

新疆东昆仑地区新元古代蛇绿岩 Sm-Nd 全岩 - 矿物等时线定年及其地质意义^{*}

胡霭琴¹ 郝杰² 张国新¹ 张鸿斌¹

HU AiQin, HAO Jie, ZHANG GuoXin and ZHANG HongBin

1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640

2. 中国科学院地质和地球物理研究所, 北京 100029

1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

2. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

2001-07-02 收稿, 2004-04-26 改回.

Hu AQ, Hao J, Zhang GX and Zhang HB. 2004. Whole-rock and minerals Sm-Nd isochron age of early Neoproterozoic ophiolites and its geological significance in the eastern Kunlun area, Xinjiang, China. *Acta Petrologica Sinica*, 20(3): 457-462

Abstract There are hundreds of ophiolites blocks nearby the Kunzhong fault in the eastern Kunlun area. Ages of Sm-Nd whole rocks isochron for some ophiolites published are uncertain and formation ages of ophiolites have been debated. In this study, using whole rock and minerals isochron of cumulate gabbro from the Aqike ophiolites in the eastern Kunlun area in Xinjiang to determine the formation age of the ophiolites, the isochron of WR of gabbro, CPX and PLAG yields an age of $955 \pm 91 (2\sigma)$ Ma and $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = +0.4$. It indicates that the Aqike ophiolite emplaced during the early Neoproterozoic, showing formation age of the Kunlun oceanic crust. Since then, it is possible that the Kunlun Paleoproterozoic terrane could be accreted to the south side of Tarim terrane with the Kunlun Ocean closed, which makes implication for tectonic simultaneity with assembly of the Rodinia supercontinent during period from 1.0 to 0.9 Ga. The evidence of the isotopic geochronology in this study is significant to discuss tectonic relationship of the Kunlun terrane and northwestern continent of China with Rodinia supercontinent.

Key words Eastern Kunlun, Aqike ophiolite, Sm-Nd age, Whole-rock and mineral isochron

摘要 昆中断裂带附近出露着近百个蛇绿岩块体,但是对其形成时代问题一直存在较大的争议。本研究用蛇绿岩中的堆晶辉长岩 Sm-Nd 全岩 - 矿物(单斜辉石和斜长石)等时线定年方法研究了新疆东昆仑地区阿其克蛇绿岩的形成时代,得到 $t = 955 \pm 91 (2\sigma)$ Ma, $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = +0.4$ 结果,代表洋壳形成的时间,并限定了该蛇绿岩侵位时代为新元古代早期。由此推断,随着昆仑洋的闭合,昆仑地区的古元古代地体向塔里木古老地块南缘的拼贴事件与罗迪尼亚超大陆形成(1.0 ~ 0.9 Ga)有同时性。因此,这一研究结果对进一步探讨昆仑地区以及我国西北大陆在新元古代早期与罗迪尼亚超大陆的关系提供了同位素年代学证据。

关键词 东昆仑; 阿其克蛇绿岩; Sm-Nd 年龄; 全岩 - 矿物等时线

中图法分类号 P597.3; P588.125; P534.3

1 研究目的和方法

在昆仑造山带的东段出露着百余个蛇绿岩块体,对于沿

昆中断裂出露的一些蛇绿岩研究的比较多,如:清水泉蛇绿岩、吉日迈蛇绿岩、拉马托洛湖蛇绿岩、塔妥蛇绿岩、乌妥蛇绿岩和木孜塔格等(高延林等,1988;郑健康,1992;陈能松等,1999;解玉月,1998;朱云海等,1999;李卫东等,2003),

^{*} 该项研究得到国家重点基础研究发展规划项目“中亚型造山与成矿综合研究”(编号:2001CB409805)和国家自然科学基金(编号:49633250)的共同资助。

