

# 新疆东昆仑阿其克湖蛇绿岩的确定 ——来自岩石地球化学研究的证据\*

郝杰<sup>1,2</sup> 刘小汉<sup>2</sup> 王二七<sup>1,2</sup> 胡霏琴<sup>3</sup> 兰朝利<sup>4</sup>

1. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029; 2. 中国科学院青藏高原研究所, 北京 100029;  
3. 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640; 4. 中国石油大学, 北京 102249

**摘要** 岩石地球化学研究结果证明, 出露在新疆东昆仑阿其克湖西南畔的一套超镁铁-镁铁岩组合属于上俯冲带(SSZ)型蛇绿岩的一部分, 可能形成于弧前或弧后盆地, 文中将其称为“阿其克湖蛇绿岩”。根据区域地质调查资料 and 同位素年代学的研究结果, 认为该蛇绿岩可能形成于前泥盆纪, 区域上出露的晚古生代浅海相沉积地层不整合覆盖在其上, 即蛇绿岩是作为前泥盆系基底出露的。

**关键词** 阿其克湖蛇绿岩 岩石地球化学 东昆仑 新疆

在新疆东昆仑阿其克湖西南岸(88°30'E, 37°05'N)出露一套含有铬铁矿的超镁铁-镁铁岩组合(图1), 地貌上构成几个黑色山丘, 十分醒目。由于山丘之间被现代湖泊沉积覆盖, 所以缺少连续的剖面

和与周围地层的直接接触关系剖面。在新疆第一区域地质调查队完成的1:100万区域地质调查报告<sup>1)</sup>中, 该超镁铁-镁铁岩组合没有被命名。为了研究方便, 本文将其称为“阿其克湖蛇绿岩”。

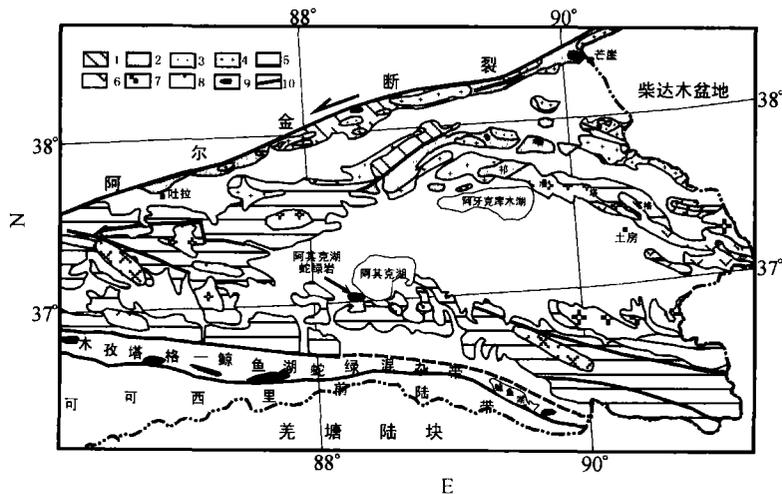


图1 新疆东昆仑地质构造略图

1, 新元古代变质岩; 2, 加里东期造山杂岩; 3, 加里东期岩浆岩; 4, 早古生代末期造山期后碱性岩;  
5, 晚古生代沉积地层; 6, 晚三叠世弧火山岩; 7, 印支期弧岩岩浆岩; 8, 燕山期花岗岩; 9, 蛇绿岩; 10, 断裂

2004-12-25 收稿; 2005-03-31 收修改稿

\* 中国科学院知识创新(KZCX2-SW-119 和 KZCX3-SW-143)资助项目

\*\* E-mail: haojie@mail.igcas.ac.cn

1) 新疆地质局第一区域地质调查队, 1/100万阿其克库木湖区域地质调查报告, 1982

关于该超镁铁-镁铁岩的成因,新疆第一区域地质调查队认为,是一套蛇绿混杂堆积,由超基性岩、辉长岩、玄武岩和放射虫硅质岩等组成,形成时代可能为志留纪或奥陶纪.姜春发等<sup>[1]</sup>和王岳军等<sup>[2]</sup>均赞同其属于蛇绿岩的认识,但是将其形成时代分别推测为三叠纪和晚石炭至早二叠世.

近年,笔者对该超镁铁-镁铁岩组合进行了区域地质调查和岩石学、岩石地球化学、同位素年代学研究.本文主要报道的是关于超镁铁-镁铁岩的地球化学方面的研究结果,并就一些相关的问题进行了讨论.

## 1 区域地质概况

超镁铁-镁铁岩组合露头整体呈EW向分布,出露长约7 km,宽约5 km,主要见有蛇纹岩、橄榄辉石岩、辉长岩,以及由基性火山岩和火山碎屑岩变质而成的绿片岩、绿帘绿泥石英片岩和云母石英片岩等.岩石普遍遭受了强烈的韧性剪切作用,

发育着透人性构造面理( $355^{\circ}\angle 40^{\circ}$ — $305^{\circ}\angle 60^{\circ}$ ),显示为中构造层次的变形特征.

超镁铁-镁铁岩周围出露的地层为中泥盆统阿其克组,岩石没有发生变形和变质,主要是一套含有大量的珊瑚化石和生物碎片以及生物礁灰岩的碳酸盐岩,为浅海相稳定型沉积.在该套地层的下部发育着数层砾岩,它们呈大型扁豆体或透镜体夹在碳酸盐岩之中.砾石主要由碳酸盐岩构成,但其中也发现有由花岗岩和燧石等构成的砾石,表明该套碳酸盐岩沉积处于距陆源区不远的浅海环境.从区域范围看,与中泥盆统一同发育的上泥盆统、石炭系和二叠系整体上都未发生变形和变质作用,只是发育了浅部构造层次的宽缓褶皱与脆性断裂构造,并有部分碳酸盐岩发生了重结晶作用.岩石的原始层理产状为 $155^{\circ}\angle 30^{\circ}$ — $175^{\circ}\angle 40^{\circ}$ ,与超镁铁-镁铁岩组合的构造面理产状具有很大的差异(图2).

