

大兴安岭南段赛罕乌拉石海剖面分析及其与蒙山拦马墙石河结构对比

吕洪波^{1,2,4)}, 高于³⁾, 浦津³⁾, 孟和达来¹⁾, 欧阳江城⁴⁾, 巴特尔¹⁾, 刘波¹⁾, 张云喜⁵⁾, 李桂林¹⁾

1) 赛罕乌拉国家级自然保护区管理局, 内蒙古赤峰, 025150;

2) 中国石油大学地学院, 山东青岛, 266580; 3) 南京外国语学校国际部, 南京, 210008;

4) 赤峰学院资源环境与建筑工程学院, 内蒙古赤峰, 024000;

5) 内蒙古赤峰市巴林右旗气象局, 内蒙古赤峰, 025150

内容提要:石海(石河/冰石河)作为冰缘地貌的重要标志之一,在国内地学界尚未引起足够的重视,以至于缺少介绍石海结构特征的中文文献,更未建立判别标准,在地貌认知阶段就发生很多误判。为了揭示石海的剖面结构特征,笔者等对位于大兴安岭南段的赛罕乌拉国家级自然保护区乌兰坝石海首次进行了开挖解剖,从而归纳了原生石海的基本结构特征:岩块棱角鲜明,呈镂空状堆积,岩块直径总体上上大下小。根据野外调查确认,赛罕乌拉海拔1800 m 以上的区域至少还存在着局部现代石海,也就是说,还残存着不连续冻土带,而且保持年平均气温 0℃左右的气候环境。根据赛罕乌拉现今气候记录和石海分布,笔者等估算了全新世初期赛罕乌拉石海开始发育时的地表温度在 0~-4℃,而今天年平均气温已经升高到 2℃,升温幅度 2~6℃。根据赛罕乌拉石海剖面结构特征,笔者等对山东蒙山石河进行了结构对比,认为二者剖面结构基本一致,排除了前人近年来争议明显的冰川侧碛堤和泥石流成因说。结构对比揭示山东蒙山境内全新世早期至少局部存在过冰缘气候环境,而这也为山东境内更新世冰川地貌研究提供了重要的信息。此外,本研究也为中国冰缘地貌解剖和资源调查提供了一个可以参考的研究实例。

关键词:大兴安岭;赛罕乌拉;石海;石河;冰石河;冰缘;蒙山;拦马墙

冰缘地貌(periglacial landform)是紧邻冰川覆盖区的无冰区或冰川刚刚退缩后的区域在寒冷气候条件下形成的一系列与地下冻土相关的特殊地貌,如:石海、岩冰川、石环、冰楔构造等。中国现代的冰缘气候带主要位于青藏高原和其他高寒山区的冻土带,远离人们的视野,但随着气候变暖和人类活动范围的扩大,很多更新世冰川退缩后形成的冰缘地貌今天已经成为人们观光旅游常见的地质景观。这些冰缘地貌是冰川退缩后寒冷气候的记录,具有重要的古环境意义。然而,由于中国地学界本身对现代冰缘地貌观察不够,在遇到古冰缘地貌时往往作出错误的认知判断。以石海(石河)为例,如果当作冰碛物,就错将冰缘环境判定为冰川环境;如果当作泥石流堆积,则更是离谱。

为了向国内地学同仁更清晰地介绍石海,笔者等选择大兴安岭南段中部的赛罕乌拉国家级自然保护区进行野外调研,以保护区北部乌兰坝景区近现

代石海为对象,进行简单的现场挖掘解剖,揭示其剖面结构特征,建立基本判别标准,并对地学界已有的误读实例蒙山世界地质公园拦马墙巨石堆进行比较判别。

1 赛罕乌拉国家级自然保护区地理概况

赛罕乌拉国家级自然保护区位于内蒙古自治区赤峰市巴林右旗北部,属于大兴安岭南段中低山区(图1)。保护区面积 1004 km²,最高点位于保护区北部乌兰坝林区二林达巴望火楼附近的山头,海拔 1957 m,次高点位于中东部的罕山山顶,海拔 1951 m(李桂林,2005),二者为大兴安岭仅次于主峰黄岗梁(2029 m)的高峰(图2)。赛罕乌拉又称赛罕汗乌拉、罕山,蒙古语“赛罕汗乌拉”为“美丽的圣山”之意。蒙古语“乌兰”为“红色”之意,巔连之处有隘口称为“坝”,得名乌兰坝。蒙古语“二林”为“狭



图1 内蒙古赤峰市巴林右旗赛罕乌拉国家级自然保护区石海位置示意图(底图据 Google Earth)

Fig. 1 Location of block field in the Saihanwula National Natural Reserve, Barin Right Banner, Chifeng, China (Base map from Google Earth)

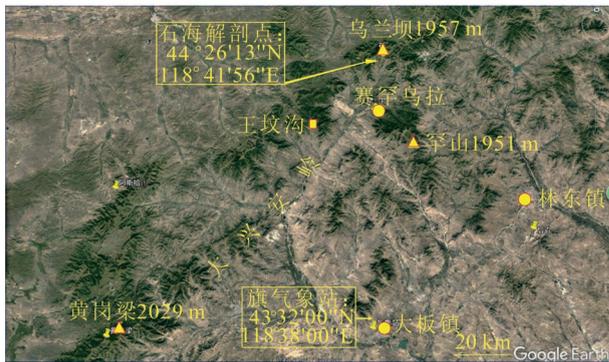


图2 卫星图显示大兴安岭南段三座高峰相对位置(底图据 Google Earth)

Fig. 2 Landsat image showing the location of three highest peaks in the south section of Greater Hinggan Mountains (Base map from Google Earth)

窄”之意,“达巴”为“隘口”之意,得名“二林达巴”(李桂林,2005)。

笔者等野外现场考察发现,保护区内主要出露中生代中酸性火山岩或火山角砾熔岩,还有少量变质岩和花岗岩。在保护区北部乌兰坝出露的是安山玢岩,在罕山顶熔岩台地上出露的是火山角砾熔岩,而在王坟沟一带则出露有花岗岩。上述三个区域都有石海(石河)分布:以乌兰坝南坡的石海规模最大,已经连片分布成群;罕山熔岩台地上有零星的石河分布,而台地周缘却分布着大片的石海或石河,但因为坡度陡而多演变成岩屑坡;王坟沟沟谷中有火山岩和花岗岩石河分布。这些石海或石河在海拔高的局部区域因冻融作用而继续发育,而海拔低的部分已经不再活动。本次考察选择保护区最大的石

海进行解剖,该石海位于保护区北部乌兰坝南坡(图3)。

2 乌兰坝石海剖面解剖与结构特征

乌兰坝位于赛罕乌拉国家级自然保护区北部边缘,最高点为靠近二林达巴望火楼附近海拔 1957 m 的无名山峰。乌兰坝南坡为弧形山脊围成的半个漏斗状曲面,山坡下部靠近沟谷有一些乔木生长,而林线位置大约在海拔 1500 m 的高度,上面山坡除了零散的灌木丛外已经没有树木生长。从海拔 1500 m 以上到山脊之间的广阔山坡断断续续地分布着成片的石海,整个南坡东西长超过 2500 m,南北宽超过 500 m,是赛罕乌拉保护区内最大的连片石海区(图3)。乌兰坝南坡出露的岩石为中生代棱角状安山玢岩岩块(图4a),具超浅成火山岩特征,在现代石海周围或连片的石海之间,绿色的草地上也布满了棱角状岩块,实际上也是过去的石海留下的痕迹(图4b)。笔者等选择石海东部边缘靠近盘山路的草地作基准点, GPS 值为:44°26'13"N;118°41'56"E;H=1653 m(图3)。草地上有散落的岩块(图4b)意味着现代石海周围是古石海,在该点向西大约 20 m 即是这片近现代石海的边缘(图4c),有几丛灌木生长。笔者等在这里用挖掘机开出一个垂向沟槽,以揭示从石海表面到基岩的剖面结构特征,观测完毕后重新填平恢复原貌。

经过挖掘显示剖面特征如下:

(1)石海表面为棱角状岩块,上表面有微弱的风化而颜色变淡且长满了地衣,整体呈灰色,而岩块下面没有地衣,表面附着一层土黄色的“铁锈”和尘

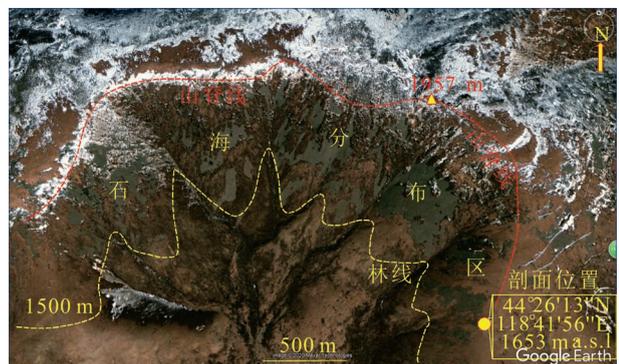


图3 大兴安岭赛罕乌拉北部乌兰坝石海分布卫星影像图(底图据 Google Earth)

Fig. 3 Landsat image showing the block field in Wulanba, north of Saihanwula National Natural Reserve, Greater Hinggan Mountains (Base map from Google Earth)



图4 大兴安岭赛罕乌拉国家级自然保护区不同类型的石海野外照片(吕洪波摄)

Fig. 4 Different outcrops of felsenmeer in the Saihanwula National Natural Reserve, Greater Hinggan Mountains (photos by LÜ Hongbo)

(a) 乌兰坝地表出露的安山玢岩新鲜面;(b) 乌兰坝石海痕迹及火山岩块之间草丛;(c) 乌兰坝南坡石海西部边缘外貌;(d) 挖掘机在石海边缘开始挖掘;(e) 挖掘出的石海底部基岩顶面;(f) 坡度大于20°的地方有岩块翻滚;(g) 罕山熔岩台地多边形地面和石河雏形;(h) 王坟沟花岗岩石蛋构成的石河

(a) Newly exposed surface of andesitic porphyrite in Wulanba; (b) volcanic blocks and grass on the ground surface in Wulanba; (c) Wulanba block field (toward east); (d) excavator at work; (e) exhumed rock head at the pit bottom; (f) some blocks have been overturned because the slope exceeds 20°; (g) polygon ground and block streams in the lava platform on Mount Hanshan; (h) block stream composed of granite corestones



土(图4f)。打开新鲜面则呈现出深灰色并显示灰白色斜长石斑晶(图4a),应为安山玢岩。

(2) 岩块大小混杂,但最上面以大岩块为主,石海表面除了少量直径不足10 cm的岩块外,多数直径超过20 cm,有很多长条状岩块直径超过50 cm(图4)。

(3) 开挖的剖面总深度超过2 m,其中石海活动

图5 大兴安岭乌兰坝石海开挖剖面(吕洪波摄)

Fig. 5 A exhumed profile showing the block field structure in Wulanba, north of Saihanwula National Natural Reserve, Greater Hinggan Mountains (Photo by LÜ Hongbo)

层深度 1.8 m, 其下为发育节理的基岩。石海剖面从地表向下总体上看, 岩块直径呈现上大下小的趋势(但不是“反粒序”), 越到下面细小碎屑越多, 在基岩表面甚至还有一层黏土覆盖(图 5)。

