0. 0021	0. 8000	0. 0278	0. 0969	0. 0013	599	53	597	16	596	7
Z1-10	18	163	142	0. 88	0. 0612	0. 0029	0. 6333	0. 0287	0. 0750	0. 0009	647	103	498	18	466	5
Z1-11	74	955	266	0. 28	0. 0610	0. 0010	0. 5423	0. 0083	0. 0645	0. 0007	637	17	440	5	403	4
Z1-12	161	275	120	0. 44	0. 1664	0. 0024	9. 9004	0. 1395	0. 4314	0. 0043	2522	11	2426	13	2312	19
Z1-14	162	276	102	0. 37	0. 1714	0. 0025	10. 5796	0. 1492	0. 4477	0. 0045	2571	11	2487	13	2385	20
Z1-15	121	291	85	0. 29	0. 1162	0. 0017	5. 3881	0. 0775	0. 3363	0. 0034	1898	13	1883	12	1869	16
Z1-16	71	177	107	0. 61	0. 1052	0. 0017	4. 3736	0. 0661	0. 3014	0. 0031	1718	14	1707	12	1698	15
Z1-17	28	210	95	0. 45	0. 0614	0. 0012	0. 9064	0. 0165	0. 1071	0. 0011	652	22	655	9	656	6
Z1-18	78	176	77	0. 44	0. 1147	0. 0018	5. 3438	0. 0789	0. 3377	0. 0034	1876	13	1876	13	1876	16
Z1-19	13	305	125	0. 41	0. 0558	0. 0013	0. 2694	0. 0061	0. 0350	0. 0004	446	31	242	5	222	2
Z1-20	12	57	44	0. 76	0. 0705	0. 0018	1. 5388	0. 0381	0. 1583	0. 0018	943	32	946	15	947	10
Z1-21	9	95	51	0. 53	0. 0615	0. 0017	0. 6330	0. 0167	0. 0746	0. 0009	658	37	498	10	464	5
Z1-22	13	300	134	0. 45	0. 0513	0. 0013	0. 2480	0. 0061	0. 0350	0. 0004	256	36	225	5	222	2
Z1-23	39	62	29	0. 47	0. 1658	0. 0027	10. 9200	0. 1718	0. 4775	0. 0050	2516	13	2516	15	2516	22
Z1-24	58	135	57	0. 42	0. 1224	0. 0020	5. 5876	0. 0882	0. 3310	0. 0034	1992	14	1914	14	1843	17
Z1-25	17	88	78	0. 88	0. 0680	0. 0015	1. 2701	0. 0270	0. 1354	0. 0015	869	26	832	12	818	8
Z1-26	171	252	197	0. 78	0. 1611	0. 0025	10. 3636	0. 1531	0. 4665	0. 0047	2467	12	2468	14	2468	21
Z1-27	426	881	159	0. 18	0. 1546	0. 0024	8. 6819	0. 1283	0. 4072	0. 0041	2398	13	2305	13	2202	19
Z1-28	75	658	241	0. 37	0. 0615	0. 0011	0. 7709	0. 0135	0. 0908	0. 0009	658	21	580	8	561	6
Z1-29	40	218	82	0. 37	0. 0712	0. 0013	1. 4876	0. 0258	0. 1515	0. 0016	963	19	925	11	909	9
Z1-31	57	130	116	0. 88	0. 1066	0. 0018	4. 5593	0. 0761	0. 3102	0. 0033	1742	16	1742	14	1742	16
Z1-32	122	237	128	0. 54	0. 1334	0. 0030	7. 1296	0. 1390	0. 3877	0. 0041	2143	40	2128	17	2112	19
Z1-33	85	171	165	0. 96	0. 1181	0. 0020	5. 6473	0. 0903	0. 3467	0. 0036	1928	15	1923	14	1919	17
Z1-34	295	477	1152	2. 44	0. 1145	0. 0018	5. 2191	0. 0808	0. 3304	0. 0034	1873	14	1856	13	1840	16
Z1-35	71	174	50	0. 28	0. 1113	0. 0019	5. 0311	0. 0810	0. 3277	0. 0034	1821	15	1825	14	1827	16
Z1-36	19	402	181	0. 45	0. 0522	0. 0020	0. 2544	0. 0094	0. 0354	0. 0004	293	91	230	8	224	2
Z1-37	284	350	621	1. 79	0. 1623	0. 0026	10. 4978	0. 1630	0. 4691	0. 0048	2480	13	2480	14	2480	21
Z1-38	11	55	49	0. 88	0. 0699	0. 0019	1. 2706	0. 0334	0. 1319	0. 0016	924	35	833	15	799	9
Z1-40	17	126	71	0. 56	0. 0610	0. 0014	0. 8762	0. 0196	0. 1041	0. 0012	640	29	639	11	639	7
Z1-41	26	122	54	0. 44	0. 0755	0. 0016	1. 8283	0. 0380	0. 1756	0. 0019	1082	24	1056	14	1043	11
Z1-42	14	32	28	0. 87	0. 0998	0. 0038	3. 9035	0. 1396	0. 2837	0. 0036	1620	72	1614	29	1610	18
Z1-43	210	328	198	0. 60	0. 1653	0. 0028	10. 6738	0. 1737	0. 4681	0. 0048	2511	14	2495	15	2475	21
Z1-44	39	98	48	0. 49	0. 1157	0. 0032	5. 1622	0. 1289	0. 3235	0. 0038	1891	51	1846	21	1807	18
Z1-45	38	169	123	0. 72	0. 0746	0. 0015	1. 7228	0. 0331	0. 1674	0. 0018	1059	22	1017	12	998	10
Z1-46	11	80	73	0. 92	0. 0558	0. 0035	0. 5533	0. 0338	0. 0719	0. 0011	444	110	447	22	448	6
Z1-47	204	463	136	0. 29	0. 1240	0. 0022	6. 1417	0. 1026	0. 3593	0. 0037	2014	16	1996	15	1979	18
Z1-48	59	93	50	0. 53	0. 1613	0. 0029	10. 3914	0. 1791	0. 4671	0. 0050	2470	16	2470	16	2471	22
Z1-49	55	83	67	0. 80	0. 1616	0. 0029	10. 4207	0. 1825	0. 4675	0. 0050	2473	16	2473	16	2473	22
Z1-50	56	238	209	0. 88	0. 0742	0. 0014	1. 7330	0. 0325	0. 1694	0. 0018	1047	21	1021	12	1009	10
Z1-52	87	220	137	0. 63	0. 1065	0. 0020	4. 4562	0. 0798	0. 3035	0. 0032	1740	18	1723	15	1709	16
Z1-53	14	318	158	0. 50	0. 0533	0. 0015	0. 2514	0. 0069	0. 0342	0. 0004	343	41	228	6	217	2
Z1-54	6	105	54	0. 51	0. 0543	0. 0017	0. 3370	0. 0105	0. 0450	0. 0006	383	48	295	8	284	3
Z1-55	502	1373	26	0. 02	0. 1130	0. 0020	5. 0007	0. 0867	0. 3210	0. 0034	1848	17	1819	15	1794	16

续表 1

Continued Table 1

测点号	含量($\times 10^{-6}$)			Th/U	同位素比值						年龄(Ma)					
	Pb*	U	Th		$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1 σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1 σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1 σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1 σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1 σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1 σ
Z1-58	133	740	115	0.16	0.0721	0.0016	1.5566	0.0310	0.1566	0.0016	989	47	953	12	938	9
Z1-59	70	341	206	0.60	0.0739	0.0015	1.6406	0.0312	0.1611	0.0017	1038	22	986	12	963	10
Z1-61	52	97	58	0.60	0.1480	0.0030	8.3493	0.1621	0.4092	0.0045	2322	19	2270	18	2211	21
Z1-62	30	688	421	0.61	0.0546	0.0023	0.2473	0.0101	0.0329	0.0004	396	98	224	8	208	2
Z1-63	15	59	35	0.59	0.0778	0.0019	2.0758	0.0492	0.1936	0.0022	1141	29	1141	16	1141	12
Z1-64	43	504	229	0.45	0.0580	0.0012	0.5504	0.0114	0.0689	0.0008	528	27	445	7	429	5
Z1-65	158	351	205	0.58	0.1134	0.0022	5.2087	0.0989	0.3332	0.0036	1854	19	1854	16	1854	17
Z1-66	18	171	113	0.66	0.0627	0.0016	0.6812	0.0164	0.0788	0.0009	697	32	528	10	489	5
Z1-67	17	370	174	0.47	0.0512	0.0018	0.2480	0.0085	0.0351	0.0004	250	56	225	7	223	3
Z1-68	14	312	130	0.42	0.0501	0.0021	0.2470	0.0099	0.0357	0.0004	202	99	224	8	226	3
Z1-69	44	277	166	0.60	0.0634	0.0024	1.0615	0.0383	0.1214	0.0014	723	82	735	19	738	8
Z1-70	50	96	91	0.94	0.1318	0.0028	6.6498	0.1351	0.3660	0.0041	2122	20	2066	18	2010	19
Z1-72	30	165	108	0.65	0.0683	0.0017	1.3184	0.0309	0.1400	0.0016	878	30	854	14	844	9
Z1-74	314	506	222	0.44	0.1610	0.0033	10.4475	0.2083	0.4707	0.0051	2466	19	2475	18	2486	22
Z1-75	17	85	73	0.86	0.0700	0.0033	1.3850	0.0635	0.1434	0.0018	930	100	883	27	864	10
Z1-76	99	616	331	0.54	0.0732	0.0017	1.3972	0.0306	0.1384	0.0016	1020	27	888	13	836	9
Z1-77	16	364	171	0.47	0.0520	0.0014	0.2607	0.0070	0.0363	0.0004	287	40	235	6	230	3
Z1-78	15	332	142	0.43	0.0571	0.0015	0.2832	0.0075	0.0360	0.0004	495	37	253	6	228	3
Z1-79	16	325	137	0.42	0.0517	0.0022	0.2819	0.0112	0.0395	0.0005	274	98	252	9	250	3
Z1-80	22	49	36	0.73	0.1110	0.0040	4.9544	0.1659	0.3238	0.0041	1815	67	1812	28	1808	20
Z1-81	110	503	196	0.39	0.0759	0.0017	1.9101	0.0418	0.1825	0.0021	1093	26	1085	15	1080	11
Z1-83	118	156	183	1.18	0.1660	0.0037	11.2667	0.2439	0.4921	0.0056	2518	21	2545	20	2580	24
Z1-84	18	417	191	0.46	0.0509	0.0015	0.2554	0.0072	0.0364	0.0004	238	43	231	6	230	3
Z1-85	50	234	189	0.81	0.0713	0.0017	1.5950	0.0371	0.1622	0.0019	966	29	968	15	969	10
Z2-01	116	272	128	0.47	0.1152	0.0016	5.5765	0.0751	0.3510	0.0036	1883	11	1912	12	1939	17
Z2-02	42	367	366	1.00	0.0580	0.0010	0.6857	0.0114	0.0857	0.0009	531	19	530	7	530	5
Z2-03	18	46	28	0.60	0.1036	0.0024	4.5446	0.1003	0.3183	0.0039	1689	23	1739	18	1781	19
Z2-04	6	96	71	0.74	0.0531	0.0019	0.3863	0.0134	0.0527	0.0007	334	56	332	10	331	4
Z2-05	84	167	71	0.42	0.1379	0.0019	7.8992	0.1071	0.4156	0.0043	2200	11	2220	12	2240	20
Z2-06	34	193	626	3.23	0.0582	0.0011	0.7015	0.0134	0.0874	0.0009	538	23	540	8	540	6
Z2-07	43	101	80	0.79	0.1084	0.0016	4.8834	0.0720	0.3268	0.0034	1772	13	1799	12	1823	17
Z2-08	9	177	135	0.76	0.0518	0.0013	0.3022	0.0075	0.0423	0.0005	276	36	268	6	267	3
Z2-09	23	144	74	0.51	0.0662	0.0012	1.2574	0.0220	0.1377	0.0015	814	20	827	10	832	8
Z2-10	31	107	49	0.46	0.0965	0.0015	3.2867	0.0511	0.2469	0.0026	1558	15	1478	12	1423	14
Z2-11	20	466	237	0.51	0.0537	0.0018	0.2633	0.0084	0.0356	0.0004	356	78	237	7	225	2
Z2-12	15	141	204	1.45	0.0588	0.0017	0.5703	0.0160	0.0704	0.0008	559	40	458	10	438	5
Z2-13	7	38	40	1.06	0.0659	0.0020	1.1727	0.0347	0.1291	0.0016	803	41	788	16	783	9
Z2-14	15	265	217	0.82	0.0522	0.0012	0.3305	0.0071	0.0459	0.0005	295	30	290	5	289	3
Z2-16	56	90	76	0.85	0.1586	0.0023	10.0766	0.1435	0.4607	0.0049	2441	11	2442	13	2443	21
Z2-17	28	158	193	1.22	0.0652	0.0012	1.1573	0.0210	0.1287	0.0014	781	21	781	10	781	8
Z2-18	133	503	222	0.44	0.0863	0.0013	2.7096	0.0388	0.2278	0.0024	1344	13	1331	11	1323	12
Z2-19	17	45	24	0.53	0.1050	0.0049	4.2450	0.1933	0.2933	0.0063	1714	52	1683	37	1658	32
Z2-20	26	544	304	0.56	0.0556	0.0013	0.3074	0.0068	0.0401	0.0005	437	29	272	5	253	3
Z2-21	9	136	147	1.08	0.0527	0.0033	0.3335	0.0205	0.0459	0.0006	317	147	292	16	289	4
Z2-22	26	57	52	0.91	0.1162	0.0022	5.3368	0.0966	0.3331	0.0038	1898	17	1875	15	1854	18
Z2-23	11	72	31	0.43	0.0665	0.0017	1.2606	0.0317	0.1374	0.0016	823	33	828	14	830	9
Z2-24	21	310	271	0.87	0.0565	0.0013	0.4069	0.0088	0.0522	0.0006	473	29	347	6	328	4
Z2-25	389	767	644	0.84	0.1311	0.0033	6.8666	0.1530	0.3799	0.0043	2113	45	2094	20	2076	20
Z2-26	10	57	59	1.03	0.0703	0.0022	1.2927	0.0398	0.1333	0.0017	938	42	842	18	806	10
Z2-27	209	552	104	0.19	0.1146	0.0017	5.3499	0.0779	0.3385	0.0036	1873	13	1877	12	1880	17
Z2-28	141	280	104	0.37	0.1303	0.0032	6.8492	0.1483	0.3812	0.0042	2102	44	2092	19	2082	20
Z2-29	31	156	226	1.45	0.0664	0.0013	1.2426	0.0239	0.1358	0.0015	817	22	820	11	821	9
Z2-30	61	139	115	0.83	0.1115	0.0018	5.1763	0.0812	0.3366	0.0036	1824	14	1849	13	1870	17
Z2-31	53	562	219	0.39	0.0595	0.0010	0.6940	0.0117	0.0846	0.0009	584	19	535	7	524	5

