

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

王照波^{1,2)}, 张剑³⁾, 王江月⁴⁾, 张盈松²⁾, 卞青⁵⁾, 郭启鹏⁶⁾

1) 临沂大学资源环境学院, 山东临沂, 276006; 2) 沂蒙山国家地质公园管理局, 山东临沂, 273304;
3) 青岛海洋地质研究所, 山东青岛, 266071; 4) 曲阜师范大学地理与旅游学院, 山东日照, 276800;
5) 北京大学地球与空间科学学院, 北京, 100871; 6) 山东恒瑞地矿技术服务有限公司, 山东临沂, 276006

内容提要: 针对蒙山发育的第四纪冰川遗迹, 采用光释光(Optic Stimulated Luminescence)的测年方法, 对遗迹较新的冰碛垄进行了采样与测试, 首次在我国东部中低山区获得了 8.2ka BP 与 18.2 ~ 22.2ka BP 两个时间段的冰期年龄值, 对应于 8.2ka BP 早全新世全球冷事件与末次冰盛期。根据冰碛垄的特征与测定年龄值, 结合我国以往其他地区冰期的对比研究, 在蒙山建立了拦马冰期与蒙山冰期。本研究, 确认并发展了李四光关于我国东部第四纪冰川理论。

关键词: 光释光; 末次冰盛期; 冰碛垄; 冰期划分; 拦马冰期; 蒙山冰期; 东亚冷槽

我国东部中低山区冰川的有无之争, 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(孙殿卿等, 1986), 其中施雅风(1981, 2010, 2011)、施雅风等(1989)曾多次撰文进行质疑, 但也有部分学者一直在坚持进行研究(吕洪波, 2012; 童潜明, 2017)。这一争论已经近一个世纪, 笔者认为, 提供确凿而易于辨识的野外证据, 结合多学科的交叉研究, 是推进我国东部第四纪冰川研究的重要途径。

山东蒙山地区存在着类型丰富且保存完好的第四纪冰川组合遗迹(王照波等, 2017), 笔者对其进行了数年的调查与研究, 发现了大量的冰川移动过程中形成的刻蚀遗迹如: 磨光面、擦痕、颤痕、羊背石、U 形谷等; 以及冰川融化过程中形成的冰释遗迹如: 冰碛垄、侧碛堤、漂砾、条痕石等。这些冰川组合遗迹的发现, 有力的证明了我国东部中低山区第四纪冰川的存在, 虽然根据冰川遗迹轻微的风化程度, 初步推断为末次冰期的产物, 但对于其具体的形成时间以及在第四纪冰期年表中的位置, 尚缺乏可靠的年龄数据作支撑。光释光作为一种较为可靠的测年手段, 近几年在冰川等沉积物中得到了较为广泛

的应用(孙宏艳等, 2003; 张志刚等, 2012; 赵秋月等, 2014)。为了解决这一问题, 笔者采用了光释光的方法对其进行了研究, 以期确定蒙山地区冰川作用发生的时间, 并利用获得的冰川作用时间, 来建立蒙山乃至我国东部中低山区第四纪冰川事件发生的期次, 进而对比其在第四纪冰期年表中的位置。

1 研究区地质地貌

蒙山位于山东省的中南部, 曲阜东 80km, 故也称东山。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 80 km, 南北宽 15 km。南侧以蒙山断裂与平邑盆地交界。

区域地质属于华北板块鲁西隆起区的蒙山凸起(宋明春, 2008), 山体主要由英云闪长岩、花岗闪长岩组成, 岩体中普遍发育片麻状构造或条带状构造。岩石坚硬、山势陡峭, 多为岩石裸露区, 第四纪沉积物在山坡的覆盖厚度多数在几十厘米, 仅山麓沟谷低洼地段有数米厚度的沉积。蒙山多条山谷中都有冰川遗迹分布(图 1), 但以佛塔谷中冰川遗迹最为丰富与清晰。本次研究的区域选在了佛塔谷中, 佛塔谷上游的几条支谷发源于蒙山主峰的龟蒙顶(1156 m)与西侧的摩云崮(1021 m)。

注: 本研究得到山东恒瑞地矿的资助。

收稿日期: 2016-12-25; 改回日期: 2017-04-12; 责任编辑: 章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2017.03.011

作者简介: 王照波, 男, 1971 年生, 地质矿产高级工程师、副教授, 主要从事地质找矿、隐爆角砾岩、金伯利岩、第四纪冰川等领域的研究与教学工作。Email: 13805498543@163.com。

