# 新疆库鲁克塔格地区新元古代末期 汉格尔乔克冰期成因新证据

杨瑞东1),张传林2),罗新荣3),魏怀瑞1),王伟1)

1)贵州大学研究生院,贵阳,550003;2)中国地质调查局南京地质矿产研究所,南京,210016;
 3)新疆第三地质大队地质调查所,新疆库尔勒,841000

内容提要:新疆是世界上保存有完整的新元古代三大冰期的地区之一,有关新疆新元古代最末期冰期为大陆冰 川早就提出,但由于证据不充分而一直受到质疑。汉格尔乔克冰碛砾岩具有典型的冰川"落石",属于典型的冰川沉 积,对其上覆的帽碳酸盐岩进行系统的碳、氧同位素研究证明,帽碳酸盐岩具有全球新元古代冰后碳酸盐岩沉积类 似的碳同位素负异常特征,特别是在帽碳酸盐岩底部发现具有典型的大气淡水成因的白云岩,证明汉格尔乔克冰期 为大陆冰川。

关键词:冰川;帽碳酸盐岩;新元古代;新疆

新元古代冰川沉积是地球发展历史中重要的地质事件。目前至少发现有两次全球性的冰期,即约0.7 Ga 前的 Sturtian 冰期和约0.6 Ga 前的 Marinoan 冰期(Hoffman et al.,1998; Kennedy et al.,1998; Brasier et al.,2000a; Hyde et al.,2000; Walter et al.,2000; Young, 2002)。由于新元古代冰期之后发生了生物大辐射事件,因此古生物学家认为在极端的"雪球地球"环境下,生命的基因发生变异,新的物种大量产生,导致生物大辐射。因此,新元古代的冰川研究已成为研究早期生命演化重要的内容,也是新元古代研究的前沿问题(Condon et al.,2002; Donnadieu et al.,2003; Xiao et al., 2004; Yang et al.,2006)。

新疆库鲁克塔格地区是新元古代冰川沉积非常 发育的区域,早在20世纪80年代就进行了系统的 研究(高振家等,1980)。根据冰碛岩的分布划分出 三大冰期,即贝义西、特瑞爱肯和汉格尔乔克冰期。 最近,徐备等(Xu et al.,2003)和肖书海等(Xiao et al.,2004)对冰后帽碳酸盐岩的碳同位素进行研 究,证明至少存在有两次冰期。通过笔者等的研究, 发现贝义西组冰碛砾岩上存在具有显著碳同位素负 异常的蓝灰色白云岩(Yang et al.,2007),同时,在 汉格尔乔克冰碛砾岩上覆盖1m厚的大气淡水成 因的帽白云岩,证明汉格尔乔克冰期为大陆冰川。

### 1 区域地质特征

库鲁克塔格地区被认为属于塔里木地块的一部 分。新元古代地层非常发育,被命名为库鲁克塔格 群,它自下而上划分为:贝义西组、照壁山组、阿勒通 沟组、特瑞爱肯组、扎莫克提组、育肯沟组、水泉组和 汉格尔乔克组(图1)。其中贝义西组、特瑞爱肯组 和汉格尔乔克组发育较厚的冰碛砾岩,而在冰碛砾 岩之上形成了三套帽白云岩,贝义西组、特瑞爱肯组 冰碛砾岩分别对应于 Sturtian 和 Marinoan 冰期 (Yang et al.,2007),而汉格尔乔克组冰碛砾岩是 Marinoan 冰期后的一次冰期,类似的冰期在澳大利 亚、北美、挪威等地发现(Xiao et al.,2004)。本文 的研究区域位于库鲁克塔格中部的兴地大坂,属于 浅海环境(高振家等,1980;段吉业等,2005)。

## 2 汉格尔乔克冰后帽白云岩沉积特征

汉格尔乔克组位于含大型炭质化石水泉组之上,肖书海等认为大型炭质化石水泉组之上,肖书海等认为大型炭质化石可能是 Vendotaenid 化石(Xiao et al.,2004),它常出现在 Marinoan冰期后沉积中。汉格尔乔克组之上为含 大量疑源类 Michrystridium、小壳化石

