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*

柯昌辉[1] 王晓霞[1**] 李金宝[2] 齐秋菊[3,4]

KE ChangHui[1], WANG XiaoXia[1**], LI JinBao[2] and QI QiuJu[3,4]

1. 中国地质科学院矿产资源研究所,北京 100037
2. 长安大学地球科学与资源学院,西安 710054
3. 有色金属华东地质勘查局资源调查与评价研究院,南京 210007
4. 中国地质大学,北京 100083

1. *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing* 100037, *China*
2. *Faculty of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an* 710054, *China*
3. *Institute of Resource Survey and Assessment, ECE, Nanjing* 210007, *China*
4. *China University of Geosciences, Beijing* 100083, *China*

2011-09-25 收稿, 2011-12-01 改回.

Ke CH, Wang XX, Li JB and Qi QJ. 2011. Geochronology and geological significance of the granites from the Mahe Mo deposit in the North Qinling. *Acta Petrologica Sinica*, 28(1):267 -278

Abstract LA-ICP-MS U-Pb dating for the granites from the Taoguanping and Xigou plutons in the Mahe Mo deposit in the North Qinling yields concordant ages of 157 ± 1Ma (NSWD = 13) and 153 ± 1Ma (NSWD = 14) respectively indicating that the two plutons were formed at late Jurassic. The Mahe Mo deposit is closely related to the two plutons. Therefore these ages may suggest the Mo deposit formed at Late Jurassic appreciably later than 157 ~ 153Ma. The granites from the Taoguanping and Xigou plutons are characterized by high in silica (68.12% ~76.33%) and alkali ($Na_2O + K_2O$ = 6.35% ~10.38%) with the A/CNK of 0.85 ~1.14 and lager variation of K_2O/Na_2O (0.91 ~1.89), showing that they are metaluminous or weakly peraluminous and high-K calc-alkaline series. The Taoguanping and Xigou granites are enriched in U, Pb, Hf, but depleted in Rb, Ba, K, Sr and P. The REE patterns are characterized by enrichment in LREE with weak negative abnormal of Eu (0.5 ~0.9), but a few samples have weak positive Eu anomalies (1.05 to 1.08). The granites are similar to the molybdenum deposits related granites in the southern margin of the North China Block in enriched in SiO_2 and $Na_2O + K_2O$. However, these granites are lower in SiO_2, $Na_2O + K_2O$ and higher in CaO and MgO than the granites in the southern margin of the North China Block. It may be one reason that the Mahe Mo deposit is not as larger as the deposits in the southern margin of the North China Block.

Key words Granite; LA-ICP-MS zircon U-Pb dating; Geochemistry; Mahe Mo deposit; North Qinling

摘 要 本文对北秦岭马河钼矿区桃官坪中-细粒二长花岗岩和西沟斑状二长花岗岩进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测定,分别获得了 157 ±1Ma(NSWD = 13)和 153 ±1Ma(NSWD = 14)的谐和年龄,表明其为晚侏罗世侵入体。马河钼矿的形成与这两个侵入体密切相关,据此限定该钼矿床成矿时代略晚于 157 ~153Ma,为侏罗世晚期成矿。桃官坪和西沟花岗岩具有高硅(68.12% ~76.33%),富碱($Na_2O + K_2O$ = 6.35% ~10.38%)的特征,K_2O/Na_2O 变化较大(0.91 ~1.89),A/CNK 在 0.85 ~1.14 之间,为准铝质-弱过铝质高钾钙碱性系列。微量元素上富集 U、Pb、Hf 等高场强元素,亏损 Rb、Ba、K、Sr、P 等大离子亲石元素。稀土元素配分曲线为轻稀土相对富集的右倾型,多数具有弱的负铕异常(δEu = 0.5 ~0.9),少数样品具有弱正铕异常

* 本文受中国地质调查项目(1212010012012、1212010811033)和国土部公益性行业科研专项(200911007-09、201111007-2)联合资助.

第一作者简介: 柯昌辉,男,1987 年生,硕士生,矿物学、岩石学、矿床学专业,E-mail:kechanghuicags@126.com

** **通讯作者**:王晓霞,女,1960 年生,博士,研究员,岩石学专业,E-mail:xiaoxiawang@hotmail.com

(δEu = 1.05 ~ 1.08)。与华北地块南缘与钼矿有关的花岗岩相比,二者均具有高硅、高钾、富碱的特征。但马河钼矿区成矿花岗岩比华北地块南缘的稍基性,这可能是导致马河钼矿的矿床规模比华北地块南缘较小的原因之一。

关键词 花岗岩;LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄;地球化学;马河钼矿;北秦岭

中图法分类号 P588.121; P597.3

东秦岭钼矿带是中国重要的大型钼矿分布区之一(黄典豪等,1984;李永峰等,2003,2005;叶会寿等,2006),也是世界第一大钼矿带(Mao *et al.*, 2011)。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,钼金属储量约占全国总储量的 66%(张正伟和邓军,2001;Mao *et al.*, 2011)。位于黑沟-栾川断裂带以南和商-丹断裂带以北的北秦岭地区,是东秦岭钼矿带的重要组成部分,产出有寺沟、马河、高沟、南台、银厂沟等钼(铅、锌)矿床;其周边均分布有大的花岗岩岩基如牧护关岩体和蟒岭岩体,并产出有大量花岗岩类小岩体。二者在钼矿床形成过程中,具有时空统一性(张正伟等,2001),即钼矿形成与区内广泛分布的燕山期中酸性深源浅成型花岗岩有关(卢欣祥等,2002;李永峰等,2004)。

北秦岭马河钼矿位于陕西省渭南市洛南县谢湾乡桃官坪村,地理坐标为东经 110°07′9″ ~ 110°09′37″,北纬 33°59′41″ ~ 33°59′59″。是西北有色地质勘查局七一二总队 1977 年矿产普查时发现的,2006 年经过洛南县安华矿业有限公司详细勘查,已达到中型规模。袁海潮(2007)对该矿床的地质特征与远景进行了分析,根据详细的矿区地质考察和矿床成因浅析,表明该钼矿属岩浆期后高-中温热液矿床,矿体主要分布于岩体外接触带附近,为典型的受岩浆活动控制的岩浆期后热液型钼矿床。但对成矿岩体的研究比较薄弱,前人曾给出 1.4 ~ 1.8 亿年的成岩年龄(西北有色地质勘查局七一二总队,1981①),与华北地台南缘产出的其它钼矿床的成岩时代有很大的出入。为此,笔者在详细的岩相学及地球化学研究的基础上,开展精确的锆石 LA-ICP-MS 定年研究,厘定岩体的形成时代,并对其地质意义进行了探讨,为该矿床成因的进一步研究提供岩石学方面的依据。