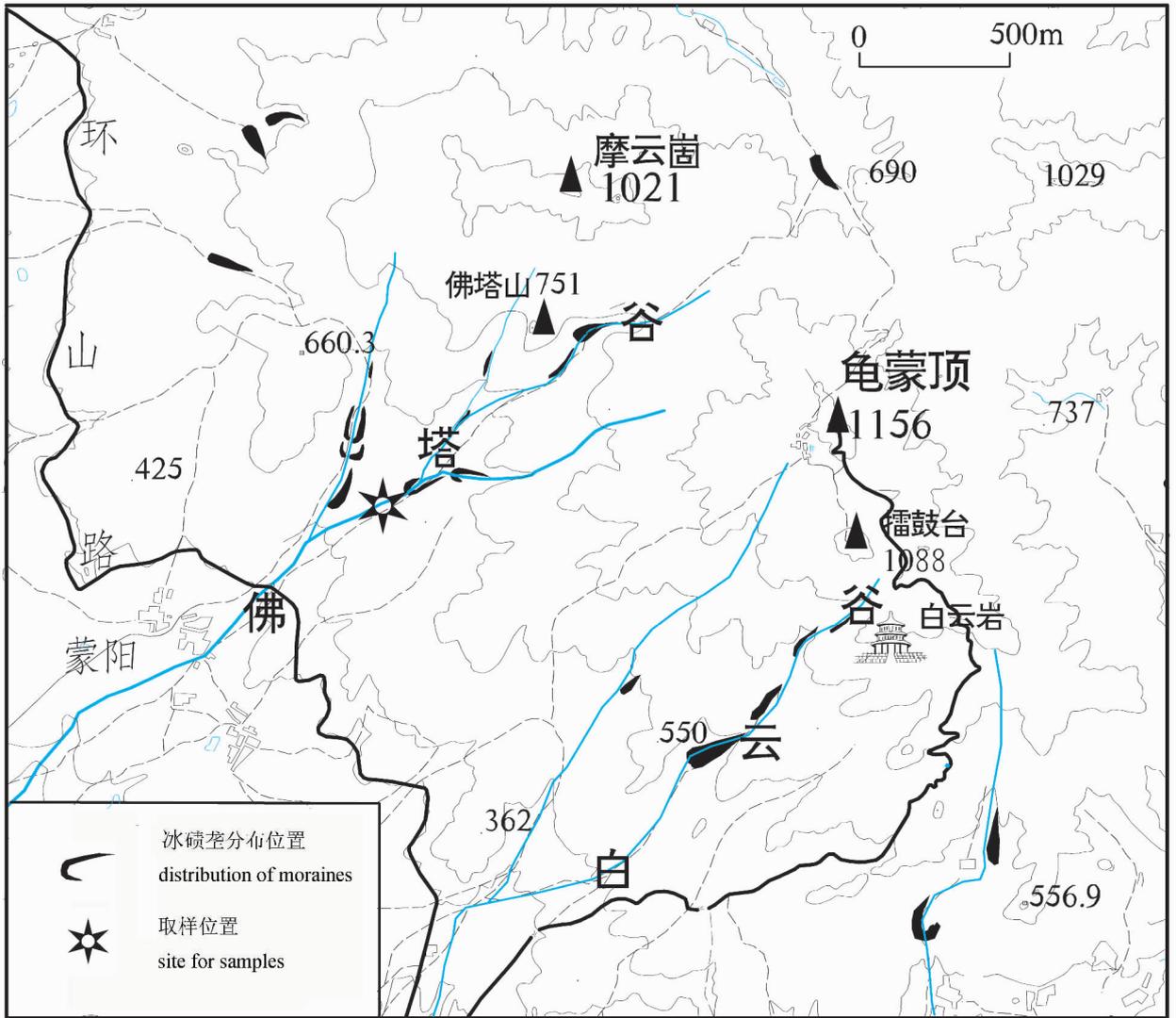


图1 蒙山佛塔谷冰碛垄分布及 OSL 样品取样位置图

Fig. 1 The distribution of moraines in Fota Valley, Mengshan Mountain, and the site for Optic Stimulated Luminescence (OSL) samples

2 研究区冰碛垄分布特征

根据佛塔谷冰碛垄的排列次序及自身的特点,初步将佛塔谷冰碛垄分为四期,见图2,按照时间的由新到老,可以分为冰碛垄Ⅰ、冰碛垄Ⅱ、冰碛垄Ⅲ、冰碛垄Ⅳ,更早期的区分起来则较为困难。各期次冰碛垄的特征如下:

冰碛垄Ⅰ分布在最上游,由大小不一的石块构成垄状,砾石之间的空隙内没有泥质充填,缺少植被(图3c),砾石表面新鲜且无明显风化,只有在下凹的擦痕中,由于雨水的积聚呈现出褐色特征。在砾石表面可以较为普遍的见到清晰的磨光面与擦痕。

因高高隆起如同一道墙,古人命名“拦马墙”。

冰碛垄Ⅱ位于冰碛垄Ⅰ之下的部位,也由大小不一的岩块组成垄状,砾石之间的空隙有沙土充填,空隙间有稀疏树木生长(图3d),砾石表面风化程度比冰碛垄Ⅰ严重,局部可以见到擦痕。该期冰碛垄主体保存良好,只有其上游的“石环”受到了后期洪水与冰碛垄Ⅰ的破坏。

冰碛垄Ⅲ位于冰碛垄Ⅱ的下游,地表被泥土覆盖,有零星的大型石块出露,并被大量植被覆盖。垄中的砾石表面风化严重,已经无法辨认冰川痕迹。该垄曾受到后期流水或冰川作用的破坏。

