



河南嵩山冰川垄槽序列的发现及测年

李宝杰¹,程胜利²,王庆军^{3*},何乐龙⁴,丁志豪⁵

(1.平邑县自然资源和规划局,山东平邑 273300;2.河南省登封市自然资源和规划局,河南登封 452470;
3.山东省第七地质矿产勘查院,山东临沂 276006;4.自然资源部青岛海洋地质研究所,山东青岛
266071;5.山东指南针矿产勘查有限公司,山东临沂 276006)

摘要:调查发现,河南嵩山南坡法王寺一带发育一套完备的冰川体系,由峻西冰斗、嵩门U谷、全新世拦马冰期巨石冰碛垄、末端的三公石冰碛垄槽序列构成。峻西冰斗具有典型冰斗特征,平坦指数 $F=1.93$,位于典型冰斗平坦指数 $F=1.7\sim 5.0$ 之间。嵩门U谷具有典型冰蚀U形槽谷的特征,深宽比为 $0.28\sim 0.36$,位于世界典型冰川U谷深宽比 $0.24\sim 0.45$ 参数之间。嵩门U谷下端发育拦马冰期巨石垄,冰碛垄由不同砾径的巨石堆叠而成,空隙发育,空隙间缺少泥沙质充填,巨石表面发育各类冰川擦痕,巨石垄与蒙山拦马墙具有相同的堆积特征。末端发育三公石冰碛垄槽序列,冰碛垄呈对称分布。由于受到堆积区地形的影响,左垄比右垄更发育,左垄长750 m,宽50~80 m,内侧陡,外侧平缓,高出冰融内槽谷底8~13 m,冰碛垄由无层理、大小混杂的砾石组成,巨型漂砾表面发育有冰川擦痕及新月形断口。经光释光测年,获得一系列冰碛垄的堆积年龄为 (14.1 ± 1.18) ka,对应于新仙女木降温事件。

关键词:冰碛垄;垄槽序列;光释光测年;冰斗;河南嵩山

中图分类号: P343.6

文献标识码: A

doi: 10.12128/j.issn.1672-6979.2025.11.003

0 引言

第四纪冰川作用是近200万年以来地球发展史上的重要事件,在地球科学中占据着重要的地位^[1]。自李四光的调查及后来Barbour和V.Wissmann发表文献以来,关于中国东部中低山区是否存在晚更新世时期的冰川问题一直为学界所关注^[2]。李四光先生于1921年在太行山东麓沙源岭发现第四纪冰川遗迹,由此开创了我国第四纪冰川的研究先河,又于1933年发现江西庐山存在第四纪冰川遗迹,并参考阿尔卑斯山的冰期,在庐山建立了鄱阳冰期、大姑冰期与庐山冰期^[3-4]。王照波等于2015年发现了山东蒙山组合性冰川遗迹^[5],并根据多种测年数据(OSL、CRN、¹⁴C)建立了末次冰期的东山冰期(距今70 ka±)与蒙山冰期(距今20 ka±),以及全新世的拦马冰期(距今8.2 ka±)与清荣冰期(距今5.3 ka±)^[6-9],我国东部古冰川研究由此进入了一个新的阶段。

有关河南嵩山地区第四纪冰川遗迹的研究,以往形成的资料较少。1989年河南区调队进行1:5万区域地质调查时做了初步的调查,建立了“嵩山冰期”,认为“发生时间大约在距今200万年左右,相当于我国南方的鄱阳冰期”^[10]。调查工作粗略的圈定了冰碛的分布范围,没有对冰川期次进行深入的研究与划分。

嵩山位于我国东部平原区与第二阶梯的过渡部位(图1a),在大地构造上处于华北古陆南缘^[11],主峰峻极峰,海拔1492 m。在嵩山南坡的嵩阳书院与法王寺之间的区域,广布有冰碛堆积。对这些冰川堆积进行深入的调查研究,利用现代测年手段进行冰期划分,建立冰碛垄槽序列^[11],对于我国东部冰川遗迹的区域分布、气候过程研究具有重要意义。

