东准噶尔黄羊山西金矿区含矿花岗斑岩锆石U-Pb定年及地质意义

路彦明[1,2],张玉杰[2],潘 懋[1],刘翼飞[3],徐 斌[4,5],
朝银银[2],张 栋[2],范俊杰[2],陈晓吾[2],潘爱军[2,4]

1. 北京大学 地球与空间科学学院,北京 100871
2. 武警黄金地质研究所,河北 廊坊 065000
3. 中国地质科学院 矿产资源研究所,北京 100037
4. 中国地质大学 地球科学与资源学院,北京 100083
5. 武警黄金一总队,哈尔滨 150086

摘要:黄羊山西金矿位于东准噶尔卡拉麦里成矿带的中段,它由4条含金矿脉组成,矿化发生在富钾、偏碱性花岗斑岩中。为了限定成矿时代,采用LA-MC-ICP-MS U-Pb同位素定年法对含矿花岗斑岩中的锆石进行了系统的年代学测试;3件样品的锆石CL阴极图像和测试结果揭示花岗斑岩成岩时间为318.4~310.3 Ma,年龄分别为(318.4±1.1) Ma(MSWD=1.3)、(310.3±2.6) Ma(MSWD=2.1)、(315.9±2.2) Ma(MSWD=2.1)。结合区域地壳演化特征,初步厘定卡拉麦里地区在晚古生代发生两期金成矿作用:早期与偏碱性岩浆活动有关,晚期与韧-脆性构造变形有关;二者均发生在晚古生代碰撞造山期后的伸展环境。

关键词:锆石;LA-ICP-MS定年;花岗斑岩;黄羊山西金矿;卡拉麦里

中图分类号:P618.51 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-5888(2010)04-0852-07

Zircon U-Pb Dating of Ore-Bearing Granite-Porphyry Vein in Western Huangyangshan Gold Deposit, Eastern Junggar and Its Geological Significance

LU Yan-ming[1,2], ZHANG Yu-jie[2], PAN Mao[1], LIU Yi-fei[3], XU Bin[4,5],
CHAO Yin-yin[2], ZHANG Dong[2], FAN Jun-jie[2], CHEN Xiao-wu[2], PAN Ai-jun[2,4]

1. *School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing* 100871, *China*
2. *Gold Geological Institute of CAPF, Langfang, Hebei* 065000, *China*
3. *Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing* 100037, *China*
4. *School of the Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing* 100083, *China*
5. *No. 1 Gold Brigade of CAPF, Haerbin* 150086, *China*

Abstract: The western Huangyangshan gold deposit, located in the middle of Karameili gold metallogenic belt, Eastern Junggar, is consisted of four gold ore bodies, all they are mineralized granite porphyry veins which are alkaline and K-rich. Three granite porphyry samples were collected, and CL characteristics of zircons from ore-bearing granite porphyry samples suggest their magmatic origin. LA-MC-ICP-MS U-Pb dating of zircons from the ore-bearing granite porphyry veins shows that their

收稿日期:2010-03-20

基金项目:国家科技支撑课题(2007BAB25B02);国土资源部地质大调查项目(1212010913028)

作者简介:路彦明(1971—),男,河南中牟人,博士后,高级工程师,主要从事区域金多金属矿床成矿规律与找矿预测研究,E-mail:yanming-lu-163@163.com。

emplacing ages are (318.4 ± 1.1)－(310.3 ± 2.6) Ma. Regional comparison indicates that there occurred two epoch of gold mineralization in Karameili area , the earlier was related to the alkaline magmatic activity and latter was associaed with the ductile-brittle tectonic deformation. Both gold mineralization took place in post-collision orogenic collision environment.

Key words: zircon; LA－ICP－MS dating; granite porphyry; western Huangyangshan gold deposit; Karameili

0　引言

新疆东准噶尔卡拉麦里成矿带构造属性为泥盆—石炭纪残余洋盆[1]，经历了中石炭世洋-陆体系的转换、早二叠世晚期的陆-陆碰撞造山的地壳演化过程[2-4]，形成了一系列以由北至南推覆为主[5]、兼具右行走滑[1,6]的 NWW 向韧-脆性剪切构造体系，并出现大规模的中酸性岩浆活动，普遍发生了区域性的金属成矿作用，形成众多金矿床、矿点和矿化点，并成为东准噶尔地区主要金成矿带之一。

卡拉麦里地区已发现的众多金矿床(点)中，除黄羊山西金矿外，其余均为与韧-脆性剪切构造变形有关的金矿床，韧-脆性剪切构造控制明显，成矿发生在 270 Ma 前后(如双泉金矿床、南明水金矿等)。

黄羊山西金矿位于卡拉麦里成矿带中段，双泉金矿北西约 8 km 处(图 1)，该矿床由武警黄金部队于 2007 年发现，为卡拉麦里地区唯一一个受酸性花岗斑岩脉控制的金矿床。为了深入揭示黄羊山西金矿床的成矿动力学背景，对黄羊山西金矿开展精确的成矿年龄测定，获得的年龄结果证实该矿床的成矿发生在 318.4～310.3 Ma，与晚石炭世造山伸展期时代大致相当。

