

# 甘肃省阳山金矿床石英脉中锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究<sup>\*</sup>

齐金忠<sup>1,2</sup>, 李 莉<sup>1</sup>, 袁士松<sup>1</sup>, 刘志杰<sup>1</sup>, 刘敦一<sup>2</sup>, 王彦斌<sup>2</sup>, 李志宏<sup>3</sup>

(1 中国人民武装警察部队黄金地质研究所, 河北 廊坊 065000; 2 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037;

3 中国人民武装警察部队黄金第十二支队, 四川 成都 610036)

**摘 要** 为研究阳山特大微细浸染型金矿床的成矿时代, 文章结合阴极发光对矿区不同类型石英(细)脉中锆石进行了 SHRIMP U-Pb 年龄的精确测定。结果表明, 微细浸染型矿石中锆石呈自形柱状, 韵律性环带结构发育, Th/U 比值集中于 0.5~1.5 之间, 具岩浆岩锆石特征, 锆石  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄有 3 组, 分别为  $(197.6 \pm 1.7) \text{ Ma}$ 、 $(126.9 \pm 3.2) \text{ Ma}$  和  $(51.2 \pm 1.3) \text{ Ma}$ , 其中前一组年龄与矿区斜长花岗斑岩脉的形成时代一致, 而后两组年龄指示矿区存在白垩纪及第三纪隐伏岩浆岩体, 表明阳山微细浸染型金矿床的形成与中、新生代 3 次岩浆热液活动有关。矿区含明金石英脉型矿石中所测得的锆石年龄均老于围岩时代。不同时代多期次热液活动在空间上的耦合是形成阳山金矿床的重要因素。

**关键词** 地球化学; 微细浸染型; 金矿床; 锆石; SHRIMP 年龄; 阴极发光; 甘肃

**中图分类号**: P618.51; P597<sup>+</sup>.3

**文献标识码**: A

成矿时代一直是金矿研究中的关键问题和难点问题(Stein et al., 1997; 莫测辉等, 1997; 魏俊浩等, 2003), 微细浸染型金矿尤为如此。美国卡林金矿于 1965 年开始生产, 但直到最近才确定下来它的成矿时代(Hofstra et al., 1999)。阳山金矿床为武警黄金部队近期发现的一特大型微细浸染型金矿床(目前控制的金资源量已超过 145 t, 平均品位 5.6 g/t)。对于该矿床, 前期曾进行过 K-Ar 及  $^{39}\text{Ar}$ - $^{40}\text{Ar}$  年龄的测定(齐金忠, 2003a; 2003b), 确定了与矿化关系密切的斜长花岗斑岩脉的形成年龄为侏罗纪早期。为进一步确定成矿时代, 本文对石英脉中的锆石进行了 SHRIMP 年龄精确测定。

对于石英脉中的锆石前人也曾作过锆石 U-Pb 年龄测定(Corfu et al., 1984; Claoue-long et al., 1990; 李俊建等, 1996), 但由于测试方法所限, 对于是否存在“水热锆石”以及如何确定“水热锆石”, 人们还有不同的看法(罗镇宽等, 2000), 因而难以肯定测定石英脉中锆石年龄是否有意义。近年来许多学者将先进的离子探针分析技术(SHRIMP)用于金矿测年, 取得了不少研究成果(Miao et al., 1997;

Wang et al., 1998; 苗来成等, 2000; Qiu et al., 2002), 这些测定结果均为与矿床有关的中酸性岩体中锆石的年代, 由此推定金矿成矿时限。本文对阳山金矿区不同类型石英(细)脉中锆石进行 SHRIMP U-Pb 年龄精确测定, 并结合阴极发光照片, 推测石英脉中锆石的类型、形成时代, 进而确定成矿时代。这些工作是尝试性的。

## 1 地质概况

阳山金矿位于甘肃省文县, 在大地构造位置上处于扬子板块以北、中朝板块以南、松藩—甘孜褶皱系以东的三角区内, 属西秦岭南亚热带。研究区位于勉略缝合带北侧(赖绍聪等, 2003), 区内构造以文县弧形构造为主, 它由一系列近于平行的断裂构成, 阳山金矿即位于其中的安昌河-观音坝断裂带中。区内出露的地层主要有: 元古宇碧口群白云岩、灰岩、硅质岩、千枚岩、板岩及绿片岩等; 泥盆系砂岩、板岩、千枚岩、灰岩、含铁石英岩等; 石炭系、二叠系灰岩、白云岩、砂岩、板岩等。此外, 还零星出露三叠系、侏罗系, 以碎屑岩为主(图1)。区内出露的岩浆