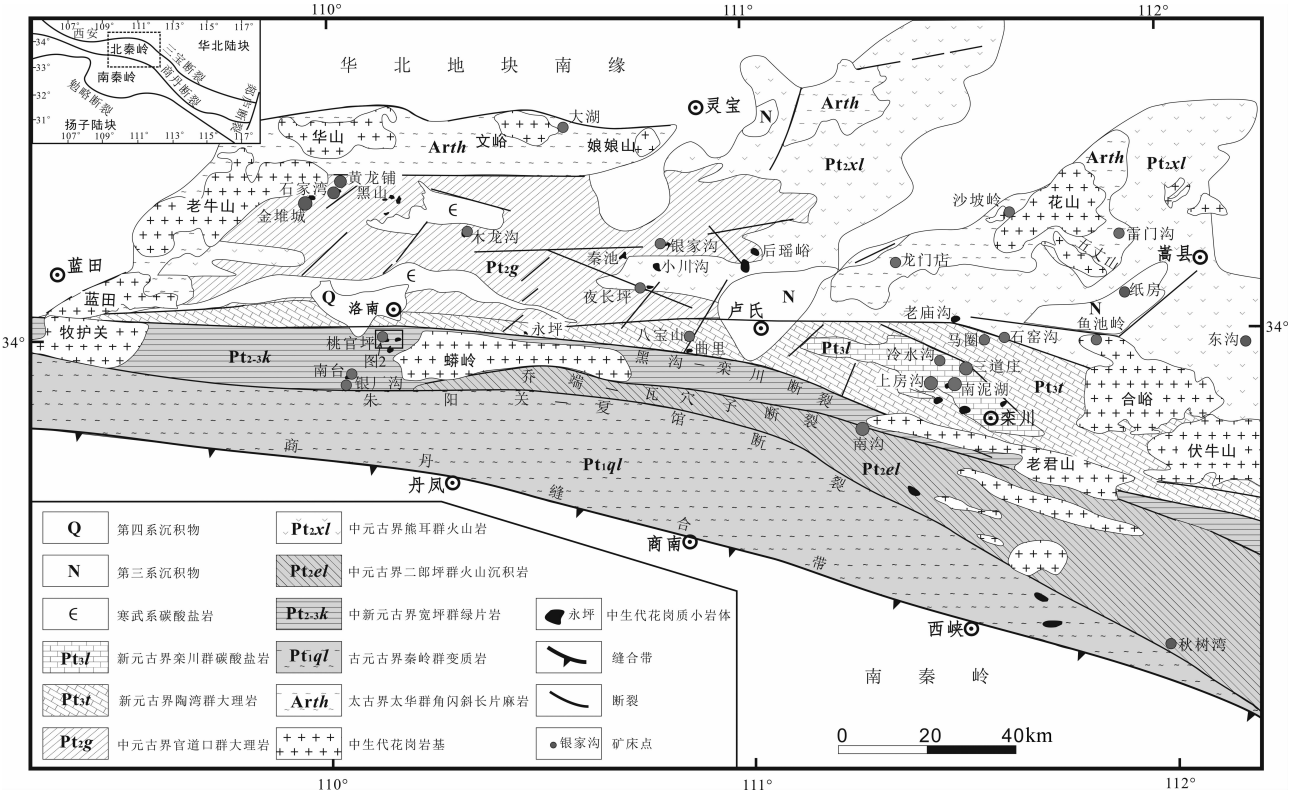


图 1 东秦岭地区晚中生代花岗岩分布简图(据卢欣祥,1999;陕西省 204 分队,1990②修改)

Fig. 1 Sketch map of the distribution of the Mesozoic granitoids of the Eastern Qinling (modified after Lu, 2000)

① 西北有色地质勘查局七一二总队. 1981. 陕西省洛南县马河钼矿区普查评价报告

② 陕西省(地质矿产局区域地质调查队)204 分队. 1990. 1∶20 万商南幅地质图

1 区域地质概况

研究区位于北秦岭宽坪群内，属于东秦岭钼矿成矿带南部。北秦岭构造带位于秦岭造山带北段，是指商丹缝合带与黑沟-栾川断裂带之间的秦岭造山带的核心区域，主要呈近东西向展布，东西延伸千余千米，南北宽一般小于 60km。区内自北向南有 4 条深大断裂（图 1），黑沟-栾川断裂，乔端-瓦穴子断裂，朱阳关-夏馆断裂和商丹断裂，将本区划分为宽坪群，二郎坪群和秦岭群。

区域上黑沟-栾川断裂和朱阳关-夏馆断裂之间的宽坪群内晚中生代岩浆作用强烈，形成了大量的花岗岩类（图 1）。典型的大岩体有牧护关和蟒岭岩体，主要岩石类型均为二长花岗岩，形成于侏罗纪（王晓霞等，2011；丁丽雪等，2010；张宗清等，2006）。小的岩体主要分布在大岩体的周围，如桃官坪、西沟、崎头山、南台、银厂沟等岩体，大多与钼矿床有着密切的关系，但均缺乏可靠的年龄资料。研究区内自西向东依次出露有桃官坪、闯沟和西沟岩体，其中桃官坪和西沟岩体分别位于马河钼矿东西两个矿区内，与成矿关系密切。此外，研究区还可见石英脉、花岗斑岩脉、闪长岩脉、闪长玢岩脉及云斜煌斑岩脉等脉岩。

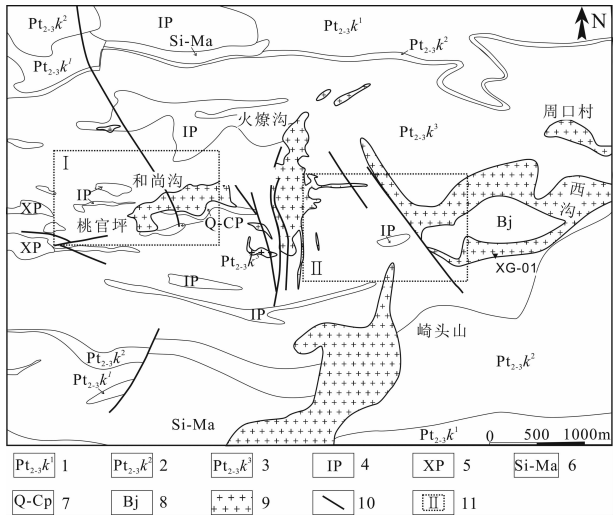


图 2 马河钼矿区地质简图（据西北有色地质勘查局七一二总队，2006①修编）

1-中-新元古界宽坪群黑云钠长石英片岩夹大理岩；2-中-新元古界宽坪群二云石英片岩、黑云斜长石英片岩；3-中-新元古界宽坪群绿片岩夹大理岩、石英岩、石英片岩透镜体；4-硅化（角岩化）二云母石英片岩；5-矽卡岩化大理岩；6-硅化大理岩；7-二云母斜长石英片岩；8-爆破角砾岩；9-花岗岩体；10-断层；11-矿区及编号：Ⅰ-东矿区，Ⅱ-西矿区

Fig. 2 Geological sketch map of Mahe molybdenum deposit

2 岩体地质及岩相学

桃官坪岩体（图 2）出露面积不足 1km^2，长约 1km，宽约 200m，长轴方向近于东西，岩体与宽坪群的黑云钠长石英片岩呈侵入接触。主要岩性为中-细粒二长花岗岩（图 3a）、块状构造，具二长结构，主要矿物组成为石英（25% ~30%）、斜长石（30% ~35%）、钾长石（30% ~40%）、白云母 3% 左右、黑云母 2% 左右（图 3c），副矿物为磷灰石、榍石、锆石等。石英呈他形粒状，粒径为 0.5 ~2mm 不等，具波状消光；碱性长石呈半自形-他形粒状，粒径 1mm 左右，发育卡氏双晶和格子双晶，少数具条纹结构；斜长石呈半自形，粒径为 1mm 左右，有的可达 2mm，发育聚片双晶；白云母呈无色，叶片状；黑云母呈褐色，叶片状，多色性、吸收性明显，局部见有绿泥石化现象。此外，岩体西边产出有爆破角砾岩，岩体中还可见少量的岩浆暗色包体。

西沟岩体（图 2）呈不规则状，出露面积 2km^2 左右，长约 2km，宽约 1km，岩体与宽坪群黑云钠长石英片岩呈侵入接触，主要岩性为斑状二长花岗岩（图 3b），边部出现细粒花岗闪长岩，块状构造，具似斑状结构。斑晶含量大约为 15%，主要为钾长石和斜长石，钾长石含量大于斜长石，少量石英。基质为全晶质，主要矿物组成为石英（25% ~30%）、斜长石（30% ~35%）、钾长石（30% ~40%），少量白云母和黑云母（图 3d），副矿物为磁铁矿、磷灰石、榍石、锆石等。钾长石斑晶主要呈半自形板状结构，粒径为 3 ~4mm，有的可达 5mm，发育卡氏双晶，局部可见格子双晶，表面因风化蚀变不干净；斜长石斑晶呈半自形板状，粒径与钾长石斑晶相当，发育聚片双晶，少量斜长石具有绢云母化、高岭土化；基质具花岗结构，粒径一般在 0.5 ~1mm。岩体中也可见少量的岩浆暗色包体。

3 样品及分析方法

本次用于定年的样品分别采自马河钼矿区桃官坪岩体（编号 TGP-05，采样位置 N47°29′32″，E89°03′35″）和西沟岩体（编号 XG-01，采样位置 N47°30′05″，E89°04′04″）。10 件新鲜未蚀变样品采自桃官坪、火燎沟（TGP-06 和 TGP-08）和西沟岩体的不同位置，用于元素地球化学分析。

样品的主量元素、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 ICP-MS 完成，样品溶解在高压溶样弹中进行。

锆石分选在中国地质科学院廊坊物化探研究所完成。将挑选好的无色透明无裂隙不含包裹体的锆石用环氧树脂固定，待环氧树脂充分固化后抛光至锆石露出核部，然后进行锆石的 CL 照相及 LA- ICPMS 分析。锆石的 CL 图象分析

