

第四纪冰川遗迹

# 李四光，中国冰川之光

——兼论河北沙源岭冰川遗迹的特征、成因与时代

王照波<sup>1,2</sup>

(1.自然资源部金矿成矿过程与资源利用重点实验室,山东省金属矿产成矿地质过程与资源利用重点实验室,山东济南 250013;2.平邑县国有林场总场,山东临沂 273301)

**摘要:**1921年春夏之交,李四光先生在河北省沙河市沙源岭一带首次发现了古冰川遗迹,由此开创了我国冰川学的研究,此后我国东部第四纪冰川存在与否的争论延续了一个世纪。为了利用新理论、新技术进一步研究沙源岭的冰川遗迹,笔者多次对沙源岭进行了实地考察,并进行了光释光样品采集与测年工作。调查显示,沙源岭堆积体呈现大小混杂、无层理堆积特征,砾石成分复杂,呈棱角状、次棱角状。冰碛表面磨光面与各类擦痕发育,且存在典型的楔形擦痕,这些都属于冰碛堆积物的典型特征,为冰川作用的堆积遗迹,显示了李四光先生100年前的成因判断不存在误判,准确可靠。经对沙源岭的上游进行地貌调查,其上游以刘石岗为中心存在一个冰盖,其上遗存了大量“冰岛型”U谷。在沙河与马会河交汇部位的杏花庄存在典型的“北极型人字脊”,这都指示了沙源岭上游古老冰盖的存在。基于冰蚀地貌与山体隆升的研究结果,结合河北省地层多重划分对比研究结果,综合判断,沙源岭的冰碛堆积时间为渐新世早期,属于老府冰期的冰碛堆积残留。

**关键词:**冰川遗迹;冰川擦痕;冰盖;渐新世;沙源岭

中图分类号:P343.6

文献标识码:A

doi:10.12128/j.issn.1672-6979.2025.11.001

## 0 引言

1921年的春夏之交,李四光先生带领北京大学的学生在太行山东麓的白错盆地一带实习,当走过沙源岭(图1a)的时候,李先生基于在阿尔卑斯山冰川遗迹考察获得的相关知识,觉察到沙源岭一带的堆积物显示出冰碛物与冰川漂砾的特点,遂展开了进一步的调查工作,在砾石的表面发现了擦痕(图1b),基于调查研究撰写了一篇介绍沙源岭冰川遗迹的文章,于1922年1月发表在英国的《Geological Magazine》杂志上<sup>[1]</sup>。这是中国学术界发表的第一篇有关冰川遗迹的研究文章,由此开启了我国冰川学的新纪元。文章的结尾指出:“可以保证的说,我们现在对中国冰川或冰河的来源及其运动全无所知,任何为了搞清这个问题的尝试,必须在野外进

行。”1971年李先生去世后,科学出版社本着“为了便于我国广大地质、地理工作者了解中国第四纪冰川问题的认识过程,掌握冰川地质工作的特点”,原英文文章被译成中文,与《冰期之庐山》等共同结集刊印在《中国第四纪冰川》一书中<sup>[2]</sup>。

论文发表后,时任北洋政府农商顾问的瑞典地质学家安特生教授表示反对,但他解释不了擦痕的成因。如今已经一个多世纪过去了,但我国东部中低山区的冰川存在仍然受到一部分地理工作者的质疑。笔者撰写冰川专著《中国新生代冰川与环境演化》<sup>[3]</sup>时,文章涉及到我国冰川研究历史的追溯,遂于2021年4月实地考察了沙源岭的冰川遗迹,经调查发现,沙源岭的冰碛堆积具备冰碛堆积的一般特征,大小混杂,不显示层理,冰碛表面存在磨光面与擦痕,有些擦痕具备典型的楔形擦痕的特征。这些都表明,李四光先生当年对沙源岭冰川遗迹的成因

