

山东蒙山第四纪冰川组合遗迹的发现 及初步研究

王照波^{1,2,3)}, 卞青⁴⁾, 李大鹏^{1,5)}, 王金玉³⁾, 刘彩玲⁶⁾, 郭启鹏⁷⁾

- 1) 国土资源部金矿成矿过程与资源利用重点实验室, 济南, 250013;
2) 沂蒙山国家地质公园管理处, 山东临沂, 273304; 3) 临沂大学资源环境学院, 山东临沂, 276006;
4) 北京大学地球与空间科学学院, 北京, 100871; 5) 山东省地质科学研究所, 济南, 250013;
6) 临沂第十一中学, 山东临沂, 276003; 7) 山东恒瑞地矿技术服务有限公司, 山东临沂, 276006

内容提要: 本文介绍了山东蒙山地区南坡保存的丰富而清晰的第四纪冰川遗迹, 重点展示了兰溪山谷的冰石河、侧碛堤组合, 并对相伴产生的擦痕、磨光面、颤痕等冰川遗迹进行了调查与测量。同时对冰石河、侧碛堤的分布、规模、物质组成、岩石特征进行了介绍。根据侧碛堤的排列位置及砾石的风化程度, 初步确定为末次冰期的冰碛遗迹; 对山谷两侧磨光面上的擦痕进行了测量统计, 显示谷壁磨光面上擦痕的长宽比具有 10:1 左右的比例规律; 根据侧碛最大高度法 (MELM), 结合对于蒙山侧碛的调查, 对蒙山雪线的高度进行了估算, 初步估算蒙山南坡末次冰期时的雪线高度约为 700 m 左右。蒙山地区这些组合冰川遗迹的发现, 为中国东部第四纪冰川的研究提供了直接的证据。

关键词: 蒙山; 冰川遗迹; 冰石河; 冰碛堤; 擦痕; 颤痕

关于我国东部中低山区第四纪冰川存在与否的问题, 自 1922 年李四光提出太行山东麓存在冰川遗迹 (Lee, 1922), 1933 年提出庐山冰川遗迹 (Lee, 1933), 其冰川学说就遭到了地学界部分学者的质疑, 如黄培华 (1963)、施雅风 (1981, 2010b, 2011)、施雅风等 (1989) 等, 关于中国东部中低山区是否存在第四纪冰川这一问题, 也就成了我国持续了近一个世纪的学术争论。这一场争论之所以激烈和持久, 概因我国东部中低山区的冰川遗迹经历了长时间的风化剥蚀、流水侵蚀、黄土覆盖等因素的破坏而成为“残篇断简”, 容易引起怀疑, 同时因为地学界同仁过往对中国东部第四纪冰川地貌考察不够全面, 因而发现零星的证据后总习惯于用非冰川成因进行解读。

承认东部中低山区存在冰川的学者, 如孙殿卿等 (1986)、肖平和景才瑞 (1993)、王敏 (2007) 多从东部山区发现的冰川遗迹入手进行推论。韩同林等 (1998, 1999, 2007)、韩同林 (2004, 2010) 据中国东部多处山脊壶穴 (冰臼) 认为中国东部存在第四纪冰川。最近十多年, 吕洪波等 (2005, 2006, 2008b,

2010a, b), 对我国东部广泛分布的冰川壶穴、颤痕等冰川遗迹与冰川地貌进行了广泛的考察和研究, 这些发现的报道也引起了新的成因讨论。如: 章雨旭 (2005)、章雨旭等 (2011)、施雅风 (2010a)、朱银奎 (2014) 对山脊壶穴在我国东部第四纪冰川遗迹判定中的意义进行了研究和讨论, 认为不能当做冰川活动的证据。而否认中国东部中低山区存在冰川的研究者, 则多从西部高原现代冰川的研究入手, 认为东部的冰碛砾石为泥石流成因, 并以青藏高原的雪线研究成果对东部进行推演, 断论中国东部低于 2500 m 以下的中低山区不存在冰川 (施雅风, 1981, 2010, 2011; 施雅风等, 1989)。与此同时, 其他相关领域的研究成果, 也对于我国东部第四纪冰川的研究起到积极的促进作用。如陈瑜等 (2008) 对于第四纪古植物的研究; 金昌柱等 (1998) 对于我国晚更新世猛犸象迁徙规律的研究; 李邦良等 (1999) 通过遥感对于我国内蒙古东部大陆冰川的解译; 于革等 (2000)、赵平等 (2003)、郑益群等 (2002, 2006) 采用模拟技术对于东亚末次冰盛期的气候特征的模拟; 张威等 (2015) 对于东亚气候控制因素的分析等。

注: 本文为国土资源部金矿成矿过程与资源利用重点实验室开放课题 (编号: 201403) 以及恒瑞矿业资助的成果。

收稿日期: 2016-03-13; 改回日期: 2016-11-25; 责任编辑: 章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2017.01.012

作者简介: 王照波, 男, 1971 年生。地质矿产高级工程师, 主要从事地质矿产研究与教学工作。Email: 13805498543@163.com。

应当说我国东部冰川的研究最终结论,必然是多学科研究成果的相互印证。

对于山东冰川遗迹的研究,吕洪波等(2005, 2012)对青云山、鲁山等地第四纪冰川遗迹进行了较为广泛的调查与研究。徐兴永等(2005)对崂山地区存在的第四纪冰川遗迹进行了较为深入的研究。对于蒙山冰川遗迹,目前尚缺少系统而深入的研究,徐兴永等(2005)在其论文中提及到蒙山北坡存在古冰川遗迹;赵松龄(2010)曾对蒙山冰川遗迹进行初步的调查,并以照片的形式介绍了蒙山存在的古冰舌堆积、巨型漂砾与磨光面,但缺少对蒙山第四纪冰川遗迹进行系统而深入的具体研究。

