

再论山脊壶穴的冰川融水成因

——兼与施雅风院士商榷

吕洪波¹⁾, 任晓辉²⁾, 许民²⁾, 欧阳江城²⁾

1) 中国石油大学地球科学系, 山东青岛, 266555; 2) 赤峰学院环境与资源系, 内蒙古赤峰, 024000

内容提要:针对施雅风院士新提出的壶穴之“负球状风化”说, 笔者特撰文与施老商榷。笔者认为: 壶穴的形成并不受花岗岩中节理的控制, 也与风化作用无关, 不能用“负球状风化”来解释。壶穴是高速旋转水流侵蚀的结果, 在中国东部花岗岩山脊上发现的壶穴是第四纪冰川融水侵蚀的标志。近年来观察到的格陵兰冰上湖泊的突然排泄为壶穴的冰川融水成因说提供了重要的证据。壶穴成因争论的本质是中国东部是否曾经发育过第四纪冰川, 建议第四纪学界关注中国东部第四纪冰川的其他地貌标志。韩同林研究员的“冰臼论”促进了中国东部第四纪冰川地貌的再研究, 应当给予积极评价。

关键词: 壶穴; 负球状风化; 冰川融水; 中国东部; 第四纪冰川

施雅风院士最近在《地质论评》(2010年56卷3期)上发表了《韩同林的“冰臼论”是对花岗岩类岩石“负球状风化”的误解》一文, 明确否定了韩同林研究员关于壶穴的冰川成因论, 认为这些“臼状地形, 应是花岗岩类地区与节理有关的负球状风化(Negative spheroidal weathering)与风、水协力作用的结果”; 并且根据他人对壶穴内沉积物的热释光测年不老于4ka的结果推测: “这一过程是冰期后即不超过10ka的时段里进行的”(施雅风, 2010)。

笔者以崇敬的心情反复阅读了施雅风院士的论文, 感叹已九十多岁高龄的施老对中国东部第四纪冰川相关的学术问题仍旧持有极其浓厚的兴趣, 而“负球状风化”说的提出无疑给壶穴的非冰川成因说增添了另一种提法。考虑到施老在中国地学界的影响, 该文的发表定会引发新一轮的壶穴成因争论。然而, 最近十几年来对壶穴成因的争论仅是表面现象, 其本质是地学界对中国东部是否存在第四纪冰川这一重大问题的根本分歧。鉴于此, 尽管韩同林研究员已经作了答复(韩同林, 2010), 笔者觉得仍有必要对山脊壶穴的冰川融水成因进行深入的理论探讨, 故特撰文向施老及同行们请教。若有不妥之处, 还望施老及同行们指正。

1 “负球状风化”定义模糊, 无法解释壶穴的成因

1.1 “负球状风化”是“壶穴”多成因说的另一提法

热带地理编辑部(2002)曾经有一篇对施老的采访谈话报道, 施老认为壶穴与冰臼都是旋转水流侵蚀造成的, 形态上也没有区别。今天“负球状风化”说(施雅风, 2010)的提出显然修正了8年前的提法, 必然有新的思考。笔者利用网络查阅了关于“负球状风化”的相关文献, 但却收获不大, 未能查阅到Wagner的原文, 只阅读到一篇关于他的“Negative spheroidal weathering”的评述, 认为“负球状风化”更确切的是指“Exfoliation(即“剥离面理、层节理”, 笔者注)”的一种(Schofield, 1949), 后来很少有人再使用“负球状风化”这一术语。从施老的转述中也可以体会到原文主要谈论的是“层节理”而非壶穴, 而施雅风(2010)也没有给出“负球状风化”的定义。剥离面理(Exfoliation)是指花岗岩类为主的岩石在近地表发育的与地面起伏相似的一系列节理(也叫层节理 sheet jointing)(Gary et al., 1972, p. 243)。尽管Gilbert于1904年就提出广为流传的假说——释压节理说(见Bahat et al., 1999), 但后来的研究揭示出不同的成因机理(Holzhausen, 1989; Bahat et al., 1999), 可见其成因至今仍需探索。然而, 无论如何剥离面理与球状风化有着根本的区别: 球状风化是受控于节理的岩块逐渐圆化的结果, 以化学风化为主, 其规模受控于被各种方向裂隙切割的岩块的大小(Gary et al., 1972, p. 680); 而剥离面理

注: 本文为山东省自然科学基金资助课题“中国东部第四纪冰川地貌研究”(编号 Y2008E20)的成果。

收稿日期: 2010-05-26; 改回日期: 2010-06-12; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 吕洪波, 男, 1957年生。教授。主要从事构造地质学、沉积学和第四纪地质学等教学和研究。Email: hongbolu@upc.edu.cn。

规模巨大,与地表形态起伏一致,与化学风化无关(Gary et al., 1972, p. 243; 吕洪波, 2006a, 218 页)。

施老仅仅是借用“负球状风化”这一古老的提法解释壶穴的形成机理:

“正球状风化遗下以石英为主的孤立岩块,称为核心石(Corestone)或石蛋,这主要是物理的热胀冷缩与冻裂作用结果,较大的核心石表面也可以发生小型臼状穴,如图 1c 所示,也是负球状风化剥落产生的”(施雅风, 2010)。但在随后的评述中又赞同章雨旭(2005)、孙洪艳等(2007)的差异风化说,没有看到对“负球状风化”机理的更进一步描述。球状风化的定义和形成机理在地学界早已达成共识(Gary et al., 1972, p. 680),至今无人提出不同的看法。球状风化既不限于石英为主的岩石,也不是以物理风化为重。显然,施老对“正球状风化”(即正常的“球状风化”)的定义和成因都产生了明显的认识偏差,“负球状风化”就更加模糊了。

