

文章编号 0258-7106(2007)04-0353-08

# 新疆西天山菁布拉克基性杂岩体闪长岩锆石 SHRIMP 定年及其地质意义\*

张作衡<sup>1,2</sup>, 王志良<sup>1</sup>, 王彦斌<sup>3</sup>, 左国朝<sup>4</sup>, 王龙生<sup>1</sup>, 吕林素<sup>2</sup>

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083; 3 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 4 甘肃省地质调查院, 甘肃 兰州 730000)

**摘要** 文章对新疆西天山特克斯县菁布拉克基性杂岩体中辉石闪长岩样品中的锆石进行了 SHRIMP U-Pb 定年研究, 获得了  $(434.4 \pm 6.2)$  Ma 的和谐年龄, 该结果表明菁布拉克岩体的侵位时间为早志留世。结合岩石地球化学分析所揭示的形成环境信息和最新的区域地质资料, 认为菁布拉克岩体的形成与早志留世到早石炭世发生的南天山洋向北与中天山板块的俯冲作用密切相关, 岩浆显现出的岛弧岩浆特点可能是由于洋壳向亏损地幔的俯冲所引起的。

**关键词** 地球化学; 基性杂岩体; 锆石 SHRIMP 测年; 菁布拉克; 西天山

中图分类号: P597+.3 文献标识码: A

## Shrimp zircon U-Pb dating of diorite from Qingbulake basic complex in western Tianshan Mountains of Xinjiang and its geological significance

ZHANG ZuoHeng<sup>1, 2</sup>, WANG ZhiLiang<sup>1</sup>, WANG YanBin<sup>3</sup>, ZUO GuoChao<sup>4</sup>, WANG LongSheng<sup>1</sup>  
and Lü LinSu<sup>2</sup>

(1 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3 Institute of Geology, CAGS, Beijing 100037, China; 4 Gansu Geological Survey, Lanzhou 730000, Gansu, China)

### Abstract

The Qingbulake mafic-ultramafic rock belt is distributed in western Tianshan Mountains of Xinjiang. There are about ten intrusions in the Qingbulake rock belt, with Qingbulake being the largest one. As a part of the copper-nickel sulfide metallogenic belt related to mafic-ultramafic intrusions in northern Xinjiang, it was previously considered to be formed in a tectonic environment similar to that of the Karatunk complex on the southern margin of the Altay orogenic belt and the Huangshandong complex in eastern Tianshan, i. e., in a post-collisional extensional environment. In this study, the authors obtained the high precise SHRIMP zircon U-Pb age of  $(434.4 \pm 6.2)$  Ma for the pyroxene diorite facies of the Qingbulake basic complex. This age represents the diorite formed during Early and Middle Silurian. Geochemical studies of the Qingbulake basic complex show that

\* 本研究得到国家自然科学基金项目(40402012)、地质调查项目(1212010634001, 1212010561603-3)和地质过程与矿产资源国家重点实验室科学基金(GPMR200627)联合资助

第一作者简介 张作衡, 男, 1971年生, 博士, 研究员, 从事矿床学、地球化学研究。E-mail: zuoheng@hotmail.com

收稿日期 2007-04-20; 改回日期 2007-05-28。张绮玲、许德焕编辑。

it is characterized by low content of Ti, depletion of Nb and Ta and enrichment of large lithophile elements and slight enrichment of LREE. The magma also displays some features of inland arc magma. The magma was probably derived from the MORB type depleted mantle, and was not or was even slightly contaminated by the crust or the wall rock during the emplacement. Combined with the recent research achievements on regional tectonic evolution, it is considered that the formation of the complex might have been closely related to Early Silurian subduction of the southern Tianshan oceanic crust to central Tianshan plate.

**Key words:** geochemistry, basic complex, zircon SHRIMP dating, Qingbulake, western Tianshan Mountains

新疆西天山地区的菁布拉克镁铁质-超镁铁质岩带由十余个大小不等的侵入体组成,位于西天山那拉提山脊断裂和伊什基里克山南麓断裂附近(图1),是新疆北部镁铁质-超镁铁质岩带的重要组成部分。前人针对该基性岩带已经开展了部分岩体的测年和 Sr、Nd 同位素研究等工作(王作勋等,1990;郝杰等,1993;倪守斌等,1994,1995;陈江峰等,1995)。但由于缺乏精确的年龄,在判断岩体的成因和形成环境方面一直存在争议。本文对菁布拉克岩体的闪长岩相开展了精确的 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年,并结合岩石地球化学资料,探讨了菁布拉克岩体形成的构造环境和地球动力学背景,对重新认识新疆北部地区铜镍硫化物矿床区域成矿规律和成矿环境以及判断西天山地区地质构造演化过程提供了年代学资料,对指导和部署铜镍矿的找矿具有重要意义。

## 1 地质概况

菁布拉克铜镍矿床及其相关的基性杂岩体位于新疆特克斯县城东南约 120 km 的哈尔克套山北坡,中心地理坐标为东经 82°18'00",北纬 42°56'00"。大地构造位置位于塔里木板块和伊犁板块的交接处,北东东走向的那拉提山脊深断裂是两者之间的缝合线(王作勋等,1990)。该地区岩浆活动强烈,岩浆岩主要分布在那拉提山脊断裂以北,出露有镁铁质-超镁铁质岩和中酸性岩类,前人认为其主要岩浆活动时期为海西期(王作勋等,1990)。菁布拉克镁铁质-超镁铁质岩带由多个大小不等的侵入体组成,分布在那拉提山脊断裂和伊什基里克山南麓断裂附近(图1),菁布拉克是其中最大的一个。典型的层状侵入体分布于大断裂或次级断裂附近,以菁布拉克和喀拉达拉等岩体为代表,分异良好。菁布拉克岩体由闪长岩、辉长岩、橄榄辉长岩、橄榄岩等岩相组成。喀拉达拉岩体由浅色辉长岩、深色辉长岩、橄榄辉长岩和辉绿岩组成。乔勒铁克西和苏鲁两岩体出露面

