

# 喀斯特虹吸周期泉理论动力模型

杨明德 谭明

(贵州师大地理系)

**提要** 喀斯特周期泉是一种特殊的喀斯特水文地貌现象。其中,虹吸式喀斯特周期泉具有比一般虹吸现象更为复杂的机理,它对管道水流的补排结构有特殊的要求。本文通过模拟实验,探求其形成的主要边界条件,并提出其实验条件下的理论动力模型。

**关键词** 喀斯特;周期泉;动力模型

喀斯特周期泉最早称为“多潮泉”<sup>[1]</sup>,其涌水量呈潮汐式变化,有时水量很大,时而几乎干涸,具周期性,所以也可称为“喀斯特周期泉”。该类泉在中国及外国均有报导,以贵州为例,各泉的周期长短,流量变幅有很大差异(表1)。自从法国莫里斯实验室采用双管系统成功地模拟了Fontestorbes多潮式周期泉后(该泉经潜水员调查未发现虹吸管),有的学者提出喀斯特周期泉可分为虹吸管式和多潮式两类,前者断流而后者不断流<sup>[2]</sup>。这里,我们将讨论喀斯特虹吸周期泉的成因,并试图通过模拟实验,寻找周期虹吸运动的边界条件,建立动力方程,以期从周期、出水量等推测喀斯特虹吸周期泉的动力空间结构。

表1 贵州几个喀斯特周期泉周期流量 (据邹成杰,1979)

Tab.1 Periods and discharges of several karst intermittent springs in Guizhou

泉名	周期(min)	流量及其变幅(l/s)	注
红板桥多潮泉	33-41	I号泉:88.55-0.45 II号泉:28.5-0.24	I、II号泉 水温、周期一致
白花多潮泉	10-15	3.5-1.5	
茨冲多潮泉	480	108.86-43.75	
响龙洞多潮泉	29	139-1.0	

作者简介:杨明德,男,58岁,教授,1957年华东师范大学地理系自然地理(地貌)研究生毕业。现从事喀斯特地貌与水文的的教学和研究工作。550001 贵阳市照壁山。

## 1 模拟装置及实验过程

喀斯特虹吸周期泉(以下简称虹吸泉)的硬结构在理论上并不复杂,因而在实验室很容易设计其模拟装置。进水管道可采用硬管或软管模拟;出水管最好采用软管,便于调节高度;储水空腔应采用透明容器,这样便于观察水面的周期升降运动。此外可加接水槽用于计算出水量。为了研究虹吸泉周期与储水腔水面高度的关系,可采用出水管高度不同的多个装置,也可采用单个装置调整出水管高度(图1)。

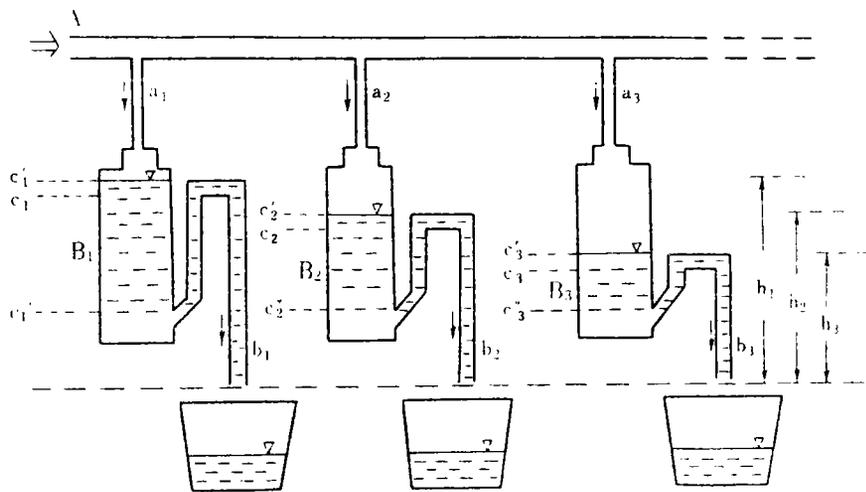


图1 虹吸泉模拟装置

Fig.1 Device of karst siphon spring

在图1装置中,向主管道A注水;A中水流分别流入各装置的进水管 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ ;进水管将水流导入各储水腔 $B_1$ 、 $B_2$ 、 $B_3$ ;当储水腔水面依次达到高度 $c_3$ 、 $c_2$ 、 $c_1$ 时,据连通器原理各出水管 $b_3$ 、 $b_2$ 、 $b_1$ 的水面也依次达到高度 $c_3$ 、 $c_2$ 、 $c_1$ 并开始溢流;当储水腔与出水管水面继续升高并超过 $c_3'$ 、 $c_2'$ 、 $c_1'$ 时产生虹吸作用,这时各出水管流量突增,尔后各储水腔水面下降;当水面依次降至 $c_3''$ 、 $c_2''$ 、 $c_1''$ 高度时,出水管 $b_3$ 、 $b_2$ 、 $b_1$ 依次断流。以后储水腔水面再次上升并重复上述过程。在整个过程中,储水腔 $c_1''$ 、 $c_2''$ 、 $c_3''$ 高度以下可视为“死容量”。