续表 1

Continued Table 1

测点号	含量($\times 10^{-6}$)			Th/U	同位素比值						年龄(Ma)					
	Pb*	U	Th		$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1 σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1 σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1 σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1 σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1 σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1 σ
Z2-32	160	252	152	0. 60	0. 1575	0. 0024	10. 9256	0. 1623	0. 5028	0. 0053	2429	12	2517	14	2626	23
Z2-33	50	125	73	0. 59	0. 1054	0. 0017	4. 8238	0. 0782	0. 3319	0. 0036	1721	15	1789	14	1848	17
Z2-34	11	24	17	0. 71	0. 1164	0. 0025	5. 5028	0. 1171	0. 3427	0. 0042	1902	21	1901	18	1900	20
Z2-35	83	193	124	0. 64	0. 1117	0. 0018	5. 3882	0. 0841	0. 3497	0. 0037	1828	14	1883	13	1933	18
Z2-36	106	270	89	0. 33	0. 1116	0. 0018	5. 3291	0. 0825	0. 3463	0. 0037	1825	14	1874	13	1917	18
Z2-37	44	447	287	0. 64	0. 0602	0. 0022	0. 6613	0. 0232	0. 0796	0. 0009	612	82	515	14	494	6
Z2-38	17	156	97	0. 63	0. 0652	0. 0016	0. 8055	0. 0191	0. 0895	0. 0010	782	31	600	11	553	6
Z2-39	53	533	442	0. 83	0. 0632	0. 0026	0. 6585	0. 0262	0. 0756	0. 0009	713	90	514	16	470	5
Z2-40	94	154	115	0. 75	0. 1618	0. 0027	10. 4213	0. 1685	0. 4669	0. 0051	2475	14	2473	15	2470	22
Z2-41	11	166	134	0. 81	0. 0532	0. 0016	0. 3907	0. 0112	0. 0533	0. 0006	336	43	335	8	335	4
Z2-42	21	490	287	0. 58	0. 0521	0. 0013	0. 2615	0. 0064	0. 0364	0. 0004	290	35	236	5	230	3
Z2-45	70	168	54	0. 32	0. 1149	0. 0020	5. 7638	0. 0963	0. 3636	0. 0040	1879	15	1941	14	1999	19
Z2-46	13	65	100	1. 54	0. 0665	0. 0018	1. 2482	0. 0338	0. 1362	0. 0017	821	36	823	15	823	10
Z2-47	16	201	130	0. 65	0. 0568	0. 0014	0. 5228	0. 0129	0. 0667	0. 0008	485	34	427	9	416	5
Z2-48	94	137	167	1. 22	0. 1617	0. 0027	10. 8242	0. 1803	0. 4854	0. 0053	2473	14	2508	15	2551	23
Z2-49	26	392	272	0. 69	0. 0566	0. 0039	0. 3411	0. 0233	0. 0437	0. 0006	475	158	298	18	276	3
Z2-50	41	67	54	0. 80	0. 1577	0. 0028	10. 1612	0. 1793	0. 4673	0. 0053	2431	16	2450	16	2472	23
Z2-51	28	150	110	0. 73	0. 0654	0. 0014	1. 3790	0. 0281	0. 1530	0. 0017	786	24	880	12	917	10
Z2-52	126	301	124	0. 41	0. 1142	0. 0020	5. 6897	0. 0968	0. 3614	0. 0040	1867	16	1930	15	1989	19
Z2-53	21	305	262	0. 86	0. 0595	0. 0013	0. 4422	0. 0098	0. 0539	0. 0006	586	28	372	7	338	4
Z2-54	22	410	156	0. 38	0. 0536	0. 0019	0. 3515	0. 0116	0. 0476	0. 0006	353	81	306	9	300	3
Z2-55	212	537	110	0. 20	0. 1111	0. 0019	5. 5118	0. 0939	0. 3596	0. 0039	1818	16	1902	15	1980	19
Z2-56	31	117	193	1. 64	0. 0751	0. 0016	1. 8605	0. 0380	0. 1797	0. 0021	1071	23	1067	13	1065	11
Z2-57	81	149	51	0. 34	0. 1583	0. 0028	10. 0330	0. 1768	0. 4594	0. 0051	2438	16	2438	16	2437	23
Z2-58	40	469	221	0. 47	0. 0563	0. 0013	0. 5804	0. 0128	0. 0747	0. 0009	465	29	465	8	464	5
Z2-59	259	513	154	0. 30	0. 1533	0. 0027	9. 1928	0. 1593	0. 4348	0. 0048	2383	15	2357	16	2327	21
Z2-60	37	90	34	0. 38	0. 1141	0. 0022	5. 6394	0. 1065	0. 3584	0. 0041	1866	18	1922	16	1974	19
Z2-61	23	525	367	0. 70	0. 0508	0. 0013	0. 2613	0. 0063	0. 0373	0. 0004	232	35	236	5	236	3
Z2-62	149	266	83	0. 31	0. 1543	0. 0028	10. 2414	0. 1853	0. 4814	0. 0054	2394	16	2457	17	2533	23
Z2-63	33	178	168	0. 94	0. 0697	0. 0015	1. 4103	0. 0304	0. 1468	0. 0017	918	26	893	13	883	10
Z2-64	178	484	160	0. 33	0. 1136	0. 0021	5. 0998	0. 0940	0. 3257	0. 0036	1857	18	1836	16	1817	18
Z2-65	242	379	281	0. 74	0. 1613	0. 0030	11. 0528	0. 2021	0. 4968	0. 0056	2470	17	2528	17	2600	24
Z2-67	194	316	303	0. 96	0. 1476	0. 0028	9. 4458	0. 1758	0. 4640	0. 0052	2319	17	2382	17	2457	23
Z2-68	64	368	309	0. 84	0. 0674	0. 0015	1. 3117	0. 0284	0. 1411	0. 0016	851	26	851	12	851	9
Z2-69	16	177	108	0. 61	0. 0589	0. 0028	0. 6257	0. 0286	0. 0770	0. 0010	565	106	493	18	478	6
Z2-70	117	195	208	1. 06	0. 1575	0. 0031	9. 5355	0. 1828	0. 4389	0. 0050	2429	18	2391	18	2346	22
Z2-71	85	205	180	0. 88	0. 1083	0. 0022	4. 7143	0. 0938	0. 3158	0. 0036	1770	20	1770	17	1769	18
Z2-74	12	35	15	0. 43	0. 1047	0. 0029	4. 3844	0. 1198	0. 3038	0. 0041	1709	31	1709	23	1710	20
Z2-75	92	436	86	0. 20	0. 0764	0. 0016	2. 1061	0. 0427	0. 2000	0. 0023	1105	23	1151	14	1175	12
Z2-76	40	989	242	0. 25	0. 0559	0. 0013	0. 2902	0. 0066	0. 0376	0. 0004	449	30	259	5	238	3
Z2-77	19	152	173	1. 14	0. 0626	0. 0020	0. 8087	0. 0250	0. 0937	0. 0012	696	44	602	14	577	7
Z2-78	74	887	360	0. 41	0. 0546	0. 0012	0. 5764	0. 0123	0. 0766	0. 0009	396	28	462	8	475	5
Z2-79	116	315	51	0. 16	0. 1100	0. 0023	5. 2443	0. 1073	0. 3457	0. 0040	1799	21	1860	17	1914	19
Z2-80	136	354	80	0. 23	0. 1103	0. 0023	5. 3534	0. 1094	0. 3519	0. 0041	1805	21	1877	17	1944	19
T1-01	134	365	292	0. 80	0. 0992	0. 0013	3. 8847	0. 0502	0. 2839	0. 0028	1610	11	1611	10	1611	14
T1-02	84	453	293	0. 65	0. 0722	0. 0010	1. 4978	0. 0207	0. 1505	0. 0015	991	13	929	8	904	8
T1-03	41	524	177	0. 34	0. 0567	0. 0010	0. 5437	0. 0090	0. 0696	0. 0007	479	20	441	6	434	4
T1-04	13	80	47	0. 58	0. 0662	0. 0016	1. 2204	0. 0291	0. 1338	0. 0015	811	31	810	13	809	9
T1-05	11	118	121	1. 02	0. 0594	0. 0015	0. 5696	0. 0143	0. 0695	0. 0008	583	35	458	9	433	5
T1-06	85	258	133	0. 52	0. 1006	0. 0014	3. 7770	0. 0519	0. 2722	0. 0028	1636	12	1588	11	1552	14
T1-07	30	142	54	0. 38	0. 0767	0. 0014	1. 9615	0. 0348	0. 1855	0. 0020	1113	19	1102	12	1097	11
T1-08	32	180	120	0. 67	0. 0675	0. 0012	1. 3241	0. 0223	0. 1422	0. 0015	854	19	856	10	857	8
T1-09	70	427	88	0. 21	0. 0704	0. 0010	1. 4563	0. 0209	0. 1500	0. 0015	940	14	912	9	901	9
T1-10	28	351	99	0. 28	0. 0583	0. 0011	0. 5746	0. 0100	0. 0715	0. 0007	539	21	461	6	445	4

