

文章编号: 1000-0550 (2005) 02-0284-07

柴西第四纪湖泊冰水沉积的发现及意义

钟建华^{1,2} 李浩² 黄立功² 温志峰¹ 郭泽清¹ 王海侨¹ 李勇^{1,2}

1(石油大学(华东)资信学院 山东东营 257061)

2(中国科学院广州地球化学研究所 广州 510640)

摘要 柴达木盆地西部的茫崖坳陷发育了第四纪湖泊冰水沉积,其特征是灰绿、黄褐色页岩和泥岩中含大量的冰水滴石。滴石最大粒径可达 4 cm × 12 cm,成分复杂,有火山岩、变质岩及沉积岩。孢粉分析表明,其形成时代为第四纪,极有可能为更新世,与我国西部的第四纪冰期形成时代相同,但具体期次尚不能确定。柴西茫崖坳陷第四纪冰水沉积证据充分,对于研究我国第四纪冰期及青藏高原的形成演化、古气候、古地理具有重要意义。另外,第四纪冰水沉积充分说明在第四纪冰期青藏高原没有被整个大冰盖所覆盖。

关键词 滴石 冰水沉积 第四纪 柴达木

第一作者简介 钟建华 男 1957 年出生 教授 博士生导师 构造地质学与沉积学

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

1 概述

对黄河下游和黄河三角洲冰水沉积的研究激发了我们对冰川及冰水沉积的研究热情^[1,2]。2000 年、2001 年我们在柴达木盆地西部(简称“柴西”)的茫崖坳陷科考时,在南乌斯、北乌斯、七个泉及咸水泉

发现了四处冰水沉积(图 1),这四处冰水沉积的海拔高度在 2 800 ~ 3 200 m,而现代冰川的雪线在 4 200 m 以上,距昆仑山最近的南乌斯冰水沉积离昆仑山现代冰川有 50 ~ 60 km;而距阿尔金山最近的咸水泉冰水沉积距阿尔金山现代冰川也有 30 km 左右。

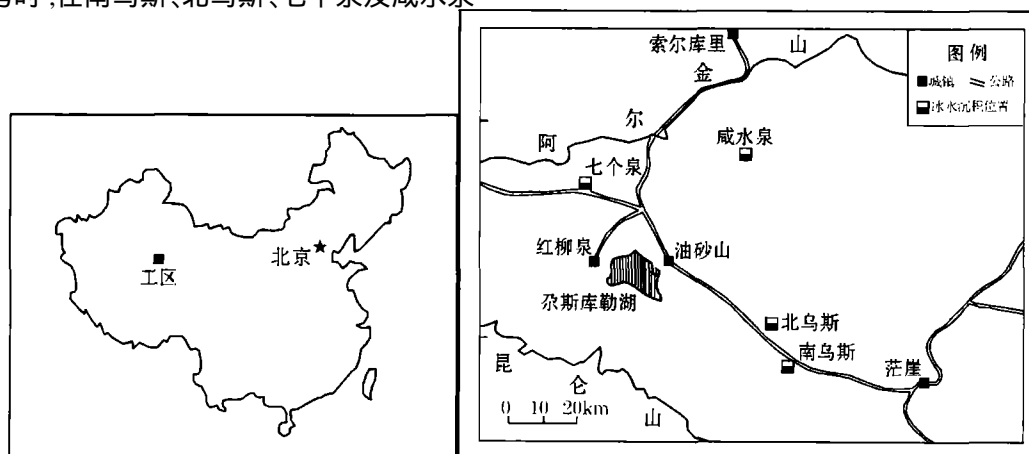


图 1 柴西第四纪冰水沉积露头位置图

Fig 1 Location of the Quaternary lacustrine outwash outcrops in the western Qaidam