## 2 实验过程中对边界条件的认识

在多次调试和重复试验过程中,发现周期虹吸的形成有特定的边界条件。若设进水管流

量为 $Q_0$ 、出水管溢水流量为 $Q_1$ 、虹吸流量为 $Q_2$ , 则实现周期虹吸的必要条件是

$$Q_{1\max} < Q_0 < Q_{2\min}$$

如果 $Q_0 \leq Q_{1\max}$ , 则出水管将保持溢流, 储水腔中水面不能上升到 $c_1'$ 、 $c_2'$ 、 $c_3'$ , 因而不产生虹吸效应; 如果 $Q_0 \geq Q_{2\min}$ , 则虹吸永远不会停止而产生承压泉。

当满足上述条件时, 虹吸泉周期 $T$ 则与进水流量 $Q_0$ 、出水管管径 $\Phi$ 、出水管高度 $h$ 及不同形状储水腔容积 $S$ 有如下函数关系, 即

$$T = f(Q_0, \Phi, h, S)$$

当 $\Phi$ 、 $h$ 和 $S$ 一定时,  $Q_0$ 愈大则 $T$ 愈小; 当 $Q_0$ 、 $h$ 和 $S$ 一定时,  $\Phi$ 愈大 $T$ 愈小; 当 $Q_0$ 、 $\Phi$ 和 $S$ 一定时,  $h$ 愈大则 $T$ 愈大; 当 $Q_0$ 、 $\Phi$ 和 $h$ 一定时,  $S$ 愈大, 水面愈广则 $T$ 愈大。

### 3 喀斯特周期虹吸泉理论动力结构

通过虹吸泉的模拟实验, 了解了这一水文地貌现象的动力结构——软结构, 根据实验结果建立起理论动力模型。

图1实验中, 设虹吸周期为 $T$ 、出水管高度为 $h$ , 由出水管高度决定的储水腔动力容积(包括“死容积”的实际载水容积)为 $V$ , 对三个出水管高度不同的装置进行统计表明, 周期 $T$ 是出水管高度 $h$ 的线性函数, 是储水腔动力容积 $V$ 的非线性函数(图2)。

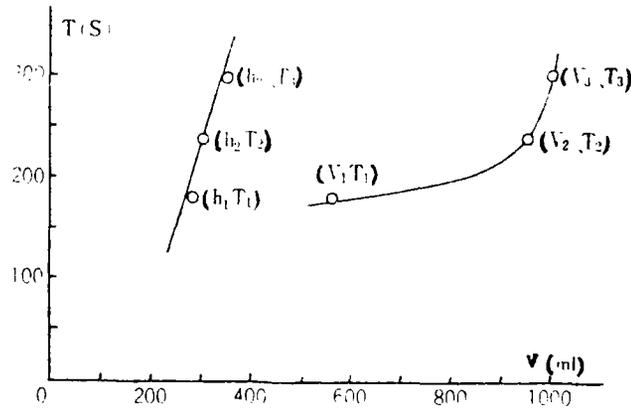


图2 虹吸泉周期 $T$ 与出水管高度 $h$ 及储水腔动力容积 $V$ 关系曲线

Fig. 2 Relationship between the period and the height of drain pipe and the volume of water receptacle

对于单个模拟装置, 如果改变进水流量 $Q_0$ , 所得到的周期与进水流量关系曲线如图3所示。经过试算, 该曲线用幂曲线、指数曲线和对数曲线均难以拟合。

在所有虹吸泉动力模型中, 流量变化曲线及其方程是较为重要的模型。表2所列为本文模型依据的实验装置参数及出水流量在出水半周期内的变化记录。若以 $W$ 代表虹吸泉累积出水量, 则在一个周期 $T$ 内(模拟中只是出水半周期内)  $W$ 随时间呈“S”形增长(图4)、即出水量变化是“慢—快—慢”型。

根据实验原理, 将周期 $T$ 分为有水半周期 $T_1$ 和无水半周期 $T_2$ ; 设减去“死容积”