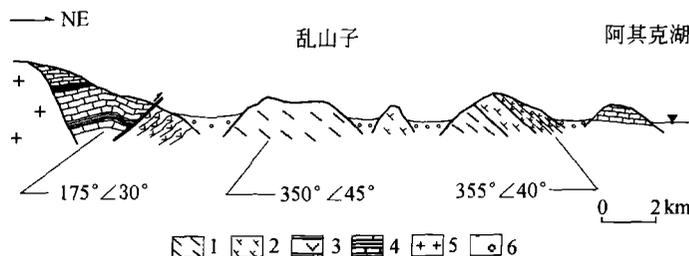


图2 新疆东昆仑阿其克湖蛇绿岩地质剖面图

1 蛇纹岩; 2 辉长岩; 3 绿片岩相变质基性火山岩;  
4 中泥盆统浅海碳酸盐岩; 5 中生代花岗岩; 6 第四纪沉积

## 2 岩石学和地球化学特征

在阿其克超镁铁-镁铁岩组合中已经发现了3类岩石:含有铬铁矿的超镁铁岩、镁铁杂岩和变质玄武岩.

### 2.1 超镁铁岩

超镁铁岩现均已变为蛇纹岩或蛇纹岩化橄榄岩,有些地段包裹有铬铁矿矿体.

蛇纹岩呈暗绿色,鳞片变晶结构,片状或块状构造,主要由蛇纹石( $>95\%$ )和少量的磁铁矿和碳酸盐矿物组成,其中蛇纹石为细小板状或纤维状,为纤蛇纹石.在橄榄石发生蛇纹石化的过程中析出的磁铁矿形成网格状构造,局部见有辉石假象.

岩石的化学成分(除去挥发份)分析结果(表1)显示:主量元素中的MgO含量为 $40.53\%$ — $43.18\%$ , $Mg^{\#}$ 为 $84.17$ — $94.39$ ,属于方辉橄榄岩MgO( $39.6\%$ — $48.4\%$ )和 $Mg^{\#}$ ( $88.6$ — $92.1$ )的变化范围; $TiO_2$ 含量大都在 $0.01\%$ — $0.02\%$ 范围内,属于Pearce<sup>[3]</sup>划分的上俯冲带(SSZ)型蛇绿岩的变质橄榄岩(图3);稀土元素的配分曲线(图4(a))显示,大多数样品为典型的LREE富集型,其 $(La)_N$ 和 $(Yb)_N$ 分别为 $0.17$ — $1.79$ 和 $0.08$ — $0.24$ ,可能是强烈亏损的地幔岩, $(La/Yb)_N$ 、 $(Sm/Nd)_N$ 和 $Sm/Nd$ 分别为 $2.10$ — $13.02$ , $1.14$ — $3.68$ 和 $0.17$ — $0.27$ ,LREE均相对于

HREE 富集; 在微量元素中, 大离子亲石元素 (LILE) 表现出较宽的变化范围, 可能反映着岩石蛇纹石化过程中蚀变作用对原岩的改造; 高场强元素 (HFSE) 含量丰度较低, Hf 为 0.005—0.164  $\mu\text{g/g}$ , Zr 为 0.14—4.249  $\mu\text{g/g}$ , Nb 为

0.009—0.76  $\mu\text{g/g}$ , Ta 为 0.014—0.131  $\mu\text{g/g}$ , 在原始地幔标准化的微量元素蛛网图上 (图 4(b)), 多数样品在 Ta 处表现为尖峰, 在 Nb 和 Zr 或 Hf, Ti 等处表现为低谷, 个别样品在 Ta, Ti 处为尖峰, 在 Nb, Zr 处为低谷。

表 1 新疆东昆仑阿其克湖超镁铁岩的主元素(%), 微量和稀土元素( $\mu\text{g/g}$ )分析结果

岩性	超基性岩(蛇纹岩、角闪岩)					堆晶辉长岩					变质玄武岩					
	编号	H13	H21	H23	H26	H29	H31	H37	H38	H39	H41	H57	H60	H61	H62	H63
SiO <sub>2</sub>	40.48	38.93	36.19	40.03	37.71	51.01	47.44	49.86	48.95	45.32	51.90	42.54	45.27	43.32	46.19	
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.02	0.01	0.09	0.01	0.09	0.36	0.16	0.24	0.29	0.26	1.68	1.28	0.75	0.17	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.44	0.39		0.64		11.45	14.15	18.70	14.86	14.99	9.64	14.86	16.60	16.74	14.10	
FeO	0.28	4.43	1.36	1.74	1.73	4.35	6.86	1.53	1.70	2.51	6.46	11.48	7.63	3.83	6.11	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.42	8.57	7.90	8.75	8.86	1.19	2.26	4.21	4.50	6.46	1.08	3.14	4.31	6.23	0.50	
MnO	0.29	0.30	0.04	0.05	0.06	0.29	0.27	0.08	0.08	0.14	0.30	0.20	0.32	0.33	0.31	
CaO	0.11	0.11	4.23	0.98	2.08	13.07	14.28	8.92	15.88	14.14	12.92	1.60	14.79	18.78	15.33	
MgO	37.30	36.21	34.36	35.82	35.93	14.93	9.95	8.39	8.72	9.99	12.82	8.05	5.90	2.97	10.79	
K <sub>2</sub> O			0.37	0.14	0.11		0.15	1.74	0.98	0.55	0.04	0.01	0.02	0.03	0.29	
Na <sub>2</sub> O			0.01	0.04	0.01		0.87	2.84	0.93	1.02	1.13	0.16	0.13	1.35	0.13	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01		0.10	0.10	0.06			0.14	0.10	0.19	0.02	0.15	0.16	0.29		
灼失	10.86	10.96	15.60	11.06	12.94	3.33	2.83	3.46	2.95	4.28	3.14	6.00	3.24	4.74	4.65	
总量	99.72	99.92	100.2	99.44	99.50	99.71	99.42	100.0	99.89	99.88	99.71	99.86	99.65	99.36	99.47	
除去挥发份计算结果																
SiO <sub>2</sub>	45.55	43.76	42.79	45.29	43.57	52.93	49.11	51.63	50.50	47.41	53.74	46.13	47.68	45.78	48.71	
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.02	0.01	0.11	0.01	0.09	0.37	0.17	0.25	0.30	0.27	1.79	1.33	0.79	0.18	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.48	0.44		0.72		11.50	14.65	19.36	15.33	15.68	9.98	15.89	17.22	17.69	14.87	
FeO	3.75	4.98	1.16	1.97	2.00	4.51	7.10	1.58	1.75	2.63	6.69	12.30	7.91	4.05	6.44	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.29	9.63	9.34	9.90	10.24	1.23	2.34	4.36	4.64	6.76	1.12	3.35	4.47	6.58	0.53	
MnO	0.26	0.34	0.05	0.06	0.07	0.30	0.28	0.08	0.08	0.15	0.31	0.38	0.33	0.35	0.33	
CaO	0.16	0.12	5.00	1.11	2.40	18.75	14.78	8.24	16.38	14.79	13.38	10.36	15.42	21.27	17.22	
MgO	42.21	40.70	40.63	40.53	41.51	20.68	10.30	8.69	9.00	10.45	13.28	9.64	6.12	3.14	11.38	
K <sub>2</sub> O			0.44	0.16	0.13		0.16	1.80	1.01	0.58	0.04	0.01	0.02	0.03	0.31	
Na <sub>2</sub> O			0.01	0.05	0.01		0.90	2.94	0.96	1.07	1.17		0.13		0.03	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01		0.12	0.11	0.07			0.14	0.10	0.20	0.02	0.16	0.17	0.31		
Fe*	10.67	13.65	10.02	10.88	11.21	5.62	9.21	5.51	5.93	8.71	7.70	16.31	11.94	9.97	6.92	
Mg#	87.52	84.17	87.85	86.91	86.84	86.76	66.60	73.77	73.00	68.15	75.46	51.31	47.75	35.94	74.57	