(4) 基岩顶部可见明显的破碎裂隙, 将与活动层岩块一样的火山岩分割成不规则的块体, 岩块虽然紧密相嵌但却已经开始松动, 裂缝内充填着黏土(图 4e)。

(5) 整个石海剖面岩块之间不是杂基支撑, 而是呈现明显的镂空(openwork)状, 剖面上部岩块之间的空隙很大, 下部岩块之间有小的碎屑充填却仍有明显的空隙, 以至于所有岩块表面都有一层土黄色的浮土附着, 然而岩块却非常新鲜, 没有明显的化学风化(图 5)。

(6) 长时间不动的表面岩块上面长满了地衣, 而坡度超过 20° 的地方有的岩块近期有翻转, 朝下的面有轻微的土黄色氧化膜(图 4f)。这说明地衣不能在岩块下面生长, 只能在持续多年暴露的表面才能缓慢生长。

简单归纳该石海结构特征: 火山岩块棱角鲜明, 呈镂空状堆积, 岩块直径总体上上大下小, 属于原地形成后未曾受到明显改造或破坏的石海。因为开挖露出的基岩顶面土壤层虽然有点潮湿但不见结冰, 说明此处的石海已经属于不活动石海(inactive block field)。

3 石海的概念、特征及环境意义

3.1 石海的概念和前人研究简介

“石海”这个词虽然也有少量中文论文报道(韩景卫, 1993; 赵松龄等, 2005; 樊耀武等, 2010; 路洪海等, 2016), 但总体上曝光率不高。然而, 媒体上宣传最多的例子却赋予了错误的涵义, 如: 兴文石海是指四川宜宾的地表喀斯特石芽地貌(舒成强等, 2015), 是由成片裸露的石灰岩基岩组成的岩漠(rock desert), 显然不具有冰缘地貌石海的特征。对于普通大众而言, 将成片暴露在地表的基岩都当作石海看待, 不在乎其环境意义, 可以理解。然而, 中国大众对“冰石河”这个词却不陌生, 因为常有网上媒体和文献报道(许民等, 2007), 被赋予冰川活动意义。“冰石河”这个词在地质界使用得更多些, 而“石河”这个词在地理学界经常使用, 二者其实是一个意思, 都是指线状分布的石海, 是冰缘地貌的标志之一。为了理清“石海”、“石河”和“冰石河”的涵义及其环境意义, 我们有必要回顾一下石

海的定义和研究脉络。而为了统一术语, 本文将使用地理学界常用的“石河”一词, 等同于地质学界的“冰石河”。

石海(felsenmeer/block field)这个概念几十年来虽然有所演变, 但基本意义不变。石海是一片平坦或缓倾的被棱角状或次棱角状岩块覆盖的区域, 而这些岩块是中高纬度林线之上的平缓高山或高原区域节理发育的下伏基岩原地遭受强烈冰冻作用的结果(Gary et al., 1972²⁵⁶)。

Rea(2007)根据过去几十年的文献记载对石海的基本特征进行了梳理和归纳: 石海是下伏节理发育的基岩在冰缘环境下反复冻融而掘起的棱角状岩块堆积层, 其中呈线状分布的则称为石河(block stream, boulder stream)。尽管有的石海岩块之间有碎屑充填, 但最典型的石海之岩块堆叠却显示镂空结构(openwork), 而且岩块越大越是如此。由于冰冻分选作用(frost sorting)导致垂向剖面上岩块直径上大下小, 细小的碎屑甚至黏土充填于活动层底部而直接盖在基岩顶面之上。石海岩块的大小取决于节理密度, 节理越稀疏岩块就越大。

石海是高寒山区或高纬度区域现在或过去的冰川地貌区的常见特征, 具有与今天气候环境明显不协调的组成和外观。过去的冰川覆盖区附近甚或残留漂砾的强烈冰川侵蚀区都可以发育石海, 为中高纬度区域气候演化提供重要的信息(Rea, 2013)。

前人的观察研究证实, 石海就是冰缘地貌的标志之一(Miller et al., 2006; Nelson et al., 2007; Roberts et al., 2009; Hall and Migon, 2010; Stan et al., 2017), 而全新世的冰缘地貌一般在更新世末期都曾是冰川环境(Ballantyne, 2010)。因此, 石海之上可以驮着以前冰盖上的残留漂砾(Ballantyne and Stone, 2015), 而现代石海发育区与更新世冰川区往往重叠(Goodfellow, 2007, Goodfellow et al., 2008)。通过研究石海中的黏土和粉砂成分判断, 所有石海都只能是第四纪冰缘环境下形成的(Goodfellow, 2012)。研究显示, 现今格陵兰冰原岛峰的地方是典型的冰缘环境, 确实在末次冰盛期为冰川覆盖(Graham et al., 2019)。

研究发现, 镂空结构除了石海之外也仅在大型倒石锥外缘局部出现(Orr et al., 2009), 但倒石锥总位于陡崖根部与谷底交汇的地方。

现代调查研究显示冰缘地貌不仅发育于两级或高纬度地区, 非洲的埃塞俄比亚高原区, 纬度不足 13°、海拔 3500 多米的山区, 现在还具有冰缘地貌特

征;研究推测在末次盛冰期(LGM)期间具有冰川作用特征,因为附近有更新世冰碛物(Hendrickx et al., 2015)。

冰缘阶段不仅发育石海(石河),还发育其他地貌标志,特别是岩冰川,往往就在冰川末端发育(Janke, 2013; Janke et al., 2015),代表冰川与冰缘之间的过渡(Seppi et al., 2015),因此可以看作冰缘阶段的先驱。小型石河、冰楔构造、多边形地裂缝、石环等也都是在冰缘冻土环境下形成的(Janke et al., 2012)。研究显示石河主要垂直等高线延伸,重力作用影响明显,局部的断裂破碎提供了冰劈作用发育的空间是重要因素(Serban et al., 2019)。

野外考察发现,南极大陆局部无冰区因为温度太低而缺少石海等冰缘地貌标志(Vieira et al., 2012),因此这样的无冰区不属于典型的冰缘地貌区,而只有在反复冻融的条件下才能形成石海。石海的发育需要如下条件:首先是每年气温在零度上下摆动,其次是地下存在着多年冻土带,加之靠近地表的岩石受到断裂切割破碎并且破碎带含水。

野外观测证实,石海常常被改造,如:发育石海的山坡如果坡度超过 25° ,就会发生明显的位移而形成岩屑坡(scree slope; Rea, 2007; Francelino et al., 2011),甚至演变成大型岩屑坡(Gordon and Ballantyne, 2006)。即使斜坡坡度很小(如: 10°),石海表层岩块也容易发生向下游的倾倒而呈现叠瓦状定向排列(Rea, 2007)。因此,坡度超过 10° 的石海(或石河)表面大岩块具有叠瓦状定向排列特征是常见现象,不能因此就将其判断为异地堆积的产物。

石海形成以后,表面的岩块也遭受不同程度的风化,即使同一岩块之朝阳面都要比向阴面风化程度高(Hansen et al., 2013)。如果石海表面暴露时间长,特别是经历了现代温暖气候变化后这种风化差异就更加明显。因此,根据石海表面岩石风化的程度,不仅可以判别其形成后的风化历史,还可以判别其形成时间,而宇宙成因核素测年等方法则可以给出更精确的暴露年龄(Ballantyne and Stone, 2015)。

石海发育时的气候有何特点?研究者在奥地利的阿尔卑斯东部边缘海拔2416 m的山区零星冻土带进行连续十几年的观测,获得石海(包括岩冰川)表面年平均气温为 0°C 左右,而地面以下2.5 m深处年平均温度为 -1.4°C (Kellerer-Pirklbauer, 2019)。看来,地表年平均气温在 0°C 左右,而地下

存在着冻土层是冰缘气候的重要特征。

3.2 石海、冰碛物、泥石流堆积物的根本区别

现代冰缘气候带的石海在更新世晚期往往就是冰川侵蚀区,而冰川堆积物和石海等在高寒山区因反复的冻融作用更容易遭受滑坡或泥石流等地质灾害,因此三者往往在同一个区域出现。为此,必须弄清三者之间的关键差异才能避免地貌认知错误。

亚热带高山区的冰缘地貌组合研究显示,原来的冰碛地貌和冰缘地貌组合,在冰后期河流和滑坡泥石流等的改造下常常面目全非,鉴定起来就很困难(Iturrizaga, 2008)。这个实例说明,经过全新世改造后,冰缘地貌与冰川地貌甚至后期的泥石流等本身就可能掺杂在一起,这就需要认真的野外考察判别以揭示其本来面目。

研究显示,高寒山区的泥石流往往就是对原来冰缘地貌堆积体的改造形式之一(Millar, 2005)。尼泊尔山区现代滑塌和泥石流堆积研究显示,所有泥石流堆积体的共性是:岩块大小混杂,岩块棱角分明,从未见镂空结构的泥石流堆积体(Marston et al., 1998)。

代表冰缘气候标志的石海(石河)与冰川沉积的冰碛物有着明显的差别。根据现代冰碛物野外现场描述和提供的照片看,冰碛物最重要的特点是大小混杂几无分选,大岩块之间充满了小岩块和杂基,本身不透水(Straiger et al., 2006)。石海的大岩块之间可以有碎屑支撑,但在剖面上岩块上大小下的规律不变,这点与冰碛物的杂乱堆积还是有区别的,而具有镂空结构的堆积体就只能是石海了。

近期对帕米尔高原滑坡体野外调查研究证实,滑坡形成的源头断崖与下部的沉积体总体上都是垂直于等高线延伸,而且下部堆积体末端总有弧形的扇端。从野外照片看,其混积物(diamicton)总是大小混杂分选极差,呈现明显的杂基支撑结构,还有巨大砾石散落在地表(Zhu Yuxuan et al., 2019)。这种从上游侵蚀断崖到下游的扇形堆积体外缘组合以及大岩块散落的特征就是滑坡堆积的基本特征,而且泥石流堆积体总是位于坡度突然变缓处,如出山口外的巨大扇体。泥石流从源头侵蚀并提供物源的形成区经中途的搬运区再到最终的堆积区是其成因分析必不可少的三个组成部分,这也为区别泥石流堆积与石海(石河)提供了重要的思路。