续表 1

Continued Table 1

测点号	含量($\times 10^{-6}$)			Th/U	同位素比值						年龄(Ma)					
	Pb*	U	Th		$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1 σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1 σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1 σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1 σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1 σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1 σ
T1-11	16	92	76	0.82	0.0653	0.0014	1.2106	0.0254	0.1344	0.0015	785	26	805	12	813	8
T1-12	74	481	224	0.47	0.0664	0.0010	1.2023	0.0172	0.1313	0.0013	818	15	802	8	796	8
T1-13	5	33	21	0.63	0.0689	0.0024	1.2602	0.0427	0.1327	0.0018	895	48	828	19	803	10
T1-14	103	236	150	0.63	0.1229	0.0016	5.8289	0.0754	0.3438	0.0035	1999	11	1951	11	1905	17
T1-15	30	59	97	1.67	0.1129	0.0019	5.1614	0.0853	0.3316	0.0036	1846	15	1846	14	1846	17
T1-16	81	518	29	0.06	0.0695	0.0012	1.4237	0.0195	0.1486	0.0015	914	35	899	8	893	8
T1-17	17	97	81	0.84	0.0693	0.0015	1.3093	0.0268	0.1371	0.0015	907	25	850	12	828	9
T1-18	33	283	82	0.29	0.0608	0.0010	0.8868	0.0147	0.1058	0.0011	631	19	645	8	648	6
T1-19	61	110	61	0.56	0.1519	0.0031	9.0063	0.1558	0.4300	0.0046	2368	36	2339	16	2306	21
T1-20	61	335	71	0.21	0.0723	0.0011	1.6560	0.0243	0.1662	0.0017	993	15	992	9	991	9
T1-21	11	78	142	1.82	0.0623	0.0017	0.7861	0.0206	0.0915	0.0011	685	36	589	12	564	6
T1-22	95	698	45	0.06	0.0650	0.0009	1.1616	0.0157	0.1297	0.0013	773	13	783	7	786	7
T1-23	4	22	24	1.08	0.0729	0.0028	1.4750	0.0544	0.1466	0.0021	1012	52	920	22	882	12
T1-24	64	345	137	0.40	0.0713	0.0010	1.5898	0.0225	0.1618	0.0016	965	14	966	9	967	9
T1-25	16	125	117	0.93	0.0593	0.0013	0.7889	0.0172	0.0965	0.0011	578	29	591	10	594	6
T1-26	49	263	102	0.39	0.0713	0.0012	1.5884	0.0250	0.1615	0.0017	967	16	966	10	965	9
T1-27	51	100	94	0.93	0.1253	0.0018	6.5344	0.0907	0.3782	0.0039	2033	12	2051	12	2068	18
T1-28	35	83	65	0.78	0.1119	0.0017	5.0743	0.0756	0.3287	0.0034	1831	13	1832	13	1832	17
T1-29	133	357	205	0.57	0.1062	0.0014	4.4650	0.0584	0.3050	0.0031	1734	11	1724	11	1716	15
T1-30	9	54	39	0.72	0.0738	0.0019	1.3162	0.0325	0.1293	0.0015	1036	31	853	14	784	9
T1-31	20	56	28	0.51	0.1033	0.0018	4.2416	0.0722	0.2978	0.0032	1684	16	1682	14	1681	16
T1-32	23	182	107	0.59	0.0609	0.0018	0.8733	0.0257	0.1039	0.0013	637	42	637	14	637	7
T1-33	15	335	148	0.44	0.0528	0.0022	0.2564	0.0105	0.0352	0.0004	321	99	232	8	223	3
T1-34	95	149	60	0.41	0.1811	0.0024	12.7638	0.1631	0.5111	0.0052	2663	10	2662	12	2661	22
T1-35	13	66	22	0.34	0.0763	0.0016	1.8348	0.0365	0.1743	0.0019	1104	23	1058	13	1036	10
T1-36	47	190	163	0.86	0.0789	0.0025	2.0591	0.0611	0.1893	0.0021	1169	64	1135	20	1118	11
T1-37	102	504	261	0.52	0.0736	0.0010	1.7562	0.0240	0.1731	0.0017	1030	13	1029	9	1029	10
T1-38	110	288	50	0.17	0.1160	0.0016	5.4294	0.0716	0.3396	0.0034	1895	11	1890	11	1885	17
T1-39	32	165	69	0.41	0.0732	0.0012	1.6970	0.0278	0.1682	0.0018	1018	17	1007	10	1002	10
T1-41	95	148	142	0.95	0.1682	0.0022	10.6899	0.1374	0.4608	0.0047	2540	10	2497	12	2443	21
T1-42	121	297	80	0.27	0.1183	0.0016	5.7675	0.0734	0.3537	0.0035	1930	10	1942	11	1952	17
T1-43	31	402	149	0.37	0.0545	0.0017	0.5003	0.0147	0.0666	0.0007	393	72	412	10	415	4
T1-44	99	391	316	0.81	0.0806	0.0011	2.1788	0.0297	0.1961	0.0020	1210	13	1174	9	1155	11
T1-45	94	252	76	0.30	0.1130	0.0021	4.9842	0.0774	0.3201	0.0033	1847	34	1817	13	1790	16
T1-46	58	139	25	0.18	0.1226	0.0022	6.1286	0.0915	0.3625	0.0037	1995	33	1994	13	1994	17
T1-47	17	93	43	0.46	0.0713	0.0014	1.5190	0.0297	0.1545	0.0017	966	23	938	12	926	9
T1-48	36	143	396	2.78	0.0693	0.0013	1.2860	0.0237	0.1346	0.0014	907	21	840	11	814	8
T1-49	43	919	584	0.64	0.0557	0.0020	0.2856	0.0096	0.0372	0.0004	440	81	255	8	236	3
T1-50	121	189	78	0.41	0.1818	0.0024	12.9154	0.1621	0.5151	0.0052	2670	10	2673	12	2678	22
T1-51	25	142	50	0.35	0.0714	0.0013	1.5090	0.0271	0.1532	0.0016	969	20	934	11	919	9
T1-52	10	86	97	1.12	0.0612	0.0017	0.7474	0.0196	0.0886	0.0010	646	37	567	11	547	6
T1-53	85	543	406	0.75	0.0714	0.0010	1.2108	0.0166	0.1229	0.0012	969	13	806	8	747	7
T1-54	49	203	125	0.62	0.0792	0.0013	2.1702	0.0334	0.1987	0.0021	1177	15	1172	11	1169	11
T1-55	171	272	165	0.61	0.1665	0.0021	11.2119	0.1392	0.4884	0.0049	2522	10	2541	12	2564	21
T1-56	27	256	220	0.85	0.0634	0.0013	0.7347	0.0141	0.0840	0.0009	722	23	559	8	520	5
T1-57	68	314	224	0.71	0.0755	0.0011	1.7953	0.0254	0.1725	0.0017	1082	14	1044	9	1026	10
T1-58	29	330	282	0.85	0.0590	0.0011	0.5730	0.0101	0.0704	0.0007	567	21	460	7	439	4
T1-59	34	271	305	1.12	0.0601	0.0012	0.7612	0.0143	0.0918	0.0010	608	23	575	8	566	6
T1-60	9	45	21	0.46	0.0724	0.0021	1.6583	0.0469	0.1662	0.0021	996	37	993	18	991	11
T1-61	47	97	173	1.79	0.1047	0.0016	4.4676	0.0665	0.3096	0.0032	1708	13	1725	12	1739	16
T1-62	111	240	192	0.80	0.1253	0.0018	6.0762	0.0822	0.3516	0.0036	2033	11	1987	12	1942	17
T1-63	18	94	32	0.34	0.0733	0.0014	1.7303	0.0327	0.1713	0.0018	1021	21	1020	12	1019	10
T1-64	26	202	206	1.02	0.0602	0.0012	0.8260	0.0163	0.0995	0.0011	612	25	611	9	611	6
T1-65	21	124	65	0.53	0.0674	0.0014	1.3134	0.0272	0.1414	0.0015	849	25	852	12	853	9

续表 1

Continued Table 1

测点号	含量($\times 10^{-6}$)				同位素比值						年龄(Ma)					
	Pb*	U	Th	Th/U	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1 σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1 σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1 σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1 σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1 σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1 σ
T1-66	20	86	53	0. 61	0. 0773	0. 0015	2. 0401	0. 0391	0. 1913	0. 0021	1130	21	1129	13	1128	11
T1-67	83	709	216	0. 30	0. 0648	0. 0014	0. 9290	0. 0181	0. 1041	0. 0011	766	47	667	10	638	6
T1-68	20	252	124	0. 49	0. 0558	0. 0021	0. 5243	0. 0192	0. 0682	0. 0008	444	87	428	13	425	5
T1-69	116	157	109	0. 69	0. 2023	0. 0026	15. 4821	0. 1947	0. 5548	0. 0056	2845	9	2845	12	2845	23
T1-70	32	322	154	0. 48	0. 0589	0. 0020	0. 6925	0. 0227	0. 0853	0. 0010	563	77	534	14	528	6
T1-71	36	173	99	0. 57	0. 0752	0. 0013	1. 7739	0. 0292	0. 1710	0. 0018	1075	17	1036	11	1018	10
T1-72	47	480	251	0. 52	0. 0585	0. 0009	0. 6706	0. 0103	0. 0832	0. 0008	547	17	521	6	515	5
T1-73	37	148	119	0. 81	0. 0786	0. 0013	2. 1180	0. 0348	0. 1954	0. 0020	1162	17	1155	11	1151	11
T1-74	97	229	45	0. 20	0. 1319	0. 0023	6. 6985	0. 0927	0. 3684	0. 0037	2123	31	2072	12	2022	17
T1-75	113	147	40	0. 27	0. 2310	0. 0030	19. 5081	0. 2432	0. 6125	0. 0062	3059	9	3067	12	3080	25
T1-77	29	701	263	0. 37	0. 0511	0. 0016	0. 2541	0. 0073	0. 0361	0. 0004	246	72	230	6	228	2
T1-78	89	145	97	0. 67	0. 1630	0. 0022	10. 5846	0. 1373	0. 4708	0. 0048	2487	10	2487	12	2487	21
T1-80	21	118	107	0. 91	0. 0690	0. 0014	1. 3105	0. 0256	0. 1378	0. 0015	898	23	850	11	832	8

