

文章编号 10258-7106 (2009) 04-0425-09

新疆青河玉勒肯哈腊苏铜矿区酸性岩锆石 U-Pb 法定年及其地质意义^{*}

赵战锋¹, 薛春纪^{1* * *}, 张立武², 温长顺¹, 周 刚², 刘国仁²

(1 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 地球科学与资源学院, 北京 100083;

2 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局第四地质大队, 新疆 阿勒泰 836500)

摘 要 新疆青河县哈腊苏地处南蒙古铜矿带的西延部分, 是铜矿勘查与研究的重点和热点地区。文章以近年发现的玉勒肯哈腊苏铜矿床为主要研究对象, 对矿区内铜矿化的斑状花岗岩和石英二长斑岩进行了锆石 U-Pb 法精确定年。研究表明, 这 2 个主要矿化岩体先后形成于中泥盆世和早二叠世, 两期岩浆活动形成了重要的斑岩型铜矿化。玉勒肯哈腊苏地区主期斑岩型矿化发生在中泥盆世, 早二叠世有斑岩型矿化复合, 中晚三叠纪有明显的构造-岩浆-热液引起的矿化-蚀变叠加, 复合叠加铜矿化过程有确切的年代学纪录。该研究为认识铜矿成因和明确勘查方向提供了新的事实依据。

关键词 地球化学 铜矿床; LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 法定年 中酸性岩 成矿时代 玉勒肯哈腊苏

中图分类号: P618.41

文献标志码: A

U-Pb dating of zircons from acid intrusions in Yulekenhalasu copper deposit of Qinghe, Xinjiang, and its geological significance

ZHAO ZhanFeng¹, XUE ChunJi¹, ZHANG LiWu², WEN ChangShun¹, ZHOU Gang² and LIU GuoRen²

(1 State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2 No. 4 Geological Party, Xinjinag Bureau of Geology and Mineral Resources, Altay 836500, Xinjiang, China)

Abstract

Located in the western part of the southern Mongolia copper belt, Halasu area in Qinghe County of Xinjiang is an important and interesting area for copper ore survey and research. Yulekenhalasu is a newly found copper deposit in this area. The authors dated the zircons from the mineralized porphyritic granite and quartz-monzonite porphyry in this deposit by using the LA-ICP-MS U-Pb dating method. The results show that the two ore-bearing intrusions were emplaced in Middle Devonian and Early Permian, respectively. Both of these two stages of magmatism produced porphyry-type copper mineralization, with the former intrusion in Middle Devonian being the main ore-forming stage, whereas the latter one in Early Permian resulting in complex mineralization. There also occurred the superimposition of mineralization-alteration caused by tectonic-magmatic-hydrothermal activities in Middle-Late Triassic. Complex and superimposed copper mineralizations have been well dated. This paper provides some new facts for understanding the genesis and exploration direction of copper ore deposits in this

^{*} 本文得到国家‘十一五’科技支撑计划项目(2006BAB07B01-02)、高等学校学科创新引智计划项目(B07011)、长江学者和创新团队发展计划项目(IRT0755)、地质过程与矿产资源国家重点实验室开放基金(GPMR0745)的联合资助

第一作者简介 赵战锋, 男, 1974 年生, 博士研究生, 矿产普查与勘探专业。Email: zzfaw1-9@126.com

^{**} 通讯作者 薛春纪, 男, 1962 年生, 教授, 博士生导师, 矿床学、矿产普查与勘探专业。Email: chunji.xue@cugb.edu.cn

收稿日期 2009-01-19; **改回日期** 2009-04-15。李德先编辑。

area.

Key words: geochemistry, copper deposit, LA-ICP-MS, zircon U-Pb dating, intermediate-acid intrusion, epoch of mineralization, Yulekenhalasu

位于准噶尔东北缘青河县境内的哈腊苏铜矿床是新疆铜矿勘查和研究的重点和热点地区之一。该区在 20 世纪 70~80 年代开展过铜矿普查工作,发现了较好的地表铜矿化,被称为卡拉先格尔斑岩铜矿带(芮宗瑶等,1984)。该带地处中亚-蒙古成矿域腹地,是产有包括奥玉陶勒盖铜金矿和查干苏布尔铜矿等重要矿床在内的南蒙古斑岩铜矿带的西延部分(张义等,2003),北西约 60 km 处为喀拉通克铜镍矿床。随着国土资源大调查工程的实施,铜矿勘查和研究进展明显,但对于铜矿成矿条件和成因认识还存在火山热液型(王福同等,1992)、斑岩型(杨文平等,2005;张连昌等,2006;吴淦国等,2008)、构造热液脉型(闫升好等,2006)等颇多分歧,成岩成矿时代也存在不同认识(杨文平等,2005;闫升好等,2006;张招崇等,2006;吴淦国等,2008;Zhang et al., 2008)。本文以新近发现的玉勒肯哈腊苏铜矿床为主要研究对象,通过对矿区酸性岩中单颗粒锆石 U-Pb 法定年,揭示其成岩成矿时代,为认识铜矿成因和明确勘查方向提供新的事实依据。

1 地质背景

玉勒肯哈腊苏矿床是近年在希勒克特哈腊苏铜矿床北西约 15 km 处新发现的一个铜矿床,在区域地质构造中位于哈萨克斯坦-准噶尔板块东北部边缘,靠近额尔齐斯缝合带北东侧的西伯利亚板块(图 1a)。

区域出露中新元古界片麻岩和片岩,泥盆系碎屑岩、碳酸盐岩和中酸性火山岩,石炭系中酸性火山岩、火山碎屑岩、碎屑岩和碳酸盐岩,二叠系陆相中酸性火山岩和火山碎屑岩。北西端主体隐伏的喀拉通克二叠纪镁铁质岩浆岩侵入形成铜镍矿床,东南部出露二叠纪花岗岩。额尔齐斯构造缝合带长期活动,尤其晚古生代晚期韧性剪切变形强烈,形成北西向大型剪切带(Sebastien et al., 2003);北北西向卡拉先格尔断裂切过额尔齐斯构造带,主要活动于中-新生代。喀拉通克铜镍矿床、希勒克特哈腊苏铜矿床、玉勒肯哈腊苏铜矿床在额尔齐斯缝合带南侧组成了明显的与岩浆或岩浆热液有关的铜矿带。