1　矿床地质概况和实验样品

黄羊山西金矿区及外围地层以中泥盆统平顶山组为主(图 1)，岩性主要为凝灰质砂岩、粉砂岩、砂砾岩，岩石普遍发生较强片理化，片理产状和区域一致，呈 NWW 向展布。矿区构造主要发育与清水—苏吉泉大断裂近平行的一些次级挤压片理化构造，并出现近 NW 向切穿岩脉的后期脆性断裂。岩浆岩活动除与锡矿有关的偏碱性花岗岩，仅见含金矿化蚀变的花岗斑岩。

目前所发现的 4 条金矿(化)脉均为含金的矿化蚀变花岗斑岩脉，它们的走向近 EW，NE 倾，倾角 80°～85°。其中 401 号、402 号脉矿化蚀变较强，含金花岗斑岩脉长约 2 km，宽约 5～7 m，深部 300 m 处宽变为 15～20 m；矿化发生在花岗斑岩脉中，以稀疏浸染状、团块状、细脉状黄铁矿化为特征，地表可见次生黄铁矿假象褐铁矿和氧化形成的黄钾铁钒等。矿脉地表金最高质量分数为 1.03×10^{-6}，深部矿化增强，金质量分数多为$(0.52\sim1.03)\times10^{-6}$，局部矿化蚀变较强地段金质量分数为$(2.52\sim4.82)\times10^{-6}$。

本次试验样品均采自黄羊山西金矿区金矿化较好的 401 号矿脉，采样点相距大约 100 m(图 1B)；岩石地表风化后呈不均匀的褐黄色、红褐色，岩石呈似斑状结构，斑晶为钾长石和石英，少量斜长石；基质由微细粒长石和石英组成。可见黄铁矿流失孔，褐铁矿常呈黄铁矿假象，少量呈薄膜状或土状不均匀分布。蚀变矿物主要有绿泥石、绢云母、高岭土等。

2　分析方法

样品分选采用常规方法进行，粉碎至 80～100 目，用浮选和电磁选方法进行分选，在双目镜下挑选出晶形和透明度较好的锆石颗粒作为测定对象。将选出的锆石样品置于环氧树脂中，然后磨至约一半，使锆石内部暴露，用于阴极发光(CL)研究和锆石 LA－ICP－MS U－Pb 同位素组成分析，阴极发光在中国地质科学院地质研究所电子探针仪上完成。LA－MC－ICP－MS 锆石 U－Pb 定年测试分析在中国地质科学院矿产资源研究所 MC－ICP－MS 实验室完成，锆石定年分析所用仪器为 Finnigan Neptune 型 MC－ICP－MS 及与之配套的 Newwave UP 213 激光剥蚀系统。激光剥蚀所用斑束直径为 25μm，频率为 10Hz，能量密度约为 2.5 J/cm^2，以 He 为载气。信号较小的^{207}Pb、^{206}Pb、^{204}Pb(+^{204}Hg)、^{202}Hg 用离子计数器(multi－ion－counters)接收，^{208}Pb、^{232}Th、^{238}U 信号用法拉第杯接收，实现了所有目标同位素信号的同时接收并且不同质量数的峰基本上都是平坦的，进而可以获得高精度的数据。均匀锆石颗粒^{207}Pb/^{206}Pb、^{206}Pb/

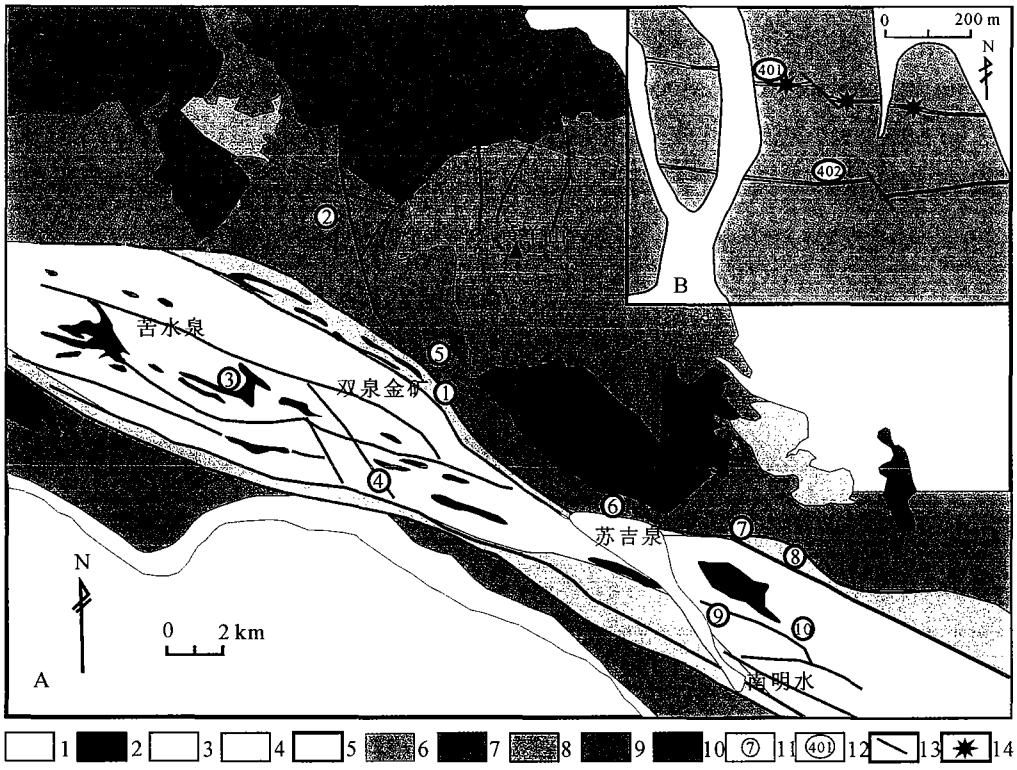


图1 黄羊山西金矿区域地质及采样位置图

Fig. 1 Regional geological and sampling location map of western Huangyangshan gold deposit