\* 本文为中国人民武装警察部队黄金指挥部科研专项基金资助项目(编号 HJ02001)的成果

第一作者简介 齐金忠, 男, 1965 年生, 中国地质科学院地质研究所博士后, 武警黄金地质研究所高级工程师, 主要从事金矿地质工作。

收稿日期 2004-08-27; 改回日期 2004-11-25。张绮玲编辑。

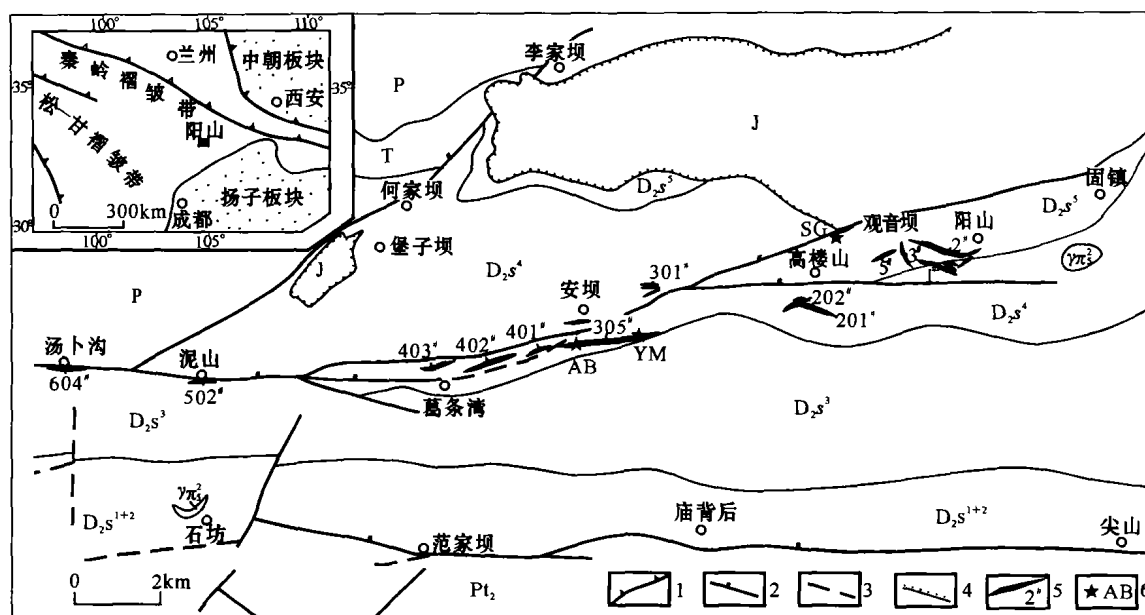


图 1 甘肃省文县阳山金矿带地质简图

J—侏罗系砾岩、页岩；T—三叠系砂岩、板岩；P—二叠系板岩、灰岩； $D_2s^5$ —中泥盆统三河口群五段灰岩； $D_2s^4$ —中泥盆统三河口群四段千枚岩夹薄层灰岩； $D_2s^3$ —中泥盆统三河口群三段灰岩、砂质板岩； $D_2s^{1+2}$ —中泥盆统三河口群一、二段砂岩、板岩； $Pt_2$ —中元古界碧口群灰岩、变质砂岩； $\gamma\pi_2^2$ —燕山期斜长花岗斑岩；1—俯冲带；2—断层；3—推测断层；4—不整合界线；5—金矿化体及编号；6—采样位置及样品号

Fig. 1 Geological map of the Yangshan gold ore field

J—Jurassic conglomerate, shale; T—Triassic sandstone, slate; P—Permian slate, limestone;  $D_2s^5$ —Limestone of Middle Devonian Sanhekou Group;  $D_2s^4$ —Phyllite and limestone of Middle Devonian Sanhekou Group;  $D_2s^3$ —Limestone, slate of Middle Devonian Sanhekou Group;  $D_2s^{1+2}$ —Sandstone, slate of Middle Devonian Sanhekou Group;  $Pt_2$ —Limestone, metasandstone of Middle Proterozoic Bikou Group;  $\gamma\pi_2^2$ —Yanshanian plagiogranite; 1—Zone of subduction; 2—Fault; 3—Inferred fault; 4—Unconformity; 5—Gold orebody; 6—Sampling location and its number

岩以斜长花岗斑岩脉为主，沿构造破碎带产出。阳山金矿矿体主要产于斜长花岗斑岩脉与中泥盆统三河口群砂泥质千枚岩的内外接触带中。

阳山金矿带共发现金矿脉 49 条，其中规模最大的为 305<sup>#</sup>（控制的金资源量为 56 133 kg）、314<sup>#</sup> 矿脉（控制的金资源量为 27 570 kg），矿脉在平面上呈舒缓波状，在剖面上呈脉状。矿石主要由细粒浸染状黄铁矿化、毒砂化千枚岩及斜长花岗斑岩构成，其中自然金主要以微细粒金（2~3  $\mu\text{m}$ ）形式包裹于毒砂、黄铁矿之中。除微细浸染型金矿化外，在矿区还零星出露含金石英脉型金矿化，一般呈扁豆状孤立产出。

## 2 样品特征及实验方法简述

本文对采自阳山金矿区微细浸染型矿体内的石英细脉样品 YM、AB 以及含金石英脉型矿石样品 SG 进行了分析。

样品 YM、AB 分别采自阳山矿区安坝矿段

305<sup>#</sup>、314<sup>#</sup> 矿脉，其中 YM 采自草坪梁平硐 PD311，而 AB 采自安坝平硐 YM001，均为微细浸染型矿石中的含黄铁石英细脉（以下称石英细脉），脉宽 1~2 cm，产于斜长花岗斑岩脉与中泥盆统三河口群千枚岩的接触带中。其中毒砂及黄铁矿共占 1%（体积分数，下同）；石英占 95%，绢云母及粘土矿物等约占 4%。

样品 SG 采自四沟沟口，为含金石英脉，脉体宽约 30 cm，地表出露长度约 5 m，被后期构造活动挤压破碎呈扁豆状，其围岩为中泥盆统三河口群千枚岩。矿石中金属矿物约占 2%，有自然金、黄铁矿、黄铜矿等，其中自然金粒度可达 2~3 mm；非金属矿物主要为石英（占 70%）、方解石（占 25%），此外还含少量绢云母、粘土矿物等（占 3%）。

将锆石从上述样品（3~5 kg）中分选出来，并在双目镜下挑纯。将待测锆石与澳大利亚国立大学地球科学研究院（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，然后将靶上的锆石磨至约一半，以使锆石内部暴露。接着

进行照相、阴极发光(CL)分析、抛光、清洗、镀金,最后进行 SHRIMP 分析。CL 图象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阅 Compston, 1992; Williams, 1998)。数据处理采用 Ludwig 的 SQUID1.02 及 ISOPLOT 程序,文中均值为加权平均年龄(置信度为 95%)。

### 3 锆石 SHRIMP U-Pb 年龄测定结果

#### 3.1 石英细脉 YM 分析结果

对微细浸染状金矿石中的石英细脉样品 YM 共分析了 16 粒锆石(表 1),在 U-Pb 谐和图(图 2)上,分析数据主要有 3 组。第 1 组由 3 个分析数据组成,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为 195.4~200.9 Ma,分析数据与一致曲线相交。该组锆石为自形柱状,环带结构清晰(图 5),应为捕获早侏罗世岩浆岩的锆石。第 2 组由 6 个分析数据组成,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为 121.8~137 Ma[平均 $(128.2 \pm 5.5)$  Ma],分析数据与一致曲线相交。该组锆石为自形柱状,韵律性环带结构发育(图 5),应为捕获的白垩纪岩浆岩锆石。第 3 组由 4 个分析数据组成,并与一致曲线相交切,其

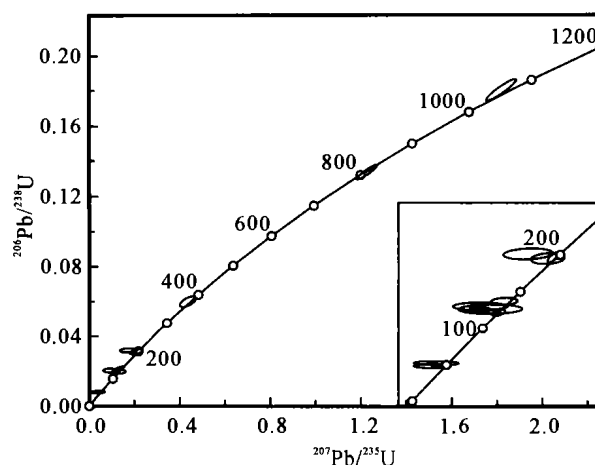


图 2 石英细脉 YM 锆石一致曲线图

Fig. 2 U-Pb Weatherill concordia diagrams showing SHRIMP data for YM sample

$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为 48.1~51.7 Ma[平均 $(50.0 \pm 3.0)$  Ma]。该组锆石为自形柱状,具简单环带结构(图 5),应为捕获第三纪岩浆岩锆石。其余分析数据较为分散,样品 YM-13、15,为短柱状、具环带结构,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄分别为 $(1069 \pm 22)$  Ma、 $(809 \pm 17)$  Ma,可能为捕获的新元古代岩浆岩锆石。YM-12 中的锆石为短柱状,环带结构不发育,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为 $(375 \pm 11)$  Ma,可能为捕获地层中的锆石。