玉勒肯哈腊苏铜矿区(图 1b)出露中泥盆统北塔山组辉石斑晶玄武岩夹晶屑凝灰岩和下石炭统姜巴斯套组凝灰质砂岩及晶屑凝灰岩,地层走向北西,倾向北东。晚古生代岩浆岩大面积侵入其中,从南到北依次为石英闪长岩、斑状花岗岩、石英二长斑岩和辉长岩。矿区断裂构造多为北西走向,倾向北东,也见一组北东走向的晚期断裂。目前地表在斑状花岗岩、石英二长斑岩及其附近北塔山组辉石斑晶玄武岩中已圈定出铜矿化体,主要为孔雀石、铜蓝和少量黄铁矿、黄铜矿,铜矿石主要为浸染状构造和细脉浸染状构造,局部也见矿石的韧-脆性变形构造和以“黄铜矿-黄铁矿-石英-绿帘石”为矿物组合的充填大脉,伴随有绢云母化、硅化、绿泥石化、绿帘石化等中低温热液蚀变。石英闪长岩、辉长岩及姜巴斯套组地层中未发现明显集中的铜矿化。斑状花岗岩体与石英二长斑岩体在地表和钻孔中均显示为断层接触关系。

地表矿化和相位激电异常体的钻探工程在石英二长斑岩体内揭示出原生铜矿体,矿石矿物主要为黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、辉钼矿,含量小于 5%,细脉浸染状构造,铜品位多在 0.2%~0.5%。矿体局部可明显观察到韧-脆性变形构造及延伸较大、脉宽 1~20 cm、边界整齐的充填矿脉,通常以“黄铜矿-黄铁矿-石英-绿帘石”为矿物组合。伴随矿化,常见硅化、绢云母化、绿帘石化和较弱的钾长石化、黑云母化等热液蚀变。

2 实验样品和实验方法

2.1 实验样品

本文定年样品采自玉勒肯哈腊苏铜矿区 2008 年获得的钻探岩芯中未风化的斑状花岗岩和铜矿化石英二长斑岩。

铜矿化石英二长斑岩样品取自 ZK0602 钻探孔深 124 m 处(图 1b),样品编号为 Zr-1,重量 5 kg。岩体主要出露在玉勒肯哈腊苏铜矿区中北部,北侧侵入下石炭统姜巴斯套组,南侧与斑状花岗岩体为断裂接触,岩体与地层接触带及断裂构造均为北东倾向。受北东向断裂影响,岩体在矿区被分割成东西

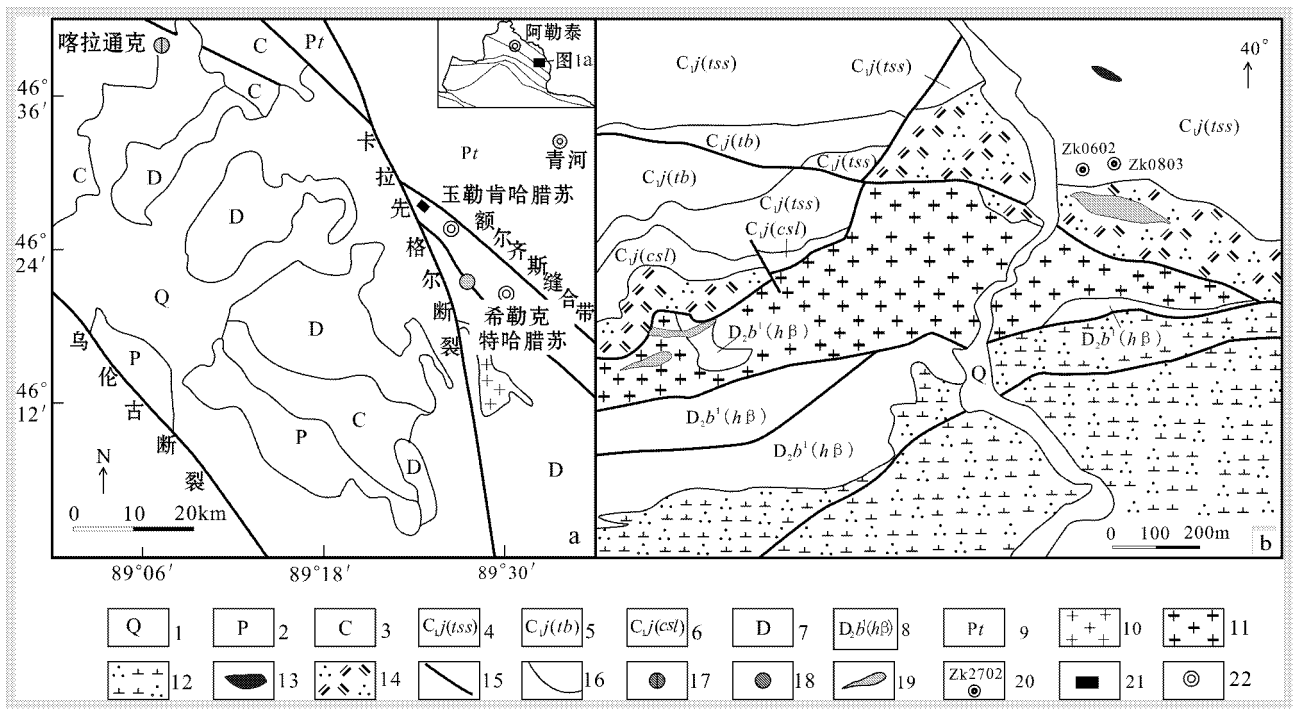


图 1 新疆青河玉勒肯哈腊苏铜矿区域地质图(a)和矿区地质图(b)

- 1—第四系；2—二叠系陆相中酸性火山岩、火山碎屑岩；3—石炭系中酸性火山岩、火山碎屑岩和碎屑岩、碳酸盐岩；4—下石炭统姜巴斯套组凝灰质砂岩；5—下石炭统姜巴斯套组晶屑凝灰岩；6—下石炭统姜巴斯套组炭质板岩；7—泥盆系碎屑岩、碳酸盐岩和中酸性火山岩；8—中泥盆统北塔山组辉石斑晶玄武岩；9—中-新元古界片麻岩和片岩；10—二叠纪花岗岩；11—斑状花岗岩；12—石英闪长岩；13—辉长岩；14—石英二长斑岩；15—断裂；16—地质界限；17—铜镍矿床；18—铜矿；19—铜矿化体；20—钻孔位置及编号；21—研究区位置；22—城镇

