北秦岭柳叶河盆地石炭系—二叠系含砾砂岩碎屑锆石LA-ICP-MS U-Pb年龄及其地质意义

高春云[1,2], 郭安林[1], 李兴辉[1], 李 侃[1], 刘伟刚[2]
GAO Chunyun[1,2], GUO Anlin[1], LI Xinghui[1], LI Kan[1], LIU Weigang[2]

1.西北大学地质学系,陕西 西安 710069;
2.陕西省能源化工研究院 陕西 西安 700069
1. *Department of Geology, Northwest University, Xi'an* 710069, *Shaanxi, China;*
2. *Shaanxi Provincial Institute of Energy Resource & Chemical Engineering, Xi'an* 700069, *Shaanxi, China*

摘要:通过北秦岭黑河地区柳叶河盆地碎屑锆石年龄研究,探讨盆地沉积物年龄结构,并进一步推断其物源及与秦岭造山带的盆山耦合过程。采自柳叶河盆地石炭系—二叠系含砾砂岩样品中的82颗碎屑锆石年龄可分为6组:260~542Ma、800~1100Ma、1320~1560Ma、1640~2250Ma、2300~2660Ma和2720~2870Ma。其中260~542Ma年龄段所占测点比例最大,占锆石总数的31%,其次为1640~2250Ma、2300~2660Ma和800~1100Ma年龄段。最老年龄值为2834±40Ma,最年轻者为264±5Ma。从碎屑锆石年龄结构对比及石炭纪地层交错层理推断,柳叶河盆地石炭系—二叠系物源区主要为当时的北秦岭山地。此外,碎屑锆石年龄结构对比表明,鄂尔多斯盆地南部与柳叶河原始盆地有相同的年龄谱特征,意味着它们具有同一物源区。北秦岭山地是在加里东造山作用后期影响下迅速隆升而形成的。其后,随着南侧勉略洋的打开,华北地台相对沉降及沿商丹带的走滑断陷使柳叶河盆地出现,仍旧处于隆升状态的北秦岭山地开始作为该盆地及其北侧鄂尔多斯盆地南部的主要物源区。

关键词:柳叶河盆地;碎屑锆石LA-ICP-MS U-Pb年龄;年龄结构;物源区;盆山耦合
中图分类号:P534.4;P597^{+}.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2015)09-1689-10

Gao C Y, Guo A L, Li X H, Li K, Liu W G. LA-ICP-MS U-Pb dating of detrital zircon from Liuyehe basin in North Qinling Mountains. *Geological Bulletin of China*, 2015, 34(9):1689-1698

Abstract: Aimed at exploration of basin-mountain coupling relationship between North Qinling Mountains and Liuyehe basin, the authors employed the detrital zircons age dating of the Carboniferous-Permian sedimentary rocks from Liuyehe basin located in North Qinling Mountains. The U-Pb dating results of 82 zircons gave rise to six age groups in an age range of 264±5~2834±40Ma, 260~542Ma, 800~1100Ma, 1320~1560Ma, 1640~2250Ma, 2300~2660Ma and 2720~2870Ma. Among the groups, the 260~542Ma age group represents the largest proportion of the measured points, followed in succession by 1640~2250Ma group, 2300~2660Ma group and 800~1100Ma group. A comparative study of the age structure and the Carboniferous cross-bedding shows that the provenance of the Liuyehe basin during the Carboniferous-Permian was probably located in the North Qinling Mountains during the Late Paleozoic. In addition, the detrital zircon age structure comparison shows that the sedimentary rocks of the southern Ordos basin and the Liuyehe basin have the same age spectrum characteristics, which in turn means that they had the same provenance during the Permian. Under the influence of late Caledonian orogeny, North Qinling area experienced rapid uplift and eventually completed the evolution of basin-mountain conversion. Later, along with the Shangdan strike-slip fault, the Liuyehe basin began to form due to

收稿日期:2015-03-16;**修订日期:**2015-08-13
资助项目:国家基础科学人才培养基金项目(编号:XDCX2012-07)、秦岭成矿带地质矿产调查评价成果集成项目(编号:12120113047600)和西北大学大陆动力学国家重点实验室科技部专项经费(编号:YPH0800)
作者简介:高春云(1991-),男,在读博士生,油气田地质与开发专业。E-mail:214440756@qq.com

the opening-up of the Mianlue Ocean, while the North Qinling Mountains became its main provenance.

Key words: Carboniferous-Permian Liuyehe basin; detrital zircon LA-ICP-MS U-Pb age; provenance; age structure; basin-mountain coupling

沉积盆地和造山带是大陆构造的基本单元,二者是在统一的地球动力学各系统中形成的一对孪生体,在空间上相互依存、物质上相互补偿、演化上相互转化和动力上相互转换[1]。造山带和盆地研究的脱节使大陆动力学不可能成为完善而统一的理论体系[2]。盆地中的碎屑沉积物是区域构造背景控制下的物源区与沉积盆地有机结合配置的产物,是盆地沉积、构造演化的直接证据和重要标志,也记录了地质历史中盆山构造格局的形成及周围环境相互作用的演化历史。而要在沉积盆地和造山带之间建立联系,需要从盆地沉积的物源分析出发。由于锆石的抗风化侵蚀的性质,碎屑锆石年龄不受各种沉积循环分馏过程的影响,可直接反映沉积物源区的年龄组成,为判断物源区的良好研究手段[3-4]。本文以柳叶河盆地为研究区,从盆地研究出发,通过沉积物碎屑锆石U-Pb年龄研究,结合其他地质研究成果,进行盆地物源的探讨,在明确盆地自身的沉积特征和演化规律的同时,从沉积响应的角度为秦岭造山带北秦岭地区古生代的构造演化提供证据。

1 区域地质背景

秦岭造山带位于中国大陆中东部,绵延逾2000km,构成横贯东西的中国中央造山系的主体部分。该造山带历经长期的、多期次构造演化,属于典型的大陆复合型造山带[5]。秦岭造山带现今呈“两带三块”(商丹缝合带、勉略缝合带;华北地块南缘、南秦岭(原“秦岭微板块”)和扬子地块北缘)的基本构造格架,“两带三块”大体分布位置由北向南依次为:华北地块南缘—商丹缝合带—南秦岭—勉略缝合带—扬子地块北缘。这一基本的地表地质事实已经得到普遍认可。大多数研究者都认为秦岭在古生代早期南、北秦岭分别代表扬子板块北部被动大陆边缘和华北板块南部活动大陆边缘,中间为古秦岭洋盆所分隔。