4 赛罕乌拉石海的形成机理与环境意义

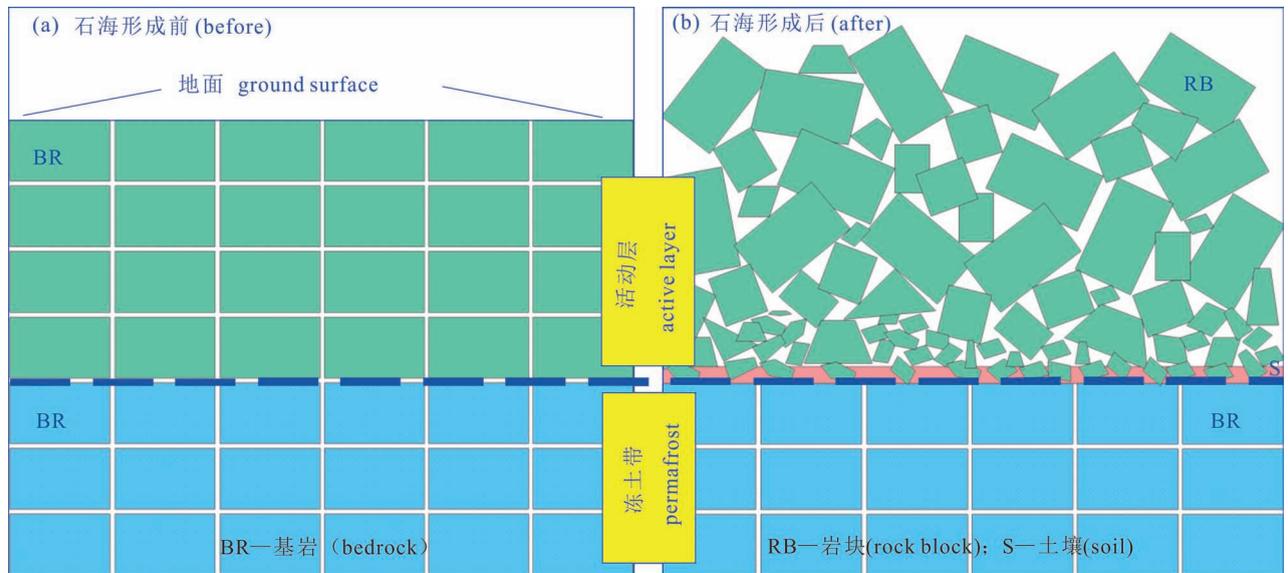


图 6 石海形成前后剖面结构示意图(吕洪波绘)

Fig. 6 Sketch profile showing the underground rock structures before and after the formation of block field (Drawn by LÜ Hongbo)

4.1 石海的形成机理

从前面的介绍可知,石海(石河)是冰点上下气温变化的冻融风化作用导致表层岩块破裂而形成的棱角状巨石堆积层,其根本原因是在冰缘环境下降水沿着地下裂隙反复冻融的冰劈作用。其先决条件是:冰缘环境下地下存在着冻土带,阻碍了降水向深层渗透,只能保存在冻土顶面之上岩块之间的裂隙中,而冻土顶面之上的活动层,就是石海发育的场所。换句话说,地下没有多年冻土带,地表就没有石海;而如果冻土带上没有发育断裂的基岩,同样没有石海。

对比上述特征,根据乌兰坝石海挖掘显示的结构特征(图 5),其形成机理大致如下:

在更新世末第四纪冰川结束后,大兴安岭南段赛罕乌拉转变为冰缘气候带(图 6a),乌兰坝附近海拔 1500 m 以上的区域地下都存在着冻土。每年秋天天气变冷前表层岩石节理缝中就充满着水,一旦开始结冰,冰劈作用就会将节理缝撑宽,两侧岩块被顶开,只能向上方的自由空间倾斜甚至翻转,而破碎的小岩块就落入张开的节理缝中,第二年春夏气温回升致使裂缝中的冰融化,岩块也无法恢复原状,因为有小岩块夹在裂隙中。被加宽的裂缝在夏季就可以容纳更多的水,秋冬季结冰后就会引发岩块更大的位移。随着表面岩块被顶起,夏季热空气就会向下侵入更深,冻土带顶面就会逐渐向下,导致表面活动

层加大,因此石海就向深处发展。年复一年随着反复冻融的活动层加深,石海厚度也在加大,表面温度对深处的影响也逐渐减弱,最终达到一个基本平衡的活动层深度,这就是石海的深度。在石海发育和持续过程中,每年地下结冰向上的撑举作用都会使得相对细小的碎块向下掉落,包括原来地表的浮土和风带来的黄土也都一起向下掉落,这便是石海特有的冰冻分选现象,导致冻土带之上的活动层岩块上大下小,而细小碎屑和土壤停积在下部基岩顶面之上,石海岩块层呈现明显的镂空结构,其中上部更加明显(图 6b)。如果冰缘气候持续时间足够长,这种冰冻分选就会一直持续下去,最终导致石海活动层下部以各种碎屑为主,而底部则保留了一层厚厚的黏土层,将基岩顶面与石海活动层隔开,国际上有很多这样的例子(Rea, 2007)。且当底部黏土层足够厚时,即使下部冻土消失,上面水体也不再下渗而形成上层滞水,可以局部形成小湖泊或沼泽,这就是某些高山湖泊和沼泽形成的原因之一,东北平原某些湿地沼泽就是位于冻土之上的实例(吕洪波, 2013)。

乌兰坝石海在笔者等开挖剖面处的深度为 1.8 m,这个深度代表着冰缘环境地下冻土带之上的活动层厚度,也是夏天表层冰融化影响的深度(图 5)。活动层内下部岩块之间的裂缝夏季充满着水,在冬季结冰膨胀而不断将岩块撬起,夏季再次融化后大

岩块之间的小岩块和碎屑(包括风带来的尘土)向下落入空隙中,导致大岩块无法复位。长此以往,大岩块逐渐被翻转且顶向表层,而黏土和小碎屑逐渐落入底部基岩顶面之上,这就是石海(石河)的冰冻分选作用。只要冰缘环境的反复冻融作用继续下去,冻土带上的活动层(即石海岩块堆积层)的冰冻分选作用就会一直持续下去。这个阶段的石海属于活动石海(active block field)。

当气候继续变暖,连续冻土带逐渐变为不连续冻土带,下面的冻土带消失后的区域因水分沿着地下裂缝流失而不再积水,即使冬季气温很低也不再发生冰劈作用,石海的生命就结束了。此阶段的石海已经演变为不活动石海(inactive block field)。乌兰坝石海剖面开挖处海拔 1653 m,开挖后基岩顶面附近未见冻土,这个特征说明该处已经属于不活动石海(图 5)。长时间不活动之后,随着尘土的灌入岩块之间的空间并逐渐将所有空间填满,地表岩块之间因土壤存在而生长灌木或者草类,该处就不活动石海转变为石海痕迹(图 4b)。对比看地表岩块之间是否生长植物就可判别石海和石海痕迹(即古石海;图 4c,图 5)。

赛罕乌拉是否还存在着活动石海?至少在海拔 1800 m 以上的区域还存在着不连续冻土带,石海(石河)还在发育。虽然我们还没有进行全面的石海分布调查,但在保护区东部的罕山熔岩台地表面和周围广泛分布着活动石河,其中不同方向的石河构成大型多边形地面(图 4g)。2017 年以前,在罕山侧面的岩洞中夏天还可以发现很多冰钟乳,说明至少存在着局部冻土带,山顶海拔 1900 m 以上存在着活动石海(石河)也就不难理解了。

而海拔 1700 m 以下的地段现在可能已经全部转变成不活动石海,其中王坟沟一带存在着不活动的花岗岩石河,花岗岩球状风化后形成的石蛋被反复冻融作用掘起而堆积在沟谷中,这说明在冰缘气候及冰川发育之前在地下就发生了以化学风化为主的球状风化,而后才在冰缘环境下形成大型花岗岩石河(图 4h)。

由于现代地下水的存在,王坟沟石河花岗岩岩块表面不仅生长着地衣,还生长着绿色的苔藓(图 4h)。国外的观察实例显示:冰缘气候下石海或石河的岩块表面可以生长苔藓,但必须有足够的湿度(Perez, 2020)。

笔者等对赛罕乌拉石海的调研才刚刚开始,仅靠乌兰坝石海东部边缘的一次解剖显然不够。就乌

兰坝石海而言,由于大片山坡坡度超过 10° ,即使石海底部有黏土层也不会积水成沼泽。相反,很多地方坡度超过 25° ,局部已经形成岩屑坡(如:罕山四周山坡),这些都亟待详细调查。

4.2 赛罕乌拉石海的环境对比

研究显示更新世末期赤峰北部大兴安岭腹地存在着大陆冰川(吕洪波等,2006,2010),因此赛罕乌拉冰缘环境的石海只能从全新世开始发育。赛罕乌拉石海的形成时间无疑应在全新世,因为现在海拔超过 1800 m 的高山区还存在着活动的石海或石河,罕山洞穴中夏季可见冰钟乳说明现在还有局部冻土存在。

如何重建石海开始形成时赛罕乌拉的气候特征?因为区内高差超过 1 km,导致高山与谷地之间温度差别明显,但因保护区没有专门的气象观测站,只能查阅以前的文献。根据保护区志记载:保护区年平均气温 2°C ,7 月份平均气温 18°C (最高 29°C),1 月份平均气温 -18°C (最低气温 -32°C ;李桂林,2005)。然而,该记录没有交代这个气象数据的采集地点,作者估计可能是保护区所在地某个阶段的短期气温记录,仅供参考。保护区驻地周围山峰海拔 1800 m 以上,而驻地位于谷底,海拔 1025 m。乌兰坝石海海拔至少比保护区驻地高 500 m,气候显然不一样。

笔者等根据巴林右旗政府所在地(大板镇)气象站 60 年来的气象记录(表 1)和最近专门派人在乌兰坝石海之西北山脊附近的二林达巴观火台附近实测温度数据(表 2)进行对比:

乌兰坝林区二林达巴观火台 GPS 值: $118^\circ 41' 46.84''\text{E}$, $44^\circ 26' 52.91''\text{N}$; H : 1912 m。

大板镇气象站 GPS 值: $118^\circ 38' 00.00''\text{E}$, $43^\circ 32' 00.00''\text{N}$; H : 688 m。

大板镇气象站位于石海观测点以南 80 km,海拔低,因此无法代表石海附近气温记录。为了弥补保护区缺少气象资料的不足,保护区临时安排人手在乌兰坝附近的观测点进行连续一周的室外测温,记录白天最高温和黑夜最低温,然后与相应时段的气象站记录进行对比,分别求出白天和黑夜的温度差,然后平均获得 7 天的平均温度差,代表气象站温度与保护区石海附近的温度差(表 2),然后再与巴林右旗气象站过去 60 年温度记录进行对比,求出在和过去 60 年来保护区的大致年平均温度。

根据这些数据进行比较,获得两地平均温度差为 3.66°C ,据此求出石海附近观测点年平均温度如

下:

观测点 2019 年均气温: $8.1^{\circ}\text{C} - 3.66^{\circ}\text{C} = 2.2^{\circ}\text{C}$; 过去 60 年平均气温: $5.58^{\circ}\text{C} - 3.66^{\circ}\text{C} = 1.9^{\circ}\text{C}$ 。

显然,上述计算结果与保护区志所言年平均气温 2°C (李桂林, 2005) 基本一致。

根据前人归纳,石海发育时地表年均气温为 0°C (如: Kellerer-Pirklbauer, 2019) 为重要特征,但却不限于零度这个点,而是上下波动的气温范围。根据北欧山区野外观测,挪威和瑞典山区年均气温在 $-0.9 \sim -3.9^{\circ}\text{C}$ 的范围内均有活动石海发育 (Goodfellow et al., 2008), 而美国西部洛基山海拔 3700 m 的冰缘气候带测得年均气温为 -1.5°C (Janke et al., 2012)。可见,年均气温至少有 6 度

