

85-9/新疆阿尔曼太蛇绿岩时代的 Nd-Sr 同位素地质研究

p588.1

Study on the Age of Armantai Ophiolite, Xinjiang
by Nd-Sr Isotope Geology

p597

黄萱 金成伟 孙宝山 潘均 张仁祐

Huang Xuan, Jin Chengwei, Sun Baoshan,
Pan jun and Zhang Renhu

(中国科学院地质研究所 北京 100029)

(Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100029)

摘要 本文通过测定采自新疆阿尔曼太兔子泉一带蛇绿岩的堆晶辉长岩、辉绿岩和安山玢岩, 获得 Sm-Nd 等时年龄为 $561 \pm 41 \text{ Ma}$, $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = 6.1$, Rb-Sr 等时年龄为 $392 \pm 17 \text{ Ma}$, $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.7041$, 前者为蛇绿岩的形成时代, 后者为蛇绿岩遭受后期变质作用的时间。札河坝-阿尔曼太蛇绿岩的形成环境可能是古亚洲洋向南俯冲引起的弧后盆地。

Abstract Dating on the samples of Gabbro ophiolite from Armantai, Xinjiang by Sm-Nd and Rb-Sr whole-rock isochrons yielded the ages of $561 \pm 41 \text{ Ma}$, $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = 6.1$ and $392 \pm 17 \text{ Ma}$, $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.7041$, which stand for the ages of creations and later metamorphism of ophiolites respectively. The creation environment of Armantai ophiolites is likely the back-arc basin caused by the southward subduction of the paleo-Asia Ocean.

主题词 蛇绿岩, 年代 Nd-Sr 同位素地质 新疆 阿尔曼太
Key words: Ophiolite; Age; Nd-Sr isotope geology; Xinjiang; Armantai

分类号: P597; P588.1; P544**Classific. code:** P597; P588.1; P544

• 1996-10-05 收到, 1996-11-13 改回。

本文为国家“八五”科技攻关项目(85-902-06-08)专题资助成果。

第一作者简介: 黄萱 男 1940 年出生 副研究员 同位素地球化学专业

1 地质概况

札河坝-阿尔曼太地区处于准噶尔和西伯利亚板块的交汇地带,由北向南可分为三个带,加波萨尔岛弧带、札河坝-阿尔曼太蛇绿岩结合带和野马泉岛弧带(图1)。札河坝-阿尔曼太蛇绿岩结合带位于乌伦古河南侧,呈北西-南东向从札河坝向东,沿阿尔曼太山断续延伸到中蒙边境,全长大约200km。带中有五、六十个蛇绿岩块体,在不同区段蛇绿岩各单元发育情况有差异。西段以变质橄榄岩为主,堆晶岩和辉绿岩较少,顶部有枕状和变形强烈的玄武岩分布。东段玄武岩较为发育。在阿尔曼太山主脊线一带,蛇绿岩套发育较完整,变质橄榄岩、堆晶辉长岩和辉绿岩、玄武岩、玄武安山岩、闪长玢岩、斜长花岗岩均有发育,但完好剖面不多。总体上讲,阿尔曼太蛇绿岩下部岩系较发育,出现大片变质橄榄岩,并且二辉橄榄岩占有相当比例,构造混杂程度相对较弱。



图1 阿尔曼太构造分区和蛇绿岩分布略图
(据肖序常等, 1991, 略有修改)

I. 阿尔泰陆缘活动带; II. 加波萨尔岛弧带; III. 札河坝-阿尔曼太蛇绿岩结合带; IV. 野马泉岛弧带; V. 卡拉麦里结合带; VI. 库兰喀孜干地体; 黑色块体为蛇绿岩地体

Fig. 1 Sketch of Armantai ophiolites (After Xiao et al., 1991 with minor modifications)

