

# 冰筏沉积与古气候、古地理

杜小弟 王璞瑛

(长春地质学院能源系)

冰筏沉积 (ice-rafted deposits) 作为一种古气候、古地理再造的有效记录, 在欧洲和北美已有许多研究, 而在我国研究较少。本文为作者在查阅国外有关冰筏沉积文献基础上, 对冰筏沉积做一综述, 以期引起广大沉积学同行的注意。

## 一、冰筏沉积的研究历史及现状

对冰川作用的研究, 始于 1840 年, 地质学家们在试图解释覆盖于北欧、英格兰及北美等地的巨厚大陆冰川时开始了冰川作用的研究, 提出了冰川作用的理论。冰筏作用是冰川作用中的一种特殊类型。早在 1842 年, 英国地质学家 Charles Darwin 在研究 Tierra del Fuego 东部地区冰川时就认识到其中的冰筏沉积, 并且总结了冰筏形成的两种作用, 即入海的冰体破碎形成和入海河流的表面结冰所致。继 Darwin 之后, Phillipi (1912)、Kindle (1942)、Bramlette and Bradley (1940)、Menard (1953)、Carey and Ahmad (1960)、A. Thomas Ovenshine (1970)、Bruce F. Melnia and James R. Hein (1982)、G. E. Reinson 巨 P. S. Rosen (1982)、L. A. Francis and J. E. Francis (1988) 等都在冰筏沉积方面做了大量工作。他们相继在前苏联的堪察加半岛与西西利亚之间的 Oloy 海槽、Verkhoyansk 地区及 Nera-kolyma 地区 (中侏罗—中白垩)、加拿大的 Sverdup 盆地、Spitsbergen 地区、阿拉斯加北部的 Brooks Range (下白垩)、新英格兰 (美国)、澳大利亚中部的 Eromanga 盆地发现了冰筏沉积。

纵观国外对冰筏沉积的研究, 具两个显著特点: 其一, 尽管对冰筏沉积进行了大量研究, 但冰筏对沉积物的搬运、沉积机理和鉴别特征尚不完全清楚; 其二, 目前的研究多限于对现代冰筏作用的研究, 且研究较好, 对古代地层中的冰筏沉积研究较差。其原因可能为: 古代地层中的冰筏沉积物量相对较少, 以及海水、湖水的改造和重力流作用、成岩作用、变质作用与构造变动等因素的影响, 常难以识别。

## 二、冰筏对沉积物的搬运、沉积机理

### 1. 冰筏沉积的分布与形成条件

冰筏作用多发育于海洋和湖泊环境中。从空间分布上看, 绝对多数的冰筏沉积发育在

高纬度地区(纬度在 $60^{\circ}$ 以上),少数在中低纬度区(最低达 $35^{\circ}$ )。从时代上看,从寒武纪至新生代的大部分时期均有冰筏沉积发育,只有少数时代尚未发现(图1)。但这并不意味着这些时期内没有冰筏沉积,而是由于我们尚未发现。从气候条件上看,冰筏沉积主要发育于高纬度寒冷气候条件下,但在中低纬度气候较温暖的条件下也可发育,这是由于季节性的气候变化,如冬季结冰或是由于地形高差变化引起的气候分带,在高度达到一定程度时便可形成高山冰川。

由上可知,冰筏沉积的发育与否取决于三个主要条件:纬度条件、气候条件和地形条件。

## 2. 冰筏的搬运与沉积机理

### (1) 冰筏的形成

从规模上看,冰筏大小不一,大者长宽可达几百英尺(A. Thomas Owenshine, 1970),其形成作用主要有三种:其一,极地冰川在上部积雪的压力和在自身重力的作用下,顺地面斜坡由高处向低处缓慢流动,逐渐接近海洋或湖泊区,最后伸入到海洋或湖泊中破碎形成;其二,入海、湖支流表面结冰而形成;其三,在中低纬度区,由于地形高差引起气候分带,在高山区形成高山冰川,由山间河流搬至湖泊或海洋中形成。

