

北秦岭西段胡店片麻状二长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年及其地质意义

王洪亮^{1,2} 何世平^{1,3} 陈隽璐^{1,3} 徐学义¹

孙 勇² 第五春荣² 李海平²

(1. 西安地质矿产研究所, 陕西 西安 710054; 2. 西北大学大陆动力学国家重点实验室, 陕西 西安 710069;
3. 中国地质大学地球科学学院, 湖北 武汉 430074)

摘要:北秦岭西段陕西胡店片麻状细粒二长花岗岩中获得(1770±13)Ma 的 LA-ICP-MS 单颗粒锆石微区 U-Pb 同位素年龄; 岩石地球化学资料研究证明, 该片麻状细粒二长花岗岩形成于板块边缘的俯冲-碰撞构造环境, 岩浆源于部分熔融的中上地壳物质。该变形侵入体形成的地质构造背景及时代与太白岩基巩坚沟变形侵入体基本一致, 代表了北秦岭造山带西段古元古代末、中元古代初期的一次强烈的构造岩浆事件。该事件与中国的吕梁运动时代大体相当, 可能与 Columbia 超大陆的形成有一定的成因联系。这一新的资料, 对研究北秦岭造山带元古宙大地构造格局、构造演化及中国大陆动力学具有重要意义。

关键词:北秦岭造山带; 胡店片麻状二长花岗岩; U-Pb 同位素; 吕梁运动; Columbia 超大陆

中图分类号: P597+.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2007)01-0017-09

秦岭造山带作为分隔中国南北大陆的著名大陆造山带, 是有着长期复杂演化历史和多阶段多体制的造山带, 一直受到国际地学界的广泛关注与研究。近 20 余年来, 随着板块构造理论与造山带新思想的发展, 不同学者对秦岭造山带的形成与演化进行了不同领域的研究^[1-9]。北秦岭造山带作为研究中国大陆不同时期构造格局、构造演化及华北板块与扬子板块拼贴、碰撞关系的关键地段, 同样受到国内外地质学家们的关注, 取得了大量的研究成果^[20-28], 但针对北秦岭造山带的研究大多集中于东段(西安以东地区), 对西段(西安以西地区)的研究较少, 尤其是北秦岭造山带吕梁期的构造-岩浆事件研究鲜有报道。

北秦岭西段发育了大量的侵入岩, 太白岩基和宝鸡岩基是最主要的两个复合侵入体, 富含了北秦岭造山带多期地质构造演化信息, 对研究壳幔物质循环及大陆动力学机制意义重大。近些年大中比例尺的 1:25 万区域地质调查^[29-31]基本查

明了该地区侵入岩的空间分布规律, 但对该地区分布广泛的花岗岩类的年代学研究仍较为薄弱, 主要采用 K-Ar 法、Rb-Sr 法及少量的混合锆石 U-Pb 同位素年龄资料, 数据精度总体不高, 限制了北秦岭造山带构造-热事件分析及侵入岩时空格架的建立。因此选取关键侵入体进行精确测年, 以准确限定北秦岭西段重要地质事件的时代, 对研究北秦岭造山带的地质构造格局、演化及与区域构造事件的关系具有重要的意义。1:25 万区域地质调查^①依据太白岩基巩坚沟变形侵入体前人 Rb-Sr 年龄(454 Ma, 1994)及宝鸡岩基胡店变形侵入体 K-Ar 年龄(401.1 Ma, 1985), 将它们时代定为志留纪或早古生代, 认为是加里东期的构造岩浆事件。笔者等通过精细的同位素测年, 在太白岩基及宝鸡岩基变形侵入体中先后获得较一致的中元古代早期的年代信息, 这一信息填补了北秦岭造山带西段缺少中元古代早期与造山作用有关的构造岩浆事件信息的空白。本文重点报道宝鸡岩基陕西胡店片麻状

收稿日期: 2006-07-31; 改回日期: 2006-09-25

基金项目: 西北地区重要成矿带基础地质综合研究项目(200313000028)资助。

作者简介: 王洪亮, 男, 1968 年生, 博士生, 高级工程师, 主要从事区域地质调查研究; E-mail: xawhongliang@cgs.gov.cn。

① 陕西省地质调查院. 1:25 万宝鸡市幅区域地质调查报告, 2004.

② 陕西省地质调查院. 1:25 万汉中市幅区域地质调查报告, 2004.

③ 长安大学, 甘肃地质调查院. 1:25 万天水市幅区域地质调查报告, 2005.

细粒二长花岗岩锆石微区 U-Pb 同位素年龄信息,通过分析该变形侵入体形成的构造环境,结合太白岩基坚固变形侵入体的相关信息^①进一步探讨吕梁运动在北秦岭造山带的表现及其与 Columbia 超大陆的关系。

1 地质概况和岩相学

北秦岭西段陕西宝鸡胡店镇一带出露的片麻状细粒二长花岗岩位于祁连—北秦岭—华北陆块交界地带,以拓石—

通洞断裂为界,断裂以北为北祁连造山带,该断裂南与商丹断裂所围限的部分属北秦岭造山带,固关—八渡断裂以东、铁炉子断裂以北为华北板块。胡店片麻状细粒二长花岗岩与宽坪岩群为侵入接触关系^②,边部见有大量地层捕虏体,其北为拓石—通洞断裂(区域上与后期渭河断裂基本重叠)所截(图 1)。

