

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

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

王洪亮^{1,2)}, 何世平^{2,3)}, 陈隽璐^{2,3)}, 徐学义²⁾, 孙勇¹⁾, 第五春荣¹⁾

1) 西北大学大陆动力学国家重点实验室, 西安, 710069; 2) 西安地质矿产研究所, 710054

3) 中国地质大学地球科学学院, 武汉, 430074

内容提要:太白岩基北部的巩坚沟变形侵入体一片麻状中细粒二长花岗岩中获得 $1741 \pm 12\text{Ma}$ 的 LA-ICPMS 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, 巩坚沟片麻状中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。该变形侵入体所代表的热-构造事件与我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; 太白岩基; 巩坚沟变形侵入体; U-Pb 同位素; 吕梁运动; Columbia 超大陆

秦岭造山带作为分隔中国南北大陆的著名大陆造山带, 是有长期复杂的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, 在秦岭造山带的形成与演化等方面的研究取得了诸多成果(夏林圻等, 1991; 张二朋等, 1993; 张国伟等, 1996, 2001, 2004; 张本仁等, 1996, 2002; 张宏飞等, 1996; 张宗清等, 1996; 周鼎武等, 2000; 冯益民等, 2003)。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(肖思云等, 1988; 宋志高, 1993; 张宗清, 1994; 张维吉等, 1994; 张宏飞等, 1995; 邱家骧等, 1998; 姜常义等, 1998; 董云鹏等, 2003), 但对北秦岭造山带吕梁期的构造-岩浆事件研究却鲜有报道。

太白岩基位于商丹构造带北侧, 是北秦岭构造带西段最主要的复合侵入体之一, 富含北秦岭造山带多期地质构造演化信息, 前人对南部未变形的块状侵入体研究较多, 已获得 $216 \pm 14\text{Ma}$ (锆石 U-Pb) 的年代学资料(校培喜等, 2000), 提出形成于印支期碰撞环境; 但北部变形侵入体的研究则较为薄

弱, 主要局限于岩石学及岩相学方面的研究, 侵入体形成时代研究缺乏较精确的年龄资料, 前人(校培喜等, 2000)根据西北大学周鼎武教授 1994 年获得的 Rb-Sr 等时线 454.8Ma 年龄值, 将变形侵入体的时代厘定为志留纪, 由于 Rb-Sr 测年方法的精度所限, 对变形侵入体大地构造意义研究的时代依据有待商榷。本文重点报道太白岩基北部的巩坚沟变形侵入体片麻状中细粒二长花岗岩精细的锆石微区 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, 初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

北秦岭太白岩基位于商丹带北侧陕西省太白县至周至县厚珍子一带, 是北秦岭构造带中规模较大的复式深成岩体之一。出露面积约 1200km^2 , 平面形态为东西向的长透镜状, 长轴方向与区域构造线一致(图 1)。太白岩基根据变形特征可明显分为北部元古宙变形侵入体和南部印支期块状岩体两部分。南部印支期侵入体与新元古代丹凤岩群(Pt_3d)呈侵入接触关系, 北部元古宙变形侵入体与古元古代秦岭岩群(Pt_1q)以脆韧性剪切带相接, 局部为侵入关

注: 本文为中国地质调查局国土资源大调查研究项目“西北地区重要成矿带基础地质综合研究”(编号 200313000028)资助的成果。

收稿日期: 2006-05-10; 改回日期: 2006-08-16; 责任编辑: 郝梓国。

作者简介: 王洪亮, 男, 1968 年生。高级工程师, 博士研究生。岩石大地构造专业, 主要从事区域地质调查研究工作。通讯地址, 710054, 西安市友谊东路 166 号, 西安地质矿产研究所; 电话: 029-87821935; Email: xawhongliang@cgs.gov.cn。