冰碛垄Ⅳ分布在上述冰碛垄的外围与下游,分

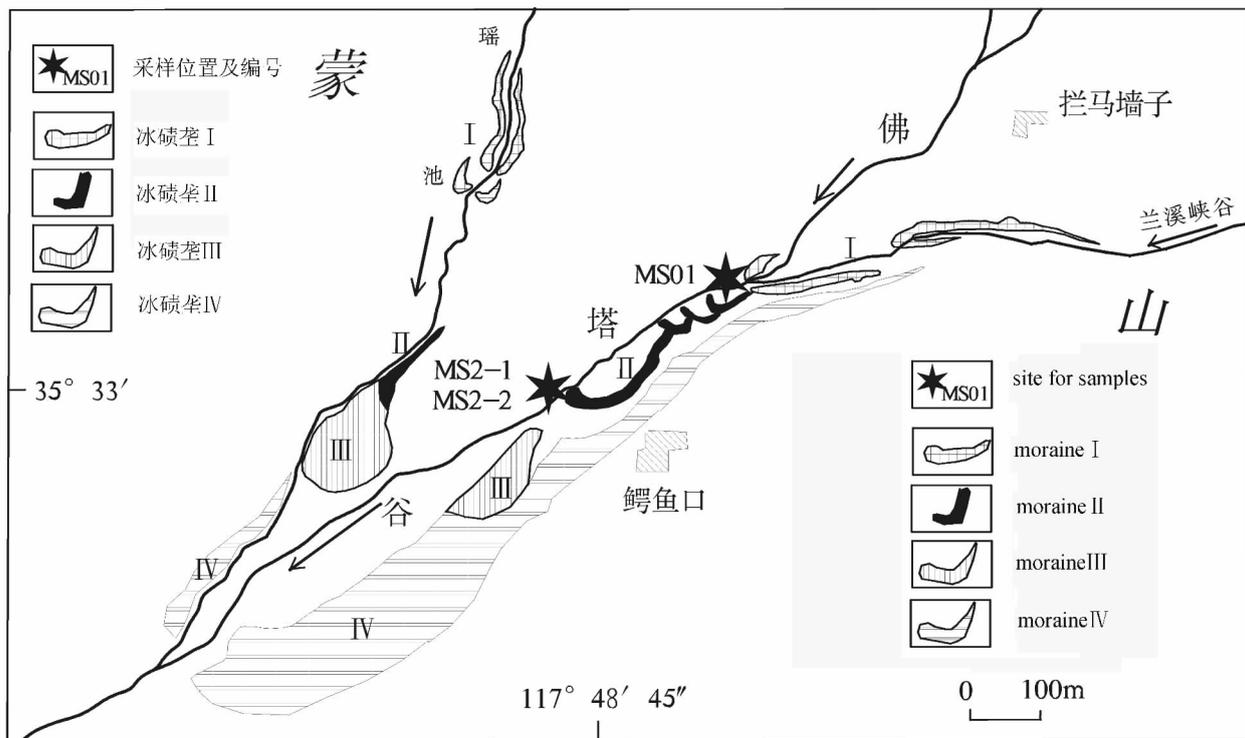


图2 蒙山佛塔谷冰碛垄分布特征与光释光样品采样位置

Fig. 2 The distributional characteristic of Moraine in the Fota Valley, Mengshan Mountain, and the site for Optic Stimulated Luminescence (OSL) samples

布面积也相对较大,地貌特征表现为多被沙土覆盖,巨石零星出露,局部被垦为农田或果园,植被发育,砾石表面风化较为严重,已经看不到冰川的痕迹。该冰碛在地表上较为突出的特征,是冰碛表面时常有大型孤立的二长花岗闪长岩的漂砾分布,如蒙山前的骆驼石、寿桃石、子夏石等。根据冰碛垄IV的规模分析,这一次冰期在蒙山地区规模宏大。受到后期洪水或冰川作用的破坏,整个冰碛垄靠近河流一侧明显受到了冲积。

四个期次的冰碛垄,沿着沟谷分布,具有明显的自上而下的排列特征,并且自上游向下游,其风化程度逐渐增强,泥沙充填或覆盖渐多,表现出了形成时间的逐渐变老。冰碛分布向上游退缩的同时,冰碛规模也表现出逐渐变小的趋势性规律。

3 样品的野外采集

本次测年研究,选择了形成时间较新、保存较为完整且野外容易辨认的冰碛垄I与冰碛垄II,根据光释光样品的分析物质要求,采样选取了冰碛垄前端大型漂砾下面覆盖的泥沙质的物质。其前提是,

冰碛垄形成就位之后,保持了整个垄的稳定,被冰碛垄的巨型漂砾覆盖下的泥沙,其沉积时间理论上为冰碛垄就位或稍早点时间,因为位于一个冰碛垄的前端,基本代表了冰期中的顶峰时期。在被巨型冰碛砾石压覆之前,样品所处位置开阔,光照条件良好。

样品采用5cm不锈钢管,一端用塑料薄膜与泡沫塑料进行封堵后,用铁锤敲击进入泥沙层,进入泥沙30cm后,将铁管抽出,对前端进行同样的封堵与隔光,最后用黑色塑料袋封装,再用胶带进行缠绕捆扎,标注采样号,确保样品不透光、不混样。在冰碛垄I前端采集了1个样品,编号为MS01(见图2、图3a),样品位于巨型冰碛砾石底面之下30cm位置,坐标为:35°33'24.84",117°48'52.60"。在冰碛垄II前端采集了两个样品(见图2、图3b),编号为MS2-1、MS2-2,其中MS2-1位于巨型冰碛砾石底面之下10cm处,MS2-2位于MS2-1下面40cm处,坐标为:35°33'19.58",117°48'41.36"。样品由国土资源部海洋地质实验检测中心进行处理与测试。



图 3 蒙山佛塔谷 OSL 样品取样位置及冰碛垄特征图

Fig. 3 The site of OSL in the Fota Valley, Mengshan Mountain

(a) MS01 样品位置; (b) MS2-1、MS2-2 样品位置; (c) 冰碛垄 I; (d) 冰碛垄 II
(a) site of MS01; (b) site of MS2-1, MS2-2; (c); moraine I; (d) moraine II

