第 47 卷 第 4 期
2014 年(总 194 期)

西 北 地 质
NORTHWESTERN GEOLOGY

Vol. 47 No. 4
2014(Sum194)

新疆阿尔金长沙沟一带奥陶纪辉长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地球化学特征

徐旭明，郭金城，陈海燕，段先乐，张正平，张志超

(河北省区域地质矿产调查研究所，河北 廊坊 065000)

摘 要：通过对新疆阿尔金长沙沟一带详细的野外地质调查，笔者首次解体出了奥陶纪辉长岩。采用高精度 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年法获得了其$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄加权平均值为(444.9±3.4)Ma(n=9，MSWD=1.83)，可能代表了南阿尔金洋盆封闭后的一次岩浆事件。对岩石地球化学研究，表明该区辉长岩分异指数 DI=35.26～44.76，固结指数 SI=20.24～31.43，反映岩浆结晶分异程度较低；里特曼指数 σ=3.26～9.49，A/CNK=0.75～0.82，属准铝质钙碱-碱性系列；稀土总量较高，$\sum$REE=237.39×10^{-6}～329.26×10^{-6}，$(La/Yb)_N$=6.14～8.55，轻、重稀土分馏较明显，REE 配分曲线向右缓倾，Eu 负异常不明显；Ba、Hf、Rb、Th、U 含量明显偏高；Rb/Sr=0.04～0.47，明显低于陆壳平均值。结合区域地质背景及 R1-R2 图解指示：该套辉长岩应形成于板块碰撞前-碰撞后的抬升阶段，主要受阿尔金南深大断裂控制，为伸展构造环境下形成的幔源型侵入岩，可能为南阿尔金洋盆封闭后最近的一次伸展事件的产物。

关键词：SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄；辉长岩；奥陶纪；地球化学；新疆

中图分类号：P597 **文献标识码**：A **文章编号**：1009-6248(2014)04-0156-07

SHRIMP Zircon U-Pb Age and Geochemical Characteristics of Ordovician Gabbro from Altun, Xinjiang Province

XU Xu-ming, GUO Jin-cheng, CHEN Hai-yan, DUAN Xian-le,
ZHANG Zheng-ping, ZHANG Zhi-chao

(*Hebei Institute of Regional Geological and Mineral Resource Survey*, *Langfang* 065000, *China*)

Abstract: The Ordovician gabbro was firstly discovered in Changshangou, Xinjiang province. The authors got for the first time the zircon U-Pb age [444.9±3.4 Ma (n=9, MSWD=1.83)] of gabbro, whose occurence may represent a magmatic event after the closure of south Altun ocean basin. Geochemical analysis show that the differentiation index (DI) is 35.26 to 44.76 and the solidification index (SI) is 20.24 to 31.43, which reflects a lower differentiation degree of magmatic crystallization; the values of Rittmann index (3.26-9.49) and A/CNK (0.75-0.82) indicates that the gabbro is quasi-aluminous calc-alkaline to alkaline series; the content of REE is relatively high ($\sum$REE =237.39×10^{-6}-329.26×10^{-6}), the fractionation of LREE and HREE is obvious ($(La/Yb)_N$=6.14-8.55), the REE patterns show right oblique feature and unobvious

收稿日期：2014-07-15；**修回日期**：2014-10-30

基金项目：中国地质调查局基础调查项目“新疆阿尔金地区 1∶5万(J45E012015、J45E012016、J45E012017、J45E013015、J45E013016、J45E013017 六幅区调”(1212011085033)

作者简介：徐旭明(1973-)，男，高级工程师，长期从事区域地质矿产调查与研究工作。E-mail：hbqdxxm@sina.com

negative Eu anomaly. Trace elements show enrichment of Ba, Hf, Rb, Th, U; the value of Rb/Sr is from 0.04 to 0.47, clearly lower than the average of continental crust. Combined with regional geological background and R1-R2 diagram, the authors hold that the gabbro is mantle-derived intrusive rock resulted from the plate uplift stage from pre-collision to post-collision, controlled by deep and major faults on the south of Altun. It is considered that the gabbro was formed in an extensional tectonic environment, probably be a result of lately extensional event after the closure of south Altun ocean basin.