胡店片麻状细粒二长花岗岩为浅肉红色,具细粒花岗岩结构,块状、片麻状、似层状构造,粒度 0.5~2 mm。主要矿物成

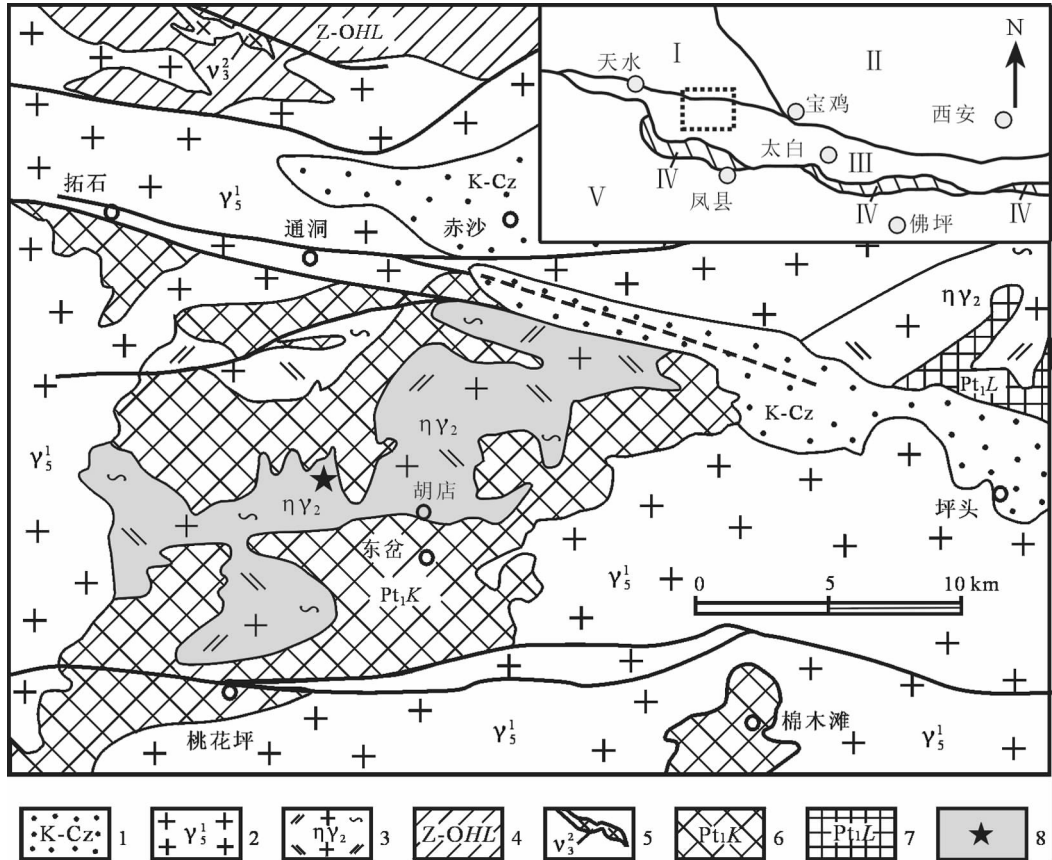


图 1 宝鸡岩基胡店变形侵入体地质简图

I—祁连造山带; II—华北陆块; III—北秦岭造山带; IV—商丹构造带(缝合带); V—中南秦岭造山带; 1—白垩系—新生代;
2—印支期花岗岩; 3—中元古代片麻状二长花岗岩; 4—震旦—奥陶纪葫芦河群变质碎屑岩; 5—加里东中期辉长岩;
6—古元古代宽坪岩群; 7—古元古代陇山岩群; 8—胡店变形侵入体及采样位置

Fig. 1. Geological sketch map of the Hudian deformed intrusion of the Baoji batholith

I—Qilian orogenic belt; II—North China block; III—North Qinling orogenic belt; IV—Shangxian—Danfeng tectonic belt(suture zone);
V—South-central Qinling orogenic belt; 1—Cretaceous—Cenozoic; 2—Indosinian granite; 3—Mesoproterozoic gneissic monzogranite;
4—Sinian—Ordovician metaclastic rocks in the Huluhe Group; 5—Middle Caledonian gabbro; 6—Paleoproterozoic Kuanping Group—complex;
7—Paleoproterozoic Longshan Group—complex; 8—Hudian deformed intrusion and location of samples

①王洪亮, 何世平, 陈隽璐, 等. 太白岩基坚固变形侵入体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年及大地构造意义—吕梁运动在北秦岭造山带的表现初探, 2006.

②陕西省地质调查院. 1:25 万宝鸡市幅区域地质调查报告, 2004.

分:斜长石(35%~40%),呈自形一半自形板状, $A_n=26\sim 27$,为更长石;钾长石(30%~35%),呈半自形板状,为微斜长石;石英(25%~30%),他形粒状;黑云母(10%~15%),呈鳞片状;白云母(3%),普遍被石英、长石所交代,分布不均匀。在 Q-A-P 分类图解中落在二长花岗岩区。

2 LA-ICP-MS 锆石微区 U-Pb 定年结果

2.1 样品采集

本次用于同位素测年的样品采自陕西省宝鸡市胡店镇西北约 5 km 处,样品编号 D125-1TW,地理坐标:东经 $106^{\circ}36'36''$,北纬 $34^{\circ}26'31.3''$,海拔 836 m。样品重约 25 kg,先在实验室将样品粉碎至 80~100 目,经常规浮选和磁选方法分选后,得到 >200 粒锆石。在双目镜下挑选出晶形较好的锆石作为测定对象。将锆石样品置于 DEVCON 环氧树脂中,待固结后抛磨至粒径的大约二分之一,使锆石内部充分暴露,然后进行锆石显微(反射光和透射光)照相、CL 显微图像研究及 LA-ICP-MS 测试。

锆石的阴极发光(CL)图像在北京大学信息科学技术学院扫描电镜实验室完成,采用 FEI 公司 XL30 型 SFEG 电子束进行锆石内部结构显微照相分析。测试点的选取首先根据

锆石反射光和透射光照片进行初选,再与 CL 图像反复对比,力求避开内部裂隙和包裹体,以获得较准确的年龄信息。

2.2 锆石特征

胡店片麻状细粒二长花岗岩锆石呈浅褐色,裂纹和包体均较少。锆石形态较为复杂,总体为半自形柱状,以长柱状为主,长宽比 2:1~3:1,CL 图像(图 2)色调变化也较大,总体偏暗,明显不同于北秦岭造山带早古生代以来侵入体中的锆石,表明其经历了复杂的地质作用。锆石粒径较大(150~400 μm),由于碎样粒度较小,锆石形态遭到一定程度破坏(锆石 21 等)。部分锆石保留有较清楚的振荡环带,显示岩浆成因锆石特征(锆石 2、3、4、6、9、21、27 等),部分锆石内部结构不均一(样点 15、16),但具有较一致的表面年龄。锆石 Th/U 比值较高,多大于 0.5(表 1),也显示岩浆成因特征。