可见,施老的“负球状风化”说仅仅为壶穴的“非冰川”成因说换了一种文字上的提法,但也还要“与风、水协力作用”(施雅风, 2010)才能完成壶穴的形成。这实际上仍相当于近年来流行的壶穴的“多成因说”的一种,对壶穴成因的探讨并无明显新意。

1.2 壶穴的形成时间问题

针对韩同林研究员在他的《发现冰臼》一书中推断这些壶穴为过去“二、三百万年以来形成的”(韩同林, 2004)说法,施老引用了壶穴中的沉积物测年结果:“李洪江等(2001)取得喇嘛山、七锅山、青山 3 个发育在中粗粒花岗岩地面臼状穴底部沉积物样品,请国家地震局地质研究所进行热释光测年,分别为 $2.44 \pm 0.19\text{ka}$, $2.63 \pm 0.28\text{ka}$ 与 $3.93 \pm 0.32\text{kaBP}$ 。放宽估算,臼穴开始下凹时间不会超过 10ka ”(施雅风, 2010)。

韩同林研究员并未对壶穴的形成时间进行研究,而是根据壶穴形成与“青藏大冰盖”同期的假定推断为第四纪早期的“2~3 百万年”(韩同林, 2004, 156 页)。显然,这种推断过于宽泛而缺乏精准。然而,施老在指出韩同林研究员不足的时候,自己却也犯了逻辑推理的错误。根据李洪江等(2001)对壶穴中的沉积物测年结果可以肯定的是:上述几处壶穴形成至少分别在 $2.44 \pm 0.19\text{ka BP}$, $2.63 \pm 0.28\text{ka BP}$ 与 $3.93 \pm 0.32\text{ka BP}$ 之前。换句话说,至少从两千多年前开始至今那些壶穴没再加深发展。然而,我们却无法依此推断壶穴的下凹时间“不超过 10ka ”。事实上北方花岗岩山脊上的很多壶穴里面

并没有沉积物,依据施老的逻辑又如何“估算”呢?施老的“估算”主观上将壶穴的形成时间限制在全新世,让读者产生了想避开第四纪冰川发育期的感觉。

与施老的估算恰恰相反,笔者根据胶州湾沉积物不早于 20ka 且海相沉积出现在 10ka 前的事实推测:崂山花岗岩山脊上的壶穴肯定形成于 10ka 前(LU Hongbo et al., 2007)。同理,中国东部花岗岩山脊上的壶穴都是在末次冰盛期(LGM)的消融阶段形成的(吕洪波, 2008a),即:壶穴的下凹时间多数在 10ka BP 之前。

2 命名混乱不利于壶穴的成因研究

近十年来,中国第四纪学界关于壶穴的成因争论不但没能达成共识,而且还使用或创造了一些新名词,如:“冰臼”(韩同林等, 1998)、“岩臼”(孙洪艳等, 2007)、“坑穴”(朱诚等, 2008)等;周尚哲(2006)则是将“壶穴”与“锅穴”混为一类。甚至全新世(2010) (“全新世”疑为笔名)在《中国国家地理》上建议:“我们给它一个中立的称呼,称其为‘岩臼’吧!”大有越搅水越浑的趋势。

全新世(2010)这篇科普文章写得非常详细,但作者可能不是地学专家,未能深入探讨壶穴的成因,在转述他人观点的过程中还出现了不少误解。如:“...韩同林认为冰川融水是从上面近乎垂直地落下,而吕洪波却认为流水来自冰下。他是这样说的:冰臼是冰川下的基岩被冰下融水流动时受到阻挡所形成的夹带着砾石碎屑的漩涡水流磨蚀而成”(全新世, 2010, 39 页)。“全新世”没有列出参考文献,但笔者检查了自己过去发表的所有关于第四纪冰川的文章都无法找到他转述的句子。因为太多的砾石碎屑不利于壶穴的形成,所以不能强调砾石的磨蚀作用,希望读者们不要误解这是“吕洪波”的认识。

《中国国家地理》杂志是国内影响不小的科普期刊,如果地质学家们不尽快将壶穴的成因解释清楚,恐怕会令大众产生错觉:中国第四纪学界所谓的“专家”们天天争来争去的,仅仅是一个名称而已。

事实上,新名称“岩臼”并不显示“中立”,而老称呼“壶穴”也可不带偏见(吕洪波等, 2008b),应将精力用在关注中国东部是否存在第四纪冰川这一根本问题上。

既不能将地表所有的坑都称作“壶穴”、“锅穴”或“坑穴”,也不能将壶穴分别称作五花八门的名称。命名上的混乱不利于对事物本质的研究。

吕洪波等(2008b)对壶穴等词汇的出处和沿革

历史等进行了详细分析,建议对“口小肚大底平”的凹坑使用“壶穴”这一称呼,不再乱起新名。希望同仁们积极参与讨论并提出宝贵建议。

3 壶穴的形成与节理无关,也与风化无关

施雅风(2010)强调壶穴与节理有关,但现实中所观察到的壶穴的形成无一受节理控制。

笔者已经在山东新泰青云山前寒武纪混合岩中发现相似的壶穴,没有沿着节理缝发育(吕洪波,杨超,2005);在克什克腾旗青山花岗岩山脊上的壶穴、阿斯哈图石林景区花岗岩残丘顶上的壶穴、巴林左旗南部花岗岩山脊上的壶穴也都没有沿着节理发育(吕洪波等,2006);在青岛崂山花岗岩山脊上发现的壶穴同样没有沿着节理发育(LU Hongbo et al., 2007;李乃胜等,2006;郭良等,2007)。事实上,这些花岗岩山脊上确实存在着节理,但当冰川融水向较大的基岩裂隙上方冲刷时,由于地面的均匀性受到破坏,壶穴反而难以形成。

