

白垩纪红层冰筏沉积的古气候及古地理意义

王东坡 刘立

L. A. Frakes

(长春地质学院)

(澳大利亚阿德莱德大学)

[内容提要] 冰筏沉积是负载沉积物的冰块进入海洋或湖泊中,冰块融化沉积物坠落所形成的,它们可形成于高海拔具有明显气候垂直分带的低纬度地区或者是高纬度地区。我们在研究松辽盆地白垩纪古气候时,首次在泉头组红层中发现冰筏沉积。根据泉头组孢粉组合的研究表明,它们除了具有热带—亚热带植物的孢粉以外,还有少量喜冷分子混生现象。经研究这些矛盾现象,反映泉头组时期盆地外围地形高差大,形成明显的气候垂直分带现象,这是造成这些矛盾现象的主要原因。冰筏沉积的发现对松辽盆地古气候古地理的恢复皆具有十分重要的意义。

关键词 冰筏沉积 白垩纪红层 气候垂直分带 松辽盆地

1 引言

冰筏沉积是负载沉积物的冰块运移到海洋或湖泊中融化、被载沉积物坠落形成的^[1-4]。在正常细粒沉积层中,冰筏沉积呈孤石或聚集成小堆产出。它的形成主要受局部气候、地形等因素的控制。因此,一个地区冰筏沉积的存生,并不意味着存在大陆冰川环境。冰筏沉积的形成取决于地形、气候和纬度条件^[1,2]。根据其形成的纬度可分为两类:一类是在中低纬度地区地形高差造成的气候垂直分带,在高海拔处形成的冰块经山区河流筏运到沿海或湖泊,其上的负载物坠下来,其形成主要因素是地形的高差变化;另一类型的冰筏沉积则是形成于高纬度寒冷地区,在春夏之交冰块融化过程中将负载物沉积下来,其形成的主要因素是季节性的气候变化。

Frakes^[1,2]根据澳大利亚埃洛曼加盆地的白垩纪沉积层中砾石具有压弯下部层理、石英砂砾表面有冰川作用的擦痕等现象确定了澳大利亚早白垩世冰筏沉积的存在。此外他还根据沉积特征及孢粉资料,确证阿拉斯加 Brooks 山脉北部及新西兰等地均有冰筏沉积。Epshteyn^[5]研究表明,在堪察加和西西伯利亚之间的 Oloy 海槽、韦尔霍扬斯克地区和涅拉-科雷马河湖地区也均存在有冰筏沉积。全球已知的冰筏沉积主要分布于纬度为 60°—80°之间的中高纬度区(图1)。在显生宙时期,冰筏沉积可达纬度 35°左右的中低纬度地区^[2-4,6-8]。

1991年,我们在松辽盆地南部的新立城、辽宁省昌图镇附近的白垩纪红层中发现有为数不多的分散或成堆的砾石,经过粒度及孢粉统计、古地磁资料等综合分析,认为是一种在温热气候条件下的冰筏沉积物。这一发现对松辽盆地地区的古气候和古地理的研究均具有

①本文1995年6月1日收稿。

②参加本课题研究工作的还有张立平、高福红、计桂霞同志。

重要意义。

2 冰筏沉积特征

新立城泉头组第四段剖面为砖红色砾岩、砂岩、块状泥岩组成多个正旋回的河流沉积,顶部过渡为滨浅湖沉积。滨浅湖沉积以砖红色块状泥岩为主,其中有孤立的不规则分布的砾石或砾石小堆,砾石大小混杂、排列无序。特别是在砾石堆底部不具有底冲刷理象,砾石最大粒径达4cm,大部分为1.5—2cm,成分复杂,有硅质岩、花岗岩、安山岩及花岗质片麻岩等,磨圆度不等,呈次圆状或棱角状,砾石表面可见少量擦痕。根据砾石成分判断,显然是来自盆地外围山区。为了研究湖相泥岩中砾石的成因,选择湖相泥岩有代表性的样品进行了筛析和沉速分析。粒度分析结果表明,湖相泥岩具有双峰分布的特征,砂级颗粒含量很少,表明砾石与粘土两极共生(图2)。

这种砾石与粘土两极共生的现象在水力学上是矛盾的,其解释理由只有两种:一是由重力流搬运至盆地内形成的;二是冰筏沉积。若是高能泥石流搬运的砾石,必然对下伏地层产生强烈的冲刷,并形成底部具有冲刷面和具递变层理的砾石层,而在本区砾石堆底面则不具冲刷面及相应粒序层理。此外,高密度流沉积的砾石表面擦痕常与撞击坑密切伴生,因为泥石流砾石在其运动过程中可发生多次突然猛烈的撞击,形成大量撞击坑,这在冰筏沉积中很难找到^[12]。