注: 样品由中国科学院地质与地球物理研究所 X 荧光实验室分析, 空白表示未测定。

续表

岩性	超基性岩(蛇纹岩、角闪岩)					堆晶辉长岩					变质玄武岩				
编号	H13	H21	H23	H26	H29	H31	H37	H38	H39	H41	H57	H60	H61	H62	H63
Li	1.71	0.73	2.92	2.61	2.48	3.73						4.58	8.04	3.36	
Be	<0.12	<0.02	<0.12	<0.01	<0.02	<0.02						0.19	0.10	0.57	
Sc	4.01	5.41	5.30	6.68	6.05	72.34						49.90	37.56	13.66	
V	30.55	36.41	19.88	23.71	27.19	217.6						328.20	335		
Cr	2517	1876	2136	1836	2351	2112						261.8	<4.99	<4.99	
Co	108.6	104.9	86.44	85.93	81.69	53.90	49.26	33.74	32.14	32.62	45.83	50.19	29.53	8.98	42.94
Ni	1389	1639	171	1878	1660	373.1	78.14	161.4	143	149.1	62.36	98.74	<0.74	<0.74	75.24
Cr	6.08	13.31	3.85	4.63	6.84	42.68	29.52	11.30	45.85	17.44	105.1	7.76	12.44	<0.12	17.18
Za	101.7	136.8	107.7	122.9	108.3	35.32	36.80	49.61	49.90	41.07	96.43	179.7	106.8	<0.10	37.65
Ga	0.83	0.93	0.45	0.91	0.58	1.54						20.12	23.55	19.56	
Rb	0.31	0.27	0.15	0.24	0.31	0.37	3.91	18.88	29.71	1.89	1.50	0.21	0.75	<0.05	
Sr	0.91	1.36	19.58	7.43	20.85	20.21	174.4	274.4	328.1	43.75	34.74	744.0	1322	941	20.03
Y	0.16	0.23	0.20	0.39	0.28	2.38	3.16	5.98	7.31	5.50	17.06	35.96	29.75	14.37	9.07
Zr	<0.14	0.37	0.39	4.25	1.13	0.07	0.69	4.29	4.80	4.69	35.50	79.84	42.18	20.57	20.05
Nb	0.04	0.07	0.17	0.76	0.28	<0.02	0.12	0.06	0.19	0.24	2.12	2.25	1.42	1.02	2.30
Sn								0.47	0.54	1.03	0.23				0.22
Cs	0.02	0.03	0.11	0.03	0.44	0.32	0.38	1.36	1.80	0.25	0.19	0.16	0.27	0.18	0.34
Ba	3.05	4.11	7.27	3.43	53.06	33.21	37.44	711.4	720.1	82.29	14.37	18.21	42.84	<0.28	139.0
Li	0.05	0.08	0.31	0.55	0.34	0.03	0.10	0.44	0.91	0.70	1.57	4.80	7.50	2.17	1.61
Ce	0.12	0.20	0.61	1.12	0.91	0.10	0.33	1.14	2.27	1.75	1.24	11.26	12.60	5.76	1.41
Pr	0.02	0.03	0.08	0.14	0.12	0.02	0.10	0.21	0.35	0.30	0.26	2.13	2.62	1.10	0.24
Nd	0.07	0.13	0.32	0.59	0.52	0.19	0.56	1.24	2.00	1.45	1.47	11.55	12.90	4.56	1.44
Sm	0.02	0.04	0.06	0.12	0.10	0.15	0.34	0.55	0.87	0.59	0.54	3.86	4.05	1.38	0.59
Ea	0.006	0.008	0.02	0.03	0.03	0.10	0.22	0.49	0.60	0.38	0.33	1.49	1.53	1.10	0.29
Gd	0.03	0.05	0.05	0.12	0.09	0.34	0.51	0.90	1.26	0.81	0.97	5.76	5.17	2.44	0.83
Tb	0.005	0.007	0.006	0.02	0.01	0.07	0.10	0.16	0.22	0.16	0.21	0.10	0.88	0.38	0.15
Dy	0.03	0.04	0.03	0.09	0.07	0.47	0.66	1.31	1.49	1.08	1.31	4.97	5.64	2.03	0.99
Hb	0.006	0.008	0.006	0.02	0.13	0.10	0.16	0.25	0.31	0.23	0.31	1.40	1.19	0.47	0.22
Er	0.02	0.02	0.02	0.05	0.03	0.29	0.40	0.72	0.91	0.67	0.88	4.11	3.53	1.23	0.64
Tm	0.003	0.003	0.003	0.006	0.004	0.04	0.06	0.12	0.14	0.09	0.13	0.59	0.50	0.16	0.10
Yb	0.02	0.02	0.02	0.05	0.03	0.23	0.33	0.70	0.85	0.64	0.75	3.97	3.45	0.81	0.64
La	0.003	0.003	0.003	0.006	0.004	0.03	0.06	0.10	0.12	0.09	0.12	0.58	0.50	0.12	0.09
Hf	0.01	0.02	0.01	0.16	0.03	0.03	0.17	0.28	0.33	0.24	1.98	2.59	1.47	1.75	1.26
Ta	0.05	0.03	0.08	0.13	0.10	0.02	0.12	0.80	1.44	2.04	0.06	0.25	0.23	<0.01	0.07
Tl	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01						0.01	0.01		
Pb	0.21	0.48	0.69	0.16	0.14	0.08	0.22	1.04	1.27	0.66	0.37	1.58	4.53	<0.01	0.34
Bi	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	<0.01				<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Th	0.01	0.01	0.03	0.19	0.03	0.01	0.02	0.03	0.03	0.07	0.08	0.14	0.15	0.11	0.05
U	0.02	0.05	0.07	0.04	0.08	0.02	0.04	0.03	0.03	0.03	0.08	0.11	0.14	0.04	0.04

