

浅议平塘县甲青“壶穴”群的特征及地貌演化过程

羊永夫

(贵州省有色金属和核工业地质勘查局地质勘测设计院, 贵州 贵阳 550000)

[摘 要]甲青干河河床中遍布有无数大小不等、形态各异、完整度不一的壶穴。曾有学者提出该河床地貌类型系喀斯特河谷“冰臼”,而非“壶穴”,是第四纪冰川活动形成的。本文从河床基岩岩性、地质构造、水流特征及溶蚀作用等因素,分析了平塘县甲青壶穴群的形成条件,提出了3种形成壶穴的流水运动模式:瀑布模式、阶状跌水模式和急流漩涡模式,并对壶穴的形成及演化过程进行了分析讨论,认为甲青壶穴群是现代河流流水侵蚀和溶蚀作用的产物,与第四纪冰川无关。

[关键词]壶穴群;喀斯特;第四纪冰川;演化过程;平塘县

[中图分类号]P931.5 **[文献标识码]**A **[文章编号]**1000-5943(2017)03-0199-05

0 引言

平舟河穿过甲青天生桥、甲青大盲谷出露地表,河床基岩表面遍布着无数大小不等、完整度不一的岩石凹坑。有学者认为这些岩石凹坑为“冰臼”,是我国现今发现唯一的喀斯特河谷“冰臼”群,并在媒体上广泛报道;也有学者认为是“壶穴”(陈兆棉,2008)。经过多年的“壶穴”与“冰臼”之争,学术界目前普遍认为该类“壶穴”为河流流水地貌,与冰川毫无关系(李孟华等,2007;童潜明等,2007;杨超群,2001;欧先交等,2015;郑本兴,2012;周尚哲,2006;热带地理编辑部,2002)。

“壶穴”也叫“甌穴”,是湍急河底漩涡携带着砂砾旋转磨蚀河床基岩,久之在河床基岩中形成的圆坑。“冰臼”是指冰川地区冰川融水携带冰屑、岩屑沿冰川裂隙下滴,久之便以滴水穿石的方式使坚硬的基岩形成的凹坑(韩同林等,2000;曹伯勋,1995)。“冰臼”“壶穴”属地貌重的一类穴状微地貌,都是外力作用在岩石上,年长日久使岩石中出现口小肚大的洞穴(余仲辉,2005)。

在壶穴的地貌成因演化的争论非常激烈,多成因认为壶穴的形成是多种因素间耦合(杨超群,2001;周尚哲,2006;孙洪艳等,2007;曹明达等,2016)。控制壶穴形成的构、岩性、地貌和河

流作用等条件(杨超群,2001);河谷流水、冰水、溶蚀、风化、风蚀与浪蚀(周尚哲,2006);形成经历了从萌芽→初具外形→发育中期→成熟→衰亡5个阶段,受多方因素影响控制:一、形成岩臼基岩为易风化岩石,二、特殊的气候环境的差异风化,三、水、冰冻作用、风蚀作用为主要的营力促使岩臼的发展、成熟(孙洪艳等,2007);受水动力条件、构造条件、推移质、基岩性质和溶蚀作用等因素耦合的作用(曹明达等,2016)。流水侵蚀强调壶穴是高速旋转水流侵蚀的结果,建议壶穴仅仅用于表示快速旋转水流(无需携带砾石等的作用)在基岩表面形成的近圆筒型的圆坑,以口小肚大底平为典型的形态特征(吕洪波等,2008);流水侵蚀是最普遍的壶穴类型,可分为河成壶穴、冰川外缘的冰水河流壶穴和海成壶穴(郑本兴,2012)。

综上所述,目前壶穴在成因及演化过程的研究方面取得极大的进展,但是还是存在一些不足,主要表现在分布区域的研究差异较大,主要集中在北方及东部沿海地区,而对西南山区研究较少;壶穴的岩性较为单一,花岗岩、砂岩等岩性的研究较多,对我国西南广泛分布的岩溶山区的研究较少;较多的从地形地貌的成因切入,较少的从地质构造、节理裂隙、岩溶作用等方面研究岩溶山区壶穴的成因问题,特别是在地表及地下河系交替频

