

东昆仑野马泉地区景忍花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义^{*}

刘云华^{1 2} 莫宣学^{2**} 喻学惠² 张雪亭^{2 3} 许国武³

LIU YunHua^{1 2} , MO XuanXue² , YU XueHui² , ZHANG XueTing^{2 3} and XU GuoWu³

1. 宜昌地质矿产研究所, 宜昌 443003

2. 中国地质大学(北京), 北京 100083

3. 青海省地质调查院, 西宁 810012

1. *Yichang institute of Geology and Mineral Resources , Yichang 443003 , China*

2. *China University of Geosciences , Beijing 100083 , China*

3. *Qinghai Provincial Geological Survey , Xining 810012 , China*

2006-05-04 收稿 , 2006-07-28 改回 .

Liu YH , Mo XX , YU XH , Zhang XT and Xu GW. 2006. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the Jingren granite , Yemaquan region of the east Kunlun and its geological significance. *Acta Petrologica Sinica* , 22(10) 2457 – 2463

Abstract Yemaquan region in western part of the East Kunlun Range (the Qimantage) is one of the most important metallogenic districts in Qinghai Province. Many granitoid-related iron , copper and polymetallic deposits have recently been discovered during regional geological investigations. This paper presents new zircon SHRIMP U-Pb dating and geochemical data of Jingren syenogranite , which shows a close relationship to polymetallic mineralization and geochemical affinity with late-post orogenic granites. The SHRIMP U-Pb dating yields an age of 204.1 ± 2.6 Ma for the syenogranite intrusion. This age tells us that the major tectonomagmatic epoch for western part of the East Kunlun Orogenic Belt is of late Paleozoic early Mesozoic (Variscian-Indochina) epoch , which is similar to the eastern part of the East Kunlun Orogenic Belt. Furthermore , the SHRIMP U-Pb dating of Jingren syenogranite , together with other updated isotope geochronology data indicate that the major epoch of iron , copper and polymetallic mineralization is of the late Indo-Chinese epoch , namely , the late stage of the major tectonomagmatic cycle , for western part of the East Kunlun. Therefore , the potential prospecting targets in this region should be the late Indo-Chinese granite plutons and related polymetallic mineralization.

Key words Granite , Zircon , SHRIMP U-Pb dating , Yemaquan , The East Kunlun

摘 要 东昆仑西段(祁曼塔格) 的野马泉地区 , 是青海省内一个重要的多金属成矿区。该区以往的工作程度较低 , 与花岗岩有关的铁、铜、多金属矿床多是近几年地质大调查中新发现的。本文报道了野马泉地区与铁、铜、多金属矿床密切相关的景忍中细粒正长花岗岩的地球化学特征和锆石 SHRIMP U-Pb 定年数据 , 并对其地质意义进行了讨论。研究表明 , 景忍正长花岗岩具有造山晚期花岗岩类的岩石地球化学特征 , 其形成年龄为 204.1 ± 2.6 Ma , 属印支末期。因此东昆仑西段与东段一样 , 主要的构造岩浆旋回也应是晚古生代—早中生代构造岩浆旋回(华力西-印支旋回)。根据景忍花岗岩锆石 SHRIMP 定年结果 , 我们推测在祁曼塔格地区与景忍花岗岩有关的铁、铜、多金属的主要成矿期也应为印支期。这一结论与该区迄今已发表的关于成矿岩体与蚀变岩的高精度同位素年龄数据均为印支期相吻合。因此今后该区的区域找矿方向 , 应该重点放在寻找与印支期花岗岩岩株有关的铁、铜、多金属矿床。

关键词 花岗岩 ; 锆石 ; SHRIMP U-Pb 定年 ; 野马泉 ; 东昆仑

中图法分类号 P588.121 ; P597.3

^{*} 本文由中国地质调查局矿产资源评价项目 : 青海省东昆仑野马泉-乌兰乌珠尔多金属矿床成矿规律研究项目资助。

第一作者简介 : 刘云华 , 男 , 高级工程师 , 1965 年生 , 博士 , 矿物学岩石学矿床学 , 主要从事矿物学岩石学矿床学研究工作 ,

E-mail : yclunhua@cgs.gov.cn / 电话 : 13396159578

^{**} 通讯作者 : 莫宣学 , E-mail : moxx@cugb.edu.cn

东昆仑西段的野马泉地区是青海省重要的多金属成矿区之一,因为具有良好的成矿地质条件而受到地质界的关注(胡正国等,1998、1999;徐文艺等,2001)。特别是2000年以来开展的区域地质大调查,在该区发现了大量新的、与花岗岩有关的矽卡岩型铁、铜、铅、锌、银等多金属矿床及矿化,并对其矿床类型、矿物共生组合、矿石结构构造、围岩蚀变类型等矿床地质特征进行了初步研究(刘云华等,2005)。该区以往的地质研究程度很低,特别是对与成矿密切相关的花岗岩形成时代的研究更为薄弱,只有花岗岩的K/Ar法同位素定年数据,其可靠程度很低。这不仅制约着对东昆仑西段地区地质构造演化历史的正确认识,而且影响了对区域成矿背景和成矿条件的全面分析和认识。本文对野马泉地区与矽卡岩铁、铜、多金属矿床密切相关的景忍花岗岩进行了锆石SHRIMP U-Pb定年研究,为本区进一步寻找与花岗岩有关的铁、铜、多金属矿床,也为该区地质构造演化历史的研究,提供了高精度同位素年代学约束。

