秦岭造山带东段秦岭岩群的年代学和地球化学研究*

时毓 于津海** 徐夕生 邱检生 陈立辉

SHI Yu, YU JinHai**, XU XiSheng, QIU JianSheng and CHEN LiHui

内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室, 南京大学地球科学与工程学院, 南京 210093

State Key Laboratory for Mineral Deposits Research, School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjin 210093, *China*

2009-03-07 收稿, 2009-05-16 改回.

Shi Y, Yu JH, Xu XS, Qiu JS and Chen LH. 2009. Geochronology and geochemistry of the Qinling Group in the eastern Qinling Orogen. *Acta Petrologica Sinica*, 25(10):2651-2670

Abstract Petrology and geochemistry of the basement metamorphic rocks from the Qinling Group in the Luonan, Ningshan and Changan County from Shanxi Province and Xichuan County from Henan Province of the Eastern Qinling Orogen indicate that the samples are mainly composed of metavolcanic rocks and metasedimentary rocks. LA ICP-MS zircon U-Pb dating results suggest that three orthometamorphites were all formed in early Neoproterozoic (971 ~ 843Ma) and metasedimentary rock contains a number of Neoproterozoic detrital zircons. The depositional time of the sedimentary rock should be middle-late Neoproterozoic on the basis of the youngest age (859Ma) of concordant detrital zircons and early Paleozoic metamorphic age. Therefore, the Qinling Group probably is a complex consisting mainly of early Neoproterozoic igneous rocks and middle-late sedimentary rocks. The metamorphism of the Qinling Group occurred mainly in Caledonian period and locally in Yanshanian period, suggesting that the major orogeny in the northern Qinling area took place in early Paleozoic time. Geochemical characteristics also indicate that Neoproterozoic volcanic rocks in the Qinling Group formed in a volcanic arc tectonic setting and the sedimentary rock deposited on continental arc to active continental margin environment, suggesting the Qinling orogenic belt was a volcanic arc during early Neoproterozoic. The volcanic and sedimentary rocks of the Qinling Group are very similar to those in the western Yangtze craton in the formation time and tectonic setting. Therefore, the Qinling Group distributing along southern margin of northern Qinling Orogen should belong to the Yangtze craton and it was an island arc in the northern margin of Yangtze craton.

Key words Qinling Orogen; Qinling Group; Zircon U-Pb dating; Element geochemistry; Formation environment and tectonic affinity

摘 要 对东秦岭地区的陕西省洛南县、宁陕县、长安县和河南省淅川县出露的四个秦岭岩群变质岩进行的岩石学和地球化学研究表明,样品主要由变质火山岩和变质沉积岩组成。详细的锆石 U-Pb 定年结果显示三个正变质岩均形成于新元古代早期(971 ~843Ma),而副变质岩中富集大量新元古代碎屑锆石,根据最年轻的谐和年龄(859Ma)和早古生代的变质年龄,推测其沉积时代为新元古代中晚期。因此,北秦岭南部的秦岭岩群的变质岩主要由新元古代早期的火成岩和新元古代中晚期的沉积岩组成。变质作用主要发生在加里东期,局部有燕山期的变质作用叠加。指示北秦岭的造山作用主要发生在早古生代。岩石地球化学研究还显示秦岭岩群的新元古代火山岩均形成于火山弧构造环境,沉积岩沉积于大陆弧-活动大陆边缘环境,指示秦岭造山带在新元古代早期是一个火山弧。秦岭岩群的火山岩和沉积岩在形成时代和构造环境方面与扬子克拉通西缘的特征非常相似,表明位于北秦岭造山带的秦岭岩群应归属于扬子克拉通陆块,是扬子北缘的一个大陆边缘弧。

关键词 秦岭造山带; 秦岭岩群;锆石 U-Pb 定年;元素地球化学;形成环境和构造归属

中图法分类号 P597.3

---

* 本研究为国家重点基础研究发展计划(973 项目)(2006CB403508)和地质过程与矿产资源国家重点实验室(武汉地大)开放课题资助.

第一作者简介: 时毓, 女, 1980 年生, 博士研究生, 岩石学专业, E-mail: shiyu_61@163.com

** **通讯作者:** 于津海,教授, 博士生导师, 从事岩石学和地球化学研究, E-mail: jhyu@nju.edu.cn

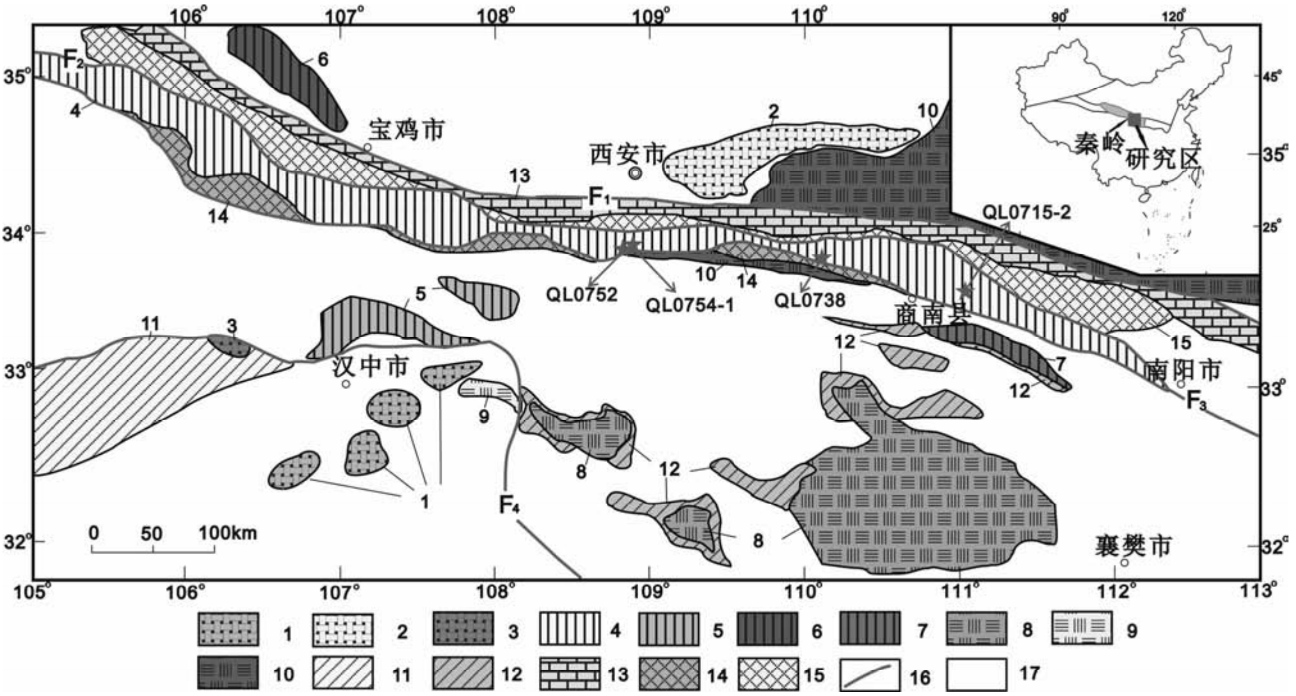

图 1 东秦岭主要前寒武纪变质地层分布简图(据陆松年等,2003)及采样点

太古宇-古元古界 1：后河杂岩(Ar-Pt_1h),2：太华杂岩(Ar-Pt_1t),3：鱼洞子杂岩(Ar-Pt_1y);古元古界 4：秦岭岩群(Pt_1q),5：长角坝岩群(Pt_1c),6：陇山岩群(Pt_1l),7：陡岭岩群(Pt_1d);中元古界 8：武当岩群(Pt_2w),9：火地垭群(Pt_2h),10：武关岩群(Pt_2wg);中-新元古界 11：碧口岩群(Pt_{2-3}b),12：耀岭河群(Pt_3y);新元古界-下元古界 13：宽坪岩群(Pt_3-Pz_1k);下古生界 14：丹凤岩群(Pz_1d),15：二郎坪岩群(Pz_1e);16 主要断裂：F_1-洛南-栾川断裂,F_2-朱夏断裂,F_3-商丹断裂,F_4-阳平关-大巴山弧形断裂;17：显生宙地层

Fig. 1 Simplified geological map of the eastern Qinling showing main Precambrian metamorphic strata and sample locations

Archeozoic-Paleproterozoic 1: Houhe complex, 2: Taihua complex, 3: Yudongzi complex; Paleoproterozoic 4: Qinling Group-complex, 5: Changjiaoba Group-complex, 6: Longshan Group-complex, 7: Douling Group-complex; Mesoproterozoic 8: Wudang Group-complex, 9: Huodiya Group, 10: Wuguan Group-complex; Mesoproterozoic-Neoproterozoic 11: Bikou Group-complex, 12: Yaolinghe Group; Neoproterozoic-Lower Paleozoic 13: Kuanping Group-complex; Lower Paleozoic: 14: Danfeng Group-complex, 15: Erlangping Group-complex; 16: The main faults: F_1-Luonan-Luanchuan fault, F_2-Zhuxia fault, F_3-Shangdan fault, F_4-Yangpingguan-Dabashan arc fault; 17: Phanerozoic strata

1 引言

秦岭造山带是我国南、北两个最大陆块-扬子克拉通和华北克拉通的构造拼合带,在我国构造格局中占有重要地位,长期以来受到广泛的关注和研究(Mattauer *et al.*, 1985; 张国伟等, 1988, 1995, 2001; Meng and Zhang, 1999; Ratschbacher *et al.*, 2003; 张宗清等, 2006; Wu *et al.*, 2008; Xu *et al.*, 2008)。在秦岭造山带的东秦岭地区存在不同的构造岩片,其中秦岭杂岩(原秦岭岩群)曾被作为秦岭造山带中最古老的前寒武纪基底变质杂岩,历来倍受中外地质学家的关注。秦岭杂岩不同于一般的变质地层(岩群),也有别于一般构造混杂岩体(王涛等,1995)。秦岭杂岩包含秦岭岩群、峡河岩群、正片麻岩系和蛇绿片岩等(王涛等,1997)。前人曾对太白、西峡蛇尾和商丹地区的秦岭岩群进行过专题研究(张国伟等,1988,2001;张国伟和周鼎武,1990;游振东等,1990,1991;周鼎武和张国伟,1991;安三元等,1990)。但是,至今在有关秦岭岩群的物质组成特征、原岩形成时代,主变质期时代与性质,秦岭造山带中所夹持的各前寒武纪岩层原来的构造归属(是华北克拉通或扬子克拉通或独立基底地块)及其所反映的早期古构造格局等基本问题的认识上依然存在较大分歧。本次研究运用 LA-ICP-MS 定年技术,对秦岭岩群中 4 个基底变质岩进行了锆石 U-Pb 同位素定年和元素地球化学分析,结合前人在该区的研究成果,本文讨论了秦岭岩群变质岩原岩的形成时代、特征和形成构造环境,主变质期时代以及东秦岭地区秦岭岩群的构造归属。

2 地质概况和秦岭岩群特征

东秦岭地区有南秦岭和北秦岭之分,出露的地层主要有秦岭岩群、陡岭岩群、武当岩群、宽坪岩群、二郎坪岩群和丹凤岩群等。其中秦岭岩群、宽坪岩群和二郎坪岩群属于北秦岭,陡岭岩群、武当岩群和丹凤岩群属于南秦岭(图 1)。秦岭岩群以成熟度低的陆源碎屑岩(杂砂岩)和碳酸盐岩沉积

建造为主夹有少量火山岩。被认为经历了多期变质、变形和混合岩化,晚期又受到多期岩浆侵入。前人认为其形成于活动大陆边缘构造环境,形成时代曾被认为是古元古代(张国伟和周鼎武,1990;游振东等,1991;刘国惠等,1993)。陡岭岩群主要由变质基性火山岩、基性深成侵入岩、碎屑岩和碳酸盐岩组成,遭受角闪岩相为主的变质作用(赵子然等,1995)。武当岩群是一套变质火山-沉积岩系,主要由变基性至中性火山岩组成,夹少量变质沉积岩,受到绿片岩相-高绿片岩相变质作用(张宗清等,2002)。宽坪岩群具有三套岩石组合:基性火山岩、黑云母大理岩夹变基性火山岩及千枚岩和千枚质砂岩及薄层石英岩的交互层,受到绿片岩相至角闪岩相变质作用(陆松年等,2003)。二郎坪岩群由碎屑岩构造岩片和蛇绿岩构造岩片组成,变质程度介于低绿片岩相-低角闪岩相之间(李亚林等,1998)。丹凤岩群是一套变沉积火山岩系,受到绿片岩相-低角闪岩相变质作用(匡少平和张本仁,1993)。由此可见,东秦岭这些岩群在岩石组合上有其相似性,它们都是由碎屑岩、基性火山岩和碳酸盐岩组成,只是各岩群中三组分的比例不同以及变质程度的差异。因此,目前这种多个岩群的划分局面是否反映真实情况有待于进一步细致的年代学研究。

秦岭岩群是东秦岭造山带北部最重要的地质体,是探讨秦岭造山带形成和演化的窗口(高山等,1990;王涛等,1997;张国伟等,1988;游振东等,1991;安三元和胡能高,1992)。秦岭岩群近东西向绵延近千公里,主要呈几个巨大的透镜状岩片断续分布,自西向东分别是太白地区、眉县-户县黑河-涝峪地区、长安-柞水县间的丰裕-商县西地区、商县-丹凤-西峡-镇平北部地区和铜柏地区。其中以南阳盆地与商县之间的巨大透镜岩片最具代表性。这一地段秦岭岩群北以朱夏断裂带为界,南以商丹断裂带为界(张国伟等,1988)。北侧的朱夏断裂带与南侧的商丹断裂带是两条重要的构造单元分界线,前者被认为是华北克拉通与北秦岭分界;后者是北秦岭与南秦岭的分界,也被认为是华北、扬子两大陆块边缘的构造分界(张国伟等,1988)。

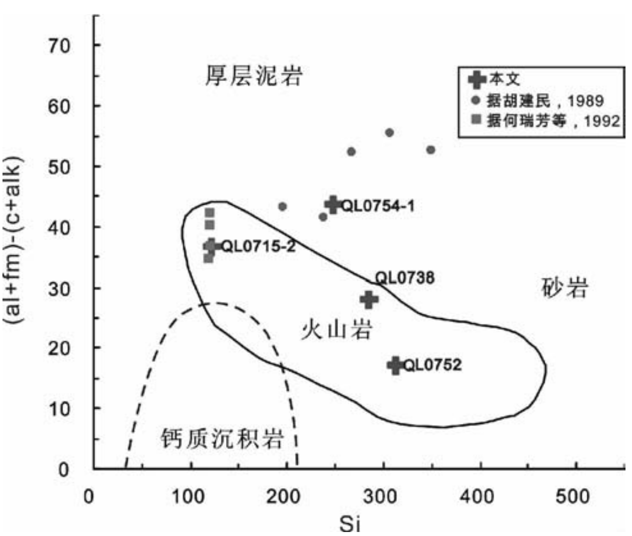

图2　东秦岭地区秦岭岩群基底变质岩的原岩恢复图解(仿 A. Simonen, 1953)

Fig. 2　Reconstruction of protoliths of the metamorphic rocks of the Qinling Group from the eastern Qinling area

秦岭岩群是一套受多期变质变形混合岩化影响的结晶杂岩系,主要由片麻岩、斜长角闪岩、钙硅酸盐岩、大理岩等组成(张国伟等,1995)。上部由黑云斜长片麻岩、角闪岩、钙质硅酸岩、石榴矽线片麻岩和大理岩组成(Xue *et al.*, 1996),下部为大理岩夹少量角闪岩和石榴矽线片麻岩(You *et al.*, 1993)。秦岭岩群原岩系陆源碎屑岩、大陆拉斑玄武岩为主的双峰火山岩和碳酸盐岩等,地质、地球化学特征均具有陆源裂陷火山沉积建造特点(张国伟等,1995)。游振东等(1991)认为秦岭岩群的片麻岩类原岩的主体为陆源碎屑岩建造,是以成熟度不高的近源快速堆积杂砂岩为主。

本次研究的重点是东秦岭地区位于北秦岭南缘的秦岭岩群变质岩,样品主要采自陕西省洛南县、宁陕县、长安县和河南省淅川县。从野外采集了 20 多件秦岭岩群变质岩样品,在岩相学研究的基础上选择了 4 件样品进行了详细的锆石 U-Pb 同位素分析和岩石的主、微量元素的研究。