注:本文为国家自然科学基金(批准号 40462001)、贵州省优秀科技人才基金、中国博士后科学基金和贵州省长基金资助项目的成果。 收稿日期:2006-08-01;改回日期:2006-11-22;责任编辑:章雨旭

作者简介:杨瑞东,男,1963年生。博士,教授,博士生导师。主要从事地层古生物和地球化学的教学和研究。通讯地址:550003,贵州贵阳,贵州大学研究生院;Email:rdyang@gzu.edu.cn。



Kaiyangites novilis 和大型管状化石 Megathrix longus 的寒武系西山布拉克组硅质岩(图1)。

图 1 库鲁克塔格新元古代地层剖面 Fig. 1 Neoproterozoic—Lower Cambrian strata in

Quruqtagh area, Xinjiang

1-冰碛砾岩;2-砂岩;3-粉砂岩;4-砂质泥岩;5-粉砂质泥 岩;6-泥岩;7-页岩;8-白云岩;9-黑色页岩;10-硅质岩; 11-玄武岩

1—tillite; 2—sandstone; 3—siltstone; 4—sandy mudstone; 5 silty mudstone; 6—mudstone; 7—shale; 8— dolostones; 9 black shale; 10—siliceous rock; 11—basalt

汉格尔乔克组厚 410m,下部为冰碛砾岩,上部 为白云岩组成。下部冰碛砾岩为灰绿、灰紫色,块 状、无层理,砾石大小混杂,极不均匀地散布在杂基 中。砾石成分一般由砂岩、大理岩、花岗岩、燧石组 成。砾石大小一般为1~3cm,磨圆度为次圆一次棱 角状,含大量的漂砾,漂砾一般 30~50cm(图版 I-1),个别大于 100cm。砾石间杂基成分复杂,主要为 砂质大理岩、花岗岩、燧石等组成,还有泥质组分(图版 I-1)。汉格尔乔克冰碛砾岩顶部有3m厚的富 含有机质和黄铁矿的冰碛砾岩层(图版 I-2),这一 特征类似肖书海等(Xiao et al., 2004)在黑山一照 壁山地区汉格尔乔克顶部冰碛砾岩。上部白云岩层 厚 15m,主要为泥质白云岩组成,水平纹层非常发育 (图版 I-3)。最早认为是白云岩或泥灰岩,含大量 黄铁矿,具有水平微层理。后来高振家(1980)认为 它是冰碛纹泥层,原因是在其中发现 0.5cm 大小的 小砾石,他们认为其是落石。通过笔者等对兴地一 带研究认为它是白云岩。特别是在汉格尔乔克冰碛 砾岩与白云岩接触界线上的 1m 厚的结晶白云岩 (图版 I-2),具有典型的大气淡水沉积形成的渗流

表 1 汉格尔乔克组帽白云岩地球化学参数 Table 1 The geochemical parameter of cap dolostone of the Hankalchough Formation

位置	样品号	岩性	Mn/Sr	δ <sup>13</sup> C (‰,PDB)	δ <sup>18</sup> O (‰,PDB)
0.5	H-a	白云岩	2.1	-6.79	-5.9
1.8	H-b	泥质白云岩		-8.97	-7.5
2.5	H-c	泥质白云岩	5.4	-11.45	-4.7
4.0	H-d	泥质白云岩		-4.56	-4.1
7.8	H-e	泥质白云岩	4.8	-10.00	-6.2
9.5	H-f	泥质白云岩		-9.45	-3.6
12.9	H-g	泥质白云岩		-8.54	-5.3

注:碳、氧同位素和微量元素分别在中国地质调查局宜昌地质矿产研究所 MAT-251EM 和 ICP-MS上完成。





豆、栉壳状结构(图版 [-4,5,6)。

根据肖书海等(Xiao et al., 2004)研究认为,汉 格尔乔克冰碛砾岩上存在帽白云岩,它是 Marinoan 冰期后的另外一个冰期。帽白云岩具有典型的冰后 碳酸盐岩所具有的碳同位素负异常特征, $\delta^{13}$ C<sub>PDB</sub>值 变化在-4.56‰ ~-11.45‰(表 1,图 2)。由于研 究区区域变质程度较高,为了说明碳同位素没有在 后来区域变质中发生碳同位素分馏,笔者等对样品 进行了 Mn/Sr、 $\delta^{18}$ O分析,结果 Mn/Sr 值在 2.1~ 5.4, $\delta^{18}$ O<sub>PDB</sub> 在 -3.6‰ ~ -7.5‰, $\delta^{18}$ O<sub>PDB</sub> > -10‰,说明碳同位素反映沉积时的海洋环境的碳 同位素(Stoll and Schrag, 2000)。