2.3 测试条件及测试精度评述

LA-ICP-MS 法锆石微区 U-Pb 年龄测定在西北大学大陆动力学国家重点实验室的 Agilent7500 型 ICPMS 和德国 Lambda Physik 公司的 ComPex102 ArF 准分子激光器(工作物质 ArF,波长 193 nm)以及 MicroLas 公司的 GeoLas200M 光学系统的联机上进行。激光束斑直径为 30 μm ,激光剥蚀深度为 20~40 μm 。实验中采用 He 作为剥蚀物质的载气,用美



图 2 宝鸡岩基胡店变形侵入体部分锆石阴极发光图像
圈内数字表示 U-Pb 分析点,其他数字表示 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄

Fig.2 CL images of zircons of the Hudian deformed intrusion of the Baoji batholith
Number in the circle represents the analyzed spot and other numbers represent apparent $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ages

表 1 宝鸡基胡店变形侵入体锆石 U-Pb 同位素测定结果
Table 1 Zircon U-Pb isotopic dating of the Huidan deformed intrusion of the Baoji batholith

样品编号	同位素比值						同位素年龄 (Ma)						同位素含量 (10^{-6})						Th/U	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$						
	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		^{204}Pb		^{206}Pb		^{207}Pb				^{208}Pb		^{232}Th		^{238}U	
	比值	误差 1 σ	比值	误差 1 σ	比值	误差 1 σ	年龄	误差 1 σ	年龄	误差 1 σ	年龄	误差 1 σ	年龄	误差 1 σ	年龄	误差 1 σ	年龄	误差 1 σ			年龄	误差 1 σ	年龄	误差 1 σ	年龄	误差 1 σ
DI25-1TW.1	0.110	0.001	4.51	0.04	0.299	0.002	0.096	0.001	1791	22	1734	7	1686	8	1858	11	3.23	589	69	89	453	514	0.88	182		
DI25-1TW.2	0.106	0.001	4.07	0.02	0.278	0.001	0.088	0.000	1735	19	1649	5	1582	7	1706	8	<1.42	1222	143	81	468	1007	0.46	>860		
DI25-1TW.3	0.106	0.001	3.86	0.02	0.263	0.001	0.087	0.000	1736	19	1605	5	1507	6	1680	8	3.15	1671	196	111	638	1437	0.44	531		
DI25-1TW.4	0.106	0.001	3.94	0.02	0.269	0.001	0.088	0.000	1735	19	1622	4	1536	6	1702	7	<1.51	1792	210	157	899	1519	0.59	>1186		
DI25-1TW.5	0.107	0.001	4.03	0.02	0.274	0.001	0.086	0.000	1742	19	1640	5	1561	7	1659	8	<1.26	979	115	87	511	819	0.62	>776		
DI25-1TW.6	0.107	0.001	4.32	0.03	0.293	0.002	0.089	0.001	1746	21	1698	6	1659	8	1723	10	<1.75	647	76	60	353	518	0.68	>369		
DI25-1TW.7	0.106	0.001	4.31	0.03	0.294	0.002	0.096	0.001	1735	20	1696	6	1664	7	1853	10	3.75	1511	173	69	420	1531	0.27	402		
DI25-1TW.8	0.106	0.001	4.03	0.04	0.277	0.002	0.096	0.001	1724	24	1640	8	1574	9	1846	13	<1.79	256	29	34	179	227	0.79	>142		
DI25-1TW.9	0.107	0.001	4.60	0.03	0.312	0.002	0.093	0.001	1750	20	1750	5	1749	8	1797	9	<1.77	688	81	65	343	496	0.69	>388		
DI25-1TW.10	0.108	0.001	4.14	0.03	0.277	0.002	0.085	0.001	1773	21	1662	6	1575	7	1653	11	<1.82	394	47	40	224	314	0.71	>216		
DI25-1TW.12	0.107	0.002	3.79	0.07	0.258	0.003	0.097	0.001	1742	38	1591	15	1479	13	1864	26	<2.28	169	18	18	95	163	0.58	>74		
DI25-1TW.13	0.109	0.001	4.51	0.04	0.301	0.002	0.095	0.001	1778	23	1733	7	1696	9	1843	12	<1.95	391	46	39	194	326	0.59	>201		
DI25-1TW.14	0.106	0.001	4.29	0.03	0.293	0.002	0.088	0.001	1739	20	1692	5	1654	7	1707	9	<1.90	1917	225	164	976	1563	0.62	>1009		
DI25-1TW.15	0.106	0.001	3.89	0.04	0.267	0.002	0.097	0.001	1724	25	1612	8	1527	8	1872	15	<1.84	394	46	36	194	341	0.57	>214		
DI25-1TW.16	0.108	0.001	4.64	0.04	0.312	0.002	0.096	0.001	1765	22	1757	7	1750	9	1853	13	<1.72	784	90	67	419	737	0.57	>456		
DI25-1TW.17	0.107	0.001	4.15	0.02	0.281	0.001	0.084	0.000	1751	19	1663	5	1595	7	1624	8	<1.87	1215	143	83	481	970	0.50	>649		
DI25-1TW.19	0.109	0.001	4.25	0.03	0.284	0.002	0.081	0.001	1774	21	1683	6	1612	8	1568	10	<1.84	506	60	47	278	397	0.70	>275		
DI25-1TW.20	0.108	0.002	4.40	0.09	0.294	0.003	0.093	0.001	1772	40	1712	17	1664	15	1798	27	2.17	136	17	16	97	114	0.86	63		
DI25-1TW.21	0.107	0.001	3.68	0.03	0.250	0.001	0.079	0.001	1745	21	1567	6	1439	7	1541	10	15.31	959	123	78	1205	884	1.36	63		
DI25-1TW.22	0.108	0.002	4.37	0.05	0.293	0.002	0.092	0.001	1767	25	1706	9	1658	9	1778	13	<2.02	204	24	28	138	151	0.92	>101		
DI25-1TW.24	0.107	0.003	4.31	0.09	0.293	0.003	0.092	0.002	1747	41	1696	18	1655	16	1776	28	<2.17	143	19	20	82	106	0.77	>66		
DI25-1TW.25	0.108	0.001	4.64	0.03	0.310	0.002	0.093	0.001	1772	21	1756	6	1743	8	1804	10	<1.89	857	102	80	424	691	0.61	>453		
DI25-1TW.26	0.109	0.001	4.83	0.04	0.322	0.002	0.091	0.001	1779	22	1790	7	1800	9	1757	11	<1.73	364	44	44	221	242	0.91	211		
DI25-1TW.27	0.107	0.001	3.67	0.02	0.248	0.001	0.080	0.000	1753	20	1564	5	1428	6	1561	8	2.76	930	110	76	430	805	0.53	337		
DI25-1TW.28	0.108	0.001	4.25	0.04	0.285	0.002	0.096	0.001	1769	24	1684	8	1617	9	1847	12	<2.09	364	44	59	273	264	1.04	>174		