笔者等在对蒙山分布的冰石河、冰碛堤进行调查研究的基础上,通过追索,又在其上游山谷中发现了大量的磨光面、擦痕、颤痕等冰川遗迹,进而,对蒙山地区发现的组合冰川遗迹进行资料整理,以期对我国东部冰川的研究工作提供一处现实意义的参考。

1 蒙山地质与地貌特征

蒙山位于山东省的中南部,与泰山一脉相承,主峰龟蒙顶海拔 1156m,属于中低山区。蒙山山体走向呈北西西向,走向延长 80km,南北宽 15km。南侧以蒙山断裂与平邑盆地界。由于受到北东向节理构造与北西向的片理构造的影响,山体多发育北东向与北西向的沟谷。

区域地质属于华北板块鲁西隆起区的蒙山凸起(宋明春, 2008), 山体主要由 TTG 岩系 [Trondhjemite (奥长花岗岩)—Tonalite (英云闪长岩)—Granodiorite (花岗闪长岩)] 的英云闪长岩、花岗闪长岩以及后期侵位的二长花岗岩组成,岩体中普遍发育片麻状构造和条带状构造,其中可以见到泰山岩群变质地层的包体,以及后期侵位的伟晶岩脉等,全部为前寒武纪变质岩和岩浆岩。山体岩石坚硬、山势陡峭,多为岩石裸露区,第四系的覆盖厚度多在几十厘米,仅局部低洼地段有数米厚度。

2 蒙山冰川遗迹的分布及其特征

经笔者等实地调查,蒙山地区的山谷中,分布有大量的第四纪冰川冰碛物,表现为不同粒度的碎屑混杂堆积,泥沙中含有大小不一的各类砾石,在有些地段可以看到重达数百吨的巨型漂砾(图 1; 图 3c)。这些古老的冰碛沉积物由于经历了长时间的风化剥蚀作用,其冰川遗迹如磨光面、擦痕、颤痕等

都已经随砾石表面的风化剥离而消失殆尽,容易被误认为泥石流等成因沉积。

但近几万年以来形成的冰川遗迹,因岩石风化剥蚀的破坏作用轻微,使得各种类型的冰川遗迹如擦痕、颤痕等,能够较为容易地保存下来,这些痕迹应是我国东部中低山区第四纪冰川研究的最为直观的关键证据。在蒙山分布的冰碛堤的上游位置,多处产出了规模宏大,形态明显的冰石河,由于冰石河分布在侧碛堤内侧的位置,且组成冰石河的砾石表面上,磨光面、擦痕、颤痕等冰川遗迹清晰可辨,并根据风化轻微等特征,将蒙山地区分布的冰石河初步确定为末次冰期的产物。

经调查,蒙山地区冰川遗迹类型丰富,保存良好,在蒙山周边山谷中均能见到各期次的冰碛沉积物。主峰地区共分布有 10 余条冰石河,尤以南坡发育最好,规模最大。西坡与东坡的规模明显小于南坡,北坡则难以见到新鲜的冰期沉积物。蒙山南坡分布的冰石河有兰溪、王母池、情人谷、西山神、艳丽沟、佛塔山等;西坡有鬃子沟、黑碗口、老鼠窝、明光寺等;东坡有燕峪沟冰石河。这些冰石河一般规模较大,保存完好,特征明显且易于辨认(图 1)。

除了冰石河外,在蒙山南坡的沟谷中,与冰石河相伴而生的更为古老的冰碛堤也发育较好(图 3b) ($N35^{\circ}33'25''$ 、 $E117^{\circ}48'56''$),根据冰碛堤的排列位置、展布形态与冰碛砾石的风化程度,初步可以划分出 3 期沉积(图 2)。

冰碛堤多分布在山谷的开口宽敞地段,规模要比冰石河大得多,有些地段能够分辨出多列分布的特征,由泥沙及各种粒径的岩石组成,砾石主要由二长花岗岩与片麻状花岗闪长岩构成。局部可以见到巨大的漂砾(图 3c) ($N35^{\circ}33'17''$ 、 $E117^{\circ}48'42''$),有些漂砾可以达到数百吨,巨型漂砾的岩性一般为二长花岗岩。以河流中心为界,古老的侧碛堤则分布在最外侧,出露位置较高;年代较新的冰碛堤靠里侧分布,产出的位置也相对较低。较早时代形成的冰碛堤,由于其中所含砾石表面风化严重,表面上的磨光面、擦痕等冰川遗迹均已剥失殆尽,无法辨认。

冰石河作为冰缘地貌遗迹,由于规模大且易于辨认,故在蒙山冰川遗迹中占有重要的地位。蒙山冰石河多分布在冰碛堤的上游位置,山谷由窄变宽处,并往往出现在山谷转弯的外侧及两条山谷交汇的中间部位。对于较宽的山谷,也有对称产出的冰石河。冰石河的长度一般为几十米或一百多米,宽度多在几米到十几米,延伸方向与河谷的走向一致。

冰碛堤表面一般高出现代河床 3 ~ 5m,局部可达 7m,呈明显的条带状与垄状分布,因此,当地居民将冰石河叫作“拦马墙”。冰碛堤的岩石多为片麻状花岗闪长岩和二长花岗岩,其他岩性少见。砾石大小不等,大的直径可达 6 ~ 8m,小的直径仅有 10 ~ 30cm。砾石间没有泥沙等细颗粒物充填,因此存在大小不一,且杂乱无章的空隙。砾石没有分选性,表现为堆积特征。有些砾石的磨光面上可见到明显的擦痕和/或颤痕,构成条痕石。砾石表面风化轻微,表面新鲜,由于空隙无土壤充填,一般没有植被生长,这是冰石河区别于冰碛堤的重要特征。

其他古老冰碛堤中砾石表面因长时间风化而变成灰色,且砾石间的空隙则被泥沙或黄土充填,多有植被生长。王母池冰石河分布在山谷两侧,在卫星图片上能够较为清晰的辨示(如图 3a)(N35°33'