积较小,仅见辉长岩相。另一些为沿大断裂产出的小岩体,以琼阿乌孜岩体为代表,主要由辉橄岩、辉长岩组成。丘拉克特勒克岩体由辉长岩和辉绿岩组成(陈江峰等,1995)。这些岩体均十分破碎,蛇纹岩化强烈。

菁布拉克含矿岩体侵位于古元古界片麻岩、片岩、角闪岩夹大理岩组成的变质岩系内。岩体地表形态呈一北东向眼球状(图2),长 2.5 km,中部最宽 1.3 km,面积 2.4 km<sup>2</sup>。该岩体分异良好,可划分为 4 个岩相带,各岩相基本呈环状分布,由边部向中心依次为次闪石化辉石闪长岩-辉长岩带、橄榄辉长岩-次闪石化辉石岩带、单辉橄榄岩带和次辉石化辉石岩-橄榄辉长岩带。主要造岩矿物为辉石、角闪石、斜长石、黑云母、橄榄石和不透明金属硫化物等,其各种矿物含量随岩石类型的不同而有较大的变化。岩石普遍遭受不同程度的蚀变,主要为蛇纹石化、绿泥石化、阳起石化、绢云母化和纤闪石化。岩石中常见结构有自形-半自形中-细粒结构、嵌晶结构、辉长结构和反应边结构等典型镁铁质-超镁铁质岩结构特征,以块状构造为主。

## 2 样品及测试方法

进行分析的辉石闪长岩样品 QBL1 采自菁布拉克岩体北部闪长岩相(采样位置见图2)。岩石呈灰黑色,半自形粒状结构,块状构造。主要由斜长石、辉石、角闪石、少量磷灰石和榍石以及金属矿物等组成。

按常规方法分选锆石,最后在双目镜下挑出。将锆石与数粒标准锆石样品 TEM 一起粘在直径为 25 mm 的环氧树脂中,磨至锆石内部暴露,然后进行抛光并镀金,用于阴极发光照片和 SHRIMP U-Pb 分析。阴极发光研究在中国地质科学院矿产资源研究所电子探针实验室完成。SHRIMP U-Pb 分析在北京离子探针中心 SHRIMP II 上完成。详细的分

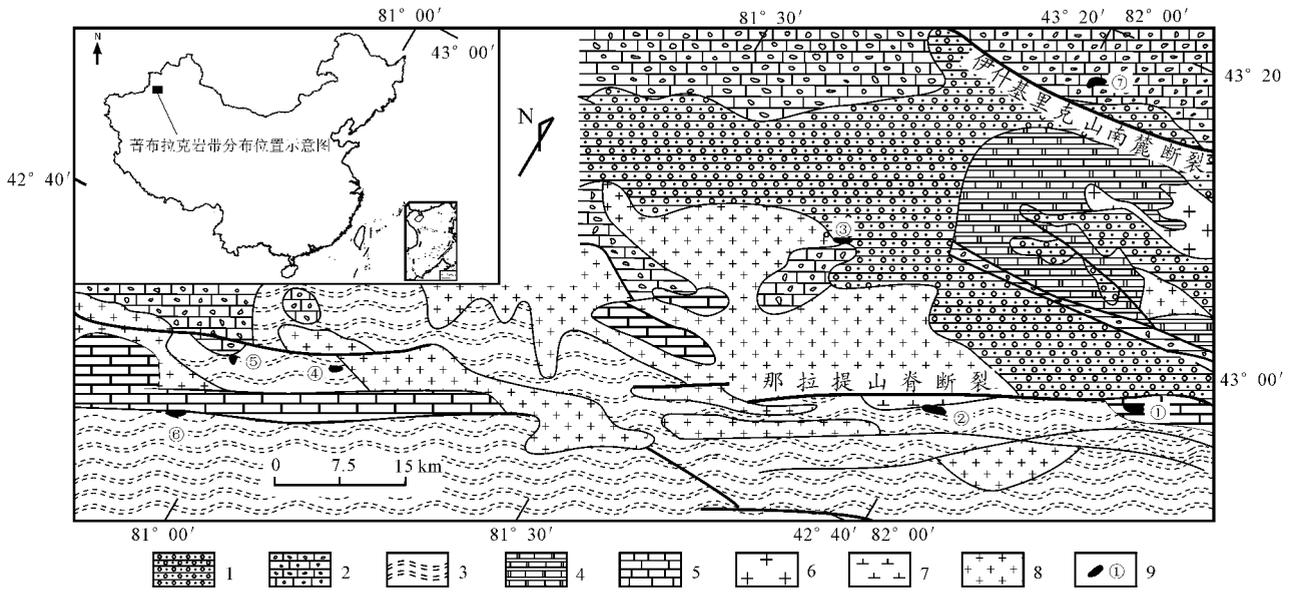


图 1 西天山菁布拉克区域地质简图及岩体分布示意图(据陈江峰等,1995 修改)

1—新生界砂砾岩 2—石炭系灰岩及碎屑岩 3—上志留统片岩、千枚岩 4—震旦系大理岩、片岩 5—古元古界片岩、角闪岩夹大理岩片麻岩 6—海西期花岗岩 7—海西期闪长岩 8—元古宙花岗岩 9—主要镁铁质岩体及其编号：①菁布拉克岩体 ②恰干萨依岩体 ③丘拉克特勒克岩体 ④乔勒铁克西岩体 ⑤苏鲁岩体 ⑥琼阿乌孜岩体 ⑦喀拉达拉岩体

Fig. 1 Geological map of Qingbulake region in western Tianshan Mountains, showing the location of the study area and distribution of the complexes(modified from Chen et al., 1995)

