

新疆东准噶尔阿尔曼泰蛇绿构造混杂岩带中辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义

冯晓强^{1,2}, 崔玉宝¹, 程 龙¹, 刘玉梅¹, 鱼 静¹

FENG Xiaoliang^{1,2}, CUI Yubao¹, CHENG Long¹, LIU Yumei¹, YU Jing¹

1. 陕西区域地质矿产研究院, 陕西 咸阳 712000;

2. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083

1. Academy of Regional Geological Survey and Mineral Resources Exploration of Shaanxi, Xi'an 712000, Shaanxi, China;

2. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China

摘要:阿尔曼泰蛇绿构造混杂岩带位于新疆东准噶尔, 记录了古亚洲洋演化。对蛇绿构造混杂岩带中的辉长岩进行主量、微量、稀土元素及LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年分析, 发现辉长岩的原始岩浆来源于亏损地幔与大陆地壳之间, 同时受到后期地壳物质的混染作用或来自消减残片的流体交代。锆石年龄为 514.3 ± 3.7 Ma, 推测阿尔曼泰蛇绿构造混杂岩带形成时代为中寒武世—早奥陶世。

关键词:阿尔曼泰蛇绿岩; 辉长岩; LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄; 东准噶尔; 新疆

中图分类号: P588.12⁺4; P597⁺.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2016)09-1411-09

Feng X Q, Cui Y B, Cheng L, Liu Y M, Yu J. LA-ICP-MS zircon U-Pb age of gabbro from Aermantai ophiolite in east Junggar, Xinjiang, and its geological significance. *Geological Bulletin of China*, 2016, 35(9):1411-1419

Abstract: Aermantai ophiolite lies in the east of Junggar and has recorded tectonic evolution of the paleo-Asian Ocean. Through the analysis of major elements, trace elements, rare earth elements and LA-ICP-MS zircon U-Pb ages of gabbro, the authors found that the original magma of gabbro was derived between depleted mantle and continental crust, affected by crust assimilation and hybridization. The age of zircon is 514.3 ± 3.7 Ma, suggesting that the formation of the ophiolite took place in Middle-Cambrian—Early Ordovician period.

Key words: Aermantai ophiolite; gabbro; LA-ICP-MS zircon U-Pb age; east Junggar; Xinjiang

新疆东准噶尔造山带地处西伯利亚南缘阿尔曼泰造山带和天山造山带之间, 其古生代以来的大地构造演化是显生宙亚洲大陆向南增长和古亚洲洋演化的重要阶段, 同时也涉及当今有关大陆造山带模型等重要理论问题。该地区存在 2 条蛇绿构造岩带, 北侧为塔尔巴哈台-扎河坝-阿尔曼泰古生代岛弧蛇绿岩带及东侧的克拉麦里蛇绿岩带^[1]。针对阿尔曼泰蛇绿带, 前人做了较多的研究, 但其蛇绿岩的形成时代、构造属性等存在较多争议^[2]。本文对阿尔曼泰蛇绿岩中的辉长岩进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年、主量和微量元素

分析, 剖析东准噶尔阿尔曼泰蛇绿岩的形成时代及其构造意义。

1 地质概况

阿尔曼泰蛇绿构造混杂岩带属扎河坝-阿尔曼泰蛇绿岩带的东侧部分(图 1), 总体呈北西西—南东东向延伸, 南东部沿阿尔曼泰山向北东向断续延伸到中蒙边境的北塔山一线, 北西向经二台延伸到扎河坝地区^[1,3]。阿尔曼泰蛇绿岩带主体出露于阿尔曼泰山, 蛇绿岩单元有含黄铁矿蛇纹岩、含铬尖晶石蛇纹岩、蛇纹石化橄辉岩、单斜辉

收稿日期: 2016-04-07; 修订日期: 2016-06-27

资助项目: 中国地质调查局项目(编号: 1212011120500, 1212011120510, 1212011220618)

