

# 北秦岭西段唐藏石英闪长岩岩体的形成时代 及其地质意义

陈隽璐<sup>1,2</sup>, 徐学义<sup>1</sup>, 王洪亮<sup>1,3</sup>, 王宗起<sup>4</sup>, 曾佐勋<sup>2</sup>, 王超<sup>1</sup>, 李平<sup>1</sup>

(1. 西安地质矿产研究所, 陕西 西安 710054 2. 中国地质大学 地球科学学院, 湖北 武汉 430074;

3. 西北大学 地质学系, 陕西 西安 710069 4. 中国地质科学院 地质研究所, 北京 100037)

**摘要:** 在对陕西宝鸡一带进行地质大调查时, 发现北秦岭造山带西段的唐藏石英闪长岩体具有埃达克岩的特征。利用阴极发光、LA-ICPMS 方法对唐藏石英闪长岩的单颗粒锆石进行了 U-Pb 测年, 所选锆石晶体均呈长柱状, 振荡环带发育,  $Th/U = 0.33 \sim 1.10$  为典型的岩浆成因锆石。测试的 29 个样品的  $^{206}Pb/^{238}U$  加权平均年龄为  $(454.0 \pm 1.7) Ma$ , 各测点  $^{206}Pb/^{238}U$  表面年龄与加权平均年龄在误差范围内近于一致, 因此, 这一数值代表岩浆生成年龄。结合北秦岭造山带西段代表洋壳残片的关子镇、岩湾蛇绿(混染)岩形成时代, 说明早古生代古秦岭丹凤洋沿商丹带一线向北发生俯冲消减作用,  $(454.0 \pm 1.7) Ma$  可能代表俯冲消减的初始时期。研究结果为北秦岭早古生代造山作用过程、壳幔相互作用及大陆动力学的研究提供了重要的依据。

**关键词:** 锆石; 埃达克岩; LA-ICPMS 测年; 唐藏石英闪长岩体; 北秦岭西段

中图分类号: P588.12<sup>+</sup> 2 P597

文献标识码: A

文章编号: 1000-8527(2008)01-0045-08

## LA-ICPMS Zircon U-Pb Dating of Tangzang Quartz-diorite Pluton in the West Segment of North Qinling Mountains and Its Tectonic Significance

CHEN Jun-lu<sup>1,2</sup>, XU Xue-yi<sup>1</sup>, WANG Hong-liang<sup>1,3</sup>, WANG Zong-qi<sup>4</sup>,  
ZENG Zuoxun<sup>2</sup>, WANG Chao<sup>1</sup>, LI Ping<sup>1</sup>

(1. Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an, Shaanxi 710054, China; 2. Faculty of Earth Science, China University of  
Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China; 3. Faculty of Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069, China;

4. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

**Abstract** The Tangzang quartz-diorite pluton which has the characteristics of Adakite was founded in a geological survey in Baoji, Shaanxi. Zircons from the quartz-diorite pluton are generally colorless and long columnar with obvious magmatic zone. The LA-ICPMS zircon U-Pb geochronology of 29 samples from the pluton with  $Th/U$  ratios from 0.33 to 1.10 yielded a weighted mean  $^{206}Pb/^{238}U$  age of  $(454.0 \pm 1.7) Ma$  as the magmatic crystalline age of the protolith of the quartz-diorite. Integrated the formation age of the Guanzizhen and Yanwan ophiolites in the west segment of north Qinling orogenic belt, it is indicated that the subduction process of Danfeng ocean along the Shangdan belt had existed, and the age of  $(454.0 \pm 1.7) Ma$  is the early period of the subduction process. The result provides an important evidence on the research of orogenic process, mantle-crust interaction, and continental dynamics of north Qinling mountains.

**Key words** zircon; Adakite; LA-ICPMS dating; Tangzang quartz-diorite pluton; west segment of north Qinling orogenic belt

收稿日期: 2007-09-03 改回日期: 2007-12-18 责任编辑: 潘令枝。

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2006BAB01A11); 中国地质调查局国土资源大调查研究项目 (1212010610319, 1212010611807)。

作者简介: 陈隽璐, 男, 高级工程师, 博士研究生, 1964年出生, 构造地质学专业, 主要从事区域地质构造研究工作。

E-mail: chjl0116@163.com。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

0 引言

自 Defant和 Drummnd 1990 年提出埃达克岩 (A dak ite)<sup>[1]</sup>这一术语, 对其研究已成为当前地球动力学领域的前沿课题<sup>[2]</sup>。埃达克岩的研究, 对探讨弧下岩浆作用过程、壳幔相互作用、大陆地壳的生长、演化及某些造山带古构造演化研究具有重要意义<sup>[3]</sup>。

北秦岭地区已报道的埃达克 (质) 岩仅有新元古代商南和吊庄岩体<sup>[3]</sup>、古生代灰池子岩体<sup>[4]</sup>等, 这些岩体均出露于北秦岭造山带东部地区。笔者在北秦岭造山带西段陕西宝鸡一带进行地质大调查时, 发现陕西凤县唐藏石英闪长岩体 (简称唐藏岩体, 下同) 具有典型的埃达克岩特征。对该岩体的生成年龄前人有不同认识, 严阵<sup>[5-6]</sup>据 K-Ar 年龄 (314.7 Ma) 将其置于华力西期, 陕西地质矿产局区域地质矿产研究院 1996 年将其划归侏罗纪<sup>①</sup>, 《1:25 万宝鸡市幅区域地质调查报告》中将其与灰池子、红花铺英云闪长岩对比, 归为早古生代<sup>②</sup>。本文运用 LA-ICPMS 高精度同位素测年技术, 对唐藏石英闪长岩体进行年代学测试研究, 以约束争议较大的丹凤岩群的时限, 并探讨加里东期北秦岭壳幔相互作用方式及造山作用过程。