2 同位素测定结果

表1和表2分别列出了 Sm-Nd 和 Rb-Sr 同位素测定结果。样品化学制备和 Sr 同位素质谱测定方法见黄萱等(1992)文章, Nd 同位素质谱测定采用氧化物。氧同位素校正参数为 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}=0.002110$, $^{17}\text{O}/^{16}\text{O}=0.000385$ 。同时采用 $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=1.14169$ 和 $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.7219$ 进行 Nd 同位素质谱测定质量歧视校正, 计算方法见乔广生(1988)文章。样品测定期间标准样结果为 JMC $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.511142\pm 14\sim 0.511198\pm 19$, NBS987 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.710294\pm 23\sim 0.710211\pm 20$ 。全流程本底, Rb、Sr 为 $10^{-10}\sim 10^{-11}\text{g}$, Sm、Nd 为 10^{-12}g 。阿尔曼太蛇绿岩带超镁铁及镁铁岩同位素测量, 称样中所测元素的通常含量: Rb 为 $10^{-6}\sim 10^{-7}\text{g}$, 多数为 10^{-6}g , Sr 为 $10^{-6}\sim 10^{-4}\text{g}$, Sm 为 $10^{-8}\sim 10^{-7}\text{g}$, Nd 为 $10^{-7}\sim 10^{-6}\text{g}$ 。可见, 上述全流程本底对本项研究的同位素测量, 不会有大的影响。

表1中的样品除了 XJ30 堆晶辉橄岩采自札河坝外, 其余全都采自阿尔曼太兔子泉岩体及其邻近地区 500m 范围内的堆晶辉长岩、辉绿岩和安山玢岩等。除全岩样品外, 还测定了札河坝堆晶辉橄岩中的辉石、长石、橄榄石, 以及阿尔曼太兔子泉岩体安山玢岩 XJ04 中的长石斑晶。表2中的样品全都采自阿尔曼太兔子泉岩体, 岩石名称同表1。

表1 札河坝-阿尔曼太蛇绿岩 Sm-Nd 同位素分析结果

Table 1 Results of Sm-Nd isotopes of ophiolites from Zaheba-Armantai, Xinjiang

样品编号	岩石名称	^{147}Sm (n mol/g)	^{144}Nd (n mol/g)	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ (2 σ)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ (2 σ)
XJ-02	辉绿岩	1.481	8.247	0.512879 $\pm$ 06	0.1798
XJ-03	同上	1.912	12.06	0.512822 $\pm$ 15	0.1586
XJ-04	安山玢岩	2.938	25.82	0.512626 $\pm$ 12	0.1138
XJ-04Fsp	长石	0.07277	0.6550	0.512653 $\pm$ 20	0.1111
XJ-06	辉绿岩	1.916	11.43	0.512869 $\pm$ 09	0.1676
XJ-08	同上	3.000	18.46	0.512836 $\pm$ 10	0.1625
XJ-010	同上	2.470	15.06	0.512853 $\pm$ 18	0.1640
XJ-014	同上	4.306	36.23	0.512670 $\pm$ 10	0.1189
XJ-017	同上	2.451	16.74	0.512773 $\pm$ 13	0.1464
XJ-019	同上	3.938	27.02	0.512761 $\pm$ 05	0.1458
XJ-020a	同上	4.387	30.21	0.512769 $\pm$ 08	0.1452
XJ-020b	同上	4.264	29.77	0.512762 $\pm$ 15	0.1432
XJ-05a	堆晶辉长岩	—	—	0.512938 $\pm$ 06	
XJ-05b	同上	1.747	9.461	0.512924 $\pm$ 03	0.1876
XJ-18a	同上	—	—	0.512883 $\pm$ 06	
XJ-18b	同上	2.421	13.27	0.512888 $\pm$ 11	0.1825
XJ-30WR	堆晶辉橄岩	0.7806	3.224	0.513086 $\pm$ 14	0.2421
XJ-30Fsp	长石	0.2026	2.430	0.512601 $\pm$ 12	0.08335
XJ-30Oli	橄榄石	0.2573	1.186	0.512879 $\pm$ 22	0.2170
XJ-30Py	辉石	0.9396	3.879	0.513120 $\pm$ 16	0.2422