作者简介: 冯晓强(1981-), 男, 硕士, 工程师, 从事区域地质矿产调查。E-mail: bjfsky2008@163.com

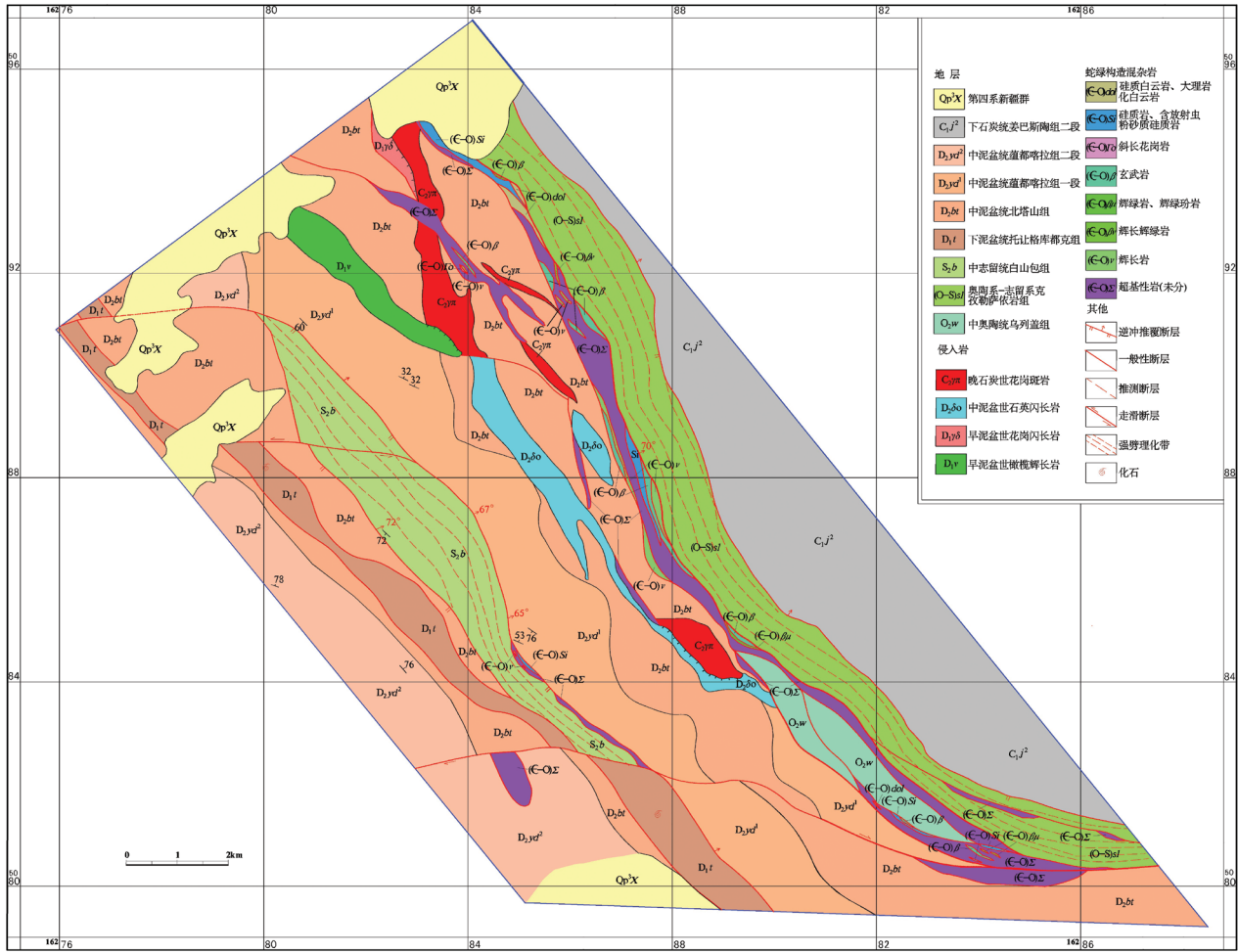


图1 阿尔曼泰蛇绿岩区域地质图

Fig. 1 Regional geological map of Aermantai ophiolite

石岩、含铬铁矿纯橄岩、含磁铁矿纯橄岩、辉长岩、辉绿岩、斜长花岗岩、玄武岩,上覆岩系主要为含放射虫硅质岩、大理岩白云岩、泥晶灰岩等,外来岩块主要为变安山岩、变英安岩、变余闪长岩、变石英闪长岩、变角闪辉石闪长岩、变余砂岩、变余含砾砂岩等。出露地层主要为中奥陶统乌列盖组(O₂w)、奥陶系一下志留统克孜勒萨依岩组((O-S₁)_{sl})、下泥盆统托让格库都克组(D₁t)、中泥盆统北塔山组(D₂bt)、中泥盆统蕴都喀拉组(D₂yd)等。

变形构造主要有强劈理化、千枚岩化,局部外来岩块发育糜棱岩化。辉长岩、玄武岩等多发生蛇纹石化,变形变质特征极为复杂。

2 采样及主要测试方法

在阿尔曼泰蛇绿构造混杂岩带的结勒德喀拉

一带,采集变辉长岩样品。变辉长岩于野外呈透镜状产出,与蛇纹岩、硅质岩和变质橄辉岩伴生(图2-a)。采样位置GPS坐标为:北纬45°56′02.6″、东经89°56′14.1″。

样品岩性为糜棱岩化辉长岩,呈深灰色,纤状粒状变晶结构、变余糜棱结构、碎裂结构,块状构造。斜长石均已细粒化、绿帘石化,呈微粒状遍布于岩石中,常呈不规则聚集成堆出现,粒径为0.02~0.05mm,含量为65%~70%。暗色矿物全部变为次闪石、绿帘石及绿泥石,呈纤粒状分布,无色-淡绿色, C\Ng'=12°~17°,局部可见次闪石受应力剪切作用形成书斜式构造,粒径为0.05~1.0mm,含量为30%~35%(图2-b)。该岩石在首次剪切应力作用下,发生糜棱岩化,形成定向构造,组成矿物中的斜长石和暗色矿物全部绿帘石化,见次闪石形成书斜式构造、糜棱碎

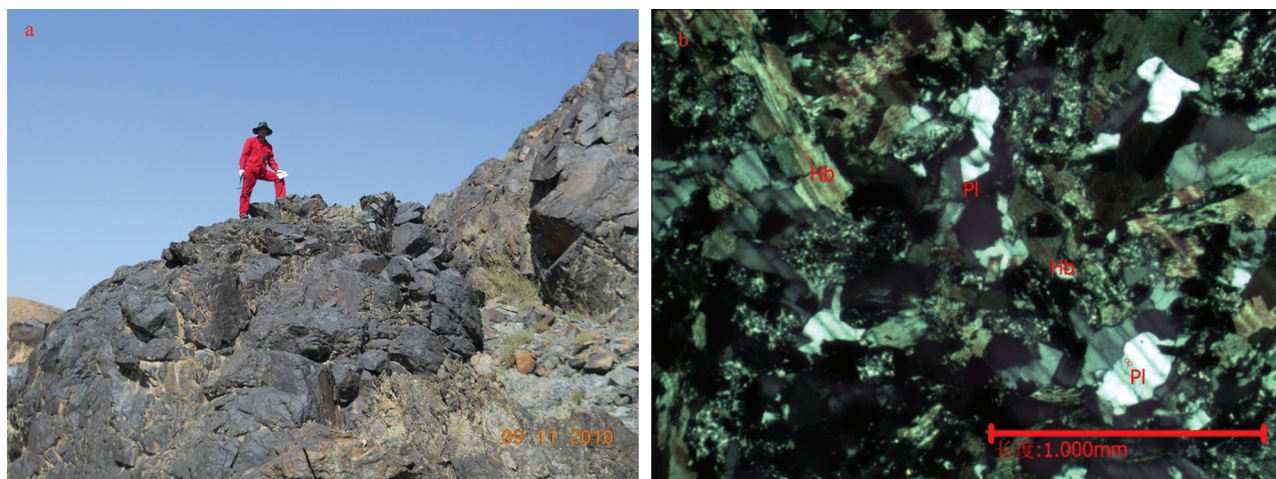


图2 辉长岩野外照片(a)及显微照片(b,正交偏光)