1—Cenozoic sandstone and conglomerate; 2—Carboniferous limestone and clastic rock; 3—Upper Silurian schist and phyllite; 4—Sinian marble and schist; 5—Paleoproterozoic gneiss schist amphibole intercalated with marble; 6—Hercynian granite; 7—Hercynian diorite; 8—Proterozoic granite; 9—Major mafic intrusion and its serial number: ①—Qingbulake; ②—Qiagansayi; ③—Qilaketeleke; ④—Qiaoletiekexi; ⑤—Sulu; ⑥—Qiong 'awuzi; ⑦—Kaladala

析条件和流程同 Williams 等(1987) \ Compston 等(1992) 和刘敦一等(2003)。运用标准锆石 TEM(417 Ma) 进行元素间的分馏校正, 用标准锆石 SL13(572 Ma) 进行所测锆石的 U、Th 和 Pb 含量的标定。普通铅采用直接测定的<sup>204</sup>Pb 进行校正, 单个数据点的误差为 1σ, <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄的加权平均计算采用 ISOPLOT 软件(Ludwig, 1991), 其误差为 2σ, 置信水平为 95%。

### 3 分析结果

该样品中大多数锆石呈短柱状或长柱状, 半透明, 无色至微弱的黄褐色。从锆石的阴极发光照片上可以看出, 锆石发育有比较清楚的韵律环带结构, 显示出岩浆成因的特征。本文选择了其中 14 颗最具代表性的锆石进行了分析。所测锆石的 SHRIMP 分析结果(表 1)显示, 锆石的 U 含量变化于  $88 \times 10^{-6} \sim 293 \times 10^{-6}$ , Th/U 比值为 0.66 ~ 1.11。14 个测试结果给出基本一致的年龄值, <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄范围为 416 ~ 447 Ma。在一致曲线图中, 数据集中

分布在一致曲线上或其附近, <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 的加权平均年龄为  $(434.4 \pm 6.2) \text{Ma}$  (MSWD=0.49)(图 3)。

### 4 讨论及结论

对于菁布拉克一带镁铁质-超镁铁质岩体的成因和形成环境, 前人也做了一些研究工作, 但存在不同认识。王作勋等(1990)认为菁布拉克一带的基性-超基性岩带为被肢解的蛇绿岩残块。郝杰等(1993)也认为是蛇绿混杂岩, 并对岩带中的长阿吾子岩体辉长岩中的辉石进行了 <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 测年, 结果为  $(439.4 \pm 26.7) \text{Ma}$ , 认为其为洋壳年龄, 但倪守斌等对该年龄数据本身提出了异议, 而且该年龄并非菁布拉克岩体的年龄, 他们综合了菁布拉克一带数个基性岩体以全岩为主的 Sm-Nd 等时线年龄后, 指出该岩带的形成年龄为 320 Ma, 而菁布拉克岩体只有 2 个年龄数据, 可信度较差(倪守斌等, 1994)。320 Ma 的年龄与早期对喀拉通克等含矿岩体的测年结果相当(王润民等, 1991; 李华芹等, 1998), 因此认为菁布拉克岩带与其区域碱性花岗岩、阿尔泰山缘

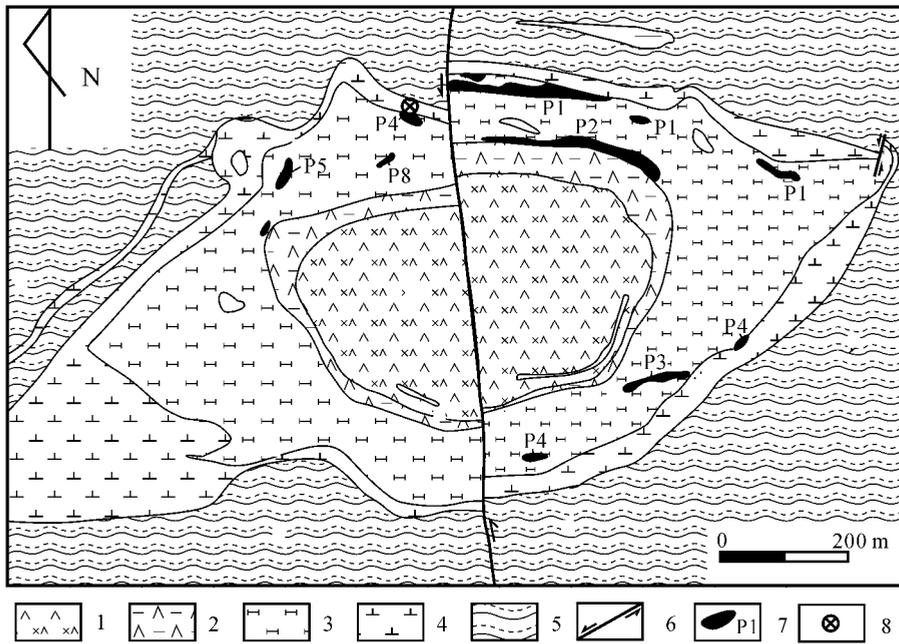


图2 西天山菁布拉克铜镍矿矿区地质图(据新疆维吾尔自治区地质局资料<sup>①</sup>)

1—橄榄辉长岩相 2—辉石橄榄岩相 3—辉石岩相 4—闪长岩相 5—以片麻岩为主的围岩 6—平移断层;7—矿体及编号 8—取样位置

Fig. 2 Geological map of the Qingbulake ore district, western Tianshan Mountains

1—Olivine-gabbro facies; 2—Pyroxene-peridotite facies; 3—Pyroxenite facies; 4—Diorite facies; 5—Gneiss-dominant wall rock;

