

# 新疆祁曼塔格地区发现新元古代叠层石

修群业<sup>1</sup>, 颜妍<sup>1</sup>, 刘正荣<sup>2</sup>, 崔建勇<sup>1</sup>

(1. 核工业北京地质研究院, 北京 100029; 2. 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局 物化探大队, 新疆 昌吉 831100)

**摘要:** 在新疆若羌县祁曼塔格地区的水泉子沟附近原蓟县系狼牙山组中首次发现了瘤状通古斯叠层石相似形 *Tungussia cf. nodosa* Semikhatov 和有疑问的撕裂贝加尔叠层石 *Baicalia lacera* Semikhatov。它们多呈瘤状、柱状, 其总体形态特征可与安徽淮山、辽东地区新元古代地层中分布的 *Tungussia cf.* 和 *Baicalia* 叠层石以及东昆仑加喇门地区某些叠层石的特征相类比, 相当于华北地区叠层石组合 IV。测得叠层石的寄主岩石全岩 Sm-Nd 同位素等时线年龄为  $815 \pm 26$  Ma。根据该 Sm-Nd 等时线年龄和叠层石的主要特征以及其它地区相关叠层石的特征综合判断, 狼牙山组的地质时代应当归属于新元古代青白口纪, 是被动大陆边缘的产物; 这个前寒武纪微陆块应由塔里木克拉通(?) 解体而来, 是 Rodinia 超大陆的组成部分。本区叠层石的发现及其寄主岩的定年结果, 为探讨东昆仑西段的大地构造演化和成岩环境提供了新证据。

**关键词:** 新疆祁曼塔格地区; 新元古代; 叠层石; Sm-Nd 定年

中图分类号: P534.3; Q914.82

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2022)03-0643-08

## Discovery of Neoproterozoic stromatolites in Qimantag area, Xinjiang Uygur Autonomous Region

XIU Qun-ye<sup>1</sup>, YAN Yan<sup>1</sup>, LIU Zheng-rong<sup>2</sup> and CUI Jian-yong<sup>1</sup>

(1. Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing 100029, China; 2. Geophysical and Geochemical Exploration Party of Xinjiang, BGMRED, Changji 831100, China)

**Abstract:** Stromatolites of *Tungussia cf. nodosa* Semikhatov and *Baicalia lacera* semikhatov were discovered for the first time in the Langyashan Formation of the original Jixian System near Shuiquanzigou, Qimantag area, Ruoqiang County, Xinjiang. The stromatolites are mostly nodular and columnar, and their overall morphological characteristics can be compared with the characteristics of *Tungussia cf.* and *Baicalia* stromatolites distributed in Neoproterozoic strata in Huaishan, Anhui and Eastern Liaoning, and some stromatolites in Jiawengmen area of East Kunlun, which is equivalent to stromatolite assemblage IV in North China. Through our work, Sm-Nd whole-rock isotopic isochron age of  $815 \pm 26$  Ma from the host rock of stromatolites is obtained. According to the Sm-Nd isochron age, the main characteristics of stromatolites in study area and other areas, the geological time of Langyashan Formation in Qimantag area should belong to the Neoproterozoic Qingbaikouan Period. Their host rock should expose in passive margin of a Precambrian micro-continent block disintegrated from Tarim Craton(?), which was probably assigned to Rodinian Super-Continent. The discovery of the stromatolites and dating results of the host rock provide new evidence for the tectonic evolution and diagenetic environment in western segment of the East Kunlun Mountains.

**Key words:** Qimantag area in Xinjiang; Neoproterozoic; stromatolites; Sm-Nd dating

收稿日期: 2021-06-23; 接受日期: 2022-04-07; 编辑: 郝艳丽

基金项目: 新疆国土资源厅地质勘查专项资金(QD200503)

作者简介: 修群业(1961-), 男, 博士, 副研究员, 主要从事地质矿产研究和同位素分析工作, E-mail: xiuqy2008@sina.com。

**Fund support:** Geological Prospecting Fund of Xinjiang Department of Land and Resources(QD200503)

东昆仑西段的祁曼塔格山位于新疆若羌县祁曼塔格乡西北一带。该区的地质调查工作始于20世纪50年代,先后零星地进行过部分区域地质调查、区域化探扫面和少量航磁概查工作,但最具参考价值的当属青海省地质调查院完成的1:25万区域地质调查(拜永山等,2004)<sup>①</sup>。尽管前人做过一些相关地质工作,本区基础地质研究程度仍比较低。分布于祁曼塔格山一带的狼牙山组主要是根据岩石组合特征和区域地质对比而被归于蓟县系,既没有精确的同位素年龄,也没有特征化石,地质时代一直存在争议,严重制约着本区基础地质研究程度。通过寻找相关化石,利用有效同位素测年方法进行定年,来确定祁曼塔格地区狼牙山组地质年代是工

作区存在的重要基础地质问题。近期笔者在祁曼塔格山水泉子沟附近狼牙山组白云岩内的3个地点首次发现了叠层石,并对其寄主岩进行了Sm-Nd全岩等时线法测年,在此基础上系统研究和分析了祁曼塔格山水泉子沟附近狼牙山组的地质年代归属。研究成果将有助于提升工作区研究程度与基础地质认知水平,服务区域地质、矿产及大地构造背景研究。