4 样品的处理与测试

样品送到实验室后,在暗室中将铁管中的样品取出,去除两端可能曝光的样品,在中间段取一部分样品进行含水量测定及样品中 U、Th、K 含量分析。再取中间样品适量置于烧杯中,使用 37% 的盐酸 (HCl) 和 30% 的双氧水 (H_2O_2) 分别去除样品中的碳酸盐矿物和有机质,待反应充分后,使用蒸馏水将样品反复冲洗至中性,使用沉降法分离出粒径 $4 \sim 11 \mu m$ 的颗粒,分离出来的颗粒使用氟硅酸 (H_2SiF_6) 浸泡过夜,以去除颗粒中的长石类矿物,反应完全后,使用蒸馏水离心冲洗样品多遍至中性,再加入无水乙醇超声分散成悬液。

在高约 4cm,直径 10mm 的平底玻璃试管底部放入一片直径 9.8mm 的不锈钢片,吸取上述无水乙醇悬液适量注入试管中,在低温 ($\leq 60^\circ C$) 下烘干后,不锈钢片上即镀有一层很薄的 $4 \sim 11 \mu m$ 的石英颗粒,该测片即可上机测试。

实验所用仪器为美国 Daybreak 公司生产的 Daybreak2200 型释光测量仪,该仪器的辐射源为 ($^{90}Sr/^{90}Y$) β 源,激发光源为中心波长 470nm 的蓝光光源和中心波长为 880nm 的红外光源。样品等效剂量 (De) 的测量采用单片再生法 (SAR),分析时选取初始 2 秒减去背景值 (最后 2 秒) 之后的释光信号值。

原样的含水量采用重量法测量,完成含水量测试的样品经粉碎研磨后进行 U、Th、K 含量分析。其中,U、Th 的含量使用等离子体质谱仪测试,K 的含量使用等离子体光谱仪测试。上述参数用于计算样品的环境剂量率 (D)。

使用样品的等效剂量 (De) 以及环境剂量率 (D) 即可计算出样品的光释光 (OSL) 年龄。

在测量天然和再生释光信号前,进行了预热坪实验和剂量恢复实验。预热坪实验采用了间隔为 $20^\circ C$ 、时间为 10s、温度为 $180^\circ C$ 至 $300^\circ C$ 的预热 (PH1) 处理,以去除对光敏感但热不稳定陷阱中的

俘获电子。在测量试验剂量的 OSL 响应时,测片的预热温度 (PH2) 设定为对应的 PH1 温度减去 40℃, 预热时间为 10s,但在 PH1 = 180℃ 时对应的 PH2 温度为 160℃。

图 4 为样品 MS2-1 SAR 法等效剂量 (De) 与预热温度的关系,可以看出样品的等效剂量在 180 ~ 280℃ 温度区间内表现为较好的预热坪,表明本实验采用的 SAR 流程能够在 180 ~ 280℃ 温度区间内获得近一致的 De,这也表示试验剂量能很好地监测和校正感量变化,可采用 180 ~ 280℃ 范围内的预热温度。本研究采用的预热温度为 220℃,对应的试验剂量预热温度为 180℃。

剂量恢复是将样品的天然信号全部归零后,辐照实验室的已知剂量,并将此剂量作为天然剂量,再使用 SAR 程序测量其等效剂量。在 180 ~ 260℃ 的预热区间内,选取 6 个测片,将天然信号归零后,再辐照实验室剂量 150Gy,6 个测片的恢复剂量分别为 149.9Gy、156.8 Gy、144.9 Gy、150.1 Gy、147.7 Gy、137.4 Gy 平均值为 147.8 Gy。如果释光感量校正是有效的,则剂量恢复比率(测量值/已知剂量)应在 0.9 ~ 1.1 之间(Wintle et al, 2006)。剂量恢复试验可用来检验实验条件和流程的有效性,评估仪器在测量过程中的稳定性和试验剂量是否能有效地校正释光感量变化。

图 5 是样品 MS2-1 剂量恢复实验中恢复比率与预热温度的关系。可以看出在 180 ~ 260℃ 的预热区间内剂量恢复比率都在 0.9 ~ 1.1 之间。

样品 MS01 和样品 MS2-1 的 SAR 法再生剂量生长曲线分别见图 6 和图 7。Murray 等(2000)在提出 SAR 法时,建议用循环比率检验来评估该方法的可靠性,即在 SAR 流程中最后一个循环重复一个前面流程中的剂量(通常是最小剂量),这个重复点实际上是对前面整个流程中所有释光感量变化的校正效果进行检验,如果循环比率在 0.9 ~ 1.1 之间,表明测量过程中释光感量已被很好地校正。本研究中所

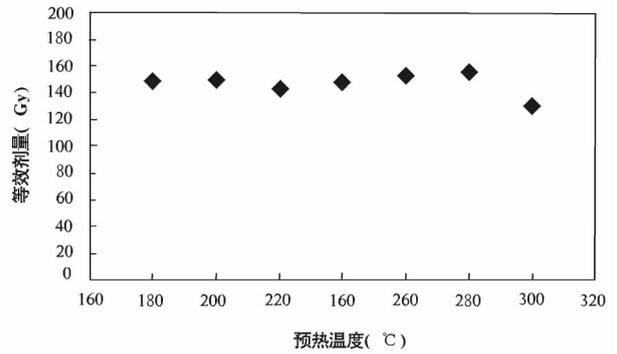


图 4 蒙山佛塔谷 OSL 样品 MS2-1 SAR 法等效剂量 (De) 与预热温度的关系

Fig. 4 The relationship between the MS2-1 SAR De and preheating temperature in the Fota Valley, Mengshan Mountain