1 区域地质概况

东昆仑野马泉景忍花岗岩位于柴达木准地台南缘,在青海省的大地构造划分中,将其归属于东昆仑西段的昆北构造带祁漫塔格亚带(姜春发等,1992)。区域地层属昆仑山—祁漫塔格分区,主要由元古界狼牙山群(P_{lin})的白云岩、白云质灰岩、板岩及含铁石英岩,奥陶系上统铁石达斯群(O_{3ts})的板岩、白云岩夹火山岩、硅质岩、片岩、石英岩、灰岩和大理岩,泥盆系上统契盖苏群(D_{3qg})的玄武岩、安山岩、酸性凝灰岩熔岩、熔岩、火山角砾岩和流纹岩,石炭系下统大干沟组(C_{1d})的含生物碎屑灰岩、假鲕状灰岩与砂岩,石炭系上统四角羊沟组(C_{2s})的生物碎屑灰岩、灰岩与白云岩,三叠系上统(T_3)含角砾流纹质凝灰岩、安山岩与火山角砾岩以及第四系(Q_4)的风积和冲积物及亚砂土等组成。

东昆仑造山带在显生宙经历过三个构造-岩浆旋回:早古生代加里东旋回、晚古生代-早中生代华力西-印支旋回、新生代喜马拉雅旋回。研究区构造活动强烈,断裂、褶皱十分发育,岩石的片理化和劈理化也非常显著。褶皱构造以东西向的背斜和向斜构造为主,断裂构造主要表现为北西向、北西向和近东西向的压扭性断裂。

区内花岗岩浆活动非常发育,主要发育有早古生代和晚古生代-早中生代两个岩浆作用旋回的花岗岩类侵入岩,其中尤以晚古生代-早中生代构造岩浆活动最为强烈。各个旋回的花岗岩类侵入岩主要受北西向和北西向西两组断裂构造控制。区域成矿作用主要与晚古生代-早中生代构造岩浆旋回末期的小岩株有关(莫宣学等,1998)^①。

2 景忍花岗岩的岩体地质和矿化特征

野马泉地区与多金属成矿作用有关的小岩株很多,单个

岩体的出露面积从0.5~5.5 km²不等。用于进行锆石SHRIMP U-Pb定年的样品(样号为Y-09)采自野马泉景忍东侧的一个小岩株(图1),该岩株出露面积约0.9 km²,岩性为正长花岗岩。岩石呈肉红色,风化后呈紫红色,中细粒结构,块状构造。主要矿物成份:钾长石50%~60%,斜长石5%~15%,石英30%~35%,黑云母及角闪石1%~5%。副矿物主要有磷灰石、锆石、榍石、磁铁矿。主要造岩矿物颗粒大小在0.5~4 mm左右。其中钾长石呈它形粒状,条纹结构发育;斜长石为半自形板柱状,An=5~15;石英为它形粒状;黑云母为片状,褐色-亮黄色多色性显著;角闪石为长柱状,可见发育两组解理的菱形切面,深绿色-浅绿多色性明显。岩石蚀变显著,特别是钾长石和角闪石的蚀变更为明显。

在该岩体东侧为虎头崖铜多金属矿床。矿体主要产于岩体与围岩的接触带上及其附近的断裂破碎带中,矿体形态比较简单,主要呈脉状、透镜状、串珠状。在剖面上矿体形态具分枝复合、膨大收缩以及尖灭再现等变化特征。围岩蚀变主要有矽卡岩化、硅化、绿帘石化、黄铁矿化和角岩化等。矿床成因类型主要为矽卡岩型。景忍岩体与铜多金属矿体关系见图2。

3 景忍花岗岩的地球化学特征

前人认为本区与矽卡岩矿床有关的花岗质岩石为高钾钙碱性系列岩石(张德全等,2000)^②。本次工作对用于进行单矿物锆石分离的景忍花岗岩(样品号为Y-09)进行了全岩化学分析,分析工作由国土资源部宜昌地质矿产研究所完成,分析结果列于表1。由表可见,相对于中国和世界花岗岩的平均化学成分来看,本区花岗岩具有富SiO₂、贫Al₂O₃和FeO^T的特征,其K₂O/Na₂O=1.0~1.53,ALK=8.35~8.80%,NK/A=0.92~1.07,A/CNK=0.89~1.12。将该花岗岩的化学成分投入花岗岩成因分类的K₂O-Na₂O图解中(图3),该样品与本区同序列花岗岩均落到A型花岗岩区,与刘昌实等(2003)所研究的碱性A型花岗岩特征一致。

花岗岩的稀土元素分析由中国科学院广州地球化学研究所ICP-MS实验室完成,测定结果列于表2。由表可见该花岗岩的稀土总量(ΣREE)为 135.56×10^{-6} ,反映轻重稀土分馏程度的LREE/HREE比值为2.61,属轻稀土弱富集型。在经球粒陨石标准化后的稀土元素配分图上(图4),该花岗岩具有明显的负Eu异常($\delta Eu=0.04$),与粤北地区A型花岗岩的稀土特征(刘昌实等,2003)一致,反映该花岗岩可能经历过斜长石的分离结晶作用。该花岗岩(Y-09)的微量元素

① 莫宣学、邓晋福等(1998)东昆仑中段成矿地质背景与找矿方向的框架研究,地质矿产部定向科研项目研究报告(编号:地科定95-20)