## 1 区域地质背景

研究区所在的水泉子沟一带位于东昆仑西段的祁曼塔格山(图1),属于柴达木盆地西南缘,大地构造上为塔里木克拉通的南部边缘带(舒良树等,

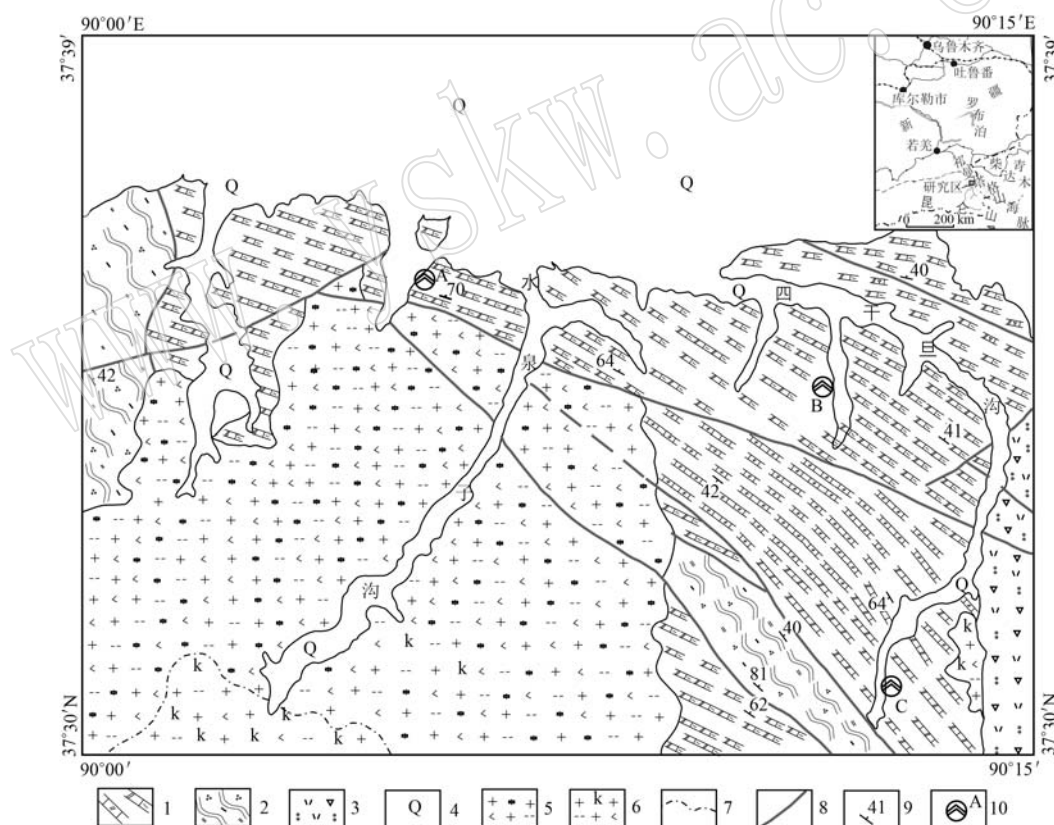


图1 水泉子沟地质略图(据修群业等,2009 缩略)<sup>②</sup>

Fig. 1 Geological sketch map of Shuiquanzi valley (Xiu Qunye et al., 2009)<sup>②</sup>

- 1—蓟县系狼牙山组; 2—青白口系丘吉东沟组; 3—鄂拉山组火山岩; 4—第四系; 5—印支期角闪黑云二长花岗岩; 6—印支期角闪黑云钾长花岗岩; 7—岩体脉动侵入界线; 8—断层; 9—地层产状; 10—叠层石出露位置及采样编号  
1—Langyashan Formation of Jixian System; 2—Qiuqidonggou Formation of Qingbaikouan System; 3—volcanic rocks of Elashan Formation; 4—Quaternary; 5—Indosinian hornblende-biotite monzonitic granite; 6—Indosinian hornblende-biotite moyite; 7—pulsating intrusion boundary of rock mass; 8—fault; 9—stratigraphic occurrence; 10—exposed location of the stromatolites and sampling number

① 拜永山, 常革红, 谈生祥, 等(青海省地质调查院). 2004. J46C003001(库郎米其提幅)1:25 区域地质调查报告.

② 修群业, 刘正荣, 付建平, 等. 2009. 1:5 万(水泉子沟幅阿达滩幅石雪尖幅联测)区域地质调查报告.

