

错误的“冰臼”成因说

苏珍, 蒲健辰, 赵井东

中国科学院西北生态环境资源研究院, 冰冻圈科学国家重点实验室, 兰州, 730000

内容提要: 在过去的20多年中, 有学者将暴露于地表, 地貌学称之为壶穴的所有臼状地形统称为“冰臼”, 且作为古冰川作用的证据。事实上, 他们宣传的“冰臼”是流水或差异风化形成的壶穴, 而非古冰川所成。在众多论著中, 以韩同林先生《发现冰臼》造成的混乱为最。从冰川学的角度来看, 冰川运动、消融等理论并不支持“冰臼”是由冰川作用所成的观点, 其主要错误之处有三: ①在冰川学中, “Moulin”一词指的是冰川表面热融形成的负地形, 所涉及是冰川冰, 而非冰川的下覆岩床; ②此书借用早已放弃的冰水穿洞假说来论述“冰臼群”的形成过程, 在常态运动的冰川上是行不通的; ③书中冰融水形成的圆柱状滚流假说更与事实不符。这几点足以说明“冰臼成因说”是不能成立的, 仅是一种错误的推测而已。

关键词: 冰臼; 壶穴; 冰川消融; 冰川运动

中国地质科学院的韩同林先生, 将暴露于地表的所有臼状地形统称为“冰臼”。他从20世纪90年代以来, 在国内许多报刊杂志以及学术刊物上多次发表过各地有“冰臼”地形被发现的报道和论述。韩同林(2004)撰写并出版发行了《发现冰臼》一书, 他认为这些“冰臼”是“古冰川融水沿冰川裂隙自上而下以滴水穿石的方式冲蚀基岩产生的”。还认为“冰臼”是全球泛大陆冰盖形成和发展消亡的重要产物和见证。而且在该书封面上声称这是“中国地质学界石破天惊的重大发现, 远古时期的地质现象”。他的部分推断还得到了一些学者的支持(李乃胜等, 2003; 李培英等, 2008; 赵松龄, 2010)。事实果真如此吗?

韩同林先生宣传的“冰臼”, 多为群众称呼的石臼, 有时也称为岩臼、锅穴或瓯穴等。这类地形多为圆形、椭圆形, 一般口小肚大, 好似舂米的石臼, 大小不等, 其直径小的不过数厘米, 一般数米, 最大的十多米。若不问其成因, 则是描述岩石表面特征的一个名词而已, 若究其成因, 该地貌现象是多成因的, 故许多学者不同意或反对这些地形是由冰川成因的假说, 而且从各方面进行了批驳和论证。例如, 韩同林在宣传广东揭西发现世界罕见的冰臼群(《羊城

晚报》, 1999-03-08)之后, 就引来广东诸多地貌学者的批评。如: “现代河谷里何来冰臼群?”(《科学时报》, 1999-05-27); “本省地貌权威人士认为揭西等地发现冰臼之说是常识性错误”(《羊城晚报》, 1999-06-08); “地质专家现场考察后认为揭西冰臼为壶穴”(《南方日报》, 1999-12-08)。有些学者还在学术期刊发表文章进行批驳壶穴是由冰川形成的观点(陈华堂等, 1999; 李孟华与谢小康, 1999; 刘尚仁, 2000; 杨超群, 2001)。又如, 韩同林等报道河北、内蒙古山脊发现罕见“冰臼”群后, 对其成因虽看法多样, 而绝大多数学者均反对由冰川形成。如: Cui Zhijiu等(1999)建议将壶穴作为通用名词, 并指出韩同林所说的冰臼实为风蚀地貌之误; 李洪江等(2001)指出山脊壶穴是风化风蚀穴; 田明中等(2005)指出山脊岩臼是由于岩石的差异风化以及风、水等物理和化学作用综合形成; 章雨旭(2005)、章雨旭等(2011)指出, 山脊壶穴是近现代差异风化的产物, 不能作为中国东部第四纪冰川的证据等。吴忱(2007)指出, 山脊壶穴是古夷平面上的流水形成, 并非与冰盖有关; 施雅风(2010)指出, 韩同林说的冰臼应该是花岗岩负球状剥蚀形成的剥蚀穴。朱银奎(2014)认为崂山花岗岩山脊壶穴是

注: 本文为科技部科技基础性工作专项(编号: 2013FY111400); 国家自然科学基金资助项目(编号: 41371028, 41190080, 4117056, 41230743)和西部之光项目(赵井东)的成果。

收稿日期: 2015-12-16; 改回日期: 2016-11-11; 责任编辑: 章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2017.01.013

作者简介: 苏珍, 男, 1938年生。研究员, 1960年毕业于西北师范大学, 现主要从事冰川及环境变化研究。Email: suzhen@lzb.ac.cn。通讯作者: 赵井东, jdzhaol@lzb.ac.cn。

近现代由于壶穴内冬季水面的结冰对壶穴内壁的冰蚀作用所形成的,不是古冰川产物。但吕洪波等(2005,2006,2008b,2010a)认为,山脊壶穴唯一可能的成因是冰川融水的旋转水流,而且是末次冰盛晚期退缩阶段的产物。

有趣的是,吕洪波等(2010b)介绍,在韩同林先生等的带领下,作者们考察了北京延庆大庄科白龙潭巨型河谷壶穴。文章记述了该河谷壶穴的主要地质、地理特征,但第一作者(吕洪波)和第二作者(章雨旭)给出了不同的成因解释。吕洪波认为该壶穴是沿着冰裂隙下泄的冰川融水侵蚀而成,是末次冰盛期的产物;章雨旭认为,白龙潭壶穴是洪水旋涡冲蚀形成的,是现代的产物。

不论山脊壶穴是何成因,我们认为这种地貌形态的形成与第四纪冰川没有任何关联。基于已有的文献(施雅风,1981,2010a,b,2011a;施雅风等,1989,2006,2011b)给出如下理由:①已有的古气候环境研究成果表明,105°E以东中低山地不具备冰川的发育条件。②退一步讲,即便发育如吕洪波等论述的冰帽,山脊或山顶一般为冰川积累区,也不可能通过冰川裂隙直达冰床的冲蚀水流。③冰川侵蚀与沉积地形多成套出现,一般末次冰期的地形保存较好且清晰易辨。在发育山脊壶穴的所谓“古冰川”作用区多为单一的侵蚀地形而无对应的沉积地形。

吕洪波和章雨旭(2008)对壶穴、锅穴、冰臼、岩臼等术语进行了讨论,在该文中章雨旭建议将山脊和河流中的以口小肚大底平为特征的凹坑统称为壶穴,同时去掉壶穴原始定义中关于其成因为冲击水流形成的限定,若有必要,可加成因前缀;若认为是冰川作用所成,可称为“冰川壶穴”。我们认为该用词仍需商榷。其实在 Embleton 与 King(1975)著名的论著《Glacial Geomorphology》中已经做了专门介绍:“如人们所熟知,壶穴通常形成于正常的河床上,不需要与冰川作用相联系。但是一些壶穴发生在冰川作用区,以致我们不得不考虑冰水形成壶穴的作用”。冰水壶穴在北欧、北美末次冰期冰盖融水河道中亦有发现和报道。这种地貌形态是冰川融水河流中基岩河床被湍急水流冲磨形成的,其壶穴形态和形成机制与正常河流壶穴是一致的。其作用介质是冰川融水而非固态的冰川冰,它们依然是流水侵蚀形成的。故而严格来说,应当叫做冰水壶穴。