Fig. 1 Regional and ore district geological map of the Yulekenhalasu copper deposit, Qinghe, Xinjiang

- 1—Quaternary；2—Permian continental volcanics；3—Carboniferous volcanic-sedimentary rocks；4—Lower Carboniferous tuffaceous sandstone；5—Lower Carboniferous crystal tuff；6—Lower Carboniferous carbonaceous slate；7—Devonian volcanic rocks；8—Basalt of Middle Devonian Beitashan Formation；9—Mesoproterozoic- Neoproterozoic gneiss and schist；10—Permian granite；11—Porphyritic granite；12—Quartz diorite；13—Gabbro；14—Quartz monzonite；15—Fault；16—Geological boundary；17—Cu-Ni deposit；18—Copper deposit；19—Copper ore body；20—Borehole and its number；21—Study area 22—City or town

两部分,东侧部分是玉勒肯哈腊苏铜矿主要矿化岩体,宽约 200 m,长约 600 m。岩石呈淡红色、浅灰色,主要由更长石(30 %)、钾长石(30 %)、石英(10 %)、黑云母(20 %)、白云母(5 %)、磷灰石(3 %)等矿物组成,似斑状结构,块状构造,局部发生韧-脆性变形。

斑状花岗岩样品取自 ZK0803 钻探孔深 380 m 处(图 1b),样品编号为 Zr-2,重量 5 kg。岩体主要出露在玉勒肯哈腊苏铜矿区中部,走向北西,宽 50~300 m,长约 1 200 m,与北部的石英二长斑岩、南部的北塔山组和石英闪长岩均为断层接触。岩石多呈肉红色、浅灰色,主要由钾长石(40 %)、石英(35 %)、黑云母(10 %)、更长石(10 %)等矿物组成,似斑状结构,块状构造,局部发生韧-脆性变形。对该

岩体内隐伏铜矿体的勘探工作正在实施中。

2.2 实验方法

样品制备在河北省区域地质矿产调查研究所实验室完成。将样品用颚式粉碎机粉碎后,用水淘洗出重砂矿物,然后在实体显微镜下逐粒挑出锆石。在实体显微镜下将锆石颗粒样品置于环氧树脂并研磨至锆石露出一半,经抛光和清洗等制样手续制成样品靶,以备在阴极发光(CL)显微镜下观测和进行锆石 U-Pb 法年龄测定。

CL 观测和 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 法年龄测定在大陆动力学国家重点实验室(西北大学)完成。实验中采用的激光剥蚀系统为德国 Lambda Physik 公司的 ComPex102 ArF 准激光器(波长 193 nm)与 MicroLas 公司的光学观测系统组成;ICP-MS 为美国

Agilent 公司生产的 Agilent7500 a。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,在本次研究中激光剥蚀半径为 $40\text{ }\mu\text{m}$ 。采用国际标准 91500 锆石作为外标,元素含量采用美国国家标准技术研究院的人工合成硅酸盐玻璃标准参考物质 NIST610 为外标,以 ^{29}Si 作为内标。91500 锆石年龄值、人工合成硅酸盐玻璃 NIST610 为外标和 ^{29}Si 含量见参考文献(Wiedenbeck et al.,1995 ;Anczkiewicz et al.,2001)。实验的测试方法及流程见郝爱华等(2008)。数据处理采用 ISOPLOT3.0 程序(Ludwig,2003)。

3 实验结果

从石英二长斑岩(Zr-1)样品中选出 500 余粒锆石,20 粒锆石获得有效定年,测年结果见表 1。从 CL 图像(图 2)可见,石英二长斑岩样品中锆石多为自形长柱状晶体,长 $70\sim 200\text{ }\mu\text{m}$,长宽比多在 $3.0\sim 2.5:1$,内部结晶环带结构清楚。分析结果指示其放射性铅含量较低($2.41\times 10^{-6}\sim 0.30\times 10^{-6}$), Th/U 比值为 $0.362639\sim 0.107048$,反映出岩浆成因锆石的特征。锆石 U-Pb 法 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 $(248\pm 2.70)\sim (280.2\pm 3.27)\text{ Ma}$ (剔除掉特殊的 ZR-1-07 测点,共 19 个定年结果),加权平均年龄值为 $(265.6\pm 3.7)\text{ Ma}$ (图 4a)。

从斑状花岗岩(Zr-2)样品中选出 700 余粒锆石,24 粒锆石获得有效定年(表 1),从 CL 图像(图 3)可见,斑状花岗岩样品中锆石大多呈晶形不完整的碎

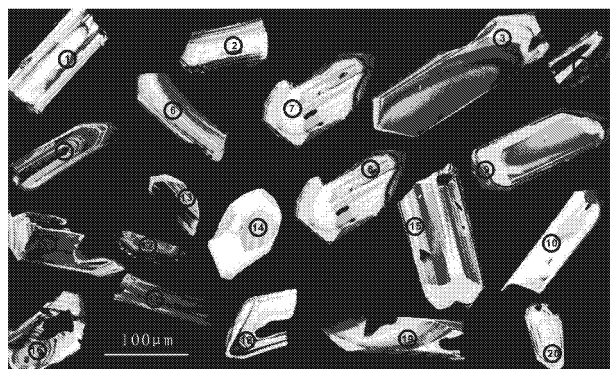


图 2 玉勒肯哈腊苏铜矿区石英二长斑岩(Zr-1)样品中锆石阴极发光图像

Fig. 2 CL images of zircon crystals in beschtuite (Zr-1) sample from the Yulekenhalasu copper deposit

屑状,这可能与该岩体形成后经受韧、脆性变形构造有关。但从它们的发育特点判断,锆石可能具有自形短柱状晶体特点(图 3 中颗粒 24),颗粒边部显示结晶环带,有些锆石颗粒可见核-幔-壳结构。分析结果指示其放射性铅含量为 $15.61\times 10^{-6}\sim 1.69\times 10^{-6}$, Th/U 比值为 $1.443808\sim 0.097586$,锆石颗粒边部反映了岩浆成因的锆石特征。锆石 U-Pb 法 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 $(371.1\pm 4.18)\sim (391.1\pm 4.04)\text{ Ma}$,加权平均年龄值为 $(381.6\pm 2.5)\text{ Ma}$ (图 4b)。