2013), 亦即东昆仑北坡断隆带。区内地层属华北地层大区的柴达木南缘小区, 主要发育原划分的蓟县纪狼牙山组和青白口纪丘吉东沟组及少量晚三叠世鄂拉山组火山岩(修群业等, 2009)<sup>①</sup>; 岩浆岩主要为印支期角闪黑云二长花岗岩和角闪黑云钾长花岗岩(图 1); 变质作用较弱, 仅在狼牙山组局部层位和岩体边部发育高绿片岩相。狼牙山组下部为大理岩夹粉砂质板岩及云母(石榴)石英片岩, 受断层影响未见顶、底, 厚度>3 300 m; 中部为中薄层状(含硅质)结晶灰岩段, 厚度>2 300 m; 上部为细晶白云岩段(偶见赤铁矿), 厚度>800 m。丘吉东沟组出露于研究区西部, 与狼牙山组以断层接触(图 1), 岩性主要包括二云母石英片岩、石英岩、含炭质粉砂质板岩和千枚岩, 厚度>2 160 m。研究区东部发育少量晚三叠世鄂拉山组火山岩, 主要岩性为含火山角砾晶屑凝灰岩、复屑凝灰岩及流纹岩等。

## 2 叠层石特征

本次工作发现了 3 处前寒武纪的叠层石露头。

第 1 处位于水泉子沟沟口西部附近(样品 A), 第 2 处位于四千旦沟口附近第 2 个南叉沟中游的西侧(样品 B), 第 3 处出露于四千旦沟上游东侧(样品 C), 它们均发育在狼牙山组内(图 1)。

叠层石的寄主岩石为肉红色或灰黑色微晶-细晶白云岩。叠层石的柱体均属中、小型(朱士兴, 1993), 详见下述。

样品 A 采自水泉子沟沟口附近, 寄主岩石白云岩颜色稍浅, 呈肉红色, 显示地层产状正常(图 2a), 含少量的石英和金云母(图 3, 背散射和能谱分析在核工业北京地质研究院分析测试中心的 NOVA NANO SEM 450 和 OXFORD X-Max 80 仪器上完成)。叠层石柱体呈短柱状或块茎状, 具 1~2 次强烈散开分叉, 分叉出相当数量缓倾斜的子柱体。子柱体先为细柱状, 宽 1~2 cm, 后逐渐膨大成块茎或瘤状(图 2b), 宽一般 7~8 cm, 分叉角 45°~60°。其边缘无壁, 但也无显著的檐; 微构造为线状或薄的条带状, 呈缓波状或穹状(图 2b), 暗色条纹的宽度一般为 0.2~0.5 mm, 与 *Baicalia* 和 *Tungussia*(朱士兴, 1993) 都有相似之处, 但它有多缓倾斜子柱体, 所以

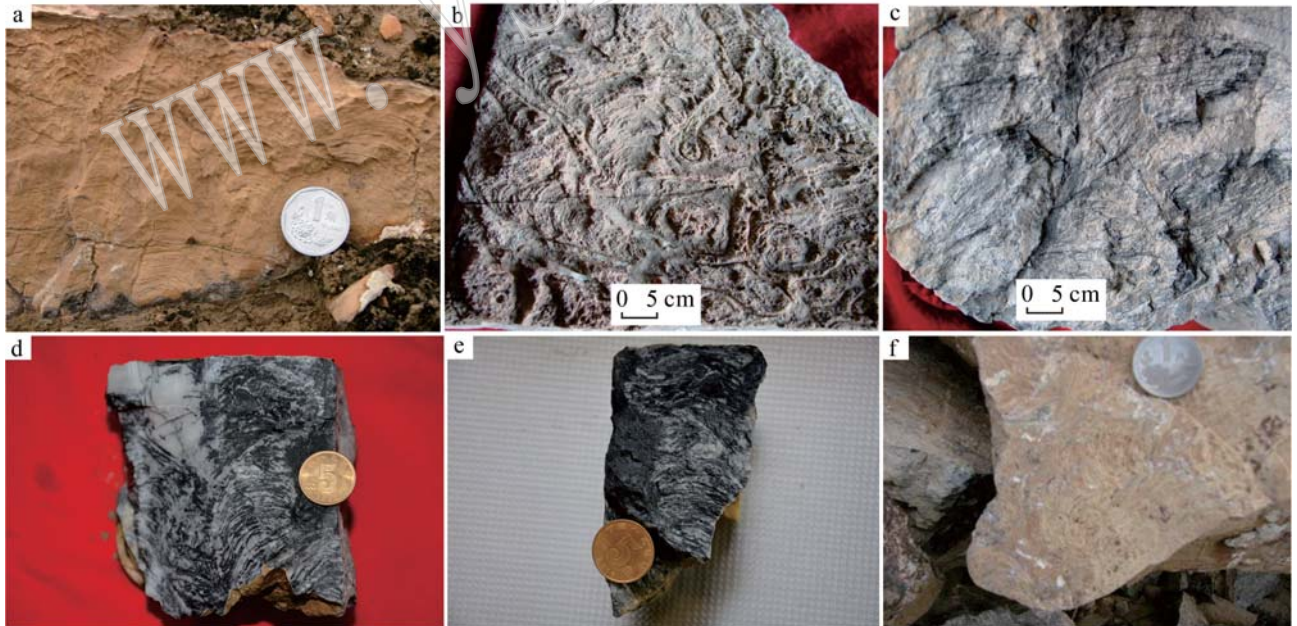


图 2 叠层石照片

Fig. 2 Photographs of stromatolites

a—出露于水泉子沟口附近的叠层石, 地层产状正常, 样品 A; b—产于水泉子沟口附近的瘤状通古斯相似形, 样品 A; c—出露于四千旦沟口附近的叠层石, 样品 B; d—倾斜生长的撕裂贝加尔叠层石, 样品 B; e—直立生长的撕裂贝加尔叠层石, 样品 B; f—出露于四千旦沟上游的叠层石, 样品 C

