

新疆西天山吐拉苏金矿集区克峡希小岩体群及其铜矿找矿前景

薛春纪¹, 王洪刚¹, 赵晓波¹, 陈黎昀²

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

2. 核工业二一六地质大队, 新疆 乌鲁木齐 830011

XUE Chunji¹, WANG Honggang¹, ZHAO Xiaobo¹, CHEN Liyun²

1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources; School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083, China

2. 216 Geological Team of China National Nuclear Corporation, Ürümqi 830011, China

XUE Chunji, WANG Honggang, ZHAO Xiaobo, et al. Kexiaxi cluster of small intrusions in the Tulasu gold mineralization district, Western Tianshan, Xinjiang, and its copper exploration prospect. *Earth Science Frontiers*, 2013, 20(6): 180-194

Abstract: The Tulasu gold mineral concentration district in western Tianshan of Xinjiang developed large epithermal gold deposits of A'xi and Jingxi-Yelmand. Is it possible to discover the porphyry Cu-Au deposit beneath or adjacent to the epithermal Au deposits just like that in the southwestern Pacific island-arc environment? In order to find out the Cu-Au deposit, we surveyed the geology of the former Qiarbahete stock with copper occurrence in the north of Tulasu, researched its petrography, element geochemistry and geochronology and guided the commercial exploration. The works revealed that the stock is a cluster of small intrusions including pyroxene diorite, diorite, quartz diorite, granodiorite, dioritic porphyrite and can be grouped as "Kexiaxi cluster". Porphyry-style industrial copper mineralization has been discovered in some of the small intrusions. The small intrusions are calc-alkaline with apparent arc magma characteristics, the trace element compositions of these intrusions are consistent and similar to those of the contemporaneous volcanic rocks in the Tulasu district, and they belong to the same eruption-intrusion magmatic sequence of the late Devonian to the early Carboniferous under the setting of southward subduction of northern Tianshan Ocean to the Yili plate. During about 10 million years, there were four or five episodes of synchronous magma intrusion, i. e., pyroxene diorite (357.2 ± 3.0 Ma), quartz diorite (356.4 ± 2.2 Ma), granodiorite (350.8 ± 3.8 Ma), and dioritic porphyrite (350.8 ± 3.8 Ma) in the Kexiaxi cluster, and they are contemporaneous with Lower Carboniferous volcanic rocks in the Tulasu district. Therefore it is geologically favorable that the porphyry-style Cu-Au mineral deposits may be found beneath or adjacent to the epithermal Au deposits in the Tulasu gold mineral concentration district, western Tianshan of Xinjiang. It is hopeful to have important breakthrough in the prospecting of large porphyry-style Cu-Au deposits in the Tulasu district.

Key words: a cluster of small intrusions; magmatic processes, porphyry Cu-Au system; Kexiaxi; Tulasu district; western Tianshan of Xinjiang

摘 要:新疆西天山吐拉苏金矿集区产有阿希、京希—伊尔曼得等大型浅成低温热液型金矿,这里是否具备类似西南太平洋岛弧区在浅成低温热液型金矿深边部寻找斑岩型铜金矿地质条件?笔者针对吐拉苏金矿集区北部原“恰尔巴赫特”伴有铜矿化的岩株开展地质剖面实测、地质填图、岩相学、元素地球化学和年代学研究,引导商业勘查,发现原“恰尔巴赫特”岩株实际上是由成群产出的辉石闪长岩、闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩和闪长玢岩等小岩体组成的克峡希“小岩体群”,其中部分小岩体中已发现斑岩型工业铜矿体。小岩体群中

收稿日期:2013-06-27;修回日期:2013-07-08

基金项目:国家科技支撑计划项目(2011BAB06B02);中国地质调查工作项目(1212011085069,121211220926)

作者简介:薛春纪(1962—),男,教授,从事矿床学、矿产普查与勘探专业教学和研究工作。E-mail:chunji.xue@cugb.edu.cn

<http://www.earthsciencefrontiers.net.cn> 地学前缘,2013,20(6)

不同侵入体均属钙碱性系列,弧岩浆性质明显,彼此之间微量元素组成近一致且与本地区同时代火山岩微量元素组成相似,同属北天山洋向南向伊犁板块之下俯冲岛弧环境中同源岩浆晚泥盆世—早石炭世喷出—侵入的统一岩浆序列。在大约 10 Ma 期间,克峡希地区发生了 4~5 次同源岩浆侵入,依次形成辉石闪长岩((357.2±3.0) Ma)、石英闪长岩((356.4±2.2) Ma)、花岗闪长岩((350.8±3.8) Ma)、闪长玢岩((348.0±2.2) Ma),它们与吐拉苏地区下石炭统火山岩同时代。西天山吐拉苏地区浅成低温热液金矿集区具备斑岩铜金成矿系统发生发展的有利地质条件,有望实现斑岩铜矿找矿重大突破。

关键词:小岩体群;岩浆过程;斑岩 Cu-Au 系统;克峡希;吐拉苏金矿集区;新疆西天山

中图分类号:P618.41 文献标志码:A 文章编号:1005-2321(2013)06-0180-15

蒙古 Oyu Tolgoi 世界级斑岩铜金矿^[1]发现以来,同处中亚造山带的新疆北部斑岩铜矿找矿掀起热潮,先后在东天山土屋—延东^[2]、东准噶尔哈腊苏^[3]和西准噶尔包古图^[4]等地发现重要斑岩铜矿,但新疆西天山斑岩铜矿找矿急待突破^[5-6]。吐拉苏地区是西天山晚泥盆世—早石炭世重要浅成低温热液金矿集区^[7-8],产有京希、伊尔曼德等高硫型^[9]和阿希、塔乌尔别克等低硫型^[10]浅成低温热液型金矿床(图 1)。在环太平洋、尤其西南太平洋多岛洋地区,矿化从深部到浅部,依次出现斑岩型铜金矿、高硫型—中硫型—低硫型浅成低温热液金矿,构成典型的斑岩铜金成矿系统^[11],往往在浅表早先发现的浅成低温热液型金矿深边部位勘探出重要斑岩型铜金矿床^[11-21],紫金山类似的“上金下铜”现象也十分清楚^[22]。西天山晚古生代被研究认为具有“西南太平洋型”地质环境^[23-27],那么,吐拉苏地区是否也发育斑岩—浅成低温热液铜金成矿系统?能否实现斑岩铜金矿找矿突破?

在吐拉苏地区克峡希曾发现与恰尔巴赫特岩株相关脉状铜矿化点(图 1),但地表评价无果而终^①。笔者最近通过野外地质填图、剖面实测和岩石学研究,从该岩株中解体出辉石闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩、闪长玢岩等不同类型岩株、岩枝和岩脉,使原单一花岗岩株呈现出多幕多相小岩体成群出露特点(图 2),并引导企业开展深部评价,已发现重要铜矿化。本文报道了针对小岩体群的野外地质、铜矿化、岩相学、元素地球化学和年代学研究结果,旨在为实现新疆西天山斑岩铜矿找矿突破提供有益参考。

1 区域地质

吐拉苏矿集区位于北天山北缘,是古生代北天山洋壳向南向哈萨克斯坦—伊犁板块之下俯冲形成的博罗霍洛晚古生代岛弧带上的一个火山断陷盆地^[28],主体 NWW 向展布(图 1),北以科古琴山南

坡断裂与赛里木地块相邻,南以伊犁盆地北缘断裂与伊犁盆地相望。区域地层具有基底和双盖层结构,前寒武纪基底为中元古界蓟县系库松木切克群大理岩、变质砂岩和新元古界青白口系开尔塔斯群片岩及大理岩,基底不整合面之上为盖层。下古生界由老到新依次为中奥陶统奈楞格勒达坂组灰岩夹硅质岩、上奥陶统呼独克达坂组厚层灰岩夹粉砂岩、下志留统尼勒克河组中酸性火山碎屑岩和碎屑岩夹碳酸盐岩;上泥盆统托斯库尔塔吾组为安山岩和碎屑岩,它们共同构成盖层下部。泥盆系碎屑岩不整合面之上堆积了盖层上部,即下石炭统大哈拉军山组陆相钙碱性安山岩、玄武安山岩及相关火山碎屑岩和阿恰勒河组砾岩—泥岩—生物灰岩组合。

吐拉苏矿集区外围分别在西、东北和东南部各出露一个较大面积的花岗岩类侵入体(图 1),其中未发现铜或金矿化显示。克峡希岩株位于矿集区北部,区域地质调查报告中将其命名为“恰尔巴赫特”岩体,出露面积约 4.5 km²,认为它与区域内其他岩基同属花岗岩^①,本文依此为对象开展野外调查和室内研究。

2 岩体地质、岩相学及铜矿化

克峡希岩株出露在吐拉苏矿集区北部(图 1),为揭示岩体地质特征,开展踏勘、地质剖面实测和地质路线调查,完成 12 km×3.5 km 地质填图(图 2)。从现今出露情况看,克峡希岩株并非文献中论述的单一花岗岩,而是由辉石闪长岩、闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩和闪长玢岩等中性和中酸性不同类型岩石构成的小岩体群。其中辉石闪长岩和花岗闪长岩出露面积较大,呈岩株状侵入于地层;闪长岩、石英闪长岩和闪长玢岩出露面积较小,呈岩脉或岩

① 新疆地质矿产开发局. 1:20 万赛里木湖幅(L-44-XXXIV)区域地质报告. 乌鲁木齐,1987.

