

云南大坪金矿床赋矿闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义*

张燕^{1,2} 孙晓明^{1,3,4**} 石贵勇^{3,4} 熊德信^{1,5} 翟伟^{3,4} 潘伟坚¹ 胡北铭¹

ZHANG Yan^{1,2}, SUN XiaoMing^{1,3,4**}, SHI GuiYong^{3,4}, XIONG DeXin^{1,5}, ZHAI Wei^{3,4}, PAN WeiJian¹ and HU BeiMing¹

1. 中山大学地球科学系, 广州 5102751

2. 华东有色地质勘查局, 南京 210007

3. 中山大学海洋学院, 广州 510275

4. 广东省海洋资源与近岸工程重点实验室, 广州 519275

5. 广东省肇庆学院, 肇庆 526061

1. Department of Earth science, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

2. Eastern China Geological & Mining Organization for Non-ferrous Metals, Nanjing 210007, China

3. School of Marine Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

4. Guangdong Provincial Key Laboratory of Marine Resources and Coastal Engineering, Guangzhou 519275, China

5. Zhaoqing University of Guangdong Province, Zhaoqing 526061, China

2010-02-28 收稿, 2010-05-11 改回.

Zhang Y, Sun XM, Shi GY, Xiong DX, Zhai W, Pan WJ and Hu BM. 2011. SHRIMP U-Pb dating of zircons from diorite batholith hosting Daping gold deposit in Ailaoshan gold belt, Yunan Province, China. *Acta Petrologica Sinica*, 27(9):2600 – 2608

Abstract Being one of the largest gold deposits in Ailaoshan gold belt, the Daping gold deposit is hosted in a ductile deformed and altered diorite batholith, and is believed to be a typical Cenozoic orogenic type gold deposit. In this study, SHRIMP U-Pb dating of zircon from the diorite batholith was performed, and the result is 773 ± 12 Ma, suggesting that the diorite was a Late Proterozoic batholith, but not a commonly recognized Caledonian rock body. The diorite batholith is a product of large-scale basic to acidic magmatism during the Jinning-Chengjiang epoch, and is corresponding to a period of Gondwana accretion after Rodinia dispersion. The forming age of the diorite is nearly the same as the high temperature ^{40}Ar - ^{39}Ar plateau age (765.5 ± 7.0 Ma) of fluid inclusions in Daping auriferous quartz veins, suggesting that the Daping gold deposit was formed during multiple metallogenic epochs; the major ore body was formed during Cenozoic orogeny, while the gold mineralization was started during Jinning orogeny. Cenozoic epoch zircons are also recognized in the diorite, and the age 33.7 ± 1.1 Ma is nearly the same as the ^{40}Ar - ^{39}Ar age (33.76 Ma) of hydrothermal sericite from the Daping auriferous quartz veins, suggesting that the some of the zircons were probably formed during extensively ductile deformation and subsequent magmatic partial melting.

Key words SHRIMP U-Pb dating of zircon; Altered diorite; Orogenic gold deposit; Daping gold deposit; Ailaoshan gold belt

摘要 云南大坪金矿床是哀牢山金矿带中最重要的金矿之一, 主要赋存在受到强烈剪切和水-岩反应的闪长岩中, 是典型的喜马拉雅期造山型金矿。本文对大坪金矿床赋矿闪长岩中锆石进行了 SHRIMP U-Pb 定年, 得出闪长岩围岩的年龄为 773 ± 12 Ma, 为晚元古代, 显示该岩体为华南地区晋宁-澄江期大规模基性到酸性岩浆活动的产物, 是 Rodinia 超大陆形成、裂解后冈瓦纳大陆形成过程的响应, 而不是前人普遍认为的加里东期岩体。该岩体侵入年龄与大坪金矿脉石英流体包裹体 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄测定给出的高温坪年龄 (765.5 ± 7.0 Ma) 基本一致, 显示大坪金矿床具有多期成矿的特征, 其主体形成于喜马拉雅期碰撞

* 本文受国家重点基础研究发展规划(973)项目(2009CB421006、2002CB412610)、国家自然科学基金(40830425、40673045、40373027)和高等学校博士学科点专项科研基金(200805580031)联合资助。

第一作者简介: 张燕, 女, 1979年生, 博士, 矿床地球化学专业, E-mail: dixiezhy@126.com

** 通讯作者, 孙晓明, 1963年生, 教授, 博士生导师, 主要从事矿床地球化学和海底矿产资源研究, E-mail: ccssxm@mail.sysu.edu.cn

造山运动,但早在晋宁造山运动中就有金的初步富集。在闪长岩中还发现了年龄为 33.7 ± 1.1 Ma 的锆石,其时代与大坪金矿床含金石英脉中热液绢云母的⁴⁰Ar-³⁹Ar 定年结果(33.76Ma)基本一致,显示它们很可能为该区强烈的韧性剪切和局部岩浆部分熔融作用的产物。

关键词 锆石 SHRIMP 定年; 蚀变闪长岩; 造山型金矿; 大坪金矿床; 哀牢山金矿带

中图分类号 P588.122; P597.3; P618.51

云南哀牢山金矿带是我国最重要的喜马拉雅期造山型金矿带,其中已发现多个大中型金矿床。位于元阳境内的大坪金矿床是哀牢山金矿带中产于闪长岩岩体和灰岩地层中的含金多金属硫化物热液石英脉型金矿。该金矿床自被发现以来,已有不少学者对其成矿作用进行了研究。前人对赋矿围岩也进行过一些研究,但主要集中于对闪长岩中金矿体成矿特征的研究(韩润生和金世昌,1994;胡云中等,1995;毕献武等,1996a, b, 1997;韩润生等,1997;毕献武和胡瑞忠,1999;胡瑞忠和毕献武,1999;孙晓明等,2006a, b, c, 2007;熊德信等,2006a, b, 2007a, b;葛良胜等,2007;Sun *et al.*, 2009a, b),特别是对于大坪金矿床赋矿闪长岩围岩的年龄,前人的研究却得到了不同的结果:K-Ar 法对闪长岩及其中的角闪石进行了年龄测定,获得全岩年龄为 844.63 ± 33.66 Ma、角闪石年龄为 845.26 ± 12.74 Ma ~ 926.15 ± 94.51 Ma(韩润生等,1997);而用 Rb-Sr 等时线法测得的成岩年龄为 481 Ma 左右,属于加里东期侵入岩(韩润生和金世昌,1994;应汉龙,1998)。本文在前人工作基础上,利用锆石 SHRIMP 定年方法对大坪金矿床的闪长岩围岩进行年龄厘定,并探讨了其地质意义。