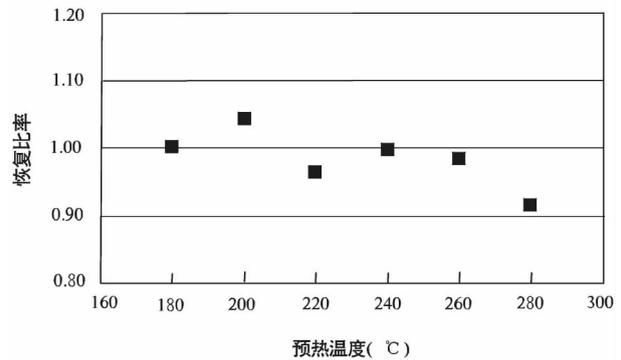


图 5 蒙山佛塔谷样品 MS2-1 SAR 法剂量恢复实验中恢复比率与预热温度的关系

Fig. 5 The relationship between the recovery ratio and preheating temperature in the experiment of MS2-1 SAR De recovery in the Fota Valley, Mengshan Mountain

测样品测片的循环比都在 0.9 ~ 1.1 的范围内,表明检验剂量对感应剂量的校正结果非常理想。

表 1 蒙山佛塔谷冰碛沉积物光释光 (OSL) 测试结果表

Table 1 Results of Optically Stimulated Luminescence (OSL) for Quaternary glaciation moraines in Fota valley, Mengshan Mountain

试验编号	送样编号	U(μg/g)	Th(μg/g)	K(%)	质量含水量(%)	等效剂量(Gy)	年龄(ka BP)	误差(ka)	采用位置
2016A001	MS01	2.27	11.10	1.94	19.57	39.6	8.2	±0.8	冰碛垄 I
2016A002	MS2-1	2.76	20.1	3.05	3.50	141.9	18.2	±1.8	冰碛垄 II
2016A003	MS2-2	2.59	8.90	2.81	6.60	128.7	22.5	±2.3	冰碛垄 II

注: 样品由国土资源部海洋地质实验检测中心测试。

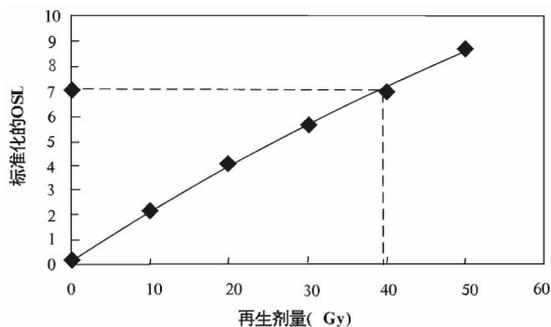


图6 蒙山佛塔谷样品 MS01 SAR 法再生剂量生长曲线

Fig. 6 The growth curve of MS01 SAR regeneration in the Fota Valley, Mengshan Mountain

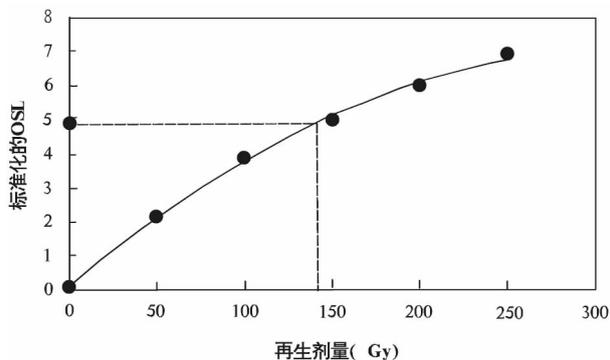


图7 蒙山佛塔谷样品 MS2-1 SAR 法再生剂量生长曲线

Fig. 7 The growth curve of MS2-1 SAR regeneration in the Fota Valley, Mengshan Mountain

5 测试结果与对应冰期分析

随着人类在测年领域的研究进展,如 C 同位素、光释光(OSL)、宇生核素等方法对于冰川遗迹测年数据的积累,以及海洋同位素阶段(MIS)的划分,已经建立起了较为准确可靠的第四纪冰期年表,这为第四纪冰期的研究起到积极的参考与促进作用。本次光释光(OSL)样品实验,获得的年龄值如表1。

5.1 冰碛垄 I 测年结果及拦马冰期的建立

该冰碛垄发育在佛塔谷内诸列冰碛垄的最上端(图2),且组成冰碛垄的砾石表面新鲜,磨光面与擦痕清晰可辨,砾石之间的空隙内缺少沙土充填(图3c),种种迹象表明,该冰碛垄的形成时间较新。对于该冰碛垄获得的8.2ka BP的年龄值,目前我国东部中低山区尚属于首次,由于构成该冰碛垄的砾石表面新鲜,形成时间近,笔者曾将其推断为末次冰期的产物(王照波等,2017),根据测年结果,本次将其确定为早全新世时期的产物。赵井东(2011)在

总结我国第四纪冰川演化序列与 MIS 的对比研究时,指出在我国西部获得了多处该时期冷事件的测年结果,如古里雅冰帽下伸的被称为克里雅冰川的支流冰川(东冰流)3.5 km 处沉积的冰碛垄,其¹⁴C 年龄为 8287 ± 160 a BP 与 8134 ± 176 a BP。祁连山敦德平顶冰川北侧冰舌外围冰碛的¹⁴C 年龄为 8455 ± 265 a BP。这些早全新世冰进的时间与 8.2 ka BP 全球性冷事件接近,可能是 8.2 ka BP 冷事件较低温度所致。此外,在台湾南湖大山也发现显著的早中全新世冰碛(赵井东,2011)。鉴于该期冰碛垄分布在拦马墙一带,且野外特征明显,易于与其他冰碛垄区分,对于蒙山上发生的这一期的冰川事件命名为拦马冰期,其对应的岩石地层单位为拦马组。经后期调查,目前在蒙山地区发现最高的冰碛物赋存海拔在 700m 左右,根据岩石的风化程度分析应属于拦马冰期的产物,从而可以近似推断拦马冰期时蒙山雪线的高度在 700m 以上。同时根据蒙山 500 ~ 600m 山峰环绕的山谷有冰碛发育,而 400m 海拔环绕的山谷则无冰碛发育的现象推断,蒙山地区最低雪线的海拔高度约为 300m 左右,综合分析蒙山地区的最低与最高雪线高差在 400m 左右。