1 冰川与泥石流堆积体的差异性

冰碛作为冰川活动的直接产物,是古冰川存在的直接证据,确定其与泥石流堆积体的差异性尤为

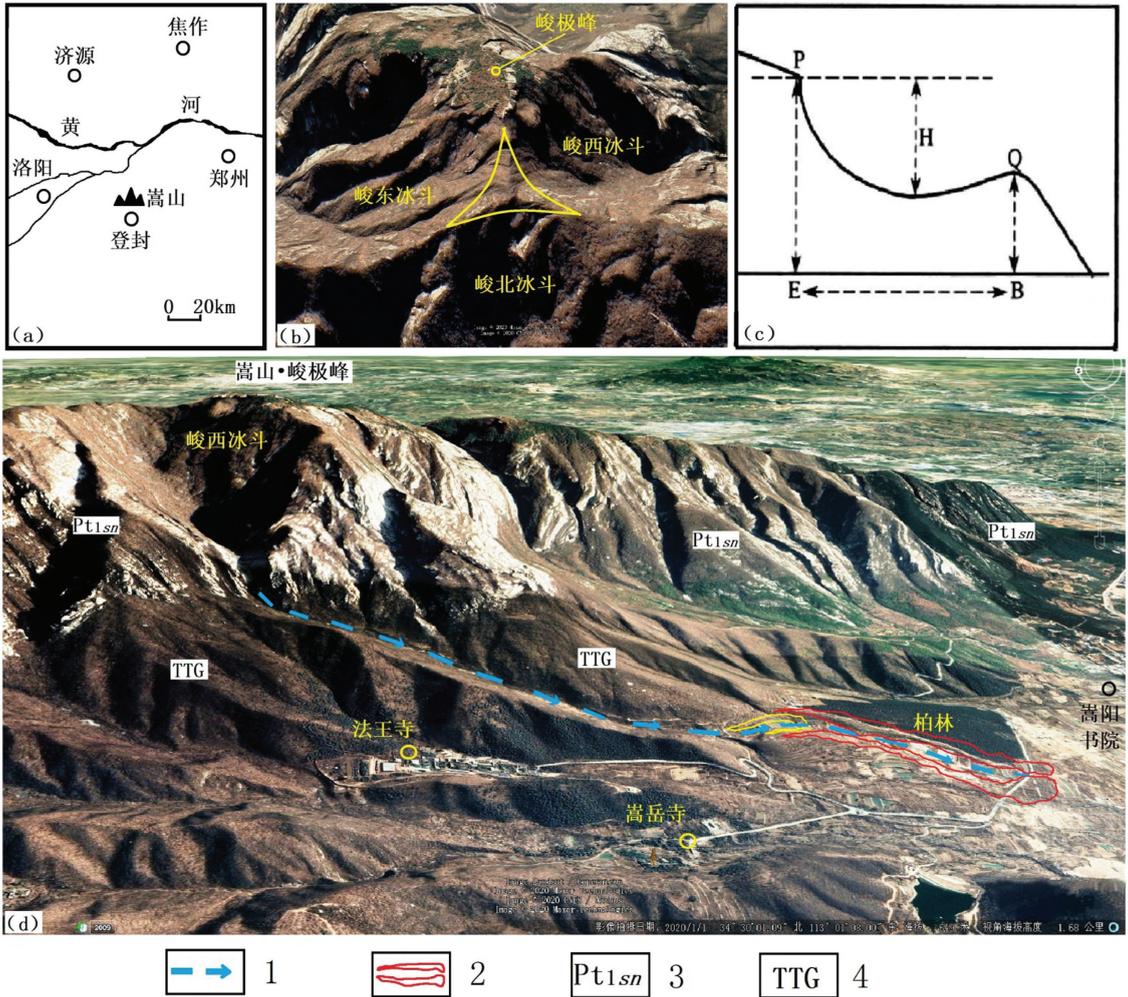
收稿日期:2025-03-26;修订日期:2025-05-07;编辑:陶卫卫

作者简介:李宝杰(1993—),男,山东莒南人,工程师,主要从事矿产、勘查、第四纪冰川及环境演化等工作;E-mail:932810621@qq.com

*通信作者:王庆军(1979—),男,山东平邑人,高级工程师,主要从事区域地质调查、矿产勘查、第四纪冰川等工作;E-mail:1wqj@163.com

重要。泥石流堆积体在平面上表现为典型的扇形堆积,故称之为泥石流扇。由于泥石流的堆积过程具有阵次特性,在剖面上表现出韵律性层理。冰川堆积在平面上呈舌状,冰碛垄与边槽对称分布构成独有的垄槽序列,冰碛垄由内向外存在序次变老的规律,且冰碛垄的堆积时间对应于全球性冰期时段。由于不同粒径的冰碛从冰川体内融出后的堆积过程

呈现随机坠落状态,在剖面上表现为无层理、大小混杂堆积的特征。由此可见,泥石流平面上的扇形堆积,剖面上的韵律性层理,与冰碛平面上的垄槽序列,剖面上的大小混杂、无层理堆积之间具有鲜明的差异性与专属性特征,这些是冰碛调查与垄槽序列建立的基本理论基础^[12]。



a—嵩山地理位置;b—嵩山主峰附近的弧边三角脊^[13];c—冰斗平坦指数计算图示;d—嵩山法王寺冰川体系构成;1—冰流通道;2—冰碛垄分布区;3—嵩山群石英岩;4—变质闪长岩类。

图 1 嵩山南麓法王寺冰川体系的位置及组成简图

2 嵩山法王寺冰川体系

冰川体系由“三角脊链—冰斗系统—冰川(擦痕形成阶段)—冰碛垄槽序列”组成^[14]。嵩山法王寺一带发育一套完整的冰川体系,由前端的峻西冰斗系统、中部 U 形流冰通道、末端的冰碛垄槽序列共同组成(图 1d)。