① 西北有色地质勘查局七一二总队. 2006. 陕西省洛南县马河钼矿区详查地质报告



图 3 桃官坪和西沟岩体野外和显微结构照片

(a)-桃官坪中-细粒二长花岗岩野外露头;(b)-西沟斑状二长花岗岩野外露头;(c)-桃官坪中-细粒二长花岗岩的半自形粒状结构(正交偏光);(d)-西沟斑状二长花岗岩的斑状结构(正交偏光). Q-石英;Kfs-钾长石;Bi-黑云母;Pl-斜长石;Ms-白云母

Fig. 3 Field and microstructure photographs of Taoguanping and Xigou rock masses

是在北京离子探针中心的阴极荧光仪上完成。锆石的 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-MS Elan6100DRC 进行测定。激光剥蚀系统为德国 Lamda Phvsik 公司生产的 Geolas 200M 深紫外(DUV) 193nmArF 准分子(excimer)激光剥蚀系统,该系统相对常规的 266nm 或 213nm ND:YAG 剥蚀系统具有较小的元素分馏效应。分析所采用的激光束直径为 30μm,剥蚀深度为 20 ~ 40μm。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 3.23v (Luddwing, 1991)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,$^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄按 95% 的置信度给出,分析结果见表 1。详细分析参见文献(Yuan *et al.*,2004)。

4 分析结果

4.1 锆石 LA-ICP-MS 定年

4.1.1 锆石特征

采自桃官坪和西沟岩体的 2 个花岗岩类样品 TGP-05 和 XG-01 中的锆石多为浑圆状,自形程度较高,颗粒较大,宽度多为 60 ~ 100μm,多数长宽比为 1.5∶1 到 2∶1,少数呈长柱状,长宽比达到 4∶1。阴极发光图像(图 4)显示,锆石晶形完好,震荡环带清晰,具有岩浆锆石的特征。桃官坪中-细粒二长花岗岩(TGP-05)中锆石的 U 含量为 $83 \times 10^{-6} \sim 1613 \times 10^{-6}$。Th 含量为 $81 \times 10^{-6} \sim 741 \times 10^{-6}$。U/Th 比值为 0.95 ~ 2.33,平均值为 1.66,大于 0.5;西沟斑状二长花岗岩(XG-01,除 XG-01-11 测点外)的 U 含量为 $150 \times 10^{-6} \sim 1643 \times 10^{-6}$。Th 含量为 $177 \times 10^{-6} \sim 1068 \times 10^{-6}$。锆石的 $^{238}U/^{232}Th$ 比值(除 XG-01-11 外)为 0.67 ~ 2.31,平均值为 1.33,

表 1 桃官坪和西沟花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测定结果

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb data of the granites from Taoguanping and Xigou plutons

测点号	Pb ($\times10^{-6}$)	Th ($\times10^{-6}$)	U ($\times10^{-6}$)	$^{238}U/^{232}Th$	同位素比值			$^{207}Pb/^{206}Pb$ (Ma,1σ)	$^{207}Pb/^{235}U$ (Ma,1σ)	$^{206}Pb/^{238}U$ (Ma,1σ)
					$^{207}Pb/^{206}Pb$	$^{207}Pb/^{235}U$	$^{206}Pb/^{238}U$			
桃官坪岩体										
TGP-05-2	10	272	324	1.23	0.0512±0.0014	0.1758±0.0049	0.0248±0.0002	250±61	164±4	158±2
TGP-05-3	12	245	402	1.79	0.0526±0.0013	0.1762±0.0041	0.0245±0.0002	322±57	164±4	156±1
TGP-05-5	3	81	83	1.05	0.0547±0.0029	0.1889±0.0099	0.0253±0.0004	398±123	176±8	161±3
TGP-05-6	35	622	1238	1.93	0.0484±0.0008	0.1663±0.0036	0.0248±0.0003	120±42	156±3	158±2
TGP-05-7	28	420	944	2.33	0.0490±0.0007	0.1666±0.0023	0.0247±0.0002	146±27	156±2	157±1
TGP-05-8	16	208	574	2.37	0.0506±0.0014	0.1715±0.0050	0.0246±0.0002	220±67	161±4	157±1
TGP-05-9	46	741	1613	2.18	0.0474±0.0010	0.1612±0.0044	0.0246±0.0004	78±54	152±4	157±3
TGP-05-10	16	350	503	1.48	0.0508±0.0013	0.1724±0.0045	0.0247±0.0003	228±57	162±4	157±2
TGP-05-11	10	329	287	0.95	0.0510±0.0027	0.1705±0.0076	0.0248±0.0003	243±122	160±7	158±2
TGP-05-13	10	232	340	1.36	0.0487±0.0015	0.1635±0.0051	0.0247±0.0003	132±77	154±4	157±2
TGP-05-14	8	287	263	1.11	0.0526±0.0032	0.1769±0.0100	0.0246±0.0003	322±145	165±9	157±2
TGP-05-17	25	536	839	1.56	0.0463±0.0007	0.1564±0.0032	0.0245±0.0002	99±46	148±3	156±1
TGP-05-20	18	287	633	2.24	0.0474±0.0011	0.1618±0.0047	0.0247±0.0004	78±56	152±4	157±2
西沟岩体										
XG-01-1	38	1643	1068	0.67	0.0468±0.0009	0.1546±0.0030	0.0240±0.0003	39±44	146±3	153±2
XG-01-2	23	809	696	0.95	0.0510±0.0021	0.1708±0.0074	0.0242±0.0002	239±96	160±6	154±1
XG-01-3	24	386	914	2.53	0.0482±0.0008	0.1599±0.0029	0.0241±0.0003	109±37	151±2	153±2
XG-01-5	20	656	652	1.03	0.0479±0.0012	0.1571±0.0036	0.0238±0.0002	100±59	148±3	152±1
XG-01-6	27	444	986	2.31	0.0494±0.0008	0.1647±0.0030	0.0241±0.0002	165±42	155±3	154±2
XG-01-8	6	193	182	1	0.0509±0.0027	0.1680±0.0096	0.0240±0.0005	235±122	158±8	153±3
XG-01-9	24	432	855	2.1	0.0481±0.0009	0.1607±0.0034	0.0241±0.0002	106±44	151±3	154±1
XG-01-11	111	6794	2633	0.39	0.0519±0.0036	0.1718±0.0110	0.0241±0.0004	280±153	161±10	153±2
XG-01-12	23	399	807	2.07	0.0506±0.0010	0.1690±0.0033	0.0242±0.0002	233±79	159±3	154±2
XG-01-14	22	360	755	2.19	0.0519±0.0009	0.1738±0.0033	0.0242±0.0003	280±39	163±3	154±2
XG-01-16	16	449	506	1.17	0.0537±0.0015	0.1806±0.0058	0.0244±0.0004	367±60	169±5	155±3
XG-01-17	8	266	254	0.97	0.0541±0.0032	0.1734±0.0095	0.0239±0.0006	372±133	162±8	152±4
XG-01-18	5	177	151	0.98	0.0517±0.0023	0.1707±0.0088	0.0239±0.0004	272±102	160±8	152±2
XG-01-19	5	245	150	0.71	0.0518±0.0042	0.1716±0.0151	0.0240±0.0003	280±185	161±13	153±2