的摆动范围 ($-4 \sim +2^{\circ}\text{C}$) 内可以有冰缘活动。赛罕乌拉年均气温经过本次推算为 1.9°C , 局部还有正在发育的石河,山洞内夏天还有冰钟乳,但显然已经为残余冰缘地貌,而大规模发育的环境主要在年均 $0 \sim -4^{\circ}\text{C}$ 的范围内。据此我们可以推测,在赛罕乌拉山区,大片石海发育的古气温至少应该 $0 \sim -4^{\circ}\text{C}$ 范围内,对比今天气温,该区从全新世以来至少已经升温 $2 \sim 6^{\circ}\text{C}$ 。当然,笔者等尚未对石海岩块进行暴露时间测年,而只能从全新世初期开始估算。而无论如何,本次的古气温推测都应该是一次很好的尝试。

5 蒙山拦马墙石河对比及环境意义

5.1 拦马墙巨石堆的发现和争议回顾

四年前沂蒙山世界地质公园总工程师王照波在

表 1 内蒙古巴林右旗气象站 1959~2019 年气象记录 (据气象站数据整理)

Table 1 Meteorological record in Barin Right Banner Station over the last 60 years

项目	年均气温	最高气温	极高温日	最低气温	极低温日	年降水量	项目	年均气温	最高气温	极高温日	最低气温	极低温日	年降水量
年份	$^{\circ}\text{C}$	$+^{\circ}\text{C}$	月日	$-^{\circ}\text{C}$	月日	mm	年份	$^{\circ}\text{C}$	$+^{\circ}\text{C}$	月日	$-^{\circ}\text{C}$	月日	mm
2019	8.1	36.2	0727	22.8	0207	294.7	1989	6.3	36.1	0809	23.9	0114	225.2
2018	7.1	40.4	0803	26.9	0122	350.1	1988	5.8	36.2	0811	24.0	0126	158.6
2017	7.0	40.4	0717	22.0	1213	350.1	1987	4.7	36.2	0729	27.0	0104	384.3
2016	6.5	39.5	0710	28.6	0123	368.4	1986	4.6	35.7	0607	26.3	0102	511.9
2015	6.6	35.0	0714	23.1	1124	368.4	1985	3.9	33.8	0523	30.0	0217	416.3
2014	6.8	37.0	0728	24.4	0210	652.2	1984	4.5	37.2	0805	25.9	0125	305.2
2013	6.1	36.4	0707	25.7	0110	288.0	1983	5.9	37.4	0802	25.7	0213	403.2
2012	4.8	36.4	0830	29.7	1224	426.1	1982	5.7	35.7	0712	23.8	0207	316.0
2011	6.1	36.6	0620	23.2	0115	482.1	1981	5.3	38.0	0718	26.0	0225	281.7
2010	5.6	37.3	0725	27.3	0102	306.4	1980	4.7	36.4	0623	27.1	0207	244.6
2009	6.3	38.7	0813	24.9	1228	265.7	1979	5.1	35.0	0709	31.1	0201	457.7
2008	6.8	39.5	0727	25.2	0114	340.6	1978	5.2	37.8	0822	26.8	1219	229.7
2007	7.5	41.2	0610	19.5	0110	210.9	1977	4.9	36.1	0728	27.0	0129	330.8
2006	6.1	35.0	0806	25.7	0202	236.7	1976	4.3	36.1	0527	29.3	1231	258.3
2005	5.8	37.2	0719	23.2	0221	393.2	1975	6.2	35.8	0718	24.2	1223	244.6
2004	6.5	37.2	0610	26.7	0121	582.5	1974	4.2	38.7	0614	27.9	0128	459.8
2003	6.4	35.9	0814	22.5	0104	408.9	1973	5.6	38.5	0805	24.3	0102	277.2
2002	6.4	35.3	0711	23.8	1230	283.0	1972	4.9	38.7	0702	25.3	0203	289.8
2001	5.8	38.1	0604	32.3	0110	366.4	1971	4.7	36.6	0510	29.5	0121	349.0
2000	5.6	42.1	0714	27.7	1228	271.6	1970	4.5	36.0	0809	26.6	0102	327.5
1999	6.1	38.1	0816	23.4	1220	334.4	1969	3.4	32.7	0722	29.8	0202	530.5
1998	6.4	37.2	0625	29.0	1202	490.5	1968	5.2	37.2	0723	27.4	0130	206.0
1997	6.1	39.1	0713	25.5	0107	381.5	1967	4.9	36.0	0821	27.1	0113	330.4
1996	5.2	35.4	0529	22.8	1218	448.5	1966	4.9	37.9	0718	27.0	0222	444.2
1995	6.0	37.3	0707	22.1	0201	326.1	1965	4.5	37.6	0825	28.0	0112	276.0
1994	6.2	35.0	0731	25.9	1217	241.6	1964	4.9	36.0	0628	26.7	0204	368.1
1993	5.4	32.2	0527	24.6	0217	504.6	1963	5.8	37.8	0701	28.1	1225	465.8
1992	5.2	33.2	0528	22.8	0103	429.2	1962	5.0	37.8	0615	22.4	0212	363.6
1991	5.1	36.4	0520	24.3	0222	551.5	1961	5.9	37.2	0609	29.6	0110	407.6
1990	5.8	33.4	0706	28.8	0126	480.7	1960	4.7	33.5	0920	26.7	0116	314.9
							1959	4.9	34.6	0728	26.3	0102	547.8

注:据巴林右旗气象站数据整理,气象站位置: $118^{\circ}38'E, 43^{\circ}32'N$; H : 688 m。巴林右旗气象站过去 61 年来的年平均气温为 5.58°C 。

表 2 赛罕乌拉乌兰坝石海附近和巴林右旗气象站最近一周温度记录对比表
Table 2 Recent weekly meteorological records of in Saihanwula and Barin Right Banner Station

赛罕乌拉	温度 (°C)	湿度 (%)	旗气象站	温度 (°C)	湿度 (%)	白天温差 (°C)	夜晚温差 (°C)
051513:16	21	26	051513:16	23.8	40	-2.8	
051603:13	08	75	051603:13	10.5	82		-2.5
0516 白天	漏测	?				?	
051701:43	01	50	051701:43	8.7	42		-7.7
051712:27	10	44	051712:27	15.6	24	-5.6	
051801:37	01	80	051801:37	5.6	73		-4.6
051812:07	17	34	051812:07	18.7	22	-1.7	
051902:22	03	55	051902:22	8.6	75		-5.6
051912:48	18	40	051912:48	21.2	24	-6	
052002:13	06	59	052002:13	13.6	44		-7.6
052012:36	15	52	052012:36	14.1	72	+1	
052102:30	7	56	052102:30	8.3	84		-1.3
052112:21	18	48	052112:21	19.7	44	-1.7	
0522 夜间	大雨未测	?					?
052212:16	10	72	052212:16	12.9	86	-2.9	
052302:13	7	78	052302:13	10.9	86		-3.9
052312:32	10	70	052312:32	10.9	92	-0.9	
温度差						-2.58	-4.74
最终温差						平均	-3.66

注:赛罕乌拉区一周温度为保护区实测,旗气象站提供对应时间的相应温度记录。

蒙山发现拦马墙巨石堆,并将其看作冰碛物——侧碛堤(王照波等,2017a),但当时没有测年数据。

王照波等在拦马墙巨石堆下延 60 多米的南岸边巨大漂砾下取样(王照波等,2017b,图 3a:MS01),根据光释光测年给出年龄为 8.2 ka BP,并因此认为蒙山发育过全新世冰川。然而,该取样点位于南岸边,已经不属于拦马墙巨石堆,其结构更是典型的混积物上的大漂砾,不具备河谷中巨石堆的镂空结构,测年结果只能代表南岸大漂砾下土壤的埋藏年龄。

王照波和王江月(2017)根据蒙山的测年数据和海拔高度等绘制了中国东部全新世古雪线高程图。

张志刚等(2018)根据宇宙成因核素测年结果提供了拦马墙巨石堆大岩块(张志刚等,2018,图 3)的暴露年龄为 5.0~6.0 ka BP,并认为是温暖环境的非冰川成因。后来,王照波等又在拦马墙巨石堆上取样(王照波和王江月,2019,图 1c:MS3 取样点),用宇宙成因核素测年方法给出拦马墙巨石堆暴露年龄为 7.01 ± 1.74 ka BP(王照波和王江月,2019)。这两次宇宙成因核素测年的结果相差 1~2 ka,误差超过 20%,可见不同岩块暴露年龄差距很

大,既不能排除测试精度问题,也不能排除两块大岩块本身存在着暴露时间差异。

王照波关于蒙山全新世冰川的论文发表后引起地貌学界的关注,王乃昂等(2017a)认为“8.2 ka BP 的拦马冰期”不符合全新世现代间冰期的“公认范式”而否认蒙山存在着第四纪冰川,进而认为中国东部第四纪冰川研究不符合“技术规范”,属于“泛冰川论”。同一年稍后王乃昂等(2017b)又专门发文质疑山东中低山丘陵古冰川遗迹,但所用理由却不能令人信服;大段介绍了 1668 年郯城 Ms8.5 级地震,并推论如下:

“郯城大地震可能是蒙山拦马墙等沟谷巨砾来源的一个诱发因素,上游流域内丰富的松散固体物质能以滑坡、崩塌等块体运动方式转移到沟谷内,为形成特大洪流提供了物质基础”(王乃昂等,2017b¹²⁹⁵)。

然而,王乃昂等(2017b)却未能提供蒙山境内由于郯城地震造成的垮塌痕迹(如:断裂陡崖或者巨型倒石锥等),而是将蒙山主体裸露的片麻岩、混合岩说成是“松散的固体物质”。更加令人意外的是,将拦马墙巨石堆表面大岩块上一处新鲜的贝壳状断口(王乃昂等,2017b,图 3d)看作“砾石撞击坑”的证据,并在论文摘要最后一句明确指出:“它可能是 1668 年 7 月 25 日郯城大地震保存下来的群发性灾害遗迹”。这个断口明显比整个岩石表面颜色深而新鲜,应当无法与几百年前的郯城地震活动相联系,王照波和王江月(2019)明确指出这个“撞击坑”实质上是他们采集宇生核素样品的人工凿口。

两年后,王乃昂等(2019)以“山东中低山丘陵古冰川遗迹质疑”为题再次发文,明确指出:山东中低山丘陵不存在第四纪冰川遗迹。全文用了很多“逻辑”相关的术语作小标题,如“例外主义的泛冰川论”、“悖逆将今论古的二难推理与不当类比”、“固步自封的冰期划分与对比”、“不能自洽的雪线重建方法与结果”。王乃昂等(2019)将前人报道的山东境内所有“第四纪冰川”地貌遗迹全盘否定,主要依据是山东全省海拔高度都低于施雅风院士确立的 2000 m“古雪线”高度。与前面论文不同的是,这次作者明确指出蒙山拦马墙巨石堆为“山洪泥石