注:样品号中的a和b为平行样。

表2 新疆札河坝-阿尔曼太蛇绿岩 Rb-Sr 同位素分析结果

Table 2 Results of Rb-Sr isotopes of ophiolites from Zaheba-Armantai, Xinjiang

样品编号	^{87}Rb (n mol/g)	^{86}Sr (n mol/g)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (2 σ)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ (2 σ)
XJ-03	59.71	1150	0.704567 $\pm$ 11	0.0519
XJ-04	5.327	638.5	0.704114 $\pm$ 13	0.00834
XJ-04Fsp	104.9	2421	0.704206 $\pm$ 17	0.04332
XJ-05	4.905	863.9	0.704139 $\pm$ 14	0.00568
XJ-06	152.0	106.7	0.705498 $\pm$ 17	0.2217
XJ-08	86.69	552.1	0.705487 $\pm$ 20	0.1570
XJ-010	134.4	455.0	0.705895 $\pm$ 18	0.2953
XJ-014	170.5	174.1	0.709716 $\pm$ 27	0.9797
XJ-017	20.48	380.1	0.704682 $\pm$ 27	0.05387
XJ-019	46.10	235.4	0.705543 $\pm$ 32	0.1959
XJ-020	44.07	270.2	0.705473 $\pm$ 13	0.1631
XJ-30WR	2.151	92.81	0.704263 $\pm$ 24	0.02317

注:岩石名称同表1。

表3列出了测定样品的稀土元素分析结果。图2、图3和图4是根据表3数据绘出的各个样品的稀土元素配分曲线。从图可以看出,札河坝-阿尔曼太蛇绿岩各类岩石的稀土元素,从堆晶辉橄岩、堆晶辉长岩、辉绿岩和安山玢岩呈现演变的趋向。上述样品在 Sm-Nd 等时图(图5)

和 Rb-Sr 等时图(图 6)上的投点,可以拟合线性关系较好的直线,给出年龄分别为, Sm-Nd 等时线 $t = 561 \pm 41\text{Ma}$, $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = 6.1 \pm 0.9$, 相关系数 $r = 0.9921$, Rb-Sr 等时线 $t = 392 \pm 17\text{Ma}$, $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.70413 \pm 6\text{E}-5$, 相关系数 $r = 0.9969$.

表 3 札河坝-阿尔曼太蛇绿岩稀土元素分析结果($\mu\text{g/g}$)

Table 3 The REE results ($\mu\text{g/g}$) of ophiolites from Zaheba-Armantai, Xijiang

岩石	堆晶辉长岩		辉橄岩	辉绿岩、安山玢岩									
序号	5	18	30	2	3	6	7	17	19	8	10	14	4
La	3.350	3.057	0.47	3.160	5.660	5.562	7.188	6.385	11.81	8.39	6.234	22.89	18.39
Ce	8.674	9.270	1.584	7.127	12.57	11.84	18.58	16.09	27.42	19.54	14.99	49.48	36.48
Pr	1.295	1.507	0.323	1.086	1.720	1.651	2.781	2.011	3.363	2.890	2.145	5.487	4.538
Nd	5.653	7.999	1.843	5.000	6.394	6.657	11.91	10.31	16.53	11.70	9.24	21.56	15.45
Sm	1.752	2.496	0.700	1.485	1.881	2.260	3.490	2.550	3.885	3.336	2.262	4.551	3.525
Eu	0.545	0.894	0.334	0.462	0.864	0.758	1.447	0.872	1.337	1.347	0.982	1.693	1.071
Gd	2.058	2.650	1.212	2.025	2.551	2.159	4.029	2.538	3.898	4.007	2.866	3.766	2.402
Tb	0.305	0.525	0.214	0.331	0.386	0.436	0.786	0.367	0.582	0.640	0.535	0.690	0.284
Dy	2.279	2.682	1.404	2.003	2.453	2.747	3.973	2.159	3.537	4.260	3.166	3.470	1.303
Ho	0.521	0.556	0.321	0.470	0.501	0.592	0.929	0.418	0.649	0.851	0.785	0.689	0.230
Er	1.425	1.562	0.845	1.102	1.551	1.783	2.472	1.251	1.903	2.131	0.854	2.288	0.603
Tm	0.251	0.218	0.117	0.192	0.236	0.268	0.384	0.222	0.294	0.374	0.262	0.337	0.086
Yb	1.369	1.721	0.756	1.211	1.615	1.641	2.395	1.266	1.641	2.151	1.853	2.208	0.445
Lu	0.250	0.207	0.101	0.208	0.229	0.254	0.393	0.174	0.259	0.307	0.262	0.312	0.087