注：样品由中国科学院地质与地球物理研究所 JICAICP-MS 实验室分析，空白表示未测定。

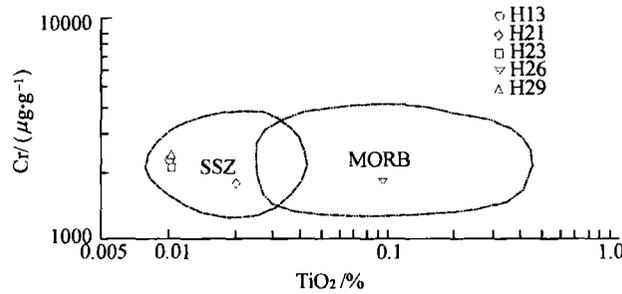


图3 新疆东昆仑地区阿其克超镁铁岩的 Cr-TiO<sub>2</sub> 图解  
SSZ: 上俯冲带型蛇绿岩; MORB: 洋中脊蛇绿岩

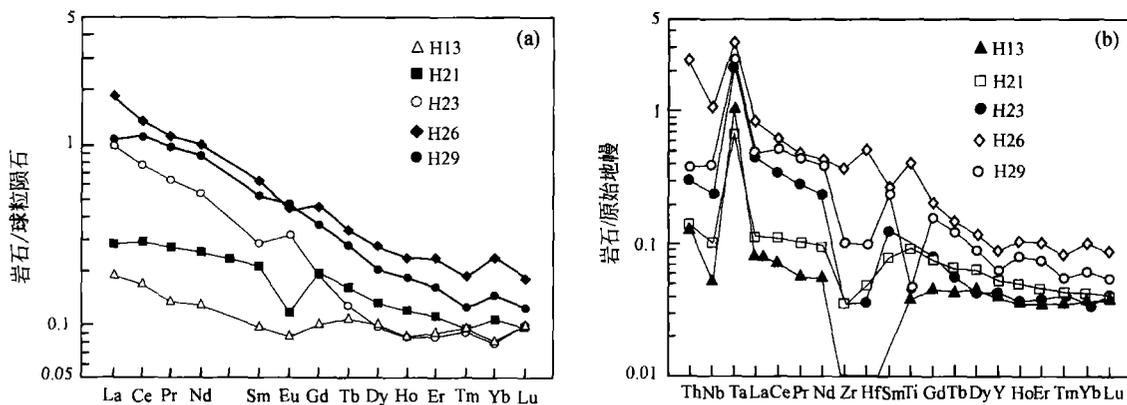


图4 新疆东昆仑阿其克湖超镁铁岩  
(a) 稀土配分图; (b) 微量元素蛛网图

2.2 镁铁杂岩

已经发现的岩石类型有橄榄辉长岩、块状辉长岩和具有层状堆晶构造的辉长岩, 岩石大多为中粒辉长结构, 块状或层状堆晶构造, 主要矿物有普通辉石(50%—60%)、基性斜长石(35%—45%)和橄榄石(<5%)、石英(<3%)以及少量的钛铁矿、磁铁矿、黄铁矿、锆石、磷灰石、金红石等副矿物。岩石大多已片理化, 其中的辉石有绿泥石化, 斜长石大都也发生了蚀变, 显示岩石发生了中构造层次变形和绿片岩相变质作用。

岩石(除去挥发份后)的 SiO<sub>2</sub> 含量在 45%—51%之间, TiO<sub>2</sub> 含量较低(平均为 0.24%), Na<sub>2</sub>O 平均含量为 1.41%, K<sub>2</sub>O 平均含量为 0.86%, 在 AFM 图(图 5)中样品多落在拉斑系列区的靠近 M 端; Mg<sup>#</sup> 平均为 73.66, 属于典型蛇绿岩镁铁质堆晶岩的 Mg<sup>#</sup> (20—80)变化范围<sup>[4]</sup>; 岩石的(La)<sub>N</sub> 为 0.11—6.99, (Yb)<sub>N</sub> 为 1.10—4.07, (La/Yb)<sub>N</sub> 为

0.10—1.81, (Sm/Yb)<sub>N</sub> 为 0.71—1.84, Sm/Nd 为 0.30—0.79, 均具有较宽的变化范围; 在稀土配分曲线图(图 6(a))中显示为 LREE 强烈亏损, 并且均具有正 Eu 异常, 指示着有长石参与结晶作用, 而 HREE 表现出平缓分布的特征, LREE 亏损可能是