② 张德全等(2000)柴达木盆地南北缘成矿地质环境及找矿远景对比研究科研报告

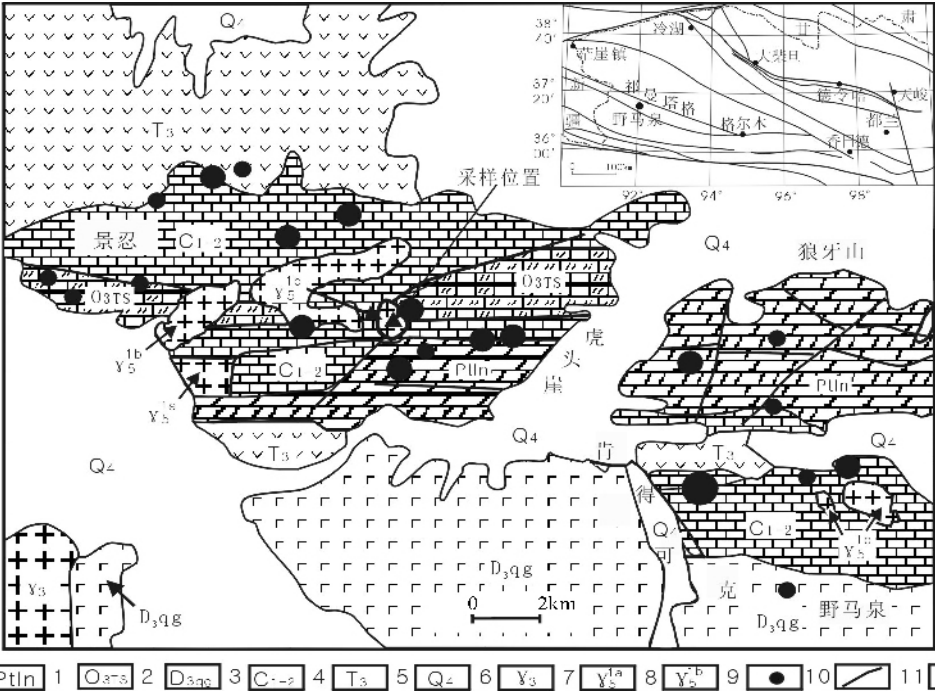


图 1 野马泉地区地质矿产图

1-狼牙山群白云岩、白云质灰岩；2-铁石达群上部板岩、白云岩；3-契盖苏群安山岩、流纹质、含角砾凝灰岩；4-四角羊、大干沟组组生物碎屑灰岩、灰岩、白云岩、假鲕状灰岩；5-流纹质含角砾凝灰熔岩；6-风积、冲积物、亚砂土；7-加里东期花岗岩；8-印支早期花岗岩；9-印支晚期花岗岩；10-铜、铁、锌、银矿体；11-断层；12-采样地点

Fig. 1 The Sketch map of geology and mineral deposits of Yemaquan area

表 1 景忍花岗岩常量元素(wt%)分析结果

Table 1	Bulk compositions of Jingren granite																
样号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O +	LOS	total	ALK	NK/A	A/CNK
Y-09	76.58	0.05	12.42	0.24	0.64	0.03	0.21	0.72	3.92	4.48	0.01	0.3	0.67	100.27	8.4	1.01	0.99
30-1	75.25	0.17	12.26	1.01	1.3	0.02	0.16	0.84	4.26	4.54	0.04	0.22	0.54	100.61	8.8	1.07	0.91
5173	74.03	0.14	12.97	0.76	0.25	0.04	0.21	1.44	4.39	4.38	0.03	0.49	0.61	99.73	8.77	1.00	0.89
Jan-63	75.89	0.07	12.3	1.08	0.5	0.04	0.09	0.61	3.86	4.72	0.02	0.3	0.09	99.56	8.58	1.04	0.98
Mar-44	73.44	0.27	13.57	0.61	1.45	0.1	0.41	1.27	3.3	5.05	0.1	0.56	0.3	100.41	8.35	0.92	1.03
P145-1	70.63	0.42	13.37	1.71	2.28	0.08	0.71	1.7	3.7	4.65	0.1	0.32	0.47	100.14	8.35	0.93	0.94
4062-1	76.64	0.12	12.6	0.63	0.79	0.02	0.08	0.62	3.68	4.9	0.04	0.16	0.01	100.29	8.58	1.02	1.01
Jan-79	75.52	0.05	13.41	0.3	0.95	0.04	0.1	0.28	3.7	5	0.06	0.26	0.14	99.80	8.7	0.97	1.12

注：Y-09 样品常量元素由宜昌地质矿产研究所分析，稀土微量元素由中国科学院广州地球化学研究所 ICP-MS 实验室分析；其余样品数据来自青海地调院(2003)①

表 2 景忍花岗岩稀土、微量元素(10⁻⁶)分析结果

Table 2	Trace element and REE abundances of Jingren granite																
样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE	δEu	LREE/HREE
Y-09	18.78	47.53	5.66	19.86	6.07	0.08	6.95	1.48	9.15	2.28	6.62	1.33	8.32	1.45	135.56	0.04	2.61
YB	49.04	90.60	9.63	38.50	9.20	0.38	8.04	1.51	10.25	2.35	6.59	1.29	8.86	1.59	237.83	0.13	4.88
样号	Ga	Th	U	Y	Zr	Hf	Rb	Ni	V	Sr	Cr	Nb	Ta	Sc	104Ga/Al	Zr/ Hf	Rb/ Sr
Y-09	20.01	36.08	10.34	81.92	148.53	8.30	395.22	8.25	1.41	26.24	12.03	48.85	5.45	4.69	4.37	17.90	15.06