繁的河床形成的壶穴群成因。本文通过实地考察,选取平塘县甲青壶穴群为研究对象,分析岩溶山区壶穴形成的条件及控制性因素,探讨岩溶山区的河床穴状微地貌的成因及演化过程。

1 地理位置及地质概况

平塘县位于贵州南部,地理位置 $106^{\circ}40' \sim 107^{\circ}26'E, 25^{\circ}30' \sim 26^{\circ}06'N$ 。地处云贵高原黔中山原区向广西丘陵平原过渡的斜坡地带,属乌蒙山脉东南侧边缘岩溶化山原区。地势北高南低,西高东低。全县最海拔 1 487.7 m,最低点海拔 402 m,全县最大相对高差 1 085.7 m。

年平均气温 $17^{\circ}C$, 年极端气温最高 $37.7^{\circ}C$, 极端气温最低 $-7.7^{\circ}C$, 无霜期 312 天。多年平均降水量为 1 259 mm, 降水年际变化较大, 最多年为 1 364.4 mm, 最少年为 998.4 mm, 变化率达 27%。年内降水分布不均匀, 5—10 月集中了全年降水量的 76.12%。区内平舟河属珠江水系西江支流曹渡河支流。平舟河枯水期流量 $4 \sim 5 m^3/s$, 洪水期流量 $1 100 \sim 1 800 m^3/s$, 多年平均流量 $56.4 m^3/s$; 河床宽 $50 \sim 150 m$, 平均比降 0.41。

研究区地处扬子准地台黔南台陷之贵定南北向构造变形区。地质构造形迹主要表现为北东向短、长轴褶曲相间。岩性为石炭系黄龙组 (C_2h) 灰白色厚层灰岩、白云质灰岩及白云岩。岩层产状倾向东南, 倾角 15° 。新构造运动以大面积抬升为主, 并广泛伴随着差异运动及不均匀隆升, 同时具有振荡性质。因受多次间歇性的构造抬升运动, 其主要表现为地表、地下河袭夺改道, 地下河系变迁, 节理极为发育。

2 壶穴群规模、形态及分布特征

甲青壶穴群位于平舟河穿过甲青天生桥、甲青大盲谷后出露于地表的河床基岩上。该河段只有在洪水期才有急流在地表河床上流过, 平时以地下暗河方式流过, 地表河床处于干涸状态。研究区内壶穴规模大小不一, 最大者直接 4 m, 深 3 m, 一般直径 $0.1 \sim 3 m$, 深度 $0.01 \sim 2 m$ 。其中直径和深度都在在 1 m 以上的有数百个; 直径及深度小于 1 m 的数量众多, 成片出现。壶穴口在平面形态上呈圆形、椭圆形或不规则形; 纵向剖面

上有四种形态, 一种为口小肚大的壶状(图 1-a); 另一种口与肚子直径大致相当, 呈柱状或筒状(图 1-b); 还有一种口大, 向下逐渐变小的壶穴(图 1-c); 第四种为阶梯式壶穴形态, 台阶轴向向下游方向降阶。壶穴中心轴向大致倾向上游或沿节理方向(图 1-f), 沿该方向有明显的出水口及出水痕迹, 部分壶穴底残存有砂石及积水(图 1-a、b、d、e、f)。

从壶穴的空间分布可以看出, 平舟河出露地表上游段以壶口直径较小的雏形壶穴为主, 未见有大型的壶穴分布; 巨型及大型的壶穴分布在下游有跌水或急流较为明显处, 该处壶穴群多为残缺的壶穴及在旧壶穴的基础上形成新的壶穴。从壶穴在河谷断面分布看, 靠近河谷中央地段壶穴直径较大, 深度较深; 侧岸壶穴直径较小, 为几厘米至十几厘米, 深度为几厘米。

