



甘肃阳山金矿带中酸性岩脉成岩年龄与成矿时代*

雷时斌^{1,2}, 齐金忠², 朝银银³

(1 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; 2 中国人民武装警察部队黄金指挥部, 北京 100102;

3 中国人民武装警察部队黄金地质研究所, 河北 廊坊 065000)

摘 要 文章研究了阳山金矿带中酸性岩脉侵位时代,探讨了岩脉与金矿成矿的关系,对矿带内不同区段内出露的中酸性岩脉中的锆石进行了 SHRIMP U-Pb 年龄测定。结合前人对矿带内岩脉的 K-Ar、Rb-Sr 法年龄和含金石英脉中锆石 SHRIMP U-Pb 年龄的测试结果,以及西秦岭地区的中生代岩浆岩形成时代和金矿成矿年龄统计分析,认为阳山矿带内的中酸性岩脉主要形成于晚三叠世末—早侏罗世,金成矿不仅与这个时期的岩浆活动关系密切,而且受到了白垩纪早期及第三纪早期 2 次岩浆-热液活动的影响。

关键词 地球化学 锆石 SHRIMP 年龄 阴极发光 金矿床 甘肃

中图分类号: P618.51

文献标志码: A

Zircon SHRIMP U-Pb ages of moderate-acid dykes and ore-forming epochs of Yangshan gold belt in Gansu Province

LEI ShiBin^{1,2}, QI JinZhong² and CHAO YinYin³

(1 School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2 Gold Headquarters of CAPF, Beijing 100102, China; 3 Gold Geological Institute of CAPF, Langfang 065000, Hebei, China)

Abstract

In order to study the intrusive age of moderate-acid dykes and the relationship between magmatic activity and gold mineralization in the Yangshan gold belt, the authors determined zircon SHRIMP U-Pb ages of moderate-acid dykes. Samples were collected from different segments of the ore belt. Based on the K-Ar, Rb-Sr ages of the dykes and zircon SHRIMP U-Pb ages of gold-bearing quartz veins in combination with the statistics of the formation epochs of magmatite in Mesozoic and gold metallogenic ages in West Qinling, the authors have reached the conclusion that moderate-acid dykes in the Yangshan ore belt were mainly formed in late Triassic and early Jurassic, and that gold mineralization had close relationship with magmatic activities in this period and was affected by two times of magmatic-hydrothermal activities in early Cretaceous and early Tertiary.

Key words: geochemistry, zircon, SHRIMP age, cathodoluminescence (CL), gold deposit, Gansu

阳山金矿带是近年在川陕甘“金三角”取得重大找矿成果的成矿带之一,构造上位于碧口微板块、松潘-甘孜褶皱系、秦岭微板块三者夹持的三角地带

(赖绍聪等,2003)(图 1)。矿带受文县弧形构造控制,主体呈 EW 向展布,长 40 km,宽 2~3 km,金矿床(点)主要产于安昌河-观音坝断裂带和松柏-犁坪

* 本文得到黄金专项研究基金“甘肃省阳山金矿地质与勘查(HJ07-02)”的资助

第一作者简介 雷时斌,男,1963 年生,中国地质大学(北京)在读博士生,高级工程师,主要从事黄金地质科研和勘查工作。

收稿日期 2010-01-26;改回日期 2010-07-27。李 岩编辑。

断裂破碎带内。带内出露的地层有元古宇碧口群、泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系和白垩系,其中泥盆系三河口群和早中三叠统是主要的赋矿层位。区内岩浆岩出露面积较小,但分布广泛,与金矿具密切时空关系的侵入岩规模一般较小,多呈小岩株或岩脉产出,部分侵入体直接参与了金矿化(齐金忠等,2003a;雷时斌等,2007)。目前矿带内已发现超大型

金矿床 1 处,中小型金矿床 10 余处,找矿前景良好。前人从矿床地质、地球化学、成矿年代学等不同方面开展了大量的研究工作(齐金忠等,2003a;2003b;2005;罗锡明等,2004),认为金成矿与中酸性岩浆活动关系密切,岩浆活动为金矿形成提供了成矿物质、成矿流体和热动力条件。但有关区内中酸性脉岩的形成时代,特别是精确的同位素定年,尚缺

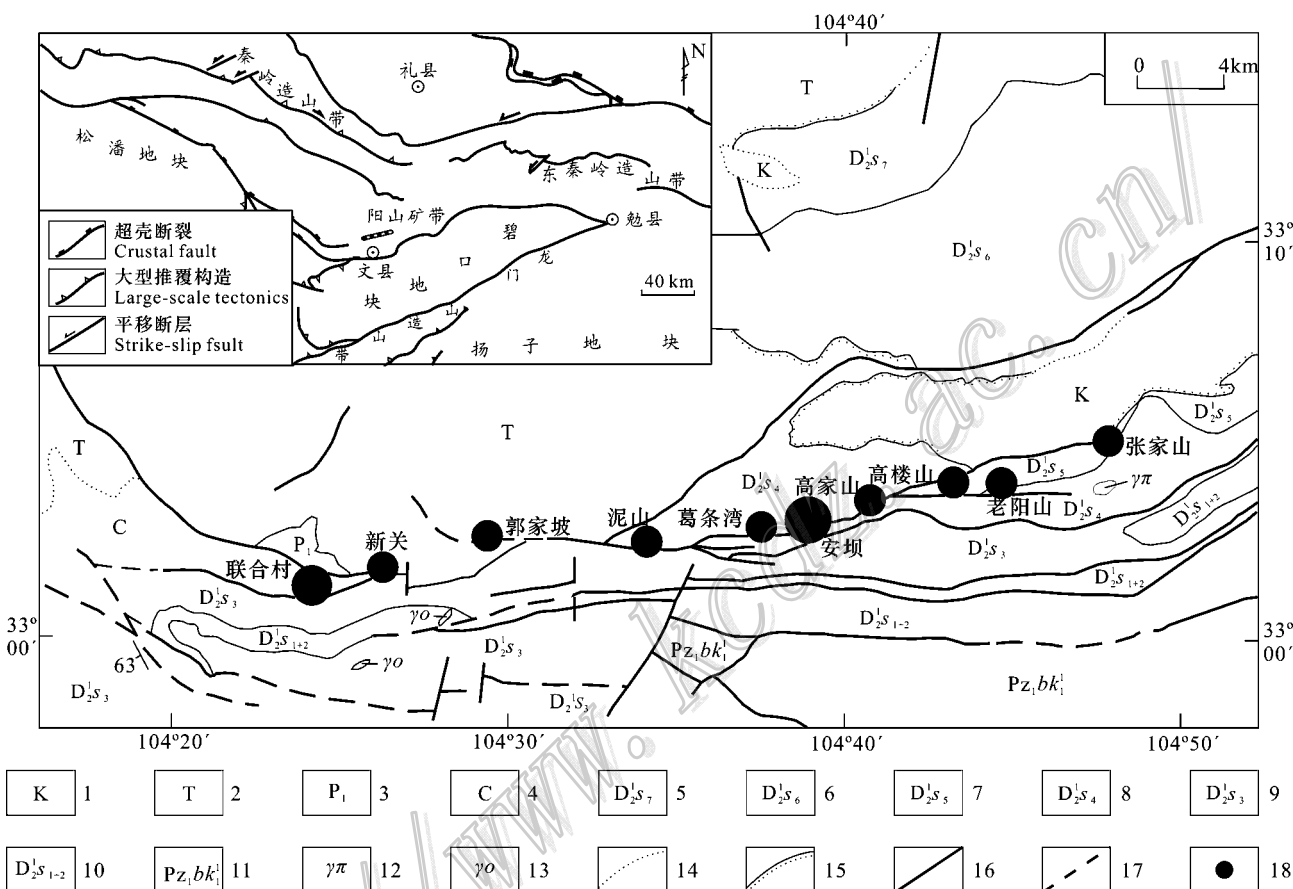


图 1 阳山金矿带地质略图(据张王伟等(2003)和中国地质调查局发展研究中心^①修编)

1—下白垩统;2—三叠系;3—下二叠统;4—石炭系;5—泥盆系三河口群第七岩性段;6—泥盆系三河口群第六岩性段;7—泥盆系三河口群第五岩性段;8—泥盆系三河口群第四岩性段;9—泥盆系三河口群第三岩性段;10—泥盆系三河口群第一、二岩性段;11—碧口群;12—未分期花岗岩斑岩;13—花岗细晶岩;14—推测地质界线;15—地层不整合界线;16—断裂;17—推测断裂;18—金矿床

Fig. 1 Geological sketch map of Yangshan gold belt (modified after Zhang et al., 2003 and Development Research Center of China Geological Survey, 2009)

1—Lower Cretaceous; 2—Triassic; 3—Lower Permian; 4—Carboniferous; 5—7th lithologic member of Devonian Sanhekou Group; 6—6th lithologic member of Devonian Sanhekou Group; 7—5th lithologic member of Devonian Sanhekou Group; 8—4th lithologic member of Devonian Sanhekou Group; 9—3rd lithologic member of Devonian Sanhekou Group; 10—1st and 2nd lithologic members of Devonian Sanhekou Group; 11—Bikou Group; 12—Undivided granite porphyry; 13—Granite aplite; 14—Inferred geological boundary; 15—Unconformity; 16—Fault; 17—Inferred fault; 18—Gold deposit

① 中国地质调查局发展研究中心. 2009. 全国 1:20 万地质图(电子版). 内部资料.

