

东秦岭钼多金属成矿带蟒岭矿集区南部晚侏罗世埃达克岩的厘定及成矿意义*

郭岐明, 赵江林**, 陈清敏, 王 强, 高勇浩, 杜 彪, 张栓厚

(陕西省地质调查中心, 陕西 西安 710068)

摘 要 东秦岭钼矿带蟒岭矿集区南部侏罗系华阳村组底部出露一套粗面英安岩, 对其进行 LA-ICP-MS 锆石定年, 测得锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 $(150.92 \pm 0.70)\text{Ma}$ (95% 置信度; $\text{MSWD}=0.19$), 表明其形成于晚侏罗世。地球化学特征显示该岩石类似于中国东部燕山期 C 型埃达克质岩, 表现为高硅 ($w(\text{SiO}_2)=59.75\%\sim 60.97\%$)、铝 ($w(\text{Al}_2\text{O}_3)=15.84\%\sim 16.01\%$)、钾 ($w(\text{K}_2\text{O})=3.74\%\sim 3.89\%$)、锶 ($w(\text{Sr})=286 \times 10^{-6} \sim 338 \times 10^{-6}$)、高 Sr/Y 比值 (20.85~24.53), 低镁 ($w(\text{MgO})=2.37\%\sim 2.66\%$)、铈 ($w(\text{Yb})=1.30 \times 10^{-6} \sim 1.50 \times 10^{-6}$)、钇 ($w(\text{Y})=13.3 \times 10^{-6} \sim 15.4 \times 10^{-6}$), 重稀土元素明显亏损, 轻重稀土元素分异明显 ($\text{LREE}/\text{HREE}=10.27 \sim 12.25$), 具有弱的正 Eu 异常 (1.21~1.37), 大离子亲石元素如 Rb、Ba、Sr、U、K 富集, 相对亏损高场强元素 Nb、Ti 的地球化学特征, 显示其为地壳加厚的构造背景下, 下地壳部分熔融的产物, 其源区相当于含 10% 的石榴子石角闪岩相。结合区域资料, 认为晚侏罗世特提斯构造域和太平洋构造域构造已经发生构造体制的转换, 太平洋板块向西俯冲导致地壳加厚, 加厚的基性下地壳物质发生熔融形成岩浆, 并沿构造薄弱带上升, 喷发形成该套粗面英安岩, 可能代表了燕山运动 B 幕的岩浆事件。综合研究认为, 华阳村组粗面英安岩与调查区内多金属成矿关系作用不大, 由于形成了特殊的具有埃达克岩性质的岩石, 势必引起下地壳的折沉作用, 随着折沉作用的持续进行, 地壳减薄导致周围软流圈地幔上涌, 含有 Mo、Cu 等成矿元素的岩浆沿着构造薄弱地带侵入就位, 并在上升过程萃取了围岩中的 Pb、Zn、Ag、Au 等成矿元素, 形成调查区内蟒岭含矿斑岩体、蟒岭西侧含矿小斑岩体以及同期的黄家沟-上铺子一带脉状铅锌银矿体。

关键词 地球化学; 埃达克岩; 锆石 U-Pb 年龄; 成矿意义; 蟒岭矿集区; 东秦岭钼矿带

中图分类号: P618.65

文献标志码: A

Identification of adakitic rock in southern Mangling mining area of East Qinling molybdenum polymetallic metallogenic belt and its metallogenic significance

GUO QiMing, ZHAO JiangLin, CHEN QingMin, WANG Qiang, GAO YongHao, DU Biao and ZHANG ShuanHou
(Shaanxi Center of Geological Survey, Xi'an 710068, Shaanxi, China)

Abstract

A series of trachydacite rocks are exposed in the Jurassic Huayangcun Formation in the southern part of the Mangling mining area of East Qinling Mountain. The zircon $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age is $(150.92 \pm 0.70)\text{Ma}$ as shown by LA-ICP-MS technique, suggesting that they were formed in Late Jurassic. Geochemical characteristics show that the rocks are similar to the C-type of the Yanshanian period in eastern China in geochemical features, characterized by high SiO_2 (59.75%~60.97%), Al_2O_3 (15.84%~16.01%), K_2O (3.74%~3.89%), Sr ($286 \times 10^{-6} \sim 338 \times 10^{-6}$), and

* 本文得到陕西省公益性地勘专项项目“陕西秦岭造山带中生代构造体制及成矿作用研究(编号:20130301)”和新疆地勘基金项目“新疆和田县大红柳滩 509 道班西锂-铍多金属矿预查(编号:K17-3-XJ013)”的联合资助

第一作者简介 郭岐明,男,1983 年生,工程师,主要从事区域地质调查工作及成矿规律研究。Email:151764974@qq.com

** 通讯作者 赵江林,男,1991 年生,工程师,主要从事区域地质调查工作。Email:897949385@qq.com

收稿日期 2018-07-23;改回日期 2019-04-15。张绮玲编辑。

Sr/Y(20.85~24.53), but low MgO(2.37%~2.66%), Yb(1.30×10^{-6} ~ 1.50×10^{-6}) and Y(13.3×10^{-6} ~ 15.4×10^{-6}), with obvious depletion of heavy rare-earth elements, distinct light and heavy rare earth elements (LREE/HREE=10.27~12.25), and weak positive Eu anomalies (1.21~1.37). Lithophile elements such as Rb, Ba, Sr, U and K are enriched, and high field strength elements Nb, Ti are depleted. The geochemical characteristics show that the rocks are products of partial melting of the lower crust thickening under the tectonic setting of the crust thickening, with the source area equivalent to 10% of the garnet amphibolite facies. According to the regional data, it is believed that the tectonics of the late Jurassic Tethys and the Pacific tectonics experienced variation, and the Pacific plate subducted to the west and resulted in the thickening of the crust, the thickening of the basic lower crust material and the formation of magma, the rise of the tectonic weak zone and the formation of the set of anagranite, and this may represent the magmatic event of the B episode of the Yanshanian movement. The comprehensive study shows that the relationship between the coarse quartz dacite and the polymetallic mineralization in the investigation area is not significant, but, because of the formation of special rocks with adakite properties, the lower crust was dismantled, and the crust thinned and the asthenospheric mantle upwelled around it; magma containing Mo and Cu ore-forming elements invaded along weak tectonic zones, and there was extraction of Pb, Zn, Ag and Au ore-forming elements in the surrounding rock during the rising process, thus forming ore-bearing porphyries in the Manling Mountains, the ore-bearing small porphyry in the west of the Manling Mountains and the vein-like Pb-Zn-Ag orebodies in the Huangjiagou-Shangpuzi belt in the same period.

Key words: geochemistry, adakitic rock, zircon U-Pb age, metallogenic significance, Mangling mining area, East Qinling molybdenum metallogenic belt

东秦岭钼矿带是中国重要的大型钼矿分布区之一,该矿带西起陕西省的金堆城,东至河南省栾川南泥湖—三道庄—上房沟—嵩县雷门沟,产出了金堆城、南泥湖、三道庄、上房沟等超大型钼矿床和雷门沟等10余处大-中型钼(钨)多金属矿床,钼金属储量约占中国总储量的66%(张正伟等,2001a;Mao et al.,2011),众多学者对该成矿带进行过详细的研究,尤其是与钼矿有关的中生代岩体更是重中之重(张正伟等,2001b;黄典豪等,1984;李永峰等,2005;李永峰等,2003;2004;2005;2006;叶会寿,2006;叶会寿等,2006;李诺等,2007;李厚民等,2007;毛景文等,2005a;2005b;朱赖民等,2008;2009a;2009b;郭波,2009;郭波等,2009;Mao et al.,2010;2011;向君峰等2010;赵海杰等,2010;包志伟等,2009;焦建刚等,2010;齐秋菊等,2012;杨阳等,2012;秦臻等,2013)。夹持于铁炉子-黑沟-栾川断裂带和商丹断裂带之间的北秦岭地区是东秦岭钼矿带的重要组成部分,该带晚中生代岩浆活动主要发育于朱阳关-夏馆断裂和铁炉子-黑沟-栾川断裂之间,分布有牧护关、蟒岭、老君山三个大岩基和众多中性小斑岩体,钼多金属矿床均与这一期岩浆活动有关。其中蟒岭岩体位于北秦岭构造带铁炉子-黑沟-栾川断裂和乔端-瓦穴子断裂之间,出露面积达246 km²,岩体主要由

石英闪长岩、似斑状二长花岗岩、中粗粒二长花岗岩和细粒二长花岗岩组成,主体岩性为似斑状二长花岗岩,由于岩体与该区钼多金属矿床有关,一直以来成为重点研究对象(严阵等,1985;张宗清等,2006;王晓霞等,2011;秦海鹏等,2012a;2012b;李金宝等,2013;杨阳等,2014),特别是近年来蟒岭岩体西侧地区作为北秦岭成矿带的重要矿集区之一,已引起众多学者的关注(袁海潮等,2007;柯昌辉等,2012a;2012b)。几乎所有学者都是围绕含矿岩体或者是与成矿关系密切的岩体进行研究,未见对与其几乎同时期的火山岩进行报道,本次工作在蟒岭岩体南部华阳村附近上侏罗统华阳村组底部发现一套出露较稳定的粗面英安岩,其与含矿岩体有无成因联系?是值得研究的科学问题。在详细的野外地质调查的基础上,从岩石学、地球化学方面研究其岩石成因,进一步探讨其地质意义及其成矿意义,从而为东秦岭地区中生代构造岩浆演化及成矿的研究提供新的信息。

1 火山岩地质特征及岩石学特征

北秦岭构造带南以商丹断裂带为界,北邻洛南-栾川断裂带,呈东西向展布近千余公里,南北最

宽 150 km, 一般为 80 km, 是一个复杂拼合多期叠加的复合构造带(张国伟等 2001)。区内自北向南有 4 条深大断裂: 黑沟-栾川断裂(F_1), 乔端-瓦穴子断裂(F_2), 朱阳关-夏馆断裂(F_3)和商丹断裂(F_4) (图 1)。

研究区位于黑沟-栾川断裂和朱阳关-夏馆断裂之间, 乔端-瓦穴子断裂从研究区中部穿过。区内各地层之间多以断层关系相接触(张国伟等, 2001), 自古到新依次为: 中-新元古界宽坪群中浅变质岩系, 变质程度达高绿片岩相-低角闪岩相(张宗清等, 1994; 何世平等, 2007); 前寒武纪注入混合岩、混合片麻岩、大理岩、石墨大理岩黑云斜长片麻岩、变粒岩夹斜长角闪片岩、云母石英片岩夹阳起片岩及白云质大理岩; 古生界丹凤群沉积-火山岩系, 变质程度为绿片岩相至低角闪岩相(陈岳龙, 1999); 中生界地层主要包括上三叠统碎屑岩和上侏罗统磨拉石建造。研究区岩浆岩活动较为频繁, 主要有加里东期及华力西期混合花岗岩、加里东期花岗岩、燕山早期花岗岩以及燕山晚期花岗岩, 此外, 发育大量的中酸性脉体(图 2)。

上侏罗统华阳村组与各地质体之间均为断层接触关系, 实测剖面位于洛南县蟒岭地区南部华阳村附近, 离蟒岭岩体南部约 1500 m, 剖面起点坐标为: $33^{\circ}54'20''N$; $110^{\circ}21'55''E$; 高度: 1365 m, 该剖面地层可见厚度为 565.6 m, 地层由于断层的切割, 向东、

向西厚度均减少, 但岩性几乎无变化(图 2), 剖面详细描述如下:

古生代大理岩(Pz_1)

——断层——

- | | |
|--------------------------------|---------|
| (11) 灰绿色厚层状含砾中粒岩屑长石砂岩, 产动、植物化石 | 28.3 m |
| (10) 灰绿色薄层状细砂质粉砂岩 | 56.8 m |
| (9) 灰绿色薄层状粉砂岩 | 33.8 m |
| (8) 灰褐色细砂岩夹砾岩 | 88.4 m |
| (7) 灰褐色薄层状粉砂岩 | 130.4 m |
| (6) 紫红色粉砂岩夹少量青灰色粉砂岩, 偶夹砾岩 | 57 m |
| (5) 青灰色粉砂岩 | 24.5 m |
| (4) 紫红色砾岩及少量薄层粉砂岩 | 78.6 m |
| (3) 紫红色粗面英安岩, 具气孔构造 | 50 m |
| (2) 紫红色砂砾岩 | 8 m |
| (1) 紫红色安山岩 | 10 m |

——断层——

中元古界绢云石英片岩(Pt_2)

地层的下部层位岩性主要为紫红色安山岩、粗面英安岩、紫红色砾岩、砂砾岩夹薄层粉砂岩。紫红色安山岩不稳定, 向东不远即尖灭。而紫红色粗面英安岩出露在狮子坪—金沟盆南部一带, 为该套碎屑岩系的底部位置, 呈带状近东西向稳定展布, 延伸近 4 km, 层厚达 50 m, 岩石具有清晰的气孔和杏仁状构造。砾石多呈厚层状紫红色, 砾石大小不一, 大

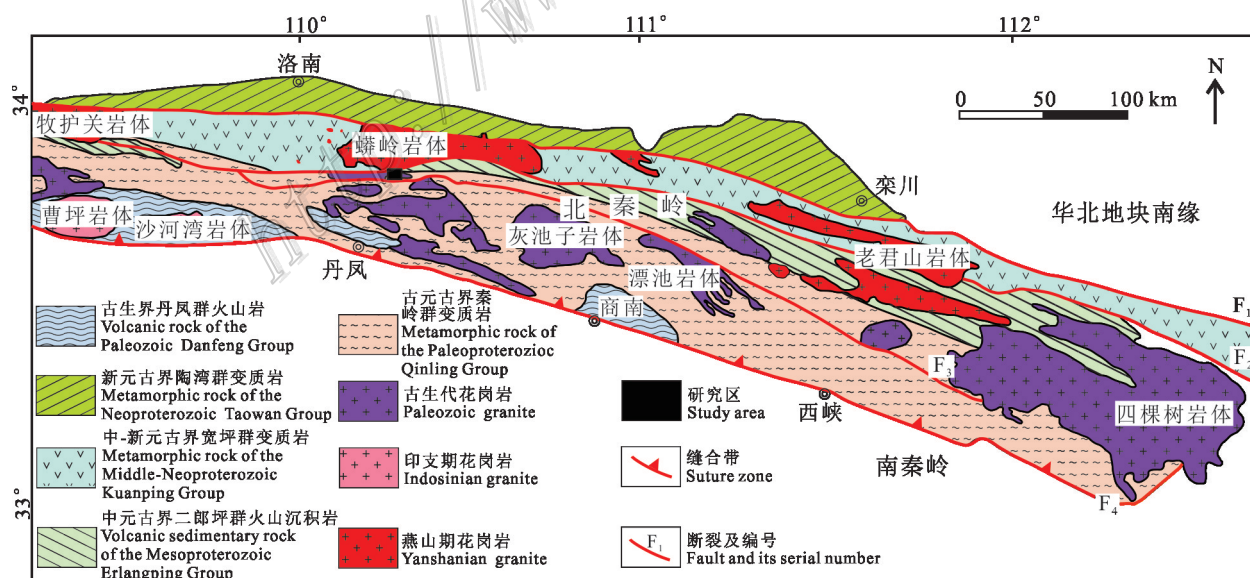


图 1 北秦岭区域地质简图(底图据卢欣祥, 2000 编制)

F_1 —黑沟-栾川断裂; F_2 —乔端-瓦穴子断裂; F_3 —朱阳关-夏馆断裂; F_4 —商丹断裂

Fig. 1 Geological sketch map of the North Qinling (base map after Lu et al., 2000)

F_1 —Heigou-Luanchuan fault zone; F_2 —Qiaoduan-Waxuezi fault zone; F_3 —Zhuyangguan-Xiaguan fault zone; F_4 —Shang-Dan fault zone

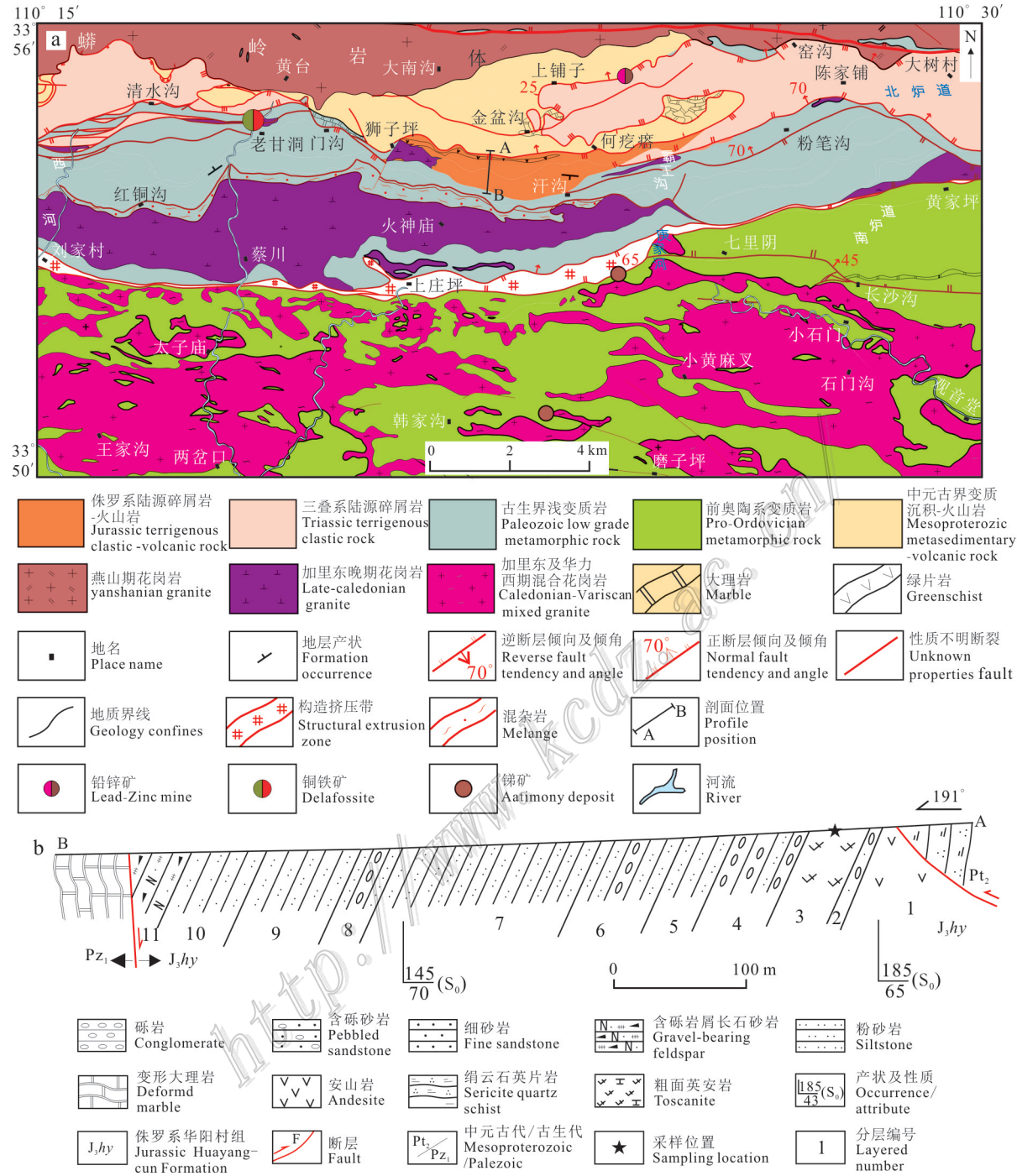


图2 研究区区域地质简图(a)及上侏罗统华阳村组地层实测地质剖面图(b)