4 讨论

玉勒肯哈腊苏铜矿区石英二长斑岩中的锆石多为长柱状自形晶,且内部环带清楚,放射成因铅含量

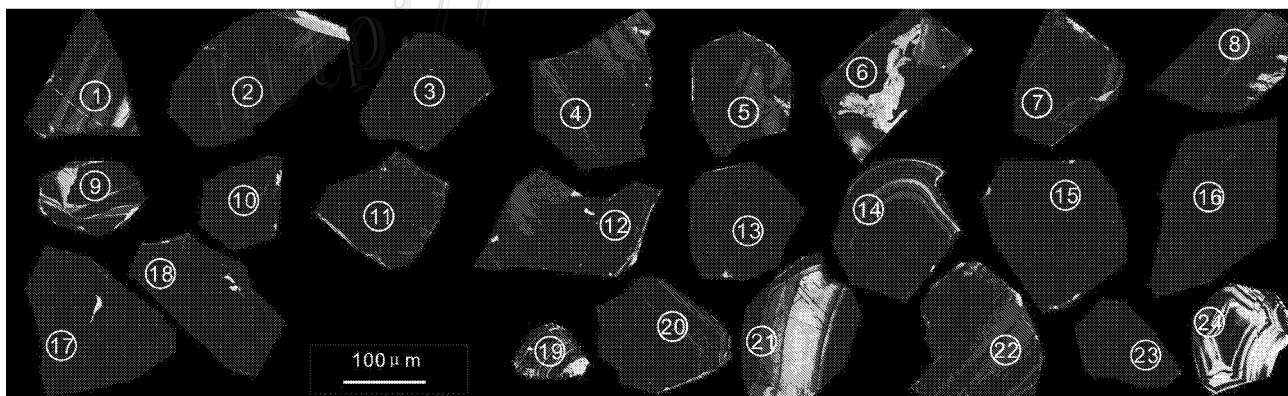


图 3 玉勒肯哈腊苏铜矿区斑状花岗岩(Zr-2)样品中锆石阴极发光图像

Fig. 3 CL images of zircon crystals from the porphyritic granite(Zr-2) sample in the Yulekenhalasu copper deposit

表 1 玉勒肯哈腊苏铜矿区石英-长斑岩和斑状花岗岩样品中锆石 U-Pb 定年结果

Table 1 U-Pb isotopic dating results of zircons from the beschaite and porphyritic granite samples in Yulekenhalasu copper deposit												
测点	$w_B/10^{-6}$			Th/U _B	同位素比值 $\pm 1\sigma$			年龄 $\pm 1\sigma$				
	^{232}Th	^{238}U	^{206}Pb		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		
石英-二长斑岩(Zr-1)												
ZR-1-01	1644.41	7867.25	0.52	0.209020	0.05460 $\pm$ 0.00151	0.34596 $\pm$ 0.00908	0.04442 $\pm$ 0.00053	469.7 $\pm$ 58.41	301.7 $\pm$ 6.85	280.2 $\pm$ 3.27		
ZR-1-02	8932.99	36700.95	2.27	0.243399	0.05470 $\pm$ 0.00093	0.31980 $\pm$ 0.00543	0.04239 $\pm$ 0.00046	400.1 $\pm$ 37.29	281.8 $\pm$ 4.17	267.6 $\pm$ 2.85		
ZR-1-03	1721.98	4748.47	0.30	0.362639	0.05944 $\pm$ 0.00161	0.35110 $\pm$ 0.00936	0.04282 $\pm$ 0.00051	583.4 $\pm$ 57.89	305.5 $\pm$ 7.04	270.3 $\pm$ 3.18		
ZR-1-04	1948.15	8201.65	0.52	0.237531	0.06035 $\pm$ 0.00163	0.35306 $\pm$ 0.00938	0.04242 $\pm$ 0.00051	616.2 $\pm$ 57.40	307.0 $\pm$ 7.04	267.8 $\pm$ 3.15		
ZR-1-05	1936.2	6142.27	0.38	0.315225	0.05433 $\pm$ 0.00177	0.30870 $\pm$ 0.00987	0.04120 $\pm$ 0.00052	384.7 $\pm$ 71.42	273.2 $\pm$ 7.66	260.3 $\pm$ 3.21		
ZR-1-06	2818.26	11011.78	0.69	0.255931	0.05770 $\pm$ 0.00146	0.33233 $\pm$ 0.00825	0.04177 $\pm$ 0.00049	517.9 $\pm$ 54.83	291.3 $\pm$ 6.29	263.8 $\pm$ 3.03		
ZR-1-07	2432.30	8578.96	0.76	0.283519	0.05495 $\pm$ 0.00122	0.45101 $\pm$ 0.00986	0.05953 $\pm$ 0.00067	410.0 $\pm$ 48.64	378.0 $\pm$ 6.90	372.7 $\pm$ 4.11		
ZR-1-08	3513.63	20485.69	1.32	0.171516	0.05783 $\pm$ 0.00115	0.34786 $\pm$ 0.00680	0.04363 $\pm$ 0.00048	522.9 $\pm$ 43.19	303.1 $\pm$ 5.12	275.3 $\pm$ 2.99		
ZR-1-09	1941.01	9476.33	0.59	0.204827	0.05607 $\pm$ 0.00199	0.31419 $\pm$ 0.01089	0.04064 $\pm$ 0.00053	454.9 $\pm$ 76.68	277.4 $\pm$ 8.41	256.8 $\pm$ 3.28		
ZR-1-10	1645.07	15367.53	0.89	0.107048	0.05588 $\pm$ 0.00113	0.30218 $\pm$ 0.00599	0.03922 $\pm$ 0.00043	447.1 $\pm$ 43.95	268.1 $\pm$ 4.67	248.0 $\pm$ 2.70		
ZR-1-11	1213.74	6299.87	0.43	0.192661	0.05795 $\pm$ 0.00234	0.34607 $\pm$ 0.01362	0.04331 $\pm$ 0.00060	527.5 $\pm$ 86.46	301.8 $\pm$ 10.27	273.3 $\pm$ 3.72		
ZR-1-12	2870.12	12544.35	0.82	0.228798	0.05932 $\pm$ 0.00143	0.35247 $\pm$ 0.00831	0.04310 $\pm$ 0.00050	578.8 $\pm$ 51.71	306.6 $\pm$ 6.24	272.0 $\pm$ 3.07		
ZR-1-13	2547.19	13433.53	0.84	0.189614	0.05781 $\pm$ 0.00133	0.32932 $\pm$ 0.00737	0.04131 $\pm$ 0.00047	522.4 $\pm$ 49.87	289.0 $\pm$ 5.63	261.0 $\pm$ 2.91		
ZR-1-14	7318.87	23366.66	1.46	0.313218	0.05218 $\pm$ 0.00127	0.29488 $\pm$ 0.00697	0.04098 $\pm$ 0.00047	293.4 $\pm$ 54.45	262.4 $\pm$ 5.47	258.9 $\pm$ 2.91		
ZR-1-15	2264.14	9190.14	0.59	0.246366	0.05701 $\pm$ 0.00148	0.33361 $\pm$ 0.00841	0.04244 $\pm$ 0.00050	491.3 $\pm$ 56.82	292.3 $\pm$ 6.40	267.9 $\pm$ 3.07		
ZR-1-16	1776.90	9825.52	0.63	0.180845	0.0525 $\pm$ 0.00138	0.30575 $\pm$ 0.00779	0.04224 $\pm$ 0.00049	307.0 $\pm$ 58.53	270.9 $\pm$ 6.05	266.7 $\pm$ 3.05		
ZR-1-17	5613.77	37751.83	2.41	0.148702	0.05764 $\pm$ 0.00131	0.32937 $\pm$ 0.00722	0.04143 $\pm$ 0.00047	515.9 $\pm$ 49.33	289.1 $\pm$ 5.51	261.7 $\pm$ 2.91		
ZR-1-18	1664.88	8048.93	0.52	0.206845	0.06409 $\pm$ 0.00181	0.37150 $\pm$ 0.01016	0.04203 $\pm$ 0.00051	744.6 $\pm$ 58.70	320.8 $\pm$ 7.52	265.4 $\pm$ 3.16		
ZR-1-19	4170.30	16728.73	1.11	0.249290	0.05293 $\pm$ 0.00125	0.31610 $\pm$ 0.00723	0.04330 $\pm$ 0.00049	325.9 $\pm$ 52.82	278.9 $\pm$ 5.58	273.2 $\pm$ 3.05		
ZR-1-20	3297.03	13727.47	0.89	0.240178	0.05237 $\pm$ 0.00130	0.30421 $\pm$ 0.00727	0.04212 $\pm$ 0.00049	301.4 $\pm$ 55.43	269.7 $\pm$ 5.66	265.9 $\pm$ 3.0		