对早古生代加里东造山运动对秦岭地区产生的构造效应,不同研究者存在不同认识。李春昱等[6]认为,加里东期华北板块和扬子板块发生拼合,商丹断裂带是两板块拼合的缝合带,此观点得到许多学者的认同[7-11]。杨志华等[12]认为,在南、北秦岭都不存在加里东运动,两板块的碰撞主要发生在海西期,印支期是板内褶皱带的形成时期。张国伟等[5,13]提出,秦岭造山带由商丹缝合带和勉略缝合带分割的华北板块、扬子板块及其间的南秦岭(秦岭微板块)组成,这些块体在中—晚三叠世期间经印支造山运动的全面碰撞形成复合型大陆造山带。对此问题的不同观点直接导致对晚古生代北秦岭地区构造演化的不同认识。因此明确北秦岭地区晚古生代所发生的构造活动及其性质,无疑对科学地解释秦岭地区加里东运动的影响具有重要意义。因而厘定北秦岭晚古生代构造事件及其性质显得格外重要。

北秦岭构造带夹持在宝鸡-洛南-栾川断裂带和商丹断裂带之间,呈东西延伸千余千米的狭长地带,南北最宽约150km,一般为80km。从南向北依次出露丹凤岩群、秦岭岩群、二郎坪群、宽坪岩群。各岩群之间均以大型剪切带和断裂带为界,形成相互逆冲叠置的构造关系[14]。局部断续残留强变形、未变质或弱变质的石炭系、二叠系、三叠系和侏罗系。北秦岭现今的基本构造格架,是在前寒武纪演化基底上,主要以秦岭板块构造华北板块南缘活动大陆边缘的沟、弧、盆演化为基础,经历俯冲碰撞、变质变形造山作用,后又叠加中、新生代陆内造山作用,沿主干断裂发生自北向南为主的高角度叠瓦逆冲推覆,最终形成现今的北秦岭厚皮叠瓦逆冲推覆构造系。

石炭纪—二叠纪地层的强变形、未变质(或弱变质)且缺乏岩浆活动的特点,与前石炭纪地层的强变形、强变质及岩浆活动发育的特点形成了鲜明的对比[11],保留了晚古生代秦岭演化的重要信息,成为解析秦岭在晚古生代演化的关键层位。

现今北秦岭地区的地质现状究竟通过什么样的构造体制和过程形成,代表了怎样的一段地质演化历史,都是值得进一步研究与思考的问题。北秦岭地区石炭纪—二叠纪地层的沉积环境和构造背景,可以为确定秦岭古生代的构造演化提供重要证据,因而也是本次研究的重点之一。在北秦岭地区,由于构造变形及隆升剥蚀作用,目前残

留的石炭系—二叠系较少，石炭系露头主要见于凤县草滩沟、罗钵庵、太白县黄牛河、东山梁、太白上店坊、周至柳叶河、户县纸坊等地；二叠系主要分布在商州、洛南盆地（大荆、窑底及周至柳叶河一带）。

2　柳叶河盆地地质特征和样品采集

柳叶河盆地位于陕西省周至县内，312国道柳叶河附近，为东西向延伸的狭长地带。从区域构造角度来讲，位于商丹断裂以北，洛南-栾川断裂以南，属北秦岭范围（图1）。柳叶河盆地属于长期、多旋回发育的叠合盆地。盆地内岩石自北向南依次为上石炭统、二叠系及上三叠统和下侏罗统。碎屑锆石样品LYH-2采自该盆地含砾砂岩中，GPS采样位置为：N33°58′48.6″、E108°09′56.6″。

盆地内部沉积岩层主要为砂岩，岩层产状陡立，主体向南倾斜（185°∠75°），显示了盆地内沉积岩层在形成后遭受过自北而南的逆冲推覆构造（图2）。盆地内上石炭统上部为砂岩夹砾岩，中部为炭质板岩夹砂岩或砂岩夹炭质板岩，下部为块状杂砾岩，砾石主要为白云岩、石英岩、变粒岩、大理岩等，向上逐渐变化为砾岩层和含砾粗砂岩，砾石大小不一，分选性较差，几厘米到几十厘米不等，局部呈一定磨圆和成层性。石炭系逆冲于南侧二叠系之上，厚度大于85m。二叠系主要是紫灰色-紫红色长石石英砂岩。

关于柳叶河盆地的沉积环境，大多研究者认同其为一套陆相粗碎屑沉积体。陈世悦等[15-16]认为，此盆地属于一套弧后前陆盆地沉积。该地区石炭系砾岩上、下层位有所不同：下部杂砾岩应该是一套多期扇体叠置的冲积扇环境的粗碎屑沉积，而上部的含砾石英砂岩，发育与河床滞留沉积相似的泥砾和板状交错层，应为河流环境的沉积产物。石炭纪—二叠纪砂岩的粒度分析结果显示，此套砂岩应