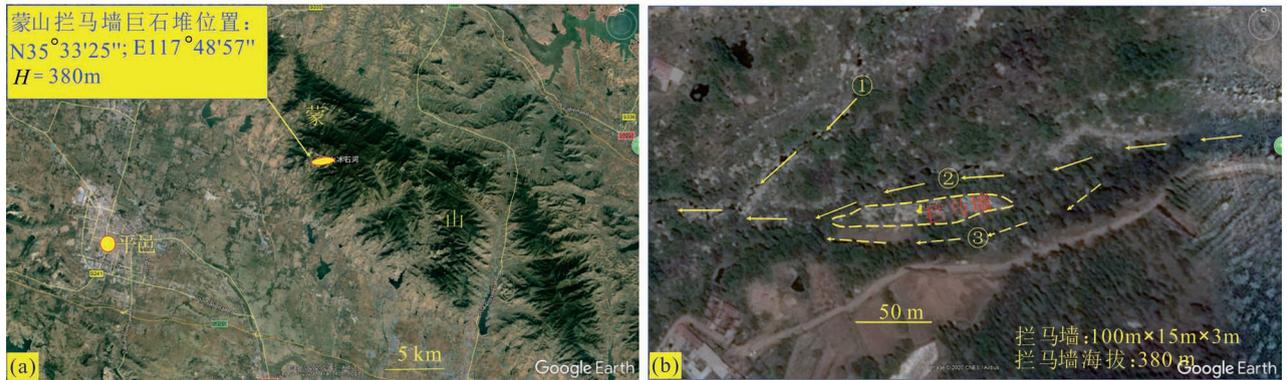


图 7 卫星影像显示蒙山拦马墙石河位置(a)和平面分布(b)(底图据 Google Earth)

Fig. 7 Landsat images showing the location of Lanmaqiang boulder stream in Mt. Mengshan (Base map from Google Earth)

- ① 西北支流小溪流向;② 拦马墙北小溪流向;③ 南部小溪改成农田
- ① NW valley and its flow; ② north creek and its flow; ③ south valley farmland

流”成因(王乃昂等,2019)。

针对王乃昂等上述三篇论文的质疑,王照波和王江月(2019)发文进行了较为详细的答复。

通过双方的质疑与答复可以看出,蒙山拦马墙巨石堆与 1668 年郟城地震没有关系,但其成因认识却是两个明显对立的观点:一方强调拦马墙巨石堆为冰碛垄,另一方认为是泥石流堆积体,分歧仍旧。

针对王照波和王江月(2019)的答复,王乃昂等

(2020)再次撰文,全文花费大量笔墨罗列了“转移焦点”、“合成谬误”、“诉诸未知”、“预设论点”、“重新定义”、“薄弱类比”等 6 个小标题分析了对方的逻辑谬误。然而,王乃昂等(2020)仍未探讨泥石流的形成区、搬运区、堆积区这样的关键问题。笔者等认为,这样的学术交流和争鸣,再发多少个回合的质疑和答复都不太可能解决问题。



图 8 山东蒙山拦马墙石河野外现场照片(吕洪波摄)

Fig. 8 Photos showing the features of Lanmaqiang boulder stream (Photos by LÜ Hongbo)

- (a) 拦马墙石河外观(面向上游);(b) 拦马墙石河外观(面向下游);(c) 拦马墙石河挖掘剖面;(d) 拦马墙巨大岩块表面刻痕;
- (e) 某些岩块倾向上游;(f) 大岩块之间有黑色铁镁质小岩块

(a) Lanmaqiang boulder stream (upstream view); (b) Lanmaqiang boulder stream (downstream view); (c) exhumed pit showing the structure of lower part of Lanmaqiang boulder stream; (d) short striations in different directions on the block surface; (e) boulders piled with openwork structure; (f) small black mafic block sitting in the void space among larger blocks

5.2 蒙山拦马墙石河的形成机理

笔者等认为:拦马墙巨石堆就是典型的石河,是在冰缘气候地表之下大小不等的岩块受断裂内水体连续多年反复冻融作用而翘起和翻转形成的。为了解决这个争论不休的问题,笔者等利用赛罕乌拉石海剖面解剖特征与拦马墙巨石堆进行结构特征类比:

拦马墙巨石堆位于山东省蒙山南麓的一条近东西向延伸的沟谷中间。用 Google Earth 图上定位,该处位置 GPS 值为: N 35°33'25"; E 117°48'57"; H = 380 m(图 7)。

拦马墙巨石堆主体长 100 m,最宽 15 m,最高高出两侧河谷超过 3 m,下端海拔 375 m,上端海拔 393 m,该段河谷坡度 10°左右,野外测量拦马墙巨石堆表面局部坡度 15°左右。需要说明的是,本文所说的拦马墙巨石堆是指前人特指的“拦马墙下垄”(王照波等,2019,图 1)之主体,不包括前人所指的南岸部分,因为岸上是典型的混积物,不具有镂空结构,更没有与河谷中的巨石堆连接在一起。

本文第一作者三次现场考察发现:巨石堆北侧鹅卵石铺就的河床有自东向西流淌的季节性小溪,流过拦马墙后不远即与其西北侧的支流汇合而向南转折。南侧的支流早已被修改成农田,不再有水流过。河谷北岸为较为和缓的山坡,有树林分布;而河谷南岸为含有巨大漂砾的混积物构成的三四米深的陡崖,陡崖南边岸上为散落着大量漂砾的平缓台地,有树木分布,但未见明显的基岩露头(图 7)。

拦马墙石河由片麻岩、混合岩大岩块组成,岩块呈棱角状和次棱角状,不具磨圆特征。表面岩块直径多 80 cm 以上,最大直径超过 2 m,在剖面上岩块直径呈现上大下小趋势,下部岩块之间夹有小碎屑。巨石堆南北两侧不对称,南侧相对和缓而北侧形成陡崖,北侧似被洪水侵蚀而缺少部分岩块(图 8a、b)。岩块虽然杂乱分布,但有些向上游和北侧(即 NE)倾斜的趋势(图 8e),王照波和王江月(2019)的野外测量结果也显示此规律。岩块之间颗粒支撑明显,构成镂空状堆叠,上部的空隙内没有杂基充填(图 8a、b、e、f)。蒙山世界地质公园请工人在北侧河谷紧贴巨石堆底部开挖出深度超过半米的凹坑,揭示地表之下岩块从直径 30 cm 左右的砾石迅速转变为 10 cm 左右的角砾,而砾石之间的空隙充填以黏土而非细砾和砂(图 8c),更深的地下详情未知。

我们归纳一下拦马墙巨石堆的结构特征,并进行简单的成因分析:

(1)从揭示的剖面看,与赛罕乌拉石海剖面特征一样,因线状分布应该称为石河。拦马墙巨石堆不仅上层主体是镂空结构,地下部分也并非河床砾石和粗砂,而是岩块之间被土壤充填(图 8c),从本质上讲仍然是镂空结构,只是比上部岩块小得多而已。这一特征与赛罕乌拉乌兰坝石海剖面特征(图 5)一致。除了少量正在生长的植物根系外,下部岩块之间充填土壤后也没见其他杂质,特别是没有见到河床沉积的粗砂和细砾,原始河床沉积的缺失恰恰说明拦马墙巨石堆并非异地搬运堆积在河床之上,而是原地产物。整个拦马墙巨石堆垂向剖面显示岩块上大下小,即使地下挖掘出的剖面岩块直径小于 50 cm,仍然具有镂空结构和上大下小的特征,这也与赛罕乌拉乌兰坝石海剖面特征一致。从巨石堆线状排列方式看,与赛罕乌拉王坟沟花岗岩石河(图 4h)类似。

(2)拦马墙巨石堆表层大岩块虽然有一些向 NE 倾的趋势(王照波和王江月,2019),但该处河谷坡度 10°左右,巨石堆表面局部段落坡度超过 15°,再加上线状石河堆积体岩块在冰缘环境下通过冰劈作用向上托举时边缘必然向两侧倾倒,这就是拦马墙大岩块因自身重力而弱定向排列的原因(图 8e)。而根据巨石堆弱定向结构判断,其北侧部分被后来的洪水侵蚀逐渐带走,南侧完整保留。这些特征与典型的石河(冰石河)特征一致。

(3)大岩块表面保留了多个方向的短而深浅不一的刻痕(图 8d;王照波和王江月,2019,图 6a、c),这恰恰是冰冻作用导致某些岩块掘起时棱角顶在相邻大岩块表面转动造成的。一般小岩块因体积小而容易滑落到大岩块之间的空隙中,而大岩块不容易调整,在旋转过程中表面被相邻岩块尖角顶住再旋转,势必形成短的刻痕,反复旋转就可见多个方向的擦痕,这与冰川砾石沿着某些方向定向排列的长条擦痕是明显不一样的。

(4)拦马墙石河可见不同颜色的岩块(图 8f),因此会让人误认为是多来源混合搬运的结果(章雨旭,2017)。然而,蒙山的主要岩石就是片麻岩、混合岩类,其中深色的镁铁质组分与浅色的长英质组分分离成带是常见现象,某些基性岩块能新鲜地保留下来说明化学风化很弱,从地下因冰冻作用而原地掘出是容易理解的,不代表异地搬运。

根据这些特征判断:正如前文对赛罕乌拉石海的结构分析一样,镂空结构是石海(石河)常见的现象,而泥石流堆积和冰碛物却无法形成这样的堆积

结构。偶尔可能形成类似镂空结构的地方是倒石锥外缘,条件是两侧有大的陡崖,其上大型崩落的岩块滚落到谷底可以形成镂空式堆叠,然而拦马墙两侧没有大型陡崖(图 7,图 8a、b),不可能是倒石锥。

那么,拦马墙具备石河形成的条件吗?显然具备。从卫星影像(图 9)就可以看出,拦马墙巨石堆恰好位于蒙山南侧一条 NW 向大断裂与多条 NE 向断裂的交汇处,地下岩石被多条断裂切割成大小不等的岩块。在第四纪冰川退缩后,蒙山一带转变为典型的冰缘气候带,沿着上游兰溪谷而来的季节性水流在拦马墙巨石堆处充满在地下的岩石裂缝中,冬季结冰将岩块逐渐顶起,多年持续的冻融作用就形成了拦马墙巨石堆。尽管今天山东属于典型的暖温带气候,拦马墙石河却指示了全新世早期蒙山一带存在过典型的冰缘气候的历史,尽管其规模和强度无法与大兴安岭赛罕乌拉相比。

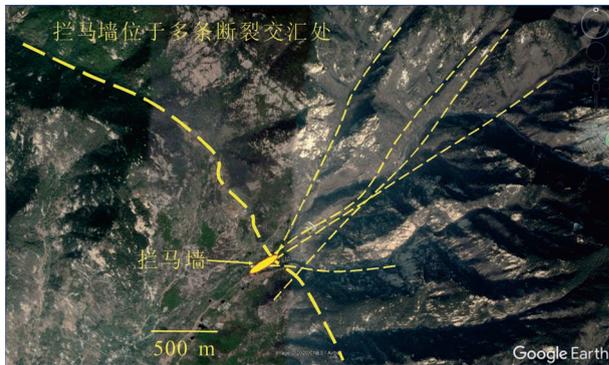


图 9 山东蒙山拦马墙石河卫星影像图展示 NW 向断裂带与 NE 向断裂交叉(底图据 Google Earth)