从上面可以看出,壶穴是多成因的,所以不能像韩同林等那样,将分布于中国的壶穴地形不加以细

致考察和论证,主观臆想地认定为古冰川融水沿冰川裂隙以滴水穿石冲蚀基岩冰床形成,这是对冰川知识了解不深入所致,该错误推断极易造成混乱。

冰川是高寒地区多年降雪积累、变质而形成的自然冰体。当年复一年的雪积累起来并逐渐变成冰川冰,一定厚度的冰川冰在自重与塑性形变下缓慢流动时才形成真正意义上的冰川。冰川上部以积累为主,下部以消融为主,其间必然存在一个积累量与消融量相当的界线,称之为平衡线(又称雪线)。

1 冰川运动、消融等理论不支持“冰臼”成因说

1.1 冰川是运动的冰体

冰川是一种运动着的自然冰体,这也是冰川区别于其它自然冰体最重要的标志。冰川运动不断把积累区的冰体输送到消融区,而消融区的物质损耗也是靠冰川运动得以补充。由于冰川冰是多晶固体,但不是刚体,也不完全是塑性体,而是一种粘塑性体。由于重力作用,冰川冰发生粘塑性变形,或称蠕变,于是冰川就慢慢地向下流动。这是冰川产生运动的原因之一。还有一种方式是冰川冰在重力作用下产生的滑动,包括冰层内部和基岩层面滑动两种。冰层滑动产生于冰川的各冰层间,基岩层面滑动则产生于冰川底冰和基岩岩床之间。冰川在重力作用下发生的蠕动和滑动,使它沿着山体斜坡岩床缓慢地向下运动,如果冰川的底冰与基岩岩床冻结在一起,则冰川冰面的运动速度超过底冰,将使冰川产生差别运动。冰川在整个运动过程中,它的各个地段的运动速度是不一样的。某些地段由于坡度陡而加速形成伸张流,某些地段由于坡度变缓而产生压缩流。压缩是指冰层加厚和冰面壅高,而非冰体压缩。伸张流反之,冰层变薄而冰面降低。在冰川的纵剖面上,冰川运动最快的位置在平衡线附近;在冰川的横剖面上,冰川运动最快的地方在冰川中心线附近,从中心线向左右两侧速度相对地逐渐变慢(图1);在冰川的垂直剖面上,冰川运动速度最快的地方在冰川上层,随着冰川深度的增加,它的流速也逐渐变慢。冰川的运动速度,还随着每年的暖季和冷季,每天的白昼与黑夜而变化。冰川运动的年变化,则主要与冰川的积累与消融的数量和速率、气候波动等因素有关。同等规模的冰川、大陆型冰川的运动速度明显地低于海洋型冰川。冰盖的运动速度,一般比山岳冰川为慢,冰盖的运动,是由冰雪自身的重量所造成的差异运动,以及由地热和摩擦热

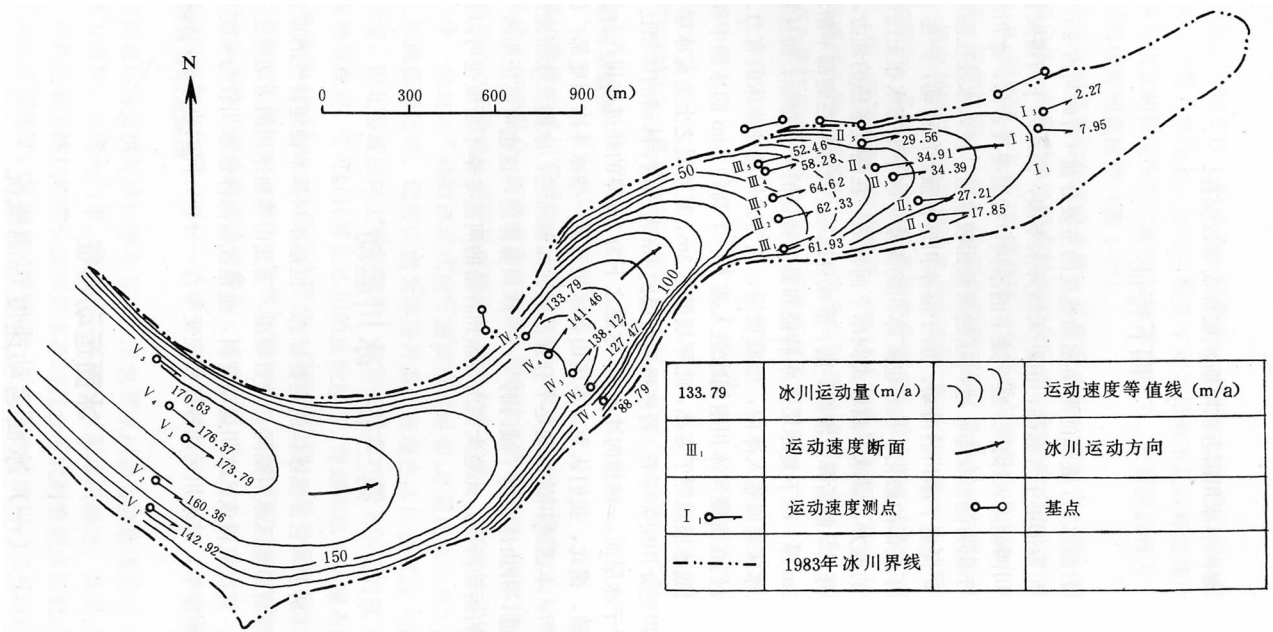


图 1 贡嘎山海螺沟冰川 1982 年 8 月 ~ 1983 年 8 月运动速度等值线图 (李吉均与苏珍,1996)

Fig. 1 Isoleth velocity of Hailuoguo Glacier from August in 1982 to August in 1983, Mt. Gongga (Li Jijun and Su Zhen,1996&)

而产生的冰体沿底部基岩的滑动来实现的,其中以沿底床滑动的运动为主。冰盖运动的速度变化一般是从它们的中心部位向边缘递增。由此可以看出,分布在冰床基岩上的冰层,不是固定在原处不动的,而是随着冰川的运动,冰层随时都在变化。这样,看来所谓的稳定圆柱状滚流长时间冲刷冰床是不可能的。

1.2 冰川消融的季节变化及其形式

冰川发育在高寒地区,负温时间可达半年以上(北半球一般从 10 月至次年的 4 月),春末夏初,气温稳定上升至 0℃ 以上,高山冰雪开始消融。因此,冰川融水径流属季节性径流。消融季节大体可分为弱消融期和强烈消融期。春末夏初和夏末秋初,为冰川弱消融期。在此期间,气温相对比较低,冰川表面有雪覆盖,冰面反射率强,所以冰川的消融相当微弱,而且绝大部分融水下渗于雪层中,只有少量融雪水形成冰面径流。而雪层中未被排泄的雪融水夜间复而冻结成冰,即为春、秋季附加冰。冰川强烈消融期,在大陆型冰川为 6 ~ 8 月,海洋型冰川为 5 ~ 9 月。冰舌上的冬春积雪逐渐消融殆尽,冰面消融强度与日俱增,冰面径流逐渐形成(杨针娘与曾群柱,2001),为河川径流的主要补给时期。秋末,山区气温降至 0℃ 以下,冰川冰面停止消融。但在极大陆型(极地型)冰川上,如南极冰盖,因全年气温都很