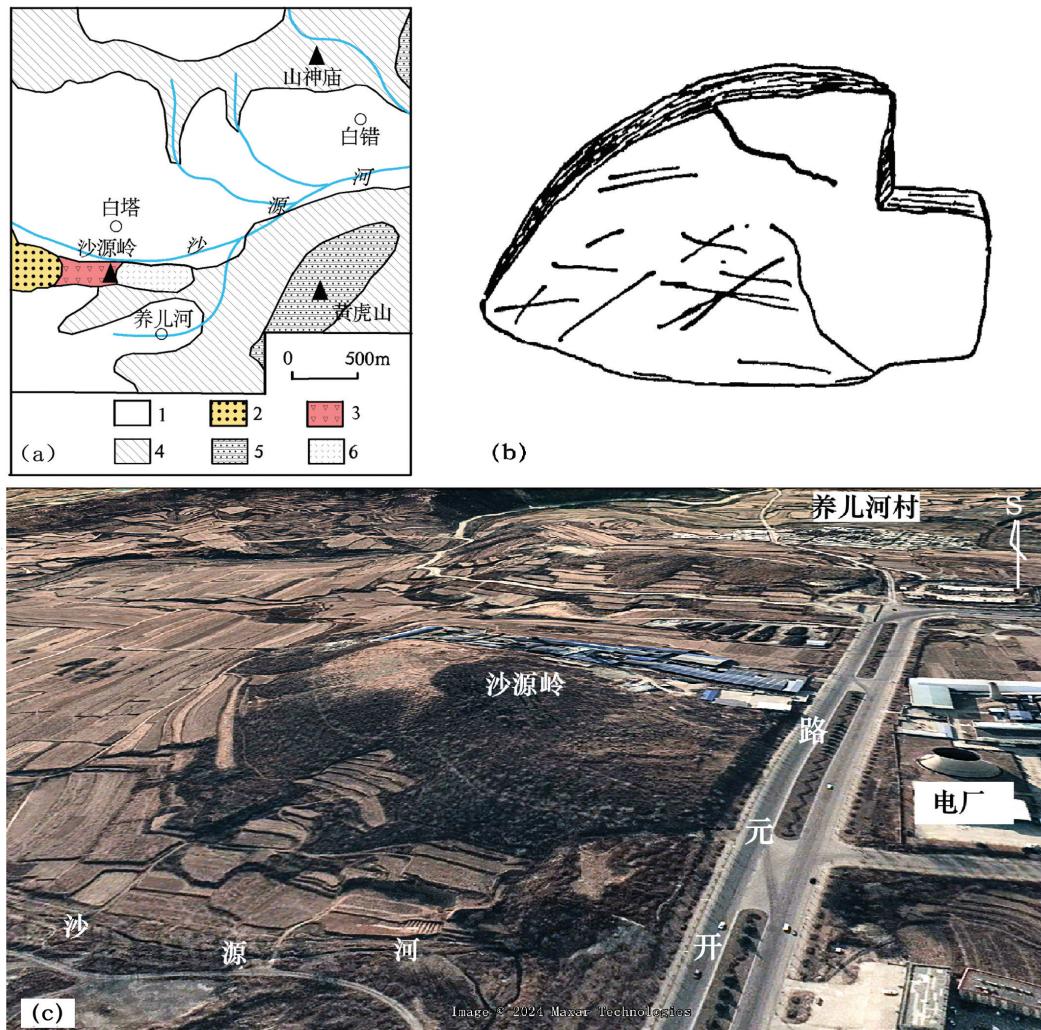
收稿日期:2025-06-18;修订日期:2025-07-17;编辑:王敏

基金项目:自然资源部金矿成矿过程与资源利用重点实验室,山东省金属矿产成矿地质过程与资源利用重点实验室开放课题“山东蒙山全新世冰川遗迹测年研究”(KFKT202121),及山东指南针矿产勘查有限公司“东亚冷槽追索计划”(20180101)

作者简介:王照波(1971—),男,山东平邑人,正高级工程师,主要从事金刚石地质、第四纪地质、古冰川与古环境演化、环境考古、山体隆升等研究工作;E-mail:13805498543@163.com

判断不存在误判，并且准确可靠。但由于沙源岭冰川遗迹不具备一般山谷冰川配套的地形地貌特征，也一直没有其堆积时代的相关研究，为了进一步认

识沙源岭冰川遗迹的特征、成因与形成时代，笔者于 2025 年 5 月再次对沙源岭及周边地区展开调查，并采集了光释光年龄样品。



a—沙源岭的位置(1—黄土;2—卵石砾石层;3—冰碛堆积;4—煤系页岩;5—砂岩;6—闪长岩)<sup>[2]</sup>;b—沙源岭冰碛表面的擦痕(原石大小 120 cm×70 cm)<sup>[2]</sup>;c—沙源岭及周边地貌特征(据 Google earth)。