表 1 阳山金矿石英细脉 YM 锆石 SHRIMP 分析数据

Table 1 SHRIMP U-Pb isotopic analytical data of gold-bearing quartz sample

测点	$^{206}\text{Pb}_c/\%$	$\text{U}/10^{-6}$	$\text{Th}/10^{-6}$	$\frac{^{232}\text{Th}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}^*}{10^{-6}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$ 年龄/Ma	$\frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{206}\text{Pb}^*}$	$2\sigma$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$2\sigma$	$\frac{^{206}\text{Pb}^*}{^{238}\text{U}}$	$2\sigma$
YM-1	2.29	277	260	0.97	4.75	$124.6 \pm 3.2$	0.0367	11	0.099	11	0.01952	2.6
YM-2	5.77	355	277	0.81	2.43	$48.1 \pm 1.5$	0.023	62	0.024	62	0.00749	3.2
YM-3	2.12	277	274	1.02	4.94	$129.6 \pm 3.3$	0.0403	15	0.113	16	0.02030	2.6
YM-4	1.10	542	521	0.99	10.1	$137.0 \pm 3.5$	0.0458	9.7	0.135	10	0.02147	2.6
YM-5	0.28	644	377	0.61	10.6	$121.8 \pm 2.8$	0.0484	4.4	0.1272	5.0	0.01907	2.4
YM-6	0.29	1173	689	0.61	31.3	$196.4 \pm 4.3$	0.0490	2.2	0.2089	3.1	0.03094	2.2
YM-7	3.13	89	127	1.47	1.56	$126.1 \pm 4.1$	0.042	27	0.115	27	0.01975	3.2
YM-8	5.28	240	160	0.69	1.76	$51.7 \pm 1.8$	0.027	63	0.030	63	0.00806	3.6
YM-9	2.82	274	197	0.74	1.94	$51.6 \pm 1.7$	0.041	34	0.046	34	0.00803	3.3
YM-10	2.58	250	221	0.92	4.49	$130.1 \pm 3.5$	0.0355	26	0.100	27	0.02039	2.7
YM-11	1.82	621	523	0.87	16.7	$195.4 \pm 5.3$	0.0471	8.0	0.200	8.4	0.03078	2.8
YM-12	0.38	176	111	0.65	9.09	$375 \pm 12$	0.0529	4.3	0.437	5.5	0.0599	3.3
YM-13	0.27	885	45	0.05	138	$1069 \pm 22$	0.07320	0.92	1.820	2.4	0.1804	2.2
YM-14	1.95	283	120	0.44	7.84	$200.9 \pm 5.0$	0.0391	14	0.171	14	0.03165	2.5
YM-15	0.04	474	68	0.15	54.4	$809 \pm 17$	0.06662	1.1	1.228	2.5	0.1337	2.2
YM-16	5.51	1273	1465	1.19	8.77	$48.7 \pm 1.2$	0.0412	19	0.0431	19	0.00758	2.6

注: $\text{Pb}_c$  和  $\text{Pb}^*$  分别表示普通铅和放射性成因铅;应用实测的 $^{204}\text{Pb}$  进行普通铅校正(下同)。

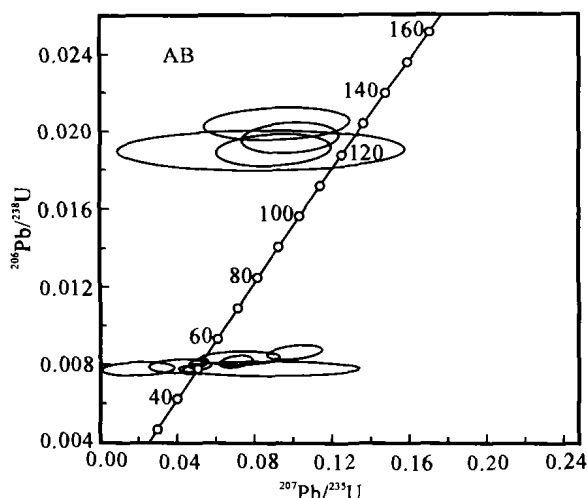


图 3 石英细脉 AB 锆石一致曲线图

Fig.3 U-Pb Weatherill concordia diagrams showing SHRIMP data for AB sample

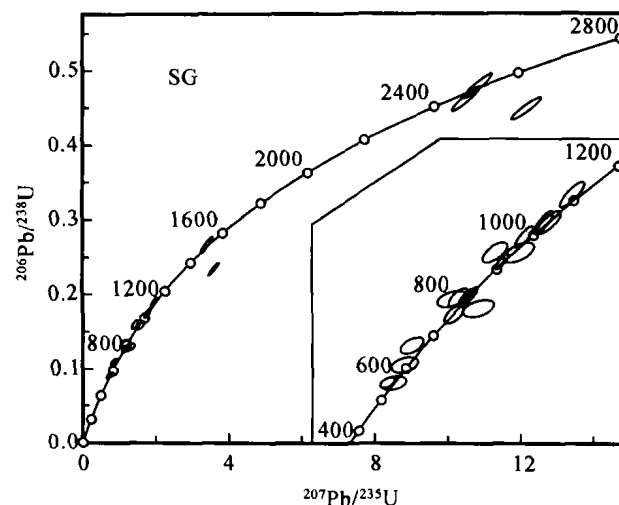


图 4 含明金石英脉 SG 锆石一致曲线图

Fig.4 U-Pb Weatherill concordia diagrams showing SHRIMP data for SG sample

### 3.2 石英细脉 AB 分析结果

对微细浸染状金矿石中的石英细脉 AB 共分析了 14 粒锆石(表 2), 由于锆石颗粒细小, 普通铅含量略高, 其中有一个分析(测点 AB-1)因普通铅含量较高而剔除。在 U-Pb 谐和图(图 3)上, 分析数据有 2 组。第 1 组由 5 个分析数据组成, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为 121.4~130.2 Ma[平均 $(125.3 \pm 4.9)$  Ma], 分析数据与一致曲线相交。该组锆石为自形柱状, 韵律性环带结构发育(图 6), 应为捕获的白垩纪岩浆岩锆石。第 2 组由 8 个分析数据组成, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为 49.8~55.3 Ma[平均 $(51.7 \pm 1.6)$  Ma], 分析

数据与一致曲线相交切。该组锆石为自形柱状, 部分具简单环带结构(图 6), 应为捕获的第三纪岩浆岩锆石。

### 3.3 含明金石英脉 SG 分析结果

对含明金石英脉 SG 共分析 22 粒锆石(表 3), 所测得的年龄均较老(早于泥盆系围岩的形成时代)。在 U-Pb 谐和图(图 4)上, 分析数据主要有 4 组。第 1 组由 3 个分析数据组成, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为 2392~2522 Ma, 其中 SG-11 位于一致曲线下方, 放射成因铅有丢失, 其余 2 个分析数据与一致曲线相交。该组锆石为浑圆状-次棱角状(图 7), 环带结