表中数据由中国科学院地质研究所用 ICP-MS 法分析.

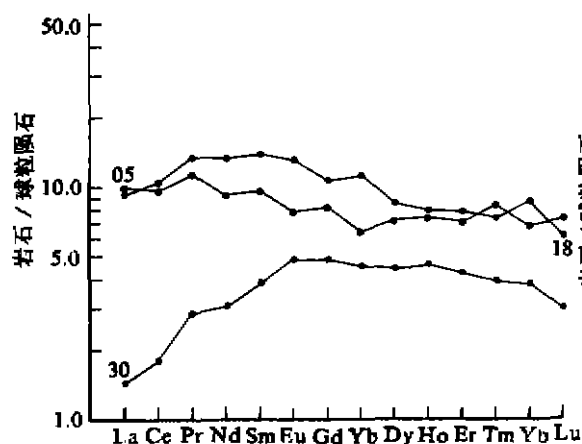


图 2 札河坝-阿尔曼太堆晶岩 REE 配分图
样品的岩石名称同表 1

Fig. 2 The chondrite-normalized REE patterns of cumulates from Zaheba-Armantai, Xijiang

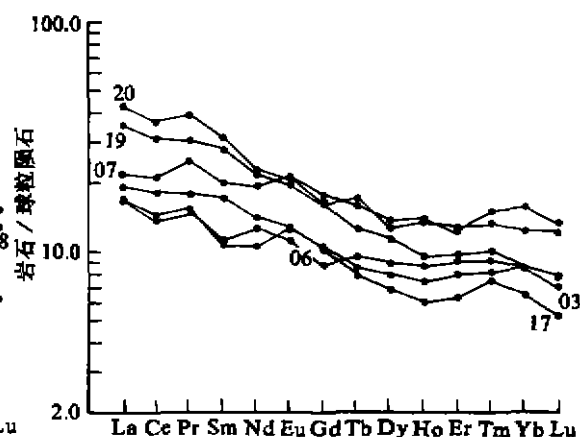


图 3 阿尔曼太兔子泉辉绿岩 REE 配分图
样品的岩石名称同表 1

Fig. 3 The chondrite-normalized REE patterns of diabase from Tuziquang, Armantai, Xijiang

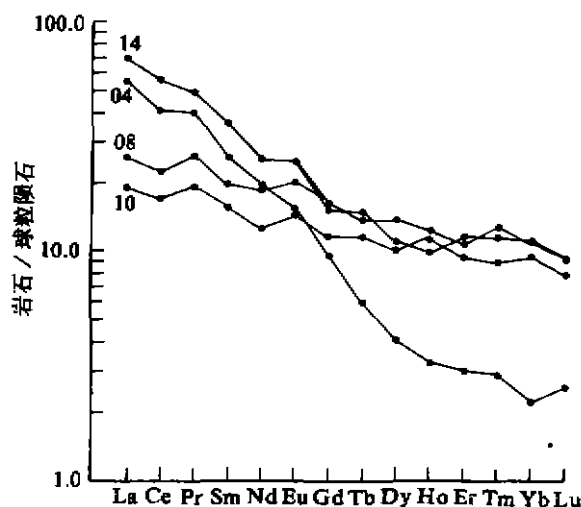


图4 阿尔曼太兔子泉辉绿岩和安山玢岩
REE 配分图

样品的岩石名称同表1

Fig. 4 The chondrite-normalized REE patterns
of diabase and andesite-porphyrite from
Tuziquang, Armantai, Xijiang