6—Strike-slip fault; 7—Ore body and its serial number; 8—Sampling site

表1 菁布拉克岩体闪长岩中锆石的 SHRIMP 测年结果

Table 1 SHRIMP U-Pb data of zircon from diorite of Qingbulake basic complex

测点	$^{206}\text{Pb}_x$ /%	U / $10^{-6}$	Th / $10^{-6}$	$^{232}\text{Th}$ / $^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/$ $10^{-6}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄/Ma	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄/Ma	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Pb}$ 年龄/Ma	$^{207}\text{Pb}^*$ / $^{206}\text{Pb}^*$	误差/%	$^{207}\text{Pb}^*$ / $^{235}\text{U}$	误差/%	$^{206}\text{Pb}^*$ / $^{238}\text{U}$	误差/%
QBL1-1	0.35	156	99	0.66	9.21	427 ± 15	380 ± 92	405 ± 19	0.0542	4.1	0.512	5.4	0.0685	3.6
QBL1-2	0.33	162	125	0.80	9.94	443 ± 12	309 ± 81	451 ± 15	0.0525	3.6	0.515	4.5	0.0711	2.7
QBL1-2	0.14	293	281	0.99	17.5	433 ± 11	383 ± 63	417 ± 13	0.0543	2.8	0.521	3.8	0.0695	2.6
QBL1-4	0.42	135	95	0.73	8.02	428 ± 12	541 ± 89	413 ± 20	0.0583	4.0	0.552	4.9	0.0686	2.8
QBL1-5	0.65	169	128	0.78	10.1	432 ± 11	235 ± 73	410 ± 14	0.0509	3.2	0.485	4.1	0.0692	2.7
QBL1-6	0.30	150	114	0.79	8.94	433 ± 11	366 ± 71	410 ± 14	0.0539	3.1	0.516	4.1	0.0694	2.7
QBL1-7	0.27	88	56	0.66	5.23	429 ± 12	510 ± 150	433 ± 31	0.0575	6.7	0.546	7.3	0.0689	2.9
QBL1-8	0.42	110	80	0.75	6.67	439 ± 12	251 ± 110	400 ± 17	0.0512	4.8	0.497	5.6	0.0704	2.9
QBL1-9	0.32	168	163	1.00	10.1	433 ± 11	580 ± 100	414 ± 14	0.0594	4.8	0.568	5.5	0.0695	2.7
QBL1-10	0.10	248	222	0.92	15.3	447 ± 12	483 ± 80	449 ± 16	0.0568	3.6	0.562	4.6	0.0718	2.8
QBL1-11	0.30	200	216	1.11	12.2	441 ± 11	422 ± 74	432 ± 14	0.0552	3.3	0.539	4.2	0.0708	2.6
QBL1-12	0.17	136	103	0.78	8.28	440 ± 11	278 ± 83	426 ± 15	0.0518	3.6	0.505	4.5	0.0706	2.7
QBL1-13	0.00	105	77	0.77	5.98	416 ± 11	401 ± 80	426 ± 16	0.0547	3.6	0.503	4.5	0.0666	2.8
QBL1-14	0.25	182	164	0.93	11.1	441 ± 11	497 ± 78	418 ± 14	0.0571	3.5	0.558	4.4	0.0708	2.6

注:误差为  $1\sigma$ ,  $\text{Pb}_x$  和  $\text{Pb}^*$  分别表示普通铅和放射性成因铅。

喀拉通克和东天山地区的黄山基性-超基性岩体等的形成环境相同,即碰撞造山作用结束后的后碰撞伸展环境。随着 SHRIMP 锆石 U-Pb 法和 Re-Os 等

新方法的应用,针对东天山地区黄山-镜儿泉  $\text{Cu}$ 、 $\text{Ni}$  硫化物矿床集中区和阿尔泰山南缘喀拉通克等岩体产生了一批比较精确而且相对年轻的年龄数

① 新疆维吾尔自治区地质局, 1978. 中国人民共和国区域地质调查报告(1:20万) 莫合尔幅, 内部资料。

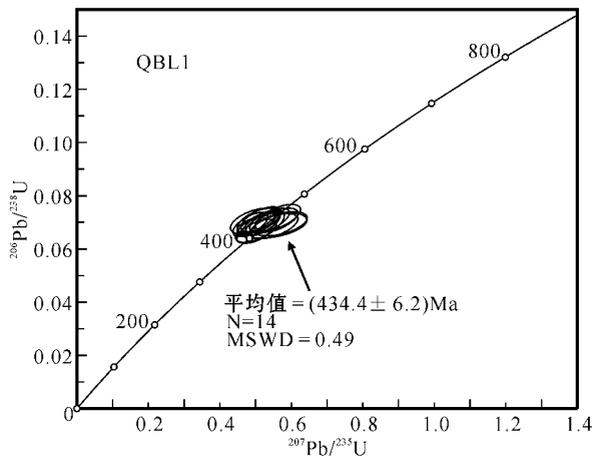


图 3 菁布拉克岩体闪长岩中锆石的 SHRIMP U-Pb 一致曲线图

Fig. 3 Concordia plots of SHRIMP zircon U-Pb analytical results for pyroxene-diorite samples from Qingbulake basic complex

据。最近几年对喀拉通克、黄山东和香山 3 个铜镍硫化物矿石的 Re-Os 同位素测年结果为 298~282 Ma 数据(毛景文等, 2002; 张作衡等, 2005; 李月臣等, 2006), 对与矿化有关的岩体(包括喀拉通克、黄山东、黄山、白石泉、坡十和坡一、海豹滩和恰特卡尔特格等)测定的 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年数据, 得到成岩时代为 285~270 Ma(韩宝福等, 2004; Zhou et al., 2004; 吴华等, 2005; 李华芹等, 2006; 姜常义等, 2006; 李锦轶等, 2006a)。研究结果表明, 这些含矿岩体的形成时代接近, 即石炭纪末至早二叠世之间, 形成于后碰撞的伸展构造环境。与此对比, 菁布拉克岩体几乎很少有新的研究成果报道, 所以作为新疆北部铜镍硫化物矿床的组成部分, 而被笼统认为与其他岩体具有相同成岩年龄和形成环境的观点被延续了下来。

车自成等(1994)和汤耀庆等(1995)认为, 中天山南、北两侧分别存在早古生代的洋盆, 北侧准噶尔洋盆在奥陶纪末(车自成等, 1994)或早志留世(高俊等, 1997)已经封闭; 南侧南天山洋盆在志留纪中晚期开始向北部中天山板块之下俯冲碰撞(肖序常等, 1992; 李华芹等, 1998), 在经历了古生代洋的演化之后, 最终在早石炭世前封闭(高俊等, 1997)。最近, 左国朝等(2006)综合分析了西天山地区和相邻