2.1 峻西冰斗及其特征参数

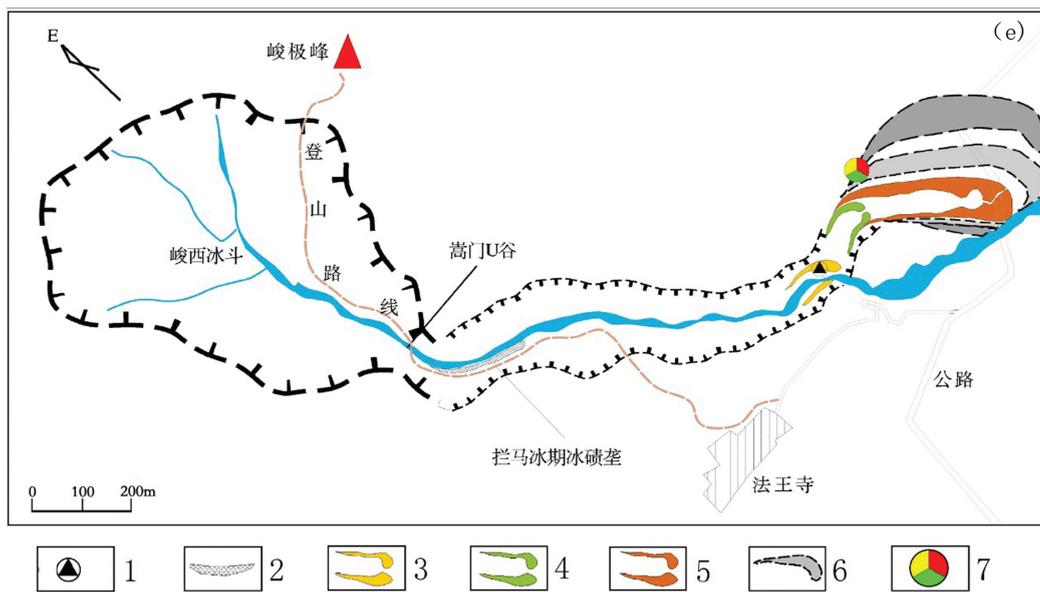
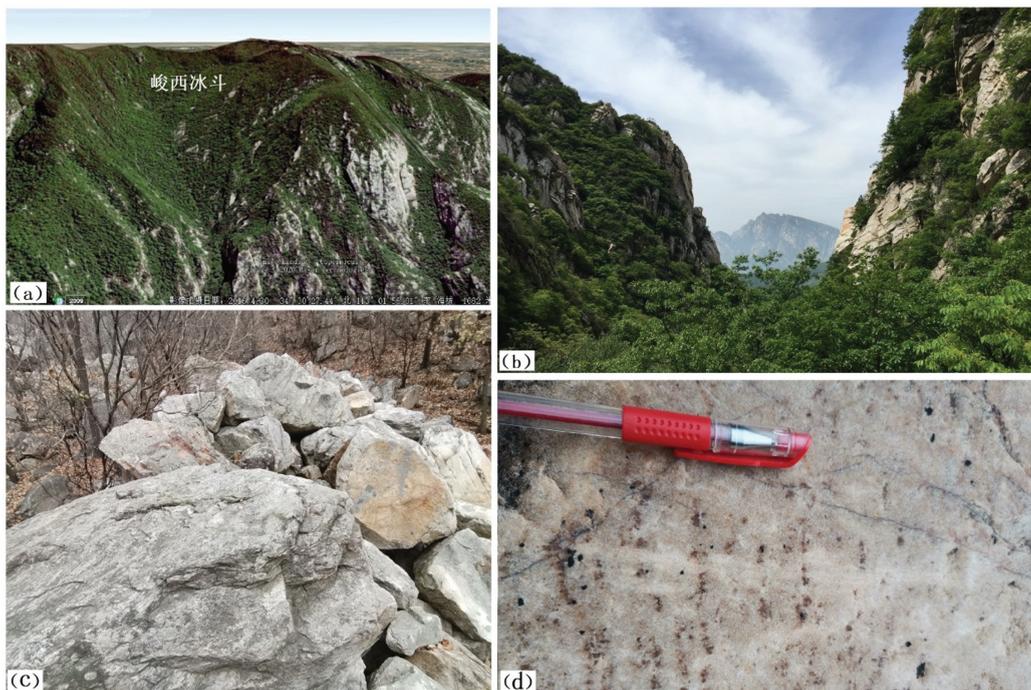
冰斗是冰川作用遗留下的重要遗迹形式^[15],峻极峰北侧由 3 处冰斗构成典型弧边三角脊,分别由峻西、峻东与峻北 3 个冰斗组成(图 1b),该弧边三角脊位于嵩山主峰区域东、西、南 3 条主脉的聚合处。峻极峰位于弧边三角脊南向延伸的主脉中,峻极峰一带由于尚未被冰川充分侵蚀而残留为平台区。

峻西冰斗在高顶 3 个冰斗中发育最典型(图 1b、图 1d、图 2a), 构成法王寺冰川体系的前端, 呈圈椅状, 具有典型冰斗漏斗状地貌特征, 缩口位置海拔 1 025 m, 冰斗东西长 1 038 m, 南北宽 791 m, 开口方向 242°。采用 Derbyshire 建立的平坦指数(图