1 矿床地质概况

大坪金矿床与墨江金矿床、镇源老王寨金矿床、金平铜厂同处于哀牢山深大断裂西侧的浅变质岩带内。金矿床受哀牢山深大断裂的次级断裂——小寨金平断裂、小新街断裂和三家河断裂所控制(图1)。矿区约 60% 被面积约 100 km² 的桃家寨岩体占据,南部及外围零星出露奥陶系、志留系、泥盆系的碎屑沉积岩和碳酸盐岩地层。桃家寨岩体主要由闪长岩组成,其中侵入有喜马拉雅期的煌斑岩等岩脉。由于受后期强烈构造运动的作用,以及多期次、多类型的浅色中酸性岩和煌斑岩脉侵入,致使闪长岩体整体发生构造变形和热液蚀变,局部较为强烈,故岩相分带不明显。闪长岩原生色为暗绿色,风化后呈砖红色,具有全晶质半自形细-粗粒结构,块状构造,主要矿物成分:斜长石约占 25% ~ 70%,角闪石约占 10% ~ 20% (局部达 50%);次要矿物:黑云母、碱性长石、石英;副矿物:钛铁矿、磷灰石、绿帘石、黄铁矿等(中国人民武装警察部队黄金第十支队(后文简称武警黄金部队),2006^①)。矿区北部外围出露有斜长花岗岩体。矿区内断裂构造发育,其中小新街断裂呈北北西向贯穿闪长岩体,该断裂两侧的次一级北西向断裂控制着含金石英脉的分布。矿床主要由数百条含金多金属硫化物石英矿脉组成,矿脉成带

出现,且具薄而长的特点。矿脉由石英脉、少部分构造破碎蚀变闪长岩和蚀变破碎灰岩组成。矿脉中的矿石一般都具有挤压破碎现象。矿脉与上下盘围岩接触附近有明显的滑动面和断层泥。闪长岩中的金矿金属矿物主要由自然金、白钨矿、多种硫化物(黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、斑铜矿和闪锌矿等)组成,而脉石矿物主要为石英、方解石、白云石、绿泥石、绢云母等。前人对大坪金矿床近矿绢英岩化蚀变岩中的绢云母等进行了⁴⁰Ar-³⁹Ar 定年,得出其成矿年代为 33.76 ± 0.65 Ma(孙晓明等,2006c)。

2 样品和分析方法

本次研究的闪长岩样品采集于大坪金矿床 3 号矿脉的 900 m 平硐掌子面(样品号 07325)和 14 号矿脉的采矿坑道内(样品号 07379)(图 1),其中闪长岩蚀变强烈,主要有硅化、绢云母化、绿泥石化、绿帘石化、方解石化和铁白云石化。其矿物组成为:绢云母约 20%、白云母约 10%、石英约 10%、绿帘石约 10%、斜长石约 5%、黑云母约 10%、绿泥石约 15%、磷灰石 < 5%。除石英外,原岩造岩矿物多数已经蚀变,其中的斜长石多数已经明显的碎裂岩化,一些蚀变较轻的还保存了长石原有的晶形。而样品 07379 已受到较强的糜棱岩化,其石英发育明显的波状消光和核幔构造,且充填有很多方解石脉。

锆石 SHRIMP U-Pb 年龄测定在中国地质科学院北京离子探针中心完成。将锆石样品和标准锆石 TEM (417 Ma) (Williams, 1998; Black *et al.*, 2003) 一起放在玻璃板上用环氧树脂固定,抛光到暴露出锆石的中心面,用反光和透光照相,然后镀金,拍摄阴极发光 (CL) 图像(图 2)。每测定三个样品点,测定一次标准锆石。样品测试过程中根据锆石的成因类型,确定要测定的点,测定时选择阴极发光生长环带明显、无裂纹和包裹体的锆石。详细的实验流程和原理参考 Compston *et al.* (1984)、Williams (1998) 和宋彪等 (2002)。数据处理采用 Squid 和 Isoplot (Ludwig, 2003) 程序,应用实测²⁰⁴Pb 校正锆石中的普通铅。单个数据点的误差均为 1σ,采用年龄为²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄,其加权平均值为 95% 的置信度。

锆石单矿物的微量和稀土元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利用 LA-ICP-MS 完成,所用等离子体质谱仪为美国 Agilent 公司生产的 Agilent 7500a,