### (2) 冰筏对沉积物的搬运作

冰筏对沉积物的搬运方式有两种:一是沉积物位于冰筏表面进行搬运,冰川在由高处向低处缓慢流动过程中,由于其对流经地区巨大的刨蚀作用,使岩石破碎,落于冰体上,或当冰体在滨海或湖区时,由风将沉积物吹至冰体表面,或块体流动将沉积物搬至冰体上形成;二是沉积物包裹于冰筏内进行搬运,这是冰川在流动过程中形成的岩石碎屑在冰水作用下冻结在冰体内,或海、湖岸线地区结冰时,将沉积物冻结至冰体内,且沉积物多集中于冰筏底部。

### (3) 冰筏的沉积机理

不同的搬运方式其沉积作用是不同的。堆积于冰筏表面上的沉积物的沉积作用有三种情况:(a)因冰筏的倾斜作用、破碎及翻转时,使沉积物发生沉积,这是最重要的冰筏沉积作用;(b)由于冰筏表面的融化作用,造成起伏不平的表面,使得饱含水的沉积物变得不稳定,在重力作用下发生滑塌,流动而脱离冰筏表面;(c)因冰筏表面融化水作用形成水槽,细粒沉积物顺着水槽以悬浮形式被搬离冰筏表面(A. Thomas Owenshine, 1970)。位于冰筏内部的沉积物则因冰筏融化使沉积物散落于海洋或湖泊中。

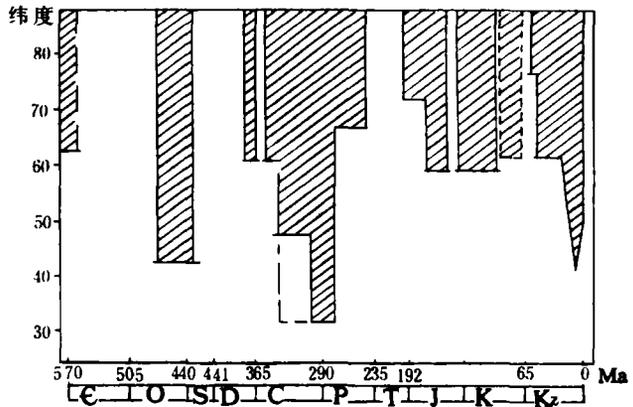


图1 显生宙冰筏沉积的古纬度与时代的关系

Fig. 1 Relationship between the palaeolatitudes and ages of the ice-rafted deposits throughout the Phanerozoic

### 三、冰筏沉积的鉴别特征

尽管冰筏沉积受到后期多种因素的改造变得不易识别，然而通常可以下列几个方面来进行识别。

#### 1. 冰筏沉积的野外产出状态

冰筏沉积在地层中常呈孤石产出或沿层理散布或聚集成窝状产出，且粒度上要比其周围正常的海、湖相沉积要粗得多，如澳大利亚中部 Fromanga 盆地的 Bulldog 页岩中由冰筏形成的火山岩砾石粒径达 3m (L. A. Frakes 和 J. E. Francis, 1988)；另外如正常海、湖沉积的纹层状岩层，冰筏沉积的砾石可穿透或撞弯下伏纹层，在差异压实作用下，围绕砾石的纹层被挤在其周围 (图 2)，这些是鉴别冰筏沉积野外产出的最好特征。

如果在正常海、湖相泥岩沉积中含有巨大的外来砾石，这在水力学上是矛盾的，其解释只能有两种：一是泥石流等重力流或其它高能流体将砾石搬至盆地内，二就是冰筏作用成因。若是重力流或其它高能流体成因，必然要对下伏地层产生冲刷，故底部应具冲刷面，向上应发育粒序层理及相应的特征层理和构造组合，在空间上应有分布范围较广的粗粒沉积。若是冰筏成因，则不具冲刷面及相应层理和构造组合。同时冰筏沉积砾石是由于冰筏翻转、融化等作用下垂直落至海、湖沉积物中的，必然出现穿透或撞弯下伏纹层的现象。这在鉴别时应特别注意。

