文章编号:0258-7106(2014)01-0014-23

北秦岭蟒岭岩体的锆石 U-Pb 年龄、地球化学 及其演化^{*}

杨 阳¹,王晓霞^{2 * *} 柯昌辉²,李金宝³,吕星球¹,孟旭阳¹,聂政融¹

(1 中国地质大学地球科学与资源学院,北京 100083;2 中国地质科学院矿产资源研究所 国土资源部 成矿作用与资源评价重点实验室,北京 100037;3 长安大学地球科学与资源学院,陕西 西安 710054)

摘要 蟒岭岩体位于北秦岭构造带北部 岩石类型主要为似斑状黑云母二长花岗岩、中粗粒黑云母二长花岗 岩、中细粒二长花岗岩、含辉石黑云角闪闪长岩和黑云母钾长花岗岩。依据 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 定年结果,结合前 人测试的年龄,将蟒岭岩体的岩浆演化划分为晚侏罗世早期、晚侏罗世晚期—早白垩世早期和早白垩世中期 3 期。 第一期为含辉石黑云角闪闪长岩,其 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄为(157±1) Ma,该期岩石 SiO₂ 质量分数较低,富 碱,属于准铝质,钾玄岩-高钾钙碱性系列;第二期二长花岗岩,侵位年龄为(148±1) Ma~(144±1) Ma 具有高硅、富 碱的特征,属于准铝质-弱过铝质,钾玄岩-高钾钙碱性 I-A 过渡型花岗岩;第三期黑云母钾长花岗岩,侵位年龄为 (124±2) Ma 具高硅、富碱、低镁、铝饱和指数偏高的特征,属过铝质,高钾钙碱性 I-A 过渡型花岗岩。组成蟒岭岩体 的花岗岩从早到晚,SiO₂ 质量分数逐渐升高,而 Al₂O₃、TiO₂、MgO、CaO、P₂O₅、TFe₂O₃ 质量分数逐渐降低,稀土元素 总量具有由高到低的变化趋势,第一期和第二期岩石的稀土元素配分曲线为轻稀土元素相对富集的右倾型,而第三 期的稀土元素配分曲线呈两边高中间低的不对称弧形,整体上负销异常不明显或呈微弱正铕异常,微量元素上,这 3 期岩石均富集 K、Rb、Ba、Sr等大离子亲石元素,而相对亏损 P、Nb、Ta、Ti 等高场强元素。与区域上同时代成矿花岗 岩体对比,两者均具有高硅、富碱的特征,稀土元素球粒陨石标准化曲线呈轻稀土元素富集的右倾斜型,但蟒岭岩体 中二长花岗岩没有明显的 Eu 异常,且 Ba、P、Ti 亏损及 Ta、Nb 富集没有含矿花岗岩明显。

关键词 地球化学, 锆石 U-Pb 年龄; 花岗岩 蟒岭岩体; 北秦岭

中图分类号:P597+.3

文献标志码 :A

Zircon U-Pb ages, geochemistry and evolution of Mangling pluton in North Qinling Mountains

YANG Yang¹, WANG XiaoXia², KE ChangHui², LI JinBao³, LÜ XingQiu¹, MENG XuYang¹ and NIE ZhengRong¹

(1 School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2 MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Minera Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 3 School of Geoscience and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract

Located in the North Qinling belt, the Mangling pluton consists of porphyritic biotite monzogranites, midcoarse-grained biotite monzogranites, mid-fine-grained monzogranites, pyroxene-bearing biotite-hornblende diorites and biotite K-feldspar granites. The results of LA-ICPMS zircon U-Pb dating, combined with previous

收稿日期 2013-12-27;改回日期 2014-01-03。秦思婷编辑。

^{*} 本文得到地质调查项目(编号 1212010012012、1212010811033 和 12120113090200)的资助

第一作者简介 杨 阳, 女, 1988年生, 硕士生, 矿物学、岩石学、矿床学专业。 Email: yangm0926@163. com

^{**}通讯作者 王晓霞,女,1960年生,博士,研究员,矿物学、岩石学、矿床学专业。Email:xiaoxiawang@hotmail.com

researches, suggest that the Mangling pluton can be divided into three stages, i.e., Early Jurassic, Late Jurassic-Early Cretaceous and Middle Cretaceous. The first stage pyroxene-bearing biotite hornblende diorites yielded a zircon U-Pb age of (157 ± 1) Ma, and they are characterized by low silica and high alkali, suggesting metaluminous and shoshonitic to high K cal-alkaline series. The second monzogranites with ages from (148 ± 1) Ma to (144 ± 1) Ma are rich in silica and alkali, being metaluminous to weak peraluminous and shoshonitic to high K cal-alkaline series with I-A type transitional features. The last stage biotite K-feldspar granites gave an age of (124 ± 2) Ma, and are rich in silica, alkali and poor in magnesium with high aluminum saturation index, indicating that they are peraluminous and high K cal-alkaline series and I-A transitional type granites. From Late Jurassic to Early Cretaceous, the SiO₂ content of these granitoids increased, but Al₂O₃, TiO₂, MgO, CaO, P2O5 and TFe2O3 decreased. The total REE content of granitoids is characterized by the variation from high value to low value, the granites of the first two stages are characterized by enrichment of LREE, but the REE patterns of the biotite K-feldspar granite assume the shape of asymmetric arc. All the granitoids have slightly negative to positive anomalies of Eu. The Mangling granites are enriched in large ion lithophile elements (K, Rb, Ba, Sr), and depleted in high-field strength elements (P, Nb, Ta, Ti). A comparison with the ore-bearing granites in the same area shows that both of them are rich in silicon and alkali as well as LREE; nevertheless, the monzogranites of Mangling pluton have no obvious anomalies of Eu, and their depletion of Ba, P, Ti and enrichment of Ta, Nb are not so obvious as the ore-bearing granites.

Key words: geochemistry, zircon U-Pb age, granite, Mangling pluton, North Qinling Mountains

秦岭造山带是由华北板块与扬子板块及夹持于 两者之间的秦岭微陆块碰撞造山所形成的,它由二 带(商丹和勉略缝合带)三块体(华北陆块南缘及北 秦岭、秦岭微地块、扬子地块北缘)组成(张国伟等,0 2001 Meng et al. ,2000)。秦岭造山带至少经历了 新元古代、古生代和中生代构造岩浆热事件和造山 作用(卢欣祥,2000;王晓霞等,2011;Wang et al., 2013) 晚中生代构造岩浆事件在东秦岭地区非常发 育 形成了大量的花岗岩(安三元等 ,1984 ;卢欣祥 , 1991 2000 ;Mao et al. 2010)。这些岩体主要以2种 产状产出 :一类为大的岩基 ,主要分布在华北陆块南 缘和北秦岭地区,如老牛山、合峪、老君山、牧护关、 蟒岭等 ;另一类为小的斑岩体 ,该类花岗岩出露面积 较小(单个岩体多小于1 km²),分布广泛,如金堆城、 木龙沟、南泥湖等。前人对该区域中生代花岗岩类 进行了大量的研究(严阵等 ,1985 ;尚瑞钧等 ,1988 ; 李先梓等 ,1993 陈岳龙等 ,1996 ;陈岳龙 ,1999 ;洪大 卫等,2003;张宗清等,2006;李厚民等,2008;郭波 等 2009 ;Mao et al. ,2010 ;向君峰等 ,2010 ;王晓霞 等 2011 济秋菊等 2012 ;Wang et al. 2013 ;孟旭阳 等 2013),特别是对与钼矿有关的花岗岩(刘长命 等,1989;聂凤军等,1989;罗铭玖等,1993;马昌前 等 2003 ;焦建刚等 ,2010 ;赵海杰等 ,2010 ;柯昌辉 等 2012a),相对而言,对大岩体的研究较薄弱。近

年来 随着东沟、合峪、老君山等大岩基中钼矿的发 现 叶会寿等,2006;周珂等,2009;郭波等,2009;王 卫星等,2010;孟芳,2010;孟芳等,2012),大岩体也 开始引起人们的关注。

蟒岭岩体位于北秦岭构造带黑沟-栾川断裂和 乔端-瓦穴子断裂之间 ,其西侧发育与钼矿有关的小 斑岩体,前人已对这些小岩体进行了研究(袁海潮 等 2007 ;柯昌辉等 ,2012a ,2012b) ,对大岩体也进行 了一些工作(严阵等,1985;张宗清等,2006;王晓霞 等 ,2011 ;秦海鹏等 ,2012a ;2012b) ,但相对较薄弱。 现有的资料显示,蟒岭岩体的形成时代跨度较大 (188~124 Ma,严阵等,1985;涨宗清等,2006;王晓 霞等 2011 ;秦海鹏等 ,2012a) ,就单个岩性而言 ,如 二长花岗岩类,其年龄范围也较宽泛(160~139 Ma)。可见该岩体的形成时代还需进一步系统地厘 定。另外,该岩体的岩石地球化学特征与已发现钼 矿的大岩体是否相似 ,以及该岩体与西侧小岩体在 形成时代和地球化学上有无关系,都是人们关注的 问题。为此,本文利用 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 定年 和元素地球化学分析 结合前人资料 系统总结了蟒 岭岩体的成岩时代和地球化学特征,探讨了岩石成 因和岩浆演化。同时,与区域上成矿花岗岩(如西沟 岩体、桃官坪岩体等)进行对比 ,为系统总结北秦岭构 造带的岩浆演化以及可能的成矿潜力提供新的依据。





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

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

1 区域地质背景

北秦岭构造带指商丹断裂带与黑沟-栾川断裂带之间的秦岭北部区域(图1),为东西延伸千余千米的狭长地带,南北最宽约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)。

本区出露地层自古到新依次为:古元古界秦岭 群深变质杂岩,变质程度主要为角闪岩相,局部可达 麻粒岩相(游振东等,1991;刘国惠等,1993);中元古 界一古生界二郎坪群沉积-火山岩系(张宗清等, 1994;王学仁等,1995;陆松年等,2003;赵姣等, 2012);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);古生界丹凤蛇绿岩系和丹凤群沉积-火山 岩系,变质程度为绿片岩相至低角闪岩相(陈岳龙, 1999)。各地层之间多以断层关系相接触(张国伟 等,2001)。

北秦岭构造带岩浆活动发育,主要有新元古代 的二郎坪群火山岩以及古生代以后的侵入岩。大规 模岩浆侵入活动集中在古生代和中生代,以酸性岩 为主,往往形成岩基或岩体,在区域上大致呈东西向 带状分布(河南省地质矿产局,1989;李先梓等, 1993)。古生代花岗岩以狮子坪、灰池子、漂池、四棵 树等花岗岩体为代表,主要以岩基产出,岩性有黑云 母二长花岗岩、花岗闪长岩、英云闪长岩、石英闪长 岩等。中生代的岩浆活动以酸性岩为主,出露有牧 护关、蟒岭、老君山等花岗岩基,以及桃官坪、西沟、 南台、楸树湾等小的斑岩体。

2 岩体地质及岩相学

2.1 岩体地质

蟒岭岩体位于陕西省洛南县、丹凤县与河南省 卢氏县交界处,呈近东西向展布,东西长约 53 km, 南北宽约 5~10 km,出露面积 374 km²(严阵等, 1985)(图 2)。

蟒岭岩体北部与元古界及第三系呈断层接触, 断面向北倾,倾角 70°左右;南接触带的东部与元古 界及三叠系呈断层接触,断面向北倾,倾角 70~80°; 南接触带的西部与元古界及古生界多呈侵入接触, 外接触带出现角岩化;东端与围岩呈明显侵入接触, 接触面大致向外陡倾,靠接触带形成约 500 m 宽的 角岩及角岩化片岩,角岩分带不明显;岩体西端与围 岩接触界线清晰,接触面形态不规则,呈明显的穿插 侵入关系(严阵等,1985)。

岩体主要侵位于中-新元古界宽坪群的广东坪 组和四岔口组中。岩体主要由似斑状黑云母二长花 岗岩、中粗粒黑云母二长花岗岩、中细粒二长花岗岩、



图 2 蟒岭岩体地质简图(底图据地质部陕西省地质局1:200 000商南幅和洛南幅地质图)

1-第四系: 2-第三系砾岩: 3-白垩系砂岩: 4-三叠系砂岩: 5-晚古生界砂岩夹板岩: 6-早古生界草滩沟群石英角斑岩: 7-新元古界 陶湾群千枚岩: 8-角闪岩相及递增变质带: 9-新元古界栾川群碳质板岩: 10-中-新元古界宽坪群斜长角闪岩、石英片岩: 11-中元古界 石坡群白云岩: 12-古元古界秦岭群斜长片麻岩: 13-中生代含辉石黑云角闪闪长岩: 14-中生代黑云母二长花岗岩: 15-中生代细粒 二长花岗岩: 16-中生代花岗斑岩: 17-中生代花岗岩: 18-云煌岩脉、伟晶岩脉: 19-古生代花岗岩: 20-古生代辉长岩: 21-断层: 22-地层界线: 23-不整合界线: 24-年龄样品采集点