a—stromatolite exposed near the mouth of Shuiquanzi valley, showing normal stratigraphic occurrence, sample A; b—*Tungussia* cf. *nodosa* Semikhatov exposed near the mouth of Shuiquanzi valley, sample A; c—stromatolite exposed near the mouth of Sigandan ditch, sample B; d—*Baicalia lacera* Semikhatov growing obliquely, sample B; e—*Baicalia lacera* Semikhatov growing vertically, sample B; f—stromatolite exposed at the upper course of Sigandan river, sample C

① 修群业, 刘正荣, 付建平, 等. 2009. 1:5 万(水泉子沟幅阿达滩幅石雪尖幅联测)区域地质调查报告.



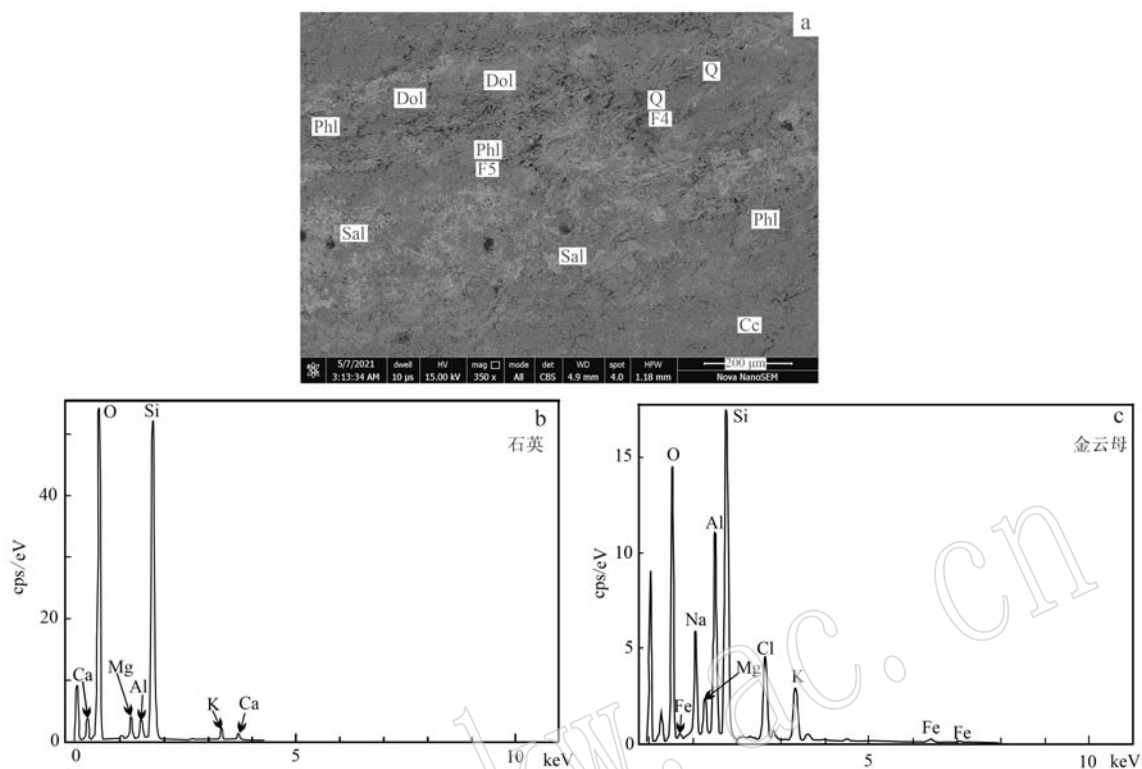


图3 叠层石样品A的背散射电子图(a)和其中的石英、金云母能谱图(b,c)

Fig. 3 Back scattering electronic image(a) and energy dispersive spectra for quartz(b) and phlogopite (c) from the stromatolite sample A

Cc—方解石; Dol—白云石; Sal—盐类; Phl—金云母; Q—石英; F5—测点及编号

Cc—calcite; Dol—dolomite; Sal—salite; Phl—phlogopite; Q—quartz; F5—dot and its numbers

更接近 *Tuangussia*, 可定为瘤状通古斯相似形 (*Tungussia* cf. *nodosa* Semikhatov)。

样品B位于四干且沟口附近第2个南叉沟中上游西侧的白云岩中, 方解石稍多一些, 岩石呈灰黑色, 含少量有机质, 偶含赤铁矿。叠层石呈短柱状到块茎状(图2c), 宽3~8 cm, 直立或不同程度倾斜生长(图2d、2e), 柱体边部无壁, 多檐, 有时株间连层发育, 具薄带状微构造, 暗色条带的宽度一般为0.7~1.2 mm, 叠层石纹理特征(曹瑞骥等, 2009)见图2c。叠层石形态特征相似于撕裂贝加尔叠层石 *Baicalia lacera* Semikhatov, 但因野外露头所限, 未见柱体的分叉特征。