根据冰碛垄 I 的特征与测年结果,反映了蒙山地区在早全新世时期,也经历了 8.2ka BP 的全球性冷事件的影响,至于是否在山东的泰山、崂山也存在该时段冰期的影响,还需要进行广泛而深入的研究。

我国东部中低山区拦马冰期的确定,对于我国石器时代文明的研究也具有重要的参考意义,笔者认为,我国旧石器时代的结束与新石器时代的开启,应当与拦马冰期有关,冰期来临时人类南迁避寒,使得先民们在南迁过程中聚集在一起,起到了文化的交流与融合的作用。冰期结束后的北返,则促进了文化的扩散,表现为新石器时代文化的爆炸式传播。

5.2 冰碛垄 II 测年结果及蒙山冰期的建立

冰碛垄 II 的分布位置及特征,其砾石间被泥土充填(图3d),表现出了比冰碛垄 I 形成时间要早的特征,本次所采集的两个样品,获得了 18.2 ka BP 与 22.5 ka BP 的年龄值,属于晚更新世晚期。赵井东(2011)认为,将 EPILOG (Environmental Processes of the Ice Age: Lands, Oceans, Glaciers) 规定的 18 ~ 24 cal a BP 作为末次冰盛期((Last Glacial Maximum, 简称:LGM)时段比较恰当。基于此,表明佛塔谷内冰碛垄 II 属于末次冰盛期(LGM)的产物,这与李四光先生确认的大理冰期相对应(陈安东,2015)。鉴于冰碛垄 II 分布在蒙山周围山谷中,其岩石特征与

上述拦马冰期沉积物具有明显差异,根据测年数据,将蒙山地区形成冰碛垄Ⅱ的末次冰盛期命名为蒙山冰期,其对应的岩石地层单位为蒙山组。

该冰期在庐山没能形成典型的冰川遗迹,分析其原因是由于庐山的纬度偏底,在该冰期的温度条件下尚不足以形成冰川,李四光先生也认为庐山地区没有末次冰期,后来在云南大理点苍山确立由Wissmann建立的对应用于末次冰盛期的大理冰期(Wissmann, 1937; 陈安东, 2015)。这一测年结果与其对应的冰碛垄Ⅱ,也是在我国东部中低山区的首次发现。鉴于大理冰期的命名地在云南点苍山,其海拔为4122m,且位置偏离我国东部地区,加之蒙山末次冰盛期的冰川遗迹清晰可辨,特征明显,故笔者建议在中国东部中低山区采用蒙山冰期来代替大理冰期。吕洪波等(2008)根据其冰川壶穴的研究成果,曾前瞻性的指出:中国东部北方在第四纪末次冰盛期至少存在许多冰帽甚至大陆冰川,而其南部边缘至少已经达到山东蒙山以南。

6 蒙山地区冰期划分与对比

根据不同期次冰碛垄的特征,结合测年结果,蒙山地区可以确定的冰碛垄Ⅰ为8.2ka BP的全球冷事件的产物,冰碛垄Ⅱ为末次盛冰期的产物,在蒙山地区分别命名为拦马冰期与蒙山冰期,另外结合李四光(陈安东, 2015)、施雅风(2002)、赵井东(2011)等关于我国第四纪冰期划分方案的研究,对比情况见表2。

蒙山地区野外调查结果显示,该地区目前尚未发现新冰期、小冰期的相关遗迹,可能表明在8.2ka BP全球冷事件后,蒙山的海拔与所处的纬度,使得

后期规模较小的寒冷空气不足以在蒙山地区形成冰川。

此外,蒙山地区存在的众多早于蒙山冰期(末次冰盛期)的冰碛物,因还没有进行更加广泛而深入的研究,故尚未获得与之对应的测年数据。根据赵井东等(2011)的研究,倒数第二次冰期的冰碛地形主要以受到相当破坏的高侧碛以及残破终碛为标志。结合蒙山冰碛垄展布特征,初步分析冰碛垄Ⅳ则具备倒数第二次冰期形成的冰碛地形的特征,据此初步分析,冰碛垄Ⅳ可能对应于庐山冰期(倒数第二次冰期),蒙山地区将沿用庐山冰期这一命名,当然还需要进一步的研究确认。冰碛垄Ⅲ的规模要远远小于冰碛垄Ⅳ,其形成时间可能为末次冰期的早冰阶,因以往我国东部尚没有相关对应的冰期划分,蒙山地区将其暂定为汪家坡冰期。

在上述冰碛物的下游还有更为古老的冰期混杂沉积物,由于时间久远,加之后期风化与流水作用破坏严重,其分布特征与形成的具体时间,尚需要更加深入的调查与众多的测年研究作支撑。

山东蒙山地区形成了我国东部独特的第四纪冰川遗迹,究其气候原因,可能与不同于我国西部高原气候的另外一个气候系统,笔者称之为“东亚冷槽”(East Asia Cold Trough, 简称:EACT)的气候有关,限于篇幅,关于我国东部地区LGM时期的雪线高度的重建及“东亚冷槽”的相关内容,将在今后的研究文稿中进行广泛的探讨。