青岛大珠山上燕山期花岗岩表面见有两组明显的节理(走向分别 NW 和 NE),将花岗岩切割成约 $3 \times 5 \text{ m}^2$ 的岩块,岩块本身由于球状风化已经变成浑圆状,但在其表面最高点的中心位置却存在着一个直径 1m 左右的壶穴(图版 I-1)。发育壶穴的花岗岩非常坚硬,除了岩块边界两组节理外,内部没有任何裂隙。这充分说明了壶穴并没有借助于先存的节理发育。壶穴发育在浑圆状的花岗岩块体(实际上就是球状风化剩下的核心)的表面,说明壶穴是球状风化后才形成的,与球状风化无关。

壶穴也不是专门避开花岗岩的节理发育的。在青岛小珠山燕山期花岗岩山脚处有一块被两组节理切割成的大岩块,由于球状风化作用,其总体上棱角有所圆化,中间却因水流的强烈冲刷而形成不规则但底部非常平坦的槽子,在这个冲刷槽的底部,有一组雁列式排列的垂直节理缝(图版 I-2)。而冲刷槽的形态并未受到节理缝的任何影响。在青岛崂山花岗岩表面的冲刷槽也并不沿着节理缝分布(图版 II-8)。在山东新泰青云山混合岩山脊上也发现冲刷槽恰好与节理缝局部重合,但冲刷槽的形态与节理缝无关(图版 II-5),说明冲刷槽的形成并不受节理缝控制。

当然,绝大多数壶穴底部并未见任何真正的裂隙或节理,说明壶穴并未沿着节理发育。

壶穴也不可能是风化作用的结果。因为,假若

壶穴是风化作用造成的,那么其口缘就不应是尖锐棱角状,而应风化成浑圆状。

还有一个非常容易忽略的事实是:虽然风化作用是岩石在地表环境下发生的变化,球状风化的主要阶段却是岩石暴露于地表之前发生的。被多组节理(裂隙)切割的花岗岩块体在地下水的的作用下遭受化学风化,两组节理交汇的棱部和三组节理交汇的块体顶端处风化速度快,逐渐变成浑圆状的核心石(corestone),外部包着软弱的风化层(图 1)。当岩块暴露于地表后,周围软弱的风化层被剥蚀走,只剩下未风化的浑圆状核心,即构成“石蛋”地貌(图版 I-3)。它不是物理风化,而是一种化学风化(Gary et al., 1972, p. 680)。这些风化剩下的核心一旦暴露于地表,因为缺乏地下水的长期浸润,球状风化就基本停止了。所以,在“石蛋”顶面上发育的壶穴,既与节理无关,也与化学风化无关。

因此可以明确的是:壶穴的形成与花岗岩中的节理无关,也与风化作用无关。

4 壶穴的冰川融水成因讨论

近年来国内有不少研究者试图用差异风化解释壶穴的成因(李洪江等,2001;李德文等,2003;章雨旭,2005;孙洪艳等,2007),有人则提出风成说(崔之久等,1999),更有人推崇多成因说(刘尚仁,2000;周尚哲,2006;朱诚等,2008)。

然而,多成因说无法给出壶穴成因的满意答案。特征一样的地表侵蚀构造,为什么发育在南方河谷



图 1 青岛大珠山山坡下新暴露出来的花岗岩球状风化(张传德摄)

Fig. 1 Spheroidal weathering of granite in Mount Dazhu, Qingdao (photoed by Zhang Chuande)

线条处为原节理缝,现已模糊不清,中间核心石直径约 30cm
The lines added represent the former joints between the connected granite blocks, the corestone in the middle is about 30cm in diameter

中的壶穴用快速水流解释(周尚哲,2006),而在北方花岗岩山脊上的壶穴就只能用差异风化(孙洪艳等,2007)或风吹(崔之久等,1999)来解释呢?不能因为花岗岩山脊上今天没有强水流就否定了壶穴的快速水流侵蚀成因。

笔者对发育于中国北方花岗岩山脊上的壶穴进行了多年的观察,认为是冰川融水侵蚀的结果(吕洪波等,2006,2008)。

壶穴的成因在国际上已经讨论了一百多年,均认为是快速水流旋转冲刷的结果(Alexander,1932; Faegri,1952; Higgins,1957; Morgan,1970; Cox,1975; Gilbert,2000; Fleeger et al.,2002)。如果说瀑布下方河床上的壶穴可能与河流流水有关,那么花岗岩山脊上的壶穴因为没有河流且汇水面积太小则只能是冰川融水形成的。而且冰川融水从冰盖上下泄速度更快,因此单个壶穴形成所需要的时间可以比冰裂隙存在的时间还短(Fleeger et al.,2002)。冰川融水被看作劳伦斯冰盖之下地形侵蚀与改造的主要动力(Gilbert,2000; Kunert and Coniglio,2002)。早期的物理实验显示:旋转水流作用于壶穴后,涌入的水流盘旋到壶穴的中心而向上返出(Alexander,1932),因而能将壶穴中的岩石碎屑物送出壶穴而不至于堆积在底部,所以花岗岩山脊上的壶穴基本上没见有砾石堆积。因此,在花岗岩山脊上发现的壶穴都是冰川融水形成的,可以叫冰川壶穴,也就是韩同林研究员所说的“冰臼”,但英文名字应该对应于“glacial pothole”,而不是“moulin”(吕洪波,章雨旭,2008)。