Fig. 2 Field photo (a) and microscopic photo (crossed nicols) (b) of gabbro

Hb—普通角闪石;Pl—斜长石

斑构造,微粒绿帘石呈条纹定向排列,并出现扭折现象,有时碎斑形成眼球构造,保留有辉石粒状。

样品在核工业 203 所采用常规方法进行粉碎,并用浮选和电磁选方法进行分选,最后在双目镜下挑选出形态较为完整、无裂痕、无包裹体的锆石作为测定对象,制靶测试。锆石的阴极发光(CL)显微照相于中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室的LEO1450VP扫描电子显微镜上完成,分析电压为15kV。依据锆石形态、内部结构特征、表面光洁程度等择优选择靶位。锆石U-Pb年代学和微量元素含量分析测试在中国科学院青藏高原研究所大陆碰撞与高原隆升重点实验室激光剥蚀电感耦合等离子体质谱仪LA-ICP-MS上完成。仪器型号为UP193FX,未知样品测试时采样方式为单点剥蚀、跳峰采集;单点采集时间模式为:15~20s气体空白+40s样品剥蚀+45~55s冲洗;每5~10个未知样品点插入一组标样(锆石标样和成分标样)。采用Plesovice(年龄为 337 ± 0.37 Ma)和Qinghu标准锆石(TIMs获得谐和年龄为 159.45 ± 0.16 Ma)作为外标进行基体校正。样品的同位素比值及元素含量计算采用Glitter(ver 4.0, Macquarie University)程序^[4],普通铅校正采用ComPbCorr#3.17校正程序^[5],U-Pb谐和图和年龄加权平均值计算采用Isoplot/Exver 3程序^[6]完成。

主量和微量元素测试在核工业北京地质研究院分析测试研究中心完成。FeO采用容量法分析,烧失

量(LOI)采用重量法进行分析,其他主量元素采用XRF方法(X荧光光谱仪3080E),经平行样分析结果显示,分析相对偏差小于5%;稀土和微量元素采用ICP-MS方法分析,相对偏差小于10%。

3 测试结果

3.1 主量元素

考虑到岩石蚀变较强,辉长质杂岩样品的主量元素均是剔除烧失量重新计算之后的含量,分析结果见表1。

在 Al_2O_3 -CaO-MgO图解(图3)中,样品点均落入镁铁堆积岩区域;在 $TFeO$ -(Na_2O+K_2O)-MgO图解(图4)中,样品点均落入镁铁质-超镁铁质堆积岩区域,表明辉长岩为堆晶岩系的组成部分,并受到一定热液作用的影响。

3.2 稀土元素

辉长岩样品的稀土元素分析结果见表2。结果显示,稀土元素总量($\sum REE$)较低,为 24.06×10^{-6} ~ 75.03×10^{-6} ,平均值为 46.82×10^{-6} ,远高于原始地幔值($\sum REE=7.43 \times 10^{-6}$)和球粒陨石值($\sum REE=2.56 \times 10^{-6}$),而略高于洋中脊亏损型玄武岩值($\sum REE=39.11 \times 10^{-6}$);轻稀土元素(LREE)含量为 16.05×10^{-6} ~ 62.00×10^{-6} ,平均值为 35.83×10^{-6} ;重稀土元素(HREE)含量为 7.53×10^{-6} ~ 18.80×10^{-6} ,平均值为 11.00×10^{-6} ;轻、重稀土元素比值(LREE/HREE)为1.92~4.76,平均值为3.18。在球粒陨石标准化稀土

表1 辉长质杂岩去除烧失量后主量元素分析、特征参数及标准矿物计算结果

Table 1 Major element analyses, characteristic parameters and norm mineral calculations of gabbroic complex after removing loss on ignition

样号	岩性	主量元素/%										
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
D0570-16	辉长岩	50.06	0.71	16.67	6.62	6.98	0.20	4.28	9.34	3.99	0.99	0.15
D0571-9	辉长岩	50.95	0.43	15.21	5.82	7.12	0.19	5.49	9.03	3.42	0.46	0.09
D0544-1	辉长岩	50.09	0.97	16.98	7.31	5.97	0.19	4.21	9.17	4.60	0.31	0.19
D6005-2	辉长岩	48.08	0.80	18.23	3.87	4.66	0.13	8.87	12.15	2.52	0.62	0.07
D6005-3	辉长岩	47.93	0.82	17.14	3.80	4.97	0.14	9.72	12.71	2.10	0.61	0.07
D6005-4	辉长岩	48.81	0.71	16.91	3.22	5.55	0.14	9.82	12.29	1.96	0.55	0.05
D04203	辉长岩	46.26	1.40	14.74	4.58	6.82	0.20	5.75	17.95	1.43	0.71	0.16
D04223	辉长岩	50.26	1.14	19.04	4.28	6.97	0.20	4.35	7.76	4.95	0.79	0.26
D04361	辉长岩	50.60	1.07	20.45	6.02	5.30	0.16	4.01	7.03	4.49	0.64	0.25

样号	岩性	相关特征参数						CIPW计算结果				
		Total	Mg [#]	SI	DI	AR	Ol	Di	Hy	An	Ab	Mt
D0570-16	辉长岩	100.00	44.39	20.53	44.32	1.58	0.00	13.54	17.44	19.19	33.74	3.80
D0571-9	辉长岩	100.00	48.37	22.77	41.61	1.61	11.16	20.40	0.00	19.50	27.35	6.32
D0544-1	辉长岩	100.00	41.40	17.24	56.66	1.97	11.54	9.34	0.00	13.11	53.44	7.06
D6005-2	辉长岩	100.00	69.67	43.18	24.25	1.23	15.46	18.67	0.00	36.67	19.67	3.27
D6005-3	辉长岩	100.00	70.96	45.84	21.40	1.20	16.26	21.78	0.02	35.59	17.78	3.22
D6005-4	辉长岩	100.00	71.06	46.57	19.80	1.19	11.07	20.05	8.63	35.79	16.58	3.19
D04203	辉长岩	100.00	52.58	29.80	12.74	1.14	2.15	46.32	0.00	31.77	4.33	3.99
D04223	辉长岩	100.00	45.88	20.37	44.84	1.55	11.81	7.74	0.00	27.40	38.11	5.43
D04361	辉长岩	100.00	44.10	19.60	41.84	1.46	6.93	0.00	9.84	33.35	38.06	5.25