哈萨克斯坦境内天山区域地质资料(何国琦等, 2004; Alexyutin, 2005), 并通过地质图的比对和衔接, 认为中天山北侧的洋盆更可能是伊犁洋盆, 该洋盆在晚奥陶世开始向南北两侧俯冲, 直到晚志留世闭合, 而在早志留世, 位于中天山南侧的南天山弧后盆地开始打开, 因此认为, 菁布拉克岩体的形成环境可能为拉张环境, 它可能是在拉张环境中由于幔源岩浆的底辟作用所形成<sup>①</sup>。在南天山, 目前已经获得了蛇绿岩形成于震旦纪和志留纪的年代学资料, 在塔里木盆地西北缘, 震旦纪至石炭纪地层具有被动陆缘沉积岩系的特征(朱志新等, 2006), 表明南天山洋盆是在震旦纪打开, 在石炭纪晚期闭合(李锦轶等, 2006b, 2006c)。杨天南等(2006)认为南天山洋的俯冲应该发生在 416 Ma 之前, 晚泥盆世—早石炭世发生的南天山被动大陆边缘与中天山活动大陆边缘的碰撞作用应该是南天山洋闭合后塔里木板块与中天山板块碰撞的结果。朱志新等(2006)测得中天山南缘那拉提山二长花岗岩的锆石年龄为 436 Ma, 表明南天山洋至少在早志留世开始向伊犁-中天山板块俯冲。那拉提山一带的上志留统巴音布鲁克组岛弧型火山岩也证实了南天山洋早古生代的俯冲作用的存在(Gao et al., 1998), 而俯冲作用一直延续到晚古生代(高峻等, 2006; 朱志新等, 2006)。本次研究获得的锆石 SHRIMP(434.4 ± 6.2)Ma 年龄支持了这一观点, 正好位于至少从 436 Ma 开始直到早石炭世结束的俯冲过程时限的早期。

根据岩体的地球化学特征, 菁布拉克岩体的 TiO<sub>2</sub> 含量较低, 高场强元素 Nb、Ta、Zr、Hf、Ti 等相对亏损, 大离子亲石元素 Rb、K、Ba 和 Sr 等富集, 指示了岛弧岩浆的特点(张作衡等, 2006)。研究表明, Nb、Ta、Zr、Hf、Ti 的亏损及大离子亲石元素的富集既可以由岩浆上升过程中遭受强烈的地壳物质的混染引起(Ma et al., 1998), 也可以由岩浆源区存在因俯冲作用进入地幔的地壳物质所致(Tarney et al., 1994; 冯昌前等, 2004; 邱检生等, 2001)。菁布拉克岩体的 La/Sm 比值最高为 2.61, 大多数样品的 Ti/Y 比值主要为 239.76~275.40, 与亏损地幔的 Ti/Y 比值 271(Sun et al., 1989)比较接近。据陈江峰等(1995)的研究结果, 菁布拉克岩体和围岩黑云母片麻岩的 Sr 同位素特征有比较明显的区别。这些特

① 张作衡等, 2006. 新疆北天山西段铜多金属矿找矿方向和勘查模型研究. 研究报告.

点反映出菁布拉克岩浆在侵位过程中受到地壳物质混染的程度较低,岩体的地球化学特点是其源区特征的反映。

通常认为岛弧岩浆的源区有地幔楔中 MORB 型的亏损地幔、洋壳以及洋壳中释放的流体 (Morris et al., 1990; Miller et al., 1995; Plank et al., 1998; 张招崇等, 2005)。该岩体的  $Zr/Nb$  比值大多介于 24 和 69 之间,与 MORB 的  $Zr/Nb$  比值 (10~60, Davidson, 1996) 比较接近,  $Sm/Nd$  的比值为 0.28~0.36,基本上位于 MORB 的范围 (平均值为 0.32, Anderson, 1994),因此推测菁布拉克基性岩的源区可能为 MORB 型的亏损地幔。陈江峰等 (1995) 测定了菁布拉克岩带的 Rb-Sr 和 Sm-Nd 同位素组成,代入本次测得的岩体年龄 434 Ma 计算得出其 ( $^{87}Sr/^{86}Sr$ ) 为 0.70365~0.70815, ( $^{143}Nd/^{144}Nd$ ) 为 0.51187~0.51255,由此计算出层状侵入体的  $\epsilon_{Nd}(t)$  为 +3.8~+6.3,说明源区为亏损的地幔。因此,导致菁布拉克岩体富集 LILE 的原因可能是由俯冲作用引起的 MORB 型亏损地幔和交代岩石圈地幔之间的相互作用引起的。

结合菁布拉克岩石地球化学资料,笔者认为菁布拉克岩体的形成可能与早志留世到早石炭世时发生的南天山洋向北与中天山板块的俯冲作用密切相关,岩浆呈现的岛弧岩浆特点可能是由于洋壳向亏损地幔的俯冲所引起的。本次研究结果说明,菁布拉克岩体与阿尔泰山南缘的喀拉通克和东天山地区的黄山基性-超基性岩体等形成于不同的地球动力学背景,这为重新认识新疆北部铜镍矿床区域成矿规律和拓宽找矿思路提供了重要依据。

另外,菁布拉克岩体的侵入围岩在前人的相关文献和 1978 年出版的 1:20 万区域地质调查报告中认为是中志留统。但最新出版的中国地质图集 (马丽芳等, 2002) 1:250 万中华人民共和国地质图 (中国地质调查局, 2004) 和中国新疆及邻区 1:250 万大地构造图 (何国琦等, 2004) 上都将其划归为古元古界。本次对菁布拉克岩体中的闪长岩进行的 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年结果为  $(434.4 \pm 6.2) Ma$ , 更进一步证明了岩体的侵入地层不可能为中志留统。

致谢 野外工作期间,得到了特克斯县国土资源局矿管科的大力支持,分析过程中得到了北京离子探针中心和中国地质科学院矿产资源研究所电

子探针实验室的帮助,在此表示感谢!