乏系统的分析研究。本文拟从与成矿有关的中酸性岩脉入手,采用锆石 SHRIMP U-Pb 定年方法,厘定成岩时间,结合前人取得的成矿年代学的研究成果,探讨阳山矿带中酸性岩脉成岩与金成矿的关系。有关阳山金矿带的矿床地质等内容,已有文献介绍(齐金忠等,2003a,2003b),本文不再赘述。

1 岩脉地质

阳山金矿带酸性脉岩分布广泛,沿金矿带自西而东,从联合村、新关、郭家坡一直到安坝、观音坝,均有酸性脉岩出现。脉岩走向与区域构造线基本一致,多呈近 EW 向,长数十米至数百米,宽几米至十余米。脉岩以斜长花岗斑岩脉和花岗斑岩脉为主,次为花岗细晶岩脉。

斜长花岗斑岩脉 是矿带内最主要的脉岩类型,分布最为广泛,从汤卜沟至张家山均有出露,长300~500 m,宽一般为1~5 m,在观音坝附近脉体较为宽大,达30 m以上。脉岩侵位于三河口群桥头组、屯寨岩组及石炭系、三叠系内,常顺层或斜穿产出,多产于断裂带内,也可产于断裂带附近,多条脉常一起形成复脉带,与围岩呈侵入接触关系,围岩常有被烘烤变质现象。斜长花岗斑岩脉与矿体关系较为密切,在葛条湾、安坝、高楼山、阳山等矿段,常见强矿化蚀变的脉岩构成金矿体。

斜长花岗斑岩呈灰白-浅肉红色,斑晶成分主要为斜长石,呈条状或板状,粒度一般为0.5~2 mm,约占45%,绢云母化、粘土矿化较强;石英多为粒状或团粒状,粒度一般为0.5~1 mm,约占30%,有重结晶现象;钾长石含量较少,约占10%;暗色矿物黑云母、角闪石等多已蚀变为绢云母,局部可见这些暗色矿物的假象。另外,岩石中还含少量磁铁矿、锆石、磷灰石等副矿物。

在矿区,由于斜长花岗斑岩脉侵入的深度、岩脉的规模等因素的影响,脉体有一定的相变,在矿区外围的新关矿点可见有中粗粒的斜长花岗斑岩脉,在汤卜沟一带也可见有基质为隐晶质的斜长花岗斑岩脉,但其矿物成分基本一致。依据岩石变形强度,可分为强片理化斜长花岗斑岩和弱片理化斜长花岗斑岩。前者在冯家楞干一带较为发育,岩石韧性变形较为明显;后者在矿区出露较为广泛,岩石片理化不明显。

花岗斑岩脉 主要出露于联合村、石鸡坝一带,

其围岩以石炭系和三叠系为主,局部见三河口群地层。岩石呈灰白-黄-红棕色,花岗斑状结构、少斑结构、无斑微晶结构,块状构造。长石斑晶占5%左右,粒径0.15~0.5 mm,少数达2 mm,主要为斜长石;石英斑晶占4%,溶蚀为浑圆状,具波状消光,少量的白云母斑晶,基质为长英质,微粒花岗结构,以石英为主,长石较少。

花岗细晶岩脉 在汤卜沟、葛条湾等地见有出露,规模较小,一般长小于200 m,宽小于2 m,常与斜长花岗斑岩脉相伴,并切穿斜长花岗斑岩脉,显然其形成时代晚于斜长花岗斑岩脉。岩石呈灰白色,矿物成分主要为呈条状或板状的斜长石,粒度一般为0.2~0.5 mm,约占35%,绢云母化、粘土矿化较强;石英多为粒状或团粒状,粒度一般为0.2~0.5 mm,约占35%,有重结晶现象;钾长石含量较少,约占20%;暗色矿物黑云母、角闪石等多已蚀变为绢云母,局部可见这些暗色矿物的假象。另外,岩石中还含少量磁铁矿、锆石、磷灰石等副矿物。

2 锆石 SHRIMP U-Pb 同位素测年

2.1 样品采集与测试方法

定年样品采自阳山金矿带4个酸性脉岩集中发育的地段,其中LCK2、LPD1样品分别采自联合村露天采场和平硐内的强矿化-蚀变脉岩,岩性均为花岗斑岩;GCK1采自郭家坡矿段露天采场内的弱矿化-蚀变脉岩,岩性为花岗细晶岩;XD1采自新关矿段坑道内的强矿化-蚀变脉岩,岩性为花岗斑岩;YA采自安坝矿段305#矿体内,岩性为强矿化-蚀变的斜长花岗斑岩。上述岩石样品,除郭家坡矿段花岗细晶岩矿化-蚀变较弱不构成工业矿石外,其余4件均是采样地段的主要矿石类型,岩石矿化-蚀变特征相似,蚀变主要为绢云母化、粘土矿化,金属矿化主要为黄铁矿化、毒砂化,毒砂和黄铁矿含量在1%~3%。

在室内将锆石从3~5 kg样品中分选出来,在双目镜下挑纯。将待测锆石与澳大利亚国立大学地球科学研究所(RSES)的一片锆石标样SL13及数粒锆石标样TEM置于环氧树脂中做成样品靶。将靶上的锆石磨至内部暴露。然后进行照相、阴极发光分析、抛光、清洗、镀金,再进行SHRIMP分析。阴极发光图像在中国地质科学院矿产资源研究所电子探针室完成,SHRIMP U-Pb分析在中国地质科学院地

表 1 联合村花岗斑岩脉 LPD1 锆石 SHRIMP 分析数据
Table 1 Zircon SHRIMP U-Pb dating data of the LPD1 granite porphyry sample from Lianhecun

测点	$^{206}\text{Pb}/\%$	$\text{U}/10^{-6}\text{Tb}/10^{-6}$	$^{232}\text{Tb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/10^{-6}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ t/Ma	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ t/Ma	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$ $\pm\%$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$ $\pm\%$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$ $\pm\%$
LPD1-7-1.1	0.94	366	198	11.0	220.0 ± 3.9	567 ± 200	0.059 ± 9.4	0.282 ± 9.5	0.034 ± 1.8
LPD1-7-2.1	0.49	1058	208	32.0	221.6 ± 3.6	248 ± 90	0.051 ± 3.9	0.247 ± 4.2	0.035 ± 1.7
LPD1-7-3.1	2.20	478	231	14.3	215.1 ± 4.4	347 ± 190	0.053 ± 8.3	0.250 ± 8.5	0.033 ± 2.1
LPD1-7-4.1	3.83	235	162	7.11	214.9 ± 5.9	445 ± 520	0.056 ± 23	0.261 ± 24	0.033 ± 2.8
LPD1-7-5.1	0.75	780	204	24.5	230.2 ± 3.9	359 ± 110	0.053 ± 4.8	0.269 ± 5.1	0.036 ± 1.7
LPD1-7-6.1	1.32	471	203	14.6	224.8 ± 4.3	481 ± 150	0.056 ± 6.8	0.278 ± 7.1	0.035 ± 2.0
LPD1-7-7.1	2.67	1208	267	35.4	210.6 ± 3.6	291 ± 150	0.052 ± 6.4	0.239 ± 6.6	0.033 ± 1.8
LPD1-7-8.1	4.92	127	36	0.29	219.6 ± 6.8	1135 ± 480	0.078 ± 24	0.371 ± 24	0.034 ± 3.1
LPD1-7-9.1	3.72	616	177	0.30	215.1 ± 3.9	-259 ± 390	0.041 ± 15	0.194 ± 15	0.033 ± 1.8
LPD1-7-10.1	0.89	703	287	22.3	231.5 ± 4.3	635 ± 130	0.060 ± 5.8	0.307 ± 6.1	0.036 ± 1.9
LPD1-7-11.1	1.93	596	366	0.64	219.8 ± 3.9	-86 ± 200	0.044 ± 8.1	0.213 ± 8.3	0.034 ± 1.8