后的储水腔动力容积为 $V_0$ (包括出水管水上升段的容积), 则可以累积出水量 $W$ 联立方程计算

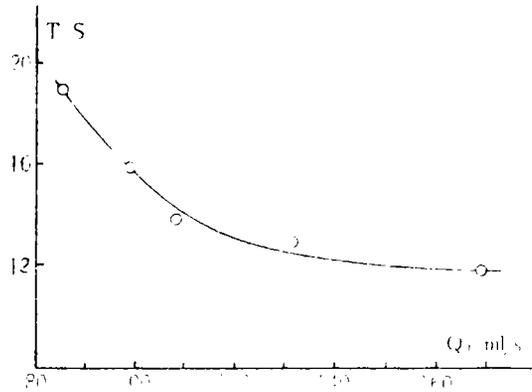


图3 虹吸泉周期 $T$ 与进水流量 $Q_0$ 关系曲线

Fig.3 Relationship between the period and feeding discharge

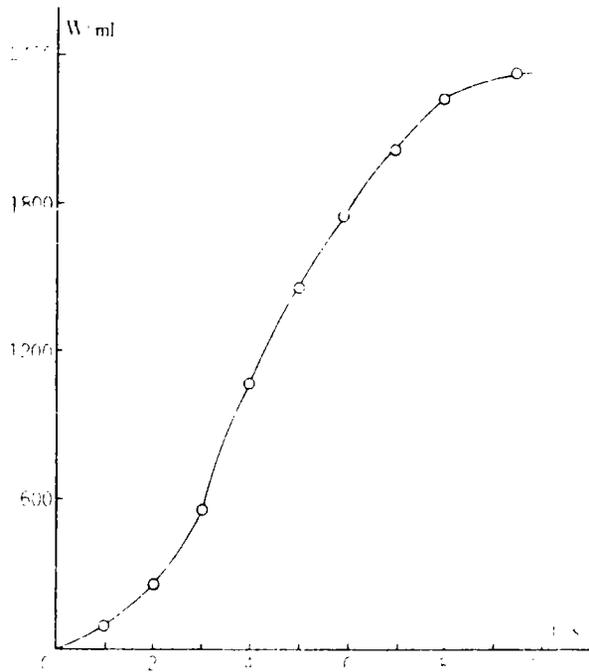


图4 虹吸泉累积出水量 $W$ 随时间 $t$ 增长图

Fig.4 Graph of total amount of drain water in a period

表2 虹吸泉模拟装置参数及周期内流量变化表

Tab.2 Record of discharges changing in a period and the parameter lists of the device

时间 (s)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
流量 (ml/s)	95	160	291	520	380	290	267	210	88	5	0	0	0	—

实验装置主要参数: 动力容积1341ml, 死容积200ml; 进水流量150ml/s, 出水管径2.5cm; 出水半周期9."5;

无水半周期6"; 周期15"5; 周期内累积出水量2306ml

(↑为虹吸开始时刻, ↓为断流时刻)

进水流量 $Q_0$ 及虹吸“动储量” $V_0$ :

$$\begin{cases} W = V_0 + Q_0 T_1 \\ V_0 = Q_0 T_2 \end{cases}$$

即

$$Q_0 = \frac{W}{T_1 + T_2} = \frac{W}{T}$$

从方程(3)可知, 在实际应用中, 只要知道虹吸泉周期 $T$ 并计算出周期内累积出水量 $W$ , 就可以算出虹吸泉的进水流量 $Q_0$ 。在方程(2)中, 如果不断流则需将无水半周期 $T_2$ 以非虹吸经历时间代换后使用。

在表2中, 若以第一秒内的流量近似代表第一秒末时刻的流量、第一秒至第二秒内的流量代表第二秒末时刻的流量、……余类推。则得到如图5所示的喀斯特虹吸周期泉流量过程模拟曲线。其中, 出水半周期的曲线可分为三段: 第一段从第0秒到第4秒, 流量按指数方程规律上升; 第二段从第4秒到第8秒, 流量按负指数方程规律下降(与一般的流量衰减方程相似); 第三段从第8秒到第10秒, 流量按线性方程规律下降, 在这一时段, 流量来自虹吸作用消失后留在出水管内在重力作用下流出的水。前两段曲线的拟合参见图5中右上角 $\log Q$ 与 $t$ 曲线图。

#### 4 结论和讨论

喀斯特虹吸周期泉由于其特殊的管道系统(地下地貌)而形成独特的水文过程, 对于这一喀斯特水文地貌现象, 本文所做的工作指出它是可以在室内模拟并进而建立其动力模型的。同时, 该模拟实验还向我们指出喀斯特水文地貌系统(karst hydrogeomorphology system)是真实存在的且主要由两种结构组成: 地貌形态是硬结构, 它在空间维上定义; 水文过程是软结构, 它在时间维上定义。水文过程提供地貌形态的塑造动力, 地貌形态提供水文过程的活动边界。目前我们对该系统的内部过程和反馈机制还不十分清楚, 希望通过某些模拟实验达到对该系统更深层的认识是本文的主要目的。