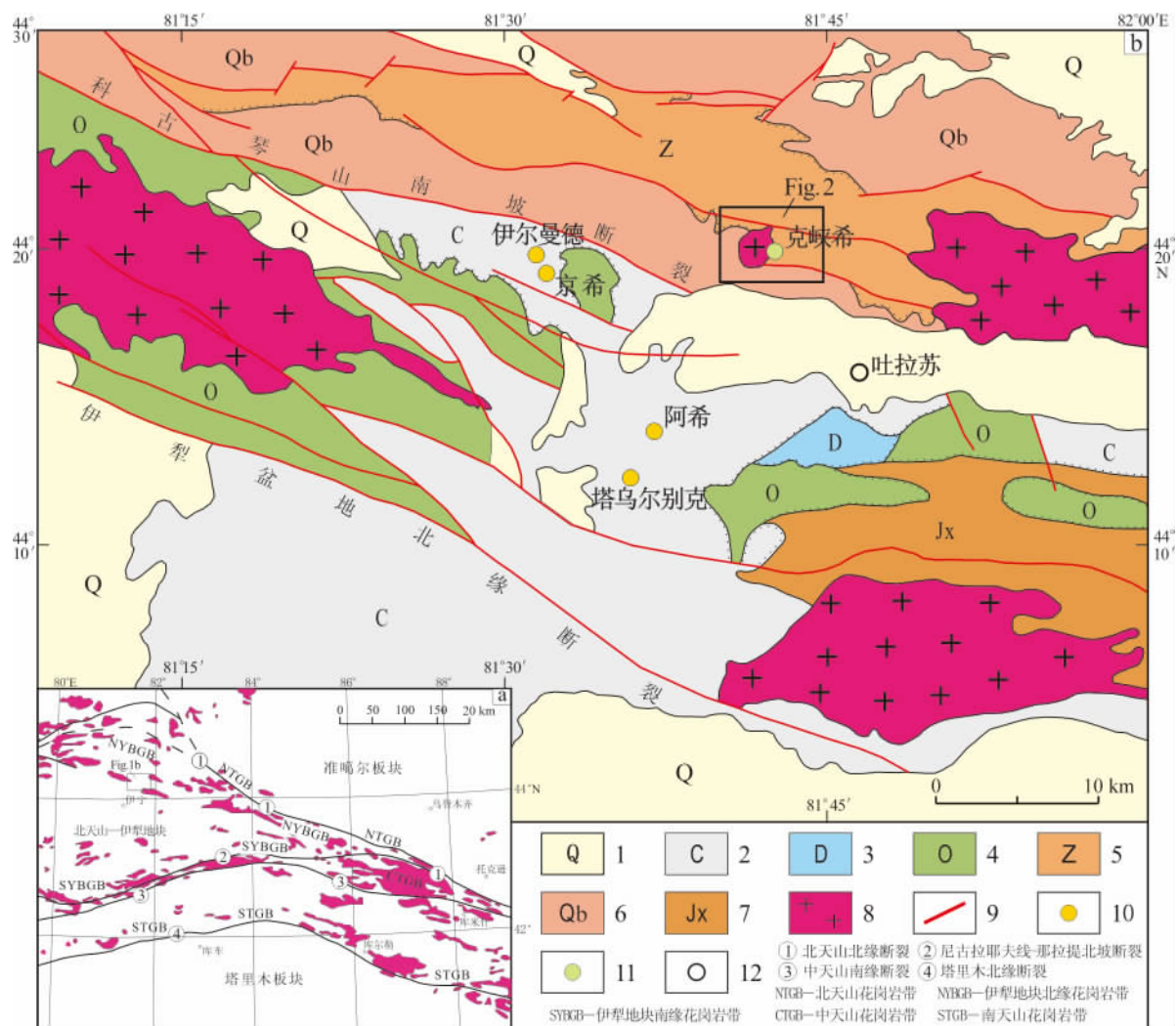


图1 西天山大地构造示意图(a)及吐拉苏区域地质矿产图(b)

(a 据文献[29]; b 据文献①修编)

Fig.1 Tectonic map of western Tianshan (a) and Tulasu regional map of geological and mineral resources (b)

1—第四系; 2—石炭系; 3—泥盆系; 4—奥陶系; 5—震旦系; 6—青白口系;
7—蓟县系; 8—花岗岩; 9—断层; 10—金矿; 11—铜矿点; 12—地名。

枝状侵入于地层或辉石闪长岩体中(图2)。在花岗闪长岩和石英闪长岩中多见闪长岩包体(捕虏体,图3d)。根据实测地质剖面 and 地质填图中观察(图2),辉石闪长岩呈岩株状大面积出露,其余岩体呈岩脉状侵入其内,可以确定辉石闪长岩最早侵入;闪长玢岩沿辉石闪长岩和石英闪长岩或闪长岩界面侵入,可以确定其最晚侵入。又因为在花岗闪长岩和石英闪长岩之中都发现了闪长岩包体(捕虏体),可以判定花岗闪长岩和石英闪长岩不早于闪长岩侵入。所以,克峡希小岩体群中岩浆侵入的先后顺序大致为辉石闪长岩、闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩、闪长玢岩,明显表现出中性和中酸性岩浆多幕活动和多相侵入的特点。克峡希小岩体群侵入的围岩

为青白口系开尔塔斯群灰白-浅灰色中厚层灰岩、燧石条带大理岩、白云质灰岩和震旦系凯拉克提群厚层块状冰碛砾岩、砂岩、粉砂岩、硅质岩、沉凝灰岩(图2)。碎屑岩围岩普遍发生角岩化,碳酸盐岩与岩体接触带见铜矿化夕卡岩。

辉石闪长岩分布在修测区中南部(图2),呈灰黑色,主要由斜长石(60%, $An=45\sim50$)、角闪石(15%)、单斜辉石(15%)、黑云母(5%)等矿物组成,粗晶结构,块状构造(图3a)。斜长石自形-半自形晶长柱状,聚片双晶发育,单斜辉石和角闪石半自形晶

① 新疆地质矿产开发局. 1:20万赛里木湖幅(L-44-XXXIV)区域地质报告. 乌鲁木齐,1987.

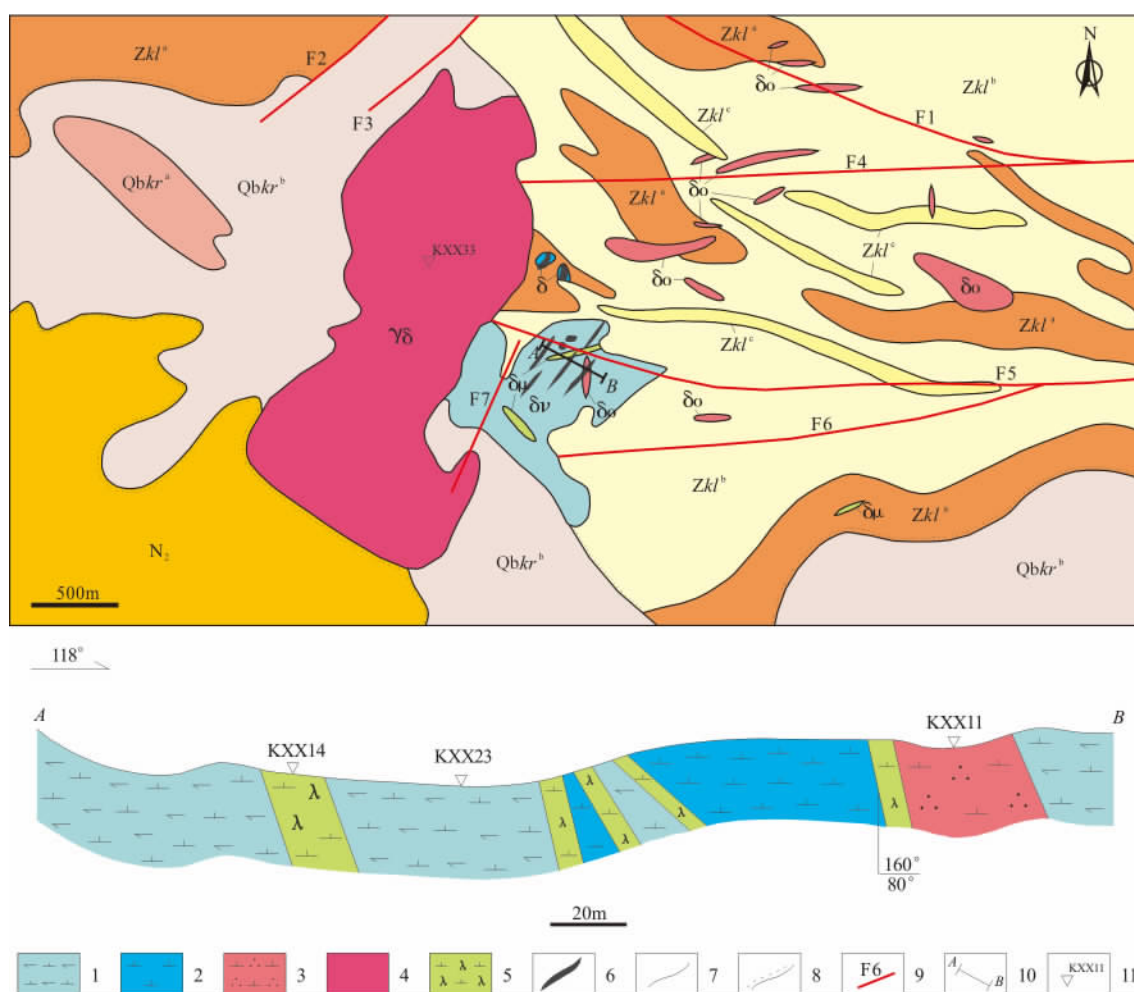


图2 吐拉苏矿集区北部克峡希小岩体群地质图

Fig. 2 Geological map of Kexiaxi cluster of small intrusions, northern margin of Tulasu district
 N_2 —新近系; Zkl^a —震旦系凯拉克提群下亚群上段; Zkl^b —震旦系凯拉克提群下亚群中段; Zkl^c —震旦系凯拉克提群下亚群下段; $Qbkr^a$ —青白口系开尔塔斯群上亚群; $Qbkr^b$ —青白口系开尔塔斯群下亚群; 1—辉石闪长岩(δv); 2—闪长岩(δ); 3—石英闪长岩(δo); 4—花岗闪长岩($\gamma \delta$); 5—闪长玢岩($\delta \mu$); 6—矿体(放大表示); 7—地层界线; 8—不整合地层界线; 9—断层及编号; 10—实测地质剖面; 11—采样点及编号。

镶嵌于斜长石粒间(图 3e)。闪长岩呈灰-深灰色,主要由斜长石(55%~60%, $An=40\sim 50$)、角闪石(25%~30%)、黑云母(约 5%)等矿物组成,细晶结构,块状构造(图 3b)。斜长石呈半自形长柱状,角闪石呈它形镶嵌其中(图 3f)。石英闪长岩分布在修测区中部和东北部,呈岩枝或岩脉状侵入于辉石闪长岩或震旦系凯拉克提群粉砂岩地层中(图 2)。岩石呈灰色,主要由斜长石(60%~70%, $An=30\sim 35$)、角闪石(约 10%)、石英(10%~20%)等矿物组成,中-细晶结构,块状构造(图 3c)。斜长石和角闪石中-细粒半自形晶,石英呈它形(图 3g)。花岗闪长岩分布于修测区中西部,出露面积约 2.0 km^2 (图 2)。岩石呈灰色,块状构造,其中常见闪长