国家标准技术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, 采样方式为单点剥蚀, 数据采集选用一个质量峰一点的跳峰方式, 每完成 4~5 个待测样品测定, 插入测标样一次。在所测锆石样品 15~20 个点前后各测 2 次 NIST SRM610。锆石年龄采用标准锆石 91500 作为外部标准物质, 元素含量采用 NISTSRM610 作为外标。由于 SiO_2 在锆石中的含量较恒定, 选择 ^{29}Si 作为内标来消除激光能量在点分析过程中以及分析点之间的漂移, 对于大多数元素单点分析的相对标准偏差为 5%~15%。详细分析步骤和数据处理方法参见相关文献^[29-32]。

2.4 同位素测年结果

采用 Glitter(ver4.0, Macquarie University) 程序对锆石的同位素比值及元素含量进行计算, 并按照 Andersen Tom 的方法^[33], 用 LAM-ICPMS Common Lead Correction (ver3.15) 对其进行了普通铅校正, 分析数据见表 1, 年龄计算及谐和图采用 Isoplot (ver3.0) 完成^[34]。

锆石微区有效数据点共 25 个, 在谐和图上呈吻合很好的线状分布 (MSWD=1.9), 构成一条不一致线 (图 3), 与谐和线上交点年龄为 $(1770 \pm 13) \text{ Ma}$, 下交点年龄为 $(258 \pm 150) \text{ Ma}$ 。25 个样点 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 比值非常接近, 为 0.1062~0.1095 (表 1), 表明该类锆石为同期岩浆结晶成因。 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 表面年龄加权平均值为 $(1752.6 \pm 8.6) \text{ Ma}$ (MSWD=0.70), 在误差范围之内与上交点年龄一致。考虑到岩石经历了一定的变形、变质改造, 存在一定的 U、Pb 放射性同位素的变化, ^{206}Pb 、 ^{235}U 、 ^{207}Pb 、 ^{238}U 含量及其比值均有所变化, 单一指标的比值数据难以反映真实年龄, 而一致线和谐和线的交点却可以很好地反映岩体的形成年龄, 因此, 上交点年龄 $(1770 \pm 13) \text{ Ma}$ 应为宝鸡岩基胡店变形侵入体片麻状细粒二长花岗岩的结晶成岩年龄, 下交点 $(258 \pm 150) \text{ Ma}$ 误差较大, 不具有确切的地质意义。

3 宝鸡岩基胡店变形侵入体构造环境分析

在 Na—K—Ca 成因图解中, 宝鸡岩基胡店变形侵入体投入岩浆花岗岩区, SiO_2 为 70.94%, K_2O 为 4.58%, Na_2O 为 2.67%, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 为 1.72, $\delta = 1.9$, A/CNK 为 1.10, 为高硅富钾贫钠的过铝钙碱性岩石系列, SI 为 8.14, DI 为 83.20, 显示为岩浆分异程度较高; Ba、Ni、Cr、Th、Zr 相对富集, V、Sr、Zr、Rb、Nb 相对贫乏, 与造山带花岗岩相似^[35]。胡店变形侵入体稀土总量较高 (642.77×10^{-6}) , $\sum \text{Ce}/\sum \text{Y}$ 为 6.444, $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 为 19.46, $(\text{Ce}/\text{Yb})_N$ 为 13.82, 表现为轻重稀土分馏程度明显的特征, 铕弱亏损, $\delta \text{Eu} = 0.85$, 为王中刚等^[36]划分 δEu 值第一类。在 A—C—F 图解中投入 S 型区; 在 $\delta \text{Eu} - (\text{La}/\text{Yb})_N$ 图解中, 落入壳幔混合岩区, 与围岩呈侵入或渐变关系, 包含大量的地层捕虏体 (宽坪岩群), 属 S 型花岗岩。

以 Pearce 等^[37]的“洋脊花岗岩”为标准化的大离子亲石元素的分布形式与中国西藏和阿曼的典型同碰撞花岗岩极为相似, 也与 Pearce 等的世界其他地区典型同碰撞花岗岩一

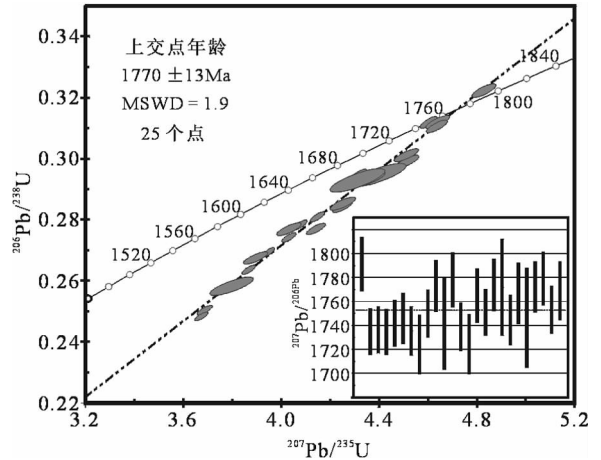


图 3 宝鸡岩基胡店变形侵入体锆石 U-Pb 不一致曲线图

Fig.3 Zircon U-Pb discordia diagram of the Hudian deformed intrusion of the Baoji batholith

致; 在多阳离子花岗岩构造环境判别 $R_2 - R_1$ 图解中, 宝鸡岩基胡店变形侵入体均投入碰撞型区域; 在 $\text{Rb} - (\text{Yb} + \text{Nb})$ 图解中投入火山弧与同碰撞花岗岩过渡区; 在 $\text{Ta} - \text{Yb}$ 图解中则投入火山弧与同碰撞花岗岩区。结合所处的区域构造部位分析, 宝鸡岩基胡店变形侵入体可能形成于与俯冲-碰撞有关的板块边缘侧向增生地带。