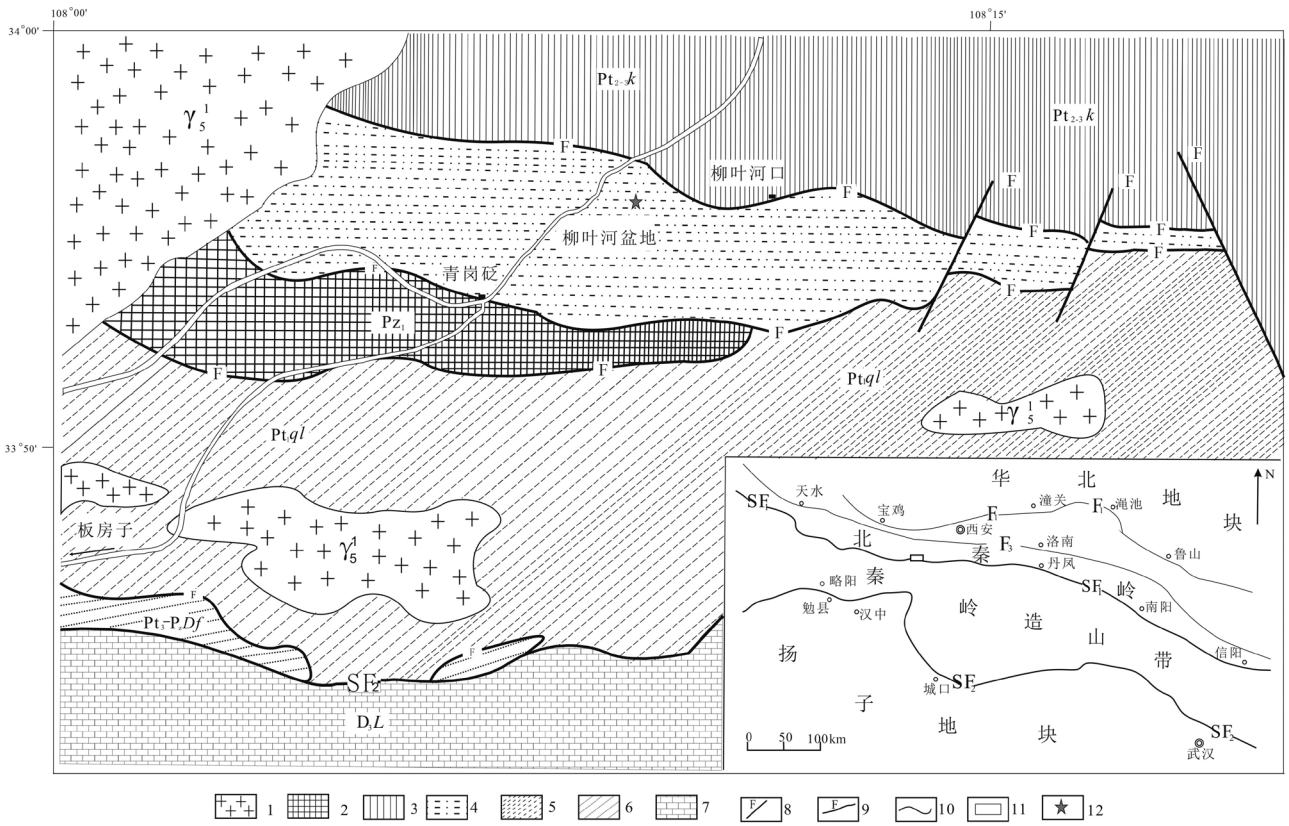

图1　柳叶河盆地区域构造分布①

Fig. 1　Sketch map of the Liuyehe basin

1—燕山期花岗岩体（γ_5^1）；2—二郎坪群（Pz_1）；3—宽坪群（$Pt_{2-3}K$）；4—柳叶河盆地；5—秦岭群（Pt_1）；6—丹凤群（Pt_3-$PzDf$）；7—刘岭群（D_3L）；8—断层；9—公路；10—岩层界线；11—研究区范围；12—采样位置；

SF_1—商丹缝合带；SF_2—勉略缝合带；F_1—秦岭北界逆冲断层；F_3—洛南-栾川逆冲推覆断层

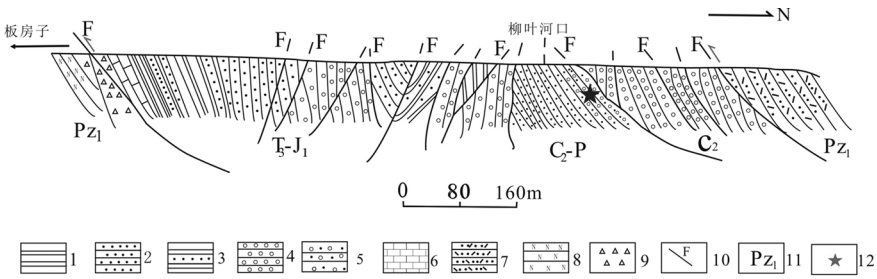

图2 柳叶河盆地剖面图②

Fig. 2 Stratigraphic cross-section of the Liuyehe basin

1—含炭砂质板岩;2—长石石英砂岩;3—紫红色含砾板岩;4—砾岩;5—含砾砂岩;6—灰岩;7—片理化凝灰质粉砂岩、千枚岩;8—黑云斜长变粒岩;9—泥炭化、断层角砾岩;10—断层;11—二郎坪群;12—采样位置

是河流砂[17]。根据上述岩石组合及沉积构造,笔者认为,其总体为冲积扇-河流相粗碎屑沉积体系,整体显示近源沉积的特点。

由于研究区特殊的大地构造位置,盆地经历了多期次的构造运动,现今的构造面貌是多起构造活动叠加的结果。由于这些构造活动,秦岭地区经历了较强烈的逆冲推覆,地壳出现较大缩短量。吴正文等[18]曾对北秦岭地区的构造缩短量做过计算,消除后期变形效应后,周至黑河剖面长30km,复原后为150km,地壳收缩率达80%左右,造成该区晚古生代地层的大量消失。因此沉积原盆地与盆地现今的面貌应该有较大的差别。

3 测试流程和方法

用于碎屑锆石U-Pb同位素测定的锆石单矿物样品在河北区域地质矿产调查研究所实验室完成分选。将挑选出的锆石制作成透明环氧树脂样品靶并抛光至锆石中心暴露出来。根据锆石CL(图3)和可见光图像,选取裂隙和包裹体较少的颗粒及部位进行分析。

LA-ICP-MS分析激光剥蚀斑束直径为30μm,激光剥蚀深度为20~40μm,U-Pb同位素和微量元素的测定在一个点上同时完成。分析时采用氦作为剥蚀物质的载气,用美国国家标准科技研究院研制的人工合成硅酸盐玻璃标准参考物质NIST SRM610进行仪器最佳化。ICP-MS数据采集选用跳峰方式,每测定6个样品点,加测标样1次。数据处理采用ICPMSDataCal 7.0(中国地质大学(武汉)刘勇胜)程序,所有数据按误差1σ处理。年龄计算以标准锆石91500为外标进行同位素比值分馏校正,91500年龄1062±13Ma(N=32,1σ);元素浓度计算采用NIST SRM610作为外标,^{29}Si作为内标。对于大于1000Ma年龄的锆石,采用^{207}Pb/^{206}Pb年龄;对于小于1000Ma年龄的锆石,采用^{206}Pb/^{238}Pb年龄。选取谐和度介于90~110的测定数据列于表1。有关分析测试方法、流程和相关的仪器工作参数见柳小明等[19]。

4 样品碎屑锆石U-Pb年龄结果及解释

4.1 测年结果

所测碎屑锆石年龄具有264~2834Ma宽广的年龄分布范围及众多的峰值(图4)。如图5所示,样品LYH-2的碎屑锆石形成了6个年龄组:260~542Ma(锆石25颗,占锆石总数31%),800~1100Ma(锆石13颗,占锆石总数的16%),1320~1560Ma年龄(锆石3颗,占总数的4%),1640~2250Ma(9锆石20颗,占总数的25%),2300~2660Ma(锆石17颗,占锆石总数的21%),2720~2870Ma(锆石2颗,占锆石总数的2%)和1140Ma年龄(锆石1颗)。

在6个年龄组中,260~542Ma年龄段所占测点比例最大。其中又分为260~350Ma和350~542Ma两段,峰值分别是340Ma和455Ma;其次为1640~2250Ma、2300~2660Ma及800~1100Ma年龄段,峰值较为明显,峰值分别为1849Ma、2450Ma和957Ma。其他年龄段所占比例较小,峰值不明显。