Key words: SHRIMP Zircon U-Pb age; ordovician; gabbro; geochemistry; Xinjiang

侵入岩通常能较好的指示其形成的构造环境,不同构造环境也往往形成特定的侵入岩岩石组合。新疆阿尔金地区长沙沟一带奥陶纪基性侵入岩分布于阿尔金南断裂两侧,前人曾做过一些研究(广西壮族自治区地质调查院,2003;西安地质矿产研究所,2002),认为该地区古生代侵入岩主要由中酸性花岗岩组成,形成时代为志留纪—泥盆纪。笔者参加了新疆阿尔金地区 1∶5万 J45E012015 等 6 幅区调项目。通过野外调查,结合锆石 U-Pb(SHRIMP)测年结果,首次在长沙沟一带解体出基性侵入岩辉长岩,确定其形成于奥陶纪,分析了其岩石学和岩石地球化学特征,结合区域地质概况,认为其与早古生代南阿尔金洋盆封闭关系密切。

1　区域地质背景

研究区位于青藏高原北缘,构造上属于阿帕-芒崖早古生代蛇绿构造混杂岩带(何国琦,1994),是研究阿尔金山构造演化的有利地段。出露地层主要有蓟县纪木孜萨依组和金雁山组,青白口纪小泉达坂组、冰沟南组和平洼沟组,奥陶纪祁漫塔格群,上新世狮子沟组(图 1)。祁漫塔格群以灰色、绿灰色凝灰质不等粒岩屑长石砂岩、凝灰质含砂质薄层粉砂岩、中粒长石岩屑砂岩、薄层粉砂岩为主,夹不稳定含凝灰质含砾岩屑长石砂岩、凝灰质含砂质岩屑砾岩。出露侵入岩包括青白口纪中细粒变质花岗闪长岩、中细粒变质二长花岗岩,奥陶纪中细粒辉长岩、细粒辉绿辉长岩和中粒石英二长闪长岩,志留纪二长岩,泥盆纪二长花岗岩。其中,奥陶纪中细粒辉长岩、细粒辉绿辉长岩侵入了祁漫塔格群及其之前的地质体,被志留纪及泥盆纪酸性侵入岩侵入。从研究区奥陶纪基性侵入岩的空间分布来看,其主要受南阿尔金深大断裂控制。

2　样品采集及描述

研究样品采自新疆阿尔金长沙沟一带南部。辉长岩岩石呈暗灰、黑灰色,中粒半自形粒状结构,块状构造,并为后期的脉体所侵入(图 2a),岩石主要由斜长石、角闪石、辉石及黑云母组成,粒径一般为 2～5 mm,个别 0.2～2.0 mm。斜长石呈半自形板状,可见聚片双晶,局部可见环带构造,含量为 50%～55%;角闪石呈半自形柱状,多色性明显:Ng′:绿色,Np′:浅黄绿色,含量为 5%～10%;辉石呈半自形柱、粒状,杂乱分布,含量 5%～10%;黑云母呈褐色,多色性显著:Ng′:棕色,Np′:浅黄色,含量 15%～20%。副矿物为不透明矿物、磷灰石、榍石等(图 2b)。

3　测试方法及结果

3.1　辉长岩岩石地球化学特征

本次 4 件辉长岩样品主微量元素测试在河北地矿局廊坊实验室完成。主量元素采用 XRF 法在荷兰帕纳科公司研制的 Axios X 射线荧光光谱仪上测定,分析精度一般优于 2%;稀土和微量元素采用美国赛默飞世尔科技公司(Thermo Fisher Scientific)研制的 X Series II 型等离子体光质谱仪(ICP-MS)测定,并以 GSD9 标准样做分析样品元素浓度的校正标准,分析精度一般优于 1%～5%。分析结果见表 1。SiO_2 含量为 46.51%～50.90%,Al_2O_3 含量为 15.88%～17.85%,FeO 含量为 6.78%～10.64%,Fe_2O_3 含量为 2.54%～3.92%,CaO 含量为 6.75%～8.99%,MgO 含量为 4.04%～7.03%,Na_2O 含量为 2.98%～3.26%,K_2O 含量为 1.65%～2.75%;$CaO+Na_2O+K_2O > Al_2O_3 > Na_2O+$

K_2O，属正常类型；分异指数 $DI=35.26\sim44.76$，固结指数 $SI=20.24\sim31.43$，反映岩浆结晶分异程度较低；里特曼指数 $\sigma=3.26\sim9.49$，属钙碱-碱性系列。