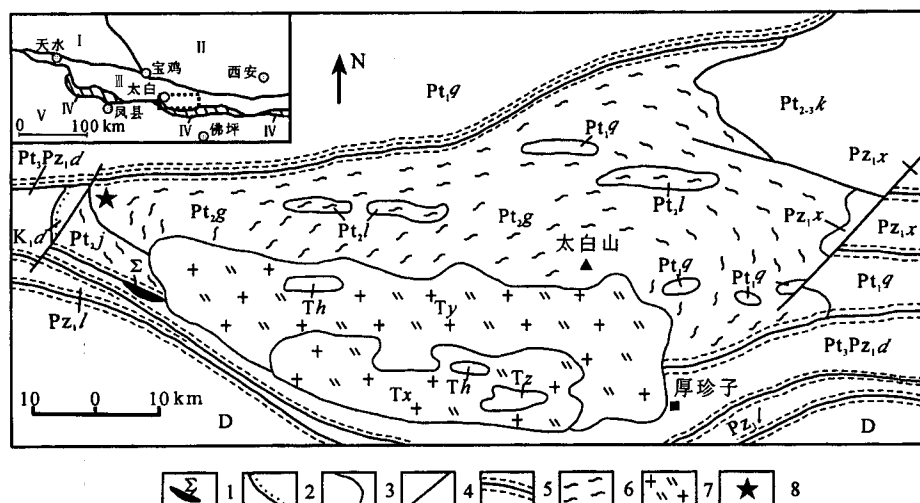


图 1 北秦岭太白岩基区域地质图

Fig. 1 Regional geology map of Taibai rock mass in Northern Qinling Mountains

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; K_{1d}—白垩系东河群; D—泥盆系; Pz_{1l}—早古生代罗汉寺岩群; Pz_{1x}—早古生代斜峪关岩群; Pt₃Pz_{1d}—新元古代-早古生代丹凤岩群; Pt_{2-3k}—中-新元古代宽坪岩群; Pt_{1q}—古元古代秦岭岩群; Pt_{2l}—烂泥沟单元; Pt_{2g}—巩坚沟单元; Pt_{2j}—蒋家坟单元; Th—海塘河单元; Tx—小干沟单元; Ty—燕子崖单元; Tz—中营河单元; 1—超基性岩块; 2—不整合界线; 3—侵入接触界线; 4—脆性断层; 5—韧性断层; 6—片麻状侵入岩; 7—块状侵入岩; 8—同位素年龄样品位置

I—Qilian orogenic belt; II—North China Block; III—North Qinling orogenic belt; IV—Shangxian-Danfeng tectonic belt (suture zone); V—Central-Southern Qinling orogenic belt; K_{1d}—Early Cretaceous Donghe Group; D—Devonian; Pz_{1l}—Early Paleozoic Luohansi Rock Group; Pz_{1x}—Early Paleozoic Xieyuguan Rock Group; Pt₃Pz_{1d}—Neoproterozoic-Early Paleozoic Danfeng Rock Group; Pt_{2-3k}—Meso-Neoproterozoic Kuangping Rock Group; Pt_{1q}—Paleoproterozoic Qinling Rock Group; Pt_{2l}—Lannigou Rock Unit; Pt_{2g}—Gongjiangou Rock Unit; Pt_{2j}—Jiangjifeng Rock Unit; Th—Haitanghe Rock Unit; Tx—Xiaogangou Rock Unit; Ty—Yanziya Rock Unit; Tz—Zhongyinghe Rock Unit; 1—ultramafic block; 2—angular unconformity; 3—intrusive contact; 4—brittle fault; 5—ductile fault; 6—gneissic intrusions; 7—massive intrusions; 8—sample location

系,东、西两端均被北东向脆性断层破坏(图 1)。

前人(校培喜等,2000)根据太白岩基的岩石学特征及相互关系,将该复式深成岩体划分为 7 个单元,归并成 2 个超单元,即北部片麻状构造发育的五里峡超单元,以巩坚沟单元(Pt_{2g})-片麻状条带状中细粒黑云二长花岗岩为主体;南部的块状构造的红崖河超单元,以中细黑云二长花岗岩为主体。红崖河超单元与五里峡超单元变形侵入体为侵入接触关系(图 1)。

红崖河超单元各单元均具块状构造,似斑状结构;五里峡超单元各单元均具片麻状构造,片麻理产状变化较大,总体与变形岩体的边缘近于平行,矿物成分一般钾长石多于斜长石,斜长石 $An=22\sim 25$,钾长石主要为正长石,可见钾长石交代斜长石形成的蠕虫结构,石英多具波状消光,发生塑性流动。太白岩基各单元岩石学特征见表 1。

2 LA-ICPMS 锆石微区 U-Pb 定年结果

2.1 样品采集

用于同位素测年样品采自陕西省太白县城南约 10km 处巩坚沟口的巩坚沟变形侵入体片麻状条带状中细粒黑云二长花岗岩(相当于校培喜等划分的巩坚沟单元),取样坐标:东经 $107^{\circ}18'36.8''$ 北纬 $34^{\circ}1'14.1''$,海拔:1698m(图 1)。样品重约 25kg,先在实验室将样品粉碎至 80~100 目,按常规方法分选锆石,最后将样品锆石置于环氧树脂中,待固结后抛磨至锆石粒径的大约二分之一,使锆石内部充分暴露,进行锆石阴极发光成像及 LA-ICPMS 锆石微区 U-Pb 定年。