#### 2. 碎屑颗粒(砾、砂级颗粒)表面特征

用肉眼或放大镜可发现冰筏沉积形成的砾石表面常具冰川擦痕和冰蚀痕，常见为亚平行一杂乱擦痕、颤动擦痕、放射状裂缝和新月形冰刻槽 (图 3)。砾石多呈五边形或馒头状。砂

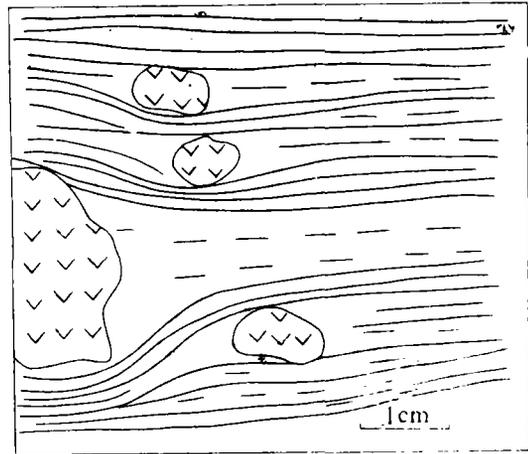


图 2 冰筏成因砾石撞弯下伏沉积纹层素描 (据 A. Thomas Ovenshine, 1970)

Fig. 2 Sketch of the beddings penetrated by ice-rafted boulders (after A. T. Ovenshine, 1970)

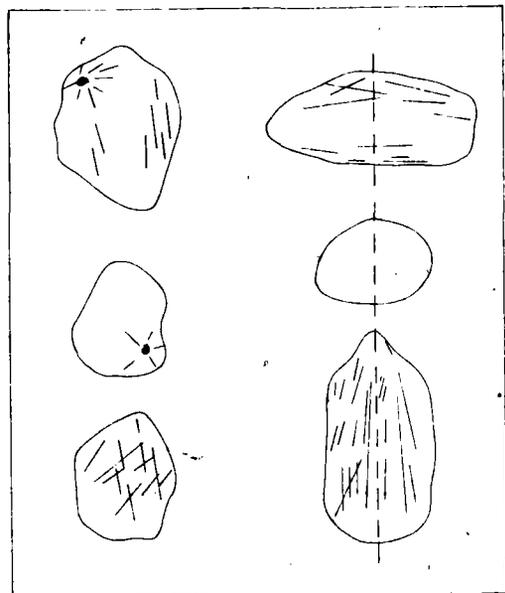


图 3 冰筏成因砾石的表面结构特征 (据 Pettijohn, 1957; Flint, 1971)

Fig. 3 Surface texture of the ice-rafted boulders (after Pettijohn, 1957 and Flint, 1971)

级颗粒表面的显微构造需在电子显微镜下观察,冰筏成因砂级颗粒表面有其特征显微构造:大小不一的贝壳状断口、高的表面起伏、亚平行阶步、弧形阶步、长短不一的平行擦痕、叠瓦状破碎特点、不规则的小型刻痕、柱状纹饰及颤动擦痕。

### 3. 沉积物形态特征

冰筏形成的沉积物大小悬殊,从巨大漂砾—细小粘土,碎屑颗粒多呈棱角状、分选差,粒度分布显示为在细粒沉积主体背景上,出现含量较大的粗粒沉积(图4)。

### 4. 成分特点

冰筏形成的砾石为外来岩屑,由冰川区带至沉积区,因此,二者在成分上绝然不同。冰筏成因的砂岩常富含新鲜长石、高的长石/石英比值及碳酸盐等不稳定的矿物,这是冰川发育区气候寒冷,以物理风化为主的物质反映。随着颗粒粒度大小的变化,其成分随之变化,当粒度变小时,岩屑和石英的含量减少而长石和重矿物含量增加。