A. 金矿区域地质图(根据文献[7]修改);B. 矿区地质及采样位置图;1. 中、新生界;2. 中石炭统巴塔玛依内山组;3. 下石炭统南明水组上亚层;4. 下石炭统南明水组下亚层;5. 上泥盆统塔木岗组;6. 中泥盆统平顶山组;7. 石炭纪钾长花岗岩;8. 石炭纪闪长花岗岩;9. 石炭纪黑云母花岗岩;10. 石炭纪蛇绿岩; 11. 金矿点及编号(①双泉金矿,②黄羊山西金矿,③红柳沟金矿点,④六棵树金矿点,⑤黄南矿点,⑥苏吉泉金矿,⑦苏吉泉东2号矿点,⑧苏吉泉东金矿,⑨南明水3号矿点,⑩南明水1号矿点);12. 矿化花岗斑岩脉及编号;13. 断裂;14. 取样位置

^{238}U、$^{207}Pb/^{235}U$ 的测试精度(2σ)均为2%左右,对锆石标准的定年精度和准确度在1%(2σ)左右。LAσMCσICPσMS激光剥蚀采样采用单点剥蚀的方式,数据分析前用锆石GJσ1进行调试仪器,使之达到最优状态,锆石UσPb定年以锆石GJσ1为外标,U、Th含量以锆石M127(U:923 $\times10^{-6}$,Th:439$\times10^{-6}$,Th/U: 0.475)[8]为外标进行校正。测试过程中在每测定5—7个样品前后重复测定两个锆石GJσ1对样品进行校正,并测量一个锆石Plesovice,观察仪器的状态以保证测试的精确度。数据处理采用ICPMSDataCal 4.3程序[9],测量过程中绝大多数分析点$^{206}Pb/^{204}Pb>1\ 000$,未进行普通铅校正,^{204}Pb由离子计数器检测,^{204}Pb含量异常高的分析点可能受包体等普通Pb的影响,对^{204}Pb含量异常高的分析点在计算时剔除,锆石年龄谐和图用Isoplot 3.0程序获得。详细实验测试过程参见文献[10]。样品分析过程中,Plesovice标样作为未知样品的分析结果与对应的年龄推荐值为(337.13±0.37) Ma (2σ)[11],两者在误差范围内一致。

3 分析结果

黄羊山西金矿含金花岗斑岩中选出的锆石CL图像见图2。多数锆石颗粒为短柱状、半截锥状、中长柱状晶体,粒径为70～120 μm。锆石内部结构较为复杂,大部分具有明暗相间的条带结构,一部分为扇形分带结构,还有一部分表现为内部较均匀、无明显分带或环带结构特征,这些锆石和典型岩浆结晶锆石[12]特征相似,应属于岩浆成因锆石。个别锆石颗粒出现窄的不完整浅色边,其原因可能为热液蚀变影响所致[13]。

对3个样品进行了锆石LA-ICP-MS U-Pb同位素组成分析,共完成了39粒锆石39个测点的测试,结果见表1和图3。由表可以看出:S014样品Th、U质量分数分别为(88.6～820.3)$\times10^{-6}$(平均