3　样品特征

样品 QL0738 为黑云二长片麻岩,采自陕西省洛南县(GPS: 110°08′47.5″E, 33°49′25.1″N),岩石主要由斜长石(35% ±)、石英(25% ±)、微斜长石(20% ±)和黑云母(20% ±)组成。样品 QL0752 为角闪黑云二长片麻岩,采自陕西省宁陕县 210 国道 995km 处(GPS:108°48′43″E,33°50′48″N),主要由斜长石(50% ±)、钾长石(15% ±)、黑云母(12% ±)、石英(15% ±)和角闪石(8% ±)组成。样品 QL0754-1 为黑云斜长片麻岩,采自陕西省长安县喂子坪(GPS: 108°50′14″E, 33°57′56″N),岩石主要由斜长石(40% ±)、石英(33% ±)、黑云母(22% ±)和少量钾长石(5% ±)组成。黑云母呈强烈定向排列,聚集成条带状,少量退变为绿泥石。样品 QL0715-2 为黑云斜长角闪岩,采自河南省淅川县(GPS: 111°02′41″E, 33°38′50″N),主要由角闪石(60% ±)、斜长石(25% ±)、黑云母(6% ±)和石英(6% ±)组成,另有副矿物榍石(<3% ±)。根据变质矿物组合可以判定秦岭岩群的这些变质岩的变质程度为高绿片岩相-低角闪岩相。样品 QL0754-1 有特别高的黑云母含量和低的钾长石含量,暗示其原岩为沉积岩。利用西蒙尼的 Si－(al＋fm)－(c＋alk)判别图解对这 4 个变质岩的原岩恢复显示,样品 QL0715-2、QL0738 和 QL0752 投影于火山岩区域(图 2),而样品 QL0754-1 投影于沉积岩区域。另外,利用 Shaw(1972)的判别式对长英质变质岩的计算也显示了与上述判别图一致的结果,即 QL0738 和 QL0752 的 DF 值大于 0,而 QL0754-1 的 DF 值小于 0(表 2),与岩相学观察结果一致。因此,样品

表 1 东秦岭秦岭岩群变质岩中锆石 LA-ICP-MS 定年结果

Table 1 LA-ICP-MS dating results of zircons from the metamorphic rocks in the Qinling Group, Eastern Qinling area

分析点号	同位素比值 $^{207}Pb/^{206}Pb$ ±1σ	同位素比值 $^{207}Pb/^{235}U$ ±1σ	同位素比值 $^{206}Pb/^{238}U$ ±1σ	定年结果 $^{207}Pb/^{206}Pb$ ±1σ	定年结果 $^{207}Pb/^{235}U$ ±1σ	定年结果 $^{206}Pb/^{238}U$ ±1σ	谐和度	Th ($\times10^{-6}$)	U ($\times10^{-6}$)	Th/U
黑云二长片麻岩(QL0738)(110°08′47.5″E, 33°49′25.1″N)										
1	0.0691 ±0.0010	1.3565 ±0.0214	0.1425 ±0.0018	901 ±29	870 ±9	859 ±10	95	132	1143	0.12
2	0.0686 ±0.0012	1.4770 ±0.0267	0.1562 ±0.0021	887 ±35	921 ±11	936 ±12	105	166	338	0.49
3	0.0984 ±0.0014	3.0157 ±0.0463	0.2223 ±0.0028	1595 ±26	1412 ±12	1294 ±15	81	226	517	0.44
4	0.0965 ±0.0017	3.2569 ±0.0615	0.2448 ±0.0035	1558 ±33	1471 ±15	1411 ±18	91	581	870	0.67
5	0.0692 ±0.0010	1.3586 ±0.0214	0.1424 ±0.0018	905 ±30	871 ±9	858 ±10	95	389	1153	0.34
6	0.0706 ±0.0013	1.4643 ±0.0278	0.1505 ±0.0020	946 ±37	916 ±11	904 ±11	95	160	290	0.55
7	0.0660 ±0.0012	1.0716 ±0.0200	0.1177 ±0.0015	808 ±37	740 ±10	718 ±9	89	98	497	0.20
8	0.0715 ±0.0011	1.5517 ±0.0256	0.1574 ±0.0020	973 ±31	951 ±10	942 ±11	97	252	993	0.25
9	0.0707 ±0.0012	1.5040 ±0.0271	0.1544 ±0.0020	948 ±35	932 ±11	925 ±11	98	319	737	0.43
10	0.0704 ±0.0014	1.3563 ±0.0269	0.1397 ±0.0019	941 ±39	870 ±12	843 ±10	90	268	395	0.68
11	0.0719 ±0.0014	1.5655 ±0.0319	0.1579 ±0.0021	983 ±40	957 ±13	945 ±12	96	107	523	0.21
12	0.0898 ±0.0022	2.4190 ±0.0603	0.1956 ±0.0030	1421 ±46	1248 ±18	1151 ±16	81	142	1382	0.10
13	0.0711 ±0.0011	1.5673 ±0.0270	0.1598 ±0.0021	961 ±33	957 ±11	956 ±12	99	114	547	0.21
14	0.0700 ±0.0012	1.4096 ±0.0249	0.1462 ±0.0019	927 ±34	893 ±10	880 ±11	95	284	689	0.41
15	0.0710 ±0.0026	1.4071 ±0.0492	0.1438 ±0.0024	958 ±72	892 ±21	866 ±14	90	111	219	0.51
15h	0.0689 ±0.0017	1.2567 ±0.0315	0.1323 ±0.0020	896 ±51	826 ±14	801 ±11	89	152	286	0.53
16	0.0703 ±0.0011	1.3929 ±0.0232	0.1438 ±0.0019	937 ±31	886 ±10	866 ±11	92	237	945	0.25
17	0.0707 ±0.0013	1.4929 ±0.0281	0.1532 ±0.0020	948 ±37	928 ±11	919 ±11	97	204	381	0.54
18	0.0965 ±0.0020	3.3486 ±0.0707	0.2518 ±0.0037	1557 ±38	1493 ±17	1448 ±19	93	296	352	0.84
19	0.0701 ±0.0022	1.4675 ±0.0440	0.1519 ±0.0023	931 ±62	917 ±18	912 ±13	98	72	172	0.42
20	0.0713 ±0.0013	1.4985 ±0.0272	0.1525 ±0.0020	966 ±36	930 ±11	915 ±11	95	490	566	0.87
21	0.0706 ±0.0012	1.5410 ±0.0279	0.1583 ±0.0021	947 ±35	947 ±11	947 ±12	100	228	464	0.49
22	0.0723 ±0.0020	1.5615 ±0.0439	0.1568 ±0.0026	993 ±56	955 ±17	939 ±14	95	712	1353	0.53
23	0.0685 ±0.0014	1.5025 ±0.0316	0.1592 ±0.0022	883 ±42	931 ±13	952 ±12	108	181	394	0.46
24	0.0714 ±0.0018	1.5532 ±0.0395	0.1577 ±0.0024	969 ±50	952 ±16	944 ±14	97	710	1618	0.44
1s	0.0701 ±0.0011	1.5139 ±0.0244	0.1567 ±0.0019	931 ±31	938 ±11	936 ±10	101	113	198	0.57
2s	0.0656 ±0.0009	1.0249 ±0.0143	0.1132 ±0.0013	795 ±28	691 ±8	716 ±7	90	315	782	0.40
3s	0.0725 ±0.0010	1.5563 ±0.0221	0.1557 ±0.0019	999 ±27	933 ±10	953 ±9	95	211	363	0.58
4s	0.0709 ±0.0011	1.4867 ±0.0238	0.1522 ±0.0019	953 ±30	913 ±11	925 ±10	97	177	348	0.51
5s	0.0692 ±0.0010	1.4836 ±0.0224	0.1555 ±0.0019	904 ±30	932 ±10	924 ±9	102	318	450	0.71
6s	0.0701 ±0.0009	1.5353 ±0.0219	0.1589 ±0.0019	930 ±27	951 ±11	945 ±9	102	375	652	0.57
7s	0.0707 ±0.0010	1.5092 ±0.0225	0.1548 ±0.0019	949 ±29	928 ±10	934 ±9	98	359	497	0.72
9s	0.0719 ±0.0013	1.4868 ±0.0269	0.1499 ±0.0020	983 ±35	901 ±11	925 ±11	94	397	499	0.80
10s	0.0714 ±0.0011	1.5440 ±0.0251	0.1567 ±0.0019	970 ±32	939 ±11	948 ±10	98	162	314	0.51
11s	0.0715 ±0.0010	1.5421 ±0.0233	0.1563 ±0.0019	973 ±29	936 ±11	947 ±9	97	367	620	0.59
12s	0.0709 ±0.0010	1.4938 ±0.0227	0.1529 ±0.0019	954 ±29	917 ±11	928 ±9	97	335	448	0.75
13s	0.0728 ±0.0010	1.5399 ±0.0229	0.1535 ±0.0019	1007 ±28	920 ±11	947 ±9	94	166	286	0.58
14s	0.0716 ±0.0011	1.5423 ±0.0243	0.1562 ±0.0020	975 ±30	936 ±11	947 ±10	97	266	348	0.77
16s	0.0711 ±0.0014	1.5044 ±0.0288	0.1535 ±0.0020	960 ±39	920 ±11	932 ±12	97	93	167	0.56
17s	0.0718 ±0.0012	1.4584 ±0.0260	0.1474 ±0.0019	979 ±34	886 ±11	913 ±11	93	234	353	0.66
18s	0.0698 ±0.0010	1.2538 ±0.0199	0.1303 ±0.0016	922 ±30	790 ±9	825 ±9	89	271	493	0.55
19s	0.0716 ±0.0010	1.6383 ±0.0236	0.1660 ±0.0020	974 ±27	990 ±11	985 ±9	101	675	811	0.83
20s	0.0701 ±0.0010	1.4859 ±0.0226	0.1538 ±0.0019	930 ±29	922 ±11	925 ±9	99	446	633	0.71
21s	0.0716 ±0.0010	1.5035 ±0.0225	0.1522 ±0.0018	975 ±29	913 ±10	932 ±9	96	117	965	0.12
22s	0.0702 ±0.0013	1.5019 ±0.0292	0.1551 ±0.0021	935 ±38	930 ±12	931 ±12	100	339	366	0.92
23s	0.0703 ±0.0009	1.4953 ±0.0206	0.1543 ±0.0019	936 ±26	925 ±10	929 ±8	99	128	685	0.19
24s	0.0680 ±0.0009	1.2431 ±0.0171	0.1326 ±0.0016	868 ±27	803 ±9	820 ±8	95	227	778	0.29
25s	0.0703 ±0.0009	1.5036 ±0.0213	0.1551 ±0.0019	937 ±27	930 ±10	932 ±9	99	258	424	0.61

续表 1

Continoued Table 1

分析点号	同位素比值			定年结果			谐和度	Th ($\times10^{-6}$)	U ($\times10^{-6}$)	Th/U
	$^{207}Pb/^{206}Pb$ ±1σ	$^{207}Pb/^{235}U$ ±1σ	$^{206}Pb/^{238}U$ ±1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$ ±1σ	$^{207}Pb/^{235}U$ ±1σ	$^{206}Pb/^{238}U$ ±1σ				
26s	0.0709 ±0.0011	1.5072 ±0.0242	0.1542 ±0.0019	955 ±31	924 ±11	933 ±10	98	128	210	0.61
27s	0.0721 ±0.0010	1.6005 ±0.0241	0.1610 ±0.0020	989 ±28	962 ±11	970 ±9	98	151	283	0.53
28s	0.0701 ±0.0010	1.3775 ±0.0209	0.1426 ±0.0017	930 ±29	859 ±10	879 ±9	95	543	574	0.95
29s	0.0699 ±0.0010	1.5702 ±0.0235	0.1629 ±0.0020	926 ±29	973 ±11	959 ±9	104	268	446	0.60
30s	0.0683 ±0.0009	1.3069 ±0.0189	0.1387 ±0.0017	878 ±27	838 ±10	849 ±8	97	703	1168	0.60
31s	0.0700 ±0.0010	1.6353 ±0.0245	0.1694 ±0.0021	929 ±28	1009 ±12	984 ±9	106	342	455	0.75
32s	0.0742 ±0.0012	1.6661 ±0.0277	0.1628 ±0.0020	1047 ±32	973 ±11	996 ±11	95	243	344	0.71
33s	0.0695 ±0.0010	1.3626 ±0.0216	0.1422 ±0.0018	914 ±30	857 ±10	873 ±9	96	255	507	0.50
角闪黑云二长片麻岩(QL0752)(108°48′43″E, 33°50′48″N)										
22-1	0.0658 ±0.0011	1.0046 ±0.0165	0.1107 ±0.0013	801 ±36	706 ±8	677 ±7	85	437	290	1.51
22-1h	0.0677 ±0.0011	1.0201 ±0.0166	0.1092 ±0.0013	861 ±35	714 ±8	668 ±7	78	357	211	1.69
22-3	0.0656 ±0.0012	0.9603 ±0.0178	0.1062 ±0.0013	794 ±40	683 ±9	651 ±8	82	211	153	1.38
22-3h	0.0666 ±0.0012	0.9246 ±0.0158	0.1007 ±0.0012	827 ±37	665 ±8	618 ±7	75	206	158	1.30
21-1	0.0663 ±0.0009	1.1013 ±0.0155	0.1205 ±0.0014	815 ±29	754 ±7	734 ±8	90	392	230	1.71
21-2	0.0667 ±0.0009	1.0239 ±0.0146	0.1114 ±0.0013	827 ±30	716 ±7	681 ±7	82	449	236	1.90
21-5	0.0685 ±0.0011	1.1036 ±0.0186	0.1169 ±0.0014	884 ±35	755 ±9	712 ±8	81	913	512	1.78
20-1	0.0630 ±0.0058	0.8482 ±0.0774	0.0977 ±0.0014	707 ±204	624 ±43	601 ±8	85	460	311	1.48
20-2	0.0671 ±0.0010	1.1022 ±0.0174	0.1192 ±0.0014	840 ±32	754 ±8	726 ±8	86	488	300	1.63
20-2h	0.0676 ±0.0009	1.0981 ±0.0153	0.1179 ±0.0014	856 ±27	752 ±7	718 ±8	84	488	293	1.66
20-3	0.0664 ±0.0010	1.1145 ±0.0176	0.1219 ±0.0015	817 ±33	760 ±8	741 ±9	91	348	223	1.56
20-3h	0.0662 ±0.0009	1.0480 ±0.0152	0.1148 ±0.0014	813 ±30	728 ±8	700 ±8	86	309	215	1.44
20-4	0.0674 ±0.0010	1.0608 ±0.0159	0.1142 ±0.0014	850 ±31	734 ±8	697 ±8	82	636	348	1.83
19-1	0.0663 ±0.0009	1.1550 ±0.0160	0.1264 ±0.0015	815 ±28	780 ±8	767 ±9	94	405	270	1.50
19-2	0.0659 ±0.0009	1.1263 ±0.0155	0.1240 ±0.0015	802 ±28	766 ±7	754 ±8	94	421	298	1.41
19-3	0.0656 ±0.0009	1.0295 ±0.0146	0.1138 ±0.0014	794 ±29	719 ±7	695 ±8	88	462	215	2.15
18-1	0.0672 ±0.0011	1.1141 ±0.0188	0.1202 ±0.0015	844 ±35	760 ±9	732 ±9	87	201	135	1.48
17-1	0.0655 ±0.0009	0.9868 ±0.0140	0.1093 ±0.0013	790 ±29	697 ±7	669 ±7	85	1799	913	1.97
17-2	0.0645 ±0.0009	0.7772 ±0.0118	0.0874 ±0.0011	759 ±30	584 ±7	540 ±7	71	351	687	0.51
17-3	0.0653 ±0.0008	1.0112 ±0.0132	0.1122 ±0.0013	785 ±26	709 ±7	686 ±8	87	1049	609	1.72
15-1	0.0646 ±0.0013	1.0366 ±0.0207	0.1165 ±0.0015	760 ±43	722 ±10	710 ±9	93	230	80	2.89
15-2	0.0660 ±0.0015	1.1310 ±0.0256	0.1243 ±0.0017	806 ±49	768 ±12	755 ±10	94	118	85	1.38
14-1	0.0646 ±0.0010	1.0143 ±0.0159	0.1139 ±0.0014	761 ±33	711 ±8	695 ±8	91	450	198	2.27
14-2	0.0615 ±0.0010	0.8430 ±0.0137	0.0994 ±0.0012	657 ±35	621 ±8	611 ±7	93	220	127	1.73
12-1	0.0637 ±0.0014	0.9253 ±0.0207	0.1053 ±0.0014	733 ±48	665 ±11	645 ±8	88	193	98	1.96
12-2	0.0652 ±0.0014	1.1075 ±0.0236	0.1232 ±0.0016	780 ±47	757 ±11	749 ±9	96	85	52	1.62
12-4	0.0644 ±0.0011	0.9569 ±0.0169	0.1078 ±0.0013	753 ±38	682 ±9	660 ±8	88	250	115	2.17
11-2	0.0660 ±0.0017	0.8675 ±0.0213	0.0953 ±0.0013	808 ±54	634 ±12	587 ±8	73	78	64	1.22
10-1	0.0671 ±0.0015	1.0791 ±0.0233	0.1167 ±0.0016	840 ±47	743 ±11	712 ±9	85	127	85	1.50
10-2	0.0668 ±0.0010	1.1096 ±0.0170	0.1204 ±0.0015	833 ±31	758 ±8	733 ±9	88	387	132	2.94
9-1	0.0671 ±0.0011	1.0513 ±0.0170	0.1136 ±0.0014	841 ±33	730 ±8	694 ±8	83	369	165	2.24
9-2	0.0668 ±0.0010	1.1325 ±0.0183	0.1230 ±0.0015	831 ±33	769 ±9	748 ±9	90	224	146	1.53
8-1	0.0672 ±0.0011	1.1653 ±0.0191	0.1257 ±0.0015	845 ±34	784 ±9	763 ±9	90	170	99	1.71
7-1	0.0640 ±0.0010	0.8599 ±0.0136	0.0974 ±0.0012	743 ±32	630 ±7	599 ±7	81	299	138	2.17
7-2	0.0663 ±0.0010	0.9751 ±0.0150	0.1067 ±0.0013	815 ±32	691 ±8	654 ±7	80	546	226	2.42
5-1	0.0668 ±0.0012	1.2124 ±0.0212	0.1317 ±0.0017	831 ±37	806 ±10	797 ±9	96	198	86	2.30
5-2	0.0675 ±0.0011	1.1157 ±0.0193	0.1200 ±0.0015	852 ±36	761 ±9	731 ±9	86	96	65	1.49
3-1	0.0682 ±0.0011	1.0672 ±0.0175	0.1135 ±0.0014	875 ±34	737 ±9	693 ±8	79	392	145	2.71
2-1	0.0683 ±0.0011	1.0569 ±0.0171	0.1123 ±0.0014	877 ±33	732 ±8	686 ±8	78	163	95	1.72
1-1	0.0658 ±0.0009	0.9854 ±0.0149	0.1086 ±0.0014	801 ±30	696 ±8	665 ±8	83	624	262	2.38