第一作者简介:胡霭琴,女,1940年生,研究员,同位素年代学和地球化学, E-mail: aqhugic@pub.guangzhou.gd.cn

但是对于蛇绿岩形成时代的认识至今仍存在着一些争议。姜春发等(1992)依据温贤弼等(1984)在邻区前人争议的火山岩地层中发现了早石炭世化石以及 K-Ar 年龄值 235Ma 和 261Ma 的资料,认为蛇绿岩可能属石炭纪;高延林等(1988)根据蛇绿岩侵位于原划为“下古生界”的地层,提出清水泉蛇绿岩属早古生代,是早古生代秦祁昆古大洋在东昆仑地区的裂片,并据此认为昆中断裂是东昆仑地区的一条早古生代缝合带;郑健康(1992)根据清水泉蛇绿岩的 Sm-Nd 等时线年龄 1297Ma 以及大量的元古宙微体古生物化石证据,提出昆仑大洋形成于元古宙的观点;解玉月(1998)根据吉日迈蛇绿岩中蚀变橄榄岩的 Sm-Nd 等时线年龄 $1331 \pm 78\text{Ma}$ 和 $1027 \pm 108\text{Ma}$ 以及被认为同属该套蛇绿岩的万宝沟基性火山岩的 Sm-Nd 等时线年龄 884Ma(1:5 万区调资料,见解玉月,1998),认为这些蛇绿岩为新元古代的;又因在拉玛托洛湖蛇绿岩出露的地层中发现了大量的珊瑚和腕足类化石和辉长岩的 K-Ar 年龄 $246 \pm 3\text{Ma}$,提出昆中断裂带存在新元古代和晚古生代两个时代的蛇绿岩(解玉月,1998)。此外,边千韬等(1999)还在东昆仑造山带昆南断裂带的南侧研究了阿尼玛卿蛇绿岩的时代。在西段布表山-牧羊山蛇绿岩的辉长岩中获得锆石 U-Pb 年龄为 $467 \pm 1\text{Ma}$;在牧羊山日什风蛇绿岩混杂岩带硅质岩中发现早石炭世放射虫。

综上所述,关于昆中断裂附近的蛇绿岩形成时代的认识主要有以下几种观点:(1)形成在新元古代;(2)形成在早古生代;(3)形成在晚古生代;(4)存在着新元古代和晚古生代两套蛇绿岩。关于蛇绿岩的形成时代问题一直没有定论的主要原因可能是由于如下两方面的问题。首先,依据包裹蛇绿岩岩块的围岩时代判定蛇绿岩的形成时代具有很多不确定因素,可能由于围岩的时代不大可靠,而不可能确定可靠的蛇绿岩形成时代,或是由于蛇绿岩的侵位方式的不同,如拉玛托洛湖蛇绿岩与地层为冷侵入关系等(解玉月,1998),以及后期的构造活动而使蛇绿岩和其现在的周围岩石没有特定的时间关系,所以用围岩的地层时代判定蛇绿岩的形成时代是有较大问题的。其二,由于选用的同位素定年方法不适宜确定蛇绿岩的侵位年龄,例如:K-Ar 同位素体系受到热动力影响时原有的同位素计时体系遭到破坏,只能给出地质体经受的最后一次热事件的时间。由于蛇绿岩常常因为受到后期构造活动的影响,特别是对于元古宙蛇绿岩,由于古生代及其以后的构造热事件的影响,其 K-Ar 年龄大多不能给出蛇绿岩形成时代;第三,由于 Sm-Nd 同位素体系对后期地质作用的相对稳定性,目前多用于蛇绿岩的定年研究。然而,应用等时线方法时不但要有足够的样品点数,而且对样品的要求非常严格,即要保证它们的同源性和在地质历史中同位素体系未遭受破坏,又要求各样品点的母子体同位素比值(比如: $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$)能有较大的差别,以使其在等时线图中分布范围比较大,以减少计算年龄的误差。目前资料中一些 Sm-Nd 等时线包括的样品点少,又由于采集一组等时线年龄样品时,较难判断构成等时线的样品是否同源,

因此其“全岩等时线年龄”是否代表蛇绿岩形成的真实年龄均存在一些问题,一些学者对我国南方蛇绿岩形成时代的研究中已有过一些经验(比如李献华等,1994)。

鉴于 Sm-Nd 全岩等时线方法存在的弊病,为了得到可靠的蛇绿岩的形成年龄,目前国内、外众多学者应用较多的是 SHRIMP(离子探针)锆石 U-Pb 年龄测定(李献华等,1994)。但是,由于蛇绿岩套中一些镁铁质岩石中不能分选出锆石时,采用岩石的全岩-矿物内部等时线年龄的方法,同样可以成功的获得蛇绿岩套中镁铁质岩石的侵位年龄。成功的研究实例如:Jacobsen and Wasserburg(1979)确定了 Bay of Islands 蛇绿混杂岩时代,McCulloch 等(1981)得到了 Samail 蛇绿岩的年龄。在国内也发表了一些新元古代蛇绿岩的 Sm-Nd 矿物内部等时线年龄,比如安徽省歙县伏川蛇绿岩(周新民等,1989;Chen *et al.*, 1991),江西樟树墩蛇绿岩(Chen *et al.*, 1991),北秦岭松树沟蛇绿岩的石榴石斜长角闪岩的时代等(李曙光等,1992)等。因为从一块手标本中分选出的单矿物和全岩构成的等时线,完全满足了等时线上各样品点的同源性,当选择 Sm/Nd 比值差别较大的单矿物时,比如辉长岩中的辉石和斜长石组成等时线比较适合于等时线的要求。因此,本研究中借鉴前人的成功经验应用 Sm-Nd 全岩-矿物内部等时线方法对蛇绿岩中的辉长岩定年,得到比较可信赖的蛇绿岩的侵位年龄。