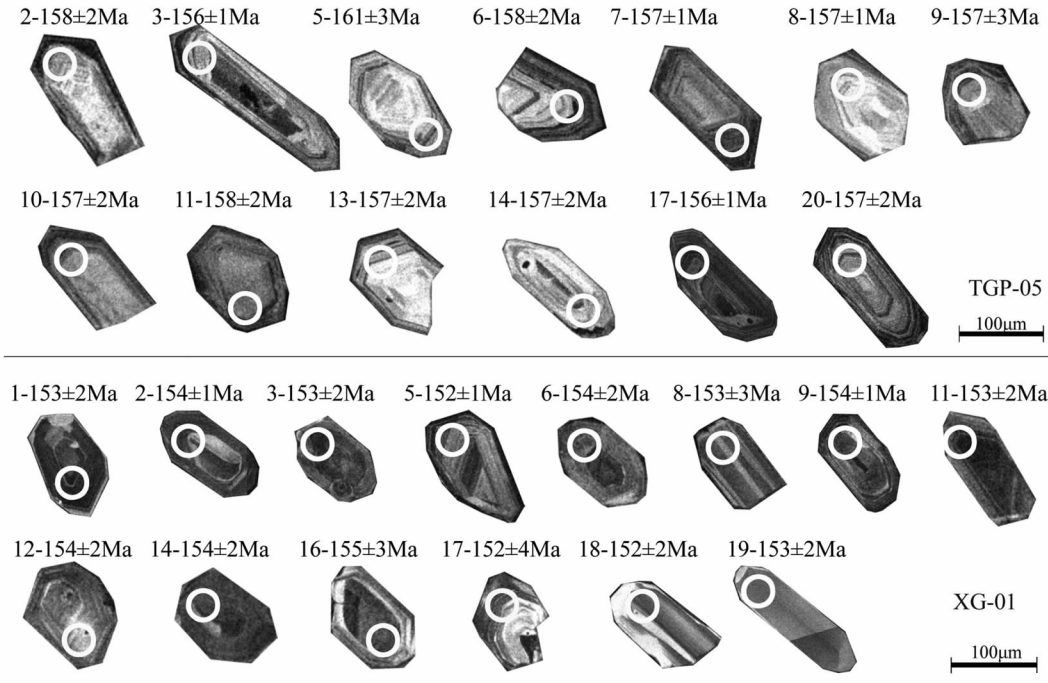


图 4 桃官坪和西沟花岗岩体锆石阴极发光图像

Fig. 4 Zircon CL images of granites from Taoguanping and Xigou plutons

表 2 桃官坪和西沟岩体主量元素(wt%)和微量元素($\times10^{-6}$)及相关参数

Table 2 Major elements (wt%) and trace elements ($\times10^{-6}$) of the granites from Taoguanping and Xigou plutons

样品号	TGP-03	TGP-04	TGP-05	TGP-06	TGP-08	TGP-09	TGP-10	XG-01	XG-01-1	XG-02
SiO_2	75.43	76.33	71.26	75.60	74.46	59.63	70.72	70.27	68.12	72.17
TiO_2	0.11	0.09	0.12	0.09	0.20	0.58	0.39	0.34	0.36	0.22
Al_2O_3	13.16	12.20	15.40	12.16	12.47	16.28	14.00	15.17	15.60	13.88
Fe_2O_3	0.21	0.17	0.24	0.27	0.57	1.77	0.99	0.89	0.95	0.63
FeO	0.43	0.35	0.48	0.54	1.13	4.43	1.99	1.78	1.89	1.27
MnO	0.01	0.04	0.07	0.07	0.03	0.14	0.07	0.12	0.09	0.05
CaO	0.21	0.59	0.88	0.48	0.93	5.20	1.33	2.17	2.36	1.23
MgO	0.16	0.14	0.19	0.13	0.35	2.57	1.04	0.91	0.92	0.62
K_2O	5.71	4.61	5.33	5.14	5.16	3.33	4.78	3.94	4.13	4.09
Na_2O	3.02	3.87	4.67	3.99	3.21	3.68	3.23	4.11	4.14	3.86
P_2O_5	0.02	0.02	0.05	0.01	0.05	0.45	0.06	0.16	0.15	0.04
烧失量	0.77	0.64	0.64	0.62	0.58	0.58	1.39	0.89	1.19	0.74
总量	99.23	99.04	99.34	99.11	99.14	98.99	100.00	100.76	99.91	98.80
Na_2O+K_2O	8.73	8.47	10.01	9.13	8.37	7.01	8.01	8.06	8.27	7.94
K_2O/Na_2O	1.89	1.19	1.14	1.29	1.61	0.91	1.48	0.96	1.00	1.06
里特曼指数	2.35	2.15	3.54	2.56	2.23	2.95	2.32	2.38	2.72	2.16
A/CNK	1.14	0.98	1.02	0.93	0.99	0.85	1.08	1.01	1.00	1.07
A/NK	1.18	1.07	1.14	1.00	1.15	1.68	1.33	1.37	1.38	1.29
La	19.30	16.33	19.68	19.51	29.96	51.10	35.86	57.22	56.03	45.10
Ce	37.80	30.34	36.72	35.88	51.26	89.90	63.98	91.92	93.24	76.00
Pr	3.80	3.26	3.89	3.82	5.00	9.59	6.73	8.97	8.62	7.28
Nd	12.54	10.68	13.06	13.17	15.65	34.06	23.14	28.42	27.20	23.20
Sm	2.31	1.97	2.58	2.67	2.39	5.49	3.98	4.12	3.71	3.41
Eu	0.57	0.32	0.44	0.73	0.54	1.77	1.10	0.58	1.22	0.87
Gd	1.79	1.70	2.38	2.29	1.97	4.63	3.50	3.32	3.02	2.73
Tb	0.26	0.26	0.38	0.34	0.29	0.59	0.50	0.44	0.39	0.37
Dy	1.53	1.57	2.33	1.96	1.74	3.29	3.01	2.50	2.23	2.14
Ho	0.30	0.33	0.49	0.38	0.37	0.65	0.63	0.51	0.46	0.44
Er	0.97	1.13	1.65	1.08	1.17	1.78	1.88	1.61	1.35	1.34
Tm	0.16	0.22	0.31	0.17	0.20	0.26	0.30	0.25	0.22	0.21
Yb	1.30	1.87	2.61	1.14	1.47	1.67	2.08	1.83	1.53	1.53
Lu	0.21	0.34	0.47	0.17	0.24	0.25	0.32	0.30	0.24	0.25
Y	10.72	13.44	20.03	12.69	12.40	18.88	19.52	13.85	14.37	14.29
LREE	76.33	62.90	76.37	75.78	104.8	191.9	134.8	191.2	190.0	155.9
HREE	6.52	7.42	10.63	7.52	7.45	13.12	12.23	10.76	9.43	9.02
∑REE	82.85	70.32	87.00	83.30	112.3	205.0	147.0	202.0	199.4	164.9
LREE/HREE	11.71	8.47	7.18	10.07	14.07	14.63	11.02	17.77	20.14	17.28
La_N/Yb_N	10.07	5.91	5.09	11.58	13.82	20.71	11.63	21.14	24.74	19.90
$(La/Sm)_N$	5.40	5.34	4.92	4.72	8.10	6.01	5.81	8.97	9.76	8.53
$(Gd/Yb)_N$	1.14	0.75	0.75	1.66	1.11	2.30	1.39	1.50	1.63	1.48
δEu	0.83	0.52	0.53	0.88	0.75	1.05	0.88	0.47	1.08	0.84
δCe	0.98	0.93	0.94	0.93	0.91	0.90	0.91	0.87	0.90	0.90
Rb	381	385	463	416	159	112	238	143	156	168
Ba	1194	361	512	1757	732	2604	1136	1967	2311	1215
Th	17.40	22.60	24.97	15.20	22.22	11.62	18.12	19.09	16.41	17.87
U	3.47	10.23	20.19	3.17	8.00	2.54	4.71	5.92	4.29	7.11
K	53900	40380	45723	43220	45260	29280	41020	34520	37150	36780
Ta	6.91	7.60	8.77	3.28	2.24	1.24	1.85	1.67	1.59	6.07
Nb	92.27	94.08	127.21	39.12	28.06	19.04	21.10	24.64	21.39	63.46
Pb	32.25	42.46	46.19	63.06	20.56	16.25	28.22	26.53	23.17	33.20
Sr	171	85.4	139	197	170	864	486	467	580	208
P	86.34	83.28	215.6	57.12	205.8	1668	226.0	523.4	583.1	180.5
Zr	102.6	89.22	118.5	82.80	150.3	256.6	248.6	270.0	320.4	300.8
Hf	4.75	5.34	6.37	3.17	4.86	6.07	6.88	6.81	7.59	7.92
Ti	755.6	651.8	833.3	612.4	1382	6342	2650	2340	2616	1590

注:A/CNK = $(Al_2O_3)/(CaO+K_2O+Na_2O)$ 摩尔数分数比;A/NK = $(Al_2O_3)/(K_2O+Na_2O)$ 摩尔数分数比;$\delta=(K_2O+Na_2O)^2/(SiO_2-43)$;$\delta Eu=Eu_N/(Sm_N+Gd_N)*1/2$,$\delta Ce=Ce_N/(La_N+Pr_N)*1/2$;球粒陨石、原始地幔数据来自 Sun and McDonough, 1989;∑REE、HREE 均不含 Y