图 1 沙源岭的位置及地貌特征

## 1 沙源岭冰川遗迹的特征

沙源岭位于河北省沙河市白塔镇南 700 m(图 1a)<sup>[2]</sup>，海拔 180 m，沙源河的南岸。沙源岭呈北西南东向延伸，平面上呈椭圆形，山体浑圆(图 1c)，长轴剖面上，其上游坡度稍陡，下游坡度稍平缓，显示鼓丘特征。2008 年修筑的开元路从沙源岭西部穿过，因此在道路的东侧形成了清晰的剖面(图 2a、图 2b)。占剖面总长度 3/4 的北部为冰碛混杂堆积，底

部与南部为二叠纪石盒子组泥砂岩。北西坡被石英质卵石砾石所覆盖<sup>[2]</sup>。

冰碛由不同砾径的石块与泥沙质细粒物质大小混杂在一起，不显示层理，砾石直径 8~30 cm 者居多，也有少量大的漂砾点缀其间，直径可达 3~6 m，砾石以棱角状为主，少量为次棱角状。砾石岩性复杂，主要由石英砂岩、石英岩、辉绿岩、闪长岩、灰岩、泥灰岩等组成。主体不显示层理，仅在局部泥沙质较多的地段显示出弱的层理现象。

冰碛的磨光面上发育各式各样的擦痕,图 2c 显示出两组擦痕,擦痕具备细密、平直、近似平行的特征。有些冰碛磨光面发育,其上显示出典型的楔形

冰川擦痕特征(图 2d)。上述擦痕在四川海螺沟、山东蒙山等地冰碛表面也多为常见<sup>[4]</sup>。有些冰碛表面可以见到宽 3 cm、深 1 cm 的磨蚀槽。



a—开元路冰碛剖面北段(由中间向北拍摄);b—开元路冰碛剖面南段(由中间向南拍摄);c—冰碛表面的磨光面与平行擦痕;d—冰碛表面的磨光面与楔形擦痕。

图 2 开元路东侧沙源岭冰碛剖面与冰碛擦痕

## 2 沙源岭冰川遗迹的成因

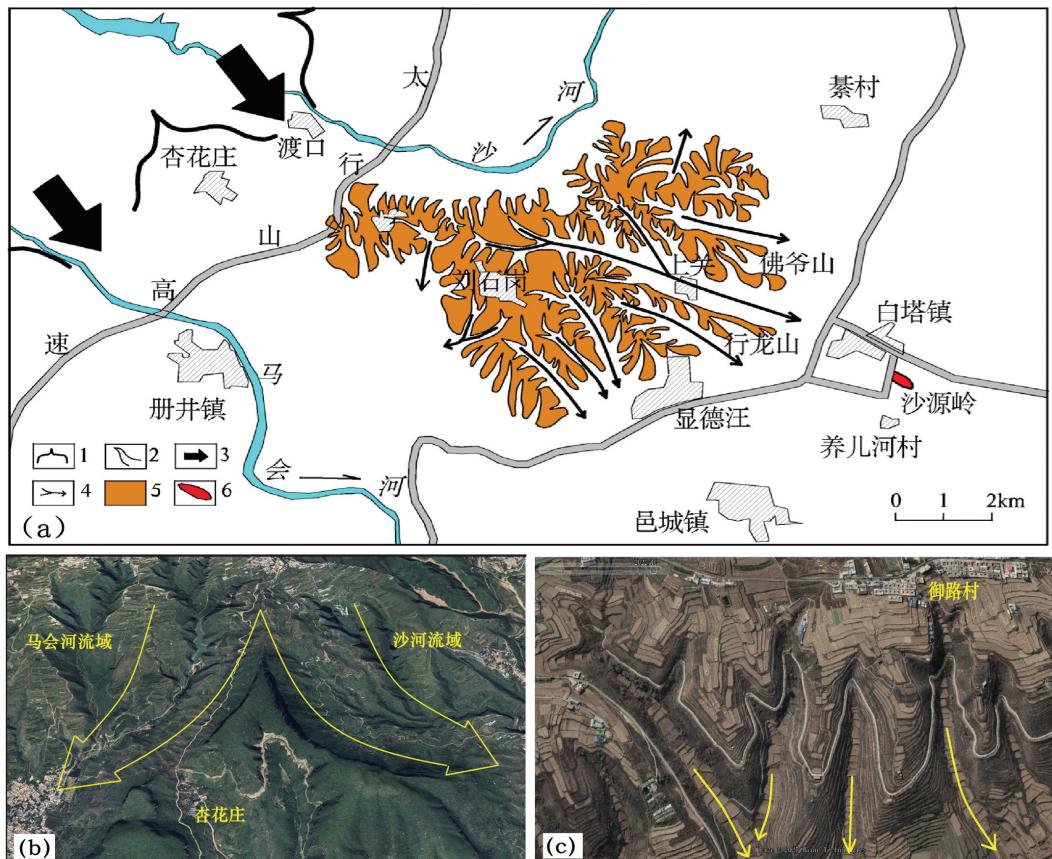
沙源岭冰碛堆积体孤零分布在太行山的东麓,距离西侧太行山山谷冰川地貌发育区 17 km(图 3a),附近没有与之配套的山谷冰川形成的 U 谷、冰斗、弧边三角脊等,所以沙源岭冰碛堆积并非典型的山谷冰川产物。沙源岭西侧为行龙山与佛爷山,沙源河从行龙山与佛爷山之间流过,沙源岭则在行龙山向下游的延伸方向上。