2 区域地质简况

定年样品为蛇绿岩中的辉长岩,采自新疆东昆仑地区阿其克库勒湖西南畔(图1),与辉长岩一起出露的还有含铬铁矿的超镁铁岩和绿片岩相变质的玄武岩等,有关蛇绿岩岩石学和岩石地球化学研究结果详见另文(郝杰等,待刊)。

辉长岩与含有铬铁矿的超镁铁岩以及变质玄武岩露头整体呈 EW 向分布,出露长约 7km,宽约 5km,岩石普遍遭受了强烈的韧性剪切作用,发育着透入性构造面理(产状: $355^\circ \angle 40^\circ \sim 305^\circ \angle 60^\circ$),显示着中构造层次变形和绿片岩相变质特征。其周围出露的地层为中泥盆统阿其克组,主要是一套碳酸盐沉积,其中含有大量的珊瑚化石和生物碎片,常见有生物礁灰岩,显示着浅海稳定型沉积特征。在其下部还发现有数层砾岩夹层,其中的砾石主要由碳酸盐岩构成,但也发现有少量的花岗岩和燧石等构成的砾石,表明处于距陆源区不远的环境。地层整体上没有发生变形、变质作用,一般为重结晶作用和褶皱与脆性断裂构造,地层产状: $155^\circ \angle 30^\circ \sim 175^\circ \angle 40^\circ$ 。

根据上述区域地质特征可以初步判断,已经发生中构造层次变形和绿片岩相变质作用的蛇绿岩残块与其周围的没有发生变形、变质的中泥盆统之间无论是在形成构造背景上,还是在变形、变质程度上都存在着巨大的差异,因此区域性出露的中泥盆统碳酸盐岩不可能是该蛇绿岩的基岩围岩,所以不能用区域性出露的中泥盆统地层时代推测或限定该