## References

- Alexyutin, M V, Bachtadse V, Alexeiv D V and Nikitina O I. 2005. Paleomagnetism of Ordovician and Silurian rocks from the Chu-Yili and Kandyktas mountains, South Kazakhstan [J]. *Geophysical Journal International*, 162: 321~331.
- Anderson D L. 1994. Komatites and picrites: Evidence that "plume" source is depleted [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 128: 303~311.
- Chen Z C, Liu H F and Liu L. 1994. Formation and evolution of the Middle Tianshan orogenic belt [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~133 (in Chinese).
- Chen J F, Man F S and Ni S B. 1995. Neodymium and strontium isotopic geochemistry of mafic-ultramafic intrusions from Qingbulake rock belt, west Tianshan Mountains, Xinjiang [J]. *Geochimica*, 24 (2): 121~127 (in Chinese with English abstract).
- China Geological Survey. 2004. Geological map of China (1:2 500 000) [M]. Beijing: Sinomaps Press.
- Compston W, Williams I S, Kirschvink, J L Zhang Z C and Ma G G. 1992. Zircon U-Pb ages for the early Cambrian time-scale [J]. *Journal of Geological Society of London*, 149: 171~184.
- Davidson J P. 1996. Deciphering mantle and crustal signatures in subduction zone magmatism [M]. *Subduction top to bottom. Geophys. Monogr.*, 96, Washington D C: American Geophysical Union. 251~262.
- Gao J, Li M, Xiao X, Tang Y and He G. 1998. Paleozoic tectonic evolution of the Tianshan Orogen, northwestern China [J]. *Tectonophysics*, 287: 213~231.
- Gao J, He G Q and Li M S. 1997. Paleozoic orogenic processes of western Tianshan orogen [J]. *Earth Science*, 21(2): 27~32 (in Chinese with English abstract).
- Gao J, Long L L, Qian Q, Huang D Z, Su W and Klemd R. 2006. South Tianshan: A late Paleozoic or a Triassic orogen [J]? *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1049~1061 (in Chinese with English abstract).
- Han B F, Ji J Q, Song B, Chen L H and Li Z H. 2004. SHRIMP U-Pb zircon age of the mafic-ultramafic rocks and geological significance in the Karatungk and Huangshandong, Xinjiang [J]. *Chinese Science Bulletin*, 49(2): 2324~2328 (in Chinese).
- Hao J and Liu X H. 1993. Ophiolite melange time and tectonic evolutionary model in South Tianshan area [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 28(1): 93~95 (in Chinese with English abstract).
- He G Q, Chen S D, Xu X, Li J Y and Hao J. 2004. The map of tectonics of Xinjiang and its neighboring areas (1:2 500 000) [M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese).
- Jiang C Y, Cheng S L, Ye S F, Xia M Z, Jiang H B and Dai Y C. 2006. Lithochemistry and petrogenesis of Zhongposhanbei mafic rock body, at Beishan region, Xinjiang [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(1): 115~126 (in Chinese with English abstract).
- Li H Q, Chen F W, Mei Y P, Wu H, Cheng S L, Yang J Q and Dai Y C. 2006. Isotopic ages of No. 1 intrusive body in Pobei mafic-ultramafic belt of Xinjiang and their geological significance [J]. *Mineral Deposits*, 25(4): 463~469 (in Chinese with English abstract).