沙源岭西侧的地势呈西高东低的缓倾斜台地,台地以刘石岗村为中心(图 3a),向四周倾斜,谓之“刘石岗台地”。刘石岗台地东西长 8.5 km,南北宽 8 km,北侧为沙河,南侧为马会河。台地基底主要由寒武奥陶纪马家沟群的灰岩构成,上覆卵石砾石堆积,表层为更新世黄土覆盖。卵石砾石沉积的灰

岩面并不平坦,根据以往钻探剖面资料,显示基岩面上存在 U 谷的特征<sup>[5]</sup>。基底灰岩,如御路村以东,新庄村以北一带为灰岩出露区,这些奥陶纪灰岩中发育冰岛型 U 谷。基岩上的卵石砾石层,其面上也都发育了典型的“冰岛型 U 谷”(图 3a、图 3c)。冰岛型 U 谷因首先发现于冰岛冰原遗迹分布区( $65^{\circ}25'02.87''N, 17^{\circ}42'16.52''W$ )而得名<sup>[3]</sup>,冰岛型 U 谷表现为发源端细尖如牛角,向下游逐渐变宽,且转弯舒缓,不受岩性与构造的影响,与流水冲蚀作用形成的河谷凹凸岸之间存在本质差别,河谷谷底最低点连线偏向凹岸,而冰岛型 U 谷的谷底最低点往往偏向凸岸,这与其形成的动力过程不同有关。冰岛型冰川 U 谷并非通常所见由于冰川溯源侵蚀而成的山谷冰川的 U 谷,而是冰盖冰川在缓倾斜的岩石层面上滑动,冰流对岩石表面长期刻蚀、逐渐扩

展而成。由此分析,这里曾经存在一个小型的冰盖,也即“刘石岗冰盖”。这也解释了周慕林(1983)曾在

后坡村、岗治、西苏村等地见到砾石压入基岩,也发现有压坑石的现象<sup>[5]</sup>。



a—沙源岭上游冰盖地貌及冰流方向(1—北极型人字脊;2—冰岛型U谷;3—太行山大冰盖流向;4—刘石岗冰盖冰流流向;5—刘石岗冰盖范围内的红土卵石砾石分布区;6—沙源岭冰碛);b—杏花庄“北极型人字脊”;c—刘石岗台地上的“冰岛型U谷”(图中箭头均示冰盖流动方向)。

图 3 沙源岭上游的冰盖侵蚀地貌

由刘石岗台地向西,在沙河河谷与马会河河谷的交汇处,也即杏花庄西山,遗留有一处典型的“北极型人字脊”(图 3a、图 3b),北极型人字脊( $79^{\circ}02'43.45''N, 92^{\circ}01'45.92''W$ )<sup>[3]</sup>是由于首次在北极冰原发育区发现而得名,是巨大的冰盖冰流流动过程中,对前方阻挡的山体强有力的刻蚀而成。刘石岗台地北侧的沙河河谷与南侧的马会河河谷,均为太行山大冰盖向下游延伸的巨型冰川流通通道(图 3a)。