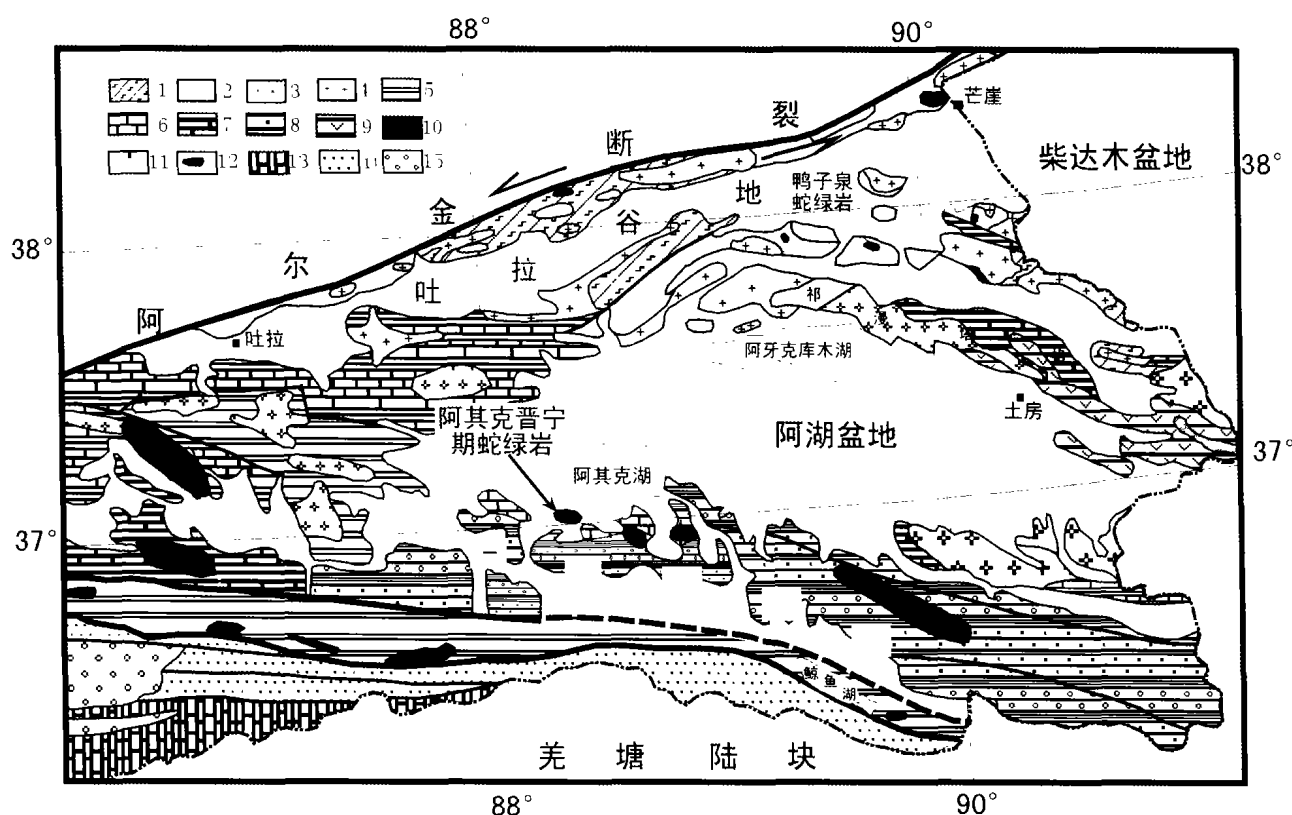


图1 新疆东昆仑区域地质构造略图与样品采集地点

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. 早古生代末期碱性花岗岩; 5. 上志留统浅海相碳酸盐岩; 6. 泥盆系碳酸盐岩; 7. 石炭系碎屑岩-碳酸盐岩; 8. 二叠系碎屑岩; 9. 上三叠统陆缘弧火山岩; 10. 印支期弧岩浆岩; 11. 燕山期花岗岩; 12. 不同时期的蛇绿岩; 13, 14. 羌塘北缘二叠和三叠系被动陆缘沉积; 15. 侏罗系陆相沉积

Fig. 1 Simplified regional geologic and tectonic map of east segment of the Eastern Kunlun area, showing sampling location

蛇绿岩的形成时代。此外,由于蛇绿岩已经发生了绿片岩相变质作用,所以在伴生的大洋沉积岩中寻找古生物化石也将是十分困难的。因此,同位素定年对于确定该蛇绿岩的形成时代则显得更为重要。

3 样品特征

分析样品为辉长岩,岩石的露头 and 手标本上均可以看到清楚的堆晶构造,属于蛇绿岩中的堆晶岩。岩石呈深灰-灰黑色,粗晶块状结构,结晶粒状构造。显微镜下可见辉长结构,但由于交代作用和斜长石绢云母化,使得辉长结构在有些地方不典型。普通辉石约 45% 左右,新鲜、无蚀变,解理和裂隙发育。斜长石约 55% 左右,粒度较辉石小,有相当多斜长石发生绢云母化,多数斜长石为中长石。用手工方法从一块辉长岩标本中精选出斜长石和辉石,单矿物的纯度均达到 98%~99%。全岩样品选择该标本中比较均匀的部分制

成,岩石的破碎和粉末的加工全是使用单独经过纯净水清洗的各种器皿,为保障化学流程中样品的充分溶解,60~80 目的全岩和辉石、斜长石样品经纯净水清洗并在低于 100℃ 下烘干后,在纯净的玛瑙乳钵中分别研磨成 200 目以下的粉末,用于 Sm-Nd 同位素年龄测定。

4 分析结果和有关问题的讨论

辉长岩全岩和单矿物的 Sm-Nd 分析在中国科学院地质和地球物理研究所同位素实验室完成,溶样、和 Sm、Nd 化学分离实验流程,以及应用质谱同位素稀释法对 Sm、Nd 定量分析和 Nd 同位素比值的测定等均使用常规方法(张宗清和叶笑江,1987; Qiao, 1988; Huang and Wu, 1992)。辉长岩全岩和辉石、斜长石单矿物的 Sm-Nd 同位素分析结果列于表 1,等时线图见图 2。

表1 新疆东昆仑地区阿其克蛇绿岩中辉长岩和单矿物 Sm-Nd 同位素分析结果

Table 1 Sm-Nd isotopic compositions for gabbro and minerals from the Aqike ophiolite in eastern Kunlun area, Xinjiang

样品号	样品名称	Sm ($\mu\text{g/g}$)	Nd ($\mu\text{g/g}$)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	2σ	$\varepsilon_{\text{Nd}}(0)$	$f_{\text{Sm}/\text{Nd}}$	$T_{\text{CHUR}}(\text{Ga})$	$\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$
EK-1	辉长岩全岩	1.843	5.932	0.1878	0.512613	8	-0.49	-0.05	0.43	0.6
EK-2	斜长石	0.1180	0.4620	0.1544	0.512383	27	-4.97	-0.28	0.92	0.2
EK-3	辉石	5.983	16.81	0.2152	0.512762	11	2.42	0.09	1.02	0.2