YB 样品数据来自刘昌实(2003)。

① 青海地调院(2003)库郎米其提幅、布喀达坂峰幅 1: 25 万区域地质调查报告

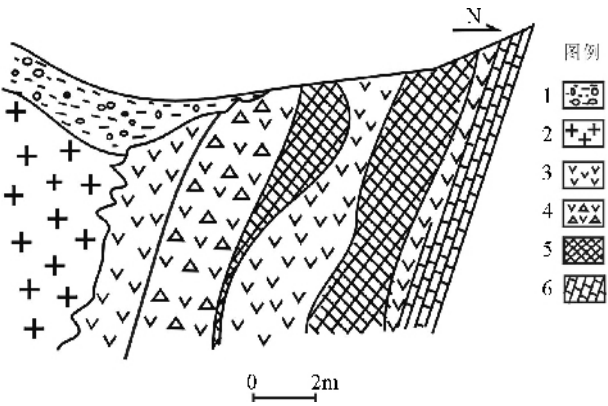


图2 景忍岩体与铜多金属矿体关系图

1-第四系 ;2-中细粒花岗岩 ;3-砂卡岩 ;4-破碎砂卡岩 ;
5-铁及多金属矿体 ;6-灰岩、大理岩

Fig. 2 A profile showing the relationship between Jingren granite and the Cu-polymetallic ores

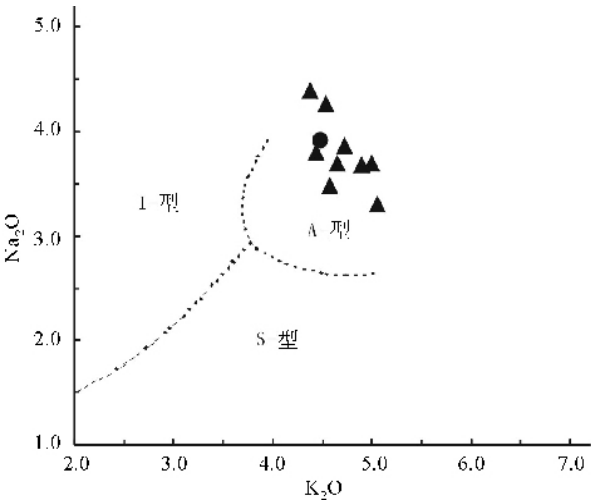


图3 花岗岩成因系列 Na₂O-K₂O 图解

(底图据 Collins *et al.*, 1982 ;数据来源●为 Y-09 ,▲来源于青海地调院(2003)^③)

Fig. 3 Na₂O-K₂O diagram for discrimination of genetic series of granites

丰度列于表2。计算获得的该花岗岩的 10⁴ Ga/Al 值为 3.04 , 大于 Whalen(1987)确定的 A 型花岗岩的下限值 2.6 ; Zr/Hf 比值为 17.90 ,Rb/Sr 比值为 15.06 ,也证明该花岗岩经历过较强的分离结晶作用。经 Zr/Hf 比值校正后的锆石的饱和温度为 821℃。可见 ,该花岗岩岩石地球化学特征与 A 型花岗岩的特征一致(刘昌实等 2003) ;同时也与中国东南部晚中生代期间伸展环境形成的 A 型花岗质岩石地球化学特征一致(邱栓生等 2005)。因此可以确定 ,该花岗岩为碱性 A 型花岗岩 ,形成于造山后期的伸展引张环境(王德滋等 , 2000 ;刘昌实等 2003)。

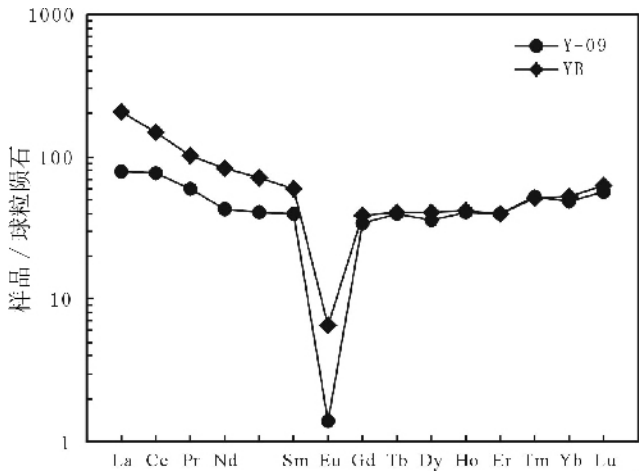


图4 稀土元素球粒陨石标准化分布型式图

(YB 样品数据来自刘昌实等^[7] ,为 8 个样品的平均值 ,据 Taylor and McLennan(1985)球粒陨石值标准化)

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns of Jingren granite

4 SHRIMP U-Pb 同位素定年

4.1 样品的制备及分析方法

用于分离锆石的花岗岩样品产自景忍东侧的花岗岩小岩株。将 >5kg 的天然花岗岩样品粉碎至 60 ~ 80 目后进行人工淘选分离出重矿物后 ,再在双目镜下精选出锆石单晶体。挑选出的锆石晶形比较完整 ,单个颗粒均为浅褐色 ,多为透明一半透明、发育(110)晶面的长柱状自形晶 ,环带构造清晰 ,表明所选锆石属岩浆锆石。单个颗粒长度 ≤0.3mm。有的锆石晶体表面熔蚀特征比较明显(图 5) ,初步推测具熔蚀特征的锆石可能与岩浆上侵的减压作用有关 ,这种锆石应属于原生岩浆锆石。将锆石和数十粒标准锆石 TEM 用环氧树脂粘在一载波片上 ,然后进行打磨和抛光 ,使锆石内部得以暴露。之后 ,进行背散射电子照相及随后的 SHRIMP 测试分析。