锆石的阴极发光(CL 图像)研究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

表 1 太白岩基各单元岩石学特征

Table 1 Petrological features of the rock units in Taibai rock mass

超单元	单元	岩石类型	侵入体个数	矿物成分(%)				结构	构造
				石英	钾长石	斜长石	黑云母		
红崖河超单元	海塘河单元 Th	灰白色中粒似斑状黑云二长花岗岩	5	35~40	30~25	20~25	<5	中粒似斑状	块状
	小干沟单元 Tx	灰白色中细粒似斑状黑云二长花岗岩	9	25~30	35~40	30~35	<5	中细粒似斑状	块状
	燕子崖单元 Ty	灰白色细粒似斑状黑云二长花岗岩	14	20~25	30~35	40~45	5	细粒似斑状	块状
	中营河单元 Tz	灰色细粒偶含斑英云闪长岩	3	15~20	<5	70~75	5~10	细粒偶含斑状	块状
五里峡超单元	烂泥沟单元 Sl	片麻状眼球状中粗粒黑云二长花岗岩	7	30~25	45~40	25~30	5	中粗粒花岗岩结构	片麻状眼球状
	巩坚沟单元 Sg	片麻状条带状中细粒黑云二长花岗岩	6	25~30	30~35	25~30	5	中细粒花岗岩结构	片麻状条带状
	蒋家坟单元 Sj	片麻状条纹状细粒黑云二长花岗岩	2	25~30	30~35	30~35	5	细粒花岗岩结构	条纹状片麻状

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 照片反复对比,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

根据锆石形态及 CL 图像特征,锆石明显可分为三种类型。第一类锆石粒径较大(>100 μ m),为浅玫瑰色柱状晶体,长宽比 2:1~3:1,自形程度较高,此类锆石占的比例最大,是本次测定的主要对象,由于碎样粒度较小,锆石形态遭到一定程度破坏(锆石 13、24、27、28 等)。阴极发光图像(图 2)显示,该类锆石多有较清楚的振荡环带,显示岩浆成因锆石特征(锆石 13、27、28、29、30 等),部分锆石内部结构不均一(样点 21、22 所示),外部发育环带,但从内到外具有较一致的表面年龄。锆石 Th/U 值较高,多大于 0.5(表 2),也显示岩浆成因特征。

第二类锆石为短柱状,长宽比多小于 2:1,半自形至它形晶,具面状构造,振荡环带不发育(锆石 19)或显示环带,但发育斑杂状构造(锆石 3),具有较低的 Th/U 值,应为变质成因或改造型锆石,这类锆石占的比例很少。

第三类锆石粒径较小,总体呈浑圆状,部分锆石形态不完整(锆石 25),晶体环带略有发育,Th/U 值较高(0.7202),显示岩浆成因锆石特征,仅见个别锆石,可能为捕获的早期锆石。

2.3 测试条件及测试精度评述

LA-ICPMS法单颗粒锆石微区U-Pb年龄测定

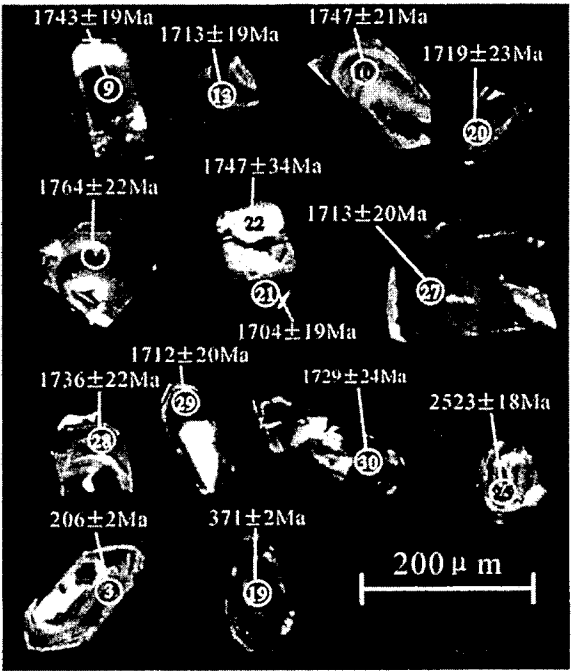


图 2 太白岩基巩坚沟变形侵入体阴极发光图像
Fig. 2 CL imagines of zircons from Gongjiangou deformation intrusions of Taibai rock mass
圈内数字表示 U-Pb 分析点,其他数字表示 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄

Number in the circle represents the analysis spot of U-Pb and other numbers represent age of $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$

在西北大学大陆动力学国家重点实验室的 Agilent 7500 型 ICP-MS 和德国 Lambda Physik 公

表 2 太白岩基花岗岩侵入体单颗粒锆石 U-Pb 同位素测定结果
Table 2 The results of U-Pb isotopic dating for the single-grain zircon from Gongjiangou deformation intrusions of Taibai rock mass