1c) 来衡量冰斗的特征, 平坦指数的计算公式(1)为:

$$F = a/2c \quad (1)$$

其中: a 代表冰斗长度($E-B$ 间水平距离); c 代表冰斗高度(H 的高程)。



a—嵩山峻西冰斗的特征, 底部为缩口; b—峻西冰斗缩口处 U 谷, 视野为由冰斗内部向外; c—峻西冰斗缩口外由石英岩巨石组成的冰上融出碛侧碛垄, 特征与蒙山拦马墙侧碛垄一致; d—冰碛巨石表面的擦痕; e—法王寺冰川体系及冰川遗迹分布图(对应图 1d 卫片); 1—取样位置及编号; 2—拦马冰期冰碛垄; 3—新仙女木冰碛垄; 4—蒙山冰期冰碛垄; 5—东山冰期冰碛垄; 6—中更新世冰碛垄; 7—三公石位置。

图 2 嵩山法王寺冰川体系及冰川遗迹分布图

典型冰斗的平坦指数在 1.7~5.0 之间, 评价参数 F 值越小, 表示冰斗深度越大, 冰川活动越强烈,

反之,则冰斗深度小,表示冰川活动弱^[16]。经计算,峻西冰斗的平坦指数 $F = a/2c = 1038 \div [2 \times (1451 - 1182)] = 1.93$,数值靠近 1.7,由此判断,峻西冰斗平坦指数位于典型冰斗评定指数的数值范围之内,且属于冰川活动极强的冰斗类别。冰斗赋存在坚硬的元古代嵩山群石英岩中。