3 讨论

关于札河坝-阿尔曼太蛇绿岩带的形成时代,蔡文俊(1986)、肖序常(1992)等根据构造发展和硅质岩中的放射虫,认为是中泥盆世—早泥盆世。何国琦(1991)据放射虫鉴定,认为属奥陶纪。刘伟和张湘炳(1993)曾报道过札河坝变质橄榄岩 Sm-Nd 等时年龄为 $479 \pm 27\text{Ma}$, $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = 6.8$ 。本研究通过对阿尔曼太兔子泉岩体一带的堆晶辉长岩、辉绿岩和安山玢岩 Sm-Nd 法全岩等时年龄测定,获得年龄 $t = 561 \pm 41\text{Ma}$, $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = 6.1 \pm 0.9$ 。辉绿岩 Rb-Sr 全岩等时年龄测定结果为 $t = 392 \pm 17\text{Ma}$, $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.70413 \pm 6E-5$ 。对于获得的 Sm-Nd 法和 Rb-Sr 法年龄的可信性及地质含义,可以进行如下讨论。

3.1 关于 Sm-Nd 等时年龄

札河坝-阿尔曼太蛇绿岩带 561Ma 的 Sm-Nd 年龄,是通过测定阿尔曼太兔子泉岩体一带的堆晶辉长岩、辉绿岩和安山玢岩获得的。认为这套岩石具备成因上的同源性,通常不会有疑义。然而在地质上,堆晶辉长岩、辉绿岩和安山玢岩,其结晶时间有先后之别。虽然如此,考虑到它们结晶时间的差别,就札河坝-阿尔曼太蛇绿岩套来说,远小于它们岩浆的结晶年龄及其测定误差 $\pm 41\text{Ma}$ 时限,因此,根据这些岩石 REE 配分彼此之间的有规律的演变和样品在等时图上的良好的线性拟合关系,将这些样品看作是同源、同时的一套样品进行等时年龄计算,可以认为是合理的。如果将表1中的札河坝堆晶辉橄岩全岩(XJ-30WR)和从中分选出的辉石(XJ-30Py)也投到 Sm-Nd 等时图上,落点将大体在等时线的延长线上,给出年龄为 $t = 566 \pm 34\text{Ma}$, $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = 6.2 \pm 0.7$, 相关系数 $r = 0.9946$ 。这似乎同样表明,札河坝-阿尔曼太蛇绿岩各组合岩石,从堆晶辉橄岩、堆晶辉长岩、辉绿岩到安山玢岩,是一组出自相同源区,在不长的时间间隔,经过岩浆分异作用前后形成。

表1中的札河坝堆晶辉橄岩的全岩(XJ-30WR)、辉石(XJ-30Py)和长石(XJ-30Fsp),可以计算其矿物等时年龄为 478.9Ma , $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = 6.3$ 。这一结果和刘伟和张湘炳(1993)报道的札河坝变质橄榄岩 Sm-Nd 等时年龄($479 \pm 27\text{Ma}$)和 $\epsilon_{\text{Nd}}(t) (= 6.8)$ 十分一致,但是比由堆晶辉长岩、辉绿岩和安山玢岩获得的 561Ma 的 Sm-Nd 全岩年龄小。可以认为,由全岩等时线给出的是岩石的形成时间,矿物等时线给出的是变质橄榄岩遭受后期变质作用的时间。由此得出,札河坝-阿尔曼太蛇绿岩带残留洋壳的形成时代可能是早寒武世,在早奥陶世期间遭受了后期热事件的影响。