低,绝大部分地区的气温均在 0℃ 以下(图 2),冰面几乎无消融径流,所以冰川物质主要支出项是冰架底部产生的消融和冰架崩解(秦大河和任贾文,2001)。

冰川消融分冰面、冰内和冰下三种,其中以冰面消融为主要形式。冰川的冰面消融,往往可以形成许多特殊的地貌形态。例如,由于阳光照射的角度和时间不同而产生的差别消融,在一些大冰川上形成大范围的冰塔、冰丘、冰林、冰面河道、冰洞、冰蜂窝、冰井、冰蘑菇、冰漏斗等热融景观(图 3)。同时,由于冰面消融是冰川的主要消融形式,在强消融期冰川融水与日俱增,首先以薄层漫流的形式出现;然后形成带状、树枝状水流,沿冰面河道下泄;最后流入河流,成为河川径流的组成部分。冰内消融,是冰川内部因融水作用或其他热源引起的冰体融化现象。如在冰川上由于冰面裂隙发育,冰面融水通过裂隙,冰井或冰穴进入冰内,融水使冰内温度升高,促进冰内冰体消融,而且融水的附加静压力也是冰内孔穴发育的重要因素。冰下消融是指冰川底部由于冰变形、地热和底部摩擦生热形成的冰下融化现象,这种消融对冰川运动有很大帮助。

冰川消融,不管是冰面、冰内或冰下,都是在一些部位同时或先后发生的。气温一旦上升,冰川的冰面、冰内孔道和空穴以及冰体和山体岩床接触的

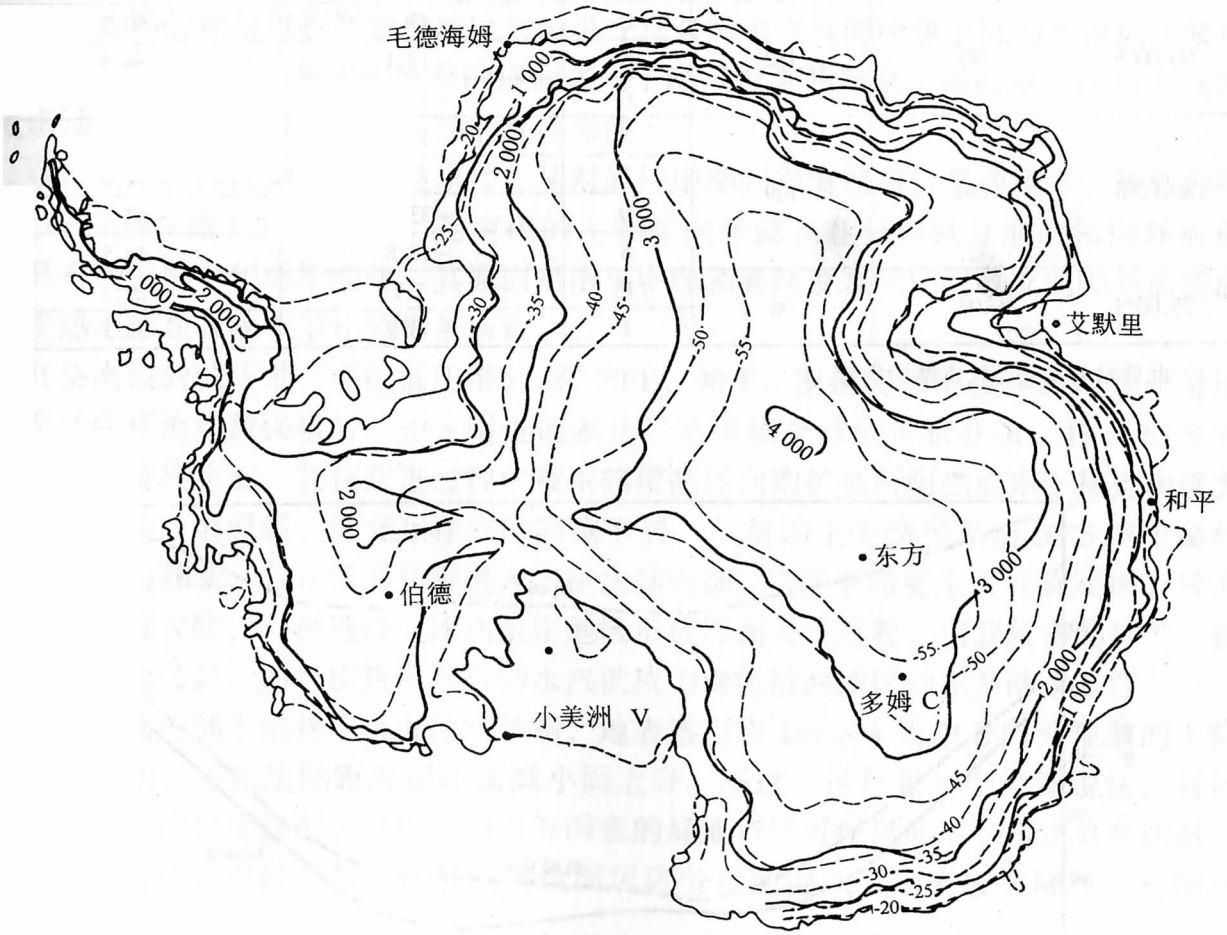


图 2 南极冰盖年平均温度(°C)及海拔高度(m)等值线图(秦大河和任贾文,2001)

Fig. 2 Contour map and average annual temperature in Antarctic Ice Sheet area(Qin Dahe and Ren Jiawen,2001#)

部位等都发生消融现象。多数冰川均以冰面消融为主。但有些温度很低的冰盖及山地冰川,由于地热或摩擦热而引起的冰川底部的消融是主要的融水来源,这种融水对冰川运动底部的润滑有很大帮助。

1.3 冰川融水很难对冰床基岩进行冲蚀

在常态运动的冰川,冰川融水很难直达冰川底部对冰床基岩进行冲蚀,这是因为:①常态运动的冰川,一般年运动速度在数米至数百米。由于冰川运动,使冰变形引起拉伸断裂而形成裂隙。裂隙深度在海洋型冰川不超过 25~30m,大陆型冰川可达 30~50m,极大陆型冰川裂隙深度比海洋性冰川大得多,一般也不超过 100 m。随着冰川运动,冰川上的裂隙时开时合,即使就是裂隙一直存在于坡度较大的冰岩床段,因为坡度大,冰川运动速度也比其他地段快,所以冰面融水很难对冰床基岩进行长时间冲蚀。②冰面融水是山地冰川内最为重要的水源,特别是海洋型冰川。夏季,融水流动在冰面上的水道

网中,类似普通的河流系统。少数融水从冰川两侧和末端流去,而大量融水则通过裂隙和垂直通道(称为冰内竖井,通常形成于冰面水流进裂隙处)流入冰川内部,而后又汇成一条或几条巨大水流从冰川末端流出(Paterson,1981)。在数百至上千米厚的冰层中,冰川融水很难以稳定的圆柱状滚流直达冰川底部;即便在冰层较薄的冰舌区局部偶有圆柱状滚流融水,也不会侵蚀冰床基岩形成所谓的“冰臼”。由于冰川运动加之融水对冰川冰床的润滑,则更加快了冰川运动的速度。所以冰川融水不可能对冰床固定某一位置进行长时间的冲蚀。③一般在冰川冰床和冰川底部分布有数十厘米至数米左右的松散沉积物。由于冰床底部沉积物的存在,以及在强消融期间在一些冰川上(特别是海洋型冰川上)还具有紊流承压运动状态水层等(黄茂桓等,1996;Cuffey and Paterson,2010)。弥漫在不透水基岩冰床之上的松散沉积物,及其空隙中的高水压,可