稀土总量较高，$\sum REE=237.39\times10^{-6}\sim329.26\times10^{-6}$，平均 278.57×10^{-6}；LREE/HREE=7.70～9.49，$(La/Yb)_N=6.14\sim8.55$，轻、重稀土分馏较明显，稀土配分模式图为右倾斜曲线(图 3)，属轻稀土富集型；δEu=0.86～0.95，Eu 负异常不明显。

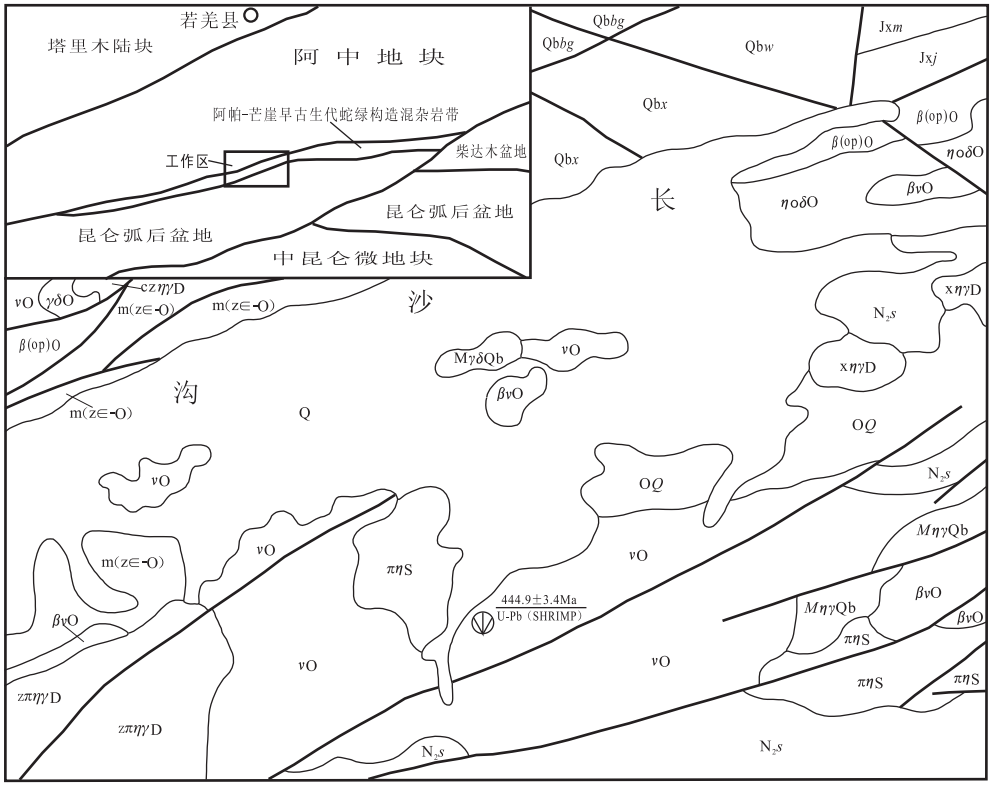

图 1 新疆阿尔金地区长沙沟一带地质草图

Fig. 1 Simplified geological map from Aerjin, Xinjiang province

Q. 第四系；N_2s. 上新世狮子沟组；OQ. 奥陶纪祁漫塔格群；m(z∈-O). 构造混杂岩带；Qbx. 青白口纪小泉达坂组；Qbw. 青白口纪平洼沟组；Qbbg. 青白口纪冰沟南组；Jxj. 蓟县纪金雁山组；Jxm. 蓟县纪木孜萨依组；$x\eta\gamma$D. 泥盆纪细粒二长花岗岩；$z\pi\eta\gamma$D. 泥盆纪中粒斑状二长花岗岩；$cz\eta\gamma$D. 泥盆纪粗中粒二长花岗岩；ηoS. 志留纪石英二长岩；$\pi\eta\delta$S. 志留纪斑状二长岩；$\eta o\delta$O. 奥陶纪石英二长闪长岩；βvO. 奥陶纪辉绿辉长岩；vO. 奥陶纪辉长岩；$M\gamma\delta$Qb. 青白口纪变质花岗闪长岩；$M\eta\gamma$Qb. 青白口纪变质二长花岗岩；β(op)O. 玄武岩岩块(蛇绿岩)