注:SI—固结指数;DI—分异指数;AR—碱度率;Ol—橄榄石;Di—透辉石;Hy—紫苏辉石;An—钙长石;Ab—钠长石;Mt—磁铁矿

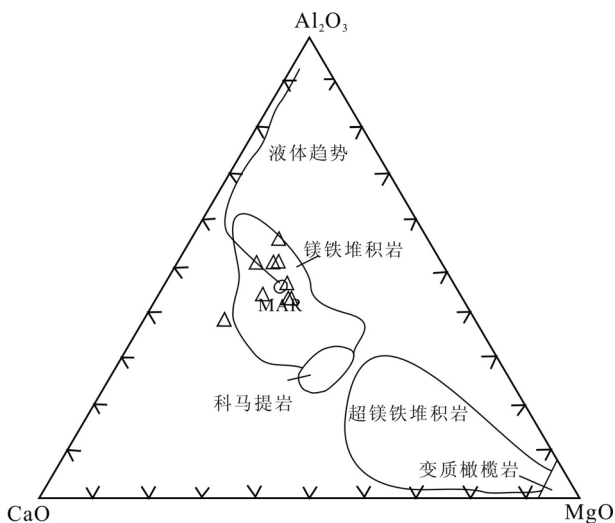


图3 Al₂O₃-CaO-MgO图解
Fig. 3 Al₂O₃-CaO-MgO diagram
MAR—大洋中脊玄武岩平均值

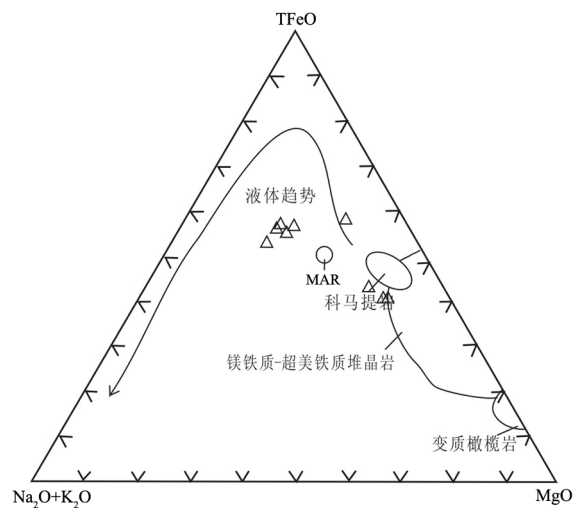


图4 TFeO-(Na₂O+K₂O)-MgO图解
Fig. 4 TFeO-(Na₂O+K₂O)-MgO diagram
MAR—大洋中脊玄武岩平均值

表 2 辉长质杂岩稀土和微量元素分析结果

Table 2 Calculations of REE and trace element of gabbroic complex

	10 ⁻⁶								
样号	D0570-16	D0571-9	D0544-1	D6005-2	D6005-3	D6005-4	D0420-3	D0422-3	D0436-1
岩性	辉长岩	辉长岩	辉长岩	辉长岩	辉长岩	辉长岩	辉长岩	辉长岩	辉长岩
La	5.89	4.44	11.6	2.69	2.33	2.27	5.06	11.1	10.2
Ce	13.9	10.2	26.2	6.3	5.8	5.65	13.2	23.7	23.2
Pr	1.87	1.32	3.44	0.96	0.93	1	2.09	3.4	3.23
Nd	8.61	6.04	15.6	5.78	5.12	4.67	11.1	15.8	15.3
Sm	2.31	1.63	3.89	1.72	1.63	1.47	3.42	3.61	3.54
Eu	0.85	0.59	1.27	1.04	1	0.99	1.15	1.22	1.13
Gd	2.62	1.85	3.92	1.83	1.84	1.77	4.41	3.69	3.63
Tb	0.41	0.3	0.55	0.41	0.39	0.42	0.75	0.56	0.54
Dy	2.83	2.12	3.46	2.3	2.13	2.35	5.04	3.28	3.23
Ho	0.58	0.46	0.69	0.43	0.45	0.47	1.14	0.71	0.71
Er	1.77	1.4	2.02	1.42	1.16	1.43	3.16	1.9	1.85
Tm	0.27	0.21	0.27	0.18	0.17	0.17	0.52	0.3	0.3
Yb	1.78	1.45	1.84	1.22	1.22	1.22	3.3	1.88	1.89
Lu	0.28	0.22	0.28	0.23	0.17	0.2	0.48	0.28	0.28
ΣREE	43.97	32.23	75.03	26.5	24.34	24.06	54.82	71.43	69.03
LREE	33.43	24.22	62	18.49	16.81	16.05	36.02	58.83	56.6
HREE	10.54	8.01	13.03	8.02	7.53	8.02	18.8	12.6	12.43
LREE/HREE	3.17	3.02	4.76	2.31	2.23	2	1.92	4.67	4.55
δEu	1.05	1.04	0.98	1.78	1.76	1.87	0.91	1.01	0.96
(La/Yb) _N	2.37	2.2	4.52	1.58	1.37	1.33	1.1	4.24	3.87
(La/Sm) _N	1.65	1.76	1.93	1.01	0.92	1	0.96	1.98	1.86
Cu	80.2	123	71.3	43.3	44.9	43.6	56.7	17.4	140
Pb	2.55	9.69	12.4	13.7	2.83	2.45	2.62	2.69	3.86
Zn	45.3	22.7	32.3	41.9	53.1	51.1	57.5	89.1	79.8
Cr	7	40	15	70	351	368	388	51	23
Co	15	33	33	32	53	48	49	38	27
Ni	7	21	32	43	119	117	118	39	20
V	70	302	326	326	256	243	237	331	336
Ga	18.1	14.7	13.1	15.8	16.5	14.8	14.4	12.8	16.3
Sc	2	40.6	41.4	35.1	49.9	48.9	52.5	39.8	36
Cs	13.1	0.42	3.61	0.41	1.54	1.2	0.95	0.41	1.05
Rb	44	20	45.1	4.41	11.9	10.2	8.5	11.7	14.9
Sr	617	384	460	370	1052	1203	1014	221	384
Ba	640	180	187	226	254	246	281	142	241
Ta	0.83	0.36	0.46	0.37	0.24	0.15	0.12	0.62	0.34
Nb	12.9	1.87	0.82	1.75	2.57	2.2	1.88	3.1	2.92
Th	3.62	1.81	1.06	3.43	0.05	0.06	0.06	0.56	1.38
U	4.46	0.49	0.49	0.47	0.4	0.31	0.33	0.34	0.67
Zr	231	14.7	8.75	20.1	26.7	24.7	25.2	80.9	63.2
Hf	6.6	1.12	0.78	1.58	1	0.85	0.96	1.91	1.3
Y	25.5	14.2	11	19	12.2	11.3	11.9	29.8	18.6