Fig. 2 Geological sketch map of the Mangling pluton (modified after 1:200 000 Geological Map of Shangnan and Luonan by Shaanxi Bureau of Geology)

1—Quaternary sand and gravel: 2—Tertiary conglomerate: 3—Cretaceous sandstone: 4—Triassic sandstone: 5—Late Paleozoic sandstone intercalated with slate: 6—Quartz-keratophyre of the Early Paleozoic Caotangou Group: 7—Phyllite of the Neoproterozoic Taowan Group: 8—Amphibolite facies and progressive metamorphic belt: 9—Carbonaceous slate of the Neoproterozoic Luanchuan Group: 10—Amphibolites and quartz schist of the Middle-Neoproterozoic Kuanping Group: 11—Dolomite of the Mesoproterozoic Shipo Group: 12—Plagiogneiss of the Paleozoic Qinling Group: 13—Mesozoic pyroxene-bearing biotite-hornblende diorites: 14—Mesozoic biotite monzogranites: 15—Mesozoic mid-fine-grained monzogranites: 16—Mesozoic granite prophyries: 17—Mesozoic granites: 18—Minette vein and pegmatite vein: 19—Paleozoic granites: 20—Paleozoic gabbro; 21—Faults: 22—Stratigraphic boundary: 23—Unconformity: 24—Sampling point

含辉石黑云角闪闪长岩和黑云母钾长花岗岩组成。 似斑状黑云母二长花岗岩(图 3a)为主体岩性,在岩 体中大面积分布,其中发育岩浆暗色包体,包体以黑 云母石英闪长岩为主,灰绿色,大小不等,多为似椭 圆状,与寄主岩石的界线比较清晰(图 3b);中粗粒黑 云母二长花岗岩及中细粒二长花岗岩分布面积小, 侵入于似斑状黑云母二长花岗岩中,岩石中可见少 量岩浆暗色包体(图 3c);含辉石黑云角闪闪长岩主 要出露于岩体西南,与似斑状黑云母二长花岗岩呈 侵入接触;黑云母钾长花岗岩多呈脉状侵入似斑状 黑云母二长花岗岩中。

2.2 岩相学

含辉石黑云角闪闪长岩 暗灰色,块状构造,半 自形粒状结构,主要由斜长石、钾长石、黑云母、角闪 石、单斜辉石及少量石英组成(图 3d)。斜长石呈半 自形-他形板状,粒径 0.1~1 mm,含量 40%~50%, 发育聚片双晶,表面发生弱绢云母化;钾长石呈半自 形-他形板状,粒径 0.1~0.4 mm,含量约 5%;石英 呈他形粒状,粒径 0.1~0.3 mm,含量小于 5%;黑云 母多为褐绿色,多色性明显,半自形片状,粒径 0.3 mm×0.4 mm~0.8 mm×0.4 mm,含量 10%~ 15%,局部绿泥石化;角闪石呈短柱状,粒径 0.1~1 mm,含量 20%~25%;辉石呈粒状,解理发育,粒径 0.2~1 mm,含量小于 5%,可见反应边结构(图 3e)。 副矿物为榍石、磷灰石、锆石、磁铁矿等。

似斑状黑云母二长花岗岩 肉红色,块状构造, 似斑状结构,斑晶主要有钾长石、斜长石和石英。其 中钾长石呈半自形-他形板状,粒度1~4 mm,含量约



中粗粒黑云母二长花岗岩



黑云母钾长花岗岩镜下特征

图 3 蟒岭岩体的岩相学特征

Kfs一钾长石; Pl一斜长石; Q一石英; Bt一黑云母; Hbl一角闪石; Cpx一单斜辉石; Ttn一榍石

Fig. 3 Petrography of the Mangling pluton

Kfs-K-feldspar: Pl-Plagioclase: Q-Quartz: Bt-Biotite: Hbl-Amphibole: Cpx-Clinopyrixene: Ttn-Titanite

15%~20%,可见卡氏双晶、格子双晶,局部可见其 包含斜长石和石英(图 3f);斜长石呈半自形-自形板 状,粒度多在 1~3 mm,含量 10%~15%,发育聚片 双晶,表面发生绢云母化,少量边缘发生绿帘石化; 石英多呈他形,粒度 0.8~2 mm,含量约 5%~10%; 黑云母呈半自形片状,含量 2%~5%,边缘绿泥石 化。基质主要为钾长石(10%~15%)、斜长石(20% ~25%)、石英(20%~25%)及黑云母(5%±),局部 见碳酸盐化方解石细脉。副矿物有榍石、磷灰石、锆 石、磁铁矿等。

中粗粒黑云母二长花岗岩 灰白色或肉红色, 块状构造,等粒结构(图 3g),岩石中含极少量的钾长 石斑晶(2% ±)。主要矿物为钾长石,呈半自形-他 形板状,粒径约0.5~3 mm,少数大于5 mm,含量为 35%~40%,发育卡氏双晶和格子双晶;斜长石呈半 自形-他形板状,粒径0.2~2 mm 不等,含量30%~ 35%,发育聚片双晶,表面发生绢云母化;石英呈他 形粒状,粒径多在0.3~3 mm,含量20%~25%;黑 云母呈半自形片状,含量5%~10%,表面发生弱绿 泥石化。副矿物有榍石、磷灰石、锆石、磁铁矿等。

中细粒二长花岗岩 灰白色,等粒结构,局部可 见碎裂结构。矿物组成为钾长石、斜长石、石英和少 量黑云母。钾长石呈半自形-他形板状,粒度0.2~ 2.5 mm,含量35%~40%,格子双晶发育(图3h);斜 长石呈半自形-他形板状,粒度0.2~2 mm,含量 30%~35%,发育聚片双晶,表面发生弱绢云母化; 石英呈他形粒状,粒径多在0.2~1.5 mm,含量20% ~25%;黑云母多呈半自形片状,含量5%左右,发育 弱绿泥石化。副矿物有榍石、磷灰石、锆石等。

黑云母钾长花岗岩 肉红色,块状构造,花岗结构,主要由钾长石、斜长石、石英及少量黑云母组成(图 3i)。钾长石呈半自形-他形板状,粒度 0.5~4 mm,含量 40%~45%,发育格子双晶,斜长石呈半自形-他形板状,粒度 0.5~2.5 mm,含量 20%~25%,发育聚片双晶,表面发生绢云母化,局部含次生白云母;石英呈他形粒状,粒度 0.3~2.5 mm,含量 25%~30%;黑云母呈半自形片状,含量 5%~10%。副矿物有磷灰石、榍石、锆石等。

3 样品采集及分析方法

本文针对岩体中 3 种主要岩性进行了 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 定年:① 似斑状黑云母二长花岗 岩(ML-28/1B),样品采自陕西省洛南县高耀镇似斑 状黑云母二长花岗岩与中粗粒黑云母二长花岗岩分 界处,地理坐标为 N 33°57′43.2″,E 110°31′53.5″; ② 中粗粒黑云母二长花岗岩(ML-32/1B),样品采 自河南省卢氏县官坡镇火神庙村 地理坐标为 N 33° 56′5.0″ E 110°42′31.4″ (③ 含辉石黑云角闪闪长岩 (ML-37/1B),样品采自陕西省洛南县大河面乡三合 村 地理坐标为 N 33°55′21.9″,E 110°12′32.5″。另 外,还有 23 件新鲜岩石样品,分别采自蟒岭岩体的 不同位置,用于元素地球化学分析。

样品 ML-28/1B 及 ML-32/1B 的锆石 U-Pb 同 位素分析在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资 源国家重点实验室(GPMR)利用 LA-ICPMS 完成。 激光剥蚀系统为 GeoLas 2005, ICPMS 为 Agilent 7500a。激光剥蚀过程中采用氦气作载气、氩气为补 偿气以调节灵敏度,二者在进入 ICP 之前通过一个 T型接头混合。在等离子体中心气流(Ar+He)中加 入了少量氮气,以提高仪器灵敏度、降低检出限和改 善分析精密度(Hu et al. 2008)。每个时间分辨分析 数据包括大约 20~30 s 的空白信号和 50 s 的样品信 号。对分析数据的离线处理(包括对样品和空白信 号的选择、仪器灵敏度漂移校正、元素含量及 U-Th-Pb 同位素比值和年龄计算)采用软件 ICPMSData-Cal 8.3(Liu et al. 2008;2010a)完成。详细的仪器 操作条件和数据处理方法同 Liu 等(2010b)。

样品 ML-37/1B 的锆石 U-Pb 同位素组成分析 在西北大学大陆动力学国家重点实验室的四级杆 ICP-MSElan6100DRC 进行。激光剥蚀系统为德国

LamdaPhysik 公司生产的 Geolas 200M 深紫外 (DUV)193 nm ArF 准分子(excimer)系统,该系统相 对常规的 266 nm 或 213 nm ND :YAG 剥蚀系统具 有较小的元素分馏效应。分析采用的激光束直径为 30 µm 剥蚀深度为 20~40 µm。实验中采用 He 作 为剥蚀物质的载气,用美国国家标准技术研究院研 制的人工合成硅酸盐玻璃标准参考物质 NIST610 进行仪器最佳化调试 采样方式为单点剥蚀 数据采 集选用一个质量峰一点的跳峰方式,每完成4~5个 待测样品测定,插入测标样一次。在所测锆石样品 15~20个点前后各测2次NIST610。 锆石年龄采用 标准锆石 91500 作为外部标准物质 ,元素含量采用 NIST610 作为外标。测试结果通过 Glitter 软件计算 得出 获得的数据采用 Andersen(2002)的方法进行 同位素比值的校正,并采用 Isoplot 4.00 进行最终的 年龄计算和图表的绘制 ,分析点的同位素比值和同 位素年龄的误差(标准偏差)为1σ,加权平均年龄按 95%的置信度给出,详细分析参见文献 Yuan et al., 2004

主量元素、微量元素测试分析在中国地质大学 (北京)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成, 主量元素采用 XRF 方法完成,分析精度一般优于 2%。微量元素采用 ICPMS 完成,样品溶解在高压 溶样弹中进行。

4 锆石 U-Pb 测年结果

4.1 似斑状黑云母二长花岗岩(ML-28/1B)

样品中的锆石呈短柱状,自形-半自形,粒径一 般长 100~200 μ m,宽 80~100 μ m,长宽比 1:1~ 2:1。锆石颗粒晶面完整,平直光滑,少量晶面较粗 糙,具蚀痕、麻点和凹凸不平的现象。阴极发光(CL) 图像(图 4)显示,锆石具有明显的震荡韵律环带,具 有岩浆锆石的特征。锆石 μ (Th), μ (U)分别变化 于 107×10⁻⁶~934×10⁻⁶、372×10⁻⁶~1584× 10⁻⁶,Th/U比值在 0.15~0.72 之间,平均值 0.42, 大于 0.40(表 1),可见该花岗岩中的锆石为岩浆成 因锆石。

对样品进行了 25 颗锆石 25 个点的测试分析。 在²⁰⁶Pb/²³⁸U-²⁰⁷Pb/²³⁵U 谐和年龄图(图 5a)上,大部 分测点分布在谐和线附近,其中 9 个点(4、10、12、 13、14、15、16、22、24)出现不同方向偏离谐和线的情 况,谐和度低于90%,在加权平均年龄计算中剔除后,



图 4 蟒岭岩体花岗岩类的锆石阴极发光图像 Fig.4 Zircon CL images of the granites from the Mangling pluton

获得 16 颗锆石的²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄值为(148 ±1) Ma(1₀),可视为似斑状黑云母二长花岗岩的形 成年龄。

4.2 中粗粒黑云母二长花岗岩(ML-32/1B)

该样品中的锆石呈短柱状, 自形-半自形, 粒径 一般长 150~300 μ m, 宽 80~100 μ m, 长宽比 1:1~ 2:1。锆石颗粒晶面完整, 平直光滑, 少量晶面较粗 糙, 具凹凸不平的现象。阴极发光(CL)图像(图 4) 显示, 锆石有明显的震荡韵律环带, 具岩浆锆石的特 征。该岩石中锆石的w(Th)、w(U)分别变化于 420 ×10⁻⁶~7474×10⁻⁶、414×10⁻⁶~2339×10⁻⁶, Th/U比值在 0.60~1.08 之间, 平均值 0.75, 大于 0.40(表 1), 以上特征表明, 中粗粒黑云母二长花岗 岩的锆石均为岩浆锆石。