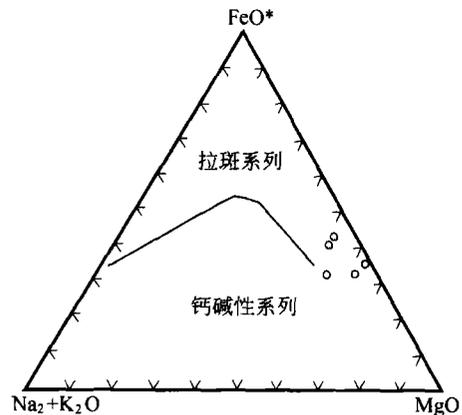


图5 新疆东昆仑阿其克湖镁铁杂岩的 AFM 图

含有铬铁矿蛇绿岩中堆晶岩的特征<sup>[5]</sup>；在原始地幔标准化的微量元素蛛网图(图6(b))中，样品均表现出 Ta 正异常和 Nb, Zr 负异常，指示了 Nb 比 Ta

和 Zr 比 Hf 更不相容的性质，微量元素的总丰度在垂向上亦表现出从底到顶的逐渐增加，显示了岩浆结晶分异的特征。

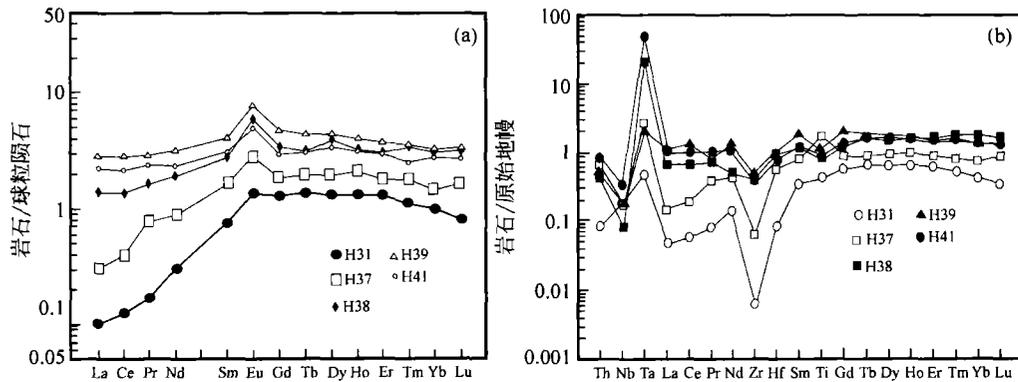


图6 新疆东昆仑阿其克湖镁铁杂岩  
(a) 稀土配分图；(b) 微量元素蛛网图

### 2.3 变质玄武岩

岩石大都已变质为具有透入性片理的绿片岩，有些外观呈块状构造，但是薄片下仍显示出强烈的片理化。

岩石样品的 SiO<sub>2</sub> 含量为 45.78%—53.74%，平均为 48.41%，较典型的大洋玄武岩略低；(La)<sub>N</sub>, (Yb)<sub>N</sub> 为 15.49—24.20, 16.50—19.01；(La/Yb)<sub>N</sub>, (Sm/Yb)<sub>N</sub>, Sm/Nd 分别为 0.82—1.47, 1.04—1.26, 0.31—0.33；稀土配分曲线总体表现为平坦型(图7(a))，与典型大洋拉斑玄武岩的稀土配分形式十分相似；在原始地幔标准化的微

量元素蛛网图(图7(b))上，样品表现出很好的一致性，均以高强元素 Nb, Zr, Ti 的亏损为特征，显示了岛弧玄武岩的成因<sup>[6,7]</sup>。根据 Condie<sup>[8]</sup> 对不同构造背景玄武岩的判别流程判定，样品具有正常洋中脊玄武岩(N-MORB)和弧玄武岩(ARCB)的特征，但更具有岛弧玄武岩的地球化学特征，表现为 Nb/La ≤ 0.8, Zr/Y < 3, Ta/Yb ≤ 0.1 等；在以不活动元素如 Nb, Ta, Zr, Hf, Y, Ti 和 V 等为参数的构造环境判别图(图8)中，样品显示了洋中脊和岛弧玄武岩的特征。