续表 1
Continued Table 1

测点	$w_B/10^{-6}$			Th/U _B	同位素比值 $\pm 1\sigma$			年龄 $\pm 1\sigma$		
	²³² Th	²³⁸ U	²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U
斑状花岗岩 (Zr-2)										
ZR-2-01	65107.59	68663.13	8.76	0.948218	0.05484 $\pm$ 0.00088	0.45321 $\pm$ 0.00709	0.05993 $\pm$ 0.00062	405.8 $\pm$ 35.07	379.5 $\pm$ 4.95	375.2 $\pm$ 3.80
ZR-2-02	28853.06	67087.56	8.45	0.430081	0.05417 $\pm$ 0.00079	0.46431 $\pm$ 0.00665	0.06215 $\pm$ 0.00064	378.1 $\pm$ 32.59	387.2 $\pm$ 4.61	388.7 $\pm$ 3.90
ZR-2-03	163716.60	113392.20	15.61	1.443808	0.05384 $\pm$ 0.00101	0.45618 $\pm$ 0.00837	0.06144 $\pm$ 0.00066	364.3 $\pm$ 41.79	381.6 $\pm$ 5.84	384.4 $\pm$ 3.99
ZR-2-04	9611.07	24164.92	2.62	0.397728	0.05419 $\pm$ 0.00082	0.46571 $\pm$ 0.0069	0.06232 $\pm$ 0.00065	378.9 $\pm$ 33.67	388.2 $\pm$ 4.78	389.7 $\pm$ 3.93
ZR-2-05	21327.52	46090.30	5.17	0.462733	0.05414 $\pm$ 0.00092	0.45605 $\pm$ 0.00763	0.06109 $\pm$ 0.00065	376.7 $\pm$ 37.96	381.5 $\pm$ 5.32	382.2 $\pm$ 3.93
ZR-2-06	4380.84	17009.24	1.90	0.257556	0.05482 $\pm$ 0.00109	0.45722 $\pm$ 0.00888	0.06048 $\pm$ 0.00066	405.0 $\pm$ 43.40	382.3 $\pm$ 6.19	378.5 $\pm$ 4.00
ZR-2-07	13886.93	51052.45	5.75	0.272013	0.05413 $\pm$ 0.00083	0.46420 $\pm$ 0.00698	0.06219 $\pm$ 0.00065	376.3 $\pm$ 34.10	387.2 $\pm$ 4.84	388.9 $\pm$ 3.96
ZR-2-08	13811.39	29572.47	3.27	0.467035	0.05316 $\pm$ 0.00090	0.45858 $\pm$ 0.00762	0.06255 $\pm$ 0.00067	335.7 $\pm$ 37.66	383.3 $\pm$ 5.30	391.1 $\pm$ 4.04
ZR-2-09	523.02	5284.07	1.71	0.098981	0.05266 $\pm$ 0.00097	0.45388 $\pm$ 0.00827	0.06251 $\pm$ 0.00067	314.0 $\pm$ 41.48	380.0 $\pm$ 5.77	390.9 $\pm$ 4.09
ZR-2-10	6939.40	16484.46	1.81	0.420966	0.05447 $\pm$ 0.00089	0.45840 $\pm$ 0.00736	0.06103 $\pm$ 0.00065	390.5 $\pm$ 35.90	383.1 $\pm$ 5.13	381.9 $\pm$ 3.94
ZR-2-11	22348.03	55465.92	6.51	0.402915	0.05447 $\pm$ 0.00089	0.45284 $\pm$ 0.00988	0.06009 $\pm$ 0.00068	390.5 $\pm$ 35.90	379.3 $\pm$ 6.90	376.2 $\pm$ 4.11
ZR-2-12	11181.63	31188.44	3.56	0.358518	0.05835 $\pm$ 0.00142	0.47676 $\pm$ 0.01142	0.05925 $\pm$ 0.00069	543.0 $\pm$ 51.99	395.8 $\pm$ 7.85	371.1 $\pm$ 4.18
ZR-2-13	507.39	5155.33	1.69	0.098420	0.05460 $\pm$ 0.00095	0.45997 $\pm$ 0.00793	0.06109 $\pm$ 0.00066	396.0 $\pm$ 38.24	384.2 $\pm$ 5.52	382.2 $\pm$ 4.03
ZR-2-14	18575.03	33869.78	3.75	0.548425	0.05415 $\pm$ 0.00100	0.46094 $\pm$ 0.00845	0.06173 $\pm$ 0.00068	377.0 $\pm$ 41.12	384.9 $\pm$ 5.87	386.1 $\pm$ 4.12
ZR-2-15	15551.59	22994.38	2.29	0.676321	0.05470 $\pm$ 0.00097	0.45960 $\pm$ 0.00808	0.06093 $\pm$ 0.00067	400.1 $\pm$ 38.88	384.0 $\pm$ 5.62	381.2 $\pm$ 4.05
ZR-2-16	6060.99	17339.10	1.92	0.349556	0.05421 $\pm$ 0.00091	0.44964 $\pm$ 0.00753	0.06014 $\pm$ 0.00065	379.8 $\pm$ 37.44	377.0 $\pm$ 5.28	376.5 $\pm$ 3.97
ZR-2-17	48095.43	56839.11	12.32	0.846168	0.05466 $\pm$ 0.00105	0.44794 $\pm$ 0.00857	0.05942 $\pm$ 0.00066	398.5 $\pm$ 42.36	375.8 $\pm$ 6.01	372.1 $\pm$ 4.02
ZR-2-18	4913.11	16918.31	1.86	0.290402	0.05357 $\pm$ 0.00102	0.45909 $\pm$ 0.00869	0.06214 $\pm$ 0.00069	352.9 $\pm$ 42.53	383.6 $\pm$ 6.04	388.6 $\pm$ 4.19
ZR-2-19	23472.42	42470.32	4.80	0.552678	0.05690 $\pm$ 0.00119	0.47499 $\pm$ 0.00988	0.06053 $\pm$ 0.00069	487.0 $\pm$ 45.58	394.6 $\pm$ 6.80	378.8 $\pm$ 4.21
ZR-2-20	30690.61	50879.52	5.67	0.603202	0.05706 $\pm$ 0.00114	0.47187 $\pm$ 0.00941	0.05996 $\pm$ 0.00068	493.1 $\pm$ 43.42	392.5 $\pm$ 6.49	375.4 $\pm$ 4.15