在汉格尔乔克帽白云岩底部具有大气淡水成因 白云岩,其具有典型大气淡水成因的渗流豆、栉壳状 结构(图版 I-4、5、6),不具有层理,块状,其&<sup>13</sup>C<sub>PDB</sub> 为一6.79‰,它与下覆冰碛砾岩界线明显,为不整合接触,与上伏微水平层理发育的泥质白云岩整合接触。

白云岩中渗流豆大小为 0.1~0.2mm,渗流豆 为放射状结构,放射状物从豆粒壳向中心生长,最长 近 1/2 壳径,短的为 1/3 壳径(图版 I-4、5)。豆粒 间为细微晶白云石。帽白云岩栉壳状结构发育,由 纤细的白云石晶体组成,晶体生长方向交错(图版 I-6),类似生物礁和大气淡水渗流作用形成的白云 岩中的栉壳状结构。

## 3 大气淡水成因的帽白云岩 发现的科学意义

早在 20 世纪 80 年代就已经提出汉格尔乔克冰 碛砾岩属于大陆冰川沉积(高振家等,1980),但是由





Fig. 3 The map showing relationship between Neoproterozoic glaciation and metazoan radiation (the Doushantuo fauna from Barfod et al., 2002, others from Conway Morris, 1998)

于没有充分的证据证明而受到质疑。高振家等 (1980)在汉格尔乔克冰碛砾岩底部与水泉组接触面 上发现古风化壳,并在个别地段见有似为冰川刨蚀 的痕迹,但未见"基岩冰溜面",冰碛岩砾石成分多为 下伏地层碎屑。据此认为它区别于冰川一海洋沉积 的冰碛岩,而类似底碛性质的大陆冰川堆积。但由 于冰碛岩岩性单一,分布广泛,厚度稳定,上部又沉 积一套分布广泛的泥质白云岩,因此,认为它是似冰 海相与大陆冰湖相的过渡类型。

本研究在汉格尔乔克冰碛砾岩最顶部发现大气 淡水成因的细晶白云岩,同时在白云岩与冰碛砾岩 之间发现有不整合接触(图版 I-2),结合汉格尔乔 克冰碛砾岩底部与水泉组接触面上发现古风化壳, 个别地段见有似为冰川刨蚀的痕迹等特征,说明汉 格尔乔克冰碛砾岩应该是大陆冰川。证明汉格尔乔 克冰期分布比较局限,只在部分大陆上有冰碛沉积 记录(Di Bona,1991; Kaufman et al.,1997; Grey and Corkeron,1998; Brasier et al. 2000a, 2000b; Knoll, 2000; Corsetti and Kaufman, 2003)。说明 这次 Marinoan 冰期后的冰期规模没有 Sturtian 冰 期和 Marinoan 冰期大,但由于它是处于新元古代 生命大辐射期(陡山沱期)之后,因此,它对早期生命 的演化具有重要的影响,受到国内外地质学家的广 泛关注。

在北美 Marinoan 冰期后的 Gaskiers 冰碛岩年 代为 580Ma(Bowring et al.,2003),它应该晚于华 南南沱冰期(Barfod et al.,2002)。肖书海等(Xiao et al.,2004)认为,汉格尔乔克冰期时间上早于大 型 Ediacaran 动物群的出现,而晚于陡山沱期大型 疑源类组合,因此它处于生命演化的关键时期。就 华南地区而言,在陡山沱期末存在有一个显著的碳 同位素异常(Macouin et al.,2004)(图 3),但这次 异常没有大塘坡组、陡山沱组底部碳同位素强烈。 说明这次冰期影响是广泛的,它可能与复杂的陡山 沱期微体后生动物消失和随后的早期后生生物辐射 有着密切关系(Conway Morris,1998)。