本区泉头组湖相红色泥岩中砾石既不同于洪水流、重力流沉积,也不同于颗粒流、碎屑流的沉积。

3 孢粉分析

根据资料^[12-16]统计,泉头组孢粉组合的显著特征是以松粉和内环粉为主,裸子植物和

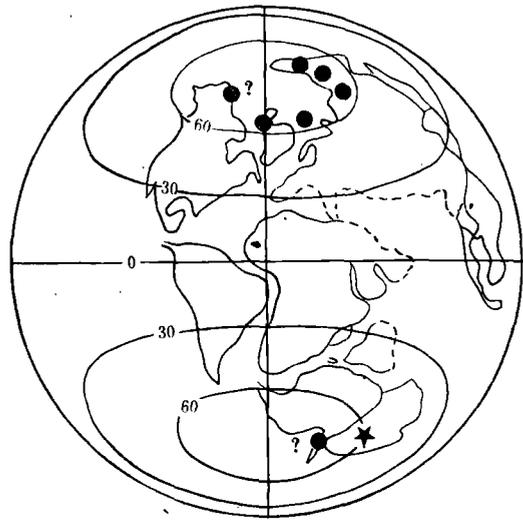


图1 早白垩世全球冰筏沉积分布图
(据 L. A. Frakes 和 J. E. Francis, 1988, 补充)
星号代表 Eromanga 盆地的冰筏沉积

Fig. 1 Global distribution of Early Cretaceous ice-rafting deposits (after L. A. Frakes and J. E. Francis, 1988)

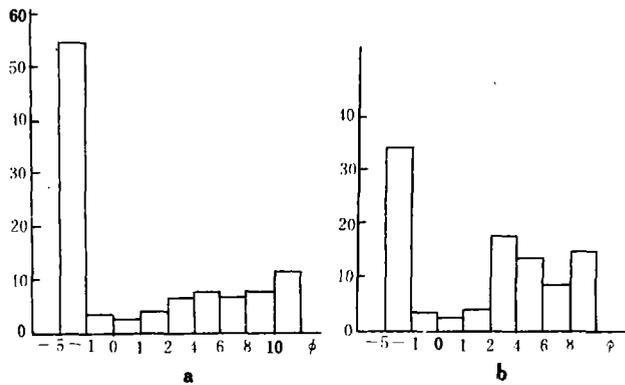


图2 泉头组湖相泥岩粒度分析图
Fig. 2 Grain size distribution of the lacustrine mudstones in the Quantou Formation

蕨类植物交替占优势。裸子植物花粉中与柏科有关的无口器粉含量高达 21% (扶余一孔), 特别是松科花粉中有少量喜冷的云杉、雪松粉(图 3)。蕨类孢子中以桫欏科、海金砂科的无突肋纹孢、希指蕨孢为主, 此外有少量的石松、卷柏、紫萁孢, 被子植物花粉含量 7%, 说明当时湖泊区的古气候条件是以亚热带气候为主。对古气候再造来说, 孢粉资料是很重要的依据, 它能反映出古植物群落的面貌与分布特征。

从以上孢粉组合可以看出, 云杉、雪松等少量喜冷分子与热带、亚热带的桫欏科、海金砂科和亚热带—暖温带的苏铁类孢粉混生。显然, 在一般情况下这些生态条件不同的植物不可能共生, 但根据现代植物垂直分带现象和气象条件可以解释这一现象。

高大山脉影响着陆上气候带的分布, 横亘的山脉可以阻挡气流的运行, 导致山脉两侧雨量的不同和干湿程度的差异, 尤其是高山区具有明显的气候垂直分带性, 从山脚到山顶可以经历从热带—温带—寒带的气候变迁。这是因为大气圈最下层(对流层)温度随高度升高而降低, 这种降低的平均梯率大约 $6.5^{\circ}\text{C}/1000\text{m}$ 。气候的垂直分带显然会引起植被的垂直分带。盆地周围高耸的山脉对盆地的干燥气候起主要的决定性作用。气候垂直分带的典型实例如现代的秦岭地区: 海拔 600—2600m 为落叶林; 2600—3000m 为云杉、冷杉林; 3000—3300m 为落叶松林; 3300m 以上为亚高山杜鹃灌木丛^[16]。