注:测试单位为大陆动力学国家重点实验室(西北大学)。激光剥蚀系统为德国 Lambda Physik 公司的 ComPex102 ArF 准激光器(波长 193nm), ICP-MS 为美国 Agilent 公司生产的 Agilent7500a。

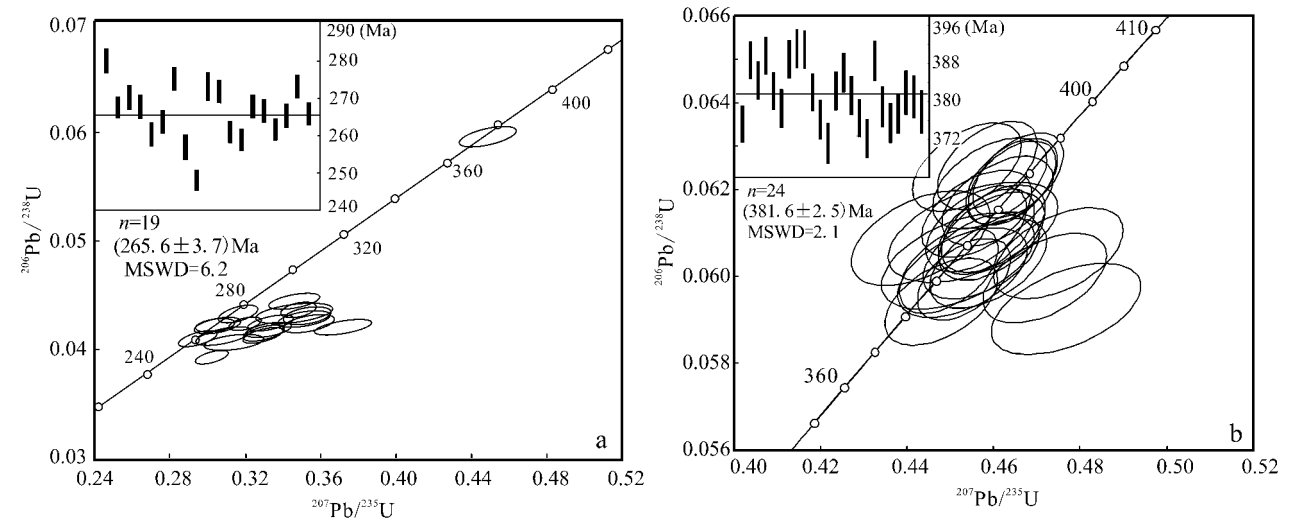


图 4 玉勒肯哈腊苏铜矿区石英二长斑岩(a)和斑状花岗岩(b)样品中锆石 U-Pb 法年龄谱和图

Fig. 4 U-Pb concordia plot for zircons from samples of beschtsaite(a) and porphyritic granite(b) in The Yulekenhalasu copper deposit

较低, Th/U 比值较高, 应属于岩浆结晶成因, 斑状花岗岩中锆石颗粒的中边部也具有岩浆结晶成因锆石的特征, 但 2 个岩体中锆石的结晶学特点和化学成分特征明显不同, 反映出它们可能具有不同的岩浆起源、性质或演化特点。斑状花岗岩中锆石碎屑状不完整晶体可能与后期构造变形有关。岩体中伴随铜为主的硫化物矿化和热液蚀变均属于中低温性质, 不足以引起岩浆锆石化学成分的后 期变化, 岩石样品中也没有发现热液新生的不同性质的锆石矿物。因此, 矿区斑状花岗岩样品中锆石 $[(381.6 \pm 2.5) \text{ Ma}]$ 和石英二长斑岩样品中锆石 $[(265.6 \pm 3.7) \text{ Ma}]$ 的 U-Pb 法年龄应分别代表 2 个岩浆岩体侵入的时代, 即矿区在中泥盆世和早二叠世先后有不同时期的岩浆侵入。