样品C采自四干且沟上游东侧浅肉红色细晶白云岩中。叠层石的形态呈柱状, 不同程度倾斜生长(图2f), 柱体边无壁, 没有明显的檐, 柱体宽一般2~5 cm, 具薄带状微构造, 生长条带基本呈波状或穹状, 宽度一般为0.4~1.0 mm。因出露范围有限, 加之岩石受变形的影响, 无法确定其种属(经与天津地质调查中心朱士兴研究员当面讨论, 判断它是

叠层石, 而非因气候干旱造成的栉壳状构造)。

### 3 叠层石寄主岩石的地球化学特征

因叠层石的寄主岩石是碳酸盐类, 常量元素与其它碳酸盐类相比无特点, 故进行了原位稀土元素测定。由于样品C寄主岩石风化较严重, 并有一定变形, 因此只选取了样品A和样品B进行了地球化学成分分析。原位REE分析由核工业北京地质研究院分析测试中心的LA-ICP-MS完成, HR-IC-MS GEOlas 193 nm, 激光束斑直径32 μm, 剥蚀频率8~10 Hz, 每个测点信号采集时间100 s。分析的测点沿叠层石纹理依次分布, 实际测试结果并没有明显差异, REE的含量基本一致, 分析结果见表1。从表1可明显看出, 两块样品之间稀土元素总量上存在差异, 样品A的ΣREE变化范围是 $18.96 \times 10^{-6} \sim 33.46 \times 10^{-6}$ , 样品B变化范围是 $1.23 \times 10^{-6} \sim 3.43 \times 10^{-6}$ , 样品A大约为样品B的11倍, 而同一样品纹理之间微量元素的差别很小。稀土元素经标准化后

表 1 叠层石原位 REE 分析数据

$w_B/10^{-6}$

Table 1 Analytical data of REE from the micro-area of studied stromatolites

样品编号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Tb	Tm	Yb	Lu	ΣREE	L/H	δEu
A-1(较暗色)	2.04	5.22	0.78	4.10	1.30	0.30	1.38	0.23	1.47	0.30	0.84	0.12	0.77	0.11	18.96	2.63	0.67
A-2(较浅色)	2.72	6.10	0.88	4.49	1.34	0.29	1.39	0.23	1.43	0.29	0.77	0.11	0.69	0.10	20.81	3.17	0.64
A-3(较暗色)	2.90	6.69	0.95	4.75	1.40	0.31	1.45	0.23	1.51	0.30	0.83	0.11	0.70	0.10	22.22	3.25	0.66
A-4(较浅色)	5.48	11.29	1.49	6.97	1.76	0.37	1.77	0.27	1.71	0.34	0.94	0.12	0.85	0.12	33.46	4.47	0.62
B-1(较浅色)	0.43	0.89	0.09	0.38	0.08	0.02	0.09	0.01	0.08	0.02	0.05	0.01	0.04	0.01	2.19	6.05	0.56
B-2(较暗色)	0.22	0.46	0.06	0.22	0.05	0.01	0.05	0.01	0.06	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	1.23	5.16	0.78
B-3(较浅色)	0.65	1.31	0.15	0.63	0.13	0.02	0.13	0.02	0.14	0.03	0.10	0.01	0.09	0.01	3.43	5.39	0.56
B-4(较暗色)	0.36	0.77	0.08	0.32	0.07	0.01	0.09	0.01	0.08	0.02	0.06	0.01	0.05	0.01	1.88	4.89	0.57

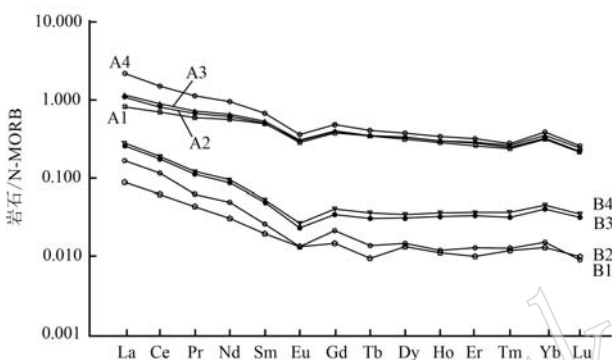


图 4 叠层石寄主岩石的稀土元素配分型式(标准化数据引自 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 4 REE pattern of the host rocks of the studied stromatolites (normalized data from Sun and McDonough, 1989)

配分型式均为具弱负异常 ( $\delta Eu = 0.56 \sim 0.78$ )、向右弱倾斜的曲线(图 4)。总体来说,样品 A 比样品 B 更平坦一些,表明轻重稀土元素的分异不明显,具前寒武纪太古宙之后沉积岩(王仁民等, 1987)的典型特征。