根据现代实例可以类推: 在泉头组沉积时期, 植物群总面貌为丘陵及湖泊周围的平原上以苏铁类、热带—亚热带的桫欏科、海金砂科生长茂盛。泉头组占主要含量的孢粉组合面貌, 反映当时湖泊区周围的气候为热带—亚热带的干旱型气候。但是在高山上则有喜寒冷的云杉、雪松生长, 山地植被以松柏类为主。若按地形高度每上升 100m, 温度下降 0.6°C 计算以及植被的垂直分带现象, 推测当时湖泊周围山区可存在 3500—4500m 的地形高差和与之相应的环境上的差别(图 4)。

4 古纬度分析

古地磁测算的磁倾角数据表明(方大钧等, 1989)^[9], 松辽盆地登娄库组—泉头组古纬度为 $47^{\circ}99'\text{N}$ 左右, 位于中纬度地带, 气候以半干热—干热为主, 沉积了以河流和湖泊相为主的红层, 而冰筏沉积是由巨大地形高差所引起的气候垂直分带的产物, 在高海拔处气温下降到冰点以下而形成冰筏。本区冰筏沉积的存在与孢粉组合中少量喜冷分子与热带、亚热带孢粉混生的现象可以相互印证。

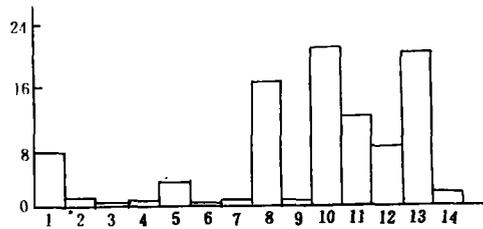


图 3 松辽盆地南部泉头组孢粉组合特征

1. 无突肋纹孢; 2. 桫欏孢; 3. 三角孢; 4. 苏铁粉; 5. 杉科粉;
6. 云杉粉; 7. 松科粉; 8. 无口器粉; 9. 雪松粉; 10. 希指蕨孢;
11. 内环粉; 12. 麻黄粉; 13. 隐孔粉; 14. 被子植物花粉

Fig. 3 Sporopollen assemblages in the Quantou Formation in the Songliao Basin

- 1=*Cicatricosisporites*; 2=*Cyathidites*; 3=*Deltoidospora*;
4=*Cycadopites*; 5=*Taxodiaceapollenites*; 6=*Piceites*;
7=*Pinaceae*; 8=*Inaperturopollenites*; 9=*Cedripites*;
10=*Schizaeoisporites*; 11=*Classopollis*; 12=*Ephedripites*;
13=*Exesipollenites*; 14=Angiosperm pollen

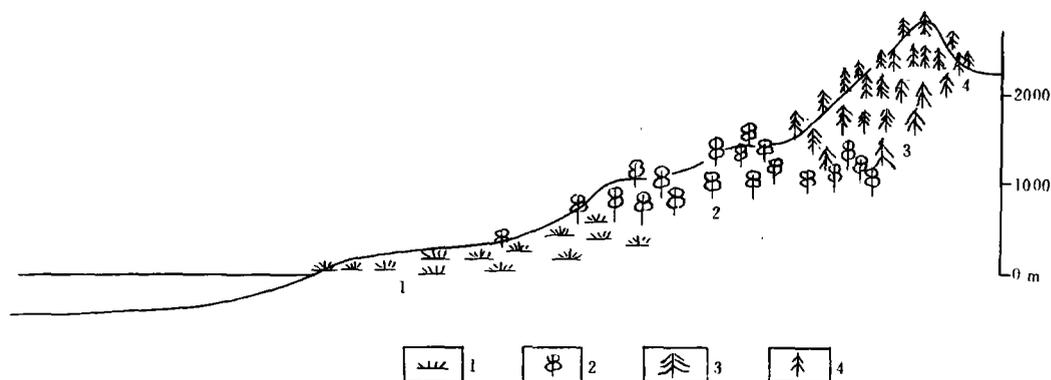


图4 松辽盆地白垩纪植物垂直分布示意图

1.蕨类植物;2.落叶、阔叶树;3.松、柏树;4.雪松、冷杉

Fig. 4 Sketch to show vertical zonation of the Cretaceous plants in the Songliao Basin

1=pteridophyta;2=deciduous tree and broadleaf tree;3=pinaccac and cypress;4=cedrus and abies