样点编号	同位素比值						同位素表面年龄 (Ma)						Th/U			
	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$			$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		
	比值	误差(1σ)	比值	误差(1σ)	比值	误差(1σ)	比值	误差(1σ)	年龄	误差(1σ)	年龄	误差(1σ)		年龄	误差(1σ)	
TB1-1TW.1	0.1032	0.0013	3.044	0.028	0.2140	0.0012	0.0826	0.0005	1682	23	1419	7	1250	6	1605	10
TB1-1TW.3	0.0496	0.0018	0.222	0.008	0.0325	0.0003	0.0106	0.0002	176	82	204	6	206	2	212	4
TB1-1TW.9	0.1067	0.0011	4.004	0.023	0.2723	0.0013	0.0802	0.0004	1743	19	1635	5	1552	7	1558	7
TB1-1TW.10	0.1069	0.0013	4.157	0.033	0.2820	0.0015	0.0823	0.0005	1747	21	1666	7	1602	8	1599	9
TB1-1TW.12	0.1063	0.0011	3.272	0.019	0.2233	0.0011	0.0715	0.0004	1737	19	1474	5	1299	6	1395	7
TB1-1TW.13	0.1049	0.0011	3.416	0.019	0.2361	0.0011	0.0699	0.0004	1713	19	1508	4	1366	6	1366	7
TB1-1TW.15	0.1056	0.0011	3.709	0.023	0.2549	0.0012	0.0759	0.0004	1724	20	1573	5	1464	6	1478	8
TB1-1TW.16	0.1068	0.0015	5.402	0.063	0.3669	0.0026	0.1110	0.0010	1745	26	1885	10	2015	12	2128	18
TB1-1TW.17	0.1054	0.0014	4.064	0.039	0.2797	0.0017	0.0838	0.0006	1721	24	1647	8	1590	8	1626	12
TB1-1TW.18	0.1036	0.0011	3.178	0.019	0.2224	0.0011	0.0673	0.0003	1690	19	1452	5	1294	6	1317	6
TB1-1TW.19	0.0602	0.0008	0.492	0.005	0.0593	0.0003	0.0222	0.0002	611	29	406	3	371	2	443	3
TB1-1TW.20	0.1053	0.0013	3.764	0.033	0.2594	0.0015	0.0916	0.0006	1719	23	1585	7	1487	8	1772	11
TB1-1TW.21	0.1044	0.0011	3.773	0.022	0.2621	0.0013	0.0787	0.0004	1704	19	1587	5	1500	6	1530	8
TB1-1TW.22	0.1069	0.0020	4.013	0.067	0.2723	0.0024	0.0926	0.0012	1747	34	16370	14	1552	12	1790	21
TB1-1TW.23	0.1056	0.0012	3.802	0.026	0.2610	0.0013	0.0878	0.0005	1723	20	1593	5	1495	7	1701	9
TB1-1TW.24	0.1079	0.0013	4.185	0.035	0.2814	0.0016	0.0814	0.0006	1764	22	1671	7	1599	8	1582	11
TB1-1TW.25	0.1666	0.0018	10.852	0.067	0.4725	0.0025	0.1354	0.0008	2523	18	2511	6	2495	11	2566	14
TB1-1TW.26	0.1038	0.0012	3.473	0.025	0.2427	0.0012	0.0725	0.0005	1693	21	1521	6	1400	6	1414	8
TB1-1TW.27	0.1049	0.0011	3.999	0.026	0.2764	0.0014	0.0817	0.0005	1713	20	1634	5	1573	7	1586	9
TB1-1TW.28	0.1063	0.0013	4.445	0.036	0.3034	0.0017	0.0877	0.0006	1736	22	1721	7	1708	8	1699	11
TB1-1TW.29	0.1049	0.0011	3.643	0.023	0.2520	0.0012	0.0780	0.0004	1712	20	1559	52	1449	6	1519	7
TB1-1TW.30	0.1058	0.0014	3.607	0.035	0.2472	0.0015	0.0802	0.0006	1729	24	1551	8	1424	8	1559	11

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 GeoLas 200M 光学系统的联机上进行。激光束斑直径为 $30\mu\text{m}$, 激光剥蚀样品的深度为 $20\sim 40\mu\text{m}$ 。实验中采用 He 作为剥蚀物质的载气, 用美国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 个测点的样品测定, 加测标样一次。在所测锆石样品分析 15~20 个点前后各测 2 次 NIST SRM610。锆石年龄采用国际标准锆石 91500 作为外标标准物质, 元素含量采用 NIST SRM610 作为外标, ^{29}Si 作为内标。详细分析步骤和数据处理方法参见相关文献(Horn et al., 2000; Ballard et al., 2001; Kosler et al., 2002; 袁洪林等, 2003)。

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(Andersen, 2002), 用 LAM-ICPMS Common Lead Correction(ver3.15)对其进行了普通铅校正, 分析数据见表 2, 年龄计算及谐和图采用 Isoplot(ver3.0)完成(Ludwig, 1991)。