① 中国人民武装警察部队黄金第十支队. 2006. 云南省元阳县大坪矿区金矿普查报告

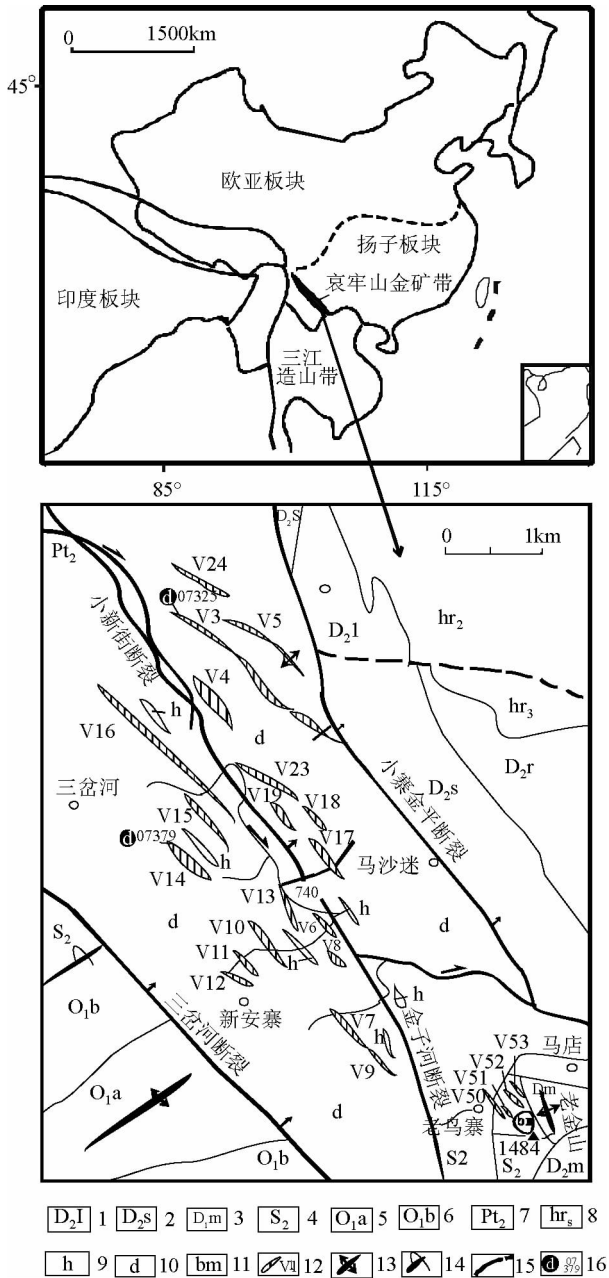


图1 大坪金矿区矿脉分布图(据应汉龙,1998和武警黄金部队,2006改编)

1-中泥盆统老寨组灰岩;2-中泥盆统宋家寨组碳质泥页岩夹硅质页岩及灰岩;3-中泥盆统马鹿洞组微晶灰岩、白云质灰岩、白云岩夹角砾状灰岩、板岩;4-中志留统白云岩、白云质灰岩;5-下奥陶统中组砂岩夹板岩;6-下奥陶统下组;7-哀牢山群阿龙组片岩和片麻岩;8-黑云二长花岗岩;9-二长岩、石英二长岩;10-闪长岩、花岗闪长岩;11-煌斑岩;12-含金石英脉及其代号;13-背斜;14-向斜;15-推测断裂;16-闪长岩采样位置

Fig. 1 Distribution of ore veins in Daping gold deposit(modified after Ying, 1998)

1-limestone of Laojingshai Fm. of Middle Devonian; 2-Carbonaceous to argillaceous shale intercalated with siliceous shale and limestone of Songjiazhai Fm. of Middle Devonian; 3-micritic limestone, dolomitic

limestone, limestone and slate of Maludong Fm. of Middle Devonian; 4-dolostone and dolomitic limestone of Middle Silurian; 5-sandstone intercalated with slate of Lower Ordovician; 6-lower formation of Lower Ordovician; 7-gneiss and schist of Precambrian Ailaoshan Group; 8-biotite monzonitic granite; 9-monzonite and quartz monzonite; 10-diorite and granodiorite; 11-lamprophyre A; 12-uriferous quartz veins and their number; 13-anticline; 14-syncline; 15-hypothetical fault; 16-sampling location of the diorite

激光系统为德国 MicroLas 公司生产的具有 193nm 波长的深紫外气体激光剥蚀系统 Geolas2005。激光束斑直径 $32\mu\text{m}$, 剥蚀深度 $20\sim 40\mu\text{m}$, 激光脉冲为 10Hz, 能量 50mJ。实验中采用 He 作为剥蚀物质的载气, 锆石 91500 作为外标, 微量元素含量用人工合成硅酸盐玻璃 NIST610 作外标, ^{29}Si 作内标, 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 (peak jumping), 每完成 4~5 个测点的样品测定, 加测标样一次。在 15~20 个样品分析点前后各测 2 次 NIST SRM610, 具体分析方法及仪器参数见文献 (Yuan *et al.*, 2004)。

3 测试结果和讨论

阴极发光图像分析是对岩浆锆石与变质锆石进行区别的主要手段, 岩浆锆石一般都具有岩浆震荡环带结构, 而变质成因的锆石为扇形结构增生、面状结构增生或呈补丁状。本次研究的闪长岩中锆石长 $30\sim 250\mu\text{m}$, 宽 $30\sim 180\mu\text{m}$ 。锆石多呈不规则形状, 锆石颗粒被溶蚀成港湾状, 环带不发育、不对称, CL 图像为灰白色 (图 2), 部分锆石具有灰白色的增生边, 可能反映有后期热事件或流体作用的影响。

本文通过高精度的 SHRIMP 锆石 U-Pb 法测得大坪金矿床样品号为 07325 的闪长岩中锆石的 U-Pb 年龄数据 ($n=13$, 表 1)。从中可知, 该样品锆石普通 Pb 含量较低, 为 $1.3\%\sim 7.31\%$; Th 含量为 $33\times 10^{-6}\sim 246\times 10^{-6}$, U 含量为 $39\times 10^{-6}\sim 216\times 10^{-6}$, 均较低, Th/U 值变化不大, 为 $0.708\sim 1.14$, 显示这些锆石主要属于岩浆锆石。此外, LA-ICPMS 原位测定也显示这些锆石具有 ΣREE 不高、富集轻稀土 ($\text{LREE}/\text{HREE}=0.02\sim 0.05$) 和具有明显的正 Ce 异常 ($\delta\text{Ce}=9.66\sim 72.39$, 平均 39.86) 等典型岩浆锆石的微量元素地球化学特点 (表 2, 图 3a) (翟伟等, 2006; 毕诗健等, 2008)。此类锆石得出了较为一致的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄, 为 $729\sim 796\text{Ma}$, 在一致曲线图中成群分布, 加权平均值为 $773\pm 12\text{Ma}$, $\text{MSWD}=0.82$ (图 4a)。该年龄可以代表岩体的形成年龄, 显示大坪金矿床赋矿姚家寨闪长岩岩体的侵入时代并非前人普遍认为的加里东期, 而应为晚元古代, 属于广泛出现在康滇裂谷和哀牢山地区的晋宁-澄江期大规模基性到酸性的岩浆活动的产物, 体现了该区构造环境从拉张向挤压环境发展过程中 Rodinia 超大陆形成、裂解后冈瓦纳大陆形成的过程 (朱炳

表 1 大坪金矿床赋矿闪长岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 分析结果表
Table 1 SHRIMP U-Pb data of zircons from Yaojiazhai diorite of Daping gold deposit