样品年龄根据地质年代可分为两大部分:前寒武纪(800~2900Ma)的锆石占主体,共57颗,占70%,锆石有一定的磨圆,呈次棱角-次圆状,大部分锆石

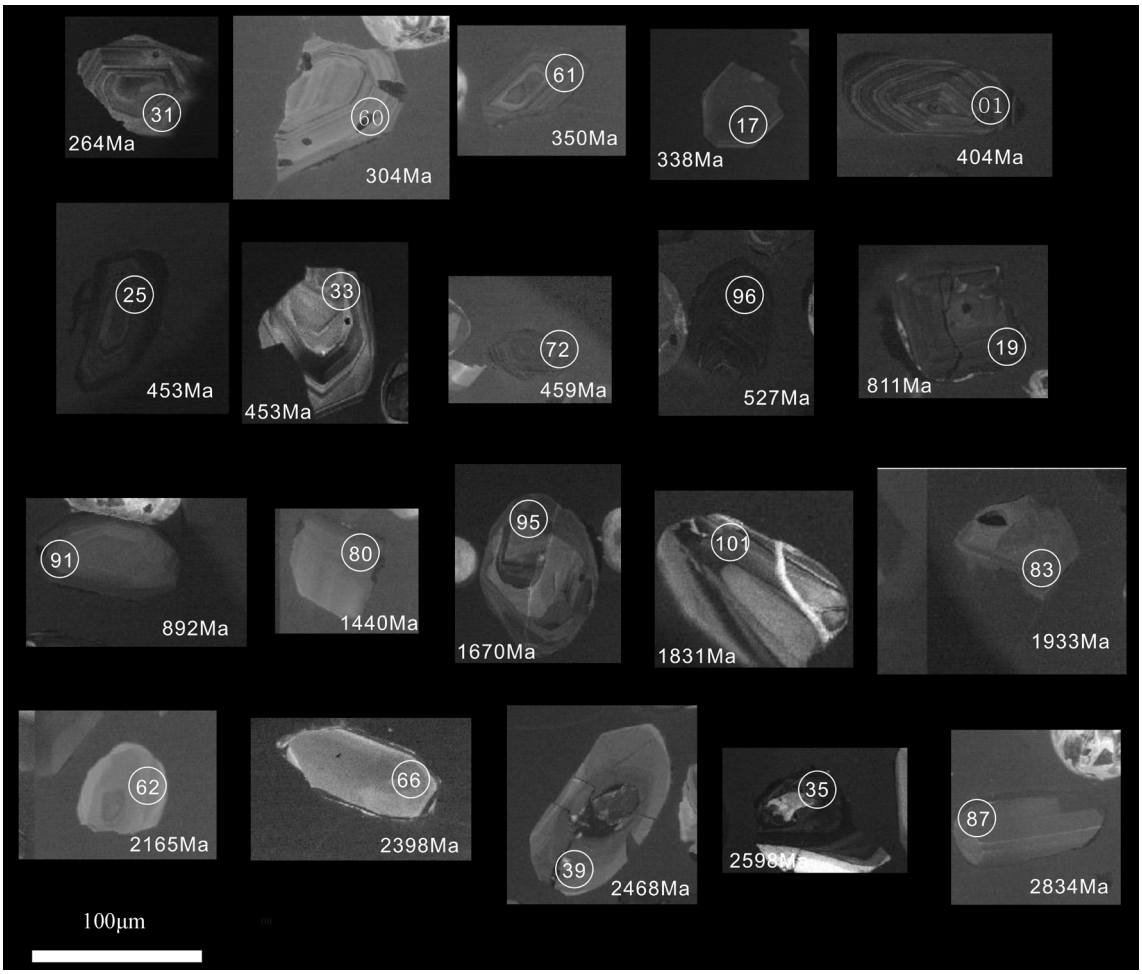

图3　典型锆石年龄及其阴极发光图像

Fig. 3　The ages of typical zircons and their CL images

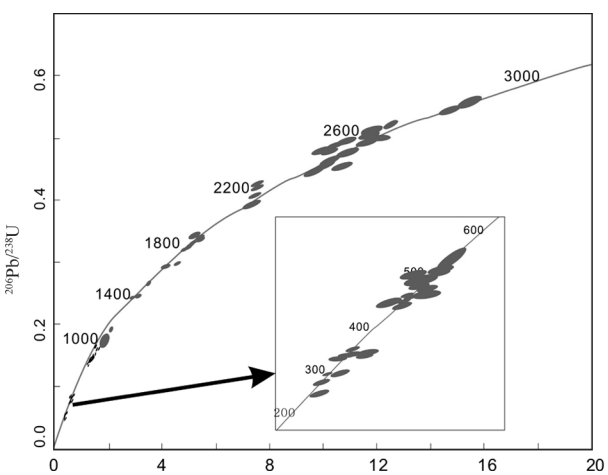

图4　碎屑锆石样品(LYH-2)的U-Pb谐和图

Fig. 4　U-Pb concordia diagram of detrital zircons from the Liuyehe basin

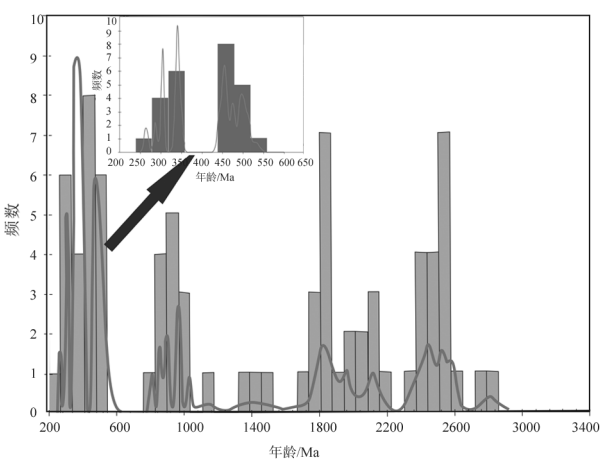

图5　LYH-2样品年龄频率分布

Fig. 5　U-Pb age distribution histogram of detrital zircons from the Liuyehe basin

表1 北秦岭柳叶河盆地石炭系—二叠系碎屑锆石U-Th-Pb同位素数据

Table 1 U-Th-Pb isotopic composition of the detrital zircon from Liuyehe basin in North Qinling area

