

文章编号: 1000-6524 (2003) 03-0245-09

## 西南天山吉根地区 P\_MORB 残片的发现 及其构造意义

徐学义<sup>1,2</sup>, 马中平<sup>1,2</sup>, 李向民<sup>1,2</sup>, 何世平<sup>1</sup>, 杨军录<sup>1</sup>

(1. 西安地质矿产研究所, 陕西 西安 710054; 2. 西北大学 地质系, 陕西 西安 710069)

**摘要:** 吉根地区基性熔岩呈岩片产于古生代变质细碎屑岩中, 为拉斑系列岩石。稀土元素配分模式呈 LREE 略为富集的平坦型, 微量元素分布型式与 P\_MORB 类似, 富集 Th、Nb、Ta、Zr 等高场强元素, Zr/Nb 值约为 10,  $\epsilon_{Nd}(t)$  为 +4.24~+6.79, 与 P\_MORB 类似, 形成于洋脊环境。Sr/Nd 同位素研究表明, 该基性熔岩源区为 N\_MORB 型亏损地幔, 但在形成过程中受到了富集地幔源的影响。基性熔岩 Sm-Nd 等时线年龄为  $392 \pm 15$  Ma, 为该基性岩的形成年龄。目前, 在吉根地区已发现与该 P\_MORB 岩片相伴生的辉长辉绿岩、超基性岩岩片, 共同构成了蛇绿岩残片, 其为古生代南天山洋盆的残片。从形成年龄和分布位置看, 该蛇绿岩残片极有可能与南天山晚古生代蛇绿岩带相对应, 代表了南天山与塔里木板块的界线。

**关键词:** P\_MORB; 蛇绿岩残片; 古南天山洋; 吉根地区

中图分类号: P588.14

文献标识码: A

## The discovery of P\_MORB in Jigen area of southwest Tianshan Mountains and its tectonic implications

XU Xue\_yi<sup>1,2</sup>, MA Zhong\_ping<sup>1,2</sup>, LI Xiang\_min<sup>1,2</sup>, HE Shi\_ping<sup>1</sup> and YANG Jun\_lu<sup>1</sup>

(1. Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an 710054, China; 2. Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China)

**Abstract:** The basic lavas in Jigen area of southwest Tianshan Mountains occur as lenses or slices within the Paleozoic metasediments, with their source magma belonging to the tholeiitic series. The chondrite-normalized REE patterns indicate that they are slightly enriched in LREE. On the other hand, the trace element patterns normalized by MORB or primitive mantle show the enrichment of Th, Nb, Ta, Zr and other HFS elements with the values of Zr/Nb being 10 or so, similar to characteristics of P\_type mid\_ocean ridge basalts (P\_MORB). A Sm-Nd isochron age of  $392 \pm 15$  Ma obtained for the basic lavas is interpreted as their crystallization age. The basic lavas show high positive  $\epsilon_{Nd}(t)$  values in the range of +4.24 to +6.79, suggesting that the basic lavas were derived from mid\_ocean ridge ocean setting. The study of Sr-Nd isotopes show that the source of basic lavas was derived from the N\_MORB-like mantle and was affected by the enrichment of the mantle source during their formation processes. Other ophiolite members associated with basic lavas such as gabbro slices and altered ultrabasic rock slices were also found in Jigen area, which represent the remnants of fragmented oceanic crust of the Paleo\_South Tianshan ocean. According to the age and sites, it is proposed that the ophiolitic remnants can be correlated with the Late Paleozoic ophiolite belt in south Tianshan Mountains which serves as the boundary be-

收稿日期: 2002-11-04; 修订日期: 2003-04-11

基金项目: 中国地质调查局地质调查资助项目(200113000022)

作者简介: 徐学义(1966-), 男, 研究员, 博士, 从事区域火山岩石学研究。

tween the Tarim Plate and the South Tianshan tectonic belt.

**Key words:** P\_MORB; remnant of ophiolite; Paleo\_South Tianshan ocean; Jigen area

自国家“七五”科技攻关以来,原地矿部、中科院和国家 305 项目等在西南天山及吉根地区进行了多项基础地质及矿产资源研究工作(成守德等, 1986; 张良臣等, 1990; 肖序常等, 1992; 何国琦等, 1993; 胡霁琴等, 1997), 从不同角度对该区大地构造演化及古生代大地构造归属进行了阐述。笔者最近在吉根地区上志留统-下泥盆统未分地层中发现了呈透镜状产于变质碎屑岩中的基性熔岩残片, 为进一步研究该区古生代大地构造属性提供了较好的条件。查明这些基性熔岩残片的性质, 特别是它能否代表古生代南天山洋壳的残片, 不仅对认识该区古生代构造属性有重要作用, 对认识古生代南天山洋陆格局及构造演化也有十分重要的意义。

## 1 地质背景简述

西南天山吉根地区又称东阿赖地区, 位于中国的最西端(图 1)。其构造单元归属有不同认识: 其一, 属于南天山晚古生代陆缘盆地(张良臣等, 1990); 其二, 属哈萨克斯坦板块南缘晚古生代早期洋壳板片(肖序常等, 1992); 其三, 属塔里木板块北缘活动带<sup>①</sup>。区内北北东向(倾向北西)断裂构造十分发育, 但岩浆活动很微弱, 除一些酸性和基性岩脉外未见有大的侵入体出露。全区由呈北北东走向的上志留统-下泥盆统未分地层及中下泥盆统组成。分布于吉根以西地区的中下泥盆统主要为变质砂岩