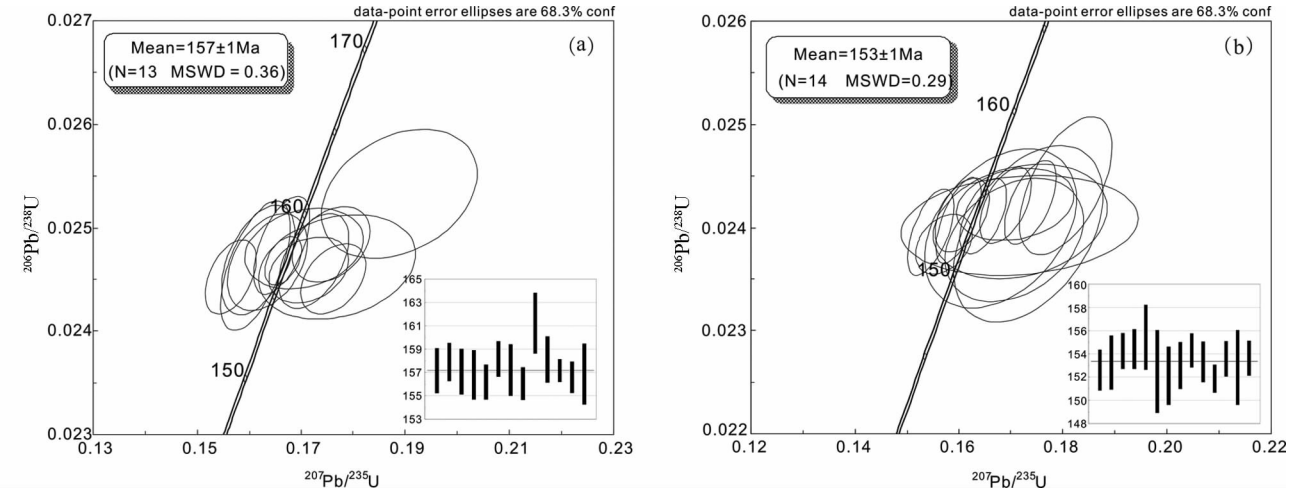


图 5 桃官坪和西沟花岗岩锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 5 Zircon U-Pb concordia diagram for granites from Taoguanping and Xigou plutons

大于 0.5。这表明这些锆石为岩浆成因。

4.1.2 锆石 U-Pb 年龄

对桃官坪岩体样品 TGP-05 中 20 颗锆石进行了 20 个点的 U-Pb 年龄分析，其中 7 粒锆石（1、4、12、15、16、18、19）的^{204}Pb 计数较高，可能由于具有较高的普通铅组成导致谐和图中$^{207}Pb/^{235}U$ 和$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄谐和度低于 90%，在谐和图和讨论中将不涉及这些点，剩余 13 个锆石的年龄数据比较集中，均落在一致线上或者附近（图 5a），得到的$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄加权平均值为 157 ± 1Ma（2σ）。

对西沟岩体样品 XG-01 进行了 20 颗锆石 20 个点的分析。在$^{206}Pb/^{238}U$-$^{207}Pb/^{235}U$ 谐和年龄图上（图 5b），大部分测点分布在谐和线附近，部分样品点（4、7、10、13、15、20）出现不同程度沿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，得到 14 个锆石的加权平均年龄值为 153 ± 1Ma（2σ）。

4.2 地球化学特征

桃官坪和西沟岩体中 10 个花岗岩样品的主量元素和微量元素分析结果见表 2。

4.2.1 主量元素

桃官坪二长花岗岩体的 SiO_2 为 70.72% ~ 76.33%，除 TGP-09 中 SiO_2 为 59.63%，可能是该样品靠近围岩，快速冷却所致；Al_2O_3 为 12.16% ~ 16.28%，较高，铝指数 A/CNK 在 0.85 ~ 1.14，为准铝质-弱过铝质；Na_2O = 3.02% ~ 4.67%，K_2O = 3.33% ~ 5.71%，$Na_2O + K_2O$ 介于 7.01% ~ 10.01%，里特曼指数为 2.15 ~ 3.54，显示了富碱的特征。西沟斑状二长花岗岩的 SiO_2 为 68.12% ~ 72.17%，含量较高；Al_2O_3 为 13.88% ~ 15.69%，较高，铝指数 A/CNK 在 1.00 ~ 1.07，为弱过铝质；Na_2O = 3.86% ~ 4.14%，K_2O = 3.94% ~ 4.13%，$Na_2O + K_2O$ 介于 7.94% ~ 8.27%，里特曼指数为

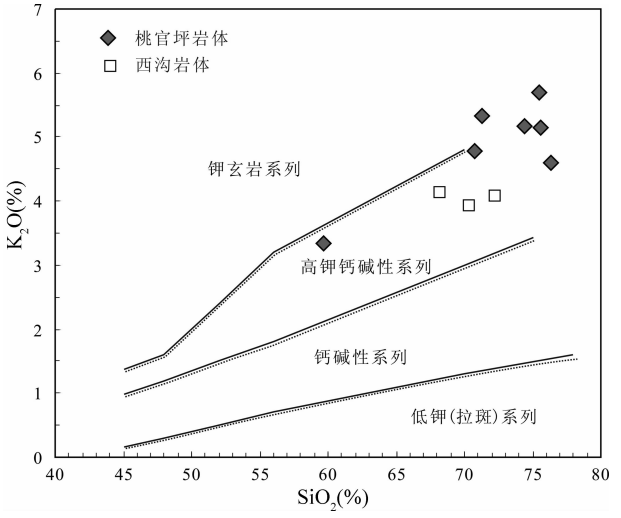


图 6 桃官坪和西沟岩体 SiO_2-K_2O 图解（底图据 Rickwood，1989）

Fig. 6 SiO_2 vs. K_2O diagram of the granites from Taoguanping and Xigou plutons (after Rickwood, 1989)

2.16 ~ 2.72，也具有富碱的特征。总之这两个岩体中的花岗岩均属高钾钙碱性系列（图 6）和准铝质-弱过铝质（图 7）。

4.2.2 微量元素

桃官坪岩体稀土元素总量变化于 70.32×10^{-6} ~ 205.0×10^{-6}之间，LREE/HREE = 7.18 ~ 14.63，$(La/Yb)_N$ = 5.09 ~ 20.71，$(La/Sm)_N$ = 4.72 ~ 8.10，$(Gd/Yb)_N$ = 0.75 ~ 2.30，δEu = 0.52 ~ 1.05；西沟岩体稀土元素总量较高，变化于 164.9×10^{-6} ~ 202.0×10^{-6}之间，稀土元素分馏较大，LREE/HREE = 17.28 ~ 20.14，$(La/Yb)_N$ = 19.90 ~ 24.74，轻稀土元素分馏明显，$(La/Sm)_N$ = 8.53 ~ 9.76，重稀土元素分馏较小，$(Gd/Yb)_N$ = 1.48 ~ 1.63，δEu = 0.47 ~ 1.08。

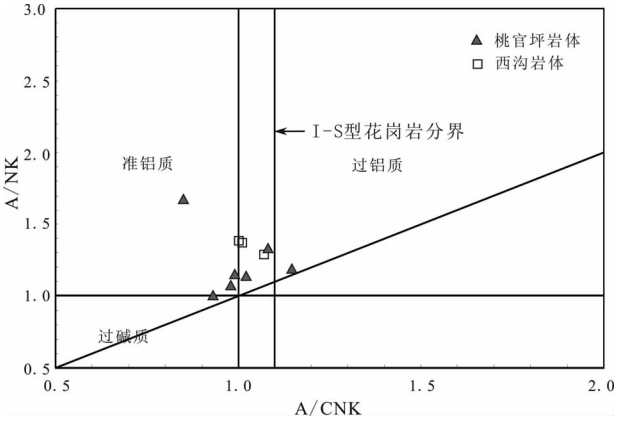


图 7 桃官坪和西沟岩体 A/CNK-A/NK 图解(底图据 Peccerillo and Taylor, 1976)

Fig. 7 A/CNK-A/NK diagram of the granites from Taoguanping and Xigou plutons (after Peccerillo and Taylor, 1976)

在稀土元素球粒陨石标准化配分模式图上(图 8),各样品配分曲线基本一致,均表现出轻稀土相对富集的右倾特征,具有弱的的负铕异常(δEu 多数在 0.5 ~ 0.9 之间),少数样品(TGP-08 和 XG-01-1)具有弱正铕异常(分别为 1.05 和 1.08)。在微量元素原始地幔标准化蛛网图中(图 8),两个岩体的样品表现出近乎一致的曲线形态,均显示 U、La、Pb、Hf 为正异常,Rb、Ba、K、Sr、P、Ti 为负异常的特征。