第一类锆石数据点共 19 个, 在谐和图上呈吻合很好的线状分布($\text{MSWD}=2.5$), 构成一条不一致线(图 3), 与谐和线上交点年龄 $1741\pm 12\text{Ma}$, 下交点年龄为 $167\pm 94\text{Ma}$ 。19 个样点 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 值非常接近, 约为 0.10(表 2), 表明该类锆石为同期岩浆结晶形成。 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄加权平均值为 $1722\pm 10\text{Ma}$ ($\text{MSWD}=0.99$), 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, 而不一致线和谐和线的交点年龄可以很好地反映岩体的形成年龄。因此, 上交点年龄 $1741\pm 12\text{Ma}$ 应为太白岩基巩坚沟变形侵入体片麻状条带状中细粒黑云二长花岗岩的结晶成岩年龄, 下交点 $167\pm 94\text{Ma}$ 误差较大, 不具有确切的地质意义。

第二类和第三类锆石测试点较少, 与第一类锆石的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 差异大, 不能与第一类锆石一起进行年龄计算, 只能作为单点年龄数据加以处理。第二类变质特征锆石年龄较小, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄可能更真实地反映锆石形成年龄, 分别为 $206\pm 2\text{Ma}$ 和 $371\pm 2\text{Ma}$ 。第三类锆石年龄值较大, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面

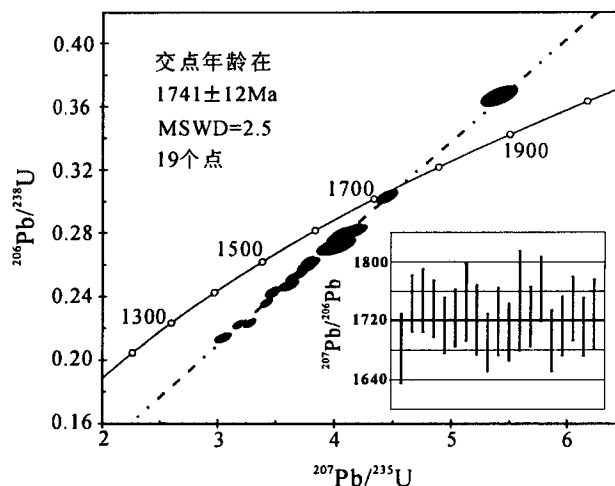


图 3 太白岩基巩坚沟变形侵入体锆石 U-Pb 不一致曲线图

Fig. 3 U-Pb concordia diagram of zircons from Gongjiangou deformation intrusions of Taibai rock mass

年龄($2523\pm 18\text{Ma}$)可能更能代表该类锆石的形成年龄。

3 太白岩基巩坚沟变形侵入体构造环境分析

在 Na-K-Ca 成因图解中, 太白岩基巩坚沟变形侵入体投入岩浆花岗岩区, $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$, 里特曼指数 $\delta=2.49\sim 2.90$, $\text{A/CNK}=1.08$, 为过铝钙碱性岩石系列; Ba、Ni、Cr、Zr 相对富集, Be、Sr、Nb、V、Rb、Ta 相对贫乏, 与造山带花岗岩相似(李昌年, 1992)。巩坚沟变形侵入体稀土总量较高($291.38\sim 308.94$) $\times 10^{-6}$, $\text{Rb/Sr}=0.68\sim 0.76$, $\delta\text{Eu}=0.51\sim 0.53$, 为王中刚等(1989)划分 δEu 值第二类。在 A-C-F 图解中, 投入 S 型区; 在 $\delta\text{Eu}-(\text{La/Yb})_N$ 图解中, 落入壳源岩区, 与围岩呈侵入或渐变关系, 包含有大量的地层捕虏体(秦岭岩群), 属 S 型花岗岩, 应为上地壳物质不同程度部分熔融而成。

以 Pearce 等(1984)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(Pearce, 1984)极为相似(图 4), 也与 Pearce 等的世界其他地区典型同碰撞花岗岩一致; 在多阳离子花岗岩构造环境判别 R_2-R_1 图解中, 太白岩基巩坚沟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 Ta-Yb 图解中则主要投入火山弧花岗岩区(限于篇幅, 图解略)。上述岩石地球化学特

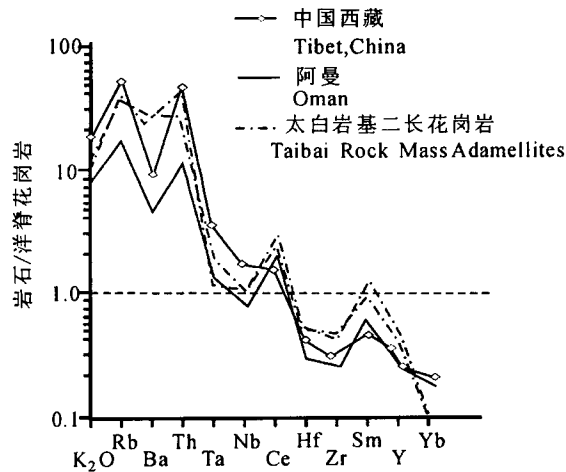


图 4 太白岩基巩坚沟变形侵入体大离子亲石元素
(据 Pearce, 1984)