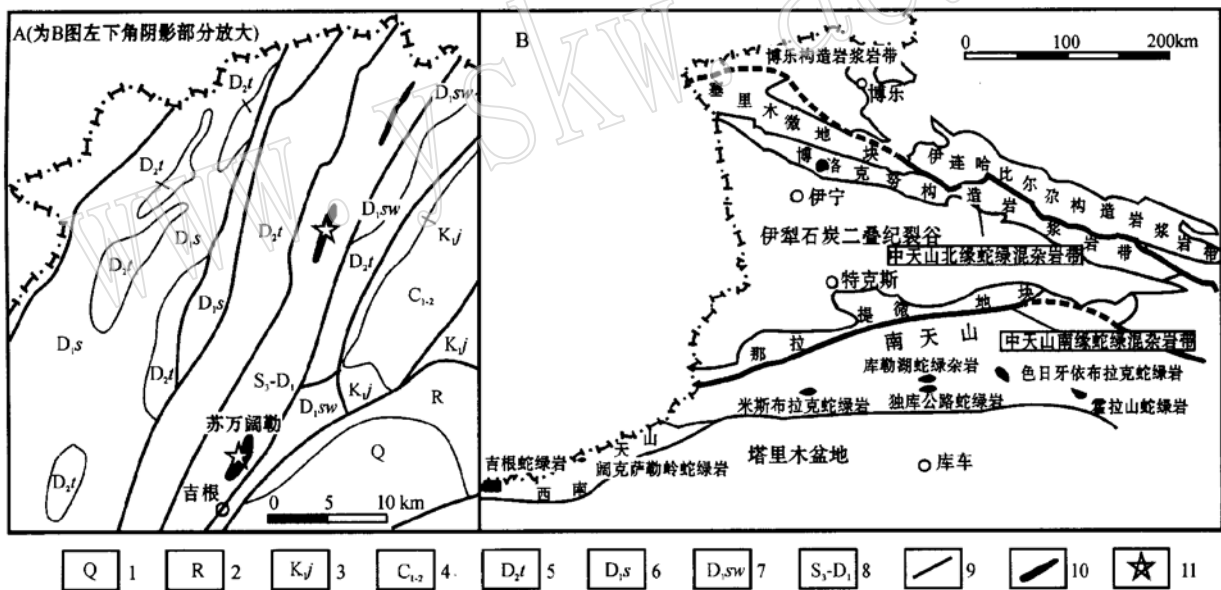


图 1 吉根地区地质略图及南天山—西南天山晚古生代蛇绿岩分布示意图

Fig. 1 Simplified geological map of Jigen area and sketch map of Late Paleozoic ophiolite belt in south and southwest Tianshan Mountains

- 1—第四系; 2—第三系; 3—早白垩世砂岩; 4—早中石炭世变砂岩、变质粉砂岩、板岩、灰岩; 5—中泥盆世托格买提组灰岩; 6—早泥盆世沙尔组砂岩夹千枚岩、硅质岩; 7—早泥盆世萨瓦阿尔顿组变砂岩夹千枚岩; 8—上志留统-下泥盆统未分地层; 9—断层;  
10—蛇绿岩片或基性熔岩岩片; 11—采样位置
- 1—Quaternary; 2—Tertiary; 3—Early Cretaceous sandstone; 4—Early and Middle Carboniferous metasandstone, metasiltstone, slate and limestone; 5—Middle Devonian limestone of Tuogemaiti Formation; 6—Early Devonian sandstone, phyllite and siliceous rock of Shaer Formation; 7—Early Devonian metasandstone and phyllite of Sawayaerdun Formation; 8—Upper Silurian—Lower Devonian strata; 9—fault; 10—ophiolite and basaltic lava; 11—sampling locations

① 原地质矿产部地质调查局, 1996. 全国第二轮成矿远景区划成果汇总报告.

及千枚岩、硅质岩,其中下泥盆统含有少量基性火山岩、安山岩,以木孜别里地区基性火山岩最为发育。分布于吉根以东的中下泥盆统主要为变砂岩夹千枚岩,另外有早石炭世浅变质碎屑岩和早白垩世砂岩分布。上志留统-下泥盆统未分地层主要分布于吉根-萨瓦亚尔顿地区,下部为千枚岩,上部主要为硅质岩夹变质粉砂岩及少量具有蛇绿岩岩石组合特征的基性熔岩岩片、基性熔岩-辉长辉绿岩-碳酸盐化超基性岩岩片(苏万阔勒沟),各岩片之间以倾向北西的逆冲断层接触,沿走向断续延伸约 45 km。本次研究的采样点即位于其中的基性火山岩岩片之中,在吉根乡以北较远地区采集的样品为第 1 组(编号 L14),在吉根乡附近(苏万阔勒沟)采集的样品为第 2 组(编号 L11)(图 1A)。

## 2 岩石学特征

本区蛇绿岩岩片以苏万阔勒沟发育较为完整(图 2),其中超基性岩(变质橄榄岩)已蚀变为石英菱镁岩,呈黄褐色,主要由石英、镁铁碳酸岩矿物组成。辉长辉绿岩呈灰色、灰白色,粒度较粗,具辉长辉绿结构,矿物成分以辉石(部分发生角闪石化)和斜长石为主。两组基性熔岩为细碧岩或细碧玢岩,呈灰绿色,在显微镜下具有相同的矿物特征及结构构造特征,均为少斑-斑状结构,斑晶主要为钠质斜长石,少量辉石和磁铁矿;基质具间隐结构,主要由细小钠质斜长石晶体和绿泥石、绿帘石等矿物组成。

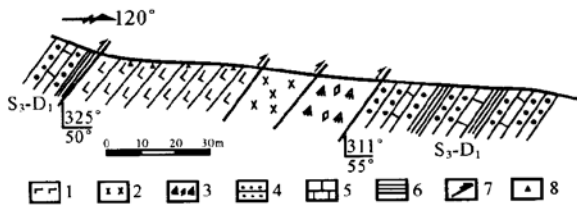


图 2 吉根地区苏万阔勒沟蛇绿岩残片剖面

Fig. 2 Profile of ophiolitic relic in Suwankuole, Jigen area  
 1—基性熔岩; 2—辉长辉绿岩; 3—碳酸盐化超基性岩; 4—变质细砂岩; 5—灰岩; 6—硅质岩; 7—逆冲断层; 8—取样点(编号 L14)  
 1—basic lava; 2—gabbro/diabase; 3—carbonatized ultrabasic rock; 4—metasandstone; 5—limestone; 6—siliceous rock; 7—thrust fault; 8—sampling location

## 3 分析方法

本文对 10 个基性熔岩样品进行了主量、微量

及稀土元素分析(表 1),并对其中 8 个样品进行了 Sr-Nd 同位素组成测定。主量元素在中国科学院地球化学研究所用 X 荧光光谱法分析(分析者:李荪蓉),REE 和微量元素(除 V、Nb、Y)在中国科学院高能物理研究所用中子活化分析(分析者:贾秀勤);V、Nb、Y 在国土资源部实验测试中心用 X 荧光光谱分析(分析者:王尔良)。Rb-Sr 和 Sm-Nd 同位素均在中科院地质地球物理研究所同位素超净实验室用同位素稀释法完成。比较表 1 和同位素测试数据,发现两种方法所测 Rb 含量均相差 1 个数量级,这应是中子活化法分析时 Rb 的系统误差所致。样品用 HF + HClO<sub>4</sub> 在 Teflon 容器中低温溶解,分别采用 AG50W × 8(H<sup>+</sup>) 阳离子交换柱和 P507 萃淋对脂分离出纯净的 Rb-Sr 或 Sm-Nd,同位素测定在 VG354 同位素质谱计上进行。年龄计算采用 York 回归法计算。