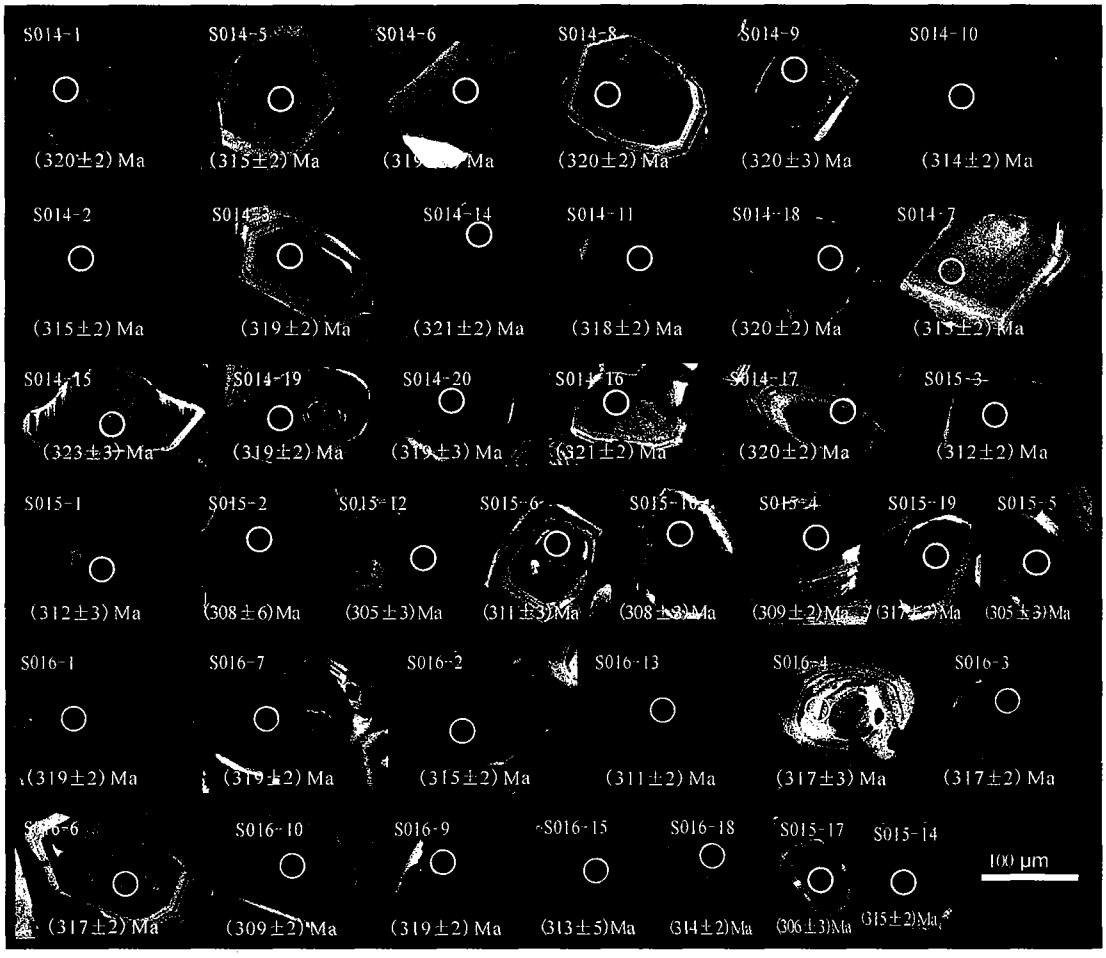


图 2　黄羊山西含金花岗斑岩锆石的阴极发光(CL)图像和年龄值

Fig. 2　Zircon cathodoluminescence (CL) images and its age of gold-bearing granitic porphyry in western Huangyangshan area

266.8×10^{-6})和($258.5\sim1\,034.6$)$\times10^{-6}$(平均452.2×10^{-6})，Th/U 值为 0.34～0.80(平均0.55)；S015 样品 Th、U 质量分数为($97.0\sim463.3$)$\times10^{-6}$(平均223.7×10^{-6})和($213.3\sim702.0$)$\times10^{-6}$(平均422.2×10^{-6})，Th/U 值为 0.44～0.66(平均0.52)；S016 样品 Th、U 质量分数分别为($72.7\sim1\,427.0$)$\times10^{-6}$(平均320.0×10^{-6})和($201.6\sim1\,425.6$)$\times10^{-6}$(平均484.5×10^{-6})，Th/U 值为 0.34～1.00(平均 0.56)。这表明上述 3 个样品均应属岩浆型锆石[14]。用 Isoplot 3.0 程序对样品锆石进行了谐和曲线的投影和$^{206}Pb/^{238}U$加权平均年龄的计算。在$^{206}Pb/^{238}U-^{207}Pb/^{235}U$谐和图上(图3)，黄羊山西金矿 3 个锆石样品在各自的谐和图上数据分析点均位于 U－Pb 谐和线上或其附近的一个很小的区域内，所得的$^{206}Pb/^{238}U$加权平均年龄分别为(318.4±1.1) Ma(MSWD=1.3)、(310.3±2.6) Ma (MSWD = 2.1)、(315.9 ± 2.2) Ma (MSWD=2.1)(图 1a)。

4　讨论及结论

单颗粒锆石年龄测试结果表明，黄羊山西金矿含矿斑岩脉的就位成岩发生在 318.4～310.3 Ma，为晚石炭世早期，是卡拉麦里洋盆闭合、陆-陆碰撞造山构造背景的产物。卡拉麦里泥盆—石炭纪残余洋盆中石炭世完成了洋-陆体系的转换，开始了陆-陆碰撞造山，伴随强烈的构造变形和大规模的中酸性的岩浆活动[1-4]，形成了众多的与韧-脆性构造变形构造有关的金矿床(如双泉金矿床等)，成矿时间约为 270 Ma[15]。双泉金矿床的矿化蚀变矿物石英、绢云母激光(单颗粒全熔样法)显微探针$^{40}Ar/$

表1 双泉地区金矿化斑岩脉的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 分析结果

Table 1 Zircon LA-ICP-MS U-Pb analysis results of gold mineralization porphyry vein in Shuangquan area