对该样品中 25 颗锆石进行了 25 个点的测试分析,其中 6 颗锆石(14、20、22、23、24、25)的²⁰⁴Pb计数较高,这种较高的普通铅组成导致谐和图中²⁰⁷Pb/²³⁵U和²⁰⁶Pb/²³⁸U的谐和度低于 90%,在谐和图和讨论中将不涉及这些点,剩余 19 颗锆石的年龄数据均落在一致线上或者其附近(图 5b),得到的²⁰⁶Pb/²³⁸U

加权平均年龄值为(144±1) Ma(1₀),可视为中粗粒 黑云母二长花岗岩的形成年龄。

4.3 含辉石黑云角闪闪长岩(ML-37/1B)

样品中的锆石多呈短柱状或不规则状,自形-半 自形,粒径一般长 150~200 μ m,宽 80~150 μ m,长 宽比 1:1~1.5:1。锆石颗粒晶面完整,平直光滑,少 量晶面较粗糙,具蚀痕和凹凸不平的现象。阴极发 光(CL)图像(图 4)显示,锆石具有明显的震荡韵律 环带,同时,锆石 w(Th)、w(U)分别变化于 184 × 10⁻⁶~774×10⁻⁶、175×10⁻⁶~553×10⁻⁶,Th/U 比值在 0.64~1.43之间,平均值 1.14,远大于 0.40 (表 1),这些特征表明该岩石中的锆石为岩浆成因锆 石。

对该样品中 25 颗锆石进行了 25 个点的测试分 析,在²⁰⁶Pb/²³⁸U-²⁰⁷Pb/²³⁵U谐和年龄图(图 5c)上, 所有测点均分布在谐和线附近,通过加权平均年龄 计算后,获得 25 颗锆石的²⁰⁶Pb/²³⁸U加权平均年龄 值为(157±1) Ma(1₀),可视为含辉石黑云角闪闪长 岩的形成年龄。

表 1 蟒岭岩体花岗岩类的 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄测定结果

Table 1 LA-ICPMS zircon U-Pb data of the granites from the Mangling pluton

ᆉᄽᄆᅶ	τ	е (В У 10)-6			同位素比值		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$
作吅尓	Pb	Th	U	Ιh/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb / ²³⁵ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	年龄/Ma	年龄/Ma	年龄/Ma
ML-28	/1B 似玢	田状黑云	母二长礼	吃岗岩						
1	50	442	1087	0.43	0.0478 ± 0.0022	0.1497 ± 0.0068	0.0227 ± 0.0002	87 ± 107	142 ± 6	145 ± 2
2	38	107	681	0.15	0.0803 ± 0.0039	0.2742 ± 0.0136	0.0241 ± 0.0003	1206 ± 94	246 ± 11	153 ± 2
3	53	476	1048	0.47	0.0503 ± 0.0021	0.1682 ± 0.0069	0.0241 ± 0.0003	209 ± 90	158 ± 6	153 ± 2
5	88	934	1297	0.72	0.0645 ± 0.0024	0.2063 ± 0.0073	0.0231 ± 0.0002	767 ± 77	190 ± 6	147 ± 1
6	74	744	1584	0.51	0.0445 ± 0.0013	0.1454 ± 0.0045	0.0232 ± 0.0002	error	138 ± 4	148 ± 1
7	67	704	1190	0.63	0.0487 ± 0.0016	0.1591 ± 0.0053	0.0234 ± 0.0003	200 ± 80	150 ± 5	149 ± 2
8	34	275	801	0.36	0.0460 ± 0.0018	0.1504 ± 0.0058	0.0234 ± 0.0002	error	142 ± 2	149 ± 2
9	31	290	604	0.51	0.0476 ± 0.0025	0.1539 ± 0.0077	0.0234 ± 0.0003	83 ± 128	145 ± 7	149 ± 2
11	35	279	905	0.30	0.0494 ± 0.0024	0.1618 ± 0.0078	0.0234 ± 0.0003	169 ± 113	152 ± 7	149 ± 2
17	41	337	1048	0.24	0.0497 ± 0.0019	0.1616 ± 0.0062	0.0234 ± 0.0003	189 ± 117	152 ± 5	149 ± 2
18	58	516	960	0.50	0.0695 ± 0.0033	0.2263 ± 0.0114	0.0232 ± 0.0003	922 ± 99	207 ± 9	148 ± 2
19	62	627	1127	0.54	0.0565 ± 0.0027	0.1798 ± 0.0089	0.0228 ± 0.0004	472 ± 104	168 ± 8	145 ± 2
20	30	276	541	0.53	0.0630 ± 0.0037	0.2019 ± 0.0122	0.0231 ± 0.0004	709 ± 120	187 ± 10	147 ± 3
21	49	402	1248	0.25	0.0562 ± 0.0028	0.1821 ± 0.0093	0.0234 ± 0.0005	461 ± 109	170 ± 8	149 ± 3
23	38	414	372	0.16	0.0560 ± 0.0037	0.1801 ± 0.0116	0.0233 ± 0.0005	454 ± 145	168 ± 10	148 ± 3
25	48	319	1487	0.15	0.0519 ± 0.0021	0.1688 ± 0.0072	0.0233 ± 0.0004	283 ± 93	158 ± 6	148 ± 2
ML-32	1B 中判	目粒黑云	母二长礼	花岗岩			10.0			
1	46.5	420	435	0.62	0.0479 ± 0.0027	0.1512 ± 0.0084	0.0227 ± 0.0004	95 ± 139	143 ± 7	145 ± 3
2	81	782	635	0.74	0.0446 ± 0.0020	0.1406 ± 0.0066	0.0226 ± 0.0004	error	134 ± 6	144 ± 2
3	56.0	457	414	0.62	0.0550 ± 0.0028	0.1685 ± 0.0083	0.0224 ± 0.0003	409 ± 110	158±7	143 ± 2
4	166	1541	947	0.87	0.0457 ± 0.0020	0.1439 ± 0.0063	0.0225 ± 0.0003	error	136 ± 6	144 ± 2
5	171	1549	888	0.89	0.0506 ± 0.0022	0.1594 ± 0.0068	0.0227 ± 0.0003	233 ± 102	150 ± 6	145 ± 2
6	118	984	657	0.69	0.0480 ± 0.0027	0.1539 ± 0.0086	0.0229 ± 0.0004	98±135	145 ± 8	146 ± 2
7	140	1225	638	0.85	0.0488 ± 0.0025	0.1544 ± 0.0076	0.0228 ± 0.0004	200 ± 119	146 ± 7	145 ± 2
8	113	973	675	0.62	0.0474 ± 0.0031	0.1475 ± 0.0094	0.0227 ± 0.0004	78 ± 143	140 ± 8	145 ± 3
9	255	1952	1146	0.70	0.0490 ± 0.0019	0.1546 ± 0.0058	0.0228 ± 0.0003	146 ± 93	146 ± 5	145 ± 2
10	127	1026	693	0.60	0.0487 ± 0.0028	0.1572 ± 0.0088	0.0229 ± 0.0004	200 ± 65	148 ± 8	146±2
11	218	2212	1075	0.77	0.0530 ± 0.0025	0.1688 ± 0.0082	0.0227 ± 0.0004	332 ± 109	158±7	145 ± 2
12	281	2372	894	0.97	0.0454 ± 0.0027	0.1425 ± 0.0080	0.0226 ± 0.0003	error	135±7	144 ± 2
13	424	3386	1524	0.78	0.0476±0.0018	0.1513 ± 0.0058	0.0227 ± 0.0003	80 ± 85	143 ± 5	145 ± 2
15	353	2667	1250	0.74	0.0558 ± 0.0025	0.1718 ± 0.0074	0.0224 ± 0.0003	443 ± 99	161±6	143 ± 2
16	300	2172	1083	0.63	0.0526 ± 0.0028	0.1622 ± 0.0079	0.0226 ± 0.0004	322 ± 120	153±7	144 ± 2
17	285	2153	981	0.70	0.0491 ± 0.0026	0.1530 ± 0.0078	0.0226 ± 0.0003	154 ± 150	145±7	144 ± 2
18	321 429	2562	1053	0.77	0.0551 ± 0.0034	0.1707 ± 0.0098	0.0227 ± 0.0003	$41/\pm 139$	160 ± 9	145 ± 2
19	438	2942	1499	0.00	0.0399 ± 0.0040	0.1888 ± 0.0119	0.0226 ± 0.0004	598 ± 142	$1/0 \pm 10$	144 ± 2
21 ML 27	844 7/1D 今期	/4/4 爰石剄テ	2009 在词词4	1.08 长史	0.0507 ± 0.0024	0.1655 ± 0.0075	0.0229 ± 0.0004	228 ± 114	154 ± 0	140 ± 2
1	/ ID 白ル 11	+'⊔ ⊼ ∆ 234	364	0.64	0.0522 ± 0.0028	0.1795 ± 0.0085	0.0249 ± 0.0005	206 + 118	168 ± 7	150 ± 3
2	13	312	415	0.04	0.0522 ± 0.0028 0.0530 ± 0.0027	0.1775 ± 0.0005 0.1810 ± 0.0079	0.0249 ± 0.0005 0.0248 ± 0.0005	200 ± 110 330 ± 110	160 ± 7 160 ± 7	159 ± 3 158 ± 3
3	19	774	553	1 40	0.0530 ± 0.0027 0.0510 ± 0.0024	0.1736 ± 0.0079	0.0243 ± 0.0005 0.0247 ± 0.0005	330 ± 110 238 + 105	109 ± 7 163 ± 6	150 ± 3 157 ± 3
4	11	320	348	0.92	0.0534 ± 0.0024	0.1818 ± 0.0086	0.0247 ± 0.0005	346 ± 103	100 ± 0 170 ± 7	157 ± 3 157 ± 3
5	10	294	305	0.92	0.0548 ± 0.0029	0.1868 ± 0.0000	0.0247 ± 0.0005	403 ± 117	170 ± 7 174 ± 8	157 ± 5 158 ± 3
6	7	234	247	0.95	0.0538 ± 0.0034	0.1822 ± 0.0000	0.0246 ± 0.0006	361 ± 136	170 ± 9	150 ± 5 157 ± 4
7	, 12	467	348	1.34	0.0460 ± 0.0034	0.1575 ± 0.0080	0.0249 ± 0.0005	0 ± 128	149 ± 7	157 ± 7 158 ± 3
8	11	419	326	1.29	0.0467 ± 0.0027	0.1613 ± 0.0085	0.0251 ± 0.0005	34 ± 134	152 ± 7	160 + 3
9	13	414	404	1.03	0.0484 ± 0.0025	0.1676 ± 0.0075	0.0251 ± 0.0005	121 ± 116	157 ± 7	160 ± 3
10	10	415	321	1.29	0.0513 ± 0.0031	0.1745 ± 0.0097	0.0247 ± 0.0006	252 + 135	163 ± 8	157 ± 3

续表 1

									(Count. Table 1
HH ㅁ 노	w	(В У 10	- 6			同位素比值		²⁰⁷ Pb⁄ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁶ Pb⁄ ²³⁸ U
竹十四宗	Pb	Th	U	INU	$^{207}\mathrm{Pb}/^{206}\mathrm{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	年龄/Ma	年龄/Ma	年龄/Ma
11	6	249	187	1.33	0.0485 ± 0.0042	0.1624 ± 0.0134	0.0243 ± 0.0006	124 ± 193	153 ± 12	155 ± 4
12	6	184	187	0.99	0.0607 ± 0.0042	0.2059 ± 0.0132	0.0246 ± 0.0006	629 ± 143	190 ± 11	157 ± 4
13	7	207	245	0.85	0.0501 ± 0.0032	0.1717 ± 0.0100	0.0249 ± 0.0006	199 ± 142	161 ± 9	158 ± 4
14	9	294	298	0.99	0.0488 ± 0.0028	0.1665 ± 0.0086	0.0248 ± 0.0005	137 ± 130	156 ± 8	158 ± 3
15	8	273	258	1.06	0.0495 ± 0.0031	0.1699 ± 0.0098	0.0249 ± 0.0006	173 ± 141	159 ± 9	158 ± 3
16	8	339	252	1.34	0.0539 ± 0.0035	0.1828 ± 0.0108	0.0246 ± 0.0006	366 ± 139	170 ± 9	157 ± 4
17	6	203	188	1.08	0.0487 ± 0.0037	0.1651 ± 0.0116	0.0246 ± 0.0006	132 ± 167	155 ± 10	157 ± 4
18	8	358	252	1.42	0.0459 ± 0.0029	0.1552 ± 0.0091	0.0245 ± 0.0006	0 ± 139	147 ± 8	156 ± 3
19	10	419	293	1.43	0.0514 ± 0.0035	0.1707 ± 0.0107	0.0241 ± 0.0006	258 ± 149	160 ± 9	154 ± 4
20	10	439	307	1.43	0.0502 ± 0.0032	0.1687 ± 0.0098	0.0244 ± 0.0006	204 ± 141	158 ± 8	155 ± 3
21	8	269	270	0.99	0.0493 ± 0.0030	0.1679 ± 0.0093	0.0247 ± 0.0006	160 ± 137	158 ± 8	157 ± 3
22	6	237	175	1.35	0.0480 ± 0.0036	0.1626 ± 0.0114	0.0246 ± 0.0006	99 ± 170	153 ± 10	156 ± 4
23	12	539	376	1.43	0.0491 ± 0.0029	0.1650 ± 0.0088	0.0244 ± 0.0005	152 ± 132	155 ± 8	155 ± 3
24	11	467	343	1.36	0.0487 ± 0.0028	0.1614 ± 0.0082	0.0240 ± 0.0005	134 ± 127	152 ± 7	153 ± 3
25	9	272	278	0.98	0.0511 ± 0.0028	0.1740 ± 0.0086	0.0247 ± 0.0005	245 ± 123	163 ± 7	157 ± 3

注:误差为1σ;error为未测出。

5 地球化学特征

5.1 主量元素

蟒岭岩体中花岗岩类的地球化学分析结果见表

2.