## 4 结果和讨论

### 4.1 岩石分类

由于本区基性火山岩均经历了变质和蚀变作用,其 K、Na 和低场强元素为活泼元素,在变质和蚀变过程中有可能发生迁移,因此,主要采用不活泼元素进行岩石分类和元素地球化学特征探讨。吉根地区细碧岩或细碧玢岩以低 Zr/TiO<sub>2</sub> (0.0029 ~ 0.0099) 和 Nb/Y (0.31 ~ 0.37) 为特征,类似于拉斑玄武岩,在 Zr/TiO<sub>2</sub> - Nb/Y 相关图(Winchester and Floyd, 1976) 上投入亚碱性玄武岩区,在 Zr/TiO<sub>2</sub> - SiO<sub>2</sub> 相关图中,除样品 L14B3 外,均落入拉斑玄武岩范围(图 3)。

### 4.2 主量元素特征

该区基性熔岩 SiO<sub>2</sub> 含量为 45.18% ~ 52.05%,明显属于基性火山岩类。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 变化范围为 15.82% ~ 22.20%,TiO<sub>2</sub> 含量为 1.52% ~ 2.55%,明显不同于 TiO<sub>2</sub> (< 1%) 含量非常低的岛弧玄武岩,亦不同于弧后盆地玄武岩的 TiO<sub>2</sub> 含量(多数 < 2%) 及 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (13% ~ 16%) 含量相对低的大陆溢流玄武岩(Wilson, 1989; 董云鹏等, 2002)。

### 4.3 微量及稀土元素特征

该区基性火山岩稀土元素分布型式比较平坦,(La/Yb)<sub>N</sub> 变化范围在 1.00 ~ 2.20 之间,多位于 1.12 ~ 1.57,轻稀土元素略为富集(图 4),类似于典型的 P\_MORB(Wilson, 1989),其中第 2 组基性火山

表 1 吉根地区基性熔岩主量元素 ( $w_B/\%$ ) 稀土元素和微量元素 ( $w_B/10^{-6}$ ) 分析结果

Table 1 Major element, REE and trace element analyses of basic lavas in Jigen area

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
样号	L11B1	L11H1	L11B3_1	L11B2	L11B3_2	L11H2	L14B3	L14B4	L14B6	L14H3_1
岩性	细碧玢岩					细碧岩				
SiO <sub>2</sub>	52.05	51.91	50.31	51.32	49.25	50.69	42.98	46.05	45.18	46.03
TiO <sub>2</sub>	1.90	2.15	1.80	2.55	2.05	2.30	1.52	1.65	2.20	1.62
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.82	16.06	17.77	16.77	20.20	16.29	22.20	18.19	18.10	18.18
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.95	8.90	5.74	8.06	5.40	8.15	3.20	7.40	8.32	3.54
FeO	3.55	3.50	5.56	4.54	4.50	5.55	7.80	4.20	4.18	8.06
MnO	0.06	0.06	0.07	0.09	0.07	0.08	0.15	0.17	0.16	0.15
MgO	7.20	7.60	7.90	6.30	7.80	6.40	8.30	8.00	8.12	9.40
CaO	2.40	2.40	2.30	2.70	2.40	2.30	6.30	6.00	9.20	6.10
Na <sub>2</sub> O	5.16	5.59	4.63	4.68	4.60	4.61	3.60	3.09	1.12	2.15
K <sub>2</sub> O	0.05	0.05	0.03	0.04	0.04	0.04	0.07	0.07	0.05	0.04
H <sub>2</sub> O	1.99	0.82	2.93	2.33	2.98	2.62	2.98	4.89	2.00	4.25
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.33	0.33	0.26	0.40	0.33	0.31	0.20	0.16	0.23	0.18
CO <sub>2</sub>									1.10	
总和	99.46	99.37	99.30	99.84	99.62	99.34	99.30	99.87	99.96	99.70
Sr	186.0	83.7	82.7	110.0	145.0	89.9	221.0	188.0	149.0	174.0
Rb	33.4	34.1	34.1	11.3	33.5	34.0	23.5	39.9	40.5	35.5
Ba	59.9	68.7	39.9	62.0	48.1	71.5	176.0	113.0	98.8	142.0
Th	0.980	0.910	0.930	0.970	0.810	1.010	0.460	0.394	0.482	0.296
Ta	1.29.0	1.320	1.190	1.660	1.130	1.370	0.600	0.533	0.489	0.432
Nb	16.3	17.9	15.5	18.2	15.0	17.0	8.5	8.8	10.4	8.0
Zr	189.0	187.0	141.0	254.0	163.0	148.0	163.0	61.6	62.7	92.7
Hf	4.37	4.93	4.24	5.00	3.80	4.47	1.97	2.24	2.70	1.82
Y	42.2	48.9	44.3	57.4	40.2	52.1	23.9	25.4	33.4	26.0
La	10.30	11.60	8.86	10.30	7.70	10.10	6.54	6.84	7.81	6.30
Ce	25.8	25.4	20.1	24.3	20.3	21.1	12.6	14.2	15.4	12.0
Nd	19.00	17.30	16.10	17.60	16.00	19.90	10.10	13.80	14.80	8.12
Sm	5.48	5.61	5.31	6.72	4.92	5.90	3.34	3.74	4.59	3.37
Eu	1.62	2.04	1.71	2.06	1.85	1.79	1.27	1.39	1.94	1.06
Tb	1.22	1.29	1.27	1.71	1.04	1.39	0.71	1.02	0.993	0.852
Yb	5.16	5.42	5.22	6.19	5.19	5.61	2.00	2.52	3.36	2.31
Lu	0.734	0.809	0.792	0.919	0.743	0.859	0.402	0.437	0.555	0.428