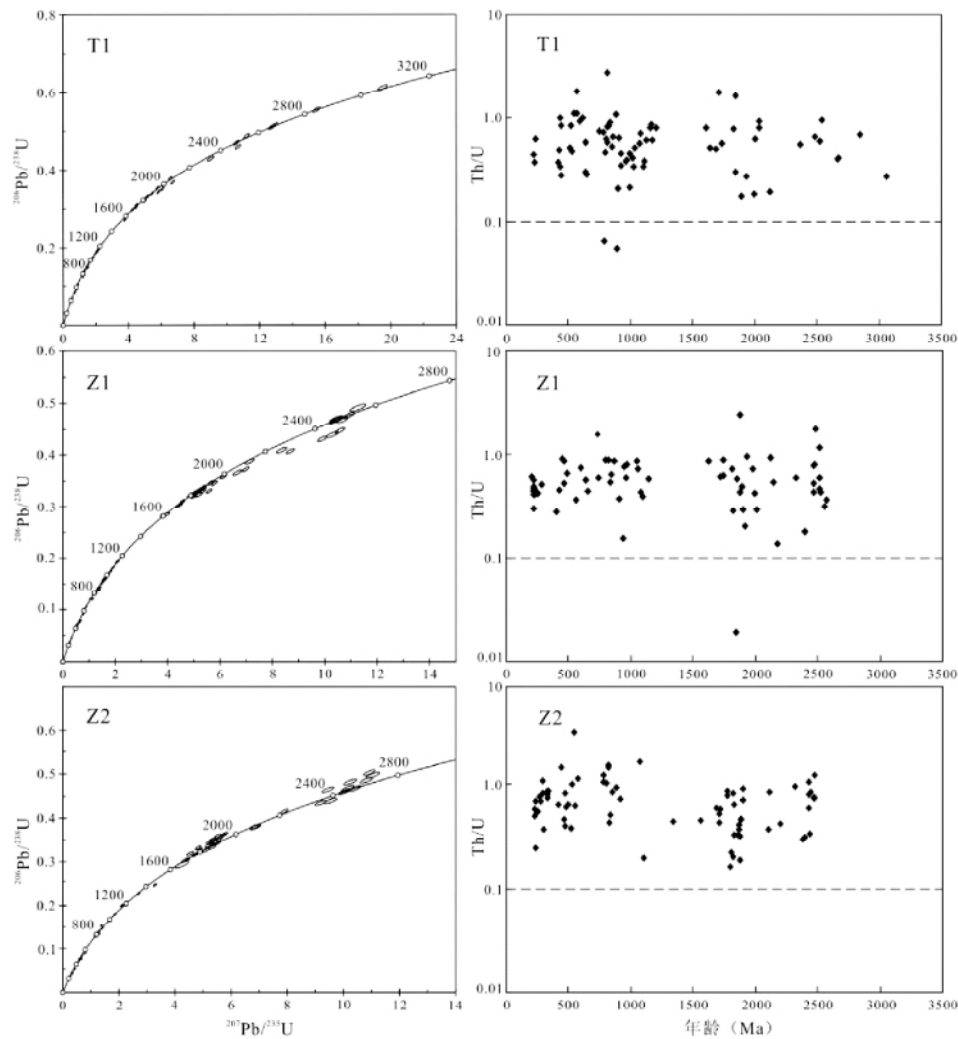


图 4 早白垩世东河群碎屑锆石 U-Pb 谐和图和 Th/U 比值与 U-Pb 年龄关系图

Fig. 4 Plots of U-Pb concordia and U/Th ratios versus U-Pb ages of detrital zircons from the Early Cretaceous Donghe Group

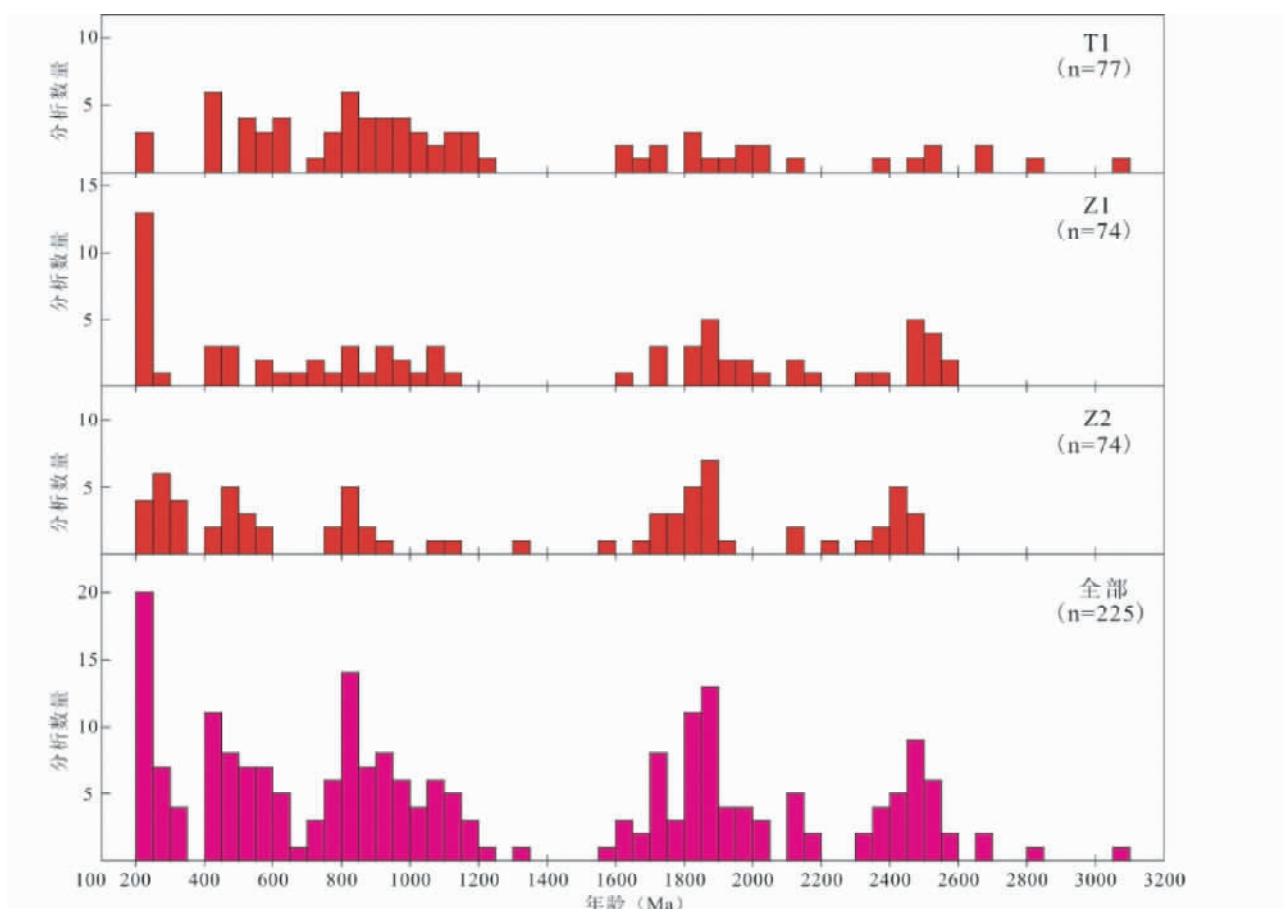


图5 早白垩世东河群碎屑锆石 U-Pb 年龄分布直方图

Fig. 5 Histogram of U-Pb ages of detrital zircons from the Early Cretaceous Donghe Group

~2100Ma。如此复杂的年龄分布,反映了东河群碎屑沉积岩的物源区组成复杂性,即南秦岭微陆块物质组成及其来源的复杂性。

除3粒锆石之外,其余锆石 Th/U 比值 >0.1,介于 0.14~3.23 之间(图4),显示绝大部分碎屑锆石属岩浆成因(Belousova *et al.*, 2002)。3粒锆石的 Th/U 比值 <0.1(0.02~0.06),它们缺乏明显密集的振荡环带构造,可能属变质成因,其年龄分别为 1848Ma、893Ma 和 786Ma。

岩浆成因的锆石总体可分为两类,一是 U-Pb 年龄 <490Ma 者,多呈自形-半自形棱柱状(图3),显示其未经长距离的磨圆搬运,应属快速风化沉积或近源风化沉积;二是年龄 >515Ma 的锆石,均为浑圆状(图3),说明其经历了长距离的搬运或是多期次的沉积再循环(Zhu *et al.*, 2011b)。

样品 T1 采自东河群下部田家坝组底部,其碎屑锆石年龄集中在晚中元古代至早古生代,在 1200~880Ma、860~750Ma、660~515Ma 和 500~400Ma 范围出现峰值(图5)。Z1 和 Z2 样品采自周家湾组底部和中部,其最主要的年龄峰值分布在 2600~2300Ma、2000~1700Ma、240~208Ma。相对而言,Z1 样品的 240~208Ma 年龄峰值更为突出,而 Z2 样品

则具有更明显的晚古生代(340~250Ma)年龄峰值。以上表明,在东河群沉积过程中,物源区的岩石组成发生了变化。

4 讨论

4.1 沉积物物源示踪

沉积岩中的碎屑矿物(如锆石、石榴子石、磷灰石和白云母)都会被用于识别华北克拉通、扬子陆块、大别造山带和北秦岭造山带沉积物源区和古老大陆边缘的演化历史(Chen *et al.*, 2009; Sun *et al.*, 2009; 胡波等, 2009; Wang *et al.*, 2010; Yan *et al.*, 2010; Zhu *et al.*, 2010b)。锆石是最为稳定的矿物之一,抗风化能力强,受沉积分选过程影响小,其 U-Th-Pb 同位素体系封闭温度高,受后期构造热事件影响较小。碎屑锆石年龄谱系特征可直接反映沉积物源区岩石的年龄组成(Drewery *et al.*, 1987; Geslin *et al.*, 1999)。

东河群砂砾岩碎屑锆石 U-Pb 年龄谱图(图5)出现多个峰,分布在 >2600Ma、2600~2300Ma、2200~2100Ma、1900~1800Ma、1750~1700Ma、1200~800Ma、650~400Ma、490~400Ma、350~200Ma,表明砂砾岩的直接源区——南秦岭微陆块的物质组成复杂、来源广泛。下面对锆石年龄进行分组

讨论,探讨南秦岭微陆块的物质来源。需要强调,碎屑锆石的年龄结构并不受沉积循环分馏过程的影响,碎屑锆石中即使存在沉积锆石再循环,这些再循环锆石的年龄特征也与区域构造-岩浆事件相对应(Morton *et al.*, 1996)。