Fig. 9 Landsat image showing a fault in NW directional cross-cutting a set of fractures in NE orientation in the area around the Lamaqiang boulder stream, Mount Mengshan (base map from Google Earth)

5.3 蒙山拦马墙巨石堆既不是泥石流堆积体也不是冰川侧碛堤

为了更好地说明拦马墙巨石堆及其上游相关地貌,笔者等利用 Google Earth 旋转展示蒙山拦马墙及其以东相关地貌的侧向视图(图 10)。该区从南到北发育有三条自东向西的沟谷及其源头支流,分别标注为①、②、③,其中②为拦马墙上游兰溪谷。三条沟谷都具有典型的 V 形谷特征,南边的①号谷陡而狭窄,而北边的③号谷更加宽缓且汇水面积最大。所有沟谷两侧和源头都没发现明显的滑塌断崖或典型的冰斗,仅仅④处为地质公园人工雕琢岩面。这种片麻岩混合岩裸岩抗侵蚀能力强,不利

于大型滑坡的发生,只能有小型崩落事件的出现。下面我们就分析一下为何拦马墙既不是泥石流堆积体也不是冰川侧碛堤。

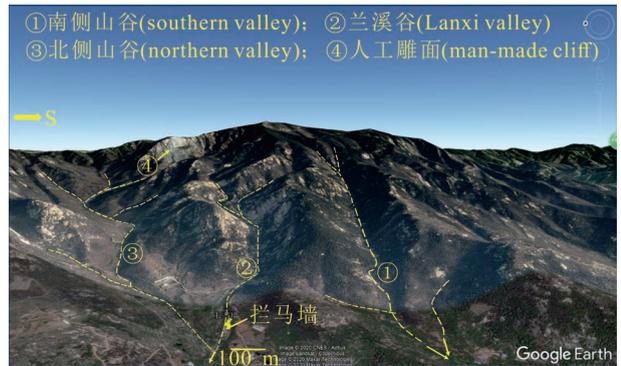


图 10 卫星图像展示蒙山拦马墙上游和南北两侧沟谷形态(底图据 Google Earth)

Fig. 10 Landsat image showing three valleys in the vicinity area near the Lanmaqiang boulder stream (east view, base map from Google Earth)

王乃昂等(2019)明确指出拦马墙为泥石流堆积,但却用洪水形成后被雨水冲刷解释其镂空结构(王乃昂等,2020;图 8a、b、f),更没有给出被冲刷过的证据,无法令人信服。王乃昂等(2019,2020)没有解释拦马墙恰好位于河谷中间以及缺少向下游突出的弧形堆积边缘特征,即使将其看作泥石流堆积的南侧边缘,也无法解释岩块顶部大而边缘小的特征,更无法解释北侧缺少对称的边缘堆积体。拦马墙所处的位置并非坡度明显变化的出山口,不能满足泥石流突然降速而散开沉积的场所。拦马墙向东北沿着兰溪谷向上 1000 m 的距离内沟谷坡度多在 20°以内,而更上游也都是基岩裸露的支流,偶尔两侧有大岩块崩落,但无法提供大型泥石流发育的物源,也没见有大型滑塌断崖的痕迹。况且,兰溪谷上游汇水面积也不够大,即使降暴雨发洪水也无法形成泥沙俱下的黏性泥石流;在缺少黏土物质的情况下就只能发育“稀性泥石流”,而稀性泥石流搬运力更小而无法长距离搬运拦马墙那种直径大于 2 m 的岩块,除非山谷坡度超过 50°,这与蒙山拦马墙及其上游地貌情况不符。泥石流发育需要有形成区(侵蚀区)、搬运区和堆积区,在拦马墙及其上游并未找到相关地貌标志(图 10)。既然王乃昂等(2017b)将拦马墙与 1668 年的郟城大地震相联系,认定其发生于三百多年前,为何没有在蒙山找到相应的断崖、通道和堆积裙?

我们还可以从另一个角度考虑问题:在中国东部特别是山东境内,以花岗岩(如崂山、大珠山、小珠山为例)或片麻岩、混合岩为主(以泰山、蒙山、鲁山等为例)由裸岩和山林组成的山区有人类历史记录以来报道过类似的泥石流堆积体吗?没有!山东有多处古地震遗址,为何没有类似的滑坡泥石流组合实例可以参考?王乃昂等(2017a,b,2019,2020)一直强调中国东部海拔低于2000 m的中低山区不具备发育第四纪冰川的条件,那为何不考虑一下这些地方的现代环境更不具备发育大型泥石流的条件?在中国东部类似的山区找到一个现代有记录的堆积体与拦马墙类比是否更令人信服?遗憾的是强调泥石流成因的学者却未能找到一个类比例。

根据前人的测年结果(王照波等,2017b;王照波和王江月,2019;张志刚等,2018),拦马墙巨石堆形成于全新世的5.0~8.2 ka BP。如果是冰川堆积形成的拦马墙,不足10 ka的冰川地貌一定保留着非常完美的冰斗、刃脊和U形谷组合。然而,拦马墙上游的兰溪谷却是并不宽缓的V形谷(图10),谷底还保留着两侧岩块崩塌而堆积的巨大岩块[见王照波和王江月(2019)之图10c]。兰溪谷的上游也未见典型的冰斗地貌(图10;王照波和王江月,2019,图1)。而被当作冰川U形谷侧壁的“蒙山槽谷”展示擦痕的陡崖(王照波和王江月,2019,图5)本身就是一个保存完好的直立断裂面,其断面上有几条不连续的刻痕,但刻痕相对毛糙,且断裂面本身并未见光滑的冰川磨光面,说明缺少冰体挤压磨光作用。几条擦痕可能是发洪水偶尔携带巨大岩块划过的痕迹,但看其高度有限,即使发洪水也未达到泥石流的规模。此外,从照片中也看出陡崖下方是明显的裸岩斜面组成的V形谷,根本没有U形谷的特征。从我们截取的从拦马墙向东的侧向视图所展示的附近地貌(图10)看,如果拦马墙上游是U形谷,那么在同一高度相邻的①、②、③三条沟谷必然都应该是典型的U形谷,而沟谷之间应该是刃脊,沟谷源头应该是冰斗,最后应该是角峰。但图像中除了显示断裂控制的V形谷外,并无任何山谷冰川的地貌标志。

就拦马墙巨石堆而言,如果是不足一万年山山谷冰川搬运的侧碛堤,其北侧显然需要留下冰舌经过的痕迹:侵蚀的边缘线(trim line)或者北侧对称的侧碛堤,然而却缺少这些地貌单元。况且,拦马墙本身河谷的宽度都不具备搬运大量冰碛物之冰舌通过的条件,因为拦马墙恰恰位于河谷的中间[见王

照波和王江月(2019)之图1、图7a),为何侧碛堤与南岸之间保留了一段空谷而非贴着南岸堆积(图8a,b)?这些都不符合冰川侧碛堤紧靠两侧坡麓分布的特征。

拦马墙巨石堆所具有的镂空结构更是无法用冰碛物解释,因为冰碛物结构具有典型的四个差(分选差、磨圆差、成层差、定向差)的特点。尚彦军等(2020)展示了稻城近现代冰碛物,即使含有巨大漂砾,仍没有找到镂空结构,就是一个非常简单的实例。

通过上述分析对比可知,拦马墙不可能是侧碛堤或泥石流堆积体,而是冰缘气候下形成的石河。类似于拦马墙这样的石河在山东崂山一带、河北等地并不罕见,都是过去冰缘气候带的产物。这才是这类石海(石河)的环境意义所在。

由上述分析可以推测,既然拦马墙巨石堆是全新世早期冰缘气候带下的石河,那么在更新世晚期的末次冰盛期和更早的第四纪冰期蒙山存在着第四纪冰川地貌也就不足为奇了。拦马墙南岸的混积物(diamicton)由大小混杂的岩石碎屑和巨大漂砾组成平缓的台地[见王照波等(2017b)之图3a、b;王照波和王江月,2019;图9]。根据其所在位置地貌特征,这些混积物无法用简单的山谷冰川地貌进行解读,前人报道过的中国东部第四纪大陆冰川信息(徐兴永等,2004;吕洪波和杨超,2005;吕洪波等,2006,2010,2012;李乃胜等,2006;Lu Hongbo et al., 2007)值得参考,当然还需要做更细致的工作。

同时还应注意到,从冰川到冰缘环境再到现在的间冰期环境,冰缘阶段的岩冰川和泥石流等是常见现象,对以前形成的冰川地貌进行改造和破坏,特别是泥石流与冰碛物混合在一起或交错分布时,以前的环境判别就非常困难。然而,中国地质学界对冰缘环境的研究非常落后,如:对石海(石河)的解剖实例就非常少。正如周尚哲等(2020)在谈到中国冰缘地貌研究现状时感叹:“人们对冰缘遗迹的了解停留在‘顺手牵羊’认知的状态”,很多空白需要填补。对于第四纪环境研究而言,冰缘地貌是冰期和间冰期地貌之间的关键纽带,弄清冰缘地貌特征对区别第四纪冰川地貌和近现代泥石流堆积等大有益处。

6 结论

通过对内蒙古赤峰北部大兴安岭南段赛罕乌拉国家级自然保护区北部的乌兰坝石海进行开挖解

剖,笔者等归纳了其剖面结构特征:

(1) 乌兰坝石海由棱角状安山玢岩岩块堆叠而成,开挖处活动层厚度近2 m。

(2) 岩块堆积不是杂基支撑,而是具有明显的镂空结构。

(3) 岩块大小混杂,但总体上大下小,细小的岩石碎屑趋向于堆积在石海近底部,而活动层与基岩顶面之间被黏土充填,将石海活动层与下伏基岩隔开。

(4) 开挖剖面位于乌兰坝石海东部边缘,现为不活动石海。然而,在赛罕乌拉保护区海拔1800 m以上的地表仍然存在着少量活动石海,说明还有局部冻土带残存。

(5) 根据乌兰坝石海附近环境对比,大兴安岭的赛罕乌拉国家级自然保护区一带全新世以来升温至少2~6℃。

(6) 利用赛罕乌拉近现代石海解剖所揭示的剖面结构特征与山东蒙山拦马墙巨石堆进行结构对比,排除了前人认为的拦马墙冰碛垄或泥石流堆积体的可能性,确认拦马墙为典型的石河,因此揭示蒙山一带在全新世早期存在着局部冻土环境。

(7) 本次石海解剖和结构对比也充分说明冰缘地貌研究的重要性。

致谢:在石海剖面解剖和野外调研过程中,赛罕乌拉国家级自然保护区给予了财力和人力等方面的帮助;赤峰市巴林右旗气象站提供了60年的年度气象资料;山东沂蒙山世界地质公园王照波总工程师在野外考察过程中提供了重要的帮助。笔者等在此向所有对本次研究提供帮助的单位和个人表示衷心的感谢!