壶穴的原始定义中曾经强调高速旋转水流携带砾石和砂子等对底部岩石进行研磨的作用(Gary et al.,1972)。现在看来可能并不需要携带砾石等的作用,因为高速水流本身就具有强大的侵蚀力,现代技术已经利用高压水射流来切割岩石了(杨永印,李根生,2003)。而上千米厚的冰层表面湖泊中的冰川融水一旦下泄,其到达冰层之下的基岩表面将会产生巨大的冲刷力,犹如大型的高压水射流设备在基岩表面切割,加之科里奥利力的作用使水流旋转,在基岩表面形成近圆形的壶穴也就很自然了。

根据近年来对格陵兰冰川的观察发现,壶穴的形成不需要漫长的“滴水穿石”作用,而可能在几周、几天甚至几个小时内就形成了(Foxnews,2008),所以才形成口小、肚大、底平的形态特征。请看2008年关于格陵兰冰帽上湖水下泄的实例报道:“2006年7月,格陵兰冰席之上巨大的冰川融水湖

泊中的冷水在不到两个小时之内排泄完毕。冰水向下穿过冰席喷泄比尼亚加拉瀑布还快。科学家被这个事件所震撼,今天他们解释了所发生的事情:水流穿过1km的冰层一直下泄到冰席之下的冰床上”(Foxnews,2008)。

另一媒体则有这样的描述:“科学家最近观察到:一个面积5.6km²、容有439亿升淡水的湖泊在大约90min内排干。其最大排泄速度超过了尼亚加拉瀑布的平均水流速度。[One lake that covered 5.6 square kilometers and held 11.6 billion gallons (43.9 billion liters) of fresh water drained completely in about 90 minutes, scientists observed recently. The maximum drainage rate was faster than the average flow rate over Niagara Falls.]”(Roach,2008)

格陵兰夏天在冰面上分布的冰川融水湖泊实际上很多(Taylor,2009;图版I-4、5、6、7)。而最近几十年来气温不断上升,格陵兰冰川实际上是处于退缩过程中,正处于冰川融水活跃的演化阶段。

想象一下:这些湖水一旦通过下面的裂隙(也就是冰体内的 moulin)突然下泄,就可能在短时间内在冰川底部的基岩表面形成壶穴(glacial pothole)。在挪威正在退缩的现代冰川末端恰好有壶穴暴露出来(图版I-8;Aber,2008),推测应该是该冰川退缩过程中冰川融水下泄冲刷的结果。上述实例的启示是:冰川壶穴可以在几周、几天甚至几小时内形成,因为冰上湖泊每次在夏季泄漏也就是几小时或几天的时间水就没了。

Gilbert(2000)详细研究了加拿大安大略省第四纪冰盖区沉积变质岩基岩表面的一个冰川壶穴。该壶穴位于高低不平的丘陵上相对高的小山丘顶部(海拔高度173m),排除了现代河流流水以及稳定的冰下水流冲刷的可能,而展示了其为突发式的冰川融水涡流作用成因。这个壶穴直径大约1.3m,深度1.93m,壶穴内壁上保留有顺时针向下旋转的螺旋状冲刷沟,记录了其为顺时针涡流造成的历史。螺旋形水流侵蚀基岩形成壶穴,而侵蚀下来的碎屑则从壶穴的中心向上返出再被水流带走(Gilbert,2000)。壶穴内壁上的螺旋线与当年Alexander(1932)做的实验情况一样,强调了旋转水流的重要性。

Gilbert根据前人的研究指出:在各种岩石类型中厘米级的侵蚀可以在几个小时内完成。北美 Laurentide 冰盖的下泄水流是高度幕式的。单个的

水流事件可能持续几天到几个星期,而这样的事件却不常见,可能几十年或几个世纪发生一次。但产生本研究所的壶穴仅仅需要几次这样的事件就足够了(Gilbert, 2000)。这些规律与今天格陵兰冰盖所报道的冰上湖泊突然排泄现象是吻合的。

朱诚等(2008)在讨论浙江缙云花岗岩山上的壶穴时,引用了 Gilbert(2000)这篇文献,但却说“对发育在山顶和山脊基岩处的坑穴研究未见有说服力的报道”。Gilbert(2000)恰恰讨论了山丘顶部的壶穴,而且认为是冰川融水形成的。

大家关注一下北美的壶穴报道,就会发现:很多著名壶穴都是当作第四纪冰川遗迹报道的。如: Archbald Pothole State Park(Wikipedia, 2010),位于宾夕法尼亚州的东北部,壶穴深度 38 英尺(1 英尺 = 30.48cm),直径 42 英尺,是 15ka BP 的威斯康星冰期(Wisconsin Glacial Period)形成的(Fleeger et al., 2002); Shelburne Falls Massachusetts 壶穴,有直径达 39 英尺的号称世界上“最大”的壶穴(Flickr, 2010)。实际上北美的第四纪冰川覆盖区这样的壶穴很多,都是当作第四纪冰川的重要遗迹来展示和保护的,因此基本上都称作冰川壶穴(glacial pothole)。