多数研究者认为, 新疆准噶尔东北缘哈腊苏地区伴随岩浆侵入, 发育斑岩型铜矿化(芮宗瑶等, 1984; 杨文平等, 2005; 张连昌等, 2006; 吴淦国等, 2008)。玉勒肯哈腊苏铜矿区斑状花岗岩和石英二长斑岩体内部发现重要铜矿化, 从钻探岩芯中的原生铜矿石样品观察研究表明, 矿石中以铜为主的硫化物矿物成分简单, 矿化较均匀, 铜品位在 $0.2\% \sim 0.5\%$ 之间, 发育细脉浸染状构造, 显示钾硅酸盐化和硅化、绿泥石化等蚀变, 表现出明显的斑岩型铜矿化特征。由此可以推断, 这些斑岩型铜矿化形成于中泥盆世和早二叠世 2 个时期, 年龄分别不大于

$(381.6 \pm 2.5) \text{ Ma}$ 和 $(265.6 \pm 3.7) \text{ Ma}$ 。某些矿石局部显示脆韧性变形和脉状矿化等现象, 指示了玉勒肯哈腊苏铜矿还经历了后期构造的热液叠加过程(吴淦国等, 2008)。

如果将讨论对象扩大到包括玉勒肯哈腊苏铜、希勒克特哈腊苏铜矿以及喀拉通克铜镍矿床在内的北西走向的铜矿带(图 1a), 综合本文和前人所获得的成岩、成矿年代学研究成果(韩宝福等, 2004; 张作衡等, 2005; 张招崇等, 2006; 闫升好等, 2006; 吴淦国等, 2008), 明显可见, 该成矿带存在着中泥盆世、早二叠世和中晚三叠世等 3 个重要的构造-岩浆-热液成岩、成矿时期(表 2)。表明研究区构造-岩浆-热液活动在不同时期均有发生或发展, 各期均有可能伴随热液蚀变或矿化, 构成该地区叠加复合矿化作用的客观背景。哈腊苏铜钼矿石中辉钼矿的 Re-Os 法定年表明, 该区主期斑岩型矿化应在中泥盆世(吴淦国等, 2008); 早二叠世伴随造山后伸展或松弛过程, 岩浆活动不仅形成了铜镍硫化物矿床(韩宝福等, 2004; 张作衡等, 2005), 而且在玉勒肯哈腊苏形成石英二长斑岩 $[(265.6 \pm 3.7) \text{ Ma}]$ 及其伴随的斑岩型铜矿化; 中晚三叠世构造-岩浆-热液活动在该区形成了花岗斑岩(吴淦国等, 2008), 而且构造-热液作用引起了强烈的钾硅酸盐蚀变(闫升好等, 2006)。哈腊苏同一地壳位置中不同时期构造-岩浆-热液的复合叠加使该区具备了良好的成矿前景。

表 2 玉勒肯哈腊苏铜矿所在区域主要成岩成矿年代研究结果

Table 2 Dating results of rocks and ores in the area of the Yulekenhalasu copper deposit

成岩成矿时代及采样地点	测定对象	定年矿物和方法	年龄/Ma	资料来源
中晚三叠世				
希勒克特哈腊苏铜矿	花岗斑岩	锆石 U-Pb 法	217.9±4.2	吴淦国等,2008
希勒克特哈腊苏铜矿	钾长石蚀变岩	钾长石 Ar-Ar 法	230.8±1.9	闫升好等,2006
早二叠世				
玉勒肯哈腊苏铜矿	石英二长斑岩	锆石 U-Pb 法	265.6±3.7	本文
喀拉通克铜镍矿	镁铁质岩浆岩	锆石 U-Pb 法	274.0±3.0	韩宝福等,2004
喀拉通克铜镍矿	镁铁质岩浆岩	锆石 U-Pb 法	287.0±5.0	韩宝福等,2004
喀拉通克铜镍矿	铜镍矿石	硫化物 Re-Os 法	282.5±4.8	张作衡等,2005
喀拉通克铜镍矿	铜镍矿石	硫化物 Re-Os 法	290.2±6.9	张作衡等,2005
中泥盆世				
希勒克特哈腊苏铜矿	花岗闪长斑岩	锆石 U-Pb 法	375.2±8.7	吴淦国等,2008
希勒克特哈腊苏铜矿	铜钼矿石	辉钼矿 Re-Os 法	376.9±2.2	吴淦国等,2008
玉勒肯哈腊苏铜矿	斑状花岗岩	锆石 U-Pb 法	381.6±2.5	本文
希勒克特哈腊苏铜矿	花岗闪长斑岩	锆石 U-Pb 法	381.0±6.0	张招崇等,2006

5 结 论

(1) 新疆青河玉勒肯哈腊苏铜矿区斑状花岗岩和石英二长斑岩先后形成于中泥盆世和早二叠世,两岩体中锆石 U-Pb 法定年结果分别是(381.6±2.5)Ma 和(265.6±3.7)Ma。两期岩浆活动伴随形成了重要斑岩型铜矿化。

(2) 玉勒肯哈腊苏铜矿所在铜成矿带具有中泥盆世、早二叠世和中晚三叠世等不同时期构造-岩浆-热液作用的年代学纪录,复合叠加成岩成矿作用使该区显示出良好的找矿潜力。

志 谢 感谢柳小明博士和第五春荣博士对本次研究实验工作的帮助。

References

Anczkiewicz R, Oberli F, Burg J P, Villa I M, Gunther D and Meier M. 2001. Timing of normal faulting along the Indus Suture in Pakistan Himalaya and a case of major ²³¹Pb/²³⁵U initial disequilibrium in zircon [J]. Earth and Planetary Science Letters, 191 :101-114.

Han B F, Ji J Q, Song B, Chen L H and Li Z H. 2004. SHRIMP zircon U-Pb ages of Kalatongke No. 1 and Huangshandong Cu-Ni-bearing mafic-ultramafic complexes, north Xinjing, and geological implications [J]. Chinese Science Bulletin, 49 (22) :2324-2428 (in chinese).