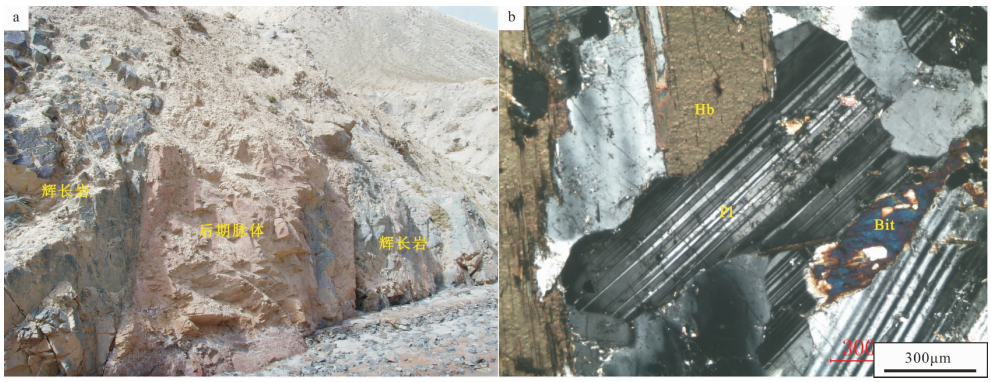

图 2 辉长岩样品采集点野外照片(a)及镜下特征(b)图

Fig. 2 Photographs (a) and microscopic features (b) of gabbro

Hb. 角闪石；Pl. 斜长石；Bit. 黑云母

与维氏基性岩微量元素丰度相比,Nb 含量相近,Sr、Ta、Zr 含量偏高,Ba、Hf、Rb、Th、U 含量明显高。Rb/Sr=0.04～0.47,明显低于陆壳平均值,而高于地幔平均值。

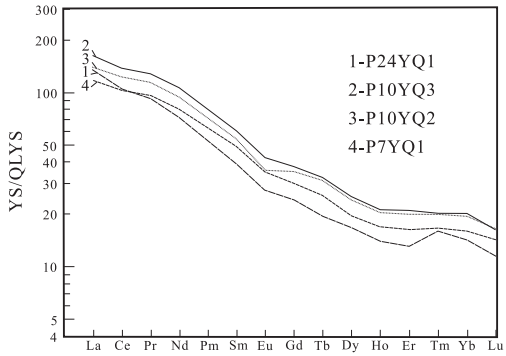

图 3　辉长岩稀土元素配分模式图

(底图据 Boynton,1984)

Fig. 3　Chondrite-normalized REE distribution patterns of gabbro

表 1　主量、微量和稀土元素分析结果表

Tab. 1　Analytical results of major, trace elements and REE of the samples for gabbro from Aerjin, Xinjiang

样号	P24YQ2	P10YQ3	P10YQ2	P7YQ1
SiO_2	46.51	46.64	46.91	50.90
Al_2O_3	17.27	16.45	15.88	17.85
TiO_2	1.21	2.64	2.78	1.38
Fe_2O_3	3.92	3.12	2.54	2.80
FeO	6.78	9.41	10.64	6.85
CaO	8.99	7.12	6.75	7.99
MgO	7.03	5.03	4.87	4.04
K_2O	1.65	2.71	2.75	2.06
Na_2O	2.98	3.16	3.26	3.02
MnO	0.191	0.192	0.223	0.173
P_2O_5	0.463	1.04	1.16	0.79
H_2O^+	2.29	1.60	1.38	1.56
H_2O^-	0.25	0.16	0.22	0.09
Los	2.75	2.18	2.43	2.00
Σ	99.76	99.69	100.19	99.85
La	42.68	50.37	43.70	36.90
Ce	84.66	112.10	99.95	82.91
Pr	11.29	15.65	13.89	11.76
Nd	43.30	63.78	56.37	48.35
Sm	7.63	11.76	10.73	9.67
Eu	2.02	3.09	2.62	2.55
Gd	6.27	9.74	9.13	7.85
Tb	0.92	1.54	1.49	1.22
Dy	5.41	8.14	7.79	6.30
Ho	1.01	1.53	1.46	1.22
Er	2.73	4.41	4.22	3.44
Tm	0.52	0.66	0.65	0.54
Yb	2.96	4.12	4.23	3.33
Lu	0.37	0.53	0.54	0.46
Y	25.62	41.86	40.94	33.39
Ba	501.0	1 110.0	924.4	526.8
Hf	8.51	1.17	1.17	1.24
Nb	8.7	25.6	25.3	18.92
Rb	49.2	175.1	183.8	102.6
Sr	1 272	514.0	392.6	445.2
Ta	0.43	1.54	1.98	2.13
Th	9.11	3.01	3.12	7.20
U	1.46	1.54	2.09	2.10
Zr	111.0	92.0	96.9	97.8