注 误差为 1σ Pb_c 和 Pb^* 分别表示普通铅和放射性成因铅 应用实测的 ^{204}Pb 进行普通铅校正。

质研究所北京离子探针中心的 SHRIMP II 上完成。详细分析流程和原理参考 Compston 等 (1992) 和 Williams 等 (1998)。数据处理采用 Ludwig 的 SQUID1.02 及 ISOPLOT 程序。同位素比值误差为 1σ 文中均值为加权平均年龄(置信度 95%)。

2.2 测试结果

2.2.1 联合村花岗斑岩脉

样品 LPD1 共分析 11 粒锆石,结果见表 1。在 U-Pb 谐和图上(图 2),其中 9 粒锆石分析数据构成一组,该组数据与一致曲线相交切, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 同位素年龄为 210.6~224.8 Ma,平均为 (217.8 ± 2.8) Ma,该组锆石多为柱状,具韵律性环带或放射性环带结构(图3),为岩浆成因锆石。此外,还有2粒锆

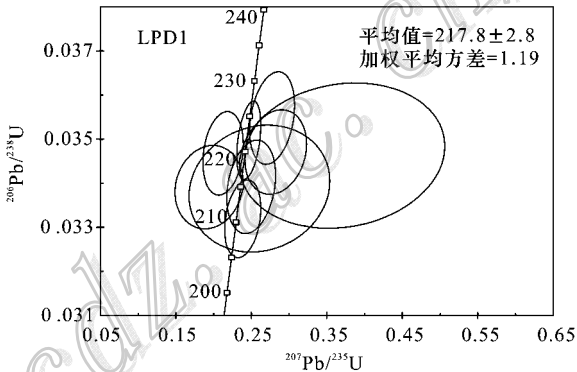


图 2 联合村花岗斑岩脉 LPD1 锆石一致曲线图
Fig. 2 Zircon U-Pb concordia diagram of the LPD1 granite porphyry sample from Lianhecun

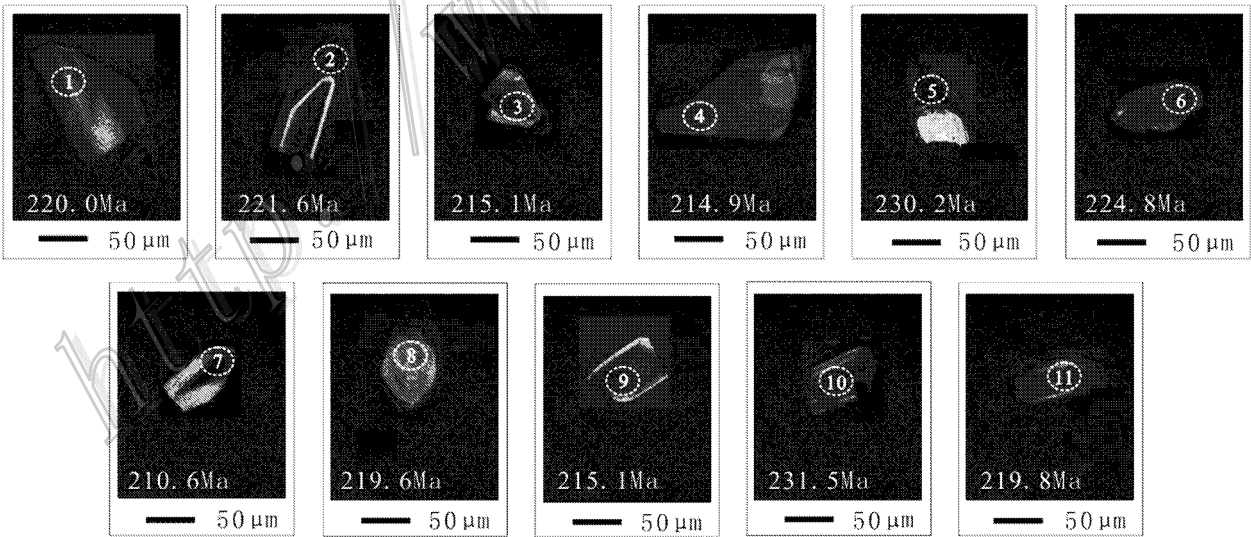


图 3 合村花岗斑岩脉 LPD1 锆石阴极发光照片

Fig. 3 Zircon CL image of the LPD1 granite porphyry sample from Lianhecun

表 2 联合村花岗斑岩脉 LCK2 锆石 SHRIMP 分析数据

Table 2 Zircon SHRIMP U-Pb dating data of the LCK2 granite porphyry sample from Lianhecun

测点	²⁰⁶ Pb _c %	U/10 ⁻⁶	Th/10 ⁻⁶	²³² Th/ ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb* 10 ⁻⁶	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U t/Ma	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb t/Ma	²⁰⁷ Pb*/ ²⁰⁶ Pb* ± %	²⁰⁷ Pb*/ ²³⁵ U ± %	²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U ± %
LCK2-1.1	1.11	82	116	1.47	8.47	728 ± 14	827 ± 170	0.066 ± 8.2	1.099 ± 8.5	0.119 ± 2.1
LCK2-2.1	2.00	129	70	0.56	3.92	219.6 ± 6.2	347 ± 240	0.053 ± 11	0.255 ± 11	0.034 ± 2.9
LCK2-3.1	0.48	616	42	0.07	18.4	219.9 ± 3.8	217 ± 81	0.050 ± 3.5	0.242 ± 3.9	0.034 ± 1.7
LCK2-4.1	1.39	83	88	1.08	9.48	790 ± 15	670 ± 130	0.061 ± 6.3	1.113 ± 6.6	0.130 ± 2.1
LCK2-5.1	1.69	50	37	0.77	5.37	750 ± 21	752 ± 220	0.064 ± 10	1.09 ± 11	0.123 ± 3.0
LCK2-6.1	0.39	373	282	0.78	41.4	780 ± 13	837 ± 39	0.067 ± 1.9	1.187 ± 2.5	0.128 ± 1.7
LCK2-7.1	3.04	45	51	1.18	2.21	347.7 ± 9.8	1 035 ± 490	0.074 ± 24	0.56 ± 24	0.055 ± 2.9
LCK2-7.1	1.72	224	153	0.71	6.56	212.5 ± 4.2	170 ± 270	0.049 ± 11	0.229 ± 12	0.033 ± 2.0
LCK2-9.1	1.51	208	118	0.59	6.05	211.5 ± .2	549 ± 250	0.058 ± 11	0.269 ± 12	0.033 ± 2.0
LCK2-10.1	0.91	464	178	0.40	13.2	207.8 ± 3.7	370 ± 110	0.054 ± 4.9	0.244 ± 5.3	0.032 ± 1.8
LCK2-11.1	1.19	187	73	0.40	5.34	207.7 ± 4.3	609 ± 320	0.060 ± 15	0.272 ± 15	0.032 ± 2.1
LCK2-12.1	2.74	70	41	0.60	2.86	292.3 ± 7.4	833 ± 400	0.067 ± 19	0.428 ± 19	0.046 ± 2.6

注：误差为 1σ Pb_c 和 Pb* 分别表示普通铅和放射性成因铅 应用实测的²⁰⁴Pb 进行普通铅校正。

石(编号 5、10)分析结果在 U-Pb 谐和图上偏离谐和线,²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄为 230.2 Ma 和 231.5 Ma。其中 10 号具有岩浆锆石的韵律环带结构,为岩浆成因锆石,但可能反映的是花岗斑岩岩浆最早的活动时限;5 号不发育环带结构,可能为非岩浆成因锆石。上述分析表明 9 粒锆石构成一组同位素年龄平均值(217.8 ± 2.8) Ma,可能代表了脉岩的形成时间。

样品 LCK2 共分析 12 粒锆石,结果见表 2。其中 6 粒锆石的分析数据构成一组,在 U-Pb 谐和图上(图 4),该组数据与一致曲线相交切,其²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄为 207.7~219.9 Ma,平均为(212.7 ± 3.4) Ma,该组锆石一般为柱状或自形粒状,具韵律环带或放射状环带结构(图5),为岩浆成因锆石,可代表脉岩的形成时间。