蟒岭岩体中,二长花岗岩u(SiO₂)为67.31%~ 74.82%,变化范围大,u(TFe₂O₃)和u(CaO)偏低, 分别为0.64%~3.29%和0.74%~5.12%,高铝 u(Al₂O₃)为11.74%~16.27%],富碱[u(K₂O) 为3.24%~6.27%,u(Na₂O)为3.17%~4.86%, u(K₂O+Na₂O)为6.73%~9.44%,里特曼指数 σ =1.66~3.11],低镁[u(MgO)为0.31%~ 1.15%],铝饱和指数A/CNK=0.63~1.08,属准铝 质-弱过铝质和钾玄岩-高钾钙碱性系列(图6)。

含辉石黑云角闪闪长岩与二长花岗岩类相比, 较为基性, u(SiO₂)较低,为51.56%~59.18%, u(TFe₂O₃)和 u(CaO)较高,分别为6.23%~ 9.91%和5.3%~9.09%,高铝, u(Al₂O₃)为 12.16%~17.19%,富碱[u(K₂O)为1.92%~ 3.33%, u(Na₂O)为2.42%~4.05%, u(K₂O+Na₂O)为4.35%~7.38%,里特曼指数 σ =2.1~5.7],高镁[u(MgO)为3.22%~10.68%], 铝饱和指数A/CNK=0.54~0.88,为准铝质和钾玄 岩-高钾钙碱性系列(图6)。 结合秦海鹏等(2012a)的研究成果,蟒岭岩体中 黑云母钾长花岗岩同上述2种岩性相比, α (SiO₂) 高,为75.79%~77.95%, α (TFe₂O₃) α (CaO) α (MgO)和 α (Al₂O₃)较低,分别为0.43%~ 0.62%, 0.72%~1.81%,0.06%~0.52%和9.50% ~14.69%,富碱[α (K₂O)为 $3.84\%, \alpha$ (Na₂O)为 3.53%~3.98%, α (K₂O+Na₂O)为7.37%~ 7.82%,里特曼指数 σ =1.55~1.86],铝饱和指数 A/CNK=0.72~1.22,属准铝质/过铝质和高钾钙 碱性系列(图6)。

蟒岭岩体从含辉石黑云角闪闪长岩→二长花岗 岩→黑云母钾长花岗岩,各期次岩石随着w(SiO₂) 的增加,w(Al₂O₃)w(TiO₂)w(MgO)w(CaO) u(P₂O₅)和w(FeO+Fe₂O₃)具有逐渐降低的趋势, 而w(K₂O)具有逐渐升高的趋势,w(Na₂O)与 u(SiO₂)线性相关性并不明显(图7)。

5.2 微量元素

含辉石黑云角闪闪长岩稀土元素总量较高,变 化于 162.84×10⁻⁶~248.49×10⁻⁶之间,轻、重稀 土元素分馏较弱,LREE/HREE为9.83~15.64, (La/Yb)₁为12.24~23.95稀土元素球粒陨石标准 化配分模式图(图8a)上,所有样品配分型式基本一 致,表现为轻稀土元素富集的右倾特征,负铕异常不 明显或呈微弱正铕异常, $\delta Eu = 0.92 \sim 1.08$ 。微量元 素中具有较高的Sr、Ba、K、Pb含量,如u(K)为20240 ×10⁻⁶~32460×10⁻⁶ u(Sr)为761.4×10⁻⁶~1320.6



图 5 蟒岭岩体花岗岩类锆石 U-Pb 谐和图 Fig. 5 Zircon U-Pb concordia diagram of the granites from the Mangling pluton

×10⁻(表2),Rb/Sr 比值为0.05~0.11,Th/U比 值降低,为3.97~6.52,表明该岩性中具有较低的 Th值。在微量元素原始地幔标准化蛛网图(图8b) 中 表现为富集 K、Rb、Ba、Sr 等大离子亲石元素,而 相对亏损 P、Nb、Ta、Ti 等高场强元素。

二长花岗岩类的稀土元素总量偏低,为133.43 石黑云角闪闪长岩明显,LREE/HREE 为 12.20~ 18.77 (La/Yb) 为 11.15~29.60 羟稀土元素分馏 明显 (La/Sm) 为 4.54~6.91。稀土元素球粒陨 石标准化配分模式图(图 8c)与含辉石黑云角闪闪长 岩一致,呈右倾斜型,显示微弱负铕异常(oEu=0.71 ~0.86), 铈异常不明显。 微量元素中 Sr、Ba、K、Rb 含量较高,但其 K、Pb 含量较含辉石黑云角闪闪长 岩高[u(K)为27467×10⁻⁶~52028×10⁻⁶],Sr、 Ba 较低[u(Sr)为 257.6×10⁻⁶~728.8×10⁻⁶] 除 此以外,可观察到P、Mn、Co、Ni、Ti等元素含量明显 降低 表 2)。不相容元素 Rb/Sr 比值在 0.22~0.70 之间,Th/U比值为3.93~11.92,平均7.7 表明Th 比较富集。与含辉石黑云角闪闪长岩微量元素原始 地幔标准化蛛网图(图 8b)对比,相对亏损 Sr、P、Eu 等元素(图 8d)。

黑云母钾长花岗岩与上述 2 种岩性相比,具有 较低的稀土元素总量,为 24.85×10⁻⁶~32.80× 10⁻⁶ 轻、重稀土元素分馏较弱,LREE/HREE 为 8.86~9.42 (La/Yb),为 6.35~8.80,稀土元素球 粒陨石标准化配分模式图(图 8c)与二长花岗岩和含 辉石黑云角闪闪长岩截然不同,表现为轻稀土元素 右倾,重稀土元素左倾的不对称弧形,微弱负铕异 常 δ Eu=0.85~0.92。微量元素中的 α (Rb)较高, 为 175.56×10⁻⁶~233.2×10⁻⁶,Rb/Sr 比值高于上 述 2 种岩性,为 1.06~2.49,Th/U 比值偏低,为 1.27~4.57 表明该岩性中具有较高的 U 值。微量 元素原始地幔标准化蛛网图(图 8d)呈右倾特征,具 有明显的 Ba、Ce、P、Ti 负异常,K、Pb 正异常。

6 讨 论

6.1 岩体形成时代及期次

根据前人研究,蟒岭岩体主要形成于晚侏罗世 —早白垩世,但岩体中不同岩性的岩石形成时代存 在较大的差异(表3)特别是二长花岗岩的年龄范围 较大(160~139 Ma)严阵等,1985,涨宗清等,2006; 王晓霞等,2011;秦海鹏等,2012a)。本次获得的蟒 岭岩体年龄数据,大致反映了2期岩浆侵入事件,其 中含辉石黑云角闪闪长岩的锆石 U-Pb年龄[(157± 1)Ma],与前人获得的该岩体中闪长岩的锆石年龄 (168~163 Ma)接近(严阵等,1985),属晚侏罗世早期



图 6 蟒岭岩体花岗岩类 A/NKC-A/NK 图解及 SiO₂-K₂O 图解(底图据 Peccerillo et al., 1976; Rickwood, 1989) Fig. 6 A/CNK-A/NK and SiO₂-K₂O diagrams of the granites from the Mangling pluton (after Peccerillo et al., 1976; Rickwood, 1989)

岩浆活动;似斑状黑云母二长花岗岩和中粗粒黑云 母二长花岗岩的锆石 U-Pb 年龄分别为(148±1) Ma、(144±1)Ma,与前人获得的锆石年龄[(150± 13)Ma,张宗清等,2006 (149±2)Ma,王晓霞等, 2011)接近,为晚侏罗世晚期—早白垩世早期岩浆活 动的产物。同时,野外观察发现岩体中具有似斑状 黑云母二长花岗岩侵入含辉石黑云角闪闪长岩的现 象,指示似斑状黑云母二长花岗岩形成时间较含辉 石黑云角闪闪长岩晚,与上述测年结果相符合。另 外,秦海鹏等(2012a)测得该岩体中钾长花岗岩的锆 石 U-Pb 年龄为(124.1±2.0)Ma,表明蟒岭岩体中 存在早白垩世中期岩浆作用。因此,蟒岭岩体的岩 浆侵入可划分为晚侏罗世早期、晚侏罗世晚期—早 白垩世早期和早白垩世中期 3 期。

东秦岭地区晚中生代花岗岩的年龄主要集中在 160~110 Ma 之间(毛景文等,2005a;王晓霞等, 2011;Wang et al.,2013)北秦岭构造带该时期花岗 岩发育,主要以大的花岗岩基(牧护关、蟒岭、老君 山)和小斑岩体(桃官坪、西沟)2种产状产出。近年 来,在老君山岩体和一些小岩体及其与围岩接触带 上发现众多中小型钼矿床,如马河、寺沟、南台、银 厂沟、扫帚坡、东沟口等。对比这些成矿岩体的形成 时代,如桃官坪岩体的锆石 U-Pb 年龄为(157±1) Ma,西沟岩体的锆石 U-Pb 年龄为(153±1) Ma(柯 昌辉等,2012a),南台花岗斑岩的锆石 U-Pb 年龄为 (151±1) Ma(柯昌辉等,2012b),老君山岩体的锆石 U-Pb年龄为(109±1)Ma(孟芳,2010),这些成矿小 岩体的形成时代与蟒岭岩体中二长花岗岩侵入时代 同属于晚侏罗世,但前者略早于蟒岭岩体,而老君山 岩体晚于蟒岭岩体,为早白垩世晚期。

▲此可见,蟒岭岩体的形成时间跨度较大,从大约157 Ma到125 Ma,经历了约30 Ma,岩石类型演化从闪长岩→二长花岗岩→钾长花岗岩,其中第二期二长花岗岩的形成年龄略晚于周围成矿小岩体。 6.2 成岩物理化学条件

6.2.1 压力

分析花岗岩岩浆形成时的物理化学条件 ,是花 岗岩成因研究的重要组成部分。张旗等(2006)根据 Sr、Yb的元素含量将花岗岩划分为4类即 高 Sr 低 Yb型(Sr>400 µg/g,Yb<2 µg/g)低Sr低Yb型 (Sr<400 µg/g,Yb<2 µg/g)低Sr高Yb型(Sr< 400 µg/g,Yb>2 µg/g)和高 Sr 高 Yb 型(Sr>400 μg/g,Yb>2 μg/g)花岗岩。其中 高 Sr 低 Yb 型花 岗岩的地球化学特征大体相当于埃达克岩 ,主要以 $u(SiO_2) > 56\%$, $u(Al_2O_3) > 15\%$, LREE 富集, HREE 亏损 ,Yb<1.9 µg/g ,Y<18 µg/g ,无明显的 负铕异常为标志 岩石类型包括闪长岩-花岗闪长岩-花岗岩。低 Sr 高 Yb 型包括低钾钙碱性、高钾钙碱 性系列 J.S型花岗岩等 ,LREE 富集 ,HREE 相对亏 损,有弱或中等的负铕异常。一般认为高 Sr 低 Yb 型和低 Sr 高 Yb 型花岗岩主要受花岗岩熔融 源区深度控制,高Sr低Yb型花岗岩岩浆来源较深