注:测试单位为河北省地矿局廊坊实验室。主量元素(SiO_2～Σ)含量为%;稀土、微量元素(La～Zr)含量为 10^{-6}。

3.2　辉长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄

样品(P10TW1)锆石呈粉色-浅玫瑰色,金刚-弱金刚光泽,透明,可见黑色固相包体,粒度一般 0.01～0.12 mm,少数 0.12～0.5 mm,伸长系数一般 1.1～3.5,少数 3.5～5。主要晶形由柱面(110)及锥面(111)组成,个别晶形隐约可见柱面(110)、(100)及锥面(111)(图 4)。

锆石 SHRIMP U-Pb 分析是在中国地质科学院北京离子探针中心 SHRIMP-Ⅱ仪器上完成的。制样时先将锆石样品与标样锆石 TEM(年龄为 417Ma)在玻璃板上用环氧树脂固定、抛光,使锆石内部暴露,然后进行透射光和发射光下照相,并用阴极发光扫描电镜照相,以了解锆石的内部结构,在反复对比这些照片的基础上选出最理想的供分析的锆

石颗粒进行测试，分析流程和原理可参考简平等(2003)。

经正常 Pb 校正，样品 P10TW1 中获得有效数据 9 组(表 2)。前人研究表明，变质型锆石的 Th/U 值一般小于 0.1，而岩浆型锆石的 Th/U 值一般大于 0.4。由表 2 可知，样品 P10TW1 中锆石的 Th/U 值为 0.54～0.81，均大于 0.4，显示岩浆型锆石特征(吴元宝，2004)。由 P10TW1 样品中锆石阴极发光图像可以看出，锆石多呈自形-半自形柱状，晶型较为完整，晶棱发育，震荡式生长环带明显，同样显示出岩浆型锆石特征(图 4)。

前人研究表明，在锆石 U-Pb 测年时，年轻的或 U-Pb 含量低的样品，其$^{208}Pb/^{232}U$和$^{207}Pb/^{206}Pb$年龄值精度较差，而$^{206}Pb/^{238}U$年龄值精度较高(王行军，2012)，笔者采用$^{206}Pb/^{238}U$年龄加权平均值。P10TW1 样品共分析测试了 9 粒锆石，其谐和度很高所测年龄值较为集中，$^{206}Pb/^{238}U$年龄值主要集中在(436.3±4.3)～(454.4±5.5)Ma，年龄加权平均值为(444.9±3.4)Ma(MSWD=1.83)，时代为奥陶纪中晚期。

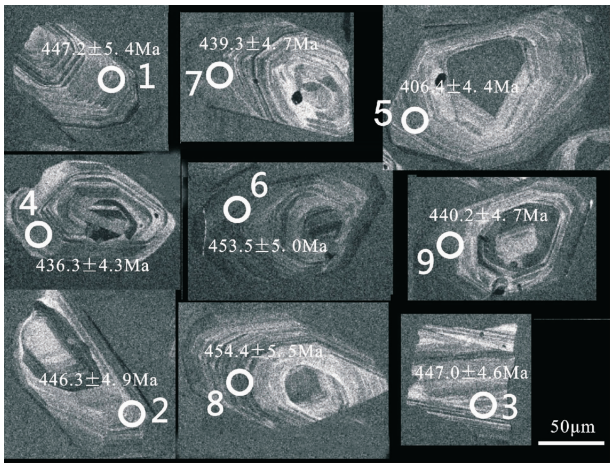

图 4 辉长岩锆石阴极发光照片

Fig. 4 CL image of zircons for ordovician gabbro

表 2 长沙沟一带奥陶系辉长岩锆石 SHRIMP U-Th-Pb 分析结果表

Tab. 2 SHRIMP U-Th-Pb analytical results of zircons from Ordovician gabbro in Changshagou