对四个冰水沉积露头或剖面进行了观察和实测,由于北乌斯露头出露条件不好,上不见顶下不见底而无法实测剖面,只能做一般的露头观察,其它三个剖

面,尤其是七个泉和咸水泉剖面出露条件非常好,长度都在数千米。发育冰水沉积的岩性段总结在图 2 中。从图 2 可以看到,柴西冰水沉积岩性及其岩性组

合有下列几个特点:一是低能的冰水沉积——冰水纹泥和块状泥往往与高能的砾石组合在一块,而且有时呈直接接触关系,表明沉积环境直接由高能过渡到低

能;二是柴西冰水沉积厚度不等,厚者可达 7.89 m,表明不同部位存在着沉积沉降分异;三是砾石均松散,未固结,表明未经受明显的成岩作用。

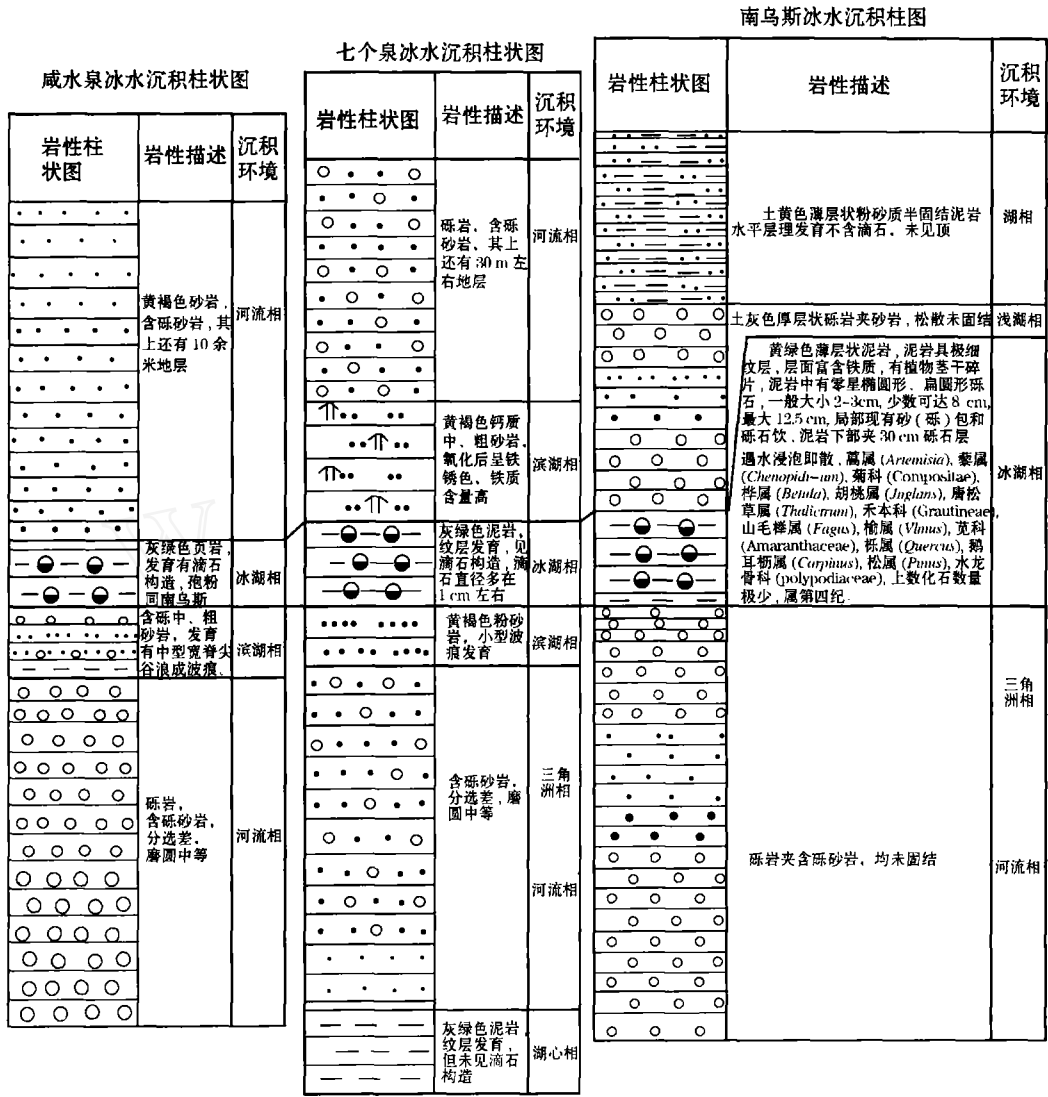


图 2 柴西第四纪冰水沉积柱状图

Fig 2 Column of the Quaternary lacustrine outwash outcrops in the western Qaidam

2 岩石学特征

柴西第四纪冰水沉积的主体岩性是含砾的页岩和泥岩。外观上呈灰绿色或黄褐色(风化后)(图版),页岩纹理、页理发育(图版 -1~6);纹层厚度多在 0.1~0.5 mm,纹层层面上有大量白云母。块状者发育了许多细小根迹(图版 -6),直径多在 1~2 mm,大部分垂直层面,推测层理系根迹扰动破坏。遇水浸泡即溶化成泥浆状(约 20~30 秒),其最主要的特征是含有滴石(drop stone)。根据滴石的数量及