Fig. 2 Regional geological map of the study area (a) and the geological survey of Late Jurassic Huayangcun Formation (b)

者可达15~20 cm,小者几毫米,砾石成分多为紫红色砂岩、白色石英岩,另外有灰色片岩、绿片岩、板岩,偶见大理岩和花岗岩,砾石具定向排列特点,方向与层理一致,分选性极差,大小混杂,磨圆度差,呈次圆状和次棱角状;上部层位以紫红色砾岩夹薄层粉砂岩为主,产 *Carpolithus* sp., *Ginkgoiopsis elongate*.cf. *Co-*

niopteris burejensis, *Sphaerium* cf. *Selenginense*, *S.cf. fulungchanense*, *S.cf. jeholense*(陕西省地质局区域地质调查队,1978)。从上面的特征来看该地层为一典型的陆相碎屑堆积,由于当时的山系上升,导致侵蚀、搬运和堆积作用速度加快,山上冲下来的粗大碎屑物在山麓山间凹陷地带堆积起来,且当时的气候极为干燥,随

着山系上升差异逐渐变小,凹陷带两侧剥蚀速度减慢,地形变缓,凹陷成为河湖,接受细粒碎屑物质沉积,形成了地层上部含动植物化石的陆相碎屑沉积。

华阳村组粗面英安岩岩石呈紫色,具斑状结构,块状构造。斑晶斜长石约占6%,暗化角闪石约5%,黑云母1%左右;基质长石77%左右,石英3%左右,其他矿物有磁铁矿(约8%)。斑晶由斜长石和角闪石组成;基质主要由斜长石微晶定向、半定向排列构成交织结构。岩石中见碳酸盐脉,并且基质中部分被碳酸盐交代。斜长石呈半自形板状和浑圆状,粒径为0.40~1.50 mm,见聚片双晶和卡纳复合双晶,大部分斜长石已蚀变,绢云母化、碳酸盐化。角闪石全部暗化,见六边形断面,粒径0.15~0.75 mm。黑云母呈片状,有暗化边,平行消光。基质中主要是长条状微晶斜长石定向排列,见石英颗粒、碳酸盐和磁铁矿分布其间(图3)。

2 测试方法

本次用于定年的样品采自上侏罗统华阳村组的粗面英安岩1件(样品编号:HYC-1),采样点坐标为:N:33°54'14";E:110°21'55";另外5件新鲜未蚀变的样品(样品编号:HYC-1、HYC-2、HYC-3、HYC-4、HYC-5)采自地层中不同的位置,用于元素地球化学分析。

在河北省地调所实验室完成锆石挑选工作,在

西北大学大陆动力学国家重点实验室完成锆石样品的制靶、锆石阴极发光(CL)图像照摄以及锆石U-Pb同位素组成分析工作。使用环氧树脂将挑选好的晶型完整、透明度好的锆石样品固定制靶并抛光,然后进行CL图像照摄及定年测试分析。样品锆石的CL图像照摄由MonoCL3+型阴极荧光光谱仪装置完成;锆石U-Pb同位素分析由LA-ICP-MS仪器完成,该系统由ELAN 6100DRC四级杆质谱仪、ComPex102激光器以及GeoLas200M光学系统组成,激光剥蚀孔径为30 μm ;样品同位素及元素组成分析通过GLITTER程序完成。实验详细原理和流程见袁洪林等(2003)。

常量元素、稀土元素、微量元素检测分析由核工业二〇三研究所分析测试中心完成。FeO采用容量法分析,依据标准GB/T14506.14-2010;其余主要元素、 TFe_2O_3 和微量元素中P、Ba、V、Cr、Rb、Sr、Zr、Sc均采用XRF法分析,使用仪器为荷兰帕纳科公司制造的Axios X射线光谱仪,依据标准GB/T14506.28-2010;稀土元素及微量元素Co、Ni、Nb、Hf、Ta、Th、U采用ICP-MS法分析,使用仪器为Thermo Fisher Scientific公司制造的XSERIES2型ICP-MS,依据标准GB/T14506.30-2010; Fe_2O_3 值通过计算得出,计算公式为 $\text{TFe}_2\text{O}_3 = \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} \times 1.1113$ 。主要元素分析数据中烧失量值介于0.41%~2.85%之间,总和在99.11%~99.47%之间,满足精度标准要求;主要元素分析误差小于1%,微量元素和稀土元素分析精度优于5%。

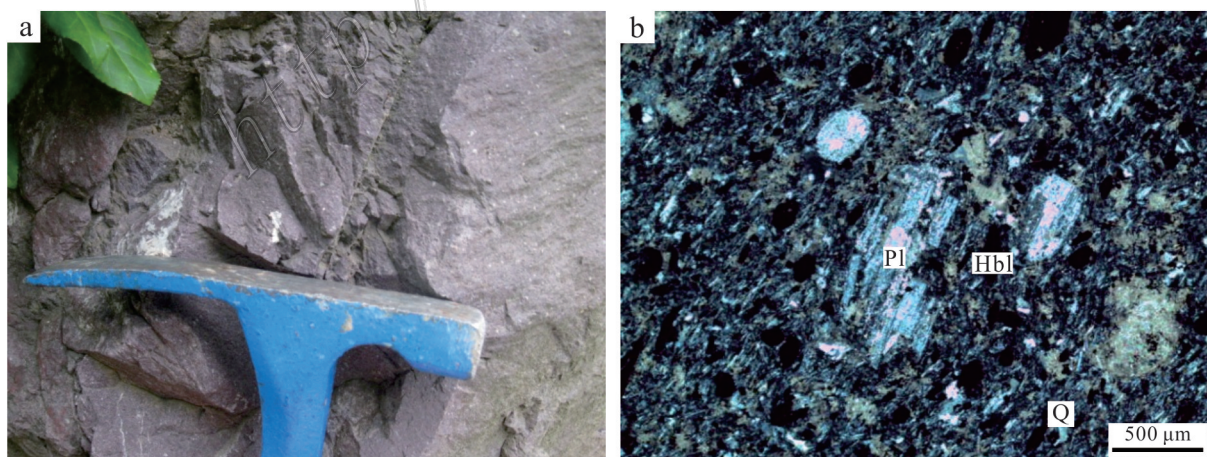


图3 华阳村组粗面英安岩野外露头特征(a)及显微镜下正交偏光照片(b)

Q—石英;Pl—斜长石;Hbl—角闪石

Fig. 3 Field photograph (a) and microphotograph (b) of the trachydacite from the Huayangcun Formation

Q—Quartz; Pl—Plagioclase; Hbl—Amphibole

表1 华阳村粗面英安岩LA-ICP-MS锆石U-Pb测试结果

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb date of the trachy dacite from the Huayangcun Formation

测点号	$w(\text{B})/10^{-6}$			Th/U	同位素比值						表面年龄/Ma					
	Pb	Th	U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/\text{n}^{238}\text{U}$	1σ
HYC-1-01	23.14	233.68	221.01	1.06	0.05342	0.00274	0.17455	0.00863	0.02369	0.00045	346.5	111.9	163.4	7.46	150.9	2.83
HYC-1-02	66.44	1773.97	647.48	2.74	0.04668	0.00151	0.15233	0.00479	0.02366	0.00034	32.9	75.67	144	4.22	150.7	2.13
HYC-1-03	40.46	585.15	396.52	1.48	0.04872	0.00189	0.16055	0.00606	0.02389	0.00037	134.5	88.86	151.2	5.3	152.2	2.32
HYC-1-04	35.89	593.56	363.78	1.63	0.04861	0.00179	0.15827	0.00566	0.02361	0.00036	128.9	84.44	149.2	4.96	150.4	2.26
HYC-1-05	32.4	350.16	327.61	1.07	0.05257	0.00197	0.17246	0.00628	0.02379	0.00037	310.4	83.21	161.6	5.44	151.5	2.3
HYC-1-06	78.9	415.88	772.27	0.54	0.05146	0.00136	0.1685	0.00436	0.02374	0.00032	261.7	59.59	158.1	3.79	151.3	2
HYC-1-07	164.75	1774.77	1647.33	1.08	0.04886	0.00087	0.15904	0.00284	0.0236	0.00028	141.2	41.18	149.9	2.49	150.4	1.77
HYC-1-08	60.54	306.4	577.9	0.53	0.05075	0.00157	0.16591	0.00497	0.02371	0.00034	229.4	69.81	155.9	4.33	151	2.13
HYC-1-09	30.28	515.75	308.41	1.67	0.06324	0.00207	0.20707	0.00652	0.02374	0.00036	716.5	68.04	191.1	5.49	151.3	2.27
HYC-1-10	146.18	561.19	1555.96	0.36	0.05206	0.00089	0.16912	0.00291	0.02356	0.00028	287.8	38.64	158.7	2.53	150.1	1.76
HYC-1-11	11.33	146.08	124.55	1.17	0.0964	0.00458	0.31341	0.01393	0.02358	0.0005	1555.6	86.57	276.8	10.77	150.2	3.13
HYC-1-12	24.97	476.34	260.74	1.83	0.0544	0.0026	0.17746	0.00814	0.02366	0.00043	387.7	103.1	165.9	7.02	150.7	2.7
HYC-1-13	14.63	165.89	148.49	1.12	0.13122	0.00557	0.43013	0.01667	0.02377	0.00051	2114.3	72.58	363.3	11.84	151.5	3.24
HYC-1-14	45.1	561.74	502.39	1.12	0.066	0.00202	0.21649	0.00637	0.02379	0.00035	806.5	62.83	199	5.31	151.6	2.23
HYC-1-15	119.85	1906.01	1219.95	1.56	0.04785	0.00088	0.15545	0.00286	0.02356	0.00028	90.9	44.09	146.7	2.51	150.1	1.77
HYC-1-16	17.52	163.91	189.21	0.87	0.04502	0.00334	0.14686	0.01057	0.02366	0.00053	0.1	116.9	139.1	9.35	150.7	3.37
HYC-1-17	63.18	878.27	658.67	1.33	0.0487	0.00148	0.15808	0.00467	0.02355	0.00033	133.2	69.86	149	4.09	150	2.07
HYC-1-18	148.43	5393.29	1644.41	3.28	0.0512	0.00131	0.16681	0.00416	0.02363	0.00031	249.9	57.83	156.6	3.62	150.5	1.96
HYC-1-19	58.88	739.19	570.59	1.30	0.04994	0.00136	0.16517	0.00439	0.02399	0.00032	192.4	62.14	155.2	3.82	152.8	2.02
HYC-1-20	23.6	374.19	252.4	1.48	0.04592	0.00305	0.15032	0.00961	0.02374	0.00052	0.1	146.1	142.2	8.48	151.3	3.3
HYC-1-21	192.26	4833.37	2017.9	2.40	0.04955	0.00125	0.16193	0.00397	0.0237	0.00031	173.9	57.68	152.4	3.47	151	1.96
HYC-1-22	85.67	1902.06	842.24	2.26	0.05157	0.00129	0.16877	0.00412	0.02374	0.00031	266.2	56.31	158.3	3.58	151.2	1.95



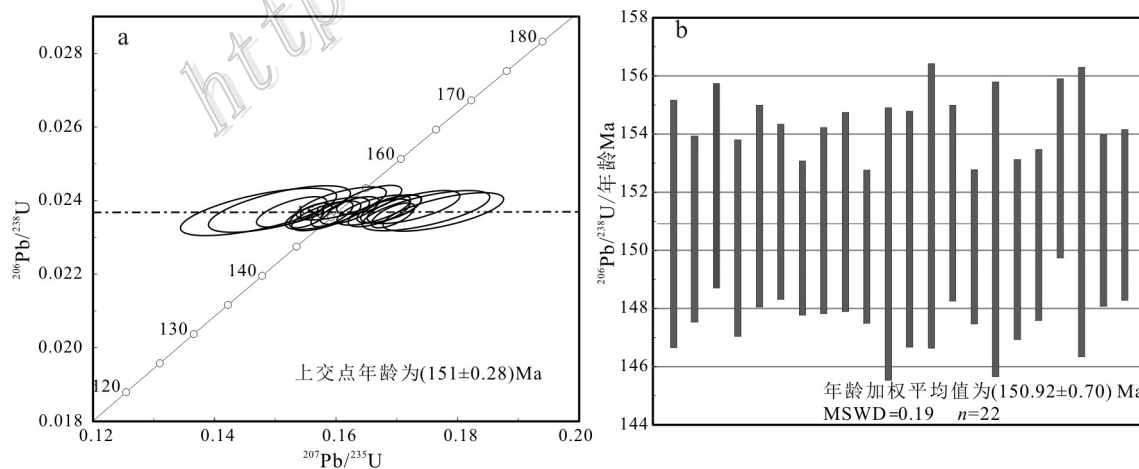
图4 华阳村组粗面英安岩锆石阴极发光图像及打点位置

Fig. 4 Zircon CL images and spot position of the trachydacite from the Huayangcun Formation

3 锆石 CL 图像特征及 LA-ICP-MS U-Pb 定年结果

华阳村组粗面英安岩锆石形态呈半自形-自形,

颜色多为无色-黄褐色,透明至半透明,四方双锥至短柱状(长宽比为1:1~2:1),阴极发光图像显示清晰的岩浆锆石振荡环带(图4)。U-Pb同位素分析结果见表1。22个样品测点中锆石 Th/U 比值(0.36~3.28)除了1个为0.36外,均大于0.4,指示华阳村组粗面英

图5 华阳村组粗面英安岩中锆石 U-Pb 谐和图(a)和 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄分布图(b)Fig. 5 Zircon U-Pb age concordia diagram (a) and $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age distribution map (b) of the trachydacite from the Huayangcun Formation

安岩锆石属岩浆成因锆石,该岩浆岩锆石的U-Pb同位素体系保持完全封闭,未受后期变质作用扰动。

对华阳村组英安岩中环带比较清晰的22个锆石颗粒进行U-Pb同位素分析,所有测点谐和度较好,数据点在谐和图上整体落在谐和曲线上,22个测定数据点拟合的直线与谐和曲线的交点年龄为 (151.00 ± 0.28) Ma。22个锆石最终测定的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 (150.92 ± 0.70) Ma (95%置信度; MSWD=0.19) (图5),可见华阳村组粗面英安岩形成于晚侏罗世。许多学者对研究区的蟒岭大岩基进行过详细研究(严阵等,1985;张宗清等,2006;王晓霞等,2011;秦海鹏等2012b),杨阳等(2014)将蟒岭岩体的岩浆侵入划分为3个期次:第一期晚侏罗世早期形成含辉石黑云角闪闪长岩((157 ± 1) Ma);第二期晚侏罗世晚期—早白垩世早期形成主体二长花岗岩((148 ± 1) Ma~ (144 ± 1) Ma);第三期早白垩世中期产出钾长花岗岩((124.1 ± 2.0) Ma),本文粗面安山岩测试结果为 (150.92 ± 0.70) Ma,说明岩石可能形成于蟒岭岩体第一期与第二期过渡期间。

4 岩石地球化学特征

华阳村组粗面英安岩的主量元素及微量元素分析结果见表2,该粗面英安岩主量元素显示 $w(\text{SiO}_2)$ 为59.75%~60.97%(平均60.45%), $w(\text{TiO}_2)$ 为0.76%~0.82%(平均0.78%), $w(\text{TFe}_2\text{O}_3)$ 为5.51%~5.66%(平均5.62%), $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 为15.84%~16.01%(平均15.95%), $w(\text{K}_2\text{O})$ 为3.74%~3.89%(平均3.79%), $w(\text{Na}_2\text{O})$ 为3.46%~3.65%(平均3.56%), $w(\text{MgO})$ 为3.46%~3.65%(平均3.56%), $w(\text{CaO})$ 为2.40%~3.75%(平均2.84%),里特曼指数 σ 为2.77~3.07(平均2.93),为高钾钙碱性岩石。铝饱和指数A/CNK为0.96~1.14,岩石具有准铝质—弱过铝质性质。全碱含量 $w(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 为7.22~7.49。标准矿物计算中(CIPW norm),样品HYC-1、HYC-2、HYC-3的 $100 \times Q/(Q+\text{An}+\text{Ab}+\text{Or})$ 的值均 $>20\%$,为粗面英安岩;样品HYC-4、HYC-5的 $100 \times Q/(Q+\text{An}+\text{Ab}+\text{Or})$ 值 $<20\%$,为粗面岩(邓晋福,2015)。

前已述及,在时间上、空间上华阳村组粗面英安岩均与蟒岭岩体有着密切联系,将它们的地球化学特征进行对比研究,对比结果见表3。蟒岭岩体第一期侵入体与华阳村粗面英安岩相比,偏基性,样品具有相对低的 $w(\text{SiO}_2)$ (51.86%~60.28%)、 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$