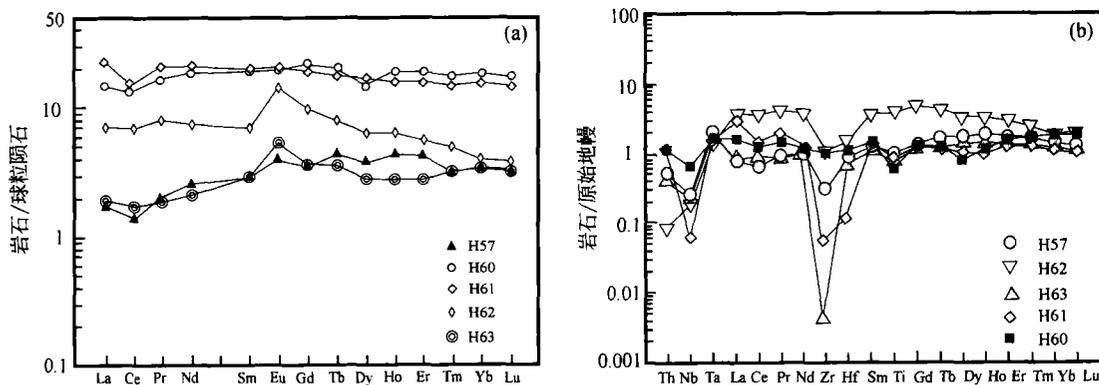


图7 新疆东昆仑阿其克湖变质玄武岩  
(a) 稀土配分图；(b) 微量元素蛛网图

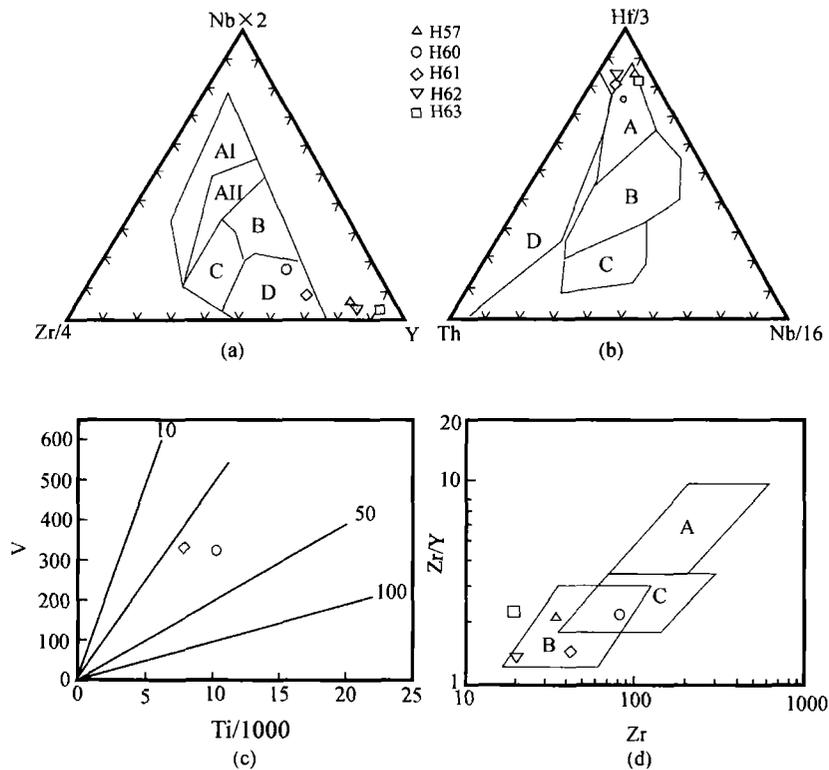


图8 新疆东昆仑阿其克湖变质玄武岩的构造环境判别图

(a) Nb-Zr-Y图, AI: 板内碱性玄武岩; AII: 板内拉斑玄武岩; B: P型洋中脊玄武岩; C: 火山弧玄武岩; D: N型洋中脊和火山弧玄武岩; (b) Hf-Th-Nb图, A: N型洋中脊玄武岩; B: E型洋中脊玄武岩和板内拉斑玄武岩; C: 板内碱性玄武岩和玄武岩; D: 破坏边缘玄武岩; (c) V-Ti图, 岛弧玄武岩 $<20$ >洋底玄武岩; (d) Zr/Y-Zr图, A: 板内玄武岩; B: 岛弧玄武岩; C: 洋中脊玄武岩

## 2.4 铬铁矿

在阿其克湖超镁铁岩中我们还首次发现了团块状或鸡窝状产出的铬铁矿体, 因此关于铬铁矿的岩石地球化学特征的研究成为本文进一步判断阿其克湖超镁铁岩形成环境的重要标志之一。

在自然界中, 铬铁矿体一般产出在两种围岩背景之中<sup>[5]</sup>, 一是产出在大型层状镁铁-超镁铁质杂岩之中, 属于大陆岩石圈内下部地幔岩浆分异的产物, 多形成在太古宙至元古宙; 二是形成在造山带蛇绿岩的变质橄榄岩上部或堆晶岩的下部, 在变质橄榄岩中其产状多为豆荚状, 具有结核状和球粒状构造, 在堆晶岩中则多为似层状。

阿其克湖铬铁矿呈黑色, 为细粒-中细粒结构, 具有斑杂状、结核状和球状构造, 可呈集合体产出在蛇纹岩之中构成矿体; 或以伴生矿物形式产出在蛇纹岩中。根据铬铁矿具有结核状、球粒状构造和

呈小型豆荚状产出的特征可以初步判断, 其可能属于造山带蛇绿质铬铁矿。

铬铁矿的化学成分特征(表2)显示, 铬铁矿中的 $TiO_2$ 含量变化较大(0—0.42%), 涵盖了层状镁铁-超镁铁岩中铬铁矿( $TiO_2 > 0.3\%$ )和蛇绿岩中铬铁矿( $TiO_2 < 0.3\%$ )的 $TiO_2$ 变化范围; 在 $Cr/(Cr+Al)-Mg/(Mg+Fe^{2+})$ 和 $100Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Al+Cr)-100Mg/(Mg+Fe^{2+})$ 相关图(图9(a), (b))中, 样品落在阿尔卑斯型杂岩和层状超镁铁杂岩范围; 但在 $Al-Cr-Fe^{3+}+2Ti$ 相关图(图9(c))中, 样品落入蛇绿岩范围; 在 $TiO_2-Al_2O_3$ 图解(图9(d))中, 样品大都落在蛇绿岩豆荚状铬铁矿附近; 在 $100Cr/(Cr+Al)-TiO_2$ 图解(图9(e))中, 样品落入大洋中脊和玻安质蛇绿岩2个区域之间, 但更靠近大洋中脊蛇绿岩区。

综合上述研究结果判断, 阿其克超基性-基性岩属于古洋壳即蛇绿岩残迹的一部分, 其可能形成在

弧前或弧后盆地构造环境, 属于上俯冲带(SSZ)型 蛇绿岩.

表2 新疆东昆仑阿其克湖超镁铁岩中铬铁矿和铁铬铁矿成分(%)