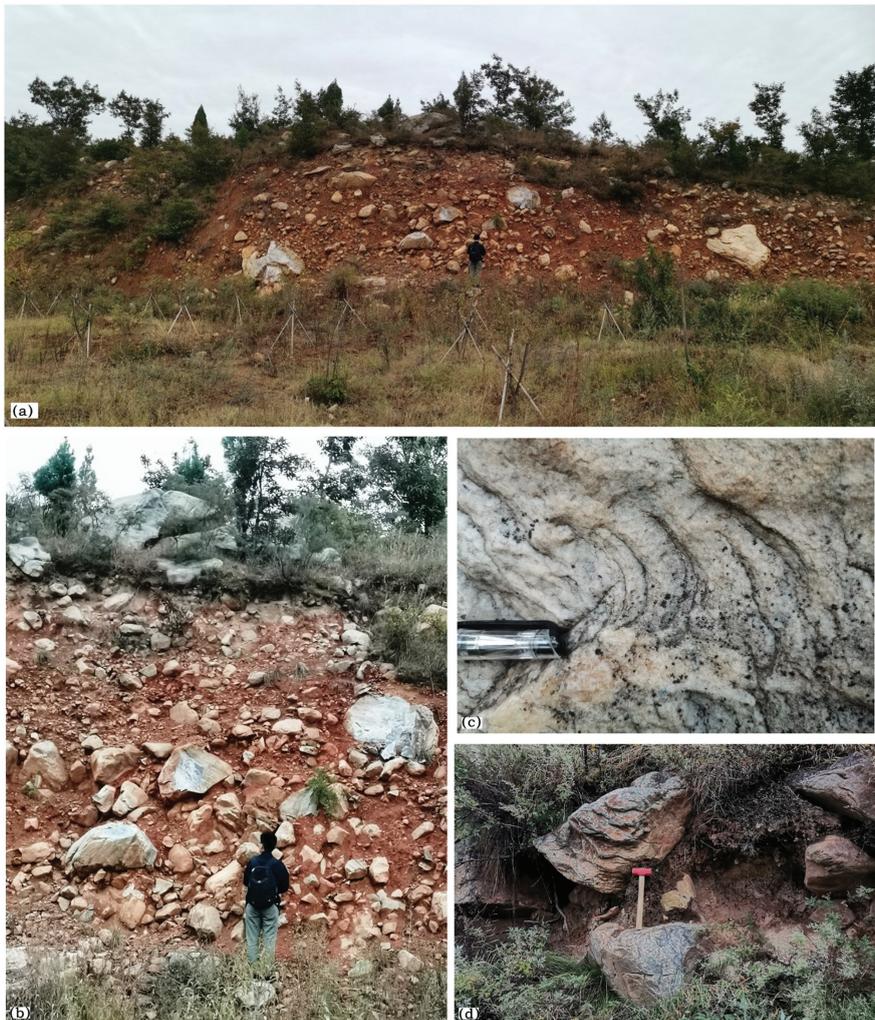
2.2 嵩门 U 谷及其特征参数

峻西冰斗的缩口位置为嵩门,这里山谷狭窄如石门,进入冰斗变得开阔,是从西路去往峻极峰的必经之路,该处为典型的冰川 U 谷地貌特征(图 2b)。根据卫星数据测算,该段 U 形槽谷深宽比在 0.28~0.36 之间,处于王乃昂等 2018 年介绍的“世界各地真正的冰川槽谷深宽比为 0.24~0.45”^[17]数值区间

之内,由此可见嵩门 U 谷的特征参数与世界典型冰川槽谷的深宽比参数一致。在 U 谷内的玉女桥附近右岸岩壁上,可以见到多条平行的冰川擦痕。

2.3 三公石冰碛垄槽序列的特征

法王寺冰川体系的末端,在三公石一带发育冰碛垄槽序列。三公石垄槽序列中(图 2e),尤其以柏树林西沟(实为冰川内槽)两侧的冰碛巨垄特征最为明显(图 3a),侧碛垄呈垄状对称分布在沟谷(内槽)的两侧,由于冰碛堆积区地势向东侧缓倾斜的缘故,左岸(东岸)冰碛垄的规模明显大于右岸冰碛垄。左岸垄长 750 m,宽 50~80 m,内侧较陡,外侧平缓,高出内侧谷底 8~13 m(图 3a)。



a—三公石侧碛垄体,呈南北向延伸,镜向东;b—三公石侧碛垄,冰碛呈无层理、大小混杂状堆积特征;c—三公石冰碛垄冰碛表面新月形断口;d—光释光样品(SS01)采样位置。

图 3 嵩山三公石侧碛垄及冰川遗迹图