续表 1

Continoued Table 1

分析点号	同位素比值			定年结果			谐和度	Th (×10⁻⁶)	U (×10⁻⁶)	Th/U
	$^{207}Pb/^{206}Pb$ ±1σ	$^{207}Pb/^{235}U$ ±1σ	$^{206}Pb/^{238}U$ ±1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$ ±1σ	$^{207}Pb/^{235}U$ ±1σ	$^{206}Pb/^{238}U$ ±1σ				
1-2	0.0672±0.0009	1.1589±0.0170	0.1252±0.0015	842±29	781±8	760±9	90	386	212	1.82
16-2	0.0806±0.0020	1.2666±0.0310	0.1140±0.0016	1211±50	831±14	696±9	57	162	124	1.31
21-4	0.0743±0.0058	1.1555±0.0876	0.1128±0.0018	1050±161	780±41	689±10	66	229	170	1.35
12-3	0.0803±0.0059	0.2730±0.0194	0.0247±0.0005	1204±149	245±15	157±3	13	4	104	0.04
12-6	0.0727±0.0011	1.0621±0.0161	0.1059±0.0013	1006±30	735±8	649±8	65	229	138	1.66
11-1	0.0825±0.0025	1.2358±0.0369	0.1087±0.0018	1256±61	817±17	665±11	53	118	85	1.38
6-1	0.0962±0.0092	0.3655±0.0342	0.0276±0.0006	1552±187	316±25	175±3	11	10	206	0.05
6-3	0.0758±0.0017	1.1999±0.0273	0.1148±0.0017	1090±47	801±13	701±10	64	185	86	2.15
4-1	0.0699±0.0016	1.0106±0.0226	0.1048±0.0014	926±48	709±11	643±8	69	193	99	1.96
16-1	0.0692±0.0009	0.9538±0.0137	0.1000±0.0012	905±29	680±7	614±7	68	1116	662	1.69
21-3	0.0574±0.0030	0.2092±0.0104	0.0264±0.0004	507±116	193±9	168±2	33	7	191	0.04
12-5	0.0527±0.0065	0.2941±0.0357	0.0405±0.0009	315±279	262±28	256±6	81	28	115	0.24
1s	0.0656±0.0020	0.9886±0.0287	0.1094±0.0016	793±65	698±15	669±9	84	162	125	1.30
2s	0.0664±0.0012	0.8393±0.0156	0.0917±0.0011	819±40	619±9	566±7	69	418	235	1.78
3s	0.0643±0.0014	1.0457±0.0218	0.1179±0.0015	753±45	727±11	719±9	95	866	326	2.66
4s	0.0689±0.0013	1.0205±0.0190	0.1075±0.0014	894±39	714±10	658±8	74	473	259	1.83
5s	0.0667±0.0016	1.0804±0.0252	0.1176±0.0016	827±50	744±12	717±9	87	214	121	1.77
6s	0.0667±0.0015	1.0129±0.0225	0.1102±0.0016	827±47	710±11	674±9	81	571	321	1.78
7s	0.0649±0.0017	1.0313±0.0270	0.1154±0.0017	770±57	720±13	704±10	91	349	231	1.51
8s	0.0690±0.0025	0.9981±0.0354	0.1049±0.0019	898±77	703±18	643±11	72	207	155	1.34
9s	0.0654±0.0014	1.0911±0.0229	0.1210±0.0016	787±45	749±11	737±9	94	480	273	1.76
10s	0.0652±0.0021	1.0699±0.0336	0.1191±0.0018	780±70	739±16	725±10	93	206	135	1.52
11s	0.0644±0.0013	1.0329±0.0224	0.1163±0.0017	756±45	720±11	709±10	94	1688	669	2.52
12s	0.0650±0.0018	1.0261±0.0278	0.1146±0.0018	773±58	717±14	699±10	90	494	462	1.07
13s	0.0637±0.0012	1.0214±0.0199	0.1163±0.0015	733±41	715±10	709±9	97	574	308	1.86
14s	0.0642±0.0015	1.0102±0.0229	0.1142±0.0015	747±50	709±12	697±9	93	554	258	2.15
15s	0.0668±0.0014	1.0562±0.0228	0.1147±0.0016	832±45	732±11	700±9	84	1137	570	2.00
16s	0.0659±0.0013	0.9156±0.0176	0.1008±0.0013	804±41	660±9	619±8	77	589	294	2.00
17s	0.0641±0.0011	1.0558±0.0180	0.1195±0.0015	744±35	732±9	728±9	98	823	523	1.58
18s	0.0639±0.0017	1.0284±0.0267	0.1167±0.0016	738±57	718±13	712±9	96	252	137	1.84
19s-h	0.0651±0.0016	0.9128±0.0215	0.1017±0.0013	778±52	659±11	624±8	80	644	451	1.43
20s	0.0649±0.0012	0.9592±0.0187	0.1072±0.0014	771±41	683±10	656±8	85	679	294	2.31
21s	0.0651±0.0011	1.0038±0.0171	0.1119±0.0014	776±35	706±9	684±8	88	1153	669	1.72
22s	0.0657±0.0016	0.8989±0.0214	0.0993±0.0014	795±52	651±11	610±8	77	325	238	1.36
23s	0.0669±0.0018	0.8870±0.0243	0.0963±0.0015	833±58	645±13	592±9	71	1003	503	1.99
24s-h	0.0619±0.0024	0.9108±0.0340	0.1068±0.0017	670±85	657±18	654±10	98	265	130	2.04
黑云二长片麻岩(QL0754-1)(108°50′14″E, 33°57′56″N)										
1s	0.0843±0.0013	2.2385±0.0360	0.1926±0.0025	1298±30	1193±11	1136±14	88	13	191	0.07
2s	0.0694±0.0010	1.3917±0.0228	0.1453±0.0019	912±32	885±10	875±11	96	123	243	0.51
3s	0.0556±0.0009	0.5152±0.0086	0.0672±0.0009	435±35	422±6	419±5	96	9	473	0.02
4s	0.1071±0.0017	3.6594±0.0659	0.2478±0.0036	1750±30	1563±14	1427±18	82	199	808	0.25
4h-s	0.0609±0.0052	0.7865±0.0665	0.0937±0.0014	634±191	589±38	578±8	91	57	238	0.24
5s	0.0680±0.0010	1.3353±0.0221	0.1425±0.0019	868±32	861±10	859±11	99	113	191	0.59
6s	0.0560±0.0008	0.5632±0.0086	0.0730±0.0009	451±31	454±6	454±6	101	924	907	1.02
7s	0.0549±0.0009	0.5108±0.0088	0.0674±0.0009	410±37	419±6	421±5	103	103	415	0.25
8s	0.0558±0.0012	0.4927±0.0107	0.0641±0.0008	443±50	407±7	400±5	90	22	470	0.05
9s	0.0661±0.0012	1.0087±0.0195	0.1106±0.0016	809±38	708±10	676±9	84	240	534	0.45
9h-s	0.0565±0.0018	0.5185±0.0164	0.0666±0.0010	471±74	424±11	416±6	88	67	177	0.38

续表 1

Continoued Table 1

分析点号	同位素比值			定年结果			谐和度	Th (×10⁻⁶)	U (×10⁻⁶)	Th/U
	$^{207}Pb/^{206}Pb$ ±1σ	$^{207}Pb/^{235}U$ ±1σ	$^{206}Pb/^{238}U$ ±1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$ ±1σ	$^{207}Pb/^{235}U$ ±1σ	$^{206}Pb/^{238}U$ ±1σ				
10s	0.0506 ±0.0014	0.5308 ±0.0139	0.0688 ±0.0011	451 ±57	432 ±9	429 ±7	95	111	254	0.44
11s	0.0561 ±0.0010	0.4892 ±0.0090	0.0633 ±0.0009	455 ±38	404 ±6	395 ±5	87	83	420	0.20
12s	0.0552 ±0.0009	0.5279 ±0.0097	0.0694 ±0.0009	420 ±38	430 ±6	432 ±6	103	80	382	0.21
13s-h	0.0625 ±0.0024	0.5798 ±0.0204	0.0673 ±0.0010	690 ±83	464 ±13	420 ±6	61	33	274	0.12
14s	0.0980 ±0.0016	2.1827 ±0.0409	0.1616 ±0.0024	1585 ±32	1176 ±13	966 ±13	61	404	581	0.70
14s-h	0.0583 ±0.0013	0.5716 ±0.0123	0.0711 ±0.0009	541 ±49	459 ±8	443 ±6	93	10	496	0.02
15s	0.0638 ±0.0013	0.7280 ±0.0143	0.0828 ±0.0011	734 ±43	555 ±8	513 ±6	70	124	483	0.26
16s	0.0557 ±0.0011	0.5595 ±0.0111	0.0729 ±0.0010	439 ±43	451 ±7	454 ±6	103	102	211	0.48
17s	0.0568 ±0.0010	0.5681 ±0.0100	0.0726 ±0.0009	483 ±38	457 ±6	452 ±6	94	164	422	0.39
18s	0.0591 ±0.0019	0.5387 ±0.0168	0.0661 ±0.0010	571 ±72	438 ±11	413 ±6	81	14	382	0.04
19s	0.0549 ±0.0009	0.5079 ±0.0088	0.0671 ±0.0009	409 ±37	417 ±6	419 ±5	102	75	497	0.15
20s	0.0552 ±0.0009	0.5017 ±0.0089	0.0659 ±0.0009	420 ±39	413 ±6	412 ±5	98	95	426	0.22
21s	0.0561 ±0.0010	0.5085 ±0.0093	0.0658 ±0.0009	454 ±39	417 ±6	411 ±5	91	72	355	0.20
22s	0.0684 ±0.0012	1.2523 ±0.0223	0.1329 ±0.0017	880 ±37	824 ±10	804 ±10	91	195	298	0.65
23s	0.0686 ±0.0012	1.1318 ±0.0198	0.1197 ±0.0015	886 ±36	769 ±9	729 ±9	82	591	563	1.05
24s	0.0543 ±0.0012	0.4675 ±0.0103	0.0625 ±0.0008	384 ±51	389 ±7	391 ±5	102	15	241	0.06
25s	0.0730 ±0.0015	1.0413 ±0.0211	0.1035 ±0.0014	1015 ±41	725 ±10	635 ±8	78	139	627	0.22
26s-h	0.1580 ±0.0020	8.2170 ±0.1167	0.3773 ±0.0047	2434 ±22	2255 ±13	2064 ±22	85	251	270	0.93
27s-h	0.0717 ±0.0019	1.3446 ±0.0354	0.1361 ±0.0019	978 ±56	865 ±15	822 ±11	84	117	154	0.76
28s	0.0720 ±0.0025	1.3198 ±0.0442	0.1329 ±0.0022	987 ±72	854 ±19	805 ±12	82	28	26	1.10
29s-h	0.0563 ±0.0015	0.5336 ±0.0137	0.0688 ±0.0010	464 ±58	434 ±9	429 ±6	92	364	295	1.23
30s	0.0558 ±0.0010	0.4950 ±0.0091	0.0644 ±0.0008	444 ±40	408 ±6	402 ±5	91	95	401	0.24
31s	0.0735 ±0.0017	1.5050 ±0.0355	0.1484 ±0.0022	1029 ±48	932 ±14	892 ±13	87	118	130	0.91
32s	0.1021 ±0.0015	3.7293 ±0.0609	0.2651 ±0.0035	1662 ±29	1578 ±13	1516 ±18	91	113	179	0.63
33s	0.0555 ±0.0010	0.5001 ±0.0091	0.0654 ±0.0009	430 ±39	412 ±6	409 ±5	95	383	459	0.83
34s	0.0828 ±0.0016	2.4331 ±0.0465	0.2133 ±0.0027	1264 ±37	1252 ±14	1247 ±15	99	125	338	0.37
34s-h	0.0811 ±0.0017	2.0463 ±0.0447	0.1830 ±0.0028	1225 ±41	1131 ±15	1083 ±15	88	95	421	0.22
35s	0.0836 ±0.0026	2.4493 ±0.0767	0.2126 ±0.0039	1283 ±62	1257 ±23	1243 ±20	97	101	159	0.63
35s-h	0.0714 ±0.0019	0.9562 ±0.0253	0.0971 ±0.0014	969 ±56	681 ±13	598 ±8	62	16	250	0.06
36s	0.0556 ±0.0010	0.5242 ±0.0100	0.0685 ±0.0009	434 ±41	428 ±7	427 ±6	98	29	546	0.05
37s	0.0559 ±0.0015	0.5374 ±0.0145	0.0697 ±0.0010	449 ±62	437 ±10	435 ±6	97	18	206	0.08
38s	0.0653 ±0.0014	1.0983 ±0.0240	0.1221 ±0.0016	783 ±47	753 ±12	743 ±9	95	283	223	1.27
38s-h	0.0627 ±0.0016	0.8532 ±0.0229	0.0987 ±0.0016	698 ±57	626 ±13	607 ±9	87	498	420	1.19
黑云斜长角闪岩(QL0715-2)(111°02′41″E, 33 °38′50″N)										
1s	0.0461 ±0.0101	0.3542 ±0.0769	0.0558 ±0.0016	362 ±28	308 ±58	350 ±10	97	8	327	0.02
2s	0.0572 ±0.0019	0.6134 ±0.0200	0.0778 ±0.0012	500 ±74	486 ±13	483 ±7	97	5	171	0.03
3s	0.0580 ±0.0019	0.6197 ±0.0196	0.0776 ±0.0012	528 ±72	490 ±12	482 ±7	91	2	195	0.01
4s	0.0648 ±0.0012	1.0764 ±0.0204	0.1205 ±0.0016	768 ±38	742 ±10	733 ±9	95	672	679	0.99
5s	0.0657 ±0.0014	1.0904 ±0.0244	0.1204 ±0.0017	796 ±47	749 ±12	733 ±10	92	694	903	0.77
6s	0.0638 ±0.0025	1.0274 ±0.0391	0.1170 ±0.0021	734 ±84	718 ±20	713 ±12	97	442	673	0.66
7s	0.0610 ±0.0046	0.6537 ±0.0478	0.0777 ±0.0022	639 ±169	511 ±29	482 ±13	75	56	180	0.31
8s	0.0664 ±0.0021	1.1023 ±0.0348	0.1204 ±0.0019	819 ±69	754 ±17	733 ±11	89	497	643	0.77
6s-h	0.0633 ±0.0025	0.8061 ±0.0310	0.0924 ±0.0016	719 ±87	600 ±17	570 ±10	79	146	339	0.43
7s-h	0.0629 ±0.0021	0.7960 ±0.0262	0.0919 ±0.0015	703 ±73	595 ±15	567 ±9	81	146	198	0.74
9s	0.0663 ±0.0019	1.1810 ±0.0330	0.1293 ±0.0019	815 ±60	792 ±15	784 ±11	96	223	203	1.10
10s-h	0.0654 ±0.0018	1.0059 ±0.0281	0.1116 ±0.0017	787 ±60	707 ±14	682 ±10	87	455	968	0.47
11s	0.0591 ±0.0021	0.6409 ±0.0224	0.0786 ±0.0013	572 ±80	503 ±14	488 ±8	85	3	175	0.02