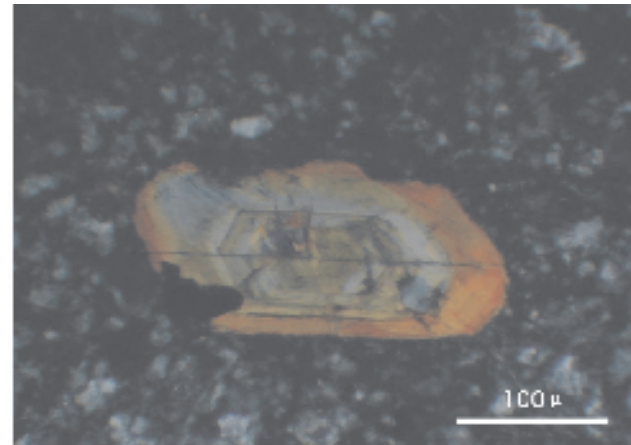


图5 花岗岩中锆石显微照片(正交偏光)

Fig. 5 The photomicrograph of zircons in Jingren syenogranite

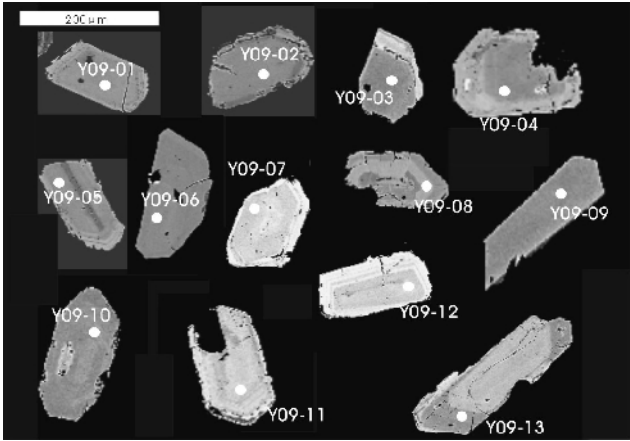


图 6 部分锆石的背散射图
(测试单位：中国地质科学院矿产资源研究所探针室)

Fig. 6 Backscattering images of zircons in Jingren syenogranite

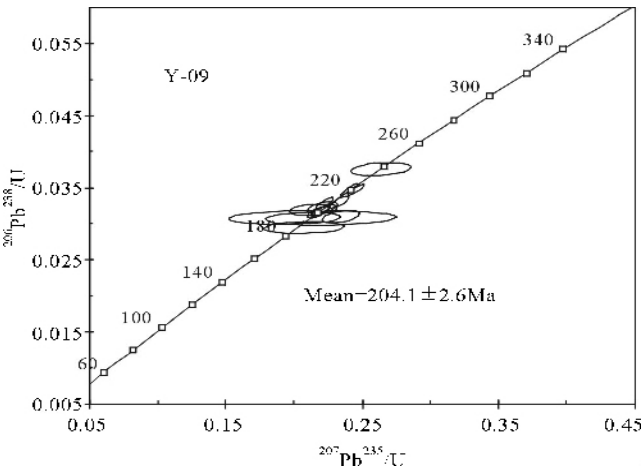


图 7 景忍正长花岗岩 SHRIMP U-Pb 定年谐和图
(MSWD = 1.2)

Fig. 7 Zircon SHRIMP U-Pb concordia for Jingren syenogranite

锆石背散射图像及测试点位见图 6。锆石 SHRIMP U-Pb 分析在北京离子探针中心 SHRIMP II 上完成。详细的分析流程和原理参考 Compston 等(1992)、Williams 等(1987)和简平等(2004)文献。一次离子约为 4.5 nA, 10 kV 的 O^{2-} 离子束直径约 25 ~ 30 μm 。质量分辨率约 5000(1% 峰高)。应用 RSES 标准锆石 TEM(417 Ma)进行元素间的分馏校正, Pb/U 校正公式采用 $Pb/U = A(UO/U) \times Caue-Long et al., 1995$ 。所测锆石的 U、Th 和 Pb 含量采用国立澳大利亚大学地球科学研究所(RSES)的标准锆石 SL13(年龄: 572 Ma; U 含量: 238×10^{-6})进行标定。并应用国立澳大利亚大学 PRAWN 程序对测试数据进行处理。应用国立澳大利亚大学 PRAWN 程序(Williams *et al.*, 1996)进行数据处理。普通铅据实测 ^{204}Pb 进行校正。表 2 中所列单个数据点的误差均为 1σ 。 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄加权平均值的误差为 2σ 。

4.2 分析结果

野马泉景忍花岗岩(样品号 Y-09)锆石 SHRIMP U-Pb 分析结果列于表 3。13 个锆石测试点 $^{232}Th/^{238}U$ 比值为 0.14 ~ 0.86, 其变化范围较大, 可能与碱性岩浆上侵减压时岩浆热液对锆石的熔蚀作用有关。锆石的 SHRIMP U-Pb 年龄谱和图见图 7。13 个测试数据的年龄值落在 187.5 ~ 237.9 Ma 范围, 有 9 个数据点集中在 195.4 ~ 209.2 Ma 范围, 其加权平均年龄为 $204.1 \pm 2.6 Ma$; 代表了野马泉景忍花岗岩的形成年龄。