1 地质特征

研究区位于北秦岭造山带西段的陕西凤县唐藏一带。由商丹构造带往北, 该地区出露的主要地层依次有早古生代丹凤岩群、古元古代秦岭岩群、早古生代草滩沟群及石炭纪草凉驿组; 再往北被宝鸡复式杂岩体侵入占位。唐藏石英闪长岩体位于商丹构造带北侧 (图 1), 呈不规则岩株状侵入于早古生代丹凤岩群变质火山岩-碎屑岩之中, 岩体出露面积约 20 km<sup>2</sup>, 与围岩之间呈清楚的侵入接触关系, 局部呈构造接触。岩体边部呈弱的片麻状构造, 片麻理走向与区域北西向主构造线展布方向近于平行; 岩体中发育较多的角闪质暗色包体, 暗色包体形状为透镜状、不规则状, 长轴略呈北西向定向排列, 大小在 2~20 cm 之间。暗色包体与唐藏岩体间界线为清楚一过渡关系。

唐藏岩体呈灰绿色, 块状构造, 边部糜棱岩化较强, 中细粒半自形结构。其主要矿物成分包括: 斜长石, 为半自形板状, An=30, 具环带构造, 约占矿物总量的 60%~70%; 钾长石, 它形粒状, 为微斜长石和条纹长石, 约占矿物总量的 5%~10%; 石英, 它形粒状, 约占矿物总量的

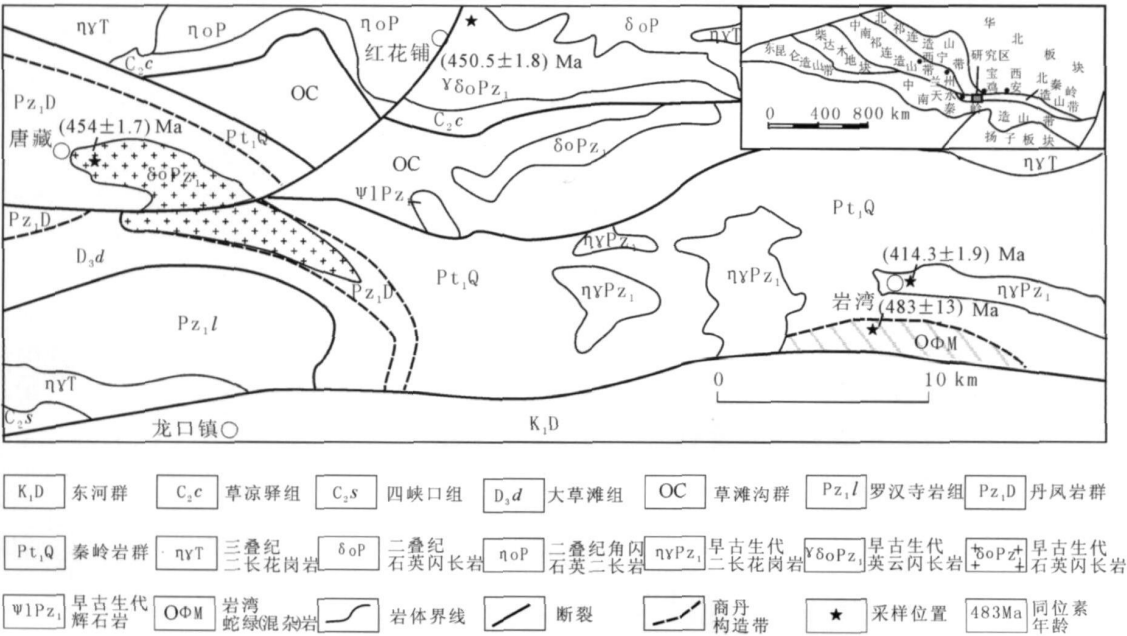


图 1 唐藏石英闪长岩体地质简图

Fig 1 Geological sketch map of Tangzang quartz-diorite pluton

① 孙民生. 1:5 万辛家庄幅区域地质调查报告. 陕西省地质矿产局区域地质矿产研究院. 1996.  
② 陈隼路. 1:25 万宝鸡市幅区域地质调查报告. 陕西省地质调查研究院. 2004.  
© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

5% ~ 10%；暗色矿物为角闪石、黑云母，约占矿物总量的 5% ~ 20%，其中角闪石呈半自形柱状，黑云母呈半自形片状。副矿物为磁铁矿、锆石。岩石遭受绢云母化、绿帘石化、绿泥石化、碳酸盐化蚀变。

2 样品采集及分析结果

2.1 样品采集及制备

样品采于陕西凤县唐藏小峪河河道旁，采样点 GPS 坐标为 E106°35′12.6″、N34°05′24.5″。野外采集新鲜岩石样品 40 kg，室内经人工破碎至 80 目，按常规方法分选锆石，再在双目镜下挑选出无包裹体、无裂纹、透明度好的单颗粒锆石作为测试样品。将测试样品置于环氧树脂中，待固结后将锆石颗粒抛磨至其厚度的二分之一左右，使锆石内部充分暴露，然后进行锆石的光学、CL 显微图像及 LA-ICPMS 分析。

2.2 锆石特征

锆石 CL 图像 (图 2) 在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。所选锆石晶体呈无色、淡黄色，柱状，形态较完整，晶体棱角分明，振荡环带清楚。锆石晶体一般长轴大于 120 μm，单颗粒锆石长宽比介于 1.35 ~ 3.36 之间，Th/U 比值较高，介于 0.33 ~ 1.10 之间，为典型的岩浆成因锆石。

