地球化学意义,应该引起人们的重视.

密执安盆地志留系碳酸盐岩地层中检测出了高含量的惹烯和甲基惹烯化合物,地质地球化学特征表明密执安盆地志留系烃源岩没有高等植物的贡献,从而为惹烯的成因提供了新的解释. 惹烯和甲基惹烯化合物在前泥盆系地层中的存在,表明该类化合物不仅仅是陆生高等植物的生物标志物,也可以来自某些藻类或细菌的贡献.

参 考 文 献

1 Simoneit B R T. Diterpenoid compounds and other lipids in deep sea sediments and their geochemical significance. Geochim Cosmochim Acta, 1977, 41: 463~ 476
2 LaFlamme R E, Hites R A. The global distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in resent sediments. Geochim Cosmochim Acta, 1978, 42: 289~ 303
3 Wakeham S G, Schaffner C, Gifer W. Polycyclic aromatic hydrocarbons in recent lake sediments. II. compounds derived from biogenetic precursors during early diagenesis. Geochim Cosmochim Acta, 1980, 44: 415~ 419
4 Barnes M A, Barnes W C. Oxic and anoxic diagenesis of diterpenes in lacustrine sediments. In: Bjoroy M, et al, eds. Advances in Org Geochemistry, 1981, John Wiley, Chichester, 1983. 289~ 298
5 王铁冠. 龙潭沟含沥青砂岩的生物标志物组合——一个元古界储层沥青的研究. 见:生物标志化合物地球化学. 武汉:中国地质大学出版社. 1990. 146~ 147
6 Alexander R, Pastow T P, Fisher S J, et al. Geosynthesis of organic compounds. ㈦ methylation of phenanthrene and alkylphenanthrenes. Geochim Cosmochim Acta, 1995, 59: 4259~ 4266
7 Ramdahl T. Retene-a molecular marker of wood combustion in ambient air. Nature, 1983, 306: 580~ 582
8 Gardner W C, Bray E E. Oils and source rocks of Niagaran reefs in the Michigan Basin. In: Palacas J G, eds. Petroleum geochemistry and source rock potential of carbonate rocks. AAPG studies in Geology, 1984, 18: 33~ 45
9 Jiang N H, Tong Z Y, Reng D L, et al. The discovery of retene in Precambrian and Paleozoic marine formation. Geochimica, 1995, 59: 4259~ 4266

(1998-07-13收稿, 1998-11-02收修改稿)

内蒙、河北巨型壶穴与赤峰风道的发现

崔之久 李洪江 南 凌 李德文
(北京大学城市与环境学系,北京 100871)

摘要 内蒙、河北丰宁一带的发育于花岗岩山顶的规模巨大(最大直径达9m,深达3.5m)、形态特殊且具方向性的壶穴地貌是典型的气候地貌,是由风化-风蚀作用所致. 该地区15~ 18kaBP曾经历严酷的冰缘环境,有强烈的寒冻风化和风蚀作用;6kaBP前后恰逢"大暖期",产生了著名的红山文化. 当时壶穴中可能盛过水. 因此,众多的"壶穴"是研究本区人类生存环境变化的良好载体.