- Li H Q, Xie C F, Chang H L, Cai H, Zhu J P and Zhou S. 1998. Study on metallogenic chronology of nonferrous and precious metallic ore deposits in northern Xinjiang, China [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~264 (in Chinese with English abstract).
- Li J Y, Song B, Wang K Z, Li Y P, Sun G H and Qi D Y. 2006a. Permian mafic-ultramafic complexes on the southern margin of the Tula basin, east Tianshan Mountains: Geological records of vertical crustal growth in Central Asia [J]. Acta Geoscientia Sinica, 27(5): 424~466 (in Chinese with English abstract).
- Li J Y, He G Q, Xu X, Li H Q, Sun G H, Yang T N, Gao L M and Zhu Z X. 2006b. Crustal tectonic framework of Northern Xinjiang and adjacent regions and its formation [J]. Acta Geologica Sinica, 80(1): 148~168 (in Chinese with English Abstract).
- Li J Y, Wang K Z, Li Y P, Sun G H, Chu C H, Li L Q and Zhu Z X. 2006c. Geomorphological features, crustal composition and geological evolution of the Tianshan Mountains [J]. Geological Bulletin of China, 25(8): 895~909 (in Chinese with English Abstract).
- Li Y C, Zhao G C, Qu W J, Pan C Z, Mao Q G and Du A D. 2003. Re-Os isotopic dating of the Xiangshan deposit, East Tianshan, NW China [J]. Acta Petrologica Sinica, 22(1): 245~251 (in Chinese with English Abstract).
- Liu D Y, Jian P, Zhang Q, Zhang F Q, Shi Y R, Shi G H, Zhang L Q and Tao H. 2003. SHRIMP dating of adakites in the Tulingkai ophiolite, Inner Mongolia: Evidence for the early Paleozoic subduction [J]. Acta Geologica Sinica, 77(3): 317~327 (in Chinese with English Abstract).
- Ludwig, K R. 1991. Isoplot: A plotting and regression program for radiogenic isotope data [R]. USGS Open-File Report. 1991, 91~445.
- Ma C Q, Li Z C, Ehlers C, Yang K G and Wang R J. 1998. A post-collisional magmatic plumbing system: Mesozoic granitoid plutons from the Dabieshan high-pressure and ultrahigh-pressure metamorphic zone, east-central China [J]. Lithos, 45: 431~456.
- Ma C Q, Ming H L and Yang K G. 2004. An Ordovician magmatic arc at the northern foot of Dabie mountain: Evidence from geochronology and geochemistry of intrusive rocks [J]. Acta Petrologica Sinica, 20(3): 393~402 (in Chinese with English abstract).
- Ma L F, Qiao X F, Min L R, Fan B X and Ding X Z. 2002. Geological atlas of China [M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese).
- Mao J W, Yang J M, Qu W J, Du A D, Wang Z L and Han C M. 2002. Re-Os age of Cu-Ni ores from the Huangshandong Cu-Ni sulfide deposit in the East Tianshan Mountains and its implication for geodynamic processes [J]. Mineral Deposits, 21(4): 323~330 (in Chinese with English abstract).
- Miller D M, Goldstein S L and Langmuir C H. 1995. Cerium/lead and lead isotope ratios in arc magmas and the enrichment in lead of contents [J]. Nature, 368: 514~520.
- Morris J D, Leeman W P and Tera F. 1990. The subducted component in island arc lavas: Constraints from Be isotope and B-Be systematics [J]. Nature, 344: 31~36.
- Ni S B, Man F S and Chen J F. 1994. Sm-Nd isotope ages of basic and ultrabasic rocks from the Qingbulake belt, Xinjiang [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 13(3): 227~231 (in Chinese with English abstract).
- Ni S B, Man F S and Chen J F. 1995. REE and Sr-Nd isotopic study of Qiong 'awuzi ultramafic intrusion, West Tianshan [J]. Acta Petrologica Sinica, 11(1): 65~70 (in Chinese with English abstract).
- Plank T and Langmuir C H. 1998. The chemical composition of subducting sediment and its consequences for the crust and mantle [J]. Chemical Geology, 145: 325~394.
- Qiu J S, Xu X S and Luo Q H. 2001. The <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar age of enriched potassic igneous rocks and lamprophyre and discussion on their source region [J]. Chinese Science Bulletin, 46(18): 1500~1508 (in Chinese).
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication for mantle composition and process [C]. In: Saunders A D, Norry M J, eds. Magmatism in the ocean basins [M]. Geological Society, London, Special Publication, 42: 313~345.
- Tang Y Q, Gao J and Zhao M. 1995. The ophiolites and blueschists in the southwestern Tianshan orogenic belt [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~133 (in Chinese).
- Tarney J and Jones C E. 1994. Trace element geochemistry of orogenic igneous rocks and crustal growth models [J]. Journal of the Geological Society (London), 151: 855~868.
- Wang R M and Zhao C L. 1991. No. 1 Cu-Ni sulfide deposit in Karatungk, Xinjiang [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~298 (in Chinese).
- Wang Z X, Wu J C and Lu X C. 1990. The poly-cycle tectonic evolution and mineralization of Tianshan Mountains [M]. Beijing: Science Press. 83~100 (in Chinese).
- Williams I S and Calesson S. 1987. Isotope evidence for the Precambrian province and Caledonian metamorphism of high grade paragneiss from the Seve Nappes, Scandinavian Caledonides, II. Ion microprobe air-con U-Th-Pb [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 97: 205~217.
- Wu H, Li H Q, Mo X H, Chen F W, Lu Y F, Mei Y P and Deng G. 2005. Age of the Baishiquan mafic-ultramafic complex, Hami, Xinjiang and its geological significance [J]. Acta Geologica Sinica, 79(4): 498~502 (in Chinese with English abstract).
- Xiao X C, Tang Y Q, Feng Y M, Zhu B Q, Li J Y and Zha M. 1992. Tectonic evolution of the north Xinjiang and its adjacent regions [J]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~169 (in Chinese).
- Yang T N, Li J Y, Sun G H and Wang Y B. 2006. Earlier Devonian active continental arc in Central Tianshan: Evidence of geochemical analyses and zircon SHRIMP dating on mylonitized granitic rock [J]. Acta Petrologica Sinica, 22(1): 41~48 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Z C, Yan S H, Chen B L, Zhou G, He Y S, Chai F M and He L X. 2005. Middle Devonian picrites of south margin of Altay orogenic belt and implications for tectonic setting and petrogenesis [J]. Earth Sciences, 30(3): 289~297 (in Chinese with English abstract).
- 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 trace on the ore-forming materials for Cu-Ni sulfide ores of the Karatungk deposit in northern Xinjiang [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 24(4): 285~293 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Z H, Wang Z L, Mao J W, Chai F M, Yang F Q and Yang J M. 2006. Geochemistry of the Qingbulake basic complex in Western

