

# 模拟边坡土壤虹吸排水试验研究

刘 斌

(湖南水利水电职业技术学院水利工程系, 湖南长沙 410131)

**摘要:** 根据水力学中的虹吸原理, 对模拟边坡土壤中的虹吸管过水量进行探究。通过试验与理论相结合推算出直径4 mm的虹吸管的沿程阻力系数, 运用该阻力系数计算虹吸管在土壤中过水流量的关系, 并进行试验研究。试验结果表明: 土壤中埋设虹吸管的过水量随水位差增高而增大, 当水位差大于3 m时将不能增加其过水量; 土壤中埋设虹吸管的土层深度与管内过水量呈负相关, 土层中土壤的渗透性是影响虹吸管过水量的主要因素。

**关键词:** 水力学; 虹吸; 排水; 模拟边坡

**中图分类号:** [TV93]      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1007-7839(2016)07-0047-03

## Study on siphon drainage of simulated slope soil

LIU bin

(*Department of Hydraulic Engineering, Hunan Technical College of Water Resources and Hydropower, Changsha 410131, Hunan*)

**Abstract:** According to the siphon principle in hydraulics, siphon discharge in simulated slope soil is explored. Siphon friction coefficient of 4 mm diameter is calculated by experiment and theory methods. Relationship of discharge between siphon and soil is studied by using the friction coefficient, experiment research is carried on. Test results show that: The discharge of siphon buried in soil is increased with the water level difference. The discharge will not increase when the water level difference is larger than 3 m. The discharge of siphon buried in soil is decreased with the soil depth. Soil permeability is the main factor affecting the discharge of siphon.

**Key words:** hydraulic; siphon; drainage; simulated slope

随着我国基础设施的大力开发建设, 建成了连接全国各个城市的高速公路网, 在丘陵地区修筑公路存在许许多多的边坡。边坡的稳定性是影响交通安全的一个重要因素。降雨会对边坡的稳定性产生较大影响, 雨水入渗到边坡土壤中不能及时排除易造成边坡土壤滑坡。虹吸管是一种利用大气压及水位差的无动力输水装置。人类很早就发现了水的虹吸现象, 并将虹吸管输水方式应用于水利工程中<sup>[1-3]</sup>。有学者通过数值模拟了边坡土壤的虹吸排水研究, 土壤中的虹吸管水孔是

影响排水效果的重要因素。对土壤做虹吸排水能有效降低土壤中的含水量, 有利于维持边坡稳定<sup>[4-10]</sup>。对此, 本文做了土壤中铺设塑胶软管模拟边坡土壤虹吸排水的试验研究。

## 1 试验设计

### 1.1 设计方法

试验用一个底宽为25 cm, 高30 cm的圆桶, 桶中填10 cm、15 cm、20 cm、25 cm、30 cm不同深度的土层设为边坡土层厚度, 在土层底部铺设带

收稿日期: 2016-04-14

作者简介: 刘斌(1980-), 男, 讲师, 硕士, 主要从事水利工程研究工作。

孔塑胶管道。管道设计方式为：被土壤掩盖部分一端，每隔 10 cm 钻 2 个小孔，并用纱布缠绕以免泥沙堵住小孔。并设一个桶中不含土壤的清水虹吸管处理组，计算塑料软管的沿程阻力系数。试验设置了 1 m、1.5 m、2 m、2.5 m、3 m 不同的虹吸管进出口水位差高度，运用水力学方法计算不同水位高差下虹吸管流量。