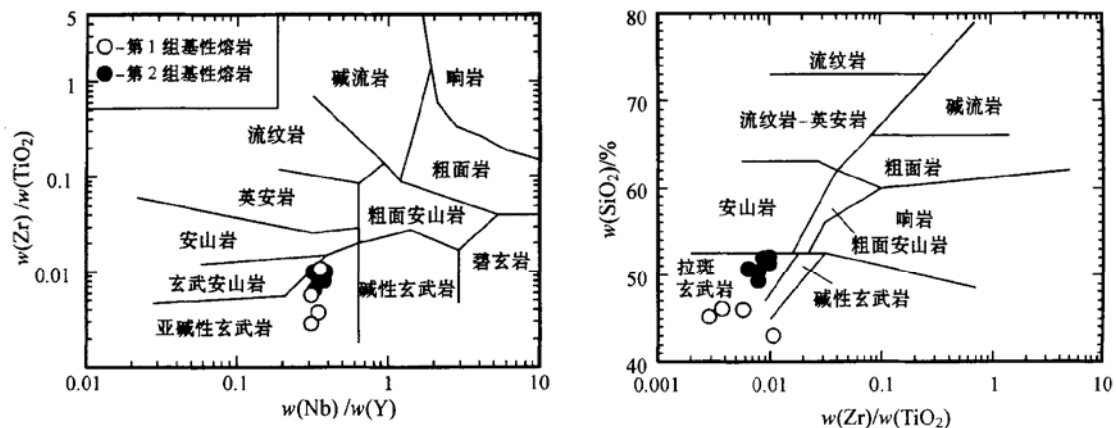


图 3 吉根基性熔岩  $Zr/TiO_2 - Nb/Y$  和  $SiO_2 - Zr/TiO_2$  相关图(据 Winchester and Floyd, 1976)  
 Fig. 3  $Zr/TiO_2 - Nb/Y$  and  $SiO_2 - Zr/TiO_2$  diagrams for classification of the basic lavas in Jigen area  
 (after Winchester and Floyd, 1976)

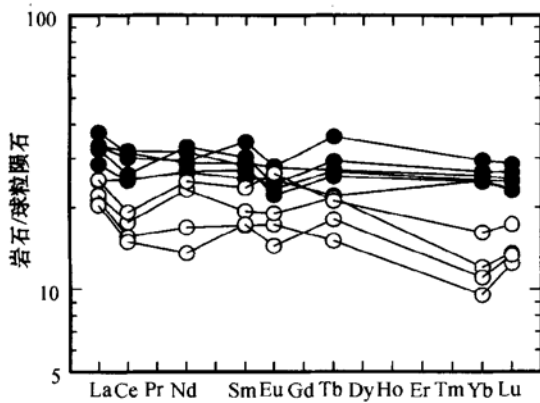


图 4 吉根地区基性熔岩稀土元素标准化分配型式  
 Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns of basic lavas in Jigen area  
 图例同图 3; 标准化数值据 Boynton, 1984  
 symbols are same as those in Fig. 3; chondrite values are from Boynton, 1984

岩样品稀土元素整体丰度高于第 1 组基性火山岩。总体来看, 各样品稀土元素谱线基本平行, 显示 REE 分馏程度相当, Eu 异常微弱或不明显。ΣREE 较低, 为  $34.44 \sim 69.47 (10^{-6})$  (8 个元素), 是球粒陨石  $2.85 \times 10^{-6}$  的 12~24 倍, 与 E\_MORB 稀土元素总量相当 (Wilson, 1989)。

基性熔岩样品的原始地幔标准化分布图 (图 5a) 及 MORB 标准化微量元素分布图 (图 5b) 均具有以下特点: ① Nb 和 Ta 富集, 与岛弧玄武岩亏损 Nb、Ta 完全不同; ② 大离子亲石元素 (LILE) Sr、K (可能受到后期蚀变的影响)、Rb、Ba 完全不同于大陆板内玄武岩的“大隆起”分布形态; ③ Sr、Rb、Ba、Th 远较 N\_MORB 富集; ④ 微量元素的整体丰度低于洋岛玄

武岩的丰度; ⑤ 整体分布型式类似于 P\_MORB 的分布型式 (Wilson, 1989)。因此, 对比分析认为, 本区基性火山岩为 P\_MORB。另外, 第 2 组基性火山岩微量元素丰度高于第 1 组基性火山岩。

高场强元素 (HFSE) Zr、Hf、Nb、Ta、Sm、P、Ti、Y、Yb 等活动性小, 是研究岩浆成因及演化的可靠指标。其中 Zr/Nb 值是非常有效的环境判别标志, N\_MORB 的 Zr/Nb 值多大于 30, P\_MORB 和板内玄武岩 Zr/Nb 值约为 10 左右 (Wilson, 1989)。本区玄武岩的 Zr 含量为  $61.6 \sim 254 (10^{-6})$ , Nb 含量为  $8.0 \sim 18.2 (10^{-6})$ , Zr/Nb 值为  $6.03 \sim 13.96$ ; Y/Nb 为  $2.59 \sim 3.21$ , 类似于 P\_MORB (Y/Nb = 3) (Wilson, 1989); Hf/Th 值为  $4.28 \sim 6.15$ , 类似于 P\_MORB 和板内玄武岩 (Hf/Th < 8, Condie, 1989)。Nb/La 值为  $1.30 \sim 1.95$ , Ce/Nb 值  $1.30 \sim 1.61$ , 与 N\_MORB ( $0.8 < Nb/La < 1.0$ ,  $Ce/Nb > 2.0$ , Condie, 1989) 完全不同, 而与 P\_MORB 类似 ( $1.0 < Nb/La < 2.0$ ,  $Ce/Nb < 2.0$ , Condie, 1989)。在大多数微量元素构造环境判别图解上, 本区基性火山岩样品投影点多落入 P\_MORB 区。在 Th - Hf/3 - Ta 相关图 (Meschede, 1986) (图 6a) 中, 样品投点集中落在 P\_MORB 区; 在  $2Nb - Zr/4 - Y$  相关图 (Wood, 1980) (图 6b) 中, 投点多落入 P\_MORB 区或其邻近; 在  $3Tb - Th - 2Ta$  相关图 (Cabanis *et al.*, 1988) 中 (图 6c), 投点落入 P\_MORB 区。

4.4 Sr\_Nd 同位素地球化学

Sr\_Nd 同位素的分析结果列于表 2。在 Sm\_Nd 同位素相关图 (图 7) 上, 第 1 组基性熔岩的 5 个样品构成一线形良好的 Sm\_Nd 等时线 (MSWD = 0.49),