续表 1

Continoued Table 1

分析点号	同位素比值			定年结果			谐和度	Th ($\times10^{-6}$)	U ($\times10^{-6}$)	Th/U
	$^{207}Pb/^{206}Pb$ ±1σ	$^{207}Pb/^{235}U$ ±1σ	$^{206}Pb/^{238}U$ ±1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$ ±1σ	$^{207}Pb/^{235}U$ ±1σ	$^{206}Pb/^{238}U$ ±1σ				
12s	0.0644±0.0022	1.0332±0.0343	0.1164±0.0019	754±73	721±17	710±11	94	336	478	0.70
12s-h	0.0653±0.0018	0.9790±0.0271	0.1087±0.0017	784±59	693±14	665±10	85	515	951	0.54
13s	0.0670±0.0013	1.1615±0.0233	0.1257±0.0018	839±41	783±11	763±10	91	8	336	0.02
14s	0.0672±0.0015	1.1380±0.0268	0.1229±0.0018	843±49	772±13	747±10	89	7	302	0.02
15s	0.0652±0.0012	0.9259±0.0179	0.1030±0.0014	781±39	665±9	632±8	81	390	656	0.59
16s	0.0574±0.0020	0.6282±0.0213	0.0794±0.0013	506±77	495±13	493±8	97	3	159	0.02
17s	0.0670±0.0018	1.0179±0.0281	0.1102±0.0017	838±58	713±14	674±10	80	422	542	0.78
18s	0.0699±0.0021	1.1370±0.0338	0.1180±0.0018	925±64	771±16	719±11	78	512	653	0.78
19s	0.0622±0.0027	0.6720±0.0279	0.0784±0.0014	681±93	522±17	487±9	72	3	141	0.02
20s	0.0663±0.0012	1.0851±0.0218	0.1187±0.0017	816±40	746±11	723±10	89	454	852	0.53
21s	0.0648±0.0012	1.0041±0.0200	0.1124±0.0016	767±40	706±10	687±9	90	264	521	0.51
22s	0.0669±0.0014	1.0979±0.0235	0.1191±0.0017	833±43	752±11	725±10	87	627	953	0.66
23s-h	0.0654±0.0050	1.0982±0.0809	0.1217±0.0032	789±165	752±39	741±19	94	67	38	1.76
24s-h	0.0644±0.0016	0.8712±0.0216	0.0981±0.0014	755±54	636±12	603±8	80	841	1885	0.45
25s	0.0622±0.0015	0.7345±0.0177	0.0857±0.0013	680±51	559±10	530±7	78	1327	1866	0.71
26s	0.0652±0.0020	1.0773±0.0328	0.1199±0.0021	780±64	742±16	730±12	94	514	674	0.76
26s-h	0.0638±0.0024	0.9229±0.0338	0.1048±0.0018	736±81	664±18	642±10	87	319	551	0.58
27s	0.0672±0.0013	1.0232±0.0214	0.1105±0.0016	843±42	716±11	676±9	80	366	923	0.40

QL0715-2、QL0738 和 QL0752 为正变质岩；而样品 QL0754-1 为副变质岩。这一原岩恢复结果还得到了下文锆石形态学和定年结果的支持。

4 样品分析方法

本次研究的主量元素成分在南京大学现代分析中心用 XRF 测定，微量元素成分在南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室采用 Finnigan Element Ⅱ ICP-MS 测定。

锆石的 U-Pb 定年从样品的分离到测定都由作者本人完成。锆石分离主要采用传统的淘选方法。定年锆石样靶的制作方法详见 He *et al.* (2009)。对锆石抛光后进行显微镜下观察和透、反射光照相，并在内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室（南京大学）和地质过程与矿产资源国家重点实验室（中国地质大学（武汉））进行了阴极发光（CL）成像分析。锆石 U-Pb 年龄测定在南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室完成，测试方法见 He *et al.* (2009)。实验原理相似于 Jackson *et al.* (2004) 的描述。ICP-MS 的分析数据通过即时分析软件 GLITTER 计算获得同位素比值、年龄和误差。普通铅校正采用 Andersen (2002) 的方法进行，校正后的结果用 Isoplot 程序（ver. 2.49）(Ludwig, 1991) 完成年龄计算和谐和图的绘制。

分析结果都列于表 1 中。本文对年龄较老（>1Ga）的锆石采用 $^{207}Pb/^{206}Pb$ 年龄，而对年龄较小（<1Ga）的锆石采用 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄（Griffin *et al.*, 2004）。

5 秦岭岩群锆石特征及定年结果

5.1 锆石 CL 图像和锆石成分

样品 QL0738 中的锆石以自形、长柱状为主（图 3a-f），可见清晰环带发育。其 U、Th 含量范围分别为 $167\times10^{-6}\sim1618\times10^{-6}$ 和 $72\times10^{-6}\sim703\times10^{-6}$，82% 锆石的 Th/U 比值大于 0.4。一般认为 Th/U 比值大于 0.4 以及具有韵律环带的锆石是岩浆成因，而无环带或弱环带以及低的 Th/U 比值（<0.1）被认为是变质成因的（Williams and Claesson, 1987; Rubatto *et al.*, 2002; 吴元保和郑永飞, 2004; Bingen *et al.*, 2004; Zheng *et al.*, 2005），因此，样品 QL0738 中锆石应为岩浆成因的。样品 QL0752 中的锆石以自形、短柱状-长柱状为主，晶面较好，CL 图像显示多数锆石具有明显的核边结构（图 3g-l），一些锆石甚至可以分辨出 4 期。I 为继承核，呈碎片状，有明显成分环带；II 为锆石结晶幔，发育韵律环带，自形；III 为增生边 I，具有高 CL 亮度，无环带构造；IV 为增生边 II，具有暗的 CL 图像，弱环带。锆石核部 I 的 U、Th 含量变化为 $85\times10^{-6}\sim662\times10^{-6}$ 和 $118\times10^{-6}\sim1116\times10^{-6}$，其 Th/U 比均大于 0.4，平均为 1.64；II 的 U、Th 含量变化为 $52\times10^{-6}\sim687\times10^{-6}$ 和 $4\times10^{-6}\sim1799\times10^{-6}$，其 Th/U 比全部大于 0.4，平均为 1.80；III 的分析点较少，其 U、Th 含量变化为 $104\times10^{-6}\sim206\times10^{-6}$ 和 $4\times10^{-6}\sim28\times10^{-6}$，Th/U 比值

较低(<0.1),平均为0.04;IV较窄,LA-ICP-MS无法精确测定其Th、U含量和年龄。综合上述特征,继承核I和锆石幔II属于岩浆成因,边部III、IV应为变质增生边(Gebauer, 1996; Rubatto and Gebauer, 2000; Poller, 2000)。样品QL0754-1中的锆石大都呈“浑圆状”,但这些锆石大都具强金刚光泽,说明不是受磨损的沉积锆石。实际上这些“浑圆状”锆石是多晶面造成的假象。其内部显弱的宽的环带,轮廓与外形一致(图3m-r),不同于典型岩浆成因的(如QL0738)的柱状+锥形的紧闭振荡环带,而是一种变质增生或深熔成因的锆石(Claoué-Long *et al.*, 1991; Vavra *et al.*, 1999;简平等,2001;吴元保和郑永飞,2004)。一些颗粒核部常具包含椭圆形或次圆形的继承锆石(图3o-q),进一步证实了其原岩为沉积岩。核部继承锆石的U、Th含量变化为$130\times10^{-6}\sim808\times10^{-6}$和$13\times10^{-6}\sim591\times10^{-6}$,Th/U比值变化大,绝大多数大于0.2,中值为0.61;而边部变质-深熔锆石的U、Th含量变化为$177\times10^{-6}\sim907\times10^{-6}$和$9\times10^{-6}\sim924\times10^{-6}$,Th/U比值大多小于0.3,中值为0.20。QL0715-2中的锆石多为长柱状,少数可见简单成分环带,CL图像显示锆石具有明显的核边之分,核部较暗,有宽的成分分带;边部一般较窄,具明亮CL,不具成分分带(图3s-w),这种锆石有时为单独颗粒(图3 x)。锆石核部的形态为不规则柱状,这种外形应为溶蚀或吸回(resorption)作用的结果(Guynn *et al.*, 2006; Tichomirowa *et al.*, 2005)。锆石核部的U、Th含量范围分别为$38\times10^{-6}\sim1885\times10^{-6}$和$7\times10^{-6}\sim841\times10^{-6}$,其Th/U比大部分大于0.4,平均为0.66。边部的U、Th含量范围分别为$2\times10^{-6}\sim56\times10^{-6}$和$141\times10^{-6}\sim327\times10^{-6}$,其Th/U比大部分小于0.1,平均值为0.06,显然,锆石边部应为变质增生形成的。

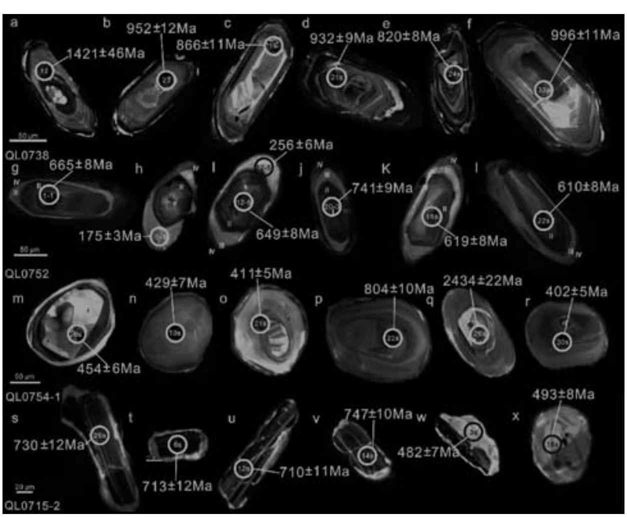

图3　秦岭岩群变质岩中锆石的CL图像(圆圈为U-Pb分析点)

Fig.3　CL images of zircons from the metamorphic rocks in the Qinling Group(the circles refer to dating spots)

5.2　定年结果

对样品QL0738中的锆石进行了56次U-Pb定年分析,大多数点是谐和的或弱不谐和的,其中52个U-Pb分析点组成了一条很好的不一致线(图4a),其上、下交点年龄分别为971±21Ma和464±100Ma(MSWD=0.80),其上交点年龄应代表原岩的形成年龄,而下交点年龄代表后期变质热事件的年龄。4颗老锆石的分析(点号3、4、12、18)偏离谐和线,显示不同程度的铅丢失。其$^{207}Pb/^{206}Pb$年龄变化于1421~1595Ma。这些点分析于锆石的核部,应为原岩中的继承锆石,说明源区或深部存在中元古代组分。

对样品QL0752中的锆石进行了76次U-Pb定年分析,在U-Pb谐和图上一些锆石略偏离谐和线(图4b),说明发生了不同程度的Pb丢失。其中对主体锆石幔部II的65个分析点组成了一条很好的不一致线,其上、下交点年龄分别为843±37Ma和214±130Ma(MSWD=1.3),说明此变质岩原岩的形成时代也为新元古代。对继承锆石I的分析显示,其$^{207}Pb/^{206}Pb$年龄变化于1256~905Ma,且大多谐和性较差。4个锆石增生边(III)的分析中有3个的$^{206}Pb/^{238}U$年龄较为一致,平均为167±19Ma。与上述不一致线的下交点(214±130Ma)在误差范围内一致,指示了一次中生代变质热事件。另一个分析点(12-5)的年龄偏高(256±6Ma),可能是由于分析点靠近II,受到了混合的结果。

样品QL0754-1存在原岩沉积岩的继承锆石(核部)以及大量增生锆石。对变质增生-深熔锆石的22次分析显示年龄集中于早古生代,这些年龄大多是谐和的,在年龄频谱图上显示一个430Ma左右的年龄峰值(图4c),平均年龄值为426±6Ma。对继承核的22次定年分析显示其大多数年龄不谐和(谐和度<90%),且年龄跨度大,最老锆石为2434Ma,最年轻的不谐和$^{206}Pb/^{238}U$年龄为513Ma(图4c和表1)。继承核的碎屑锆石的年龄主要是新元古代,部分为中-古元古代,说明沉积物来自复杂的源区。继承核碎屑锆石的内部构造和其Th/U比值表明它们主要是岩浆成因的,也有少量属于早期的变质成因锆石。

对样品QL0715-2中锆石的31次U-Pb定年分析显示,核部的岩浆锆石具有较老的年龄,但大多显示了不同程度的Pb丢失,有4个分析点的激光剥蚀深部(指示边部)显示了更明显的Pb丢失,表明后期热事件对其强烈的改造。将这些分析结果投影在谐和图上可以得到了一条较好的不一致曲线(图4d),其上交点年龄为907±63Ma,下交点是403±64Ma(MSWD=0.55)。测自增生边和独立变质锆石颗粒具有低Th/U比值,且都位于下交点。因此,此不一致曲线的上交点年龄应该代表此变质基性火山岩原岩的形成年龄,而下交点年龄指示后期变质事件的年龄。6个变质锆石的$^{206}Pb/^{238}U$表面年龄的平均值是464±8Ma,虽与上述下交点年龄有一定的误差,但都指示了一次早古生代变质热事件。

综上可知,三个正变质岩(QL0715-2、QL0738和

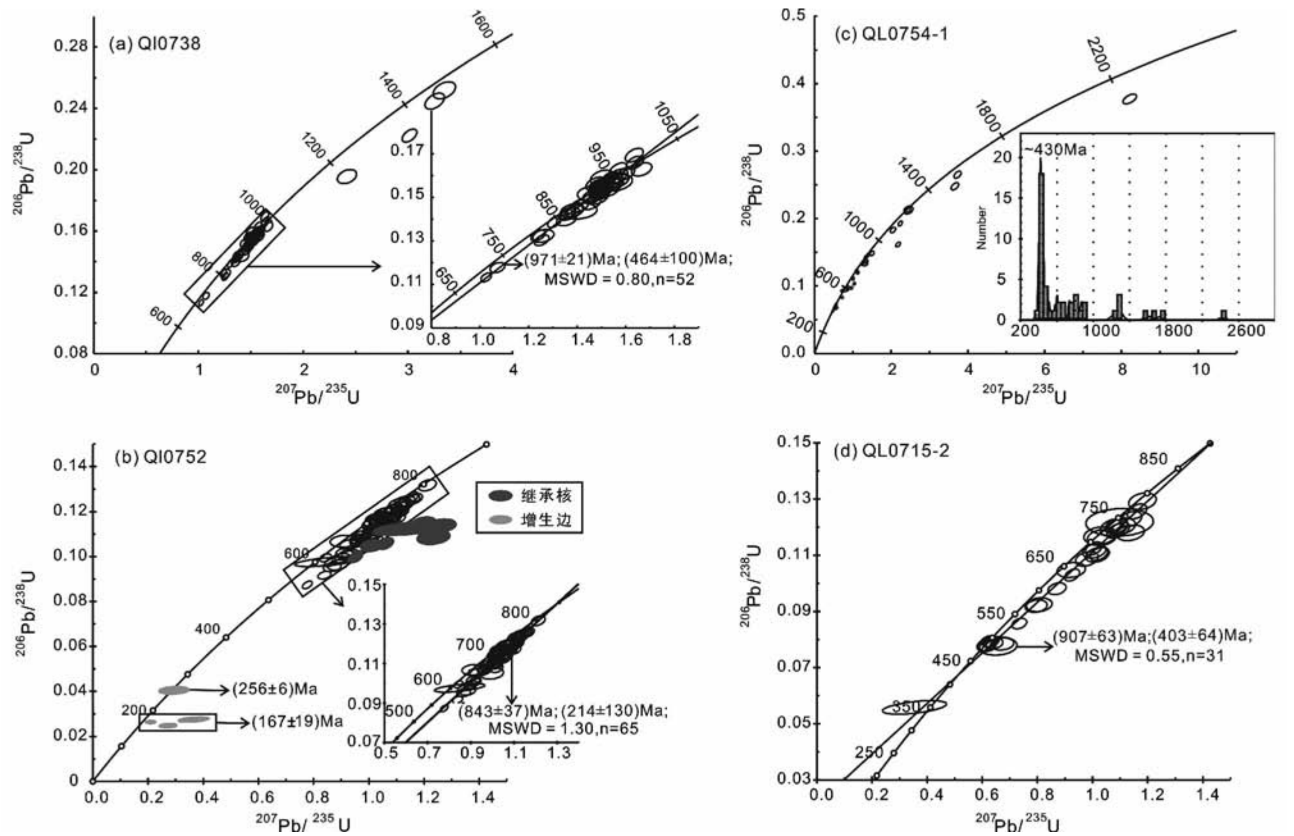

图4 东秦岭秦岭岩群变质岩中锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 4 Concordia plot for zircons from the metamorphic rocks of the Qinling Group in the eastern Qinling Orogen