样号	$w(Pb_{普})$/10^{-6}	$w(^{232}Th)$/10^{-6}	$w(^{238}U)$/10^{-6}	Th/U	同位素比值								t/Ma								谐和度/%
					$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{208}Pb/^{232}Th$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{208}Pb/^{232}Th$	1σ	
SOL14-1	18.696 7	196.804 2	348.312 4	0.565 0	0.054 0	0.000 3	0.372 8	0.002 5	0.050 1	0.000 3	0.001 7	0.000 1	372.275 0	12.962 5	321.750 3	1.842 6	315.030 2	1.887 6	33.909 5	2.408 4	97
SOL14-2	21.018 9	206.948 7	387.083 1	0.534 6	0.056 1	0.000 3	0.392 2	0.002 8	0.050 8	0.000 3	0.001 8	0.000 1	453.750 0	19.442 5	336.006 3	2.045 4	319.654 9	2.085 5	36.205 4	2.340 0	95
SOL14-3	14.915 7	140.694 8	278.586 5	0.505 0	0.053 4	0.000 3	0.373 0	0.002 8	0.050 6	0.000 3	0.001 9	0.000 1	346.350 0	8.332 5	321.844 1	2.078 5	318.505 5	2.099 0	38.824 2	2.770 9	98
SOL14-5	26.943 1	272.030 5	496.874 7	0.547 5	0.054 0	0.000 2	0.372 7	0.002 9	0.050 1	0.000 4	0.001 7	0.000 1	368.570 0	11.110 0	321.651 8	2.119 1	315.272 8	2.280 3	33.486 0	1.9536	97
SOL14-6	19.734 3	187.365 8	437.860 1	0.427 9	0.054 0	0.000 4	0.376 8	0.003 5	0.050 7	0.000 4	0.001 6	0.000 1	368.570 0	18.517 5	324.680 1	2.589 7	318.817 8	2.203 1	33.183 3	2.174 6	98
SOL14-7	18.228 5	180.525 8	335.526 6	0.538 0	0.054 9	0.000 5	0.378 8	0.003 2	0.050 1	0.000 3	0.001 7	0.000 1	409.310 0	18.517 5	326.171 4	2.362 7	315.376 1	2.015 5	33.533 0	2.1923	96
SOL14-8	14.920 1	139.353 5	281.356 6	0.495 3	0.055 0	0.000 4	0.385 1	0.002 7	0.050 9	0.000 4	0.001 8	0.000 1	413.010 0	14.812 5	330.777 2	1.983 9	320.080 0	2.354 0	35.797 3	2.6641	96
SOL14-9	19.384 6	181.633 2	341.638 9	0.531 7	0.055 3	0.000 4	0.386 3	0.002 9	0.050 8	0.000 4	0.001 8	0.000 1	433.380 0	16.665 0	331.685 5	2.116 7	319.338 7	2.515 5	35.429 1	2.3659	96
SOL14-10	36.219 6	523.434 1	655.474 1	0.798 6	0.055 3	0.000 2	0.381 2	0.002 7	0.050 0	0.000 3	0.001 1	0.000 1	433.380 0	9.257 5	327.952 6	2.000 5	314.248 1	1.979 9	22.955 6	1.562 8	95
SOL14-11	13.156 4	106.217 9	260.091 6	0.408 4	0.055 0	0.000 5	0.382 8	0.004 2	0.050 6	0.000 4	0.002 0	0.000 2	413.010 0	20.370 0	329.124 5	3.069 0	318.165 3	2.495 4	40.906 3	3.465 9	96
SOL14-14	11.040 5	88.639 0	258.494 7	0.342 9	0.054 7	0.000 4	0.385 0	0.003 2	0.051 2	0.000 4	0.002 1	0.000 2	466.710 0	16.665 0	330.705 2	2.371 4	321.878 2	2.718 5	42.119 8	4.7572	97
SOL14-15	17.103 9	150.311 7	297.326 8	0.505 5	0.055 1	0.000 5	0.389 6	0.003 4	0.051 4	0.000 4	0.001 7	0.000 2	416.715 0	18.515 0	334.047 9	2.461 0	323.184 1	2.518 7	33.948 1	3.890 0	96
SOL14-16	25.172 0	292.688 2	460.858 2	0.635 1	0.053 7	0.000 3	0.377 9	0.002 9	0.051 1	0.000 4	0.001 2	0.000 2	366.720 0	11.110 0	325.519 4	2.103 8	321.316 3	2.423 3	24.331 4	3.075 8	98
SOL14-17	26.307 3	266.841 0	511.600 1	0.521 6	0.053 9	0.000 3	0.378 3	0.003 2	0.051 0	0.000 4	0.001 3	0.000 2	364.870 0	17.590 0	325.821 5	2.375 3	320.493 6	2.321 5	25.984 8	3.692 0	98
SOL14-18	66.934 7	820.353 8	1034.557 5	0.793 0	0.053 2	0.000 2	0.372 8	0.002 9	0.050 8	0.000 4	0.001 2	0.000 2	338.945 0	7.405 0	321.695 5	2.122 0	319.581 8	2.352 5	24.573 6	3.836 3	99
SOL14-19	45.043 8	502.174 5	713.711 3	0.703 6	0.058 0	0.000 5	0.407 7	0.005 2	0.050 8	0.000 3	0.001 3	0.000 2	527.815 0	20.367 5	347.202 7	3.746 7	319.369 1	1.973 2	26.104 4	4.614 6	91
SOL14-20	29.653 5	279.472 3	587.363 0	0.475 8	0.053 9	0.000 3	0.376 2	0.002 9	0.050 7	0.000 4	0.001 3	0.000 3	368.570 0	14.812 5	324.204 6	2.155 1	318.939 1	2.564 5	26.057 2	5.184 6	98
SOL15-1	23.514 1	257.204 3	468.455 5	0.549 0	0.051 9	0.000 3	0.355 7	0.004 3	0.049 6	0.000 5	0.001 2	0.000 1	283.395 0	−17.59	309.021 9	3.215 0	312.334 0	3.125 2	25.234 6	2.313 9	98
SOL15-2	16.778 3	166.510 7	321.175 5	0.518 4	0.053 1	0.000 6	0.357 9	0.007 9	0.048 9	0.001 0	0.001 3	0.000 2	331.540 0	30.552 5	310.656 0	5.892 3	307.969 0	6.192 5	26.825 3	3.911 2	99