关键词 壶穴 风化-风蚀作用 红山文化 环境变迁

1997年夏,在内蒙和河北某地区发现规模巨大的壶穴地貌[1)]. 壶穴及其他风成等地貌体

1) 据有关报道,是赤峰一姓任的基层干部发现的

都发育在花岗岩组成的山顶(800~ 900m),其发育程度受地形部位、风向、花岗岩的节理与组成成分影响,形态差异很大,各具特色,地貌类型丰富多彩,共有 9 个类型. (1) 壶穴. 对称型壶穴见于左旗,其规模之大、数量之多、类型之全在国内、外堪称前所未见. 最大壶穴深 3.5m,长轴近 9m,可以说这是世界上规模最大的"壶"了. 另一特点是都存在缺口,也可看成是"壶"的"壶口",壶口多指向西~ 西北方向; (2) 蘑菇石. 蘑菇石多分布在风口处及山顶上,是风化和风蚀地貌典型代表之一. 如在七锅山山口处,直径达 5m,高 8m,高耸挺拔,形态逼真; (3) 风蚀龛. 风蚀龛形态似佛龛,成群排列分布在顺风向的陡壁上(图 1). 也有呈横槽形分布于陡壁上或坡脚处,是为"槽形龛"; (4) 风蚀柱. 风蚀柱可分为 2 类,一类是风蚀残柱,呈孤立分布,如巴旗召庙前的巨型风蚀柱,孤立分布. 风柱上残有多道"槽型龛"; 另一类风蚀柱分布在近七锅山的山麓处,以柱状山形态出现. 风蚀柱的形成一般反映基岩风化-风蚀的最后阶段; (5) 穿洞. 考察区穿洞和壶穴、风蚀龛密切相连,基本上有 2 类,一是穴间穿洞,二是龛端穿洞,后者分布在迎风面风口处,穿洞大小不一,一般直径 20~ 50cm,有些穿洞受花岗岩内部节理控制,穿洞边缘形态呈"之"字型; (6) 风蚀悬沟. 分布在召庙西侧山坡上,每一组有多达 10 余条上下垂向分布的沟槽,高约 10 余米,宽 1m 左右,成排出现; (7) 风蚀残丘. 在近七锅山西北 3km 附近,分布有风蚀丘陵,山形为不对称,迎风一面(西~ 西北)坡度开阔平缓,背风一面较陡峻狭窄. 本区许多孤立的山峰都具备这种形态,反映风蚀地貌发育的后期阶段,地表形态与动力能量消耗达到平衡状态; (8) 风蚀槽谷,七锅山西山口处,就是一个典型的风蚀槽谷,是在定向西风强烈吹蚀下形成的. 长约 200m,平均宽约 30m,开口向西,呈喇叭口状. 在槽谷顶部,有一宽 20m 的凹槽,风力最为集中,两侧风蚀地貌最为发育; (9) 风蚀摇摆石. 位于召庙后山一桃山之巅. 上部大,根部小,似一仙桃摆放山顶,故为桃山. 根部细小则是风掏蚀的结果.



图 1　内蒙古巴林左旗花岗岩山顶部(900m)风蚀龛与穿洞(右中下部)

壶穴皆成群出现,多则几十个,少则 3~ 5 个,视原山顶面积之大小和相对与当地主风向之位置而定. 如左旗平顶山发育壶穴处面积小而分散,迎着西风的地面上只零散分布 3~ 5 个; 而左旗七锅山,迎着西风的山顶面积大且集中,在半山较低一处(海拔 800m)西北坡面上有 7 个大壶穴(此山由此得名),在较高一处山顶上(海拔 950m)则共有大小 20 余个,其中最大者直径为 9m,深 3.5m. 小者直径为 1m,深 0.5m. 值得注意的是,虽然壶穴是由风化-风蚀共同造成的,但大型的皆发育在对着西风的临崖顶面处,往里壶穴减小变浅. 同时无论大小,有相当一部分壶穴有一向西或西北的缺口,致使规模较小的看似一"汤勺",此一缺口之存在既方便了"风从口入",也方便了"水从口出"和"沙从口出",否则壶穴很难向下深化.

据国外有关报道[1,2],尚未见有类似赤峰壶穴的内容. 其中略有类似的是曾被提到的发育于西班牙、瑞典和美国亚利桑那等地的风化穴(tafoni),这是一种规模和赤峰壶穴相当、但形态上却是产于基岩和巨砾陡壁基部的龛形穴. 它比一般的风蚀龛要深,且顶部呈穹性内凹. 从形态上看比一般风蚀龛更像真正的佛龛,也有少量的直立穴[2]. 客观地说,此次新发现的壶

穴地貌之成因是复杂的. 首先, 就目前已知, 它只出现在花岗岩山顶面上. 正如作者已提到的, 这与在干冷气候下花岗岩比其他结构致密均一的岩石更易受到寒冻风化作用有关. 但据作者推测, 在本区类似花岗岩结构的其他岩石上如出现同样的壶穴也是可以理解的. 其次, 冻融、冷热、干湿和盐分风化不但在"壶穴"开始形成时起重要的先锋作用, 在其形成的全过程中也同样起重要作用. 洞壁的碎屑化和崩解坠落都与风化分不开, 而风化物从里往外搬运则非风莫属. 作者为了区别于有关"风化穴"的成因而强调风化作用, 而将赤峰"壶穴"的成因突出为"风化加风蚀"作用, 以肯定风化作用的地位. 假如无此冰缘环境而仅由风直接去吹蚀或磨蚀坚硬的花岗岩地表, 要造成如此规模的壶穴地貌群是难以想象的. 正像在关于"风化穴"成因的论述中也提到有风蚀作用参与一样[1,2].