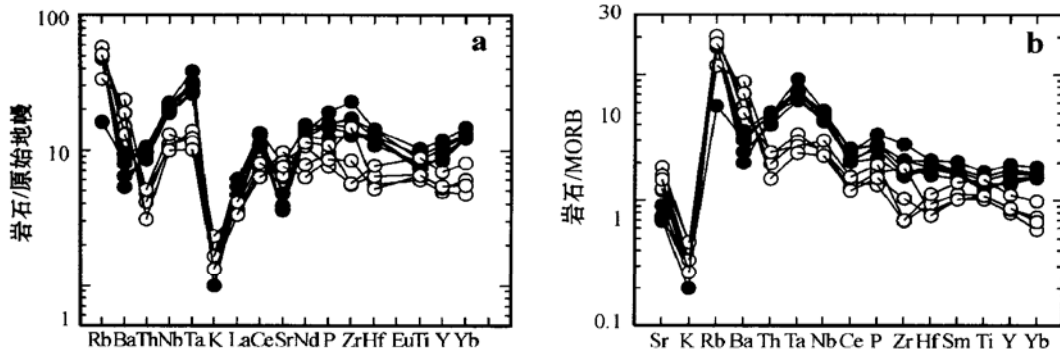


图 5 吉根地区基性熔岩微量元素变异图解

Fig. 5 Diagrams of trace elements variation patterns of basic lavas in Jigen area  
 原始地幔标准化数值据 Wood (1979); MORB 标准化数值据 Sun *et al.* (1982); 图例同图 3  
 primitive mantle values are from Wood (1979); MORB values are from Sun *et al.* (1982); symbols are same as those in Fig. 3

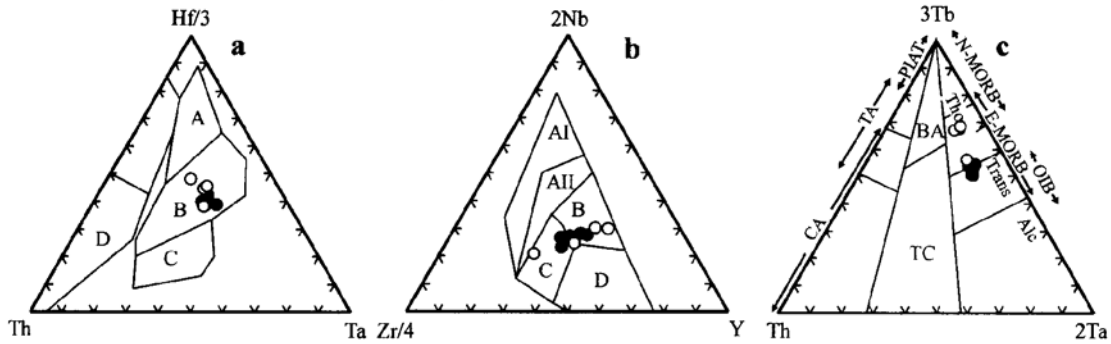


图6 吉根地区基性熔岩产出的地质构造环境图解

Fig. 6 Discrimination of tectonic setting of basic lavas in Jigen area

图例同图3: a: A—正常洋脊玄武岩; B—富集型洋脊玄武岩; C—板内玄武岩; D—岛弧玄武岩; b: A I、A II—板内碱性玄武岩; A II、C—板内拉斑玄武岩; B—富集型洋脊拉斑玄武岩; D—正常型洋脊拉斑玄武岩; C、D—岛弧玄武岩; c: OIB—洋岛玄武岩; Tho—拉斑玄武岩; Trans—过渡型玄武岩; Alc—大陆碱性玄武岩; TC—大陆拉斑玄武岩; BA—弧后和弧前盆地玄武岩; PIAT—初始岛弧拉斑玄武岩; TA—岛弧拉斑玄武岩; CA—岛弧钙碱性玄武岩

symbols are same as those in Fig. 3; a: A—N\_MORB; B—E\_MORB; C—within\_plate basalt; D—island\_arc basalt; b: A I, A II—within\_plate alkali basalt; A II, C—within\_plate tholeiite; B—E\_MORB; D—N\_MORB; C, D— island arc basalt; c: OIB—ocean island basalt; Tho—tholeiite; Trans—transition\_type basalt; Alc—continental alkali basalt; TC—continental tholeiite; BA—back\_arc and forearc basin basalt; PIAT—primitive island\_arc tholeiite; TA— island\_arc tholeiite; CA— island\_arc calc\_alkaline basalt

表2 西南天山吉根地区基性熔岩的同位素组成

Table 2 Sm-Nd and Rb-Sr isotopic composition of basic lavas in Jigen area of Southwest Tianshan Mountains

样号	L11B1*	L11B2*	L11B3_1	L11B3_2*	L11H1*	L11H2*	L14B3	L14B6
$w(\text{Sm})/10^{-6}$	5.1890	7.3580	5.5040	4.8290	5.7040	6.8270	3.1750	4.4540
$w(\text{Nd})/10^{-6}$	16.68	23.64	17.73	15.14	18.45	21.60	10.64	14.49
$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	0.18810	0.18830	0.18770	0.19290	0.18700	0.19120	0.18050	0.18600
$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}(\pm 2\sigma)$	0.512854 ± 16	0.512862 ± 11	0.512871 ± 7	0.512976 ± 9	0.512830 ± 15	0.512918 ± 13	0.512932	0.512950
$(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_t$	0.512371	0.512379	0.512389	0.512481	0.512350	0.512427	0.512469	0.512473
$\epsilon_{\text{Nd}}(t)$	4.65	4.80	5.00	6.79	4.24	5.74	6.55	6.63
$w(\text{Rb})/10^{-6}$	2.358	4.119	1.981	1.103	8.046	6.143	1.687	1.710
$w(\text{Sr})/10^{-6}$	103.00	85.38	75.69	79.75	107.10	81.21	218.50	247.90
$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	0.066110	0.139300	0.075580	0.039950	0.216900	0.218500	0.022290	0.019920
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(\pm 2\sigma)$	0.703701 ± 19	0.704691 ± 20	0.704361 ± 18	0.704175 ± 20	0.704707 ± 18	0.705177 ± 18	0.704442 ± 16	0.704361 ± 20
$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_t$	0.703332	0.703914	0.703939	0.703952	0.703496	0.703960	0.704318	0.703250
$\epsilon_{\text{Sr}}(t)$	-12.71	-4.46	-4.09	-3.91	-10.38	-3.83	1.28	-13.88