QL0752)的原岩都形成于新元古代早期(971 ~ 843Ma),这与扬子西缘新元古代岩浆活动的年代相当(Li *et al.*, 2003; Ling *et al.*, 2003; Zhou *et al.*, 2006; Sun *et al.*, 2008);而副变质岩(QL0754-1)中也有大量新元古代的锆石。说明北秦岭南缘在新元古代时期存在大量岩浆活动。秦岭岩群南部的变质岩原岩主要是在新元古代早期形成,而非以前认为的早元古代(张国伟和周鼎武,1990;游振东等,1991;刘国惠等,1993;张宗清等,1994;李靠社等,1994)。最近刘军锋等(2009)对商州市南拉鸡庙镁铁质岩石的锆石定年也发现其中大量的新元古代早期的捕获锆石。本次研究还在一些岩石中发现少量中元古代(甚至新太古代晚期)的继承锆石,说明深部可能存在一些更古老的物质。变质锆石年龄显示北秦岭的南缘从秦岭岩群形成以来至少经历了加里东期和燕山早期两期构造-热事件,其中早古生代的热事件尤为强烈。

6 岩石地球化学特征

本次研究对这4件定年样品也进行了岩石地球化学分析(表2)。岩相学特征、原岩恢复和锆石形态分析已经显示样品 QL0738、QL0752 和 QL0715-2 的原岩是火山岩。在 TAS 图解上(图5a),酸性变火山岩样品 QL0738、QL0752 落在英安岩区并靠近流纹岩、粗面英安岩区域。而变基性火山岩样品 QL0715-2 落在玄武岩区,显示了一定的双峰式特征(张本仁等,1994)。样品 QL0738 和 QL0752 的全碱含量分别为 7.2 和 8.2,铝饱和指数分别为 1.1 和 1.0;副变质岩 QL0754-1 的全碱含量较低(5.9),但其铝饱和指数较高(1.2),与其原岩为沉积岩的特征吻合。变质玄武岩 QL0715-2 具有低的全碱含量(2.9),属于钙碱性(表2)。在 K_2O-SiO_2 图解(图5b)上,变质酸性火成岩投影于高钾钙碱性系列,而变质玄武岩位于钙碱性系列范围内。

样品 QL0738 和 QL0752 的稀土总量分别为 189×10^{-6} 和 236×10^{-6},LREE/HREE 分别为 8.17 和 12.51,$(La/Yb)_N$ 值分别为 7.91 和 15.21,为轻稀土富集型。岩石具有中等 Eu 负异常($\delta Eu = 0.59$ 和 0.68)。副变质岩 QL0754-1 的稀土特征与变质酸性岩的相似,其稀土总量稍高(246×10^{-6}),LREE/HREE 为 8.14,$(La/Yb)_N$ 值为 7.83,也是轻稀土富集型,Eu 负异常中等($\delta Eu = 0.62$)。变质基性岩(QL0715-2)的稀土总量较低(86×10^{-6}),LREE/HREE 为 3.84,$(La/Yb)_N$ 值为 3.4,略富集轻稀土。岩石没有明显的 Eu 负异常($\delta Eu = 0.91$;图6a)。

QL0738 和 QL0752 相对于原始地幔明显富集 K、Rb、Ba、Th 等大离子亲石元素和 Zr、Hf 等高场强元素,Rb、Th 和 Pb 元素显示明显的正异常,而 Ba、Nb、Ta、Sr、P 和 Ti 显示出负异常,指示岩浆可能经历了长石和一些副矿物(如磷灰石和

表 2 东秦岭秦岭岩群基底变质岩主量元素(%)和微量元素($\times10^{-6}$)分析结果

Table 2 The analyzed data of major (%) and trace elements ($\times10^{-6}$) of the basement metamorphic rocks of Qinling Group from the Eastern Qinling area

主量	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3T	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	LOI	SUM	$Mg^{\#}$	A/CNK	ALK	DF
QL0738	66.54	0.68	15.34	5.54	0.08	1.18	2.58	3.08	4.08	0.22	0.77	100.08	0.18	1.08	7.16	1.66
QL0752	68.90	0.45	15.29	3.22	0.09	0.97	2.45	3.84	4.33	0.13	0.32	99.99	0.23	0.99	8.16	3.28
QL0754-1	64.95	0.75	14.81	6.96	0.12	3.22	2.41	2.92	3.00	0.13	0.80	100.10	0.32	1.19	5.93	−1.37
QL0715-2	50.91	1.35	13.32	13.62	0.20	7.01	9.98	2.18	0.73	0.12	1.22	100.70	0.34	0.59	2.92	
微量	Sr	Rb	Ba	Th	U	Nb	Ta	Zr	Hf	Y	V	Sc	Ni	Cr	Li	
QL0738	151	204.04	780.35	22.59	1.90	13.89	0.98	329.05	9.51	37.45	51	13.11	6.01	15.92	79.26	
QL0752	384	115.85	939.33	18.29	2.33	10.28	0.89	331.06	8.68	19.99	55	8.32	0.39	2.44	14.96	
QL0754-1	252	113.30	573.05	22.11	1.92	10.21	0.64	281.30	7.43	40.36	138	20.26	32.87	77.43	34.91	
QL0715-2	157	44.03	125.41	2.87	0.84	9.49	0.87	125.77	3.26	26.84	422	43.29	88.49	122.40	22.80	
微量	Be	Ti	Mn	Co	Cu	Zn	Ga	Mo	Cd	Sn	Cs	W	Pb	Bi	La	Ce
QL0738	1.58	4411	553	7.09	3.97	101.20	22.86	1.24	0.29	3.07	8.73	0.43	28.77	0.05	43.59	107
QL0752	1.46	2745	599	3.80	1.22	66.25	17.90	0.85	0.23	2.14	1.96	0.13	22.93	0.03	43.21	84
QL0754	0.53	4821	825	16.20	10.14	84.66	18.95	1.10	0.20	0.60	2.54	0.32	21.38	0.03	48.06	109
QL0715-2	0.61	8932	1582	44.71	126.77	86.70	18.11	1.32	0.10	1.30	4.94	0.76	5.80	0.16	13.31	31
微量	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE	L/H	La_N/Yb_N	δEu
QL0738	10.78	40.33	7.67	1.46	7.05	1.01	6.84	1.47	4.28	0.62	3.95	0.61	236.94	8.17	7.91	0.59
QL0752	9.17	32.65	5.25	1.08	4.16	0.56	3.62	0.77	2.22	0.32	2.04	0.32	189.30	12.51	15.21	0.68
QL0754	11.21	41.50	7.50	1.50	6.92	1.00	6.99	1.59	4.61	0.68	4.41	0.66	245.63	8.14	7.83	0.62
QL0715-2	3.77	15.56	3.62	1.20	4.45	0.67	4.86	1.08	3.11	0.44	2.78	0.42	86.14	3.84	3.43	0.91

DF-原岩判别因子(Shaw, 1972)；$Mg^{\#}=MgO/(MgO+Fe_2O_3^{T})$；A/CNK(铝饱和度)＝Al/(Ca＋Na＋K)(原子数)；ALK(全碱)＝Na_2O+K_2O；ΣREE-稀土元素总量；L/H-轻稀土元素总量与重稀土元素总量比值；δEu (Eu 异常值)＝$Eu_N\times2/(Sm_N+Gd_N)$；下角 N 为球粒陨石标准化值

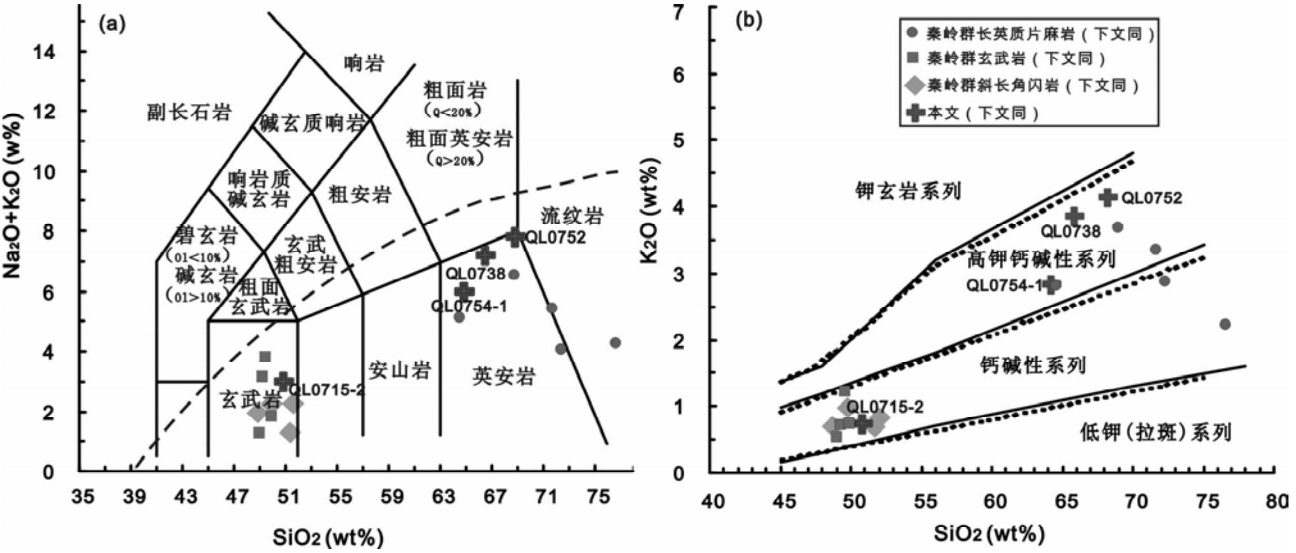

图5 秦岭岩群变质岩的TAS图解(a)(据Le Maitre, 1989)和K_2O-SiO_2图解(b)(据Peccerillo and Taylor, 1976)其中碱性和亚碱性的划分据Irvine and Baragar (1971)

秦岭群长英质片麻岩、秦岭群玄武岩和秦岭群斜长角闪岩主量元素数据分别据胡健民(1989)、何瑞芳和安三元(1992)和张宗清等(1994)

Fig. 5 TAS classification (a) and K_2O-SiO_2 diagram (b) of metamorphic rocks of the Qinling Group (after Le Maitre, 1989; Peccerillo and Taylor, 1976). The boundary between alkaline and subalkaline area is from Irvine and Baragar (1971)

Major element data of felsic gneisses, basalt and plagioamphibolite from the Qinling Group are after Hu (1989), He and An (1992) and Zhang *et al.* (1994)

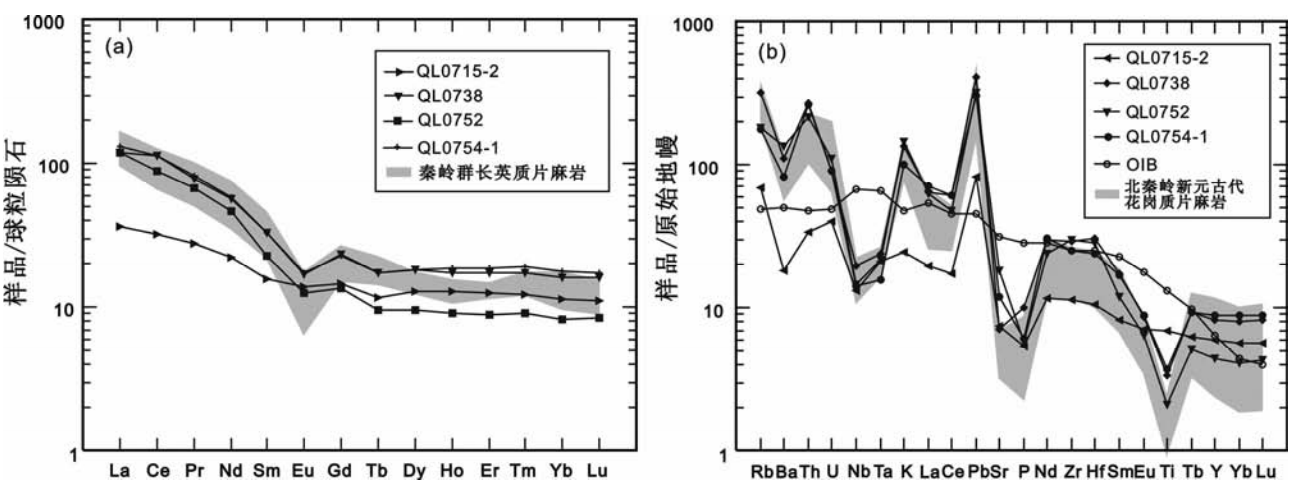

图6 秦岭岩群变质岩的稀土模式和微量元素含量蛛网图

球粒陨石标准值引自Taylor and Mclennan (1985);原始地幔标准化值和OIB数据引自Sun and Mcdonough (1989);秦岭群长英质片麻岩稀土元素数据引自胡建民(1989);北秦岭新元古代花岗质片麻岩微量元素数据引自陆松年等(2003)

Fig. 6 REE patterns (a) and spider diagram of trace element abundances of Qinling Group metamorphic rocks

Chondrite normalized factors from Taylor and Mclennan (1985); Primitive mantle-normalized factors and data of OIB are from Sun and Mcdonough (1989); REE data of felsic gneisses of the Qinling Group are from Hu (1989); trace element data of Neoproterozoic granitic gneisses from North Qinling are from Lu *et al.* (2003)

钛铁矿)的分离结晶作用。变质沉积岩(QL0754-1)也明显富集K、Rb、Ba、Th等大离子亲石元素和Zr、Hf等高场强元素,Rb、Th和Pb显示正异常,Ba、Nb、Ta、Sr、P、Ti明显负异常(图6b),相似于长英质变质岩QL0738、QL0752(正变质岩),指示它们很可能是其沉积物的主要物源区,这也与变质沉积岩中碎屑锆石主要是新元古代的相吻合。

7 讨论

7.1 秦岭岩群的形成和变质作用时代

关于秦岭岩群的形成时代，主要有古元古（张国伟和周鼎武，1990；游振东等，1991；刘国惠等，1993；张宗清等，1994；李靠社等，1994）、中元古（肖思云等，1988；安三元，1993；安三元等，1985）和新元古（陈能松等，1991；Zhang, 1997）三种认识。另外，陈衍景等（1992，2003）认为，秦岭群主体形成于1000～400Ma，但包含早中元古残留地体，并受后期改造。但目前地质图上多将秦岭岩群划分为下元古界。张宗清等（1994）曾测得河南西峡和陕西丹凤地区秦岭岩群中副片麻岩的碎屑锆石（稍经搬运磨蚀）U-Pb年龄为2226～2172Ma，从而确定秦岭岩群的形成年龄为2.0Ga左右。Kröner *et al.*（1993）用Pb/Pb单颗粒锆石法测定秦岭岩群中有0.8Ga和2.6Ga二组锆石年龄。陈能松等（1991）和Zhang（1997）对秦岭岩群片麻岩进行全岩Rb/Sr定年，得出其年龄为991±1Ma、794±32Ma和670±40Ma。本次研究通过对北秦岭南缘秦岭岩群4件基底变质岩的定年指出，三个正变质岩原岩的形成时代为971～843Ma，与陈能松等（1991）和Zhang（1997）的测定结果一致。一个副变质岩中也含大量新元古代碎屑，而它又受到早古生代变质作用，其中最年轻的碎屑锆石的谐和年龄是859Ma，因此其沉积时代应该是新元古代中晚期。所有这些年龄说明北秦岭南缘的秦岭岩群主要由新元古代的岩石组成。

秦岭岩群经历了复杂的构造变形与变质作用，王涛等（1997）认为秦岭岩群主要发生过晋宁期、加里东-海西期两次大的变质变形。晋宁期以线性褶皱变形为主，变质分带呈平行展布，形成于下冲深埋的构造背景。加里东-海西期以花岗“热穹”变形变质为主要特点，显示了抬升改造的构造背景。裴先治等（1999）认为秦岭杂岩的主变质期为晋宁期（996～744Ma），加里东期有过强烈改造。多数人都认为至少有前寒武纪、早古生代，晚古生代及中新生代四期主要的变质、变形作用（张秋生，1980；张国伟等，1988；许志琴等，1988）。本次研究在详细的锆石成因研究的基础上指出，北秦岭南部的秦岭岩群主要经历了早古生代加里东期的变质热事件叠加，局部还受到中生代燕山早期变质作用影响，而没有新元古代变质事件。以往由于缺少对锆石内部结构和Th/U比值的研究，又受到秦岭群为古元古代认识的束缚，很可能将许多新元古代年龄信息解释为变质作用的结果，而本文的综合研究显示新元古代是以岩浆活动为特点，代表的是原岩的形成时代，而变质作用主要发生在加里东期。局部的燕山期变质作用很可能与研究区燕山早期的岩浆活动有关。