表 2 阳山金矿石英细脉 AB 锆石 SHRIMP 分析数据

Table 2 SHRIMP U-Pb isotopic analytical data of gold-bearing quartz sample

测点	$^{206}\text{Pb}_c/\%$	U/ $10^{-6}$	Th/ $10^{-6}$	$\frac{^{232}\text{Th}}{^{238}\text{U}}$	$^{206}\text{Pb}^*/10^{-6}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄/Ma	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$	2 $\sigma$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	2 $\sigma$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	2 $\sigma$
AB-3	4.99	818	825	1.04	6.16	$53.5 \pm 1.4$	0.063	19	0.072	19	0.00833	2.7
AB-2	5.28	129	175	1.40	2.23	$121.4 \pm 4.3$	0.032	59	0.083	59	0.01901	3.6
AB-4	4.51	670	735	1.13	4.71	$50.1 \pm 1.5$	0.081	35	0.087	36	0.00781	3.0
AB-5	1.89	401	380	0.98	2.78	$50.9 \pm 1.5$	0.0378	26	0.041	26	0.00792	2.9
AB-6	4.03	137	162	1.22	2.33	$121.4 \pm 3.4$	0.0343	21	0.090	22	0.01901	2.9
AB-7	3.43	270	284	1.08	4.91	$130.2 \pm 3.5$	0.0328	27	0.092	27	0.02040	2.8
AB-8	—	245	180	0.76	1.79	$55.3 \pm 1.6$	0.0849	8.6	0.1009	9.1	0.00862	3.0
AB-9	3.96	427	391	0.95	2.96	$49.8 \pm 1.6$	0.018	63	0.020	63	0.00775	3.3
AB-10	—	85	136	1.66	1.45	$128.2 \pm 3.8$	0.0719	6.0	0.199	6.7	0.02008	3.0
AB-11	0.78	2472	343	0.14	17.2	$51.7 \pm 1.2$	0.0455	5.8	0.0505	6.2	0.00806	2.3
AB-12	2.55	171	201	1.21	2.96	$125.4 \pm 3.4$	0.0363	17	0.098	17	0.01964	2.7
AB-13	0.72	1973	2629	1.38	13.3	$50.0 \pm 1.1$	0.0438	5.1	0.0471	5.6	0.00779	2.3
AB-14	1.07	1557	2108	1.40	11.1	$52.5 \pm 1.4$	0.0623	7.7	0.0702	8.1	0.00818	2.7

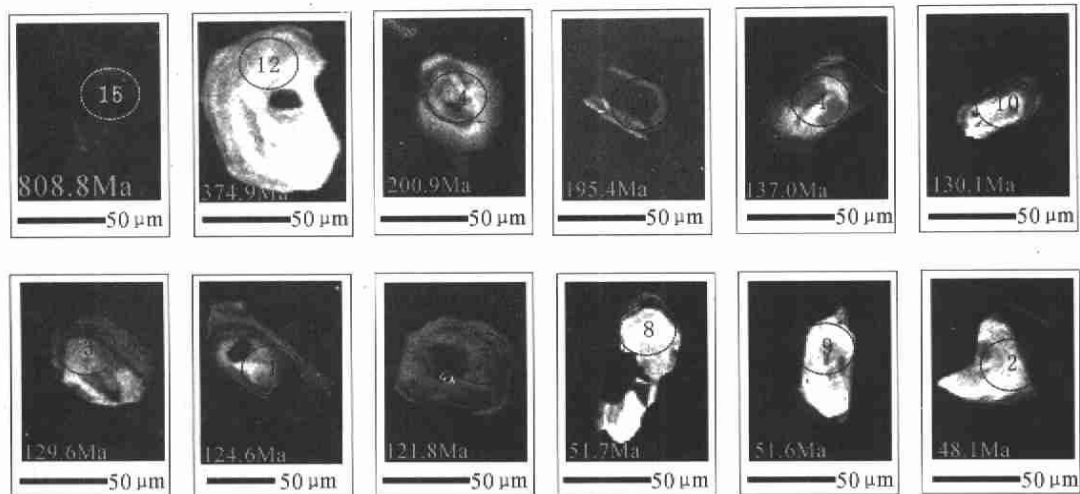


图 5 石英细脉(样品 YM)中锆石阴极发光照片

Fig. 5 CL images of zircons from quartz veinlets (Sample YM)

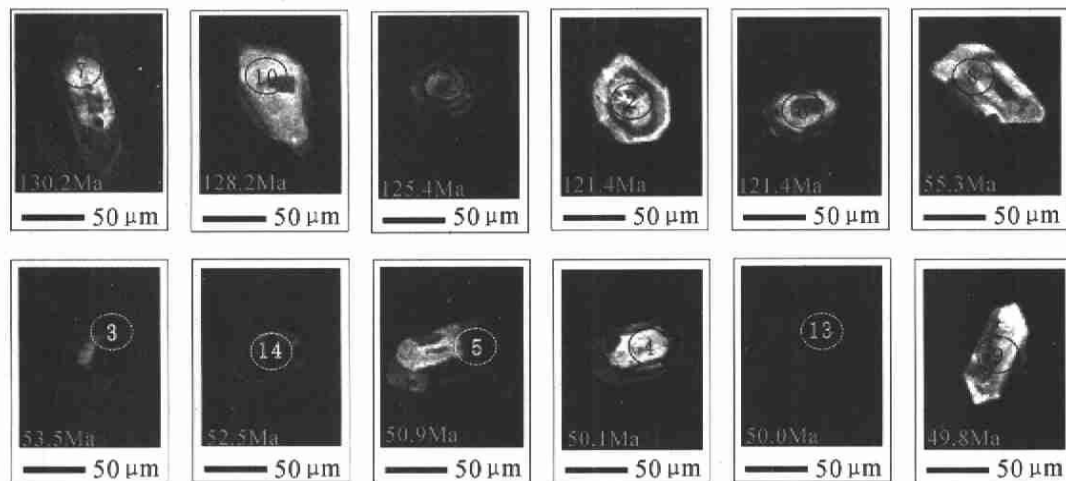


图 6 石英细脉(样品 AB)中锆石阴极发光照片

Fig. 6 CL images of zircons from quartz veinlets (Sample AB)