测点号	$^{206}\text{Pb}_e$ (%)	U ($\times 10^{-6}$)	Th ($\times 10^{-6}$)	Th/U	$\frac{^{232}\text{Th}}{^{238}\text{U}}$	$^{206}\text{Pb}^*$ ($\times 10^{-6}$)	$\frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{206}\text{Pb}^*}$	$\pm\%$	$\frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{235}\text{U}}$	$\pm\%$	$\frac{^{206}\text{Pb}^*}{^{238}\text{U}}$	$\pm\%$	errcorr	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$ (Ma)	\pm	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$ (Ma)	\pm
07325-1.1	3.87	39	33	0.856	0.88	4.35	0.0716	12	1.24	12	0.1252	3.1	0.26	761	± 22	974	± 240
07325-2.1	7.31	40	33	0.813	0.84	4.44	0.042	28	0.70	28	0.1198	3.4	0.12	729	± 23	-209	± 700
07325-3.1	3.50	52	45	0.864	0.89	6.05	0.0790	9.4	1.43	9.8	0.1313	2.9	0.30	795	± 22	1172	± 190
07325-4.1	3.00	77	82	1.058	1.09	9.01	0.0699	8.6	1.27	9.0	0.1314	2.8	0.31	796	± 21	927	± 180
07325-5.1	3.83	48	40	0.832	0.86	5.63	0.088	13	1.59	14	0.1308	3.3	0.24	792	± 24	1391	± 260
07325-6.1	3.54	54	38	0.708	0.73	6.29	0.0830	9.5	1.50	10.0	0.1310	3.0	0.30	794	± 22	1270	± 190
07325-7.1	1.72	170	179	1.055	1.09	18.4	0.0700	5.1	1.197	5.8	0.1241	2.7	0.46	754	± 19	927	± 100
07325-8.1	2.56	63	54	0.853	0.88	6.90	0.0696	9.2	1.20	9.7	0.1248	3.0	0.31	758	± 21	917	± 190
07325-9.1	1.30	107	81	0.755	0.78	12.1	0.0687	4.7	1.231	5.4	0.1299	2.7	0.49	788	± 20	890	± 98
07325-10.1	3.39	49	44	0.905	0.93	5.61	0.0669	11	1.19	12	0.1294	2.9	0.25	784	± 22	833	± 240
07325-11.1	3.81	45	35	0.776	0.80	4.97	0.062	16	1.06	16	0.1229	3.1	0.19	747	± 22	684	± 340
07325-12.1	2.23	216	246	1.14	1.18	23.4	0.0613	6.1	1.046	6.7	0.1238	2.6	0.40	752	± 19	649	± 130
07325-13.1	3.24	69	49	0.707	0.73	7.73	0.0651	9.0	1.14	9.5	0.1267	3.0	0.32	769	± 22	778	± 190
07379-2.1	7.60	410	498	1.216	1.26	2.08	0.049	30	0.037	31	0.00546	3.3	0.11	35.1	± 1.2	147	± 710
07379-3.1	3.56	1171	435	0.372	0.38	5.45	0.0559	16	0.0403	16	0.00522	2.8	0.17	33.58	± 0.95	450	± 360
07379-8.1	3.17	1059	417	0.394	0.41	4.81	0.0548	12	0.0387	12	0.00512	2.7	0.22	32.95	± 0.90	404	± 270

表 2 大坪矿区闪长岩中锆石微量元素和稀土元素含量表 ($\times 10^{-6}$)

测点号	07325-1.1	07325-2.1	07325-3.1	07325-5.1	07325-6.1	07325-7.1	07325-8.1	07325-9.1	07325-10.1	07325-11.1	07325-12.1	07325-13.1	07379-2.1	07379-3.1	07379-8.1
P	361.6	383.4	476.6	304.8	377.1	334.5	334.8	338.0	330.5	411.2	1031	303.8	465.3	733.9	207.6
Ti	13.11	8.33	11.93	9.93	7.89	14.11	6.25	8.81	12.64	9.61	13.21	6.63	4.69	5.54	6.58
Y	425.4	405.2	477.6	295.1	405.7	343.1	307.4	915.0	694.9	436.3	1970	420.7	2434	5064	668.4
Nb	0.19	0.26	0.19	0.19	0.21	0.20	0.17	0.25	0.13	0.60	3.84	0.22	1.54	5.36	5.43

续表 2

Continued Table 2

测点号	07325-1.1	07325-2.1	07325-3.1	07325-5.1	07325-6.1	07325-7.1	07325-8.1	07325-9.1	07325-10.1	07325-11.1	07325-12.1	07325-13.1	07379-2.1	07379-3.1	07379-8.1
Hf	7930	7657	8033	8270	8384	7804	8545	7913	7819	8402	7949	8240	7508	7890	9532
Ta	0.12	0.22	0.17	0.13	0.12	0.15	0.14	0.25	0.11	0.30	1.04	0.20	0.49	1.24	1.85
Pb	6.51	9.00	10.20	8.90	8.85	6.87	7.42	23.99	10.23	11.06	74.33	11.27	3.49	9.49	5.67
La	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02	0.03	0.02	0.01	0.05	0.00	0.07	0.14	0.50
Ce	4.76	5.10	5.79	6.08	5.13	5.09	4.57	8.27	6.46	11.65	39.14	5.88	39.94	126.78	34.74
Pr	0.07	0.03	0.06	0.02	0.06	0.03	0.01	0.25	0.15	0.05	0.28	0.05	0.49	1.27	0.17
Nd	1.02	1.03	0.81	0.70	1.06	0.70	0.32	3.83	3.69	1.01	4.89	0.91	7.86	21.58	1.65
Sm	2.28	1.44	1.89	1.00	1.81	1.27	1.03	5.12	4.19	1.81	7.60	2.00	16.92	37.61	2.66
Eu	0.96	0.89	0.85	0.53	0.79	0.55	0.56	2.25	2.05	0.63	2.35	0.96	7.76	17.96	1.22
Gd	9.68	9.57	9.48	6.80	8.55	7.77	5.56	22.88	18.83	8.40	40.36	9.50	78.94	161.88	13.57
Tb	3.38	2.80	3.23	2.21	2.66	2.60	1.94	6.58	5.74	2.75	14.29	2.96	22.70	47.77	4.57
Dy	39.87	35.02	40.35	26.78	35.00	32.09	26.19	81.05	67.66	34.51	178.37	36.61	251.71	532.84	53.80
Ho	14.39	13.40	15.38	10.22	13.13	11.63	9.82	30.86	23.61	13.61	65.23	13.62	83.38	177.55	19.68
Er	69.49	67.14	79.54	47.86	65.73	56.17	49.55	153.94	110.11	70.73	316.03	67.41	385.22	816.11	99.98
Tm	14.43	15.11	17.65	10.19	14.19	11.81	11.19	32.31	21.94	15.51	62.85	14.47	82.13	167.56	24.04
Yb	139.4	157.0	178.6	100.5	144.0	121.0	118.5	320.0	201.9	157.2	573.9	146.5	801.7	1603	264.5
Lu	25.98	31.90	36.07	18.92	28.50	22.55	23.46	61.92	37.88	32.06	103.41	29.79	124.73	257.49	45.38
ΣREE	325.7	340.4	389.7	231.9	320.6	273.3	252.8	729.3	504.2	349.9	14091	330.7	1904	3970	566.5
LREE	9.10	8.49	9.41	8.35	8.86	7.65	6.52	19.76	16.54	15.16	54.32	9.79	73.04	205.3	40.94
HREE	316.6	331.9	380.3	223.5	311.7	265.7	246.3	709.6	487.6	334.8	1354	320.9	1831	3764	525.5
LREE/HREE	0.03	0.03	0.02	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.05	0.04	0.03	0.04	0.05	0.08
(Gd/Yb) _N	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.04	0.04	0.02
δCe	19.6	47.5	29.2	72.4	27.9	48.2	71.2	9.66	13.2	61.7	39.9	37.7	24.0	29.8	28.99
δEu	0.53	0.55	0.50	0.46	0.51	0.41	0.57	0.54	0.59	0.41	0.33	0.56	0.54	0.60	0.51
(Sm _N * Gd _N) ^{0.5}	26.51	20.94	23.90	14.73	22.19	17.74	13.51	61.05	50.06	21.98	98.75	24.57	206.1	440.1	33.90