(12.23%~17.45%)、 $w(\text{K}_2\text{O})$ (1.93%~3.38%),高 $w(\text{TiO}_2)$ (0.90%~1.27%)、 $w(\text{TFe}_2\text{O}_3)$ (6.35%~9.97%)、 $w(\text{MgO})$ (3.27%~10.74%)、 $w(\text{CaO})$ (5.40%~9.14%),相对高的 σ (平均为3.23),为高钾钙碱性岩石,相对低的A/CNK(平均为0.66),岩石具有准铝质;与蟒岭岩体第二期侵入体相比,样品具有相对高的 $w(\text{SiO}_2)$ (68.81%~74.83%)、 $w(\text{K}_2\text{O})$ (3.35%~4.99%),低 $w(\text{TiO}_2)$ (0.18%~0.35%)、 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ (12.14%~15.18%)、 $w(\text{TFe}_2\text{O}_3)$ (1.43%~2.77%)、 $w(\text{MgO})$ (0.72%~1.17%)、 $w(\text{CaO})$ (1.86%~5.29%),相对低的 σ (平均为2.41),为高钾钙碱性岩石。相对低的A/CNK(平均为0.83),岩石具有准铝质性质。

对主量元素氧化物扣除烧失量以后重新换算成100%再进行投图,在TAS图解(图6a)中,粗面英安岩样品全部投到粗面英安岩/粗面岩区域;蟒岭第一期侵入体样品投到相应的辉石闪长岩/二长闪长岩区域;而蟒岭第二期侵入体样品投到花岗岩区域,这与岩相学定名是一致的。在 $w(\text{SiO}_2)$ - $w(\text{K}_2\text{O})$ 图解(图6b)中,三者均投到了高钾钙碱性系列—钾玄岩系列过渡区域。在An-Ab'-Or图解(图6c)中,粗面英安岩中除一个样品投到钾质火山岩区域外,其余样品全部投到普通火山岩区域。在A/NCK-A/NK图解(图6d)中,蟒岭岩体样品均投到了准铝质岩石区域,而粗面英安岩样品投到准铝质-弱过铝质岩石区域。

从表3中可以看出,蟒岭第一期侵入体→华阳村组粗面英安岩→蟒岭第二期侵入体,岩石随着 $w(\text{SiO}_2)$ 的增加, $w(\text{TiO}_2)$ 、 $w(\text{MgO})$ 、 $w(\text{CaO})$ 、 $w(\text{P}_2\text{O}_5)$ 和 $w(\text{TFe}_2\text{O}_3)$ 具有逐渐降低的趋势,而 $w(\text{K}_2\text{O})$ 具有逐渐升高的趋势, $w(\text{Na}_2\text{O})$ 与 $w(\text{SiO}_2)$ 线性相关性并不明显,表明在岩浆演化过程中存在着单斜辉石、磷灰石及钛铁矿等矿物的分离结晶作用,且可能存在岩浆混合作用(李献华等,1999)。以上特征反映了不同岩性之间为同源岩浆演化关系,岩性的差异是物理化学性质不同所致(杨阳等,2014),在极其特殊的温压条件形成了具有埃达克性质的华阳村组粗面英安岩。

华阳村粗面英安岩稀土元素总量 ΣREE 为 114.59×10^{-6} ~ 161.18×10^{-6} (平均为 131.35×10^{-6}),LREE为 104.42×10^{-6} ~ 149.01×10^{-6} ,HREE为 10.14×10^{-6} ~ 12.16×10^{-6} ,LREE/HREE值为10.27~12.25。 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 值为14.23~18.63, $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$ 值为4.61~5.88, $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 值为1.99~2.30,表明稀土元素明显富集,轻重稀土元素分异明显。岩石具有高 $w(\text{Sr})$ (286×10^{-6} ~ 338×10^{-6}),低 $w(\text{Yb})$ (1.30×10^{-6} ~ 1.50×10^{-6})、 $w(\text{Y})$

表 2 华阳村组粗面英安岩主量元素、稀土元素和微量元素分析结果

Table 2 Major elements, trace elements analyses of the trachy dacite from the Huayangcun Formation

组分	HYC-1	HYC-2	HYC-3	HYC-4	HYC-5	组分	HYC-1	HYC-2	HYC-3	HYC-4	HYC-5
$w(B)/\%$						$w(B)/10^{-6}$					
SiO ₂	60.73	60.97	60.53	60.28	59.75	Yb	1.50	1.30	1.34	1.39	1.44
TiO ₂	0.784	0.780	0.725	0.728	0.726	Lu	0.43	0.37	0.39	0.39	0.40
Al ₂ O ₃	15.84	16.01	15.96	15.99	15.93	Y	15.4	13.3	13.9	13.7	14.7
Fe ₂ O ₃	5.35	5.43	5.33	5.29	5.42	Cu	13.1	5.14	6.26	8.82	8.06
FeO	0.260	0.190	0.265	0.200	0.230	Pb	62.2	31.8	61.6	110	33.1
MgO	2.66	2.48	2.62	2.62	2.37	Zn	168	183	181	173	96.2
MnO	0.115	0.117	0.108	0.111	0.127	Co	17.5	18.1	17.8	17.7	30.1
CaO	2.30	2.35	2.58	2.80	3.60	W	2.32	2.26	2.38	2.08	1.56
Na ₂ O	3.48	3.46	3.65	3.60	3.60	Mo	0.85	0.89	1.02	0.93	0.94
K ₂ O	3.74	3.78	3.78	3.89	3.74	Ni	15.1	15.3	15.0	14.8	15.2
P ₂ O ₅	0.470	0.475	0.474	0.471	0.475	Cr	50.3	49.7	46.4	43.4	44.2
烧失量	3.59	3.54	3.64	4.00	4.27	V	72.8	73.6	73.6	71.5	66.1
总和	99.35	99.60	99.69	100.00	100.27	Ga	16.8	18.9	19.0	18.2	16.6
K ₂ O/Na ₂ O	1.07	1.09	1.04	1.08	1.04	Sr	321	327	338	286	310
Mg [#]	28.91	27.49	28.67	29.08	26.46	Ba	1630	1980	1810	1620	2000
A/CNK	1.14	1.14	1.08	1.05	0.96	Rb	149	157	160	127	118
$w(B)/10^{-6}$						Nb	1.84	3.40	2.36	1.36	0.58
La	41.6	31.1	28.3	29.4	32.5	Ta	9.40	7.00	4.50	2.40	2.60
Ce	65.7	47.9	43.3	49.2	54.3	Zr	204	216	202	195	192
Pr	7.91	6.42	6.01	6.24	6.67	U	2.65	2.76	2.94	2.27	2.33
Nd	27.5	22.2	21.6	22.4	24.1	Th	11.5	11.8	9.65	8.60	9.42
Sm	4.45	3.74	3.68	4.01	4.28	ΣREE	161.18	123.13	114.59	123.23	134.62
Eu	1.91	1.62	1.60	1.53	1.63	LREE	149.01	112.98	104.42	112.79	123.49
Gd	4.29	3.45	3.35	3.44	3.79	HREE	12.16	10.14	10.17	10.45	11.13
Tb	0.59	0.48	0.47	0.50	0.53	LREE/HREE	12.25	11.14	10.27	10.80	11.10
Dy	2.95	2.51	2.56	2.61	2.78	δEu	1.32	1.36	1.37	1.23	1.21
Ho	0.55	0.45	0.47	0.48	0.50	(La/Yb) _N	18.63	16.08	14.26	14.23	15.28
Er	1.62	1.38	1.38	1.42	1.47	(La/Sm) _N	5.88	5.23	4.82	4.61	4.78
Tm	0.24	0.20	0.21	0.21	0.23	(Gd/Yb) _N	2.30	2.14	2.02	1.99	2.13

注:比值单位为1。

($13.3 \times 10^{-6} \sim 15.4 \times 10^{-6}$), 较高的 Sr/Y (20.85~24.53)、Sr/Yb (205.16~252.99)、Y/Yb (9.84~10.37) 和 La/Yb 比值 (21.10~27.63), 具较低的相容元素 $w(\text{Ni})$ ($14.8 \times 10^{-6} \sim 15.2 \times 10^{-6}$)、 $w(\text{Cr})$ ($44.2 \times 10^{-6} \sim 50.3 \times 10^{-6}$) 和 Nb/U 比值 (1.8~3.4)。在稀土元素球粒陨石标准化配分曲线图 (图 7a) 上, 表现为明显的右倾型; 具有正的 Eu 异常 ($\delta\text{Eu}=1.21 \sim 1.37$)。微量元素原始地幔标准化蛛网图 (图 7b) 显示, 华阳村组英安岩富集大离子亲石元素 Rb、Ba、Sr、U、K, 相对亏损高场强元素 Nb、Ti、Th。

与华阳村组粗面英安岩相比较, 蟒岭第一期侵入岩的稀土元素总量较高, $\Sigma \text{REE}=162.85 \times 10^{-6} \sim 248.50 \times 10^{-6}$ (平均为 212.50×10^{-6}), LREE ($147.82 \times 10^{-6} \sim 233.56 \times 10^{-6}$)、 $w(\text{Sr})$ ($61.40 \times 10^{-6} \sim 1320.60 \times 10^{-6}$)、 $w(\text{Yb})$ ($1.57 \times 10^{-6} \sim 2.09 \times 10^{-6}$)、 $w(\text{Y})$ ($17.18 \times 10^{-6} \sim 22.04 \times 10^{-6}$) 高, Sr/Y (36.33~66.53)、Sr/Yb (367.83~

764.32)、Y/Yb (10.22~11.49) 高。(La/Yb)_N 值为 11.48~22.53, (La/Sm)_N 值为 4.18~5.08, (Gd/Yb)_N 值为 1.86~2.91。在稀土元素球粒陨石标准化配分曲线图 (图 7a) 上, 表现为轻稀土元素富集的右倾特征, 负铈异常不明显或呈微弱正铈异常 ($\delta\text{Eu}=0.92 \sim 1.08$)。在微量元素原始地幔标准化蛛网图 (图 7b) 上, 表现为相对富集 Th、U、Nb、Ce, 相对亏损 P、Ti 等高场强元素; 蟒岭第二期侵入岩相比华阳村组粗面英安岩, 稀土元素总量高, $\Sigma \text{REE}=133.42 \times 10^{-6} \sim 263.95 \times 10^{-6}$ (平均为 190.01×10^{-6}), LREE/HREE 值 (14.01~18.77) 高, 高 $w(\text{Sr})$ ($257.60 \times 10^{-6} \sim 525.60 \times 10^{-6}$)、低 $w(\text{Yb})$ ($1.19 \times 10^{-6} \sim 2.08 \times 10^{-6}$)、 $w(\text{Y})$ ($10.17 \times 10^{-6} \sim 18.34 \times 10^{-6}$), 较高的 Sr/Y (17.83~42.01), 高 Sr/Yb (148.05~339.85), 低 Y/Yb (7.38~9.37) 和 La/Yb 值 (26.87~41.41)。(La/Yb)_N 值为 13.74~27.92, (La/Sm)_N 值为 5.70~6.69, (Gd/Yb)_N 值为

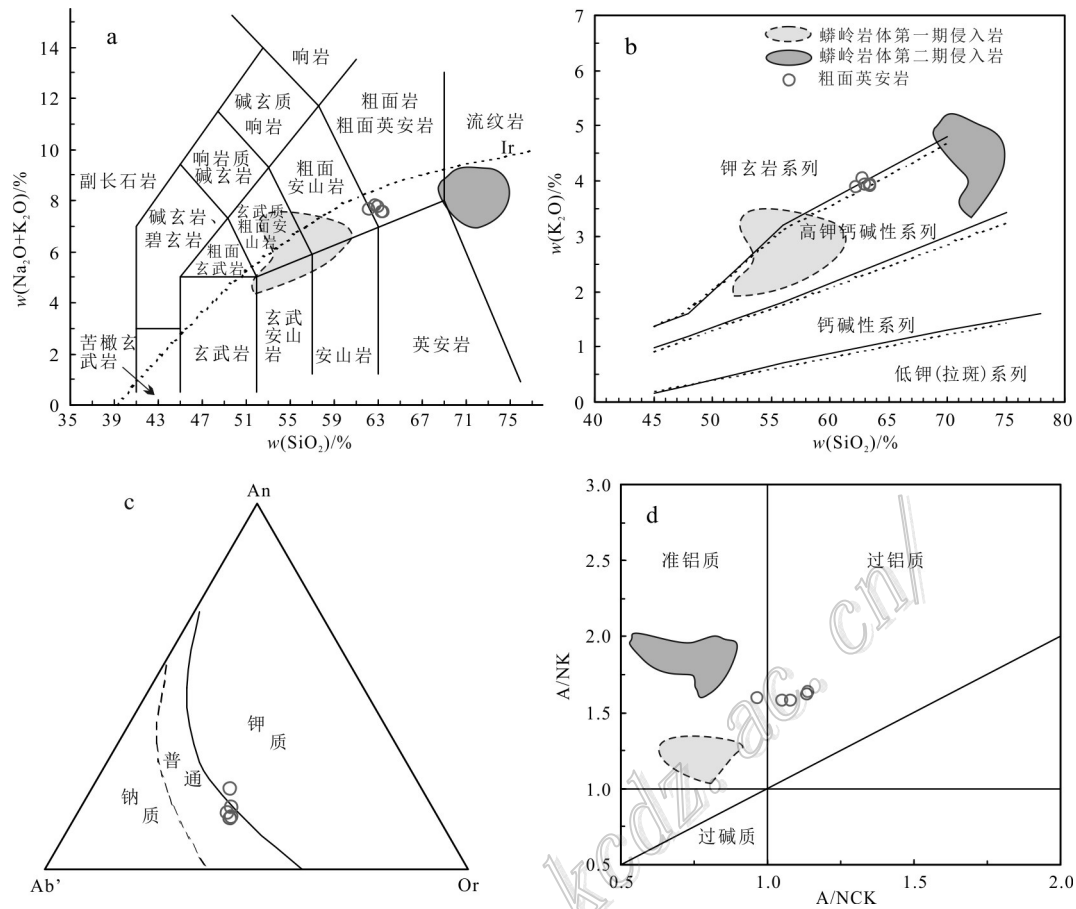


图6 华阳村组粗面英安岩 TAS (a, 据 Middlemost, 1994)、 $w(\text{SiO}_2)$ - $w(\text{K}_2\text{O})$ (b, 据 Maniar et al., 1989)、An-Ab'-Or 图 (c, 据 Irvine T N et al., 1971) 和 A/NCK-A/NK 图解 (据 Maniar et al., 1989) (蟒岭岩体数据来源于杨阳等, 2014)

Fig. 6 TAS plot (a, after Middlemost, 1994), $w(\text{SiO}_2)$ - $w(\text{K}_2\text{O})$ (b, after Maniar et al., 1989), An-Ab'-Or and (c, after Irvine T N et al., 1971) A/NCK-A/NK (after Maniar et al., 1989) of the trachydacite from the Huayangcun Formation (composition of Mangling pluton after Yang et al., 2014)

表3 华阳村组粗面英安岩与蟒岭岩体地球化学特征对比

Table 3 Geochemical characteristics of the trachydacite from the Huayangcun Formation and Mangling pluton

对比项目	蟒岭第一期侵入体	华阳村粗面英安岩	蟒岭第二期侵入体	对比项目	蟒岭第一期侵入体	华阳村粗面英安岩	蟒岭第二期侵入体
地质体出露形态	岩基	层状	岩基	地质体出露形态	岩基	层状	岩基
成岩时代/Ma	157±1	150.92±0.70	148±1~144±1	成岩时代/Ma	157±1	150.92±0.70	148±1~144±1
样品数	8	5	8	样品数	8	5	8
$w(\text{B})/\%$				$w(\text{B})/10^{-6}$			
SiO ₂	55.90	60.45	71.89	Sr	1080.13	316.00	390.03
TiO ₂	1.11	0.78	0.27	Yb	1.82	1.39	1.48
Al ₂ O ₃	15.81	15.95	13.55	Y	19.80	14.2	13.01
K ₂ O	2.71	3.79	4.41	Sr/Y	54.61	22.35	30.69
MgO	5.34	2.66	0.91	ΣREE	212.50	131.35	190.07
TFe ₂ O ₃	8.27	5.62	2.09	LREE/HREE	9.83~15.63	10.27~12.25	14.01~18.77
CaO	6.53	2.84	2.87	(La/Yb) _N	15.83~22.53	14.23~18.63	13.74~27.92
P ₂ O ₅	0.60	0.49	0.11				
K ₂ O+Na ₂ O	6.29	7.65	8.28				
σ	3.23	2.93	2.41				

注: 比值单位为1。

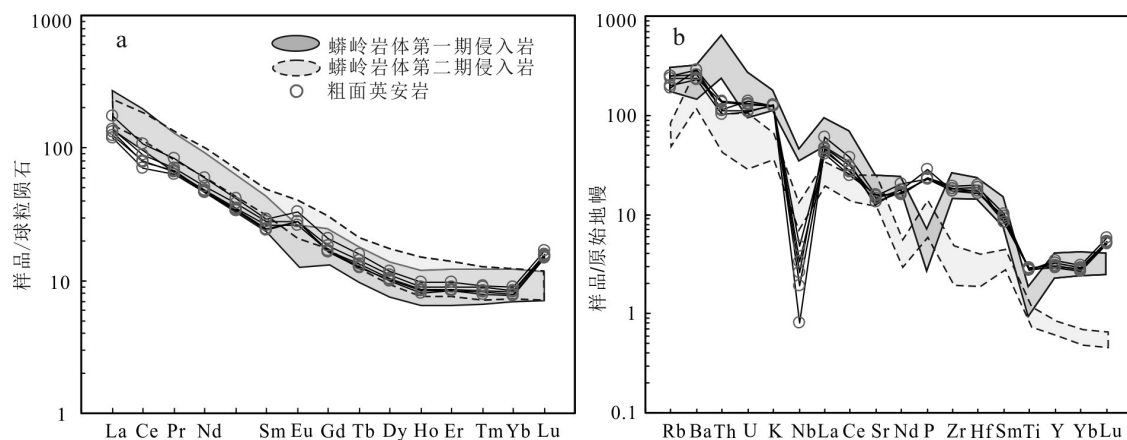


图7 华阳村组粗面英安岩稀土元素配分型式(a)和微量元素蛛网图(b)(标准化数值据 Sun et al.,1989)

Fig. 7 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle-normalized trace element patterns (b) of the trachydacite from the Huayangcun Formation (primitive mantle and chondrite after Sun et al.,1989)

1.26~2.50。在稀土元素球粒陨石标准化配分曲线图(图7a)上,表现为右倾型,具有负的Eu异常($\delta\text{Eu}=0.71\sim 0.86$)。在微量元素原始地幔标准化蛛网图上(图7b),除了相对富集Nb外,其余元素均相对亏损,指示地壳物质的同化混染作用越来越强。