元素配分模式图(图 5)上,所有样品的稀土元素配分曲线较一致,大部分显示轻稀土元素(LREE)略富集、重稀土元素(HREE)相对亏损的特征,(La/Yb)_N为 1.10~4.52,平均值为 2.51;(La/Sm)_N为 0.92~

1.98,平均值为 0.61。δEu 为 0.91~1.87,平均值为 1.26,略高于 N-MORB(1.22)。

3.3 微量元素

辉长岩样品的微量元素分析结果见表 2。在原

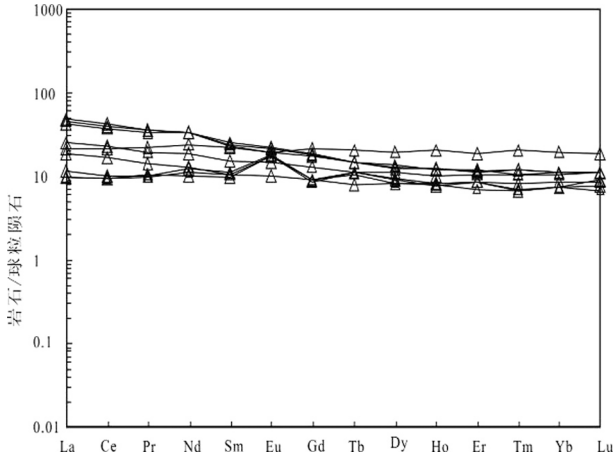


图5 辉长质杂岩稀土元素球粒陨石标准化配分模式图
Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns of gabbroic complex

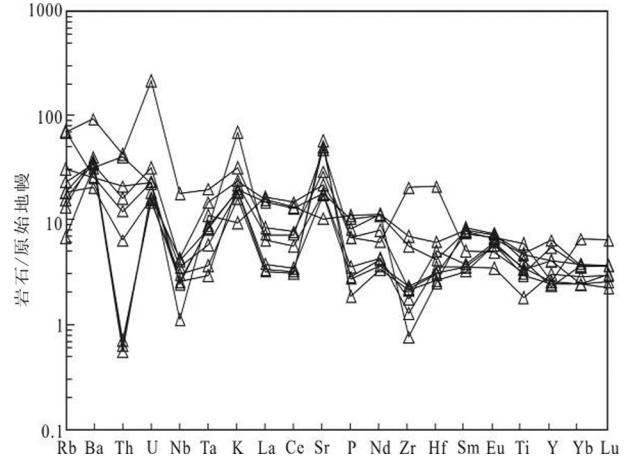


图6 辉长质杂岩原始地幔标准化微量元素蛛网图
Fig. 6 Primitive mantle normalized trace elements spider diagram of gabbroic complex

始地幔标准化微量元素蛛网图(图6)中,所有辉长岩样品的分布型式较一致,明显亏损高场强元素Th、Nb、Zr、Hf和稀土元素La、Ce等,而富集大离子亲石元素Rb、Ba、K、Sr和高场强元素U、Ti等,暗示其可能受到俯冲流体的改造。

侵入岩中的Nb、Zr、Y含量及其比值可以示踪源区的富集状态,因为这些元素在地幔-玄武质岩浆间的总分配系数近等于1,Nb、Zr、Y含量能代表源区地幔成分特征,而且这些元素比值不因地幔岩的部分熔融程度和玄武质岩浆的分离结晶作用的改变而发生变化。另外,这些元素在

岩石中的含量不因风化、蚀变和一定的交代作用而改变。

在Zr-Nb图解(图7)和Zr-Y图解(图8)中,阿尔曼泰蛇绿构造混杂岩中的辉绿岩、辉长岩样品落入亏损地幔源区范围,而部分样品落入过渡地幔的范围,说明其原始岩浆来源于亏损地幔与大陆地壳之间,并受到后期地壳物质的混染作用或与来自消减残板片析出流体的交代有关,即与板块的俯冲相关。

3.4 锆石U-Pb年龄

变辉长岩中的锆石干净、透明,以半自形-他形

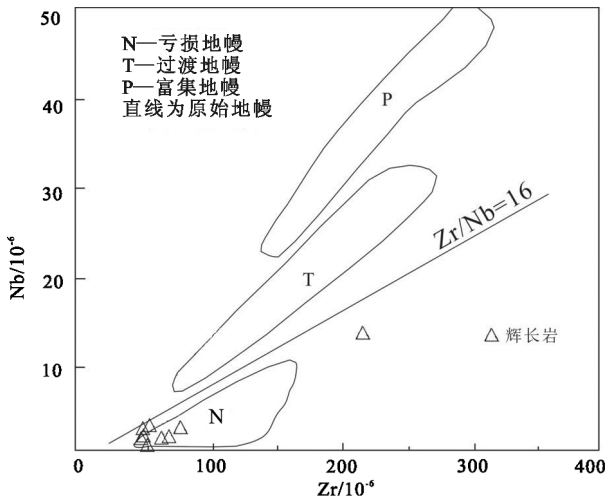


图7 玄武岩Zr-Nb图解
Fig. 7 Zr-Nb diagram of basalt

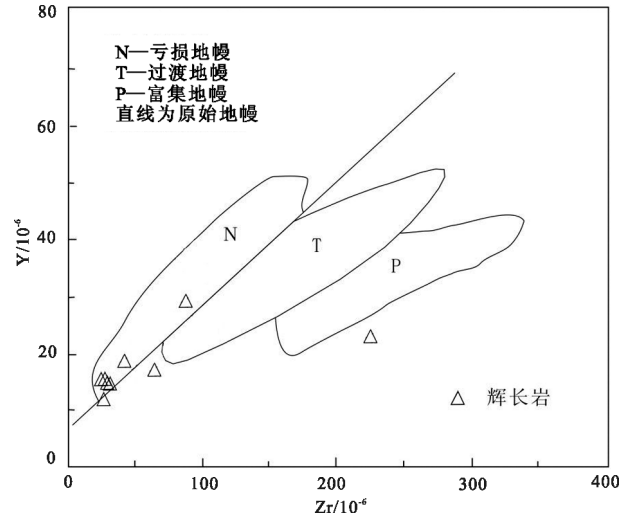


图8 玄武岩Zr-Y图解
Fig. 8 Zr-Y diagram of basalt

表 3 阿尔曼泰蛇绿构造混杂岩中变辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Th-Pb 分析结果
Table 3 LA-ICP-MS zircon U-Th-Pb analyses of meta-gabbro from Aermantai ophiolite