注: ( $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ )<sub>chur</sub> = 0.1967, ( $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ )<sub>chur</sub> = 0.512638,  $\epsilon_{\text{Nd}} = 0.00000654 \text{ Ma}^{-1}$ , ( $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>chur</sub> = 0.0847, ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>chur</sub> = 0.7047,  $\epsilon_{\text{Sr}} = 0.0000142 \text{ Ma}^{-1}$ ; \* 为 Sm-Nd 等时线测试样品。

相应年龄为  $392 \pm 15 \text{ Ma}$ 。笔者认为该年龄代表了基性熔岩结晶时的年龄。用该年龄对 Sr-Nd 同位素测试结果进行计算, 所得  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值变化相对较小, 在  $+4.24 \sim +6.79$  之间, 而  $\epsilon_{\text{Sr}}(t)$  值变化范围较大, 在  $-12.71 \sim +1.28$  之间, 多位于  $-3 \sim -4$  之间。高的  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值表明这些基性熔岩来源于相对亏损的地幔, 假若现代 MORB 型亏损地幔的  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  ( $+10 \pm 2$ ) 是古太古代 (4.0 Ga) 从球粒陨石未分异型地幔线形演化而来 (李献华等, 2000), 那么 392 Ma 前的

MORB 型的亏损地幔平均值应为  $+9.4 \pm 2$ 。该区基性熔岩的  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  最大值与同时期的 N\_MORB 的下限值非常接近, 表明基性熔岩最亏损的源区类似于 N\_MORB 地幔源区, 多数  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值小于同时期的 N\_MORB, 表明岩浆在形成过程中受到了富集地幔的影响。在  $\epsilon_{\text{Nd}}(t) - ^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(t)$  图解 (图 8a) 中, 样品投点落入靠近 MORB 区的 OIB 区, 在  $\epsilon_{\text{Nd}}(t) - \text{Sm}/\text{Nd}$  相关图 (图 8b) 中, 样品投点落入 MORB 和 OIB 区之间, 靠近 MORB 区, 这正是基性熔岩在形

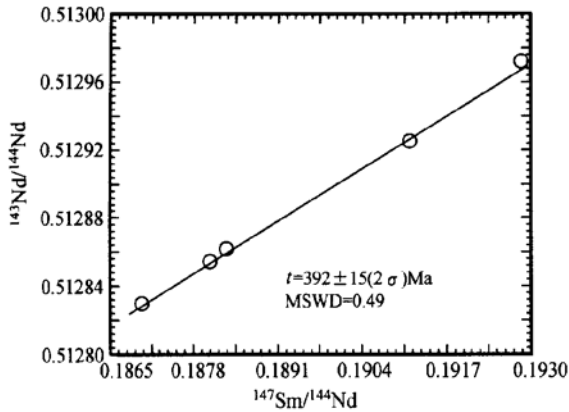


图 7 吉根地区第 1 组基性熔岩 Sm-Nd 等时线年龄  
Fig. 7 Sm-Nd isochron diagram of the basic lavas in Jigen area

成过程中受到了富集地幔物质的影响的表现。 $\epsilon_{Nd}(t)$  值变化较大可能暗示基性火山岩形成过程受先期俯冲作用的影响或受后期蚀变作用影响。

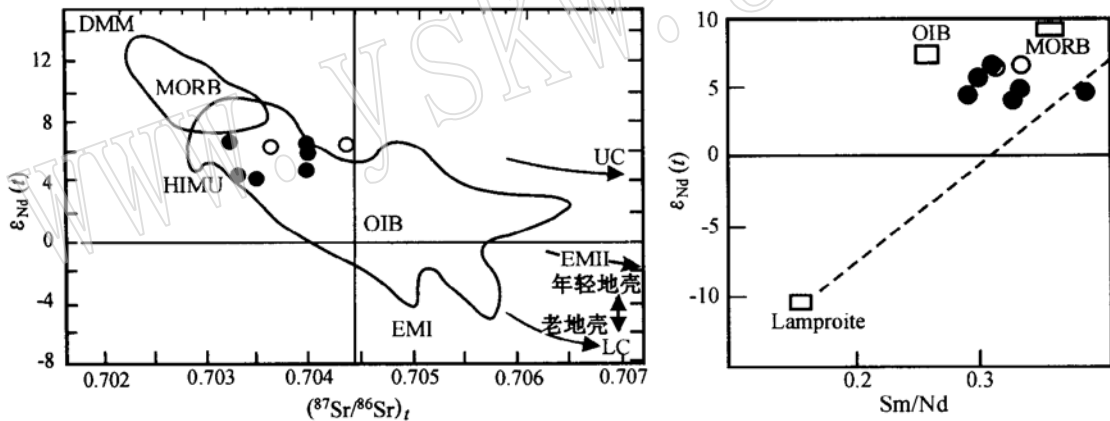


图 8 吉根地区基性熔岩  $\epsilon_{Nd}(t) - (^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_t$  (据 DePaolo 等, 1979) 及  $\epsilon_{Nd}(t) - \text{Sm}/\text{Nd}$  (据 Zindle 等, 1986) 相关图  
Fig. 8  $\epsilon_{Nd}(t) - (^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_t$  (after DePaolo *et al.*, 1982) and  $\epsilon_{Nd}(t) - \text{Sm}/\text{Nd}$  (after Zindle *et al.*, 1986) diagrams of basic lavas in Jigen area

OIB—洋岛玄武岩; UC—上地壳; LC—下地壳; 图例见图 3

OIB—oceanic island basalt; UC—upper crust; LC—lower crust; symbols are same as those in Fig. 3

1998)。郝杰等(1993)测得长阿吾子辉长岩中辉石单矿物 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为  $439.4 \pm 26.7 \text{ Ma}$ , 该年龄代表了长阿吾子蛇绿混杂岩中蛇绿岩的形成年龄。古洛沟蛇绿混杂岩目前还没有准确的同位素年龄数据, 但依据蛇绿混杂岩中与枕状熔岩、硅质岩相伴的灰岩透镜体中含晚志留世—早泥盆世珊瑚化石(梁云海等, 2000), 推测蛇绿岩的形成年龄的上限为晚志留世—早泥盆世。库米什蛇绿混杂岩中硅质岩中