上述各类地貌除"壶穴"之成因有争议并值得深入研究外, 其他各种地貌之风蚀作用明显. 实际上就共生组合关系而言, 壶穴的风蚀成因也是明显的, 但其形成过程肯定要复杂得多, 物理风化乃至化学风化都起着或曾起着主要作用, 特别是形成初期更为重要.

1 壶穴形态的定向发育特征与相关环境

壶穴内壁大多凹进(图2, 3)占50%强, 其中四壁凹进约40%强, 加上只有北壁凹进的20%, 则北壁凹进者共约60%, 最大凹进深度1.2~1.5m, 多在北壁和东壁(表1). 总之, 此种壶穴形态最为突出. 壶穴多近似圆形或多边形, 但长轴方向明显且有明显的优势方位. 据统计(图4)以0~150°之间, 即以东西向或偏北东向为主. 且内壁凹进深度与长轴长度相关, $Y=0.0926\ln(x)+0.0307$(按对数计算, 相关系数为0.824), 长轴长度与壶穴深度也密切相关. 且内壁凹进深度也与壶穴深度相关, $Y=0.236\ln(x)+0.4307$(相关系数为0.752).

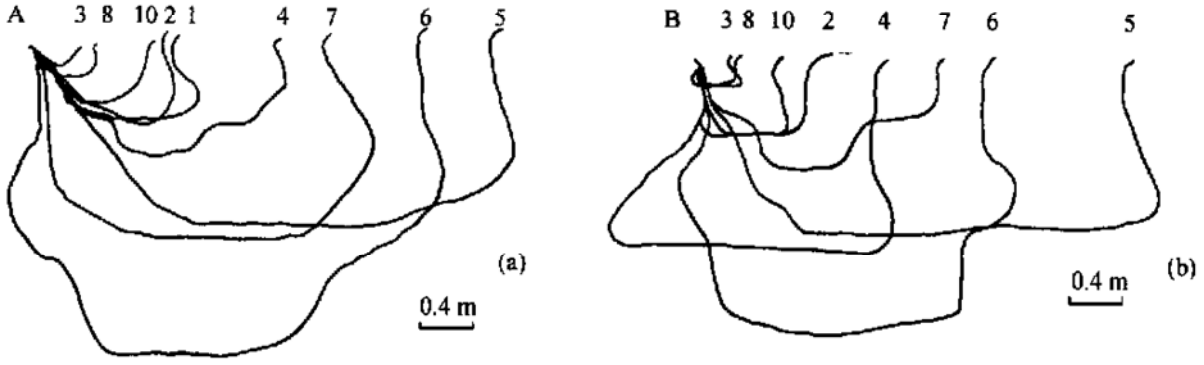


图2 内蒙古巴林左旗七锅山顶之"壶穴"断面图
(a) 七锅山顶之一(沿长轴方向做图); (b) 七锅山顶之一(沿短轴方向做图)

壶穴直径和深度相差悬殊, 最大者直径为8~9m. 深3~3.5m, 一般大小1~4m, 深0.5~2.5m, 小者直径和深皆几至几十厘米. 重要的不在大小而在于深度和直径有密切的相关性. 即深度和直径的比值趋同性明显(图5). 其中平顶山、喇嘛山以0.4~0.6m为最多, 0.2~0.4和0.6~0.8m其次; 而七锅山和大青山以0.2~0.4m略占优势. 有些壶穴内部存有积水, 如平顶上、七锅山夏季孩子们可在其中嬉水, 大青山、喇麻山积水较浅(图3). 存在盐风化作用.