7.2 秦岭岩群岩石的形成环境分析

关于秦岭岩群中岩石形成环境的一个较普遍的认识是它们形成于裂谷环境（张国伟等，1988；张本仁等，1994；高山等，1990；安三元和胡能高，1992）。这一认识的主要依据是秦岭岩群的岩石具有双峰式分布特征。但是双峰式火山岩也可以形成于其它构造背景中，如大陆拉张减薄环境（Duncan *et al.*, 1984；Garland *et al.*, 1995；Pin and Marini, 1993）、岛弧（Brouxel *et al.*, 1987）、洋岛（Geist *et al.*, 1995）、弧后盆地（Hochstaedter *et al.*, 1990）、造山后拉张环境（Coulon *et al.*, 1986）等。另有一些学者通过对秦岭岩群的*P-T*轨迹的研究，得出秦岭岩群的形成环境与岛弧环境一致（陈能松，1990；张国伟等，2001）。根据北秦岭新元古代花岗质片麻岩的地球化学研究，陆松年等（2003）认为这些花岗岩类具有火山弧-同碰撞复合型花岗岩的特征。而这些花岗片麻岩具有与本研究的长英质变质岩（QL0738、QL0752）相似的微量元素特征（图6b）。本次研究对秦岭岩群的酸性、基性变质火山岩和变质沉积岩的形成环境进行了综合分析，研究结果显示它们都形成于岛弧环境。

通常形成于大陆裂谷构造背景下的岩石具有偏碱性的地球化学特征，而本次研究的变质基性岩以及前人分析的数据（何瑞芳和安三元，1992；张宗清等，1994）均显示钙碱性的特征（图5b），指示了岛弧构造背景。在构造环境判别图上，酸性火山岩（QL0738和QL0752）落在火山弧花岗岩区或火山弧花岗岩与同碰撞花岗岩的分界处（图7），其富集K、Rb、Ba、Th等大离子亲石元素和亏损Nb、Ta和Ti等高场强元素（图6b）的特征也相似于火山弧花岗岩。

本文的基性变质岩与何瑞芳和安三元（1992）的4个变基性火山岩都显示出K、Rb、Th等大离子亲石元素富集和Nb、Ta等元素亏损的钙碱性玄武岩的微量特征（图6b）。在构造环境判别图上，它们均投影于钙碱性玄武岩和岛弧拉斑玄武岩区（图8）。在Nb-Zr-Y（Meschede, 1986）、Th-Hf-Ta（Wood, 1980）、Ti-Zr-Y（Pearce and Cann, 1973）和Hf-Th-Nb（Wood, 1980）图解中（图略），样品QL0715-2也主要落入岛弧环境。因此，秦岭岩群中的基性岩同样形成于聚敛板块边界的火山弧环境。

沉积岩的地球化学也可以被用于判断它们的沉积环境（于津海等，2006；许德如等，2007）。本文对（胡健民，1989）5个长英质片麻岩的原岩恢复显示它们都是副变质岩（图2）。这些样品与本文的一个样品在构造环境判别图上都投影于大陆弧、大洋弧和活动大陆边缘区域（图9），表明秦岭岩群中变质沉积岩形成于活动大陆边缘-火山弧构造环境，也与大洋板块的俯冲造山作用相关。综上所述，北秦岭南缘秦岭岩群的新元古代基性-酸性火山岩以及沉积岩的地球化学特征均显示了与弧岩浆的亲缘性，即它们都形成于火山弧的构造环境。

张宗清等（1994）曾对河南西峡和陕西丹凤地区秦岭岩群的Nd同位素进行分析，其中变质长英质岩石具有负的$\varepsilon_{Nd}(t)$值（$-4.6 \sim -6.5$）（根据本文定年结果重新计算），模式年龄（t_{DM}）变化于1.9～2.0Ga，表明它们是古老地壳物质重熔的产物。变质基性岩的同位素组成具有较大的变化范

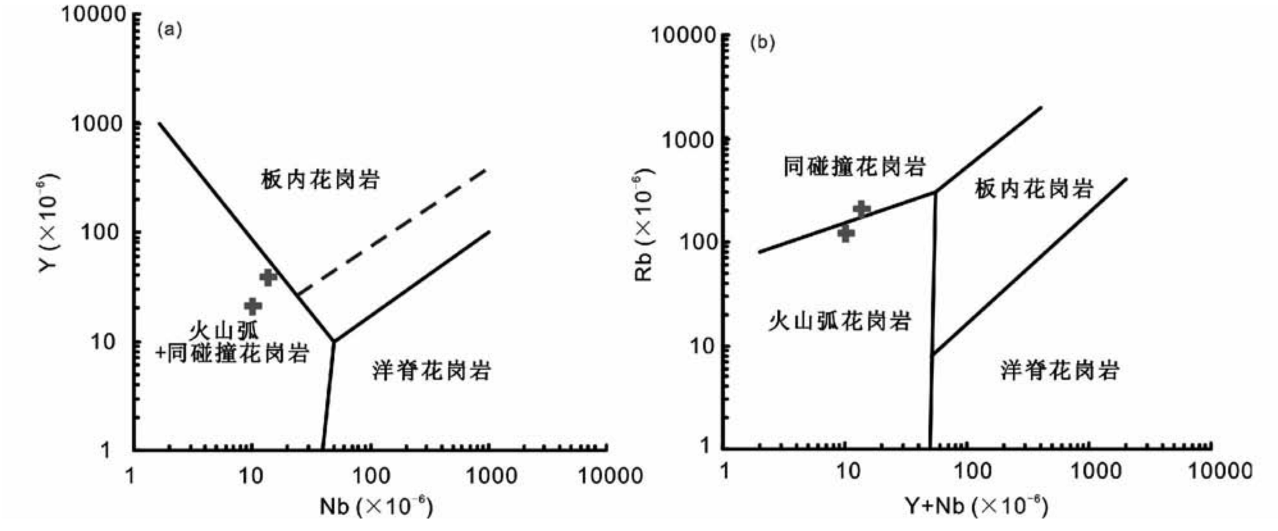

图7 秦岭岩群花岗质片麻岩构造环境判别图(据 Pearce 等,1984)

Fig. 7 Tectonic setting discriminations for the felsic gneisses of the Qinling Group (after Pearce *et al.*, 1984)

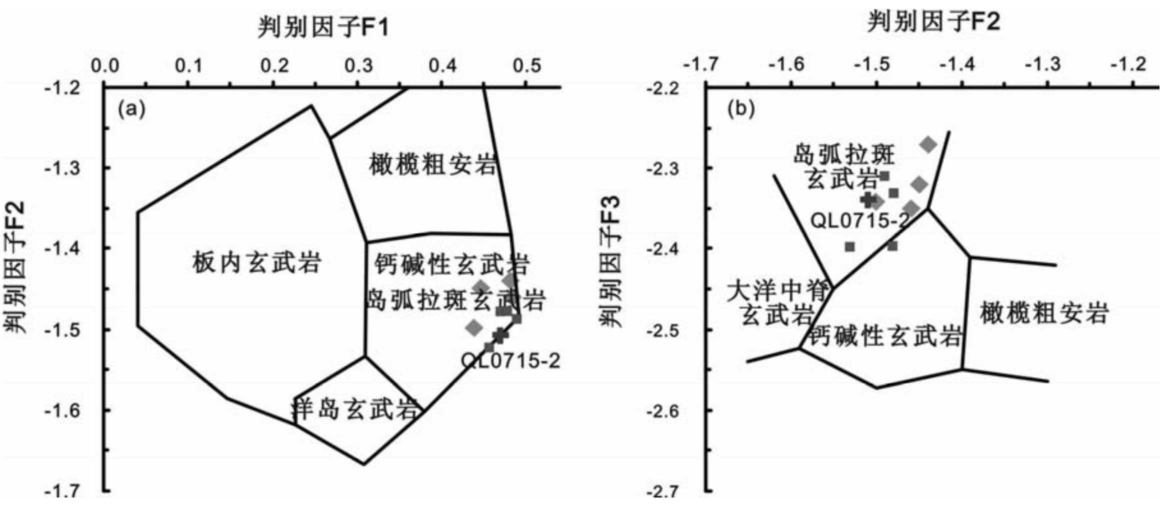

图8 秦岭岩群变基性火山岩构造环境判别图(据 Pearce, 1976)

Fig. 8 Tectonic setting discriminations for the metamorphic basic volcanic rocks of the Qinling Group (after Pearce, 1976)

围,$\varepsilon_{Nd}(t) = -5.46 \sim 4.34$,而 $t_{DM} = 2.0 \sim 1.2$Ga。这些同位素变化与主量元素(如 SiO_2)和微量元素(K/Nb)显示了很好的负相关性,表明这些基性岩浆受到了不同程度的地壳混染(Fitton *et al.*, 1998; Gill *et al.*, 2004),即岩浆在结晶过程中发生了 AFC 作用。因此,新元古代秦岭岛弧是发育在大陆地壳之上的,属于大陆弧。这意味着在新元古代早期扬子克拉通北方的东秦岭南缘存在大洋板块俯冲作用。这与秦岭造山带中存在新元古代早期蛇绿岩的事实相吻合(Dong *et al.*, 2008; 陆松年等,2003; Ratschbacher *et al.*, 2003; Wang *et al.*, 2003)。这一俯冲事件与扬子西缘发生的岩浆活动在时间上和构造背景上是完全一致的(Zhou *et al.*, 2002a, 2002b; Zhou *et al.*, 2006; Sun *et al.*, 2008),说明在新元古代早期扬子克拉通的西侧和北侧都面向大洋,并发生着大洋板块朝大陆板块的俯冲作用。

7.3 构造归属

对于秦岭岩群的构造归属一直以来颇有争议,存在其归属华北克拉通、扬子克拉通和独立微陆块三种不同的认识。

由于秦岭岩群和扬子陆块在地层和沉积特征方面存在差异,许多研究者曾将秦岭岩群归属于华北陆块或华北陆块的裂解部分。根据北秦岭中存在着具有岛弧和弧后地质-地球化学特征的变火山-沉积岩套和具有岛弧地质-地球化学特征的花岗岩类和基性侵入岩类,以及其南侧商南-丹凤断裂构造带中(缝合带)出露有松树沟新元古代蛇绿岩,张国伟等(1988)和张本仁等(1994)将新元古代-早古生代北秦岭视为华北陆块南缘的活动大陆边缘;安三元和胡能高(1992)也认为北秦岭构造带隶属于华北板块南缘。朱炳泉(1993)通过

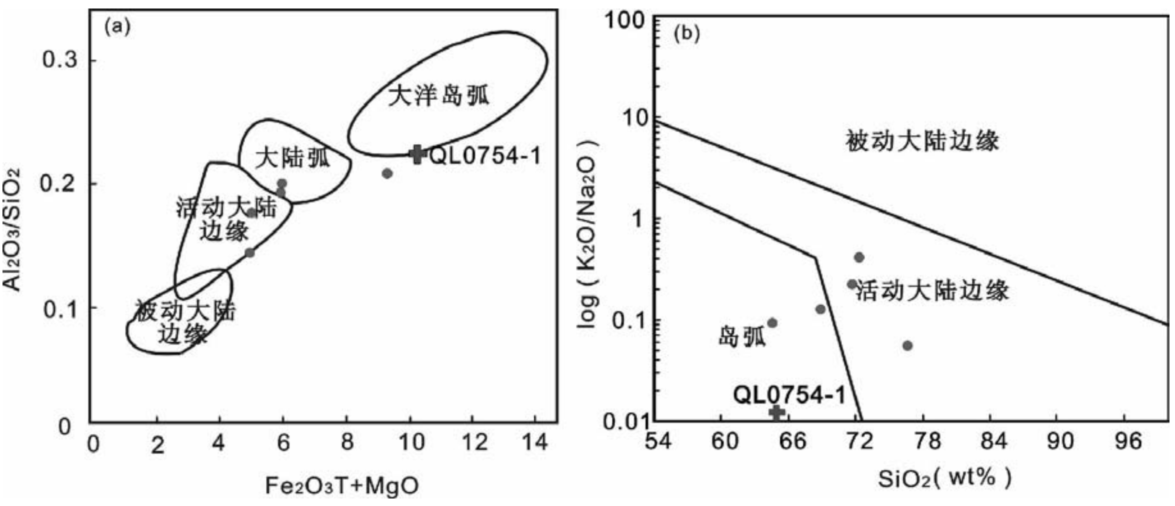

图 9　秦岭岩群变沉积岩构造环境判别图(a 据 Bhatia, 1983；b 据 Roser 和 Korsch,1986)

Fig. 9　Tectonic setting discriminations for mate-sedimentary rocks of Qingling Group(a after Bhatia, 1983; b after Roser and Korsch 1986)

对中国东部岩石的铅同位素对比,发现北秦岭的基性火山岩和片麻岩类,具有明显高的放射成因 Pb,显著区别于华北地块特征,因此将整个秦岭造山带划归为扬子 Pb 同位素省;综合其它地球化学特征和构造边界和华北地块存在较大的差异,Zhang *et al.* (1996)和朱炳泉等(1998)也提出了北秦岭不属于华北地块,而更接近于扬子地块的观点;Huang and Wu (1992)根据岩性特征把秦岭岩群下部地层归为扬子克拉通基底;Xue *et al.* (1996)利用新元古代年龄的普遍存在把秦岭岩群归为扬子克拉通基底,认为秦岭岩群和华北克拉通不同,其中广泛含有 750Ma 热事件的证据;周炼等(2007)对扬子克拉通北缘西乡-碑坝小区 2 个沉积岩样品的 $\varepsilon_{Nd}(t)$研究发现,其钕同位素和秦岭群片麻岩有相似的演化规律。另有一些学者将北秦岭视为一个独立的微陆块,例如,张本仁等(1996)根据秦岭岩群具有强亏损型地幔源区和松树沟蛇绿岩具有古洋壳残片性质,推断北秦岭为亏损型洋幔基础上发展形成的微陆块;欧阳建平和张本仁(1996)通过同位素对比研究和沉积岩地球化学分析,指出北秦岭为古元古代在强亏损型地幔之上的新生地壳基础上发展形成的微古陆;许继峰和韩吟文(1996)指出秦岭地区古 MORB 的铅同位素组成明显高于南北两侧陆块古地幔或现代地幔的组成,认为秦岭地区曾经存在着长期分隔华北和扬子陆块的秦岭古洋;董云鹏和张国伟(2003)根据北秦岭地区的秦岭岩群变基性火山岩具有明显高的初始 $\varepsilon_{Nd}(t)$值和 Pb 同位素比值,截然区别于华北陆块同位素组成,同时北秦岭地幔 Nd 同位素组成显示轻微富集的演化趋势,与南秦岭亏损趋势相反,认为北秦岭是在华北外侧洋岛基础上形成的独立微陆块。

本研究对北秦岭南部 4 件秦岭岩群变质岩样品进行了详细的锆石 U-Pb 定年工作,测得其原岩形成年龄为新元古代早期,结合前人的工作(Gao *et al.*, 1995;王涛等,2002;陆松年等,2003),可以表明新元古代构造岩浆活动在东秦岭造山带是广泛发育的。如上所述,这期岩浆活动的时代和形成的构造环境与扬子西缘-西北缘的新元古代岩浆和沉积作用的形成背景完全一致(Li *et al.*, 2003; Ling *et al.*, 2003; Zhou *et al.*, 2002a, 2002b; Zhou *et al.*, 2006; Sun *et al.*, 2008),表明在新元古代早期扬子板块西缘和东秦岭造山带共同经历了相同的构造岩浆热事件,而这期新元古代构造岩浆活动在华北板块是缺乏的。Chen *et al.* (2006)还在秦岭造山带内发现了 900~960Ma 的同碰撞片麻状花岗岩,认为它们的形成与 Rodinia 超大陆的会聚有关。本次研究在样品 QL0752 中的碎屑锆石中也获得 905~1211Ma 的年龄,说明这些碎屑物质很可能来自于秦岭造山带本身。~1.0Ga 的热事件或物质也见于扬子西缘和华夏地块(Zhou *et al.*, 2006; Greentree *et al.*, 2006; Li *et al.*, 2006; Yu *et al.*, 2008),而在华北地块是缺乏的。另一方面,无论是变质火成岩中的继承锆石还是变质沉积岩中的碎屑锆石都没有明显的华北板块热事件的特征年龄信息,如新太古代(~2.5Ga)和古元古代(2.2~1.8Ga)。因此,也排除了秦岭岩群(至少在北秦岭南部)属于华北板块一部分的可能。由此可以认为在新元古代以前秦岭造山带或者是扬子板块的一部分(北缘),或者靠近扬子板块,具有与扬子板块相同的演化特征,而它与华北板块没有亲缘关系或相距甚远。但是,以往的研究在一些秦岭岩群中获得属于华北板块特征的年龄(张国伟和周鼎武,1990;游振东等,1991;刘国惠等,1993;张宗清等,1994),如果这些年龄测定方法确实可靠的话,则说明秦岭岩群不是由单一时代的岩石组成,严格来说它不属于一个地层单元,而是一个构造混杂的地质体,这样秦岭岩群也许应该解体。因此,为了了解这些不同时代岩石的相互关系,需要开展更多的工作来揭示东秦岭造山带各构造单元的演化。

8 结论

东秦岭造山带北秦岭地块南缘的秦岭岩群主要由变质火山岩和变质沉积岩组成,其中火山岩既包含基性的,也存在大量酸性组分。对其中4个变质岩样品的详细锆石U-Pb定年结果显示,三个正变质岩原岩的形成时代为971 ~ 843Ma,是新元古代早期岩浆活动的产物,而副变质岩原岩的沉积时代可能为新元古代中晚期。这些变质岩的变质作用主要发生于早古生代加里东期,局部还受到中生代燕山早期变质热事件的影响。说明早古生代很可能是东秦岭碰撞造山作用的一个重要时期。岩石地球化学研究指出秦岭岩群这些新元古代火山岩都形成于火山弧构造环境,沉积岩也沉积于大陆弧-活动大陆边缘环境,指示在新元古代早期秦岭造山带为一在大陆基底上发育起来的火山弧。这些秦岭岩群火山岩和沉积岩在形成时代和构造环境方面与扬子克拉通西缘的特征非常相似,而不同于华北板块,说明东秦岭造山带的秦岭岩群(至少南部)应归属于扬子克拉通陆块,是扬子北缘的一个大陆边缘弧。

致谢 感谢内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室(南京大学)的张文兰老师、武兵老师和地质过程与矿产资源国家重点实验室(中国地质大学(武汉))郑曙老师在锆石成像和锆石定年工作上给予的协助,感谢南京大学现代分析中心张孟群老师、南京大学成矿作用国家重点实验室杨涛老师在主、微量元素测定工作上给予的帮助,感谢李晓伟同学在野外工作上给予的很大帮助!另外,非常感谢两位评审专家对本文提出的宝贵意见!