2.3 测试方法

激光剥蚀等离子体质谱 (LA-ICPMS) 锆石微区原位单点定年测试，在西北大学大陆动力学国家重点实验室进行测定，在 Agilent7500 型 ICP-MS 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 GeoLas 200M 光学系统的联机上进行。激光束斑直径为 30 μm，激光剥蚀样品的深度为 20 ~ 40 μm。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 SRM 610 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 5 个测点的样品测定，加测标样一次。在所测锆石样品分析 10 个点之前、后各测 1 次 NIST SRM 610。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 SRM 610 作为外标，<sup>29</sup>Si 作为内标。详细分析步骤和数据处理方法参见相关文献<sup>[7-10]</sup>

2.4 测试结果及精度分析

锆石 U-Pb 年龄采用 Glitter (ver4.0 Mac Quarie 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 的方法<sup>[11]</sup>，用 LAM-ICPMS Common Lead Correction (ver3.15) 对其进行了普通铅校正，所有样品均采用 <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄，年龄计算及谐和图采用 Isoplot (ver3.0) 完成<sup>[12-13]</sup>。测试结果见表 1，单个数据点的误差均为 1σ。

由唐藏岩体的锆石 U-Pb 年龄谐和图 (图 3) 可以看出，各测点的 <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄密集分布于 454.7 Ma 附近，各测点具有非常好的一致表面年龄，并聚集在谐和线上及其附近很小的区域范围内，说明普通 Pb 丢失不大，MSWD = 1.6，测年数据的精度较高。

根据所测 29 个样点数据获得 <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 加权平均年龄为 (454.7 ± 1.9) Ma (图 4)，与各测点 <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 的表面年龄一致，并与振荡环带从内到外的表面年龄也一致，如图 2 中 21、22 点等处的表面年龄；因此，这一数值代表岩浆形成年龄。

3 地质构造意义

Defant 和 Drummond 厘定的埃达克岩，产于现代火山弧，由俯冲的年轻大洋热板片熔融形成<sup>[14]</sup>；而高镁埃达克岩一般被认为源于俯冲板片熔融与地幔橄榄岩发生的反应<sup>[15-18]</sup>。

唐藏岩体以较多长英质暗色包体为特征，矿物组合显示为含角闪石钙碱性花岗岩类 (ACG)，属俯冲作用的产物<sup>[19-20]</sup>。唐藏岩体的岩石化学特征如下： $w(SiO_2) = 62.02\% \sim 64.26\% (> 56\%)$ ， $w(Al_2O_3) = 16.55\% \sim 17.45\% (> 15\%)$ ， $w(Na_2O) = 4.99\% \sim 6.91\% (\geq 3.5\%)$ ， $w(Na_2O)/w(K_2O) > 2.49$  为钠质； $\delta = 2.24 \sim 4.24$  A/CNK = 0.82 ~ 1.01，为偏铝质钙碱性系列岩； $w(MgO) = 1.71\% \sim 2.09\%$ ， $Mg^\# [Mg^{2+}/(Mg^{2+} + Fe^{total})] = 0.59 \sim 0.63$ ， $w(Y) = 11.6 \times 10^{-6} \sim 13.8 \times 10^{-6} (< 18 \times 10^{-6})$ ， $w(Yb) = 0.96 \times 10^{-6} \sim 1.14 \times 10^{-6} (< 1.9 \times 10^{-6})$ ， $w(Sr) = 1.069 \times 10^{-6} \sim 1.296 \times 10^{-6} (> 400 \times 10^{-6})$ ， $w(Sr)/w(Y) = 80.98 \sim 108.19 (\geq 40)$ ，大离子亲石元素 (K、Rb、Sr、Ba、Th) 等相对富集，高场强元素 (Nb、Ta、Ti、Zr、Y) 等相对亏损； $w(\sum LREE)/w(\sum HREE) = 17.72 \sim 25.82$ ，轻稀土强烈富集，重稀土亏损， $\delta Eu = 0.87 \sim 1.0$ ，无或具 Eu 弱负异常。唐藏岩体的岩

表 1 唐藏岩体单颗粒锆石 U-Pb 同位素测定结果  
Table 1 Results of U-Pb isotopic dating for the single-grain zircon from Tangzang quartz-diorite pluton