点编号	元素含量/10^{-6}			Th/U	同位素比值						同位素年龄/Ma						谐和度	采用年龄/Ma
	Pb	Th	U		$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}Pb$	1σ	$^{206}Pb/^{238}Pb$	1σ		
01	81	204	1045	0.20	0.06	0.00	0.55	0.01	0.07	0.00	461	59	446	10	440	5	101	404
03	120	163	676	0.24	0.07	0.00	1.45	0.03	0.15	0.00	902	44	908	14	902	9	101	902
05	101	147	417	0.35	0.07	0.00	1.68	0.04	0.17	0.00	928	56	1002	15	1030	9	90	1030
08	397	381	521	0.73	0.11	0.00	5.70	0.12	0.36	0.00	1847	37	1931	18	1998	13	92	1847
09	11	61	126	0.49	0.06	0.00	0.45	0.03	0.05	0.00	606	144	374	19	344	5	109	344
12	54	134	176	0.76	0.07	0.00	1.36	0.04	0.15	0.00	852	56	873	19	882	7	99	882
13	77	90	138	0.65	0.11	0.00	4.50	0.11	0.30	0.00	1798	35	1730	21	1668	12	108	1798
14	9	62	83	0.75	0.05	0.00	0.39	0.02	0.05	0.00	345	156	331	18	337	6	98	337
15	58	62	70	0.89	0.11	0.00	5.22	0.14	0.34	0.00	1818	45	1856	23	1886	20	96	1818
16	98	187	400	0.47	0.07	0.00	1.55	0.04	0.16	0.00	946	44	950	14	944	8	101	944
17	58	430	414	1.04	0.05	0.00	0.38	0.01	0.05	0.00	261	75	330	10	338	4	98	338
18	154	280	697	0.40	0.07	0.00	1.52	0.04	0.16	0.00	883	51	937	15	954	10	98	954
19	118	305	445	0.69	0.07	0.00	1.24	0.03	0.13	0.00	813	62	817	16	811	8	101	811
20	19	140	177	0.79	0.06	0.00	0.38	0.02	0.05	0.00	500	101	324	13	303	5	107	303
22	60	142	212	0.67	0.07	0.00	1.33	0.04	0.14	0.00	857	62	860	16	858	8	100	858
23	99	54	98	0.55	0.20	0.00	14.75	0.31	0.54	0.01	2787	34	2799	20	2803	23	99	2787
25	108	595	517	1.15	0.06	0.00	0.56	0.02	0.07	0.00	439	74	452	12	453	4	100	453
26	100	71	81	0.88	0.17	0.00	10.69	0.27	0.46	0.00	2548	43	2496	23	2418	19	105	2548
27	220	89	605	0.15	0.11	0.00	5.40	0.11	0.34	0.00	1877	34	1884	17	1875	18	100	1877
28	149	113	120	0.95	0.17	0.00	11.70	0.25	0.49	0.01	2568	35	2581	20	2575	23	100	2568
29	104	396	691	0.57	0.06	0.00	0.66	0.02	0.08	0.00	539	68	514	11	503	5	102	503
30	35	38	33	1.15	0.13	0.00	6.42	0.21	0.37	0.01	2035	65	2034	29	2039	27	100	2035
31	15	137	140	0.98	0.06	0.00	0.32	0.02	0.04	0.00	494	144	283	15	264	5	107	264
32	40	261	378	0.69	0.05	0.00	0.41	0.02	0.05	0.00	389	102	349	14	341	5	102	341
33	25	124	129	0.96	0.06	0.00	0.56	0.03	0.07	0.00	443	123	453	19	453	6	100	453
34	24	124	117	1.06	0.06	0.00	0.61	0.04	0.07	0.00	565	124	481	23	460	6	105	460
35	330	42	616	0.07	0.17	0.00	12.18	0.23	0.50	0.00	2598	18	2619	18	2618	11	99	2598
36	66	302	329	0.92	0.06	0.00	0.63	0.02	0.08	0.00	509	63	498	13	493	5	101	493
39	140	119	111	1.07	0.16	0.00	10.85	0.27	0.48	0.01	2468	31	2510	23	2539	30	97	2468
40	26	146	94	1.56	0.06	0.00	0.61	0.03	0.08	0.00	461	119	485	21	490	7	99	490
41	188	99	242	0.41	0.17	0.00	11.69	0.26	0.49	0.01	2565	35	2580	21	2578	23	100	2565
42	54	262	280	0.94	0.05	0.00	0.59	0.02	0.08	0.00	320	91	470	15	499	6	94	499
43	20	99	135	0.73	0.05	0.00	0.52	0.03	0.07	0.00	276	111	425	17	448	6	95	448
44	36	6	61	0.10	0.17	0.00	11.86	0.32	0.51	0.01	2535	44	2594	25	2658	28	95	2535
45	202	195	219	0.89	0.13	0.00	7.43	0.17	0.41	0.01	2124	38	2165	21	2197	23	97	2124
46	66	89	349	0.26	0.07	0.00	1.50	0.03	0.16	0.00	850	-151	931	14	963	10	97	963
47	104	117	410	0.29	0.08	0.00	2.05	0.05	0.19	0.00	1140	46	1134	18	1121	14	102	1140
48	83	103	453	0.23	0.07	0.00	1.52	0.04	0.16	0.00	833	49	937	15	982	9	95	982
49	63	58	50	1.17	0.16	0.00	10.79	0.31	0.49	0.01	2443	47	2506	27	2579	28	95	2443
50	125	58	313	0.18	0.11	0.00	5.50	0.12	0.36	0.00	1795	36	1901	18	1989	15	96	1989
51	227	247	187	1.32	0.13	0.00	7.56	0.15	0.42	0.00	2098	29	2180	18	2256	19	93	2098
52	163	119	178	0.67	0.16	0.00	10.70	0.19	0.49	0.00	2432	23	2498	17	2567	19	95	2432
54	243	174	235	0.74	0.17	0.00	11.95	0.22	0.52	0.00	2525	14	2601	18	2681	13	94	2525
55	50	75	98	0.76	0.09	0.00	2.91	0.08	0.24	0.00	1381	51	1385	22	1388	13	99	1381
56	87	60	102	0.59	0.15	0.00	9.87	0.19	0.48	0.00	2339	27	2422	18	2518	21	93	2339