、微量元素及其相关系数	
蟒岭岩体花岗岩类的主量元素、	
表 2	

			Table	2 Majo	r elements	, trace el	ements an	l correlati	on coeffic	ients of th	ie granite	s from the	Mangling	pluton			
V 47				含辉石	百三三百四四	大光					~	以斑状黑云母	1.1.长花岗岩			中租粒黑云中	母二长花岗岩
组况 N	AL-34/1B	ML-35/1B	ML-37/1B	ML-38/1B	ML-39/2B	ML-40/1B	ML-41/1B	ML-42/1B	1	ML-17/1B	ML-20/1B	ML-21/1B	ML-23/1B	ML-27/1B	ML-28/1B	ML-29/1B	ML-32/1B
									w(B)/%								
SiO_2	57.39	55.19	59.18	55.22	51.87	58.57	52.72	51.56	56.72	68.37	67.34	69.72	70.97	71.84	70.42	71.53	73.66
TiO_2	1.05	1.25	1.00	1.13	1.24	0.98	1.24	0.89	0.99	0.29	0.34	0.26	0.34	0.22	0.25	0.22	0.18
M_2O_3	16.77	15.09	15.22	16.32	17.19	16.25	15.91	12.16	15.57	14.47	14.86	11.74	12.91	12.62	13.85	13.54	12.38
$\mathrm{TFe_2O_3}$	7.50	8.40	6.23	7.96	8.60	7.31	9.48	9.91	7.30	2.12	2.71	2.16	2.49	1.64	2.01	1.85	1.41
MgO	3.22	5.34	3.82	4.67	5.35	3.59	5.55	10.68	3.91	0.97	1.01	0.83	1.15	0.87	0.85	0.71	0.74
MnO	0.13	0.14	0.10	0.13	0.14	0.13	0.16	0.29	0.13	0.04	0.04	0.06	0.05	0.04	0.05	0.04	0.04
CaO	5.42	5.90	5.30	6.81	6.05	6.07	6.99	9.09	5.45	2.95	2.89	5.12	2.28	1.83	2.83	2.29	2.27
Na ₂ O	3.86	3.82	3.62	3.82	4.05	3.42	9 3.27	2.42	3.84	3.85	3.73	3.49	3.79	4.22	4.06	3.73	3.44
K_2O	2.54	2.65	3.18	2.90	3.33	2.36	2.51	1.92	2.77	5.04	4.80	3.24	4.09	4.90	4.10	4.22	4.26
P_2O_5	0.54	0.59	0.53	0.67	0.71	0.43	0.81	0.50	0.46	0.11	0.15	0.11	0.15	0.09	0.11	0.08	0.05
LOI	1.48	1.57	1.66	0.34	1.46	0.79	1.40	0.72	2.14	1.10	1.53	2.25	0.82	0.69	0.60	0.82	0.40
总和	99.90	99.94	99.84	99.97	99.99	06.90	100.04	100.14	99.28	99.31	99.40	98.98	99.04	98.96	99.13	99.03	98.83
$Na_2O + K_2O$	6.40	6.47	6.80	6.71	7.38	5.78	5.78	4.35	6.61	8.89	8.53	6.73	7.87	9.12	8.16	7.94	7.70
K ₂ O/Na ₂ O*	0.66	0.69	0.88	0.76	0.82	0.69	0.77	61.0	0.72	1.31	1.29	0.93	1.08	1.16	1.01	1.13	1.24
Q	2.73	3.26	2.76	3.61	5.7	2.1	3.22	2.1	3.19	3.07	2.94	1.66	2.19	2.86	2.41	2.19	1.92
A/NKC*	0.88	0.76	0.80	0.75	0.81	0.84	0.76	0.54	0.81	0.84	0.89	0.63	0.87	0.81	0.85	0.91	0.86
A/NK*	1.84	1.65	1.62	1.73	1.67	1.99	1.96	2.00	1.67	1.23	1.31	1.27	1.21	1.03	1.24	1.26	1.20
									w(B)/10	-9							
Li	22.96	33.74	34.42	23.62	30.14	17.50	42.52	38.04		16,74	21.61	29.18	12.42	13.01	37.54	18.48	25.38
Ъ	2618	2694	2322	3162	2994	1987	3798	2274		530	664	510	677	424	536	395	254
К	28220	27900	32460	31080	32060	25320	26560	20240		44020	40437	27467	35020	41540	35620	34880	35167
S	17.95	22.50	14.94	21.70	20.18	18.66	24.82	25.20		2.67	3.09	2.01	2.49	1.63	2.59	2.24	1.66
Τi	7178	8108	6406	7538	7498	6412	8208	5722		2070	2404	1735	2388	1527	1746	1443	1206
Mn	1180.2	1210	874.6	1120.8	1120	1109.6	1361.2	2392		267.2	310.7	452.8	363.0	257.6	373.2	311.4	296.2
ර	17.97	25.36	18.35	24.14	23.64	19.26	27.90	34.84		1.93	2.68	2.49	3.28	2.07	2.10	2.08	1.16
Ż	13.26	64.32	46.12	39.88	53.44	20.60	48.46	262.80		5.22	4.46	10.58	5.27	3.56	3.74	7.04	1.89
O ₁	2.86	26.50	30.14	11.05	25.32	15.31	30.14	7.24		21.74	3.46	4.10	6.43	1.21	1.94	2.26	0.55
\mathbf{Zn}	160.98	139.62	68.48	91.40	86.76	91.22	104.30	175.10		25.98	46.24	40.38	37.62	28.38	58.88	40.64	19.50
Ga	22.48	19.96	20.08	22.16	21.32	19.82	22.42	19.08		17.83	19.87	15.12	14.79	15.06	19.27	17.30	14.04
Rb	65.80	71.02	97.32	87.74	75.50	70.28	79.88	90.56		151.58	183.46	108.96	120.48	189.74	170.08	164.14	162.25
Sr	1320.6	1036	859	1044.2	1150	761.4	1231.6	1238.2		484	525.6	458.8	327	286.6	402.6	378	257.6
Zr	154.6	123.9	196.2	138.6	204.1	145.3	102.6	108.2		185.4	291.0	190.4	249.4	164.5	192.7	181.7	159.0
Nb	18.90	21.12	27.36	22.06	23.60	17.05	21.04	22.22		26.80	32.87	25.56	31.76	27.34	27.82	24.51	32.78
Cs	2.57	1.68	3.03	3.08	3.34	2.61	2.95	8.58		3.11	4.02	3.07	1.17	3.05	3.24	2.39	2.59
Ba	2362	2242	2146	2324	2710	1413	2574	1733		2050	2222	1544	1461	1343	1352	1460	1020
Η	3.78	3.11	4.77	3.30	4.82	3.61	2.78	3.08		4.43	7.25	5.11	6.20	4.33	4.73	5.51	4.33

2-1	
載表	
Tish No	

二长花岗岩	ML-32/1B	2.25	20.91	34.04	3.27	0.63	10.40		35.45	63.15	6.51	21.74	3.36	0.72	2.71	0.37	2.17	0.44	1.42	0.23	1.74	0.27	12.84	140.30	130.93	9.37	13.97	14.61	6.81	0.71	0.95
中租粒黑云母	ML-29/1B	1.44	30.84	22.54	1.99	0.43	11.33		39.40	69.48	7.63	27.04	4.35	1.05	3.32	0.42	2.18	0.40	1.15	0.17	1.19	0.18	10.79	157.95	148.94	9.01	16.54	23.82	5.85	0.81	0.92
	ML-28/1B	1.56	31.38	55.02	5.66	0.42	9.72		45.84	82.82	8.38	28.96	4.44	1.08	3.42	0.43	2.19	0.40	1.16	0.17	1.19	0.18	11.05	180.67	171.53	9.14	18.77	27.71	6.66	0.82	0.96
	ML-27/1B	1.78	26.68	32.70	3.67	0.66	8.92		32.78	59.70	6.30	22.02	3.60	0.87	2.81	0.36	1.93	0.37	1.10	0.17	1.22	0.19	10.17	133.43	125.27	8.16	15.36	19.27	5.88	0.81	0.95
上长花岗岩	ML-23/1B	2.14	17.33	20.16	2.84	0.37	7.10		62.14	110.42	11.10	37.68	5.84	1.27	4.64	0.62	3.52	0.68	2.05	0.31	2.08	0.30	18.34	242.64	228.45	14.20	16.09	21.47	6.87	0.72	0.95
似斑状黑云母	ML-21/1B	1.51	23.30	23.57	2.21	0.24	10.65		55.90	99.04	10.09	34.99	5.37	1.23	4.18	0.52	2.72	0.49	1.43	0.21	1.35	0.20	13.13	217.73	206.62	11.11	18.60	29.60	6.72	0.77	0.95
	ML-20/1B	1.99	23.88	30.06	2.52	0.35	11.92		64.90	121.23	12.36	42.97	6.70	1.52	5.10	0.67	3.57	0.65	1.91	0.28	1.83	0.26	16.94	263.94	249.68	14.26	17.51	25.42	6.25	0.76	0.98
ā	ML-17/1B	1.75	29.96	31.78	5.05	0.31	6.29	- 6	45.74	84.12	8.48	29.70	4.72	1.21	3.61	0.46	2.38	0.43	1.24	0.18	1.23	0.18	11.52	183.69	173.97	9.72	17.90	26.61	6.26	0.86	0.97
(7	I							w(B)/10					J	V																	
	ML-42/1B	1.52	5.33	7.91	1.62	0.07	4.87		54.14	110.76	12.61	46.36	7.60	2.09	5.84	0.70	3.71	0.70	1.89	0.25	1.62	0.23	18.61	248.49	233.56	14.93	15.64	23.95	4.60	0.92	1.00
	ML-41/1B	1.44	14.57	9.67	1.83	0.06	5.27		50.18	101.00	11.58	43.24	7.55	2.38	6.37	0.80	4.44	0.85	2.25	0.30	1.92	0.27	22.04	233.14	215.92	17.21	12.54	18.75	4.29	1.02	0.99
长岩	ML-40/1B	1.07	13.92	9.39	C1.45	60.0	6.48	[]	35.26	69.36	7.76	28.50	5.29	1.65	4.76	0.65	3.91	0.79	2.24	0.31	2.07	0.30	20.96	162.84	147.81	15.04	9.83	12.24	4.31	0.98	0.98
百黑云角闪闪	ML-39/2B	1.59	18.90	11.65	2.47	0.07	4.72		47.84	93.88	10.51	38.56	6.65	2.15	5.57	0.71	3.95	0.76	2.06	0.28	1.82	0.26	19.92	214.99	199.59	15.40	12.96	18.84	4.65	1.05	0.98
含辉ィ	ML-38/1B	1.37	18.52	8.21	1.69	0.08	4.85		48.14	92.92	10.42	37.90	6.56	2.18	5.47	0.69	3.83	0.74	1.97	0.26	1.70	0.24	19.21	213.02	198.12	14.90	13.29	20.37	4.74	1.08	0.97
	ML-37/1B	1.89	15.91	15.23	3.84	0.11	3.97		49.14	94.32	10.29	36.34	6.08	1.86	4.98	0.62	3.42	0.65	1.79	0.24	1.57	0.23	17.18	211.53	198.04	13.50	14.67	22.42	5.21	1.00	0.98
	ML-35/1B	1.27	16.51	8.42	1.45	0.07	5.80		44.38	86.82	9.78	36.06	6.22	2.04	5.24	0.67	3.79	0.74	2.01	0.27	1.74	0.25	19.09	200.00	185.29	14.71	12.59	18.28	4.61	1.06	0.98
	ML-34/1B	1.16	18.20	10.26	1.57	0.05	6.52		49.06	94.08	10.42	37.70	6.48	2.09	5.50	0.72	4.10	0.82	2.29	0.32	2.09	0.30	21.38	215.97	199.83	16.15	* 12.37	16.85	4.88	1.04	0.97
\7 B7	組研	Та	$\mathbf{P}_{\mathbf{b}}$	ЧT	n	Rb/Sr^*	Th/U*		La	ථ	\mathbf{Pr}	Νd	Sm	Eu	Pg	$^{\mathrm{Tb}}$	Dy	Ho	Er	Im	$\mathbf{Y}_{\mathbf{b}}$	Lu	Υ	ZREE	LREE	HREE	REE/HREE	N(qX/PT)	$(La/Sm)_N^*$	δEu*	ðCe*