5 讨论

5.1 花岗岩形成时代及其地质意义

前人利用 SHRIMP 锆石 U-Pb 法和 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 法对东秦岭地区晚中生代花岗岩类岩石进行了众多的年代学研究(杨德彬等,2004;张宗清等,2006;叶会寿等,2006;牛宝贵等,2006;朱赖民等,2008;郭波等,2009;Mao *et al.*, 2010;王义天等,2010;向君峰等 2010;赵海杰等,2010b;王晓霞等,2011;谢桂青等,2012)。王晓霞等(2011)综合研究表明,东秦岭晚中生代花岗岩浆的演化可分为两个阶段:第一阶段为 160 ~ 130Ma(晚侏罗世-早白垩世),主要发育于华北地块南缘和北秦岭,在南秦岭仅零星分布;第二阶段为 120 ~ 100Ma(早白垩世中晚期),主要分布在华北地块南缘的东部和北秦岭,出露面积比第一阶段小。本文获得的桃官坪中-细粒二长花岗岩和西沟斑状二长花岗岩的锆石 U-Pb 年龄分别为 157 ± 1Ma 和 153 ± 1Ma,均代表岩体的侵入年龄,为晚侏罗世侵入体,其与北秦岭地区第一期牧护关岩体(151 ± 2Ma,LA-ICP-MS 锆石 U-Pb,丁丽雪等,2010)和蟒岭岩体(149 ± 2Ma,SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄,王晓霞等,2011)的形成时代接近,但比北秦岭中第二期沣峪岩体(116 ± 1Ma,黑云母 Ar-Ar 年龄,张宗清等,2006)和老君山岩体(116 ± 1Ma,

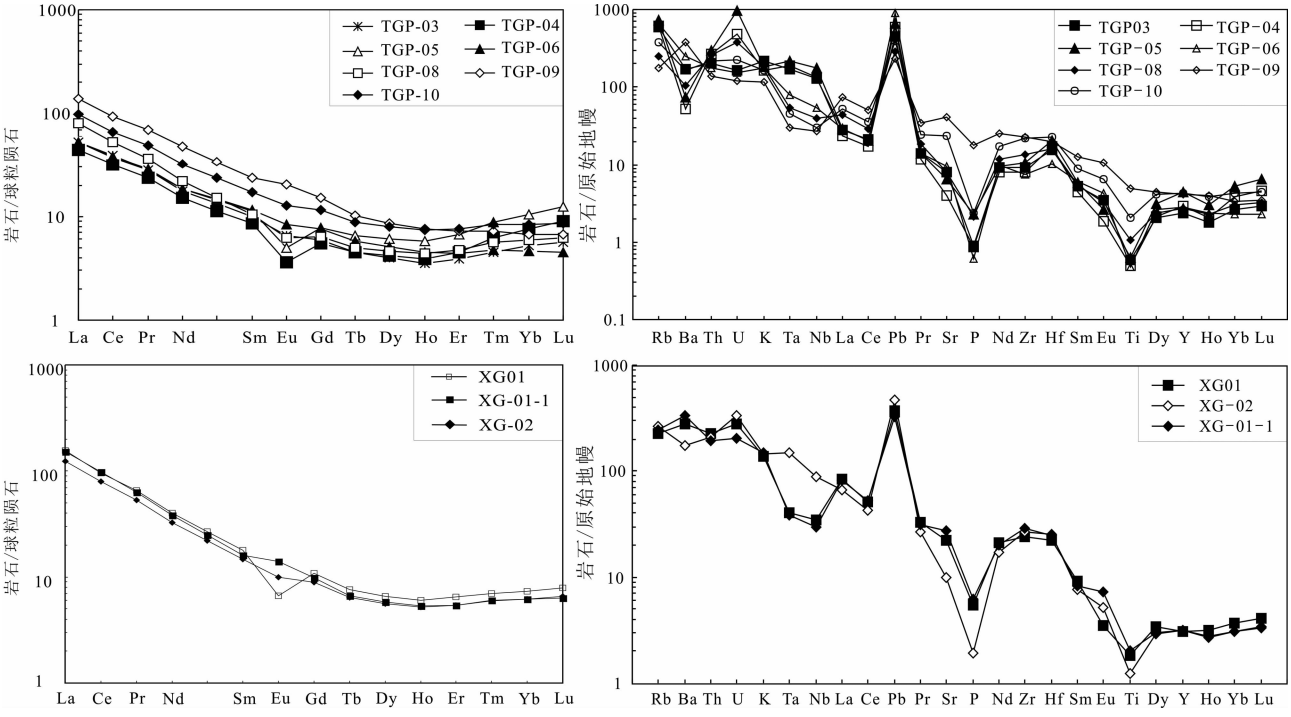


图 8 桃官坪和西沟花岗岩稀土元素球粒陨石标准化图解及微量元素原始地幔标准化蛛网图(标准值据 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 8 Chondrite normalized REE patterns and primitive mantle normalized trace element spider diagrams of the granites from Taoguanping and Xigou plutons (normalization values after Sun and McDonough, 1989)

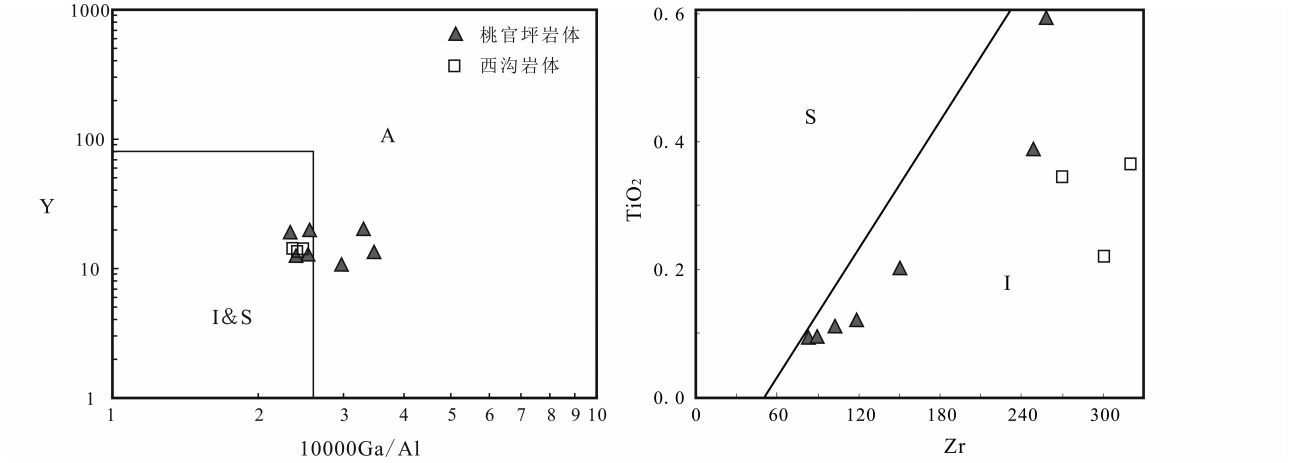


图 9　桃官坪和西沟岩体花岗岩 10000 Ga/Al-Y 和 Zr-TiO_2 图解

Fig. 9　10000 Ga/Al-Y and Zr-TiO_2 diagrams of the granites from Taoguanping and Xigou plutons

黑云母 Ar-Ar 年龄，张宗清等，2006）形成时代早，为晚中生代早期构造-岩浆活动的产物。其成岩时代与华北地块南缘大面积出露的晚中生代早期花岗岩体的形成时代一致。

北秦岭地区宽坪群中发现的寺沟、马河、高沟、南台、银厂沟等一系列钼矿床（点），空间上同属一个成矿带，在矿床地质特征上具有相似性，主要表现为矿体呈层状、似层状、透镜体状赋存于花岗岩类与围岩的内外接触带中，矿石类型主要为浸染型、接触交代型和充填型。结合野外地质特征及前人的矿床勘查工作成果（西北有色地质勘查局七一二总队，2006；陕西省地质局第十三地质队，1979①；中国冶金地质勘查工程总局西北勘查院，2011②），判定该类钼矿床的形成与岩浆侵入活动密切相关。马河钼矿区桃官坪和西沟花岗岩体侵入时代分别为 157 ±1Ma 和 153 ±1Ma，据此限定其成矿时代下限为 157 ~153Ma，即钼矿床形成时间略晚于 157 ~153Ma，应为侏罗纪晚期成矿。