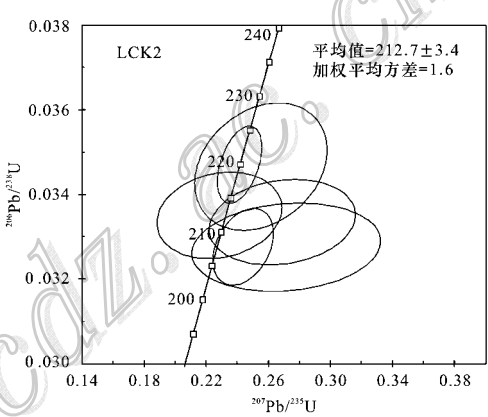


图 4 联合村花岗斑岩脉 LCK2 锆石一致曲线图
Fig. 4 Zircon U-Pb concordia diagram of the LCK2 granite porphyry sample from Lianhecun

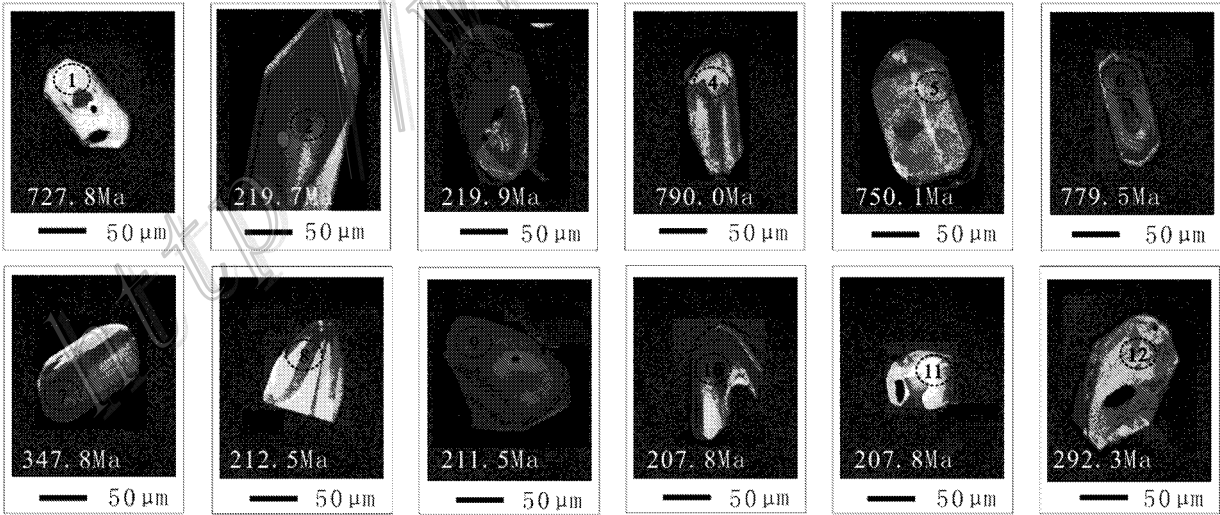


图 5 联合村花岗斑岩脉 LCK2 锆石阴极发光照片图
Fig. 5 Zircon CL image of the LCK2 granite porphyry sample from Lianhecun

表 3 郭家坡花岗细晶岩脉 GCK1 锆石 SHRIMP 分析数据

Table 3 Zircon SHRIMP U-Pb dating data of the GCK1 granite aplite sample from Guojiapo

测点	$^{206}\text{Pb}_c/\%$	$\text{U}/10^{-6}$	$\text{Th}/10^{-6}$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/10^{-6}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ t/Ma	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ t/Ma	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$ ± %	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$ ± %	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$ ± %
GCK1-1.1	0.85	206	286	1.43	27.0	907 ± 15	870 ± 79	0.068 ± 3.8	1.417 ± 4.2	0.151 ± 1.8
GCK1-2.1	2.99	375	209	0.57	12.7	242.3 ± 4.6	-578 ± 430	0.036 ± 16	0.194 ± 16	0.038 ± 1.9
GCK1-3.1	6.87	94	58	0.64	2.87	209.9 ± 6.4	-1 510 ± 2 200	0.027 ± 65	0.123 ± 65	0.033 ± 3.1
GCK1-4.1	4.65	36	31	0.89	1.25	246 ± 11	672 ± 920	0.062 ± 43	0.33 ± 43	0.038 ± 4.3
GCK1-5.1	0.81	110	31	0.29	15.8	982 ± 18	1 191 ± 110	0.079 ± 5.4	1.81 ± 5.7	0.164 ± 1.9
GCK1-6.1	0.55	255	265	1.07	34.0	924 ± 15	1 015 ± 39	0.073 ± 1.9	1.552 ± 2.6	0.154 ± 1.8
GCK1-7.1	0.13	371	60	0.17	137	2 302 ± 33	2 475 ± 8.9	0.161 ± 0.53	9.58 ± 1.8	0.429 ± 1.7
GCK1-8.1	0.45	187	216	1.20	13.7	523.7 ± 9.4	756 ± 85	0.064 ± 4.0	0.752 ± 4.4	0.084 ± 1.9
GCK1-9.1	0.00	448	578	1.33	14.7	241.0 ± 4.4	555 ± 59	0.058 ± 2.7	0.308 ± 3.3	0.038 ± 1.9

注 误差为 1σ， Pb_c 和 Pb^* 分别表示普通铅和放射性成因铅，应用实测的 ^{204}Pb 进行普通铅校正。

其余锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 292.3~790 Ma，数据较为分散。考虑到花岗斑岩脉侵位于三叠系及以下层位的地层，那么同位素年龄值大于 250 Ma（三叠纪时限大致时间）的锆石不论其是否具备岩浆成因的结构特征，均应属于捕获围岩或继承性锆石，其同位素年龄不代表脉岩的形成时间。分析表明 LCK2 样品锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 同位素年龄为 207.7~219.9 Ma，平均（212.7 ± 3.4）Ma，可作为花岗斑岩脉的大致侵位时间。

2.2.2 郭家坡花岗细晶岩脉

样品 GCK1 共分析 9 粒锆石（表 3），其中 3 粒的分析数据构成一组（图 6），其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 241.0~246 Ma，平均为（241.9 ± 6.1）Ma。该组锆石一般为短柱状，晶面不平直，且有溶圆现象（图 7），应属于捕

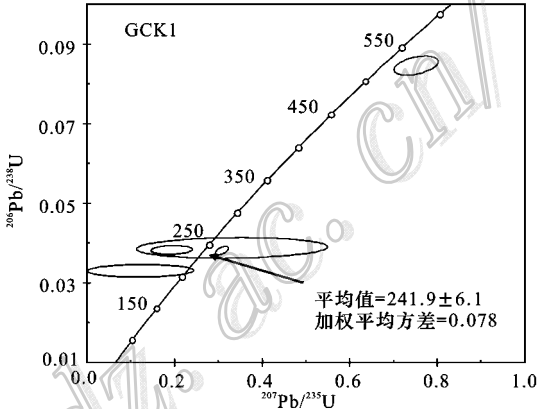


图 6 郭家坡花岗细晶岩脉 GCK1 锆石一致曲线图
Fig. 6 Zircon U-Pb concordia diagram of the GCK1 granite aplite sample from Guojiapo

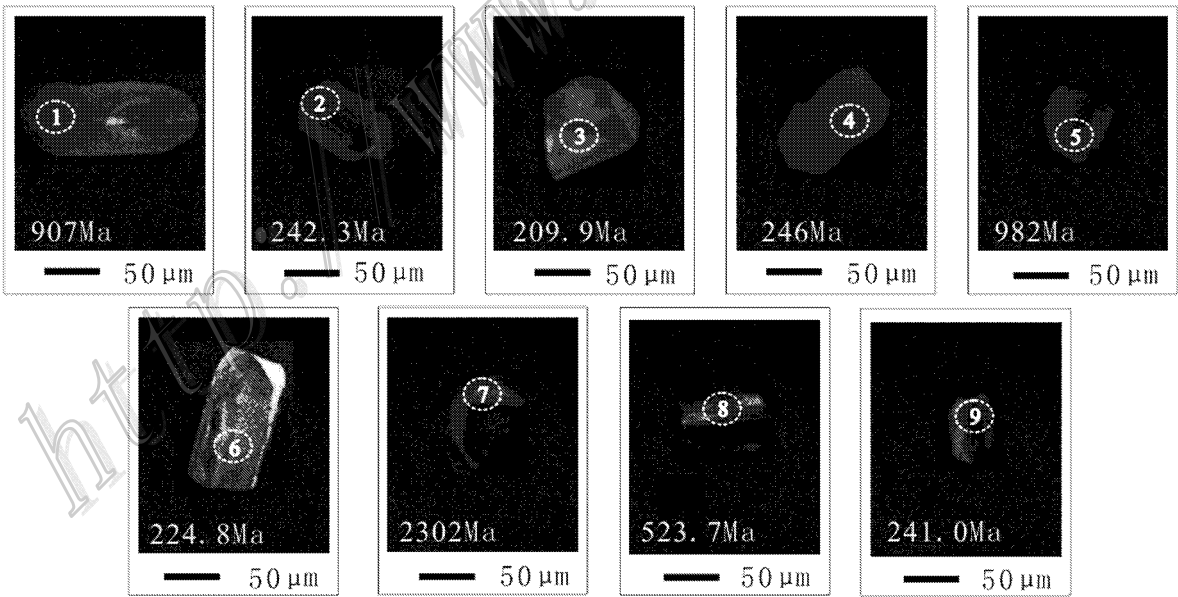


图 7 郭家坡花岗细晶岩脉 GCK1 锆石阴极发光照片

Fig. 7 Zircon CL image of the GCK1 granite aplite sample from Guojiapo

表 4 新关花岗斑岩脉 XD1 锆石 SHRIMP 分析数据

Table 4 Zircon SHRIMP U-Pb dating data of the XD1 granite porphyry sample from Xinguan