5 景忍花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄的地质意义

东昆仑西带祁漫塔格地区岩浆活动非常发育, 尤以花岗岩侵入岩最多。这些花岗岩出露面积广(约占该区基岩出露面积的 30%), 岩石类型丰富多样, 花岗岩的侵入时代跨度大, 从早古生代一直延续到新生代。其中早期多以岩基或大岩株产出, 而晚期, 特别是印支期以后主要呈小的岩株产出。青海省地调院^③近年来在祁漫塔格构造岩浆带之西侧的 1: 25 万库郎米其提幅地质调查中, 圈定出 159 个中酸性侵入岩体, 并将其划分为 6 个岩浆序列和 24 个单元, 采用 K/Ar 和 Ar/Ar 同位素定年, 获得部分岩体的同位素年龄数据主要集中在 215 ~ 439 Ma 范围。在 1: 25 万布喀达坂峰幅地质调查中, 圈定出 132 个侵入体, 并划分出 4 个岩浆序列和 29 个岩石单元, 获得三个锆石 SHRIMP U-Pb 年龄(落在 347 ~ 408 Ma 范围)和两个全岩 Rb-Sr 等时线年龄(分别为 208 Ma 和 379.6 Ma)。通过近期区域地质调查及东昆仑地区东、西两段构造岩浆演化历史的对比研究, 认为东昆仑西段与东段相似, 也主要由早古生代加里东、晚古生代-早中生代华力西-印支两个构造岩浆旋回构成(罗照华等, 1999; 莫宣学等, 2004^④)。

关于本区铁、铜、多金属成矿时代, 前人认为主要在印支期-燕山期的范围(胡正国等, 1998; 潘彤等, 2003; 郭晓东等, 2004)。近几年随着区域地质调查、找矿及研究工作的进展, 发表了许多新的关于成矿岩体及蚀变岩石高精度同位素测年结果, 成矿时代得到了进一步的限定。例如, 张德全等^②测定肯得可克铁矿区与矽卡岩铁矿有关的花岗岩的全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 $220.1 \pm 9.1 Ma$; 钱壮志等(1998, 1999)测得红石岭与金成矿作用有关的花岗岩 Rb-Sr 同位素年龄为 228.3 Ma, 石灰沟与金成矿作用有关的闪长玢岩全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 209.1 Ma; 张德全等(2005)测得大场金矿矿石绢云母 Ar-Ar 年龄为 $218.6 \pm 3.2 Ma$, 莫宣学等(2004)^①测得祁

① 莫宣学、罗照华等(2004), 东昆仑造山带的造山旋回和地壳生长, 科研报告, 200113900018-6

表 3 景忍正长花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 同位素分析结果

Table 3 SHRIMP zircon U-Pb data for Jingren syenogranite

点号	U (10 ⁻⁶)	Th (10 ⁻⁶)	²³² Th/ ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb *	²⁰⁶ Pb %	²⁰⁶ Pb * / ²³⁸ U * ± %	²⁰⁷ Pb * / ²³⁵ U * ± %	²⁰⁷ Pb * / ²⁰⁶ Pb *	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th
Y09-1	15805	2126	0.14	473	0.20	0.03479 ± 1.6	0.2403 ± 1.7	0.05010 ± 0.54	220.5 ± 3.4	200 ± 13	225.1 ± 4.7
Y09-2	8772	2035	0.24	262	0.07	0.03478 ± 1.6	0.2456 ± 1.7	0.05121 ± 0.65	220.4 ± 3.4	250 ± 15	223.9 ± 3.9
Y09-3	17414	10487	0.62	598	6.00	0.03760 ± 1.6	0.264 ± 5.5	0.0510 ± 5.2	237.9 ± 3.8	239 ± 120	237 ± 16
Y09-4	446	369	0.86	11.9	0.54	0.03096 ± 1.8	0.2343 ± 3.9	0.0549 ± 3.5	196.5 ± 3.5	408 ± 78	202.6 ± 5.6
Y09-5	416	244	0.61	11.5	3.84	0.03085 ± 1.9	0.194 ± 14	0.0456 ± 14	195.8 ± 3.7	-24 ± 330	183 ± 18
Y09-6	327	160	0.51	9.02	4.26	0.03078 ± 2.0	0.228 ± 14	0.0536 ± 14	195.4 ± 3.9	356 ± 310	108 ± 32
Y09-7	4524	1079	0.25	127	1.72	0.03221 ± 1.6	0.2211 ± 3.3	0.0498 ± 2.9	204.4 ± 3.3	185 ± 68	153 ± 13
Y09-8	10187	2639	0.27	288	0.42	0.03278 ± 1.6	0.2225 ± 1.9	0.04922 ± 1.0	207.9 ± 3.3	158 ± 24	192.0 ± 6.9
Y09-9	3281	573	0.18	93.1	0.19	0.03298 ± 1.6	0.2334 ± 2.0	0.05132 ± 1.1	209.2 ± 3.3	255 ± 26	76.1 ± 9.4
Y09-10	6184	1382	0.23	169	0.35	0.03172 ± 1.6	0.2193 ± 2.0	0.05016 ± 1.2	201.3 ± 3.2	202 ± 28	42.8 ± 6.3
Y09-11	2803	863	0.32	79.1	2.90	0.03191 ± 1.6	0.214 ± 5.3	0.0487 ± 5.0	202.5 ± 3.3	135 ± 120	
Y09-12	5754	1854	0.33	156	0.20	0.03158 ± 1.6	0.2179 ± 2.3	0.05005 ± 1.7	200.4 ± 3.2	197 ± 40	51.2 ± 3.3
Y09-13	3179	997	0.32	85.4	5.73	0.02951 ± 1.7	0.208 ± 9.5	0.0511 ± 9.3	187.5 ± 3.2	245 ± 220	-132 ± 29

测试单位：北京离子探针中心

曼塔格北原定为燕山期的花岗岩株的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 212 ± 3.3Ma 等等 ,这些数据大都集中在晚三叠世(印支晚期)。