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

- 樊耀武,申京亮,杨磊,吕金龙. 2010. 浅谈石海、石流坡的分类遗迹对工程的影响. 铁道工程学报, 27(4): 15~18.
- 韩景卫. 1993. 秦岭太白山地区石海探秘. 宝鸡师范学院学报(自然科学版), 1: 82~85.
- 李桂林. 2005. 赛罕乌拉自然保护区志. 赤峰: 内蒙古科学技术出版社: 1~587.
- 李乃胜,于洪军,赵松龄. 2006. 胶州湾自然环境与地质演化. 北京: 海洋出版社: 1~282.
- 路洪海,董杰,张重阳. 2016. 泰山石河景观及成因. 聊城大学学报(自然科学版), 29(1): 63~65.
- 吕洪波,任晓辉,许民,欧阳江城. 2010. 再论山脊雪穴的冰川融水成因——兼与施雅风院士商榷. 地质论评, 56(5): 693~702.
- 吕洪波,任晓辉,杨超. 2006. 赤峰等地第四纪大陆冰川的地貌证

据. 地质论评, 52(3): 379~385.

- 吕洪波,徐兴永,易亮,李萍. 2012. 山东鲁山混合岩表面发现第四纪冰川剥蚀的直接证据——颤痕. 地质学报, 86(3): 514~521.
- 吕洪波,杨超. 2005. 山东新泰青云山发现第四纪大陆冰川遗迹. 地质论评, 51(5): 608.
- 吕洪波. 2013. 冻土带上的荒原之美. 科学画报, 2013(6): 42~43.
- 尚彦军,金维浚,肖刚,杨朋,何万通. 2020. 稻城海子山松散堆积物粒度成分空间变化特征[OL]. 工程地质学报, DOI: 10.13544/j.cnki.jeg.2020-018.
- 舒成强,张斌,蒋良群,罗明良,李守江. 2015. 兴文石海地质公园石芽形态特征及影响因素. 西华师范大学学报(自然科学版), 36(4): 382~386.
- 王乃昂,赵井东,余莺潇,于昕冉,张文佳. 2017a. 渐趋完善的第四纪冰川研究范式——记第四届中国第四纪冰川与环境变化研讨会. 冰川冻土, 39(5): 1029~1038.
- 王乃昂,戴霜,张律吕,余莺潇,于昕冉,田璐,尹丽颖. 2017b. 第四纪冰川遗迹的判别标准与方法问题——兼论蒙山巨砾堆积堤之成因. 冰川冻土, 39(6): 1289~1297.
- 王乃昂,张律吕,余莺潇,于昕冉,田璐. 2019. 山东中低山丘陵古冰川遗迹质疑. 地理科学, 39(2): 221~231.
- 王乃昂,于昕冉,庄立超,张文佳,郭子萍. 2020. 蒙山“冰川遗迹”辨识中的逻辑谬误分析——以“山东蒙山冰川遗迹的类型、特征和年代”一文为例. 地质论评, 66(3): 555~569.
- 王照波,卞青,李大鹏,王金玉,刘彩玲,郭启鹏. 2017a. 山东蒙山第四纪冰川组合遗迹的发现及初步研究. 地质论评, 63(1): 134~142.
- 王照波,张剑,王江月,张盈松,卞青,郭启鹏. 2017b. 山东蒙山第四纪冰川遗迹光释光测年研究及冰期划分与对比. 地质论评, 63(3): 694~702.
- 王照波,王江月. 2017. 中国东部末次冰期雪线高程重建与成冰气候分析. 山东国土资源, 33(11): 1~5.
- 王照波,王江月. 2019. 山东蒙山冰川遗迹的类型、特征和年代——答王乃昂教授、李吉均院士质疑. 地质论评, 65(3): 603~622.
- 徐兴永,石学法,于洪军,李萍. 2004. 崂山顶、涧、沟、坡、麓、滩、岬、一带巨砾成因研究. 海洋科学, 28(6): 10~13.
- 许民,任晓辉,任晓东. 2007. 宁城县大坝沟第四纪冰川地貌识别. 赤峰学院学报(自然科学版), 23(1): 6, 14.
- 章雨旭. 2017. 山东蒙山国家地质公园存在中国东部第四纪冰川有力证据(?) [OL]. 科学网博客, [2019-04-02] (2017-05-13) <http://blog.sciencenet.cn/home.php?mod=space&uid=2719683&do=blog&id=1054647>
- 张志刚,梅静,张梦媛,王立志. 2018. 蒙山国家地质公园拦马墙砾石堆积体暴露测年研究. 地质论评, 64(5): 1217~1224.
- 赵松龄,徐兴永. 2005. 江苏省连云港市东磊石海的成因. 海洋科学, 29(4): 23~25.
- 周尚哲,赵井东,王杰,许刘兵,崔建新,欧先交,谢金明. 2020. 第四纪冰冻圈——全球变化长尺度研究. 中国科学院院刊, 35(4): 475~483.
- Ballantyne C K. 2010. A general model of autochthonous blockfield evolution. Permafrost and Periglacial Processes, 21: 289~300.
- Ballantyne C K and Stone J O. 2015. Trimlines, blockfields and the vertical extent of the last ice sheet in southern Ireland. Boreas, 44: 277~287.
- Fan Yaowu, Shen Jingliang, Yang Lei and Lu Jinlong. 2010. Genetic classification of rock block field and rock glacier side and their impacts on railway construction. Journal of Railway Engineering Society, 27(4): 15~18.

- Francelino M R, Schaefer C E G R, Simas F N B, Filho E I F, da Costa L M. 2011. Geomorphology and soils distribution under paraglacial conditions in an ice-free area of Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. *Catena*, 85 (3): 194~204.
- Gary M, McAfee R Jr, Wolf C L. 1972. *Glossary of Geology*. American Geological Institute, Washington D C, 805.
- Goodfellow B W. 2007. Relict non-glacial surfaces in formerly glaciated landscapes. *Earth-Science Review*, 80: 47~73.
- Goodfellow B W. 2012. A granulometry and secondary mineral fingerprint of chemical weathering in periglacial landscapes and its application to blockfield origins. *Quaternary Science Review*, 57: 121~135.
- Goodfellow B W, Stroeven A P, Hattestrand C, Kleman J K, and Jasson K. N. 2008. Deciphering a non-glacial/glacial landscape mosaic in the northern Swedish mountains. *Geomorphology*, 93: 213~232.
- Gordon L S, and Ballantyne C K. 2006. Short communication 'protalus ramparts' on Navajo Mountain, Utah, USA: reinterpretation as blockslope-sourced rock glaciers. *Permafrost and Periglacial Processes*, 17: 179~187.
- Graham B L, Briner J P, Schweinsberg A D, and Lifton N A. 2019. New in situ ^{14}C data indicate the absence of Nunataks in west Greenland during the Last Glacial Maximum. *Quaternary Science Review*, 225: 1~10.
- Hall A M, and Migon P. 2010. The first stages of erosion by ice sheets: evidence from central Europe. *Geomorphology*, 123: 349~363.
- Han Jingwei. 1993. Exploring block field in the Taibai Mountain. *Journal of Baoji Teacher College (Natural Science)*, 1: 82~85.
- Hansen C D, Meiklejohn K I, Nel W, Loubser M J, and Van der Merwe B J. 2013. Aspect-controlled weathering observed on a blockfield in Droning Maud Land, Antarctica. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 95 (4): 305~313.
- Hendrickx H, Jacob M, Frankl A, and Nyssen J. 2015. Glacial and periglacial geomorphology and its paleoclimatological significance in three North Ethiopian Mountains, including a detailed geomorphological map. *Geomorphology*, 246: 156~167.
- Iturrizaga L. 2008. Paraglacial landform assemblages in the Hindukush and Karakoram Mountains. *Geomorphology*, 95: 27~47.
- Janke J R. 2013. Using airborne LiDAR and USGS DEM data for assessing rock glaciers and glaciers. *Geomorphology*, 195: 118~130.
- Janke J R, Bellisario A C, and Ferrando F A. 2015. Classification of debris-covered glaciers and rock glaciers in the Andes of central Chile. *Geomorphology*, 241: 98~121.
- Janke J R, Williams M W, and Evans Jr A. 2012. A comparison of permafrost prediction models along a section of Trail Ridge Road, Rocky Mountain National Park, Colorado, USA. *Geomorphology*, 138: 111~120.
- Kellerer-Pirklbauer A. 2019. Long-term monitoring of sporadic permafrost at the eastern margin of the European Alps (Hohe Tauern, Seckauer Tauern range, Austria). *Permafrost and Periglacial Process*, 30: 260~277.
- Li Guilin. 2005. Records of Saihanwula National Natural Reserve. Inner Mongolia Science and Technology Press (Chifeng), 587.
- Li Naisheng, Yu Hongjun, and Zhao Songling. 2006. Natural environment and geologic evolution of Jiaozhou Bay. Beijing: Maritime Press, 1~282.
- Lü Hongbo, and Yang Chao. 2005. Quaternary continental glacial traces found in Mount Qingyun, Xintai, Shandong Province. *Geological Review*, 51 (5): 608.
- Lü Hongbo, Ren Xiaohui, and Yang Chao. 2006. Landform evidence of Quaternary continental glaciation in Chifeng and the vicinity areas, north of China. *Geological Review*, 52 (3): 379~385.
- Lü Hongbo, Ren Xiaohui, Xu Min, and Ouyang Jiangcheng. 2010. On the meltwater origin of potholes found on granite ridges—A discussion with Academician SHI Yafeng. *Geological Review*, 56 (5): 693~702.
- Lü Hongbo, Xu Xingyong, Yi Liang, and Li Ping. 2012. A direct erosion evidence of Quaternary glaciation—chatter marks found in Mt. Lushan, Shandong Province, east of China. *Acta Geologica Sinica*, 86 (3): 514~521.
- Lu Hongbo, Yan Shiyong, and Zhang Yue, 2007. Quaternary glacio-erosional landforms in Laoshan Mountain and their constraints on the origin of Jiaozhou Bay, Qingdao, east of China. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 25 (2): 139~148.
- Lü Hongbo. 2013. The beautiful scenery of wilderness in the permafrost. *Science Pictorial*, (6): 42~43.
- Lu Honghai, Dong Jie, and Zhang Chongyang. 2016. The formation of rock streams in the top of Mountain Tai. *Journal of Liaocheng University (Natural Science Edition)*.
- Marston R A, Miller M M, and Devkota L P. 1998. Geocology and mass movement in the Manaslu—Ganesh and Langtang—Jugal Himal, Nepal. *Geomorphology*, 26: 139~150.
- Millar S W S. 2005. Fabric variability associated with periglacial mass-wasting at Eagle Summit, Alaska. *Geomorphology*, 72: 222~237.
- Miller G H, Briner J P, Lifton N A, and Finkel R C. 2006. Limited ice-sheet erosion and complex exposure histories derived from in situ cosmogenic ^{10}Be , ^{26}Al , and ^{14}C on Baffin Island, Arctic Canada. *Quaternary Geochronology*, 1: 74~85.
- Nelson K J P, Nelson F E, and Walegur M T. 2007. Periglacial Appalachia: palaeoclimatic significance of blockfield elevation gradients, eastern USA. *Permafrost and Periglacial Processes*, 18: 61~73.
- Orr I M, Mohr A R, Syverson K M, and Jol H M. 2009. Sedimentology of the Blue Hills Felsenmeer State Natural Area, Wisconsin: Geological Society of America Abstracts with Programs, 41 (4): 63.
- Perez F L. 2020. Andean rolling mosses gather on stone pavements: Geocology of *Grimmia longirostris* Hook in a high periglacial paramo. *Catena*, 187: 104389.
- Rea B R. 2007. Periglacial landforms, rock forms/blockfields (felsenmeer). *Encyclopedia of Quaternary Science*, 2007: 2225~2236.
- Rea B R. 2013. Blockfields (felsenmeer). *Encyclopedia of Quaternary Science (Second Edition)*: 523~534.
- Roberts D H, Long A J, Schnabel C, Davies B J, and Xu S. 2009. Ice sheet extent and early deglacial history of the southwestern sector of the Greenland Ice Sheet. *Quaternary Science Reviews*, 28: 2760~2773.
- Seppi R, Zanoner T, Carton A, Bondesan A, Francese R, Carturan L, and Zumiani M. 2015. Current transition from glacial to periglacial processes in the Dolomites (South-Eastern Alps). *Geomorphology*, 228: 71~86.
- Serban R D, Onaca A, Serban M and Urdea P. 2019. Block stream characteristics in Southern Carpathians (Romania). *Catena*, 178: 29~31.
- Shang Yanjun, Jin Weijun, Xiao Gang, Yang Peng, He Wantong. 2020. Variations in space of grain size of loose sediments in Daocheng Haizi Mountain [OL]. *Journal of Engineering Geology*, DOI: 10.13544/j.cnki.jeg.2020-018
- Shu Chengqiang, Zhang Bin, Jiang Liangqun, Luo Mingliang, Liu