分布可以分为四种类型:第一种是孤立的滴石(图 3a 及图版 -1~3);第二种是滴石呈断续分布,使滴石层呈藕节状(图 3b);第三种是多个滴石堆积在一起呈透镜状(图 3c);第四种是多个滴石顺层排列成薄层状(图 3d及图版 -4)。

滴石的成分非常复杂,既有火成岩(图版 -1);又有变质岩(图版 -2);还有沉积岩(图版 -3);粒径变化大,小者直径 2 mm,大者最大可达 4 cm ×12 cm(图版 -1),但从南乌斯冰水沉积剖面附近冲沟中的砾石看,冰水沉积中的最大滴石粒径可达 20 cm

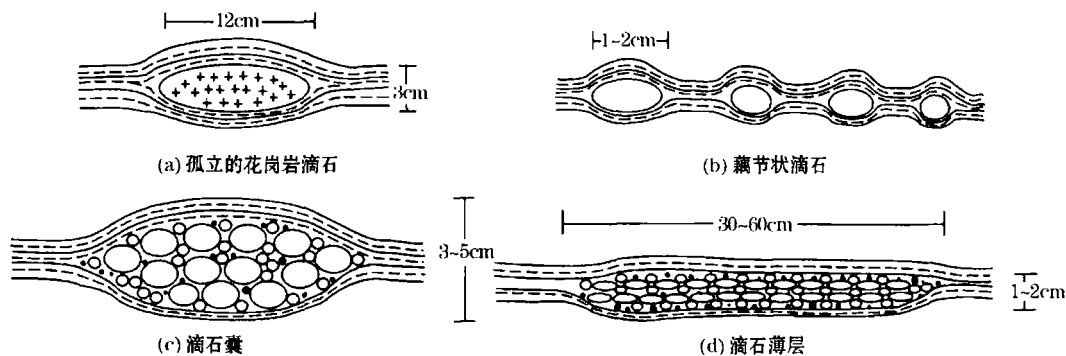


图 3 冰水沉积中滴石的四种产出方式示意图

Fig 3 Sketch for the four appearances of drip stone in Quaternary lacustrine outwash

以上,在该剖面还能见到大量的冰碛,其中可以见到典型的冰川擦痕(图版 7、8)。滴石的形态也非常复杂,既有较规则的近球形滴石,也有长条状滴石;还有非常不规则的砾石;滴石的磨圆也有好有坏,好者表面非常平滑,系河床砾石搬运再度沉积,差者棱角发育。从透镜状或薄层状滴石层来看,其分选性非常差。柴西冰水沉积中的砾石(滴石)粒径远大于国外报道的冰水沉积中的砾石。Dowdeswell等人报道的Greenland海岸的冰水沉积中的砾石直径多在1cm以下,偶然可见直径3cm的砾石^[3]。而Larsen等报道的波兰华沙北西200km的Kurzetnik的冰水沉积中的砾石直径一般在0.7~5.6cm之间^[4]。柴西冰水沉积中的砾石(滴石)偏大可能与靠近造山带的近源沉积有关。