3 甲青壶穴群发育条件和形成模式

3.1 壶穴发育条件

甲青壶穴群的形成受多种因素的控制, 形成条件极为复杂, 主要受岩性、地质构造、溶蚀及急速水流磨蚀等因素之间相互作用的结果。其中急速流动的水流是壶穴形成、发展和成熟的外来营力。

1. 水流磨蚀作用

甲青壶穴群分布的河段又俗称“干河”, 该河段只有在洪水期才有没过河床的急流流淌而过, 平时为干涸的状态。实地考察发现, 洪水位距河床约 3 m, 河床较窄, 河水涨幅变化较大, 暴涨暴落的水流形成的急速水流携带大量砾石、石块对河床基岩的研磨, 经过长时间的磨蚀, 形成了这些壶穴。在壶穴底部, 依旧随处可见残留有大量的砂砾石, 并且砾石的磨圆度、分选性都很好(图 1-f、图 2)。从河流的水位动态及砂砾石的特征可以推断出水流携带大量砾石、石块对壶穴内壁研磨的过程(图 1-g、图 1-h)。

2. 岩性条件

壶穴的发育、演化和消亡均与岩床基岩岩性有密切的关系, 基岩岩性各异会影响壶穴形成和保存, 从而影响壶穴的分布(曹明达等, 2016)。一般情况下, 厚层致密、成分、结构均匀的基岩, 同