所测锆石中,年龄 > 2600Ma 者只有 4 粒(图 5),年龄值分别是 3059Ma、2845Ma、2670Ma 和 2663Ma。这一现象说明: (1) 南秦岭微陆块形成过程中,太古宙地壳物质参与较少,太古宙锆石来自再循环沉积物的可能性较大; (2) 锆石源于华北克拉通太古宙基底物质或其再循环物质,原因是这些年龄与华北克拉通南缘太古宙基底的主要发育期一致。例如,嵩箕地块的青羊沟绿岩带形成于 3000Ma 以前,并遭受 3000Ma 石牌河岩体侵入; 华熊地块太华超群底部的背孜群产有 2841Ma 的锆石²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄,多种测试方法获得的大量年龄为 2550 ~ 2900Ma(详见胡受奚等, 1988; 陈衍景和富士谷, 1992; Chen and Zhao, 1997; Zhai *et al.*, 2005; Li *et al.*, 2011b; 及其引文)。尽管扬子陆块在 3300 ~ 3200Ma 和 ~ 2950Ma 有两期重要的岩浆活动(张少兵和郑永飞, 2007), 但与本文所获得的锆石年龄(3059 ~ 2663Ma) 并不吻合。因此,这些古老碎屑锆石可能纪录了华北克拉通 > 2600Ma 的成岩事件。

图 5 中,大量碎屑锆石分布在 2600 ~ 2300Ma,而 2600 ~ 2300Ma 恰恰是华北克拉通南缘之嵩箕地块登封群和华熊地块荡泽河群绿岩带的发育期(Chen and Zhao, 1997),也是整个华北克拉通绿岩带的广泛发育期,如五台群、吕梁群、泰山群、胶东群等(胡受奚等, 1988)。而且,在 2500Ma 左右还发生了多个太古宙花岗绿岩地体或陆块的拼贴、碰撞作用,形成高压或高温麻粒岩带(Zhao *et al.*, 2002; Zhai *et al.*, 2000; Zhai, 2010)。应当指出,该时期发生全球范围的超大陆会聚事件,形成了基诺(Kenor) 超大陆(Bekker and Eriksson, 2003; Tang *et al.*, 2011)。

图 5 中,2300 ~ 2050Ma 之间锆石较少,此与华北克拉通总体缺乏其间大规模岩浆活动密切相关,事实上,该时期也是全球范围的岩浆寂静期,并发生了全球性大氧化事件(Tang *et al.*, 2011, 2013; Zhai and Santosh, 2011)。在华北克拉通南缘,该期以发育原岩为沉积岩的水滴沟群孔兹岩系为特征(Chen and Zhao, 1997); 在孔兹岩系发育之后的 2200 ~ 2100Ma 期间,华北克拉通南缘局部发育了中低级变质的双峰式火山岩建造,如崂山地体的崂山群(陈衍景和富士谷, 1992; Chen and Zhao, 1997)。十分一致的是,图 5 中恰恰出现了较小的 2200 ~ 2100Ma 范围的锆石年龄峰。

2050 ~ 1800Ma 被称为造山纪,全球范围发生了广泛的大陆碰撞、拼贴事件,形成哥伦比亚(Columbia) 超大陆(Zhao *et al.*, 2000, 2001, 2002, 2005; Li *et al.*, 2011b; Santosh, 2010)。期间,华北克拉通的多个陆块发生碰撞拼贴,特别是华北克拉通南缘华熊地块与嵩箕地块之间的拼合(陈衍景和富士谷, 1992)。与此次事件相呼应,图 5 中出现了显著 1900 ~ 1800Ma 的年龄峰,其中包含了一颗年龄为 1848Ma 的

变质成因的碎屑锆石,充分证明此次岩浆-变质事件十分强烈(Zhai, 2010), 形成了大量花岗岩类和变质岩及其所含锆石。

图 5 中出现了较多的年龄为 1550 ~ 1800Ma 的碎屑锆石,且以 1700 ~ 1750Ma 为高峰,显示该时期有大量岩浆岩发育。事实上,1800Ma 之后华北克拉通发生造山后伸展和裂解作用,多处发育 1700 ~ 1600Ma 之间的岩浆岩,特别是基性岩墙(Peng *et al.*, 2008; Zhai, 2010); 与此同时,华北克拉通南缘在 1850 ~ 1450Ma 期间发育安第斯型岩浆弧,形成了巨厚的熊耳群安山岩建造(陈衍景和富士谷, 1992; Zhao *et al.*, 2002, 2004, 2005; Li *et al.*, 2011b; Deng *et al.*, 2013a, b)。显然,这些岩浆岩可作为东河群碎屑锆石的源区或再循环锆石的原始源区。

在长达 300Myr 的 1550 ~ 1250Ma 期间,东河群样品中只获得一粒锆石记录,足见该时期岩浆成岩作用的微弱程度。华北克拉通南缘在该时期发育了官道口群和汝阳群沉积地层,其中的高山河组或云梦山组含最厚达 134m 的火山岩夹层,前人获得其 Rb-Sr 等时线年龄为 1394 ± 42 Ma 和 1267Ma(吕国芳等, 1993 及其引文), 恰与东河群内的碎屑锆石²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄(1344 ± 13 Ma; 表 1) 相当,可能属后者的物源区。

东河群中的大量碎屑锆石给出了 1200 ~ 700Ma(图 5), 并包含年龄分别为 893Ma 和 786Ma 变质成因锆石。表明其间秦岭造山带发生了强烈的岩浆成岩事件和变质作用,与全球范围的 Rodinia 超大陆会聚和裂解时间相一致。已有研究表明,在中元古代晚期和新元古代初期,华北克拉通内部较为稳定,发育少量基性岩墙(~ 1000Ma, Liu *et al.*, 2006); 北秦岭地区构造热事件强烈,秦岭群内发育大量 980 ~ 930Ma 的同碰撞或后碰撞花岗岩类,被解释为 Grenvillian 造山运动(1300 ~ 1000Ma) 的产物(张成立等, 2004; Chen *et al.*, 2006); 松树沟蛇绿岩全岩 Sm-Nd 等时线年龄为 1030Ma,也被认为是 Grenvillian 事件的响应(Dong *et al.*, 2008); 宽坪地体(宽坪群为主) 变质沉积岩中含有大量 1000 ~ 900Ma 的岩浆成因的碎屑锆石(Zhu *et al.*, 2011b)。900 ~ 700Ma 期间,华北克拉通南缘和北秦岭造山带发生造山后伸展,发育碱性花岗岩类和基性岩浆岩,例如河南方城双山正长岩体的锆石 U-Pb 年龄为 844.3 ± 1.6 Ma(Bao *et al.*, 2008), 栾川县侵入栾川群的辉长岩锆石 U-Pb 年龄为 830 ± 6 Ma(Wang *et al.*, 2011)。因此,东河群沉积物中年龄为 1200 ~ 700Ma 的碎屑锆石可能源自华北古板块 Grenvillian 造山运动及造山后形成的岩浆-变质杂岩。

研究表明,扬子陆块内部和周缘的 Grenvillian 造山运动及相关岩浆-变质成岩事件更为强烈,甚至被建议为区分扬子与华北克拉通元古宙演化的重要标志(Zheng, 2003)。扬子陆块东南缘与华夏陆块在 ~ 900Ma 时拼接碰撞,随后发生南华裂解事件(Zhang *et al.*, 2008a); 在北缘,随县、桐柏、陡岭、武当、安康、碧口等岩浆弧地体形成,并通过增生型造山

作用成为扬子古板块的一部分(陈衍景和富士谷, 1992; 林振文等, 2013), 它们构成了此后“南秦岭微陆块”的变质基底。例如, 扬子陆块西缘和西北缘发育大量年龄为 860 ~ 740Ma 的花岗岩类与镁铁质侵入岩(Zhou *et al.*, 2002; Li *et al.*, 2003; Sun *et al.*, 2009; 陆松年等, 2005; 凌文黎等, 2006); 碧口群中火山岩锆石 SHRIMP 年龄为 840 ~ 776Ma (闫全人等, 2003), 沉积岩的碎屑锆石年龄主要为 910 ~ 745Ma (峰值年龄为 805Ma) (Sun *et al.*, 2009)。如此, 扬子古板块具有向东河群提供碎屑锆石或再循环碎屑锆石的可能性, 特别是距离观音坝盆地较近的碧口地体。

图 5 出现 650 ~ 400Ma 年龄峰, 而且是东河群碎屑锆石纪录的 5 个最显著峰之一。该时期是 Gondwana 和 Laurentia 超大陆的形成期, 我国学者习称加里东期(胡受奚等, 1988)。在北秦岭发育了有商丹缝合带、秦岭群岩浆-变质杂岩和二郎坪群中浅变质的火山-沉积岩系组成的沟-弧-盆体系, 即典型的北秦岭增生造山带(胡受奚等, 1988; 陈衍景等, 2009)。例如, 漂池和灰池子花岗岩基的同位素年龄分别为 ~495Ma 和 434 ~ 421Ma (王涛等, 2009)。无疑, 北秦岭增生造山带可以较好地解释东河群 650 ~ 400Ma 碎屑锆石的来源问题。值得说明的是, 扬子陆块新元古代晚期地层中发育多个薄层火山凝灰岩, 凝灰岩层分布面积广阔, 几乎遍及整个扬子克拉通及其东南缘, 且层位和厚度稳定, 锆石 U-Pb 年龄介于 663 ~ 555Ma (Zhou *et al.*, 2004; Zhang *et al.*, 2005, 2008b), 扬子陆块西北缘的后龙门山地区也出现类似的凝灰岩夹层(李佐臣等, 2011), 但扬子克拉通及其周缘缺乏同期厚层火山岩建造, 致使火山灰来源成为未解之谜。本文基于东河群碎屑锆石研究, 初步认为遍布扬子克拉通的新元古代晚期的火山凝灰岩之火山灰源自北秦岭增生造山带的同期弧岩浆作用。当然, 这种解释要求扬子古板块与华北古板块在 650 ~ 550Ma 期间相距不远。事实上, 大量研究证明扬子古板块在 400Ma 之前就已经与华北古板块碰撞拼接在一起(陈衍景等, 2009 及其引文); 而且, 前已述及, <490Ma 的碎屑锆石磨圆程度明显不如 >490Ma 者, 显示了近距离搬运沉积的特征, 表明沉积盆地距物源区越来越近。由此, 我们进一步推测, 南秦岭微陆块和扬子古板块早古生代地层中可能存在火山凝灰岩夹层。

东河群碎屑锆石最年轻的年龄峰出现在 350 ~ 200Ma (340 ~ 208Ma), 集中于 250 ~ 200Ma (图 5), 与 Pangaea 超大陆形成时间吻合。这些锆石通常呈自形-半自形棱柱状(图 3), Th/U 比值较高(0.25 ~ 0.70), 成分振荡环带清楚, 属于近源搬运沉积的岩浆锆石。与这些碎屑锆石相对应, 勉略缝合带以北的秦岭地区广泛发育三叠纪花岗岩类(李诺, 2012 及其引文), 这些花岗岩曾被认为形成于后碰撞环境(张国伟等, 2001; 杨荣生等, 2006; Zhu *et al.*, 2011a), 现被一些学者解释为碰撞前的岩浆弧环境的产物(Jiang *et al.*, 2010; 陈衍景, 2010; Li *et al.*, 2011a; Ni *et al.*, 2012; 李诺, 2012)。前人关于勉略带蛇绿岩残片和黑沟峡火山岩的同位素年代