31",E117°48'36"),呈对称状态分布,具有明显的侧碛堤特征,冰碛砾石中,磨光面上可见擦痕。位于王母池冰石河东侧的兰溪峡谷一带,冰川遗迹丰富且保存完整,由谷口发育的两列大规模冰石河为显著特征,同时在冰石河上游山谷两侧花岗岩构成的围岩上,保存了大量而清晰的磨光面、擦痕、颤痕、冲击槽沟等冰川遗迹,本文以佛塔谷内的兰溪冰川遗迹进行重点介绍。

3 兰溪冰川遗迹

兰溪冰川遗迹分布在蒙山南坡的佛塔谷内,由拦马墙冰石河、鳄鱼口冰石河、巨型漂砾、条痕石,上游两岸磨光面、擦痕、颤痕、冲击槽等组成(图 2)。

兰溪冰川遗迹中的冰石河由拦马墙冰石河与鳄鱼口冰石河两列冰碛堆积物组成,拦马墙冰石河位于

于鳄鱼口冰石河的上游,其中拦马墙冰石河位于山谷的右侧,鳄鱼口冰石河位于山谷的左侧,都沿着河谷的走向延伸。

拦马墙冰石河位于兰溪峡谷的出口处,长 275m,宽 15m 至 25m 不等,总体沿 280° 方向展布,显示向上游逐渐收窄的特征。整个冰碛堤高出左侧的河床 6 ~ 8m,高出右侧的地面 3 ~ 5m,显示出明显的垄状特征。冰碛堤内侧,即靠近河道的一侧,边界排列比较平整,显示受到冰川移动的刮擦、修理作用的影响。板状的巨石多显示出向河流上游倾斜的特点,其倾向则多显示出与河流的流向之间呈 45° 夹角。冰碛堤的外侧边界呈锯齿状,凹凸不齐。

拦马墙冰石河由大小不一的石块堆积而成,小的石块直径几十厘米,大的石块直径一般在 2 ~ 3m,个别可达 8m,石块之

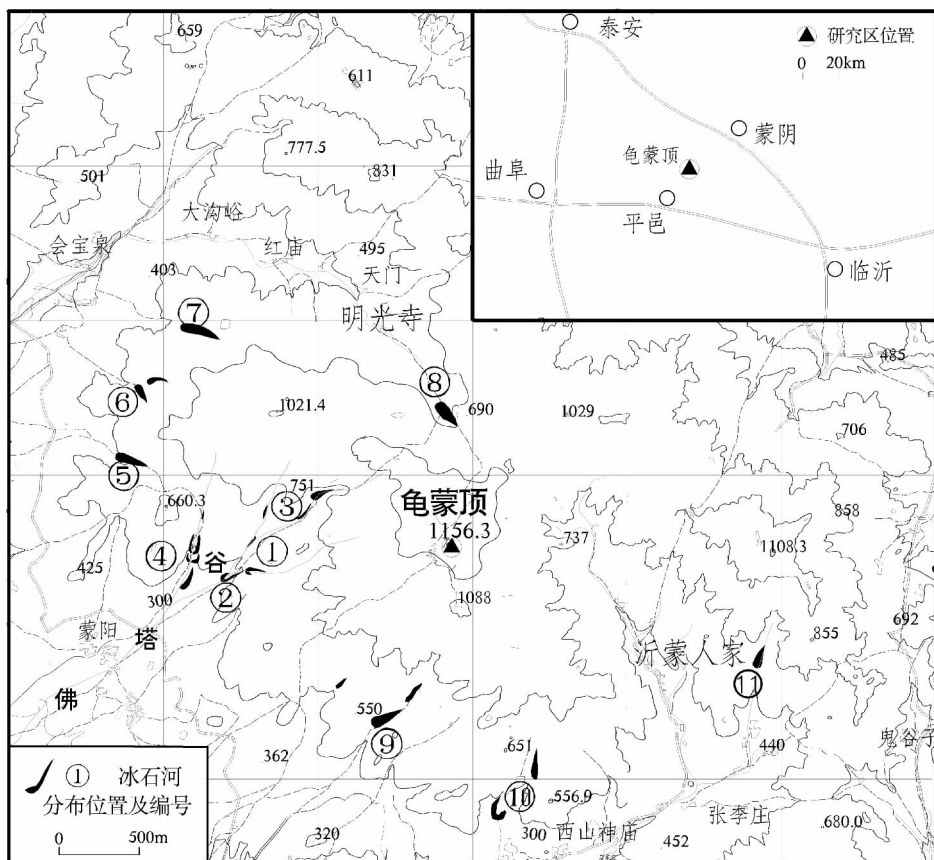


图 1 蒙山地区冰石河位置分布图

Fig. 1 The distribution of felsenmeers in Mount Mengshan

- ① 拦马墙冰石河; ② 鳄鱼口冰石河; ③ 艳丽沟冰石河; ④ 王母池冰石河; ⑤ 髫子沟冰石河; ⑥ 黑碗口冰石河; ⑦ 老鼠窝冰石河; ⑧ 明光寺冰石河; ⑨ 情人谷冰石河; ⑩ 西山神冰石河; ⑪ 燕峪沟冰石河
 Felsenmeers: ① Lanmaqiang; ② Eyukou; ③ Yanligou; ④ Wangmuchi; ⑤ Bengzigou; ⑥ Heiwankou; ⑦ Laoshuwo; ⑧ Mingguangsi; ⑨ Qingrengu; ⑩ Xishanshen; ⑪ Yanyugou