从上述报道可以看出:中国东部花岗岩山脊上发现的壶穴并不罕见,在北美这样的壶穴早就被发现了,而且更多。从事第四纪研究的学者有义务将这些信息告诉国内的读者:壶穴的冰川融水成因说不是韩同林的专利,吕洪波也不是支持韩同林“冰臼论”的唯一学者,国外学者早就走在前面了,国内同仁们应该抓紧才对。

5 中国东部与壶穴有关的第四纪冰川地貌标志举例

笔者认为:壶穴的成因争论反映的是目前第四纪学界最重要的认识分歧——中国东部是否曾经发育过第四纪冰川。与其绕来绕去地争论壶穴的成因,倒不如双方直接列举其他第四纪冰川存在与否的证据。笔者认为中国东部曾经发育过第四纪冰川,而壶穴仅仅是其地貌证据之一。

发育于中国北方花岗岩山脊上的壶穴并非单一的冰川成因痕迹,而是伴随有其他明显的冰川地貌标志的。如:赤峰巴林左旗真寂之寺南部的巨型羊背石和刃脊地貌(图版 II-1、2、3),赤峰北部青山地区的刃脊、角峰、冰斗组合(吕洪波等,2006);山东新泰青云山的刃脊和泄水槽组合(图版 II-4、5)(吕洪

波,杨超,2005);河北丰宁喇嘛山上的 U 形谷(图版 II-6)、秦皇岛祖山的 U 形谷(图版 II-7);青岛崂山花岗岩表面的泄水槽(图版 II-8)及其他地貌组合(徐兴永等,2004;李乃胜等,2006;LU Hongbo et al., 2007;郭良等,2007)、小珠山、大珠山等地的第四纪冰川地貌组合等。事实上,即使如章雨旭(2005)所说,“山顶壶穴不能作为冰川的证据”,其他相关的冰川剥蚀地貌标志仍是客观存在的!

施雅风院士、李吉均院士等经过多年研究推断:中国东部海拔高度低于 2000~2500m 的地方在更新世时都达不到发育冰川的条件(施雅风等,1989;施雅风,2000;李吉均等,2004)。笔者多次拜读仍无法完全理解的是:这些推断是否因证据确凿和推理严谨而成为定理?可否在新发现的第四纪冰川地貌证据面前对以前的理论认识模型进行适当的修正、补充或更新?若施老或者有关学者能费心重新收集整理更新的资料撰写出新的论文发表,以便让更多的人信服,将会大大促进中国东部第四纪冰川和古环境的研究进展,似乎比仅仅否认壶穴的冰川成因说更有力。

罗照华等(2009)对黄山花岗岩体的研究推测:“晚白垩世以来黄山地区地壳减薄了约 14~29 km,其地貌响应约为 1.94~4.18 km”,以此说明中国东部地表海拔高度从中生代末开始一直处于下降的过程之中,因此更新世可能存在有利于冰川形成的高山区。笔者认为:罗照华教授的研究为中国东部低山区新生代环境变化提供了新颖的考量因素。然而,末次冰盛期(LGM)以来全球气候变化是几万年内的事情,而地壳减薄的地貌响应则是百万年以上的变化,因此不能用这一地貌降低效应旁证中国东部第四纪冰川的存在。中国东部第四纪冰川剥蚀地貌(如:冰斗、刃脊、角峰等)本身是更直接的证据,古雪线的高度要根据冰川剥蚀地貌标志来确定,而不是反过来根据间接推测得出的“古雪线高度”否认“古雪线高度”以下的冰川剥蚀地貌为冰川成因。

因此笔者在这里呼吁:全国关心中国东部第四纪环境变化的学者们,别再盯着“壶穴”的称谓绕弯子,共同聚焦于“中国东部第四纪冰川到底存在与否”这一根本问题上来,这是对全球都至关重要的大问题。国外近年来对全球第四纪冰川的时空分布研究仍旧将中国东部划为空白区,不是没有第四纪冰川的分布,而是缺乏资料(Ehlers and Gibbard, 2007)。希望有中国学者的重要贡献来填补这一空白,相信施老等一大批前辈也一定希望看到这一本

质上的研究进展。

6 韩同林研究员的“冰臼论”推动了中国东部第四纪冰川地貌的再研究

笔者与章雨旭研究员已经对“壶穴”、“冰臼”等词汇的使用进行了详细的探讨并给出过相应的建议(吕洪波,章雨旭,2008)。尽管韩同林研究员在他的著作中使用了“moulin”一词(韩同林,2004),但韩同林研究员所说的“冰臼”就是指“冰川壶穴”,英文应该对应于“glacial pothole”(吕洪波,章雨旭,2008)。

至今笔者已经考察过内蒙古赤峰北部山区、河北丰宁喇嘛山、秦皇岛祖山、山东青岛的崂山、大珠山、小珠山、山东新泰的青云山、蒙阴的蒙山等地。笔者认为,这些地方花岗岩山脊上的壶穴都应该与冰川融水冲刷有关。至少在这些地方韩同林关于壶穴成因的推断是可信的。笔者一开始也曾怀疑韩同林的说法,当时的根据就是施老等一大批著名第四纪专家认为中国东部并未发育过第四纪冰川。可是后来随着实地考察的增多,除了壶穴之外,先后发现诸如冰斗、刃脊、角峰、羊背石等一系列冰川剥蚀地貌标志。这些事实告诉我们:除非这些地貌标志都是误解,否则就无法否认第四纪冰川在中国东部曾经发育的事实。