分析点	元素含量/ 10^4			相关比值 Th/U	同位素比值						年龄/Ma									
	Pb	Th	U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1σ
6005-2-001	5	123	150	0.82	0.0586	0.0033	0.669	0.037	0.0827	0.0012	0.0274	0.0010	553	93	520	22	512	7	547	20
6005-2-002	8	148	182	0.81	0.0581	0.0027	0.665	0.030	0.0830	0.0011	0.0282	0.0007	532	73	518	18	514	7	562	15
6005-2-003	24	218	232	0.94	0.0576	0.0012	0.661	0.013	0.0831	0.0008	0.0267	0.0003	515	27	515	8	515	4	532	5
6005-2-004	4	130	147	0.89	0.0579	0.0038	0.656	0.042	0.0826	0.0012	0.0261	0.0009	527	114	514	26	511	7	522	17
6005-2-005	25	183	248	0.74	0.0577	0.0011	0.662	0.012	0.0832	0.0007	0.0284	0.0003	516	24	516	7	515	4	566	6
6005-2-006	28	255	271	0.94	0.0592	0.0011	0.682	0.011	0.0835	0.0007	0.0270	0.0002	574	21	528	7	517	4	538	5
6005-2-007	27	204	278	0.74	0.0575	0.0013	0.657	0.014	0.0829	0.0008	0.0264	0.0003	509	32	513	9	513	5	527	6
6005-2-008	18	127	184	0.69	0.0572	0.0012	0.656	0.013	0.0831	0.0008	0.0269	0.0003	499	29	512	8	515	4	537	6
6005-2-009	23	177	231	0.76	0.0575	0.0014	0.659	0.015	0.0831	0.0008	0.0281	0.0003	510	33	514	9	515	5	560	6
6005-2-010	24	167	249	0.67	0.0572	0.0014	0.656	0.016	0.0833	0.0008	0.0288	0.0004	497	36	512	10	515	5	573	7
6005-2-011	16	118	168	0.70	0.0576	0.0014	0.659	0.015	0.0830	0.0008	0.0275	0.0003	515	33	514	9	514	5	548	7
6005-2-014	8	71	74	0.96	0.0572	0.0022	0.655	0.025	0.0831	0.0009	0.0246	0.0005	499	64	512	15	514	6	491	9
6005-2-015	12	203	283	0.72	0.0594	0.0013	0.686	0.014	0.0838	0.0008	0.0312	0.0004	580	28	530	8	519	5	620	7
6005-2-017	24	222	232	0.96	0.0585	0.0013	0.674	0.014	0.0835	0.0008	0.0265	0.0003	550	29	523	8	517	5	528	6
6005-2-020	18	134	187	0.72	0.0591	0.0016	0.679	0.018	0.0833	0.0008	0.0267	0.0004	570	39	526	11	516	5	533	8
6005-2-021	19	133	194	0.69	0.0572	0.0012	0.655	0.013	0.0830	0.0008	0.0263	0.0003	498	29	511	8	514	4	524	6
6005-2-022	28	254	265	0.96	0.0598	0.0013	0.689	0.014	0.0835	0.0008	0.0265	0.0003	598	28	532	8	517	4	529	6
6005-2-024	7	136	178	0.77	0.0561	0.0026	0.639	0.029	0.0826	0.0011	0.0230	0.0008	455	78	501	18	512	6	459	15
6005-2-026	8	132	195	0.67	0.0571	0.0023	0.648	0.025	0.0824	0.0010	0.0268	0.0008	495	64	507	16	510	6	535	17
6005-2-029	15	131	147	0.89	0.0566	0.0015	0.642	0.016	0.0823	0.0008	0.0261	0.0003	476	37	504	10	510	5	520	6
6005-2-032	26	192	268	0.72	0.0587	0.0014	0.669	0.016	0.0827	0.0008	0.0272	0.0004	557	34	520	9	512	5	542	7
6005-2-033	29	183	306	0.60	0.0588	0.0011	0.674	0.012	0.0832	0.0007	0.0267	0.0003	558	23	523	7	515	4	533	6
6005-2-034	24	185	244	0.76	0.0585	0.0014	0.671	0.015	0.0831	0.0008	0.0275	0.0003	549	31	521	9	515	5	547	6
6005-2-035	5	124	249	0.50	0.0574	0.0027	0.651	0.030	0.0822	0.0011	0.0246	0.0008	508	79	509	18	509	6	491	15
6005-2-036	19	161	192	0.84	0.0598	0.0014	0.6856	0.015	0.0832	0.0008	0.0254	0.0003	595	32	530	9	515	5	507	6
6005-2-038	19	141	190	0.74	0.0577	0.0016	0.663	0.018	0.0833	0.0009	0.0273	0.0004	519	41	516	11	516	5	545	8
6005-2-040	20	361	439	0.82	0.0570	0.0011	0.650	0.012	0.0828	0.0007	0.0264	0.0003	490	24	508	7	513	4	527	5
6005-2-042	17	140	174	0.80	0.0584	0.0023	0.663	0.026	0.0824	0.0010	0.0267	0.0005	544	63	517	16	511	6	532	11
6005-2-043	22	146	215	0.68	0.0585	0.0019	0.675	0.021	0.0837	0.0009	0.0267	0.0004	548	50	524	13	518	6	533	9
6005-2-046	26	202	267	0.75	0.0573	0.0012	0.655	0.013	0.0828	0.0007	0.0259	0.0003	504	27	511	8	513	4	516	6
6005-2-048	20	160	194	0.82	0.0574	0.0015	0.661	0.016	0.0836	0.0008	0.0266	0.0004	506	37	515	10	517	5	530	7
6005-2-050	23	212	221	0.96	0.0575	0.0013	0.657	0.013	0.0829	0.0007	0.0254	0.0003	510	29	513	8	514	4	508	5
6005-2-052	20	182	198	0.92	0.0596	0.0017	0.686	0.019	0.0835	0.0009	0.0256	0.0004	589	42	530	11	517	5	511	7
6005-2-053	11	284	321	0.89	0.0582	0.0010	0.665	0.011	0.0829	0.0007	0.0248	0.0002	538	21	518	7	513	4	495	5
6005-2-055	16	132	160	0.82	0.0577	0.0013	0.661	0.014	0.0831	0.0008	0.0252	0.0003	518	32	515	9	515	4	502	6
6005-2-057	20	156	204	0.77	0.0589	0.0013	0.675	0.011	0.0831	0.0007	0.0256	0.0003	565	28	524	8	515	4	510	6
6005-2-059	21	407	442	0.92	0.0611	0.0012	0.699	0.012	0.0830	0.0007	0.0267	0.0003	644	23	538	7	514	4	532	5
6005-2-061	31	230	321	0.72	0.0585	0.0010	0.668	0.010	0.0829	0.0007	0.0256	0.0002	547	19	519	6	513	4	510	5
6005-2-066	20	156	205	0.76	0.0595	0.0012	0.677	0.013	0.0825	0.0007	0.0253	0.0003	587	26	525	8	511	4	504	6
6005-2-067	17	139	171	0.81	0.0593	0.0015	0.684	0.016	0.0836	0.0008	0.0257	0.0003	579	35	529	10	518	5	513	7
6005-2-072	8	205	222	0.93	0.0578	0.0015	0.658	0.017	0.0826	0.0008	0.0240	0.0003	523	38	513	10	511	5	480	7