## 4 叠层石的 Sm-Nd 同位素定年

### 4.1 样品的选取与处理

样品 A 和样品 B 基本符合等时线年龄测试的条件(Faure and Mensing, 2005),因此在测定了其部分微量元素浓度的基础上,选择 Sm-Nd 全岩等时线法对样品 A 和样品 B 进行了定年。在样品 A 和样品 B 不同位置各选取 3 个点(微量取样法,其中 1 个点测试过程有损坏未参加年龄计算),为减少金属对样品的污染,对取下的微样(3 g 左右)用酒精清洗干净、晾干后,再用玛瑙研钵磨碎到 150~200 目。准确称取 0.3000 g 样品粉末,置于已洗净的低压密闭溶样罐中,加入  $^{147}\text{Sm}$ - $^{145}\text{Nd}$  稀释剂,再缓缓加入 5

mL 6 mol/L 的 HCl 和少许浓  $\text{HNO}_3$ ,在 195℃ 的电热板上溶解 24 h。待样品完全溶解后,蒸干,用 1.5 mL 0.5 mol/L 的盐酸溶液溶解,然后离心分离,取清液加入阳离子交换柱(树脂为 AC50W X8, 100~200 目),用 2 mol/L 和 3 mol/L 的盐酸溶液依次淋洗,最后用 6 mol/L 的盐酸溶液洗脱稀土元素。将稀土元素溶液再次蒸干,用 0.05 mol/L 的 HCl 溶解,然后用 P507 萃淋树脂分离 Sm、Nd,蒸干后转为硝酸盐,并再次蒸干,待热电离质谱测定。整个分离过程在核工业北京地质研究分析测试中心超净实验室中进行,全流程 Sm、Nd 的本底 <50 pg。

### 4.2 Sm-Nd 同位素定年结果

把分离好的样品点样到钽带上(三带法,中心带为钽带,其两边为铯带),用 ISOPROBE-T 热电离质谱计(TIMS)进行测定。测试过程中,Sm、Nd 的质量分馏用  $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.7219$  校正。本仪器测量标准物质 JNdi-1 的结果为  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512109 \pm 3$ ,测量 GBW04419 的结果为  $\text{Sm} = 0.01 \times 10^{-6}$ ,  $\text{Nd} = 10.16 \times 10^{-6}$ ,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512721 \pm 5$ 。

将测得的定年分析数据(表 2)用 ISOPLOT 程序进行了计算,得出的 Sm-Nd 全岩等时线年龄为  $815 \pm 26$  Ma(图 5),相关系数  $R = 99.89\%$ ,  $\text{MSWD} = 1.5$ ,说明这个年龄值的置信度较高。该地质年代明显属于新元古代青白口纪,而非前文献资料所述的蓟县纪或震旦纪。

表 2 Sm-Nd 同位素定年分析结果  
Table 2 Analytical result of Sm-Nd isotopes from the stromatolites

样号	岩性	$w_B/10^{-6}$		$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$
		Sm	Nd		
A-1	肉红色微晶白云岩	2.037	7.660	0.160 8	0.512 269±0.000 008
A-2	肉红色微晶白云岩	2.141	7.984	0.162 1	0.512 252±0.000 006
A-3	肉红色微晶白云岩	1.667	60.654	0.016 6	0.511 486±0.000 025
A-4	浅灰色灰质白云岩	0.133	0.658	0.122 3	0.512 037±0.000 023
A-5	浅灰色灰质白云岩	0.091	0.461	0.119 6	0.512 033±0.000 019

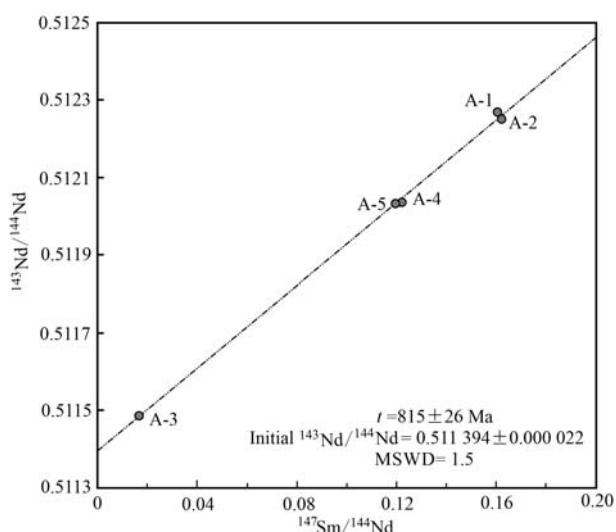


图5 叠层石寄主岩石 Sm-Nd 全岩等时线年龄

Fig. 5 The whole-rock Sm-Nd isochron age of the host rocks of studied stromatolites

## 5 简要讨论

狼牙山组的命名地在青海省(孙崇仁, 1997)。祁曼塔格地区狼牙山组主要是依据岩石组合特征和区域地质对比来划分的, 新疆维吾尔自治区地质矿产局(1993)还曾称其为狼牙山群。祁曼塔格地区狼牙山组自被命名以来, 其时代归属一直存在争议, 主要是因为缺乏较精确的同位素年龄和特征化石。边千韬等(2006)曾在东昆仑相关碳酸盐岩和浅变质碎屑岩中发现了一套叠层石组合, 并将这些组合与国内外的相关种属进行了成岩时代对比, 推测其形成时限为中元古代晚期—新元古代早期, 但这些地层的成岩时代问题并未得到完全解决, 因为不同时代的叠层石, 其形态可能完全相同, 而同一时代的叠层石特征可千差万别。本次在研究区发现的叠层石 *Tungussia* cf. *nodosa* Semikhatov 和 *Baicalia lacera* Semikhatov, 在安徽徐淮地区和辽东半岛一带新元古代地层中也均有出露(旷红伟等, 2018)。研究区叠层石的形态特征与以瘤状、柱状为主的青白口系叠层石组合特征(白瑾等, 1996)相同。此外, 在东昆仑中段也曾发现过 *Jurusania* 和 *Tungussia* 叠层石(拜永山等, 2004)<sup>①</sup>, 它们的形态特征及寄主岩的地