冰水沉积形成的纹层根据颜色及粒度可以分为两种类型:一种是含砾或砂的深灰色纹层,厚度相对较大,有时可达1.5mm,但多在0.5mm以内,另一种是不含砾或少含砾的纹层,一般为黄褐色,厚度较薄(图4)。我们认为第一种纹层是夏天冰层溶化形成的,而第二种纹层是冬天湖面冰封时形成的,两者构成了一个年沉积完整旋回,平均厚度0.45mm(图4)。纹层可以作为年龄指纹帮助我们估算某一具体厚度冰水沉积形成所需的时间,图4中的冰水沉积大约是32年形成的,有关讨论后文还将进行。柴西冰水纹层的厚度却远小于Greenland海岸的冰水纹层厚度,后者一般在数毫米,偶然可达1~2cm^[5]。

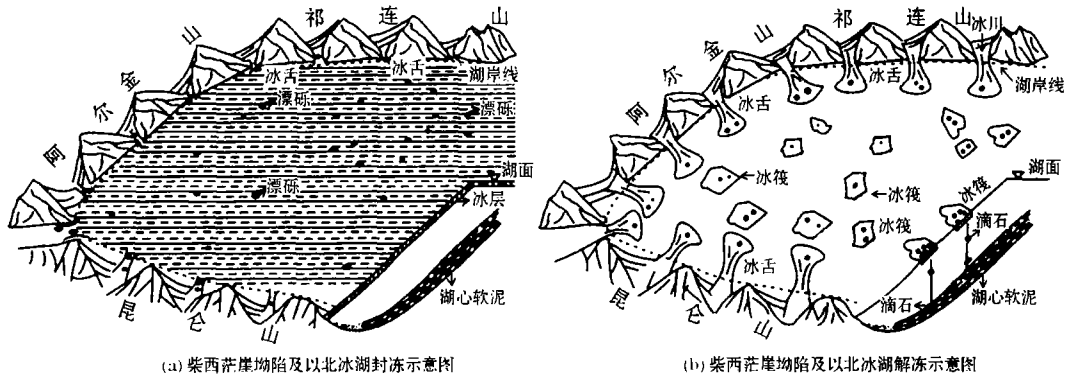
中国科学院南京地质古生物研究所对3个冰水沉积样品进行了孢粉鉴定,其主要组成为:藜属(*Che-nopidium*)、蒿属(*A rtem isia*)、菊科(*Compositae*)、栎属(*Quercus*)、桦属(*B etulu*)、胡桃属(*Juglans*)、禾本科(*Grantineae*)、唐松草属(*Thalictnum*)及山毛榉属(*Fa-*



图 4 冰水纹层及滴石扫描图

Fig 4 Photography of outwash lamination and drip stone

gus),前三者为主。中科院古生物所的有关研究将其时代定为第四纪。其质地较轻、疏松多孔未受强烈压实和遇水即“溶”(10~20秒即溶化成泥浆状),表明其未受胶结;再者,这套冰水沉积均位于所测剖面的顶部,其上覆地层厚度都在20~30m内;还有,南乌斯剖面与冰水沉积相邻的砾石层均松散。所以,柴西冰水沉积属于第四纪的可能性较大,但青海油田公司目前将这套冰水沉积地层划归晚第三系,应该划归第四系更为妥当。中国西部及青藏高原第四纪发育了多次冰期^[6,7]。最老的可以追溯到第四纪之初的2.0