岩包体(图 3d)。主要由斜长石(40%~50%, $An=25\sim 30$)、石英(20%~30%)、黑云母(约 10%)、角闪石(约 10%)等矿物组成,斜长石半自形板状,石英呈它形,粒状分布于斜长石粒间,中-粗晶结构(图 3h)。闪长玢岩呈脉状侵入于辉石闪长岩和震旦系凯拉克提群粉砂岩、沉凝灰岩地层中,呈灰色,块状构造(图 3c),主要由斜长石和角闪石组成,斑状结构,斑晶为中粒自形-半自形角闪石(约 10%)和斜长石(15%~20%, $An=30\sim 40$)组成,基质为微晶角闪石和斜长石组成(图 3i)。本区岩体的蚀变作用较强,花岗闪长岩普遍还发育硅化和钾化,其他岩石除硅化和钾化外,还出现绿泥石化、绿帘石化、绢云母化和碳酸盐化等。

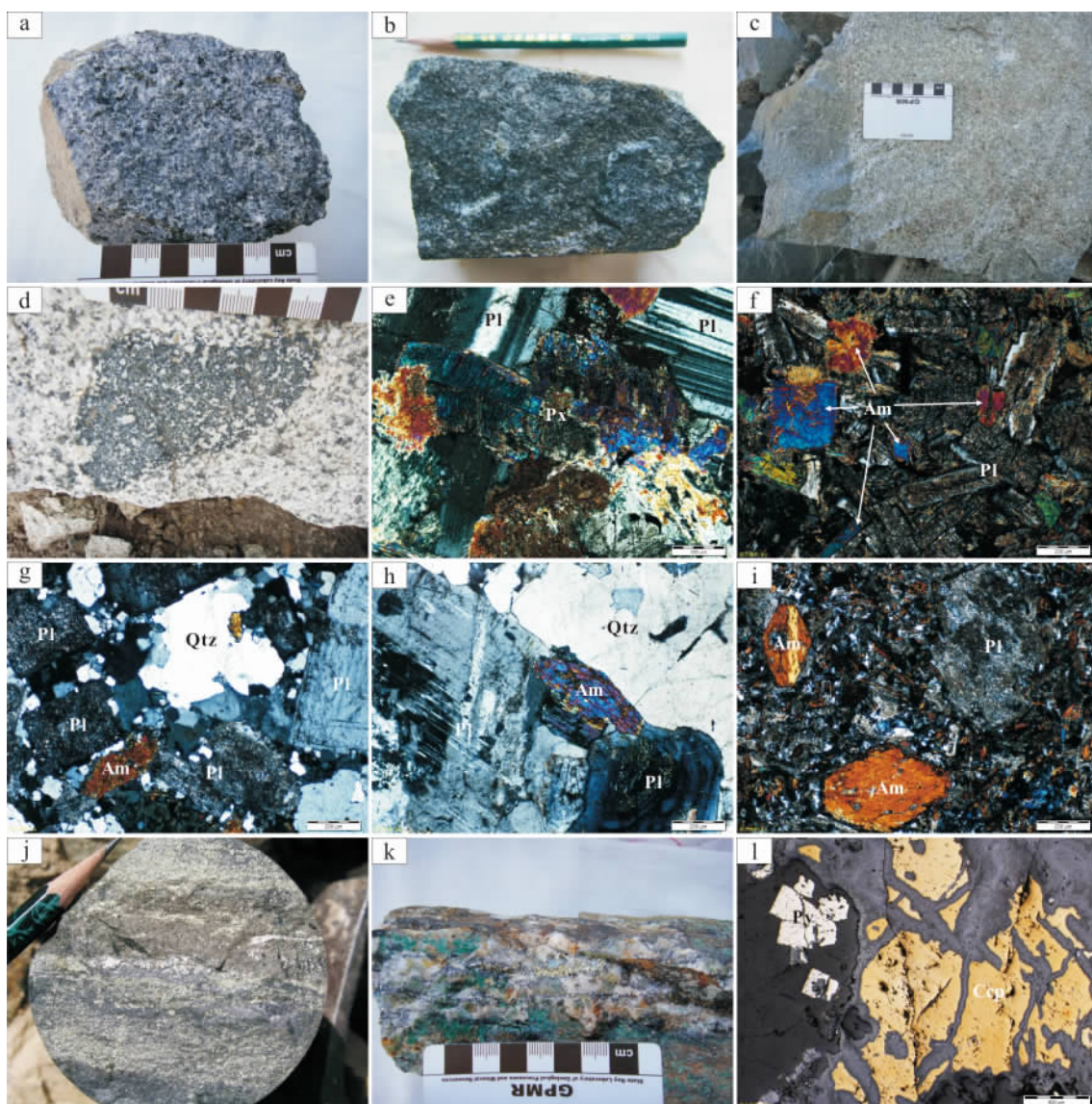


图3 克峡希小岩体群中岩矿石手标本及显微照片

Fig. 3 The hand specimen and micro-photo of Kexiaxi cluster of small intrusions and their copper mineralizations
a—辉石闪长岩,块状构造(标本);b—闪长岩,块状构造(标本);c—石英闪长岩(右侧,灰色)和闪长玢岩(左侧,深灰色),均呈块状构造,两者界线截然(标本);d—花岗闪长岩,块状构造(标本及其中闪长岩包体);e—辉石闪长岩由斜长石、角闪石和单斜辉石等矿物组成,斜长石自形一半自形长柱状,角闪石和单斜辉石半自形晶镶嵌其中,粗晶结构(薄片,正交偏光);f—闪长岩由斜长石和角闪石等矿物组成,斜长石半自形长柱状,角闪石它形粒状,细晶结构(薄片,正交偏光);g—石英闪长岩由斜长石、角闪石、石英等矿物组成,斜长石和角闪石呈半自形晶,石英呈它形,中—细晶结构(薄片,正交偏光);h—花岗闪长岩由斜长石、石英、角闪石等矿物组成,中—粗晶结构(薄片,正交偏光);i—闪长玢岩呈斑状结构,斑晶为中粒自形一半自形角闪石和斜长石组成,基质为微晶角闪石和斜长石组成(薄片,正交偏光);j—花岗闪长岩与青白口系开尔塔斯群灰岩接触带中的条带状黄铜矿—黄铁矿化(岩心标本);k—黄铜矿—石英脉,氧化物孔雀石多见(矿石标本);l—黄铁矿成自形、黄铜矿呈他形粒状交代透明矿物(光片,反射光)。Am—角闪石;Pl—斜长石;Px—单斜辉石;Qtz—石英;Cep—黄铜矿;Bn—斑铜矿;Py—黄铁矿。

克峡希小岩体群中铜矿化明显,并伴生金和钼矿化。铜矿化主要发生于石英闪长岩、闪长岩中,在花岗闪长岩与青白口系开尔塔斯群灰岩接触带见少量夕卡岩型铜矿化(图3j),在钻孔岩心中还见石英闪长岩内的细脉状辉钼矿化。出现黄铜矿—石英脉

和细脉浸染状铜(钼)两类矿石。黄铜矿—石英脉(图3k)一般长几米,最长到200 m,倾向SSE,倾角 $50^{\circ} \sim 70^{\circ}$;细脉浸染状铜(钼)矿化体地表长10~50 m,岩体深部全岩发生矿化。主要的金属矿物有黄铜矿、黄铁矿(图3l)、斑铜矿、辉钼矿等,次生矿物有孔

雀石、蓝铜矿等,脉石矿物有石英、斜长石、钾长石、黑云母、绿泥石、绢云母和方解石等。

3 样品及分析结果

对克峡希小岩体群中主要类型岩石开展了元素组成分析和锆石 U-Pb 法测年。元素组成分析样品 26 件采自修测区探槽和沿新开简易路的实测剖面(图 2),样品新鲜,没有风化,未蚀变或蚀变较弱,未矿化。锆石 U-Pb 法测年样品采自 4 个小岩体(图 2),它们分别是辉石闪长岩(KXX23)、石

英闪长岩(KXX11)、花岗闪长岩(KXX33)和闪长玢岩(KXX14)。所有样品的采样范围在 $44^{\circ}19'54''\sim 44^{\circ}20'10''\text{N}$ 和 $81^{\circ}42'7''\sim 81^{\circ}42'39''\text{E}$ 。

元素组成分析在核工业北京地质研究院分析测试研究中心完成。岩石样品用蒸馏水洗净自然干燥后粉碎至 200 目。主量元素分析依据《GB/T 14506.28—93 硅酸盐岩石化学分析方法》使用 Philips PW2404 型 XRF 完成;微量元素分析依据《DZ/T 0223—2001 电感耦合等离子体质谱方法通则》使用 Element-1 型 ICP-MS 完成。分析结果见表 1。

表 1 西天山克峡希小岩体群中岩石主量元素和微量元素组成分析结果

Table 1 Major and trace element analysis results of Kexiaxi cluster of small intrusions, western Tianshan

岩石名称	样品编号	$w_B/\%$											
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ T	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	烧失量	FeO
辉石闪长岩	KXX17	52.26	1.06	18.11	8.00	0.12	4.62	9.60	3.02	0.97	0.15	2.08	5.30
	KXX18	52.58	1.11	18.13	8.06	0.12	4.59	9.60	2.97	0.77	0.15	1.92	5.40
	KXX22	52.73	0.85	17.69	7.79	0.10	5.04	8.69	3.01	1.24	0.13	2.74	6.00
	KXX58	54.26	0.99	17.05	8.31	0.13	5.42	9.20	3.09	0.99	0.16	0.28	5.93
	KXX59	52.94	1.04	18.26	8.10	0.11	4.39	9.96	3.06	0.79	0.14	1.08	5.25
闪长岩	KXX05	52.31	1.07	15.07	7.86	0.12	9.80	7.63	2.36	1.77	0.15	1.85	5.90
	KXX06	51.77	1.11	15.34	8.41	0.14	8.86	7.54	2.61	1.87	0.17	2.17	6.05
	KXX07	52.05	1.12	15.20	8.53	0.14	8.92	7.37	2.52	1.83	0.17	2.14	6.15
	KXX08	51.28	1.07	14.73	8.16	0.11	10.12	6.40	2.67	2.10	0.17	3.20	6.25
	KXX36	50.98	1.14	15.40	9.07	0.13	8.91	6.64	3.12	1.45	0.17	2.97	6.75
	KXX80	54.19	1.17	18.58	8.11	0.12	4.14	6.25	3.27	1.97	0.17	1.88	6.00
石英闪长岩	KXX12	65.63	0.44	15.62	3.84	0.03	1.89	3.07	4.20	2.93	0.11	2.21	2.85
	KXX29	66.17	0.43	15.55	3.65	0.03	1.89	2.82	4.19	2.98	0.10	2.19	2.75
	KXX30	64.63	0.46	15.58	4.00	0.04	2.00	3.34	4.41	2.77	0.12	2.61	3.00
	KXX31	65.65	0.44	15.37	3.82	0.03	1.92	2.88	4.03	3.00	0.11	2.76	2.90
	KXX32	65.59	0.42	15.66	3.67	0.03	1.88	3.00	4.27	2.91	0.11	2.46	2.70
花岗闪长岩	KXX01	65.37	0.48	15.84	4.10	0.07	2.21	4.06	3.62	2.21	0.12	1.90	2.75
	KXX02	65.77	0.47	15.90	3.97	0.07	2.17	4.12	3.72	2.42	0.12	1.18	2.70
	KXX34	65.90	0.48	15.47	3.94	0.07	2.30	2.90	4.17	2.58	0.12	2.06	3.00
	KXX35	65.78	0.48	15.78	3.90	0.07	2.21	3.88	3.66	2.44	0.12	1.67	2.80
	KXX37	64.66	0.49	15.86	4.09	0.08	2.37	4.22	4.05	2.06	0.11	2.00	3.00
闪长玢岩	KXX15	55.20	2.08	15.32	8.22	0.09	4.05	4.84	4.61	1.67	0.17	3.77	6.25
	KXX16	56.12	1.14	17.23	7.54	0.09	3.32	7.23	3.28	1.75	0.22	2.07	5.55
	KXX25	56.15	2.20	14.47	9.10	0.10	5.08	4.58	3.60	2.07	0.15	2.51	6.65
	KXX26	56.89	2.05	14.50	8.74	0.10	4.80	4.55	3.65	2.22	0.13	2.37	6.70
	KXX55	55.75	2.07	15.01	8.34	0.11	4.18	5.84	4.72	1.61	0.17	2.07	5.88