样号	比值				年龄/Ma				组成/(μg/g)								Th/U
	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} \pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} \pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \pm 1\sigma$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th} \pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} \pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} \pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \pm 1\sigma$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th} \pm 1\sigma$	$^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}$	$^{232}\text{Th}$	$^{238}\text{U}$			
TZ1TW01	0.059 6 ± 0.002	0.611 6 ± 0.016	0.074 5 ± 7E-04	0.026 85 ± 5E-04	589.1 ± 58	484.6 ± 9.78	463.0 ± 3.97	535 ± 8.94	3.45	133	8.2	8.9	211.6	463.86	0.46		
TZ1TW03	0.057 18 ± 0.001	0.567 9 ± 0.013	0.072 1 ± 6E-04	0.022 47 ± 3E-04	498.1 ± 53	456.7 ± 8.25	448.5 ± 3.59	449 ± 6.19	4.10	194	12.0	16.5	405.6	665.27	0.61		
TZ1TW04	0.055 56 ± 0.001	0.552 6 ± 0.011	0.072 2 ± 6E-04	0.021 97 ± 3E-04	434.5 ± 49	446.7 ± 7.42	449.1 ± 3.45	439 ± 5.17	<3.72	238	15.0	24.4	584.4	809.10	0.72		
TZ1TW05	0.058 77 ± 0.002	0.585 0 ± 0.018	0.072 2 ± 7E-04	0.023 63 ± 5E-04	558.7 ± 70	467.7 ± 11.67	449.4 ± 4.37	472 ± 9.39	<4.03	182	11.0	12.6	295.5	628.23	0.47		
TZ1TW06	0.053 59 ± 0.001	0.539 4 ± 0.013	0.073 0 ± 6E-04	0.024 25 ± 4E-04	353.6 ± 59	438.0 ± 8.79	454.3 ± 3.79	484 ± 7.87	<3.65	183	11.0	12.1	267.6	605.31	0.44		
TZ1TW07	0.054 57 ± 0.001	0.543 7 ± 0.012	0.072 3 ± 6E-04	0.023 23 ± 3E-04	394.7 ± 52	440.8 ± 7.90	449.8 ± 3.57	464 ± 6.53	<4.22	244	15.0	17.1	400.8	829.26	0.48		
TZ1TW08	0.058 32 ± 0.002	0.581 5 ± 0.017	0.072 3 ± 7E-04	0.023 23 ± 4E-04	541.1 ± 68	465.4 ± 11.16	450.1 ± 4.25	464 ± 8.38	<4.06	157	9.7	13.0	313.9	535.31	0.59		
TZ1TW09	0.056 30 ± 0.002	0.564 2 ± 0.019	0.072 7 ± 8E-04	0.022 28 ± 5E-04	463.3 ± 78	454.3 ± 12.64	452.3 ± 4.64	445 ± 9.32	<3.87	137	8.4	10.9	268.4	469.87	0.57		
TZ1TW10	0.054 87 ± 0.001	0.544 1 ± 0.009	0.071 9 ± 5E-04	0.022 34 ± 2E-04	406.8 ± 42	441.1 ± 6.08	447.7 ± 3.21	447 ± 4.52	4.21	188	11.0	16.9	393.2	615.41	0.64		
TZ1TW11	0.055 83 ± 0.001	0.563 9 ± 0.013	0.073 2 ± 6E-04	0.024 69 ± 4E-04	445.3 ± 52	454.1 ± 8.17	455.6 ± 3.63	493 ± 8.23	<4.27	137	8.4	6.7	146.7	445.12	0.33		
TZ1TW12	0.057 50 ± 0.001	0.580 3 ± 0.011	0.073 2 ± 6E-04	0.022 89 ± 3E-04	510.3 ± 47	464.7 ± 7.39	455.3 ± 3.50	457 ± 5.35	3.68	206	13.0	17.7	411.5	693.26	0.59		
TZ1TW13	0.059 54 ± 0.001	0.596 4 ± 0.011	0.072 6 ± 6E-04	0.025 65 ± 3E-04	586.8 ± 45	475.0 ± 7.27	452.0 ± 3.45	512 ± 5.92	<4.17	176	11.0	16.9	366.6	594.79	0.62		
TZ1TW14	0.059 59 ± 0.002	0.588 6 ± 0.015	0.071 6 ± 6E-04	0.023 80 ± 4E-04	588.9 ± 56	469.9 ± 9.29	445.8 ± 3.83	475 ± 7.40	<4.15	161	11.0	15.4	330.8	541.30	0.61		