4 大地构造意义讨论

罗迪尼亚超大陆的研究成果促使研究全球构造的地质学家猜想, 在该超大陆形成前的古—中元古代可能还存在另一个时代更老的超大陆^[38-39]。早在 20 世纪 80 年代后期, Hoffman^[40]就强调了晚古元古代 2.0~1.8 Ga 造山作用是一次超大陆地质事件, 他认为北美 6 个太古宙克拉通是通过晚古元古代造山作用最终联合的。1996 年 Rogers^[41]提出早于 1.5 Ga 时, 全球存在 3 个大的陆块群, 2000 年提出 Columbia 超大陆存在的可能性^[42], 2002 年又全面阐述了对 Columbia 超大陆的认识^[43], 公布了他们对古—中元古代 Columbia 超大陆的综合研究成果, 并提出了 1.9~1.5 Ga 期间简略的 Columbia 超大陆复原图。

国内外地质学家普遍认为 2.1~1.6 Ga 的碰撞事件使得 Columbia 超大陆各组成陆块拼合在一起^[42-47]。沿着北美/波罗的东部、北美西南部和亚马逊西缘有明显的大陆边缘外侧的生长, 表现为侵入到变质表壳岩中的深成岩较为发育。这些岩浆岩带的火山岩和侵入岩主要形成于岛弧和大陆边缘环境^[48], 表明这些岩浆岩带可能代表与俯冲有关的 Columbia 超大陆边缘的向外增生带^[43-45]。

华北克拉通基底可分为东部陆块、西部陆块和中部带^[44-49], 在 1.85 Ga 前后, 西部陆块与东部陆块沿中部带发生碰撞拼合而形成现今的华北克拉通基底, 即吕梁运动使得中国华北

地区早期不同陆块最终碰撞、拼合,形成华北克拉通统一的结晶基底^[44-46,49-52]。陆松年等^[53]在研究了我国华北古大陆 2.0~1.8 Ga 期间吕梁造山运动的性质、特点和同位素年龄数据后提出 Columbia 超大陆汇聚主要峰期与吕梁—中条造山运动的时限相一致,华北古大陆属于 Columbia 超大陆的组成部分,推断 2.0~1.8 Ga 应是形成 Columbia 超大陆过程中最重要的时段。

宝鸡岩基胡店变形侵入体与北秦岭变质表壳岩系——宽坪岩群局部保留有侵入接触关系。宝鸡岩基胡店变形侵入体片麻状细粒二长花岗岩获得(1770±13)Ma 锆石微区 U-Pb 同位素年龄,岩石地球化学特征均显示为火山弧或同碰撞花岗岩特征,笔者等在北秦岭西段太白岩基巩坚沟片麻状中细粒二长花岗岩中获得(1741±12) Ma 年龄数据^①,表明北秦岭造山带西段存在中元古代早期强烈的构造岩浆事件。他们的形成时代及岩浆构造属性和世界上其他地区与 Columbia 超大陆形成有关的岩基具有极强的类比性(格陵兰的 Ketilidian 火成岩省和拉布拉多的 Makkovik 火成岩省中大量的岩基主要形成于 1.8~1.6 Ga; 美国西南部 Yavapai 和 Mazatzal 造山带中的岩基形成于 1.8~1.7 Ga), 也与中国华北地区的吕梁运动时限基本一致。表明以秦岭岩群为代表的北秦岭地块在古元古代末—中元古代初曾发生俯冲—碰撞,引起地壳侧向增生,而在北秦岭地块西段边缘形成增生岩浆岩带。这一新的信息对研究吕梁运动在北秦岭造山带的表现,重新研究北秦岭及其邻区元古宙的大地构造格局、构造演化、古中国大陆动力学机制及与 Columbia 超大陆的关系具有重要的意义。

致谢: 成都理工大学任光明硕士研究生参加了野外调研,西北大学地质系大陆动力学国家重点实验室柳小明教授及林慈奎等在 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 测试中给予了热情指导,在论文撰写过程中得到了冯益民研究员、张二朋研究员、朱宝清研究员的大力帮助,天津地质矿产研究所李惠民研究员在年龄数据的分析与解释方面也给予许多指导,论文还得到了中国科学院地质与地球物理研究所肖文交研究员的指导,在此表示诚挚的谢意。

参考文献(References):

- [1] 夏林圻, 夏祖春, 等. 秦岭祁连山系海相火山岩[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991: 1-304.
Xia Linqi, Xia Zuchun, et al. Marine Volcanic Rocks from Qilian and Qinling Mountains [M]. Wuhan: China University of Geoscience Press, 1991: 1-304(in Chinese with English abstract).
- [2] 张二朋, 等. 秦巴及邻区地质—构造特征概论[M]. 北京: 地质出版社, 1993: 1-291.
Zhang Erpeng, et al. Geologic—Tectonic Features of Qinling—Dabashan Mountains and Adjacent Regions[M]. Beijing: Geological