学研究结果显示, 勉略洋壳至少在 350 ~ 242Ma 期间发育(Lai *et al.*, 2008), 彻底闭合时间不早于 220Ma (陈衍景, 2010 及其引文)。一个令人困惑的问题是, 东河群中有较多 350 ~ 250Ma 的近源岩浆锆石(图 5), 杨荣生等(2006)曾获得阳山金矿田含矿蚀变花岗斑岩中独居石继承核 Th-U-Pb 年龄为 297 ~ 251Ma, 认为其记录了古特提斯洋盆向北消减诱发的南秦岭弧岩浆作用, 而勉略带蛇绿岩的时代显示秦岭造山带应有晚古生代的弧岩浆作用, 但是, 迄今秦岭造山带未见年龄确切的 350 ~ 250Ma 之间的花岗岩类和火山岩地层。显然, 这一矛盾需要研究解决。

4.2 南秦岭微陆块的构造演化

东河群砾岩碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄谱图清楚地记录了 5 次超大陆聚合事件, 且总体分为三种情况: (1) Rodinia 超大陆会聚-裂解(1250 ~ 700Ma)之前, 碎屑锆石年龄分布可与华北克拉通的重要成岩事件完全一一对应, 包括 Kenor 和 Columbia 两次超大陆旋回以及其间的小规模岩浆活动, 特别是 2200 ~ 2100Ma、1750 ~ 1700Ma (或 1800 ~ 1550Ma)、1400 ~ 1300Ma 几乎是华北克拉通南缘特有的 3 次岩浆活动。(2) 1250 ~ 400Ma 期间的锆石记录了兼有华北古板块南缘和扬子古板块北缘地质事件的混杂信息, 包括 Rodinia 和 Gondwana 两次超大陆聚合事件, 以及 490Ma 前后锆石磨圆度的显著差异。(3) 350 ~ 200Ma 期间的秦岭造山带内部地质作用的信息, 包括古特提斯洋消减闭合和 Pangaea 超大陆聚合事件。这三种情况中, 最后一种情况自然是容易理解的, 因为观音坝盆地本身属于秦岭造山带内部的山间断陷盆地。那么, 位于南秦岭微陆块南缘的观音坝盆地何以纪录如此众多的华北古板块的锆石信息呢?

从观音坝盆地地质情况(图 1)可见, 作为山间断陷盆地沉积物的东河群碎屑物可能以就地取材的方式来自周围的地质体, 包括图 1 中未标出的三叠纪花岗岩类、新元古代晚期(震旦纪)至三叠纪沉积地层, 以及碧口地体的前寒武纪碧口群。东河群的碎屑锆石也应该源自上述地质体, 或者来自通过一次或多次再循环作用而进入上述地质体中的锆石。换句话说, 东河群中的碎屑锆石可以反演其不同世代的源区物质组合和演化, 即族谱。

按照上述认识, 观音坝盆地南部碧口地体可以为观音坝盆地提供碎屑物, 可解释东河群中的所有南秦岭微陆块基底或扬子克拉通的锆石源区信息, 却无法解释北秦岭和北克拉通的锆石信息。如此, 观音坝盆地周围新元古代晚期至三叠纪地层就成为蕴涵华北克拉通和北秦岭造山带物质信息的唯一源区。

前人研究表明, 新元古代晚期-早古生代, 南秦岭作为扬子陆块的北缘, 北秦岭作为华北克拉通南缘, 二者之间被原特提斯秦岭洋所分隔。早古生代, 由于原特提斯洋向北俯冲消减, 北秦岭演化为活动大陆边缘。早古生代晚期, 伴随 Gondwana 超大陆会聚, 原特提斯洋闭合, 南、北秦岭于沿商

丹缝合带碰撞拼合。之后,由于古特提斯洋沿勉略缝合带打开,勉略洋以南为扬子克拉通,勉略洋以北则是由华北克拉通、北秦岭增生造山带、秦岭微陆块共同构成的华北-秦岭大陆板块。因此,晚古生代期间,南秦岭微陆块并非是一个独立块体,而是华北-秦岭大陆板块的一部分。在晚古生代至三叠纪期间,南秦岭微陆块作为华北-秦岭大陆的南缘,接受了大量陆源台地相复理石-碳酸盐交互的大陆边缘沉积。无疑,这些陆缘沉积物的源区是北秦岭增生带和华北克拉通,其碎屑锆石也主要来自北秦岭增生带和华北克拉通。其中,490Ma 之前的磨圆度较好的锆石可能源自北秦岭-华北克拉通的早古生代或更老的沉积地层,而 490~400Ma 之间的磨圆度较差的锆石可能源自早古生代末期的碰撞造山作用形成的花岗岩类。自然,观音坝盆地早白垩世东河群继承了其盆地晚古生代地层中的这种锆石物源特征和信息。

河东群最年轻一组碎屑锆石的年龄分布在 350~200Ma (具体年龄值为 340~208Ma),表明古特提斯洋壳或勉略洋板块开始俯冲到华北-秦岭大陆板块之下的时间不早于 350Ma,且俯冲诱发的陆缘岩浆弧发育时间不超出 350~200Ma (或 340~208Ma)。如此,我们有理由认为扬子克拉通与华北-秦岭大陆板块的全面碰撞不早于 208Ma,即三叠纪-侏罗纪之交(陈衍景,2010)。考虑到扬子板块与华北-秦岭大陆板块之间的古特提斯洋自东向西剪刀式闭合,认为晚三叠世(特别是 220~200Ma 期间)的秦岭地区与现今地中海相当,属于洋-陆俯冲向陆-陆碰撞转换、洋-陆俯冲与陆-陆碰撞并存的复杂构造体制(陈衍景,2010)。所以,秦岭地区强烈的大陆碰撞-挤压造山作用发生在侏罗纪,而非三叠纪或更早,秦岭造山带普遍缺失侏罗纪沉积物也十分有力地证明着这一结论性认识(陈衍景和富士谷,1992)。据此,秦岭造山带大面积发育的燕山期花岗岩类和丰富的燕山期热液矿床均应是大陆碰撞成岩成矿的结果。

5 结论

(1) 南秦岭微陆块南缘的观音坝盆地早白垩世东河群沉积物中碎屑锆石年龄完整地记录了 5 次全球性超大陆事件: Kenor(2600~2300Ma)、Columbia(2050~1800Ma)、Rodinia(1250~700Ma)、Gondwana(650~400Ma) 和 Pangaea(350~200Ma)。

(2) 东河群中年龄 >400Ma 的碎屑锆石主要源自北秦岭造山带和华北克拉通,或由其再循环沉积的南秦岭古生代-三叠纪地层。

(3) 新元古代晚期至早古生代,北秦岭发育完整的沟-弧-盆体系的活动大陆边缘,其弧岩浆作用为是扬子克拉通发育新元古代火山凝灰岩夹层(663~555Ma) 提供了物质来源。

(4) 早古生代末,南秦岭微陆块与华北克拉通-北秦岭大陆板块碰撞拼合,此后一直是秦岭-华北联合大陆的一部分;

晚古生代,秦岭微陆块是秦岭-华北大陆板块的南缘,而非独立的微陆块,并接受了来自华北克拉通、北秦岭增生带的陆源碎屑沉积。

(5) 在 350~200Ma (或 340~208Ma) 期间勉略洋板块向北俯冲到秦岭-华北联合大陆板块之下,诱发了晚古生代晚期至三叠纪的陆缘弧岩浆作用;南秦岭晚石炭统-三叠系地层中可能发育火山岩或火山凝灰岩夹层。

(6) 220~200Ma 时,秦岭地区的洋-陆俯冲向陆-陆碰撞转化,洋-陆俯冲与陆-陆碰撞并存,构造构造格局和动力体制复杂,与现今地中海相当;全面的陆陆碰撞造山作用始于三叠纪-侏罗纪之交,强烈的挤压造山作用发生在侏罗纪,而非三叠纪或更早。

致谢 研究工作得到阎凤增教授、李强之高级工程师的指导和帮助,野外工作得到武警黄金部队第十二支队官兵的帮助,实验工作得到西北大学大陆动力学国家重点实验室朱赖民老师、弓虎军等老师和同学以及北京大学李诺博士、邓小华博士的热心帮助,张世红教授、陈斌教授和另一位审稿人提出了建设性修改意见,在此一并表示感谢!

References

- Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb . *Chemical Geology*, 192(1-2): 59-79
- Bao ZW, Wang Q, Bai GD, Zhao ZH, Song YW and Liu XM. 2008. Geochronology and geochemistry of the Fangcheng Neoproterozoic alkali-syenites in East Qinling orogen and its geodynamic implications. *Chinese Science Bulletin*, 53(13): 2050-2061
- Bekker A and Eriksson KA. 2003. A Paleoproterozoic drowned carbonate platform on the southeastern margin of the Wyoming Craton: A record of the Kenorland breakup. *Precambrian Research*, 120(3-4): 327-364
- Belousova EA, Griffin WL, O'Reilly S and Fisher NI. 2002. Igneous zircon: Trace element composition as an indicator of source rock type. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 143(5): 602-622
- Blank LP, Kamo SL, Williams IS, Mundil R, Davis DW, Korsch RJ and Foudoulis C. 2003. The application of SHRIMP to Phanerozoic geochronology: A critical appraisal of four zircon standards. *Chemical Geology*, 200(1-2): 171-188
- Chen F, Zhu XY, Wang W, Wang F, Hieu PT and Siebel W. 2009. Single-grain detrital muscovite Rb-Sr isotopic composition as an indicator of provenance for the Carboniferous sedimentary rocks in northern Dabie, China. *Geochemical Journal*, 43(4): 257-273
- Chen YJ and Fu SG. 1992. Gold Mineralization in West Henan. Beijing: Seismological Press, 1-234 (in Chinese with English abstract)
- Chen YJ. 1996. Progresses in application of sedimentary trace element geochemistry to probe crustal composition and environmental change. *Geology-Geochemistry*, (3): 7-11 (in Chinese)
- Chen YJ and Zhao YC. 1997. Geochemical characteristics and evolution of REE in the Early Precambrian sediments: Evidence from the southern margin of the North China craton. *Episodes*, 20(2): 109-116
- Chen YJ, Zhang J, Zhang FX, Pirajno F and Li C. 2004. Carlin and Carlin-Like gold deposits in western Qinling Mountains and their metallogenic time, tectonic setting and model. *Geological Review*, 50(2): 134-152 (in Chinese with English abstract)
- Chen YJ, Chen HY, Zaw K, Pirajno F and Zhang ZJ. 2007. Geodynamic settings and tectonic model of skarn gold deposits in