Fig. 4 Large-ion lithophile distribution patterns normalized by ocean-ridge granite for Gongjiangou deformation intrusions of Taibai rock mass
(after Pearce, 1984)

征均反映巩坚沟变形侵入体形成于与俯冲-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(王鸿祯, 1997; Condie, 1999)。早在 20 世纪 80 年代后期, Hoffman 就强调了晚古元古代 2.0~1.8Ga 造山作用是一次超大陆地质事件(Hoffman, 1988),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 提出早于 1.5Ga 时,全球存在 3 个大的陆块群(Rogers, 1996),2000 年他提出 Columbia 超大陆存在的可能性(Rogers et al., 2000),2002 年又全面阐述了他对 Columbia 超大陆的认识(Rogers et al., 2002),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 1.9~1.5Ga 期间简略的 Columbia 超大陆复原图。

国内外地质学家普遍认为 2.1~1.6Ga 的碰撞事件使得 Columbia 超大陆各组成陆块拼合在一起(Rogers et al., 2002; 赵国春, 2002a, 2002b; Condie, 2002)。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基较为发育。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

(Patchett et al., 1986),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(赵国春, 2002a, 2002b; Rogers et al., 2002)。

华北克拉通基底可分为东部陆块、西部陆块和中部带(赵国春, 2002a, 2002b),在 1.85Ga 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,即吕梁运动使得我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(白瑾, 1993; 白瑾等, 1996; 金巍等 1996; Zhao et al., 2000; Wilde et al., 2002; 赵国春等, 2002a, 2002b)。陆松年等在研究了中国华北古大陆 2.0~1.8Ga 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(陆松年等, 2002)。

太白岩基巩坚沟变形侵入体位于北秦岭变质表壳岩系-古元古代秦岭岩群南侧,二者局部保留有侵入接触关系。本次在巩坚沟变形侵入体片麻状条带状中细粒黑云二长花岗岩中获得 1741 ± 12 Ma 锆石微区 U-Pb 同位素年龄,岩石地球化学特征显示为火山弧或同碰撞花岗岩特征,形成时代及岩浆构造属性与世界上其他地区与 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 1.8~1.6Ga; 美国西南部 Yavapai 和 Mazatzal 造山带中的岩基形成于 1.8~1.7Ga),也与我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期曾发生俯冲-碰撞,引起地壳侧向增生而在北秦岭地块南缘(秦岭岩群南侧)形成该岩浆岩带。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。

此外,本次测年得到单点锆石年龄 2523 ± 18 Ma、 371 ± 2 Ma、 206 ± 2 Ma,前者(2523.40 ± 17.72 Ma)显示了更早期的岩浆事件时代,与华北、印度大陆记录的 2.5 Ga 左右的碰撞造山事件(Krner et al., 1998; Condie, 2000; 李江海等, 2001)时代相吻合,由于数据较少,其地质意义尚难确定;后两个年龄数据与秦岭造山带影响较普遍的华力西运动、印支运动时限较为接近,可能代表这两期的变

质时代,但有待进一步验证。

5 结论

锆石微区 U-Pb 同位素测年结果表明,太白岩基巩坚沟变形侵入体片麻状条带状中细粒黑云二长花岗岩形成时代为 $1741 \pm 12\text{Ma}$,即中元古代早期。岩石地球化学资料显示其具俯冲-碰撞型花岗岩特征,太白岩基巩坚沟变形侵入体形成于与俯冲-碰撞有关的板块边缘侧向增生地带。

北秦岭造山带存在与造成 Columbia 超大陆拼合的造山运动相对应的热-构造事件,北秦岭造山带南缘发育的古元古代晚期的岩浆岩带可能是吕梁运动在该地区的表现,其与 Columbia 超大陆的形成应有着密切的联系。

致谢:成都理工大学的硕士研究生任光明参加了野外调研,西北大学地质系大陆动力学国家重点实验室的柳小明教授及林慈銮等在 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,在此表示诚挚的谢意。