前面已经提到 ,景忍花岗岩具有造山带晚期花岗岩的特征 ,它的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 204.1 ± 2.6Ma 的获得进一步证明 ,祁曼塔格地区与景忍花岗岩有关的铁、铜、多金属的主要成矿期应为印支期 ,亦即东昆仑带主要构造岩浆旋回的晚期。我国许多复合造山带的主成矿期也都在其主构造岩浆旋回的晚期(邓晋福等 ,1999)。

前已述及 ,东昆仑晚古生代一早中生代是一个连续的构造岩浆演化过程 ,晚古生代东昆仑地区经历了由挤压向伸展的大转变(李光明等 2001) ,三叠纪中-晚期又经历了大规模的幔源基性岩浆底侵及其与壳源酸性岩浆的混合作用(罗照华等 2002 ;刘成东等 2004) ,给地壳带来了丰富的幔源成矿物质。这就可以较好地解释本区铁、铜、多金属成矿作用主要与印支期岩浆活动有关的事实(张德全等 2001)。因此 ,今后的区域找矿方向 ,应该重点寻找与印支期花岗岩岩株有关的铁、铜、多金属矿床。

6 结论

景忍花岗岩的形成年龄为 204.1 ± 2.6Ma ,是祁曼塔格地区晚古生代-早中生代构造岩浆旋回末期的产物。这一锆石 SHRIMP U-Pb 年龄的获得进一步证明 ,该区与景忍花岗岩有关的铁、铜、多金属的主要成矿期为印支期 ,即东昆仑

带主要构造岩浆旋回的晚期。在该区应该重点寻找与印支期花岗岩岩株有关的铁、铜、多金属矿床。

致谢 北京离子探针中心刘敦一教授、简平研究员、王彦斌研究员帮助完成了 SHRIMP 测年工作 ;中国地质科学院矿产资源研究所周剑雄研究员帮助完成了锆石背散射图像研究 ;青海地调院王建军工程师、野马泉矿产分队、乌兰乌珠尔矿产分队在高原予以的大力协助。在此一并致谢。

References

Claoue-Long JC ,Compston W ,Roberts J *et al.* 1995. Two Carboniferous ages : a comparison of SHRIMP zircon dating with conventional zircon ages and ⁴⁰Ar/³⁹Ar analysis. In : Berggren WA , Kent DV. Aubry MP , Hardenbol J ,eds. *Geochronology , time scales and global stratigraphic correlation.* SEPM Special Publication ,5(4) 3 - 31

Collins WJ ,Beams SD ,White AJR *et al.* 1982. Nature and origin of A-type granites with particular reference to South-eastern Australia . *Contr. Mineral. Petrol.* ,80 :189 - 200

Compston W ,Williams IS ,Kirschvink JL. 1992. Zircon U-Pb ages of early Cambrian time-scale. *J. Geol. Soc.* ,149 :171 - 184

Deng JF ,Mo XX ,Luo ZH *et al.* 1999. Igneous Petrotectonic assemblage and crust mantle metallo- genic system. *Earth Science Frontiers* ,6 (2) :259 - 270

Guo XD ,Zhang YJ ,Liu GG *et al.* 2004. Metallogenic regularities and prospecting direction of gold and copper in eastern Kunlun. *Gold Geology* ,10(4) :16 - 22

Hu ZG ,Liu JQ ,Qian ZZ *et al.* 1999. Analysis of regional metallogenic regularity in East Kunlun-Strategic thinking on mineral exploration work. *Journal of Xian Engineering University* ,21 (4) :46 - 50

- Hu ZG, Liu JQ, Qian ZZ *et al.* 1998. A study of the regional metallogenetic regularity in East Kunlun mountain. *Gold Science and Technology*, 6(5-6):6-13
- Hu J, Qiu JS, Wang DZ *et al.* 2005. Comparative investigations of A-type granites in the coastal and the Nanling inland areas of SE China, and their tectonic significances. *Geological Journal of China Universities*, 11(3):404-414
- Jiang CF, Yang JS, Feng BG. 1992. The Opening-Closing Tectonics of the Kunlun. Beijing: Geological Publishing House. 154-156 (in Chinese)
- Jian P, Liu DY, Sun XM. 2004. SHRIMP dating of Jicha Alaskan-type gabbro in west Yunnan Province: Evidence of the early Permian subduction. *Acta Geologica Sinica*, 78(2):166-170
- Li GM, Shen YC, Liu TB. 2001. Geological and geochemical characteristics of Variscan granite in the Qimantage region, Eastern Kunlun. *Geology and Prospecting*, 37(1):87-98
- Liu CS, Chen XM, Chen PR *et al.* 2003. Subdivision, discrimination criteria and genesis for A type rock suites. *Geological Journal of China Universities*, 9(4):573-591
- Liu CD, Mo XX, Luo ZH *et al.* 2004. The mixing event between the crust- and mantle-derived magmas in eastern Kunlun: Evidences from zircon SHRIMP II chronology. *Chinese Science Bulletin*, 49(6):596-602
- Liu YH, Mo XX, Zhang XT *et al.* 2005. The geological feature and ore-control condition of skarn type deposits in Yemaquan area, eastern Kunlun. *Geology and Mineral Resources of South China*, 3:18-23
- Luo ZH, Deng JF, Cao YQ *et al.* 1999. On late Paleozoic-early Mesozoic volcanism and regional tectonic evolution of eastern Kunlun, Qinghai Province. *Geoscience*, 13(1):51-56
- Luo ZH, Ke S, Cao YQ *et al.* 2002. Late Indosinian mantle-derived magmatism in the eastern Kunlun. *Geological Bulletin of China*, 21(6):292-297
- Pan T, Sun FY. 2003. The mineralization characteristic and prospecting of Kendekeke Co-Bi-Au deposit in Dongkunkun, Qinghai Province. *Geology and Prospecting*, 39(1):18-22
- Qian ZZ, Hu ZG, Liu JQ. 1998. Northwest ductile shear zones and their tectonic setting in the east of Kunlun mountains. *Journal of Chengdu University of Technology*, 25(2):201-205
- Qian ZZ, Li HM, Hu ZG *et al.* 1999. The relationship between the diorite porphyrydikes and the gold mineralization in the middle belt of eastern Kunlun mountains. *Journal of Xian Engineering University*, 21(1):1-4
- Wang DZ, Zhou JC, Qiu JS *et al.* 2000. Characteristics and petrogenesis of late Mesozoic granitic volcanic-intrusive complexes in southeastern China. *Geological Journal of China Universities*, 6(4):487-498
- Whalen JB, Currie KL, Chappell BW. 1987. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 95:407-419
- Williams IS, Claesson S. 1987. Isotope evidence for the Precambrian province and Caledonian metamorphism of high grade paragneiss from the Seve Nappes, Scandinavian Caledonides, II. Ion microprobe zircon U-Th-Pb. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 97:205-217
- WilLiams IS, Buick CI. 1996. An extended episode of early Mesoproterozoic metamorphic fluid flow in the Reyolds Range, central Australia. *J. Metamorphic Geol.*, 14:29-47
- Xu WY, Zhang DQ, Yan Shenghao *et al.* 2001. Evolve and foreground expectation of giant geology resource survey in eastern Kunlun. *Geology in China*, 28(1):25-29
- Zhang DQ, Dang XY, She HQ *et al.* 2005. Ar-Ar dating of orogenic gold deposits in northern margin of Qaidam and east Kunlun mountains and its geological significance. *Mineral Deposit*, 24(2):87-98
- Zhang DQ, Feng CY, Li DX *et al.* 2001. Orogenic gold deposits in the north Qaidam and east Kunlun orogen, West China. *Mineral Deposit*, 20(2):137-146