5 讨论

5.1 岩石成因及源区性质

华阳村组粗面英安岩的主量元素高 $w(\text{SiO}_2)$

($>56\%$, 平均为 60.45%)、 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ ($>15\%$, 平均为 15.95%)、 $w(\text{K}_2\text{O})$ ($>3.5\%$, 平均为 3.78%)、高 $w(\text{Sr})$ (平均为 316.40×10^{-6})、 Sr/Y ($20.85\sim 24.53$)、 Sr/Yb ($205.16\sim 252.99$)、 Y/Yb ($9.84\sim 10.37$)和 La/Yb 值($21.10\sim 27.63$)、低 $w(\text{MgO})$ ($<3\%$, 平均为 2.55%)、 $w(\text{Yb})$ ($<1.9\times 10^{-6}$, 平均为 1.39×10^{-6})、 $w(\text{Y})$ ($<18\times 10^{-6}$, 平均为 14.20×10^{-6})、 $w(\text{Ni})$ ($14.8\times 10^{-6}\sim 15.2\times 10^{-6}$)、 $w(\text{Cr})$ ($44.2\times 10^{-6}\sim 50.3\times 10^{-6}$)和Nb/U比值($1.8\sim 3.4$)、正Eu和Sr异常等,具有埃达克岩的微量元素地球化学特征(Defant et al., 1990),但是 $w(\text{Sr})$ 略低于典型埃

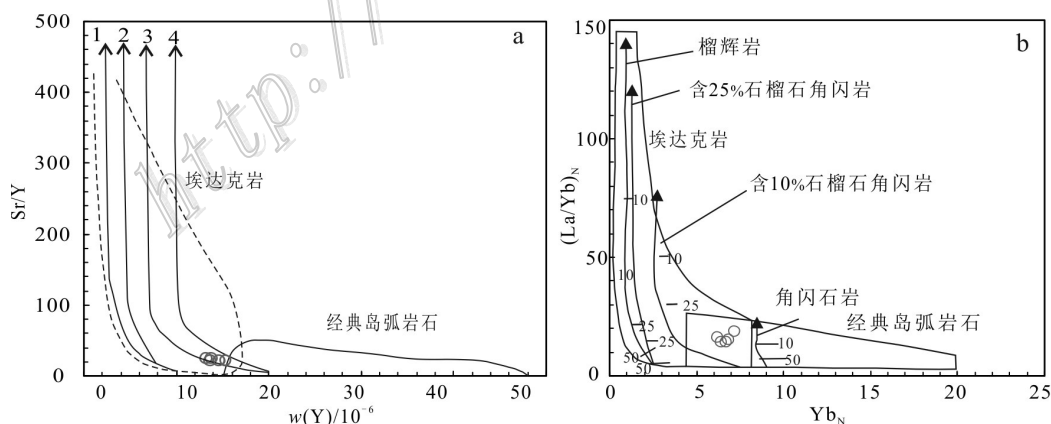


图8 华阳村组粗面英安岩 $\text{Sr}/\text{Y}-w(\text{Y})$ 图解(a, 据 Defant et al., 1990)和 $(\text{La}/\text{Yb})_N-\text{Yb}_N$ 图解(b, 据 Drummond et al., 1990)

1—榴辉岩(石榴子石/辉石=50/50); 2—角闪石榴岩(石榴子石/角闪石=50/50); 3—角闪榴辉岩(角闪石/石榴子石/辉石=10/40/50); 4—石榴角闪岩(石榴子石/角闪石=10/90)

Fig. 8 $\text{Sr}/\text{Y}-w(\text{Y})$ plot (a, after Defant et al., 1990) and $(\text{La}/\text{Yb})_N-\text{Yb}_N$ (b, after Drummond et al., 1990) of the trachydacite from the Huayangcun Formation

1—Eclogite (garnet / pyroxene=50/50); 2—Hornblende garnet rock (garnet / hornblende=50/50); 3—Amphibole eclogite (hornblende / garnet / pyroxene=10/40/50); 4—Garnet amphibolite (garnet / hornblende=10/90)

达克岩(400×10^{-6}),且与蟒岭岩体第二期高Sr低Yb型二长花岗岩地球化学特征极为相似(杨阳等, 2014)。在 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}-\text{Yb}_{\text{N}}$ (图8a)和 $\text{Sr}/\text{Y}-w(\text{Y})$ (图8b)判别图解上,样品基本落入埃达克岩区域。

最新的研究成果对埃达克岩成因模式主要有以下几种认识:①俯冲洋壳板片发生部分熔融(Defant et al., 1993; Kay et al., 1993);②玄武质岩浆底侵作用导致下地壳的部分熔融(Atherton et al., 1993; Petford et al., 1996; Zhao et al., 2008; 章凤奇等, 2010);③基性岩浆的结晶分异作用(Feeley et al., 2005; Castillo et al., 1999; Macpherson et al., 2006);④拆沉作用导致下地壳部分熔融(Xu et al., 2002; Gao et al., 2004; Wang et al., 2006);⑤增厚下地壳的部分熔融(Chung et al., 2003; Hou et al., 2004; Xu et al., 2006; 张旗等, 2001a; 2001b; 李德威, 2004; 刘建峰等, 2013)。

晚侏罗世,研究区已经进入陆内造山作用,因此,华阳村组粗面英安岩不可能是俯冲洋壳板片发生部分熔融形成的。Castillo等(1999)认为埃达克岩可以在低压下通过基性岩浆分离结晶作用形成,在低压下斜长石角闪石的分离结晶会使MREE和HREE之间产生向下凹的稀土元素配分模式,且 Dy/Yb 、 δEu 随 $w(\text{SiO}_2)$ 增高呈降低趋势,但是华阳村组粗面英安岩不具备这些特征(图6a,表2)。Macpherson等(2006)认为高压下基性岩浆通过角闪石和石榴子石分离结晶可形成埃达克岩,石榴子石或角闪石的分离结晶会导致残留熔体中 Y/Yb 值升高,而华阳村组粗面英安岩 Y/Yb 值为9.84~10.37,变化较小,岩体较低的 $w(\text{Nb})(0.58 \times 10^{-6} \sim 3.40 \times 10^{-6})$,与洋岛玄武岩值 $w(\text{Nb})(> 20 \times 10^{-6})$ (Reagan et al., 1989)存在明显差异,另外,岩石相对较低的 $w(\text{Cr})$ 、 $w(\text{Ni})$ 值,说明其并非含水玄武质岩浆结晶分异作用形成,而且,基性岩浆分异形成的埃达克岩通常和与其有成因联系的基性岩密切共生,而研究区目前未发现同时期基性岩,因此,研究区埃达克岩不可能是基性岩浆高压分异的产物。低 $\text{Mg}^\#(26.46 \sim 29.08)$ 、 $w(\text{Cr})$ 和 $w(\text{Ni})$,与拆沉下地壳部分熔融的高 $\text{Mg}^\#$,富Cr、Ni的特征存在明显区别(Martin, 1999; 2005; Smithies, 2000; Prouteau et al., 2001; Gao et al., 2004; Wang et al., 2006; 余红霞等, 2011)。岩石具有高 $w(\text{K}_2\text{O})(3.74\% \sim 3.89\%, \text{平均 } 3.79\%)$,较低的 $w(\text{Na}_2\text{O})(3.46\% \sim 3.65\%, \text{平均 } 3.56\%)$, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值为0.92~0.97(接近1),岩石的 Rb/Sr 值为0.38~0.48(平均

0.45),位于壳源岩浆范围(Tischendorf et al., 1985),这些特征与中国大陆东部加厚下地壳部分熔融形成C型埃达克岩的地球化学特征相当(张旗等, 2001b; 王强等 2002)。高Sr低Yb、高Sr/Y比值、正Eu异常的特征,表明岩浆源区主要残留相矿物为石榴子石和角闪石(图8),无斜长石,这些特征表明该岩体为下地壳基性岩石熔融所产生。陈岳龙等(1996)测得研究区北部同时期的蟒岭岩体二长花岗岩的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值的-3.7~-3.3;秦海鹏等(2012b)测得蟒岭岩体二长花岗岩的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值为-9.4~-3.1, $t_{\text{DM}2}=1.4 \sim 2.3 \text{ Ga}$;本次工作测得蟒岭岩体黑云母二长花岗岩的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 为-5.7~-10.0, $t_{\text{DM}2}=1.3 \sim 1.5 \text{ Ga}$,其西侧成矿小斑岩体的锆石 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值均为负值($\epsilon_{\text{Nd}}(t)=-31.2 \sim -0.8$,未发表),暗示蟒岭岩体具有多源的特点,其西侧小斑岩体的源区存在部分年轻组分,但主要为中新元古代地壳物质(柯昌辉, 2012b)。因此,华阳村组粗面英安岩形成于加厚下地壳基性岩的部分熔融,并可能有上地壳物质的参与。由La-La/Yb图解(图9)可知,岩石主要是同一源区的地壳物质发生不同程度的熔融形成。

华阳村组粗面英安岩高Sr、低Y(Yb),强烈亏损HREE,以及高的Sr/Y、Sr/Yb(205.16~252.99)、Y/Yb和La/Yb比值,表明其源区主要熔融残留相为角闪石和石榴子石(Defant et al., 1990; 1993); Y/Yb值为9.84~10.37(平均10.18),接近10; $(\text{Ho}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 值为1.01~1.05(平均1.02),接近1,表明源区残留相以角闪石为主,次为石榴子石(Rollison, 1993);轻微正Eu

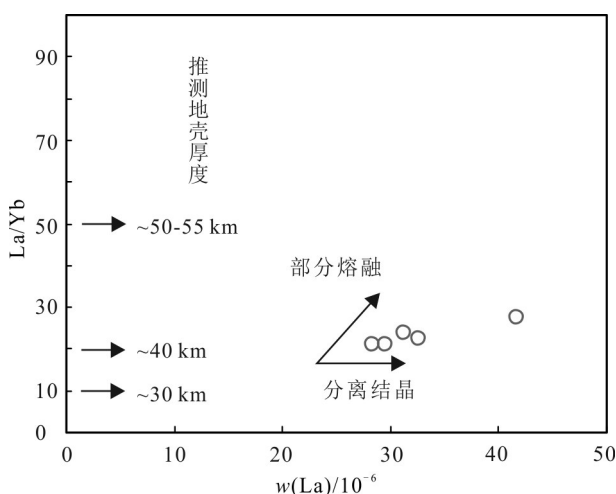


图9 华阳村组粗面英安岩La-La/Yb图解
(据 Chung et al., 2009)

Fig. 9 La-La/Yb plot of the trachydacite from the Huayangcun Formation (after Chung et al., 2009)

异常,表明在岩浆作用过程中没有发生显著的斜长石分离结晶作用,源区无斜长石残留;Nb、Ta和Ti为负异常,表明源区可能为Fe-Ti氧化物和金红石残留(Xiong et al., 2005)。综上所述,岩石源区残留相为含10%的石榴子石角闪岩(图8b)。实验表明,只要满足一定的温压条件,即可形成埃达克岩,而与其产出的环境无关(Rapp et al., 1991)。高压熔岩实验表明(Peacock et al., 1994; Wolf et al., 1994),高压(1~4 GPa)条件下,当石榴子石为残留相时,熔体出现强烈的重稀土元素亏损和诸多类似埃达克岩的地球化学特征(肖龙等, 2004),而前面已述岩石源区残留相为含10%石榴子石的角闪岩,石榴子石所占比例较少,所以岩石形成的压力相对较小(仍>1 GPa),这可能也是岩石中 $w(\text{Sr})$ 略小于传统意义上的 $w(\text{Sr})(>400\times 10^{-6})$ 的原因。Kay等(1991; 1994; 2001)认为La/Yb比值可以用来指示地壳厚度并反映岩浆来源的深度(Haschke et al., 2002; Chung et al., 2009),La/Yb比值大于30其岩浆产生于较厚的地壳(50~60 km),岩浆源区较深;而岩石的La/Yb<15,产于地壳厚度30~35 km,岩浆源区较浅。调查区粗面英安岩的La/Yb值为21.10~27.63,介于15~30之间,而Qian等(2010; 2013)认为在压力小于1.5 GPa、深度小于50 km(如30~40 km)的条件下也能形成埃达克岩。据此判断当时的地壳厚度应该略低于金红石稳定压力(1.5 GPa)限定的地壳厚度(50 km),但是起码在40 km以上(图9)。

5.2 大地构造意义

秦岭造山带是典型的复合型大陆造山带,从早古生代原特提斯域秦岭商丹洋扩张到早古生代加里东晚期扬子板块与华北板块汇聚俯冲造山,再经古特提斯伸展,南缘打开又形成勉略有限洋盆,与商丹残留洋盆并存,并于印支期($T_{2,3}$)扬子、华北及其间的秦岭微陆块三板块沿勉略与商丹两拼合带全面陆-陆碰撞造山,完成中国南北大陆的主体拼合(张国伟等, 1996; 2001),同位素测年及其他资料研究表明:扬子克拉通与华北克拉通在238~218 Ma之间碰撞对接(李曙光等, 1989; Ames et al., 1993; Chen et al., 1995; Meng et al., 1999; 李锦轶, 2001),碰撞阶段早期发生向北的陆内俯冲(石铨曾等, 2004),岩石圈强烈挤压缩短增厚,导致形成一系列东西向大断裂,在华北陆块南缘形成自北而南逆冲推覆的洛南-栾川逆冲推覆构造系(张国伟等, 2001; 杜保峰等, 2010)。扬子陆块携同南秦岭逐步向华北陆块南缘之下俯冲

的过程一直持续到中侏罗世晚期,两者的全面拼合过程才完成,形成秦岭板块构造主碰撞造山带,后又以发育晚造山的 T_3 — $J_{1,2}$ 伸展垮塌的陆相上叠断陷盆地为特点(张国伟等, 2011)。李荣社等(2011)认为陕西秦岭及邻区东为太平洋板块活动陆缘系统,西为青藏高原冈底斯-喜马拉雅活动陆缘弧盆系,它们分属太平洋和特提斯两大构造域,据地震探测与层析成像研究揭示,中生代同期秦岭造山带从地表到深层地幔发生区域性强烈构造调整变动,呈现秦岭造山带岩石圈流变学分层的“立交桥”式壳幔三维结构的脱耦模型(张国伟等, 2001; 袁学诚等, 2011; 董树文等, 2013)。

关于中生代构造体制的转换时间历来有争议,赵越等(1994)认为高峰期发生在中侏罗世(J_2),李文达等(1998)认为构造机制转折期主要发生在晚侏罗世末(J_3),孙涛等(2002)认为早侏罗世是转换高峰期;舒良树等(2002)认为高峰期发生在中侏罗世,同时认为到早白垩世初完成了转换,毛建仁等(2004)认为发生在(145±5)Ma的侏罗纪—白垩纪过渡时期。众多研究者先后从不同角度、采用不同方法进行了研究,多角度论证了构造体制转换时间,主要从地层层序、沉积盆地、岩浆活动、构造体制及其年代学等方面研究,观点各有差异,但普遍认为中东部地区中生代两种构造体制发生转换的高峰时期应在中侏罗世,在侏罗纪时期已由受控于南北向挤压作用转变为受东西向太平洋板块俯冲作用的构造域控制,白垩纪构造体制转换已基本完成,形成了NE—NNE向构造岩浆成矿域。

东秦岭地处华北克拉通南缘与秦岭造山带相接的地带,中生代以前为华北克拉通的组成部分,具有典型的克拉通边缘特征(赵振华等, 2003),在中生代经历了秦岭造山带的陆内造山运动,成为秦岭造山带的北缘组成部分(张国伟等, 1996),区域构造格架表现为近EW向与NNE向2组构造相互交织所形成的格子状构造体系,两组断裂构造的交切点控制了中酸性小岩体的空间侵位(李永峰等, 2005)。燕山运动被认为是东亚构造体制从古亚洲和特提斯构造域汇聚体制向太平洋构造域俯冲消减转变的产物(赵越等, 1994; 2004; 任纪舜等, 1999),在这一独特的动力体系转变过程中,将会产生陆缘俯冲消减增生杂岩带,火山弧和相关的表壳变形等一系列标志(焦建刚等, 2010)。燕山运动分为A幕、B幕和中间幕:燕山运动A幕以髻髻山组安山岩之下角度不整合为

标志,推测在175~160 Ma之间;中间幕以髻髻山组和兰旗组火山岩为代表,约在165~156 Ma之间;B幕以张家口组火山岩下的不整合为标志,强烈的冲断形成了土城子组和后城组的粗碎屑岩堆积,时代为156~139 Ma(赵越等,2004)。

近年来,很多学者就秦岭-大别造山带中生代花岗岩的年代学、岩石成因和地球化学等方面进行了大量的研究,并取得了显著的成果,成果显示华北克拉通南缘中生代花岗岩的形成时代主要集中于160~100 Ma之间,进一步可分为160~130 Ma和120~100 Ma两个阶段(王晓霞等,2015):早期(160~130 Ma)花岗岩类具有高Sr低Y花岗岩的地球化学特征,形成于地壳挤压增厚的构造环境,其成因被解释为加厚下地壳部分熔融(郭波等,2009;王义天等,2010;高昕宇等,2010;Zhao et al., 2011);晚期(120~100 Ma)花岗岩类大部分发生过较强的分异演化,具有A型花岗岩的特征(叶会寿等,2006;2008;周红升等,2008;戴宝章等,2009;向君峰等,2010),此外,还有基性岩墙、岩脉的侵入(韩以贵,2007;王团华等,2008),这2个阶段的花岗岩形成于碰撞和地壳加厚之后的伸展隆升阶段。张成立等(2002)对东秦岭西坝花岗岩((201.2±3.3)Ma)以及脉岩(181.77 Ma)研究认为,二者均具有埃达克岩的地球化学特征,且脉岩明显侵入于西坝岩体,代表了碰撞造山后秦岭地区地壳厚度明显增厚,花岗斑岩脉的出现表明该时期地壳厚度达到最大,嗣后发生下地壳拆沉作用(高山等,1999),特提斯构造域作用结束。本文研究的紫色粗面英安岩((150.92±0.70)Ma)产于侏罗纪地层的底部,与砾石层呈偶夹关系,砾石的成分为分选性、磨圆度极差的近源堆积物,反映侵蚀、搬运和堆积作用速度加快,说明当时的山体处于上升状态,地壳仍然处于增厚的状态。任纪舜(1991)指出,约为160 Ma秦岭地区受特提斯构造域和太平洋构造域构造动力此弱彼强的影响,整个中国大陆中东部的区域构造体制发生转换,从印支期以近EW向构造为主、NNE向—近SN向构造为次进入以NNE向—近SN向构造为主,近EW向构造为次的构造-动力体制大转换(张国伟等,2001)。华阳村组粗面英安岩具有埃达克岩性质,成岩年龄为(150.92±0.70)Ma,指示受特提斯构造域作用已经结束,构造机制发生了转换,可能代表了燕山运动B幕的岩浆事件。张旗等(2001a)、董树文等(2008)指出:中国东部存在大量的晚侏罗世—早白垩世C型埃达克岩,指示中