测点	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ %	$\text{U}/10^{-6}$	$\text{Th}/10^{-6}$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/10^{-6}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ t/Ma	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ t/Ma	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$ ± %	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$ ± %	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$ ± %
XD1-1.1	0.34	99	55	0.57	10.5	748 ± 14	1105 ± 180	0.076 ± 8.8	1.300 ± 9.0	0.123 ± 2.0
XD1-2.1	0.57	272	83	0.31	15.1	401.2 ± 7.0	842 ± 110	0.067 ± 5.5	0.595 ± 5.8	0.064 ± 1.8
XD1-3.1	0.74	501	179	0.37	15.4	224.5 ± 3.8	137 ± 130	0.048 ± 5.4	0.238 ± 5.6	0.035 ± 1.7
XD1-4.1	1.28	1779	68	0.04	35.7	147.2 ± 2.4	616 ± 68	0.060 ± 3.2	0.192 ± 3.6	0.023 ± 1.7
XD1-5.1	0.58	71	40	0.59	6.77	675 ± 14	1107 ± 180	0.076 ± 8.8	1.160 ± 9.1	0.110 ± 2.2
XD1-6.1	0.30	533	92	0.18	35.2	476.2 ± 8.1	535 ± 53	0.058 ± 2.4	0.615 ± 3.0	0.076 ± 1.8
XD1-7.1	0.62	391	139	0.37	11.8	221.9 ± 3.8	457 ± 110	0.056 ± 4.8	0.271 ± 5.1	0.035 ± 1.8
XD1-8.1	0.75	227	76	0.35	8.28	266.7 ± 4.9	743 ± 180	0.064 ± 8.4	0.373 ± 8.6	0.042 ± 1.9
XD1-9.1	0.11	334	388	1.20	103	1967 ± 29	24110 ± 9.7	0.155 ± 0.57	7.670 ± 1.8	0.356 ± 1.7
XD1-10.1	0.05	737	463	0.65	73.7	710 ± 11	772 ± 22	0.064 ± 1.1	1.042 ± 2.0	0.116 ± 1.7

注：误差为 1σ Pb_c 和 Pb^* 分别表示普通铅和放射性成因铅，应用实测的 ^{204}Pb 进行普通铅校正。

获围岩或继承性锆石,其同位素年龄不能作为岩脉的形成时间。编号 3 的锆石具有放射性环带结构,具岩浆锆石特征。其晶面平直,棱角明显,无明显溶圆,应属于与花岗细晶岩脉同期形成的岩浆锆石。其余几个锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 同位素年龄值为 523.7 ~ 2 302 Ma,考虑脉岩侵位于三叠系及以下层位的地层,其同位素年龄对限定脉岩的形成时间不具地质意义。分析表明本次测试的 3 号锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 同位素年龄值(209.9 ± 6.4) Ma,可作为郭家坡花岗细晶岩脉成岩时间的参考。

2.2.3 新关花岗斑岩脉

样品 XD1 共分析 10 粒锆石,结果见表 4,在一致曲线图(图 8)上,数据总体较为分散。锆石形态见图9。考虑脉岩侵位于三叠系及以下层位的地层

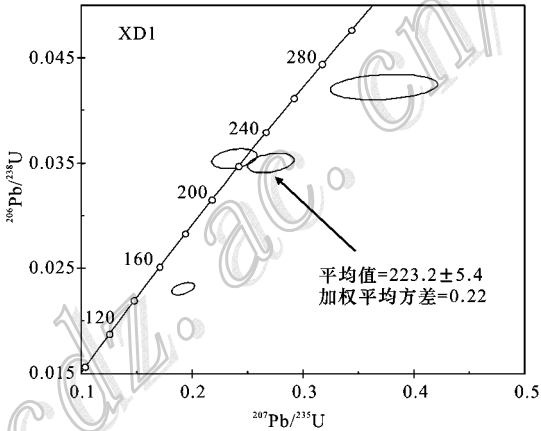


图 8 新关花岗斑岩脉 XD1 锆石一致曲线图

Fig. 8 Zircon U-Pb concordia diagram of the XD1 granite porphyry sample from Xinguan

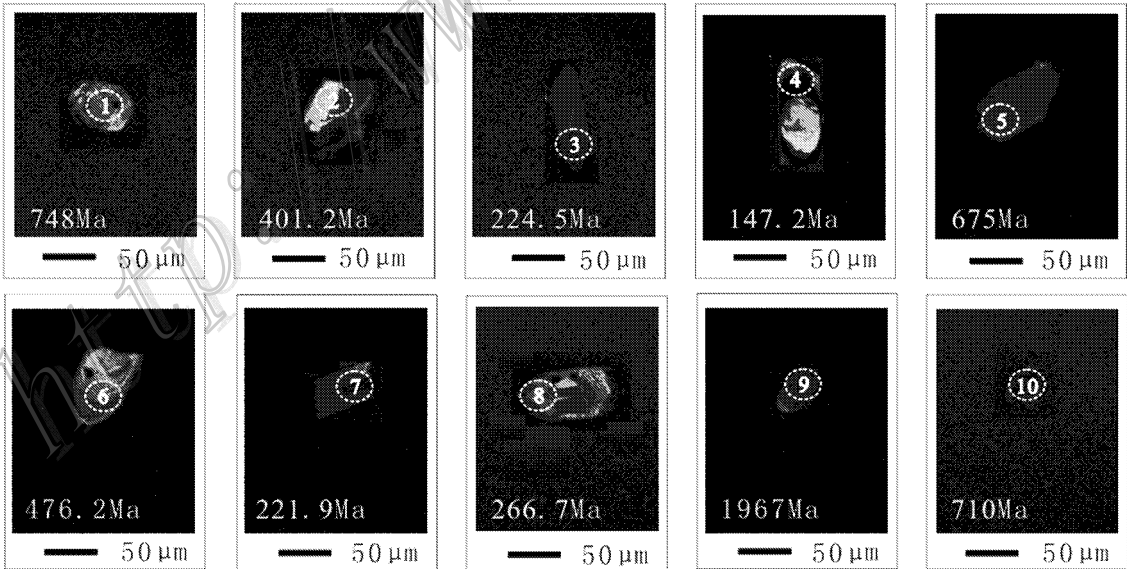


图 9 新关花岗斑岩脉 XD1 锆石阴极发光照片

Fig. 9 Zircon CL image of the XD1 granite porphyry sample from Xinguan

表 5 安坝斜长花岗斑岩脉 YA 锆石 SHRIMP 分析数据

Table 5 Zircon SHRIMP U-Pb dating data of the YA plagiogranite porphyry sample from Anba