分析者:中国科学院地质与地球物理研究所同位素实验室乔广生、张任祜等;表中 Nd 同位素比值均对 $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.7219$ 进行标准化;

$T_{\text{CHUR}} = 1/\lambda \times \ln(1 + [(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{样品}} - 0.512638] / [(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{样品}} - 0.1967])$, 其中 $\lambda = 6.54 \times 10^{-12} \text{a}^{-1}$

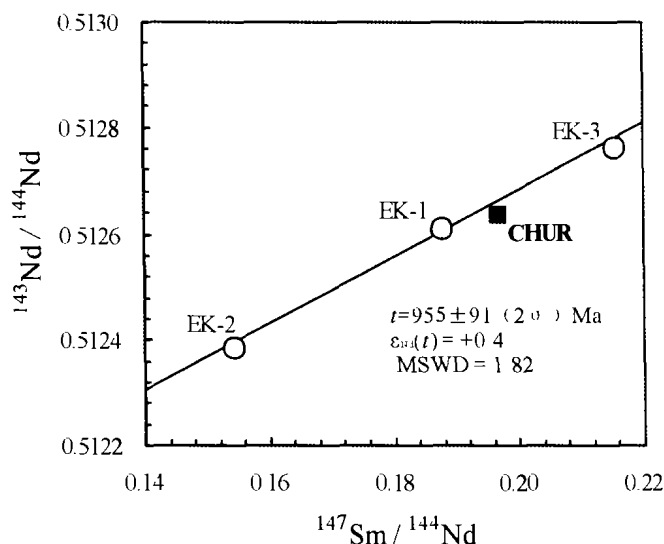


图2 新疆东昆仑地区阿其克蛇绿岩中辉长岩矿物-全岩 Sm-Nd 等时线图

Fig. 2 Sm-Nd isochron for gabbro and minerals from the Aqike ophiolite in eastern Kunlun area, Xinjiang

由数据表(表1)和等时线图均可看到,从辉长岩中选出的2种单矿物的 Sm/Nd 比值测定结果表明,符合平衡分馏规律,即 $(\text{Sm}/\text{Nd})_{\text{PL}} < (\text{Sm}/\text{Nd})_{\text{PY}}$, 应用 ISOPLOT 程序 (Ludwing, 1996) 计算等时线年龄时 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 和 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比值分别用 0.5% 和 0.005% 的误差,得到辉长岩的矿物内部等时线年龄为 955 ± 91 (2σ) Ma, $\varepsilon_{\text{Nd}}(t) = +0.4$ (MSWD = 1.82) (年龄误差的置信度为 95%), 等时线年龄可以代表阿其克蛇绿岩形成年龄,即洋壳形成年龄。由该等时线给出的 $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值为小的正值,可能的解释是,表明辉长岩是来自稍有亏损的地幔产物,或大体相当于球粒陨石均一源 (CHUR) 的地幔源区。

5 地质意义

正如前面指出的,东昆仑地区蛇绿岩的 Sm-Nd 全岩等时线年龄值在 950 ~ 1300 Ma 的范围,例如:昆中断裂带东段的清水泉蛇绿岩 (1297 Ma, 郑健康, 1992), 吉日迈蛇绿岩中蚀变橄榄岩 (1331 ± 78 Ma, 解玉月, 1998); 吉日迈蛇绿岩年龄为