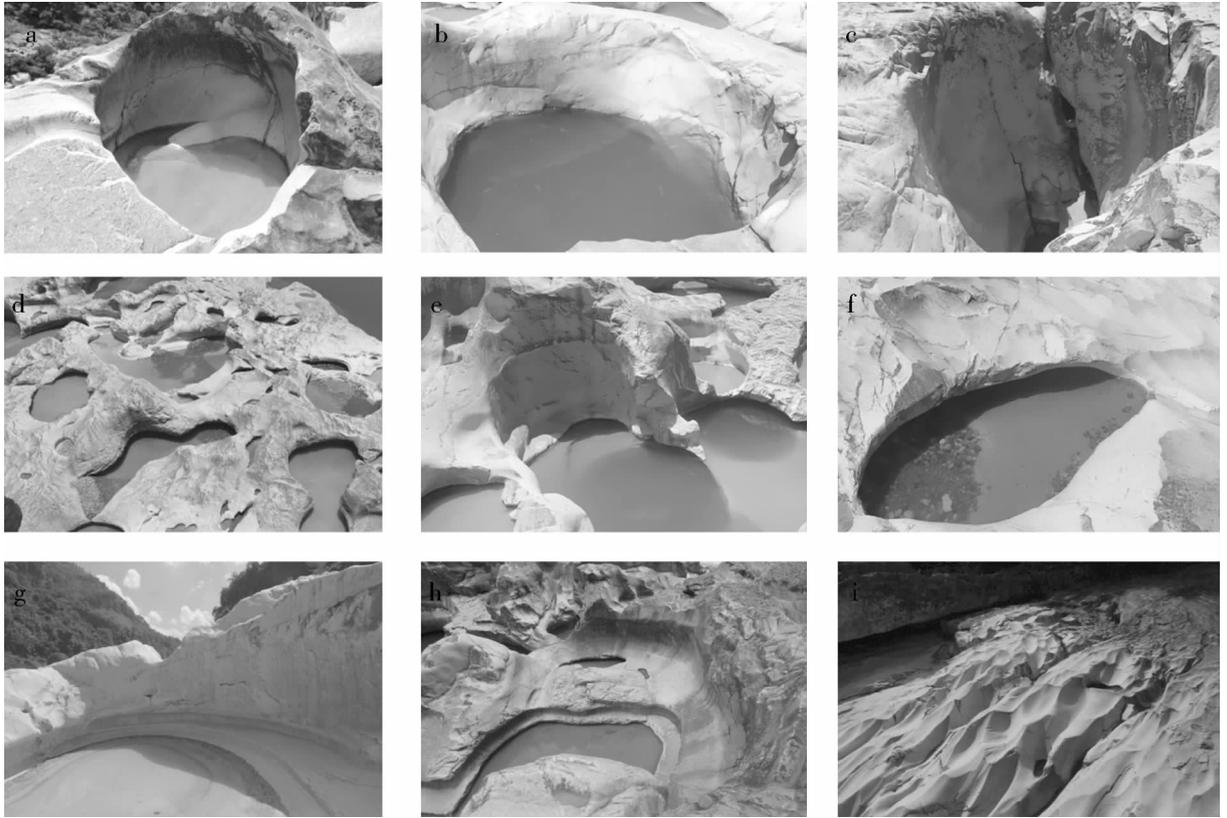


图1 甲青壶穴群部分壶穴照片

Fig. 1 Some potholes of Jiaqing pothole groups

a—口小肚大底平典型壶穴;b—筒状典型壶穴、见溶蚀裂隙;c—串联状壶穴群、底部残存有砂砾;e—筒状壶穴残缺体、形成新壶穴;
f—平面上呈椭圆形、见有明显的出水口;g—壶穴内壁流纹;h—新壶穴内壁形成的流纹;i—沿节理裂隙展布的壶穴群

时高速旋转水流携带砂砾石磨蚀河床软弱处,其周边不易冲切、破碎,利于壶穴的形成,而河床的抗磨蚀性较好的基岩能使壶穴较好的保存(刘晓娇,2013)。甲青壶穴群出露的地层岩性为石炭系中统黄龙组(C_2h)灰白色厚层灰岩、白云质灰岩及白云岩,厚层致密,矿物成分和结构较为均匀,具有可溶性和崩解作用较强。常年的流水侵蚀—溶蚀作用下,基岩表面沿流水方向或节理裂隙发育垂直方向出现长条形的凹槽,出现了壶穴发育的雏形(图1-i)。因此,在壶穴发育的初始阶段,起源于岩脉、节理裂隙等岩体内部薄弱部分。

3. 地质构造

壶穴的形成主要受岩体内软弱带(节理、裂隙、岩脉等)或与峡谷垂直相交的断裂构造控制。甲青峡谷地质构造发育,控制着区内河谷的发育形态,也与壶穴的形成有着密切的关系。据统计,大多数的壶穴发育长轴方向与节理裂隙的走向基本一致,背上游面形成岩槛。当河流发生溯源侵蚀时遇到软弱带(节理、裂隙、岩脉等)时形成岩

槛,进而形成瀑布或跌水,洪水期急速水流带动下形成急流漩涡,为壶穴的形成提供了不要的水动力条件(图1-g、图1-h、图1-i)。

4. 溶蚀

水的溶解能力取决于水中的 CO_2 的含量,含量越高,其溶解性越高。洪水期流经壶穴的河水滞留于壶穴内,水中的溶质($CaCO_3$)含量较少,浓度较低,溶蚀作用开始;枯水期后水中的溶质($CaCO_3$)饱和,此时溶蚀作用停止;当再次洪水流过壶穴后,壶穴内的水得与补充,溶蚀作用又开始,溶蚀作用周而复始。壶穴在形成的过程中溶蚀作用贯穿始终,并对壶穴的形态有着重要的影响。

3.2 甲青壶穴群的形成模式

壶穴是河床基岩被流水磨蚀而形成的岩穴。根据水流特征的不同,将壶穴的形成模式分为如下三种:瀑布模式、阶状跌水模式和急流漩涡模式。瀑布模式是由流水携带砂砾石从断崖、岩槛处跌落,对瀑布下面的河床基岩冲刷、研磨形成的

圆形、椭圆形或不规则形状的凹穴,瀑布(跌水)形成的壶穴附近河床有溯源侵蚀现象;阶状跌水模式主要发生在河流侧岸,水流沿倾向河床方向的基岩面流动,岩层倾角小,流水的下切能力小,沿岩石节理面、破碎带或者岩石中的空洞处冲击和掏蚀河床,形成浅底的凹槽连续排列,水流在凹