测点号	^{206}Pb (%)	U (10^{-6})	Th (10^{-6})	$^{232}Th/^{238}U$	^{206}Pb (10^{-6})	$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄(Ma)	$^{207}Pb/^{206}Pb$ 年龄(Ma)	$^{208}Pb/^{232}Th$ 年龄(Ma)	$^{207}Pb*/^{206}Pb*$	(±%)	$^{207}Pb*/^{235}U$	(±%)	$^{206}Pb*/^{238}U$	(±%)
P10TW1	4.45	199	111	0.58	12.8	447.2±5.4	399±230	447±40	0.054 7	10	0.541	10	0.071 8	1.3
P10TW2	1.19	220	144	0.68	13.7	446.3±4.9	339±110	439±17	0.053 2	5.0	0.526	5.2	0.071 7	1.1
P10TW3	0.42	344	181	0.54	21.3	447.0±4.6	579±57	454.2±10	0.059 3	2.6	0.587	2.8	0.071 8	1.1
P10TW4	0.38	476	292	0.63	28.8	436.3±4.3	483±49	449.3±8.6	0.056 8	2.2	0.548	2.5	0.070 0	1.0
P10TW5	0.71	279	219	0.81	15.7	406.4±4.4	911±83	344±13	0.069 4	4.0	0.623	4.2	0.065 1	1.1
P10TW6	0.55	262	148	0.58	16.5	453.5±5.0	518±100	479±16	0.057 7	4.7	0.580	4.8	0.072 9	1.1
P10TW7	0.84	369	217	0.61	22.6	439.3±4.7	561±110	447±17	0.058 8	4.9	0.572	5.0	0.070 5	1.1
P10TW8	0.71	185	117	0.65	11.7	454.4±5.5	575±74	472±13	0.059 2	3.4	0.596	3.6	0.073 0	1.3
P10TW9	0.96	326	240	0.76	20.0	440.2±4.7	414±41	426±7.6	0.055 0	1.8	0.536	2.1	0.070 7	1.1

注：测试单位为中国地质科学院离子探针中心，2013，分析人：张正平；Pb* 为放射性成因铅。

4 讨论

4.1 时限探讨

本次工作在阿帕-芒崖早古生代蛇绿构造混杂岩带的辉石橄榄岩岩块中获得单颗粒锆石 U-Pb(SHRIMP)同位素年龄(510.6±1.4)Ma。刘良等(1998)在茫崖石棉矿一带玄武岩中获得(481.3±53)Ma Sm-Nd 等时线年龄；李向民等(2009)在约马克其蛇绿岩之辉长岩中获得(500.7±1.9)Ma；校培喜等(2012)在岔沟泉组下部地层火山岩中获得(622.7±1.8)Ma 锆石 U-Pb 年龄，块状磁铁矿石中获得最小谐和年龄(628±12)Ma。因此，认为南阿尔金洋盆开裂可能始于震旦纪，寒武纪进一步拉开扩展，奥陶纪开始汇聚，奥陶纪末南阿尔金洋盆封闭；覃小锋(2006)在茫崖一带阿尔金南缘蛇绿岩带

变质基性火山岩中获得 Sm-Nd 等时线年龄为(481.3±53)Ma,并认为早古生代阿尔金南缘残余洋盆再次被拉开扩大,形成小洋盆,奥陶纪晚期的加里东运动使南阿尔金洋盆向北俯冲,导致了南阿尔金洋盆的最终闭合;天津地质研究所(2009)在 1∶25 万石棉矿幅区调报告中,认为南阿尔金洋最终闭合于志留纪。前人对南阿尔金洋在古生代的发展演化做了大量的调查研究,但对南阿尔金洋的最终封闭时限争议较大,本区奥陶纪的辉长岩锆石 U-Pb 测年结果为(444.9±3.4)Ma(图 5),代表南阿尔金洋盆封闭后的一次伸展事件,洋盆在这之前可能已经封闭。