TZ1TW15	0.055 89 ± 0.001	0.569 1 ± 0.011	0.073 8 ± 6E-04	0.024 95 ± 3E-04	447.7 ± 47	457.4 ± 7.36	459.1 ± 3.54	498 ± 6.27	<4.41	174	11.0	12.4	265.3	554.81	0.48		
TZ1TW16	0.056 26 ± 0.002	0.563 8 ± 0.015	0.072 7 ± 7E-04	0.023 39 ± 4E-04	462.0 ± 62	454.0 ± 9.73	452.1 ± 4.00	467 ± 8.08	<3.11	142	8.5	10.5	249.0	477.93	0.52		
TZ1TW17	0.057 24 ± 0.001	0.572 9 ± 0.011	0.072 6 ± 6E-04	0.023 42 ± 3E-04	500.4 ± 48	459.9 ± 7.37	451.5 ± 3.51	468 ± 6.63	<4.04	150	9.3	8.5	175.4	449.89	0.39		
TZ1TW18	0.056 61 ± 0.001	0.574 9 ± 0.013	0.073 6 ± 6E-04	0.023 59 ± 4E-04	475.7 ± 55	461.2 ± 8.66	458.0 ± 3.78	471 ± 7.78	3.66	141	8.7	8.4	198.5	480.36	0.41		
TZ1TW19	0.057 36 ± 0.001	0.581 2 ± 0.010	0.073 5 ± 6E-04	0.023 07 ± 3E-04	505.1 ± 43	465.2 ± 6.63	456.9 ± 3.39	461 ± 5.38	<3.82	155	9.9	10.9	251.5	515.89	0.49		
TZ1TW20	0.056 90 ± 0.001	0.575 4 ± 0.010	0.073 3 ± 6E-04	0.023 42 ± 2E-04	487.0 ± 44	461.5 ± 6.68	456.0 ± 3.40	468 ± 4.72	<4.29	205	13.0	22.5	518.9	695.59	0.75		
TZ1TW21	0.055 92 ± 0.001	0.569 8 ± 0.010	0.073 9 ± 6E-04	0.022 33 ± 3E-04	448.9 ± 42	457.9 ± 6.49	459.4 ± 3.41	447 ± 5.45	<4.15	205	12.0	12.0	283.5	673.98	0.42		
TZ1TW22	0.058 06 ± 0.001	0.587 1 ± 0.011	0.073 3 ± 6E-04	0.019 78 ± 2E-04	531.6 ± 45	469.0 ± 7.08	456.0 ± 3.49	396 ± 3.75	9.51	247	22.0	38.9	865.3	791.72	1.09		
TZ1TW23	0.056 93 ± 0.002	0.578 3 ± 0.017	0.073 6 ± 7E-04	0.023 41 ± 4E-04	488.4 ± 66	463.3 ± 10.72	457.9 ± 4.28	468 ± 8.71	<4.82	202	13.0	14.7	316.6	630.97	0.50		
TZ1TW24	0.057 54 ± 0.002	0.586 9 ± 0.024	0.073 9 ± 9E-04	0.022 87 ± 4E-04	511.9 ± 90	468.9 ± 15.24	459.8 ± 5.24	457 ± 8.05	<4.11	34	2.1	5.0	112.7	108.97	1.03		
TZ1TW25	0.057 48 ± 0.002	0.593 4 ± 0.015	0.074 8 ± 7E-04	0.021 94 ± 3E-04	509.6 ± 58	473.0 ± 9.57	465.2 ± 4.04	439 ± 5.67	<3.87	269	16.0	48.3	964.8	880.84	1.10		
TZ1TW26	0.055 42 ± 0.002	0.557 9 ± 0.015	0.073 0 ± 7E-04	0.022 77 ± 4E-04	428.9 ± 60	450.2 ± 9.47	454.1 ± 4.04	455 ± 7.53	<5.92	316	19.0	23.3	584.3	1 112.41	0.53		
TZ1TW27	0.058 00 ± 0.001	0.594 6 ± 0.012	0.074 3 ± 6E-04	0.022 93 ± 3E-04	529.2 ± 48	473.8 ± 7.65	462.1 ± 3.67	458 ± 5.46	<3.27	191	12.0	17.4	409.7	639.24	0.64		
TZ1TW28	0.056 49 ± 0.002	0.572 7 ± 0.019	0.073 5 ± 8E-04	0.022 32 ± 5E-04	471.1 ± 75	459.7 ± 12.22	457.1 ± 4.71	446 ± 9.11	<5.16	242	15.0	16.4	379.4	805.46	0.47		
TZ1TW29	0.056 89 ± 0.002	0.579 1 ± 0.023	0.073 8 ± 9E-04	0.022 64 ± 6E-04	486.4 ± 91	463.9 ± 15.08	459.0 ± 5.44	452 ± 12.50	<5.74	260	16.0	18.9	470.4	896.21	0.52		
TZ1TW30	0.054 35 ± 0.002	0.551 8 ± 0.020	0.073 6 ± 8E-04	0.021 41 ± 5E-04	385.6 ± 83	446.2 ± 13.25	457.8 ± 4.98	428 ± 9.80	<5.72	261	16.0	18.8	464.8	889.53	0.52		