从这层意义上看,我们不得不佩服韩同林研究员的洞察力和执着精神。他在退休之后缺乏经费的情况下到处奔波,不断识别出诸多第四纪冰川地貌标志,促进了中国东部第四纪冰川地貌的再研究,应当给予积极评价。他获得的“好处”也许仅是满足了他那颗对第四纪冰川地貌研究的好奇心,这在当今学术界浮躁、浮夸风盛行、有钱就是“精英”的大环境下,至少是值得我们尊重的。

笔者认为,正如当年施老等对庐山等地第四纪冰川地貌提出质疑(施雅风等,1989)后引起了国内大批科学家对相关地貌的再认识一样,韩同林研究员的“冰臼说”也引发了地学界对中国东部第四纪冰川地貌的再研究,这些必将推动中国东部第四纪冰川与古环境研究走向更高的台阶。笔者愿借此机会向一大批前辈们表示衷心的感谢!

笔者认为,对于媒体、地方政府如何利用韩同林的名气或是施老等一大批著名学者的权威,我们学界有义务引导,但尚无法控制。然而,我们有责任加快对这些相关地貌的研究,尽早将这些地貌的成因弄清楚,这既是第四纪学界本身的需要,也是科学普及和提高全民素质的需要。

7 结论

通过上述几个方面的分析可归纳如下:

(1) 壶穴的形成并不受控于花岗岩中的节理分布,也与风化作用无关。

(2) “负球状风化”说本身定义不清,无法解释壶穴的成因,更无法排除壶穴的高速旋转水流成因。发育在花岗岩山脊上的壶穴就是冰川融水侵蚀造成的,近年来观察到的格陵兰冰上湖泊的突然排泄为壶穴的冰川融水成因提供了重要的证据。

(3) 壶穴成因争论的本质是中国东部是否曾经发育过第四纪冰川。建议第四纪学界关注中国东部与壶穴相关的其他冰川地貌标志,不论否定还是肯定其存在,都请摆出证据来说话。

(4) 韩同林研究员的“冰臼论”推动了中国东部第四纪冰川地貌的再研究。尽管认识还有待完善,他和其他从事第四纪地质研究的前辈一样值得我们尊敬。

致谢:笔者等在各地野外考察期间得到了许多地学同仁和地方国土资源部门的支持,赤峰克什克腾旗世界地质公园、赤峰巴林左旗真寂之寺景区、河北丰宁喇嘛山佛珠洞景区、泰山世界地质公园、蒙山地质公园、崂山地质公园、小珠山地质公园、大珠山地质公园等为考察提供了方便;《地质论评》编辑部为“壶穴”这一敏感议题提供了良好的讨论平台;施雅风院士和韩同林研究员的学术争鸣激发了作者对中国东部第四纪冰川问题的兴趣;罗照华教授对本文进行了认真的审阅并提出了详尽的修改建议;笔者等在此一并深表谢意。

参 考 文 献 / References

- 崔之久,李洪江,南凌,李德文. 1999. 内蒙、河北巨型壶穴与赤峰风道的发现. 科学通报,44(13):1429~1434.
- 郭良,相石宝,赵松龄. 2007. 冰期之崂山. 上海:上海科学技术出版社,1~210.
- 韩同林,劳雄,郭克毅. 1998. 河北省丰宁县喇嘛山冰臼群的发现及意义. 中国区域地质,17(1):103.
- 韩同林. 2004. 发现冰臼(Moulin Discovered). 北京:华夏出版社 1~190.
- 韩同林. 2010. 驳施雅风“冰臼”“负球状风化”成因论. 地质论评,56(4):538~542.
- 李德文,崔之久,李洪江,南凌. 2003. 华北北部花岗岩风化穴形成机制与环境意义. 南京大学学报(自然科学),39(1):120~128.
- 李洪江,崔之久,赵亮. 2001. 内蒙、河北山区壶穴的成因探讨——兼论壶穴的成因分类. 地理学报,56(2):223~231.
- 李吉均,舒强,周尚哲,赵志军,张建明. 2004. 中国第四纪冰川研究的回顾与展望. 冰川冻土,26(3):235~243.
- 李乃胜,于洪军,赵松龄. 2006. 胶州湾自然环境与地质演化. 北京:

- 海洋出版社,1~282.
- 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(2):156~161.
- 吕洪波, 杨超. 2005. 山东新泰青山发现第四纪大陆冰川遗迹. 地质论评, 51(5):608.
- 吕洪波. 2006a. An Outline of Earth Sciences(地球科学概论). 山东东营: 中国石油大学出版社, 1~367.
- 吕洪波, 任晓辉, 杨超. 2006b. 赤峰等地第四纪大陆冰川的地貌证据. 地质论评, 52(3):379~385.
- 吕洪波, 任晓辉, 许民, 欧阳江城. 2008a. 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, 章雨旭. 2008b. 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.
- 罗照华, 李德东, 潘颖, 黄丹峰, 梁涛. 2009. 中国东部黄山的成山过程及其构造意义. 地学前缘, 16(3):250~260.
- 热带地理编辑部. 2002. 专家访谈: 中国科学院院士施雅风谈“冰臼”与“壶穴”. 热带地理, 21(1):1~2.
- 全新世. 2010. “壶”与“臼”之争. 中国国家地理, (4):35~51.
- 施雅风. 2000. 中国冰川与环境——现在、过去和未来. 北京: 科学出版社, 1~410.
- 施雅风. 2010. 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, 崔之久, 李吉均. 1989. 中国东部第四纪冰川与环境问题. 北京: 科学出版社, 1~462.
- 孙洪艳, 田明中, 武法东. 2007. 克什克腾世界地质公园青山花岗岩臼的特征及成因研究. 地质论评, 53(4):486~490.
- 徐兴永, 石学法, 于洪军, 李萍. 2004. 崂山顶、洞、沟、坡、麓、滩、岬一带巨砾成因研究. 海洋科学, 28(6):10~13.
- 杨永印, 李根生. 2003. 超高压水射流破岩及切割实验研究. 石油大学学报(自然科学版), 27(1):36~37, 48.
- 章雨旭. 2005. “冰臼”成因争鸣——以克什克腾旗青山岩臼群为例. 地质论评, 51(6):680, 712.
- 周尚哲. 2006. 锅穴一定是第四纪冰川的标志吗? 第四纪研究, 26(1):117~125.
- 朱诚, 崔之久, 李中轩, 高洁, 王立新, 邹祥林, 郑朝贵, 沈庆凡, 郑献章. 2008. 浙江缙云县大洋山石鼓尖花岗岩坑穴成因. 地理学报, 63(7):735~743.
- Aber J S. 2008. GLACIAL GEOMORPHOLOGY EROSION[OL]. [2010-05-16]. <http://academic.emporia.edu/aberjame/ice/lec03/lec3.htm>.
- Alexander H S. 1932. Pothole erosion. Journal of Geology, 40(4):305~337.
- Bahat D, Grossenbacher K, Karasaki K. 1999. Mechanism of exfoliation joint formation in granitic rocks, Yosemite National Park. Journal of Structural Geology, 21(1):85~96.
- Cox D E. 1975. On the interpretation of potholes. Creation Research Society Quarterly, 12(1):25~31.
- Ehlers J, Gibbard P L. 2007. The extent and chronology of Cenozoic Global Glaciation. Quaternary International, 164~165:6~20.
- Faegri K. 1952. On the origin of pot-holes. Journal of Glaciology, 11(2):24~25.
- Fleeger G M, Braun D D, Inners J D. 2002. Plunge into the past or go with the flow: multiple hypotheses for the origin of the Archbald Pothole, Lackawanna County, Pennsylvania. Geological Society of America Abstracts with Programs, 34(1):27.
- Flickr. 2010. REALLY BIG POTHOLE [OL]! [2010-05-16]. <http://www.flickr.com/photos/sodafixer/2972909014>.
- Foxnews. 2008. Greenland Meltwater Rushes Out Faster Than Niagara Falls[OL]. [2010-05-16]. <http://www.foxnews.com/story/0,2933,351633,00.html>.
- Gary M, McAfee R Jr, Wolf C L. 1972. Glossary of Geology. American Geological Institute, Washington, 1~805.
- Gilbert R. 2000. The Devil Lake pothole (Ontario): evidence of subglacial fluvial processes. Geographie Physique et Quaternaire, 54(2):245~250.
- Higgins C G. 1957. Origin of potholes in glaciated regions. Journal of Glaciology, 21(3):11~12.
- Holzhausen G R. 1989. Origin of sheet structure, 1. Morphology and boundary conditions. Engineering Geology, 27(1~4):225~278.
- Kunert M, Coniglio M. 2002. Origin of vertical shafts in bedrock along the Eramosa River valley near Guelph, southern Ontario. Canadian Journal of Earth Sciences, 39(1):43~52.
- Lu Hongbo, Yan Shiyong, Zhang Yue. 2007. Quaternary glacio-erosional landforms in Laoshan Mountain and their constraints on the origin of Jiaozhou Bay, Qingdao, east of China. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 25(2):139~148.
- Morgan A V. 1970. Late Weichselian potholes near Wolverhampton, England. Journal of Glaciology, 55(9):125~133.
- Roach J. 2008. Greenland Meltwater Can Drain Faster Than Niagara Falls [OL]. [2010-05-16]. <http://news.nationalgeographic.com/news/2008/04/080417-greenland-lakes.html>.
- Schofield J F. 1949. Four debatable points. The South African Archaeological Bulletin, 4(15):98~106. URL: <http://www.jstor.org/stable/2886428>.
- Taylor A. 2009. Greenland [OL]. [2010-05-16]. <http://www.boston.com/bigpicture/2009/08/greenland.html>.
- Wikipedia. 2010. Archbald Pothole State Park[OL]. [2010-05-16] http://en.wikipedia.org/wiki/Archbald_Pothole_State_Park.

On the Meltwater Origin of Potholes Found on Granite Ridges

—A Consultation with Academician SHI Yafeng

LÜ Hongbo¹⁾, REN Xiaohui²⁾, XU Min²⁾, OUYANG Jiangcheng²⁾

1) Department of Earth Sciences, China University of Petroleum, Qingdao, Shandong, 266555

2) Department of Environment and Resources, Chifeng College, Chifeng, Inner Mongolia, 024000

Abstract: After reading the newly published article, entitled Comments on the Moulin Argument provided by Mr. HAN Tonglin, a Misunderstanding of Granite Negative Spheroidal Weathering (by Academician SHI Yafeng), the author of this paper collected a lot of materials and references to discuss the

origin of potholes with Academician SHI Yafeng. The author disagree with Academician SHI Yafeng on the origin of potholes. Potholes are formed without being controlled by the joints in granites and without the participation of weathering, and thus, can not be interpreted with the so-called “negative spheroidal weathering”. Potholes can only be formed under the erosion of fast whirling water, and so the ones found on the granite ridges in the east of China can be treated as the meltwater erosion indicators of Quaternary glaciation. Recent observation on the abrupt draining of meltwater from the supraglacial lakes in Greenland provides important evidence for the meltwater origin of potholes. The arguments on the origin of potholes in China reveal the discordance of researchers on the development of Quaternary glaciation in the east of China. Apart from potholes, the Chinese researchers should pay more attention to other landform records related to Quaternary glaciation in the east of China. The so-called “Moulin Argument”, proposed by Professor HAN Tonglin, has improved the research on the landforms of Quaternary glaciation in the east of China.