国东部高原的存在,同时埃达克岩的形成势必会引发下地壳的拆沉作用,当埃达克岩从下地壳熔出,留下榴辉岩,榴辉岩由于密度较大与岩石圈一起发生拆沉作用,沉入软流圈地幔,地壳减薄,周围的软流圈地幔上涌,地壳抬升,随后,地壳转入伸展状态,地壳进一步减薄,高原塌陷,形成山间磨拉石盆地,华阳村组粗面英安岩出露于磨拉石建造的底部可能就是当时的东秦岭地区华阳村一带高原塌陷的最直接可靠的证据。

5.3 成矿意义

Thieblemont等(1997)统计了全球43个大型Au、Ag、Cu、Mo低温热液和斑岩型矿床,发现其中38个与埃达克岩有关,冷成彪等(2007)最新的统计表明,大约95%的与铜矿有关的斑岩是埃达克岩,中国东北与埃达克岩有关的矿床达10个之多,其中大型矿床有5个:多宝山铜矿、大黑山钼矿、二道甸子金矿、团结沟金矿和甲乌拉银铅锌矿(李印等,2009),中国发现的一些重要铜金矿床或区(带),如新疆土屋-延东(Zhang et al., 2006)、冈底斯(Hou et al., 2006)、云南普朗(冷成彪等,2007;曾普胜等,2006),也都与埃达克(质)岩有关。埃达克岩有利于成矿的关键因素是角闪岩相向榴辉岩相转变过程中的脱水作用(Kay et al., 2001),较高的温度、压力、富挥发组分、较高的氧逸度和快速的岩浆上升是成矿的重要控制因素(赵振华等,2006)。近年来,在东秦岭发现了较多的与埃达克岩有关的钼矿床,如石家湾、南泥湖、三道庄、上房沟和秋树湾等斑岩型钼矿床的成矿年龄为(148.0±2.2)Ma~(139.3±2.3)Ma(李永峰等,2005;Mao et al., 2008),银家沟斑岩型Mo-Pb-Zn-Fe矿床的年龄为142 Ma,信阳东部的肖畈钼矿床为142 Ma(Mao et al., 2008),这一时期的矿床通常伴有钨、铁等有用元素,并与钙碱性岩体或富钾质的岩体等I型或地壳重熔型岩体形成时代一致,反映了地壳加厚的过程。笔者在对蟒岭矿区的成矿小斑岩体如南台岩体((147.2±1.3)Ma)、桃官坪岩体((147.1±1.1)Ma)、西沟岩体((147.2±1.3)Ma)、高沟岩体((148.5±1.2)Ma)、牛家湾岩体((143.95±0.91)Ma)、腰庄岩体((147.1±1.1)Ma)进行研究(资料均未发表),该期的岩体成岩物质来源主要以壳源物质为主,且不同程度的混有幔源物质成分,这与前人(陈岳龙等,1996;柯昌辉等,2012b;杨阳等,2014)对矿集区内同期岩体研究的结果是一致的,认为该期岩体形成于燕山晚期环太平洋板块向西俯冲远程效应

伸展体制早期,由此看来,本次研究的同空间、同性质、时间相近的具有埃达克岩性质的粗面安山岩具有较为相似的Mo、Cu、Au矿等成矿潜力。

埃达克岩浆具有高氧逸度特征(Oyarzun et al., 2001;王强等,2003),斑岩矿床既可来自俯冲洋壳的部分熔融(如芮宗瑶等,2004;刘洪涛等,2004),也可产于增厚基性下地壳的熔融有关(Rapp et al., 1999),如与底侵的玄武质下地壳熔融有关的斑岩铜矿床(王强等,2001;2003;2004;张旗等2001b;2004)。有资料显示(卢欣祥等,2002;候增谦等,2009),含Cu(Mo、Au)岩浆通常来源于加厚的、新生的镁铁质下地壳,幔源物质通过不同方式(如底侵、渗流、交代)直接或间接地参与含Cu(Mo、Au)岩浆系统;含Mo岩浆通常来源于加厚的古老下地壳;含Pb、Zn、Ag岩浆则起源于古老的中下地壳;含Au岩浆主体起源于陆内上地壳,但遭受不同程度地幔源岩浆混合和混入。虽然本次研究的样品来自于加厚的下地壳部分熔融,但是没有幔源物质的参与,埃达克质岩浆与地幔楔之前并没有发生相互作用,因此该套埃达克岩可能不具有形成Mo(Cu)的成矿物源条件,在本次采集的样品光谱分析中,显示低 $w(\text{Cu})$ ($5.14 \times 10^{-6} \sim 13.10 \times 10^{-6}$)、 $w(\text{Mo})$ ($0.85 \times 10^{-6} \sim 1.02 \times 10^{-6}$)、 $w(\text{Au})$ ($12.3 \times 10^{-9} \sim 47.6 \times 10^{-9}$)较小,正是很好的说明,且目前上侏罗统华阳村组中未发现相应Mo(Cu)、Au的矿化蚀变现象。

Kay等(2001)指出,并非所有具埃达克岩特点的岩浆都会发生矿化,岩浆的中、重稀土元素比值Sm/Yb具有源区变迁乃至成矿指示意义:从成矿前、成矿期到成矿后,岩浆的Sm/Yb依次逐渐增大,反映出岩浆源区性质的变化和源区压力逐渐增高:成矿前以钙碱性弧岩浆活动为特征,具有正常的消减带地幔楔衍生岩浆的地球化学特点(Sm/Yb=1~3),此时为埃达克岩浆侵位,但是没有明显的矿化记录;成矿期为大规模埃达克质岩浆活动,指示源区残留固相从角闪石向石榴子石转变的特点(Sm/Yb=3~5);成矿后为本区岩浆活动的结束期,以发育少量埃达克质岩浆为特点,重稀土元素更为亏损(Sm/Yb=5.5~9.5),反映其残留固相以富含石榴子石为特征,此时也无明显矿化。谭俊等(2006)曾研究过金矿床成岩成矿时差,时差平均值为7.4 Ma;杜保峰等(2010)根据钼矿化温度(一般240~450℃)低于花岗岩类冷凝封闭温度(一般>600℃),做了关于中国东部与钼成矿相关的岩体年龄,年龄主要分布在160~155 Ma和145~

135 Ma两个时间段,二者两个阶段成岩-成矿时差分别为0~10.0 Ma和0~15.0 Ma,单个钼矿床成岩-成矿时差限定在0~14.0 Ma(平均约为4.1 Ma)。研究区粗面英安岩Sm/Yb比值介于2.76~2.98,与相邻的蟒岭西侧成矿小斑岩体年龄(143.93~148.5 Ma)比较,其形成年龄大于后者3~8 Ma,因此该套岩体应该是成矿期前形成(没有幔源物质加入),不具有明显的Mo(Cu)矿化蚀变,而微量元素分析结果(表2)中,出现高 $w(\text{Pb})$ ($31.8 \times 10^{-6} \sim 110 \times 10^{-6}$)、 $w(\text{Zn})$ ($96.2 \times 10^{-6} \sim 183 \times 10^{-6}$)、 $w(\text{Ag})$ ($110 \times 10^{-9} \sim 302 \times 10^{-9}$),可能是由于岩浆在上升过程中萃取了围岩长城系宽坪群四岔口组(Pt_2s)和古生界干江河组(Pzg^2)碳酸盐岩、火山岩中的Pb、Zn、Ag等元素,但是受限于当时的成矿温压条件,未见明显的矿化。

华北陆块南缘钼多金属矿化最主要的特征表现为以花岗质岩石为核心的斑岩-矽卡岩钼(钨)矿及岩体外围围岩中分布的脉状铅锌银矿(毛景文等,2009),二者属于统一的成矿系统(叶会寿,2006;叶会寿等,2006;吕文德等,2006),越来越多的证据表明斑岩成岩年龄与区内热液型脉状铅锌银矿床成岩年龄是一致的(陈衍景等,2003;2006;燕长海,2004;张静等,2004;2005;2009;吕文德等,2006;祁进平等,2006;2007;包志伟等,2009;付治国等,2010)。罗云安等(2016)在区内蟒岭成矿小斑岩体南部黄家沟-上铺子地区宽坪群四岔口组的6条含矿蚀变带中圈出了8个铅锌银矿体,为燕山期以来的构造-岩浆活动、含矿热液叠加-改造,导致元素活化、富集成矿,这印证了毛景文等(2009)所认为斑岩岩体由内到外呈斑岩型钼矿—斑岩—矽卡岩型钼(钨)、脉状金-脉状铅锌银矿的矿床模型。综上所述,笔者认为该套埃达克岩形成于蟒岭斑岩以及西侧小斑岩之前,与该矿集区成矿作用关系不大,但正是由于埃达克岩形成以后引起了下地壳的折沉作用,随着折沉作用的持续进行,地壳减薄导致周围软流圈地幔上涌,含有Mo、Cu等成矿元素的岩浆沿着构造薄弱地带侵入,并在上升过程萃取了围岩中的Pb、Zn、Ag、Au等成矿元素,形成调查区内的蟒岭含矿斑岩体、蟒岭西侧含矿小斑岩体以及同期的黄家沟-上铺子一带铅锌银矿体。

6 结 论

(1) 华阳村组粗面英安岩的形成年龄为

(150.92 ± 0.70) Ma, 时代为晚侏罗世。岩石具有高 $w(\text{SiO}_2)$ 、 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 、 $w(\text{Sr})$ 、 Sr/Y 值, 低 $w(\text{Y})$ 、 $w(\text{Yb})$ 、 $\text{Mg}^\#$ 、 $w(\text{Cr})$ 、 $w(\text{Ni})$, 轻稀土元素富集、重稀土元素亏损、轻重稀土元素分异明显, 弱的正 Eu 异常, 具有富钾($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 值为 0.92~0.97) 等地球化学特征, 与中国东部 C 型埃达克岩的地球化学特征相似, 是地壳加厚构造背景下加入基性下地壳部分熔融的产物, 其源区残留相为含 10% 的石榴子石角闪岩相。

(2) 华阳村组粗面英安岩的出现暗示晚侏罗世东秦岭地区发生了一次地壳增厚事件, 表明东秦岭地区特提斯构造域和太平洋构造域构造机制已经发生转换。

(3) 华阳村组粗面英安岩与与蟒岭矿集区成矿作用关系不大, 但是由于形成了特殊的具有埃达克岩性质的岩石, 导致下地壳拆沉, 随着拆沉作用的持续进行, 地壳减薄导致周围的软流圈地幔上涌, 含有 Mo、Cu 等成矿元素的岩浆沿着构造薄弱地带侵入就位, 并在上升过程萃取了围岩中的 Pb、Zn、Ag、Au 等成矿元素, 形成蟒岭含矿斑岩体、蟒岭西侧含矿小斑岩体以及同期的黄家沟-上铺子一带脉状铅锌银矿体。

致谢 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测试和岩石地球化学数据分析分别得到了西北大学大陆动力学国家重点实验室柳小明博士和咸阳核工业二〇三研究所分析测试中心林桂芝工程师的大力支持和热心帮助; 匿名评审人提出了诸多宝贵而中肯的意见, 在此一并谨致谢忱!

References

- Ames L, Tilton G R and Zhou G Z. 1993. Timing of collision of the Sino-Korean and Yangtze cratons: U-Pb zircon dating of coesite 2 bearing eclogites[J]. *Geology*, 21: 339-343.
- Atherton M P and Pertord N. 1993. Generation of sodium-rich magmas from newly undenplated basaltic crust[J]. *Nature*, 362: 144-146.
- Bao Z W, Zeng Q S, Zhao T P and Yuan Z L. 2009. Geochemistry and petrogenesis of the ore-related Nannihu and Shangfanggou granite porphyries from East Qinling belt and their constraint on the molybdenum mineralization[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(10): 2523-2536(in Chinese with English abstract).
- Castillo P R, Janney P E and Solidum R U. 1999. Petrology and geochemistry of Camiguin island, southern Philippines: Insights to the source of adakites and other lavas in a complex arc setting[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 134: 33-51.
- Chen J F, Xie Z, Liu S S, Li X M and Foland K A. 1995. Cooling age of Dabie Orogen, China, determined by ^{40}Ar - ^{39}Ar and fission track techniques[J]. *Science in China (Series B) (English Edition)*, 38: 749-757.
- Chen Y J, Sui Y H and Pirajno F. 2003. Execlusive evidence for CMF model and a case of orogenic silver deposits: Isotope geochemistry of the Tieluping silver deposit, East Qinling orogen[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 19: 551-568(in Chinese with English abstract).
- Chen Y J. 2006. Orogenic-type deposits and their metallogenic model and exploration potential[J]. *Geology in China*, 33(6): 1181-1196(in Chinese with English abstract).
- Chen Y L, Yang Z F, Zhang H F and Ling W L. 1996. Geochemical characteristics of Sr, Nd and Pb isotopes of Late Paleozoic-Mesozoic granitoids from northern Qinling belt[J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 21(5): 481-486(in Chinese with English abstract).
- Chen Y L. 1999. Geochemistry of granitoids from the eastern Tianshan Mountains and the northern Qinling Belt[M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-141(in Chinese).
- Chung S L, Liu D Y, Ji J Q, Chu M F, Lee H Y, Wen D R, Lo C H, Lee T Y, Qian Q and Zhang Q. 2003. Adakites from continental collision zones: Melting of thickened lower crust beneath southern Tibet[J]. *Geology*, 31(11): 1021-1024.
- Chung S L, Chu M F, Ji J Q, O'Reilly S Y, Pearson N J, Liu D Y, Lee T Y and Lo C H. 2009. The nature and timing of crustal thickening in Southern Tibet: Geochemical and zircon Hf isotopic constraints from postcollisional adakites[J]. *Tectonophysics*, 477(1-2): 36-48.
- Dai B Z, Jiang S Y and Wang X L. 2009. Petrogenesis of the granitic porphyry related to the giant molybdenum deposit in Donggou, Henan Province, China: Constraints from petrogeochemistry, zircon U-Pb chronology and Sr-Nd-Hf isotopes[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(11): 2889-2901(in Chinese with English abstract).
- Defant M J and Drummond M S. 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere[J]. *Nature*, 347(6294): 662-665.
- Defant M J and Drummond M S. 1993. Mount St. Helens potential example of the partial melting of the subducted lithosphere in a volcanic arc[J]. *Geology*, 21(6): 547-550.
- Deng J F, Liu C, Feng Y F, Xiao Q H, Di Y J, Su S G, Zhao G C, Duan P X and Dai M. 2015. On the correct application in the common igneous petrological diagrams: Discussion and suggestion[J]. *Geological Review*, 61(4): 717-734(in Chinese with English abstract).
- Dong S W, Zhang Y Q, Chen X H, Long C X, Wang T, Yang Z Y and Hu J M. 2008. The formation and deformational characteristics of East Asia multi-direction convergent tectonic system in Late Jurassic[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 29(3): 306-317(in Chinese with English abstract).
- Dong S W, Li T D, Gao R, Lü Q T, Wei W B, Yang J S, Wang X Q, Chen Q C, Shi Y L, Huang D N, Chen X H and Zhou Q. 2013. Progress of SinoProbe-Deep exploration in China 2008-2012[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 34(1): 7-23(in Chinese with English abstract).