垄体由典型的砾石、砂、黏土组成,呈红褐色(图 3a、图 3b)。冰碛剖面呈大小混杂无层理堆积(图 3b),砾石主要由上游嵩山群石英岩组成,砾径大小不一,多在 20~40 cm,少量可达 3~5 m。砾石中有少量花岗岩质砾石,但高岭土化严重,锤击即粉化。冰碛垄中零星分布着巨大的冰川漂砾,漂砾直径一般在 1~2 m,个别可达 4 m,巨型漂砾的表面可见到清晰的新月形断口(图 3c)。三公石景点,即为三块巨大的冰川漂砾构成。

表 1 嵩山冰碛光释光样品测年结果表

样品编号	采样位置	坐标	U/ ($\mu\text{g/g}$)	Th/ ($\mu\text{g/g}$)	K/%	质量含 水量/%	等效剂 量/Gy	年龄/ ka	误差/ ka
SS01	三公石垄槽序列	35°05'13.24" 116°12'13.71"	2.02	9.49	1.64	10.13	43.84	14.1	1.18

测试单位:自然资源部海洋地质实验检测中心,2023 年。

根据冰碛垄槽序列的堆积规律分析^[21],其下游一系列规模较小的对称侧碛垄的形成时间大约为蒙山冰期,三公石所处的巨型对称侧碛垄(图 3a、图 3b)则为东山冰期的产物,在三公石东侧柏树林中的多列侧碛垄,应为中更新世诸冰期的产物,有待进一步的测年研究确定。在上游峻西冰斗嵩门 U 形谷的出口右岸,分布有一条长 300 m,宽 8~20 m 的巨石垄,巨石垄高 3~5 m,巨石叠置,其间缺少细粒充填物(图 2c),特征与蒙山拦马墙巨石垄极为一致,据此初步分析应为距今 8.2 ka 左右的拦马冰期时形成的冰上融出碛侧碛垄,由于受到沟谷两岸坡度的影响,在凹岸形成的单侧冰碛垄。