Key words: pothole; negative spheroidal weathering; meltwater; east of China; Quaternary glaciation

图版说明 / Explanation of Plates

(除了网络下载外所有照片均为笔者拍摄)

(All photos by the author of this paper, except for the ones downloaded from the Internet)

图版 I / Plate I

1. 青岛大珠山花岗岩山脊上的壶穴。发育壶穴的花岗岩块恰好被 NW、NE 两组节理切割成长方形的块体,但由于球状风化而成为浑圆状的岩块,但岩块中间却没有节理发育(GPS: N35°47.096'; E119°58.641'; H430m)。
2. 青岛小珠山花岗岩表面的冲刷槽。该冲刷槽可以看做壶穴的雏形,其平整的底部见有明显的雁列式节理缝,然而节理缝却不比其两侧的岩石风化更深,说明其形成并没沿着节理缝进行。
3. 青岛小珠山花岗岩“石蛋”地貌。
4. 格陵兰冰川表面夏季的冰川融水构成很多冰上湖泊(Taylor, 2009) ([2010-05-16]. <http://www.boston.com/bigpicture/2009/08/greenland.html>)。
5. 格陵兰夏天的冰川融水在表面汇集成冰上湖泊(Taylor, 2009) ([2010-05-16]. <http://www.boston.com/bigpicture/2009/08/greenland.html>)。
6. 格陵兰冰上湖水沿冰裂隙(冰体壶穴)倾泻而下(Foxnews, 2008) ([2010-05-16]. <http://www.foxnews.com/story/0,2933,351633,00.html>)。
7. 格陵兰夏季冰盖上巨大的冰川融水湖泊可能突然下泄到冰层底部的基岩(Roach, 2008) ([2010-05-16]. <http://news.nationalgeographic.com/news/2008/04/080417-greenland-lakes.html>)。
8. 挪威西部现代冰川末端由冰川融水冲刷形成的典型壶穴(Aber, 2008) ([2010-05-16]. <http://academic.emporia.edu/aberjame/ice/lec03/lec3.htm>)。
1. A pothole found in Mount Dazhu, Qingdao, Shandong. (GPS: N35°47.096'; E119°58.641'; H430m).
2. A scouring trough found on top of a granite block in Mount Xiaozhu, Qingdao, Shandong.
3. Some large granite corestones on the surface of Mount Xiaozhu, Qingdao, Shandong.
4. There are a lot of supraglacial lakes on top of ice sheet in Greenland in summer months (Taylor, 2009) ([2010-05-16]. <http://www.boston.com/bigpicture/2009/08/greenland.html>).

5. A large meltwater stream rushes across the surface of the Greenland Ice Sheet filling a supraglacial lake. (Image courtesy of Sarah Das, WHOI) (Taylor, 2009) ([2010-05-16]. <http://www.boston.com/bigpicture/2009/08/greenland.html>).
6. The meltwater is running through a moulin from a supraglacial lake down to the bedrock in Greenland (Foxnews, 2008) ([2010-05-16]. <http://www.foxnews.com/story/0,2933,351633,00.html>).
7. Giant lakes of meltwater pooled on top of Greenland's ice sheets can suddenly drain to the bedrock (Roach, 2008) ([2010-05-16]. <http://news.nationalgeographic.com/news/2008/04/080417-greenland-lakes.html>).
8. Small potholes on a rock knob in front of Nigardsbreen, an outlet glacier of Jostedalbreen, western Norway. These potholes were carved in crystalline bedrock by subglacial melt water when the glacier extended over the area (Aber, 2008) ([2010-05-16]. <http://academic.emporia.edu/aberjame/ice/lec03/lec3.htm>).

图版 II / Plate II

1. 赤峰北部巴林左旗花岗岩刃脊与壶穴。
2. 赤峰北部巴林左旗刃脊与两侧冰斗。
3. 赤峰北部巴林左旗的巨型羊背石。
4. 山东新泰青云山刃脊地貌。
5. 山东新泰青云山山脊泄水槽。
6. 河北丰宁喇嘛山花岗岩山区 U 形谷。
7. 秦皇岛祖山花岗岩山区 U 形谷。
8. 青岛崂山花岗岩表面冲刷槽。
1. A pothole on top of granite arete in the north Chifeng, Inner Mongolia.
2. An arete and cirques beside it in the north of Chifeng, Inner Mongolia.
3. A giant roche moutonnee in the north of Chifeng, Inner Mongolia.
4. An arete in the Mount Qingyun, Xintai County, Shandong.
5. An scouring trough on top of the Mount Qingyun, Xintai County, Shandong.
6. A U-shaped valley in the Mount Lama, Fengning County, Hebei.
7. A U-shaped valley in the Mount Zushan, Qinhuangdao, Hebei.
8. A scouring trough on the surface of granite block in the Mount Laoshan, Qingdao.

吕洪波:再论山脊壶穴的冰川融水成因

图版 I



吕洪波：再论山脊壶穴的冰川融水成因

图版 II