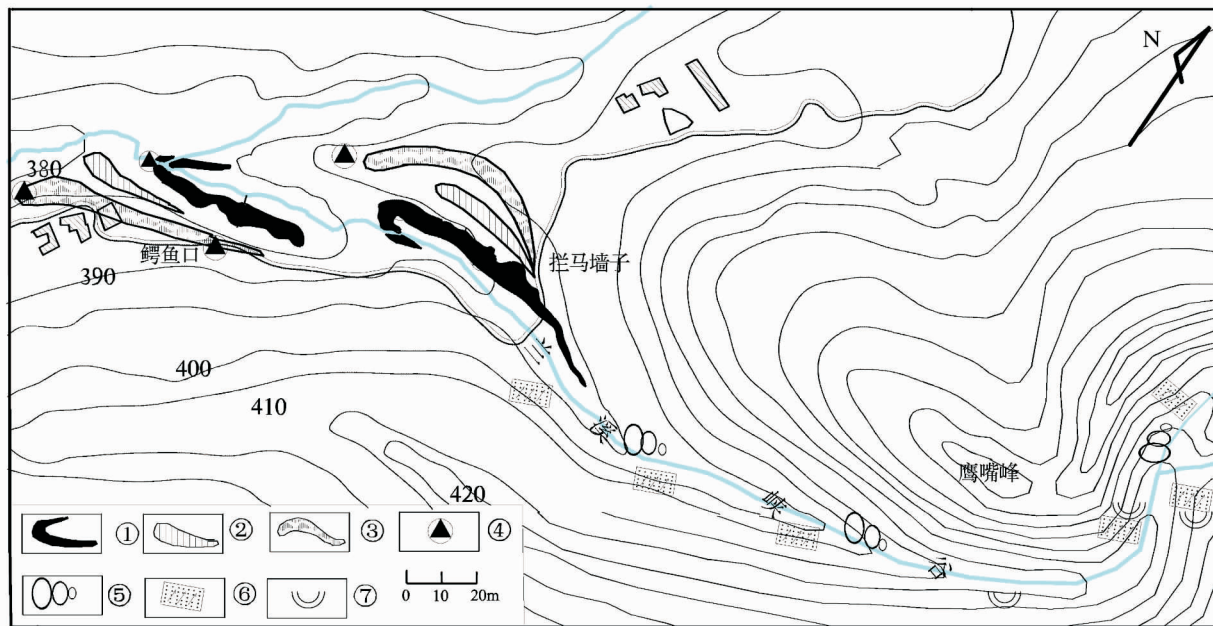


图 2 蒙山兰溪一带冰川遗迹分布图

Fig. 2 The distribution of glacier relics in Lanxi area, Mount Mengshan

- ① 冰石河;② 侧碛堤;③ 侧碛堤;④ 巨型漂砾分布位置;⑤ 小规模侧碛堤分布位置;⑥ 磨光面、擦痕分布区;⑦ 颤痕分布位置
 ① felsenmeer; ② lateral moraine; ③ lateral moraine; ④ terratic boulders; ⑤ small lateral moraines;
 ⑥ polished surface and striation; ⑦ the location of chatter marks

间缺少泥沙质填隙物。长条状巨石较多的地段,则显示出典型的穿插状排列的特征(图 3d)($N35^{\circ}33'27''$ 、 $E117^{\circ}49'05''$)。板状巨石则显示出叠瓦状排列特征。经野外测量,砾石的倾向与河流的流向相反,倾角多在 30° 与 60° 之间,有的可以达到近 90° ,这些特征,显示出巨石就位之后,仍然受到了来自上游的巨大推力的推挤作用。

在拦马墙冰石河的北侧另有两列冰碛堤,与冰石河的距离分别相距 20m 与 35m。该两列冰碛堤的砾石表面风化严重,巨大砾石之间由泥沙质细粒物质充填(图 2,图 3b)植被发育。

在组成冰石河的岩块中,砾石表面擦痕的方向显示出多向性,表明砾石存在多次反复移动调整方向现象。如:有的表面存在明显的颤痕(图 3e)($N35^{\circ}33'25''$ 、 $E117^{\circ}48'56''$)。“颤痕(chatter marks)”是国际冰川学界广泛使用的标准词汇,国内地学界则由吕洪波率先使用这个术语,他在山东鲁山山麓发现并识别出该冰川侵蚀构造,依据国际惯例使用了其通用名称——颤痕,并分析了形成机理,将其看作冰川底部携带岩石石块在冰床上刻划的痕迹(吕洪波,2012)。国内其他地区有关颤痕的

报道很少,李吉均(1982)将近似的构造称之为新月型凿口,并认为“磨光面上,冰川所特有的作用还在于能形成各种新月形的凿口、裂口和裂纹。迄今为止,直线形的各种擦痕均有冰川成因与非冰川成因的报道,但这种新月形的破裂结构还没有人发现非冰川成因的。”李吉均(1982)继而认为具备这种新月形凿口或裂纹的磨光面才是典型的冰川磨光面,这些与蒙山冰川遗迹中磨光面的特征相吻合。

在冰石河的上游兰溪峡谷的两壁上,分布有众多的磨光面,磨光面上,显示出岩石表面突起的部分磨蚀的严重,凹陷部分磨蚀较轻的特征,表明运动的摩擦介质具有一定的固体特性(图 3f)($N35^{\circ}33'25''$ 、 $E117^{\circ}49'22''$)。

擦痕与磨光面相伴而生,多分布在峡谷两岸完整、坚硬的岩石面上。擦痕显示出明显的定向性特征,擦痕与擦痕之间呈现近似的平行状态,且有集群分布的特征。擦痕倾向指向河流下游的方向,且擦痕的倾角与沟谷底面的倾角具有一定的对应性。擦痕一般具有稳定的延伸长度、宽度与深度(图 3g)($N35^{\circ}33'29''$ 、 $E117^{\circ}49'33''$),王斯文(2015)认为具有稳定延伸(方向、长度等)特征的擦痕是冰川作用