质层位表明, 东昆仑地区叠层石组合大致相当于华北地区叠层石组合序列的组合 IV (曹瑞骥等, 2009), 据此推断它们应形成于新元古代。同时, 本文获得叠层石寄主岩石的 Sm-Nd 全岩等时线年龄为  $815 \pm 26$  Ma, 张强等(2018)在东昆仑中段洪水河铁矿区的狼牙山组中获得的碎屑锆石 U-Pb 年龄谱系中年轻的锆石峰值为  $788 \pm 9$  Ma, 这两个数据支持狼牙山组沉积的下限为新元古代中期。因此, 祁曼塔格山地区的狼牙山组地质时代应相当于青白口纪, 与研究区出露的丘吉东沟组地质时代相同, 而非以前文献所述的蓟县纪。

对于本区的大地构造, 李兴振等(2002)将其归为祁曼塔格古生代复合沟弧带。这可能是更多地考虑了显生宙的特征, 对前寒武纪地层的出露欠缺考虑。本文采纳孙崇仁(1997)的划分意见, 即本区属于东昆仑—中秦岭地层分区的柴达木南缘小区, 为柴达木微大陆块的组成部分(陆松年, 2002)。研究区内地层的褶皱简单, 断裂较为发育, 一般仅遭受弱变质或未遭受变质, 具有克拉通盖层的性质, 与塔里木克拉通内部的特征相似, 应属于它的边缘带(舒良树等, 2013)。有些学者认为, 现今柴达木盆地周围晚中元古代—新元古代的前寒武纪微陆块与华南陆块或塔里木陆块的亲缘性更强(陆松年, 2002; 陆松年等, 2006; 张建新等, 2021); 但也有学者据叠层石的总体特征认为, 东昆仑所在的柴达木微大陆块与华南地块存在明显差异(边千韬等, 2006)。笔者倾向认为这个微陆块是塔里木陆块的组成部分, 与某些学者的看法(陆松年, 2002)一致, 推测它是原超大陆的组成部分, 可能在 Rodinia 超大陆解体过程中从其主体解体而来, 这有待古地磁和化石研究等进一步印证。此外, 关于本区的古地理环境, 根据碳酸盐岩沉积建造特征(以白云岩、灰质白云岩为主, 夹有少量千枚岩、板岩碎屑岩类), 结合瘤状通古斯相似型等叠层石来推断, 其成岩的古环境应当为被动大陆(塔里木克拉通?)边缘温暖滨浅海相。这与“狼牙山组形成于温暖、湿润、成熟度高地壳”的推论(张强等, 2018)不谋而合。研究区叠层石的发现及其寄主岩 Sm-Nd 全岩年龄的获得, 为探讨本区大地构造演化和成岩环境提供了新证据。

① 拜永山, 常革红, 谈生祥, 等(青海省地质调查院). 2004. J46C003001(库郎米其提幅)1:25 区域地质调查报告.

## 6 结论

东昆仑祁曼塔格地区狼牙组首次发现前寒武纪叠层石化石 *Tungussia* cf. *nodosa* Semikhatov 和 *Baicalia lacera* Semikhatov, 根据其与 *Tungussia* 和 *Baicalia* 的形态特征对比, 初步研究倾向认为狼牙山组发育于新元古代青白口纪; 同时获得叠层石寄主岩石的 Sm-Nd 全岩等时线年龄为  $815 \pm 26$  Ma, 与叠层石的地质年代学解释一致; 该区的前寒武纪微陆块应是罗迪尼亚超大陆的组成部分; 综合叠层石寄主岩石地质、地球化学和年代学特征, 推测研究区大地构造背景属被动大陆边缘环境。

**致谢** 叠层石的鉴定与命名得到中国地质调查局天津地质调查中心朱士兴研究员和中国地质科学院地质研究所旷红伟研究员的大力帮助; 野外工作中, 曾得到朱代处长、付建平高级工程师和吕惠庆高级工程师的协助, 张丽红研究生参加了部分野外工作; 室内稀土元素原位测定和扫描电镜分析分别得到核工业北京地质研究院分析测试研究所刘瑞萍博士、于阿朋高级工程师的大力帮助; 成文过程, 中国地质科学院地质研究所柳永清研究员提出了建设性修改意见并对文章进行润色, 在此一并表示衷心感谢。