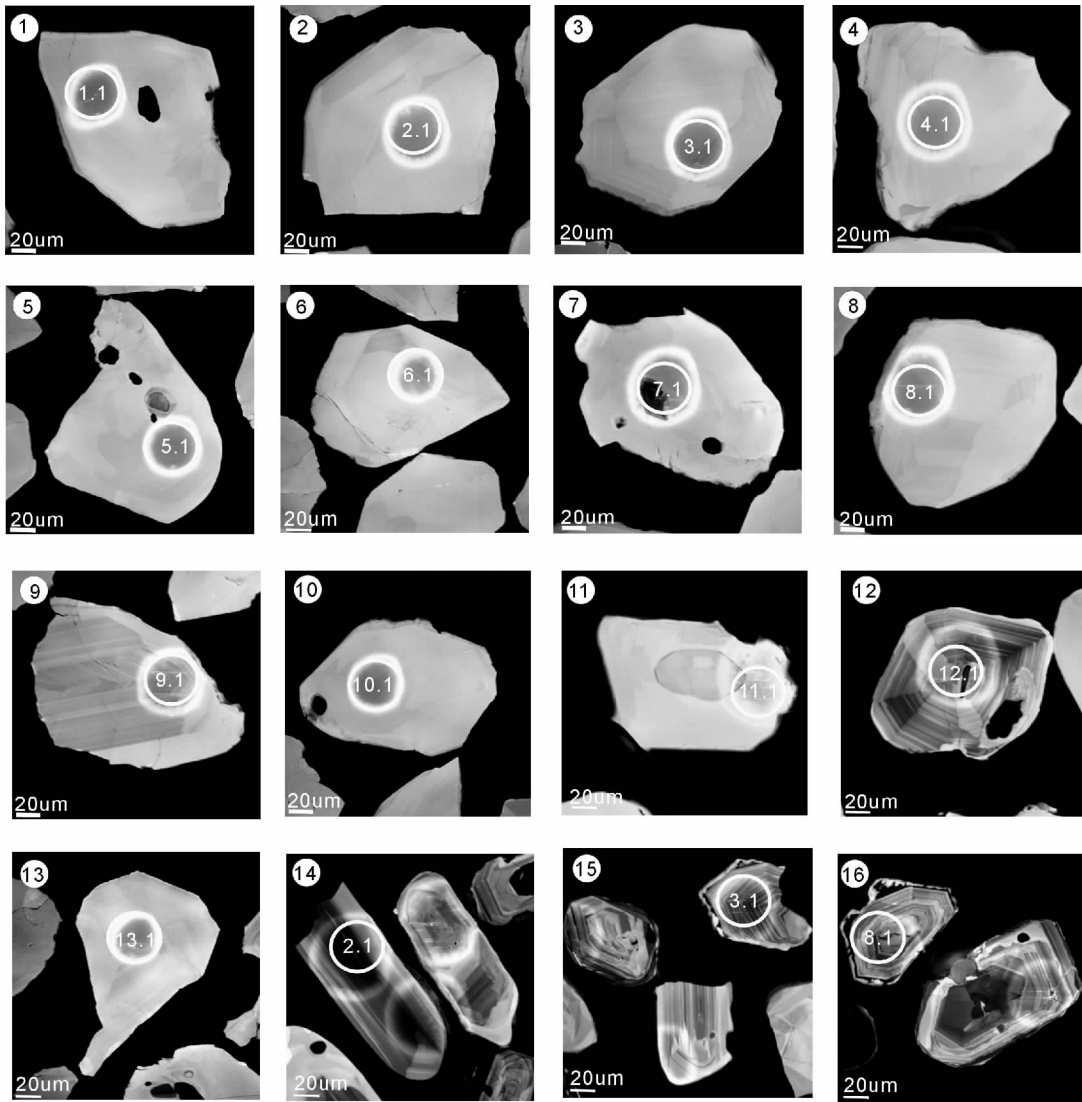


图2 大坪金矿床闪长岩锆石阴极发光图像

1-13 锆石样品号为 07325; 14-16 样品号为 07379

Fig. 2 CL imaging of zircons from the diorite of Daping gold deposit

The zircons No. 1-13 from sample 07325; No. 14-16 from 07379

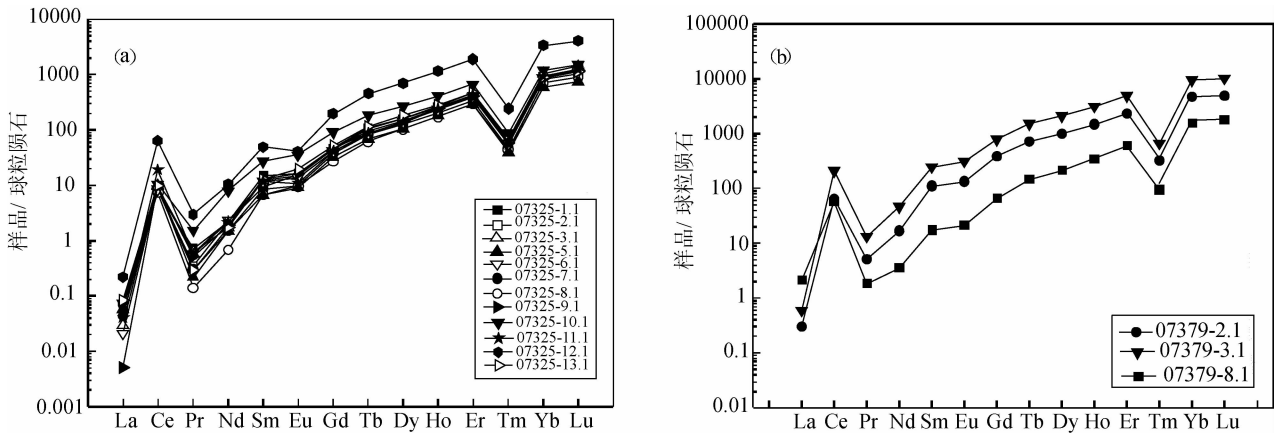


图3 大坪矿区闪长岩中锆石稀土元素球粒陨石标准化分布曲线

(a)-样品号 07325; (b)-样品号 07379

Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns of zircons in diorites from Daping gold deposit

(a)-Sample 07325; (b)-Sample 07379

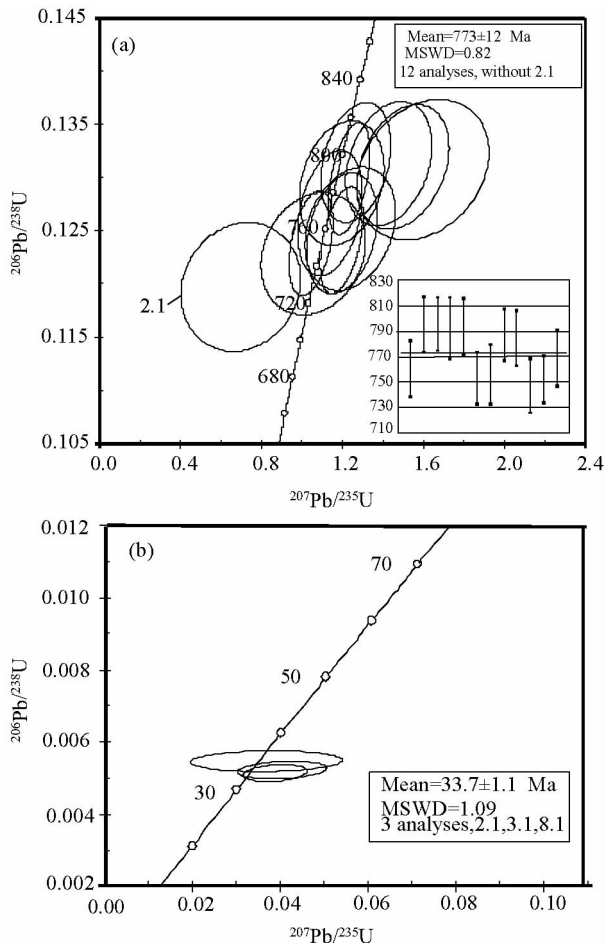


图4 大坪金矿床糜棱岩化闪长岩锆石 U-Pb 谐和曲线图

(a)-蚀变闪长岩谐和图(样品号 07325);(b)-糜棱岩化闪长岩谐和曲线图(样品号 07379)

Fig. 4 U-Pb concordia diagram of zircon from the diorite of Daping gold deposit

(a)-altered diorite (sample No. 07325); (b)-mylonitized diorite (sample No. 07379)

泉等,2001)。该年龄还与大坪金矿脉石英流体包裹体⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄测定给出的高温坪年龄(765.5 ± 7.0Ma)(朱炳泉等,2001)基本一致,显示大坪金矿床的多期成矿特征,可能早在晋宁期闪长岩侵入时该区就有金的初步富集。