槽中流动时呈波浪线或跳跃的摩擦侵蚀河床向下串珠状排列的圆坑;急流漩涡模式是流水携带的砂砾石在基岩软弱面滚转磨蚀,逐渐下侵形成凹坑,急速流水影响下,在凹坑周围产生垂直向上的急流漩涡,急速旋转的水流携带的砂砾石对河床基岩继续磨蚀形成壶穴(图2)。

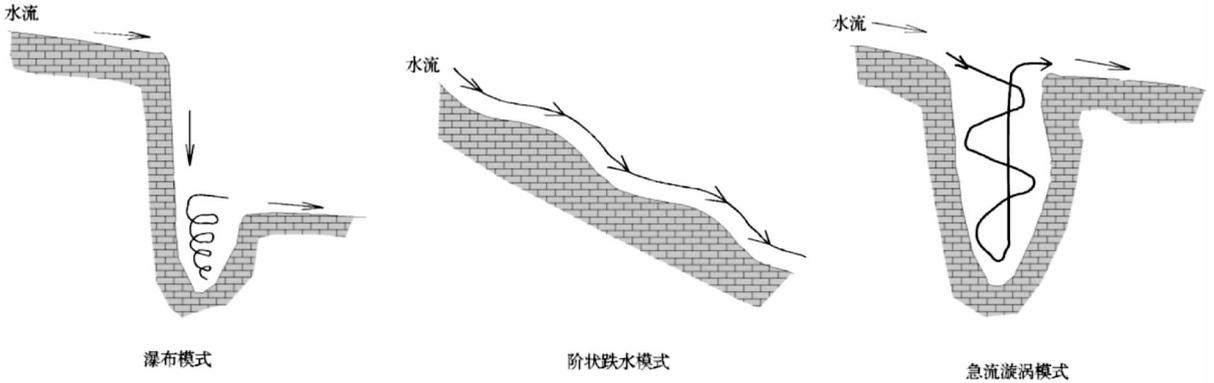


图2 壶穴形成模式示意图

Fig. 2 Formation mode of pothole

4 壶穴地貌的演化过程

根据壶穴的形成和演化过程可分为4个阶段:①雏形壶穴阶段:主要发育在河床基岩软弱处(节理、裂隙、岩脉等)。急速水流对基岩软弱处的侵蚀、研磨,在河床上形成了冲坑、凹坑,便形成了雏形壶穴。这时的壶穴直径较小,深度也较浅,剖面形态呈碟状,也叫碟型壶穴(图1-i)。②壶穴发育阶段:在雏形壶穴的基础上,水流携带的砂砾石形成的涡流不断的研磨穴底和穴壁,壶穴口逐步形成圆形,壶穴深度也不断的加大,形成较为明显的筒壁。雏形壶穴逐步演化成柱形或筒形壶穴,这时的壶穴剖面形态近似“U”型(图1-c)。③壶穴成熟阶段:随着水流携带的砂砾石在壶穴内部随涡流持续研磨,壶穴筒壁不断扩大,形成口小肚大底平的倒“Ω”型壶穴(图1-a)。④壶穴衰亡阶段:随着侵蚀基准面的下降,离陡坎远处的水流作用相对近处的跌水是能小,壶穴口变得脆弱,极易被侵蚀—溶蚀。因此,河流的下蚀作用对壶穴产生破坏,形成了出水口被侵蚀成残缺不全的壶穴(图1-g,h)。从壶穴表面、内部和口的细腻、无棱角及光滑(图1),故在壶穴的形成及演化过程一直伴随着溶蚀作用,贯穿着河床壶穴地貌形成、发展、衰亡的全过程。