(续表 1)

岩石 名称	样品 编号	$w_B/10^{-6}$												
		Rb	Ba	Th	U	Ta	Nb	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd
辉石 闪长岩	KXX17	43.1	206	2.89	1.06	0.35	4.86	12.5	27.4	3.42	15.4	3.74	1.16	3.78
	KXX18	33.6	175	2.66	1.07	0.35	4.48	11.3	25.1	3.28	14.4	3.23	1.17	3.41
	KXX22	59.0	258	2.76	0.72	0.32	3.87	10.2	22.1	2.83	12.5	2.78	1.05	3.04
	KXX58	34.5	192	2.72	0.75	0.39	5.81	12.8	27.0	3.50	15.4	3.57	1.07	3.27
	KXX59	31.5	180	2.64	0.79	0.36	5.18	11.5	24.3	3.14	13.8	3.23	1.04	2.99
闪长岩	KXX05	100.0	550	3.06	1.10	0.36	4.35	11.1	25.0	3.52	15.9	3.97	1.45	4.12
	KXX06	94.0	1383	3.35	0.80	0.37	4.63	11.3	25.8	3.59	16.3	4.02	1.65	4.73
	KXX07	97.6	1370	3.42	1.20	0.38	4.77	12.7	28.4	3.88	16.7	4.33	1.59	4.81
	KXX08	119.0	748	3.05	1.27	0.34	4.31	10.4	23.9	3.39	15.1	3.60	1.29	4.20
	KXX36	63.7	844	3.44	0.91	0.40	4.80	12.6	29.4	3.84	17.0	4.04	1.47	4.51
	KXX80	81.9	1384	3.14	0.87	0.41	6.08	14.7	31.8	4.25	18.4	4.35	1.17	4.10
石英 闪长岩	KXX12	151.0	570	9.43	1.82	0.72	7.52	19.4	37.2	4.20	16.3	3.05	0.95	2.85
	KXX29	162.0	585	10.30	2.01	0.77	8.05	19.1	37.0	4.21	16.3	3.39	0.97	3.08
	KXX30	134.0	520	8.87	2.30	0.73	7.56	21.9	42.0	4.86	18.9	3.57	0.96	3.19
	KXX31	143.0	517	8.50	1.63	0.67	7.31	19.2	37.0	4.07	15.8	3.42	0.84	2.94
	KXX32	135.0	487	8.16	1.52	0.61	7.00	15.9	32.7	3.45	13.7	2.48	0.78	2.33
花岗 闪长岩	KXX01	77.0	563	8.43	1.48	0.74	7.45	20.9	39.9	4.60	17.9	3.46	1.06	3.27
	KXX02	87.1	544	10.10	1.36	0.69	7.56	22.0	42.7	4.85	18.7	3.68	1.05	3.12
	KXX34	113.0	470	9.01	1.41	0.77	7.40	21.4	40.5	4.53	17.4	3.03	0.91	3.22
	KXX35	84.6	493	9.16	1.42	0.75	7.60	20.1	39.3	4.47	17.0	2.98	0.94	3.05
	KXX37	78.5	465	8.02	1.25	0.69	8.03	20.4	40.1	4.79	17.9	3.75	0.99	3.75
闪长 玢岩	KXX15	75.3	269	4.06	1.87	0.56	7.63	13.3	32.0	4.58	23.3	5.70	1.73	4.77
	KXX16	86.7	345	6.51	1.19	0.68	8.47	20.9	44.9	5.71	24.6	5.90	1.48	5.69
	KXX25	129.0	355	5.72	2.49	0.73	7.91	23.0	49.5	6.52	28.4	6.17	1.86	5.34
	KXX26	123.0	337	5.34	1.89	0.67	7.19	13.7	32.9	4.76	21.2	4.67	1.49	4.37
	KXX55	81.0	285	3.88	1.36	0.64	9.28	14.5	35.6	5.46	25.5	5.93	1.76	4.71
岩石 名称	样品 编号	$w_B/10^{-6}$												
		Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	Pb	Sr	Zr	Hf	Σ REE
辉石 闪长岩	KXX17	0.75	4.50	0.98	2.90	0.49	2.95	0.46	26.6	5.39	372	194	5.08	80.43
	KXX18	0.68	4.62	0.86	2.76	0.46	2.65	0.41	24.6	5.22	365	159	4.23	74.33
	KXX22	0.60	4.13	0.78	2.60	0.34	2.62	0.36	22.3	4.43	369	155	4.35	65.93
	KXX58	0.69	4.15	0.79	2.34	0.40	2.57	0.40	23.0	7.22	370	187	3.83	77.95
	KXX59	0.64	3.84	0.74	2.13	0.37	2.41	0.37	20.9	6.17	368	172	3.67	70.49
闪长岩	KXX05	0.95	5.45	1.14	3.55	0.51	3.55	0.52	31.4	1.36	278	241	6.59	80.73
	KXX06	0.97	6.17	1.21	3.66	0.57	3.54	0.58	34.1	1.17	350	262	6.93	84.09
	KXX07	0.99	6.13	1.24	4.06	0.62	3.79	0.63	36.4	1.29	362	274	6.33	89.87
	KXX08	0.84	5.72	1.10	3.44	0.54	3.47	0.54	30.4	2.42	349	251	6.18	77.52
	KXX36	1.00	5.88	1.23	3.90	0.59	3.62	0.58	33.5	1.65	345	257	6.76	89.66
	KXX80	0.89	5.53	1.06	3.11	0.54	3.48	0.54	30.5	11.10	363	254	5.34	93.92

(续表 1)

岩石 名称	样品 编号	$w_B/10^{-6}$												
		Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	Pb	Sr	Zr	Hf	ΣREE
石英 闪长岩	KXX12	0.56	3.38	0.66	1.95	0.34	2.16	0.32	20.2	8.63	345	124	4.02	93.32
	KXX29	0.61	3.65	0.70	2.12	0.37	2.75	0.38	21.3	9.87	377	152	5.05	94.63
	KXX30	0.56	3.74	0.73	2.03	0.35	2.31	0.38	21.7	8.20	250	130	4.31	105.48
	KXX31	0.57	3.16	0.61	2.01	0.33	2.06	0.32	18.0	7.89	334	131	3.94	92.32
	KXX32	0.48	2.97	0.60	1.69	0.26	1.92	0.27	16.2	6.91	340	132	3.79	79.53
花岗 闪长岩	KXX01	0.60	3.88	0.71	2.25	0.38	2.32	0.33	21.1	9.06	339	102	3.35	101.56
	KXX02	0.65	3.91	0.72	2.34	0.35	2.52	0.41	22.2	9.98	391	108	3.75	107.00
	KXX34	0.62	3.78	0.72	2.21	0.36	2.29	0.37	20.8	9.19	263	65	2.47	101.35
	KXX35	0.64	4.15	0.74	2.36	0.37	2.51	0.45	21.4	13.40	372	87	3.26	99.06
	KXX37	0.70	3.76	0.78	2.32	0.40	2.56	0.31	22.4	11.40	336	60	2.45	102.51
闪长 玢岩	KXX15	0.94	4.70	0.76	2.30	0.32	2.11	0.28	22.8	8.62	233	258	7.19	96.79
	KXX16	1.21	6.92	1.42	4.53	0.68	4.27	0.63	40.9	8.77	397	82	3.05	128.84
	KXX25	0.95	5.28	0.80	2.47	0.30	2.41	0.35	24.9	4.14	383	279	8.28	133.34
	KXX26	0.81	4.47	0.83	2.19	0.32	2.18	0.32	21.2	4.71	358	242	7.79	94.21
	KXX55	0.91	4.64	0.77	2.08	0.32	2.02	0.30	22.0	12.40	307	262	6.31	104.49

注:表中 $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}$ 代表全铁的含量;在核工业北京地质研究院分析测试研究中心完成分析,主量元素分析使用 Philips PW2404 型 XRF,微量元素分析使用 Element-1 型 ICP-MS。

锆石 U-Pb 法测年样品粉碎至粒径 $300\ \mu\text{m}$,经过磁选、重选、淘洗和实体显微镜下逐粒挑选,获得锆石单矿物样品。用环氧树脂将锆石单矿物样品及标样(TEM)一起固定在样品靶上,并将靶面研磨抛光至锆石露出中部截面。显微镜下观察锆石,在中国地质科学院地质研究所完成 CL 照相(图 4b、d、f、h)。锆石 U-Pb 测年在北京离子探针中心通过

SHRIMP 远程共享控制系统(SROS)操作位于澳大利亚 Curtin 理工大学 SHRIMP-II 型分析仪完成,分析结果见表 2,给出 ^{204}Pb 普通铅校正的年龄结果,单个数据点的误差均为 1σ ,采用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均年龄值,其误差为 2σ ;数据处理及 U-Pb 谐和曲线绘制采用 isoplot 4.15 程序^[30],结果见图 4a、c、e、g。