### 5 构造意义讨论

元素和 Sm-Nd 同位素地球化学研究结果表明, 吉根基性熔岩形成时代为  $392 \pm 15 \text{ Ma}$ , 属 P-MORB, 形成于洋中脊或成熟的弧后盆地, 岩浆源区为亏损地幔, 在形成过程中受到富集地幔的影响。与该基性火山岩岩片相伴的还有辉长辉绿岩岩片、碳酸盐化超基性岩岩片, 它们很有可能是古生代南天山洋盆的残片。这些洋盆的残片对了解西南天山地区古生代大地构造演化具有重要意义。

目前中国境内天山造山带已发现的蛇绿岩或蛇绿混杂岩均位于阿克苏以东地区(图 1B), 在南天山前人报道有两条蛇绿岩带, 一条为长阿吾子—古洛沟—乌瓦门—库米什蛇绿混杂岩带, 从出露位置和形成时代来看, 为中天山南缘蛇绿混杂岩带, 目前多数学者认为其为南天山古洋盆晚志留世末—泥盆世俯冲作用的产物(汤耀庆等, 1994; Gao Jun *et al.*,

含有晚志留世的化石(何国琦等, 1995), 说明该蛇绿岩的形成时代不晚于晚志留世。中天山南缘蛇绿混杂岩带为中天山和南天山的分界线, 它的西延问题一直存有争议, 还有待进一步工作。南天山另一条蛇绿岩带为南天山晚古生代蛇绿岩带, 分为南、北二支, 北支沿库勒湖、铁力买提达坂一带分布, 南支沿米斯布拉克—霍拉山—独库公路 965 km 一带分布。据库勒湖蛇绿混杂岩中硅质岩放射虫或牙形刺化石

时代为晚泥盆世—早石炭世(汤耀庆等, 1994), 独库公路 965 km 处蛇绿岩中辉长岩中斜长石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 主坪年龄为 333.5 Ma(何国琦等, 1996), 霍拉山蛇绿岩中硅质岩中发现大量晚泥盆世、杜内世、维宪世牙形刺和放射虫(李茂松等, 1996), 可以认为该条蛇绿岩带形成的上限年龄为晚泥盆世至早石炭世。

何国琦等(2001)在综合我国的西南天山与邻区吉尔吉斯南天山最新的研究成果后认为, 南天山古洋可能经历了两个阶段的开合演化。第一个阶段是早古生代开合演化, 在早古生代末期开始俯冲消减, 既使未完全闭合, 亦至少经历了相当大的变化, 表现为其边缘的陆壳增生事件和古洋的萎缩。第二阶段开始于晚志留世到早泥盆世, 又一次拉张高峰期到来, 南天山古洋得到新的发展, 其扩张中心向南有所迁移。笔者据此推测, 中天山南缘蛇绿混杂岩带代表了南天山古洋早古生代晚期消减闭合带, 而南天山晚古生代蛇绿岩带是第二次拉张期间南天山古洋扩张中心南移后的洋壳残片或消减闭合带。该蛇绿岩为晚古生代塔里木板块北缘拉张形成洋盆消减的产物, 代表了塔里木盆地与南天山的分界线。

值得一提的是, 赵仁夫等(2002)在中国境内西南天山阔克萨勒岭地区发现了蛇绿岩残片, 从地质对比角度认为它与吉根蛇绿岩残片带相对应, 共同构成了中国境内西南天山蛇绿杂岩带。另外, 北部境外阔克萨勒岭地区近年来的填图工作发现了塔里木盆地的基底——乔洛克托尔群(何国琦等, 2001), 这说明吉根—阔克萨勒岭蛇绿岩带可能是塔里木板块内部拉开形成的次级洋盆残片。因此, 它与南天山晚古生代蛇绿岩带相对应。吉根蛇绿岩残片形成年龄为  $392 \pm 15$  左右, 按最新地层学年代划分, 应属早—中泥盆世, 正好与南天山洋第二次扩张期年龄吻合。

综上所述, 笔者认为, 吉根蛇绿杂岩西部的东阿赖地区和阔克萨勒岭地区是我国境内西南天山地区南天山造山带与塔里木板块的分界线。

## 6 结论

吉根地区基性熔岩属拉斑系列岩石, 其  $\text{Sm-Nd}$  等时线年龄为  $392 \pm 15$  Ma, 代表了基性熔岩的形成年龄。这些基性熔岩稀土元素呈 LREE 略为富集的平坦型, 富集 Th、Nb、Ta、Zr 等高场强元素, Zr/Nb 值约为 10 左右, Y/Nb 值约为 3, Cs、K、Rb、Ba 富集

程度低, 具有与 P\_MORB 类似的特点, 在微量元素构造环境相关图中多落入 P\_MORB 区域。上述特点均表明该基性熔岩为 P\_MORB, 形成于洋中脊环境。该 P\_MORB 的  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  在 +4.24~+6.79 之间变化,  $\epsilon_{\text{Sr}}(t)$  值变化范围较大, 在 -12.71~+1.28 之间, 多位于 -3~-4, 说明其来源于相对亏损的地幔, 但形成过程中受到了富集地幔的影响。目前, 在吉根地区已发现与该 P\_MORB 岩片相伴生的辉长辉绿岩、超基性岩岩片, 共同构成了蛇绿岩的残片, 它们极有可能为古生代南天山洋盆的残片。从形成年龄和分布位置看, 该蛇绿岩残片可能与南天山晚古生代蛇绿岩相对应, 代表了南天山与塔里木板块的分界线。

## References

- Boynton W V. 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies[A]. Henderson P. Rare Earth Element Geochemistry [C]. Elsevier, 63~114.
- Cabanis B, Thieblemont D. 1988. La discrimination des tholeiites continentales et des basalts arriere-arc. Proposition d'un nouveau diagramme, le triangle Th-3 Tb-2 Ta[J]. Bull. Soc. Geol. France, (6): 927~935.
- Cheng Shoude, Wang Guangrui, Yang Shude, et al. The paleo-plate tectonics in Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 1986, 4(2): 1~26 (in Chinese).
- Condie K C. 1989. Geochemical changes in basalts and andesites across the Archaean-Proterozoic boundary: identification and significance [J]. Lithos, 23: 1~18.
- Depaolo D J, Wasserburg G J. 1979. Petrogenetic mixing models and Nd/Sr isotopic patterns[J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 43: 615~627.
- Dong Yunpeng, Zhu Bingquan, Chang Xiangyang, et al. 2002. Geochemistry of the basalts from north of the Shizong Mile belt, eastern Yunnan Province: constraints on the tectonic framework of the south China continent[J]. Acta Petrologica Sinica, 18(1): 37~46 (in Chinese with English abstract).
- Gao Jun, Li Maosong, Xiao Xuchang, et al. 1998. Paleozoic tectonic evolution of the Tianshan Orogen, northwestern China [J]. Tectonophysics, 287: 213~231.
- Hao Jie, Liu Xiaohan. 1993. The age and tectonic significance of ophiolitic mélange in south Tianshan Mountains[J]. Scientia Geologica Sinica, 28(1): 93~95 (in Chinese with English abstract).
- He Guoqi, Li Maosong. 1996. Study on Paleozoic ophiolites and their tectonic significance in Hinggan-Mongolian-North Xinjiang and adjacent area[A]. Zhang Qi. Study on Ophiolite and Earth Dynamics [C]. Beijing: Geological Publishing House, 104~107 (in Chinese).