5 冰筏沉积的古气候与古地理意义

研究古气候可以了解地球大气圈、水圈及板块的形成演化史,并有助于探讨一些沉积矿产的成矿规律和指导找矿勘探。

在自然界中,气候的特征主要表现在水的温度,空气的温度、湿度和干燥度,风的强度和风向上。而这些信息必然会在地质记录——岩石、矿物和古生物等特征中留下痕迹,这些便是恢复古气候及追索其在地质历史中演变的物质基础。长期以来,人们一直试图利用这些标志探索其在漫长的地史中的演变过程。

70年代末,Frakes(1979)全面总结了各地质时期中与古气候有关的岩石、矿产和古生物的分布,进而阐明了各地质时期古气候的特征。Frakes(1991)根据澳大利亚、阿拉斯加、加拿大极地和西伯利亚等地的冰筏沉积,把显生宙的古气候划分为四个温暖型和寒冷型的周期,其中第三周期为晚二叠世到中侏罗世为温暖型气候,中侏罗世到早白垩世为寒冷型气候。

地球气候的变化取决于太阳能输出量、地球反照率以及大气圈中的热量存留的变化。太阳能输出量的变化除因太阳黑子可引起的短期变化外,通常是比较稳重的,一般不超过 $\pm 1\%$ 。地球反照率是海陆分布的函数,也受森林覆盖和海拔高度的影响。热量存留的变化则取决于大气层中温室气体的含量(Frakes,1991)。

Milankovitch(1941)首先注意到地球轨道偏心率、斜度和岁差的变化与地球气候改变的关系,提出了地球气候变化的著名的米兰科维奇机制。Frakes(1991)认为,“轨道参数控制着过去的气候,尤其是更新世的冰川作用旋回。然而,更久远的地球历史过程中气候的主要变化大概并不受轨道参数的控制”。他提出了一个结合构造活动、火山活动的碳的地球化学旋回理论来解释地史中古气候的演化观点:层中 CO_2 含量降低,导致全球气候转为寒冷。当寒冷型气候结束时,有机碳堆积减少,并把 CO_2 释放大气层中,导致全球气候变暖,温暖型气候开始。但 CO_2 对气候的影响有滞后现象,只有当全球火山活动大量增加时,才能达到最温暖的时期。当大洋中和大陆上有机碳生产率增加,从而大大地减少了大气层中 CO_2 时,温暖型气候便告结束。

大量的资料表明,全球在白垩纪期间气候有几次冷暖的周期性变化,最温暖的时期与白垩纪的火山活动幕基本一致。说明白垩纪气候变暖与火山作用产生的 CO_2 分压增高有关。年平均温度可能比现在高 $10-15^\circ\text{C}$ (Frakes, 1979)。

根据对白垩纪孢粉组合、沉积特征、古纬度、碳氧同位素、碳旋回等资料(王东坡等, 1995)^[11]研究,松辽盆地白垩纪的古气候基本上与全球一致,特别是泉头组时期,由于营城组时期强烈的火山喷发作用,大气中高含量的 CO_2 形成温室效应,使泉头组沉积时期成为白垩纪最温暖时期。泉头组中干热与寒冷型孢粉的混生现象,反映了沉积盆地周围存在植物的垂直分带或气候垂直分带。只有盆地周围地形高差大,才能造成气候明显的垂直分带,在高山区气温可降至冰点以下,从而为形成冰筏具备了有利条件。在春夏之交,冰体移动至湖泊中发生融化,负载物坠落湖泥中形成冰筏沉积。

通过对松辽盆地泉头组红色地层的研究,我们首次在中纬度地区发现了冰筏沉积,其主要依据是:

(1)泉头组顶部湖相沉积中砾石与粘土的两极共生,呈双峰分布,砂级含量低。砾石成分复杂,有的表面具有擦痕,砾石层底部不具冲刷面及相应的递变层理。这一事实不能用重力流成因解释,而冰筏沉积则合理地解释了这一现象。

(2)泉头组孢粉组合统计结果,有少量喜冷的分子与热带—亚热带的孢粉组合混生,根据古纬度及孢粉主体面貌的资料表明泉头组沉积时期处于中纬度区和干热—半干热气候条件。但是喜冷植物的孢粉可以证明,该时期盆地外围的地形高差大所引起植被的垂直分带,这一现象与冰筏沉积的存在是可以相互印证。

根据以上资料分析,我们认为在泉头组时期松辽盆地周围地形高差大,根据其植被特征与现代植被的垂直分带对比,可以认为当时古地形高差达 $3500-4500\text{m}$ 。在高海拔处形成的冰筏,于春夏之交高山冰块将不同粒级的岩屑搬运至湖泊,在冰体融化过程中砾石坠落湖底形成冰筏沉积物。