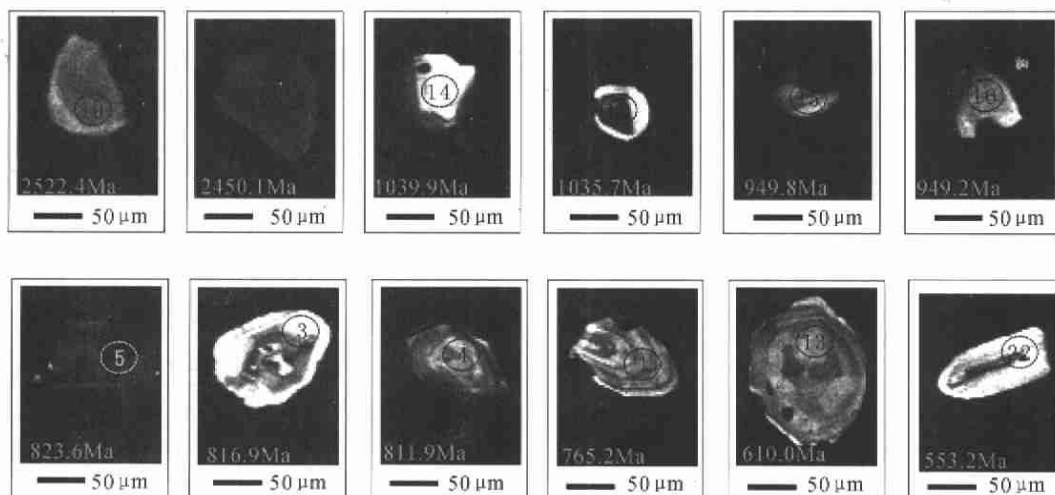


图 7 含明金石英脉(样品 SG)中锆石阴极发光照片

Fig. 7 CL images of zircons from gold-bearing quartz veins (Sample SG)

表 3 阳山金矿含明金石英脉 SG 锆石 SHRIMP 分析数据

Table 3 SHRIMP U-Pb isotopic analytical data of gold-bearing quartz sample

测点	$^{206}\text{Pb}/\%$	$\text{U}/10^{-6}$	$\text{Th}/10^{-6}$	$\frac{^{232}\text{Th}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}^*}{10^{-6}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}}{\text{年龄/Ma}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{206}\text{Pb}^*}$	$2\sigma$	$\frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{235}\text{U}}$	$2\sigma$	$\frac{^{206}\text{Pb}^*}{^{238}\text{U}}$	$2\sigma$
SG-1	0.22	118	86	0.75	12.8	$765 \pm 17$	0.0652	2.9	1.133	3.8	0.1260	2.4
SG-2	0.50	94	217	2.38	7.29	$554 \pm 14$	0.0581	7.8	0.719	8.2	0.0897	2.6
SG-3	0.15	299	330	1.14	34.8	$817 \pm 17$	0.0650	1.5	1.210	2.7	0.1351	2.3
SG-4	0.68	108	92	0.88	12.5	$812 \pm 18$	0.0605	5.5	1.119	6.0	0.1342	2.4
SG-5	0.22	455	325	0.74	53.4	$824 \pm 17$	0.06658	1.4	1.251	2.6	0.1363	2.2
SG-6	0.10	109	189	1.79	43.3	$2,450 \pm 48$	0.1651	0.80	10.53	2.5	0.462	2.3
SG-7	0.24	226	513	2.34	36.9	$1,118 \pm 24$	0.0744	1.8	1.942	2.9	0.1894	2.3
SG-8	0.13	573	116	0.21	75.4	$917 \pm 19$	0.06905	1.1	1.456	2.5	0.1529	2.2
SG-9	0.13	209	341	1.69	47.8	$1,524 \pm 38$	0.0926	1.1	3.40	3.0	0.2667	2.8
SG-10	0.14	148	55	0.38	61.0	$2,522 \pm 48$	0.1639	0.75	10.82	2.4	0.479	2.3
SG-11	0.39	394	180	0.47	153	$2,392 \pm 45$	0.1965	0.65	12.17	2.3	0.449	2.2
SG-12	0.15	365	195	0.55	52.4	$995 \pm 21$	0.07003	1.3	1.612	2.6	0.1669	2.3
SG-13	1.57	74	87	1.21	6.43	$610 \pm 16$	0.0581	7.4	0.796	7.9	0.0992	2.8
SG-14	0.09	296	63	0.22	44.5	$1,040 \pm 22$	0.0739	2.1	1.783	3.1	0.1750	2.3
SG-15	0.75	153	95	0.64	21.0	$950 \pm 21$	0.0646	3.6	1.414	4.3	0.1588	2.4
SG-16	0.49	159	54	0.35	21.7	$949 \pm 21$	0.0722	3.6	1.580	4.3	0.1586	2.4
SG-17	2.01	155	231	1.54	17.6	$783 \pm 18$	0.0729	5.1	1.298	5.7	0.1292	2.4
SG-18	0.42	174	93	0.55	20.3	$817 \pm 18$	0.0627	3.1	1.168	3.9	0.1352	2.4
SG-19	0.20	317	267	0.87	47.5	$1,036 \pm 22$	0.0725	1.4	1.742	2.7	0.1743	2.3
SG-20	0.13	208	60	0.30	41.9	$1,353 \pm 29$	0.1115	1.1	3.590	2.6	0.2335	2.3
SG-21	1.63	132	164	1.29	12.6	$669 \pm 17$	0.0561	5.7	0.846	6.4	0.1094	2.7
SG-22	0.49	203	281	1.43	15.7	$553 \pm 13$	0.0547	4.6	0.676	5.2	0.0896	2.4

构不发育,应为捕获的新太古代—古元古代结晶基底的锆石。第2组由6个分析数据组成,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 $917 \sim 1\,040\text{ Ma}$  [平均 $(981 \pm 53)\text{ Ma}$ ],分析数据与一致曲线相交切,该组锆石多为次棱角状,环带结构不发育(图7),应为捕获的新元古代结晶基底的锆石。第3组也由6个分析数据组成,并与一致曲线相交切,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 $765 \sim 824\text{ Ma}$  [平均 $(803 \pm 24)\text{ Ma}$ ],该组锆石一般为自形柱状,韵律环带结构发育(图7),可能为捕获的新元古代岩浆岩锆石。第4组由4个分析数据组成,并与一致曲线相交切,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 $553 \sim 669\text{ Ma}$ ,数值较为分散,该组锆石为自形柱状,具环带结构(图7),可能为捕获的新元古代岩浆岩锆石。其余3个分析结果较为分散,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄分别为 $(1\,524 \pm 38)\text{ Ma}$ 、 $(1\,353 \pm 29)\text{ Ma}$ 、 $(1\,118 \pm 24)\text{ Ma}$ ,很可能为捕获地层中的锆石。

#### 4 锆石年龄的地质意义及有关讨论

由于锆石具有较高的 U-Pb 同位素封闭温度 ( $700 \sim 750^\circ\text{C}$ , Harrison et al., 1987; Tilton et al.,