- Publishing House, 1993: 1-291(in Chinese with English abstract).
- [3] 刘良, 周鼎武. 东秦岭商南松树沟高压基性麻粒岩的发现及初步研究[J]. 科学通报, 1994, 39(17): 1599-1601.
Liu Liang, Zhong Dingwu. Discovery and study of high-pressure basic granulites in Songshugou area of Shangnan, East Qinling [J]. Chinese Science Bulletin, 1994, 39(17): 1599-1601(in Chinese).
- [4] 周鼎武, 张成立, 韩松, 等. 东秦岭早古生代两条不同构造—岩浆杂岩带的形成构造环境[J]. 岩石学报, 1995, 11(2): 115-126.
Zhou Dingwu, Zhang Chengli, Han Song, et al. Tectonic setting on the two different tectonics—magma complex of the East Qinling in Early Paleozoic [J]. Acta Petrologica Sinica, 1995, 11 (1): 115-126 (in Chinese with English abstract).
- [5] 张国伟, 孟庆任, 于在平, 等. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征[J]. 中国科学(D 辑), 1996, 26(3): 193-200.
Zhang Guowei, Meng Qingren, Yu Zaiping, et al. Orogenesis and dynamics of the Qinling orogen [J]. Science in China (Series D), 1996, 26(3): 193-200(in Chinese).
- [6] 张宗清, 张国伟, 付国民, 等. 秦岭变质地层年龄及其构造意义[J]. 中国科学(D), 1996, 26(3): 216-222.
Zhang Zongqin, Zhang Guowei, Fu Guomin, et al. Age of Qinling metamorphic strata and its tectonic implication [J]. Science in China (Series D), 1996, 26(3): 216-222(in Chinese).
- [7] 周鼎武, 张成立, 刘良, 等. 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.
Zhou Dingwu, Zhang Chengli, Liu Liang, et al. Synthetic study on Proterozoic basic dyke swarms in the Qinling Orogenic Belt and its adjacent block as well as a discussion about some questions related to them [J]. Acta Petrologica Sinica, 2000, 16(1): 22-28(in Chinese with English abstract).
- [8] 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 等. 秦岭造山带与大陆动力学 [M]. 北京: 科学出版社, 2001: 1-855.
Zhang Guowei, Zhang Benren, Yuan Xuecheng, et al. Qinling Orogenic Belt and Continental Dynamics [M]. Beijing: Science Press, 2001: 1-855(in Chinese with English abstract).
- [9] 张本仁, 张宏飞, 赵志丹, 等. 秦岭造山带地球化学 [M]. 北京: 科学出版社, 2002: 1-187.
Zhang Benren, Zhang Hongfei, Zhao Zhidan, et al. Geochemistry of Qinling Orogenic Belt [M]. Beijing: Science Press, 2002: 1-187(in Chinese).
- [10] 冯益民, 曹宣铎, 张二朋, 等. 西秦岭造山带的演化、构造格局和性质[J]. 西北地质, 2003, 36(1): 1-10.
Feng Yimin, Cao Xuanduo, Zhang Erpeng, et al. Tectonic evolution framework and nature of the West Qinling Orogenic Belt [J]. Northwestern Geology, 2003, 36(1): 1-10(in Chinese with English abstract).
- [11] 张国伟, 郭安林, 姚安平. 中国大陆构造中的西秦岭—松潘大陆构造结[J]. 地学前缘, 2004, 11(3): 23-32.

①王洪亮, 何世平, 陈隽璐, 等. 太白岩基巩坚沟变形侵入体 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 测年及大地构造意义——吕梁运动在北秦岭造山带的表现初探, 2006.

- Zhang Guowei, Gao Anlin, Yao Anping. Western Qinling – Songpan continental tectonic node in China's continental tectonics [J]. *Earth Science Frontiers*, 2004, 11 (3): 23–32 (in Chinese with English abstract).
- [12] 张宗清, 刘敦一, 宋彪, 等. 秦岭造山带中部存在太古宙岩块——陕西商南县湘河地区楼房沟斜长角闪岩—浅粒岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其意义[J]. *中国地质*, 2005, 32(4): 579–587.
Zhang Zongqing, Liu Dunyi, Song Biao, et al. An Archean block in the Central Qinling orogenic belt: zircon SHRIMP U-Pb ages of the Loufanggou amphibolite—leucogranulite (leptite) in the Xianghe area, Shangnan, Shaanxi, and their implications[J]. *Geology in China*, 2005, 32(4): 579–587 (in Chinese with English abstract).
- [13] 裴先治, 李佐臣, 丁仁平, 等. 西秦岭天水地区岛弧型基性岩杂岩的地球化学特征及形成时代[J]. *中国地质*, 2005, 32(4): 529–540.
Pei Xianzhi, Li Zuochen, Ding Saping, et al. Geochemical characteristics and zircon U-Pb ages of island-arc basic igneous complexes in the Tianshui area, West Qinling [J]. *Geology in China*, 2005, 32(4): 529–540 (in Chinese with English abstract).
- [14] 裴先治, 王涛, 丁仁平, 等. 东秦岭商丹带北侧新元古代埃达克质花岗岩及其地质意义[J]. *中国地质*, 2003, 30(4): 372–381.
Pei Xianzhi, Wang Tao, Ding Saping, et al. Geochemical characteristics and geological significance of Neoproterozoic adakitic granitoids on the north side of the Shangdan zone in the East Qinling [J]. *Geology in China*, 2003, 30(4): 372–381 (in Chinese with English abstract).
- [15] 杨志华, 郭俊锋, 苏生瑞, 等. 秦岭造山带基础地质研究新进展[J]. *中国地质*, 2002, 29(3): 246–256.
Yang Zhihua, Guo Junfeng, Su Shengrui, et al. New advances in the geological study of the Qinling orogen [J]. *Geology in China*, 2002, 29(3): 246–256 (in Chinese with English abstract).
- [16] 李亚林, 李三忠, 张国伟, 等. 秦岭勉略缝合带组成与古洋盆演化[J]. *中国地质*, 2002, 29(2): 129–134.
Li Yalin, Li Sanzhong, Zhang Guowei, et al. Composition of the Mianlue suture zone and its relation with the evolution of the old oceanic basin [J]. *Geology in China*, 2002, 29 (2): 129–134 (in Chinese with English abstract).
- [17] 王靖华, 张复新, 于在平, 等. 秦岭金属矿床成矿系列与大陆造山带构造动力学背景[J]. *中国地质*, 2002, 29(2): 192–196.
Wang Jinghua, Zhang Fuxin, Yu Zaiping, et al. Minerogenetic series of metallic ore deposits in the Qinling Mountains and tectonodynamic background of the continental orogenic belts [J]. *Geology in China*, 2002, 29 (2): 192–196 (in Chinese with English abstract).
- [18] 路凤香, 王春阳, 胡宝群, 等. 南秦岭下地壳组成及岩石圈的拆离俯冲作用[J]. *中国地质*, 2003, 30(2): 113–119.
Lu Fengxiang, Wang Chunyang, Hu Baoqun, et al. Structure of the lower crust and detachment and subduction of the lithosphere of the South Qinling [J]. *Geology in China*, 2003, 30(2): 113–119 (in Chinese with English abstract).
- [19] 李永军, 赵仁夫, 刘志武, 等. 西秦岭三叠纪沉积盆地演化[J]. *中国地质*, 2003, 30(3): 268–273.
Li Yongjun, Zhao Renfu, Liu Zhiwu, et al. Triassic sedimentation and basin evolution in the Western Qinling [J]. *Geology in China*, 2003, 30(3): 268–273 (in Chinese with English abstract).
- [20] 肖思云, 张维吉, 宋子季, 等. 北秦岭变质地层[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1988: 1–320.
Xiao Siyun, Zhang Weiji, Song Ziji, et al. The Metamorphic Strata of the Northern Qinling in China [M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1988: 1–320 (in Chinese).
- [21] 宋志高. 北秦岭丹凤群向西延入祁连造山带的地质意义[J]. *中国地质科学院院报*, 1993, 27–28: 15–26.
Song Zhigao. The Westward extension of the Early Paleozoic Danfeng Group into the Qilian Orogen and its geological significance [J]. *Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences*, 1993, 27–28: 15–26 (in Chinese with English abstract).
- [22] 张宗清, 刘敦一, 付国民. 北秦岭变质地层同位素年代研究[M]. 北京: 地质出版社, 1994: 1–161.
Zhang Zongqing, Liu Dunyi and Fu Guomin. Geochronology of the Metamorphic Strata in the North Qinling [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994: 1–161 (in Chinese).
- [23] 张维吉, 孟宪恂, 胡建民, 等. 祁连—北秦岭造山带结合部位构造特征与造山过程[M]. 西安: 西北大学出版社, 1994: 1–283.
Zhang Weiji, Meng Xianxun, Hu Jianmin, et al. Tectonic Characteristics and Orogenic Process in the Junction of Qilian – North Qinling Orogenic Belts [M]. Xi'an: Publishing House of Northwest University (in Chinese).
- [24] 邱家骧, 曾广策, 朱云海, 等. 北秦岭—南祁连早古生代裂谷造山带火山岩与小洋盆蛇绿岩套特征及纬向对比 [J]. *高校地质学报*. 1998, 4(4): 393–405.
Qiu Jiaxiang, Zeng Guangce, Zhu Yunhai, et al. Characteristics and latitudinal comparative research on the Early Palaeozoic volcanic rocks of rifted orogenic belt and small ocean basin ophiolite suit from Northern Qinling Mountains and Southern Qilian Mountains [J]. *Geological Journal of China Universities*, 1998, 4(4): 393–405 (in Chinese with English abstract).
- [25] 姜常义, 苏生瑞, 赵太平, 等. 北秦岭侵入岩带与晋宁运动[M]. 北京: 地质出版社, 1998: 1–91.
Jiang Changyi, Su Shengrui, Zhao Taiping, et al. Intrusion Zone of North Qinling and Jinning Movement [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998: 1–91 (in Chinese).
- [26] 校培喜, 张俊雅, 王洪亮, 等. 北秦岭太白岩体岩石谱系单位划分及侵入时代确定[J]. *西北地质科学*, 2000, 21(2): 37–45
Xiao Peixi, Zhang Junya, Wang Hongliang, et al. Subdivision of rock series units and determination of intrusion age of Taibai rock mass in North Qinling [J]. *Northwest Geoscience*, 2000, 21(2): 37–45 (in Chinese with English abstract).
- [27] 董云鹏, 张国伟, 朱炳泉. 北秦岭构造属性与元古代构造演化[J]. *地球学报*, 2003, 24(1): 3–10.
Dong Yunpeng, Zhang Guowei, Zhu Bingquan. Proterozoic