- Shoujiang. 2015&. Morphological characteristics and controlling factors of clints in Xingwen Shihai Global Geopark. *Journal of China West Normal University (Natural Sciences)*, 36 (4): 382~386.
- Stan D, Stan-Kleczeck I, Kania M. 2017. Geophysical approach to the study of a periglacial blockfield in a mountain area (Ztracene kameny, Eastern Sudetes, Czech Republic). *Geomorphology*, 293: 380~390.
- Straiger J W, Gosse J, Little E C, Utting D, Finkel R, Johnson J V, Fastook J. 2006. Glacial erosion and sediment dispersion from detrital cosmogenic nuclide analyses of till. *Quaternary Geochronology*, 1: 29~42.
- Vieira R, Hinata S, daRosa K K, Zilberstein S, Simoes J C. 2012. Periglacial features in Patriot Hills, Ellsworth Mountains, Antarctica. *Geomorphology*, 155~156: 96~101.
- Wang Nai'ang, Dai Shuang, Zhang Lülü, Yu Yingxiao, Yu Xinran, Tian Lu, Yin Liying. 2017b&. Issues on criteria and methods for discriminating Quaternary glacial relics; also on the origin of the boulder-piled levees in Mount Mengshan. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 39 (6): 1289~1297.
- Wang Nai'ang, Yu Xinran, Zhuang Lichao, Zhang Wenjia, Guo Ziping. 2020&. The logical fallacies on identification of the "glacial relics" in Mengshan Mountain—The paper "types, characteristics and dating data of glacial relics in Mount Mengshan Geopark, Shandong Province" as an example. *Geological Review*, 66 (3): 555~569.
- Wang Nai'ang, Zhang Lülü, Yu Yingxiao, Yu Xinran, Tian Lu. 2019&. Question the so-called glacial landforms in the middle and low massifs in Shandong Province, eastern China. *Scientia Geographica Sinica*, 39 (2): 221~231.
- Wang Nai'ang, Zhao Jingdong, Yu Yingxiao, Yu Xinran, Zhang Wenjia. 2017a&. The gradually improving scientific research paradigm on Quaternary glaciation in China: a review of the 4th Conference on Quaternary Glaciation and Environmental Variation in China. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 39 (5): 1029~1038.
- Wang Zhaobo, Wang Jiangyue. 2017&. The rehabilitation of snow line elevation in eastern China and the climatic characteristics preliminary discussion. *Shandong Land Resources Magazine*, 33 (11): 1~5.
- Wang Zhaobo, Wang Jiangyue. 2019&. Types, characteristics and dating data of glacial relics in Mount Mengshan Geopark, Shandong Province—An answer to the query from professor WANG Nai'ang and Academician LI Jijun. *Geological Review*, 65 (3): 603~622.
- Wang Zhaobo, Bian Qing, Li Dapeng, Wang Jinyu, Liu Cailing, Guo Qipeng. 2017a&. Discovery of the Quaternary glacial relics in Mount Mengshan, Shandong Province. *Geological Review*, 63 (1): 134~142.
- Wang Zhaobo, Zhang Jian, Wang Jiangyue, Zhang Yingsong, Bian Qing, Guo Qipeng. 2017b&. A study on Quaternary glaciation moraines in Mount Mengshan, Shandong Province with optically stimulated luminescence (OSL) and comparison of glacial period division. *Geological Review*, 63 (3): 694~702.
- Xu Min, Ren Xiaohui, Ren Xiaodong. 2007#. Recognition of Quaternary glacial landforms in Ningcheng County. *Journal of Chifeng College (Natural Science Edition)*, 23 (1): 6, 14.
- Xu Xingyong, Shi Xuefa, Yu Hongjun, Li Ping. 2004&. Study on great gravel on mountaintop, gully, channel, slope, beach, cape and foot of mountain Laoshan. *Marine Sciences*, 28 (6): 10~13.
- Zhang Yuxu. 2017#. There are strong evidences for Quaternary glaciers in eastern China in the Mount Mengshan National Geopark, Shandong (?) [OL]. <http://blog.sciencenet.cn/home.php?mod=space&uid=2719683&do=blog&id=1054647>
- Zhang Zhigang, Mei Jing, Zhang Mengyuan, Wang Lizhi. 2018&. ¹⁰Be exposure ages of the boulder in Lanmaqiang (Wall for blocking horses), Fota Valley, Mengshan National Geopark. *Geological Review*, 64 (5): 1217~1224.
- Zhao Songling, Xu Xingyong. 2005&. Formation of the boulder in Lianyungang, Jiangsu Province. *Marine Sciences*, 29 (4): 23~25.
- Zhou Shangzhe, Zhao Jingdong, Wang Jie, Xu Liubing, Cui Jianxin, Ou Xianjiao, Xie Jinming. 2020&. Quaternary cryosphere—Study on global change in long terms. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 35 (4): 475~483.
- Zhu Yuxuan, Dai Fuchu, Yao Xin, Tu Xinbin, Shi Xinshuai. 2019. Field investigation and numerical simulation of the seismic triggering mechanism of the Tahman landslide in eastern Pamir, northwest China. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78: 5795~5809.

A profile analysis of block field in Saihanwula National Natural Reserve, Greater Hinggan Mountains and its comparison to a boulder stream in Mount Mengshan Global Geopark, Shandong

LÜ Hongbo^{1, 2, 4)}, GAO Yu³⁾, PU Jin³⁾, MENGHE Dalai¹⁾, OUYANG Jiangcheng⁴⁾, Bater¹⁾,
LIU Bo¹⁾, ZHANG Yunxi⁵⁾, LI Guilin¹⁾

1) Saihanwula National Natural Reserve, Chifeng, Inner Mongolia, 025150;

2) School of Geosciences and Technology, China University of Petroleum, Qingdao, Shandong, 266580;

3) International Department of Nanjing Foreign Language School, Nanjing, 210008;

4) School of Resources, Environment and Architectural Engineering, Chifeng University, Chifeng, Inner Mongolia, 024000;

5) Meteorological Bureau of Barin Right Banner, Chifeng, Inner Mongolia, 025150

Objectives: Periglacial landforms, including block fields (felsenmeer), rock glacier, stone circles, and patterned ground etc., are the key elements reflecting the past and even recent climatic and environmental conditions. They are often found in the past active glacial landform areas, and easily affected by modern mass

wasting events like debris flow and rock fall etc. However, our Earth scientists often misunderstand these landforms due to lack of criteria to recognize the phenomena. To clarify a standard criteria for identifying periglacial landforms, we tried to dissect a block field to reveal its profile.

Methods: We selected a large block field, Wulanba block field, in the north of Saihanwula National Natural Reserve, Chifeng, Inner Mongolia, to ditch and reveal the profile structures, and tried to reconstruct the past periglacial environment. Furthermore, we correlated the exhumed profile in Saihanwula to Lanmaqiang block pile in Mount Mengshan, and confirmed the Lanmaqiang block pile as a boulder stream formed in the early Holocene.

Results: The profile exhumed at the eastern margin of Wulanba block field shows the following features:

(1) The eastern margin of Wulanba block field is composed of angular andesitic porphyrite blocks, building an active layer as thick as 1.8m above the bedrock head.

(2) The rock blocks pile up in particle supported texture, leaving the voids without matrix inside. This is called openwork structure.

(3) The larger blocks, including some more than 50cm in diameter, are floated in the upper part, while smaller particles and rubbles dropped to the lower part of the profile with the clays and soils filled in the small voids of the rubbles directly above the bedrock head.

(4) The exhumed part of the block field belong to inactive block field. However, there are some patches of active block fields above 1800 m a. s. l. in the Natural Reserve, revealing some isolated permafrost remaining in the local periglacial environment.

Conclusions:

(1) We dug a pit at the margin of Wulanba block field in the Saihanwula National Natural Reserve to show the structure of an intact field block. The openwork structure of the large angular blocks and small rubbles can be a unique feature to identify block field (or felsenmeer) or block stream formed in the periglacial condition.

(2) According to the block field formation under freezethaw conditions, we estimated that the climate in Saihanwula has warmed up for at least about 2~6°C since early Holocene.

(3) We correlated the excavated block field profile in Saihanwula to Lanmaqiang boulder pile in Mount Mengshan, and found the similarity of the two, confirmed that the Lanmaqiang boulder pile was a boulder stream formed in periglacial environment in the early Holocene.

(4) Former researchers argued that Lanmaqiang boulder pile was a lateral moraine or debris-flow deposits. We inspected landforms in the vicinity area of Lanmaqiang boulder stream and concluded that there was no evidence or traces for lateral moraine or debris-flow deposits.

(5) Block field and other related periglacial landforms are very closely related to former glacial landforms and modern mass wasting events, so we have to investigate these landforms and understand their mechanisms.

Keywords: Saihanwula National Natural Reserve; Greater Hinggan; block field; boulder stream/block stream; periglacial; Lanmaqiang boulder pile; Mount Mengshan

Acknowledgements: Saihanwula National Natural Reserve offered help for the block field investigation; The Meteorological Bureau of Barin Right Banner provided some meteorological records for this study; Yimeng Global Geopark Management Office afforded convenience for the field survey in Mengshan. We are thankful to all three institutions mentioned above.

First author: LÜ Hongbo, male, born in 1957, professor of geology, mainly engage in structural geology, sedimentology, tectonics, geomorphology and Quaternary geology; Email: luhongboge@163.com

Manuscript received on: 2020-05-28; Accepted on: 2020-07-24; Edited by: LIU Zhiqiang

Doi: 10. 16509/j. georeview. 2020. 06. 009