在对样品号为 07379 的糜棱岩化闪长岩中锆石的观测中,发现其中除了出现与样品 07325 中类似的较大锆石外,还见到一些颗粒较小,晶形不规则的锆石(图 2, 14-16)。SHRIMP 原位测定显示其中 U 和 Th 含量相对较高,U 含量为 $410 \times 10^{-6} \sim 1171 \times 10^{-6}$,Th 为 $417 \times 10^{-6} \sim 498 \times 10^{-6}$,但普通 Pb 含量不高,为 3.17% ~ 7.6%(表 1),且 REE 配分曲线上也显示了较明显的正 Ce 异常($\delta Ce = 24.04 \sim 29.76$,平均 27.56)和轻稀土富集(LREE/HREE = 0.04 ~ 0.08)(表 2、图 3b),显示它们可能也是为岩浆成因锆石(翟伟等,

2006;毕诗健等,2008)。这些锆石的年龄为 33.7 ± 1.1 Ma(图 4b),与大坪金矿床含金石英脉中热液绢云母的 Ar-Ar 定年结果(33.76 ± 0.65 Ma,孙晓明等,2006c)基本一致,显示它们很可能为该区强烈的韧性剪切和局部岩浆熔融活动的产物。

4 结论

大坪金矿床主要围岩姚家寨闪长岩侵入时代不是前人普遍认为的加里东期,而是晚元古代,属于晋宁-澄江期大规模基性到酸性的岩浆活动的产物,是 Rodinia 超大陆形成、裂解后冈瓦纳大陆形成过程的响应。大坪金矿床具有多期成矿的特征,其主体形成于喜马拉雅期碰撞造山运动,但早在晋宁造山运动中就有金的初步富集。

致谢 野外工作得到云南省地质矿产勘查开发局李文昌总工和云南元阳大坪金矿杨夕辉总经理的大力支持,矿区资料的收集工作得到云南元阳大坪金矿地质科、云南省地质调查院、云南省地质矿产勘查开发局、武警黄金部队第十支队的大力帮助。美国地质调查所(USGS)Richard Goldfarb 博士给予了指导,北京离子探针中心的董春艳老师对 SHRIMP 锆石测年工作和数据处理方面给予了热情帮助和支持,在此一并表示感谢!