## 1.2 计算原理

根据流体稳定流动时伯努力方程：

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + h_w \quad (1)$$

式中：

$Z_1$ 、 $Z_2$ —流体中的两个不同断面的水位高度；

$P_1$ 、 $P_2$ —该断面处的压强；

$V_1$ 、 $V_2$ —该断面的流体流速；

$h_w$ —水头损失。

$$h_w = h_f + \Sigma h_j \quad (2)$$

$$h_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{V^2}{2g} \quad (3)$$

$$\Sigma h_j = \Sigma \xi \frac{V^2}{2g} \quad (4)$$

式中：

$h_f$ —沿程水头损失；

$h_j$ —局部水头损失；

$\lambda$ —沿程阻力系数；

$L$ —水管输水距离；

$D$ —水管直径；

$V$ —水中液体流速；

$\xi$ —局部阻力系数。

通过上面的计算公式最后可以推算出虹吸管过水流量  $Q^{[4-10]}$ ：

$$Q = VA = \mu_c A \sqrt{2gH} \quad (5)$$

式中：

$A$ —水管断面积；

$\mu_c$ —过水因素，即阻力损失因素；

$H$ —虹吸管的水位高差。

## 2 结果与分析

### 2.1 虹吸管沿程阻力系数分析

表 1 为虹吸管分别在 0.5 m 和 1 m 水位差经 3 次重复测得的试验数据。在 60 s 内接入烧杯的水量计算出虹吸管的流量  $Q$ 。通过式 (5) 计算出两种水位高差下过水因素  $\mu_c$ 。两种水位高差下虹吸管都是同一种材质的输水管，且虹吸管驼峰及进出水口方式相同，所以虹吸管的局部水头损失  $\Sigma h_j$  不随水位高差发生变化。两种水位高差下，输水管道长度发生变化，所以虹吸管沿程损失  $h_f$  不同。

$$\mu_c = \frac{1}{\sqrt{1 + \lambda \frac{l}{d} + \Sigma \xi}} \quad (6)$$

将表 1 中的数据代入式 (6) 中计算出  $\lambda = 0.0051$ ， $\Sigma \xi = 25.004$ 。该虹吸管的沿程阻力系数通过试验方式计算得出。虹吸管在清水中的局部水头损失  $\Sigma \xi$  为 25.004。

### 2.2 边坡土壤中不同水位高差下虹吸管过水流量分析

虹吸管在模拟边坡土壤中仍能形成虹吸现象，其过水流量低于在清水中的过水流量。通过前面计算出的沿程阻力系数分析，模拟边坡土壤中的虹吸管沿程阻力系数与在清水中相同。当土壤上层水面与出水口水位差 1 m、1.5 m、2 m、2.5 m、3 m，土层厚度为 10 cm 时的过水流量分别为 0.31 ml/s、0.52 ml/s、0.64 ml/s、0.73 ml/s、0.77 ml/s。图 1 反映的是模拟边坡土壤水与水位高差变化相关趋势。当水位高差逐渐变大时，模拟边坡土壤水过水流量也呈增加趋势，当水位高差超过 2.5 m 时其过水量变化较小。理论上虹吸管的过水流量的平方与水位高差是呈正相关的。水位高差越大虹吸管过水流量越大，但由于虹吸现象是大气压将

表 1 虹吸管在清水中的试验结果

水位高差 $H$ (m)	次数 $n$	时间 $t$ (s)	输水量 $M$ (kg)	流量 $Q$ (ml/s)	虹吸管直径 $d$ (mm)	虹吸管长度 $l$ (m)	过水因素 $\mu_c$
0.5	1	60	0.390	6.50	4	0.8	0.165
	2	60	0.392	6.53	4	0.8	0.166
	3	60	0.394	6.57	4	0.8	0.167
1.0	1	60	0.512	8.53	4	1.3	0.153
	2	60	0.508	8.47	4	1.3	0.152
	3	60	0.510	8.50	4	1.3	0.153

水压入形成负压的真空管中, 因此, 其水位高差最大值不能超过 1 个大气压所产生的水柱, 否则会产生气蚀阻碍水体流动。在模拟边坡土壤水中因受局部水头损失大的影响, 过水流量与理论值相差较大。模拟边坡土壤中的局部水头损失主要是进水口处的损失。进水口处的水是由虹吸管真空产生的吸力吸水, 当水位高差增大时, 虹吸管中真空值相应增加。模拟边坡土壤中虹吸管埋在土壤中, 其吸水方式除了受到管内真空吸力影响外, 还受到土壤水渗透因素的影响。当真空吸力高于土壤水进入管内的渗透速度时, 模拟边坡土壤虹吸管过水流量达到最大值, 与试验结果图 1 中的变化趋势相符合。