附中文参考文献

- 邓晋福, 莫宣学, 罗照华等. 1999. 火成岩构造组合与壳幔成矿系统. *地质前缘*, 6(2):259-270
- 郭晓东, 张玉杰, 刘桂阁等. 2004. 东昆仑地区金铜等成矿规律及找矿方向. *黄金地质*, 10(4):16-22
- 胡正国, 刘继庆, 钱壮志等. 1998. 东昆仑区域成矿规律初步研究. *黄金科学技术*, 5(5-6):6-13
- 胡正国, 刘继庆, 钱壮志等. 1999. 东昆仑区域成矿规律分析—关于找矿工作的战略思考. *西安工程学院学报*, 21(4):46-50
- 简平, 刘敦一, 孙晓猛. 2004. 滇西吉岔阿拉斯加型辉长岩 SHRIMP 测年: 早二盛世俯冲事件的证据. *地质学报*, 78(2):166-170
- 姜春发, 杨经绥, 冯秉贵等. 1992. 昆仑开合构造. 北京, 地质出版社, 154-156
- 李光明, 沈远超, 刘铁兵. 2001. 东昆仑祁漫塔格地区华力西期花岗岩地质地球化学特征. *地质与勘探*, 37(1):73-78
- 刘昌实, 陈小明, 陈培荣等. 2003. A 型岩套的分类、判别标志和成因. *高校地质学报*, 9(4):573-591
- 刘成东, 莫宣学, 罗照华, 等. 2004. 东昆仑壳-幔岩浆混合作用: 来自锆石 SHRIMP 年代学的证据. *科学通报*, 49(6):596-602
- 刘云华, 莫宣学, 张雪亭等. 2005. 东昆仑野马泉地区矽卡岩矿床地质特征及控矿条件. *华南地质与矿产*, 3:18-23
- 罗照华, 邓晋福, 曹永清, 等. 1999. 青海省东昆仑地区晚古生代—早中生代火山活动与区域构造演化. *现代地质*, 13(1):51-56
- 罗照华, 柯珊, 曹永清等. 2002. 东昆仑印支晚期幔源岩浆活动. *地质通报*, 21(6):292-297
- 潘彤, 孙丰月. 2003. 青海东昆仑肯德可克钴钼金矿床成矿特征及找矿方向. *地质与勘探*, 39(1):18-22
- 钱壮志, 李厚民, 胡正国等. 1999. 东昆仑中带闪长玢岩脉与金矿成矿关系—以石灰沟金矿床为例. *西安工程学报*, 21(1):1-4
- 钱壮志, 胡正国, 刘继庆. 1998. 东昆仑北西向韧性剪切带发育的区域构造背景—以石灰沟韧性剪切带为例. *成都理工学院学报*, 25(2):201-205
- 胡建, 邱检生, 王德滋等. 2005. 中国东南沿海与南岭内陆 A 型花岗岩的对比及其构造意义. *高校地质学报*, 11(3):404-414
- 王德滋, 周金城, 邱检生等. 2000. 中国东南部晚中生代花岗质火山—侵入杂岩特征与成因. *高校地质学报*, 6(4):487-498
- 徐文艺, 张德全, 阎升好等. 2001. 东昆仑地区矿产资源大调查进展与前景展望. *中国地质*, 28(1):25-29
- 张德全, 丰成友, 李大新等. 2001. 柴北缘—东昆仑地区的造山型金矿床. *矿床地质*, 20(2):137-146
- 张德全, 党兴彦, 余宏全等. 2005. 柴北缘—东昆仑地区造山型金矿床的 Ar-Ar 测年及其地质意义. *矿床地质*, 24(2):87-98