References

- Bi SJ, Li JW and Zhao XF. 2008. Hydrothermal zircon U-Pb dating and geochronology of quartz vein type gold deposits: A review. *Geological Science and Technology Information*, 27(1): 69 - 76 (in Chinese with English abstract)
- Bi XW, Hu RZ and He MY. 1996a. ESR dating of Ailaoshan gold metallogenic belt and geological significance. *Chinese Science Bulletin*, 41(18): 1546 - 1549
- Bi XW, Hu RZ and He MY. 1996b. An approach to the metallogenic era and the metallogenic mechanism of Ailaoshan gold belt. *Geology-Geochemistry*, 24(1): 16 - 19 (in Chinese with English abstract)
- Bi XW, Hu RZ and He MY. 1997. Characteristics of ore-forming fluid of three gold deposits in Ailaoshan gold metallogenic belt. *Acta Mineralogica Sinica*, 17(4): 435 - 441 (in Chinese with English abstract)
- Bi XW and Hu RZ. 1999. Mineralizer source and its constraints on gold mineralization of the Daping gold deposit, Yunnan. *Acta Mineralogica Sinica*, 119(1): 28 - 33 (in Chinese with English abstract)
- Black LP, Kamo SL, Allen CM *et al.* 2003. TEMORA 1: A new zircon standard for Phanerozoic U-Pb geochronology. *Chemical Geology*, 200: 155 - 170
- Compton W, Williams IS and Meyer C. 1984. U-Pb geochronology of zircons from lunar breccia 73217 using a sensitive high mass-resolution ion microprobe. *J. Geophys. Res.*, 89(Supp.): B525 - 534

- Ge LS, Deng J, Li HG *et al.* 2007. Superposed mineralization in Daping Au-Cu-Ag-Pb deposit, Yunnan Province: Evidences from geology, fluid inclusions and stable isotopes. *Acta Petrologica Sinica*, 23 (9): 2131 – 2143 (in Chinese with English abstract)
- Han RS and Jin SC. 1994. Genesis and criteria for ore prospecting in the Yuanyang gold deposit, Yunnan Province. *Geological Exploration and Non-ferrous Metals*, 3(4): 218 – 222 (in Chinese with English abstract)
- Han RS, Jin SC and Lei L. 1997. Geochemistry of ore-forming hydrothermal system of Daping reworked gold deposit, Yuanyang, Yunnan. *Acta Mineralogica Sinica*, 17(3): 337 – 344 (in Chinese with English abstract)
- Hu RZ and Bi XW. 1999. He and Ar isotope geochemistry of ore-forming fluid in Ailaoshan gold metallogenic belt. *Science in China (Series D)*, 29(4): 321 – 330 (in Chinese)
- Hu YZ, Tang SC, Wang HP *et al.* 1995. *Geology of Gold Deposits in Ailaoshan*. Beijing: Geological Publishing House, 194 – 206 (in Chinese)
- Ludwig KR. 2003. Isoplot/Ex version 3.00: A geochronological toolkit for microsoft excel. Berkeley Geochronology Center, Special Publ., (4): 71
- Song B, Zhang YH, Wan YS *et al.* 2002. Mountmaking and procedure of the SHRIMP dating. *Geological Review*, 48 (Suppl.): 26 – 30 (in Chinese with English abstract)
- Sun XM, Xiong DX, Shi GY *et al.* 2006a. Noble gas isotopic compositions of scheelites in Daping gold mine in Yunnan Province, China, and their metallogenic significances. *Acta Petrologica Sinica*, 22(3): 725 – 732 (in Chinese with English abstract)
- Sun XM, Xiong DX, Shi GY *et al.* 2006b. Crust-mantle interaction in the Ailaoshan gold belt and its contribution to gold mineralization: A case study of Daping gold mine in Yunnan Province, China. In: Chen J (ed.). *Research Progress of Geology and Geochemistry: For Mr. Wang Dezi Academician Apply to Geological Science for 60 Years and His 80th Birthday*. Nanjing: Nanjing University Press, 269 – 279 (in Chinese with English abstract)
- Sun XM, Shi GY, Xiong DX *et al.* 2006c. ³⁹Ar-⁴⁰Ar dating of Daping ductile shear zone hosted gold deposit, Yunnan Province, China. *Acta Geologica Sinica*, 81(1): 88 – 92 (in Chinese with English abstract)
- Sun XM, Shi GY, Xiong DX *et al.* 2007. Platinum group elements geochemistry and Re-Os isotopic compositions and their metallogenic implications of Daping gold deposit in Ailaoshan gold belt, Yunnan Province, China. *Acta Geologica Sinica*, 81(3): 394 – 404 (in Chinese with English abstract)
- Sun XM, Zhang Y, Xiong DX *et al.* 2009a. Crust and mantle contributions to gold-forming process at the Daping deposit, Ailaoshan gold belt, Yunnan, China. *Ore Geology Reviews*, 36(1 – 3): 235 – 249
- Sun XM, Xiong DX, Zhang Y *et al.* 2009b. Cenozoic Daping gold deposit, Yunnan, China: Fluid inclusion and noble gas classification. In: Williams PJ (ed.). *Smart Science for Exploration and Mining, Proceedings of the Tenth Biennial SGA Meeting*. Springer, Session B1: 375 – 377
- Williams IS. 1998. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe In: McKibben MA, Shanks WC and Ridley WI (eds.). *Applications of Microanalytical Techniques to Understanding Mineralizing Processes*. *Reviews in Economic Geology*, 7: 1 – 35
- Xiong DX, Sun XM, Shi GY *et al.* 2006a. Trace elements, REE and Nd-Sr isotopic compositions in scheelites and their significances for the mineralization in Daping gold mine in Yunnan Province, China. *Acta Petrologica Sinica*, 22(3): 733 – 741 (in Chinese with English abstract)
- Xiong DX, Sun XM, Zhai W *et al.* 2006b. Graphite inclusions with high crystallinity in the auriferous quartz veins from Daping gold deposit in Yunnan Province, China: Evidence for involvement of metamorphic fluid from granulite-facies lower crust in the mineralization. *Acta Geologica Sinica*, 80(9): 1448 – 1456 (in Chinese with English abstract).
- Xiong DX, Sun XM, Zhai W *et al.* 2007a. CO₂-rich fluid inclusions in auriferous quartz veins from the Daping ductile shear zone hosted gold deposit in Yunnan Province, China, and its implications for gold mineralization. *Acta Geologica Sinica*, 81(5): 640 – 653 (in Chinese with English abstract)
- Xiong DX, Sun XM and Shi GY. 2007b. *Geochemistry and Metallogenic Model of Ailaoshan Cenozoic Orogenic Gold Belt in Yunnan Province, China*. Beijing: Geological Publishing House, 1 – 144 (in Chinese)
- Ying HL. 1998. The geochemistry characteristics of wallrock alteration and isotopes of the Daping gold deposit. *Gold Science and Technology*, 6(4): 14 – 23 (in Chinese with English abstract)
- Yuan HL, Gao S, Liu XM *et al.* 2004. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation-inductively coupled plasma mass spectrometry. *Geostandard and Geoanalytist Research*, 28(3): 353 – 370
- Zhai W, Li ZL, Sun XM *et al.* 2006. SHRIMP Zircon U-Pb dating of the Hetai gold deposit in western Guangdong, China and geological implications. *Geological Review*, 52(5): 690 – 699 (in Chinese with English abstract)
- Zhu BQ, Chang XY, Qiu HN *et al.* 2001. Geochronological study on formation and metamorphism of Precambrian basement and their mineralization in Yunnan, China. *Progress in Precambrian Research*, 24(2): 75 – 82 (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