松辽盆地白垩纪泉头组红色泥岩层中存在的冰筏沉积,不仅能够合理地解释红层中砾石与粘土共生的矛盾现象,也合理地回答了干热型与寒冷型孢粉混生的矛盾,从而不难得出当时盆地周围地形高差大、气候有垂直分带性的结论。

参 考 文 献

- 1 Frakes, L. A. *Climates Throughout Geologic Times*. Elsevier Amsterdam, 1979
- 2 Frakes, L. A. and Francis, J. E. A guide to Phanerozoic cold polar climate from high-latitude ice-rafting in the Cretaceous. *Nature*, 1988, 33(6), 547-549
- 3 Barnes, P. W., Reimnitz, E. and Fox, D. Ice-rafting fine-grained sediment, a sorting and transport mechanism, Beaufortsea, Alaska. *J. sedim. petrol.*, 1982, 52: 493-502
- 4 Retson, G. E. and Rosen, P. S. Preservation of ice-formed features in a sub-arctic sandy beach sequence, geologic implications. *J. sedim. petrol.* 1982, 52: 463-411
- 5 Epsheyn, O. G. *Int. Geo. Rev.*, 20, 49-58
- 6 Dionne, J. and Laverdiere, C. Ice-formed beach features from Lake St. Jean, Quebec. *Can. J. Earth Sci.* 9: 979-990
- 7 Drake, D. E., Tofman, C. E. and Mberg P. L. Sediment transport during the winter and the Yukon prodelta, Norton Sound, Alaska. *J. sedim. Petrol.*, 1979, 49: 1171-1180
- 8 Pilkeg, O. H., Trumbill, J. V. A. and Bush, D. M. Equilibrium shelf sedimentation, Rio de la plata shelf, Puerto Rico. *J.*

sedim. petrol., 1979, 48, 389—400

- 9 方大均、叶得泉. 中国松辽盆地岩石磁化率, 剩磁强度与古气候意义. 地球物理学报, 1989, No. 32
- 10 王东坡、刘招军、刘立. 松辽盆地的演化与海平面升降. 北京: 地质出版社, 1994
- 11 王东坡、刘立、张立平、吕传江. 松辽盆地白垩纪古气候、沉积旋回、层序地层. 长春: 吉林大学出版社, 1995
- 12 施雅风等. 中国东部第四纪冰川与环境问题. 北京: 科学出版社, 1989
- 13 大庆油田开发研究院. 松辽盆地晚白垩世孢粉组合. 北京: 科学出版社, 1976
- 14 余静贤. 松花江南部白垩纪孢粉组合. 地层古生物论文集, 第十辑, 北京: 地质出版社, 1983
- 15 裘松余. 松南 15 井微古组合及其地层意义. 石油实验地质, 1991, No. 2, 185—198
- 16 裘松余. 松辽盆地白垩系微古生物组隔与地震波的关系. 石油天然气地质, 1991, No. 2
- 17 赵景波. 冰缘植被与第四纪冰川的探讨. 地质论评, 1985, 6 期, 552—557

THE PALAEOCLIMATIC AND PALAEOGEOGRAPHIC SIGNIFICANCE OF THE CRETACEOUS RED-BED ICE- RAFTING DEPOSITS IN THE SONGLIAO BASIN, NORTHEASTERN CHINA

Wang Dongpo Liu Li

Changchun University of Earth Sciences

L. A. Frakes

Adelaide University, Australia

ABSTRACT

The authors in the present paper interpret the ice-rafting deposits to be originated from the melting of the sediment-laden ice blocks which were transported into seas or lakes. These deposits may occur in the low-latitude regions with higher elevations, where the climates are vertically zoned, or in the mountainous area of the high-latitude regions. The present paper has reported the ice-rafting deposits identified for the first time in the Cretaceous red beds of the Songliao Basin. These deposits appear as scattered or concentrated gravels in the Cretaceous red beds. The examination of the gravel compositions indicates that the principal source of detritus lay to the peripheral mountainous areas. In addition, the research results also show that the sporopollen assemblages consist mainly of the tropical and subtropical types, with minor amounts of *Piceapollenites* and *Cedripites*, perhaps implying that there were greater height deviations around the Songliao Basin during the deposition of the Quantou Formation. The discovery of the Cretaceous ice-rafting deposits in the study area has important implications for the reconstruction of the palaeoclimates and palaeogeography of the Songliao Basin.

Key words: ice-rafting deposit, Cretaceous red bed, vertical climatic zonation, Songliao Basin