Bruce F. Molnia 和 James R. Hein (1982) 在研究阿拉斯加地区大陆架时分析了 110 个样品后发现,冰筏发育区粘土岩的平均矿物组成为:高岭石十绿泥石占 61%,伊利石占 37%,蒙脱石占 2%。

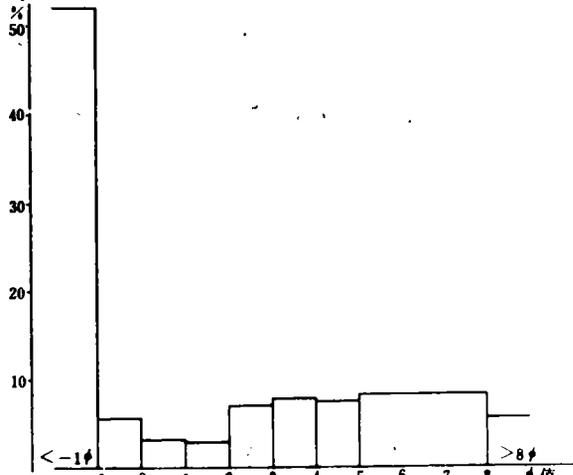


图4 长春市郊新城泉头组冰筏沉积粒度分布图

Fig. 4 Grain size distribution of the ice-rafted deposits in the Quantou Formation in Xinlicheng, Changchun

## 四、冰筏沉积的研究意义

冰筏沉积识别是我们进行古冰川研究、古气候分析、古地理再造及物源分析的重要手段,因而具有重要意义。

### 1. 古冰川、古气候研究方面

从现有资料看,在整个地质历史时期中,曾出现多次冰期,其中研究较好的是第四纪冰期,对时代较老的冰川事件研究程度很低。原因是第四纪冰川作用的证据和遗迹,如冰蚀谷、冰斗等冰川地形和冰碛岩保存较好,易于识别;而古代冰川由于遭受到漫长的风化剥蚀作用,经历了多次构造变动和变质作用,故在陆地上古冰川标志不易保存。多发育在海洋和湖拍环境中的冰筏沉积,它不仅是冰川作用的直接证据,而且容易保存,这就弥补陆地上冰川证据不易保存的不足。通过冰筏沉积的研究,可用于确定冰川发育时期、范围和重建冰川发育史,重塑地质历史时期的古气候。

### 2. 古地理再造方面

冰川类型可分为发育于高纬度区的大陆冰川和中低纬度区的山岳冰川。通过对冰筏作用的发育程度和分布范围及其它特征的研究,可区别上述两类冰川,并可正确再造地质历史时期沉积区的古纬度和空间分布特点及沉积区周边的地形起伏情况。作者在松辽盆地南

部的昌图县泉头镇、长春市郊新立城、九台营城子等处的泉头组沉积中发现了冰筏沉积。泉头组沉积时期为干旱炎热气候,推测泉头期松辽盆地西南、东南地区为高山地貌,发育了山岳冰川,使得包含或载有碎屑砾石的冰块以冰筏的形式,由山区河流搬至湖泊中形成冰筏沉积。“七·五”期间对松辽盆地岩相和沉积特征的研究,证明松辽盆地南部地区在泉头期存在有高山地貌(王东坡等,1989);另外泉头组地层中的孢粉组合也有力地证明了这一点。泉头组地层中的孢粉主要代表干旱炎热气候的希指蕨、克拉梭粉、麻黄粉等,但其中又出现了代表寒冷气候的冷杉、雪松粉,这种在同一层位中同时出现代表炎热与寒冷两种不同气候特点的孢粉共生现象似乎是矛盾的,然而它有力地说明了泉头期松辽盆地南部存在高差悬殊的地形起伏。由于地形的高差引起气候分带和植物分带,在高山区气候寒冷生长冷杉、雪松等喜寒植物;而平原区则生长希指蕨等植物,从而出现两种不同气候特点的孢粉共生现象。赵景波(1985)对长白山区研究发现,在海拔1000m以下是针叶、落叶和阔叶林混生区,1000—1800m为云杉、冷杉林,1800—2100m为亚高山矮曲林,2100m以上为高山冻原,并推测若长白山海拔再高500m左右就应有冰川出现。在泉头期松辽盆地南部所发育的山岳冰川,如果与松辽盆地处于同一纬度区的长白山进行对比,可知泉头期松辽盆地南部地区地势高差应在3000m左右。冰筏沉积对恢复沉积区古纬度及古地势起伏情况的作用应引起重视。