3 结论

经过调查研究与综合分析,可以得到以下几项新的认识:

(1)嵩山峰顶弧边三角脊、峻西冰斗、嵩门 U 形谷均具有典型冰蚀地貌特征,无论冰斗的平坦指数,还是 U 谷的深宽比,均在典型冰川遗迹的参数范围之内,这些都彰显了嵩山曾经经历了冰川侵蚀作用。

(2)嵩山三公石冰碛垄槽序列的发现,无论从平面展布形态,还是剖面堆积特征,都反映出其与泥石流堆积扇具有显著的差别,表现为冰川作用的产物,这进一步佐证了嵩山及我国东部中低山区曾经广泛发育第四纪冰川作用的事实。

(3)根据测年结果与冰碛分布特征,嵩山海拔 900 m 位置及以上区域,存在全新世冰川堆积形成的侧碛垄,堆积特征与山东蒙山拦马墙冰川堆积体

任何冰川遗迹都具有时代属性,有着确定的形成时间,这个时间就是冰期^[18]。为了确定嵩山三公石冰碛垄槽序列的堆积时间,在上游冰碛垄中采集了一件光释光样品(编号 SS01)(图 3d),其原理是光激发晶体自最后一次埋藏所积存的电离辐射并让其释放^[19]。经测试获得年龄为距今(14.1±1.18)ka(表 1),大致对应于新仙女木降温事件。王照波等^[20]曾在蒙山兰溪峡谷中的一列侧碛垄中也获得了新仙女木降温期的冰碛堆积年龄数据。

具有一致性。

致谢:本次样品测试由自然资源部海洋地质实验检测中心完成。本文得到正高级工程师王照波老师在领域前沿上的点拨与指导,在此表示深深的谢意!

参考文献:

- [1] 张建伟,郭秀岩,申卫星,等.泰山地区第四纪冰川探讨[J].山东国土资源,2011,27(4):12-14.
- [2] 奥斯特.秦岭中段现代和古代冰缘:冰川地貌特征[J].西安工程学院学报,1994(2):39-49.
- [3] 李四光.冰期之庐山[M].南京:中央研究院地质研究所专刊乙种 2 号,1947:1-27.
- [4] 李四光.中国第四纪冰川[M].北京:科学出版社,1975:1-82.
- [5] 王照波,卞青,李大鹏,等.山东蒙山第四纪冰川组合遗迹的发现及初步研究[J].地质论评,2017,63(1):134-142.
- [6] 王照波,张剑,王江月,等.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[J].地质论评,2017,63(3):694-697.
- [7] 王照波,王江月,冯金华,等.山东蒙山全新世冰川遗迹的发现及确认:来自宇生核素年龄证据[J].山东国土资源,2018,34(6):1-7.
- [8] WANG Z B, WANG J Y, HE L L, et al. Glacier Relics of the Last Glacial and Holocene Periods Discovered in the Middle-low Mountains of Eastern China: Sedimentary Sequences and Environmental Evolution of Mengshan Mountain in Shandong Province since 80 ka[J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 2020, 94(1): 141-151.
- [9] 王照波.中国新生代冰川与环境演化[M].北京:地质出版社,2021:1-133.
- [10] 程胜利,劳子强,张翼.嵩山地质博览[M].北京:地质出版社,2003:189-195.