续表1

点编号	元素含量/10^{-6}			Th/U	同位素比值						同位素年龄/Ma						谐和度	采用年龄/Ma
	Pb	Th	U		$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}Pb$	1σ	$^{206}Pb/^{238}Pb$	1σ		
58	59	418	675	0.62	0.05	0.00	0.35	0.01	0.05	0.00	302	70	305	8	305	2	100	305
60	32	238	316	0.75	0.05	0.00	0.35	0.01	0.05	0.00	309	93	305	11	304	4	100	304
61	63	446	460	0.97	0.05	0.00	0.41	0.01	0.06	0.00	365	81	351	10	350	4	100	350
62	269	185	359	0.51	0.13	0.00	7.46	0.16	0.40	0.00	2165	35	2168	19	2160	19	100	2165
63	1217	1042	1066	0.98	0.16	0.00	10.24	0.18	0.46	0.00	2450	29	2457	17	2452	17	100	2450
64	70	366	379	0.97	0.06	0.00	0.60	0.02	0.08	0.00	483	70	476	11	475	4	100	475
65	319	76	1044	0.07	0.11	0.00	5.05	0.10	0.33	0.00	1824	34	1827	17	1821	20	100	1824
66	733	182	1505	0.12	0.15	0.00	9.62	0.22	0.45	0.01	2398	32	2399	21	2382	28	101	2398
67	2503	2417	2182	1.11	0.16	0.00	10.09	0.21	0.46	0.00	2435	39	2443	20	2437	22	100	2435
68	121	68	300	0.23	0.11	0.00	5.26	0.13	0.34	0.01	1831	71	1862	21	1882	29	97	1831
69	34	94	95	0.99	0.07	0.00	1.32	0.06	0.14	0.00	839	96	855	28	850	9	101	850
70	48	40	35	1.14	0.16	0.00	10.30	0.28	0.48	0.01	2415	46	2462	25	2523	31	96	2415
72	106	505	674	0.75	0.06	0.00	0.57	0.02	0.07	0.00	454	64	460	10	459	5	100	459
73	38	12	651	0.02	0.06	0.00	0.62	0.02	0.08	0.00	532	59	491	11	475	6	103	475
75	516	408	442	0.92	0.17	0.00	12.47	0.20	0.52	0.01	2573	23	2640	15	2695	24	95	2573
77	236	211	465	0.45	0.12	0.00	6.05	0.09	0.36	0.00	1955	17	1984	13	1987	17	98	1955
78	21	95	335	0.28	0.06	0.00	0.44	0.02	0.05	0.00	569	72	374	11	341	3	110	341
79	147	82	356	0.23	0.13	0.00	7.19	0.14	0.39	0.00	2122	20	2135	18	2127	20	100	2122
80	51	88	98	0.89	0.09	0.00	3.09	0.08	0.25	0.00	1440	55	1430	21	1416	13	102	1440
81	34	144	242	0.60	0.06	0.00	0.66	0.03	0.08	0.00	487	80	516	15	512	5	101	512
83	87	94	113	0.83	0.12	0.00	6.03	0.14	0.36	0.00	1933	38	1980	21	1997	16	97	1933
84	184	146	237	0.62	0.13	0.00	7.59	0.16	0.42	0.00	2066	39	2183	19	2281	17	91	2066
85	153	82	534	0.15	0.09	0.00	3.49	0.08	0.26	0.00	1514	48	1525	18	1513	13	100	1514
86	251	354	231	1.53	0.11	0.00	4.97	0.10	0.32	0.00	1803	39	1814	17	1808	17	100	1803
87	273	193	177	1.09	0.20	0.00	15.43	0.32	0.56	0.01	2834	40	2842	20	2851	32	99	2834
88	172	72	389	0.19	0.12	0.00	5.98	0.11	0.36	0.00	1966	34	1973	16	1963	18	100	1966
89	22	138	270	0.51	0.05	0.00	0.33	0.01	0.05	0.00	295	104	287	11	286	4	100	286
90	272	209	250	0.84	0.16	0.00	10.90	0.22	0.49	0.01	2457	35	2515	19	2570	23	96	2457
91	72	211	130	1.62	0.07	0.00	1.44	0.05	0.15	0.00	932	77	906	21	892	10	102	892
92	62	104	267	0.39	0.07	0.00	1.57	0.04	0.16	0.00	939	57	957	17	960	11	100	960
93	159	117	138	0.85	0.17	0.00	10.95	0.26	0.48	0.01	2510	35	2519	22	2506	27	100	2510
95	82	103	100	1.03	0.10	0.00	4.16	0.12	0.29	0.00	1670	52	1665	23	1650	18	101	1670
96	183	399	1952	0.20	0.06	0.00	0.68	0.03	0.09	0.00	520	63	530	15	527	12	100	527
97	465	208	1293	0.16	0.11	0.00	4.89	0.12	0.32	0.00	1787	42	1800	20	1793	21	100	1787
98	431	478	690	0.69	0.11	0.00	5.20	0.13	0.33	0.00	1854	41	1853	21	1832	21	101	1854
99	114	256	482	0.53	0.07	0.00	1.77	0.12	0.17	0.01	1028	63	1035	43	1023	47	100	1028
101	254	194	511	0.38	0.11	0.00	5.12	0.11	0.33	0.00	1831	42	1840	19	1836	16	100	1831

岩浆环带较为清晰，只有少数发育变质增生边或由于后期强烈结晶作用置换了生长环带，通体呈灰白色；古生代以来（260~542Ma）的锆石25颗，占30%，此类锆石多呈柱状，晶形完好，呈典型的岩浆韵律环带和条带结构，且没有变质增生边，Th/U>0.4，显示典型的岩浆锆石特征，其中晚古生代的锆石（260~360Ma）11颗，占13%。

4.2　盆地碎屑锆石年龄的地质解释

4.2.1　前寒武纪年龄值（800~2900Ma）

这一部分年龄在频率分布图上分为800~1100Ma、1320~1560Ma、1640~2250Ma、2300~2660Ma、2720~2870Ma五个年龄段。这些年龄在秦岭地区到处可见，如基底秦岭群1500~1900Ma年龄段最多；黑云斜长片麻岩年龄有2172Ma、2226Ma；个别古老年龄

达2800Ma左右[20]。宽坪群峰值年龄为云母石英片岩，U-Pb年龄1000Ma；斜长角闪岩（原岩）的年龄为943±6Ma,少数为太古宙（10%）；最老年龄3600±38Ma[21]与样品的年龄能够很好的对比。同时可与元古宙1400~1000Ma秦岭小洋盆的扩张，1200~1000Ma俯冲碰撞等事件及岩体[14]对应。部分年龄段锆石年龄无法与现今周源地体对应可能是由于后期构造运动导致地体发生变动所致。

4.2.2 古生代年龄值（260~542Ma）

（1）早古生代（420~542Ma）

如上所述，这一部分年龄的锆石显示为典型的岩浆锆石，而在这一时期，北秦岭地区确实有岩浆岩发育，且分为2个阶段[22]。第一阶段为寒武纪—早奥陶世，主要发育于北秦岭东段，以I型花岗岩为主，伴有S型花岗岩，形成于板块俯冲背景；第二阶段为晚奥陶世—早志留世，全区广布，发育I型花岗岩，形成于块体碰撞挤出略后的抬升环境。这一部分年龄和岩浆岩的年龄有很好的对应关系，与云架山群470~450Ma年龄[23]也可以很好的对比。

（2）晚古生代（360~260Ma）

该年龄段的最小年龄为264Ma，属二叠纪，但二叠纪年龄的锆石个数较少，只有2颗，这个年龄可能是样品处理中交叉污染造成的，也可能是真实的年龄。所采样品层位可能为二叠系。

据王涛等[22]研究，北秦岭地区还发育第三阶段岩浆岩，为晚泥盆世，发育于北秦岭中段，以I型花岗岩为主，形成于碰撞晚期阶段。而本样品碎屑锆石中缺失这一部分的年龄，这一原因在后面的论述中将会涉及。

样品年龄结构中显示石炭纪—二叠纪的年龄，表明盆地发育时期该区有这一阶段的年龄贡献。陈岳龙等[24]认为，北秦岭地区晚古生代有花岗岩发育，如产于宽坪群中的宽坪岩体年龄300Ma等，与这一段年龄也可以进行对比。