参 考 文 献

- 白瑾. 1993. 华北陆台北缘前寒武纪地质及铅锌成矿作用. 北京:地质出版社,1~132.
- 白瑾,黄学光,王惠初,等. 1996. 中国前寒武纪地壳演化(第二版). 北京:地质出版社,1~259.
- 董云鹏,张国伟,朱炳泉. 2003. 北秦岭构造属性与元古代构造演化. 地球学报,24(1):3~10.
- 冯益民,曹宣铎,张二朋,胡云绪,潘晓萍,杨军录,贾群子,李文明. 2003. 西秦岭造山带的演化、构造格局和性质. 西北地质,36(1):1~10.
- 姜常义. 1998. 北秦岭侵入岩带与晋宁运动. 北京:地质出版社.
- 金巍,李树勋. 1996. 华北晚太古-早元古代高级变质区 p - T - t 轨迹地壳热动力学模式. 岩石学报,12:208~221.
- 李昌年. 1992. 火成岩微量元素岩石学. 武汉:中国地质大学出版社.
- 李江海,侯贵廷,黄雄南,张志强,钱祥麟. 2001. 华北克拉通对前寒武纪超大陆旋回的基本制约. 岩石学报,17(2):177~186.
- 陆松年,杨春亮,李怀坤,陈志宏. 2002. 华北古大陆与 Columbia 超大陆. 地学前缘,9(9):225~233.
- 邱家骧,曾广策. 1998. 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. 高校地质学报,4(4):393~405.
- 宋志高. 1993. 北秦岭丹凤群向西延入祁连造山带的地质意义. 中国地质科学院院报,15~26.
- 王鸿祯. 1997. 地球的节律与大陆动力学的思考. 地学前缘,4(1~2):1~12.
- 王中刚,于学元,赵振华. 1989. 稀土元素地球化学. 北京:科学出版社,76~93.
- 夏林圻,夏祖春,徐学义,等. 1991. 祁连-秦岭山系海相火山岩. 武汉:中国地质大学出版社,1~304.
- 肖恩云,张维吉,等. 1988. 北秦岭变质地层. 西安:西安交通大学出版社,1~320.
- 校培喜,张俊雅,王洪亮,雷鸿晏. 2000. 北秦岭太白岩体岩石谱系单位划分及侵位时代确定. 西北地质科学,21(2):37~45.
- 袁洪林,吴福元,高山,柳小明,徐平,孙德有. 2003. 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. 科学通报,48(14):1511~1520.
- 张本仁,张宏飞,赵志丹,凌文黎. 1996. 东秦岭及邻区壳、幔地球化学分区和演化及大地构造意义. 中国科学(D辑),26(3):201~208.
- 张本仁,高山,张宏飞,韩吟文,等. 2002. 秦岭造山带地球化学. 北京:科学出版社,1~187.
- 张二朋,牛道韞,霍有光,张兰芳,李益桂. 1993. 秦巴及邻区地质-构造特征概论. 北京:地质出版社,1~291.
- 张宏飞,张本仁,赵志丹,骆庭川. 1996. 东秦岭商丹构造带陆壳俯冲碰撞:花岗质岩浆源区同位素示踪证据. 中国科学(D辑),26:231~236.
- 张宏飞,张本仁,凌文黎,骆庭川,许继峰. 1995. 北秦岭古洋壳物质再循环:岛弧花岗质岩石源区同位素示踪证据. 科学通报,40(21):1987~1989.
- 张国伟,孟庆任,于在平,孙勇,周鼎武,郭安林. 1996. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征. 中国科学(D辑),26:193~200.
- 张国伟,张本仁,袁学诚,肖庆辉,等. 2001. 秦岭造山带与大陆动力学. 北京:科学出版社,1~855.
- 张国伟,郭安林,姚安平. 2004. 中国大陆构造中的西秦岭-松潘大陆构造结. 地学前缘,11(3):23~32.
- 张宗清,刘敦一,付国民. 1994. 北秦岭变质地层同位素年代研究. 北京:地质出版社,8~161.
- 张宗清,张国伟,付国民,唐索寒,宋彪. 1996. 秦岭变质地层年龄及其构造意义. 中国科学(D辑),26(3):216~222.
- 张维吉,孟宪恂,胡建民,等. 1994. 祁连-北秦岭造山带结合部位构造特征与造山过程. 西安:西北大学出版社,1~283.
- 赵国春,孙敏, Wilde S A. 2002. 华北克拉通基底构造单元特征及早元古代拼合. 中国科学(D辑),32(7):538~549.
- 赵国春,孙敏, Wilde S A. 2002. 早-中元古代 Columbia 超级大陆研究进展. 科学通报,47(18):1361~1364.
- 周鼎武,张成立,刘良,王居里,王焰,刘金平. 2000. 秦岭造山带及北邻地块元古代基性岩墙群研究综述及相关问题探讨. 岩石学报,(1):22~28.
- Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb . Chemical Geology, 192:59~79.
- Ballard J R, Palin J M, Williams I S, et al. 2001. Two ages of porphyry intrusion resolved for the super-giant Chuquibambilla copper deposit of northern Chile by ELA-ICP-MS and SHRIMP. Geology, 29:383~386.
- Condie K C. 1999. Juvenile crust, mantle and supercontinents in the last 1.6Ga. Gondwana Research, 2(4):543.
- Condie K C. 2000. Episodic continental growth models: Afterthoughts and extensions. Tectonophysics, 322:153~162.
- Condie K C. 2002. Breakup of a Paleoproterozoic supercontinent. Gondwana Research, 5:41~43.
- Hoffman P F. 1988. United plates of America, the birth of a craton: early Proterozoic assembly and growth of Laurentia. Ann. Rev. Earth Planet. Sci., 16:543~603.
- Horn I, Rudnick R L, McDonough W F. 2000. Precise elemental and