#### 参考文献 / References

- 段吉业,夏德馨,安素兰.2005.新疆库鲁克塔格新元古代一早古 生代裂陷槽深水沉积与沉积构造古地理.地质学报,79(1):7 ~14.
- 高振家,李永安,彭昌文,钱建新,朱诚顺.1980.新疆库鲁克塔格 震旦纪冰川沉积.见:朱士兴.主编.中国震旦亚界.天津:天 津科学技术出版社,186~211.
- Barfod G H, Albarede F, Knoll A H, Xiao S, Telouk P, Frei R, Baker J. 2002. New Lu-Hf and Pb-Pb age constraints on the

earliest animal fossils. Earth Planet. Science Letter, 201(1): 203~212.

- Bowring S, Myrow P, Landing E, Ramezani J, Grotzinger J. 2003. Geochronological constraints on terminal Neoproterozoic events and the rise of metazoans. Geophys. Res. Abstracts 5, 13219.
- Brasier M, McCarron G, Tucker R, Leather J, Allen P, Shields G. 2000a. New U-Pb zircon dates for the Neoproterozoic Ghubrah glaciation and for the top of the Huqf Supergroup, Oman. Geology, 28: 175~178.
- Brasier M D, Shields G. 2000b. Neoproterozoic chemostratigraphy and correlation of the Port Askaig glaciation, Dalradian Supergroup of Scotland. J. Geol. Soc. London,  $157:909 \sim$ 914.
- Condon D J, Prave A R, Benn D I. 2002. Neoproterozoic glacialrain-out intervals: observations and implications. Geology, 30: 35~38.
- Conway Morris S. 1998. The crucible of creation The Burgess Shale and Rise of Animals. Oxford: Oxford University Press, 1 ~242.
- Corsetti F A, Kaufman A J. 2003. Stratigraphic investigations of carbon isotope anomalies and Neoproterozoic ice ages in Death Valley, California. GSA Bull., 115: 916~932.
- Donnadieu Y, Fluteau F, Ramstein G, Ritz C, Besse J. 2003. Is there a conflict between the Neoproterozoic glacial deposits and the snowball Earth interpretation: an improved understanding with numerical modeling. Earth and Planetary Science Letters, 208:101~112.
- Di Bona P A. 1991. A previously unrecognized Late Proterozoic succession: Upper Wilpena Group, northern Flinders Ranges, South Australia. Geol. Surv. South Aust. Quart. Geol. Notes, 117: 2~9.
- Grey K, Corkeron M. 1998. Late Neoproterozoic stromatolites in glaciogenic successions of the Kimberley region, Western Australia: evidence for a younger Marinoan glaciation. Precambrian Research, 92: 65~87.
- Hoffman P F, Kaufman A J, Halverson G P, Schrag D P. 1998. A Neoproterozoic snowball Earth. Science, 281: 1342~1346.
- Hyde W T, Crowley T J, Baum S K, Peltier W R. 2000. Neoproterozoic snowball Earth simulations with a coupled climate/ice-sheet model. Nature, 405: 425~429.
- Kaufman A J, Knoll A H, Narbonne G M. 1997. Isotopes, ice ages, and terminal Proterozoic earth history. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A., 94: 6600~6605.
- Kennedy M J, Runnegar B, Prave A R, Hoffmann K H, Arthur M A. 1998. Two or four Neoproterozoic glaciations? Geology, 26: 1059~1063.
- Knoll A H. 2000. Learning to tell Neoproterozoic time. Precambrian Research, 100: 3~20.
- Macouin M, Basse J, Ader M, Gilder S, Yang Z, Sun Z, Agrinier P. 2004. Combined paleomagnetic and isotopic data from the Doushantuo carbonates, South China: implications for the " snowball Earth " hypothesis. Earth and Planetary Science Letters, 224: 387~398.
- Stoll H M, Schrag D P. 2000. High-resolution stable isotope records from the Upper Cretaceous rocks of Italy and Spain: Glacial episodes in a greenhouse planet? Geol. Soc. Am. Bull., 112: 308~319.
- Walter M R, Veevers J J, Calver C R, Gorjan P, Hill A C. 2000.