- [11] 嵩山世界地质公园(中国·河南)[J].资源与人居环境, 2021(10):82.
- [12] 王照波, 王江月, 何乐龙, 等. 山东蒙山九龙潭冰川堆积“垄槽序列”的特征及演化过程研究: 兼论冰川、泥石流堆积序列的差异性[J].地质力学学报, 2021, 27(1): 105-116.
- [13] 王照波, 王江月, 田晓明. 冰蚀三角脊链的发现及其在地貌演化研究中的意义[J].华东地质, 2021, 42(3): 279-285.
- [14] 王照波. 中国新生代冰川与环境演化[M].北京:地质出版社, 2021.
- [15] 王照波, 王江月, 王全义, 等. 豫西甘山第四纪冰斗系统的发现及其与 MIS 的耦合关系分析[J].山东国土资源, 2018, 34(7): 1-7.
- [16] 张威, 闫玲, 崔之久. 山地冰川冰斗发育的控制因素与气候变化[J].冰川冻土, 2008(2): 266-273.
- [17] 王乃昂, 戴霜, 张律吕, 等. 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[J].冰川冻土, 2017, 39(6): 1289-1297.
- [18] 王照波, 何乐龙, 张剑, 等. 山东中更新世以来冰碛年龄、雪线高程与气候演化: 以蒙山、崂山为例[J].山东国土资源, 2021, 37(2): 10-21.
- [19] 王江月. “寒亭组”是山东唐宋时期两期洪水的产物: 基于冰河沙带调查及光释光测年研究[J].山东国土资源, 2019, 35(7): 46-50.
- [20] 王照波, 王江月, 孟庆瑞, 等. 山东蒙山拦马墙全新世复合冰川堆积体的发现与测年: 兼论冰川堆积的对称性及其成因[J].东华理工大学学报(自然科学版), 2024, 47(5): 421-430.
- [21] 王照波. 中国新生代冰川与环境演化[M].北京:地质出版社, 2021: 52-53.

Discovery and Dating of Glaciage Ridge Trough Sequence in Songshan in He'nan Province

LI Baojie¹, CHNEG Shengli², WANG Qingjun³, HE Lelong⁴, DING Zhihao⁵

(1. Pingyi Bureau of Natural Resources and Planning, Shandong Pingyi 273300, China; 2. Dengfeng Municipal Bureau of Natural Resources and Planning, He'nan Dengfeng 452470, China; 3. No.7 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Linyi 276006, China; 4. Qingdao Institute of Marine Geology of the Ministry of Natural Resources, Shandong Qingdao 266071, China; 5. Shandong Compass Mineral Exploration Limited Corporation, Shandong Linyi 276006, China)

Abstract: A complete glacier system has developed in Fawangsi temple in Songshan in He'nan province. It is consisted of Junxi Ice Dipper, Songmen U Valley, Jushi Ice Ridge in Holocene Longma Ice Age, and Sangongshi Ice Ridge sequence. Junxi cirque has typical characteristics of cirque. The flatness index F is 1.93, and typical cirque flatness index F is 1.7~5.0. The Songmen U Valley has the characteristics of a typical ice eroded U-shaped trough valley, with a depth to width ratio of 0.28~0.36., while typical glacier U Valley depth to width ratio in the world is 0.24~0.45. A giant stone ridge developed in Lanma Ice Age at the lower end of Songmen U Valley. Ice stained ridges are formed by stacked giant stones of different gravel diameters. Interval develop well, and lack in mud and sand filling between the intervals. Various glacier scratches are developed on the surface of giant rock, and giant stone ridge has the same accumulation characteristics as tMengshan Lanmatou wall. At the end of the development, there is a sequence of Sangongshi glacial ridges and grooves, and glacial ridges are symmetrically distributed. Due to the influence of the terrain in the accumulation area, the left ridge is more developed than the right ridge. The left ridge is 750 m long and 50~80 m wide, with a steep inner side and a gentle outer side, and is 8~13 m higher than the bottom of ice melting trough. The glacial ridge is composed of non layered and mixed sized gravel, with glacier scratches and new moon shaped fractures developed on the surface of giant boulders. Through photoluminescence dating, the accumulation age of a row of glacial ridges was obtained to be (14.1 ± 1.18) ka, corresponding to the cooling event of the new fairy tree

Key words: Glacial ridge; ridge groove sequence; photoluminescence dating; cirque; Songshan in He'nan province