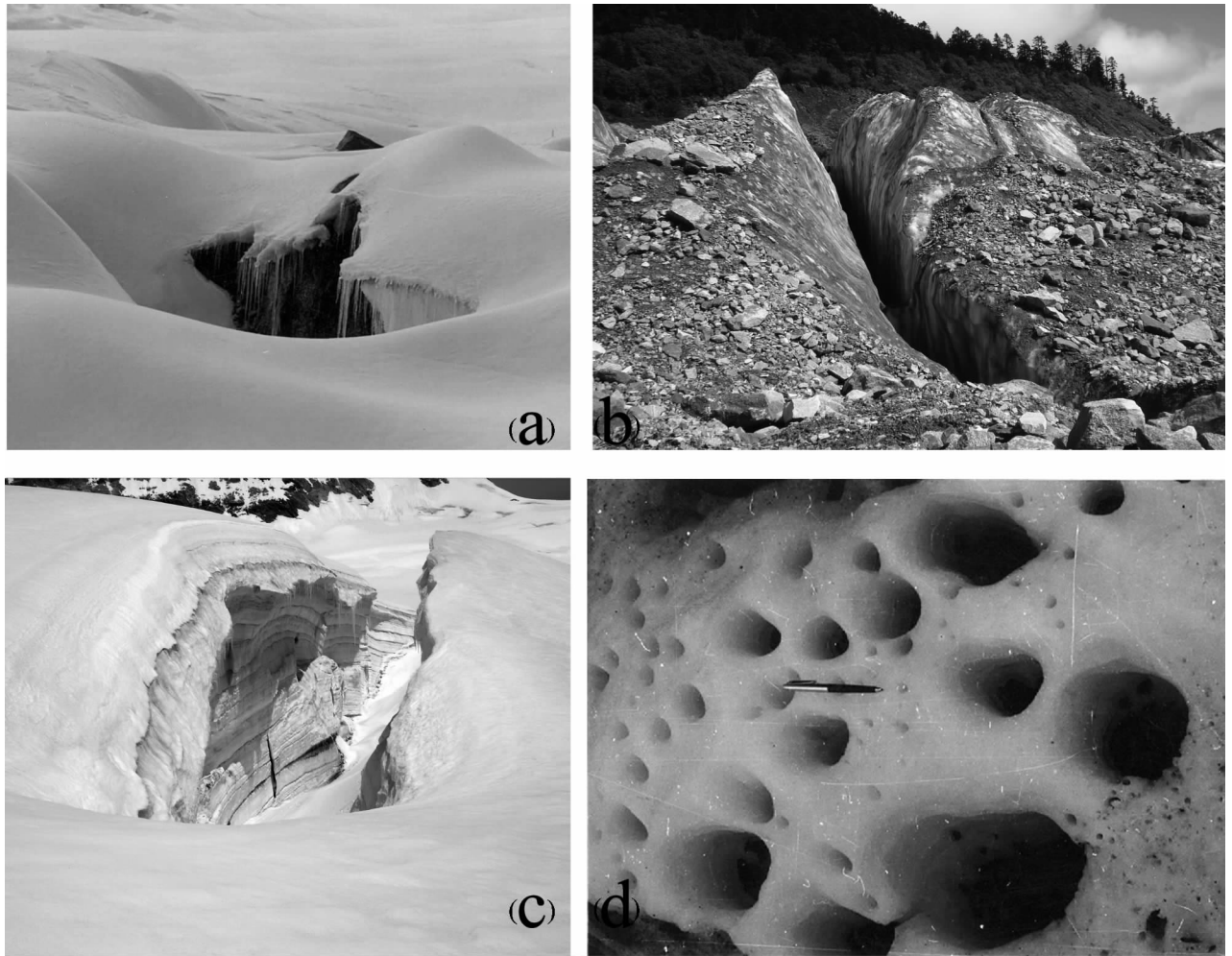


图 3 冰川裂隙和冰面消融形态(刘时银等,2014)

Fig. 3 Crevasses and thermal-karst landscapes on modern glaciers (Liu Shiyin et al., 2014&)

- (a) 喜马拉雅冰川冰井; (b) 贡嘎山海螺沟冰川表面裂隙; (c) 玉龙雪山白水河 1 号冰川冰面裂隙; (d) 天山博格达地区冰川冰杯
 (a) ice well on a glacier in the Himalaya; (b) crevasses on the Hailuoguo Glacier, Mt. Gongga; (c) crevasses on Glacier No. 1 in the Baishui River valley on Yulong Snow Mountain; (d) cryoconite holes on a glacier in Mt. Bogeda, Tianshan Mountains

抵消注入水流的冲击力 (Cuffey and Paterson, 2010)。

2 “冰臼成因说”错误之所在

从上面看出冰川学中的冰川运动、冰川消融及冰川融水理论并不支持韩同林先生的“冰臼”成因说,因而他为其理论所举的例子更是不能成立的。

(1) 韩同林(2004)在《发现冰臼》一书中,将书名英译为“Moulin Discovered”是不当的,在书的封面及书中所附照片均系误用(图 4)。Moulin 一词来源于法文,原文指冰川表面热融所形成的负地貌,正是我们上面所说的冰面消融中形成的冰蜂窝、冰井、冰穴等及冰内消融沿裂隙形成的冰井、冰洞等,涉及的是冰川冰,而不是冰川下覆的基岩,也不是壶穴。

在国际上几部经典的冰川学与冰川地质学著作中也有非常清晰地阐述: Moulin 是冰川表面热融或冰川融水对冰川冰冲刷而成的负地貌,所涉及的是冰川冰,而非下覆冰川岩床 (Bennett and Glasser, 2009; Benn and Evans, 2010; Cuffey and Paterson, 2010)。

(2) 《发现冰臼》一书第 113 页有冰臼群形成过程示意图(图 5),韩同林先生没有注明出处。据周尚哲(2006)考证,此图为 Brögger 与 Reusch 提出的冰水穿洞假说,得到了 Upham、Gilbert 等认可,但更多人质疑其所指的巨穴。根据上述冰川消融与冰川运动特征情况来看,冰川融水不可能稳定在几个点长时冲刷下覆冰床基岩,这是因为:① 冰川本身在缓慢运动,常态冰川速度每年以数米至数百米;②