Dating the  $830 \sim 544$  Ma Late Neoproterozoic interval by isotopes of strontium, carbon (carbonate and organic), and sulfur (sulfate) in seawater. Precambrian Research, 100: 371  $\sim$ 433.

- Xiao Shuhai, Bao Huiming, Wang Haifeng, Kaufman A J, Zhou Chuanming, Li Guoxiang, Yuan Xunlai, Ling Hongfei. 2004. The Neoproterozoic Quruqtagh Group in eastern Chinese Tianshan: evidence for a post-Marinoan glaciation. Precambrian Research, 130: 1~26.
- Xu B, Zhang H, Yao H, Li Y. 2003. C-isotope composition and significance of the Sinian on the Tarim plate. Chinese Sci. Bull., 48: 385~389.
- Yang Ruidong, Zhang Chuanlin, Luo Xinrong. 2006. Worm-like fossils from the Lower Cambrian Xidashan Formation in Quruqtagh area, Xinjiang. Progress in Natural Science, 16(5): 559~562.
- Yang Ruidong, Zhang Chuanlin, Wang Baixuan, Luo Xingrong. 2007. Chemostratigraphy and lithological characters of

Neoproterozoic cap carbonates from the Quruqtagh Mountain, Xinjiang, west China. Chinese Journal of Geochemistry, 26(1):  $32 \sim 39$ .

Young G M. 2002. Stratigraphic and tectonic settings of Proterozoic glaciogenic rocks and banded iron-formations: relevance to the snowball Earth debate. Journal of African Earth Sciences, 35:  $451{\sim}466$ .

#### 图版说明 / Explanation of Photos

- 1. 汉格尔乔克组冰碛砾岩中的漂砾(落石)。
- 汉格尔乔克组冰碛砾岩与帽白云岩接触界线(地质锤处),下部富 含有机质和黄铁矿的冰碛砾岩层,上部为帽白云岩底部为厚层状 大气淡水成因的渗流豆白云岩。
- 3. 蓝灰色泥质白云岩,水平层理发育,为帽白云岩上部。
- 4、5. 厚层状大气淡水成因白云岩中的渗流豆结构。
- 6. 厚层状大气淡水成因白云岩中的栉壳状结构。

## New Evidences on Neoproterozoic Hankalchough Glaciation in Quruqtagh, Xinjiang, West China

YANG Ruidong<sup>1)</sup>, ZHANG Chuanlin<sup>2)</sup>, LUO Xingrong<sup>3)</sup>, WEI Huairui<sup>1)</sup>, WANG Wei<sup>1)</sup>

1) Guizhou University, Guiyang, 550025;

2) Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Nanjing, 210016;
3) Geological Team No. 3 of the Xinjiang Geological Survey, Korla, 841000

#### Abstract

Neoproterozoic glacial depositions in the Quruqtagh Mountain, Xinjiang, west China, have proven that there are three discrete Neoproterozoic glaciations. Xinjiang is one of the regions occurring all three Neoproterozoic glaciations in the world. The latest Neoproterozoic glaciation (Hankalchough diamictite) was discovered in 1980 and considered as glacio-territorial in origin. Nevertheless, the origin of the latest Neoproterozoic glaciation is in debate forbecause of lack of ample evidences. Striated clasts and dropstones are common in all throughout the Hankalchough diamictite units. Therefore, writersauthors suggest that the Hankalchough diamictite is glaciation in origin. Additionally, the cap dolomite covering over the Hankalchough diamictite aisre characterized by subaerial exposure crust (vadose pisolite structure, calcareous crust structure); , and the carbon isotopic values of the cap dolomite show has negative with negative abnormal  $\delta^{13}C_{PDB}$  values, ranging from -4.56 % to -11.45 %, which it is similar to carbon isotopic composition of the cap carbonate post-glaciation in the world. WritersAuthors suggest that the Hankalchough glaciation belongs to terrestrial glaciation.

Key words: Glaciation; cap carbonate; Hankalchough; Neoproterozoic; Quruqtagh, Xinjiang

### 杨瑞东等:新疆库鲁克塔格地区新元古代末期汉格尔乔克冰期成因新证据

图版Ⅰ