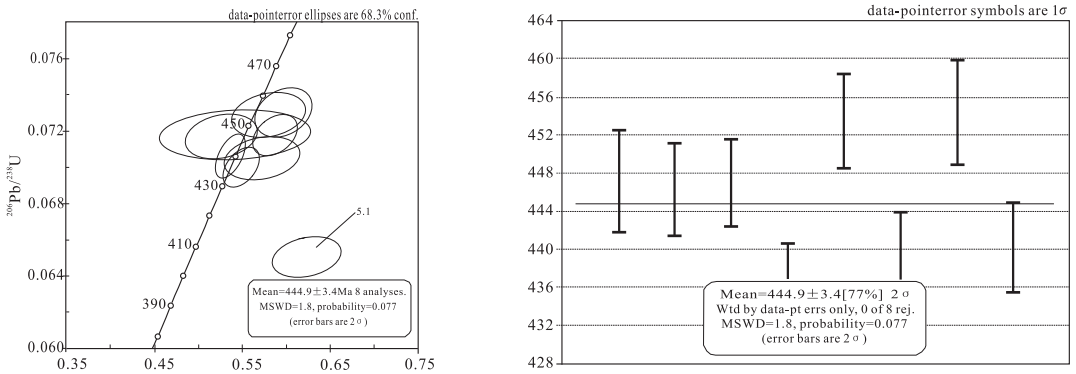

图 5　奥陶系辉长岩锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 5　U-Pb concordia diagram of zircons from Ordovician gabbro

4.2　成因探讨

本区奥陶纪辉长岩暗色矿物主要为辉石,其次为角闪石、黑云母。铝饱和指数 A/CNK 值为 0.75～0.82,均小于 1.0,属于次铝类型;里特曼指数 σ=3.26～9.49,平均值为 7.03,主要为碱钙-碱性系列,部分属于碱性系列;M/F 值为 0.66～1.18,为铁质辉长岩;稀土元素总量较高,为 237.39×10^{-6}～329.26×10^{-6},轻、重稀土元素分馏较明显,LREE/HREE 值为 7.70～9.49,$(La/Yb)_N$ 值为 6.14～8.55,稀土配分模式图为右缓倾斜曲线,稀土曲线与洋岛型玄武岩基本一致;Rb/Sr 值为 0.04～0.47;副矿物为磁铁矿-榍石,并含有磷灰石等。以上特征暗示本区辉长岩源区为上地幔,而本区辉长岩 Th、U 元素含量较高,说明岩浆侵位过程中可能部分混染了花岗质围岩。

R. A. Batchelor 和 P. Bowden(1985)根据 H. De La Roche 等(1980)提出的火成岩 R1-R2 多离子分类图解,提出了 1 个集岩浆源趋势、演化趋势和构造环境判别于一体的图解(图 6),斜率为 1 的直线 L 相当于 H. S. Yoder 等(1962)提出的玄武岩四面体的 SiO_2 不饱和面,直线以上为 SiO_2 不饱和区,以下为饱和区和过饱和区。同时,除了石英(R1=6 666,R2=0)的成分点分布在视域范围右侧很远的位置之外,其他主要造岩矿物的理想成分大部分分布于

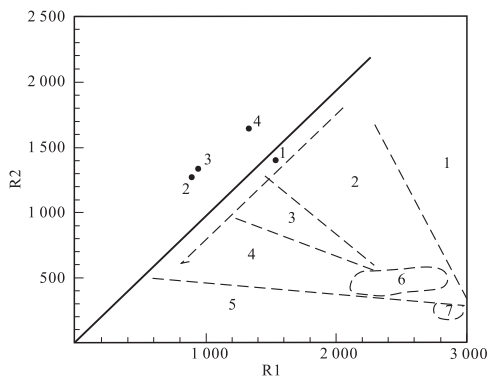

图 6　奥陶系辉长岩 R1-R2 图解

Fig. 6　R1-R2 diagram for Ordovician gabbro

1. 地幔分离型;2. 板块碰撞型;3. 碰撞后抬升型;4. 造山晚期型;5. 非造山型;6. 同碰撞型;7. 后造山期型

直线 L 上或其附近,并且其排列顺序基本相当于鲍文分异系列(G. Dias 等,1994),岩浆源区的岩石主要由这些矿物组成,其投点的位置由于造岩矿物比例的不同而位于直线不同的位置上或附近,铁镁矿物含量越高则越远离原点,因而 R. A. Batchelor 等将向着原点方向的演化趋势称为源趋势。7 附近相当于花岗质片麻岩源区形成的低共熔花岗岩的成分位置。由图 6 可以看出,本区奥陶纪基性侵入岩投点主要分布于 L 线上方附近,以及 2 和 3 区分界线附近,其构造环境相当于板块碰撞前的-碰撞后抬