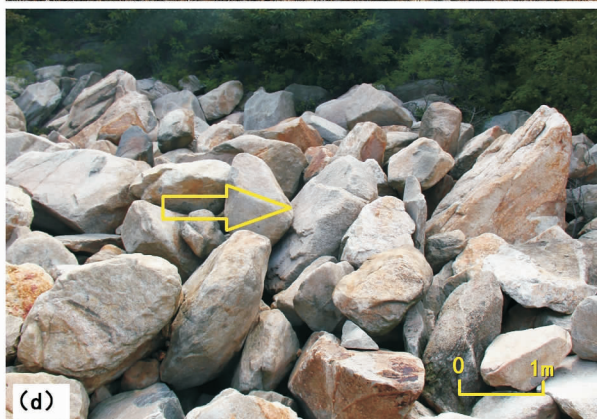
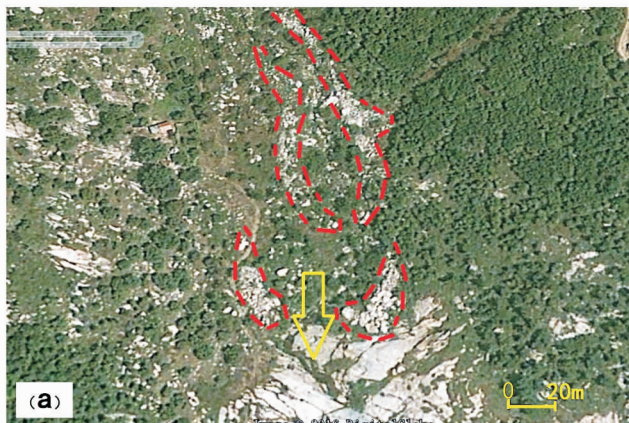


图 3 山东蒙山第四纪冰川遗迹卫星照片及野外照片

Fig. 3 satellite photo and field photos of the Quaternary glacial relics in Mount Mengshan, Shandong Province

(a) 王母池冰川谷中两侧对称分布的冰石河(卫片);(b)近处为冰石河,远处平台高地为侧碛堤;(c)侧碛堤上的巨型漂砾;(d)冰石河中的砾石显示出叠瓦状排列的特征;(e)冰石河中条痕石上的擦痕与颤痕;(f)兰溪峡谷岩壁上磨光面;(g)兰溪峡谷岩壁上的磨光面、擦痕、颤痕;(h)新月型颤痕,该颤痕位于图(g)中的红圈处

图中黄色箭头示冰川移动方向

(a) The symmetrically distributed felsenmeers in Wangmuchi (satellite image from Google Earth);(b) felsenmeer (near view) and lateral moraines (distal view);(c) giant erratic boulders on the lateral moraine;(d) the imbricated blocks in the felsenmeer;(e) the striation and chatter marks on the scratched boulders in the felsenmeer;(f) the polished surface on the rock of Lanxi;(g) the polished surface, striation and chatter marks on the bedrock of Lanxi;(h) crescent chatter marks, found in the red marker of figure 3(g)

The yellow arrow point: glacier moving direction

的证据,因为冰川中裹挟的岩块,其摩擦力的力度与方向具有一定时间的稳定性,这是其他流体下(如泥石流、洪水等)所不能持续存在的。经对几处擦痕的宽度与长度进行测量统计显示,擦痕的宽度与长度具有一定的比例关系,宽 0.5 ~ 0.6cm 的擦痕,其长度一般为 5 ~ 6cm;宽 1.0 ~ 1.5cm 的擦痕,其长度一般为 10 ~ 15cm,显示出长宽比为 10:1 左右的规律。

在部分磨光面上擦痕发育的地方,有时也可以见到伴生的颤痕,(图 3h)(N35°33'29"、E117°49'33")。关于颤痕的成因,是一系列小型、密集分布的、短而弯曲的裂痕,由冰川底部携带的岩石碎屑在坚硬而脆性的基岩表面震动切削而成(吕洪波等,2012)。

4 讨论

4.1 冰石河的成因机理

关于冰石河的成因,目前国内相关的报道较少,笔者等请教了中国石油大学的吕洪波教授。他认为:由于冰缘地貌阶段每年的冻融作用,使得山区河谷中被节理切割的石块被裂缝中的冰体结晶而反复顶起、倾斜甚至翻转,最终便形成了冰石河。这也是冰石河中并没有细小的碎块或泥土而只有大石块,且没有磨圆的原因。但笔者倾向于认为,本文所述冰石河是冰碛垄的一种形式,是没有被后期泥土充填的冰碛垄。

4.2 蒙山地区末次冰期时的雪线高度

雪线是常年积雪的下部界限。崔航等(2013)认为雪线高度,也可以近似视为冰川物质平衡线的高度,其确定的方法很多,如末端至冰斗后壁比率法、终碛到最高峰高差比率法、侧碛最大高度法等。侧碛的最大高度法可以近似地代表平衡线的高度,因为冰川在积累区向中心而消融区向边缘流动,且

净消融只发生在消融区,因此理论上仅在平衡线的高度之下才发生边缘冰碛的沉积,导致平衡线的高度一定在侧碛最大高度之上,因此该方法可以直接通过野外测量高程获得较为可靠的数据(崔航等,2013)。依据侧碛最大高度法,对蒙山情人谷、艳丽沟进行,测量获得最高侧碛的位置海拔分别为 692m 和 678m,据此可以初步估算蒙山南坡末次冰期时的雪线高度大约在 700m 左右。

4.3 关于擦痕、颤痕等冰川遗迹在判断第四纪冰川存在与否中的意义:

以往很多研究者提出了擦痕、冰碛物作为最重要的判断依据,如李吉均(1982)认为具有大规模擦痕、刻槽的羊背岩、磨光面(冰溜面)是冰川作用的直接结果,因而具有鉴定古冰川遗迹的重要价值。早期的冰川学家 J. D. 福布斯(Forbes)即曾指出,“冰川的巨大笨重的冰体被拖曳滑过岩石地面,它先是剥除掉草皮和土壤,然后磨蚀坚硬的花岗岩、板岩或灰岩,从而留下它对这些岩石产生过作用的无可否认的证据”(李吉均,1982),这是有道理的,但这适用于形成时间较近的冰川。而对于几十万年,甚至上百万年前形成的古老冰川遗迹,风化剥蚀作用会破坏掉岩石表面的擦痕等遗迹,导致这些冰川遗迹的消失,难以辨认但对于末次冰期的冰川遗迹来说,因为形成时间比较近,其遗迹的保存相对清晰。冰川作用的过程,不仅会形成物证——冰碛物,同时运移过程中会留下痕迹:磨光面、擦痕、颤痕等。这种组合遗迹的存在,对于判定冰川的存在更具重要意义。