1027 ± 108 Ma (青海冶金八队, 见解玉月, 1998) 等。近来,李卫东等 (2003) 也发表了木孜塔格畅流沟的蛇绿岩中辉长岩和斜长角闪岩的全岩 Sm-Nd 等时线年龄分别为 950 Ma 和 1138 Ma。本研究中所获得的阿其克蛇绿岩中堆晶辉长岩的矿物内部 Sm-Nd 等时线年龄 955 ± 91 (2σ) Ma, 虽然误差稍大一些,但是这一年龄结果是有地质意义的,进一步确证了在东昆仑地区残留有新元古代早期 (~10 亿年) 形成的蛇绿岩,其形成时代与我国的秦岭造山带和华南地区新元古代蛇绿岩的形成时间大体一致。比如:秦岭造山带松树沟蛇绿岩中变质玄武岩的全岩 Sm-Nd 等时线年龄 1030 ± 46 (2σ) Ma (董云鹏等, 1997), 松树沟蛇绿岩中石榴石斜长角闪岩的全岩-石榴石-角闪石的 Sm-Nd 等时线年龄为 983 ± 140 (2σ) Ma (李曙光等, 1991); 华南地区 ~10 亿年的蛇绿岩有赣东北蛇绿岩和安徽伏川蛇绿岩。安徽伏川蛇绿岩的辉长岩全岩-斜长石-辉石-磷灰石的 Sm-Nd 等时线年龄为 1024 ± 30 Ma (周新民等, 1989), 辉长岩全岩-辉石-斜长石矿物内部等时线年龄为 935 ± 10 (1σ) Ma (Chen *et al.*, 1991); 赣东北樟树墩蛇绿岩的 Sm-Nd 同位素年代学研究,不同研究者获得的结果如下:蛇绿岩中辉长岩全岩-长石-辉石等时线年龄 1034 ± 48 (2σ) Ma (Chen *et al.*, 1991), 蛇绿岩全岩等时线年龄 930 ± 34 Ma (徐备等, 1989), 蛇绿岩全岩等时线年龄 1154 ± 43 Ma (周国庆等, 1991) 等。李献华等 (1994) 应用 15 个蛇绿岩样品,重新计算得到等时线年龄为 955 ± 44 Ma (李献华等, 1994), 并应用离子探针方法获得了该蛇绿岩中高分异岩浆岩中锆石的 U-Pb 年龄为 968 ± 23 Ma (李献华等, 1994)。

全球的构造格局演化历史中罗迪尼亚超大陆的聚合-裂解是新元古代早期全球范围内的重大地质演化阶段。过去多主张罗迪尼亚超大陆的聚合期大约为 1.3 ~ 1.0 Ga (D'Agrella-Filho *et al.*, 1998; Condie K C, 2001; Li *et al.*, 2002), 根据最新研究成果,李正祥 (2004) 提出罗迪尼亚超大陆的形成时期为 1.0 ~ 0.9 Ga。

据同位素年代学和 Nd 模式年龄统计研究,昆仑山具有 1.8 ~ 2.1 Ga 的古元古代大陆地壳基底 (胡霭琴等, 2001; 胡霭琴等, 2004)。东昆仑阿其克蛇绿岩矿物内部等时线年龄 (955 ± 91 Ma) 代表昆仑洋壳形成的时间,可以推断随着昆仑洋的闭合,昆仑地区的古元古代地体向塔里木古老地块南缘的拼贴事件与罗迪尼亚超大陆形成有同时性。近年来

古地磁和同位素年代学的研究结果说明, 大致在 1000Ma 时我国华南地区与澳洲、南极洲等大陆均为罗迪尼亚大陆的组成部分(Li *et al.*, 2002), 本文获得的结果为研究昆仑地区, 以及我国西北大陆在新元古代早期与罗迪尼亚超大陆的关系提供了同位素年代学证据。