5 讨 论

5.1 盆地物源区

任军峰等[25]测得的盆地内石炭系上部发育的板状交错层的砂岩产状为210°∠61°，板状交错层产状为220°∠61°、220°∠59°，恢复的交错层原始产状指示的古流水方向为由北东至南西，因此认为柳叶河地区石炭系砾岩的物源区应当位于其北东方向。

根据上述碎屑锆石年龄结构分析，盆地内碎屑锆石给出的宽广的年龄值分布范围和众多的峰值，反映晚古生代盆地源区组成的复杂性。同时，样品年龄结构中显示有石炭纪—二叠纪的锆石，表明盆地形成期间有这一时期地质体碎屑物的贡献。各个年龄段的数值和北秦岭地区现今各个地体和岩体能够较好的对比，古老年龄在秦岭地区的变质结晶基底和之后的多期岩浆活动中到处可见。如前所述，与北秦岭地区秦岭群、宽坪群等岩群及其中的小岩体年龄能够对比。古生代的年龄和在北秦岭地区发育的古生代花岗岩也可以很好的对比。样品年龄中缺失早泥盆纪阶段，主要是由于此时期并非是花岗岩岩浆作用的活动峰期。再者即使有岩浆活动，结合上述古水流方向，岩体也主要侵位于秦岭杂岩和丹凤群中，位于柳叶河盆地南部，与古水流方向不符。

综上，结合当时北秦岭地区的岩相古地理状况[26]，笔者认为，柳叶河盆地石炭纪—二叠纪的物源区主要为盆地东北方向隆起的北秦岭山地。该区现今多半已随着汾渭地堑的沉降而覆于新生代沉积之下。研究者通过沉积物分析，普遍认为柳叶河盆地与北侧的鄂尔多斯盆地南缘的物源区有很大的相似性[16,27-29]。所测样品和鄂尔多斯盆地南部二叠纪样品的锆石年龄结构对比显示，二者之间十分相似（图6）。据此分析，此时呈隆起状态的北秦岭山地分别向南、北侧为柳叶河盆地和鄂尔多斯盆地南缘提供碎屑物质，而且鄂尔多斯盆地南缘此时已经非常接近北秦岭柳叶河盆地。

5.2 盆山耦合及其对秦岭造山带的启示

上述碎屑锆石年龄结构显示，柳叶河盆地的物源主要来自北秦岭地区，说明当时隆起的北秦岭山地的存在。此外，该时期隆起的北秦岭山地，向南、向北分别为柳叶河盆地和鄂尔多斯盆地南缘提供碎屑物质，而且鄂尔多斯盆地南缘此时已经非常接近北秦岭柳叶河盆地，即北秦岭山地是位于鄂尔多斯盆地南缘至商丹带之间的一个东西向的隆起带，代表了这一时期重要的隆起剥蚀区，其北侧较缓，南侧较陡。其中发育以前石炭纪变质-变沉积地层为基底的山间盆地，这些盆地都沿断裂分布，是在海西期沿商丹带左行走滑、拉分断陷背景下产生的[7]。后期构造运动将原本一体的晚古生代盆地分割为现今秦岭北部和鄂尔多斯2个遥遥相隔的盆地。

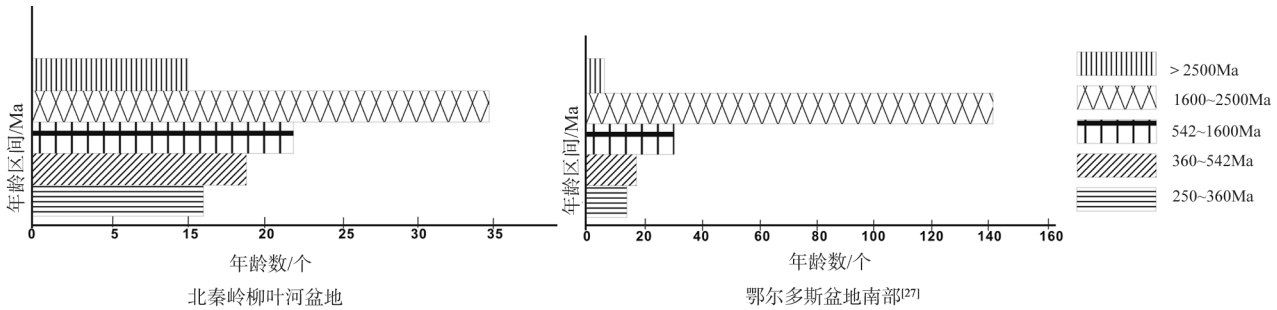

图6　柳叶河盆地和鄂尔多斯盆地南部晚古生代碎屑锆石年龄结构对比

Fig. 6　Comparison of the detrital zircon age structures between the Liuyehe basin and the southern Ordos basin during the late Paleozoic

靠近原始盆地边缘的秦岭北部石炭纪—二叠纪地层由于更接近边缘相沉积特征，后期遭受过不同程度的变形改造，现今又处于造山带内部，呈残留状分布，多被认为是山间盆地[30]。至于部分研究者[15]认为的柳叶河盆地为弧后前陆盆地，石炭纪时期南、北秦岭处于点-点碰撞阶段的观点则需要进一步探讨。

根据Dong等[31]研究，北秦岭在志留纪已经开始隆升。同时，古生代花岗岩的大量侵位及古生代碎屑锆石年龄的集中显现也有力地说明了这一时期隆升事件的发生[22]。

综上所述，奥陶纪期间，作为对加里东运动的构造响应，华北地台及北秦岭地区开始抬升，海水退出，沉积结束。该事件卷入了整个华北地区，造成盆地向山地的盆山转换；石炭纪时期，由于南侧勉略洋的打开，华北地区又有一定的沉降，海水从北侧开始侵入，同样，在北秦岭地区，由于沿商丹带的剪切走滑，形成一系列走滑断陷盆地（包括柳叶河盆地），又一次完成由山-盆的转换而隆升幅度较大的北秦岭山地则仍然存在，且成为柳叶河等系列盆地和鄂尔多斯盆地南缘的主要物源区。之后，中新生代多期构造事件对晚古生代的盆地进行改造，形成柳叶河盆地和鄂尔多斯盆地的现今面貌。

6　结　论

（1）碎屑锆石样品年龄为264~2834Ma，如此宽的年龄值分布范围和众多的峰值，反映晚古生代盆地源区组成的复杂性。

（2）样品碎屑锆石产生了6个年龄组：260~542Ma、800~1100Ma、1320~1560Ma、1640~2250Ma、2300~2660Ma、2720~2870Ma。其中，260~542Ma年龄段所占测点比例最大。其中又分为260~350Ma和350~542Ma两段，峰值分别是340Ma和455Ma；其次为1640~2250Ma、2300~2660Ma及800~1100Ma年龄段，峰值较为明显，峰值分别为1849Ma、2450Ma和957Ma。其他年龄段所占比例较小，峰值亦不明显。