- stract).
- Drummond M S and Defant M J. 1990. A model for trondhjemite-tonalite-dacite genesis and crustal growth via slab melting: Archean to modern comparisons[J]. *Journal of Geophysical Research*, 95 (B13): 21503-21521.
- Du B F, Wei J H, Wang Q, Li Y J, Liu G C, Yu H T and Liu Y L. 2010. Discussion on metallogenic setting and time difference between magmatism of molybdenum deposits in East China[J]. *Mineral Deposits*, 29(6):935-955(in Chinese with English abstract).
- Feeley T C and Hacker M D. 2005. Intracrustal derivation of Na-rich andesitic and dacitic magmas: An example from volcano Olague, Andean central volcanic zone[J]. *The Journal of Geology*, 103: 213-225.
- Fu Z G, Weng J C, Yan C H and Gao S H. 2010. Isotope geochemical characteristics of the Lengshuibigou lead-zinc-silver ore district in East Qinling[J]. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 34 (1): 34-39(in Chinese with English abstract).
- Fu Z X, Chen J Y, Gao H X, Lu Y L and Zhang E P. 1978. 1:50000 regional geological survey report of Sanyaojie sheet[R]. Regional Geological Survey Brigade, Geological Bureau of Shaanxi. 53-54 (in Chinese).
- Gao S, Rudnick R L, Yuan H L, Liu X M, Liu Y S, Xu W L, Ling W L, Ayers J, Wang X C and Wang Q H. 2004. Recycling lower continental crust in the North China craton[J]. *Nature*, 432: 892-897.
- Gao S, Zhang B R and Jin Z M. 1999. Lower crustal delamination in the Qinling-Dabie orogenic belt[J]. *Science in China(Series D)*, (4): 423-433(in Chinese with English abstract).
- Gao X Y, Zhao T P, Yuan Z L, Zhou Y Y and Gao J F. 2010. Geochemistry and petrogenesis of the Heyu batholith in the southern margin of the North China block[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(12): 3485-3506(in Chinese with English abstract).
- Guo B. 2009. Geology, geochemistry and geodynamic setting of Jinduicheng porphyry molybdenum deposit in East Qinling (Master Degree Thesis) [D]. Xi'an: Northwest University. 1-135(in Chinese with English summary).
- Guo B, Zhu L M, Li B and Gong H J. 2009. Zircon U-Pb age and Hf isotope composition of the Huashan and Heyu granite plutons at the southern margin of North China Craton implications for geodynamic settings[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(2): 265-281(in Chinese with English abstract).
- Han Y G. 2007. Structural and magmatic evolutions in western Henan Province and their implications to gold mineralization: New geochronological evidence(Ph. D. Dissertation) [D]. Beijing: China University of Geosciences. 1-119(in Chinese with English abstract).
- Haschke M, Siebel W, Guinther A and Scheuber E. 2002. Repeated crustal thickening and recycling during the Andean orogeny in north Chile(21°-26°S)[D]. *Journal of Geophysical Research*, 107P.
- He S P, Wang H L, Chen J L, Xu X Y, Zhang H F, Ren G M and Yu J Y. 2007. Zircon U-Pb chronology of Kuanping rock Group by LA-ICP-MS and its geological significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 81(1): 79-87(in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Gao Y F, Meng X J, Xu X M and Huang W. 2004. Genesis of adakitic porphyry and tectonic controls on the Gangdese Miocene porphyry copper belt in the Tibetan orogen[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 20: 239-244(in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Gao Y F, Qu X M, Rui Z Y and Mo X X. 2004. Origin of adakitic intrusives generated during mid-Miocene east-west extension in southern Tibet[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 220 (1-2): 139-155.
- Hou Z Q, Zeng P S, Gao Y F, Du A D and Fu D M. 2006. Himalayan Cu-Mo-Au mineralization in the eastern Indo-Asian collision zone: Constraints from Re-Os dating of molybdenite[J]. *Mineralium Deposita*, 41: 33-45.
- Hou Z Q and Yang Z M. 2009. Porphyry deposits in continental settings of China: Geological characteristics, magmatic-hydrothermal system, and metallogenic model[J]. *Acta Geologica Sinica*, 83 (12): 1779-1817(in Chinese with English abstract).
- Huang D H, Nie F J, Wang Y C and Jiang X J. 1984. Lead isotope compositions of molybdenum deposits in East Qinling as applied to the problem of ore sources[J]. *Mineral Deposits*, 3(4): 20-28(in Chinese with English abstract).
- Irvine T N and Baragar W R A. 1971. A guide to the chemical classification to the common volcanic rocks[J]. *Canada Journal of Earth Science*, 8: 523-548.
- Jiao J G, Yuan H C, Liu R P, Li X D and He K. 2010. Lithogeochemical characteristics of Balipo molybdenum deposit and its prospecting significance, Huaxian, Shaanxi Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(12): 3538-3548(in Chinese with English abstract).
- Kay S M, Mpodozis C, Ramos V A and Munizaga F. 1991. Magma source variations for mid-late Tertiary magmatic rocks associated with a shallowing subduction zone and a thickening crust in the central Andes (28° to 33°S) Argentina[A]. In: Harmon R S and Rapela C W, eds. Andean magmatism and its tectonic setting[C]. Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper, 265: 113-137.
- Kay R W and Kay S M. 1993. Delamination and delamination magmatism[J]. *Tectonophysics*, 19: 177-189.
- Kay S M, Mpodozis C, Tittler A and Cornejo P. 1994. Tertiary magmatic evolution of the Maricunga mineral belt in Chile[J]. *International Geology Review*, 36: 1079-1112.
- Kay S M and Mpodozis C. 2001. Central Andean ore deposits linked to evolving shallow subduction systems and thickening crust[J]. *GSA Today*, 11(3): 4-9.
- Ke C H, Wang X X, Li J B and Qi Q J. 2012a. Geochronology and geological significance of the granites from the Mahe Mo deposit in the North Qinling[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(1): 267-278(in Chinese with English abstract).
- Ke C H, Wang X X, Yang Y, Qi Q J, Fan Z P, Gao F and Wang X Y. 2012b. Rock-forming and ore-forming ages of the Nantai Mo polymetallic deposit in North Qinling Mountains and its zircon Hf isotope composition[J]. *Geology in China*, 39(6): 1562-1576(in

- Chinese with English abstract).
- Leng C B, Zhang X C, Chen Y J, Wang S X, Gou T Z and Chen W. 2007. Discussion on the relationship between Chinese porphyry copper deposits and adakitic rocks[J]. *Earth Science Frontiers*, 14: 199-210(in Chinese with English abstract).
- Li D W. 2004. Late Conozoic intraplate orogeny and dynamic metallogeny in the southern Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Earth Science Frontiers*, 11(4): 361-369(in Chinese with English abstract).
- Li H M, Ye H S, Mao J W, Wang D H, Chen Y C, Qu W J and Du A D. 2007. Re-Os dating of molybdenites from Au (-Mo) deposits in Xiaoqinling gold ore district and its geological significance[J]. *Mineral Deposits*, 26(4): 418-423(in Chinese with English abstract).
- Li J B, Wang X X, Tong Y, Ke C H and Yang Y. 2013. Spatio-temporal distributions of Mesozoic granite plutons and molybdenum deposits in East Qinling and their dynamic implication[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 35(4): 49-51(in Chinese with English abstract).
- Li J Y. 2001. The collision time and way of Yangtze block and Sino-Korea block: Evolution of sediment environment at Yangtze Mid-Lower Valley during Sinian-Jurassic[J]. *Acta Geologica Sinica*, 75(1): 25-34(in Chinese with English abstract).
- Li N, Chen Y J, Zhang H, Zhao T P, Deng X H, Wang Y and Ni Z Y. 2007. Molybdenum deposits in East Qinling[J]. *Earth Science Frontiers*, 14(5): 186-198(in Chinese with English abstract).
- Li R S, Ji W H, He S P, Liu G and Zhang H D. 2011. The two tectonic domain division discussion between the ancient Asian and Tethys in western China[J]. *Xinjiang Geology*, 29(3): 247-250(in Chinese with English abstract).
- Li S G, Hart S R and Zheng S G. 1989. The collision time of North China Plate and South China Plate: Evidence from Sm-Nd ages[J]. *Science in China (Series B)*, 19(3): 312-319(in Chinese).
- Li W D, Mao J R, Zhu Y H and Xie H G. 1998. Igneous rocks and deposits in the southeastern China[M]. Beijing: Earthquake Publishing House. 1-156(in Chinese).
- Li X H, Li J Y, Liu Y, Chen D F, Wang Y X and Zhao Z H. 1999. Geochemistry characteristics of the Paleoproterozoic meta-volcanics in the Cathaysia block and its tectonic significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 15(3): 364-371(in Chinese with English abstract).
- Li Y, Ling M X, Ding X, Liu J, Han F and Sun W D. 2009. Adakites or adakitic rocks and associated metallogenesis in eastern China[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 33(3): 448-464(in Chinese with English abstract).
- Li Y F, Mao J W, Bai F J, Li J P and He Z J. 2003. Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Nannihu molybdenum (tungsten) ore-field in the eastern Qinling and its geological significance[J]. *Geological Review*, 49(6): 652-659(in Chinese with English abstract).
- Li Y F, Wang C Q, Bai F J and Song Y L. 2004. Re-Os isotopic ages of Mo deposits in East Qinling and their geodynamic settings[J]. *Mineral Resources and Geology*, 18(6): 571-578(in Chinese with English abstract).
- Li Y F. 2005. The temporal-spatial evolution of Mesozoic granitoids in Xiong'er-shan area and their relationship to molybdenum-gold mineralization(Ph. D. Dissertation)[D]. Beijing: China University of Geosciences(in Chinese with English summary).
- Li Y F, Mao J W, Hu H B, Guo B J and Bai F J. 2005. Geology, distribution, types and tectonic settings of Mesozoic molybdenum deposits in East Qinling area[J]. *Mineral Deposits*, 22(3): 292-304(in Chinese with English abstract).
- Li Y F, Mao J W, Liu D Y, Wang Y B, Wang Z L, Wang Y T, Li X F, Zhang Z H and Guo B J. 2006. SHRIMP Zircon U-Pb and molybdenite Re-Os datings for the Leimenggou porphyry molybdenum deposit western Henan and its geological implication[J]. *Geological Review*, 52(1): 122-131(in Chinese with English abstract).
- Liu H T, Zhang Q, Liu J M, Ye J, Zeng Q D and Yu C M. 2004. Adakite versus porphyry copper and epithermal gold deposits: A possible metallogenetic specialization of magmatism required in-deep assessment[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 20(2): 205-218(in Chinese with English abstract).
- Liu J F, Chi X G, Zhao Z, He Z C and Chen J Q. 2013. Zircon U-Pb age and petrogenetic discussion on Jianshetun adakite in Balinyouqi, Inner Mongolia[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 29(3): 827-839(in Chinese with English abstract).
- Lu X X. 2000. Tectonic map of granitoids in the Qinling [M]. Xi'an: Xi'an Map Publishing House. 33p(in Chinese).
- Lu X X, Yu Z P, Feng Y L, Wang Y T, Ma W F and Cui H F. 2002. Mineralization and tectonic setting of deep-hypabyssal granites in East Qinling Mountain[J]. *Mineral Deposits*, 21(2): 168-178(in Chinese with English abstract).
- Luo A Y, Li L Q and Han Y. 2016. Prospective and recommendation for lead, zinc silver and gold ore prospecting in Huangjiagou-Shangpuzi area of southern Mangling[J]. *Geology of Shaanxi*, 34(1): 1-6(in Chinese with English abstract).
- Lü W D, Zhao C H, Sun W Z, Yan J S. 2006. Geological characteristics and genesis of Nannihu lead zinc polymetallic ore field in west Henan[J]. *Mineral Resources and Geology*, 20(3): 219-226(in Chinese with English abstract).
- Macpherson C G, Dreher S T and Thirlwall M F. 2006. Adakites without slab melting: High pressure differentiation of island arc magma, Mindanao, the Philippines[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 243(3-4): 581-593.
- Maniar P D and Piccoli P M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 101: 615-643.
- Mao J R, Xu N Z, Hu Q, Xing G F and Yang Z L. 2004. The Mesozoic rock-forming and ore-forming processes and tectonic environment evolution in Shanghang-Dation region, Fujian[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 20: 285-296(in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Li X F, Li H M, Qu X M, Zhang C Q, Xue C J, Wang Z L, Yu J J, Zhang Z H, Feng C Y and Wang R T. 2005a. Types and characteristics of endogenetic metallic deposits in orogenic belts in China and their metallogenetic processes[J]. *Acta Geologica Sinica*, 79(3): 342-372(in Chinese with English abstract).

- Mao J W, Xie G Q, Zhang Z H, Li X F, Wang Y T, Zhang C Q and Li Y F, 2005b. Mesozoic large-scale metallogenic Pulses in North China and corresponding geodynamic settings[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(1): 169-188 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Xie G Q, Bierlein F, Qu W J, Du A D, Ye H S, Pirajno F, Li H M, Guo B J, Li Y F and Yang Z Q. 2008. Tectonic implications from Re-Os dating of Mesozoic molybdenum deposits in the East Qinling-Dabie orogenic belt[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72: 4607-4626.
- Mao J W, Ye H S, Wang R T, Dai J Z, Jian W, Xiang J F and Meng F. 2009. Mineral deposit model of Mesozoic porphyry Mo and vein-type Pb-Zn-Ag ore deposits in the eastern Qinling, Central China and its implication for prospecting[J]. *Geological Bulletin of China*, 28(1): 72-79(in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Xie G Q, Pirajno F, Ye H S, Wang Y B, Li Y F, Xiang J F and Zhao H J. 2010. Late Jurassic - Early Cretaceous granitoid magmatism in eastern Qinling, central-eastern China: SHRIMP zircon U-Pb ages and tectonic implications[J]. *Australian Journal of Earth Sciences: An International Geoscience Journal of the Geological Society of Australia*, 57(1): 51-78.
- Mao J W, Pirajno F, Xiang J F, Gao J J, Ye H S, Li Y F and Guo B J. 2011. Mesozoic molybdenum deposits in the East Qinling-Dabie orogenic belt: Characteristics and tectonic settings[J]. *Ore geology Reviews*, 43(1): 264-293.
- Martin H. 1999. Adakitic magmas: Modern analogues of Archean granitoids[J]. *Lithos*, 46: 411-429.
- Martin H, Smithies R H, Rapp R, Moyen J F and Champion D. 2005. An overview of adakite, tonalite-trondhjemite-granodiorite(TTG), and sanukitoid: Relationships and some implications for crustal evolution[J]. *Lithos*, 79(1-2): 1-24.
- Meng Q R and Zhang G W. 1999. Timing of collision of the North and South China blocks: Controversy and reconciliation[J]. *Geology*, 27(2): 1232-1236.
- Middlemost E A K. 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system[J]. *Earth-Science Reviews*, 37(3/4): 215-224.
- Oyarzun R, Marquez A and Lillo J. 2001. Giant versus small porphyry copper deposits of Cenozoic age in northern Chile: Adakitic versus normal calc-alkaline magmatism[J]. *Mineralium Deposita*, 36: 794-798.
- Peacock S M, Rushmer T and Thompson A B. 1994. Partial melting of subducting oceanic crust. *Earth Planet[J]. Science Letter*, 121: 227-244.
- Petford N and Atherton M. 1996. Na-rich partial melts from newly underplated basaltic crust: The Cordillera Bana Batholith[J]. *Peru. J. Petro.*, 37: 1491-1521.
- Prouteau G, Scaillet B, Pichavant M and Maury R. 2001. Evidence for mantle metasomatism by hydrous silicic melts derived from subducted oceanic crust[J]. *Nature*, 410(6825): 197-200.
- Qi J P, Lai Y, Ren K X and Tang G J. 2006. Sr-isotope constraint on the origin of the Xiaolinling gold field[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(10): 2543-2550(in Chinese with English abstract).
- Qi J P, Chen Y J, Ni P, Lai Y, Ding J Y, Song Y W and Tang G J. 2007. Fluid inclusion constraints on the origin of the Lengshuibeiou Pb-Zn-Ag deposit, Henan Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(9): 2119-2130(in Chinese with English abstract).
- Qi Q J, Wang X X, Ke C H and Li J B. 2012. Geochronology and origin of the Laoniushan complex in the southern margin of North China Block and their implications: New evidences from zircon dating, Hf isotopes and geochemistry[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(1): 279-301(in Chinese with English abstract).
- Qian Q and Hermann J. 2010. Formation of high-Mg diorites through assimilation of peridotite by monzodioritic magma at crustal depths[J]. *Journal of Petrology*, 51: 1381-1416.
- Qian Q and Hermann J. 2013. Partial melting of lower crust at 10-15 kbar: Constraints on adakite and TTG formation[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 165(6): 1195-1224.
- Qin H P, Wu C L, Wu X P, Lei M and Hou Z H. 2012a. LA-ICP-MS Zircon U-Pb ages and implications for tectonic setting of the Mangling granitoid plutons in Qinling Orogen Belt[J]. *Geological Review*, 58(4): 783-793(in Chinese with English abstract).
- Qin H P, Wu C L, Wu X P, Lei M and Hou Z H. 2012b. Zircon Lu-Hf isotopic compositions and petrogenesis of strontium-rich granite from Mangling, Qinling Orogen Belt[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 42(1): 254-267(in Chinese with English abstract).
- Qin Z, Dai X L, Ying Y G and Zhang C Z. 2013. On the favorable factors of expanding exploration in the Qiushuwan copper-molybdenum ore deposit of the East Qinling Orogenic Belt[J]. *Geology and Exploration*, 49(2): 205-216(in Chinese with English abstract).
- Rapp R P, Watson E B and Miller C F. 1991. Partial melting of amphibolite/eclogite and the origin of Archean trondhjemites and tonalities[J]. *Precambrian Resources*, 51: 1-25.
- Rapp R P, Shimizu N, Norman M D and Applegate G S. 1999. Reaction between slab-derived melts and peridotite in the mantle wedge: Experimental constraints at 3.8 Ga[J]. *Chemical Geology*, 160(4): 335-356.
- Reagan M K and Gill J B. 1989. Coexisting calcalkaline and high-niobium basalts from Turrialba volcano, Costa Rica: Implications for residual titanates in arc magma sources[J]. *Journal of Geophysical Research*, 94(B4): 4619-4633.
- Regional Geological Survey Team of Shaanxi Geological Bureau. 1978. Regional geological survey report of Sanyaojie district[R]. Internal Report(in Chinese).
- Ren J S. 1991. The basic characteristics of the tectonic evolution of the continental lithosphere in China[J]. *Regional Geology of China*, 11(4): 289-293(in Chinese with English abstract).
- Ren J S, Wang Z X, Chen B W, Jiang C F, Niu B G, Li J Y, Xie G L, He Z J and Liu Z G. 1999. The tectonics of China from a global view: A guide to the tectonic map of China and adjacent regions[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Rollinson H. R. 1993. Using geochemical data: Evolution, presentation, interpretation[M]. Longman Scientific and Technical Press. 306-308.
- Rui Z Y, Zhang L S, Chen Z Y, Wang L S, Liu Y L and Wang Y T. 2004. Approach on source rock or source region of porphyry copper deposits[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 20(2): 229-238(in Chinese).