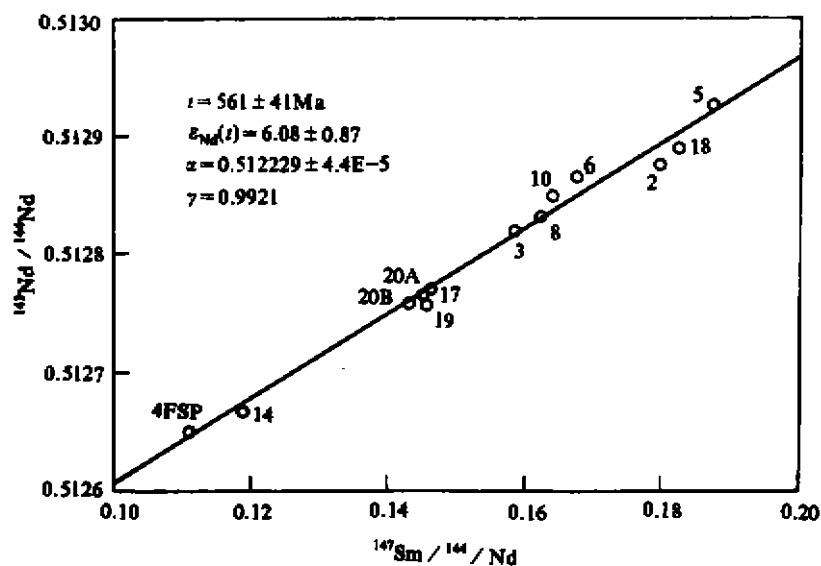


图5 阿尔曼太蛇
绿岩 Sm-Nd 等时图
样品的岩石名称同表 1
Fig. 5 The Sm-Nd
isochron of ophiolites
from Armantai, Xinjiang

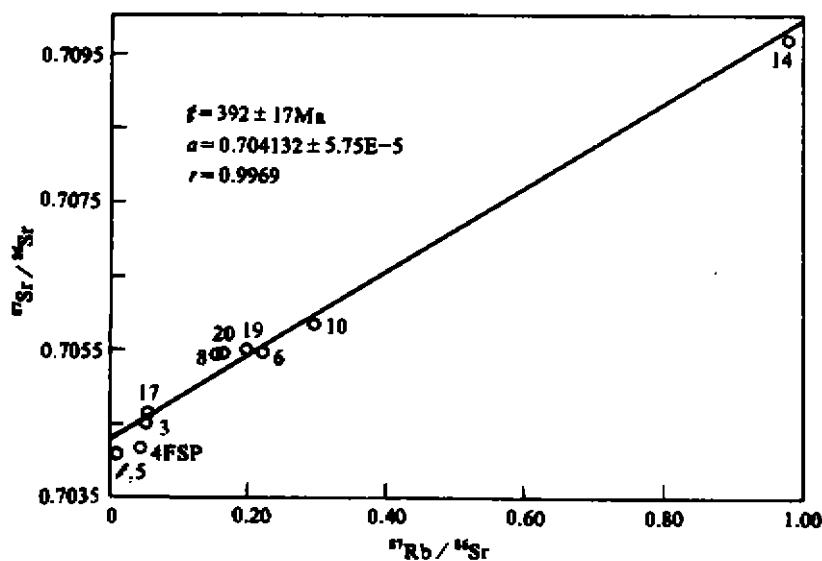


图6 阿尔曼太蛇
绿岩 Rb-Sr 等时图
样品的岩石名称同表 1
Fig. 6 The Rb-Sr
isochron of ophiolites
from Armantai,
Xinjiang

3.2 关于 Rb-Sr 等时年龄

阿尔曼太蛇绿岩 Rb-Sr 全岩等时年龄为 $t = 392 \pm 17 \text{ Ma}$, $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.70413 \pm 6\text{E}-5$ 。在 Sm-Nd 法结果讨论中已经表明, 这一套样品年龄测定符合等时法前提。但是, 获得的年龄数值较 Sm-Nd 结果 (561 Ma) 小得多。该数值和侵入到辉绿岩中的闪长斑岩的角闪石、长石和全岩的 Rb-Sr 矿物等时年龄 $t = 367 \pm 14 \text{ Ma}$ 相近^①, 稍大一些。表明后期热事件, 导致了较

① 金成伟, 黄董等. 1995. 洪古勒楞-阿尔曼太蛇绿岩及其与成矿关系研究专题报告.