## References

- Bai Jin, Huang Xueguang, Wang Huichu, *et al.* 1996. The Crustal Evolution of China (2d Ed. ) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 178~209(in Chinese).
- Bian Qiantao, Zhu Shixing, Pospelov I I, *et al.* 2006. Discovery of Late Mesoproterozoic-Early Neoproterozoic stromatolite assemblages in the southern belt of eastern Kunlun[J]. Chinese Journal of Geology, 41(3): 500~510(in Chinese with English abstract).
- Cao Ruiji and Yuan Xunlai. 2009. Advances of stromatolite study in China[J]. Acta Palaeontologica Sinica, 48(3): 314~321.
- Faure G and Mensing T M. 2005. Isotopes: Principles and Applications (3rd Ed. ) [M]. Hoboken, New Jersey, Canada: John Wiley & Sons, 57~211.
- Kuang Hongwei & Liu Yongqing. 2018. Records of Biology and Environment in the Early Earth: Precambrian Stromatolites [M]. Beijing: Geological Publishing House, 132~140(in Chinese).
- Li Xingzhen and Yin Fuguang. 2002. Comparative study of the geological structure of the Eastern and West Kunlun Mountains[J]. Geological Bulletin of China, 21(11): 777~783(in Chinese with English abstract).
- Lu Songnian. 2002. Preliminary of Study of Precambrian Geology in the North Tibet-Qinghai Plateau [M]. Beijing: Geological Publishing House, 35~61(in Chinese).
- Lu Songnian, Yu Haifeng, Li Huaikun, *et al.* 2006. Research on Precambrian Problems in Western China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~197(in Chinese).
- Shu Liangshu, Zhu Wenbin, Wang Bo, *et al.* 2013. The formation and evolution of ancient blocks in Xinjiang[J]. Geology in China, 40(1): 43~60(in Chinese).
- Sun Chongren. 1997. The Petrology and Stratigraphy of Qinghai Province [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 340(in Chinese).
- Sun S S and McDonough M C. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes [J]. Geological Society, London, Special Publications, 42: 313~345.
- Wang Renmin, He Gaopin, Chen Zhenzhen, *et al.* 1987. Diagramming Protolith for Metamorphic Rocks[M]. Beijing: Geological Publishing House, 93~95(in Chinese).
- Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources. 1993. Regional Geology of Xinjiang Province in Geological Memoirs of People's Republic of China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 841(in Chinese).
- Zhang Jianxin, Lu Zenglong, Mao Xiaohong, *et al.* 2021. Revisiting the Precambrian micro-continental blocks within the Early Paleozoic orogenic system of the northeastern Qinghai-Tibet Plateau: Insight into the origin of Proto-Tethyan ocean [J]. Acta Petrologica Sinica, 37(1): 74~94(in Chinese with English abstract).
- Zhang Qiang, Ding Qingfeng, Song Kai, *et al.* 2018. Detrital zircon U-Pb geochronology and Hf isotope of phyllite of Langyashan Formation in Hongshuihe iron ore district of Eastern Kunlun and their geological significance[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 48(4): 1 085~1 104(in Chinese with English abstract).
- Zhu Shixing. 1993. Stromatolites in China[M]. Tianjin: Tianjin University Publishing House, 3~84(in Chinese).

## 附中文参考文献

白瑾, 黄学光, 王惠初, 等. 1996. 中国前寒武纪地壳演化(第二



- 版)[M]. 北京:地质出版社, 178~209.
- 边千韬, 朱士兴, Poseplov I I, 等. 2006. 东昆仑南带中元古代晚期-新元古代早期叠层石组合的发现[J]. 地质科学, 41(3): 500~510.
- 曹瑞骥, 袁训来. 2009. 中国叠层石研究进展[J]. 古生物学报, 48(3): 314~321.
- 旷红伟, 柳永清. 2018. 地球早期生物-环境演化记录: 前寒武纪叠层石[M]. 北京:地质出版社, 132~140.
- 李兴振, 尹福光. 2002. 东昆仑与西昆仑地质构造对比研究之刍议[J]. 地质通报, 21(11): 777~783.
- 陆松年. 2002. 青藏高原北部前寒武纪地质初探[M]. 北京:地质出版社, 35~61.
- 陆松年, 于海峰, 李怀坤, 等. 2006. 中国前寒武纪重大地质问题研究——中国西部前寒武纪重大地质事件群及其全球构造意义[M]. 北京:地质出版社, 1~197.
- 舒良树, 朱文斌, 王博, 等. 2013. 新疆古块体的形成与演化[J]. 中国地质, 40(1): 43~60.
- 孙崇仁. 1997. 青海省岩石地层[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 340.
- 王仁民, 贺高品, 陈珍珍, 等. 1987. 变质岩原岩图解判别法质初探[M]. 北京:地质出版社, 93~95.
- 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 1993. 新疆维吾尔自治区区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 841.
- 张建新, 路增龙, 毛小红, 等. 2021. 青藏高原东北缘早古生代造山系中前寒武纪微陆块的再认识——兼谈原特提斯洋的起源[J]. 岩石学报, 37(1): 74~94.
- 张强, 丁清峰, 宋凯, 等. 2018. 东昆仑洪水河铁矿区狼牙山组千枚岩碎屑锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素及其地质意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 48(4): 1 085~1 104.
- 朱士兴. 1993. 中国叠层石[M]. 天津:天津大学出版社, 3~84.