5.2　岩石成因类型

在矿物组成上，桃官坪和西沟花岗岩中钾长石呈粉红色-肉红色，不含石榴子石、矽线石、堇青石等富铝矿物，副矿物有榍石、磷灰石、锆石等，显示出具有 I 型花岗岩的矿物组成特征。

在地球化学特征上，桃官坪和西沟花岗岩具有高硅（68.12% ~76.33%），富碱（Na_2O =3.02% ~4.67%，K_2O = 3.33% ~5.71%），K_2O/Na_2O 比值变化较大（0.91 ~1.89），准铝质-弱过铝质（A/CNK 多为 1 左右）的特征。微量元素均显示富集 U、Pb、Hf 等高场强元素，亏损 Rb、Ba、K、Sr、P 等大离子亲石元素。稀土元素为轻稀土相对富集的右倾特征，弱-中等负铕异常（δEu 多数在 0.5 ~0.9 之间），少数样品（TGP-08 和 XG-01-1）具有弱正铕异常（分别为 1.05 和 1.08），显示出 I 型花岗岩的特征。同时在花岗岩 Y-10000Ga/Al 图解（图 9）中投在了 I&S 型和 A 型花岗岩过渡区域，在 TiO_2-Zr 相关图（图 9）中落入 I 型花岗岩区域内，说明桃官坪和西沟花岗岩属于 I-A 过渡型花岗岩。这表明在北秦岭宽坪群中与钼矿有关的晚中生代花岗岩为 I-A 过渡型花岗岩。

5.3　与华北地块南缘同时代成矿花岗岩的异同

在晚侏罗世-早白垩世，东秦岭地区发育有大量的花岗岩岩基和花岗岩类小岩体，在小岩体及其与围岩接触带上产出有众多的斑岩型、斑岩-矽卡岩型钼等多金属矿床。大多数钼矿床均分布在华北地块南缘，且规模较大，达到大型或超大型。近几年来，北秦岭地区也相继发现了马河、寺沟、南台、银厂沟等中小型钼矿床，规模较华北地块南缘小。两种不同构造单元产出的钼矿床在成因上均与花岗岩类岩石密切相关，在岩体地质、岩石类型及地球化学特征上也具有一定的相似性，但也存在着一定的差异。

在华北地块南缘，与几个大型-超大型钼矿密切相关的花岗岩以花岗斑岩（表 3）为主，出现二长花岗斑岩（上房沟），岩石类型主要为 I-A 过渡型和 I 型，出露面积均较小（不足 1km^2）。在地球化学（表 3）上，SiO_2 = 73.49% ~ 76.33%，K_2O = 4.98% ~ 6.6%，$K_2O + Na_2O$ = 8.32% ~ 8.87%，K_2O/Na_2O 变化于 1.42 ~3.75，显示出富硅、富钾、富碱特征。镁（MgO = 0.22% ~ 0.51%）、铝（Al_2O_3 = 11.26% ~13.01%）含量较低。马河钼矿在构造位置上属于北秦岭构造带，其与成矿相关的花岗岩主要为二长花岗（斑）岩，岩石类型属于 I-A 型，出露面积较大（1.5 ~2km^2）。在地球化学上，也显示出富硅（SiO_2 =72.71%）、富碱（$K_2O + Na_2O$

① 陕西省地质局第十三地质队. 1979. 陕西省商县南台钼矿区普查评价报告

② 中国冶金地质勘查工程总局西北勘查院. 2011. 陕西省洛南县马头山钼矿床详查报告

表 3 东秦岭典型钼矿床与成矿有关的侵入岩特征一览表

Table 3 General characteristics of ore-bearing rock bodies of typical molybdenum deposits in East Qinling

矿床名称	金堆城	上房沟	石家湾	南泥湖	三道庄	马河
构造位置	华北地块南缘	华北地块南缘	华北地块南缘	华北地块南缘	华北地块南缘	北秦岭
岩性	钾长花岗斑岩	二长花岗斑岩	钾长花岗斑岩	花岗斑岩	钾长花岗斑岩	二长花岗(斑)岩
岩石类型	I-A 型	I-A 型	I 型	I-A 型	I-A 型	I-A 型
产状	不规则小岩株	不规则小岩筒	不规则小岩株	椭圆形小岩株	椭圆形小岩株	不规则小岩株
出露面积(km^2)	0.07	0.05	0.06	0.12	0.12	1.5~2
SiO_2	74.61	76.33	73.56	73.49		72.71
TiO_2	0.11	0.1	0.13	0.15		0.29
Al_2O_3	12.98	11.26	13.5	13.01		14.03
Fe_2O_3	0.93	0.63	0.9	1.04		0.55
FeO	0.73	0.9	0.39	0.57		1.10
MnO	0.04	0.03	0.07	0.03		0.07
CaO	0.49	0.92	1.17	1.08		1.54
Na_2O	2.05	1.75	3.51	2.68		3.78
K_2O	6.6	6.57	4.98	6.19		4.62
K_2O/Na_2O	3.22	3.75	1.42	2.31		1.22
K_2O+Na_2O	8.65	8.32	8.49	8.87		8.4
MgO	0.22	0.41	0.51	0.48		0.7
P_2O_5	0.05	0.05	0.06	0.06		0.1
样品(个)	10	6	5	29		10
资料来源	朱赖民,2008	Mao *et al.*,2010	赵海杰等,2010	Mao *et al.*,2010	付治国等,2007	本文

=8.40%)的特征。但其 SiO_2 和 K_2O 的含量比华北地块南缘的低,CaO、MgO 的含量高,显示出比华北地块南缘与钼矿有关的花岗岩要基性一些。这可能是该钼矿的规模没有华北地块南缘大的原因之一。

6 结论

(1)陕西省洛南县马河钼矿区桃官坪中-细粒二长花岗岩和西沟斑状二长花岗岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为 157±1Ma 和 153±1Ma,均代表岩体的侵入年龄,为晚侏罗世,马河钼矿的形成与矿区岩浆侵入活动密切相关,因此,限定该钼矿床形成的时间可能略晚于 157~153Ma,为侏罗纪晚期。

(2)桃官坪和西沟花岗岩具有高硅(68.12%~76.33%),富碱(Na_2O+K_2O=6.35%~10.38%)的特征,为准铝质-弱过铝质高钾钙碱性 I-A 型花岗岩。

(3)与马河钼矿有关的花岗岩和华北地块南缘含矿花岗岩类似,均具有高硅、高钾、富碱的特征。但马河钼矿区的花岗岩比华北地块南缘的稍基性,这可能是导致马河钼矿的规模比华北地块南缘的小的原因之一。

致谢 西北大学大陆动力学国家重点实验室袁洪林、陈开运老师在锆石年龄测试、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!

References

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

Ding LX, Ma CQ, Li JW, Wang LX, Chen L and She ZB. 2010. LA-ICPMS zircon U-Pb ages of the Lantian and Muhuguan granitoid plutons, southern margin of the North China craton: Implications for tectonic setting. Geochimica, 39(5): 401-413 (in Chinese with English abstract)

Fu ZG, Jin YH, Wu F and Zhou M. 2007. Geological characteristics of host rocks of 5 Mo deposits in east qinling-dabie. Contributions Geology and Mineral Resources Research, 22(4):277-281 (in Chinese with English abstract)

Guo B, Zhu LM, Li B, Gong HJ and Wang JQ. 2009. Zircon U-Pb age and Hf isotope composition of the Huashan and Heyu granite plutons at the southern margin of North China Craton: Implication for geodynamical setting. Acta Petrologica Sinica, 25(2): 265-281 (in Chinese with English abstract)

Huang DH, Nie FJ, Wang YC and Jiang XJ. 1984. Lead isotope compositions of molybdenum deposits in East Qinling as applied to the problem of ore sources. Mineral Deposits, 3(4): 20-28 (in Chinese with English abstract)

Li YF, Mao JW, Bai FJ, Li JP and He ZJ. 2003. Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Nannihu molybdenum (tungsten) orefield in the eastern Qinling and its geological significance. Geological Review, 49(6): 652-659 (in Chinese with English abstract)

Li YF, Wang CQ, Bai FJ and Song YL. 2004. Re-Os isotopic ages of Mo deposits in East Qinling and their geodynamic settings. Mineral Resources and Geology, 18(6): 571-578 (in Chinese with