矿物	矿体中的铬铁矿						蛇纹岩中的铁铬铁矿							
	H23-1	H23-2	H25-2	H25-3	H26-3	H29-3	H12-1	H12-2	H10-1	H10-2	H13-1	H25-6	H29-4	
SiO <sub>2</sub>	0.31	0.21	0.08	0.24	0.33	0.47	0.15	0.07	0.16	0.00	0.30	0.11	0.22	
TiO <sub>2</sub>	0.31	0.00	0.32	0.33	0.42	0.29	0.20	0.14	0.18	0.38	0.20	0.28	0.27	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.31	17.25	19.31	19.95	19.78	15.18	0.58	0.47	0.09	0.53	0.21	0.83	1.07	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	45.31	46.23	41.34	40.12	41.91	39.20	32.84	34.33	14.77	27.52	15.64	21.56	22.34	
FeO	24.86	24.43	26.62	35.03	27.83	37.40	52.95	50.59	70.64	59.62	70.55	66.26	72.40	
MnO	0.41	0.00	0.00	0.74	0.12	0.33	0.78	0.00	1.99	0.83	0.85	1.47	0.98	
MgO	10.32	10.70	10.70	6.10	10.48	5.87	3.77	3.85	0.43	1.83	1.60	0.66	0.52	
CaO	0.04	0.07	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.06	0.05	0.02	
CoO	0.25	0.00	0.11	0.13	0.00	0.00	0.16	0.00	0.08	0.00	0.00	0.06	0.00	
NiO	0.00	0.44	0.24	0.00	0.00	0.00	0.40	0.24	0.66	0.30	0.88	0.48	0.00	
K <sub>2</sub> O	0.06	0.00	0.08	0.04	0.08	0.00	0.00	0.07	0.00	0.02	0.02	0.13	0.00	
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.34	0.11	0.01	0.00	0.00	0.10	1.07	1.25	0.40	0.00	0.00	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.16	0.00	0.18	0.00	0.00	
ZnO	0.53	0.18	0.67	0.00	0.00	0.00	0.41	0.22	0.00	0.00	0.00	0.39	0.00	
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.27	0.18	0.18	0.12	0.26	0.00	0.00	0.14	0.34	0.13	0.37	0.26	
总量	98.71	99.83	100.0	100.0	101.1	98.08	92.24	90.30	90.37	92.62	91.02	92.65	98.08	
Si	0.010	0.007	0.003	0.008	0.010	0.016	0.006	0.003	0.006	0.000	0.012	0.004	0.008	
Ti	0.008	0.000	0.008	0.008	0.010	0.007	0.006	0.004	0.005	0.011	0.006	0.008	0.007	
Al	0.621	0.647	0.714	0.653	0.726	0.596	0.026	0.022	0.004	0.024	0.010	0.038	0.046	
Cr	1.157	1.163	1.025	1.037	1.032	1.033	0.995	1.061	0.459	0.828	0.482	0.663	0.649	
Fe <sup>2+</sup>	0.482	0.495	0.444	0.683	0.528	0.730	0.741	0.751	0.751	0.702	0.823	0.901	0.968	
Mn	0.011	0.000	0.000	0.020	0.003	0.009	0.025	0.000	0.066	0.027	0.028	0.048	0.030	
Mg	0.497	0.508	0.500	0.297	0.487	0.292	0.215	0.224	0.025	0.104	0.093	0.038	0.028	
Ca	0.001	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.003	0.002	0.001	
Co	0.008	0.000	0.004	0.004	0.000	0.000	0.006	0.000	0.003	0.000	0.000	0.002	0.000	
Ni	0.000	0.011	0.006	0.000	0.000	0.000	0.012	0.008	0.021	0.009	0.028	0.015	0.000	
K	0.002	0.000	0.003	0.002	0.003	0.000	0.000	0.003	0.000	0.001	0.001	0.006	0.000	
Na	0.000	0.000	0.021	0.007	0.001	0.000	0.000	0.008	0.081	0.092	0.030	0.000	0.000	
P	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.005	0.000	0.006	0.000	0.000	
Zn	0.013	0.004	0.016	0.000	0.000	0.000	0.012	0.006	0.000	0.000	0.000	0.011	0.000	
V	0.000	0.006	0.004	0.004	0.002	0.004	0.000	0.000	0.004	0.009	0.003	0.010	0.006	
Fe <sup>3+</sup>	0.189	0.155	0.254	0.275	0.197	0.312	0.956	0.902	1.569	1.194	1.477	1.252	1.255	
合计 <sup>a)</sup>	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	
Cr/(Cr+Al)		0.65	0.64	0.59	0.61	0.59	0.63	0.97	0.98	0.99	0.97	0.98	0.95	0.93
Fe <sup>2+</sup> /(Fe <sup>2+</sup> +Mg)		0.49	0.49	0.47	0.70	0.52	0.71	0.77	0.77	0.97	0.87	0.90	0.96	0.97
Mg/(Mg+Fe <sup>2+</sup> )		0.51	0.51	0.53	0.30	0.48	0.29	0.23	0.23	0.03	0.13	0.10	0.04	0.03
Cr/(Cr+Al+Fe <sup>2+</sup> )		0.59	0.59	0.51	0.53	0.53	0.53	0.50	0.53	0.23	0.40	0.24	0.34	0.33
Fe <sup>3+</sup> /(Fe <sup>3+</sup> +Cr+Al)		0.10	0.08	0.13	0.14	0.10	0.16	0.48	0.45	0.77	0.58	0.75	0.64	0.64