1991; 于津海等, 2001) 以及较强的抵抗热扰动的功能 (Meger et al., 1997), 所以锆石被广泛地用于地质年代学测定。尽管有人认为在较低的温度下也能形成“水热锆石” (Corfu et al., 1984; Claoue-long et al., 1990; 李俊建等, 1996), 但从已有的资料看, “水热锆石” 的年龄与围岩相近, 是否为真正的“水热锆石” 值得怀疑 (罗镇宽等, 2000)。本文所测的3件样品的锆石年龄不一致, 总体较为复杂, 其中样品 SG 中所有的锆石年龄都比其围岩——泥盆系地层时代更老, 即锆石形成时代均早于热液活动时代, 反映本区并不存在“水热锆石”, 而本区热液温度较低 ( $150 \sim 250^\circ\text{C}$ , 齐金忠等, 2003a), 也难以形成“水热锆石”。此外, 所测 52 粒锆石中只有个别锆石的 Th/U 比值接近或小于 0.1, 反映区内典型的变质锆石也不发育 (Gebauer et al., 1985; 杨经绥等, 2002)。因此, 本区石英脉中的锆石应为热液活动期间捕获的锆石, 一种为捕获的岩浆岩锆石, 即从热液来源区以及热液通道附近的岩浆岩中捕获的锆石; 另一种为捕获的地层中锆石, 主要从给泥盆系地层提供物源的古老岩石中捕获的锆石。

(1) 石英细脉样品 YM 中第1年龄组由3粒锆

石组成, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为 195.4~200.9 Ma, 该组锆石为自形柱状, 环带结构清晰(图 5), 其 Th/U 比值为 0.44~0.87, 具岩浆岩锆石的特征(杨经绥等, 2002)。该组锆石年龄与矿区 5 件斜长花岗斑岩脉的 K-Ar 全岩年龄(171~209 Ma, 齐金忠等, 2003b)较为一致, 表明该组年龄应代表矿区斜长花岗斑岩脉的形成时代。另外, 该组年龄与矿区石英细脉的 $^{39}\text{Ar}$ - $^{40}\text{Ar}$  坪年龄( $195.40 \pm 1.05$ ) Ma 也一致(齐金忠等, 2003b), 显示该期岩浆作用造成了矿区第一次岩浆热液活动, 而且该次热液活动对矿质富集有着重要影响。

(2) 石英细脉样品 YM、AB 中均存在白垩纪和第三纪锆石组, 两个样品共测得白垩纪早期锆石 11 粒, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄平均为( $126.9 \pm 3.2$ ) Ma; 第三纪早期锆石 12 粒,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄平均为( $51.2 \pm 1.3$ ) Ma。这两组锆石为自形柱状, 并发育环带结构(图 5), 其 Th/U 比值集中于 0.5~1.5 之间, 应为岩浆岩锆石。另外, 区内不存在白垩系或更新的地层, 因而这些锆石也不可能为捕获地层中的锆石。但在矿区内除侏罗纪斜长花岗斑岩脉外, 还未发现其他与矿体有关的岩浆岩体, 所以这些锆石可能为捕获的白垩纪及第三纪隐伏岩浆岩体的锆石, 即本区斜长花岗斑岩脉形成以后, 在白垩纪及第三纪又发生过两次重要的岩浆热液活动, 而且阳山金矿体的形成明显受到这两次岩浆-热液活动的影响。因此, 阳山金矿应为多时代岩浆热液活动叠加的产物, 其最终的形成时代为第三纪早期。

将上述岩浆热液活动年代与西秦岭地区岩浆活动时代对比可以发现, 本区侏罗纪早期的岩浆热液活动与西秦岭地区长英质岩浆侵入活动的高峰期(190~220 Ma, 尚瑞均等, 1988; 张本仁等, 1994)相吻合, 而白垩纪早期的岩浆热液活动与西秦岭地区花岗岩活动的另一高峰期(120~150 Ma, 杜子图等, 1998)相对应, 这两个时期也是中国金矿床成矿的高峰期(苗来成, 2000; 邵世才等, 2001; 翟裕生, 2002; Qiu Y et al., 2002; Mao J et al., 2002)。而第三纪早期的岩浆热液活动则与中国西南地区许多金矿的成矿时代相对应(陈毓川等, 2001), 该时期的岩浆热液活动可能与 50 Ma 左右以印度陆块嵌入为标志的陆-陆碰撞(Kerrick et al., 2000)有关。可见, 中生代以来中国几次重要的构造岩浆活动及成矿作用在本区都有反映, 多时代的岩浆热液活动在空间上的耦合可能是形成阳山超大型金矿的重要因素。

(3) 含明金石英脉样品 SG, 从产状及矿物共生组合上均不同于微细浸染状矿石样品 YM、AB, 该样品中所有锆石年龄均老于泥盆系围岩的形成时代, 不存在年龄较新的(岩浆岩)锆石, 这可能意味着含明金石英脉形成较早, 且未受到后期的岩浆热液活动混染, 有可能属于印支期区域变质作用形成的石英脉。

值得关注的是样品 SG 中捕获的第 1 组锆石, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为 2392~2522 Ma, 其 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄为 2496 Ma~2797 Ma, 应为新太古代—古元古代结晶基底(碧口群)的年龄。对于碧口群的时代归属, 人们一直存在争议(王振东等, 1995; 匡耀求等 1999), 秦克令等 1990 年首次在勉县-略阳一带将碧口群解体, 从中分离出新太古代界鱼洞子群, 并测得其 U-Pb 不一致年龄为( $2675 \pm 9$ ) Ma。张宗清等(2001)的 Sm-Nd 同位素年龄( $2688 \pm 100$ ) Ma 也证实了鱼洞子群属新太古代。样品 SG 中古老锆石的出现, 显示本区碧口群可能存在新太古代—古元古代的地层单元(相当于鱼洞子群)。这有两种可能, 其一是本区深部存在新太古代—古元古代结晶基底, 岩浆、热液活动捕获了其中的锆石; 其二是本区出露的碧口群中存在新太古代—古元古代的地层单元, 它们为泥盆系地层提供了物源, 而其中的锆石被后来的热液活动所捕获。

对比阳山矿区斜长花岗斑岩脉的 K-Ar 全岩年龄、石英细脉的 $^{39}\text{Ar}$ - $^{40}\text{Ar}$  以及本次的锆石 U-Pb SHRIMP 年龄, 可以发现, K-Ar、 $^{39}\text{Ar}$ - $^{40}\text{Ar}$  年龄只能代表某一次热液活动时代, 而锆石 U-Pb 年龄却能反映多期次岩浆热液活动的信息。

## 5 结 论

(1) 阳山金矿微细浸染型矿石石英细脉以及含明金石英脉中捕获有两类锆石, 其一为年龄较新的岩浆岩锆石, 其二为年龄较老的地层中的锆石, 不存在热液成因的“水热锆石”, 而变质作用形成的锆石也不发育。

(2) 石英细脉样品中 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为 195.4~200.9 Ma 的岩浆岩锆石为捕获的斜长花岗斑岩中的锆石。

(3) 石英细脉样品中 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  平均年龄分别为( $126.9 \pm 3.2$ ) Ma 和( $51.2 \pm 1.3$ ) Ma 的两组锆石, 分别为捕获的白垩纪和第三纪隐伏岩浆岩体的