- sewithEnglish abstrac).
- Shi Q Z, Yu X D, Li M L and Pang J Q. 2004. Nappestructure and detachment tectonics on the north edge of east Qinling in Henan Province[M]. Beijing: Geological Publishing House. 195-198(in Chinese).
- Shu L S and Zhou X M. 2002. Late Mesozoic tectonism of southeast China[J]. Geological Review, 48(3): 249-260(in Chinese with English abstract).
- Smithies R H. 2000. The Archaean tonalite-trondhjemite-granodiorite (TTG) series is not an analogue of Cenozoic adakite[J]. Earth Planet Science Letter, 182: 115-125.
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: Implication for mantle composition and processes[A]. In: Saunders A D, Norry M J, eds. Magmatism in Oceanic Basins[C]. Spec. Publ. Geol. Soc. Lond, 42: 313-345.
- Sun T and Zhou X M. 2002. Late Mesozoic extension in southeast China: Petrologic symbols[J]. Journal of Nanjing University(Natural Sciences), 38: 737-746(in Chinese with English abstract).
- Tan J, Wei J H, Tan W J and Guo D Z. 2006. Statistic study of diagenesis-mineralization time gap for comagmatic gold deposits[J]. Geological Review, 52(1): 54-62 (in Chinese with English abstract).
- Thieblemont D, Stem G and Lescuyer J L. 1997. Epithermal and porphyry deposits: The adakit connection[J]. Earth & Planetary Sciences, 325(2): 103-10.
- Tischendorf G and Paelchen W. 1985. The continental crust: Its composition and evolution[M]. Blackwell: Oxford Preess. 1-312.
- Wang Q, Zhao Z H, Xiong X L and Xu J F. 2001. Melting of the underplated basaltic lower crust: Evidence from the Shaxi adakitic sodic quartz diorite-porphyrtes, Anhui Province, China[J]. Geochimica, 30(4): 353-362(in Chinese with English abstract).
- Wang Q, Zhao Z H, Xu J F, Li X H, Xiong X L, Bao Z W and Liu Y M. 2002. Petrology and metallogenesis of the Yanshan adakite-like rocks in the eastern Yangtze Block[J]. Science in China, Series D, 32(Supp): 127-136(in Chinese with English abstract).
- Wang Q, Xu J F and Zhao Z H. 2003. Intermediate-acid igneous rocks strongly depleted in heavy rare earth element(or adakitic rocks) and copper-gold metallogenesis[J]. Earth Science Frontiers, 10(4): 561-572(in Chinese with English abstract).
- Wang Q, Zhao Z H, Xu J F, Bai Z H, Wang J X and Liu C X. 2004. The geochemical comparison between the Tongshankou and Yinzu adakitic intrusive rocks in southeastern Hubei: (delaminated) lower crustal melting and the genesis of porphyry copper deposit[J]. Acta Petrologica Sinica, 20(2): 351-360 (in Chinese with English abstract).
- Wang Q, Xu J F and Jian P. 2006. Petrogenesis of adakitic porphyries in an extensional tectonic setting, Dexing, South China: Implications for the genesis of porphyry copper mineralization[J]. Journal of Petrology, 47(1): 119-144.
- Wang T H, Mao J W and Xie G Q. 2008. Zircon SHRIMP U-Pb dating and its geological significance of dikes in Shangcheng area, Henan Province, Central China[J]. Bulletin of Mineralogy and Geochemistry, 27(4): 369-377(in Chinese with English abstract).
- Wang X X, Wang T, Qi Q J and Li S. 2011. Temporal-spatial variations origin and their tectonic significance of the Late Mesozoic granite in the Qinling, Central China[J]. Acta Petrologica Sinica, 27(6): 1573-1593 (in Chinese with English abstract).
- Wang X X, Wang T and Zhang C L. 2015. Granitoid magmatism in the Qinling orogen, central China and its bearing on orogenic evolution[J]. Science China: Earth Sciences, 58: 1497-1512(in Chinese with English abstract).
- Wang Y T, Ye H S, Ye A W, Shuai Y, Li Y G and Zhang C Q. 2010. Zircon SHRIMP U-Pb ages and their significances of the Wenyu and Niangniangshan granitic plutons in the Xiaoqinling area, central China[J]. Chinese Journal of Geology, 45(1): 167-180(in Chinese with English abstract).
- Wolf M B and Wyllie P J. 1994. Dehydration-melting of amphibolite at 10 kbar: The effects of temperature and time[J]. Contrib. Mineral. Petrol., 115: 369-383.
- Xiang J F, Zhao H J, Li Y F, Cheng Y B, Gao Y L, Hou K J, Dong C Y and Li X Q. 2010. SHRIMP zircon U-Pb ages and Hf isotopic compositions of Zhangshiyang intrusive complex in the southern margin of the North China Craton and their geological implications[J]. Acta Petrologica Sinica, 26(3): 871-887(in Chinese with English abstract).
- Xiao L, Robert P R and Xu J F. 2004. The role of deep processes controls on variation of compositions of adakitic rocks[J]. Acta Petrologica Sinica, 20(2): 219-228(in Chinese with English abstract).
- Xiong X L, Adam J and Green T H. 2005. Rutile stability and rutile/melt HFSE partitioning during partial melting of hydrous basalt: Implications for TTG genesis[J]. Chemical Geology, 218(3-4): 339-359.
- Xu J F, Shinjo R, Defant M J, Wang Q and Rapp R P. 2002. Origin of Mesozoic adakitic intrusive rocks in the Ningzhen area of East China: Partial melting of delaminated lower continental crust[J]. Geology, 30(12): 1111-1114.
- Xu W L, Wang Q H and Wang D Y. 2006. Mesozoic adakitic rocks from the Xuzhou-Suzhou area, eastern China: Evidence for partial melting of delaminated lower continental crust[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 27: 230-240.
- Yan C H. 2004. Study on inner structure of lead-zinc-silver mineralization system in eastern Qinling[M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-96.
- Yan Z, Xu Z C and Zhang H J. 1985. Granite from Shaanxi Province[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press. 1-321(in Chinese).
- Yang Y, Wang X X, Ke C H and Li J B. 2012. Zircon U-Pb age, geochemistry and Hf isotopic compositions of Shibaogou granitoid pluton in the Nannihu ore district, western Henan Province[J]. Geology in China, 39(6): 1525-1542(in Chinese with English abstract).
- Yang Y, Wang X X, Ke C H, Li J B, Lü X Q and Meng X Y. 2014. Zircon U-Pb ages, geochemistry and evolution of Mangling pluton in North Qinling Mountains[J]. Mineral Deposits, 33(1): 14-36(in Chinese with English abstract).
- Ye H S. 2006. The Mesozoic tectonic evolution and Pb-Zn-Ag metallogeny in the South Margin of North China Craton[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Science(in Chinese with English abstract).
- Ye H S, Mao J W, Li Y F, Guo B J, Zhang C Q, Liu W J, Yan Q R and

- Liu G Y. 2006. SHRIMP zircon U-Pb and molybdenite Re-Os dating for the superlarge Donggou porphyry Mo deposit in East Qinling China and its geological implication[J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(7): 1078-1088(in Chinese with English abstract).
- Ye H S, Mao J W, Xu L G, Gao J J, Xie G Q, Li X Q and He C F. 2008. SHRIMP zircon U-Pb dating and geochemistry of the Taishanmiaojiao aluminous A-type granite in western Henan Province[J]. *Geological Review*, 54(5): 699-711(in Chinese with English abstract).
- Yu H X, Chen J L, Xu J F, Wang B D, Wu J B and Liang H Y. 2011. Geochemistry and origin of Late Cretaceous(-90Ma) ore-bearing porphyry of Balazha in mid-northern Lhasa terrane, Tibet[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 27(7): 2011-2022(in Chinese with English abstract).
- Yuan H C, Zhang F, He M M, Li L and Hao Y J. 2007. Geological characteristics and metallogenic prospect of the Mahe molybdenum deposit in Luonan County, Shaanxi Province[J]. *Northwestern Geology*, 40(Suppl.): 79-87(in Chinese with English abstract).
- Yuan H L, Wu F Y, Gao S, Liu X M, Xu P and Sun D Y. 2003. Determination of U-Pb age and rare earth element concentrations of zircons from Cenozoic intrusions in northern China by laser ablation ICP-MS[J]. *Chinese Science Bulletin*, 48(14): 1511-1520(in Chinese with English abstract).
- Yuan X C and Hua J R. 2011. 3D lithospheric structure of South China[J]. *Geology in China*, 38(1): 1-19(in Chinese with English abstract).
- Zeng P S, Li W C, Wang H P and Li H. 2006. The Indosinian Pulang superlarge porphyry copper deposit in Yunnan China: Petrology and chronology[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(4): 989-1000(in Chinese with English abstract).
- Zhang C L, Luo J L, Li M and Wang Y. 2002. Geochemical characteristics and geological significance of Xiba granite, porphyry and porphyrite in East Qinling[J]. *Journal of Northwest University(Natural Science Edition)*, 32(4): 384-388(in Chinese with English abstract).
- Zhang F Q, Chen H L, Cao R C, Meng Q A, Zhu D F and Wang Z G. 2010. Discovery of Late Paleozoic adakite from the basement of the Hailaer Basin in NE China and its geological implication[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(2): 633-641(in Chinese with English abstract).
- Zhang G W, Meng Q R, Yu Z P, Sun Y, Zhou D W and Guo A L. 1996. Orogenesis and dynamics of the Qinling orogen[J]. *Science in China(Series D)*, 39(3): 225-234(in Chinese with English abstract).
- Zhang G W, Zhang B R, Yuan X C and Xiao Q H. 2001. Qinling orogen and geodynamics[M]. Beijing: Science Press(in Chinese with English abstract).
- Zhang G W, Guo A L, Dong Y P and Yao A P. 2011. Continental geology, tectonics and dynamics[J]. *Earth Science Frontiers*, 18(3): 1-12(in Chinese with English abstract).
- Zhang J, Chen Y J, Li G P, Li Z L and Wang Z G. 2004. Characteristics of ore geology and fluid in inclusion of the Yindonggou silver deposit, Neixiang County, Henan Province: Implication for metallogenic type[J]. *Journal of Mineralogy and Petrology(Kuangwu yanshi)*, 24(3): 55-64(in Chinese with English abstract).
- Zhang J, Yan G P, Ye L, Li G P, Li Z L and Wang Z G. 2005. The C-H-O isotope systematics of the Yindonggou Ag-dominated polymetallic deposit in the Neixiang County, Henan Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(5): 1359-1364(in Chinese with English abstract).
- Zhang J, Yang Y, Hu H Z, Wang Z G, Li G P and Li Z L. 2009. C-S-Pb isotope geochemistry of the Yindonggou orogenic-type silver deposit in Neixiang County, Henan Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(11): 2833-2842(in Chinese with English abstract).
- Zhang Q, Qian Q, Wang E-Q, Wang Y, Zhao T P, Hao J and Guo G J. 2001a. An East China plateau in Mid-Late Yanshanian period: Implication from adakites[J]. *Chinese Journal of geology*, 36(2): 248-255(in Chinese with English abstract).
- Zhang Q, Wang Y, Qian Q, Yang J H, Wang Y L, Zhao T P and Guo G J. 2001b. The characteristics and tectonic-metallogenic significance of the adakites in Yanshan Period from eastern China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 17(2): 236-244(in Chinese with English abstract).
- Zhang Q, Wang Y L and Wang Y. 2001c. Preliminary study on the components of the lower crust in East China Plateau during Yanshanian Period: Constraints on Sr and Nd isotopic compositions of adakite-like rocks[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 17(4): 505-513(in Chinese with English abstract).
- Zhang Q, Xu J F, Wang Y, Xiao L, Liu H T and Wang Y L. 2004. Diversity of adakite[J]. *Geological Bulletin of China*, 23(9): 959-965(in Chinese with English abstract).
- Zhang Z W and Deng J. 2001a. Geological setting of the Eastern Qinling molybdenum ore belt and the features of the Mo-associated intrusions[A]. In: Chen Y J, Zhang J and Lai Y, eds. *Continental geodynamics and metallogenesis[M]*. Beijing: Seismological Press. 100-109(in Chinese).
- Zhang Z W, Zhu B Q, Chang X Y, Qiang L Z and Wen M X. 2001b. Petrogenetic-metallogenetic background and time-space relationship of the East Qinling molybdenum ore belt, China[J]. *Geological Journal of China Universities*, 7(3): 307-315(in Chinese with English abstract).
- Zhang Z Q, Liu D Y and Fu G M. 1994. Study of isotope geochronology of metamorphic stratigraphy of North Qinling[M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-191(in Chinese).
- Zhang Z Q, Zhang G W, Liu D Y, Wang Z Q, Tang S H and Wang J H. 2006. Isotopic geochronology and geochemistry of ophiolite granites and glaucophane sedimentary rocks in Qinling Orogenic Belt[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese with English abstract).
- Zhao H J, Mao J W, Ye H S, Hou K J and Liang H S. 2010. Chronology and petrogenesis of Shijiwan granite porphyry in Shaanxi Province constrains from zircon U-Pb geochronology and Hf isotopic compositions[J]. *Mineral Deposits*, 29(1): 143-157(in Chinese with English abstract).
- Zhao H X, Jiang S Y, Frimmel H E, Dai B Z and Ma L. 2011. Geochemistry, geochronology and Sr-Nd-Hf isotopes of two Mesozoic granitoids in the Xiaoqinling gold district: Implication for large-scale lithospheric thinning in the North China Craton[J]. *Chemical Geology*, 294-295: 173-189.
- Zhao T P, Zhou M F, Zhao J H, Zhang K J and Chen W. 2008. Geochronology and geochemistry of the 80 Ma Rutog granitic pluton,

- northwestern Tibet: Implications for the tectonic evolution of the Lhasa Terrane[J]. *Geology*, 145(6): 845-875.
- Zhao Y, Yang Z Y and Ma X H. 1994. Geotectonic transition from Paleasian system and Paleotethyan system to Paleopacific active continental margin in eastern Asia[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 29(2): 105-119(in Chinese with English abstract).
- Zhao Y, Xu G, Zhang S H, Yang Z Y, Zhang Y Q and Hu J M. 2004. Yanshanian movement and conversion of tectonic regimes in East Asia[J]. *Earth Science Frontiers*, 11(3): 319-328(in Chinese with English abstract).
- Zhao Z H and Tu G Z. 2003. Superlarge-scale deposits in China (II) [M]. Beijing: Science Press. 523-542(in Chinese).
- Zhao Z H, Wang Q, Xiong X L, Zhang H X, Niu H C, Xu J F, Bai Z H and Qiao Y L. 2006. Two types of adakites in north Xinjiang, China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22: 1249-1265(in Chinese with English abstract).
- Zhou H S, Ma C Q, Zhang C, Chen L, Zhang J Y and She Z B. 2008. Yanshanian aluminous A-type granitoids in the Chunshui of Biyang, south margin of North China Craton: Implications from petrology, geochronology and geochemistry[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(1): 49-64(in Chinese with English abstract).
- Zhu L M, Zhang G W and Guo B. 2008. U-Pb LA-ICP-MS zircon dating for the Large Jinduicheng porphyry Mo deposit in the East Qinling China and its metallogenetic geodynamical setting[J]. *Acta Geologica Sinica*, 82(2): 204-220(in Chinese with English abstract).
- Zhu L M, Zhang G W, Li B, Guo B, Yao A P and Gong H J. 2009a. Some key metallogenetic events of Qinling orogenic belt and their deposit examples[J]. *Journal of Northwest University(Natural Science Edition)*, 39(3): 381-391(in Chinese with English abstract).
- Zhu L M, Zhang G W, Guo B and Li B. 2009b. He-Ar isotopic system of fluid inclusions in pyrite from the molybdenum deposits in south margin of North China Block and its trace to metallogenetic and geodynamic background[J]. *Chinese Science Bulletin*, 54(12): 1725-1735(in Chinese with English abstract).
- 邓晋福, 刘翠, 冯艳芳, 肖庆辉, 狄永军, 苏尚国, 赵国春, 段培新, 戴蒙. 2015. 关于火成岩常用图解的正确使用: 讨论与建议[J]. *地质论评*, (4): 717-734.
- 董树文, 张岳桥, 陈宣华, 龙长兴, 王涛, 杨振宇, 胡健民. 2008. 晚侏罗世东亚多向汇聚构造体系的形成与变形特征[J]. *地球学报*, 29(3): 306-317.
- 董树文, 李廷栋, 高锐, 吕庆田, 魏文博, 杨经绥, 王学求, 陈群策, 石耀霖, 黄大年, 陈宣华, 周琦. 2013. 我国深部探测技术与实验研究与国际同步[J]. *地球学报*, 34(1): 7-23.
- 杜保峰, 魏俊浩, 王启, 李艳军, 刘国春, 于海涛, 刘永利. 2010. 中国东部钨矿成矿背景与成岩-成矿时差讨论[J]. *矿床地质*, 29(6): 935-955.
- 付治国, 瓮纪昌, 燕长海, 高胜淮. 2010. 东秦岭冷水北沟铅锌银矿床同位素地球化学特征[J]. *物探与化探*, 34(1): 34-39.
- 高山, 张本仁, 金振民. 1999. 秦岭—大别造山带下地壳拆沉作用[J]. *中国科学(D辑)*, 29(6): 532-541.
- 高昕宇, 赵太平, 原振雷, 周艳艳, 高剑峰. 2010. 华北陆块南缘中生代合峪花岗岩的地球化学特征与成因[J]. *岩石学报*, 26(12): 3485-3506.
- 郭波. 2009. 东秦岭金堆城斑岩钼矿床地质地球化学特征与成矿动力学背景[D]. 硕士学位论文. 西安: 西北大学. 1-135.
- 郭波, 朱赖民, 李森, 弓虎军. 2009. 华北陆块南缘华山和合峪花岗岩体锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素组成与成岩动力学背景[J]. *岩石学报*, 25(2): 265-281.
- 韩以贵. 2007. 豫西地区构造、岩浆作用与金成矿的关系-同位素年代学的新证据[D]. 博士学位论文. 北京: 中国地质大学. 1-119.
- 何世平, 王洪亮, 陈隽璐, 徐学义, 张宏飞, 任光明, 余吉远. 2007. 北秦岭西段宽坪岩群斜长角闪岩锆石 LA-ICP-MS 测年及其地质意义[J]. *地质学报*, 81 (1): 79-87.
- 候增谦, 杨志明. 2009. 中国大陆环境斑岩型矿床: 基本地质特征、岩浆热液系统和成矿概念模型[J]. *地质学报*, 83(12): 1779-1817.
- 黄典豪, 聂凤军, 王义昌, 江秀杰. 1984. 东秦岭地区钨矿床钨同位素组成特征及成矿物质来源初探[J]. *矿床地质*, 3(4): 20-28.
- 焦建刚, 袁海潮, 刘瑞平, 李小东, 何克. 2010. 陕西华县八里坡钨矿床岩石地球化学特征及找矿意义[J]. *岩石学报*, 26(12): 3538-3548.
- 柯昌辉, 王晓霞, 李金宝, 齐秋菊. 2012a. 北秦岭马河钨矿区花岗岩类的锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其地质意义[J]. *岩石学报*, 28(1): 267-278.
- 柯昌辉, 王晓霞, 杨阳, 齐秋菊, 樊忠平, 高非, 王修缘. 2012b. 北秦岭南台钨多金属矿床成岩成矿年龄及锆石 Hf 同位素组成[J]. *中国地质*, 39(6): 1562-1576.
- 冷成彪, 张兴春, 陈衍景, 王守旭, 苟体忠, 陈伟. 2007. 中国斑岩铜矿与埃达克(质) 岩关系探讨[J]. *地学前缘*, 14: 199-210.
- 李德威. 2004. 青藏高原南部晚新生代板内造山与动力成矿[J]. *地学前缘*, 11(4): 361-369.
- 李厚民, 叶会寿, 毛景文, 王登红, 陈毓川, 屈文俊, 杜安道. 2007. 小秦岭金(钨)矿床辉钨矿铼-钨定年及其地质意义[J]. *矿床地质*, 26(4): 417-424.
- 李金宝, 王晓霞, 童英, 柯昌辉, 杨阳. 2013. 东秦岭中生代花岗岩体钨矿床分布的时空规律及其动力来源[J]. *地球科学与环境学报*, 35(4): 49-51.
- 李锦轶. 2001. 中朝地块与扬子地块碰撞的时限与方式—长江中下
- 包志伟, 曾乔松, 赵太平, 原振雷. 2009. 东秦岭钨矿带南泥湖-上房沟花岗斑岩成因及其对钨成矿的制约[J]. *岩石学报*, 25(10): 2523-2536.
- 陈衍景, 隋颖慧, Pirajno F. 2003. CMF 模式的排他性证据和造山型银矿的实例: 铁炉坪银矿同位素地球化学[J]. *岩石学报*, 19: 551-568.
- 陈衍景. 2006. 造山型矿床、成矿模式及找矿潜力[J]. *中国地质*, 33: 1181-1196.
- 陈岳龙, 杨忠芳, 张宏飞, 凌文黎. 1996. 北秦岭晚古生代—中生代花岗岩类的 Nd、Sr、Pb 同位素地球化学特征及 Nd、Sr 同位素演化[J]. *地球科学*, 21(5): 481-486.
- 陈岳龙. 1999. 东天山、北秦岭花岗岩类地球化学[M]. 北京: 地质出版社. 141 页.
- 戴宝章, 蒋少涌, 王孝磊. 2009. 河南东沟钨矿花岗斑岩成因: 岩石地球化学、锆石 U-Pb 年代学及 Sr-Nd-Hf 同位素制约[J]. *岩石学报*, 25(11): 2889-2901.