(a) 柴西茫崖坳陷及以北冰湖封冻示意图

(b) 柴西茫崖坳陷及以北冰湖解冻示意图

图 5 柴西冰水沉积及滴石发育示意图

Fig 5 Sketch of outwash and dripstone formation in the western Qaidam

Ma(甚至第三纪末的 3.0Ma),最新的距今才 1 万年左右^[7],至于柴西冰水沉积具体对应于哪一期冰期、距今多少年尚待研究。

3 冰水沉积(滴石)的成因

柴西第四纪冰水沉积的成因可能与(山岳)冰川作用有关,图 5 是我们编绘的示意图。

中生代柴达木盆地是一个前陆盆地,进入新生代其四周均为山脉,其南面为昆仑山(祁漫塔格山),其西为阿尔金山,其北为祁连山,是一个典型的山间盆地。进入第四纪,由于气温下降,雪线下移,使得柴达木盆地四周山脉的雪线下移接近湖面,使得从四周高山上下来的冰川能够直接伸注到湖中。冬季整个湖泊被冰封盖(图 5a)。进入夏季冰层缓慢融化,其中所携带的泥砂和漂砾便沉积到湖心软泥中,形成冰水纹泥和滴石构造(图 5b),与此同时,从山谷冰川前端裂解的冰山筏(Iceberg raft)不断漂向湖心,溶化的同时不断将其中携带的泥砂和漂砾沉积到湖中,同样形成冰水纹泥和滴石构造(图 5b)。

另有一点非常值得重视,冰水沉积之下常为滨浅湖相的砂岩和含砾砂岩,其中多发育了浪成对称波痕,表明冰水沉积是发育在气候相对潮湿的水进时期,与全球冰期引起海平面下降而形成海退相反,这一现象值得注意。

三个发育冰水沉积的剖面其冰水沉积厚度最大可达 7.89 m,如以每两个纹层(平均厚 0.45 mm)为一年沉积所成,那么,形成 7.89 m 厚的冰水沉积要近 17 500 年左右的时间,揭示了形成冰水沉积的这一段冰期在柴达木盆地约 17 500 年左右,是一次小冰期。

中国西部第四纪冰期广泛发育,有许多研究成果充分地揭示了这一点^[6-9]。柴达木盆地的冰水沉积作为西部冰期的一个组成部分,它的存在也充分地证明了中国西部冰期的客观存在。有许多学者^[9]认为青藏高原第四纪广泛发育了覆盖整个大高原的连续冰盖。我们从柴西第四纪冰水沉积的发育特点看这一观点值得考虑,因为柴西第四纪冰水沉积发育有明显的季节性纹层(冬季纹层和夏季纹层),再者,从块状冰水泥岩中发育了植物根迹这一特征来看(图版 6),柴达木湖不可能常年和多年被大冰盖遮盖。充分表明了柴达木湖夏天冰层消融,冬季冰层封盖,没有一个常年和多年的大冰盖覆盖。

此外,还有一点值得讨论一下。除咸水泉子冰水沉积外,其它三个冰水沉积剖面均明显倾斜,倾角一般在二十几度,表明冰水沉积形成之后柴达木盆地在第四纪出现了非常强烈的构造运动,也间接地反映柴达木盆地乃至青藏高原一些构造变动是在第四纪形成的。

4 结论及结束语

柴西第四纪冰水沉积的发现具有以下几个地质意义:

(1) 柴西第四纪冰水沉积的发现在柴达木盆地、甚至西部盆地(包括塔里木、准噶尔等)均尚属首次,它的发现对于研究柴达木盆地及青藏高原第四纪的古气候、古地理及隆起具有重要意义。