由前面各形态特征可见, 它们都具有强烈的方向性, 如壶穴有长轴方向且以东西向或偏北东为主. 壶穴内壁有凹进且以北壁凹进居多, 其最大凹进深度也多在北壁和东壁. 强烈显示

表 1　壶穴内壁凹进深度及方位表

地区	方位	个数	百分比	平均凹进深度/m	最大凹进深度/m
七锅山	E	6	25	0.57	1.5
	S	3	13	0.45	0.5
	W	4	17	0.49	0.6
	N	11	45	0.44	1.15
平顶山	E	6	65	0.40	1.2
	S	0			
	W	0			
	N	3	35	0.47	0.6
喇嘛山	E	1	17		1.0
	S	0			
	W	0			
	N	5	83		0.9
大青山	E	0			
	S	0			
	W	1	34		0.2
	N	2	66	0.25	0.4



图 3　河北丰宁喇嘛山花岗岩山顶部(900m)之积水壶穴(内壁凹进最深处为最高水位所在)

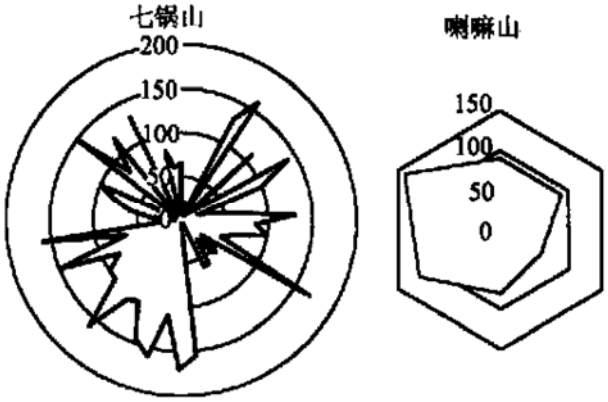


图 4　内蒙古巴林左旗七锅山、河北丰宁剌嘛山壶穴长轴方向玫瑰图

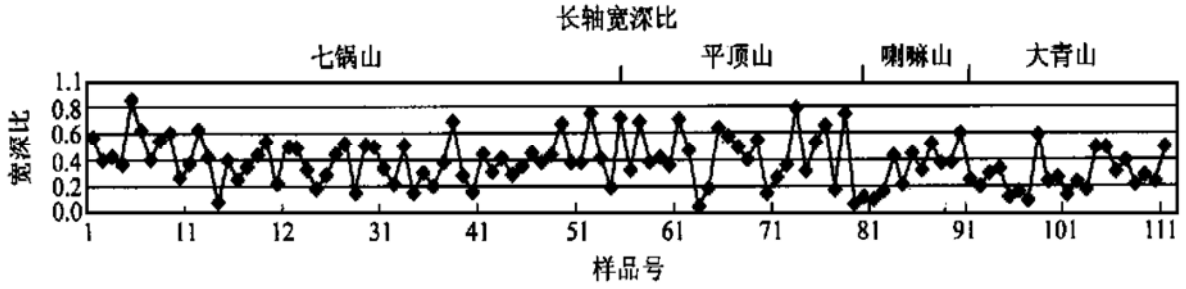


图 5　壶穴长轴方向直径与深度比

在北半球受日照方向、热量、水分(有存水)、含盐量、风向、风力、温差等因素控制. 深度和直径按基本趋同的比例增长, 表明是一种渐进的、比较稳定的演化方式, 再加上内壁凹度深度与长轴长度关系密切, 它们结合起来则显示了壶穴三维立体的演化模式. 即在壶穴口部直径变宽, 长轴方位也在显现, 而深度加深的同时, 内壁凹进深度也在增大, 是一种典型的气候地貌.

不同规模和形态特征表明大小、深浅、宽深比、发展阶段不同的壶穴同时存在. 即已成熟的仍然在继续发展, 而新生的雏形也在不断出现. 这表明, 过去某一时段和现代都允许壶穴形成. 只不过适宜程度、演化速度和环境有所变化而已. 据此可按形态的数量指标和某些特点, 把全部壶穴划分成雏型、成熟型和稳定型三大类型.