7 结论

经过本项研究,主要获得以下几点新认识:

(1) 在我国东部中低山区的蒙山冰碛物中首次

表2 蒙山地区冰期划分与以往冰期对比表

Table 2 Table of Mengshan Quaternary Glaciation Division of Glacial Period Comparison

时代	氧同位素	李四光(据陈安东, 2015)	施雅风(2002)	赵井东(2011)	本文
全新世			0.3~0.5 ka BP 小冰期	尚未发现	
				3~4 ka BP 新冰期	尚未发现
				8.2 ka BP 全球冷事件	8.2 ka BP 拦马冰期
晚更新世	MIS2	大理冰期	末次冰盛期	18~24 ka BP LGM	18.2、22.5 ka BP 蒙山冰期
	MIS4		58~60 ka BP 末次冰期早冰阶	58~75ka BP 末次冰期早冰阶	汪家坡冰期?
中更新世晚期	MIS6	庐山冰期	倒数第二次冰期	112~136 ka BP 古乡冰期	庐山冰期?
中更新世中期	MIS12		中梁赣冰期	420~480 ka BP 中梁赣冰期	
中更新世早期		大沽冰期			
早更新世	MIS16~18	鄱阳冰期	昆仑冰期	620~780 ka BP 昆仑冰期	

获得了 8.2ka BP 全球冷事件(8.2ka BP)与 LGM 冰期(18.2ka BP、22.5ka BP)两个冰期年龄段的测年数据,该数据的获得在丰富了我国东部地区冰川研究年代数据的同时,也从年代学方面证实了我国东部中低山区更新世晚期、全新世早期冰川遗迹存在的事实。

(2)在测年数据的基础上,结合野外冰碛垄的特征对比,在蒙山地区划分了拦马冰期与蒙山冰期,由于相应冰期对应的冰碛物具有鲜明的地质特征,便于我国东部中低山区冰川遗迹的野外观察、确认与对比研究。

蒙山地区第四纪冰川研究还处在刚刚起步阶段,相关的研究成果,以期为我国东部中低山区冰川的研究提供一些可靠的资料。此外,笔者正在进行宇生核素及¹⁴C 方面的交叉研究,希望能够获得更多的测年数据的交叉佐证,同时欢迎西部现代冰川研究领域的专家、学者来蒙山进行实地考察与研究。

致谢:研究过程中,获得了中国石油大学吕洪波教授的指导与支持,另外南京师范大学张志刚博士、临沂大学王千锁博士、山东地科院李大鹏博士、程光锁博士、郑州地质学校冯敏副教授、张斌讲师、临沂西郊实验学校汪红霞老师均给予了大力帮助与支持,在此表示深切的谢意!

此外,特别向蒙山旅游区副主任卞加升先生,柏林五中恩师孙兆华先生致以最崇高的敬意!他们虽然已经离开我们,但正是由于他们深情的关怀,才促进了今天蒙山冰川遗迹的相关研究。

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)

- 陈安东. 2015. 云南大理点苍山末次冰期冰川地貌与冰碛物特征及其发育时代. 导师:田明中. 北京:中国地质大学博士学位论文: 18~20.
- 童潜明. 2017. 湖南第四纪冰川的证据. 地质论评, 63(2): 337~346.
- 吕洪波, 任晓辉, 许民, 欧阳江城. 2008. 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, 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, 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): 379~383.
- 吕洪波, 章雨旭, 王俊. 2010. 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.
- 施雅风. 2002. 中国第四纪冰期划分改进建议. 冰川冻土, 24(6): 687~692.
- 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. 科学出版社, 北京: 363~374.

- 施雅风. 2010. 论李四光教授的庐山第四纪冰川是对泥石流的误读. 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, 31(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, 122~127.
- 孙洪艳, 李志祥, 田明中. 2003. 第四纪测年研究新进展. 地质力学学报, 9(4): 371~373.
- 王照波, 卞青, 李大鹏, 王金玉, 刘彩玲, 郭启鹏. 2017. 蒙山地区第四纪冰川组合遗迹的发现及初步研究. 地质论评, 63(1): 134~140.
- 张志刚, 王建, 赖忠平, 徐孝彬, 白世彪, 张茂恒. 2012. 稻城冰帽冰碛物光释光测年研究中遇到的问题及探讨. 地质学报, 86(4): 602~606.
- 赵井东, 施雅风, 王杰. 2011. 中国第四纪冰川演化序列与 MIS 对比研究的新进展. 地理学报, 66(7): 868~872.
- 赵秋月, 魏明建, 周锐, 宋波, 潘宝林, 陈淑贞, 赵晓红. 2014. 释光技术在水成沉积物测年中的应用进展. 地质论评, 60(1): 31~38.
- Chen Andong. 2015. Diancang Mountain Last Glaciation geomorphic features and glacial deposits features and its ESR dating. Dissertation Supervisor: Tian Mingzhong. BeiJing: China University of Geosciences A Dissertation Submitted; 18~20.
- Tong Qianming. 2017. Evidences of Quaternary Glaciation in Hunan Province. Geological Review, 63(2): 337~346.
- Lee J S. 1922. Notes on traces of recent ice action in northern China, Geol. Mag. London, LIX: 14~21.
- Lee J S. 1933. Quaternary glaciations in the Yangtze valley. Bull. Geol. Soc. China, 13: 15~62.
- Lü Hongbo, Ren Xiaohui, Yang Cheng. 2006“&”. Landform evidences of Quaternary continental glaciation in Chifeng and the vicinity areas, north of China. Geological Review, 52(3): 379~383.
- Lü Hongbo, Ren Xiaohui, Xu Min, Ouyang Jiangcheng. 2008“&”. An argument on the genesis of potholes formed by differential weathering or wind deflation. Geological Review, 54(2): 192~198.
- Lü Hongbo, Zhang Yuxu, Wang Jun. 2010“&”. 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. Lushan, Shandong Province, east of China. Acta Geologica Sinica, 86(3): 514~518.
- Shi Yafeng. 1981“&”. Zhu Kezhen and the glacier study of China. Journal of Glaciology and Geocryology, 3(2): 1~5.
- Shi Yafeng, Cui Zhijiu, Li Jijun. 1989“&”. China's Eastern Quaternary Glacier and Environmental Problems. Beijing: Science Press: 363~374.
- Shi Yafeng. 2010“&”. On Prof. Li Siguang misread debris flow deposits as Quaternary Glaciations in the Lushan Area, Jiangxi Province. Geological Review, 56(5): 684~688.
- Shi Yafeng. 2011“&”. In eastern China have low mountain without the possibility of development of Quaternary glaciers? Geological Review, 57(1): 44~49.
- Song Mingchun. 2008“&”. Tectonic units in shandong province, the background and evolution. Journal of geological survey and research, 31(3): 56~59.