(2) 柴西第四纪冰水沉积的发现对于柴西新生代地层划分及对比也是有重要意义,可以间接地服务于油气勘探开发。

(3) 柴西第四纪冰水沉积是冰期的产物,与中国

西部第四纪冰期是同时代的,是中国第四纪普通降温的结果。

(4) 柴西第四纪冰水沉积是山岳冰川的产物,而非冰盖的产物。

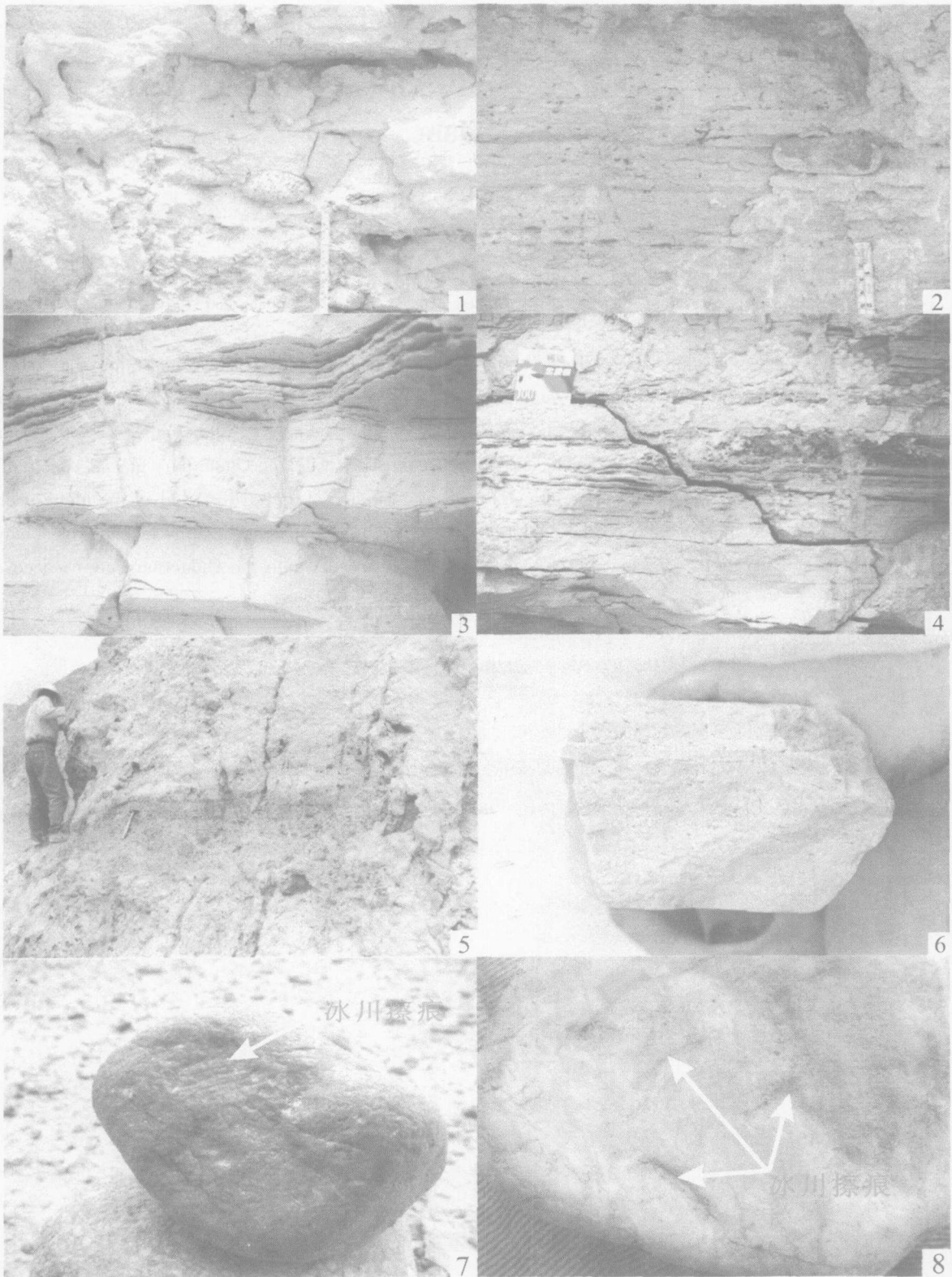
前人对青藏高原第四纪冰川的研究主要是通过陆地冰碛及其粘粒进行的,到目前为止还未见有论文报道青藏高原湖泊中有冰水作用产物。我们知道,中国青藏高原和西部第四纪除了柴达木盆地以外,还有多个大型盆地(如塔里木、准噶尔等),面积占据青藏高原及西部的相当一部分,如果忽视了这一重要部分,势必使青藏高原的第四纪冰川研究不完整。冰碛除了有易于发现和观察的优点外,还有易于与洪积、冲积相混合及后期冰碛改造前期冰碛而容易导致缺失等缺点;湖泊中的冰水沉积可以记录许多陆地冰碛所没有的宝贵信息,尤其是冰水沉积(纹泥)能够连续完整地记录每一次冰期、间冰期的时限长度及第四纪气候变化,对于建立中国西部精细的冰期与间冰期年代具有重要意义。柴西也有大量第四纪冰碛,出于各种原因目前我们还未对其进行深入研究。国外学者非常重视冰水纹泥相(HLM)的研究^[8,11~15]。所以,今后应在重视青藏高原陆地第四纪冰川研究的同时,关注一下几个大湖泊中的冰水沉积,做到“水陆并进,粗细结合”,方可真正系统全面地揭示中国青藏高原第四纪的冰川发育及演化,进而为探讨青藏高原的隆升、环境气候演化服务。