e 2-2		1		50	32	04	29	58	13	46	66	43	13	73	60	42	п	14	00	23																			Ĩ
unt Tabl				70.	0	14.	3.1	0.1	0.	1.	3.1	4.	0.	0.	99.	 8	Τ.	2	J. (1																			
රි		1		72.14	0.25	13.13	2.78	0.57	0.05	1.07	3.96	4.57	0.08	1.30	06.90	8.53	1.15	2.50	0.98	1.15																			
				71.07	0.32	14.31	2.71	0.48	0.07	1.30	3.93	4.84	0.11	0.63	77.66	8.77	1.23	2.74	1.02	1.22																			
		09CI266		72.58	0.24	14.08	1.67	0.44	0.03	1.22	3.61	4.58	0.08	1.28	99.81	8.19	1.27	2.27	1.07	1.29		10.16	349	38004	2.49	1440	232.4	ю	2.86	2.53	33.56	20.37	168.2	405.2	149	16.48	2.83	1368.6	6.15
		09CI 265		72.55	0.23	14.48	1.78	0.39	0.04	1.90	3.90	3.88	0.09	0.57	99.81	7.78	0.99	2.05	1.03	1.36		17.91	393	32196	2.32	1380	309.9	2.33	1.74	2.13	40.04	21.06	145.6	393.6	157.4	24.88	2.33	1354.1	5.53
	尚岩	09CI264		69.51	0.29	16.27	1.83	0.46	0.04	2.08	3.93	4.75	0.08	0.57	99.81	8.68	1.21	2.84	1.06	1.40		18.15	349	39415	3.13	1740	309.9	2.69	1.89	3.56	41.67	21.52	152.1	561.4	161.6	26.62	1.77	2667.3	5.08
	二长花	9CL263		70.53	0.34	15.09	2.44	0.60	0.05	2.01	3.51	4.72	0.13	0.40	99.82	8.23	1.34	2.46	1.04	1.38		29.77	568	39166	2.98	2040	387.3	3.35	2.24	6.87	54.63	20.9	158.3	540.8	219.2	25.96	2.62	2419.3	6.51
		9CL262 (72.49	0.26	14.05	1.97	0.49	0.04	1.22	3.64	4.42	0.10	1.23	16.90	8.06	1.21	2.20	1.08	1.30		19.29	437	36677	2.31	1560	309.9	2.92	2.35	3.73	50.08	19.43	140.2	389	165.4	20.59	2.36	1602	6.11
		9CI 261 ($\nu(B)/\%$	70.80	0.28	14.84	1.90	0.52	0.03	1.21	3.54	5.30	0.11	1.30	99.83	8.84	1.50	2.81	1.08	1.28	(B)/10-6	28.23	480	43979	3.07	1680	232.4	3.56	5.08	4.58	40.33	20.34	190	327.4	145	21.06	5.09	1639.5	5.4
		9CI 260 (1	69.35	0.36	14.67	2.62	1.14	0.06	2.24	3.22	5.03	0.16	1.07	99.92	8.25	1.56	2.58	0.99	1.36	32	17.66	669	41738	6.86	2160	464.8	5.95	10.17	2.77	39.24	18.55	125.1	549.4	154.4	22.83	1.17	1706.2	7.26
		9CI259 0		73.65	0.18	14.04	1.01	0.32	0.03	0.74	3.17	6.27	0.05	0.35	99.81	9.44	1.98	2.91	1.05	1.17		19.66	218	52028	2.6	1080	232.4	1.64	1.96	8.66	27.44	19.54	226.3	324.3	111.1	24.86	4.11	624.1	5.47
		9CI257 0		67.31	0.31	15.36	3.04	0.79	0.08	2.36	3.85 0	4.84	0.18	1.77	99.89	8.69	1.26	3.11	0.97	1.33		24.85	786	40162	4.28	1860	619.7	4.58	2.26	5.94	54.88	20.7	159.5	728.8	163.6	27.66	3.14	2065 1	5.88
	花岗岩	9CL258 0		75.79	0.04	14.69	0.43	0.06	0.02	0.72	3.98	3.84	0.00	0.51	00.08	7.82	0.96	1.86	1.22	1.37		5.71	104	31864	1.9	240	154.9	0.64	1.06	1.23	20.23	23.38	233.2	93.8	31	15.76	3.08	117.8	1.68
	黑云母钾长花	L-27/2B 0		77.95	0.06	9.50	0.62	0.52	0.02	1.81	3.53	3.84	0.00	0.47	98.32 1	7.37	1.09	1.55	0.72	0.98		7.24	67	32120	0.99	395	133.8	0.39	6.37	0.52	20.16	14.56	75.56	.65.30	60.5	18.28	6.43	403	1.83
		L-44/1B M		73.35	0.22	13.93	1.41	0.31	0.03	1.15	3.95	4.69	0.06	0.36	99.46	8.64	1.19	2.45	1.02	1.20													-	1					
	二长花岗岩	43/1B M		74.82	0.17	12.52	1.59	0.32	0.05	1.21	3.82	4.47	0.10	0.38	99.45	8.29	1.17	2.15	0.94	1.13																			
	中細粒	L-26/2B M		73.06	0.06	13.60	0.64	0.42	0.03	1.89	4.86	3.82	0.00	0.50	98.87	8.68	0.78	2.49	0.87	1.12																			
	~~ 吗	— ⁽¹⁾ M		SiQ	TO_2	Al_2O_3	$\mathrm{TFe_{O_3}}$	MgO	MnO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	IOI	总和	Na_2O+K_2O	K_2O/Na_2O^*	ь	A/NKC*	A/NK*		Li	Р	К	S	Ti	Mn	ප	ż	Gu	Zn	Ga	Rb	Sr	Zr	SP No	S	Ba	Η

3	~
4	0
续表	ahaT
	ţ
	ē

N III:	ML-26/2B ML-43/1B ML-44/1B	10, 10 M.	010 1000	1301000	0001000	0001000	120 1200	0001000							
		ML-2//2B	80777760	1077060	6071060	027760	1077760	7071760	0770A	09CI264	09CI 265	09CI266	I	Ι	Ι
							w(B)/%								
Ta		1.63	0.84	1.98	2.24	2.29	1.85	1.6	1.99	1.97	1.83	1.44			
\mathbf{P}_{D}		33.26	37.48	32.06	29.07	25.52	25.04	25.44	27.72	27.75	24.13	29.29			
Th		21.06	8.74	\$ 20.75	15.97	31.71	24.35	15.68	19.26	14.14	20.67	24.94			
Ŋ		4.61	6.9	4.78	2.11	5.25	3.6	3.99	4.03	3.03	3.83	2.35			
b/Sr*		1.06	2.49	0.22	0.70	0.23	0.58	0.36	0.29	0.27	0.37	0.42			
h/U*		4.57	1.27	4.34	7.57	6.04	6.76	3.93	4.78	4.67	5.40	10.61			
							$w(\mathrm{B})/10^{-6}$								
La		7.59	6.91	48.66	24.26	41.56	35.51	26.51	47.6	38.39	35.46	30.21			
Ce		13.64	10.55	91.23	45.82	7.67	67.77	55.34	93.32	78.51	69.06	58.88			
\mathbf{Pr}		1.55	1.07	10.23	5.31	8.44	7.87	6.82	11.08	8.93	7.94	6.74			
PN		5.55	3.16	34.77	17.63	28.43	27.08	24.38	38.4	30.99	27.1	23.32			
Sm		1.02	0.51	4.72	2.54	3.88	3.79	3.77	5.54	4.62	4.01	3.56			
Eu		0.30	0.13	1.3	0.58	1.05	0.9	0.88	1.29	1.15	0.91	0.8			
Gd		0.86	0.44	3.94	2.15	3.25	3.09	3.09	4.54	3.69	3.21	2.68			
$^{\mathrm{d}}$		0.12	0.07	0.55	0.31	0.44	0.4	0.44	0.63	0.51	0.44	0.36			
Dy		0.70	0.49	2.84	1.85	2.11	1.95	2.23	3.09	2.66	2.26	1.79			
Ho		0.14	0.11	0.55	0.37	0.39	0.35	0.39	0.55	0.46	0.4	0.31			
Er		0.45	0.39	1.64	1.19	1.19	1.05	1.13	1.53	1.35	1.19	0.9			
Tim		0.08	0.08	0.28	0.21	0.2	0.17	0.18	0.24	0.22	0.19	0.14			
$\mathbf{Y}\mathbf{b}$		0.67	0.78	1.84	1.56	1.36	1.19	21.15	1.54	1.42	1.37	0.99			
Lu		0.13	0.16	0.28	0.24	0.21	0.19	0.16	0.2	0.19	0.19	0.14			
Y		4.25	3.68	16.87	12.19	12.21	10.48	11.68	15.65	13.79	12.2	9.49			
REE		32.80	24.85	202.83	104.02	172.21	151.31	126.47	209.55	173.09	153.73	130.82			
REE		29.66	22.33	190.91	96.14	163.06	142.92	117.7	197.23	162.59	144.48	123.51			
IREE		3.15	2.52	11.92	7.88	9.51	8.39	8.77	12.32	10.5	9.25	7.31			
/HREE	*	9.42	8.86	16.02	12.2	17.82	17.03	13.42	16.01	15.48	15.62	16.9			
NdVN *		8.08	6.35	18.97	11.15	21.92	21.4	16.54	22.17	19.39	18.57	21.89			
$M(Sm)_N^*$		4.79	8.75	6.66	6.17	6.91	6.05	4.54	5.55	5.36	5.71	5.48			
3Eu*		0.94	0.82	0.9	0.74	0.88	0.78	0.76	0.76	0.82	0.75	0.76			
ðCe⁺		0.92	0.85	0.95	0.95	0.99	0.95	0.98	0.96	1	0.97	0.97			
ðEu* ðCe*		0.94 0.92	0.82 0.85	0.9 0.95	0.74 0.95	0.88 0.99	0.78 0.95	0.76 0.98	0.76 0.96	0.82 1	0.75 0.97	0.76 0.97			





Fig. 7 Harker diagrams of the major elements of the granites from the Mangling pluton

(>40 km),地壳较厚,相对压力较大(>1.2 GPa), 源岩中有石榴子石的出现;低 Sr 高 Yb 型岩浆来源 较浅(<30 km),地壳较薄,相对压力较小(<0.8 或 1.2 GPa),源岩中无石榴子石的出现。将蟒岭岩体 中花岗岩类岩石投到 Sr-Yb 图解(图9)中,结果显示 岩体早期含辉石黑云角闪闪长岩的投点均落入高 Sr 低 Yb 型(] 区域内 第二期二长花岗岩投点落入高 Sr 低 Yb 型(])和低 Sr 低 Yb 型(]])区域内 ;第三 期黑云母钾长花岗岩投点落入低 Sr 低 Yb 型(]])区 域内 ,说明蟒岭岩体不同期次的岩石形成时的压力 条件不同 ,由早到晚 ,其岩浆来源深度变浅 ,成岩压 力降低。



图 8 蟒岭岩体花岗岩类稀土元素球粒陨石标准化图解(a,c)和微量元素原始地幔标准化蛛网图(b,d) (标准值据 Sun et al., 1989)

Fig. 8 Chondrite normalized REE patterns (a c) and primitive mantle normalized trace element spider diagrams (b d) of the granites from the Mangling pluton (normalization values after Sun et al. , 1989)

1 51

	表 3	蟒岭岩体年龄-	一览表	
	Table 3	Ages of Mangli	ng pluton	
岩性	采样位置	年龄/Ma	测试方法	资料来源
斑状花岗岩	洛南县李原公社马沟	188	单颗粒锆石 U-Pb	严阵等 ,1985
细粒闪长岩	商县广东坪公社崎头山蒲池川	168	单颗粒锆石 U-Pb	严阵等 ,1985
辉石角闪闪长岩	商县大面河公社南	163	单颗粒锆石 U-Pb	严阵等 ,1985
粗粒二长花岗岩	丹凤县庾家河大南沟	139	单颗粒锆石 U-Pb	严阵等 ,1985
中粗粒黑云二长花岗岩	油泉老虎圈采石场	150 ± 13	单颗粒锆石 U-Pb	张宗清等 2006
中粗粒黑云二长花岗岩	汕泉老虎圈采石场	145.0 ± 4.5	黑云母 Ar-Ar	张宗清等 2006
似斑状二长花岗岩	丹凤县蔡川镇清水沟村	149 ± 2	锆石 SHRIMP	王晓霞等 2011
钾长花岗岩	洛南县龙山湾	124.1 ± 2.0	LA-ICPMS 锆石 U-Pb	秦海鹏等 2012a
似斑状二长花岗岩	洛南县龙山湾	158.4 ± 1.8	LA-ICPMS 锆石 U-Pb	秦海鹏等 2012a
似斑状二长花岗岩	洛南县饮马槽	160.5 ± 1.3	LA-ICPMS 锆石 U-Pb	秦海鹏等 2012a
含辉石黑云角闪闪长岩	洛南县大河面乡	157 ± 1	LA-ICPMS 锆石 U-Pb	本文
似斑状黑云母二长花岗岩	洛南县高要镇二道岭	148 ± 1	LA-ICPMS 锆石 U-Pb	本文
中粗粒黑云母二长花岗岩	河南省卢氏县兰草村	144 ± 1	LA-ICPMS 锆石 U-Pb	本文