5 结论

中国东部中低山区第四纪冰川的有无,是地学界进行的一场广泛参与,且持续了近一个世纪的学术争论。寻找准确的、清晰的、组合性的冰川遗迹,

应是推进我国东部中低山区第四纪冰川研究的根本前提。通过对山东蒙山地区第四纪冰川遗迹的调查研究,可以得出如下认识:

蒙山地区发现的类型丰富、保存完好的第四纪冰川遗迹,除了冰碛物堆积的侧碛堤、冰石河外,还保存了大量而清晰的磨光面、擦痕、颤痕等组合遗迹。这些组合性冰川遗迹的最新发现,证实了我国东部中低山区存在第四纪冰川的事实。

蒙山地区第四纪冰川遗迹的研究工作刚刚开始,不当之处,欢迎批评与指正,同时,文中关于末次冰期的表述仅仅是推测的,为了进一步确定蒙山地区冰碛垄形成的时间与对应冰期,笔者正在进行光释光(OSL)和宇成核素有关年代学方面的研究工作。欢迎国内外第四纪冰川研究领域的广大工作者,尤其在西部高原区从事冰川研究的专家学者,到蒙山来进行实地考察、研究。

致谢:在研究过程中,中国石油大学吕洪波教授亲自来蒙山进行了实地考察与研究,对野外调查与理论认识上均提出了诸多有意义的指导,在论文的成文过程中也给予了大量的支持,在此表示深切的谢意!此外,山东省地质科学研究院程光锁研究员、杨斌研究员,以及河南省地调院杨常青高级工程师,山东地矿七院徐衍明工程师、王庆军工程师都提供了大量的帮助,在此一并致谢!

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)

陈瑜,倪健. 2008. 利用孢粉记录定量重建大尺度古植被格局. 植物生态学报, (32) 1201~1212.

崔航,王杰. 2013. 冰川物质平衡线的估算方法. 冰川冻土, 35: 349~350.

韩同林,劳雄,郭克毅. 1998. 河北省丰宁县喇嘛山冰白群的发现及意义. 中国区域地质, 17(1):103.

韩同林,劳雄,郭克毅. 1999. 河北内蒙古发现罕见冰白群. 地质论评, 45(5): 456~462.

韩同林. 2004. 发现冰白. 北京:华夏出版社:1~190.

韩同林,陈尚平,杜又常,魏建钢,赵南兴,吴焕九. 2007. 浙江上虞发现罕见第四纪石冰川地貌及冰川遗迹. 地质论评, 53(2): 289~294.

韩同林. 2010. 驳施雅风“冰白”“负球状风化”成因论. 地质论评, 56(4): 538~542.

黄培华. 1963. 关于长江以南地区冰川遗迹问题. 科学通报, (10): 29~33.

金昌柱,徐钦琦,郑家坚. 1998. 中国晚更新世猛犸象(Mammuthus)扩散事件的探讨. 古脊椎动物学报, (36):47~53.

李邦良,李志中,韩同林. 1999. 内蒙古东部大陆冰川地貌卫星图像解译. 地质力学学报, (5) 89~93.

李吉均. 1982. 论冰川擦痕. 冰川冻土, 4(1): 30~35.

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,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: 379~383.

吕洪波,章雨旭. 2008a. 壶穴、锅穴、冰臼、岩臼等术语的辨析与使用建议. 地质通报, 27(6):917~922.

吕洪波,任晓辉,许民,欧阳江城. 2008b. 壶穴差异风化或风蚀作用成因质疑. 地质论评, 54(2):192~198.

吕洪波,任晓辉,许民,欧阳江城. 2010a. 再论山脊壶穴的冰川融水成因——兼与施雅风院士商榷. 地质论评, 56(5):693~702.

吕洪波,章雨旭,王俊. 2010b. 北京延庆白龙潭被揭示为一巨型山谷壶穴. 地质论评, 56(6):885~887.

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.

施雅风. 1981. 庐山真的有第四纪冰川吗? 自然辩证法通讯, (2): 41~45.

施雅风,崔之久,李吉均,等. 1989. 中国东部第四纪冰川与环境问题. 北京:科学出版社:363~374.

施雅风. 2010a. 韩同林的“冰臼论”是对花岗岩类岩石“负球状风化”的误解. 地质论评, 56(3):349~354.

施雅风. 2010b. 论李四光教授的庐山第四纪冰川是对泥石流流的误读. 地质论评, 56(5): 684~688.

施雅风. 2011. 中国东部中低山地有无发育第四纪冰川的可能性? 地质论评, 57(1): 44~49.

宋明春. 2008. 山东省大地构造单元组成、背景和演化. 地质调查与研究, (3): 56~59.

孙殿卿,吴锡浩. 1986. 关于中国第四纪冰川地质的研究. 中国地质科学院院报: 121~126.

王敏. 2007. 庐山第四纪冰川与地质遗迹. 导师:赵志中. 北京:中国地质科学院硕士学位论文.

王斯文. 2015. 浅析冰川擦痕与泥石流凹痕的区别. 经济研究导刊, (4):303.

肖平,景才瑞. 1993. 大别山天堂水库四周第四纪冰川遗迹探讨. 华中师范大学学报, 27: 102~103.

徐兴永,肖尚斌,李萍. 2005. 崂山古冰川遗迹的地质证据. 石油大学学报(自然科学版), 29: 5~8.

徐兴永. 2004. 崂山古冰川的形成及其环境效应的研究. 导师:李乃胜,于洪军. 青岛:中国海洋大学博士学位论文.