最后有一点需要着重说明的是,本次讨论虽然只论及了一层冰水沉积,并不能否定柴达木盆地第四纪发育了多次冰期,咸水泉及七个泉剖面都非常连续完整,有可能我们野外工作不细致,只注意寻找含有厘米级以上直径的滴石,而忽略了含有粒级更小的冰水沉积。今后应当注意,在经费和条件许可时进一步工作,并配合精细测年工作,以客观地建立起柴西第四纪冰期及间冰期的精确年代表。

致谢 青海油田公司勘探事业部提供了野外科考资助;青海油田公司勘探开发研究院协助了野外科考,在此一并致谢。

参考文献 (References)

- 1 钟建华,倪晋仁,宋维奇,等. 黄河三角洲上的冰成隆丘的研究. 沉积学报, 2001, 19(3): 357~362 [Zhong Jianhua, Ni Jinren, Song Weiqi, *et al*. Study on the ice-induced heaving in Yellow River Delta. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2001, 19(3): 357~362]
- 2 钟建华,王冠民,王夕宾,等. 黄河下游冰成滑塌与塌陷构造的研究. 沉积学报, 2002, 20(2): 261~266 [Zhong Jianhua Wang Guanmin Wang Xibin, *et al*. Study on the ice-induced slump and subsidence structures in the Lower Course of Yellow River. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2002, 20(2): 261~266]
- 3 Dowdeswell J A, Whittington R J, Jennings A E, *et al*. An origin for laminated glaci-marine sediments through sea-ice build-up and suppressed iceberg rafting. *Sedimentology*, 2000, 47: 557~576
- 4 Larsen N K, and Piotrowski J A. Fabric pattern in a basal till succession and its significance for reconstructing subglacial processes. *Journal of Sedimentary Research*, 2003, 73(5): 725~734
- 5 Marienfeld P. Holocene sedimentation development in Scoresby Sund, Ost-Grønland. *Berichte Polarforschung*, 1991, 96: 162
- 6 李吉均,徐叔鹰. 巴基斯坦北部的地貌发育与第四纪冰期问题. 地理学报, 1983, 38(1): 11~24 [Li Jijun and Xu Shuying. The geomorphology development and Quaternary glacial period in the northern Pakistan. *Journal of Geographical Science*, 1984, 38(1): 11~24]
- 7 李永昭. 青藏高原第四纪冰期序列及其意义. 成都理工学院学报, 1998, 25(2): 303~308 [Li Yongzhao. Sequence of quaternary glacial period in Qinghai-Xizang Plateau and its significance. *Journal of Chengdu University of Technology*, 1998, 25(2): 303~308]
- 8 Jin Rosc, Derbyshire E, Guo Hongwei, *et al*. Glaciation of the Eastern Qilian Shan, Northwest China. *Quaternary Proceedings* No. 6. 1998. 143~152
- 9 Zheng Benxing, Rutter N. On the problem of Quaternary glaciations, and the extent and patterns of Pleistocene ice cover in the Qinghai-Xizang (Tibet) plateau. *Quaternary International*, 1998, 45/46: 109~122
- 10 Kuhle M. Subtropical mountain and highland glaciation as ice-sheet triggers and the waning of the glacial periods in the Pleistocene. *Geology Journal*, 1987, 14(4): 393~421
- 11 Andersen E S, Dokken T M, Elverhei A, Solheim A and Fossen. Late Quaternary sedimentation and glacial history of the western Svalbard continental margin. *Marine Geology*, 1996, 133: 123~156
- 12 Gilbert R. Rafting in glaci-marine environments. In: Dowdeswell J A and Scourse J D, eds. *Glaci-marine Environments: Processes and Sediments*. Geological Society Special Publishing, 1990, 53: 105~120
- 13 Jennings A E. The Quaternary history of Cumberland Sound, south-eastern Baffin Island: the marine evidence. *Geography Physical Quaternary*, 1993, 47: 21~42
- 14 Lubinski D J, Korsun S, Polyak L, *et al*. The last deglaciation of the Franz Victoria Trough, northern Barents Sea. *Boreas* 1996, 25: 89~100
- 15 Mackiewicz N E, Powell R D, Carlson P R, and Molnia B F. Inter-laminated ice-proximal glaci-marine sediments in Muir Inlet, Alaska. *Marine Geology*, 1984, 57: 113~147