- Sun Dianqing, Wu Xihao. 1986. About Chinese Quaternary glacial geological research. Chinese Geological Proceedings of the National Academy of Sciences: 121 ~ 126.
- Sun Hongyan, Li Zhixiang, Tian Mingzhong. 2003“&”. New progress in Quaternary dating research. Journal of Geomechanics. Journal of Geomechanics, 9(4): 371 ~ 373
- Wang Zhaobo, Bian Qing, Li Dapeng, Wang Jinyu, Liu Cailing, Guo Qipeng. 2017“&”. Discovery of the Quaternary glacial relics in Mount Mengshan, Shandong Province. Geological Review, 63(1): 134 ~ 140.
- Wissmann H V. 1937. The Pleistocene glaciation in China. Bulletin of the Geological Society of China, 17: 145 ~ 168.
- Zhang Zhigang, Wang Jian, Lai Zhongping, Xu Xiaobin, Bai Shibiao, Zhang Maoheng. 2012“&”. Problems and analyses of optically stimulated luminescence studies of glacial deposits from Daocheng ice cap, Sichuan, China. Acta Geologica Sinica, 86(4): 602 ~ 606.
- Zhao Jingdong, Shi Yafeng, Wang Jie. 2011“&”. Comparison between Quaternary Glaciations in China and the marine oxygen isotope stage (MIS): An Improved Schema. Acta geographica sinica, 66(7): 868 ~ 872.
- Zhao Qiuyue, Wei Mingjian, Zhou Rui, Song Bo, Pan Baolin, Chen Shuzhen, Zhao Xiaohong. 2014“&”. The application progress of water laid deposits. Geological Review. 60(1): 31 ~ 38.

A Study on Quaternary Glaciation Moraines in Mount Mengshan, Shandong Province with Optically Stimulated Luminescence (OSL) and Comparison of Glacial Period Division

WANG Zhaobo^{1,2)}, ZHANG Jian³⁾, WANG Jiangyue⁴⁾, ZHANG Yingsong²⁾, BIAN Qing⁵⁾, GUO Qipeng⁶⁾

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

2) Yimeng National Geological Park Management Office, Linyi, Shandong, 273304;

3) Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao, Shandong, 266071;

4) College of Geography and Travel, Qufu Normal University, Rizhao, Shandong, 276800;

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

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

Abstract: It is discovered there are many moraines on Mengshan Mountain, which is important for the Quaternary glacial study in Eastern China. In this paper, we sampled and dated the ages of different moraines with the Optically Stimulated Luminescence (OSL) dating method. We obtained the glacial ages of 8.2 ka BP and 18.2 ~ 22.2 ka BP for the first time in the middle and low mountainous areas of eastern China. According to the results, two credible glacial periods called Lanma and Mengshan are determined. Quaternary glaciations theory in Eastern China established by Lee J S is affirmed and developed.

Keywords: Optically Stimulated Luminescence (OSL); Last Glacial Maximum (LGM); Mengshan Mountain Moraine; glacial period; Lanma glacial periods; Mengshan glacial periods; East Asia Cold Trough (EACT)

Acknowledgements: First of all, I would like to express my gratitude to Professor LÜ Hongbo, China University of Petroleum, providing the help and guidance in the course of the study. I also deeply indebted to Dr. ZHANG Zhigang of Nanjing Normal University; Dr. WANG Qiansuo of Linyi University; Dr. LI Dapeng, Dr. CHENG Guangsuo of Shandong Provincial Institute of Geological Sciences; associate professor FENG Min and lecturer ZHANG Bin of Zhengzhou Institute of Geology; Ms. WANG Hongxia of Linyi Xijiao Experimental School for their a lot of meaningful helps.

In the meantime, I would like to extend my sincerely respect Mr. BIAN Jiasheng, vice director of Tourism Management Committee of Mengshan Mountain, and Mr. SUN Zhaohua, Tteacher of the Bolin No. 5 Middle School, for their support.

First author: WANG Zhaobo, Male, born in 1971, Mengshan, Shandong Province, a senior engineer of geology and mineral resources, and now mainly engage in cryptoexplosive breccia, kimberlite, Quaternary glaciation, geological and mineral research and teaching. Email: 13805498543@163.com

Manuscript received on: 2016-12-25; Accepted on: 2017-04-12; Edited by: ZHANG Yuxu.

Doi: 10.16509/j.georeview.2017.03.011