- China: An overview. *Ore Geology Reviews*, 31(1–4): 139–169
- Chen YJ, Zhai MG and Jiang SY. 2009. Significant achievements and open issues in study of orogenesis and metallogenesis surrounding the North China continent. *Acta Petrologica Sinica*, 25(11): 2695–2726 (in Chinese with English abstract)
- Chen YJ. 2010. Indosinian tectonic setting, magmatism and metallogenesis in Qinling Orogen, Central China. *Geology in China*, 37(4): 854–865 (in Chinese with English abstract)
- Chen ZH, Lu SN, Li HK, Li HM, Xiang ZQ, Zhou HY and Song B. 2006. Constraining the role of the Qinling orogen in the assembly and break-up of Rodinia: Tectonic implications for Neoproterozoic granite occurrences. *Journal of Asian Earth Sciences*, 28(1): 99–115
- Condie KC, Beyer E, Belousova EA, Griffin WL and O'Reilly SY. 2005. U-Pb isotopic ages and Hf isotopic composition of single zircons: The search for juvenile Precambrian continental crust. *Precambrian Research*, 139(1–2): 42–100
- Deng XH, Chen YJ, Santosh M and Yao JM. 2013a. Genesis of the 1.76 Ga Zhaiwa Mo-Cu and its link with the Xiong'er volcanics in the North China Craton: Implications for accretionary growth along the margin of the Columbia supercontinent. *Precambrian Research*, doi: 10.1016/j.precamres.2012.02.014
- Deng XH, Chen YJ, Santosh M, Zhao GC and Yao JM. 2013b. Metallogeny during continental outgrowth in the Columbia supercontinent: Isotopic characterization of the Zhaiwa Mo-Cu system in the North China Craton. *Ore Geology Reviews*, doi: 10.1016/j.oregeorev.2012.11.004
- Dickinson WR and Suckez CA. 1979. Plate tectonics and sandstone compositions. *AAPG Bulletin*, 63(12): 2164–2182
- Dong H, Zhang HF and Wei ZW. 2000. The new progress of study on the Cretaceous strata in Wen County, Southern Qinling orogen. *Northwestern Geology*, 33(3): 1–5 (in Chinese)
- Dong YP, Zhou MF, Zhang GW, Zhou DW, Liu L and Zhang Q. 2008. The Grenvillian Songshugou ophiolite in the Qinling Mountains, Central China: Implications for the tectonic evolution of the Qinling orogenic belt. *Journal of Asian Earth Sciences*, 32(5–6): 325–335
- Drewery S, Cliff PA and Leeder MR. 1987. Provenance of Carboniferous sandstones from U-Pb dating of detrital zircons. *Nature*, 325(6099): 50–53
- Ernst WG, Tsujimori T, Zhang R and Liou G. 2007. Permo-Triassic collision, subduction-zone metamorphism, and tectonic exhumation along the East Asian continental margin. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 35: 73–110
- Geslin JK, Link PK and Fanning CM. 1999. High-precision provenance determination using detrital-zircon ages and petrography of Quaternary sands on the eastern Snake River Plain, Idaho. *Geology*, 27(4): 295–298
- Griffin WL, Belousova EA, Shee SR, Pearson NJ and O'Reilly SY. 2004. Archean crustal evolution in the northern Yilgarn Craton: U-Pb and Hf-isotope evidence from detrital zircons. *Precambrian Research*, 131(3–4): 231–282
- Hu B, Zhai MG, Guo JH, Peng P, Liu F and Liu S. 2009. LA-ICP-MS U-Pb geochronology of detrital zircons from the Huade Group in northern margin of the North China Craton and its tectonic significance. *Acta Petrologica Sinica*, 25(1): 193–211 (in Chinese with English abstract)
- Hu SX, Lin QL, Chen ZM and Li SM. 1988. *Geology and Metallogeny of the Collisional Belt between the Northern and Southern China Ancient Plates*. Nanjing: Nanjing University Press, 1–558 (in Chinese)
- Huang JQ and Chen BW. 1987. *The Evolution of the Tethys in China and Adjacent Regions*. Beijing: Geological Publishing House, 1–109
- Ireland TR, Flöttmann T, Fanning CM, Gibson GM and Preiss WV. 1998. Development of the Early Paleozoic Pacific margin of Gondwana from detrital-zircon ages across the Delamerian orogen. *Geology*, 26(3): 243–246
- Jiang YH, Jin GD, Liao SY, Zhou Q and Zhao P. 2010. Geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic constraints on the origin of Late Triassic granitoids from the Qinling orogen, Central China: Implications for a continental arc to continent-continent collision. *Lithos*, 117(1–4): 183–197
- Kinny PD and Maas R. 2003. Lu-Hf and Sm-Nd isotope systems in zircon. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53(1): 327–341
- Lai SC, Qin JF, Chen L and Grapes R. 2008. Geochemistry of ophiolites from the Mian-Lue Suture Zone: Implications for the tectonic evolution of the Qinling Orogen, Central China. *International Geology Review*, 50(7): 650–664
- Li N, Chen YJ, Zhang H, Zhao TP, Deng XH, Wang Y and Ni ZY. 2007. Molybdenum deposits in East Qinling. *Earth Science Frontiers*, 14(5): 186–198. (in Chinese with English abstract)
- Li N, Chen YJ, Fletcher IR and Zeng QT. 2011a. Triassic mineralization with Cretaceous overprint in the Dahu Au-Mo deposit, Xiaqingling gold province: Constraints from SHRIMP monazite U-Th-Pb geochronology. *Gondwana Research*, 20(2–3): 543–552
- Li N, Chen YJ, Santosh M, Yao JM, Sun YL and Li J. 2011b. The 1.85 Ga Mo mineralization in the Xiong'er Terrane, China: Implications for metallogeny associated with assembly of the Columbia supercontinent. *Precambrian Research*, 186(1–4): 220–232
- Li N. 2012. Process and mechanism of Yanshanian large-scale Mo accumulation in East Qinling. Ph. D. Dissertation. Beijing: Peking University, 1–262 (in Chinese with English summary)
- Li N, Ulrich T, Chen YJ, Thomsen TB, Pease V and Pirajno F. 2012. Fluid evolution of the Yuchiling porphyry Mo deposit, East Qinling, China. *Ore Geology Reviews*, 48: 442–459
- Li RW, Meng QR and Li SY. 2005. Coupling of the Jurassic and Carboniferous basins with the orogens in the Dabie Shan and adjacent area: Constraints from sedimentary record. *Acta Petrologica Sinica*, 21(4): 1133–1143 (in Chinese with English abstract)
- Li SG and Sun WD. 1996. A Middle Silurian-Early Devonian magmatic arc in the Qinling Mountains of Central China: A discussion. *Journal of Geology*, 104(4): 501–503
- Li XH, Li ZX, Ge WC, Zhou HW, Li WX, Liu Y and Wingate MTD. 2003. Neoproterozoic granitoids in South China: Crustal melting above a mantle plume at ca. 825 Ma? *Precambrian Research*, 122(1–4): 45–83
- Li ZC, Pei XZ, Liu ZQ, Li RB, Ding SP, Zhang XF, Chen GC, Liu ZG, Chen YX and Wang XL. 2011. Characteristics of sedimentary strata and their forming environments of Nanhuan Period-Early Paleozoic of back-Longmenshan in the northwest margin of Yangtze Block. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 33(2): 117–124 (in Chinese with English abstract)
- Lin ZW, Qin Y, Zhou ZJ, Yue SW, Zeng QT and Wang LX. 2013. Zircon U-Pb dating and geochemistry of the volcanic rocks at Huachanggou area, Mian-Lue suture, South Qinling. *Acta Petrologica Sinica*, 29(1): 83–94
- Ling WL, Gao S, Cheng JP, Jiang LS, Yuan HL and Hu ZC. 2006. Neoproterozoic magmatic events within the Yangtze continental interior and along its northern margin and their tectonic implication: constraint from the ELA-ICPMS U-Pb geochronology of zircons from the Huangling and Hannan complexes. *Acta Petrologica Sinica*, 22(2): 387–396 (in Chinese with English abstract)
- Liu YQ, Gao LZ, Liu YX, Song B and Wang ZX. 2006. Zircon U-Pb dating for the earliest Neoproterozoic mafic magmatism in the southern margin of the North China Block. *Chinese Science Bulletin*, 51(19): 2375–2382
- Lu GF, Guan BD and Wang YX. 1993. The characteristics and tectonic setting of the volcanic rocks in the Gaoshanhe/Yunmengshan Formation, western Henan. *Henan Geology*, 11(1): 37–43 (in Chinese)
- Lu SN, Chen ZH, Li HK, Hao GJ and Xiang ZQ. 2005. Two magmatic belts of the Neoproterozoic in the Qinling Orogenic belt. *Acta Geologica Sinica*, 79(2): 165–173 (in Chinese with English abstract)
- Ludwig KR. 2003. *Isoplot 3.0: A geochronological toolkit for Microsoft Excel*. Berkeley Geochronology Center, Spec. Pub., (4): 1–70