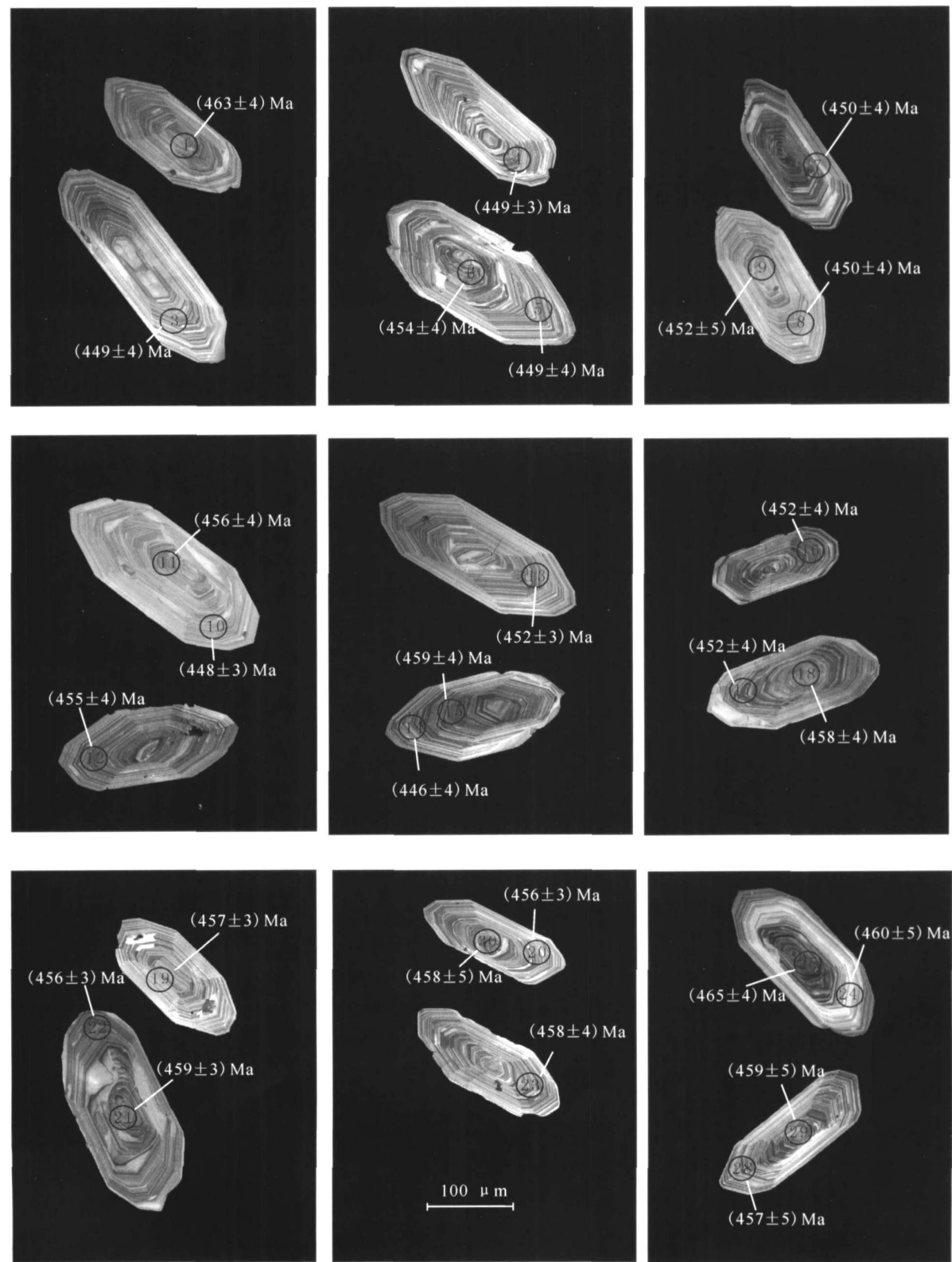


图 2 唐藏岩体部分锆石阴极发光照片

(圈内数字表示 U-Pb 分析点, 其他数字表示  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  表面年龄)

Fig 2 CL images of zircons from Tangzang quartz-diorite pluton

( numbers in the circles represent the analysis spots of U-Pb and the other numbers represent ages of  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ )

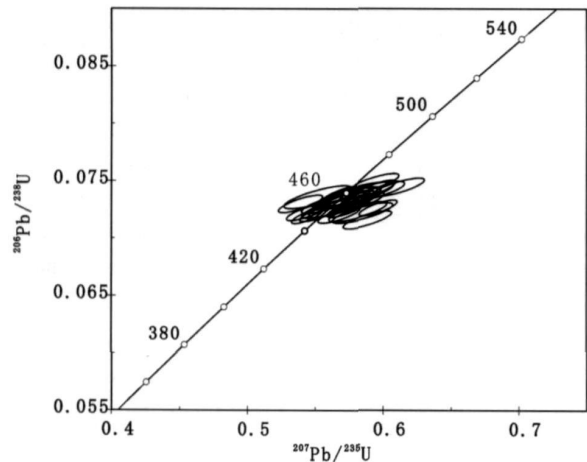


图 3 唐藏岩体锆石 U-Pb 年龄谐和图  
Fig. 3 Concordia diagram of U-Pb zircon dating results for samples from Tangzang quartz-diorite pluton

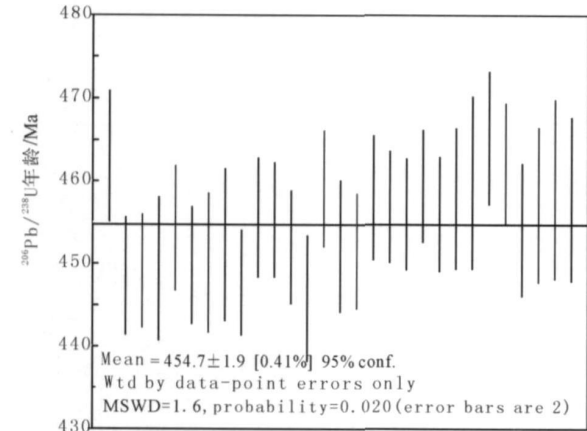


图 4 唐藏岩体锆石  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄  
Fig. 4  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  weighted mean ages of zircons from Tangzang quartz-diorite pluton

石地球化学特征与典型的 Adakite 岩的特征相似<sup>[2, 21-28]</sup>，在  $w(\text{Sr})/w(\text{Y}) - w(\text{Y})$  图解中投入 Adakite 区 (图 5)；高的  $Mg^\# (> 0.5)$ ， $w(\text{Ni}) > 15 \times 10^{-6}$ ， $w(\text{Cr}) > 28 \times 10^{-6}$ ，表明唐藏岩体为高镁埃达克岩<sup>[26, 29-30]</sup> (详细岩石化学测试数据及分析论述将另文发表)。推测其源岩为俯冲的低钾拉斑玄武岩或 MORB，在发生部分熔融后形成的初始埃达克质岩浆在向上运移的过程中与上覆地幔楔发生反应，造成岩浆  $Mg^\#$  升高， $\text{Cr}$   $\text{Ni}$  含量变高<sup>[26, 31]</sup>，形成于板块消减带。

目前对丹凤岩群的形成时代及构造环境研究认为，丹凤岩群是形成于岛弧或大陆边缘的蛇绿岩，其时代为早古生代<sup>[32-33]</sup>；唐藏岩体的 (454.7 ± 1.9) Ma 形成年龄，较好地约束了丹凤岩群形成

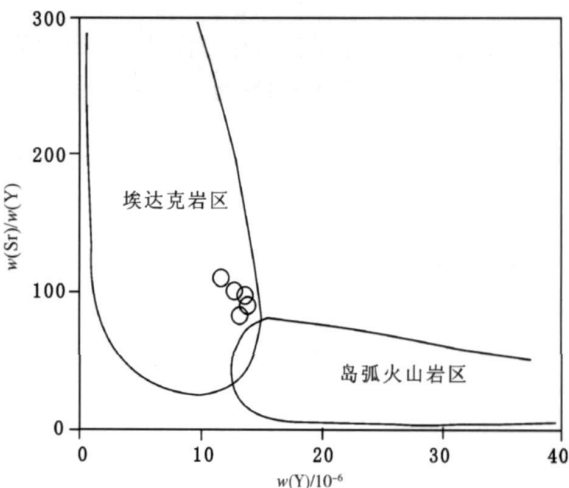


图 5 唐藏岩体  $w(\text{Sr})/w(\text{Y}) - w(\text{Y})$  图解  
(底图据 A theton M P<sup>[29]</sup>)  
Fig. 5 Sr/Y-Y diagram for Tangzang quartz-diorite pluton (modified after A theton M P<sup>[29]</sup>)