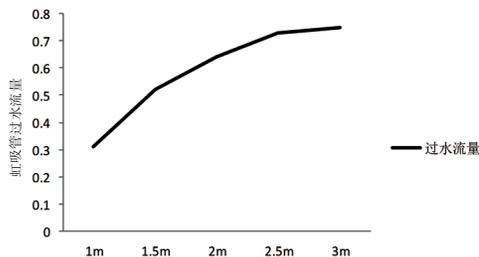


图 1 模拟边坡土壤中水面与出水口水位高差

### 2.3 模拟边坡土壤不同水层高度的过水流量分析

图 2 是模拟边坡土壤土层厚度与过水流量的关系。当模拟边坡土壤水面层高度与出水口高度之差恒定不变时, 虹吸管在模拟边坡土壤中随不同水层厚度其过水流量呈线性相关的下降趋势。当土层厚度为 10 cm、15 cm、20 cm、25 cm、30 cm, 虹吸管水面高差维持 1 m 时, 虹吸管的过水流量分别为 0.31 ml/s、0.26 ml/s、0.22 ml/s、0.18 ml/s、0.15 ml/s。土层厚度增加使土壤的透水率减小, 因而形成虹吸管的吸水量减少, 造成虹吸管过水流量下降。土层厚度变化虹吸管局部水头损失不发生, 过水量的下降是由于土壤中的表层水下降至土壤底层变慢, 土壤下层水与上层水不能形成一个整体相通的水体。当土层厚度增加到 30 cm 以上时, 虹吸管出现不连续的滴水现象, 表明虹吸管中吸入了土壤中少量气体, 再继续增加土层厚度, 虹吸管中不能形成真空, 吸水停止。

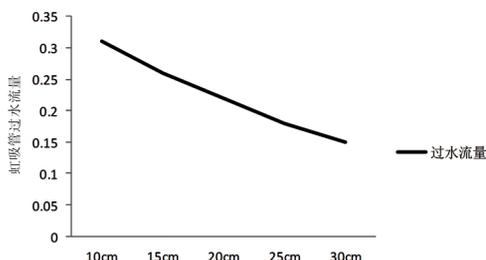


图 2 模拟边坡土壤中土层厚度

## 3 结论

本文通过试验的方法推算出虹吸管沿程阻力损失系数, 根据沿程阻力损失系数在模拟边坡土壤中与清水中相同原理, 比较出模拟边坡土壤中虹吸管的过水时局部水头损失要大于清水。模拟边坡土壤中虹吸管在不同水位差之下其过水流量发生变化, 当水位高差大于 3 m 时, 虹吸管的局部水头损失大于真空产生的负压吸力, 虹吸管过水流量将不再随水位高差变大而增加。模拟边坡土壤中虹吸管过水量与土层厚度相关, 土层厚度对虹吸管过水量是受水在土壤中的渗透性影响, 且土层厚度与模拟边坡土壤虹吸管过水量呈负线性相关。当土层厚度增加到 30 cm 厚度时, 虹吸管中开始出现气泡, 出水口水流变成断续流动状态。

本试验研究是采用管径较小的塑料管按照相似原理进行的模拟研究, 其中所得出的结论对实际工程边坡虹吸排水具有指导作用。

### 参考文献:

- [1] 王梦婷, 李琳, 谭义海. 正虹吸管道水力特性试验研究 [J]. 水电能源科学, 2014, (12): 87-92.
- [2] 李琳, 邱秀云, 许史. 长距离虹吸管道输水水力学模型试验研究 [J]. 南水北调与水利科技, 2010, (3): 106-109.
- [3] 许史. 长距离虹吸管输水试验研究 [D]. 新疆: 新疆农业大学, 2010.
- [4] 熊晓亮. 高扬程虹吸排水合理管径数值模拟 [D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
- [5] 邵青, 李显锋, 丁丛. 基于 Matlab 的水处理实验可视化仿真研究 [J]. 实验技术与管理, 2008, 25(11): 80-83.
- [6] 朱霓, 王丽, 陈平. Matlab 在水力仿真计算中的应用 [J]. 电脑知识与技术, 2010, 6(3): 689-690.
- [7] 彭志威. 基于计算流体力学的虹吸式流道形状优化设计 [D]. 长沙: 湖南大学, 2009.
- [8] 任姗姗. 边坡高扬程虹吸排水效果与影响因素研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
- [9] 潘浩. 虹吸式屋面雨水排水系统设计中天沟工况实验研究与模拟 [D]. 衡阳: 南华大学, 2012.
- [10] 谭茹. 虹吸式灌排水系统水力特性研究 [D]. 天津: 天津大学, 2008.

(责任编辑: 王宏伟)