- Tianshan [J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(7): 1005~1016 (in Chinese with English abstract).
- Zhou M F, Michael L C, Yang Z X, Li J W and Sun M. 2004. Geochemistry and petrogenesis of 270 Ma Ni-Cu-(PGE) sulfide-bearing mafic intrusions in the Huangshan district, eastern Xinjiang, northwest China: Implications for the tectonic evolution of the Central Asian orogenic belt [J]. *Chemical Geology*, 209: 233~257.
- Zhu Z X, Wang K Z, Zheng Y J, Sun G H, Zhang C and Li Y P. 2006. Zircon SHRIMP dating of Silurian and Devonian granitic intrusions in the southern Yili Block, Xinjiang and preliminary discussion on their tectonic setting [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1193~1200 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 车自成, 刘洪福, 刘良. 1994. 中天山造山带的形成与演化 [M]. 北京: 地质出版社. 1~133.
- 陈江峰, 满发胜, 倪守斌. 1995. 西天山菁布拉克岩带基性-超基性岩的 Nd, Sr 同位素地球化学 [J]. *地球化学*, 24(2): 121~127.
- 高俊, 何国琦, 李茂松. 1997. 西天山造山带的古生代造山过程 [J]. *地球科学*, 22(1): 27~32.
- 高俊, 龙灵利, 钱青, 黄德志, 苏文, Klemd R. 2006. 南天山: 晚古生代还是三叠纪碰撞造山带 [J]? *岩石学报*, 22(5): 1049~1061.
- 韩宝福, 李建清, 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(2): 2324~2328.
- 郝杰, 刘小汉. 1993. 南天山蛇绿混杂岩形成时代及其大地构造意义 [J]. *地质科学*, 28(1): 93~95.
- 何国琦, 成守德, 徐新, 李锦轶, 郝杰. 2004. 中国新疆及邻区大地构造图 [1:2 500 000] [M]. 北京: 地质出版社.
- 姜常义, 程松林, 叶书峰, 夏明哲, 姜寒冰, 代玉财. 2006. 新疆北山地区中坡山北镁铁质岩石地球化学与岩石成因 [J]. *岩石学报*, 22(1): 115~126.
- 李华芹, 谢才富, 常海亮, 蔡红, 朱家平, 周肃. 1998. 新疆北部有色贵金属矿床成矿作用年代学 [M]. 北京: 地质出版社. 264页.
- 李华芹, 陈富文, 梅玉萍, 吴华, 程松林, 杨甲全, 代玉财. 2006. 新疆坡北基性-超基性岩带 I 号岩体同位素年龄及其地质意义 [J]. *矿床地质*, 25(4): 463~469.
- 李锦轶, 宋彪, 王克卓, 李亚萍, 孙桂华, 齐得义. 2006a. 东天山吐哈盆地南缘二叠纪幔源岩浆岩 [J]. *地球学报*, 27(5): 424~446.
- 李锦轶, 何国琦, 徐新, 李华芹, 孙桂华, 杨天南, 高立明, 朱志新. 2006b. 新疆北部及邻区地壳构造格架及其形成过程的初步探讨 [J]. *地质学报*, 80(1): 148~168.
- 李锦轶, 王克卓, 李亚萍, 孙桂华, 褚春华, 李丽群, 朱志新. 2006c. 天山山脉地貌特征、地壳组合与地质演化 [J]. *地质通报*, 25(8): 895~909.
- 李月臣, 赵国春, 屈文俊, 潘成泽, 毛启贵, 杜安道. 2006. 新疆香山铜镍硫化物矿床 Re-Os 同位素测定 [J]. *岩石学报*, 22(1): 245~251.
- 刘敦一, 简平, 张旗, 张福勤, 石玉若, 施光海, 张履桥, 陶华. 2003. 内蒙古图林凯蛇绿岩中埃达克岩 SHRIMP 测年: 早古生代洋壳俯冲消减的证据 [J]. *地质学报*, 77(3): 317~327.
- 马昌前, 明厚利, 杨坤光. 2004. 大别山北麓的奥陶纪岩浆弧: 侵入岩年代学和地球化学证据 [J]. *岩石学报*, 20(3): 393~402.
- 马丽芳, 乔秀夫, 闵隆瑞, 范本贤, 丁孝忠. 2002. 中国地质图集 [M]. 北京: 地质出版社.
- 毛景文, 杨建民, 屈文俊, 杜安道, 王志良, 韩春明. 2002. 新疆黄山东铜镍硫化物矿床 Re-Os 同位素测定及其地球动力学意义 [J]. *矿床地质*, 21(4): 323~330.
- 倪守斌, 满发胜, 陈江峰. 1994. 新疆菁布拉克基性超基性岩带的 Sm-Nd 同位素年龄 [J]. *岩石矿物学杂志*, 13(3): 227~231.
- 倪守斌, 满发胜, 陈江峰. 1995. 西天山琼阿乌孜超基性岩体的稀土元素和 Sr, Nd 同位素研究 [J]. *岩石学报*, 11(1): 65~70.
- 邱检生, 徐夕生, 罗清华. 2001. 鲁西富钾火山岩和煌斑岩的  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  定年及源区示踪 [J]. *科学通报*, 46(18): 1500~1508.
- 汤耀庆, 高俊, 赵民. 1995. 西南天山蛇绿岩与蓝片岩 [M]. 北京: 地质出版社. 1~133.
- 王润民, 赵昌龙. 1991. 新疆喀拉通克一号铜镍硫化物矿床 [M]. 北京: 地质出版社. 1~298.
- 王作勋, 邬继昌, 吕喜朝. 1990. 天山多旋回构造演化与成矿 [M]. 北京: 科学出版社. 83~100.
- 吴华, 李华芹, 莫新华, 陈富文, 路远发, 梅玉萍, 邓岗. 2005. 新疆哈密白石泉铜镍矿区基性-超基性岩的形成时代及其地质意义 [J]. *地质学报*, 79(4): 498~502.
- 肖序常, 汤耀庆, 冯益民, 朱宝清, 李锦轶, 赵民. 1992. 新疆北部及其邻区大地构造 [M]. 北京: 地质出版社. 1~169.
- 杨天南, 李锦轶, 孙桂华, 王彦斌. 2006. 中天山早泥盆世陆弧: 来自花岗质糜棱岩地球化学及 SHRIMP-U/Pb 定年的证据 [J]. *岩石学报*, 22(1): 41~48.
- 张招崇, 闫升好, 陈柏林, 周刚, 何永胜, 柴凤梅, 何立新. 2005. 阿尔泰山南缘中泥盆世苦橄岩及其大地构造和岩石学意义 [J]. *地球科学*, 30(3): 289~297.
- 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.
- 张作衡, 王志良, 毛景文, 柴凤梅, 杨富全, 杨建民. 2006. 西天山特克斯县菁布拉克基性杂岩体的地球化学特征 [J]. *地质学报*, 80(7): 1005~1016.
- 中国地质调查局. 2004. 中华人民共和国地质图 (1:250万) [M]. 北京: 中国地图出版社.
- 朱志新, 王克卓, 郑玉洁, 孙桂华, 张超, 李亚萍. 2006. 新疆伊犁地块南缘志留纪和泥盆纪花岗岩侵入体锆石 SHRIMP 定年及其形成时构造背景的初步探讨 [J]. *岩石学报*, 22(5): 1193~1200.