2 壶穴形成之冰缘环境及其成因机制分析

从整个晚更新世末次冰期, 特别是冰后期即距今 18~ 8ka 期间, 本地区一直处在多年冻土区的冰缘环境下. 气温较今低 11 ℃, 降水量少 15% 左右[3~6]. 基岩的寒冻风化速度也应该是很大的. 我国中天山现代冰缘区有两组资料可以为对比参考. 一是据各种岩性风化强度的比较研究, 发现粗、中粒花岗岩比花岗片麻岩和闪长岩都更易受风化而逐渐破碎, 以致在不到 30km 距离内其岩块已在下游冲积物中消失; 二是花岗岩类因寒冻风化而导致的山坡后退之速率达到 11mm/ a[5]. 这说明在大陆性冰缘环境下因昼夜温差和季节温差大, 中、粗粒花岗岩由于晶体颗粒明显, 矿物的导热率差别大而极易遭受寒冻风化, 并直接形成沙粒. 在强劲的西风作用下, 既有吹起地表沙粒的吹蚀作用, 也有携带沙粒对花岗岩地表进行的磨蚀作用. 同时, 由于壶穴呈圆形且向地下纵向发展, 设想有旋风(如干旱带常见的小型龙卷风) , 或是在切变带风力近地表处产生涡流造成局部旋风也是可能的.

另据孢粉和化学分析资料已知, 本区晚更新世期间, 尤其是 10 000 多年前之际, 表现为黄土粒径变粗, 富含碳酸钙, 可溶岩含量增高, 风力加大, 风沙黄土和冻土界线已向南推移. 因为克旗有关剖面沉积物分析显示, 剖面向上有风成砂混入, 出现数层纯净的风成砂. 到后期风成砂含量增加到 43% , 藜属花粉达 40% , 草本植物花粉含量高达 90% 以上, 反映气候明显变干、变冷, 是典型的大陆性冰缘环境; 而同期在克旗向东一线, 黄土粒径从西到东变细更显示了西风侵蚀和搬运作用的存在[7, 8].

考察地区风化及风蚀地貌的分布、规模和类型主要受朝向及风向、风力的控制. 在总体朝向、风向、风力相对稳定条件下, 海拔越高, 发育规模越大, 类型越多; 山顶面越开阔, 壶穴等越易发育. 此外, 地貌发育还受岩性、节理等下垫面非风力因素的影响, 例如, 七锅山为中粗粒花岗岩, 而平顶山为中粒花岗岩, 由于中粗粒花岗岩抗风化能力小于中粒花岗岩, 所以在七锅山地区, 风蚀地貌类型多、规模大.

至于风的搬运、吹蚀从动力学上来看, 强风力可以对较为平坦的山脊进行吹蚀, 形成剪切吹蚀力, 在坚硬的花岗岩层中寻找薄弱点, 最重要的是借当时(指末次冰期后期距今约 10~ 20ka) 的冰缘环境, 有强烈的寒冻风化和冰劈作用, 产生风化碎屑, 然后由风的磨蚀和吹蚀首先形成凹槽和阶坎, 然后对其进行进一步的平面掏蚀和下蚀, 使凹穴不断扩大、加深. 当其加深到一定阶段, 定向风已直接吹蚀不到穴中, 而只有回旋风才能沿穴壁继续侵蚀, 并达到穴底. 在这种“环流”风的吹蚀下, 壶穴迎风一面有缺口形成, 且缺口位置低于锅口上边缘高度, 成为进风或出风的通道. 故壶穴进一步发展, 并按一定方向形成不对称型壶穴. 此外, 就风蚀机制而言, 由于壶穴上部接近地表, 风压不稳, 风向和风力强度不定, 风能容易流失; 壶穴下部, 风能不但要消耗在对侧面的侵蚀上, 而且也要大量消耗在对底面的侵蚀上; 而在壶穴中部, 风能仅消耗在对侧面的侵蚀, 因此, 该部位利于风能的聚集. 按照风能最低能耗原理, 中部风能最强, 风蚀最稳定, 侵蚀力最大, 这也是我们看到壶穴内壁凹进并成壶型的原因, 同时壶穴内部可以存水, 存水时最高水面常与内壁凹进最大处一致(图 3) , 化学分析表明, 此处含盐量也最高, 说

明盐风化作用也同时存在,故壶内之所以不对称是受朝向和风向的影响.