沙源岭的上游基岩与卵石砾石层统一形成了一套冰岛型 U 谷体系,表明刘石岗台地上卵石砾石层沉积之后曾经发生过冰盖作用的事实。沙源岭表现出椭圆形的鼓丘地貌与上游“冰岛型 U 谷”“北极型人字脊”等冰盖侵蚀地貌之间存在成因上的一致性。

### 3 沙源岭冰碛遗迹的形成时代

#### 3.1 基于冰蚀地貌与山体隆升关系的分析

根据冰蚀地貌与山体隆升过程的研究<sup>[6]</sup>,杏花庄(图 3a)一带人字脊背部的冰蚀地貌为东平期冰蚀夷平面(M0),形成时代为渐新世早期 Oi 全球变冷事件。人字脊下部的冰蚀夷平面为太行期冰蚀夷平面(M1),形成时代为中新世早期 Mi 全球变冷事件。综合分析,沙源岭冰碛为渐新世 Oi 降温事件冰盖堆积的产物,而刘石岗冰盖遗迹、沙源岭及卵石砾石层的鼓丘化,则为中新世早期 Mi 全球变冷事件的产物。卵石砾石层必然早于 Mi,晚于 Oi,且为湿热时段的产物,因此卵石砾石层为晚渐新世暖期洪

水的产物。沙源岭冰碛被卵石砾石层所覆盖,故其形成时代则为早渐新世冰盖冰川的冰碛堆积,为老府冰期的产物。

### 3.2 区域地层综合对比分析

沙源岭冰碛堆积体的西端被卵石砾石层所覆盖<sup>[2]</sup>。说明沙源岭冰碛堆积时间早于卵石砾石层。所以这套卵石砾岩的形成时代则至关重要。

卵石砾石层在太行山东麓广泛发育,砾石成分较为均一,主要由震旦系石英岩、石英砂岩组成,磨圆度较高,直径也较为均匀,多在 15 cm 之下,剖面上可见到沿长轴排列现象,显示出斜层理特征。其特征与沙源岭冰碛堆积体(图 2a、图 2b)之间具有明显的差别。这套砾岩在太行山东麓广泛分布,王竹泉(1927)称之为灵山砾岩<sup>[7]</sup>。候德封(1930)首次指出武安、磁县等地的“红土砾岩”为第三纪沉积物<sup>[7]</sup>。周聘渭等(1981)<sup>[8]</sup>对该区红色黏土砾石层进行了孢粉研究,得出的结论是温暖的气候环境,甚至是湿热气候条件下与水流有关的沉积。但对于该砾石层的形成时代归于早更新世为宜,同时也指出,由于缺乏年代资料等,对其时代归属,尚待进一步研究。但周聘渭等(1981)将李四光先生确定的沙源岭冰碛堆积与这套洪水堆积的“红色黏土砾石层”混淆在一起了<sup>[8]</sup>。河北省地质矿产局(1996)根据“全国地层多重划分对比研究”项目编制《河北省岩石地层》<sup>[7]</sup>过程中对相关地层进行了清理,将其确定为“灵山组”,根据其层中所含孢粉综合特征,裸子植物平均含量为 26.5%,草本植物平均含量 29.2%,木本植物孢粉平均含量为 34.4%,以 Polypodium, Pelaginella, Dryophyta, Ginkgo, Picea, Pinus, Juglans, Betula, Quercus, Ulmus 等居多,为温带落叶阔叶类为主,并含有相当数量的亚热带常绿植物的分子,得出气候为湿热特征。在结合了下伏地层的沉积关系后综合认为灵山组形成时代可能为渐新世,但不排除上部有中新世的可能。基于沙源岭冰碛被卵石砾石所覆盖,由此分析沙源岭冰碛的堆积时代也为早渐新世<sup>[7]</sup>。

### 3.3 光释光测年

在沙源岭北壁剖面采集了两个光释光样品,样品编号分别为 SYL01, SYL02, 由中国地质大学(北

京)光释光实验室测试,但由于样品实际年龄超出测试范围,没有获得有效年龄。

## 4 结论

基于上述研究,得到如下几点认知:

(1) 沙源岭冰川堆积,无论从堆积物特征上,还是冰碛擦痕上,都指向冰川成因,这表明李四光先生 100 年前首次发现、确定的冰川遗迹准确可靠,不存在所谓的误判与争议。沙源岭作为我国冰川学研究的肇起之地名至实归。