图版 说明 1. 花岗岩滴石。磨圆很好。系河床砾石再度被冰搬运沉积, 产在黄褐色(风氧化)纹层较发育的泥(岩)中。4 cm × 12 cm。摄于南乌斯, 摄影时镜头长框平行层面。2. 变质岩滴石。磨圆很好。长轴顺层面分布, 产在黄褐色纹理发育的泥(岩)中。3 cm × 6.5 cm。摄于南乌斯, 摄影时镜头长框平行层面。3. 黄褐色(风氧化)页理发育的泥(岩)中含细小滴石。摄于咸水泉。4. 黄褐色(风氧化)页理发育的泥(岩)中夹一松散细砾(滴石)薄层, 细砾层分选很差, 松散未胶结。摄于咸水泉。5. 冰水沉积之下的宽脊窄谷对称浪成波痕, 钙质胶结。滨浅湖相。摄于咸水泉。6. 灰绿色泥(岩)中发育了垂直层面的细小植物根, 在此面的反面有一直径约 2cm 的滴石。摄于咸水泉。7. 变质岩冰碛表面发育了一组冰川擦痕。8. 变质岩(大理岩)冰碛表面发育了多条方向不同的冰川擦痕。

Quaternary Lacustrine Outwash: Significance to the Western Qaidam, China

ZHONG Jian-hua^{1,2} LI Hao² HUANG Li-gong² WEN Zhi-feng¹
GUO Ze-qing¹ WANG Hai-qiao¹ LI Yong¹

1 (Institute of Earth Information and Resources, University of Petroleum (Eastern China), Dongying, Shandong 257061)

2 (Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Science, Guangzhou 510640)

Abstract The Quaternary outwash, characterized by the drip stone bounded by the gray and yellow shale and mudstone, is discovered in the Mang'ai depression of Qaidam basin. The drip stone is up to 4 cm × 12 cm with complicated compositions owing to the volcanic, metamorphic and sedimentary origin. The spore-pollen analysis revealed that it is formed in Quaternary period, most probably Pleistocene epoch, coinciding with the Quaternary glacial epoch of West China although the detailed age is, as yet, uncertain. The strong evidence of outwash existed in the Mang'ai depression is of great importance to the research on the evolution and paleoclimate, paleogeography of Qingzang plateau of Quaternary glacial epoch of China. Moreover, it reveals that a whole ice cover in the Quaternary does not cover the Qingzang plateau.

Key words drip stone, outwash, Quaternary, Qaidam.