SOL15-3	25.163 4	246.887 4	487.234 4	0.506 7	0.052 1	0.000 3	0.356 6	0.003 2	0.049 6	0.000 4	0.001 5	0.000 1	300.060 0	11.110 0	309.651 2	2.362 8	312.105 0	2.393 3	29.897 0	2.026 4	99
SOL15-4	27.595 1	285.279 2	586.007 9	0.486 8	0.052 7	0.000 3	0.356 7	0.003 3	0.049 1	0.000 4	0.001 3	0.000 1	316.725 0	11.110 0	309.773 4	2.452 1	308.735 6	2.279 9	26.111 8	1.862 7	99
SOL15-5	17.101 6	172.961 5	343.643 1	0.503 3	0.053 7	0.000 4	0.359 5	0.004 3	0.048 5	0.000 5	0.001 5	0.000 1	366.720 0	16.665 0	311.864 7	3.186 0	305.375 4	2.891 2	30.010 0	2.538 4	97
SOL15-6	10.162 6	102.834 9	213.715 4	0.481 2	0.053 5	0.000 4	0.364 6	0.004 0	0.049 4	0.000 4	0.002 1	0.000 2	350.055 0	18.515 0	315.653 0	2.979 0	311.134 9	2.726 0	41.468 7	3.923 6	98
SOL15-10	20.469 2	198.349 8	445.808 2	0.444 9	0.053 1	0.000 3	0.358 3	0.003 2	0.048 9	0.000 4	0.001 5	0.000 1	331.540 0	12.960 0	310.981 8	2.426 8	308.055 8	2.565 4	30.056 3	2.471 8	99
SOL15-12	7.859 3	97.049 1	213.347 0	0.454 9	0.053 3	0.000 7	0.356 6	0.005 9	0.048 5	0.000 4	0.002 0	0.000 3	342.650 0	31.477 5	309.705 9	4.420 5	305.216 6	2.661 7	41.086 9	6.452 0	98
SOL15-14	40.000 9	463.321 3	701.993 2	0.660 0	0.052 8	0.000 2	0.364 5	0.002 8	0.050 0	0.000 4	0.001 2	0.000 1	320.430 0	9.257 5	315.554 0	2.103 5	314.824 2	2.194 2	24.932 2	2.492 8	99
SOL15-17	14.500 3	175.809 4	315.339 0	0.557 5	0.053 5	0.000 9	0.358 2	0.005 6	0.048 6	0.000 5	0.001 1	0.000 2	350.055 0	32.405 0	310.848 6	4.195 5	305.727 0	3.056 1	21.293 7	3.877 1	98
SOL15-19	29.708 3	294.974 4	547.396 2	0.538 9	0.054 2	0.000 3	0.375 3	0.002 8	0.050 3	0.000 4	0.001 2	0.000 2	388.940 0	11.110 0	323.590 6	2.054 6	316.619 6	2.651 3	23.863 2	4.735 8	97
SOL16-1	34.536 9	359.716 3	682.946 2	0.526 7	0.053 1	0.000 2	0.371 2	0.002 7	0.050 7	0.000 3	0.001 2	0.000 2	331.540 0	9.260 0	320.569 8	2.024 7	319.105 0	2.133 2	23.640 7	4.024 4	99
SOL16-2	26.511 0	261.440 6	542.893 7	0.481 6	0.053 2	0.000 2	0.367 1	0.002 8	0.050 1	0.000 4	0.001 3	0.000 2	344.500 0	9.257 5	317.529 9	2.096 4	315.030 7	2.185 2	25.260 9	3.978 6	99
SOL16-3	103.595 3	1427.008 5	1425.565 5	1.001 0	0.054 1	0.000 2	0.376 1	0.002 3	0.050 4	0.000 3	0.001 1	0.000 2	375.980 0	7.407 5	324.140 8	1.690 9	317.258 2	1.920 0	21.93 67	3.032 6	97
SOL16-4	8.646 7	72.721 9	213.214 5	0.341 1	0.055 5	0.000 5	0.384 2	0.003 6	0.050 4	0.000 5	0.002 1	0.000 3	431.530 0	20.370 0	330.087 4	2.634 6	317.174 5	2.777 6	41.886 4	6.220 7	96
SOL16-6	23.617 8	241.476 1	422.714 2	0.571 3	0.053 1	0.000 3	0.369 6	0.003 5	0.050 4	0.000 4	0.001 4	0.000 2	344.500 0	11.110 0	319.393 7	2.581 6	317.128 8	2.341 6	28.917 0	3.289 2	99
SOL16-7	17.759 8	248.225 0	337.776 1	0.734 9	0.053 4	0.000 3	0.373 0	0.003 2	0.050 7	0.000 3	0.001 1	0.000 1	346.350 0	17.590 0	321.908 8	2.394 6	318.666 4	2.135 3	21.782 5	2.444 9	98
SOL16-9	19.084 3	186.567 6	369.723 4	0.504 6	0.052 8	0.000 3	0.369 2	0.002 9	0.050 8	0.000 4	0.001 3	0.000 1	320.430 0	12.962 5	319.037 2	2.173 1	319.228 1	2.167 8	26.765 5	2.739 0	99
SOL16-10	19.175 7	203.079 7	357.017 4	0.568 8	0.055 5	0.000 8	0.376 6	0.006 0	0.049 2	0.000 4	0.001 3	0.000 1	431.530 0	−2.777 5	324.561 1	4.431 8	309.463 5	2.367 4	26.730 1	2.831 4	95
SOL16-13	29.213 8	332.304 8	547.453 8	0.607 0	0.052 8	0.000 3	0.359 4	0.002 9	0.049 4	0.000 4	0.001 2	0.000 1	320.430 0	11.110 0	311.787 5	2.175 4	310.993 8	2.250 8	23.426 3	1.856 2	99
SOL16-15	11.157 1	101.469 8	228.406 1	0.444 3	0.054 9	0.001 5	0.375 4	0.008 0	0.049 8	0.000 8	0.002 3	0.000 4	409.310 0	65.735 0	323.671 3	5.892 3	313.025 0	4.659 8	46.291 3	8.200 7	96
SOL16-18	10.311 6	85.891 9	201.600 9	0.426 0	0.054 1	0.000 4	0.372 1	0.003 3	0.050 0	0.000 3	0.002 2	0.000 2	375.980 0	12.035 0	321.201 2	2.473 7	314.246 9	2.090 5	44.113 2	3.891 8	97