Ludwig K R. 2003. User 's manual for Isoplot 3.00 :A geochronological toolkit for Microsoft Excel [J]. Berkeley Geochronology Center Special Publication, (4) :25-32.

Rui Z Y, Huang C K, Qi G M, Xiu Y and Zhang H T. 1984. Porphyry Cu (Mo) deposits of China [M]. Beijing :Geol. Pub. House. 1-350 (in chinese).

Sebastien L C, Jacques C P M and Shu L S. 2003. Late Paleozoic strike-slip shear zones in eastern central Asia (NW China) :New structure and geochronological data [J]. Tectonics, 22 (2) :1009-1033.

Wang F T, Ma T L and Liu G H. 1992. Metallogeny and prospecting model of the karatungku Cu-Ni-Au ore belt in Xinjiang [M]. Beijing : Geol. Pub. House. 136-140 (in Chinese with English abstract).

Wiedenbeck M, Alle P, Corfu F, Griffin W L, Meier M, Oberli F, Von Quadt A, Roddick J C and Spiegel W. 1995. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses [J]. Geostandards Newsletter, 19 :1-23.

Wu G G, Dong L H, Xue C J, et al. 2008. The main porphyry copper ore belts in northern Xinjiang, China [M]. Beijing :Geol. Pub. House. 1-335 (in Chinese).

Xi A H, Cai Y F, Ge Y H, Sun G S and Li B L. 2008. LA-ICP-MS zircon U-Pb age of Longwang gabbro of Shanmen silver deposit in Siping City and its geological significance [J]. Mineral Deposits, 27 (1) :57-63 (in Chinese with English abstract).

Yan S H, Teng R L and Zhang Z C. 2006. New understanding on origin of Kalaxiangeer copper deposit on southern margin of Altay mountain , Xinjiang : Constraints from S-Pb-H-O isotope geochemistry and ⁴⁰Ar-³⁹Ar age of Halasu copper deposit [J]. Mineral Deposits, 25 (3) :292-301 (in Chinese with English abstract).

Yang W P, Zhang Z C, Zhou G, Yan S H, He L X and Chen B L. 2005. Discovery of the Xileketehalsu porphyry copper deposit on the southern margin of the Altay copper metallogenic belt [J]. Geology in China, 32 (1) :107-114 (in Chinese with English abstract).

Zhang L C, Xia B, Niu H C, Li W Q, Fang W X, Tang H F and Wan B. 2006. Metallogenic systems and belts developed on the late Paleozoic continental margin in Xinjiang [J]. Acta Petrologica Sinica, 22 (5) :1387-1398 (in Chinese with English abstract).

Zhang Y, Nie F J and Jiang S H. 2003. Discovery of the Ouyu Tolgoi

copper-gold deposit in the Sino-Mongoliaborder region and its significance for mineral exploration [J]. *Regional Geology of China*, 22 (9): 708-713 (in Chinese with English abstract).

Zhang Z C, Yan S H and Chen B L. 2006. The diorite granite SHRIMP U-Pb zircon dating in the north east of Junggar, Xinjiang [J]. *Chinese Science Bulletin*, 51(13): 1565-1574 (in Chinese with English abstract).

Zhang Z C, Mao J W, Cai J H, Timothy M K and Zhou G. 2008. Geochemistry of picrites and associated lavas of a Devonian island arc in the northern Junggar terrane, Xinjiang (NW China): Implications for petrogenesis, arc mantle sources and tectonic setting [J]. *Lithos*, 105(3-4): 379-395.

Zhang Z H, Chai F M, Du A D, Zhang Z C, Yan S H, Yang J M, Qu W J and Wang Z L. 2005. Re-Os dating and ore-form in material tracing of the Karatungk Cu-Ni sulfide deposit in northern Xinjiang [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 24(4): 285-293 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

韩宝福,季建清,宋 彪,陈立辉,李宗怀. 2004. 新疆喀拉通克和黄山东含铜镍矿镁铁超镁铁杂岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义 [J]. *科学通报*, 49(22): 2324-2328.

芮宗瑶,黄崇柯,齐国明,徐 钰,张洪涛. 1984. 中国斑岩铜(钼)矿

床 [M]. 北京: 地质出版社. 1-350.

王福同,马天林,刘光海. 1992. 新疆喀拉通克铜镍金矿带成矿规律和找矿模式 [M]. 北京: 地质出版社. 136-140.

吴淦国,董连慧,薛春纪,等. 2008. 新疆主要斑岩铜矿带 [M]. 北京: 地质出版社. 1-335.

郝爱华,蔡元峰,葛玉辉,孙国胜,李碧乐. 2008. 四平山 Cu-Ni 矿化辉长岩体锆石 LA-ICP-MS 年龄及其地质意义 [J]. *矿床地质*, 27(1): 57-63.

闫升好,藤荣丽,张招崇. 2006. 新疆阿尔泰山南缘卡拉先格尔斑岩铜矿带成因再认识-来自哈腊苏铜矿硫-铅-氢-氧同位素和 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄的约束 [J]. *矿床地质*, 25(3): 292-301.

杨文平,张招崇,周 刚,闫升好,何立新,陈柏林. 2005. 阿尔泰山铜矿带南缘希勒克特哈腊苏斑岩铜矿的发现及其意义 [J]. *中国地质*, 32(1): 107-114.

张 义,聂凤军,江思宏. 2003. 中蒙边境欧玉陶勒盖大型铜-金矿床的发现及对找矿勘查工作的启示 [J]. *地质通报*, 22(9): 708-713.

张连昌,夏 斌,牛贺才,李文铅,方维萱,唐红峰,万 博. 2006. 新疆晚古生代大陆边缘成矿系统与成矿区带初步探讨 [J]. *岩石学报*, 22(5): 1387-1398.

张招崇,闫升好,陈柏林. 2006. 新疆东准噶尔北部俯冲花岗岩的 SHRIMP U-Pb 锆石定年 [J]. *科学通报*, 51(13): 1565-1574.

张作衡,柴凤梅,杜安道,张招崇,闫升好,杨建民,屈文俊,王志良. 2005. 新疆喀拉通克铜镍硫化物矿床 Re-Os 同位素测年及成矿物质来源示踪 [J]. *岩石矿物学杂志*, 24(4): 285-293.

<http://www.kcdz.ac.cn/>