References

- Condie K C. 2001. Continental growth during formation of Rodinia at 1.35 - 0.9 Ga. *Gondwana Research*, 4(1): 5 - 16
- D' Agrella-Filho M S, Trindade R I, Siqueira R, *et al.* 1998. Paleomagnetic constraints on the Rodinia supercontinent: Implications for its Neoproterozoic break-up and the formation of Gondwana. *International Geology Review*, 40(2): 171 - 188
- Bian Qiantao, Luo Xiaoquan, Li Hongsheng, Zhao dasheng. 1999. Discovering the ophiolites of Early Paleozoic and Early Carboniferous - Early Permian in the Anyemaqen mountains, Qinhai, China. *Scientia Geologica Sinica*, 34(4): 523 - 524 (in Chinese with English abstract)
- Chen Jiangfeng, Foland K A, Xing Fengming, Xu Xiang, Zhou Taixi. 1991. Magmatism along the southeast margin of the Yangtze and Cathaysia. *Geology*, 815 - 818
- Chen Nengsong, Zhu Jie, Wang Guocan, Hou Guangjiu, Zhang Kexin, Zhu Yunhai. 1999. Metamorphic petrological features of high-grade metamorphic microlithons in Qingshuiquan region, eastern section of eastern Kunlun orogenic zone. *Earth Science - Journal of China University of Geosciences*, 24(2): 116 - 120 (in Chinese with English abstract)
- Dong Yunpeng, Zhou Dingwu, Liu Liang, Zhang Qi, Zhang Zongqing. 1997. Sm-Nd isotopic ages of the Songshugou ophiolites from the East Qinling and its geological significance. *Regional Geology of China*, 16(2): 217 - 221 (in Chinese with English abstract)
- Gao Yanlin, Wu Xiannong, Zuo Guochao. 1988. The characters and tectonic significance of ophiolites first discovered in the East Kunlun area. *Bull. Xi'an Inst. Geol. Min. Res., Chinese Acad. Geol. Sci.* No. 21, 17 - 28 (in Chinese with English abstract)
- Hu Aiqin, Zhang Guoxin, Chen Yibing, Zhang Qianfeng. 2001. A model of division of the continental crustal basement and the time scales of the major geological events in the Xinjiang - based on studies of isotopic geochronology and geochemistry. *Geology of Xinjiang*, 19(1): 12 - 19 (in Chinese with English abstract)
- Hu Aiqin and Zhang Guoxin. 2004. Geochronology and geochemistry of the major geological events of continental crustal evolution of the Xinjiang, China. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese)
- Huang Xuan and Wu Liren. 1992. The study on the granitoids in Shanxi province by Nd-Sr isotopes. *Advances in Geoscience*(2). Beijing: China Ocean Press, 211 - 219
- Jacobsen S B and Wasserburg G J. 1979. Nd and Sr isotopic study of the Bay of Islands ophiolites complex and the evolution of the source of Midocean Ridge basalts. *J. Geophys. Res.*, 84(B13): 7429 - 7445
- Jiang Chunfa, Yang Jingshui, Feng Binggui, Zhu Zhizhi, Zhao Min, Chai Yaochu, Shi Xide, Wang Huaida, Hu Jinqing. 1992. Opening closing tectonics of Kunlun Mountains, China. People's Republic of China Ministry of Geology and Mineral Resources, Geological Memoirs, series 5, Number 12. Beijing: Geological Publishing House, 1 - 224 (in Chinese with English abstract)
- Li Shuguang, Chen Yizhi, Zhang Guowei, Zhang Zongqing. 1991. A 1 Ga B. P. Alpine peridotite body emplaced in to the Qinling Group: evidence for existence of the late Proterozoic plate tectonics in the North Qinling area. *Geological Review*, 37(3): 235 - 242 (in Chinese with English abstract)
- Li Weidong, Peng Xiangpeng, Kang Zhengwen, Cheng Juanfang, Zhu Zixin, Tu Qijun. 2003. Petrographic geochemical features and their tectonic significance of ophiolites of Changliugou of Muzitage in East Kunlun. *Geology of Xinjiang*, 21(3): 263 - 268 (in Chinese with English abstract)
- Li Xianhua, Zhou Guoqing, Zhao Jianxin, C M Fanning, W Compston. 1994. The SHRIMP ion microprobe zircon U-Pb age of the NE Jiangxi ophiolite and its tectonic implications. *Geochimica*, 23(2): 125 - 131 (in Chinese with English abstract)
- Li Zheng-Xiang, Li Xian-hua, Zhou Hanwen, Kinny P D. 2002. Grenvillian continental collision in south China: New SHRIMP U-Pb zircon results and implications for the configuration of Rodinia. *Geology*, 30(2): 163 - 166
- Ludwig R K. 1996. ISOPLLOT: A plotting and regression program for radiogenic-isotope data (Ver. 2. 90). US Geological Survey. Open File Rept, 91(445): 1 - 47
- McCulloch M T, Gregory R T, Wasserburg G J and Tylor Jr H P. 1981. Sm-Nd, Rb-Sr, and $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ isotopic systematics in an oceanic crustal section: evidence from the Samail ophiolites. *J. Geophys. Res.*, 86(B4): 2721 - 2735
- Qiao Guangshen. 1988. Normalization of isotopic dilution analysis. *Scientia Sinica (Series A)*, 31(10): 1263 - 1268
- Wun Xianbi and Xuie Lianming. 1984. Geosynclinal Carboniferous in the eastern Kunlun. *Regional Geology of China*. (9): 49 - 61 (in Chinese with English abstract)
- Xie Yuyue. 1998. Features of ophiolites with different periods in the eastern sector of Middle Kunlun fault and its original environment. *Geology of Qinghai*, 7(1): 27 - 36 (in Chinese with English abstract)
- Xu Bei and Qiao Guangsheng. 1989. Sm-Nd isotopic age and tectonic setting of the late Proterozoic ophiolites in northeastern Jiangxi province. *Journal of Nanjing University - Earth Sciences*, (3): 108 - 114 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Zongqing and Ye Xiaojian. 1987. Mass-spectrometric isotope dilution analysis of REE and precise measurement of $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ratios. *Bulletin of the Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences*, 17: 108 - 126 (in Chinese with English abstract)
- Zheng Jiankang. 1992. Regional tectonic evolution of East Kunlun. *Geology of Qinghai*, 1(1): 15 - 25 (in Chinese with English abstract)

abstract)