测点	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\text{U}/10^{-6}$	$\text{Th}/10^{-6}$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/10^{-6}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ t/Ma	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ t/Ma	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$ ± %	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$ ± %	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$ ± %
YA-1	0.15	150	261	1.80	48.0	2 039 ± 41	2 023 ± 50	0.1246 ± 2.8	6.39 ± 3.7	0.3721 ± 2.3
YA-2	1.63	111	161	1.50	9.64	609 ± 14	560 ± 150	0.0588 ± 7.0	0.803 ± 7.4	0.0990 ± 2.5
YA-3	1.05	131	56	0.44	15.3	812 ± 18	681 ± 94	0.0622 ± 4.4	1.151 ± 5.0	0.1342 ± .4
YA-4	0.16	196	79	0.41	23.8	850 ± 18	847 ± 35	0.0673 ± 1.7	1.307 ± 2.9	0.1409 ± 2.3
YA-5	0.11	977	298	0.31	68.7	507 ± 11	792 ± 22	0.06555 ± 1.1	0.739 ± 2.5	0.0818 ± 2.2
YA-6	2.87	208	129	0.64	15.9	536 ± 14	2 358 ± 600	0.151 ± 35	1.81 ± 35	0.0867 ± 2.6
YA-7	0.10	430	105	0.25	154	2 244 ± 42	2 576 ± 13	0.1719 ± 0.77	9.87 ± 2.4	0.4163 ± 2.2
YA-9	0.79	91	79	0.89	9.38	726 ± 17	652 ± 87	0.0614 ± 4.1	1.008 ± 4.8	0.1192 ± 2.5
YA-10	0.55	236	223	0.98	27.4	814 ± 18	668 ± 50	0.0618 ± 2.3	1.147 ± 3.3	0.1345 ± 2.3
YA-11	0.87	976	483	0.51	25.0	187.8 ± 4.6	499 ± 72	0.0572 ± 3.3	0.2331 ± 4.1	0.02956 ± 2.5
YA-12	0.19	612	317	0.54	232	2 352 ± 45	2 498 ± 12	0.1641 ± 0.69	9.96 ± 2.4	0.4404 ± 2.3
YA-13	0.43	223	280	1.30	25.9	815 ± 21	742 ± 47	0.0640 ± 2.2	1.189 ± 3.5	0.1347 ± 2.7
YA-14	0.91	121	156	1.33	14.2	819 ± 22	606 ± 100	0.0601 ± 4.7	1.122 ± 5.5	0.1355 ± 2.9
YA-15	3.15	40	33	0.84	4.26	728 ± 21	183 ± 410	0.0497 ± 18	0.82 ± 18	0.1195 ± 3.1
YA-16	3.06	67	46	0.71	8.17	831 ± 20	678 ± 210	0.0621 ± 9.7	1.18 ± 10	0.1376 ± 2.6
YA-17	0.63	23	17	0.74	7.07	1 952 ± 49	1 976 ± 50	0.1213 ± 2.8	5.91 ± 4.1	0.354 ± 2.9
YA-18	0.54	74	40	0.56	24.0	2 048 ± 48	2 087 ± 30	0.1292 ± 1.7	6.66 ± 3.2	0.374 ± 2.7
YA-19	0.25	226	129	0.59	87.5	2 395 ± 46	2 498 ± 14	0.1641 ± 0.83	10.18 ± 2.5	0.450 ± 2.3
YA-20	2.87	295	119	0.42	13.7	330.4 ± 9.4	167 ± 300	0.0494 ± 13	0.358 ± 13	0.0526 ± 2.9

注 误差为 1σ Pb_c 和 Pb^* 分别表示普通铅和放射性成因铅 应用实测的 ^{204}Pb 进行普通铅校正。

中,那么 7 个 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 同位素年龄大于 250 Ma 的锆石,不能用来判断脉岩的形成时间。编号 3 和 7 的锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 同位素年龄分别为 221.9 Ma 与 224.5 Ma,平均为 (223.2 ± 5.4) Ma,在谐和图中和一致线基本一致,2 粒锆石形态呈长柱状,晶面平直发育环带,具岩浆锆石特征(图 9),可作为厘定脉岩形成时间的参考年龄。编号为 4 的锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 同位素年龄为 (147.2 ± 2.4) Ma,该粒锆石结构比较特殊,颗粒整体外观呈长柱状,外侧出现韵律环,但其中部出现一个明显的浑圆核,推测该粒锆石是在原溶蚀核的基础上增生而成。激光侧点测得的数据可能是锆石内部浑圆核和外部增生边的同位素混合值,其年龄意义不易确定。上述分析表明,本次研究获得的 221.9 Ma 与 224.5 Ma 的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 同位素年龄可作为新关花岗斑岩脉成岩的参考时间。

2.2.4 安坝斜长花岗斑岩脉

样品 YA 共分析 20 粒锆石(表 5),其中一粒因普通铅混入而被剔除。在 U-Pb 谐和图上(图 10),分析数据主要有 3 组。第 1 组由 3 个分析数据(编号为 7、12、19)组成,其 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 2 498 ~ 2 576 Ma,该组数据位于一致曲线下方,放射成因铅可能有少量丢失。第 2 组也由 3 个分析数据(编号为 1、17、18)组成,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 1 952 ~ 2 048

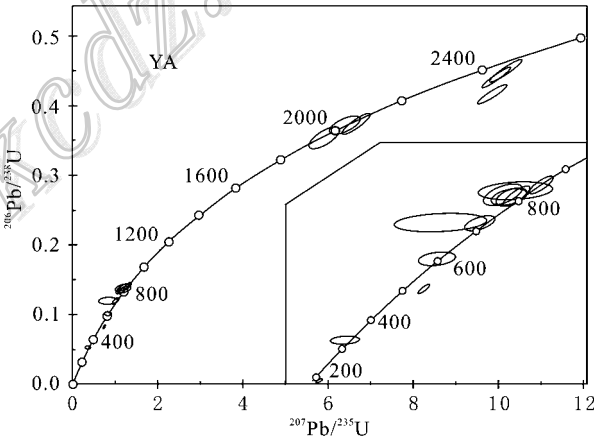


图 10 安坝斜长花岗斑岩脉 YA 锆石一致曲线图

Fig. 10 Zircon U-Pb concordia diagram of the YA plagiogranite porphyry sample from Anba

Ma,该组数据与一致曲线相交切。上述 2 组锆石多为浑圆状,环带结构不发育(图 11),应为捕获的新太古代及古元古代结晶基底的锆石。第 3 组由 6 个分析数据(编号为 3、4、10、13、14、16)组成,并与一致曲线相交切,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 812 ~ 850 Ma[加权平均值为 (823 ± 15) Ma],该组锆石一般为柱状,韵律环带结构发育,具岩浆锆石的特征。其余分析结果较为分散,YA-9、15、2、6、5、11、20 的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年

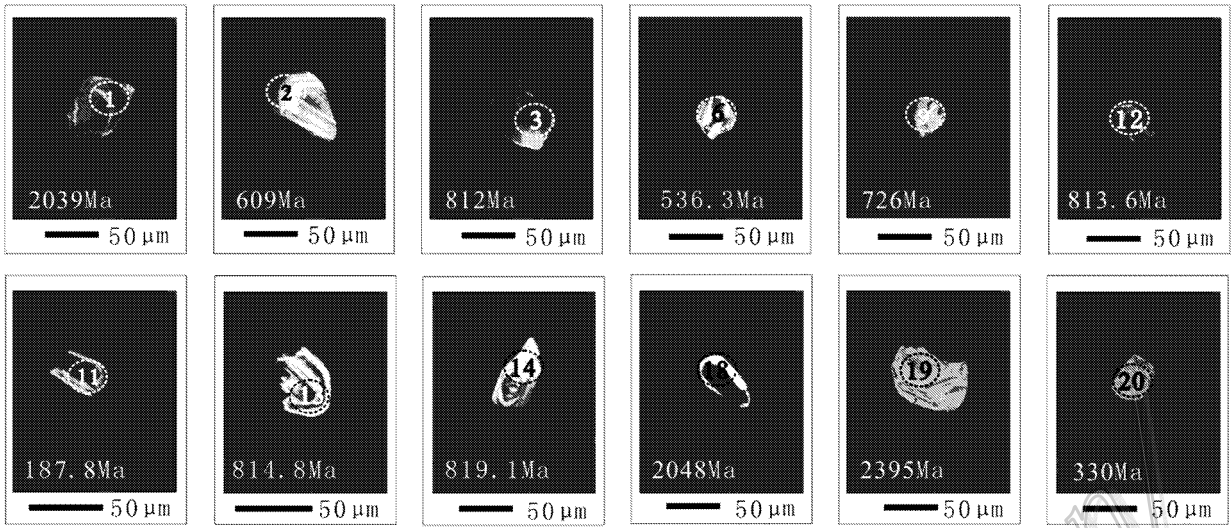


图 11 安坝斜长花岗斑岩脉 YA 锆石阴极发光图像

Fig. 11 Zircon CL image of the YA plagiogranite porphyry sample from Anba

龄分别为 $(726 \pm 17) \text{ Ma}$, $(728 \pm 21) \text{ Ma}$, $(609 \pm 14) \text{ Ma}$, $(536 \pm 14) \text{ Ma}$, $(507 \pm 11) \text{ Ma}$, $(330.4 \pm 9.4) \text{ Ma}$ 和 $(187.8 \pm 4.6) \text{ Ma}$, 测得的数据只能作为参考。在安坝矿段西部马营一带可见斜长花岗斑岩脉侵入三叠系中, 所以其形成时代应不会早于三叠纪(时限大致在 250 Ma), 即锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 同位素年龄大于 250 Ma 的不能作为斜长花岗斑岩脉的成岩年龄。那么前述的第 3 组锆石可能为捕获或继承新元古代的岩浆岩锆石, 编号为 9、15、2、6、5、20 的锆石, 可能是捕获的地层中的锆石, 编号为 11 的锆石呈自形柱状, 有环带结构, 具岩浆结晶锆石特征, 但由于这粒锆石颗粒过小(宽 $< 30 \mu\text{m}$), 在测试过程中容易造成普通铅混入, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 同位素年龄值 $(187.8 \pm 4.6) \text{ Ma}$ 只能作为斜长花岗斑岩脉成岩的参考时间。齐金忠等(2003a)采用 K-Ar 法对该区斜长花岗斑岩脉的成岩时间进行了研究, 5 件斜长花岗斑岩脉样品的 K-Ar 同位素平均年龄为 $(189.4 \pm 7.2) \text{ Ma}$ 。对比本次编号 11 的锆石分析结果, 两者吻合, 因此锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 同位素年龄值 $(187.8 \pm 4.6) \text{ Ma}$ 可作为本次研究的斜长花岗斑岩脉成岩时间的参考值。