a) 以4个氧为基础计算出的阳离子数

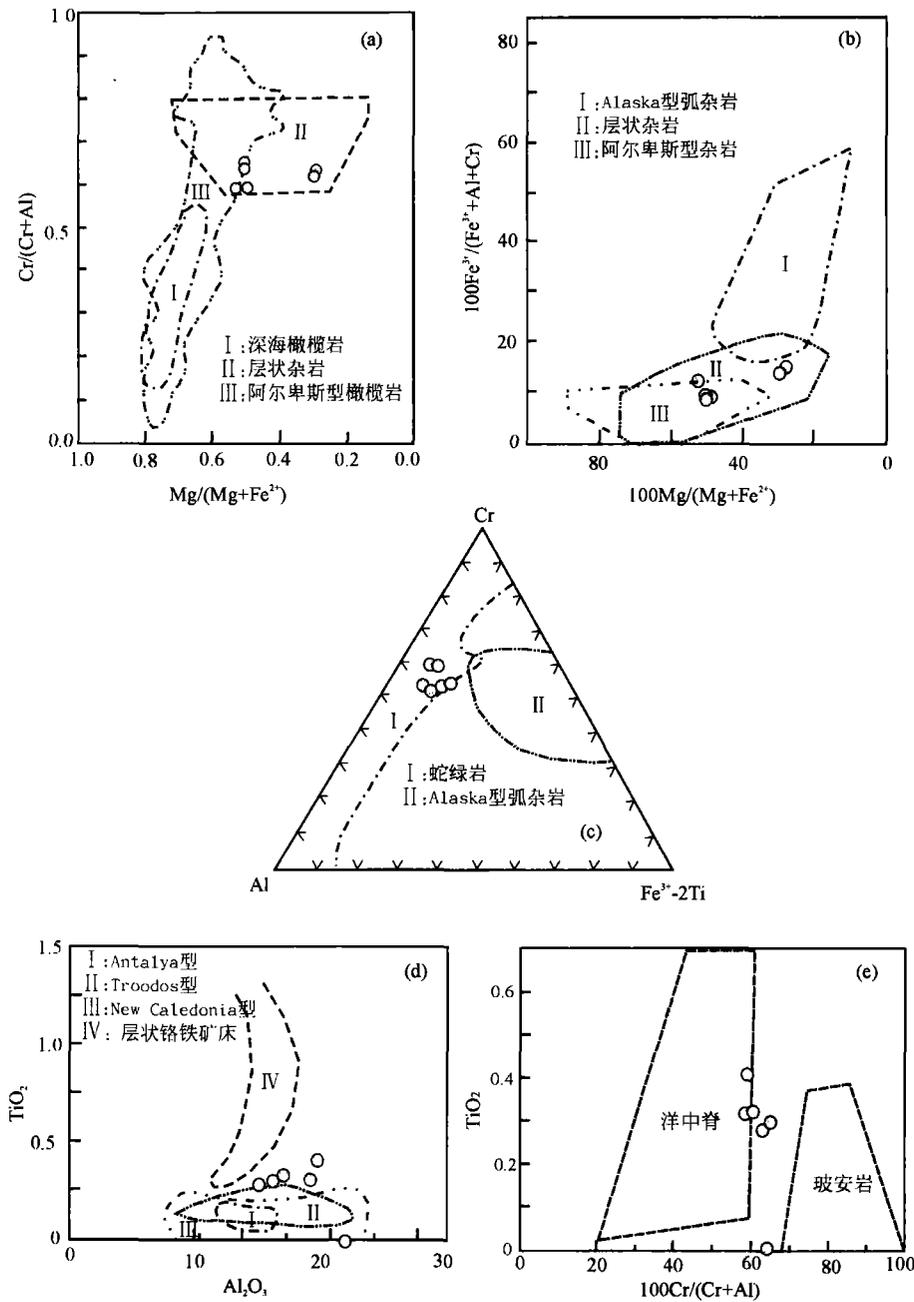


图9 新疆东昆仑阿其克湖铬铁矿形成构造环境判别图

(a) Cr/(Cr+Al)-Mg/(Mg+Fe<sup>2+</sup>) 判别图;  
 (b) 100Mg/(Mg+Fe<sup>2+</sup>)-100Fe<sup>3+</sup>/(Fe<sup>3+</sup>+Al+Cr) 判别图;  
 (c) Al-Cr-(Fe<sup>3+</sup>+2Ti) 判别图; (d) TiO<sub>2</sub>-Cr# 判别图; (e) TiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 判别图

### 3 讨论

我们的岩石地球化学研究结果证实了前人关于阿其克湖超镁铁-镁铁岩为蛇绿岩的推测是正确的, 并进一步确定了蛇绿岩属于上俯冲带(SSZ)型蛇绿

岩, 可能形成在弧前或弧后盆地环境。

另外, 根据阿其克湖蛇绿岩与周围出露的中泥盆统阿其克组, 以及区域上发育的上泥盆统、石炭系和二叠系之间在岩性和岩石的变形、变质

作用等方面存在的巨大的差异,我们推测,区域上出露的未变形、变质的中、上泥盆统、石炭系和二叠系可能不是阿其克湖蛇绿岩构造侵位的围岩。区域地质构造特征显示,阿其克湖蛇绿岩既不是飞来峰,也不是构造窗。由此判断,两者之间可能是一种先后关系,即阿其克湖蛇绿岩可能形成在前泥盆纪,而中泥盆统及其上覆地层可能是作为沉积盖层不整合沉积在其上。这一推测与阿其克湖北部祁漫塔格地区上古生界不整合沉积在加里东期祁漫塔格蛇绿混杂岩之上的事实是一致的<sup>[9]</sup>,并得到了我们获得的辉长岩中矿物内部Sm/Nd等时线年龄(955±91)Ma<sup>[10]</sup>的有力支持。

**致谢** 参加野外考察工作的还有李继亮、李曰俊、阎臻、俞良军、张为民、李金雁、曹京、周学君等。此外,笔者还就文中的一些问题与肖序常、何国琦、徐新、成守德、李锦扶和边千韬等进行过讨论,并从中得到很多有益的启示,在此一并表示感谢。

### 参 考 文 献

- 姜春发,杨经绥,冯秉贵,等. 昆仑开合构造. 北京:地质出版社,1992
- 王岳军,沈远超,林 炯. 中昆仑北部地区构造地层学初步研究. 地层学杂志,2000,24(1):55—59
- Pearce J A, Lippard S J, Roberts S. Characteristics and tectonic significance of suprasubduction zone ophiolite. In: Kokelaar B P and Howells M F. eds, Marginal Basin Geology. Oxford: Blackwell, Geol Soc Spec Publ, 1984, 16: 77—94
- Coleman R G. The diversity of ophiolites. Geologie en Mijnbouw, 1984, 63: 141—150
- 鲍佩声,王希斌,郝梓国. 我们是如何认识豆荚状铬铁矿床成因的. 地学研究,1999,27:69—77
- Jenner G A, Dunning G R, Malpas J, et al. Bay of islands and Little port complex, revisited; Age, geochemical and isotopic evidence confirm suprasubduction-zone origin. Can J Earth Sci, 1991, 28: 1635—1652
- Elthon D. Geochemical evidence for formation of the Bay of islands ophiolite above a subduction zone. Nature, 1990, 354: 140—143
- Condi K C. Geochemical changes in basalts and andesites across the Archean-Proterozoic boundary: Identification and significance. Lithos, 1989, 23: 1—18
- 郝 杰,刘小汉,桑海清. 新疆东昆仑祁漫塔格阿牙克岩体<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar同位素年龄及其地质意义. 岩石学报,2003,19(3):517—522
- 胡霭琴,郝 杰,张国新,等. 新疆东昆仑造山带新元古代蛇绿岩Sm-Nd全岩-矿物等时线定年及其地质意义. 岩石学报,2004,20(3):457—462

## 科学基金杂志社新网站开通

科学基金杂志社新网站(pub.nsf.gov.cn)已经对外开放。通过该网站,可以查阅、检索和下载《自然科学进展》中、英文版和《中国科学基金》中文版的文章。此外,读者通过该网站可以了解科学基金杂志社最新的消息、通告等。