References

Andersen T. 2002. Correction of common Pb in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb. Chemical Geology, 192: 59 - 79

An SY. 1993. Recent tiding of geology and some problems of the northern Qinling. Journal of Xi'an College of Geology, 15(4): 52 - 56 (in Chinese with English abstract)

An SY and Hu NG. 1992. The formation of rift and metamorphism of North Qingling. Xi'an: Northwest Univ. Press, 1 - 63 (in Chinese)

An SY, Zhang WJ, Yang JX, Liu GH and Zhang GR. 1990. Rock combination and metamorphism of Qinling Group from Taibai region of Shanxi. In Liu GH, Zhang SG (eds.). A Selection of Papers Presented at the Conference on the Qinling-DabaShan geology (No. 1). Beijing: Beijing Science and Technology Press, 25 - 39 (in Chinese)

An SY, Zhou TM and Hu NG. 1985. The history of structural deformation and metamorphism of the Qinling Group and its age assignment. Geological Bulletin of China, 3: 87 - 93 (in Chinese with English abstract)

Bhatia MR. 1983. Plate tectonics and geochemical compositions of sandstones. J. Geol., 91: 611 - 627

Bingen B, Austrheim H, Whitehouse MJ *et al*. 2004. Traceelement signature and U-Pb geochronology of eclogite-facies zircon, Bergen Arc, Caledonides of W-Norway. Contrib. Miner. Petrol, 147: 671 - 683

Brouxel M, Lapierre H, Michard A and Albarède F. 1987. The deep layers of a Paleozoic arc: Geochemistry of the Copley-Balaklala series, northern California. Earth Planet. Sci. Lett., 85: 386 - 400

Chen NS. 1990. The *P-T* paths of Qinling Group and their implications for the evolution of metamorphic environment, tectonism and migmatism. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 15(2): 145 - 155 (in Chinese with English abstract)

Chen NS, Han YJ, You ZD and Sun M. 1991. Whole rock Sm-Nd, Rb-Sr and single grain zircon Pb-Pb dating of complex rocks from the interior of the Qinling orogenic belt, western Henan, and its crustal evolution. Geochemica, 3: 219 - 228 (in Chinese with English abstract)

Chen YJ, Fu SG and Qiang LZ. 1992. The tectonic environment for the formation of the Xionger Group and the Xiyanghe Group. Geological Review, 38(4): 325 - 333 (in Chinese with English abstract)

Chen YJ, Sui YH and Pirajno F. 2003. Exclusive evidence for CMF model and a case of orogenic silver depositis: Isotope geochemistry of the Tieluping silver deposit, east Qinling orogen. Acta Petrologica Sinica, 19(3): 551 - 568 (in Chinese with English abstract)

Chen ZH, Lu SN, Li SG *et al*. 2006. Constraining the role of the Qinling orogen in the assembly and break-up of Rodinia: Tectonic implications for Neoproterozoic granite occurrences. J. Asian Earth Sci., 28: 99 - 115

Claoué-Long JC, Sobolev NV, Shatsky VS *et al*. 1991. Zircon response to diamond-pressure metamorphism in the Kokchetav massif, USSR. Geology, 19: 710 - 713

Coulon C, Maluski H, Bollinger C and Wang S. 1986. Mesozoic and Cenozoic volcanic rocks from central and southern Tibet: ^{39}Ar-^{40}Ar dating, petrological characteristics and geodynamic significance. Earth Planet. Sci. Lett., 79: 281 - 302

Dong YP and Zhang GW. 2003. Proterozoic tectonics and evolutionary history of the North Qinling terrane. Acta Geoscientia sinica, 24(1): 3 - 10 (in Chinese with English abstract)

Dong YP, Zhou MF, Zhang GW *et al*. 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: 325 - 335

Duncan AR, Erlank AJ and Marsh JS. 1984. Regional geochemistry of the Karoo igneous province. Geol. Soc. South Africa Spec. Publ, 13: 355 - 388

Fitton JG, James D, Fempton PD, Ormerod DS and Leeman WP. 1988. The role of lithospheric mantle in the generation of late Cenozoic basic magmas in the western United States. Journal of Petrology, 331 - 349 (Special Lithosphere Issue)

Gao S, Zhang BR, Wang DP *et al*. 1995. Geochemical evidence for the Proterozoic tectonic evolution of the Qinling Orogenic Belt and its adjacent margins of the North China and Yangtze cratons. Precambrian Research, 80: 23 - 48

Garland F, Hawkesworth CJ and Mantovani MSM. 1995. Description and Petrogenisis of the Paranḿ Rzhyolites, Southern Brazil. J. Petrol, 36: 1193 - 1227

Gao S, Zhang BR, Xie QL and Guo XM. 1990. Proterozoic intracontinental rifting of the Qinling orogenic belt: Evidence from the geochemistry of sedimentary rocks. Chinese Science Bulletin, 36(11): 920 - 923

Gebauer D. 1996. A *P-T-t* path for an (Ultra?) high prossure ultramafic/mafic rock-association and its felsic Country-rocks based on SHRIMP dating of magmatic and metamorphic zircon domains. Example: Alpe Aram, Central Swiss Alpe, In: Earth Processes: Reading the Isotopic Code Geophysical Monograph 95: 305 - 329

Geist D, Howard KA and Larson P. 1995. The generation of oceanic rhyolites by crystal fractionation: The basalt-rhyolite association at Volcan Alcedo, Galapagos Archipelago. J. Petrol, 36: 965 – 982

Gill RCO, Aparicio A, Azzouzi MEI, Hernandez J, Thirlwall MF, Bourgois J and Marriner GF. 2004. Depleted arc volcanism in the Alboran Sea and shoshonitic volcanism in Morocco: Geochemical and isotopic constraints on Neogene tectonic processes. Lithos, 78: 363 – 388

Greentree MR, Li ZX, Li XH *et al.* 2006. Late Mesoproterozoic to Earliest Neoproterozoic basin record of the Sibao orogenesis in western South China and relationship to the assembly of Rodinia. Precambrian Reasearch, 151: 79 – 100

Griffin WL, Belousova EA, Shee SR *et al.* 2004. Archean crustal evolution in the northern Yilarn Craton: U-Pb and Hf-isotope evidence from detrital zircons. Precambrian Reasearch, 131: 231 – 282

Guynn JH, Kapp P, Pullen A *et al.* 2006. Tibetan basement rocks near Amdo reveal "missing" Mesozoic tectonism along the Bangong suture, central Tibet. Geology, 34: 505 – 508

He RF and An SY. 1992. Geochemical characteristics, petrogenesis and tectonic settings of volcanic rocks in the Northern Qinling mountains. Acta Petrologica Et Mineralogica, 11(2): 135 – 145 (in Chinese with English abstract)

He ZY, Xu XS, Yu Y and Zou HB. 2009. Origin of the Late Cretaceous syenite from Yandangshan, SE China, constrained by zircon U-Pb and Hf isotopes and geochemical data. International Geology Review, 51(6): 556 – 582

Hochstaedter AG, Gill JB and Morris JD. 1996. Volcanism in the Sumisu Rift, II. Subduction and non-subduction related components. Earth Planet. Sci. Lett., 100: 195 – 209

Hu JM. 1989. The genesis of the gneiss domes in the Qinling Group in the eastern Qinling mountains. Journal of Xi'an College of Geology, 11(2): 20 – 28 (in Chinese with English abstract)

Huang W and Wu ZW. 1992. Evolution of the Qinling orogenic belt. Tectonics, 11: 371 – 380

Irvine TN and Baragar WRA. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Sciences, 8: 523 – 548

Jackson SE, Pearson NJ, Griffin WL *et al.* 2004. The application of laser ablation microprobe-inductively coupled plasma-mass spectrometry (LAM-ICP-MS) to in situ U-Pb zircon geochronology. Chemical Geology, 211: 47 – 69

Jian P, Cheng YQ and Liu DY. 2001. Petrographical study of metamorphic zircon basic roles in interpretation of U-Pb age of high grade metamorphic rocks. Earth Science Frontiers, 8(3): 183 – 191 (in Chinese with English abstract)

Kröner A, Zhang GW and Sun Y. 1993. Granulites in the Tongbai area, Qinling belt, China: Geochemistry, petrology, single zircon geochronology, and implications for the tectonic evolution of eastern Asia. Tectonics, 12: 245 – 255

Kuang SP and Zhang BR. 1993. Geochemical reaearch on volcanic rocks and its inclusions of Danfeng Group in East Qinling belt. Geoscience, 7(4): 444 – 457 (in Chinese with English abstract)

Le Maitre RW, Bakteman P, Dudek A *et al.* 1989. A Classification of igneous rocks and glossary of terms. Oxford: Blackwell, 193

Li KS, Bai SL and Cai ZL. 1994. New speculation on the relationships among the Danfeng Group, Qingling Group and Kanping Group in the Eastern Qingling mountains. Regional Geology of China, 3: 215 – 222 (in Chinese with English abstract)

Li XH, Li ZX, Sinclair JA *et al.* 2006. Revisiting the "Yanbian Terrane": Implications for Neoproterozoic tectonic evolution of the western Yangtze Block, South China. Precambrian Reserch, 151: 14 – 30

Li YL, Zhang GW and Song CZ. 1998. Characteristics of bidirectional subduction of Erlangping backarc basin in the East Qinling. Geological Journal of China Universities, 4(3): 286 – 293 (in Chinese with English abstract)

Li ZX, Li XH, Kinny PD *et al.* 2003. Geochronology of Neoproterozoic syn-rift magmatism in the Yangtze Craton, South China and correlations with other continents: Evidence for a mantle superplume that broke up Rodinia. Precambrian Research, 122: 95 – 109

Ling WL, Gao S, Zhang BR *et al.* 2003. Neoproterozoic tectonic evolution of the northwestern Yangtze craton, South China: Implications for amalgamation and break-up of the Rodinia Supercontinent. Precambrian Research, 122: 111 – 140

Liu GH, Zhang SG, You ZD, Suo ST and Zhang GW. 1993. Metamorphic history of main metamorphic complexes in the Qinling orogenic belt. Beijing: Geological Publishing House, 1 – 190 (in Chinese)

Liu JF, Sun Y and Sun WD. 2009. LA-ICP-MS zircon dating from the Lajimiao mafic complex in the Qinling orogenic belt. Acta Prtrologica Sinica, 25(2): 320 – 330 (in Chinese with English abstract)

Ludwig KR. 1991. ISOPLOT: A plotting and regression program for radiogenic-isotope data. U. S. Geological Survey Open-file Report, 39

Lu SN, Li HK, Chen ZH, Hao GJ, Zhou HY, Guo JJ, Niu GH and Xiang ZQ. 2003. Geochemical evolution and incident response to the supercontinent Rodinia in Mesoproterozoic-Neoproterozoic. Beijing: Geological Publishing House, 1 – 194 (in Chinese)

Mattauer M, Matte P, Malavieille J *et al.* 1985. Tectonics of the Qinling belt: Build-up and evolution of eastern Asia. Nature, 317: 496 – 500

Meng QR and Zhang GW. 1999. Timing of collision of the North and South China blocks: Controversy and reconcmation. Geology, 27(2): 123 – 126

Meschede M. 1986. A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram. Chemical Geology, 56: 207 – 218

Ouyang JP and Zhang BR. 1996. Geochemical evidence for the formation and evolution of North Qingling microcontinent. Science in China (Series D), 39(supplement): 43 – 49

Pearce JA. 1976. Statistical analysis of major element patterns in basalts. J. Petrol., 17: 15 – 43

Pearce JA and Cann JR. 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. Earth Planet. Sci. Lett., 19: 290 – 300

Pearce JA, Harris NBW and Tindle AG. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. J. Petrol., 25: 956 – 983

Peccerillo A and Taylor SR. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks of the Kastamonu area, northern Turkey. Contributions to Mineralogy and Petrology, 58: 63 – 81

Pei XZ, Wang T, Wang Y, Li HM and Li GG. 1999. Major geological events of Jinning Period and their tectonic settings in the North Qinling. Geological Journal of China Universities, 5(2): 137 – 147 (in Chinese with English abstract)

Pin C and Marini F. 1993. Early Ordovician continental break-up in Variscan Europe: Nd-Sr isotope and trace element evidence from bimodal igneous associations of the southern Massif Central, France. Lithos, 29: 177 – 196

Poller U. 2000. A Combination of Single Zircon Dating by TIMS and Cathodoluminescence Investigations on the Same Grain: The CLC Method U-Ph Geochronology for Metamorphic Rocks. In: Pagel M, Barbin V, Blanc P and Ohnenstetter P (eds.). Cathodoluminescence in Geosciences. Springer-Verlag Berlin Heidelberg: 401 – 414

Ratschbacher L, Hacker BR, Calvert A *et al.* 2003. Tectonics of the Qingling (Central China): Tectonostratigraphy, geochronology, and deformation history. Tectonophysics, 336: 1 – 53

Roser BP and Korsch RJ. 1986. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO_2 content and K_2O/Na_2O ratio. J. Geol., 94: 635 – 650

Rubatto D. 2002. Zircon trace element geochemistry: Partitioning with garnet and the link between U-Pb ages and metamorphism. Chem. Geol., 184: 123 – 138

Rubatto D and Gebauer D. 2000. Use of Cathodoluminescence for U-Ph Zircon Dating by Ion Microprobe: Some Examples from the Western Alps. In: Pagel M, Barbin V, Blanc P and Ohnenstetter P (eds.). Cathodoluminescence in Geosciences. Springer-Verlag Berlin Heidelberg: 373 – 400

Shaw DM. 1972. The origin of the Apsley gneiss, Ontario. Can. J. Earth Sci., 9: 18 – 35

Sun S and McDonough WE. 1989. In: Saunders AD and Norry MI (eds.). Magmatism in the Ocean Basin. Geological Society of London Special Publication, 42: 313 – 345

Sun WH, Zhou MF, Yan DP *et al.* 2008. Provenance and tectonic setting of the Neoproterozoic Yanbian Group, western Yangtze Block (SW China). Precambrian Research, 167: 213 – 236

Tichomirowa M, Whitehouse MJ and Nasdala L. 2005. Resorption, growth, solid state recrystallisation, and annealing of granulite facies zircon-a case study from the Central Erzgebirge, Bohemian Msaaif. Lithos, 82: 25 – 50

Vavra G, Schmid R and Gebauer D. 1999. Internal morphology, habit and U-Th-Pb microanalysis of amphibole to granulite facies zircon: Geochronology of the Ivren Zone (Southern Alps). Contrib Mineral Petrol, 134: 380 – 404

Wang T, Hu NG, Pei XZ, Yang JX and Li WP. 1997. The Composition, tectonic framework and evolution of Qinling Complex, Central China. Acta Geoscientia sinica, 18(4): 345 – 351 (in Chinese with English abstract)

Wang T, Pei XZ, He NG *et al.* 1995. A special type of metamorphic volcano-sedimentary rocks and its unit division. In: Chen KQ. Tang JF (eds.). Study of tectono-stratigraphic unit. Wuhan: China University of Geosciences Press, 60 – 66 (in Chinese)