(2) 根据地貌特征,沙源岭上游存在典型的北极型人字脊与冰岛型 U 谷,表明沙源岭上游曾经存在冰盖作用,由此推断沙源岭冰碛为冰盖冰川作用的终碛残留。

(3) 根据冰蚀地貌与山体隆升过程的研究,沙源岭冰碛堆积对应于渐新世早期的 Oi 全球降温事件,沙源岭的鼓丘化对应于中新世早期的 Mi 全球降温事件,覆盖沙源岭冰碛的卵石砾石层的形成时间对应于 Oi 与 Mi 之间的晚渐新世大暖期。这与河北省地层多重划分对比研究的结果一致。

**致谢:**项目野外调查与稿件撰写过程中,得到河北邢台地震研究所袁小沼研究员、河北省地质矿产勘查开发局第九地质大队高玉麟研究员、中国地质大学(北京)李琰教授的帮助与支持,在此仅表感谢!

## 参考文献:

- [1] LEE J S. Notes on traces of recent ice action in northern China [J]. Geol. Mag. (London), 1922, 69(59): 14–21.
- [2] 李四光. 中国第四纪冰川 [M]. 北京: 科学出版社, 1975: 1–7.
- [3] 王照波. 中国新生代冰川与环境演化 [M]. 北京: 地质出版社, 2021: 1–26.
- [4] 王照波, 王江月. 山东蒙山与四川海螺沟冰川擦痕特征对比及成因分析 [J]. 山东国土资源, 2019, 35(6): 11–18.
- [5] 周慕林. 太行山东麓第四纪冰期: 纪念王曰伦教授 [J]. 中国地质科学院天津地质矿产研究所所刊, 1984(7): 49–66.
- [6] 王照波, 徐衍明, 王燕燕, 等. 30Ma 以来华北山体隆升过程与地貌分期: 兼论冰蚀作用与山体隆升间的耦合关系 [J]. 山东国土资源, 2025, 41(11): 14–21.
- [7] 河北省地质矿产局. 河北省岩石地层 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996: 118–122.
- [8] 周聘渭, 任振纪. 太行山东麓白错盆地晚新生代地层划分及孢粉组合 [J]. 河北地质学院学报, 1981(2): 86–95.

# LI Siguang is the Luminary of China's Glaciology

## —Characteristics, Genesis and Age of Glacial Relics in Shayuanling Area in Hebei Province

WANG Zhaobo<sup>1,2</sup>

(1.Key Laboratory of Gold Mineralization Processes and Resources Utilization, Ministry of Land and Resources, Shandong Provincial Key Laboratory of Metallogenic Geological Process and Resource Utilization, Shandong Jinan 250013, China; 2.Pingyi County State owned Forest Farm, Shandong Linyi 273301, China)

**Abstract:** At the turn of spring and summer in 1921, ancient glacier relics in Shayuanling area of Shahe city in Hebei Province was first discovered by Mr. Li Siguang. The study of glaciology in China has been initiated. Since then, the debate on the existence of Quaternary glaciers in eastern China has continued for a century. In order to further study glacial relics of Shayuanling, field investigations, sample collection and dating work have been carried out. It is shown that accumulated bodies in Shayuanling area have the characteristics of mixed size and non layered accumulation. Gravel composition is complex, with angular and sub angular shapes. The polished surface and various types of scratches on the surface of glacial moraine are developed, and there are typical wedge-shaped scratches, which are typical characteristics of glacial deposits. They are remnants of glacial processes. It is indicated that genesis judgment 100 years ago presented by Mr. Li Siguang's was accurate and reliable, without any misjudgment. According to geomorphological survey of the upper reaches of Shayuanling area, it was found that there is a small ice sheet centered around Liushigang, and a large number of "Icelandic style" U valleys remain on it. At the intersection of Shahe River and Mahui River, there is a typical "Arctic shaped zigzag ridge" in Xinghuazhuang. They indicate the existence of ancient ice caps in the upper reaches of Shayuanling. Based on the research results of glacial landforms and mountain uplift, combining with comparative study of multiple stratigraphic divisions in Hebei province, it is judged that glacial moraine accumulation time of Shayuanling is in early Oligocene. It belongs to residual glacial moraine accumulation of Laofu Ice Age.

**Key words:** Glacial relics; glacial striations; ice cap; oligocene; Shayuanling area