3 成岩与成矿时代探讨

3.1 区域地质演化与岩浆活动

阳山金矿带所处的西秦岭南亚带经历了较复杂

的地质演化, 从新太古代的古陆核形成, 元古宙碧口地块增生, 新元古代—早古生代的陆缘碎屑岩、碳酸盐、硅质岩建造, 加里东运动(400 Ma 左右)不均匀褶皱隆升, 早泥盆世—早二叠世的裂陷槽、洋盆碳硅泥岩系沉积, 早中三叠世裂陷海盆的巨厚复理石沉积, 到晚三叠世扬子板块沿勉略带向南秦岭板块之下的俯冲和勉略洋盆闭合, 进入陆内造山演化阶段($240 \sim 220 \text{ Ma}$) (刘家军等, 1997; 姚书振等, 2002; 毛景文等, 2005), 在这个漫长的地质历史演化时期内, 区域岩浆侵入活动一直较弱。

直至晚三叠世末到中侏罗世, 伴随勉略缝合带南侧的巨大碰撞逆冲推覆和前陆冲断褶皱作用, 缝合带以北的西秦岭地区发生隆升和伸展作用(张国伟等, 2003; 毛景文等, 2005), 形成规模较小的侏罗纪断陷盆地, 以及广泛发育的规模相对较大的酸性侵入体、岩脉等($190 \sim 220 \text{ Ma}$) (杜子图等, 1998)。晚侏罗世, 西秦岭地区构造-岩浆活动总体较弱, 仅在勉略古缝合带发生了较强烈的叠加改造(张国伟等, 2003)。早白垩世, 伴随秦岭中央造山系整体的急剧隆升, 西秦岭地区发生新的伸展裂陷作用, 形成一系列具有红色磨拉石建造特征的箕形断陷盆地和分布广泛、规模较小的燕山期酸性岩脉和小岩株($120 \sim 150 \text{ Ma}$) (杜子图等, 1998)。从第三纪初期(65 Ma) 开始, 印度板块与欧亚板块开始碰撞拼合, 松潘-甘孜造山带的双向收缩、深层滑脱、侧向及垂向挤出, 致使本区又开始进入陆内伸展构造盆地演化, 并接

受了西秦岭中北部的第三系厚数千米的红色磨拉石堆积。

3.2 脉岩成岩年龄

阳山矿带内岩浆活动相对较强,主要为分布广泛的中酸性岩脉、岩墙和小岩株。岩石类型以斜长花岗斑岩、花岗斑岩为主,次为花岗细晶岩。岩脉集中发育于安昌河-观音坝断裂带、松柏-犁坪断裂破碎带内,以及附近的次级韧性剪切带、层间断裂内,岩脉展布与区域构造线基本一致。发育于泥盆系三河口群千枚岩中的岩脉,多沿 S_1 面理侵入、定位,并受 S_1 片理改造,个别岩脉边部略具片理化,显示了同构造期(印支期)递进变形的特征(甘肃省地勘局地质矿产勘查院,1999)^①;发育于松柏-犁坪断裂上盘中三叠统地层中的岩脉,多沿层理或印支期形成的片理分布;产于区域性主破碎带内的岩脉多呈长透镜状或不规则的棱角鲜明的构造块体。这些地质特征在一定意义上表明:阳山矿带内中酸性岩脉侵位于印支末期—燕山早期,即晚三叠世末到早侏罗世,并经历多期次构造变形。另据齐金忠等(2003a)采自样品 YA 同一位置的 5 件斜长花岗斑岩脉样品的 K-Ar 年龄 171~209 Ma,孙树浩(2005)在联合村矿区测定花岗斑岩脉的 Rb-Sr 等时线年龄 (199.28 ± 42.79) Ma,以及 1:5 万地质调查(堡子坝幅)测定的中酸性岩脉 K-Ar 年龄 174~196 Ma 等,均与本次工作中测定的岩脉锆石 SHRIMP U-Pb 年龄基本一致。如联合村金矿 2 件花岗斑岩脉样品的锆石组 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 (217.8 ± 2.8) Ma 和 (212.7 ± 3.4) Ma,安坝矿段斜长花岗斑岩脉中测得 1 粒锆石年龄 (187.8 ± 4.6) Ma,石鸡坝金矿郭家坡矿段花岗细晶岩脉测得 1 粒新锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄 (209.9 ± 6.4) Ma,新关矿段 2 粒锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄 221.9~224.5 Ma,这些同位素年龄集中分布于 185~220 Ma,说明矿带内中酸性岩脉主要侵位于三叠纪末—早侏罗世,岩浆侵入活动跨越了 30~40 Ma。

3.3 岩浆成矿作用与金矿成矿时代

正如前述,产于矿带不同地段的中酸性岩脉多发生蚀变和金属矿化,而且常常直接形成矿体,矿体也多发育于岩脉的内外接触带或附近,矿化多具同岩浆或岩浆期后的活动特征。另据稳定同位素分析资料,阳山矿带内斜长花岗斑岩脉 $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ 值为 $-9.09\text{‰} \sim -9.14\text{‰}$,安坝矿段石英 $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ 值为

-8.36‰ (齐金忠等,2003;罗锡明等 2004),与岩浆成因碳较为接近;矿脉中主要载金矿物黄铁矿及辉锑矿的硫同位素组成值 $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ 均为较小的负值,其变化范围为 $-3.47\text{‰} \sim -0.7\text{‰}$ (平均 -2.2‰) (齐金忠等 2003a;罗锡明等 2004),接近于岩浆硫。航磁资料反演也揭示,在阳山矿带的葛条湾-阳山矿段深部有较大规模的岩浆隐伏体存在(雷时斌等,2007)。上述资料表明,阳山矿带内的岩浆活动与金矿成矿关系密切,而且为金矿成矿提供了较丰富的成矿物质来源和热动力条件。

对于西秦岭地区的金矿成矿,大多数学者认为其成矿时代介于 220~100 Ma 之间(姚书振等 2002;陈衍景等 2004;毛景文等 2005)。雷时斌等(2007)研究表明,西秦岭地区的金矿成矿明显存在 3 个峰值期:210~160 Ma 的晚三叠世—早侏罗世,130~100 Ma 的早白垩世和 60 Ma 以来的早第三纪时期,其中以 210~160 Ma 成矿为主,而且大型以上规模的金矿床往往是多期次成矿作用耦合或叠加的结果(表 6)。

对于矿带内金矿成矿时代,齐金忠等(2003a)通过对含金石英黄铁矿细脉中的石英 ^{40}Ar - ^{39}Ar 同位素年龄测定和石英中锆石的 SHRIMP U-Pb 年龄精确测定,基本确认与斜长花岗斑岩脉同期的岩浆热液的活动年龄为 (195.31 ± 0.86) Ma (矿化石英脉 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄),矿化石英中的岩浆锆石组 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄分为 3 组,分别为 (197.6 ± 1.7) Ma、 (126.9 ± 3.2) Ma 和 (51.2 ± 1.3) Ma,这些测试数据显示,阳山矿带内的金矿床主要形成于侏罗纪早期,并在白垩纪早期以及第三纪发生了一定程度的岩浆叠加或耦合成矿作用,此特征与西秦岭地区中生代以来的区域构造-岩浆-成矿热事件吻合较好。

4 结 论

阳山矿带地表出露的岩脉主要侵位于晚三叠世末—早侏罗世,不同矿区(段)岩脉的岩性有一定差别,形成时代也略有先后,其中石鸡坝新关矿段花岗斑岩脉的时代较老,为 $(221.9 \sim 224.5)$ Ma;其次为联合村金矿的花岗斑岩脉,形成时代为 212.7~217.8 Ma;再次为石鸡坝郭家坡矿段的花岗细晶岩脉,年龄为 209.9 Ma;较晚的是普遍发育于阳山矿

① 甘肃省地勘局地质矿产勘查院. 1999. 1:5 万堡子坝幅说明书. 内部资料.