（3）柳叶河盆地总体为冲积扇-河流相粗碎屑沉积体系，显示其近源沉积的特点，盆地的形成可能与勉略洋的打开导致沿商丹带的走滑断陷有关。柳叶河石炭系交错层理及碎屑锆石年龄结构的对比表明，柳叶河盆地在石炭纪—二叠纪与鄂尔多斯盆地南部有着相同的物源区，主要来自于其北侧的北秦岭地区。

（4）综上所述，在奥陶纪由于对加里东运动的响应，华北地台及北秦岭地区开始抬升，海水退出，结束沉积，这一事件在整个华北地区都有响应，发育盆-山的转换；石炭纪由于南侧商丹洋的打开，华北地区又有一定的沉降，海水从北侧开始侵入，同样，在北秦岭地区，由于沿商丹带的剪切走滑，形成一系列走滑断陷盆地（包括柳叶河盆地），又一次完成山-盆的转换。之后，中—新生代多期构造事件对晚古生代的盆地进行改造，形成柳叶河盆地和鄂尔多斯盆地的现今面貌。

致谢：衷心感谢西北大学大陆动力学国家重点实验室工作人员及谢晋强博士在实验和数据处理过程中的帮助。

参考文献

[1]刘树根,罗志立,赵锡奎,等.中国西部盆山系统的耦合关系及其动

力学模式——以龙门山造山带-川西前陆盆地系统为例[J].地质学报,2003,77(2):177-186.

[2]吴根耀,马力.盆山耦合和脱耦;含油气盆地研究的新思路[C]//油气盆地研究新进展(第一辑),北京:石油工业出版社,2002:20-36.

[3]Bruguier O, Lancelot J R. U-Pb dating on single detrital zircon grains from the Triassic Songpan-Ganze flysch (central China): provenance and tectonic correlations[J]. EPSL,1997,152: 217-231.

[4]闫义,林舸,李自安.利用锆石形态成分组成及年龄分析进行沉积物源区示踪的综合研究[J].大地构造与成矿学,2003,27(2):184-190.

[5]张国伟,张本仁,袁学成,等.秦岭造山带与大陆动力学[M].北京:科学出版社,2001:421-726.

[6]李春昱,刘仰文,朱宝清,等.秦岭及祁连山构造发展史[J].西北地质,1978:1-12.

[7]许志琴,卢一伦,汤耀庆,等.东秦岭造山带的变形特征及构造演化[J].地质学报,1986:237-247.

[8]任纪舜.论中国大陆岩石圈构造的基本特征[J].中国区域地质,1991:289-293.

[9]任纪舜.中国大陆的组成结构演化和动力学[J].地球学报,1994:5-13.

[10]周鼎武,张成立.论北秦岭加里东期造山作用[J].西北大学学报(自然科学版),1994,24(3):245-250.

[11]周鼎武,张成立.秦岭造山带及相邻地块元古代基性岩墙群研究综述及相关问题探讨[J].岩石学报,2000,16(1):22-28.

[12]杨志华,苏生瑞,李勇.等.中国大地构造几个重大问题的探讨[J].地学前缘,2001,8(2):395-406.

[13]张国伟,张宗清,董云鹏.秦岭造山带主要构造岩石地层单元的构造性质及其大地构造意义[J].岩石学报,1995,11(2):101-114.

[14]董云鹏,张国伟,赵霞,等.北秦岭元古代构造格架与演化[J].大地构造与成矿学,2003,27(2):115-124.

[15]陈世悦.华北地块南部晚古生代至三叠纪沉积构造演化[J].中国矿业大学学报,2000,29(5):536-540.

[16]陈世悦.华北地块南部晚古生代—三叠纪盆山耦合关系[J].沉积与特提斯地质,2000,20(3):37-43.

[17]陈全红,李文厚,刘昊伟,等.鄂尔多斯盆地上石炭统-中二叠统砂岩物源分析[J].古地理学报,2009,11(6):629-640.

[18]吴正文,柴育成,董万夫,等.秦岭造山带的推覆构造格局[C]//叶连俊,钱祥麟,张国伟.秦岭造山带学术讨论会论文选集.西安:西北大学出版社,1991:111-120.

[19]柳小明,高山,第五春荣,等.单颗粒锆石的20μm小斑束原位微区LA-ICP-MS U-Pb年龄和微量元素的同时测定[J].科学通报,2007,52(2):228-235.

[20]陆松年,陈志宏,相振群,等.秦岭岩群副变质岩碎屑锆石年龄谱及其地质意义探讨[J].地学前缘,2006,13(13):303-310.

[21]第五春荣,孙勇,刘良,等.北秦岭宽坪群的解体及新元古N-MORB[J].岩石学报,2010,26(7):2025-2038.

[22]王涛,王晓霞,田伟,等.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[J].中国科学(D辑):地球科学,2009,39(7):949-971.

[23]Dong Y P, Zhang G W, Liu X M, et al. Palaeozoic tectonics and evolutionary history of the Qinling orogen: evidence from geochemistry and geochronology of ophiolite and related volcanic rocks [J].Lithos,2011,122:39-56.

[24]陈岳龙,杨忠芳,张宏飞,等.北秦岭晚古生代—中生代花岗岩类的Nd,Sr,Pb同位素地球化学特征及Nd,Sr同位素演化[J].地球科学——中国地质大学学报,1996,21(5):481-486.

[25]任军锋.北秦岭(陕西段)古生代构造体制转换研究[D]. 西北大学硕士学位论文,2004.

[26]曹宣铎,胡云绪,赵江天, 等.秦岭石炭纪裂陷盆地的沉积-构造演化[M].西安:陕西科学技术出版社,1994.

[27]闫建萍.鄂尔多斯盆地西南部晚古生代沉积-构造演化及天然气勘探潜力研究[D].西北大学博士学位论文,2010.

[28]陈全红,李文厚,胡孝林,等.鄂尔多斯盆地晚古生代沉积岩源区构造背景及物源分析[J].地质学报,2012,86(7):1150-1162.

[29]屈红军,马强,高胜利,等.鄂尔多斯盆地东南部二叠系物源分析[J].地质学报,2011,85(6):979-986.

[30]张国伟,孟庆仁,刘少峰,等.华北地块南部巨型陆内俯冲带与秦岭造山带岩石圈现今三维结构[J].高校地质学报,1997,3(2):129-143.

[31]Dong Y P, Zhang G W, Franz Neubauer, et al. Tectonic evolution of the Qinling orogen, China: Review and synthesis[J]. Journal of Asian Earth Sciences,2011: 213-237.

①陕西地质矿产局秦岭区域地质测量队.东江口幅1:20万地质图.1958.

②西安地质矿产勘查开发研究院.金景1:50000地质图.1995.