- Zhou Guoqing and Zhao Jianxin. 1991. Study of Sm-Nd isotopic composition of ophiolites from southeastern margin of Yangzi craton of South China in the eastern Jiangxi province. *Bulletin of Chinese Sciences*, 36(2): 129 - 132 (in Chinese)
- Zhou Xinmin, Zou Haipe, Yangjie, Wang Yinxi. Sm-Nd isochron age and its geological significance for ophiolites from Fuchuan of the She County of Anhui province. *Bulletin of Chinese Sciences*, 34(16): 1243 - 1245 (in Chinese)
- Zu Yunhai, Zhang Kexin Pan Yuanming, Chen Nengsong, Wang Guocan, Hou Guangjiu. 1999. Determination of different ophiolitic belts in eastern Kunlun orogenic zone and their tectonic significance. *Earth Science - Journal of China University of Geosciences* (in Chinese with English abstract)
- 附中参考文献**
- 边千韬, 罗小全, 李红生, 陈海泓, 赵大升. 1999. 阿尼玛卿山早古生代和早石炭-早二叠世蛇绿岩的发现. *地质科学*, 34(4): 523 - 524
- 陈能松, 朱杰, 王国灿, 侯光久, 张克信, 朱云海. 1999. 东昆仑造山带东段清水泉高级变质岩片岩的变质岩石学研究, *地球科学——中国地质大学学报*, 24(2): 116 - 120
- 董云鹏, 周鼎武, 刘良, 张旗, 张宗清, 1997, 东秦岭松树沟蛇绿岩 Sm-Nd 同位素年龄的地质意义, *中国区域地质*, 16(2): 217 - 221
- 高延林, 吴向农, 左国朝. 1988. 东昆仑清水泉蛇绿岩特征及其大地构造意义, *中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊*, 21 号, 17 - 28
- 姜春发, 杨经绥, 冯秉贵, 朱志直, 赵民, 柴耀楚, 施希德, 王怀达, 胡金庆. 1992. 昆仑开合构造. 中华人民共和国地质矿产部, *地质专报* 五, 构造地质学地质力学, 第 12 号; 北京: 地质出版社, 1 - 224
- 胡霭琴, 张国新, 陈义兵, 张前锋. 2001. 新疆大陆基底分区模式和主要地质事件的划分. *新疆地质*, 19(1): 12 - 19
- 胡霭琴, 张国新等. 2004. 新疆地壳演化主要地质事件年代学和地球化学. 北京: 地质出版社
- 李曙光, 陈移之, 张国伟, 张宗清. 1991. 一个距今 10 亿年侵位的阿尔卑斯型橄榄岩体: 北秦岭晚元古代板块构造体制的证据. *地质论评*, 37(3): 235 - 242
- 李卫东, 彭湘萍, 康正文, 程娟芳, 朱自新, 涂其军. 2003. 东昆仑木孜塔格地区流畅沟蛇绿岩岩石地球化学特征及其构造意义. *新疆地质*, 21(3): 263 - 268
- 李献华, 周国庆, 赵建新. C M Fanning, W Compston. 1994. 赣东北蛇绿岩的离子探针锆石 U-Pb 年龄用其构造意义. *地球化学*, 23(2): 125 - 131
- 徐备, 乔广生. 1989. 赣东北晚元古代蛇绿岩套的 Sm-Nd 同位素年龄及原始构造环境. *南京大学学报(地球科学版)*, (3): 108 - 114
- 解玉月. 1998. 昆中断裂东段不同时代蛇绿岩特征及形成环境. *青海地质*, 7(1): 27 - 36
- 温贤弼, 薛连明. 1984. 东昆仑山的槽型石炭纪. *中国区域地质*, (9): 49 - 61
- 张宗清, 叶笑江. 1987. 稀土元素的质谱同位素稀释分析和 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比值的精确测定方法. *中国地质科学院地质研究所所刊*, 17: 108 - 126
- 郑健康. 1992. 东昆仑区域构造的发展演化. *青海地质*, 1(1): 15 - 25
- 周国庆, 赵建新. 1991. 华南扬子克拉通东南缘赣东北蛇绿岩的 Sm-Nd 同位素研究. *科学通报*, 36(2): 129 - 132
- 周新民, 邹海波, 杨杰东, 王银喜. 1989. 安徽歙县伏川蛇绿岩 Sm-Nd 等时线年龄及其地质意义. *科学通报*, 34(16): 1243 - 1245
- 朱云海, 张克信, Pan Yuanming, 陈能松, 王国灿, 侯光久. 1999. 东昆仑造山带不同蛇绿岩带的厘定及其构造意义. *地球科学*, 24(2): 134 - 138