升,系伸展构造环境下的产物,同时投点离开直线 L 则表明有闪石类矿物的晶出或有下地壳物质的混入。

成矿专属性研究表明,与蛇绿岩型有关的镁铁质-超镁铁质的成矿作用主要为铬铁矿和多金属块状硫化物系列;与大陆裂谷或深大断裂有关的镁铁质-超镁铁质的成矿作用则是铬、铜、镍、铂(含钒钛磁铁矿)系列。在长沙沟岔沟泉一带辉长岩边部发现了钒钛磁铁矿化,进一步说明了本区辉长岩为伸展机制下形成的基性岩体。

5 结论

新疆阿尔金地区长沙沟两侧的奥陶纪辉长岩,为伸展构造环境下形成的基性侵入岩,主要受阿尔金南深大断裂控制。辉长岩中锆石 U-Pb 测年结果为(444.9±3.4)Ma,说明该时期南阿尔金洋盆可能有一次小规模的伸展事件,洋盆的闭合应该更早。

致谢:河北省区域地质矿产调查研究所胡醒民、提振海、董洪凯、刘思林、刘广、吴永祥、赵明、季晓明等参加了野外生产工作,在野外调查过程中得到各级领导的大力支持,在此一并表示衷心感谢。

参考文献(References):

广西壮族自治区地质调查院. 1:25 万瓦石峡幅、古尔嘎幅区域地质调查报告[R]. 2002.

Guangxi Geological Survey, Geological survey report and geological map at scale 1:250000 of Washixia Quadrangle [R]. Published by Guangxi Geological Survey, 2002.

何国琦, 李茂松. 中国新疆古生代地壳演化及成矿[M]. 新疆: 人民出版社, 1994.

He Guoqi, Li Maosong. Paleozoic crustal evolution and mineralization in xinjiang of china[M]. People's Publishing House, Xinjiang, 1994.

简平, 刘敦一, 孙晓猛. 滇川西部金沙江石炭纪蛇绿岩 SHRIMP 测年: 古特地斯洋盆演化的同位素年代学制约[J]. 地质学报, 2003, 77(2): 217-228.

Jian Ping, Liu Dunyi, Sun Xiaomeng. SHRIMP Dating of Carboniferous Jinshajiang Ophiolite in western Yunnan and Sichuan: Geochronological constraints on the Evolution of the Paleo-Tethys Oceanic Crust[J]. Acta Geologica Sinica, 2003, 77(2): 217-228.

罗照华, 邓晋福, 韩秀卿. 太行山造山带岩浆活动及其造山过程反演[M]. 北京: 地质出版社, 1999.

Luo Zhaohua, Deng Jinfu, Han Xiuqing. On characteristics of magmatic activities and orogrnic process of taihangshan intraplate orogen [M]. Geo Logical Publishing House, Bdijing, 1999.

王行军, 王根厚. 新疆和硕县包尔图一带花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质通报, 2002, 31(8): 1251-1266.

Wang Xingjun, Wang Genhou. LA-ICP-MS zircon U-Pb isotope age of granitoids in baoertu area, Hoxud County, Xinjiang, and its geological significance[J]. Geological Bulletin of China, 2002, 31(8): 1251-1266.

吴元保, 郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约[J]. 科学通报, 2004, 49(16): 1589-1604.

Wu Yuanbao, Zheng Yongfei. Genesis of zircon and its constraints on interpretation of U-Pb age [J]. Chinese Sciences Bulletin, 2004, 49(16): 1589-1604.

校培喜等. 阿尔金中段清水泉—茫崖蛇绿构造混杂岩带地质特征[J]. 西北地质, 2003, 36(2): 20-29.

Xiao Peixi. The geologicalfeatures of phiolite tectonic mixtite belt from Qingshuiquan to Mangai in the middle section of Altun[J]. Northwesthrn Geology, 2003, 36(2): 20-29.

李卫东, 张翼. 阿尔金山中奥陶世恰什坎萨依侵入岩确定及对阿尔金洋盆闭合时间限定[J]. 新疆地质, 2012, 30(2): 141-145.

Li Weidong, Zhang Yi. The Age Determination of the Middle Ordovician Qiashikansayi Intrusions in Altyn Mountains and its Constraints on the Closure of Altyn Oceanic[J]. Xinjiang Geology, 2012, 30(2): 141-145.

西安地质矿产研究所. 1:25 万苏吾什杰幅区域地质调查报告[R]. 2002.

Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Geological survey report and geological map at scale 1:250000 of Suwushijie Quadrangle [R]. 2002.