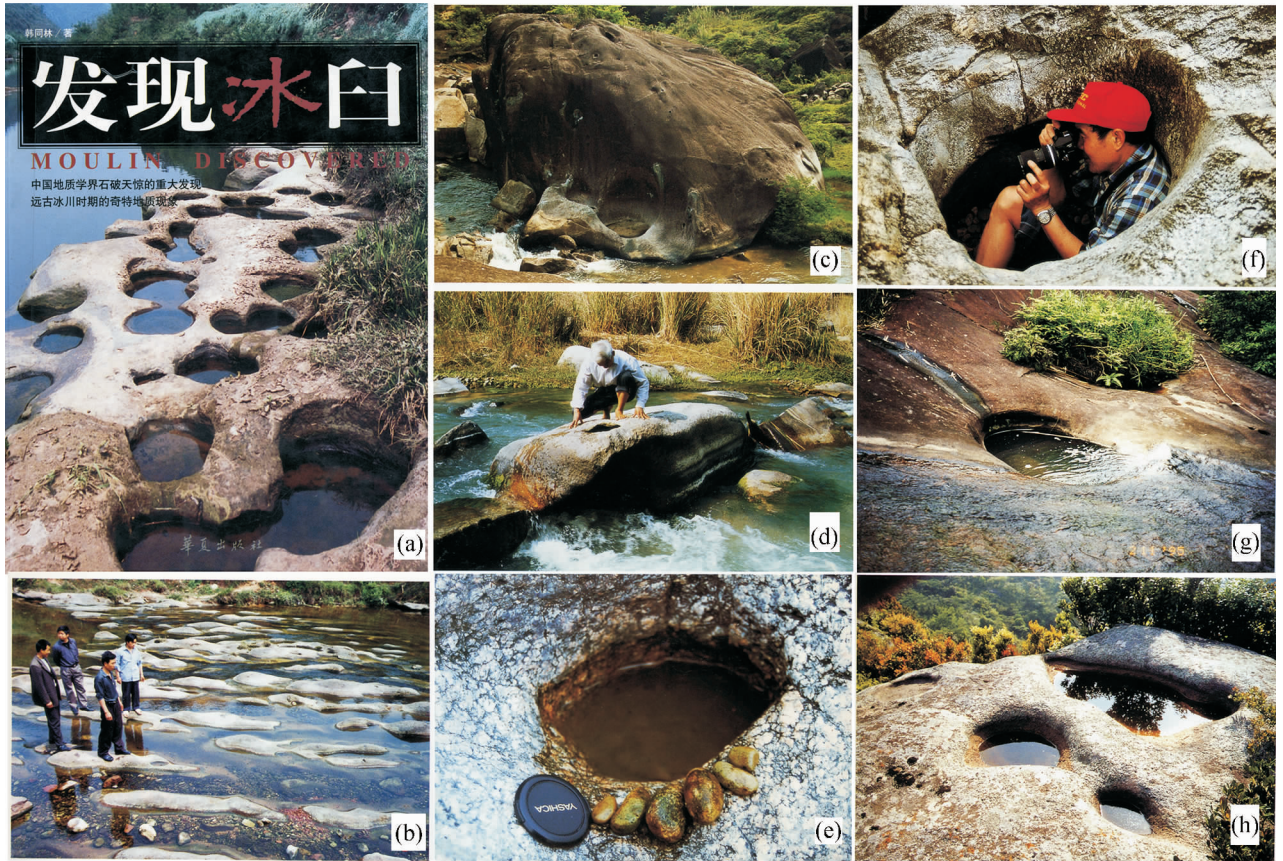


图 4 《发现冰臼》及其内部所附的部分照片 (韩同林, 2004)

Fig. 4 The front cover of *Moulin Discovery* and some typical pictures in this Book (Han Tonglin, 2004#)

(a) 四川夹江河谷; (b) 四川夹江吴场镇; (c) 广东饶平青岚河; (d) 广东揭西石肚溪; (e)、(f) 广东丰顺龙鲸河; (g) 广东仁化丹霞山水瀑布; (h) 浙江舟山群岛

(a) Jiajiang valley in Sichuan Province; (b) Jiajiang valley in Wuchang, Sichuan Province; (c) Qinglan valley in Raoping, Guangdong Province; (d) Shidu stream in Jiexi, Guangdong Province; (e), (f) Longjing River in Fengshun, Guangdong Province; (g) Huashui waterfall in Renhua, Guangdong Province; (h) Zhoushan archipelago, Zhejiang Province

在垂直剖面上,冰川运动速度自上向下逐渐减小,一般冰川底部运动速度仅为冰面运动速度的 30% 以下;③ 所有冰川,在一年中至少有半年以上冰川表面没有径流产生,经过半年以上的冰川运动,冰上冰下早已相距数十至数百米了;④ 冰川上裂隙时有时合,即使在裂隙一直存在的坡度较大的冰岩床段,因为坡度大,冰川运动流速也比其他地段快。从以上看出,所谓“冰臼”也就无形成的可能。如此看来,这个示意图只不过是早期学者对冰川知识了解不多的假想图,与事实不符,已被放弃 (Embleton and King, 1975)。

(3) 冰融水形成圆柱状滚流示意图(图 6),是韩同林先生的主观臆想图,更与事实不符,因为: ① 他猜想那时的古冰川平均厚达 1700m,我们知道冰川裂隙深度最大超不过 100m。在巨厚的冰川上,一

般很难短时间被融穿的,即就是被融水穿透,由于冰川本身在缓慢运动,加之冰层与底床之间的差异运动等,即就是在强消融季节,局部形成有暂时性圆柱状滚流,冰川表面融水也难长时间冲刷冰岩床,何况冰川融水对冰川底部的润滑,更加快了冰川运动的速度。② 由于冰床及冰川底部碎屑物质的存在,以及在强消融期间在一些冰川上(特别是海洋型冰川上)还具有紊流承压运动状态水层等。这使圆柱状滚流对冰川基床也起不到冲刷作用。这样看来,稳定圆柱状滚流长时间冲刷冰岩基床更是无从谈起。因此,韩同林先生所谓的冰臼成因说完全是不能成立的,而是他自己错误的主观臆想。

对于壶穴的形成, Alexander (1932) 发表 Pothole erosion 的著名论文,内有冰水流假说,认为冰川区壶穴是冰下河道流水侵蚀的产物,则为以后学者所

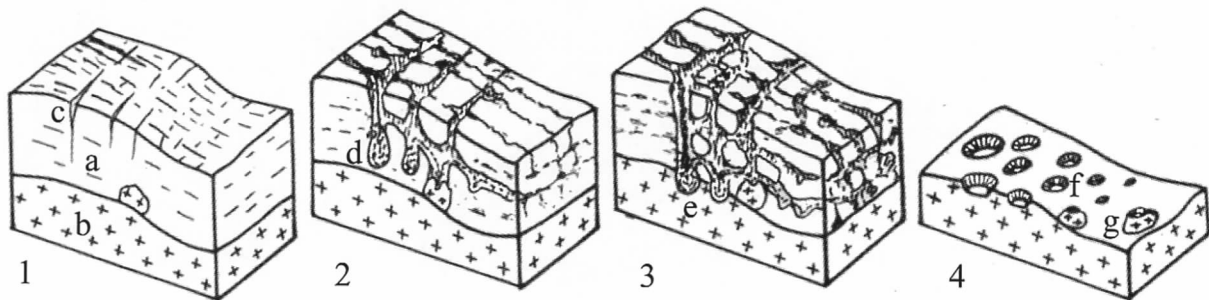


图 5 冰臼群形成过程示意图(转引自韩同林, 2004)

Fig. 5 The illusion formation processes of moulin group (Cited from Han Tonglin, 2004#)

a—冰层;b—冰床基岩;c—冰川裂隙;d—圆柱体水钻;e—圆柱体水钻产生的冰臼;f—冰臼群;g—冰川漂砾上的冰臼
 a—glacial ice; b— bedrock; c— crevasses; d— meltwater flow;
 e—moulin on the bedrock; f—moulin group; g—moulin on boulders