表 2 克峡希小岩体群岩石中锆石 SHRIMP U-Pb 测年结果

Table 2 SHRIMP U-Pb dating results of zircons in the rocks from Kexiaxi cluster of small intrusions

Spot Name	$w(\text{U})$ / 10^{-6}	$w(\text{Th})$ / 10^{-6}	$w(^{206}\text{Pb}^c)$ /%	$w(^{206}\text{Pb}^*)$ / 10^{-6}	^{232}Th / ^{238}U	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$	$\sigma/\%$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	$\sigma/\%$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	$\sigma/\%$	年龄/Ma	σ
辉石闪长岩(KXX23)													
KXX23-1	376	282	0.25	18.4	0.78	0.127 7	3.6	1.00	4.0	0.057 0	1.7	357.3	6.0
KXX23-2	450	329	0.64	21.5	0.76	0.057 5	3.9	0.44	4.3	0.055 4	1.8	347.5	6.1
KXX23-3	545	435	0.23	26.6	0.82	0.056 2	1.8	0.44	2.5	0.056 7	1.7	355.6	6.0
KXX23-4	519	569	0.40	25.0	1.13	0.061 8	4.0	0.48	4.3	0.055 9	1.7	350.3	6.0
KXX23-5	487	812	0.14	23.0	1.72	0.057 8	1.7	0.44	2.4	0.055 0	1.7	344.9	5.8
KXX23-6	661	931	0.19	31.9	1.46	0.055 7	1.8	0.43	2.5	0.056 1	1.7	351.6	5.8
KXX23-7	475	755	0.00	22.9	1.64	0.056 3	1.4	0.44	2.2	0.056 1	1.7	351.8	5.9
KXX23-8	593	237	0.18	29.1	0.41	0.055 8	2.1	0.44	2.7	0.056 9	1.7	356.9	5.9
KXX23-9	1 117	1 016	0.11	55.5	0.94	0.054 8	1.0	0.44	2.0	0.057 8	1.7	362.1	5.9
KXX23-10	939	531	—	45.8	0.58	0.057 2	1.0	0.45	2.0	0.056 7	1.7	355.7	5.9
KXX23-11	1 247	934	0.08	62.3	0.77	0.055 0	1.6	0.44	2.3	0.058 1	1.7	363.9	5.9
KXX23-12	1 486	614	0.11	75.0	0.43	0.054 7	1.5	0.44	2.2	0.058 7	1.7	367.7	6.1
KXX23-13	644	444	0.19	31.2	0.71	0.055 4	1.5	0.43	2.3	0.056 3	1.7	353.4	5.8
KXX23-14	463	272	0.35	22.2	0.61	0.056 7	2.9	0.43	3.4	0.055 5	1.7	348.5	5.9
KXX23-15	1 267	1 745	0.15	63.3	1.42	0.054 7	1.1	0.44	2.0	0.058 0	1.7	363.7	5.9

(续表 2)

Spot Name	$w(\text{U})$ / 10^{-6}	$w(\text{Th})$ / 10^{-6}	$w(^{206}\text{Pb}^c)$ /%	$w(^{206}\text{Pb}^*)$ / 10^{-6}	^{232}Th / ^{238}U	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$	σ /%	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	σ /%	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	σ /%	年龄/Ma	σ
KXX23-16	758	1 183	0.41	37.8	1.61	0.054 9	2.4	0.44	3.0	0.057 8	1.7	362.4	6.0
KXX23-17	1 011	900	0.00	50.1	0.92	0.056 5	0.9	0.45	2.0	0.057 7	1.8	361.6	6.3
KXX23-18	1 502	1 243	0.08	76.1	0.85	0.054 7	0.9	0.44	1.9	0.058 9	1.7	369.0	6.0
石英闪长岩(KXX33)													
KXX33-1	57	22	2.67	2.88	0.40	0.074 7	13.6	0.58	13.9	0.056 8	2.5	356.1	8.6
KXX33-2	132	67	1.50	6.50	0.52	0.063 3	9.2	0.49	9.5	0.056 4	2.5	354.0	8.6
KXX33-3	183	107	0.58	8.90	0.60	0.057 5	7.8	0.45	8.0	0.056 2	1.9	352.5	6.5
KXX33-4	106	50	1.50	5.13	0.49	0.063 9	9.3	0.49	9.6	0.055 7	2.1	349.5	7.0
KXX33-5	117	58	1.03	5.57	0.51	0.063 2	9.2	0.48	9.4	0.054 9	2.0	344.6	6.9
KXX33-6	111	51	1.20	5.28	0.47	0.066 7	6.5	0.50	6.8	0.054 8	2.0	343.7	6.7
KXX33-7	117	62	1.39	5.91	0.55	0.056 8	5.9	0.46	6.3	0.058 1	2.1	364.3	7.3
KXX33-8	124	59	0.73	5.94	0.49	0.061 4	6.3	0.47	6.6	0.055 2	2.0	346.4	6.7
KXX33-9	134	71	0.00	6.55	0.55	0.061 7	2.4	0.48	3.1	0.056 9	1.9	356.7	6.7
KXX33-10	207	114	0.43	9.98	0.57	0.060 8	3.9	0.47	4.3	0.056 0	1.8	351.3	6.3
KXX33-11	140	82	1.11	6.88	0.61	0.061 2	5.2	0.48	5.6	0.056 7	1.9	355.6	6.7
KXX33-12	73	29	2.72	3.49	0.41	0.083 9	10.9	0.63	11.2	0.054 4	2.4	341.2	8.1
KXX33-13	56	34	2.58	2.71	0.63	0.068 7	13.2	0.52	13.5	0.055 3	2.5	347.1	8.6
KXX33-14	172	105	0.93	8.28	0.63	0.071 3	5.4	0.55	5.8	0.055 6	2.1	348.7	7.2
花岗闪长岩(KXX11)													
KXX11-1	251	110	0.31	12.20	0.45	0.056 0	3.6	0.44	3.8	0.056 3	1.0	353.1	3.6
KXX11-2	277	134	0.22	13.70	0.50	0.053 5	2.3	0.43	2.5	0.057 6	1.0	361.2	3.5
KXX11-3	154	70	0.89	7.64	0.47	0.054 6	3.9	0.43	4.0	0.057 2	1.2	358.7	4.1
KXX11-4	192	94	—	9.55	0.50	0.055 3	2.1	0.44	2.3	0.058 0	1.1	363.3	3.8
KXX11-5	134	74	0.45	6.68	0.57	0.055 4	4.7	0.44	4.8	0.057 6	1.2	361.2	4.2
KXX11-6	214	127	0.18	10.30	0.61	0.053 2	2.3	0.41	2.7	0.056 0	1.4	351.4	4.7
KXX11-7	217	101	0.39	10.70	0.48	0.051 9	5.3	0.41	5.4	0.056 8	1.2	356.2	4.1
KXX11-8	131	66	0.85	6.30	0.52	0.052 2	9.8	0.40	9.9	0.055 6	1.3	348.9	4.6
KXX11-9	192	88	0.39	9.43	0.47	0.053 9	3.1	0.42	3.3	0.057 1	1.1	357.9	3.8
KXX11-10	83	38	4.87	4.36	0.47	0.063 2	26.1	0.51	26.2	0.058 1	2.1	364.2	7.5
KXX11-11	182	83	0.28	8.80	0.47	0.053 1	2.3	0.41	2.5	0.056 2	1.1	352.5	3.8
KXX11-12	136	67	0.93	6.65	0.51	0.052 5	7.2	0.41	7.3	0.056 5	1.3	354.2	4.4
KXX11-13	138	63	0.53	6.66	0.48	0.054 8	8.2	0.42	8.3	0.056 0	1.3	351.3	4.5
KXX11-14	185	91	0.00	9.10	0.51	0.056 3	2.1	0.44	2.4	0.057 2	1.2	358.3	4.1
KXX11-15	135	72	3.24	7.12	0.55	0.078 4	9.4	0.64	9.5	0.059 2	1.5	370.6	5.3
闪长玢岩(KXX14)													
KXX14-1	139	78	0.65	6.62	0.58	0.056 5	4.6	0.43	4.7	0.055 1	1.2	345.8	4.2
KXX14-2	124	66	1.05	5.99	0.55	0.050 8	8.5	0.39	8.6	0.055 5	1.3	348.0	4.5
KXX14-3	194	89	0.51	9.41	0.48	0.053 8	4.6	0.42	4.7	0.056 1	1.1	351.9	3.9
KXX14-4	101	56	0.44	4.93	0.57	0.055 4	6.2	0.43	6.4	0.056 6	1.4	354.9	4.8
KXX14-5	203	99	0.67	9.70	0.50	0.055 9	7.6	0.43	7.7	0.055 2	1.5	346.3	5.0
KXX14-6	225	109	0.39	10.60	0.50	0.052 1	3.8	0.39	4.0	0.054 6	1.1	342.7	3.8
KXX14-7	199	92	0.27	9.45	0.48	0.053 4	3.0	0.41	3.2	0.055 0	1.1	345.2	3.7
KXX14-8	187	88	0.03	9.00	0.49	0.057 0	4.8	0.44	5.0	0.056 1	1.1	351.7	3.9
KXX14-9	210	98	0.82	10.00	0.48	0.050 9	5.4	0.39	5.6	0.055 2	1.6	346.1	5.5
KXX14-10	213	114	0.31	10.40	0.55	0.052 7	2.8	0.41	3.0	0.056 9	1.1	356.6	3.7
KXX14-11	173	118	0.71	8.64	0.70	0.054 3	4.6	0.43	4.7	0.057 8	1.2	362.4	4.3
KXX14-12	89	48	0.43	4.14	0.56	0.055 7	4.0	0.41	4.2	0.054 0	1.5	339.3	4.9
KXX14-13	228	102	0.27	10.90	0.46	0.056 8	4.2	0.44	4.4	0.055 5	1.3	348.4	4.4
KXX14-14	195	104	0.32	9.14	0.55	0.054 4	2.3	0.41	2.5	0.054 5	1.1	342.2	3.6
KXX14-15	215	124	0.20	10.30	0.60	0.052 7	3.3	0.41	3.5	0.055 8	1.1	350.1	3.6