- He Guoqi, Li Maosong, Liu Dequan, *et al.* 1994. Paleozoic Crustal Evolution and Mineralization in Xinjiang of China[M]. Urmqi: Xijiang People's Publishing House(in Chinese).
- He Guoqi, Li Maosong, Liu Dequan, *et al.* 2001. Geotectonic research of southwest Tianshan and its west adjacent area, China[J]. Xijiang Geology, 19(1): 7~ 11(in Chinese).
- He Guoqi, Liu Dequan, Li Maosong. 1995. The five-stage model and ore-forming series of crustal development of major orogenies in Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 13(2): 59~ 69(in Chinese).
- Hu Aiqin, Wang Zhonggang, Tu Guangzhi, *et al.* 1997. Geological Evolution and Ore-forming Rules in Northern Xinjiang Province [M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Li Maosong. 1996. Ophiolites belts in southwest Chinese Tianshan[A]. Zhang Qi. Study on Ophiolite and Earth Dynamics[C]. Beijing: Geological Publishing House, 112~ 116(in Chinese).
- Li Xianhua, Zhou Hanwen, Ding Shijiang, *et al.* 2000. Sm-Nd isotopic constraints on the age of the Bangxi-Chenxing ophiolite in Hainan Island: implications for the tectonic evolution of eastern Paleotethys[J]. Acta Petrologica Sinica, 16(3): 425~ 432(in Chinese with English abstract).
- Liang Yunhai. 2000. The discussion of Paleozoic opening and closing belts in south Tianshan Mountains in Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 18(3): 45~ 52(in Chinese).
- Meschede M. 1986. A method of discrimination between different type of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram[J]. Chem. Geol., 56: 207~ 218.
- Tang Yaoqing, Gao Jun, Zhao Min, *et al.* 1995. The Ophiolites and Blueschists in the Southwestern Tianshan Orogenic Belt Xinjiang, Northwestern China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 59~ 91(in Chinese).
- Winchester J A and Floyd P A. 1976. Geochemical magma type discrimination: application to altered and metamorphosed igneous rocks[J]. Earth Planet. Sci. Lett., 28: 459~ 469.
- Wood D A. 1979. A variably veined suboceanic upper mantle genetic significance for mid-ocean ridge basalts from geochemical evidence[J]. Geology, 7: 499~ 503.
- Wood D A. 1980. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary Volcanic Province[J]. Earth Planet. Sci. Lett., 50: 11~ 30.
- Wilson M. 1989. Igneous Petrogenesis[M]. London: Unwin Hyman.
- Xiao Xuchang, Tang Yaoqing, Feng Yimin, *et al.* 1992. Tectonic Evolution of Northern Xinjiang and Its Adjacent Regions[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Zhao Renfu, Yang Jianguo, Yao Wenguang, *et al.* 2002. The new progress on mineral resources survey in southwest Tianshan Mountains[J]. Northwest Geology, 35(4): 45~ 67(in Chinese).
- Zindler A, Hart S. 1986. Chemical geodynamics[J]. Am. Rev. Earth Planet. Sci., 5(14): 493~ 571.

## 附中文参考文献

- 成守德, 王广瑞, 杨树德, 等. 1986. 新疆古板块构造[J]. 新疆地质, 4(2): 1~ 26.
- 董云鹏, 朱炳泉, 常向阳, 等. 2002. 滇东师宗—弥勒带北段基性火山岩地球化学及其对华南大陆构造格局的制约[J]. 岩石学报, 18(1): 37~ 46.
- 郝杰, 刘小汉. 1993. 南天山蛇绿混杂岩形成时代及大地构造意义[J]. 地质科学, 28(1): 93~ 95.
- 何国琦, 李茂松. 1996. 兴蒙—北疆及邻区古生代蛇绿岩的对比研究及其大地构造意义[A]. 张旗. 蛇绿岩与地球动力学研究[C]. 北京: 地质出版社, 104~ 107.
- 何国琦, 李茂松, 刘德权, 等. 1993. 中国新疆古生代地壳演化及成矿[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社.
- 何国琦, 李茂松, 刘德全, 等. 2001. 中国西南天山及邻区大地构造研究[J]. 新疆地质, 19(1): 7~ 11.
- 何国琦, 刘德全, 李茂松. 1995. 新疆主要造山带地壳发展的五阶段模式及成矿系列[J]. 新疆地质, 13(2): 59~ 69.
- 胡霭琴, 王中刚, 涂光炽, 等. 1997. 新疆北部地质演化及成矿规律[M]. 北京: 地质出版社.
- 李茂松. 1996. 中国西南天山的蛇绿岩带[A]. 张旗. 蛇绿岩与地球动力学研究[C]. 北京: 地质出版社, 112~ 116.
- 李献华, 周汉文, 丁式江, 等. 2000. 海南岛“邦溪—晨星蛇绿岩片”的时代及其构造意义——Sm-Nd 同位素制约[J]. 岩石学报, 16(3): 425~ 432.
- 梁云海. 2000. 新疆南天山古生代开合带及其讨论[J]. 新疆地质, 18(3): 45~ 52.
- 汤耀庆, 高俊, 赵民, 等. 1995. 西南天山蛇绿岩和蓝片岩[M]. 北京: 地质出版社, 59~ 91.
- 肖序常, 汤耀庆, 冯益民, 等. 1992. 新疆北部及其邻区大地构造[M]. 北京: 地质出版社.
- 张良臣, 刘德权, 唐延龄, 等. 1990. 新疆的宝藏[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社.
- 赵仁夫, 杨建国, 姚文光, 等. 2002. 西南天山矿产资源综合调查新进展[J]. 西北地质, 35(4): 45~ 67.