的上限；其源岩性质及就位机制，反映了该区早古生代下部地壳性质及其壳幔相互作用方式。

近年来在研究区的地质大调查发现，出露于北秦岭西段商丹构造带中的甘肃天水市关子镇、陕西凤县岩湾、太白县鹦鸽咀一带发育早古生代蛇绿 (混杂) 岩及周至县黑河小王涧 MORB 型玄武岩；其中，关子镇蛇绿岩形成时代为 (544 ± 47) Ma (全岩 Sm-Nd 等时线测定)<sup>[34]</sup> ~ (471.0 ± 1.4) Ma (锆石 LA-ICPMS 测定)<sup>[35]</sup>，岩湾蛇绿混杂岩形成年龄为 (483 ± 13) Ma (另文阐述)，小王涧 MORB 型玄武岩中发育的俯冲型淡色花岗岩形成于 (442 ± 7) Ma (SHRIMP 法测定)<sup>[36]</sup>。唐藏埃达克岩的发现，说明早古生代时期沿商丹一线存在的古秦岭商丹洋向北发生了俯冲消减作用。

一般认为，产于岩浆弧的埃达克岩形成于俯冲初期。在区域上与唐藏岩体形成于同一构造环境的甘肃天水市流水沟中基性岩浆杂岩体，其地球化学特征暗示其形成于岛弧环境，锆石 U-Pb 同位素年龄为 (507.5 ± 3.0) Ma (采用 TMS 法测定)<sup>[37-38]</sup>。陕西凤县红花铺俯冲型英云闪长岩体锆石 U-Pb 年龄为 (450.0 ± 1.8) Ma (LA-ICPMS 法测定)<sup>[39]</sup>，甘肃两当县张家庄草滩沟群岛弧型中基性火山岩锆石 LA-ICPMS 年龄为 (456.0 ± 1.8) Ma (另文阐述)，东邻陕西丹凤县资峪南沟丹凤岩群奥长花岗岩的单颗粒锆石  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄为 (487 ± 6) Ma<sup>[40]</sup>，具有埃达克质岩性质的灰池子岩体<sup>[41]</sup>形成年龄为 (450~486) Ma<sup>[41-42]</sup>。考虑到锆

石 U-Pb TMS 法测年可能为混合年龄，因而认为 (454.7 ± 1.9) Ma (晚奥陶世早期) 代表北秦岭古洋盆的开始俯冲时期。这一结论与前人认为北秦岭俯冲初始时限为奥陶纪<sup>[43]</sup>、中奥陶世<sup>[33]</sup>、志留纪初<sup>[44-45]</sup>等稍有不同；因此，对北秦岭造山作用过程的细节还有待更深入的研究。

4 结 论

北秦岭西段唐藏石英闪长岩岩体的锆石 U-Pb 年龄为 (454.7 ± 1.9) Ma，为岩体的生成年龄，这一成果较好地约束了丹凤岩群的上限年龄。结合区域地质资料，认为 (454.7 ± 1.9) Ma 为早古生代古秦岭丹凤洋俯冲的初始时限，从而为早古生代北秦岭构造演化细节提供了新的资料，并为研究区在该时期的壳幔相互作用、大陆动力学研究提供了重要依据。

致谢：在成文过程中，得到张维吉教授、冯益民研究员的帮助，在此深表谢意；同时感谢西北大学大陆动力学国家重点实验室第五春荣、张红、柳小明等在 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 测试中给予的热情指导和帮助！

参考文献:

[ 1 ] Defant M J, Drummond M S. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subduction lithosphere [ J ]. *Nature*, 1990, 347: 662-665.

[ 2 ] 张旗, 王焰, 刘伟, 等. 埃达克岩的特征及其意义 [ J ]. *地质通报*, 2002, 21(7): 431-435.

[ 3 ] 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): 372-382.

[ 4 ] 李伍平, 王涛, 王晓霞. 北秦岭灰池子花岗岩质式岩体的源岩讨论——元素—同位素地球化学制约 [ J ]. *地球科学——中国地质大学学报*, 2001, 26(3): 269-278.

[ 5 ] 严阵. 陕西省花岗岩 [ M ]. 西安: 西安交通大学出版社, 1985: 73-88.

[ 6 ] 严阵. 秦巴花岗岩 [ M ]. 北京: 地图出版社, 1988: 231-320.

[ 7 ] Horn J, 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.

[ 8 ] 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-ICP-MS and SHRIMP [ J ]. *Geology*, 2001, 29: 383-386.

[ 9 ] Kosler J, Fjornerland 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.

[ 10 ] 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.

[ 11 ] Andersen T. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report <sup>204</sup>Pb [ J ]. *Chemical Geology*, 2002, 192: 59-79.

[ 12 ] Ludwig K R. Isoplot: A plotting and regression program for radiogenic isotope data [ J ]. *US Geological Survey Open-File Report*, 1991, 39: 91-445.

[ 13 ] 陈隽璐, 何世平, 王洪亮, 等. 秦岭—祁连山带接合部位基性岩墙的 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄及地质意义 [ J ]. *岩石矿物学杂志*, 2006, 25(6): 455-462.

[ 14 ] Sten C R, Kilian R. Role of the subducted slab, mantle wedge and continental crust in the generation of adakites from the Andean Austral volcanic zone [ J ]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1996, 123: 263-281.

[ 15 ] Kay R W. Alutian magnesian andesites melts from subduction Pacific ocean crust [ J ]. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 1978, 4: 117-132.