5 结论

- (1)壶穴的形成和发育与岩性、地质构造、水流特征和溶蚀等因素有关,其壶口发育轴向受岩石节理裂隙控制;平面形态以口小肚大底平的圆形或椭圆形为典型特征,剖面形态呈倒“Ω”型;
- (2)从壶穴形成的水流作用特征可分瀑布、阶状跌水和急流漩涡3种模式;从壶穴的发育阶段,甲青壶穴的形成演化可分为4个阶段:雏形壶穴阶段、壶穴发育阶段、壶穴成熟阶段和壶穴衰亡阶段;
- (3)甲青壶穴的形成是现代河流流水侵蚀—溶蚀作用形成的,是河床下切的形式之一,而并非“冰臼”。

[参考文献]

曹伯勋. 1995. 地貌学第四纪地质学[M]. 中国地质大学出版社, 52-53.

曹明达,周忠发,张洁,殷超,潘艳喜,闫利会,陈全. 2016. 贵州绥阳阴河洞洞穴壶穴的演化过程[J]. 地理学报, 71(11): 2010-2019.

陈兆棉. 2008. 贵州平塘壶穴群成因及命名[C]. 中国地质学会旅游地质与地质公园研究分会第23届年会暨二连恐龙地质公园建设与旅游发展战略研讨会论文集, 19-21.

韩同林,劳雄,郭克毅. 2000. 关于南国冰臼群成因的商榷[J]. 热带地理, 20(1): 72-80.

- 李孟华,谢小康.2000.“冰臼”与“壶穴”的鉴别[J].嘉应大学学报,18(6):71-74.
- 刘晓娇,徐娟,张斌,刘守江,覃发超,罗明良.2013.川中丘陵区河成壶穴的形态对比及成因[J].山地学报,1(6):723-730.
- 吕洪波,任晓辉,许民,欧阳江城.2008.壶穴差异风化或风蚀作用成因质疑[J].地质论评,54(2):192-199.
- 欧先交,陈春艳,曾兰华,尚志海,林培松.2015.丰顺龙鲸河壶穴地貌特征初步调查[J].岭南师范学院学报,36(6):98-103.
- 热带地理编辑部.2002.中国科学院院士施雅风谈“冰臼”与“壶穴”[J].热带地理,22(1):1-2.
- 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[J].地质评论,53(4):486-491.
- 童潜明,胡能勇,胡秋君,刘钟伟,彭格林,罗海晏.2007.不要把壶穴当“冰臼”——对湖南龙山和茶陵壶穴的调查[J].国土资源导刊,4(6):59-62.
- 杨超群.2001.冰臼与壶穴之争述评[J].热带地理,21(1):86-94.
- 余仲辉.2005.是“壶穴”,不是“冰臼”——对新昌穿岩丹霞地貌“冰臼群”定性之我所见[C].中国地质学会旅游地质与国家地质公园研究分会成立大会暨第20届旅游地质与地质公园学术年会论文集,101-108.
- 郑本兴.2012.石臼、壶穴、冰臼辩——论岩臼、壶穴和冰臼的成因分类[J].冰川冻土,34(2):498-504.
- 周尚哲.2006.锅穴一定是第四纪冰川的标志吗?[J].第四纪研究,26(1):117-125.

Brief Discussion Characteristics and Landform Evaluation Process of Pothole Group in Jiaqing, Pingtang

YANG Yong-fu

(Geology and mineral resources exploration institute of non-ferrous metal and nuclear industry geological exploration Bureau of Guizhou, Guiyang 550005, China)

[Abstract] Different potholes distribute in the Jiaqing river bed. Once some researchers thought that the type of the bed was karst valley moulin, but not pothole which was formed in glacial movement in forth quarter. According to riverbed rock lithology, geologic structure, stream feature and corrosion, the formation condition of Jiaqing pothole groups in Pingtang was analyzed, 3 stream motor mode of pothole formation were carried out: water fall, step drop and torrent whirlpools, the formation and evaluation process of pothole were discussed, it's thought Jiaqing pothole groups are the outcome of modern river erosion and corrosion, has nothing to do with glacier of forth quarter.

[Key words] Pothole group; Karst; Glacier of forth quarter; Evaluation process; Pingtang