- 毕诗健, 李建威, 赵新福. 2008. 热液锆石 U-Pb 定年与石英脉型金矿成矿时代: 评述与展望. *地质科技情报*, 27(1): 69 – 76
- 毕献武, 胡瑞忠, 何明友. 1996a. 哀牢山金矿带 ESR 年龄测定及其地质意义. *科学通报*, 41(4): 1301 – 1303
- 毕献武, 胡瑞忠, 何明友. 1996b. 哀牢山金矿带的成矿时代及其成矿机制探讨. *地质地球化学*, 24(1): 16 – 19
- 毕献武, 胡瑞忠, 何明友. 1997. 哀牢山金矿带主要金矿床成矿流体特征. *矿物学报*, 17(4): 435 – 441
- 毕献武, 胡瑞忠. 1999. 云南大坪金矿床矿化剂来源及其对金成矿的制约. *矿物学报*, 19(1): 28 – 33
- 葛良胜, 邓军, 李汉光等. 2007. 云南大坪大型金多金属矿床叠加成矿作用: 地质、流体包裹体和稳定同位素证据. *岩石学报*, 23(9): 2131 – 2143
- 韩润生, 金世昌. 1994. 云南元阳金矿床成因及找矿标志. *有色金属矿产与勘查*, 3(4): 218 – 222
- 韩润生, 金世昌, 雷丽. 1997. 云南元阳大坪改造型金矿床的成矿热

- 液系统地球化学. 矿物学报, 17(3): 337-344
- 胡瑞忠, 毕献武. 1999. 哀牢山成矿带成矿流体的 He 和 Ar 同位素地球化学. 中国科学(D 辑), 29(4): 321-330
- 胡云中, 唐尚鹑, 王海平等. 1995. 哀牢山金矿地质. 北京: 地质出版社, 194-206
- 宋彪, 张玉海, 万渝生等. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论. 地质论评, 48(增刊): 26-30
- 孙晓明, 熊德信, 石贵勇等. 2006a. 云南大坪金矿白钨矿惰性气体同位素组成特征及其成矿意义. 岩石学报, 22(3): 725-732
- 孙晓明, 熊德信, 王生伟等. 2006b. 壳幔相互作用及其对哀牢山金矿带成矿的贡献: 以云南大坪金矿为例. 见: 陈骏主编. 地质地球化学研究进展——庆贺王德滋院士致力于地质科学六十年暨 80 华诞. 南京: 南京大学出版社, 269-279
- 孙晓明, 石贵勇, 熊德信等. 2006c. 云南哀牢山金矿带大坪剪切带型金矿成矿 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年. 地质学报, 81(1): 88-92
- 孙晓明, 石贵勇, 熊德信等. 2007. 云南哀牢山金矿带大坪金矿铂族元素(PGE)和 Re-Os 同位素地球化学及其矿床成因意义. 地质学报, 81(3): 394-404
- 熊德信, 孙晓明, 石贵勇等. 2006a. 云南大坪金矿白钨矿微量元素、稀土元素和 Sr-Nd 同位素组成特征及其意义. 岩石学报, 22(3): 733-741
- 熊德信, 孙晓明, 翟伟等. 2006b. 云南大坪金矿含金石英脉中高结晶度石墨包裹体: 下地壳麻粒岩相变质流体参与成矿的证据. 地质学报, 80(9): 1448-1456
- 熊德信, 孙晓明, 翟伟等. 2007a. 云南大坪韧性剪切带型金矿富 CO_2 流体包裹体及其成矿意义. 地质学报, 81(4): 640-653
- 熊德信, 孙晓明, 石贵勇. 2007b. 云南哀牢山喜马拉雅期造山型金矿带矿床地球化学及成矿模式. 北京: 地质出版社, 1-144
- 应汉龙. 1998. 云南大坪金矿床围岩蚀变和同位素地球化学特征. 黄金科学技术, 6(4): 14-23
- 翟伟, 李兆麟, 孙晓明等. 2006. 粤西河台金矿锆石 SHRIMP 年龄及其地质意义. 地质论评, 52(5): 690-699
- 朱炳泉, 常向阳, 邱华宁等. 2001. 云南前寒武纪基底形成与变质时代及其成矿作用年代学研究. 前寒武纪研究进展, 24(2): 75-82