[ 16 ] Sajona F G, Bellon H, Maury R C, et al. Magmatic response to abrupt changes in geodynamic settings: Pliocene-Quaternary calc-alkaline and Nb-enriched lavas from Mindanao (Philippines) [ J ]. *Tectonophysics*, 1994, 237: 47-72.

[ 17 ] Martin H. Adakitic magmas: modern analogues of Archean granitoids [ J ]. *Lithos*, 1999, 46: 411-429.

[ 18 ] Xu J F, Wang Q, Yu X Y. Geochemistry of high-Mg andesites and Adakitic andesite from the Sanchazi block of the Min-Lue ophiolitic melange in the Qinling mountains, Central China: evidence of partial melting of the subducted paleo-Tethyan crust [ J ]. *Geochimical Journal*, 2000, 34: 359-377.

[ 19 ] Barbarin B. Granitoids: main petrogenetic classifications in relation to origin and tectonic setting [ J ]. *Geological Journal*, 1990, 25: 227-238.

[ 20 ] Barbarin B. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments [ J ]. *Lithos*, 1999, 46: 605-626.

[ 21 ] Drummond M S, Defant M J. A model for trondhjemite-tonalite-dacite genesis and crustal growth via slab melting: Archean to modern comparison [ J ]. *Geophysical Research*, 1990, 95: 21503-21521.

[ 22 ] Kay S M, Ramos V A, Marques M. Evidence in Cemo Pampa volcanic rocks for slab-melting prior to ridge-trench collision in southern South America [ J ]. *Journal of Geology*, 1993, 101: 703-714.

[ 23 ] 钱青. Adakite 的地球化学特征及成因 [ J ]. *岩石矿物学杂志*, 2001, 20(3): 297-306.

[ 24 ] 王焰, 张旗, 钱青. 埃达克岩 (adakite) 的地球化学特征及其构造意义 [ J ]. *地质科学*, 2000, 35(2): 251-256.

[ 25 ] 张旗, 王焰, 王元龙. 埃达克岩与构造环境 [ J ]. *大地构造与成矿学*, 2003, 27(2): 101-108.

[ 26 ] 张旗, 许继峰, 王焰, 等. 埃达克岩的多样性 [ J ]. *地质*

通报, 2004 23(9- 10): 959- 965

[ 27] 罗照华, 柯珊, 谌宏伟. 埃达克岩的特征、成因及构造意义 [ J]. 地质通报, 2002 21(7): 436- 440.

[ 28] 董申保, 田伟. 埃达克岩的原义、特征与成因 [ J]. 地学前缘, 2004 11(4): 585- 594

[ 29] Kushiro I. Partial melting of mantle wedge and evolution of island arc crust [ J]. Geophysical Research, 1990, 95: 15929 - 15939

[ 30] Arculus R J. Aspects of magma genesis in arcs [ J]. Lithos, 1994 33: 189- 208

[ 31] 邓晋福, 罗照华, 苏尚国, 等. 岩石成因、构造环境与成矿作用 [ M ]. 北京: 地质出版社, 2004

[ 32] 张国伟. 秦岭造山带的形成及其演化 [ M ]. 西安: 西北大学出版社, 1988 1- 74

[ 33] 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 519- 528.

[ 34] 裴先治, 丁仁平, 胡波, 等. 西秦岭天水地区关子镇蛇绿岩的厘定及其意义 [ J]. 地质通报, 2004 23( 12): 1202 - 1208

[ 35] 杨钊, 董云鹏, 柳小明, 等. 西秦岭天水地区关子镇蛇绿岩锆石 LA- ICP- MS U- Pb定年 [ J]. 地质通报, 2006, 25( 11): 1321- 1325.

[ 36] 阎全人, 陈隽璐, 王宗起, 等. 北秦岭小王涧枕状熔岩中淡色侵入岩的地球化学特征、SHR MP 年龄及地质意义 [ J]. 中国科学 ( D 辑 ), 2007 37( 10): 1301- 1313

[ 37] 裴先治, 李勇, 陆松年, 等. 西秦岭天水地区关子镇中基性岩浆杂岩体锆石 U- Pb 年龄及其地质意义 [ J]. 地质通报, 2005 24( 1): 23- 29.

[ 38] 裴先治, 李佐臣, 丁仁平, 等. 西秦岭天水地区岛弧型基性岩浆杂岩的地球化学特征及形成时代 [ J]. 中国地质, 2005 32( 4): 588- 597.

[ 39] 王洪亮, 何世平, 陈隽璐, 等. 北秦岭西段红花铺俯冲型侵入体 LA- ICP- MS 定年及其地质意义 [ J]. 现代地质, 2006 20( 4): 536- 544.

[ 40] 孙勇, 于在平. 夭折了的东秦岭加里东运动 [ M ] / 叶连俊. 秦岭造山带学术讨论会论文集. 西安: 西北大学出版社, 1991 167- 173

[ 41] 张宏飞, 骆庭川, 张本仁. 北秦岭漂池岩体的源区特征及其形成的构造环境 [ J]. 地质论评, 1996 42( 3): 209 - 214

[ 42] 陈能松, 韩郁箫, 游振东, 等. 豫西东秦岭造山带核部杂岩全岩 Sm- Nd Rb- Sr 和单晶锆石 <sup>207</sup>Pb- <sup>206</sup>Pb 计时及其地壳演化 [ J]. 地球化学, 1991 20( 3): 219- 228.

[ 43] 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.

[ 44] 张维吉, 王全庆, 胡能高, 等. 东秦岭地质走廊研究 [ M ]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1988

[ 45] 裴先治. 东秦岭商丹构造带的组成与构造演化 [ M ]. 西安: 西安地图出版社, 1997.