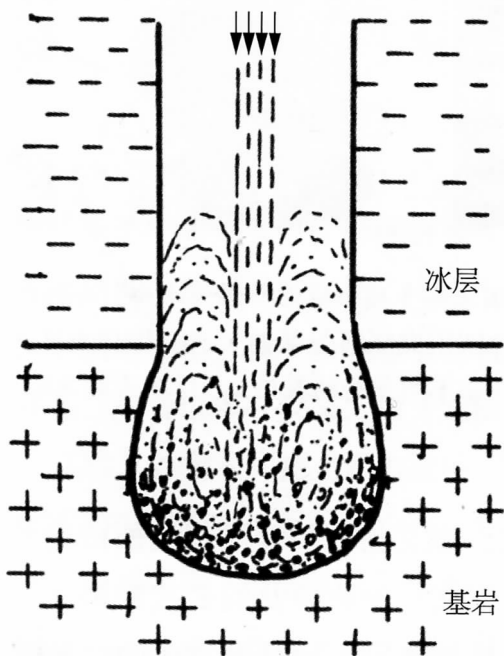


图 6 冰川融水形成圆柱体滚流水钻示意剖面图(转引韩同林,2004)

Fig. 6 The hypothesis of “Moulin” formation——meltwater penetrated through crevasses to erode the bedrock (Cited from Han Tonglin, 2004#)

接受,多数壶穴是旋涡环流侵蚀所成,所以较深,形状规则,边棱分明,形成于冰水河道快速流水侵蚀,穴壁上有螺旋状刻槽;少数是凿孔型,由河床流水斜蚀形成,形态为宽浅洼穴;还有一种跌水潭型壶穴,形成于瀑布之下。所以说壶穴(Pothole)在河流中形成机理与冰水河道是一致的。不过冰下河道形成

壶穴没有直接观测证据,都是推测。我们在我国西部百多条现代冰川、小冰帽和古冰川退出后的冰川槽谷,均未见到由 Moulin 直接发展成的所谓冰臼。“将今论古”都是地质学的基本工作原理,难道韩同林先生对学者们所能接受的这一观点一无所知或是故意回避,令人十分不解。

4 结论

从冰川学的角度来看,冰川运动、消融等理论并不支持“冰臼”是由冰川作用形成的观点,对于“冰臼”成因的解释实为韩同林先生的误用。首先, Moulin 指的是冰川表面热融所形成的负地形,所涉及的是冰川冰,而非冰川下覆基岩;其次,冰水穿洞假说已被放弃,冰川运动的特性使得冰川融水不可能稳定在几个点长时间冲刷下覆冰床基岩。再次,巨厚的运动着的冰层,加之冰川底部厚度不一的底碛以及紊流承压运动水流的存在使其推测的圆柱状滚流直达冰川底部冲刷冰川基岩与事实不符。因此,韩同林先生论著中所论述的“冰臼”成因说不能成立。

冰川区壶穴是冰下河道流水侵蚀的产物,其形成机理与河流中是一致的。我们在我国西部百多条现代冰川、小冰帽和古冰川退出后的冰川槽谷,均未见到由 Moulin 直接发展成的所谓“冰臼”。根据“将今论古”的地质学基本工作原理,“冰臼”成因说也是没有根据的。

致谢:感谢周尚哲教授、吕洪波教授和章雨旭研究员审查文稿,并提出宝贵修订建议。

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; the literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

- 陈华堂, 邱世钧, 黄山, 范小平. 1999. 揭西丰顺“冰臼群”成因商榷. 热带地理, 19: 376 ~ 380.
- 韩同林. 2004. 发现冰臼. 北京: 华夏出版社, 1 ~ 190.
- 黄茂桓, 王茂海, 宋国平, 李纲, 沈颖. 1996. 海螺沟冰川消融区的水力状况. 冰川冻土, 18(增): 46 ~ 50.
- 李洪江, 崔之久, 赵亮. 2001. 内蒙、河北山区壶穴的成因探讨——兼壶穴的成因分类. 地理学报, 56: 223 ~ 231.
- 李吉均, 苏珍. 1996. 横断山冰川. 北京: 科学出版社, 1 ~ 282.
- 李孟华, 谢小康. 1999. “冰臼”与“壶穴”之争. 热带地理, 19: 381 ~ 384.
- 李乃胜, 石学法, 赵松龄, 于洪军. 2003. 崂山地质与古冰川研究. 北京: 海洋出版社, 1 ~ 351.
- 李培英, 徐兴永, 赵松龄. 2008. 海岸带黄土与古冰川遗迹. 北京: 海洋出版社, 1 ~ 337.
- 刘尚仁. 2000. 关于冰臼形成与保存机理认识上的几个误区. 热带地理, 20: 156 ~ 161.
- 吕洪波, 杨超. 2005. 山东新泰青云山发现第四纪大陆冰川遗迹. 地质论评, 51(5): 608.
- 吕洪波, 任晓辉, 杨超. 2006. 赤峰等地第四纪大陆冰川的地貌证据. 地质论评, 52: 379 ~ 383.
- 吕洪波, 章雨旭. 2008a. 壶穴、锅穴、冰臼、岩臼等术语的辨析与使用建议. 地质通报, 27(6): 917 ~ 922.
- 吕洪波, 任晓辉, 许民, 欧阳江城. 2008b. 壶穴差异风化或风蚀作用成因质疑. 地质论评, 54(2): 192 ~ 198.
- 吕洪波, 任晓辉, 许民, 欧阳江城. 2010a. 再论山脊壶穴的冰川融水成因——兼与施雅风院士商榷. 地质论评, 56(5): 693 ~ 702.
- 吕洪波, 章雨旭, 王俊. 2010b. 北京延庆白龙潭被揭示为一巨型山谷壶穴. 地质论评, 56(6): 885 ~ 887.
- 吕洪波, 徐兴永, 易亮, 李萍. 2012. 山东鲁山混合岩表面发现第四纪冰川剥蚀的直接证据——颤痕. 地质学报, 86(3): 514 ~ 521.
- 秦大河, 任贾文. 2001. 南极冰川学. 北京: 科学出版社, 1 ~ 239.
- 施雅风. 1981. 庐山真的有第四纪冰川吗? 自然辩证法通讯, (2): 41 ~ 45.
- 施雅风, 崔之久, 李吉均等. 1989. 中国东部第四纪冰川与环境问题. 北京: 科学出版社, 1 ~ 462.
- 施雅风, 崔之久, 苏珍. 2006. 中国第四纪冰川与环境变化. 石家庄: 河北科学技术出版社, 1 ~ 618.
- 施雅风. 2010a. 韩同林的“冰臼论”是对花岗岩类岩石“负球状风化”的误解. 地质论评, 56(3): 349 ~ 354.
- 施雅风. 2010b. 论李四光教授的庐山第四纪冰川是对泥石流的误读. 地质论评, 56(5): 684 ~ 688.
- 施雅风. 2011a. 中国东部中低山地有无发育第四纪冰川的可能性? 地质论评, 57(1): 44 ~ 49.
- 施雅风, 赵井东, 王杰. 2011b. 中国第四纪冰川新论. 上海: 上海科学普及出版社, 1 ~ 213.
- 田明中, 孙洪艳, 武法东, 孙继民, 顾国君. 2005. 克什克腾世界地质公园地质遗迹的科学价值. 第六届世界华人地质科学研讨会暨中国地质学会2005年学术会议论文摘要, 211 ~ 215.
- 吴忱. 2007. “冰臼”是古地貌面上的流水侵蚀遗迹——壶穴——就韩同林《发现冰臼》一书中的资料谈华北北部的“冰臼”. 地理与信

息科学, 23: 74 ~ 77.