### 3. 物源分析方面

冰筏沉积物是冰川从其发育区搬至沉积盆地中的,故冰筏沉积物中的砾石和砂级颗粒的成分直接反映了冰川发育区母岩的岩石组合,根据成分特征可以恢复其大地构造位置和火山活动情况。

在本文写作过程中得到导师王东坡教授的诸多指导,深表谢意。

### 主要参考文献

- B. G. 里丁, 1986, 沉积环境和相, 科学出版社
- Frakes, L. A. and Francis, J. E., 1988. A guide to Phanerozoic cold polar climates from high-latitude ice-rafting in the Cretaceous. *Nature*. Vol. 333, No. 6173, pp. 547—549.
- Molnia, B. F and Hein, J. R., 1982., Clay mineralogy of a glacially dominated subarctic continental shelf, Northeastern gulf of Alaska. *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol. 52, No. 2, pp. 515—527.
- Ovenshine, A., 1970. Observations of iceberg rafting in Glacier Bay, Alaska, and the identification of ancient ice-rafted deposits. *Geo. Soc. of America Bulletin*, Vol. 81, pp. 891—894.

## ICE-RAFTED DEPOSITS: PALAEOCLIMATIC AND PALAEOGEOGRAPHIC RECORDS

Du Xiaodi      Wang Pujun  
(Changchun College of Geology)

### Abstract

Ice-rafted deposits as direct indicators for the existence of palaeoglaciation are very useful for the reconstruction of palaeoclimate and palaeogeography. Up to now very few studies about these deposits have been done in China. The authors here give an overview on the recent advances in our basic understanding of the ice-rafted deposits and their applications to palaeoclimatic and palaeogeographic studies, and then describe the Cretaceous ice-rafted deposits in the Songliao Basin, which were recognized for the first time by Prof. L. A. Frakes, Prof. Wang Dongpo and the authors.

In spite of being poor-studied on the whole, there are some criteria for identifying ice-rafted deposits, for example, the dropstone, cracks on grain surfaces, dramatic changes in grain size and the limited distribution in the strata.

By recognition of the ice-rafted deposits and comparison with those in modern environments, the authors have revised the reconstruction of the palaeogeography of the Songliao Basin during Early Cretaceous, which can reasonably explain the coexistence of warm climate sporo-pollens with the cold ones.

### 启 事

在广大读者的关心、支持和帮助下,经有关领导部门批准,《岩相古地理》从1993年起使用新刊号,仍为双月刊。在我们今后的工作中,将一如既往,坚持改革开放,坚持“面向经济建设”和“面向地质找矿”,坚持为生产、科研、教育第一线服务。总之,《岩相古地理》的办刊宗旨、方向、目的和任务不变。但是,为了适应新的形势,对来稿的处理和要求有局部的调整,特通告于下:

1. 从明年起,本刊将实行“原则上收取版面费”的规定,凡已投稿本刊而现还未刊出稿件的作者,均请与编辑部联系,说明稿件的处理方式,或收回原稿另投。

2. 为了保证刊物编辑质量,对来稿作如下规定:

(1) 来稿只附中文摘要,由编辑部负责按其原意翻译、编辑英文摘要。

(2) 来稿中的插图只需要附清楚的着墨底图即可,图中符号、文字及说明一律手写,由编辑部负责清绘。

3. 本刊一般不刊印图版,如作者认为非要不可,则与该图版(包括黑白、彩色)有关的一切费用均由作者自理。

以上启事,敬请所有关心和支持本刊的撰稿专家和朋友们予以体谅。

《岩相古地理》编辑部