注:在北京离子探针中心通过 SHRIMP 远程共享控制系统(SROS)操作位于澳大利亚 Curtin 理工大学 SHRIMP-II 型分析仪完成测试。

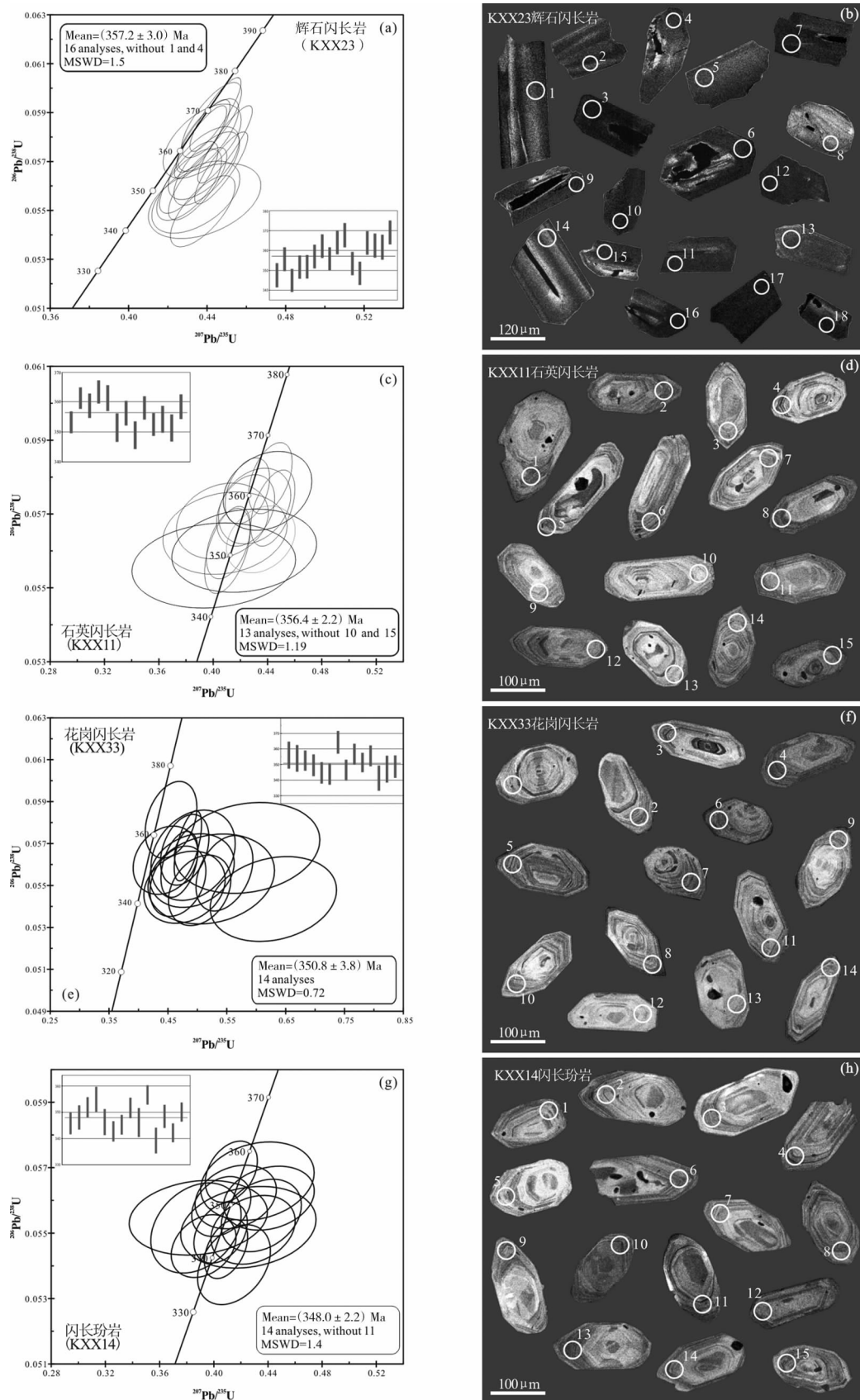
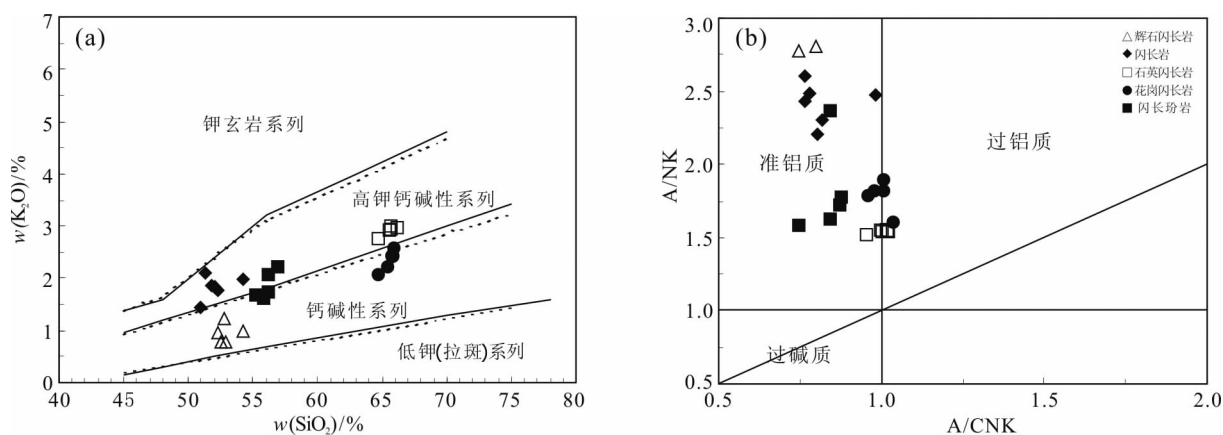


图4 克峡希小岩体群岩石中锆石 U-Pb 谐和图和阴极发光图像

Fig. 4 U-Pb concordia diagrams and CL images of zircons from rocks in Kexiaxi cluster of small intrusions

图5 克峡希小岩体群中各类岩石 SiO_2 - K_2O 图解(a)和 A/CNK - A/NK 图解(b)

(底图 a 据文献[31]; b 据文献[32])

Fig. 5 Diagram of SiO_2 vs. K_2O (a) and A/CNK vs. A/NK for the rocks of Kexiaxi cluster of small intrusions

4 讨论

克峡希小岩体群中辉石闪长岩、闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩和闪长玢岩从中性到酸性,成分质量分数范围为: SiO_2 50.98%~66.17%, K_2O+Na_2O 3.74%~7.18% ($K_2O/Na_2O=0.26\sim0.79$), TiO_2 0.42%~2.2%, Al_2O_3 14.47%~18.85% (表1)。这些小岩体的里特曼指数 $\sigma=1.46\sim3.23$,在 SiO_2 - K_2O 关系图解中显示其为钙碱性系列(图5a);全铝饱和指数 $A/CNK=0.75\sim1.04$ (表1),属准铝质(图5b)。

克峡希小岩体群中辉石闪长岩、闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩和闪长玢岩的 ΣREE 彼此接近(表1),不同类型小岩体的球粒陨石标准化 REE 配分曲线近乎一致,平缓右倾, Eu 异常不明(图6a)。

不同类型小岩体的微量元素组成相近,原始地幔标准化的微量元素蛛网图中它们表现出明显的一致性,富集大离子元素 Rb、Ba,亏损高场强元素 Nb、Ta、Ti 等(图6b)。这些可能指示小岩体群中不同侵入体具有相同或相似的岩浆源区。将小岩体群中岩石与本地区下石炭统大哈拉军山组火山岩^[33](安山岩、玄武安山岩)比较不难发现,它们与后者具有极为相似的微量元素组成特征(图6),很可能与吐拉苏地区早石炭世火山岩具有同源岩浆演化特点。

在 Yb-Ta 和 Y+Yb-Ta 图解中,克峡希小岩体群中不同类型侵入岩具有明显一致的火山弧花岗岩特征,不具板内、洋中脊、同碰撞等其他性质花岗岩特点(图7a、b)。在 La/Nb-Ba/Nb 图解中,克峡希小岩体群中不同类型侵入岩表现出弧火山岩特点,而大洋中脊和洋岛火山岩及原始地幔存在显著差别(图7c)。在不相容元素 Yb 标准化的 Th-Nb 图

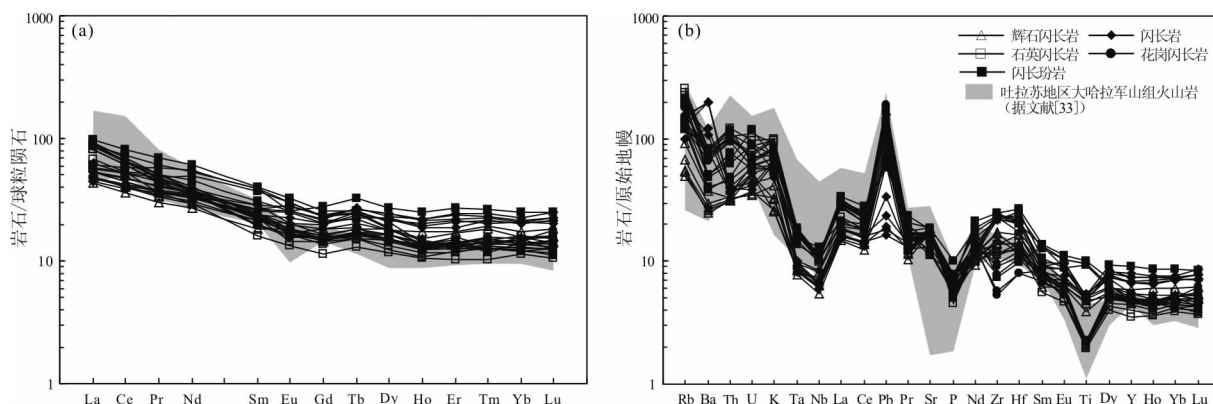


图6 克峡希小岩体群中各类岩石稀土配分曲线(a)和微量元素蛛网曲线(b)

(球粒陨石和原始地幔标准据文献[34])

Fig. 6 The chondrite normalized REE patterns and primitive mantle-normalized spidergrams of Kexiaxi cluster of small intrusions