- 杨超群. 2001. 冰臼与壶穴之争述评. 热带地理, 21: 86 ~ 93.
- 杨针娘, 曾群柱. 2001. 冰川水文学. 重庆: 重庆出版社, 1 ~ 375.
- 章雨旭. 2005. “冰臼”成因争鸣——以克什克腾旗青山岩臼群为例. 地质评论, 51: 680 ~ 712.
- 章雨旭, 刘恋. 2011. 山脊壶穴不能作为中国东部第四纪冰川的证据. 学术争鸣. 科技导报, 29: 62 ~ 68.
- 赵松龄. 2010. 中国东部低海拔型古冰川遗迹. 北京: 海洋出版社, 1 ~ 392.
- 周尚哲. 2006. 锅穴一定是第四纪冰川的标志吗? 第四纪研究, 26: 117 ~ 125.
- 朱银奎. 2014. 崂山花岗岩山脊壶穴的特征及成因探讨. 地质论评, 60(2): 397 ~ 408.
- Alexander H S. 1932. Pothole erosion. The Journal of Geology, 40: 305 ~ 337.
- Benn D I, Evans D J A. 2010. Glacier and Glaciation (second edition). London: Hodder Education, 1 ~ 802.
- Bennett M R, Glasser N F. 2009. Glacial Geology: Ice Sheet and Landforms (second edition). Oxford: Wiley-Blackwell, 1 ~ 385.
- Chen Huatang, Qin Shijun, Huang Shan, Fan Xiaoping. 1999&. A discussion on the cause of formaion of the Pothole landform in Jiexi and Fengshun counites, Guangdong, Tropical Geography, 19(4): 376 ~ 380.
- Cuffey K M, Paterson W S B. 2010. The Physics of Glaciers (fourth edition). Amsterdam: Butterworth-Heinemann, 1 ~ 704.
- Cui Zhijiu, Li Hongjiang, Nan Ling, Li Dewen. 1999. The discovery and environmental significance of Chifeng Wind route and huge pots of Inner Mongolia and Hebei province. Chinses Science Bulletin, 44: 1531 ~ 1536.
- Embleton C, King C A M. 1975. Glacial Geomorphology. London: Edward Arnold, 1 ~ 573.
- Han Tonglin. 2004#. Moulin discovered. Beijing: Huaxia Publishing House, 2004: 1 ~ 190
- Huang Maohuan, Wang Maohai, Song Guoping, Li Gang, Shen Ying. 1996&. Hydraulic effect in the abation area of the Hailuoguo Glacier. Journal of Glaciology and Geocryology, 18(S): 46 ~ 50.
- Li Hongjiang, Cui Zhijiu, Zhao Liang. 2001&. Oringin of Pots in Inner Mongolia and Northern Hebei —— Also about the Classification of Pots. Acta Geographica Sinica, 56(2): 223 ~ 231.
- Li Jijun, Su Zhen. 1996&. Glaciers in the Hengduan Mountains. Beijing: Science Press, 1 ~ 282.
- Li Menghua, Xie Xiaokang. 1999&. A Discussion on “Glacial-mortar” and “Pot-hole”, Tropical Geography, 19(4): 381 ~ 384.
- Li Naisheng, Shi Xuefa, Zhao Songling, Yu Hongjun. 2003#. Study on Geology and Palaeo-Glaciation of Mt. Laoshan. Beijing: China Ocean Press, 1 ~ 351.
- Li Peiyong, Xu Xingyong, Zhao Songling. 2008#. The loess and the Paleo-Glaciation Remains in the Coastal Zone of China. Beijing: China Ocean Press, 1 ~ 337.
- Liu Shangren. 2000&. Some Mistaken Views in Cognition of the Mechanism of Formation and Conservation of Moulin. Tropical Geography, 20(2): 156 ~ 161.
- Liu Shiyin, Pu Jianchen, Deng Xiaofeng, Su Zhen, Zhao Jingdong, Harbor J. 2014. Glaciers and Glacial Landscapes in China. Shanghai: Shanghai Popular Science Press, 1 ~ 147.
- Lü Hongbo, Yang Chao. 2005#. The Quaternary glacial traces were discovered in Mount Qingyun, Xintai, Shandong. Geological Review, 51(5): 608.

- Lü Hongbo, Ren Xiaohui, Yang Chao. 2006&. Landform evidences of Quaternary continental glaciation in Chifeng and the vicinity areas, North China. *Geological Review*, 52: 379 ~ 383.
- Lü Hongbo, Zhang Yuxu. 2008a&. Discrimination and analysis of terms such as “pothole”, “kettle” and “glacial pothole” and suggestions about their usage. *Geological Bulletin of China*, 27(6): 917 ~ 922.
- Lü Hongbo, Ren Xiaohui, Xu Min, Ouyang Jiangcheng. 2008b&. An Argument on the Genesis of potholes formed by differential weathering or wind deflation. *Geological Review*, 54(2): 192 ~ 198.
- Lü Hongbo, Ren Xiaohui, Xu Min, Ouyang Jiangcheng. 2010a&. On the meltwater origin of potholes found on granite ridges—a consultation with academician SHI Yafeng. *Geological Review*, 56(5): 693 ~ 702.
- Lü Hongbo, Zhang Yuxu, Wang Jun. 2010b#. A huge pothole discovered in Yanqing, Beijing. *Geological Review*, 56(6): 885 ~ 887.
- Qin Dahe, Ren Jiawen. 2001#. *Antarctic Glaciology*. Beijing: Science Press, 1 ~ 239.
- Shi Yafeng. 1981#. Mount Lushan really has Quaternary glacier? *Journal of Dialectics of Nature*, (2): 41 ~ 45
- Shi Yafeng, Cui Zhijiu, Su Zhen. 2006&. *The Quaternary glaciations and Environmental Variations in China*. Shijiazhuang: Hebei Science and Technology Publishing House, 1 ~ 618.
- Shi Yafeng, Cui Zhijiu, Li Jijun. 1989&. *China's Eastern Quaternary Glacier and Environmental Problems*. Beijing: Science Press; 1 ~ 462.
- Shi Yafeng. 2010a&Comments on the moulin argument provided by Mr. HAN Tonglin, a misunderstanding of granite negative spheroidal weathering. *Geological Review*, 56(3): 349 ~ 354.
- Shi Yafeng. 2010b&. On Prof. Lee's having misread debris flow deposits as Quaternary glaciations in the Lushan Area, Jiangxi Province, 56(5): 684 ~ 688.
- Shi Yafeng. 2011a#. Is it really possible for glacier to develop on the Mountains which below 2500m asl in the eastern China? *Geological Review*, 57(1): 44 ~ 49.
- Shi Yafeng, Zhao Jingdong, Wang Jie. 2011b#. *New understanding of Quaternary glaciations in China*. Shanghai: Shanghai Popular Science Press, 2011: 1 ~ 213.
- Tian Mingzhong, Sun Hongyan, Wu Fadong, Sun Jimin, Gu Guojun. 2005#. Scientific interest of the geological heritages in the Hexigten Global Geopark//The Abstracts of the 6th World Chinese Conference on Geological Sciences & Annual Meeting of 2005 of the Geological Society of China, 211 ~ 215.
- Wu Chen. 2007&. Pothole – – A mark of Fluvial Erosion on Ancient Landform; Discuss with Han Tonglin about Moulin of Northern North China in the Book of Moulin discovery. *Geography and Geo-Information Science*, 23(3): 74 ~ 77.
- Yang Chaqun. 2001&. A Review of The Controversy over the Question of Moulin and Pothole, *Tropical Geography*, 21(1): 86 ~ 93.
- Yang Zhenxiang, Zeng Qunzhu. 2001#. *Glacier Hydrology*. Chongqing: Chongqing publishing House; 1 ~ 375.
- Zhang Yuxun. 2005#. An Argument on the Origin of Potholes; A Case of the Qingshan Area, Hexigten Qi, Inner Mongolia. *Geological Review*, 51(6): 680, 712.
- Zhang Yuxun, Liu Lian. 2011&. Potholes on Hilltops is Not the Evidence for Quaternary Glacier in Eastern China. *Science and Technology Review*, 29(33): 62 ~ 68.
- Zhao Songling. 2010#. The Paleo-Glaciation Remains at low Altitudes in Eastern China. Beijing: China Ocean Press, 1 ~ 392.
- Zhou Shangzhe. 2006&. Are all Potholes markers of Quaternary Glaciations? *Quaternary Sciences*, 26: 117 ~ 125.
- Zhu Yinkui. 2014&. Characteristics and origin of granite hilltop potholes in Mount Laoshan. *Geological Review*, 60(2): 397 ~ 408.