表 6 西秦岭主要金矿成矿年龄和规模(雷时斌等,2007)

Table 6 Ore-forming age and scale of main gold deposits in West Qinling area (after Lei et al. , 2007)

序号	矿床	储量(资源量)/t	成矿年龄/Ma																					
			20	40	80	100	120	140	160	180	200	220	240											
1	阳山	>300																						
2	金龙山	40																						
3	寨上	46																						
4	双王	50																						
5	八卦庙	>50																						
6	煎茶岭	50																						
7	李坝	>50																						
8	拉尔玛	>20																						
9	大水	>50																						
10	马脑壳	>20																						
11	东北寨	>50																						
12	巴西	>10																						
13	马泉	18																						
14	马鞍桥	>20																						
15	桥桥上	15																						
16	银洞沟	15																						
17	小沟里	小型																						
18	金山	25																						
19	邛莫	5																						
20	尚家沟	中型																						
21	石鸡坝	10																						
22	哲皮山	2																						
23	金木达	小型																						
24	许家坡	2.5																						

主成矿期

次成矿期

204080100120140160180200220240

带中东部的斜长花岗斑岩脉,形成时代为 171~209 Ma 矿带岩浆活动期为 30~40 Ma。阳山矿带的金矿主要形成于侏罗纪早期(195 Ma 左右),成矿作用不仅与晚三叠世末-侏罗纪早期岩浆活动关系密切,而且受到白垩纪早期及第三纪早期 2 次岩浆-热液活动的影响。这些特征与西秦岭地区中生代岩浆活动和成矿作用规律相一致。

References

Chen Y J, Zhang J, Zhang F X, Franco Pirajno and Li C. 2004. Carlin and Carlin-like gold deposits in Western Qinling mountains and their metallogenic time, tectonic setting and model[J]. Geo. Rev. , 50(2) :134-152(in Chinese with English abstract).

Compston W, Williams I S, Kirschvink J L, Zhang Z and Ma G. 1992. Zircon U-Pb ages for the Early Cambrian time scale[J]. J. Geol. Society, London, 149 :171-184.

Du Z T and Wu G G. 1998. Structural system and dynamics of tectonic mineralization of gold deposits in western Qinling [M]. Beijing : Geol. Pub. House. 156(in Chinese with English abstract).

Lai S C, Zhang G W, Pei X Z and Yang H F. 2003. Ophiolites and oceanic island volcanic geochemistry and its tectonic significance of Kangxian-Bibasi-Nanping tectonic melange belt in western Qinling [J]. Sci. in China(Ser. D), 33 (1) :10-19(in Chinese).

Lei S B and Qi J Z. 2007. Geodynamics system and multi-factor coupling mineralization in the Yangshan gold belt, Gansu [J]. Geol. & Prospect. , 2 :33-39(in Chinese with English abstract).

Liu J J, Zheng M H, Liu J M, Zhou Y F, Gu X X and Zhang B. 1997. Geotectonic evolution and mineralization zone of deposits in western Qinling[J]. Geotectonica et Metallogenia, 21 (4) :307-314 (in Chinese with English abstract).

Luo X M and Qi J Z. 2004. Geological and microelement geochemical study of Yangshan gold deposit, Gansu Province[J]. Geosci. , 18 (2) :203-209(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 Y. 2005. Types and characteristics of endogenetic metallic deposits in orogenic belts in China and their metallogenic processes[J]. Acta Geologica Sinica, 79(3) :342-372(in Chinese with English abstract).

Qi J Z, Yuan S X, Li L, Sun B, Guo J H, Li Z H, Fan Y X, Liu W and Gao Q B. 2003a. Geological features and ore-controlling factors of the Yangshan superlarge gold deposit, Gansu Province, China[J].

- Geol. Rev., 49(1): 85-92 (in Chinese with English abstract).
- Qi J Z, Li L, Yuan S X, Fan Y X, Liu W, Gao Q B, Sun B, Guo J H and Li Z H. 2003b. Geological and geochemical studies of Yangshan gold deposit, Gansu Province [J]. Mineral Deposits, 22(1): 24-31 (in Chinese with English abstract).
- Qi J Z, Li L, Yuan S X, Liu Z J, Liu D Y, Wang Y B and Li Z H. 2005. A SHRIMP U-Pb chronological study of zircons from quartz veins of Yangshan gold deposit, Gansu Province [J]. Mineral Deposits, 24(2): 141-150 (in Chinese with English abstract).
- Sun S H. 2005. Geological and geochemical signature of Carlin of carlin-like gold deposits in the North Sichuan-south Gansu area [J]. Contr. Geol. & Mineral Resour. Resear., 1: 8-14 (in Chinese with English abstract).
- Williams I S. 1998. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe [J]. Reviews in Econ. Geol., 7: 1-35.
- Yao S Z, Ding Z J, Zhou Z G and Chen S Y. 2002. Metallogenic systems of Qinling orogen [J]. Earth Science, 27(5): 599-604 (in Chinese with English abstract).
- Zhang G W, Dong Y P, Lai S C, Guo A L, Men Q R, Liu S F, Cheng S Y, Yao A P, Zhang Z Q, Pei X Z and Li S Z. 2003. Research on Mianlue structural belt and Mianlue suture zone on the southern margin of the eastern Qinling and Dabie orogenic belt [J]. Sci. in China (Ser. D), 33(12): 1121-1135 (in Chinese).
- 附中文参考文献**
- 陈衍景, 张 静, 张复新, Franco P, 李 超. 2004. 西秦岭卡林类卡林型金矿床及其成矿时间、构造背景和模式 [J]. 地质论评, 50(2): 134-152.
- 杜子图, 吴淦国. 1998. 西秦岭地区构造体系及金成矿构造动力学 [M]. 北京: 地质出版社. 156 页.
- 赖绍聪, 张国伟, 裴先治, 杨海峰. 2003. 南秦岭康县-琵琶寺-南坪构造混杂岩带蛇绿岩与洋岛火山岩地球化学及其大地构造意义 [J]. 中国科学(D 辑), 33(1): 10-19.
- 雷时斌, 齐金忠. 2007. 甘肃阳山金矿带地球动力学体制与多因耦合成矿作用 [J]. 地质与勘探, 2: 33-39.
- 刘家军, 郑明华, 刘建明, 周渝峰, 顾雪祥, 张 斌. 1997. 西秦岭大地构造演化与金成矿带的分布 [J]. 大地构造与成矿学, 21(4): 307-314.
- 罗锡明, 齐金忠. 2004. 甘肃省阳山金矿床微量元素及稳定同位素地球化学研究 [J]. 现代地质, 18(2): 203-209.
- 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. 2005. 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.
- 齐金忠, 袁士松, 李 莉, 孙 彬, 郭俊华, 李志宏, 范永香, 刘伟, 高秋斌. 2003a. 甘肃省文县阳山特大型金矿床地质特征及控矿因素分析 [J]. 地质论评, 49(1): 85-92.
- 齐金忠, 李 莉, 袁士松, 范永香, 刘 伟, 高秋斌, 孙 彬, 郭俊华, 李志宏. 2003b. 甘肃省文县阳山金矿床地质地球化学研究 [J]. 矿床地质, 22(1): 24-31.
- 齐金忠, 李 莉, 袁士松, 刘志杰, 刘敦一, 王彦斌, 李志宏. 2005. 甘肃省阳山金矿床石英脉中锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究 [J]. 矿床地质, 24(2): 141-150.
- 孙树浩. 2005. 川北-甘南地区类卡林型金矿床的地质-地球化学特征 [J]. 地质找矿论丛, 1: 8-14.
- 姚书振, 丁振举, 周宗桂, 陈守余. 2002. 秦岭造山带金属成矿系统 [J]. 地球科学(中国地质大学学报), 27(5): 599-604.
- 张国伟, 董云鹏, 赖绍聪, 郭安林, 孟庆任, 刘少峰, 程顺有, 姚安平, 张宗清, 裴先治, 李三忠. 2003. 秦岭-大别造山带南缘勉略构造带与勉略缝合带 [J]. 中国科学(D 辑), 33(12): 1121-1135.