- tectonics and evolutionary history of the North Qinling Terrane[J]. *Acta Geoscientia Sinica*,2003,24(1):3-10(in Chinese with English abstract).
- [28] 王晓霞, 王涛, 卢欣祥, 等. 北秦岭老君山和秦岭梁环斑结构花岗岩及构造环境——一种可能的造山带型环斑花岗岩 [J]. *岩石学报*,2003,19(4):650-660.
- Wang Xiaoxia, Wang Tao, Lu Xinxiang, et al. Laojunshan and Qinlingliang rapakivi-textured granitoids in North Qinling and their tectonic setting: A possible orogenic-type rapakivi granitoids [J]. *Acta petrologica Sinica*,2003,19 (4):650-660 (in Chinese with English abstract).
- [29] Horn I, Rudnick R L, McDonough W F. Precise elemental and isotope ratio determination by simultaneous solution nebulization and laser ablation-ICPMS: Application to U-Pb geochronology[J]. *Chemical Geology*,2000,167:405-425.
- [30] Ballard J R, Palin J M, Williams I S, et al. Two ages of porphyry intrusion resolved for the super-giant Chuquibambilla copper deposit of northern Chile by ELA-ICPMS and SHRIMP [J]. *Geology*, 2001,29:383-386.
- [31] Kosler J, Fonneland H, Sylvester P, et al. U-Pb dating of detrital zircons for sediment provenance studies—a comparison of laser ablation ICPMS and SIMS techniques [J]. *Chemical Geology*, 2002,182:605-618.
- [32] 袁洪林, 吴福元, 高山, 等. 东北地区新生代侵入体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定与稀土元素成分分析[J]. *科学通报*,2003,48(14):1511-1520.
- Yuan Honglin, Wu Fuyuan, Gao Shan, et al. LA-ICPMS zircon U-Pb age and REE of Cenozoic pluton in NE China [J]. *Chinese Science Bulletin*,2003,48(14):1511-1520(in Chinese).
- [33] Andersen T. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. *Chemical Geology*,2002,192:59-79.
- [34] Ludwig K R. Isoplot—A plotting and regression program for radiogenic isotope data [J]. *US Geological Survey Open-File Report*. 1991,39:91-445.
- [35] 李昌年. 火成岩微量元素岩石学[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1992:1-195.
- Li Changnian. *Tracce Element Geochemistry of Igneous Rocks* [M]. Wuhan:China University of Geoscience Press,1992:1-195(in Chinese).
- [36] 王中刚, 于学元, 赵振华. 稀土元素地球化学[M]. 北京:科学出版社,1989:76-93.
- Wang Zhonggang, Yu Xueyuan, Zhao Zhenhua, et al. *Rare Earth Elements Geochemistry* [M]. Beijing:Science Press,1989:76-93(in Chinese).
- [37] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. *J. Petrol.*,1984,25:956-983.
- [38] 王鸿祯. 地球的节律与大陆动力学的思考 [J]. *地学前缘*,1997,4(1-2):1-12.
- Wang Hongzhen. *Speculations on Earth's rhythms and continental dynamics*[J]. *Earth Science Frontiers*,1997,4(1-2):1-12(in Chinese with English abstract).
- [39] Condie K C. Juvenile crust, mantle and supercontinents in the last 1.6 Ga[J]. *Gondwana Research*,1999,2(4):543.
- [40] Hoffman P F. United plates of America, the birth of a craton: early Proterozoic assembly and growth of Laurentia [J]. *Ann Rev Earth Planet Sci*,1988,16:543-603.
- [41] Rogers J J W. A history of continents in past three billion years[J]. *J Geol*,1996,104:91-107.
- [42] Rogers J J W, SANTOSH M, YOSHIDA M. Mesoproterozoic Supercontinent (Call for papers). *Gondwana Research*,2000,(4):590-591.
- [43] Rogers J J W, Santosh M. Configuration of Columbia, a Mesoproterozoic Supercontinent [J]. *Gondwana Research*,2002,5(1):5-22.
- [44] 赵国春, 孙敏, Wilde S A. 华北克拉通基底构造单元特征及早元古代拼合[J]. *中国科学(D 辑)*,2003,46(1):23-38(in Chinese).
- Zhao Guochun, Sun Min, Wilde S A. Major tectonic units of the North China Craton and their Paleoproterozoic assembly [J]. *Science in China (Series D)*,2003,46(1):23-38(in Chinese).
- [45] 赵国春, 孙敏, Wilde S A. 早-中元古代 Columbia 超级大陆研究进展[J]. *科学通报*,2002,47(18):1361-1364.
- Zhao Guochun, Sun Min, Wilde S A. Reconstruction of a pre-Rodinia supercontinent: new advances and perspectives [J]. *Chinese Science Bulletin*,2002,47(18):1361-1364(in Chinese).
- [46] 李江海, 侯贵廷, 钱祥麟, 等. 华北克拉通对前寒武纪超大陆旋回的基本制约[J]. *岩石学报*,2001,17(2):177-186.
- Li Jianghai, Hou Guiting, Qian Xianglin, et al. The constraint for the supercontinental cycles: evidence from Precambrian geology of North China Block [J]. *Acta Petrologica Sinica*,2001,17(2):177-186 (in Chinese with English abstract).
- [47] Condie K C. Breakup of a Paleoproterozoic supercontinent [J]. *Gondwana Research*,2002,5:41-43.
- [48] Patchett P J, Arndt N T. Nd isotopes and tectonics of 1.9-1.7 Ga crustal genesis [J]. *Earth Planet Lett*,1986,78:329-338.
- [49] 白瑾 (主编). 华北陆台北缘前寒武纪地质及铅锌成矿作用[M]. 北京:地质出版社,1993:1-132.
- Bai Jin (ed.). *The Precambrian geology and Pb-Zn Mineralization in the Northern Margin of North China Platform* [M]. Beijing: Geological Publishing House,1993:1-132(in Chinese with English abstract).
- [50] 白瑾, 黄学光, 王惠初, 等. 中国前寒武纪地壳演化(第二版) [M]. 北京:地质出版社,1996:1-259.
- Bai Jin, Huang Xueguang, Wang Huichu, et al. *The Precambrian Crustal Evolution of China* (2nd ed.) [M]. Beijing: Geological Publishing House,1996:1-259(in Chinese with English summary).
- [51] Zhao G C, Cawood P A, Wilde S A, et al. Metamorphism of basement rocks in the Central Zone of the North China Craton: implication for Paleoproterozoic tectonic evolution [J]. *Precamb Res*,2000,107:45-73.