English abstract)
Li YF, Mao JW, Hu HB, Guo BJ and Bai FJ. 2005. Geology, distribution, types and tectonic settings of Mesozoic molybdenum deposits in East Qinling area. Mineral Deposits, 24(3): 20 – 28 (in Chinese with English abstract)
Lu XX. 1999. Tectonic Map of Granitoids in the Qinling. Xi'an: Map Publishing House (in Chinese with English abstract)
Lu XX, Yu ZP and Feng YL. 2002. Mineralization and tectonic setting of deep-hypabyssal granites in East Qinling Mountain. Mineral Deposits, 21(2): 168 – 178 (in Chinese with English abstract)
Luddwig KR. 1991. Isoplot: A plotting and regression program for radiogenic-isotope data. SuDoc I 19(76):91 – 445
Mao JW, Xie GQ and Pirajno F. 2010. Late Jurassic-Early Cretaceous granitoid magmatismin Eastern Qinling, central-eastern China: SHRIMP zircon U-Pb ages and tectonic implications. Australian Journal of Earth Sciences, 57: 51 – 78
Mao JW, Pirajno F., Xiang JF, Gao JJ, Ye HS, Li YF and Guo BJ. 2011. Mesozoic molybdenum deposits in the East Qinling-Dabie orogenic belt: Characteristics and tectonic settings. Ore Geology Reviews, 43(1): 264 – 293
Niu BG, He ZJ, Ren JS, Wang J and Deng P. 2006. SHRIMP U-Pb ages of zircons from the intrusions in the western Douling-Xiaomaoling uplift and their geological significances. Geological Review, 52(6): 826 – 835(in Chinese with English abstract)
Peccerillo R and Taylor SR. 1976. Geochemistry of Eocene calalkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. Contrib. Mineral. Petrol., 58: 63 – 81
Rickwood PC. 1989. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides major and minor elements. Lithos, 22: 247 – 263
Sun SS and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: Implication for mantle compostion and processes. In: Saunders AD and Norry MJ (eds.). Magmatism in Oceanic Basins. Spec. Publ. Geol. Soc. Lond., 42: 313 – 345
Wang XX, Wang T, Qi QJ and Li S. 2011. Temporal-spatial variations, origin and their tectonic significance of the Late Mesozoic granites in the Qinling, Central China. Acta Petrologica Sinica, 27(6):1573 – 1593(in Chinese with English abstract)
Wang YT, Ye HS, Ye AW, Shuai Y, Li YG and Zhang CQ. 2010. SHRIMP U-Pb dating for the Wenyu and Niangniangshan granite plutons and its significance. Scientia Geologica Sinica, 45(1): 167 – 180 (in Chinese with English abstract)
Xiang JF, Zhao HJ, Li YF, Cheng YB, Gao YL, Hou KJ, Dong CY and Li XQ. 2010. Zircon U-Pb age (SHRIMP) and Hf isotope composition of Zhangshiying intrusive complex at south margin of North China Craton and their geological implications. Acta Petrologica Sinica, 26(3): 871 – 887 (in Chinese with English abstract)
Xie GQ, Ren T, Li JB, Wang RY, Xia CL, Guo ZH, Dai JZ and Shen ZC. 2012. Zircon U-Pb age and petrogenesis of ore bearing granitoid for the Chigou Cu-Mo deposit from the Zhashan basin, Shaanxi Province. Acta Petrologica Sinica, 28(1):15 – 26 (in Chinese with English abstract)
Yang DB, Xu WL, Wang DY, Wang QH and Pei FP. 2004. SHRIMP zircon U-Pb dating of the Quli quartz diorite porphyry, Sanmenxia City, Henan, and its geological significance. Geology in China, 31(4): 379 – 383(in Chinese with English abstract)
Ye HS, Mao JW, Li YF, Guo BJ, Zhang CQ, Liu WJ, Yan QR and Liu GY. 2006. SHRIMP Zircon U-Pb and molybdenite Re-Os dating for the super large Donggou porphyry Mo deposit in East Qinling, China and its geological implication. Acta Geologica Sinica, 80(7): 1078 – 1088 (in Chinese with English abstract)
Yuan HC, Zhang F, He MM, Li L and Hao YJ. 2007. Geological characteristics and metallogenic prospect of the Mahe molybdenum deposit in Luonan County, Shaanxi Province. Northwestern Geology, 40(Suppl.): 79 – 87(in Chinese with English abstract)
Yuan HL, Gao S, Liu XM *et al*. 2004. Accurate U-Pb age and trace element determinationations of zircon by laser ablation inductively coupled plasmas mass spectrometry. Geostandard and Geoanalytical Research, 28:353 – 370
Zhang ZQ, Zhang GW, Liu DY, Wang ZQ, Tang SH and Wang JH. 2006. Isotopic Geochronology and Geochemistry of Ophiolites, Granites and Clastic Sedimentary Rocks in the Qinling Orogenic Belt. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract)
Zhang ZW and Deng J. 2001. Geological setting of the Eastern Qinling molybdenum ore belt and the features of the Mo-associated intrusions. In: Chen YJ, Zhang J and Lai Y (eds.). Continental Geodynamics and Metallogenesis. Beijing: Seismological Press, 100 – 109 (in Chinese)
Zhang ZW, Zhu BQ, Chang XY, Qiang LZ and Wen MX. 2001. Petrogenetic-metallogenetic background and time-space relationship of the East Qinling molybdenum ore belt, China. Geological Journal of China Universities, 7(3): 307 – 315 (in Chinese with English abstract)
Zhao HJ, Mao JW, Ye HS, Hou KJ and Liang HS. 2010. Chronology and petrogenesis of Shijiawan granite porphyry in Shaanxi Province: Constrains from zircon U-Pb geochronology and Hf isotopic compositions. Mineral Deposits, 29(1): 143 – 157(in Chinese with English abstract)
Zhu LM, Zhang GW, Guo B and Li 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. Acta Geologica Sinica, 82(2): 204 – 220(in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

丁丽雪,马昌前,李建威,王连训,陈玲,佘振兵. 2010. 华北克拉通南缘蓝田和牧护关花岗岩体:LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄及其构造意义. 地球化学,39(5): 401 – 413
付治国,靳拥护,吴飞,周明. 2007. 东秦岭-大别山 5 个特大型钼矿床的成矿母岩地质特征分析. 地质找矿论丛,22(4): 277 – 281
郭波,朱赖民,李犇,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. 岩石学报,25(2): 265 – 281
黄典豪,聂凤军,王义昌,江秀杰. 1984. 东秦岭地区钼矿床铅同位素组成特征及成矿物质来源初探. 矿床地质,3(4): 20 – 28
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. 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. 矿产与地质,18(6): 571 – 578
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. 矿床地质,24(3): 292 – 304
卢欣祥. 1999. 秦岭花岗岩大地构造图. 西安: 地图出版社
卢欣祥,于在平,冯有利. 2002. 东秦岭深源浅成型花岗岩的成矿作用及地质构造背景. 矿床地质,21(2): 168 – 178
牛宝贵,和政军,任纪舜,王军,邓平. 2006. 秦岭地区陡岭-小茅岭隆起带西段几个岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年及其地质意义. 地质论评,52(6): 826 – 835
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. 岩石学报,27(6): 1573 – 1593

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. 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. 岩石学报,26(3): 871 – 887

谢桂青,任涛,李剑斌,王瑞廷,夏长玲,郭延辉,代军治,申志超. 2012. 陕西柞山盆地池沟铜钼矿区含矿岩体的锆石 U-Pb 年龄和岩石成因. 岩石学报,28(1):15 – 26

杨德彬,许文良,王冬艳,王青海,裴福萍. 2004. 河南三门峡市曲里石英闪长斑岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义. 中国地质,31(4): 379 – 383

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. 地质学报,80(7): 1078 – 1088

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析. 西北地质,40(增刊):79 – 87

张正伟,邓军. 2001. 东秦岭钼矿带成矿背景与含矿岩体特征见:. 陈衍景,张静,赖勇编. 大陆动力学与成矿作用. 北京: 地震出版社,100 – 109

张正伟,朱炳泉,常向阳,强立志,温明星. 2001. 东秦岭钼矿带成岩成矿背景及时空统一性. 高校地质学报,7(3): 307 – 315

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. 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. 矿床地质,29(1): 143 – 157

朱赖民,张国伟,郭波,李犇. 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. 地质学报,82(2): 204 – 220