- 游地区震旦纪—侏罗纪沉积环境的演变[J]. 地质学报, 75 (1): 25-34.
- 李诺, 陈衍景, 张辉, 赵太平, 邓小华, 王运, 倪智勇. 2007. 东秦岭斑岩钼矿带的地质特征和成矿构造背景[J]. 地学前缘, 14(5): 186-198.
- 李荣社, 计文化, 何世平, 刘根, 张海迪. 2011. 中国西部古亚洲与特提斯两大构造域划分问题讨论[J]. 新疆地质, 29(3): 247-250.
- 李曙光, Hart S R, 郑双根. 1989. 中国华北、华南陆块碰撞时代的Sm-Nd同位素年龄证据[J]. 中国科学(B辑), 19 (3): 312-319.
- 李文达, 毛建仁, 朱云鹤, 谢华光. 1998. 中国东南部中生代火成岩与矿床[M]. 北京: 地震出版社. 1-156.
- 李献华, 李寄岷, 刘颖, 陈多福, 王一先, 赵振华. 1999. 华夏古陆古元古代变质火山岩的地球化学特征及其构造意义[J]. 岩石学报, 15(3): 364-371.
- 李印, 凌明星, 丁兴, 刘健, 韩峰, 孙卫东. 2009. 中国东部埃达克岩及成矿作用[J]. 大地构造与成矿学, 33(3): 448-464.
- 李永峰, 毛景文, 白凤军, 李俊平, 和志军. 2003. 东秦岭南泥湖钼(钨)矿田 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. 地质论评, 49(6): 652-659.
- 李永峰, 王春秋, 白凤军, 宋艳玲. 2004. 东秦岭钼矿 Re-Os 同位素年龄及其成矿动力学背景[J]. 矿产与地质, 18(6): 571-578.
- 李永峰. 2005. 豫西熊耳山地区中生代花岗岩类时空演化与钼(金)成矿作用[D]. 博士学位论文. 北京: 中国地质大学.
- 李永峰, 毛景文, 胡华斌, 郭保健, 白凤军. 2005. 东秦岭钼矿类型特征成矿时代及其地球动力学背景[J]. 矿床地质, 24(3): 292-304.
- 李永峰, 毛景文, 刘敦一, 王彦斌, 王志良, 王义天, 李晓峰, 张作衡, 郭保健. 2006. 豫西雷门沟斑岩钼矿 SHRIMP 锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 测年及其地质意义[J]. 地质论评, 52(1): 122-131.
- 刘洪涛, 张旗, 刘建明, 叶杰, 曾庆栋, 于昌明. 2004. 埃达克岩与斑岩铜矿—浅成热液金矿: 有待深入研究的岩浆成矿关系[J]. 岩石学报, 20(2): 205-218.
- 刘建峰, 迟效国, 赵芝, 胡兆除, 陈军强. 2013. 内蒙古巴林右旗建设屯埃达克岩锆石 U-Pb 年龄及成因讨论[J]. 岩石学报, 29(3): 827-839.
- 卢欣祥. 2000. 秦岭花岗岩大地构造图(附说明书)[M]. 西安: 地图出版社. 33 页.
- 卢欣祥, 于在平, 冯有利, 王义天, 马维峰, 崔海峰. 2002. 东秦岭深源浅成型花岗岩的成矿作用及地质构造背景[J]. 矿床地质, 21(2): 169-178.
- 罗安云, 李六权, 韩云. 2016. 蟒岭南部黄家沟—上铺子地区铅锌银金找矿远景和找矿工作建议[J]. 陕西地质, 34(1): 1-6.
- 吕文德, 赵春和, 孙卫志, 燕建设. 2006. 豫西南泥湾多金属矿田铅锌矿地质特征与成因研究[J]. 矿产与地质, 20(3): 219-226.
- 毛建仁, 许乃政, 胡青, 邢光福, 杨祝良. 2004. 福建省上杭—大田地区中生代成岩成矿作用与构造环境演化[J]. 岩石学报, 20: 285-296.
- 毛景文, 李晓峰, 李厚民, 曲晓明, 张长青, 薛春纪, 王志良, 余金杰, 张作衡, 丰成友, 王瑞廷. 2005a. 中国造山带内生金属矿床类型、特点和成矿过程探讨[J]. 地质学报, 79(3): 342-372.
- 毛景文, 谢桂青, 张作衡, 李晓峰, 王义天, 张长青, 李永峰. 2005b. 中国北方中生代大规模成矿作用的其次及其地球动力学背景[J]. 岩石学报, 21(1): 169-188.
- 毛景文, 叶会寿, 王瑞廷, 代军治, 简伟, 向君峰, 孟芳. 2009. 东秦岭中生代钼铅锌银多金属矿床模型及其找矿评价[J]. 地质通报, 28(1): 72-79.
- 祁进平, 赖勇, 任康绪, 唐国军. 2006. 小秦岭金矿田成因的锆同位素约束[J]. 岩石学报, 22(10): 2543-2550.
- 祁进平, 陈衍景, 倪培, 赖勇, 丁俊英, 宋要武, 唐国军. 2007. 河南冷水北沟铅锌银矿床流体包裹体研究及矿产成因[J]. 岩石学报, 23(9): 2119-2130.
- 齐秋菊, 王晓霞, 柯昌辉, 李金宝. 2012. 华北地块南缘老牛山杂岩体时代、成因及地质意义——锆石年龄、Hf 同位素和地球化学新证据[J]. 岩石学报, 28(1): 279-301.
- 秦海鹏, 吴才来, 武秀萍, 雷敏, 侯振辉. 2012a. 秦岭造山带蟒岭花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质评论, 58 (4): 783-793.
- 秦海鹏, 吴才来, 武秀萍, 雷敏, 侯振辉. 2012b. 秦岭蟒岭高 Sr 花岗岩的锆石 Lu-Hf 同位素特征及其成因[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 42 (增刊 1): 254-266.
- 秦臻, 戴雪灵, 英亚歌, 张传忠. 2013. 论东秦岭秋树湾铜钼矿区扩大找矿的有利因素[J]. 地质与勘探, 49(2), 205-216.
- 任纪舜. 1991. 论中国大陆岩石圈构造的基本特征[J]. 中国区域地质, 11(4): 289-293.
- 任纪舜, 王作勋, 陈炳蔚, 姜春发, 牛宝贵, 李锦轶, 谢广连, 和政军, 刘志刚. 1999. 从全球看中国大地构造—中国及邻区大地构造图简要说明[M]. 北京: 地质出版社.
- 芮宗瑶, 张立生, 陈振宇, 王龙生, 刘玉琳, 王义天. 2004. 斑岩铜矿的源岩或源区探讨[J]. 岩石学报, 20(2): 229-238.
- 石铨曾, 尉向东, 李明立, 庞继群. 2004. 河南省东秦岭山脉北缘的推覆构造及伸展剥离构造[M]. 北京: 地质出版社. 1-204.
- 陕西省地质局区域地质调查队. 1978. 三要街幅 1: 50000 区域地质调查报告[R]. 内部报告.
- 舒良树, 周新民. 2002. 中国东南部晚中生代构造格架[J]. 地质论评, 48(3): 249-260.
- 孙涛, 周新民. 2002. 中国东南部晚中生代伸展应力体制的岩石标志[J]. 南京大学(自然科学版), 38: 737-746.
- 谭俊, 魏俊浩, 谭文娟, 郭大招. 2006. 同源岩浆成因金矿成岩成矿时差的统计研究[J]. 地质论评, 52(1): 54-62.
- 王强, 赵振华, 熊小林, 许继峰. 2001. 底侵玄武质下地壳的熔融: 来自安徽沙溪 adakite 质富钠石英闪长玢岩的证据[J]. 地球化学, 30(4): 353-362.
- 王强, 赵振华, 许继峰, 李献华, 熊小林, 包志伟, 刘义茂. 2002. 扬子地块东部燕山期埃达克质(adakite-like)岩与成矿[J]. 中国科学 D 辑, 32(S1): 127-136.
- 王强, 许继峰, 赵振华. 2003. 强烈亏损重稀土元素的中酸性火成岩(或埃达克质岩)与 Cu、Au 成矿作用[J]. 地学前缘, 10(4): 561-572.
- 王强, 赵振华, 许继峰, 白正华, 王建新, 刘成新. 2004. 鄂东南铜山口—殷祖埃达克质(adakitic)侵入岩的地球化学特征对比: (拆沉)下地壳熔融与斑岩铜矿的成因[J]. 岩石学报, 20(2): 351-360.
- 王团华, 毛景文, 谢桂青. 2008. 河南商城地区岩墙的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 27(4): 369-377.
- 王晓霞, 王涛, 齐秋菊, 李舫. 2011. 秦岭晚中生代花岗岩时空分布、成因演变及构造意义[J]. 岩石学报, 27(6): 1573-1593.
- 王晓霞, 王涛, 张成立. 2015. 秦岭造山带花岗岩质岩浆作用与造山带演化[J]. 中国科学: 地球科学, 45(8): 1109-1125.
- 王义天, 叶会寿, 叶安旺, 帅云, 李永革, 张长青. 2010. 小秦岭文峪和

- 娘娘山花岗岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其意义[J]. 地质科学, 45(1): 167-180.
- 向君峰, 赵海杰, 李永峰, 程彦博, 高亚龙, 侯可军, 董春艳, 李向前. 2010. 华北地台南缘张士英岩体的锆石 SHRIMP U-Pb 测年、Hf 同位素组成及其地质意义[J]. 岩石学报, 26(3): 871-887.
- 肖龙, Robert P RAPP, 许继峰. 2004. 深部过程对埃达克质岩石成分的制约[J]. 岩石学报, 20(2): 219-228.
- 燕长海. 2004. 小秦岭—熊耳山铅锌银成矿系统内部结构[M]. 北京: 地质出版社. 1-96.
- 严阵, 许志成, 张海军. 1985. 陕西省花岗岩[M]. 西安: 西安交通大学出版社. 1-321.
- 杨阳, 王晓霞, 柯昌辉, 李金宝. 2012. 豫西南泥湖矿集区宝石沟花岗岩体的锆石 U-Pb 年龄、岩石地球化学及 Hf 同位素组成[J]. 中国地质, 39(6): 1525-1542.
- 杨阳, 王晓霞, 柯昌辉, 李金宝, 吕星球, 孟旭阳. 2014. 北秦岭蟒岭岩体的锆石 U-Pb 年龄、地球化学及其演化[J]. 矿床地质, 33(1): 14-36.
- 叶会寿. 2006. 华北陆块南缘中生代构造演化与铅锌银成矿作用[D]. 中国地质科学院博士学位论文.
- 叶会寿, 毛景文, 李永峰, 郭保健, 张长青, 刘王君, 闫全人, 刘国印. 2006. 东秦岭东沟超大型斑岩钼矿 SHRIMP 锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 80(7): 1078-1088.
- 叶会寿, 毛景文, 徐林刚, 高建京, 谢桂清, 李向前, 何春芬. 2008. 豫西太山庙铝质 A 型花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地球化学特征[J]. 地质评论, 54(5): 699-711.
- 余红霞, 陈建林, 许继峰, 王保弟, 郭建斌, 梁华英. 2011. 拉萨地块中北部晚白垩世(约 90Ma)拔拉扎含矿斑岩地球化学特征及其成因[J]. 岩石学报, 27(7): 2011-2022.
- 袁海潮, 张锋, 何忙忙, 李莉, 郝玉娟. 2007. 陕西南马河钼矿地质特征及成矿远景分析[J]. 西北地质, 40(增刊): 79-87.
- 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[J]. 科学通报, 48(14): 1511-1520.
- 袁学诚, 华九如. 2011. 华南岩石圈三维结构[J]. 中国地质, 38(1): 1-19.
- 曾普胜, 李文昌, 王海平, 李红. 2006. 云南普朗印支期超大型斑岩铜矿床: 岩石学及年代学特征[J]. 岩石学报, 22(4): 989-1000.
- 张成立, 罗静兰, 李森, 王煜. 2002. 东秦岭西坝花岗岩体及其脉岩的地球化学特征[J]. 西北大学学报(自然科学版), 32(4): 384-388.
- 章凤奇, 陈汉林, 曹瑞成, 蒙启安, 朱德丰, 王志国. 2010. 海拉尔盆地基底晚古生代 adakite 的发现及其地质意义[J]. 岩石学报, 26(2): 633-641.
- 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[J]. 中国科学(D 辑), 26(03): 193-207.
- 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 肖庆辉. 2001. 秦岭造山带与大陆动力学[M]. 北京: 科学出版社.
- 张国伟, 郭安林, 董云鹏, 姚安平. 2011. 大陆地质与大陆构造和大陆动力学[J]. 地学前缘, 18(3): 1-12.
- 张静, 陈衍景, 李国平, 李忠烈, 王志光. 2004. 河南内乡县银洞沟银矿地质和流体包裹体特征及成因类型[J]. 矿物岩石, 24(3): 55-64.
- 张静, 燕光谱, 叶霖, 李国平, 李忠烈, 王志光. 2005. 河南内乡县银洞沟银多金属矿床碳-氢-氧同位素地球化学[J]. 岩石学报, 21(5): 1359-1364.
- 张静, 杨艳, 胡海珠, 王志光, 李国平, 李忠烈. 2009. 河南内乡县银洞沟造山型银矿床硫碳铅同位素地球化学[J]. 岩石学报, 25(11): 2833-2842.
- 张旗, 钱青, 王二七, 王焰, 赵太平, 郝杰, 郭光军. 2001a. 燕山中晚期的中国东部高原: 埃达克岩的启示[J]. 地质科学, 36(2): 248-255.
- 张旗, 王焰, 钱青, 杨进辉, 王元龙, 赵太平, 郭光军. 2001b. 中国东部中生代埃达克岩特征及其构造-成矿意义[J]. 岩石学报, 17(2): 236-244.
- 张旗, 王元龙, 王焰. 2001c. 燕山期中国东部高原下地壳组成初探: 埃达克质岩 Sr、Nd 同位素制约[J]. 岩石学报, 17(4): 505-513.
- 张旗, 许继峰, 王焰, 肖龙, 刘红涛, 王元龙. 2004. 埃达克岩的多样性[J]. 地质通报, 23(9): 959-965.
- 张正伟, 邓军. 2001a. 东秦岭钼矿带成矿背景与含矿岩体特征[A]. 见: 陈衍景, 张静, 赖勇, 编. 大陆动力学与成矿作用[M]. 北京: 地震出版社. 100-109.
- 张正伟, 朱炳泉, 常向阳, 强立志, 温明星. 2001b. 东秦岭钼矿带成矿背景及时空统一性[J]. 高校地质学报, 7(3): 307-315.
- 张宗清, 刘敦一, 付国民. 1994. 北秦岭变质地层同位素年代研究[M]. 北京: 地质出版社. 191 页.
- 张宗清, 张国伟, 刘敦一, 王宗起, 唐索寒, 王进辉. 2006. 秦岭造山带蛇绿岩花岗岩和碎屑沉积岩同位素年代和地球化学[M]. 北京: 地质出版社.
- 赵海杰, 毛景文, 叶会寿, 侯可军, 梁慧山. 2010. 陕西洛南县石家湾钼矿相关花岗斑岩的年代学及岩石成因: 锆石 U-Pb 年龄及 Hf 同位素制约[J]. 矿床地质, 29(1): 143-157.
- 赵越, 杨振宇, 马醒华. 1994. 东亚大地构造发展的重要转折[J]. 地质科学, 29(2): 105-119.
- 赵越, 徐刚, 张拴宏, 杨振宇, 张岳桥, 胡健民. 2004. 燕山运动与东亚构造体制的转变[J]. 地学前缘, 11(3): 319-328.
- 赵振华, 涂光炽. 2003. 中国超大型矿床(II) [M]. 北京: 科学出版社. 523-542.
- 赵振华, 王强, 熊小林, 张海洋, 牛贺才, 许继峰, 白正华, 乔玉楼. 2006. 新疆北部的两类埃达克岩[J]. 岩石学报, 22(5): 1249-1265.
- 周红升, 马昌前, 张超, 陈玲, 张金阳, 余振兵. 2008. 华北克拉通南缘泌阳春水燕山期铝质 A 型花岗岩类年代学地球化学及其启示[J]. 岩石学报, 24(1): 49-64.
- 朱赖民, 张国伟, 郭波. 2008. 东秦岭金堆城大型斑岩钼矿床 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及成矿动力学背景[J]. 地质学报, 82(2): 204-220.
- 朱赖民, 张国伟, 李森, 郭波, 姚安平, 弓虎军. 2009a. 与秦岭造山带有关的几个关键成矿事件及其矿床实例[J]. 西北大学学报, 39(3): 381-391.
- 朱赖民, 张国伟, 郭波, 李森. 2009b. 华北地块南缘钼矿床黄铁矿流体包裹体氦、氩同位素体系及其对成矿动力学背景的示踪[J]. 科学通报, 54(12): 1725-1735.