6.2.2 温度

花岗岩的形成温度计算可通过 Zr、P₂O₅ 以及 Al₂O₃/TiO₂ 等 进 行 计 算(Watson et al., 1983; Sylvester, 1998)。在含水的过铝质岩浆中,如果锆石 达到饱和(表现有未熔的残留锆石核及继承锆石), Zr 的含量是阳离子比值〔(Na + K + 2Ca)(Al×Si)〕 和温度的函数,因此,可以根据花岗岩的成分和 Zr 的 含量计算出熔体的" 锆石饱和温度 (Watson et al., 1983)。锆石饱和温度计求解温度的计算公式为: T_{Z} (℃)=12900/〔 lnD_{Zr} +0.85*M*+2.95〕-273.15



Fig. 9 Sr versus Yb diagram of the Mangling plutons (after Zhang et al. 2006)

不做锆石中 Zr 和 Hf 的校正,则可用纯锆石中的 Zr[u(Zr)为496 000×10⁻⁶]来代替锆石中的 Zr,锆石 作为副矿物,其 Zr 含量对全岩 Zr 含量的影响可以 忽略,所以可近似地用全岩 Zr 含量(×10⁻⁶)来代替 熔体中的 Zr 含量。因此,上述公式中元素 Zr 在熔 体和锆石中的分配系数 $D_{Zr} = u($ 纯锆石 Zr **)** u(全岩 Zr),令 Si + Al + Fe + Mg + Ca + Na + K + P = 1(阳离子数),则公式中的全岩岩石化学参数 M=(2 Ca + K + Na)(Si × Al),用蟒岭岩体的岩石化学 分析数据先求出各样品中 Si、Al、Fe、Mg、Ca、Na、K 和 P 的原子数,再将它们标准化为 1,然后依次求出 $M_{x}D_{Zr}$ 和 T_{Zr} (\mathbb{C})。蟒岭岩体第一期含辉石黑云角 闪闪长岩铝饱和指数 A/CNK = 0.54~0.88(<1), 属准铝质,不符合锆石饱和温度的使用条件,在此不 参与计算。而蟒岭岩体第二期二长花岗岩及晚期黑 云母钾长花岗岩的铝饱和指数 A/CNK 分别为 0.63 ~1.08 和 0.72~1.22,属准铝质-过铝质,本文主要 讨论这 2 期岩石的成岩温度。其计算结果列于表 4, 由表可见,蟒岭岩体不同时期形成时岩浆结晶温度 不同,第二期二长花岗岩的成岩温度较高,介于 735 ~814℃之间,第三期黑云母钾长花岗岩的岩浆结晶 温度为 675~679℃。从第二期到第三期,可见其形 成温度具有降低的趋势。

6.3 岩石成因类型

蟒岭岩体主要岩石类型为似斑状黑云母二长花 岗岩、中粗粒黑云母二长花岗岩、中细粒二长花岗 岩、含辉石黑云角闪闪长岩和黑云母钾长花岗岩。 在矿物组成上,蟒岭岩体岩石中暗色矿物以黑云母 为主,副矿物为榍石、磷灰石、锆石和磁铁矿,显示出 1型花岗岩的矿物组成。

在地球化学特征上,蟒岭岩体岩石_w(SiO₂)变 化大(51.6%~77.95%)富碱(w(Na₂O+K₂O)为 4.35%~9.44%),从早到晚,各期次岩石中SiO₂含

Table 4 Calculations of the zircon saturation temperature from the Mangling pluton 岩性 期次 样品编号 $u(Zr)/10^{-6}$ T_{Zr}/C 平均温度/℃ М $D_{\rm Zr}$ ML-17/1B 185.4 1.83 1.97 768 ML-20/1B 291.01.73 1.92 814 ML-21/1B 190.4 2.33 2.51 735 ML-23/1B 二长花岗岩 晚侏罗世晚期— 249.4 1.69 1.88 804 776 ML-27/1B (本文) 早白垩世早期 164.5 1.81 1.94 759 1.76 1.91 ML-28/1B 192.7 776 ML-29/1B 181.7 1.61 1.84 781 ML-32/1B 159.0 1.66 1.87 767 09CL257 163.6 1.62 1.92 772 09CL259 111.1 1.38 1.48 757 09CL260 154.4 1.54 1.87 773 09CL261 二长花岗岩 145 1.38 1.51 779 晚侏罗世晚期-(秦海鹏等, 09CL262 165.4 1.34 1.48 793 781 早白垩世早期 2012a) 219.2 09CL263 1.45 1.61 810 09CL264 161.6 1.45 1.57 783 09CL265 157.4 1.42 1.54 783 149 1.35 09CL266 1.46 783 1.86 679 ML-27/2B 黑云母钾长 早白垩世 60.5 2.01677 花岗岩 中期 09CL258 675 31 1.15 1.19

o表 4 蟒岭岩体锆石饱和温度计计算结果

量增高 其他主量元素含量降低。含辉石黑云角闪 闪长岩中 K_2O/Na_2O 比值偏低($0.66 \sim 0.88$),铝饱 和指数 A/CNK=0.54~0.88(小于 1.1);稀土元素 球粒陨石标准化配分模式图呈右倾斜型,负铕异常 不明显或呈微弱正铕异常 & Eu = 0.92~1.08 ; 微量 元素表现为富集 K、Rb、Ba、Sr 等大离子亲石元素, 而相对亏损 P、Nb、Ta、Ti 等高场强元素的特征。二 长花岗岩 K2O/Na2O 比值偏高,为0.78~1.98,铝饱 和指数略高于含辉石黑云角闪闪长岩(A/CNK = 0.75~1.02 小于 1.1)稀土元素球粒陨石标准化分 配曲线与含辉石黑云角闪闪长岩一致,呈右倾平滑 型 具微弱的负铕异常或正铕异常, $\delta Eu = 0.71 \sim$ 1.03 微量元素原始地幔标准化蛛网图与含辉石黑 云角闪闪长岩类似, P、Ti 亏损明显, 显示二长花岗 岩具有工型花岗岩的特征。黑云母钾长花岗岩 K₂O/Na₂O比值为 0.96~1.09, 铝饱和指数高于上 述 2 种岩性(A/CNK=0.72~1.22);稀土元素总量 偏低 $(24.85 \times 10^{-6} \sim 32.80 \times 10^{-6})$,稀土元素球粒 陨石标准化分配曲线呈轻稀土右倾、重稀土元素左 倾的不对称弧形,微弱负铕异常(dEu = 0.85 ~ 0.92) 微量元素原始地幔标准化蛛网图上,整体表 现为右倾的曲线模式 Sr 含量偏低(u(Sr)为 93.8× 10⁻⁶~165.3×10⁻⁶] Ba、P、Ti 亏损明显。在 SiO₂-Ce 判别图解 图 10a 冲,所有样品投点均落在1型花 岗岩区域内,在10000 Ga/Al-Na2O+K2O判别图解 (图 10b)中,所有样品投点落在 I&S 型及 A 型花岗 岩过渡线及其附近区域内。以上特征指示蟒岭岩体 花岗岩类具有 I-A 过渡型花岗岩的特征。

6.4 与蟒岭岩体西侧成矿岩体的对比

东秦岭钼矿带是世界第一大钼矿带(Mao et al. 2011),位于黑沟-栾川断裂和商丹断裂之间的北 秦岭地区是其重要组成部分,产出有马河、南台、高 沟、南沟等中小型钼矿床,其周围分布有大量的中酸 性小岩体,如桃官坪岩体、西沟岩体等,这些成矿花 岗岩体与蟒岭岩体在岩体地质、岩石类型及地球化 学特征上具有相似性,但也存在着一定的差异。

北秦岭与钼矿相关的岩体的岩石以二长花岗岩 为主(表5),也见花岗斑岩(南台),前人利用锆石 LA-ICPMS U-Pb 定年得到成矿小岩体的形成年龄 为(157±1) Ma~(151±1) Ma(柯昌辉等,2012a; 2012b),与蟒岭岩体时代接近,略早于蟒岭岩体二长 花岗岩。在地球化学上成矿花岗岩体具有富硅 [u(SiO₂)为 70.19% ~73.86% 】 富碱[u(K₂O+Na₂O) 为8.09%~10.08%〕的特征,SiO₂-K₂O判别图(图 11b) 表明其属于钾玄岩/高钾钙碱性系列;岩体富 Al₂O₃, ru(Al₂O₃)为12.16%~14.88%,铝饱和指数 A/CNK=0.94~1.03,均小于1.1,显示为准铝质-弱过铝质特征(图 11a);蟒岭岩体二长花岗岩也具有 高硅(u(SiO₂) = 70.32%)、富碱(u(K₂O + Na₂O) 为 8.11%) 富 Al₂O3 的特征,但 CaO 含量高于成矿 花岗岩体,铝饱和指数偏低(A/CNK=0.85),显示 为钾玄岩-高钾钙碱性、准铝质-弱过铝质系列(图 11)。稀土元素组成上,成矿花岗岩体稀土元素总量 较蟒岭岩体偏低,特别是桃官坪和南台岩体(SREE $= 31.89 \times 10^{-6} \sim 191.91 \times 10^{-6}$),但 LREE/HREE 和(La/Yb)。比值较高,显示出轻、重稀土元素分馏程



图 10 蟒岭岩体花岗岩类 SiO₂-Ce(a)和10 000 Ga/Al-Na₂O+K₂Q(b)判别图解

Fig. 10 SiO₂ versus Ce and 10 000 Ga/AL a) versus $Na_2O + K_2O(b)$ diagram of the granites from the Mangling plutons

Table 5	General characteristics of	f Mangling pluton and the	ore-bearing granite on the v	vest side
岩体名称	桃官坪	西沟	南台	蟒岭
岩性	二长花岗岩	斑状二长花岗岩	花岗斑岩	二长花岗岩
岩石类型	I-A 型	I-A 型	I-A 型	I-Λ 型
岩体形态	不规则小岩株	不规则小岩株	小规模岩床	岩基
出露面积	${<}1~{ m km}^2$	2 km^2	$\leq 2 \text{ km}^2$	246 km^2
成岩时代	(157±1) Ma	(153±1) Ma	(151 ± 1) Ma	(148±1) Ma
样品数	7个	3个	4 个	8个
资料来源	柯昌辉等,2012a	柯昌辉等,2012a	柯昌辉等,2012b	本文
岩石化学成分		w(B)	3)/%	
SiO_2	71.92	70.19	73.86	70.32
TiO_2	0.23	0.13	0.05	0.28
Λl_2O_3	13.67	14.88	12.16	13.42
TFe_2O_3	2.07	2.63	0.25	2.16
MnO	0.06	0.09	0.02	0.04
CaO	1.37	1.92	1.10	2.71
MgO	0.65	0.82	0.52	0.94
K_2O	4.87	4.05	9.74	4.25
Na ₂ O	3.67	4.04	0.34	3.86
P_2O_5	0.09	0.12	0.00	0.12
$K_2O + Na_2O$	8.53	8.09	10.08	8.11

表 5 北秦岭蟒岭岩体与其西侧成矿花岗岩体特征一览表

注: * 单位为1。

A/CNK*



1.03



Fig. 11 A/CNK-A/NK (a) and SiO₂-K₂O diagrams (b) for Mangling pluton and the ore-bearing granite on the west side (after Peccerillo et al., 1976; Rickwood, 1989)

度较高,在稀土元素球粒陨石标准化曲线图(图 12a) 上,均表现为轻稀土元素富集的右倾曲线,但成矿花 岗岩体具有明显的负销异常(ôEu=0.39~0.88),蟒 岭岩体呈微弱负销异常或正销异常(ôEu=0.71~ 1.03);微量元素原始地幔标准化蛛网图(图 12b)上,

1.00

成矿花岗岩体与蟒岭岩体均显示富集大离子亲石元 素(Rb、K、Sr等),而相对亏损高场强元素(P、Ti等) 的特征,但成矿花岗岩体相对于蟒岭岩体,更亏损 Ba、 P、Ti,而富集 Ta、Nb 元素。以上特征表明,蟒岭岩体 二长花岗岩与区域内的成矿岩体具有一定的差异。

0.94

0.85



图 12 北秦岭蟒岭岩体及其西侧成矿花岗岩体稀土元素球粒陨石标准化图解(a)和微量元素原始地幔标准化蛛网图(b) (标准值据 Sun et al., 1989)