为活动的 Rb-Sr 放射体系开放并重新均一化。

3.3 时代的地质旁证

在额尔齐斯挤压带中出露有高级深壳变质岩,在过去认为是泥盆纪和石炭纪的地层中,已分辨出震旦纪地层,并有变质玄武岩、碧玉岩和片岩分布。在阿尔曼太蛇绿岩带南边的荒草坡和索尔巴斯他乌群中,有前奥陶纪的绿片岩相地层。在本蛇绿岩带中,也发现有斜长角闪岩和具韵律性的绿片岩相变质浊积岩层。因此,无论从 Sm-Nd 年龄上,还是从地质上看,认为札河坝-阿尔曼太蛇绿岩带的形成时代属于早寒武世是合理的。

札河坝堆晶辉橄岩 478.9Ma 的矿物 Sm-Nd 等时年龄,以及阿尔曼太辉绿岩和安山玢岩 392Ma 的 Rb-Sr 全岩等时年龄,表明札河坝-阿尔曼太蛇绿岩带在早奥陶世到早泥盆世期间,先后在岩带的不同地段叠加了后期热事件,它可能反映洋盆闭合陆块碰撞发生的时间。

关于阿尔曼太蛇绿岩带的形成环境,根据地质观察和稀有元素及 Nd-Sr 同位素地质研究,可能是弧后盆地^①,其形成可能和萨彦-蒙古古亚洲洋向南俯冲有关。

根据上述讨论可以得出如下的结论:

(1) 札河坝-阿尔曼太蛇绿岩带的形成时代属于早寒武世,它可能为晚前寒武纪时期萨彦-蒙古古亚洲洋向南俯冲,在阿尔泰弧南形成的弧后小洋盆的洋壳残片。

(2) 札河坝-阿尔曼太蛇绿岩带在早奥陶世到早泥盆世期间,先后在岩带的不同地段叠加了后期热事件,它可能反映洋盆闭合陆块碰撞发生的时间

致谢 本研究获得国家“八五”科技攻关项目(85-902-06-08)专题资助,专题负责人张驰(已病逝),组织并参与了野外地质考察,乔广生和张海政分别承担同位素质谱和 ICP-MS 微量及稀土元素测定,李曰俊和徐永生参加了部分室内研究,特此致谢。

参 考 文 献

- 蔡文俊. 1986. 新疆准噶尔东北缘板块构造初步研究. 中国地质科学院沈阳地质矿产研究所编. 中国北方板块构造论文集(2). 北京:地质出版社, 1~26
- 李锦轶. 1991. 试论新疆东准噶尔古生带板块构造演化. 见:肖序常主编, 古中亚复合巨型缝合带南缘构造演化. 92~107
- 刘伟, 张湘娟. 1993. 乌仑古-古斋桑泊构造杂岩带特征及其地质意义. 见:涂光炽主编, 新疆北部固体地球科学新进展. 北京:地质出版社, 92~107
- 肖序常等. 1991. 古中亚复合巨型缝合带南缘构造演化. 见:肖序常主编, 古中亚复合巨型缝合带南缘构造演化. 1~29
- 肖序常等. 1992. 新疆北部及其邻区大地构造. 北京:地质出版社
- 张驰等. 1993. 准噶尔蛇绿岩带及其形成环境. 见:涂光炽主编, 新疆北部固体地球科学新进展. 北京:地质出版社, 53~78
- Huang Xuan and Wu Liren. 1992. The study on the granitoids in Shaanxi province by Nd-Sr isotopes. *Advances in Geoscience* (2). China Ocean Press. 211~219
- Qiao Guangsheng. 1988. Normalization of isotopic dilution analysis. *Scientia Sinica (Series A)*, Vol. X X X 1, 10: 1263~1268