Wang T, Wang XX, Zhang GW *et al.* 2003. Remnants of a Neoproterozoic collisional orogenic belt in the core of the Phanerozoic Qinling orogenic belt (China). Gondwana Research, 6(4): 699 – 710

Wang T, Zhang GW, Pei XZ, Zhang CL and Li WP. 2002. Possibility of the existence of a Neoproterozoic NW trending orogenic belt in the Qinling and convergence and breakup of blocks in its two sides. Geological bulletin of China, 21(8 – 9): 516 – 522

Williams IS and Claesson S. 1987. Isotopic evidence for the Precambrian provenance and Caledonian metamorphism of high grade paragneisses from the Seve Nappes, Scandinavian Caledonides. II. Ion microprobe zircon U-Th-Pb. Contrib. Miner. Petrol., 97: 205 – 217

Wood DA. 1980. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertialy volcanic province. Earth Planet. Sci. Lett., 50: 11 – 30

Wu YB, Hanchar JM, Gao S *et al.* 2008. Age and nature of eclogites in the Huwan shear zone, and the multi-stage evolution of the Qinling-Dabie-Sulu orogen, Central China. Earth Planet. Sci. Lett., 1 – 10

Wu YB and Zheng YF. 2004. Genesis of zircon and its contraints on interpretation of U-Pb age. Chinese Science Bulletin, 49(15): 1554 – 1569

Xiao SY, Zhang WJ, Song ZJ *et al.* 1988. Metamorphic stratigraphy of North Qinling. Xi'an Jiaotong University Press, Xi'an: 1 – 320 (in Chinese)

Xu DR, Ma C, Nonna BC, Li PC, Xia B and Zhang YQ. 2007. Petrological, mineralogical and geochemical characteristics of Ordovician volcanic-clastic sedimentary rocks in Bangxi area, Northwest Hainan Island, South China: Implications for provenance and tectonic setting. Geochimica, 36(1): 11 – 26 (in Chinese with English abstract)

Xu JF and Han YW. 1996. High radioactive Pb-isotopic composition of ancient MORB-type rocks from Qinling area-Evidence for the presence of Tethyan-type oceanic mantle. Science in China (Series D), 26(supplement): 33 – 42

Xu JF, Zhang BR and Han YW. 2008. Geochemistry of the Mian-Lue ophiolotes in the Qinling Mountains, central China: Constraints on the evolution of the Qingling orogenic belt and collision of the North and South China Cratons. Jouanal of Asian Earth Sciences, 32: 336 – 347

Xu ZQ, LuYL, Tang YQ *et al.* 1988. Forming of mountain chain of East Qinling-deformation, evolution and plate dynamics. Beijing: China Environmental Science Press, 1 – 193 (in Chinese)

Xue F, Kröner A, Reischmann T *et al.* 1996. Palaeozoic pre- and post-collision calc-alkaline magmatism in the Qinling orogenic belt, central China, as documented by zircon ages on granitoid rocks. J. Geol. Soc. (Lond.), 153: 409 – 417

You ZD, Han YJ, Suo ST *et al.* 1993. Metamorphic history and tectonic evolution of the Qinling Complex, eastern Qinling Mountains, China. J. Metamorph. Geol., 11: 549 – 560

You ZD, Suo ST, Han YJ *et al.* 1990. History of deformation and metamorphism of Qinling complex. In: Liu GH, Zhang SG (eds.). A Selection of Papers Presented at the Conference on the Qinling-DabaShan geology (NO. 1). Beijing: Beijing Science and Technology Press, 1 – 10 (in Chinese)

You ZD, Suo ST, Han YJ *et al.* 1991. Metamorphic process and structural analysis of the core of orogen-such as East Qinling. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1 – 326 (in Chinese)

Yu JH, O'Reilly SY, Wang LJ *et al.* 2008. Where was South China in the Rodinia supercontinent? Evidence from U-Pb ages and Hf isotopes of detrital zircons. Precambrian Reserch, 164(1 – 2): 1 – 15

Yu JH, Wang LJ, Zhou XM, Jiang SY, Wang RC, Xu XS and Qiu JS. 2006. Compositions and formation history of the basement metamorphic rocks in Northeastern Guangdong Province. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 31(1): 38 – 48 (in Chinese with English abstract)

Zhang BR, Luo TC, Gao S *et al.* 1994. Study of lithosphere structure and mineralization geochemistry of Qinling-Dabieshan. China University of Geosciences Press, Wuhan: 1 – 446 (in Chinese)

Zhang BR, Zhang HF, Zhao ZD *et al.* 1996. Geochemical subdivision and evolution of the lithpsphere in East Qingling and adjacent regions-Implications for tectonics. Science in China (series D), 39(3): 245 – 255

Zhang GW, Mei ZC, Zhou DW *et al.* 1988. Formation and evolution of Qinling orogenic belt. Xi'an: Northwest Univ. Press, 1 – 192 (in Chinese)

Zhang GW, Zhang BR, Yuan XC *et al.* 2001. The Qinling orogenic belt and continental dynamics. Beijing: Science Press, 1 – 885 (in Chinese)

Zhang GW, Zhang ZQ and Dong YP. 1995. Nature of main tectono-lithostratigraphic units of the Qinling orogen: Implications for the tectonic evolution. Acta Petrologiea Siniea, 11(2): 101 – 114 (in Chinese with English abstract)

Zhang GW and Zhou DW. 1990. Qinling complex and Qinling orogen belt. In Liu GH, Zhang GS (eds.). A Selection of Papers Presented at the Conference on the Qinling-Dabashan Geology (No. 1). Beijing: Beijing Science and Technology Press, 11 – 14 (in Chinese)

Zhang KJ. 1997. North and South China collision along the eastern and southern North China margins. Tectonophysics, 270: 145 – 156

Zhang QS. 1980. Metamorphic geology of East Qinling, China. Jilin demos Press, 1 – 223(in Chinese)

Zhang ZQ, Liu DY and Fu GM. 1994. Study of isotope geochronology of metamorphic stratigraphy of North Qinling. Beijing: Geological Publishing House, 1 – 191 (in Chinese)

Zhang ZQ, Zhang GW, Liu DY *et al*. 2006. Isotope geochronology and geochemistry of ophiolite, granite and clastic sedimentary rocks of Qinling orogenic belt. Beijing: Geological Publishing House, 1 – 348 (in Chinese)

Zhang ZQ, Zhang GW, Tang SH *et al*. 2002. The age of metamorphic rocks of the Wudang Group. Geology in China, 29(2): 117 – 125 (in Chinese with English abstract)

Zhao ZR, Wan YS, Zhang SG and Wei CJ. 1995. The geochemical features of the Douling metamorphic complex. Acta Petrologiea Siniea, 11(2): 148 – 159 (in Chinese with English abstract)

Zheng YF, Wu YB, Zhao ZF *et al*. 2005. Metamorphic effect on zircon Lu-Hf and U-Pb isotope systems in ultrahigh-pressure eclogite-facies metagranite and metabasite. Earth Planet. Sci. Lett., 240: 378 – 400

Zhou DW and Zhang GW. 1991. Redisintegration of Qinling Group and Jinning movement of Qinling orogenic belt. In: Ye LJ, Qian XL, Zhang GW (eds.). A Selection of Papers Presented at the Conference on the Qinling Orogenic Belt. Xi'an: Northwest Univ. Press, 11 – 25 (in Chinese)

Zhou L, Gao S, Liu YS, Ling WL and Zhang L. 2007. Geochemistry and implications of clastic sedimentary rocks from the Northern margin of Yangtze Craton. Earth Science (Journal of China University of Geosciences), 32(1): 29 – 38 (in Chinese with English abstract)

Zhou MF, Kennedy AK, Sun M *et al*. 2002a. Neoproterozoic arc-related mafic intrusions along the northern margin of South China: Implications for the accretion of Rodinia. J. Geol., 110: 611 – 618

Zhou MF, Yan DP, Kennedy AK *et al*. 2002b. SHRIMP U-Pb zircon geochronological and geochemical evidence for Neoproterozoic arc-magmatism along the western margin of the Yangtze Block, South China. Earth Planet. Sci. Lett., 196: 51 – 67

Zhou MF, Ma YX, Yan DP *et al*. 2006. The Yanbian Terrane(Southern Sichuan Province, SW China): A Neoproterozoic arc assemblage in the western margin of the Yangtze Block. Precambrian Reserch, 144: 19 – 38

Zhu BQ. 1993. Tri-dimension special topological diagrams of ore land isotopes and their application to the division of geochemical provinces and mineralizations. Geochimica, 22(3): 209 – 216 (in Chinese with English abstract)

Zhu BQ, Chang XY, Qiu HN and Sun DZ. 1998. Characteristics of Proterozoic basements on the geochemical steep zones in the continent of China and their implications for setting of superlarge deposits. Science in China(Series D), 41(supplement): 54 – 64

附中文参考文献

安三元. 1993. 北秦岭地质新知及一些有关问题. 西安地质学院学报,15(4): 52 – 56

安三元,胡能高. 1992. 北秦岭裂陷的形成与变质作用. 西安: 西北大学出版社,1 – 63

安三元,张维吉,杨家喜,刘国惠,张广仁. 1990. 陕西太白地区秦岭群的岩石组合与变质作用. 见刘国惠,张寿广(主编). 秦岭-大巴山地质论文集(一). 北京: 北京科技出版社,25 – 39

安三元,周廷梅,胡能高. 1985. 秦岭群的构造变形和变质史及其时代问题雏议. 地质通报,3: 87 – 93

陈能松. 1990. 豫西蛇尾秦岭群 *P-T* 轨迹定量计算及其地质意义. 地球科学-中国地质大学学报,15(2): 145 – 155

陈能松,韩郁菁,游振东,孙敏. 1991. 豫西东秦岭造山带核部杂岩全岩 Sm-Nd、Rb-Sr 和单晶锆石 ^{207}Pb-^{206}Pb 计时及其地壳演化. 地球化学,3: 219 – 228

陈衍景,富士谷,强立志. 1992. 评熊耳群和西洋河群形成的构造背景. 地质论评,38(4): 325 – 333

陈衍景,隋颖慧,Pirajno F. 2003. CMF 模式的排他性依据和造山型银矿实例: 东秦岭铁炉坪银矿同位素地球化学. 岩石学报,19(3): 551 – 568

董云鹏,张国伟. 2003. 北秦岭构造属性与元古代构造演化. 地球学报. 24(1): 3 – 10

高山,张本仁,谢千里,郭孝明. 1990. 秦岭造山带元古宙陆内裂谷作用的沉积地球化学证据. 科学通报,35(19): 1494 – 1496

何瑞芳,安三元. 1992. 北秦岭火山岩地球化学特征、成因和构造环境. 岩石矿物学杂志,11(2): 135 – 145

胡健民. 1989. 东秦岭地区秦岭群中片麻岩穹窿成因分析. 西安地质学院学报,11(2): 20 – 28

简平,程裕淇,刘敦一. 2001. 变质锆石成因的岩相学研究-高级变质岩 U-Pb 年龄解释的基本依据. 地学前缘,8(3): 183 – 191

匡少平,张本仁. 1993. 东秦岭丹凤群火山岩系及其包体地球化学研究. 现代地质,7(4): 444 – 457

李靠社,白胜利,蔡振龙. 1994. 东秦岭丹凤群秦岭群宽坪群关系新探. 中国区域地质,3: 215 – 222

李亚林,张国伟,宋传中. 1998. 东秦岭二郎坪弧后盆地双向式俯冲特征. 高校地质学报,4(3): 286 – 293

刘国惠,张寿广,游振东,索书田,张国伟. 1993. 秦岭造山带主要变质岩群及变质演化. 北京: 地质出版社,1 – 190

刘军锋,孙勇,孙卫东. 2009. 秦岭拉鸡庙铁镁质岩体锆石 LA-ICP-MS 年代学研究. 岩石学报,25(2): 320 – 330

陆松年,李怀坤,陈志宏,郝国杰,周红英,郭进京,牛广华,相振群. 2003. 中-新元古代地质演化及对 RODINIA 超级大陆事件的响应. 北京: 地质出版社,1 – 194

欧阳建平,张本仁. 1996. 北秦岭微古陆形成与演化的地球化学证据. 中国科学(D),26(增刊): 42 – 48

裴先治,王涛,王洋,李厚民,李国光. 1999. 北秦岭晋宁期主要地质事件及其构造背景探讨. 高校地质学报,5(2): 137 – 147

王涛,胡能高,裴先治,杨家喜,李伍平. 1997. 秦岭杂岩的组成、构造格局及演化. 地球学报,18(4): 345 – 351

王涛,裴先治,胡能高等. 1995. 一种特殊类型的变质火山-沉积岩系及其单位划分. 见陈克强,汤家富(主编). 构造地层单位研究. 武汉: 中国地质大学出版社,60 – 66

王涛,张国伟,裴先治,张成立,李伍平. 2002. 北秦岭新元古代北北西向碰撞造山带存在的可能性及两侧陆块的会聚与裂解. 地质通报,21(8 – 9): 516 – 522

吴元保,郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约. 科学通报,49(16): 1589 – 1604

肖思云,张维吉,宋子季等. 1988. 北秦岭变质地层. 西安: 西安交通大学出版社,1 – 320

许德如,马驰,Nonna BC,李鹏春,夏斌,张玉泉. 2007. 海南岛北西部邦溪地区奥陶纪火山-碎屑沉积岩岩石学、矿物学和地球化学: 源区及构造环境暗示. 地球化学,36(1): 11 – 26

许继峰,韩吟文. 1996. 秦岭古 MORB 型岩石的高放射性成因铅同位素组成-特提斯型古洋幔存在的证据. 中国科学(D),26(增刊): 34 - 41

许志琴,卢一伦,汤耀庆等. 1988. 东秦岭复合山链的形成-变形、演化及板块动力学. 北京: 中国环境科学出版社,1 - 193

游振东,索书田,韩郁菁等. 1990. 秦岭杂岩的变形变质史. 见刘国惠,张寿广(主编). 秦岭-大巴山地质论文集(一). 北京: 北京科技出版社,1 - 10

游振东,索书田,韩郁菁等. 1991. 造山带核部杂岩变质过程与构造解析-以东秦岭为例. 武汉: 中国地质大学出版社,1 - 326

于津海,王丽娟,周新民,蒋少涌,王汝成,徐夕生,邱检生. 2006. 粤东北基底变质岩的组成和形成时代. 地球科学-中国地质大学学报,31(1): 38 - 48

张本仁,骆庭川,高山等. 1994. 秦巴岩石圈构造及成矿规律地球化学研究. 武汉: 中国地质大学出版社,1 - 446

张本仁,张宏飞,赵志丹等. 1996. 东秦岭及邻区壳、幔地球化学分区和演化及其大地构造意义. 中国科学(D),26(3): 201 - 208

张国伟,梅志超,周鼎武等. 1988. 秦岭造山带的形成及其演化. 西安: 西北大学出版社,1 - 192

张国伟,张本仁,袁学诚等. 2001. 秦岭造山带与大陆动力学. 北京: 科学出版社,1 - 885

张国伟,张宗清,董云鹏. 1995. 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. 岩石学报,11(2): 101 - 114

张国伟,周鼎武. 1990. 秦岭杂岩和秦岭造山带. 见刘国惠,张广寿(主编). 秦岭-大巴山地质论文集(一). 北京: 科学技术出版社,11 - 14

张秋生. 1980. 中国东秦岭变质地质. 长春: 吉林人民出版社,1 - 223

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,1 - 191

张宗清,张国伟,刘敦一等. 2006. 秦岭造山带蛇绿岩、花岗岩和碎屑沉积岩同位素年代学和地球化学. 北京: 地质出版社,1 - 348

张宗清,张国伟,唐索寒等. 2002. 武当群变质岩年龄. 中国地质,29(2): 117 - 125

赵子然,万渝生,张寿广,魏春景. 1995. 早元古陡岭群变质杂岩的岩石地球化学特征. 岩石学报,11(2): 148 - 159

周鼎武,张国伟. 1991. 秦岭群的再解体和秦岭造山带中的晋宁运动. 见叶连俊,钱祥麟,张国伟(主编). 秦岭造山带学术讨论会论文集. 西安: 西安大学出版社,11 - 25

周炼,高山,刘勇胜,凌文黎,张利. 2007. 扬子克拉通北缘碎屑沉积岩地球化学特征及意义. 地球科学-中国地质大学学报,32(1): 29 - 38

朱炳泉. 1993. 矿石 Pb 同位素三维空间拓扑图解用于地球化学省与矿种区划. 地球化学,22 (3): 209 - 216

朱炳泉,常向阳,邱华宁,孙大中. 1998. 地球化学急变带的元古界基底特征及其与超大型矿床产出的关系. 中国科学(D),28(增刊): 63 - 70