Fig. 12 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle normalized trace element spider diagrams (b) of Mangling pluton and the ore-bearing granite on the west side (normalization values after Sun et al., 1989)

前人研究表明东秦岭钼矿床形成时代可划分为 4个期次:印支期(260~205 Ma)、晚侏罗世一早白 垩世早期(148~138 Ma)、早白垩世中期(135~119 Ma)和早白垩世晚期(116~105 Ma)(毛景文等, 2005b; Mao et al., 2008; 2010; 黄凡等, 2011), 蟒岭 岩体二长花岗岩主要形成于148~144 Ma之间,与尘 述第二阶段的钼矿床形成时代较吻合。柯昌辉等 (2012b)对蟒岭岩体西侧南台钼多金属矿床的研究 表明,南台花岗斑岩的源区物质具有多种组分的特 征,以壳源组分为主,可能有少量幔源组分的混入, 暗示其成矿物质也可能主要来源于下地壳,但地幔 组分对成矿也有贡献,蟒岭岩体的岩石地球化学特 征表明其源岩主要为下地壳物质,陈岳龙等(1996) 测得二长花岗岩的 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值为 $-3.7 \sim -3.3$,秦海 鹏等(2012b)测得二长花岗岩的 ε_{HF}(t)值变化于 -9.4~-3.1, t_{DM2}=1.4~2.3 Ga,也暗示蟒岭岩 体具有多源的特征,但主要为中新元古代地壳物质, 并混入少量幔源物质。以上特征表明,蟒岭岩体与 该区钼多金属矿床在成岩成矿的时代和物质来源等 方面具有一定的相似性,但值得注意的是,蟒岭岩体 二长花岗岩与该区成矿岩体在地球化学上略有差 异,因此,蟒岭岩体是否成矿有待进一步的深入研 究。

7 结 论

(1) 蟒岭岩体的形成时间跨度大约有 30 Ma,包

括3期岩浆作用: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 期一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) Ma)。

(2) 蟒岭岩体不同期次岩石的成岩物理化学条件不同,从含辉石黑云角闪闪长岩→二长花岗岩→ 黑云母钾长花岗岩,其成岩压力逐渐降低,岩浆结晶 温度也具有降低的趋势。

(3) 蟒岭岩体晚侏罗世早期含辉石黑云角闪闪 长岩 SiO₂ 含量偏低,富碱,为准铝质、钾玄岩-高钾钙 碱性系列岩石;晚侏罗世晚期一早白垩世中期花岗 岩类岩石具有高硅、富碱的特征,属于准铝质-弱过 铝质、钾玄岩-高钾钙碱性 I-A 过渡型花岗岩。

(4) 蟒岭岩体二长花岗岩与其西侧成矿花岗岩 体均具有高硅、富碱的特征,稀土元素球粒陨石标准 化曲线呈轻稀土元素富集的右倾斜型;与区域钼多 金属矿床在成岩成矿的时代和物质来源等方面具有 一定的相似性,但蟒岭岩体二长花岗岩没有明显的 Eu 异常,且微量元素组成与成矿岩体具有一定的差 异,其成矿潜力有待进一步研究。

志 谢 中国地质大学(武汉)地质过程与矿产 资源国家重点实验室和西北大学大陆动力学国家重 点实验室在锆石年龄测试、数据分析,以及中国地质 大学(北京)地质实验中心在地球化学分析中都给予 了大力的帮助;审稿专家对本文提出了宝贵的修改 意见;在此一并表示感谢!

参考文献/References

- 安三元, 卢欣祥. 1984. 东秦岭中生代斑岩组合的地质特征及成矿关 系[A]. 主编:徐克勤,涂光志. 花岗岩地质与成矿[C]. 南京: 江苏科学技术出版社. 398-405.
- 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—中国地质大学学报,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.
- 郭 波,朱赖民,李 牛,弓虎军,王建其.2009. 华北陆块南缘华 山和合峪花岗岩岩体锆石 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.
- 河南省地质矿产局. 1989. 河南省区域地质志[M]. 北京 地质出版 社. 774页.
- 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.
- 洪大卫,王 涛,童 英,王晓霞.2003. 华北地台和秦岭-大别-苏 鲁造山带的中生代花岗岩与深部地球动力学过程[J]. 地学前 缘,10(3):231-256.
- 黄 凡,王登红,陆三明,陈毓川,王波华,李 超.2011. 安徽省
 金寨县沙坪沟钼矿辉钼矿 Re-Os 同位素年龄-兼论东秦岭大别山
 中生代钼成矿作用期次划分[J]. 矿床地质,30(6):1039-1057.
- 焦建刚,汤中立,钱壮志,袁海潮,闫海卿,孙 涛,徐 刚,李小 东. 2010. 东秦岭金堆城花岗斑岩体的锆石 U-Pb 年龄、物质来 源及成矿机制[J]. 地球科学——中国地质大学学报,35(6): 1011-1022.
- 柯昌辉,王晓霞,李金宝,齐秋菊.2012a.北秦岭马河钼矿区花岗岩 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. 北秦岭南台钼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.
- 李厚民,陈毓川,叶会寿,王登红,郭保健,李永峰.2008.东秦岭-大别地区中生代与岩浆活动有关银(钨)金银铅锌矿床成矿系列 []].地质学报,82(11):1468-1477.
- 李先梓,严 阵,卢欣祥. 1993. 秦岭-大别山花岗岩[M]. 北京:地 质出版社. 216页.
- 刘长命,卢欣祥,张正伟. 1989. 东秦岭花岗岩类稀土元素的地球化 学特征 J]. 河南地质,7(2):32-39.
- 刘国惠,张寿广,游振东. 1993.秦岭造山带主要变质岩群及变质演 (化 M].北京:地质出版社. 190页.
- 卢欣祥.1991.东秦岭花岗岩[A].秦岭造山带学术讨论会论文选集 [C].西安:西北大学出版社.250-260.

- 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.
- 陆松年,李怀坤,陈志宏. 2003. 秦岭中-新元古代地质演化及对 Rodinia 超级大陆事件的响应 M].北京 地质出版社. 194 页.
- 罗铭玖,林潜龙,卢欣祥,陈铁华.1993.东秦岭含钼花岗岩的地质 特征[J].河南地质,11(1):2-8.
- 马昌前,杨坤光,明厚利,林广春.2003.大别山中生代地壳从挤压 转向伸展的时间:花岗岩的证据[J].中国科学(D辑),33(9): 817-827.
- 毛景文,李晓峰,张荣华,王义天,赫 英,张作衡,凌洪飞,李红 艳,胡华斌,丁悌平,姜耀辉,李厚民,李永峰,张长青,王立 华,胡书敏,谢桂青,田世红,牛树银.2005a.深部流体成矿系 统 M].北京:中国大地出版社.365页.
- 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期次及其地球动力学背景 [J].岩石学报,21(1):169-188.
- 孟 芳. 2010. 豫西老君山花岗岩体特征及其成矿作用(硕士论文)
 [D]. 导师: 毛景文, 叶会寿.北京:中国地质大学.70页.
- 孟 芳,叶会寿,周 珂,高亚龙.2012.豫西老君山地区母矿地质 特征及辉钼矿 Re-Os 同位素年龄[J].矿床地质,31(3):480-492.
- 孟旭阳, 王晓霞, 柯昌辉, 李金宝, 杨 阳, 吕星球. 2013. 南秦岭华 阳花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、地球化学和 Hf 同位素组 成——对五龙岩体群成因的约束 J]. 地质通报, 32(11):1704-1719.
- 聂凤军,樊建庭. 1989. 陕西金堆城-黄龙铺地区含钼花岗岩类稀土 元素地球化学研究 J]. 岩石矿物学杂志, & (1):24-33.
- 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瓶[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.
- 尚瑞钧,严 阵. 1988. 秦巴花岗岩[M]. 武汉:中国地质大学出版 社. 224页.
- 王卫星,邓 军,龚庆杰,韩志伟,吴发富,张改侠. 2010. 豫西熊 耳山五丈山、花山、合峪花岗岩体与金成矿关系[J]. 黄金地质, 31(4):12-17.
- 王晓霞,王 涛,齐秋菊,李 舢.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,21(6):1573-1593.
- 王学仁,华洪,孙勇.1995.河南西峡湾潭地区二朗坪群微体化 石研究[]].西北大学学报(自然科学版),25(4):353-358.
- 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.

- 严 阵,许志成,张海军. 1985. 陕西省花岗岩[M]. 西安交通大学 出版社. 321页.
- 叶会寿,毛景文,李永峰,郭保健,张长青,刘 珺,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.
- 游振东,索书田,韩郁菁,钟增球,陈能松.1991.造山带核部杂岩 变质过程与构造解析——以东秦岭为例[M].武汉:中国地质大 学出版社.326页.
- 袁海潮,张 锋,何忙忙,李 莉,郝玉娟.2007.陕西洛南马河钼 矿地质特征及成矿远景分标[].西北地质,40(增刊):79-87.
- 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. 806页.
- 张 旗,王 焰,李承东,王元龙,金惟俊,贾秀勤. 2006. 花岗岩 的 Sr-Yb 分类及其地质意义[J]. 岩石学报,22(9):2249-2269.
- 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学和地球化学 [M].北京地质出版社.348页.
- 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[]].矿床地质,29(1):143-157.
- 赵 姣,陈丹玲,谭清海,陈 森,朱小辉,郭彩莲,刘 良. 2012. 北秦岭东段二郎坪群火山岩锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 定年及其 地质意义[J]. 地学前缘,19(4):118-125.
- 周 珂,叶会寿,毛景文,屈文俊,周树峰,孟 芳,高亚龙.2009.
 豫西鱼池岭斑岩型钼矿床地质特征及其辉钼矿铼-锇同位素年龄
 []].矿床地质,28(2):170-184.
- Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ²⁰⁴Pb[J]. Chemical Geology, 192(1-2):59-79.
- Hu Z C , Gao S , Liu Y S , Hu S , Chen H H and Yuan H L. 2008. Signal enhancement in laser ablation ICP-MS by addition of nitrogen in the central channel gas J J. Journal of Analytical Atomic Spectrometry , 23(8):1093-1101.
- Liu Y S , Hu Z C , Gao S , Günther D , Xu J , Gao C G and Chen H H. 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard J J. Chemical Geology , 257 (1-2):34-43.
- Liu Y S , Gao S , Hu Z C , Gao C G , Zong K Q and Wang D B. 2010a. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China Orogen : U-Pb dating , Hf isotopes and trace elements in zircons of mantle xenoliths J]. Journal of Petrology , 51(1-2): 537-571.

- Liu Y S , Hu Z C , Zong K Q , Gao C G , Gao S , Xu J and Chen H H. 2010b. Reappraisement and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS[J]. Chinese Science Bulletin , 55(15):1535-1546.
- Mao J W , Xie G Q , Bierlein F , Qü 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 : Journal of the Geochemical Society and the Meteoritical Society , 72 (18):4607-462.
- Mao J W, Xie G Q, Pirajno F, Ye H S, Wang Y B, 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, 57(1):51-78.
- Mao J W, Pirajno F, Xiang J F, Gao J J, Ye H S, Li Y F and Guo J. 2011. Mesozoic molybdenum deposits in the east Qinling-Dabie orogenic belt : Characteristics and tectonic settings[J]. Ore Geology Reviews , 43(1):274-293.
- Meng Q R and Zhang G W. 2000. Geologic framework and tectonic evolution of the Qinling orogen, central China [J]. Tectonophysics, 323(3-4):183-196.
- Peccerillo R and Taylor S R. 1976. Geochemistry of Eocene calalkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 58:63-81.
- Rickwood P C. 1989. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides major and minor elements J]. Lithos , 22(4):247-263.
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts : Implications for mantle composition process J J. Geological Society , London , Special Publications. 42 : 313-345.
- Sylvester P J. 1998. Post-collisional strongly peraluminous granites [J]. Lithos, 45(1-4):29-44.
- Wang X X , Wang T and Zhang C L. 2013. Neoproterzoic , Paleozoic , and Mesozoic granitoid magmatism in the Qinling Orogen , China : Constraints on orogenic process[J]. Journal of Asian Earth Sciences , 72 : 129-151.
- Watson E B and Harrison T M. 1983. Zircon saturations revisited: Temprature and composition effects in a variety of crustal magma types J J. Earth and Planetary Science Letters, 64(2):295-304.
- Yuan H L , Gao S , Liu X M , Li H M , Cünther D and Wu F Y. 2004. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry[J]. Geostandards and Geoanalytical Research , 28(3): 353-370.