- Machao N and Gauthier G. 1996. Determination of $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ages on zircon and monazite by laser ablation ICPMS and application to a study of sedimentary provenance and metamorphism in southeastern Brazil. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 60: 5063–5073
- Mattauer M, Matte PH, Malavieille J, Tapponnier P, Maluski H, Xu ZQ, Lu YL and Tang YQ. 1985. Tectonics of the Qinling belt: Build-up and evolution of eastern Asia. *Nature*, 317(6037): 496–500
- Meng QR and Zhang GW. 2000. Geologic framework and tectonic evolution of the Qinling orogen, Central China. *Tectonophysics*, 323(3–4): 183–196
- Morton AC, Claoue-Long JC and Berge C. 1996. SHRIMP constraints on sediment provenance and transport history in the Mesozoic Stafford Formation, North Sea. *Journal of the Geological Society*, 153(6): 915–929
- Ni ZY, Chen YJ, Li N and Zhang H. 2012. Pb-Sr-Nd isotope constraints on the fluid source of the Dahu Au-Mo deposit in Qinling Orogen, Central China, and implication for Triassic tectonic setting. *Ore Geology Reviews*, 46: 60–67
- Peng P, Zhai MG, Ernst RE, Guo JH, Liu F and Hu B. 2008. A 1.78Ga large igneous province in the North China Craton: The Xiong'er Volcanic Province and the North China dyke swarm. *Lithos*, 101(3–4): 260–280
- Santosh M. 2010. Assembling North China Craton within the Columbia supercontinent: The role of double-sided subduction. *Precambrian Research*, 178(1–4): 149–167
- Stevenson RK and Patchett PJ. 1990. Implications for the evolution of continental crust from Hf isotope systematics of Archean detrital zircons. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54(6): 1683–1697
- Sun WH, Zhou MF, Gao JF, Yang YH, Zhao XF and Zhao JH. 2009. Detrital zircon U-Pb geochronological and Lu-Hf isotopic constraints on the Precambrian magmatic and crustal evolution of the western Yangtze Block, SW China. *Precambrian Research*, 172(1–2): 99–126
- Tang HS, Chen YJ, Wu G and Lai Y. 2011. Paleoproterozoic positive $\delta^{13}\text{C}$ carb excursion in the northeastern Sinokorean craton: Evidence of the Lomagundi Event. *Gondwana Research*, 19(2): 471–481
- Tang HS, Chen YJ, Santosh M, Zhong H and Yang T. 2013. REE geochemistry of carbonates from the Guanmenshan Formation, Liaohe Group, NE Sino-Korean Craton: Implications for seawater compositional change during the Great Oxidation Event. *Precambrian Research*, doi:10.1016/j.precamres.2012.02.005
- Wang LJ, Griffin WL, Yu JH and O'Reilly SY. 2010. Precambrian crustal evolution of the Yangtze Block tracked by detrital zircons from Neoproterozoic sedimentary rocks. *Precambrian Research*, 177(1–2): 131–144
- Wang T, Wang XX, Tian W, Zhang CL, Li WP and Li S. 2009. North Qinling Paleozoic granite associations and their variation in space and time: Implications for orogenic processes in the orogens of central China. *Science in China (Series D)*, 39(7): 949–971 (in Chinese)
- Wang XL, Jiang SY, Dai BZ, Griffin WL, Dai MN and Yang YH. 2011. Age, geochemistry and tectonic setting of the Neoproterozoic (ca. 830Ma) gabbros on the southern margin of the North China Craton. *Precambrian Research*, 190(1–4): 35–47
- Yan QR, Wang ZQ, Yan Z, Andrew D. H, Peter AD, Liu DY, Song B, Jian P and Wang T. 2003. Geochronology of the Bikou Group volcanic rocks: Newest results from SHRIMP zircon U-Pb dating. *Geological Bulletin of China*, 22(6): 456–458 (in Chinese with English abstract)
- Yan Z, Wang ZQ, Chen JL, Yan QR and Wang T. 2010. Detrital record of Neoproterozoic arc-magmatism along the NW margin of the Yangtze Block, China: U-Pb geochronology and petrography of sandstones. *Journal of Asian Earth Sciences*, 37(4): 322–334
- Yang RS, Chen YJ, Zhang FX, Li ZH, Mao SD, Liu HJ and Zhao CH. 2006. Chemical Th-U-Pb ages of monazite from the Yangshan gold deposit, Gansu Province and their geologic and metallogenic implications. *Acta Petrologica Sinica*, 22(10): 2603–2610 (in Chinese with English abstract)
- Yuan HL, Gao S, Liu XM, Li HM, Günther D and Wu FY. 2004. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 28(3): 353–370
- Yuan HL, Gao S, Dai MN, Zong CL, Günther D, Fontaine GH, Liu XM and Diwu CR. 2008. Simultaneous determinations of U-Pb age, Hf isotopes and trace element compositions of zircon by excimer laser-ablation quadrupole and multiple-collector ICP-MS. *Chemical Geology*, 247(1–2): 100–118
- Zhai MG, Cong BL, Guo JH, Liu WJ, Li YG and Wang QC. 2000. Sm-Nd geochronology and petrography of garnet pyroxene granulites in the northern Sulu region of China and their geotectonic implication. *Lithos*, 52(1–4): 23–33
- Zhai MG, Guo JH and Liu WJ. 2005. Neoproterozoic to Paleoproterozoic continental evolution and tectonic history of the North China Craton: A review. *Journal of Asian Earth Sciences*, 24(5): 547–561
- Zhai MG. 2010. Tectonic evolution and metallogenesis of North China Craton. *Mineral Deposits*, 29(1): 24–36
- Zhai MG and Santosh M. 2011. The Early Precambrian odyssey of the North China Craton: A synoptic overview. *Gondwana Research*, 20(1): 6–25
- Zhang CL, Liu L, Zhang GW, Wang T, Chen DL, Yuan HL, Liu XM and Yan YX. 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 GW, Zhang BR, Yuan XC and Xiao QH. 2001. Qinling Orogenic Belt and Continental Dynamics. Beijing: Science Press, 1–855 (in Chinese)
- Zhang J, Chen YJ, Shu GM, Zhang FX and Li C. 2002. Compositional study of minerals within the Qinlingiang granite, southwestern Shaanxi Province and discussions on the related problems. *Science in China (Series D)*, 45(7): 662–672
- Zhang SB and Zheng YF. 2007. Growth and reworking of the Yangtze continental nucleus: Evidence from zircon U-Pb ages and Hf isotopes. *Acta Petrologica Sinica*, 23(2): 393–402 (in Chinese with English abstract)
- Zhang SH, Jiang GQ, Zhang JM, Song B, Kennedy MJ and Christie-Blick N. 2005. U-Pb sensitive high-resolution ion microprobe ages from the Doushantuo Formation in south China: Constraints on late Neoproterozoic glaciations. *Geology*, 33(6): 473–476
- Zhang SH, Jiang GQ, Dong J, Han YG and Wu HC. 2008a. New SHRIMP U-Pb age from the Wuqiangxi Formation of Banxi Group: Implications for rifting and stratigraphic erosion associated with the Early Cryogenian (Sturtian) glaciation in South China. *Science in China (Series D)*, 51(11): 1537–1544
- Zhang SH, Jiang GQ and Han YG. 2008b. The age of the Nantuo Formation and Nantuo glaciation in South China. *Terra Nova*, 20(4): 289–294
- Zhao GC, Cawood PA, Wilde SA, Sun M and Lu LZ. 2000. Metamorphism of basement rocks in the Central Zone of the North China craton: Implications for Paleoproterozoic tectonic evolution. *Precambrian Research*, 103(1–2): 55–88
- Zhao GC, Wilde SA, Cawood PA and Sun M. 2001. Archean blocks and their boundaries in the North China craton: Lithological, geochemical, structural and *P-T* path constraints and tectonic evolution. *Precambrian Research*, 107(1–2): 45–73
- Zhao GC, Cawood PA, Wilde SA and Sun M. 2002. Review of global 2.1–1.8Ga orogens: Implications for a pre-Rodinia supercontinent. *Earth-Science Reviews*, 59(1–4): 125–162
- Zhao GC, Sun M, Wilde SA and Li SZ. 2004. A Paleo-Mesoproterozoic supercontinent: Assembly, growth and breakup. *Earth-Science Reviews*, 67(1–2): 91–123
- Zhao GC, Sun M, Wilde SA and Li SZ. 2005. Late Archean to Paleoproterozoic evolution of the North China Craton: Key issues revisited. *Precambrian Research*, 136(2): 177–202
- Zheng YF. 2003. Neoproterozoic magmatic activity and global change.

Chinese Science Bulletin, 48(16): 1639–1656

Zhou C, Tucker R, Xiao S, Peng Z, Yuan X and Chen Z. 2004. New constraints on the ages of Neoproterozoic glaciations in South China. *Geology*, 32(5): 437–440

Zhou MF, Yan DP, Kennedy AK, Li YQ and Ding J. 2002. SHRIMP U–Pb zircon geochronological and geochemical evidence for Neoproterozoic arc-magmatism along the western margin of the Yangtze Block, South China. *Earth and Planetary Science Letters*, 196(1–2): 51–67

Zhu LM, Zhang GW, Chen YJ, Ding ZJ, Guo B, Wang F and Li B. 2011a. Zircon U–Pb ages and geochemistry of the Wenquan Mo-bearing granitoids in West Qinling, China: Constrains on the geodynamic setting for the newly discovered Wenquan Mo deposit. *Ore Geology Reviews*, 39: 49–62

Zhu XY, Chen FK, Li SQ, Yang YZ, Nie H, Siebel W and Zhai MG. 2011b. 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

附中文参考文献

陈衍景, 富士谷. 1992. 豫西金矿成矿规律. 北京: 地震出版社, 1–234

陈衍景. 1996. 沉积物微量元素示踪地壳成分和环境及其演化的最新进展. *地质地球化学*, (3): 7–11

陈衍景, 张静, 张复新, Pirajno F, 李超. 2004. 西秦岭地区卡林-类卡林型金矿床及其成矿时间、构造背景和模式. *地质论评*, 50(2): 134–152

陈衍景, 翟明国, 蒋少涌. 2009. 华北大陆边缘造山过程与成矿研究的重要进展和问题. *岩石学报*, 25(11): 2695–2726

陈衍景. 2010. 秦岭印支期构造背景、岩浆活动及成矿作用. *中国地质*, 37(4): 854–865

董翰, 张海峰, 魏振伟. 2000. 南秦岭文县白垩纪地层研究新进展. *西北地质*, 33(3): 1–5

胡波, 翟明国, 郭敬辉, 彭澎, 刘富, 刘爽. 2009. 华北克拉通北缘化德群中碎屑锆石的 LA-ICP-MS U–Pb 年龄及其构造意义. *岩石学报*, 25(1): 193–211

胡受奚, 林潜龙, 陈泽铭, 黎世美. 1988. 华北与华南古板块拼合带地质和成矿. 南京: 南京大学出版社, 1–558

李诺, 陈衍景, 张辉, 赵太平, 邓小华, 王运, 倪智勇. 2007. 东秦岭斑岩钼矿带的地质特征和成矿构造背景. *地学前缘*, 14(5): 186–198

李诺. 2012. 东秦岭燕山期大规模钼金属堆积的过程和机制. 博士学位论文. 北京: 北京大学, 262

李任伟, 孟庆任, 李双应. 2005. 大别山及邻区侏罗和石炭纪时期盆-山耦合: 来自沉积记录的认识. *岩石学报*, 21(4): 1133–1143

李佐臣, 裴先治, 刘战庆, 李瑞保, 丁仁平, 张晓飞, 陈国超, 刘智刚, 陈有析, 王学良. 2011. 扬子地块西北缘后龙门山南华纪-早古生代沉积地层特征及其形成环境. *地球科学与环境学报*, 33(2): 117–124

林振文, 秦艳, 周振菊, 岳素伟, 曾庆涛, 王立新. 2013. 南秦岭勉略带铍厂沟火山岩锆石 U–Pb 年代学及地球化学研究. *岩石学报*, 29(1): 83–94

凌文黎, 高山, 程建萍, 江麟生, 袁洪林, 胡兆初. 2006. 扬子陆核与陆缘新元古代岩浆事件对比及其构造意义-来自黄陵和汉南侵入杂岩 ELA-ICPMS 锆石 U–Pb 同位素年代学的约束. *岩石学报*, 22(2): 387–396

吕国芳, 关保德, 王耀霞. 1993. 豫西高山河组云梦山组火山岩特点及其构造背景. *河南地质*, 11(1): 37–43

陆松年, 陈志宏, 李怀坤, 郝国杰, 相振群. 2005. 秦岭造山带中两条新元古代岩浆岩带. *地质学报*, 79(2): 165–173

王涛, 王晓霞, 田伟, 张成立, 李伍平, 李舫. 2009. 北秦岭古生代花岗岩组合-岩浆时空演变及其对造山作用的启示. *中国科学(D 辑)*, 39(7): 949–971

闫全人, 王宗起, 闫臻, Andrew DH, Peter AD, 刘敦一, 宋彪, 简平, 王涛. 2003. 碧口群火山岩的时代-SHRIMP 锆石 U–Pb 测年结果. *地质通报*, 22(6): 456–458

杨荣生, 陈衍景, 张复新, 李志宏, 毛世东, 刘红杰, 赵成海. 2006. 甘肃阳山金矿独居石 Th–U–Pb 化学年龄及其地质和成矿意义. *岩石学报*, 22(10): 2603–2610

张成立, 刘良, 张国伟, 王涛, 陈丹玲, 袁洪林, 柳小明, 晏云翔. 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

张国伟, 张本仁, 袁学诚, 肖庆辉. 2001. 秦岭造山带与大陆动力学. 北京: 科学出版社, 1–855

张少兵, 郑永飞. 2007. 扬子陆核的生长和再造: 锆石 U–Pb 年龄和 Hf 同位素研究. *岩石学报*, 23(2): 393–402