于革,陈星,刘健,等. 2000. 末次盛冰期东亚气候的模拟和诊断初探. 科学通报, 45(20): 2153~2159.

张威,刘锐,刘亮. 2015. 东亚季风影响区末次冰期冰川作用的控制性因素. 地理科学进展, 34: 871~882.

章雨旭. 2005. “冰臼”成因争鸣——以克什克腾旗青山岩臼群为例. 地质论评, 51(6): 680,712.

章雨旭,刘恋. 2011. 山脊壶穴不能作为中国东部第四纪冰川的证据. 科技导报, 29(33): 62~64.

赵平,陈隆勋. 2003. 末次盛冰期东亚气候的数值模拟. 中国科学(D辑), 33(6): 557~562.

赵松龄. 2010. 中国东部低海拔型古冰川遗迹. 北京:海洋出版社: 143~152.

郑益群,于革. 2006. 2万年来东亚气候环境变化的区域气候模拟研究. 中国气象学会2006年年会“气候系统模式发展与应用”分会场论文集: 25~49.

- 周本雄. 1978. 披毛犀和猛马象的地理分布、古生态与有关的古气候问题. 古脊椎动物与古人类, 16(1): 47~59.
- 朱银奎. 2014. 崂山花岗岩山脊壶穴的特征及成因探讨. 地质论评, 60(2): 397~408.
- Chen Yu, Ni Jian. 2008&. Quantitative palaeovegetation reconstruction at large scale based on pollen records. Journal of Plant Ecology (Chinese Version), 32: 1201~1212.
- Chow Benschun(Zhou Benxiong). 1978&. The distribution of the Woolly Rhinoceros and Woolly Mammoth. Vertebrata Palasiatica, 16(1): 47~59.
- Cui Hang, Wang Jie. 2013&. The methods for estimating the equilibrium line altitudes of a glacier. Journal of Glaciology and Geocryology, 35:349~350.
- Han Tonglin, Lao Xiong, Guo Keyi. 1998#. Discovery of moulins in Mount Lama, Fenglin, Hebei, and its significance. Regional Geology of China, 17(1): 103.
- Han Tonglin, Lao Xiong, Guo Keyi. 1999&. Rare moulin swarms discovered in the medium—low mountains areas in Hebei and Inner Mongolia. Geological Review, 45(5): 456~462.
- Han Tonglin. 2004#. Moulin Discovered. Beijing: Huaxia Publishing House; 1~190.
- Han Tonglin, Chen Shangping, Du Youchang, Wei Jiangang, Zhao Nanxing, Wu Huanjiu. 2007#. Quaternary rock glacier and other glacial traces discovered in Shangyu, Zhejiang. Geological Review, 53(2): 289~294.
- Han Tonglin. 2010&. An argument with academician SHI Yafeng on the genesis of “glacial potholes” formed by granite negative spheroidal weathering. Geological Review, 56(4): 538~542.
- Huang Peihua. 1963&. Remnants of glaciation on south of Yangtze River. Chinese Sci. Bull., (10): 29~33.
- Jin Changzhu, Xu Qinyi, Zheng Jiajian. 1998&. On the dispersal events of Mammuthus during the late late Pleistocene. Vertebrata Palasiatica, 36: 47~53.
- Li Bangliang, Li Zhizhong, Han Tonglin. 1999&. Satellite image interpretation of continental glacier landform in Inner Mongolia. Journal of Geomechanics, (5): 89~93.
- Li Jijun. 1982&. On glacial striation. Journal of Glaciology and Cryopedology, 4(1): 30~35.
- Lü Hongbo, Yang Chao. 2005#. The Quaternary glacial traces were discovered in Mount Qingyun, Xintai, Shandong. Geological Review, 51(5):608.
- Lü Hongbo, Ren Xiaohui, Yang Chao. 2006&. Landform evidences of Quaternary continental glaciation in Chifeng and the vicinity areas, North China. Geological Review, 52: 379~383.
- Lü Hongbo, Zhang Yuxu. 2008a&. Discrimination and analysis of terms such as “pothole”, “kettle” and “glacial pothole” and suggestions about their usage. Geological Bulletin of China, 27(6): 917~922.
- Lü Hongbo, Ren Xiaohui, Xu Min, Ouyang Jiangcheng. 2008b&. An Argument on the Genesis of potholes formed by differential weathering or wind deflation. Geological Review, 54(2): 192~198.
- Lü Hongbo, Ren Xiaohui, Xu Min, Ouyang Jiangcheng. 2010a&. On the meltwater origin of potholes found on granite ridges—a consultation with academician SHI Yafeng. Geological Review, 56(5):693~702.
- Lü Hongbo, Zhang Yuxu, Wang Jun. 2010b#. A huge pothole discovered in Yanqing, Beijing. Geological Review, 56(6):885~887.
- Lü Hongbo, Xu Xingyong, Yi Liang, Li Ping. 2012&. A direct erosion evidence of Quaternary glaciation——chatter marks——found in Mt. Lishan, Shandong Province, eastern China. Acta Geologica Sinica, 86(3):514~521.
- Lee J.S. 1922. Notes on traces of recent ice action in northern China, Geol. Mag. LIX, 14~21, London.
- Lee J.S. 1933. Quaternary glaciations in the Yangtze valley. Bull. Geol. Soc. China, 13: 15~62.
- Shi Yafeng. 1981#. Mount Lushan really has Quaternary glacier? Journal of Dialectics of Nature, (2): 41~45
- Shi Yafeng, Cui Zhijiu, Li Jijun. 1989&. China's Eastern Quaternary Glacier and Environmental Problems. Beijing: Science Press; 363~374.
- Shi Yafeng. 2010a&Comments on the moulin argument provided by Mr. HAN Tonglin, a misunderstanding of granite negative spheroidal weathering. Geological Review, 56(3): 349~354.
- Shi Yafeng. 2010b&. On Prof. Lee's having misread debris flow deposits as Quaternary glaciations in the Lushan Area, Jiangxi Province, 56(5): 684~688.
- Shi Yafeng. 2011#. Is it really possible for glacier to develop on the Mountains which below 2500m asl in the eastern China? Geological Review, 57(1): 44~49.
- Song Mingchun. 2008&. Tectonic units in Shandong province, the background and evolution. Journal of Geological Survey and Research, (3): 56~59.
- Sun Dianqing, Wu Xihao. 1986&. Study on Quaternary glacial geology in China. Bull. of Chinese Academy of Geological Sciences; 121~126.
- Wang Min. 2007&. Lushan Quaternary Glacier and Geological Relics. Tutor: ZHAO Zhizhong. Beijing: Master degree dissertation of Chinese Academy of Geological Sciences.
- Wang Siwen. 2015&. Analyses on the differences between the glacial scratches and mudslides dent. Journal of Tribune in Economic Research, (4): 303.
- Xiao Ping, Jing Cairui. 1993&. Research into the remnants of Quaternary glacial round Tiantang reservoir, Dabie Mountains. Journal of Central China Normal University, 27: 102~103.
- Xu Xingyong. 2004&. Study on Formation of Ancient Glaciers and their Environmental Effects in Mount Laoshan Area. Tutor: LI Naisheng and YU Hongjun. Qingdao: Doctor degree dissertation of Ocean University of China.
- Xu Xingyong, Xiao Shangbin, Li Ping. 2005&. Geologic proof on paleo-glaciation remains in Laoshan Mountain. Journal of the University of Petroleum, China (natural science edition), 29: 5~8.
- Yu Ge, Chen Xing, Liu Jing. 2000#. A preliminary study on diagnosis and simulation of the climate in east Asia during Last Glacial Maximum. Chinese Science bulletin, 45(20): 2153~2159.
- Zhang Wei, Liu Rui, Liu Liang. 2015&. Control factors on glaciation during the last glacial period in the East Asia monsoon area. Progress in Geography, 34(7): 871~882.
- Zhang Yuxu. 2005#. An argument on the origin of potholes; a case of the Qingshan area, Hexigten Qi, Inner Mongolia. Geological Review, 680, 712.