- isotope ratio determination by simultaneous solution nebulization and laser ablation-ICP-MS: Application to U-Pb geochronology. *Chemical Geology*, 167:405~425.
- Kosler J, Fonneland H, Sylvester P, et al. 2002. U-Pb dating of detrital zircons for sediment provenance studies—a comparison of laser ablation ICPMS and SIMS techniques. *Chemical Geology*, 182:605~618.
- Krner A, Cui W Y, WANG S Q, et al. 1998. Single zircon ages from high-grade rocks of the Jianping complex, Liaoning Province, NE China. *Journal of Asia Earth Sciences*, 16(5-6):519~532.
- Ludwig K R. 1991. Isoplot—A plotting and regression program for radiogenic-isotope data. US Geological Survey Open-File Report, 39:91~445.
- Patchett P J, Arndt N T. 1986. Nd isotopes and tectonics of 1.9~1.7 Ga crustal genesis. *Earth Planet. Lett.*, 78:329~338.
- Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrol.*, 25:956~983.
- Rogers J J W, Santosh M. 2002. Configuration of Columbia, a Mesoproterozoic supercontinent. *Gondwana Research*, 5(1):5~22.
- Rogers J J W. 1996. A history of continents in past three billion years. *J. Geol.*, 104:91~107.
- Rogers S J J W, Santosh M, Yoshida M. 2000. Mesoproterozoic supercontinent (Call for papers). *Gondwana Research*, (4):590~591.
- Wilde S A, Zhao G C, SUN M. 2002. Development of the North China Craton during the late Archaean and its final amalgamation at 1.8 Ga: some speculations on its position within a global Paleoproterozoic supercontinent. *Gondwana Research*, 5:85~94.
- Zhao G C, Cawood P A, Wilde S A, et al. 2000. Metamorphism of basement rocks in the Central Zone of the North China Craton: implication for Paleoproterozoic tectonic evolution. *Precamb. Res.*, 107:45~73.

LA-ICPMS Dating of Zircon U-Pb and Tectonic Significance of Gongjiangou Deformation Intrusions of Taibai Rock Mass, Shaanxi Province—— the Primary Study on the Response in North Qinling Orogenic Belt to Lüliang Movement

WANG Hongliang^{1,2)}, HE Shiping^{2,3)}, CHEN Juanlu^{2,3)}, XU Xueyi²⁾, SONG Yong¹⁾, DIWU Chunrong¹⁾

1) State Key Laboratory of Northwest University Continental Dynamics, Xian, Shaanxi, 710069

2) Xi'an Institute of Geology and Mineral Resource, 710054

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

Abstract

Taibai Granitoid Intrusions lying in the northern Shangxian-Danfeng structural belt in North Qiling is a deep and multiple rock mass formed in different ages. The host rocks of Gongjiangou Deformation Intrusions in the north of Taibai rock mass are gneissic adamellites, which intruded into the high-grade basement of Palaeoproterozoic (Qinling rock group). U-Pb isotope of zircons from gneissic adamellites are determined by LA-ICPMS in the key laboratory of continental dynamics of Northwest University, China, and yielded a zircon U-Pb age of 1741 ± 12 Ma. The CL characteristics and the ratio of $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ reveal that all zircons came from the same magma. The formed age of gneissic adamellites should be early Mesoproterozoic. According to petrologic and lithogeochemical characteristics, the characteristics of Gongjiangou Deformation Intrusions are most similar to subduction-syn collision granite, and the lithogenous matter might come from the upper crust. Evidences above show that there is a very strong event of thermo-movement early Mesoproterozoic in North Qinling orogenic belt. The thermo-movement may be the response to Lüliang Orogen by which the North China Craton formed. This new information is very significant to restudy the geotectonic situation and structure evolvement of Qinling orogenic belt, and the dynamic mechanism of China continent of proterozoic. It is also very significant for researching the relationship between North Qiling Orogenic Belt and Columbia super continent.

Key words: North Qinling Orogenic belt; Taibai rock mass; Gongjiangou Deformation Intrusions; U-Pb isotope; Lüliang Movement; Columbia super continent