短柱状、柱状为主,粒径多为80~110 μm 。阴极发光图像显示,这些锆石不发育继承核,但呈现清晰的韵律环带,表明其为岩浆成因的锆石(图9)。

锆石 Th/U 值在 0.5~0.96 之间,平均值为 0.79,众多研究表明,岩浆锆石中 Th/U 值较高(0.5~1.5),而变质锆石 Th/U 值低(普遍小于 0.1~0.2)^[7],

认为此次测试锆石均为岩浆锆石。41 个数据点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄变化范围在 509~519Ma 之间(表 3),通过数据分析,选择这 41 个数据参与计算年龄加权平均值,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 $514.3\pm 3.7\text{Ma}$ (图 10、图 11),部分数据点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄与加权平均值偏差较大,因此未参与加权

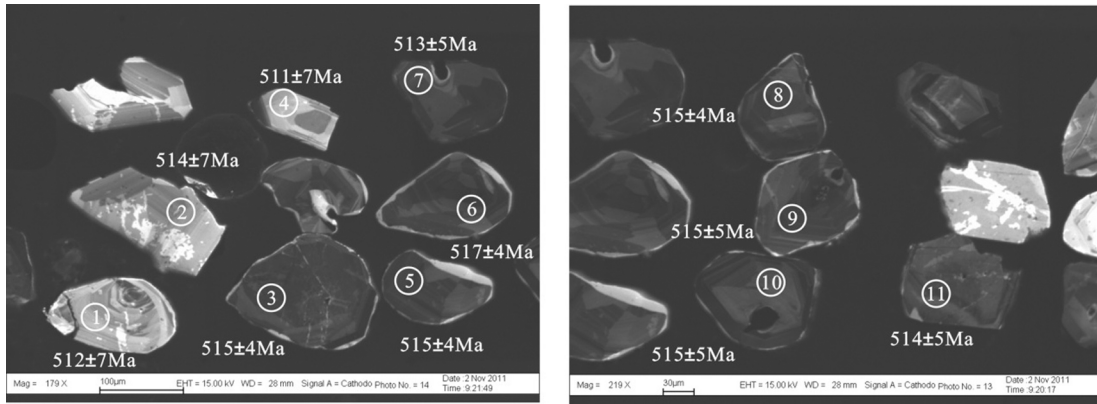


图9 变辉长岩部分锆石阴极发光图像及²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄

Fig. 9 Cathodoluminescence images and ²⁰⁶Pb/²³⁸U age of some zircons from meta-gabbro

平均值计算,推测可能受到后期高温热液活动引起锆石重结晶的影响。

4 形成时代讨论

何国琦等^[8]在1990年以《额尔齐斯构造带构造演化与成矿系列研究》为题的科研报告中报道了对阿尔曼泰蛇绿岩时代的研究成果,在厚层紫红色、猪肝色碧玉岩及其夹层紫红色安山质硅质凝灰岩、凝灰砂岩中采集放射虫化石样品,经安太庠教授鉴定认为,这些样品所含的放射虫数量大,种属单一,保存不好,均为*Entactinoidea Riedel*,无泥盆纪及其以后的化石分子的混入,说明岩石组合最可能的时代是奥陶纪—志留纪。刘伟等^[9]对阿尔曼泰的

超基性岩体进行了研究,获得Sm-Nd等时线年龄为479±27Ma。黄萱等^[10]对采自新疆阿尔曼泰兔子泉一带蛇绿岩的堆晶辉长岩、辉绿岩、安山玢岩等进行研究,获得了较一致的Sm-Nd年代学结果,代表性的Sm-Nd等时线年龄为561±41Ma,Rb-Sr等时线年龄为392±17Ma,前者代表蛇绿岩的形成时代,后者代表蛇绿岩遭受后期变质作用的时间;肖文交等^[3]对阿尔曼泰蛇绿岩中斜长花岗岩进行SHRIMP锆石U-Pb高精度测年,获得²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄为503±7Ma。