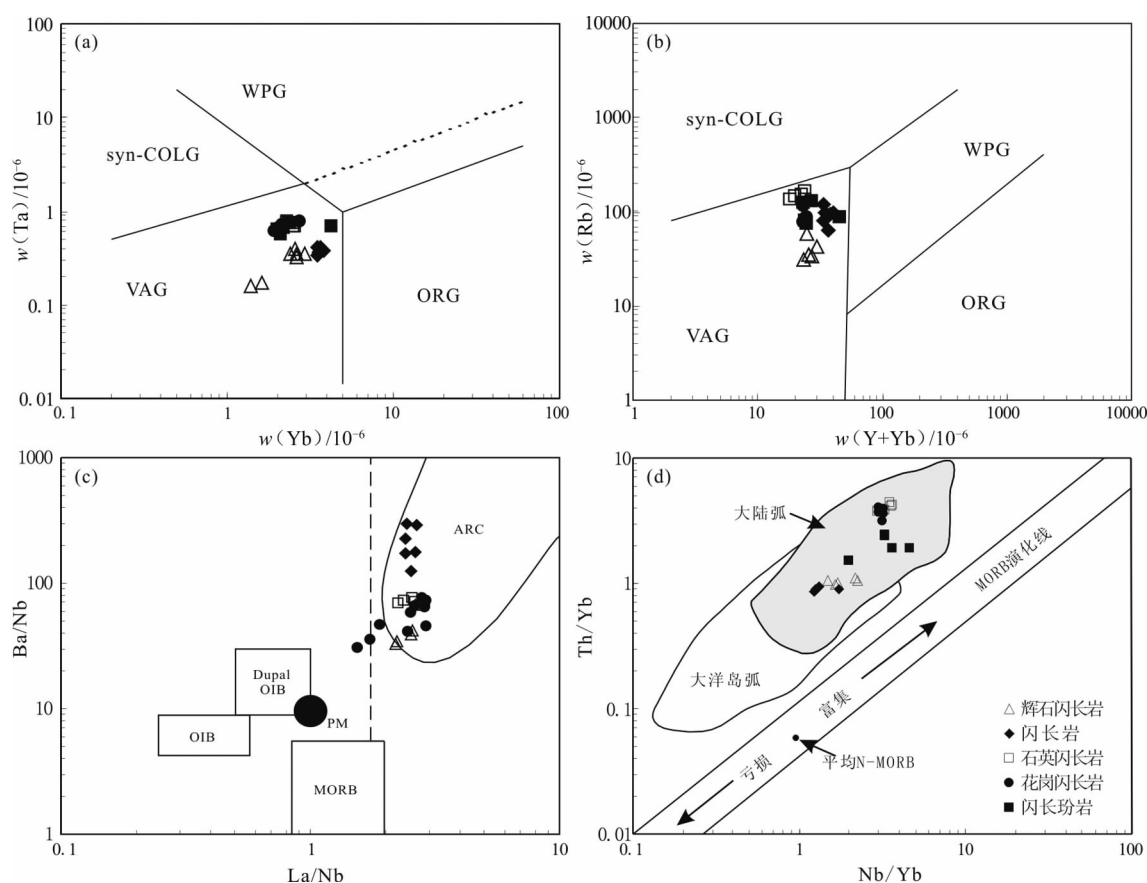


图7 克峡希小岩体群构造环境微量元素判别

Fig. 7 Discrimination diagrams of tectonic settings for Kexiaxi cluster of small intrusions

(a)—Yb-Ta 判别图(底图据文献[35]); (b)—Y+Nb-Rb 判别图(底图据文献[36]), syn-COLG—同碰撞花岗岩, VAG—火山弧花岗岩, ORG—洋脊花岗岩, WPG—板内花岗岩; (c)—Ba/Nb-La/Nb 图解, 岛弧火山岩数据来自文献[37-38], PM—原始地幔, OIB—洋岛玄武岩, MORB—大洋中脊玄武岩, Dupal OIB—具 Dupal 异常的洋岛玄武岩, ARC—弧火山岩; (d)—Nb/Yb-Th/Yb 判别图(底图据文献[35])。

解中, 辉石闪长岩和闪长岩样品处在大陆弧和大洋岛弧重叠区, 而石英闪长岩、花岗闪长岩及大部分闪长玢岩样品落入大陆弧火山岩范围内(图 7d), 可能反映岩浆侵入不同阶段, 区域构造环境的某种变化, 如从大洋岛弧向大陆弧转变。

辉石闪长岩中锆石晶体较大, 长约 150~260 μm , 宽约 100~130 μm , 长宽比为 1.3:1~2.1:1, 呈自形长柱状或板状, 部分可以见扇形环带(图 4b)。锆石 U 含量为 $(376 \sim 1502) \times 10^{-6}$, Th 含量为 $(237 \sim 1745) \times 10^{-6}$, Th/U=0.43~1.72(表 2), 反映岩浆成因特征。从 18 个锆石分析样品中剔除(KXX23-1 和 KXX23-4)两个异常样品后, 其余 16 个锆石颗粒的测年结果在谐和图上组成密集的一簇(图 4a), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 (357.2 ± 3.0) Ma (MSWD=1.5), 能代表辉石闪长岩成岩年龄。石英闪长岩中锆石晶体长约 130~170 μm , 宽约

60~90 μm , 长宽比为 1.8:1~3.0:1, 多长柱状自形晶, 具明显振荡环带和扇形环带(图 4d)。锆石 U 含量为 $(83 \sim 277) \times 10^{-6}$, Th 含量为 $(38 \sim 134) \times 10^{-6}$, Th/U=0.45~0.61(表 2), 清楚指示岩浆成因特征。从 15 个分析样品剔除(KXX11-10 和 KXX11-15)两个异常样品后, 其余 13 个锆石颗粒的测年结果近一致(图 4c), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 (356.4 ± 2.2) Ma (MSWD=1.19), 代表石英闪长岩成岩年龄。花岗闪长岩中锆石晶体长约 120~180 μm , 宽约 60~100 μm , 长宽比为 1.4:1~3.1:1, 多长柱状自形晶, 具明显振荡环带和扇形环带(图 4f)。锆石 U 含量为 $(56 \sim 207) \times 10^{-6}$, Th 含量为 $(22 \sim 114) \times 10^{-6}$, Th/U=0.40~0.63(表 2), 反映岩浆成因特征。全部 15 个锆石样品测年结果均落在一致曲线附近(图 4e), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 (350.8 ± 3.8) Ma (MSWD=0.72), 可代表花岗

闪长岩成岩年龄。闪长玢岩中锆石晶体较小,长约 60~110 μm ,宽约 40~70 μm ,长宽比为 1.4:1~2.2:1,多短柱状自形晶,具有明显振荡环带和韵律结构(图 4h)。锆石 U 含量为 $(89\sim 228)\times 10^{-6}$, Th 含量为 $(48\sim 124)\times 10^{-6}$, Th/U 比值 0.46~0.70 (表 2),同样具有岩浆成因特征。从 15 个锆石颗粒中剔除(KXX14-11)一个异常测点后,其余 14 个锆石颗粒的测年结果在谐和图上较集中(图 4g), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $(348.0\pm 2.2)\text{Ma}$ (MSWD=1.4),能代表闪长玢岩成岩年龄。

可见,克峡希小岩体群形成于 $(357.2\pm 3.0)\sim (348.0\pm 2.2)\text{Ma}$,反映在大约 10 Ma 期间发生了 4~5 次同源岩浆侵入活动。从锆石 U-Pb 法测年结果和前文岩体侵入关系判断,它们从早到晚可能依次为辉石闪长岩 $(357.2\pm 3.0)\text{Ma}$ 、石英闪长岩 $(356.4\pm 2.2)\text{Ma}$ 、花岗闪长岩 $(350.8\pm 3.8)\text{Ma}$ 、闪长玢岩 $(348.0\pm 2.2)\text{Ma}$ 。在同一处地壳位置多幕岩浆侵入,这对于斑岩型铜(钼)矿而言,这无疑是很好的成矿条件^[11]。

通过化石地层学和区域地层对比,确定西天山吐拉苏地区大哈拉军山组火山岩属于下石炭统^①。近年围绕这些火山岩,锆石 U-Pb 法测得:京希流纹岩年龄 $(386\pm 9.3)\text{Ma}$ ^[39]、阿希安山岩年龄 $(363.2\pm 5.7)\text{Ma}$ ^[40]、塔乌尔别克安山岩年龄 $(347.2\pm 1.6)\text{Ma}$ ^[41]。这些调查和研究成果反映吐拉苏地区大哈拉军山组火山岩集中喷发于晚泥盆世—早石炭世。克峡希小岩体群侵位于 $(357.2\pm 3.0)\sim (348.0\pm 2.2)\text{Ma}$,属晚泥盆世—早石炭世,与吐拉苏地区大哈拉军山组火山岩处在同一个时代。结合上文述及克峡希小岩体群具有与吐拉苏地区大哈拉军山组火山岩明显相似的微量元素组成特征及它们的同源岩浆性质,可以推测大哈拉军山组火山岩与克峡希小岩体群应属同源岩浆晚泥盆世—早石炭世喷出—侵入的统一岩浆序列。

西天山处在中亚造山带的西南部,吐拉苏地区位于北天山北部,属于哈萨克斯坦—伊犁板块东北部边缘,是晚古生代北天山洋向南向哈萨克斯坦—伊犁板块之下俯冲形成的岛弧环境^[39,41-43]。吐拉苏地区大哈拉军山组火山岩代表北天山洋向伊犁板块俯冲过程中形成的火山弧,弧火山岩的岩浆源区是受俯冲带流体交代的地幔楔^[33,39],这种火山弧背景和俯冲带流体交代地幔楔起源的岩浆对斑岩型铜矿的形成十分有利。

中外学者研究表明,古亚洲洋演化导致西天山晚古生代出现“西南太平洋型”多岛洋环境^[12,14-15,18-19,21,23-27]。在“西南太平洋”地区^[11,14],斑岩铜成矿系统(porphyry copper system)最为发育,例如:菲律宾吕宋岛中央科迪勒拉岛弧带的 Mankayan 矿集区面积约 30 km^2 ,产有 Far Southeast、Guinaoang 超大型斑岩铜金矿床、Lepanto 超大型高硫型浅成低温热液金矿床、Victoria 中硫型浅成低温热液金银矿床、Teresa 低硫型浅成低温热液金矿床,构成新生代世界级斑岩—高硫—中硫—低硫浅成低温热液铜金银多金属成矿系统^[12,15]。在 Mankayan 西 100 km 的 Baguio 矿集区,Acupan、Antamok、Itogon 等浅成低温热液金矿床与 Sto. Thomas II、Nugget Hill、Kennon 斑岩铜金矿以及 Mexico 夕卡岩型铜金矿紧密共生^[21]。印度尼西亚北部 Tombulilato 矿集区发育斑岩—浅成低温型金银铜成矿系统^[19]。巴布亚新几内亚东北部 Lihir 岛发育 Ladolam 斑岩—浅成低温热液型金成矿系统^[18]。吐拉苏地区是西天山晚古生代重要浅成低温热液金矿集区^[7-8],产有京希、伊尔曼德等高硫型^[9]和阿希、塔乌尔别克等低硫型^[44]浅成低温热液金矿床。本着“将今论古”的原则,可推测吐拉苏地区应具备斑岩铜成矿系统发生、发展的客观条件,克峡希小岩体群及其中已经发现的铜矿化现象无疑会增强人们在这个地区实现斑岩铜金找矿突破的信心。

5 结论

西天山吐拉苏金矿集区北部区原“恰尔巴赫特”岩体实际上是由成群产出的辉石闪长岩、闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩和闪长玢岩等小岩体组成,即克峡希“小岩体群”,其中部分小岩体中已发现斑岩型铜矿化。

克峡希小岩体群中不同侵入体均属钙碱性系列,弧岩浆性质明显,彼此之间微量元素组成近一致且与本地区同时代火山岩微量元素组成相似,同属北天山洋向南向伊犁板块之下俯冲岛弧环境中同源岩浆晚泥盆世—早石炭世喷出—侵入的统一岩浆序列。

在大约 10 Ma 期间,克峡希地区发生了 4~

① 新疆地质矿产开发局. 1:20 万赛里木湖幅(L-44-XXXIV)区域地质报告. 乌鲁木齐,1987.