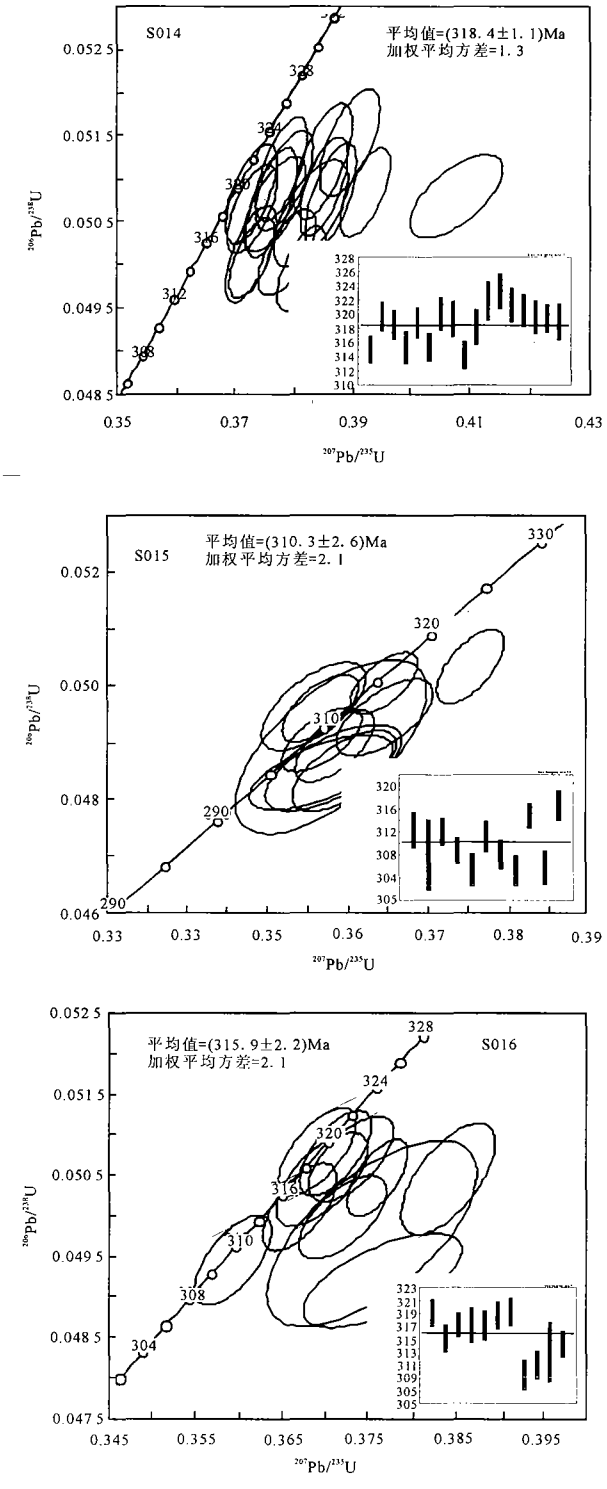


图 3　黄羊山西金矿含矿斑岩脉的 LA－ICP－MS 锆石 U－Pb 年龄谐和图

Fig. 3　Zircon LA－ICP－MS U－Pb concordant diagram of the gold ore-bearing porphyry vein in western Huangyangshan gold deposit

^{39}Ar同位素测年资料的分析表明，韧-脆性构造变形构造有关的金矿床成矿时代为 270 Ma，在310 Ma 前后存在一期流体热事件，并可能促使金发生了初步富集[7]，而这一流体热事件在以前没有合理的地质事实来解释。

本文获得黄羊山西金矿床的含矿花岗斑岩成岩时间与双泉金矿$^{40}Ar/^{39}Ar$ 同位素测年资料反映的流体热事件的时间吻合，两个金矿的测年资料互相印证，表明东准卡拉麦里中段在石炭纪 318.4～310.3 Ma，发生了一次重要的与岩浆活动密切相关的金成矿作用；黄羊山西金矿区含矿花岗斑岩富钾、偏碱性岩石学等特征，表明其成岩环境可能更接近于碰撞造山过程中的后碰撞的伸展环境（另文分析），不是前人提出的碰撞造山期挤压环境。