[52] Wilde S A, Zhao G C, Sun M. Development of the North China Craton during the late Archaean and its final amalgamation at 1.8 Ga; some speculations on its position within a global Paleoproterozoic supercontinent [J]. *Gondwana Research*, 2002, 5: 85-94.

[53] 陆松年, 杨春亮, 李怀坤, 等. 华北古大陆与哥伦比亚超大陆[J]. *地学前缘*, 2002, 9(9): 225-233.

Lu Songnian, Yang Chunliang, Li Huaikun, et al. North China Continent and Columbia Supercontinent. *Earth Science Frontiers*, 2002, 9(9): 225-233 (in Chinese with English abstract).

LA-ICPMS zircon U-Pb dating of the Hudian gneissic monzogranite in the western segment of the North Qinling and its geological significance

WANG Hong-liang^{1,2}, HE Shi-ping^{1,3}, CHEN Juan-lu^{1,3}, XU Xue-yi¹,
SUN Yong², DIWU Chun-rong², LI Hai-ping²

(1. Xi'an Institute of Geology and Mineral Resource, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

2. State Key Laboratory of Continental Dynamics, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China;

3. Faculty of Earth Science, China University of Geoscience, Wuhan 430074, Hubei, China)

Abstract: The Hudian deformed intrusion in the north of Baoji batholith consists of gneissic monzogranite. Zircons from the rock yielded a LA-ICPMS U-Pb age of 1770 ± 13 Ma. Petrologic and geochemical study shows that the gneissic monzogranite formed in a subduction-collision environment on the plate margin and that the magma originated by partial melting of mid-upper crustal materials. The tectonic setting and age of this deformed intrusion are in the main consistent with those of the Gongjiangou deformed intrusion in the Taibai batholith, representing a strong tectono-magmatic event occurring in the western segment of the North Qinling orogenic belt in the terminal Paleoproterozoic and initial Mesoproterozoic. The event broadly corresponded to the Lüliang movement and might have certain genetic relation to the formation of the supercontinent Columbia. This new information has great significance for the study of the Proterozoic tectonic framework and tectonic evolution in the North Qinling orogenic belt and the dynamics of continental of China.

Key words: North Qinling orogenic belt; Hudian gneissic monzogranite; U-Pb isotope; Lüliang movement; Columbia supercontinent

About the first author: WANG Hong-liang, male, born in 1968, senior engineer and Ph.D candidate with Northwest University, mainly engages in the study of regional geology; E-mail: xawhongliang@cgs.gov.cn.