锆石。阳山金矿区曾受到侏罗纪早期、白垩纪早期及第三纪早期 3 次岩浆-热液活动的影响,其最终的形成时代为第三纪早期。

(4) 含明金石英脉中锆石与微细浸染型矿石不同,反映了两者形成时代及成因不同。含明金石英脉中捕获的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为 2 392~2 522 Ma 的锆石组反映了本区碧口群存在新太古代—古元古代的地层单元。

**致谢** 在样品测试过程中得到了中国地质科学院矿产资源研究所电子探针室周剑雄研究员、地质研究所 SHRIMP 离子探针室万渝生等研究员的帮助,在此深表感谢!同时也衷心地感谢翟裕生院士、杨经绥研究员、吴才来研究员以及审稿人对本文所提的宝贵意见。

## References

- Chen Y C and Wang D H. 2001. Study of Himalayan endogenic mineralization[M]. Beijing: Seismic Pub. House. 1~138(in Chinese with English abstract).
- Claoue-long J, King R W and Kerrich R. 1990. Archean hydrothermal zircon in the Abitibi greenstone belt: constrains on the timing of gold mineralization[J]. *Earth Planet Sci. Letters*, 98: 109~128.
- Compston W, Williams I S, Kirschvink J L, et al. 1992. Zircon U-Pb ages for the Early Cambrian time scale[J]. *Journal of the Geological Society, London*, 149:171~184.
- Corfu F and Ayres L D. U-Pb age and genetic significance of heterogeneous zircon populations in rocks from the Favourable Lake area, Northwestern Ontario[J]. *Contrib. Mineral Petrol.*, 88:86~101.
- Gebauer D, Lappin M A and Grunefelder M. 1985. The age and origin of same Norwegian eclogite: A U-Pb zircon and REE study[J]. *Chemical Geology*, 52: 227~248.
- Harrison T M, Aleinoff J N and Compston W. 1987. Observation and controls on the occurrence of inherited zircon in concord-type granitoids, New Hampshire[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 51: 2549~2568.
- Hofstra A H, Snee L W and Rye R O. 1999. Age constraints on Jerrit Canyon and other Carlin type gold deposits in the western United States: Relationship to mid-Tertiary extension and magmatism[J]. *Econ. Geol.*, 94: 769~802.
- Kuang Y Q, Zhang B R and Ouyang J P. 1999. Decomposition and stratigraphic subdivision of Bikou group in northwestern margin of Yangtze craton[J]. *Earth Science*, 24(3): 251~256 (in Chinese with English abstract).
- Lai S C, Zhang G W, Pei X Z, et al. 2004. Geochemistry of the ophiolite and oceanic island volcanic rock in the Kangxian-Pipasi-Nanping tectonic melange zone, southern Qinling and their tectonic significance [J]. *Science in China (Series D)*, 47(2): 128~137 (in Chinese).
- Li J J, Shen B F, Mao D B, et al. 1996. Metallogenic epochs of the Jiapigou gold deposit, Jilin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 70(4):335~341(in Chinese with English abstract).
- Luo Z K, Miao L C and Guan K. 2000. Discussion on the metallogenetic epoch of gold deposit on north fringe of North China platform[J]. *Gold Geology*, 6(2): 70~75(in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Qiu Y, Goldfarb R J, et al. 2002. Geology, distribution, and classification of gold deposits in the western Qinling belt, central China[J]. *Mineralium Deposita*, 37:352~377.
- Mao J W. 2001. Geology distribution and classification of gold deposit in the western Qinling belt, central China[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 20(1):11~13(in Chinese with English abstract).
- Mezger K and Krogstad E J. 1997. Interpretation of discordant U-Pb zircon ages: An evaluation[J]. *J. Metamorphic Geol.*, 15:127~140.
- Miao L C, Luo Z K, Guan K, et al. 1997. Zircon sensitive high resolution ion microprobe (SHRIMP) study of granitoid intrusions in Zhaoye gold belt of Shandong province and its implications[J]. *Science in China (Series D)*, 40(4):361~369(in Chinese).
- Miao L C, Qiu Y M and Guan K. 2000. SHRIMP chronological study of the granitoids and mineralization in the Hadamengou gold deposit, Inner Mongolia[J]. *Mineral Deposits*, 19(2):182~190(in Chinese with English abstract).
- Mo C H, Wang X Z. 1997. Some problems about the genesis of gold deposits in intrusives[J]. *Geological Review*, 43(2):139~147(in Chinese with English abstract).
- Qi J Z, Yuan S S, Li L, et al. 2003a. Geological and geochemical study of Yangshan gold deposit, Gansu Province[J]. *Mineral Deposits*, 22(1):24~31(in Chinese with English abstract).
- Qi J Z, Yuan S S, Li L, et al. 2003b. Geological features and ore controlling factors of Yangshan superlarge gold deposit[J]. *Geological Review*, 49(1): 85~92(in Chinese with English abstract).
- Qin K L, Shao X H and He S P. 1990. The foundation and time constraint of Yudongzi group[A]. *Geological proceedings on Qinling-Dabashan*[M]. Beijing: Beijing Science & Technology Pub. House. 167~178(in Chinese with English abstract).
- Qiu Y, Groves D I, McNaughton N J, et al. 2002. Nature, age, and tectonic setting of granitoid-hosted, orogenic gold deposits of the Jiaodong Peninsula, eastern North China craton, China[J]. *Mineralium Deposita*, 37:283~305.
- Shang R J and Yan Z. 1988. Granite in Qinba area[M]. Wuhan: Publishing House of China University of Geosciences. 1~222(in Chinese with English abstract).
- Shao S C and Wang D B. 2001.  $^{39}\text{Ar}$ - $^{40}\text{Ar}$  dating of three typical gold deposits and its geological significance in the south Qinling region[J]. *Acta Geologica Sinica*, 75(1):106~110(in Chinese with English abstract).
- Stein H J and Cathles L M. 1997. A special issue on the timing and du-