上述讨论表明，东准卡拉麦里成矿带中段金成矿构造背景为石炭世陆-陆碰撞造山期的后碰撞环境。结合前人研究成果初步确定该区古生代发生了两期成矿：早期为与偏碱性岩浆侵入活动有关的成矿作用，岩浆就位时间大致为 318.4～310.3 Ma，成岩环境为后碰撞造山的伸展环境；晚期演变为受韧-脆性构造变形有关的成矿作用，两者形成的金矿差异明显。

参考文献（References）：

[1] 何国琦，成守德，徐新，等. 中国新疆及邻区大地构造图（1∶250 万）[M]. 北京：地质出版社，2004.
HE Guo-qi, CHENG Shou-de, XU Xin, et al. An introduction to the explanatory text of the map of tectonics of Xinjiang and its neighbouring areas (1∶2 500 000)[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004.

[2] 肖序常，汤耀庆，冯益民，等. 新疆北部及邻区大地构造[M]. 北京：地质出版社，1992.
XIAO Xun-chang, TANG Yao-qing, FENG Yi-min, et al. Tectonic of northern Xinjiang and adjacent regions [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992.

[3] 胡霭琴，王中刚，涂光炽，等. 新疆北部地质演化及成岩成矿规律[M]. 北京：科学出版社，1997.
HU Ai-qin, WANG Zhong-gang, TU Guang-chi, et al. Geological evolution and feature of diagenisis and mineralization of northern Xinjiang, China [M]. Beijing: Science Press, 1997.

[4] 于学元，梅厚钧，杨学昌，等. 额尔齐斯火山岩及构造演化[C]//涂光炽. 新疆北部固体地球科学新进展. 北京：科学出版社，1993：185－198.

YU Xue-yuan, MEI Hou-jun, YANG Xue-chang, et al. Volcanic rocks and tectonic evolution of Altai Mt[C]// Tu Guang-chi. Advances in minerals and rocks from northern Xinjiang. Beijing: Science Press: 185 - 198.

[5] 马瑞士,叶尚夫,王赐银,等.东天山造山带构造格架和演化[C]//新疆地质科学:2集.北京:地质出版社,1990:21 - 36.
MA Rui-shi, YE Shang-fu, WANG Ci-yin, et al. Structural framework and evolution from the eastern of Tianshan[C]//Xinjiang geological sciences: Series 2. Beijing: Geological Publishing House, 1990: 21 - 36.

[6] 高怀忠,张旺生,孙华山.板块碰撞产物——强应变构造带对东准噶尔金矿的控制[J].地质与勘探,2000,36(3):15 - 17.
GAO Huai-zhong, ZHANG Wang-sheng, SUN Hua-shan. Genic control of highly strained structural belt to eastern Jungaer gold deposit [J]. Geology and Prospecting, 2000, 36(3): 15 - 17.

[7] 路彦明.新疆东准双泉地区金矿构造控矿规律及勘查找矿方向[D].北京:中国地质大学,2008.
LU Yan-ming. Structural control and prospecting of the gold deposits in Shuangquan area, eastern Jungger, Xinjiang Province [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2008.

[8] Nasdala L, Norberg N, Schaltegger U, et al. Zircon M257 - a homogeneous natural reference material for the ion microprobe U - Pb analysis of zircon [J]. Geostandards and Geoanalytical Research, 2008, 32: 247 - 265.

[9] Liu Y S, Hu Z C, Gao S, et al. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA - ICP - MS without applying an internal standard[J]. Chemical Geology, 2008, 257: 34 - 43.

[10] 侯可军,李延河,田有荣. LA - MC - ICP - MS 锆石微区原位 U - Pb 定年技术[J].矿床地质,2009,28(4):481 - 492.
HOU Ke-jun, LI YAN-he, TIAN You-rong. In situ U - Pb zircon dating using laser ablation-multi ion counting - ICP - MS[J]. Mineral Deposits, 2009, 28(4): 481 - 492.

[11] Sláma J, Kosler J, Condon D J, et al. Plesovice zircon: a new natural reference material for U - Pb and Hf isotopic microanalysis [J]. Chemical Geology, 2008, 249: 1 - 35.

[12] 吴元保,郑永飞.锆石成因矿物学研究及其对 U - Pb 年龄解释的制约[J].科学通报,2004,49(16):1589 - 1604.
WU Yuan-bao, ZHENG Yong-fei. Genetic mineralogy of zircons and its constraints to the age of U - Pb geochronology[J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(16): 1589 - 1604.

[13] Rayner N, Stern R N, Carr S D. Grain-scale variations in trace element composition of fluid-altered zircon, Acasta gneiss complex, northwestern Canada et al[J]. Contrib Mineral Petrol, 2005, 148: 721 - 734.

[14] Hoskin P W O, Black L P. Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon[J]. J Metamorphic Geol, 2000, 18: 423 - 439.

[15] 徐斌,路彦明,顾雪祥,等.新疆奇台地区双泉金矿的成矿时代[J].地质通报,2009,12(28):1871 - 1884.
XU Bin, LU Yan-ming, GU Xue-xiang, et al. Metallogenic epoch of the Shuangquan gold deposit in Qitai area, Xinjiang, China[J]. Geological Bulletin of China, 12(28): 1871 - 1884.