Zhang Yuxu, Liu Lian. 2011&. Potholes on Hilltops is Not the Evidence for Quaternary Glaciation in Eastern China. *Science and Technology Review*, 29 (33): 62 ~ 64.

Zhao Ping, Chen Longxun. 2003#. A numerical simulation of the climate in east Asia during Last Glacial Maximum. *Science in China (Ser.*

D), 33(6): 557 ~ 562.

Zhao Songling. 2010&. The Ancient Glacial Traces in Low Altitude Area in Eastern China. Beijing: Ocean Press: 143 ~ 152.

Zhu Yinkui. 2014&. Characteristics and origin of granite hilltop potholes in Mount Laoshan. *Geological Review*, 60(2): 397 ~ 408.

Discovery of the Quaternary Glacial Relics in Mount Mengshan, Shandong Province

WANG Zhaobo^{1,2,3)}, BIAN Qing⁴⁾, LI Dapeng^{1,5)}, WANG Jinyu³⁾, LIU Cailing⁶⁾, GUO Qipeng⁷⁾

1) *Key Laboratory of Gold Mineralization Process and Resource Utilization of the Ministry of Land and Resources, Jinan, Shandong, 250013;*

2) *Yimeng National Geopark Management Office, Linyi, Shandong, 273304;*

3) *College of Resources and Environment, University of Linyi, Linyi, Shandong, 276006;*

4) *College of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing, 100871;*

5) *Shandong Academy of Geological Sciences, Jinan, Shandong, 250013;*

6) *Linyi Eleventh Middle School, Linyi, Shandong, 276003;*

7) *Shandong Hengrui Geological Mining Technology Service Co. LTD, Linyi, Shandong, 276006*

Abstract: In this paper, the characteristics of the Quaternary glacial moraine and related relics found in Mount Mengshan, Shandong Province, are systematically introduced. The authors concentrate mainly on the moraines, scratches, polished surface and chatter marks distributed in Lanxi valley. At the same time, the distribution, size, composition and rock characteristics of the lateral moraines and felsenmeers are reported. Based on the distribution of the lateral moraine and the weathering degree of gravels, we are trying to identify the moraine traces as the product formed at the last glacial period. Based on measurement and statistical analysis of the scratches on the polished bedrock surface from both sides of the valley, the length/width ratio of scratches on valley walls is about 10:1. Using lateral moraine maximum height method and investigation with lateral moraine at Mount Mengshan region, we have estimated the height of the last glaciation snow line in the southern slope of Mount Mengshan. It is about 700 meters.

Keywords: Mount Mengshan; glacial relics; felsenmeer; lateral moraine; scratches; chatter marks

Acknowledgements: This article is supported by opening project of Key Laboratory of Gold Mineralization and Resources Utilization, Ministry of Land and Resources (No. 201403), and Henry Mining. I am expressing deep gratitude to Professor LÜ Hongbo, China University of Petroleum, for his personal investigation and research of Mengshan in the course of the study and a lot of meaningful guidance to the understanding and theory of the field investigation, and also a lot of support in the process of writing. In addition, Prof. CHENG Guangsuo and Prof. YANG Bin of Shandong Provincial Institute of Geological Sciences, senior engineer YANG Changqing of Henan Institute of Geological Survey, engineer XU Yanming and engineer WANG Qingjun of the Seventh Institute of Shandong Geology and Mineral Resources also have offered a lot of help.

First author: WANG Zhaobo, male, born in 1971, Mengshan, Shandong Province, a senior engineer of Geology and Mineral Resources, and now mainly engaged in geological and mineral research and teaching. Email: 13805498543@163.com

Manuscript received on: 2016-03-13; Accepted on: 2016-11-25; Edited by: ZHANG Yuxu.

Doi: 10.16509/j.georeview.2017.01.012