- ration of hydrothermal events (preface)[J]. *Econ. Geol.*, 92: 763~765.
- Tilton G R, Schreyer W and Schertl H P. 1991. Pb-Sr-Nd isotopic behavior of deeply subducted crustal rocks from the Dora Maira massif, Western Alps, Italy: what is the age of the ultra-high pressure metamorphism [J]? *Contrib. Mineral. Petrol.*, 108: 22~33.
- Wang L G, Qiu Y M and Menaghon N T. 1998. Constraints crustal evolution and gold metallogeny in the northwestern Jiaodong Peninsula, China, from SHRIMP U-Pb zircon studies of granitoids[J]. *Ore Geology Review*, 13:275~291.
- Wang Z D, Huo X G and Wang F X. 1995. Redefinition of the sequence and ages of the Qinling and Bikou group complexes[J]. *Regional Geology of China*, (3): 220~227 (in Chinese with English abstract).
- Wei H J, Liu C Q and Liu G C. 2003. Method of dating of gold deposit and the related problems[J]. *Earth Science Frontier*, 10(2):319~326 (in Chinese with English abstract).
- Williams I S. 1998. U-Th-Pb Geochronology by Ion Microprobe[A]. In: McKibben M A, Shanks W C and Ridley W I, eds. *Applications of microanalytical techniques to understanding mineralizing processes* [M]. *Reviews in Economic Geology*, 7:1~35.
- Yang J S, Xu Z Q, Wu C L, et al. 2002. SHRIMP U-Pb dating on coesite bearing zircon: Evidence for Indosinian ultrahigh-pressure metamorphism in Su-Lu, East China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 76:354~372 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Y S, Miao L C, Xiang Y C, et al. 2002. Preliminary discussion on ore-forming system in greenstone belt-type of north China Craton [J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*. 27 (5):522~529 (in Chinese with English abstract).
- Zhang B R, Gao S and Luo T C. 1994. Lithosphere structure of Qinba area and metallogenic geochemistry[M]. Wuhan: Publishing House of China University of Geosciences. 1~446 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Z Q, Zhang G W and Tang S H. 2001. On the age of metamorphic rocks of the Yudongzi group and the archaean crystalline basement of the Qinling Orogen[J]. *Acta Geologica Sinica*, 75(2):198~204 (in Chinese with English abstract).
- 匡耀求, 张本仁, 欧阳建平. 1999. 杨子克拉通北西缘碧口群的解体与地层划分[J]. *地球科学*, 24(3):251~256.
- 赖绍聪, 张国伟, 裴先治, 等. 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.
- 李俊建, 沈保丰, 毛德宝, 等. 1996. 吉林夹皮沟金矿成矿时代的研究[J]. *地质学报*, 70(4):335~341.
- 罗镇宽, 苗来成, 关 康. 2000. 华北地台北缘金矿床成矿时代讨论[J]. *黄金地质*, 6(2):70~75.
- 毛景文. 2001. 西秦岭地区造山型与卡林型金矿[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 20(1):11~13.
- 苗来成, Qiu Y M, 关 康, 等. 2000. 哈达门沟金矿床成岩成矿时代的定点定年研究[J]. *矿床地质*, 19(2):182~190.
- 莫测辉, 王秀璋. 1997. 关于侵入岩中金矿床成因研究若干问题的讨论[J]. *地质论评*, 43(2):139~147.
- 齐金忠, 袁士松, 李 莉, 等. 2003a. 甘肃省文县阳山特大型金矿床地质地球化学特征[J]. *矿床地质*, 22(1):24~31.
- 齐金忠, 袁士松, 李 莉, 等. 2003b. 甘肃省文县阳山金矿床地质特征及控矿因素研究[J]. *地质论评*, 49 (1):85~92.
- 秦克令, 邵湘华, 何世平, 等. 1990. 西秦岭鱼洞子群的建立和时代归属[A]. *秦岭-大巴山地质论文集(一)*[M]. 北京:北京科学技术出版社. 167~178.
- 尚瑞均, 严 阵. 1988. 秦巴花岗岩[M]. 武汉:中国地质大学出版社. 1~222.
- 邵世才, 汪东波. 2001. 南秦岭三个典型金矿床的 Ar-Ar 年代及其地质意义[J]. *地质学报*, 75(1):106~110.
- 王振东, 霍向光, 王逢新. 1995. 秦岭岩群和碧口岩群层序时代的新厘定[J]. *中国区域地质*, (3):220~227.
- 魏俊浩, 刘丛强, 刘国春. 2003. 金矿测年方法讨论及定年中存在的问题[J]. *地学前缘*, 10(2):319~326.
- 杨经绥, 许志琴, 吴才来, 等. 2002. 含柯石英锆石的 SHSRIMP U-Pb 定年: 胶东印支期超高压变质作用的证据[J]. *地质学报*, 76: 354~372.
- 翟裕生, 苗来成, 向运川, 等. 2002. 华北克拉通绿岩带型金矿成矿系统初析[J]. *地球科学*, 27(5):522~529.
- 张本仁, 高山, 骆庭川, 等. 1994. 秦巴岩石圈构造与成矿规律地球化学研究[M]. 武汉:中国地质大学出版社. 1~446.
- 张复新, 陈衍景, 李 超. 2000. 秦岭造山带金矿-丘岭金矿床地质地球化学特征及成因: 秦岭式卡林型金矿成矿动力学机制[J]. *中国科学(D辑)*, 43(增刊):73~81.
- 张宗清, 张国伟, 唐索寒, 等. 2001. 鱼洞子群变质岩年龄及秦岭造山带太古宙基底[J]. *地质学报*, 75(2):198~204.

## 附中文参考文献

- 陈毓川, 王登红. 2001. 喜马拉雅期内生成矿作用研究[M]. 北京:地震出版社. 1~138.

## A SHRIMP U-Pb chronological study of zircons from quartz veins of Yangshan gold deposit, Gansu Province

QI Jin-zhong<sup>1, 2</sup>, LI Li<sup>1</sup>, YUAN Shi-song<sup>1</sup>, LIU Zhi-jie<sup>1</sup>, LIU Dun-yi<sup>2</sup>, WANG Yan-bin<sup>2</sup> and LI Zhi-hong<sup>3</sup>

(1 Gold Geological Institute of China People's Armed Police Force, Langfang 065000, Hebei, China; 2 Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3 The 12th Detachment of Gold Headquarters of China People's Armed Police Force, Chengdu 610036, Sichuan, China)

### Abstract

The Yangshan gold deposit is a superlarge fine-grained disseminated gold deposit in southern Gansu Province. In this paper, cathodoluminescence image (CL) and ion probe U-Pb dating (SHRIMP) techniques were used to determine the metallogenic age. It is found that zircons from quartz veins of fine-grained disseminated gold ores show characteristics of magmatic zircon, with pillar idiomorphism, rhythmic crystallization and main Th/U ratio of 0.5~1.5. Three main populations of zircons were obtained, giving average  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  ages of  $(197.6 \pm 1.7)$  Ma,  $(126.9 \pm 3.2)$  Ma and  $(51.2 \pm 1.3)$  Ma respectively. The first age corresponds to K-Ar age of the plagiogranite dike, while the last two ages indicate that buried Cretaceous and Tertiary intrusives exist in the ore district, suggesting that the Yangshan gold deposit is genetically related to the three times of magmatic hydrothermal activities. By contrast, zircons from quartz vein type gold ores in the ore district are much older than the host rock, indicating that quartz veins were formed earlier and were not contaminated by later magmatic fluids. It is concluded that coupling of multiperiodic hydrothermal activities in the ore district contributed to mineralization of the Yangshan gold deposit.

**Key words:** geochemistry, disseminated type, gold deposit, zircon, SHRIMP, cathodoluminescence image, Gansu