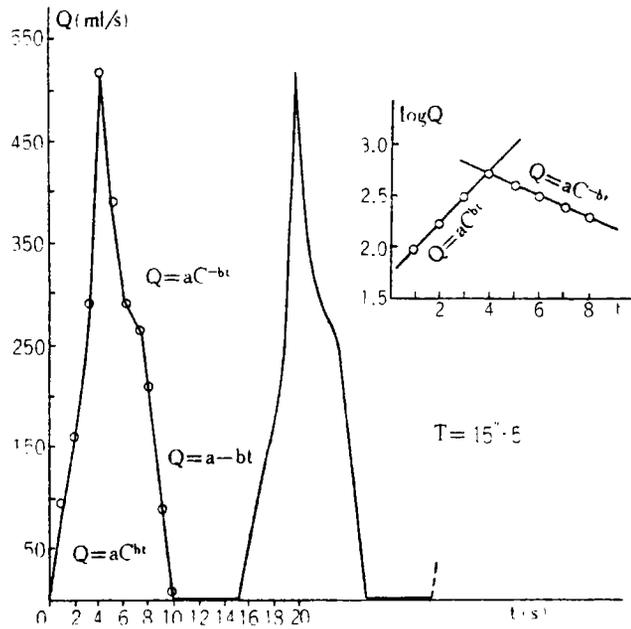


图5 喀斯特虹吸周期泉流量过程模拟曲线及曲线拟合(a、b、c为非零正常数)

Fig.5 Discharge hydrograph of the analog device and fitting of the curve

### 参 考 文 献

- 1 邹成杰、戴景春. 贵州猫跳河流域喀斯特发育的某些特征. 全国喀斯特研究会议论文集. 科学出版社, 1962.
- 2 袁道先、蔡桂鸿. 岩溶环境学. 重庆出版社, 1988.

## DYNAMIC MODEL OF INTERMITTENT SIPHON KARST SPRING

Yang Mingde    Tan Ming

(Department of Geography, Guizhou Normal University)

### Abstract

Intermittent karst spring is a special karst hydrogeomorphologic phenomenon. The siphon type of such spring has a much more complex mechanism than normal siphon feature, which requires specific recharge-discharge structure of conduit water flow. The author approaches the principal boundary conditions for such spring and develops a theoretical dynamic model under experimental conditions.

Key words: Karst; Intermittent spring; Dynamic model

读者·作者·编者

## 地质科技论文中一些数字概念的正确表达方法

几乎所有的地质科技论文中,都要使用数字来表达定量的描述或评价。然而不少论文中的数字概念表达得不够确切,甚至表达错误,常使读者如堕五里雾中,不得要领。这方面的问题,亟需引起作者和编者的注意。

### 关于不确定数量词(约数)的表示方法

通常使用“大概”、“约”、“上下”、“左右”、“余”、“以上”、“以下”……,不准确的量化副词来表达。例如:“某矿区排水量,大概为 $30\text{m}^3/\text{h}$ 。”这个排水量是一个约数,它应该有一个上下限,作者未精确表示,或者是未取得精确的实测数据。于是只好“大概”了。这种“大概”并不是漫无边际的,如果按正负10%的误差来考虑,那么“大概 $30\text{m}^3/\text{h}$ ”则相当于 $27\sim 33\text{m}^3/\text{h}$ 。有时我们也可理解排水量的约数相当接近于排水量的均值。不要将量化副词重叠使用。例如:“约 $35\text{km}$ 左右”、“大概在 $30\text{km}$ 上下”、“大概约 $35\text{km}$ ”……。正确的表达应为“约 $35\text{km}$ ”,已经表示了数值变化的上下限,例如:“流量变化在 $30\sim 50\text{m}^3/\text{s}$ 之间”,就不能写成“流量变化在 $30\sim 50\text{m}^3/\text{s}$ 以上”。这个“以上”便不可理解了。还有的同志喜欢用“大于”、“小于”表示量的变化,如最小流量小于( $<$ ) $30\text{m}^3/\text{s}$ ,最大流量大于 $150\text{m}^3/\text{s}$ ,这样写也要不得,本来是比较明确的含意,被弄得似是而非了。当你使用约数时,请特别注意有效位数,约300、约350、约355,分别指有效位数分别为百、十、个位数,在这些约数之后,不能再用小点加零来表示,如约300.0、约315.0……。因为这已经不是约数,而是一个精确的数值了。此外,还有如变化在 $30\sim 50$ 上下,活动在 $30\sim 50$ 左右的表示法都要不得。