Genesis of the Potholes in China

—Comments on *Moulin Discovery*

SU Zhen, PU Jianchen, ZHAO Jingdong

State Key Laboratory of Cryospheric Sciences, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, 730000

Abstract: The landform similar to mortar was called “moulin” by Han Tonglin and some other scholars. They considered these landforms were formed by the scouring of meltwater, which ran through the crevasses from top to bottom and its continual dropping wore away the bedrock. Therefore, the “moulins” and “moulin groups” are regarded as a very important evidence of ancient glaciers. Actually, the so-called “moulins” or “moulin groups” are multiple genesis landforms, called “kettle holes” or “potholes” in modern geomorphology. Reviewing the available literatures, the most chaos was caused by Moulin Discovery that has been written by Mr. Han Tonglin. On the sight of glaciology, the theories such as glacier movement and ablation, which do not support the view that “Moulin” is formed by glacialization. The following are some comments on the mistakes in that book. Firstly, according to the knowledge of glaciology, moulins or moulin groups are a kind of negative relief on glacier surface and formed by melting, rather than the bedrock. In other words, they refer to glacial ice, not the bedrock. Secondly, Brögger's hypothesis of moulin formation—meltwater penetrated through crevasses to erode the

bedrock has already been abandoned. However, Mr. Han chose this abandoned hypothesis to interpretate the formation of moulins or moulin groups in his book. On the basis of glacier knowledge, it is impossible for moulins or moulin groups to form beneath glaciers due to the movement of glacier. Thirdly, the hypothesis of cylindrical roller meltwater flow that focus on one point to erode the bedrock is not consistent with the facts, for the meltwater lubricates the glacier's bottom and accelerates its movement. In addition, there are more or less rock debris and confined groundwater at the bottom of glacier, they will keep the bedrock from erosion. The above comments indicate that the hypothesis in Han Tonglin's book is not correct, it is just a surmise of Mr. Han Tonglin and some other scholars.

Keywords: Moulin; Potholes; Meltwater; Glacier movement

Acknowledgments: This research was supported by the Program of the Ministry of Science and Technology of China (No. 2013FY111400), the National Natural Science Foundation of China (Nos. 41371028, 41190080, 4117056, 41230743) and the West Light Foundation of CAS (Dr. Zhao J). And we would like to express our thanks to Professor ZHOU Shangzhe, LÜ Hongbo and ZHANG Yuxu for reviewing our manuscript and putting forward valuable amendment suggestions.

First author: SU Zhen, male, born in 1938, professor, focus on glacier change and environmental variation. Email: suzhen@lzb.ac.cn

Corresponding author: ZHAO Jingdong, Email: jdzhao@lzb.ac.cn

Manuscript received on: 2015-12-16; Accepted on: 2016-11-11; Edited by: ZHANG Yuxu.

Doi: 10.16509/j.georeview.2017.01.013

(上接第74页)

刊名	核心被引频次	影响因子	刊名	核心被引频次	影响因子	刊名	核心被引频次	影响因子
北京大学学报(自)	1399	0.517	云南大学学报(自)	561	0.395	古生物学报	586	0.303
水资源保护	747	0.511	合肥工业大学学报(自)	1178	0.387	昆明理工大学学报(自)	451	0.287
西安石油大学学报(自)	832	0.510	北京师范大学学报(自)	711	0.371	中国科学技术大学学报	508	0.279
海洋地质与第四纪地质	1472	0.504	矿产保护与利用	408	0.369	铀矿冶	178	0.261
矿业研究与开发	728	0.504	中国煤炭地质	878	0.369	黄金	755	0.260
西北地质	802	0.495	工程勘察	857	0.368	地下空间与工程学报	1280	0.258
长安大学学报(自)	953	0.469	震灾防御技术	212	0.363	国土资源科技管理	330	0.242
中国科学院大学学报	433	0.467	中国矿业	1399	0.362	中国锰业	223	0.211
矿物学报	968	0.459	中国海洋大学学报(自)	1648	0.359	地质与资源	382	0.201
浙江大学学报理学版	659	0.448	矿冶	560	0.352	西北大学学报(自)	839	0.189
地震	577	0.444	古脊椎动物学报	453	0.346	物探化探计算技术	452	0.187
地震工程与工程震动	1537	0.425	地质力学学报	453	0.344	中国非金属矿工业导刊	302	0.184
中国能源	356	0.424	海洋湖沼通报	658	0.344	岩土工程技术	228	0.180
微体古生物学报	371	0.421	桂林理工大学学报	514	0.342	粉煤灰综合利用	229	0.179
非金属矿	679	0.413	东华理工大学学报(自)	341	0.338	福州大学学报(自)	377	0.176
科技导报	1583	0.399	内陆地震	231	0.333	贵州大学学报(自)	240	0.166
矿产综合利用	498	0.398	地质找矿论丛	423	0.314	中山大学学报(自)	1039	0.140
大地测量与地球动力学	1245	0.395	矿产勘查	378	0.309			

注:① 数据来源:中国科学技术信息研究所. 2016. 中国科技期刊引证报告(核心版,2015年版). 北京:科学技术文献出版社. ② 本表按影响因子降序排列. 某期刊2015年度的影响因子 = $\frac{\text{该期刊2014和2013年发表文章被统计源期刊于2015年度引用的总次数}}{\text{该期刊2014和2013年发表文章总篇数}}$.

③ 刊名中的“(自)”是指“自然科学版”. ④ 《中国科学院大学学报》原名《中国科学院研究生院学报》.