5次同源岩浆侵入,依次形成辉石闪长岩((357.2 ± 3.0) Ma)、石英闪长岩((356.4 ± 2.2) Ma)、花岗闪长岩((350.8 ± 3.8) Ma)、闪长玢岩((348.0 ± 2.2) Ma),它们与吐拉苏地区下石炭统火山岩同时代。

西天山吐拉苏地区浅成低温热液金矿集区具备斑岩铜金成矿系统发生、发展的有利地质条件,有望实现斑岩铜矿找矿的重要突破。

参考文献

- [1] Khashgerel B E, Rye R O, Hedenquist J W, et al. Geology and reconnaissance stable isotope study of the Oyu Tolgoi porphyry Cu-Au system, South Gobi, Mongolia[J]. Economic Geology, 2006, 101: 503-522.
- [2] 王福同,冯京,胡建卫,等.新疆土屋大型斑岩铜矿床特征及发现意义[J].中国地质,2001,28(1):36-39.
- [3] 薛春纪,赵战锋,吴淦国,等.中亚构造域多期叠加斑岩铜矿化:以阿尔泰东南缘哈腊苏铜矿床地质、地球化学和成岩成矿时代研究为例[J].地学前缘,2010,17(2):53-82.
- [4] 张锐,张云孝,佟更生,等.新疆西准包古图地区斑岩铜矿找矿的重大突破及意义[J].中国地质,2006,33(6):1354-1360.
- [5] 吴淦国,董连慧,薛春纪.新疆北部主要斑岩铜矿带[M].北京:地质出版社,2008.
- [6] 赵晓波,薛春纪,张招崇,等.西天山吐拉苏盆地安山岩中发现岩石包体及地质找矿意义[J].地质学报,2012,86(11):1781-1791.
- [7] 董连慧,田昌烈.西天山吐拉苏—也里莫墩金成矿带简述[J].地质与资源,2001,10(2):85-90,101.
- [8] 翟伟,杨荣勇,漆树基.新疆伊宁县伊尔曼德热泉型金矿床地质特征及成因[J].矿床地质,1999,18(1):50-57.
- [9] 肖龙,王方正,付民禄,等.伊犁京希—伊尔曼德金矿床的热液蚀变及成矿流体演化特征[J].地质学报,2001,75(4):518-526.
- [10] 沙德铭,董连慧,毋瑞身,等.西天山地区浅成低温热液型金矿地质特征及成矿模式[J].西北地质,2003,36(2):50-59.
- [11] Sillitoe R H. Porphyry copper systems[J]. Economic Geology, 2010, 105: 3-41.
- [12] Chang Z, Hedenquist J W, White N C, et al. Exploration tools for linked porphyry and epithermal deposits: Example from the Mankayan intrusion-centered Cu-Au district, Luzon, Philippines[J]. Economic Geology, 2011, 106: 1365-1398.
- [13] Durrig P, Rowins S M, Mckinley B S, et al. Examining potential genetic links between Jurassic porphyry Cu-Au±Mo and epithermal Au±Ag mineralization in the Toadoggonne district of north-central British Columbia, Canada[J]. Mineralium Deposita, 2009, 44: 463-496.
- [14] Garwin S, Hall R, Watanabe Y. Tectonic setting, geology, and gold and copper mineralization in Cenozoic magmatic arcs of Southeast Asia and the West Pacific[J]. Economic Geology, 2005 100th anniversary volume: 891-930.
- [15] Hedenquist J W, Arribas A, Reynolds T J. Evolution of an intrusion-centered hydrothermal system: Far Southeast-Lepanto porphyry and epithermal Cu-Au deposits, Philippines[J]. Economic Geology, 1998, 93: 373-404.
- [16] Lefort D, Hanley J, Guillon M. Subepithermal Au-Pd mineralization associated with an alkalic porphyry Cu-Au deposit, Mount Milligan, Quesnel Terrane, British Columbia, Canada[J]. Economic Geology, 2011, 106: 781-808.
- [17] Mao J, Zhang J, Pirajno F, et al. Porphyry Cu-Au-Mo-epithermal Ag-Pb-Zn-distal hydrothermal Au deposits in the Dexing area, Jiangxi province, East China: A linked ore system[J]. Ore Geology Reviews, 2011, 43: 203-216.
- [18] Müller D, Kaminski K, Uhlig S, et al. The transition from porphyry-to epithermal-style gold mineralization at Ladolam, Lihir Island, Papua New Guinea: A reconnaissance study[J]. Mineralium Deposita, 2002, 37: 61-74.
- [19] Perelló J. Geology, porphyry Cu-Au, and epithermal Cu-Au-Ag mineralization of the Tombulilato district, North Sulawesi, Indonesia[J]. Journal of Geochemical Exploration, 1994, 50: 221-256.
- [20] Seedorff E, Barton M D, Stavast W J, et al. Root zones of porphyry systems: Extending the porphyry model to depth[J]. Economic Geology, 2008, 103: 939-956.
- [21] Waters P J, Cooke D R, Gonzales R I, et al. Porphyry and epithermal deposits and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of the Baguio District, Philippines[J]. Economic Geology, 2011, 106: 1335-1363.
- [22] 黄仁生.福建紫金山矿田火成岩系列与浅成低温热液-斑岩铜金银成矿系统[J].地质力学学报,2008,14(1):74-86.
- [23] Charvet J, Shu L, Laurent C S, et al. Palaeozoic tectonic evolution of the Tianshan belt, NW China[J]. Science in China: Series D, 2011, 54: 166-184.
- [24] Khain E, Bibikova E, Salnikova E, et al. The Palaeo-Asian ocean in the Neoproterozoic and early Palaeozoic: New geochronologic data and palaeotectonic reconstructions[J]. Precambrian Research, 2003, 122: 329-358.
- [25] Safonova I, Seltmann R, Kröner A, et al. A new concept of continental construction in the Central Asian Orogenic Belt[J]. Episodes, 2011, 34: 186.
- [26] Xiao W, Huang B, Han C, et al. A review of the western part of the Altai: A key to understanding the architecture of accretionary orogens[J]. Gondwana Research, 2010, 18: 253-273.
- [27] Xiao W, Windley B F, Allen M B, et al. Paleozoic multiple accretionary and collisional tectonics of the Chinese Tianshan

- orogenic collage[J]. Gondwana Research, 2013, 23: 1316-1341.
- [28] 漆树基. 伊宁吐拉苏火山盆地构造与金矿成矿关系[J]. 新疆地质, 1999, 17(2): 121-128.
- [29] Long L, Gao J, Klemm R, et al. Geochemical and geochronological studies of granitoid rocks from the Western Tianshan Orogen: Implications for continental growth in the southwestern Central Asian Orogenic Belt[J]. Lithos, 2011, 126: 321-340.
- [30] Ludwig K R. Users Manual for Isoplot/Ex (rev. 3.0): A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel[M]. Berkeley: Berkeley Geochronology Center, Special Publication No. 1, 2003: 1-55.
- [31] Rickwood P C. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements[J]. Lithos, 1989, 22: 247-263.
- [32] Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids[J]. Geological Society of America Bulletin, 1989, 101: 635-643.
- [33] 夏换, 陈根文, 刘群, 等. 西天山吐拉苏盆地大哈拉军山组火山岩地球化学特征及构造意义[J]. 大地构造与成矿学, 2011, 35(3): 429-438.
- [34] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes[C]//Special Publications. London: Geological Society, 1989, 42: 313-345.
- [35] Pearce J A, Harris N B, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. Journal of Petrology, 1984, 25: 956-983.
- [36] Pearce J A. Sources and settings of granitic rocks[J]. Episodes, 1996, 19: 120-125.
- [37] Fan W M, Guo F, Wang Y J, et al. Late Mesozoic volcanism in the northern Huaiyang tectono-magmatic belt, central China: Partial melts from a lithospheric mantle with subducted continental crust relicts beneath the Dabie orogen[J]. Chemical Geology, 2004, 209: 27-48.
- [38] Jahn B M, Wu F, Lo C H, et al. Crust-mantle interaction induced by deep subduction of the continental crust: Geochemical and Sr-Nd isotopic evidence from post-collisional mafic-ultramafic intrusions of the northern Dabie complex, central China[J]. Chemical Geology, 1999, 157: 119-146.
- [39] 安芳, 朱永峰. 西北天山吐拉苏盆地火山岩 SHRIMP 年代学和微量元素地球化学研究[J]. 岩石学报, 2008, 24(12): 2741-2748.
- [40] 翟伟, 孙晓明, 高俊, 等. 新疆阿希金矿床赋矿围岩: 大哈拉军山组火山岩 SHRIMP 锆石年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 2006, 22(5): 1399-1404.
- [41] 唐功建, 王强, 赵振华, 等. 西天山东塔尔别克金矿区安山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学、元素地球化学与岩石成因[J]. 岩石学报, 2009, 25(6): 1341-1352.
- [42] Wang B, Shu L S, Cluzel D, et al. Geochemical constraints on Carboniferous volcanic rocks of the Yili Block (Xinjiang, NW China): Implication for the tectonic evolution of Western Tianshan[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2007, 29: 148-159.
- [43] Wang Q, Wyman D A, Zhao Z H, et al. Petrogenesis of Carboniferous adakites and Nb-enriched arc basalts in the Alatau area, northern Tianshan Range (western China): Implications for Phanerozoic crustal growth in the Central Asia orogenic belt[J]. Chemical Geology, 2007, 236: 42-64.
- [44] 翟伟, 孙晓明, 贺小平, 等. 新疆阿希低硫型金矿床流体地球化学特征与成矿机制[J]. 地质学报, 2007, 81(5): 659-670.