3 “赤峰风道”的发现及其在全球变化研究中的意义

南起河北丰宁、承德,北至内蒙巴林左旗、克旗之范围内(北纬41~ 44°)的各种风蚀地貌和风积沙地、沙黄土以及黄土粒径从西往东变小,进而联系在末次冰期时在我国黄海、渤海大陆架上出现过的沙漠等一连串地貌现象和事件后[9],认识到可能在距今18~ 10ka以来存在过风力强盛的“赤峰风道”. 它与存在于我国新疆~ 甘肃之间的“北山风道”是2条并列的大风道. 而以前人们只知道“北山风道”是受西风带控制的,是由乌尔禾风蚀城堡(魔鬼城),罗布泊东北的风蚀雅丹以及柴达木盆地风蚀洼地和风蚀丘陵显示出来的. 这些风蚀现象皆发生在松软的湖相地层和沙砾岩上,它们容易被吹蚀. 而此次发现的“赤峰风道”除受西风带影响外,也受季风控制,是由一系列吹蚀在非常坚硬的花岗岩“山顶”上的地貌现象,可见在风化的背景上其风蚀强度更大,风向、风速也更稳定. 这是需进一步研究的.

现已查明在距今10 000多年前的末次冰期晚期,因为气候干冷,致使我国北方东部沙漠带曾东移达数百公里[10]. 现今赤峰以东的科尔沁沙地和大兴安岭东坡的沙丘带,都是当时的产物. 据谢又予[8]认为,从克旗和黄岗梁(2029m)往东的晚更新世黄土粒径变化反映出当时的古风向及寒潮入侵路线. 从克旗、林西,再到赤峰,黄土平均粒径逐步减少从0.072~ 0.039mm. 北面从呼伦贝尔草原到布特哈旗,则由0.045~ 0.026~ 0.015~ 0.011mm,从而推测出当时的古风向和风道.

在距今6.5~ 5.5ka前,本区是我国史前红山文化的发源地[11],农业有相当发展,表明当时沙漠边界又向西退出本区[10]使之成为良好的原始农业发祥地. 这一切均表明这一风化-风蚀奇观和赤峰风道的发现具有重要的科学意义,是研究本区人类生存环境变化和人地关系演化的良好载体,对当地的旅游开发也有重要意义,必须加以保护.

致谢 本工作为国家自然科学基金(批准号:49831080)和教育部博士点专项基金(编号:98000142)资助项目.

参 考 文 献

1 Cooke R, Warren A, Goudie A. Desert Geomorphology. London: UCL Press, 1993
2 Gunnar Johnsson. Potholes-Glacial and non-Glacial Cavities. Geografiska Annaler, 1988, 70(4): 333~ 336
3 崔之久,宋长青,谢又予. 我国华北、东北晚更新世晚期下冻土南界及冰缘环境. 地质学报,1984,(2): 165~ 175
4 崔之久,宋长青. 大青山晚更新世以来冰缘过程与环境变迁. 冰川冰土,1993,15(4): 325~ 331
5 崔之久, 宋长青,等. 中天山冰冻圈地貌过程与沉积特征. 石家庄:河北科技出版社, 1998
6 Cui Zhijiu, etc. Holocene Periglacial Process and Environmental Changes in Mongolia, China, 1995 Permafrost and Periglacial Processes 1995, 3: 55~ 62
7 谢又予. 中国东部第四纪沉积与环境. 淮河环境与治理,1996,154~ 168
8 谢又予. 试论东北地区多年冻土形成的气候条件及其演化. 冰川冻土,1985,7(4):323~ 330
9 赵松龄,陆架沙漠化. 北京:海洋出版社,1995. 141~ 158
10 董光荣,靳鹤龄,陈惠忠. 末次间冰期以来沙漠-黄土边界的移动与气候变化. 第四纪研究,1997(2): 158~ 167
11 邓辉. 全新世大暖期燕山地区人地关系的演变. 地理学报,1997(1):63~ 71

(1998-04-07收稿,1998-06-26收修改稿)