另外,前人曾在阿尔曼泰蛇绿岩西延部分的扎河坝一带做了大量的研究工作,李锦轶等^[11-12]根据碧玉岩中牙形石、放射虫等早古生代生物化石,推

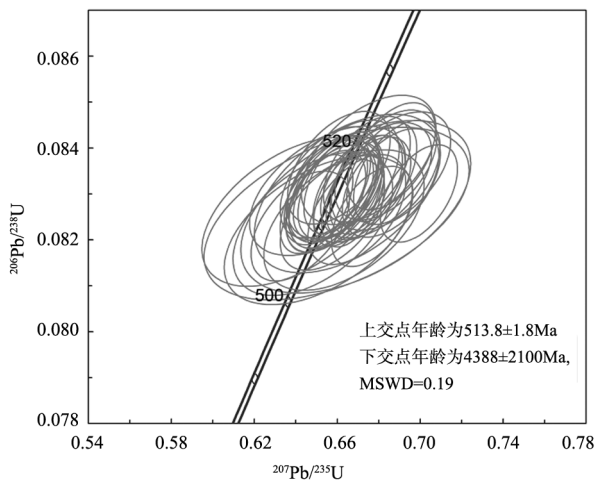


图10 变辉长岩锆石U-Pb年龄谐和图

Fig. 10 Zircon U-Pb concordia diagram of meta-gabbro

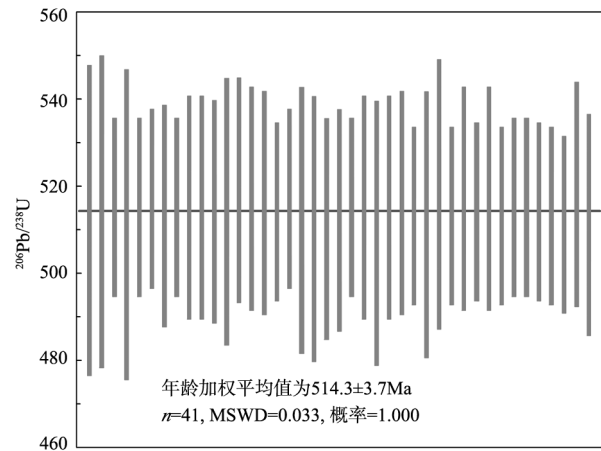


图11 变辉长岩锆石²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄分布

Fig. 11 Zircon ²⁰⁶Pb/²³⁸U age distribution diagram of meta-gabbro

测该蛇绿岩为早古生代洋盆的岩石圈残片。刘伟等^[9]获得堆晶镁铁质岩类的全岩 Sm-Nd 等时线年龄为 479 ± 4 Ma。何国琦等^[13]获得辉长岩中的斜长石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄 467 ± 2 Ma, 等时线年龄为 456 ± 1 Ma; 简平等^[14]获得层状辉长岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 489 ± 4 Ma; 张元元等^[15]获得了呈条带状侵入蛇纹石化橄榄岩、辉长岩中的斜长花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄 495.9 ± 5.5 Ma。2009—2012 年新疆维吾尔自治区地质调查院在开展新疆 1:25 万青河县幅区调修测项目过程中获得扎河坝玄武岩及堆晶辉长岩锆石 U-Pb 年龄分别为 517 ± 4 Ma 和 499 ± 3 Ma。本次研究获得阿尔曼泰蛇绿构造混杂岩中变辉长岩年龄为 514.3 ± 3.7 Ma, 因此, 将阿尔曼泰蛇绿构造混杂岩形成时代厘定为中寒武世—早奥陶世。

5 结 论

(1) 阿尔曼泰蛇绿构造混杂岩带中辉长岩等基性岩的原始岩浆来源于亏损地幔与大陆地壳之间, 并受到后期地壳物质的混染作用或来自消减残板片析出流体的交代。

(2) 获得阿尔曼泰蛇绿构造混杂岩带中变辉长岩锆石 U-Pb 年龄为 514.3 ± 3.7 Ma, 结合前人成果, 认为该蛇绿构造混杂岩带的时代为中寒武世—早奥陶世。

致谢: 野外调查期间得到中国地质调查局西安地质调查中心、新疆地质调查院、陕西区域地质矿产研究院等领导和同事的大力帮助, 在此表示衷心的感谢。在陕西区域地质矿产研究院(原陕西省地质矿产勘查开发局区域地质矿产研究院)成立 60 周年之际, 谨以此文献礼。

参考文献

- [1] 董连慧, 朱志新, 屈迅, 等. 新疆蛇绿岩带的分布、特征及研究新进展[J]. 岩石学报, 2010, 26(10): 2894–2904.
- [2] 肖序常, 汤耀庆. 古中亚复合巨型缝合带南缘构造演化[M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- [3] 肖文交, Windley B F, 阎全人, 等. 北疆地区阿尔曼泰蛇绿岩锆石 SHRIMP 年龄及其大地构造意义[J]. 地质学报, 2006, 1: 32–37.
- [4] Griffin W L, Powell W J, Pearson N J, et al. GLITTER: data reduction software for laser ablation ICP-MS[C]//Laser Ablation-ICP-MS in the earth sciences. Mineralogical association of Canada Short Course Series, 2008, 40: 204–207.
- [5] Anderson T. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. Chemical Geology, 2002, 192(1): 59–79.
- [6] Ludwig K R. Users manual for ISOPLOT 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel 2003.
- [7] Hacker B R. U/Pb zircon ages constrain the architecture of the ultrahigh-pressure Qinling-Dabie Orogen, China[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1998, 161: 215–230.
- [8] 何国琦等.《额尔齐斯构造带构造演化与成矿系列研究科报告》.1990.
- [9] 刘伟, 张湘炳. 乌伦古-斋桑泊构造杂岩带特征及其地质意义[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 217–228.
- [10] 黄莹, 金成伟, 孙宝山, 等. 新疆阿尔曼泰蛇绿岩时代的 Nd-Sr 同位素地质研究[J]. 岩石学报, 1997, 1: 86–92.
- [11] 李锦轶, 肖序常, 汤耀庆, 等. 新疆东准噶尔卡拉麦里地区晚古生代板块构造的基本特征[J]. 地质论评, 1990, 36(4): 305–316.
- [12] 李锦轶. 试论新疆东准噶尔早古生代岩石圈板块构造演化[J]. 中国地质科学院院报, 1991, 23: 1–12.
- [13] 何国琦, 李茂松, 贾进斗, 等. 论新疆东准噶尔蛇绿岩的时代及其意义[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2001, 6: 852–858.
- [14] 简平, 刘敦一, 张旗, 等. 蛇绿岩及蛇绿岩中浅色岩的 SHRIMP U-Pb 测年[J]. 地学前缘, 2003, 4: 439–456.
- [15] 张元元, 郭召杰. 准噶尔北部蛇绿岩形成时限新证据及其东、西准噶尔蛇绿岩的对比研究[J]. 岩石学报, 2010, 2: 421–430.