

多孔管的压力分布特性试验

刘文华,刘焕芳,黄兴国,徐 峰

(石河子大学水利建筑工程学院,新疆 石河子 832003)

摘要 通过室内试验并结合水力学理论分析多孔管沿程压力分布规律,研究了坡度、压力水头、孔距、管长 4 个参数对沿程压力分布的影响。试验结果表明:多孔管沿程压力随压力水头和孔距的增大而增大,随管长的减小而增大,多孔管沿程压力在平坡、顺坡、逆坡 3 种情况下分别有不同的变化规律。对推导出的水力学理论公式进行了验证,试验证明该公式在与试验条件类似或基本一致的情况下可用于实际计算。

关键词 多孔管 压力分布 水头损失 压力水头

中图分类号 S275

文献标识码 B

文章编号 1006-7647(2009)05-0013-03

Experiment on the pressure distribution characteristic of porous pipe/LIU Wen-hua, LIU Huan-fang, HUANG Xing-guo, XU Feng (College of Hydraulic and Constructional Engineering, Shihezi University, Shihezi 832003, China)

Abstract : The longitudinal pressure distribution law is analyzed with a combination of laboratory testing and theoretical analysis of hydraulic theory. The effects of slope, pressure head, porous distance and pipe length on the longitudinal pressure distribution were studied. The results show that the porous pressure increases with the pressure head and the porous distance but decreases with the pipe length, and the pressure in the first section decreases with the slope but the pressure in the last section increases with the slope. The hydraulic theory formula is verified. The results of the experiment show that the formula can be used in practical production if the actual conditions and the test conditions are similar or identical.

Key words : porous pipe ; pressure distribution ; head loss ; pressure head

随着工农业生产的发展和人民生活水平的提高,用水量日益增大,水资源供需矛盾进一步加剧。近年来,为了缓解水资源的供需矛盾,促进工农业持续、稳定发展,新疆大力推广了节水灌溉技术,多孔管微灌技术是在生产实践中探索创造的一种节水灌溉技术,在新疆得到了大面积推广应用^[1]。多孔管沿程压力分布特性是多孔管重要的水力特性之一,它对多孔管微灌技术应用于生产实践有着重要的指导意义。

目前,多数学者研究的多孔管的长度一般很短,管道上的开孔数目也不是很多,没有将管道铺设的坡度因素考虑进去。但实际应用中,多孔管压力分布性能受地形和软管加工技术的影响很大,同时要求软管内水流的压力水头变化范围比较小。如果多孔管的沿程压力水头变化大,不但灌水均匀度会降低,而且在压力水头较高处软管有可能因为超过容许应力而遭到破坏,导致系统失效^[2-4]。为此笔者进

行了多孔管水力性能试验,结合水力学理论分析了多孔管压力水头的沿程变化规律,以期能够指导多孔管在节水灌溉技术中的应用。

1 试验概况

试验中截取 50 m 软管,封堵尾端,调节自压水头与铺设面坡度。为了控制软管首部的自压水头,首部为带有溢流口的玻璃恒压水箱,通过调整水箱溢流口的高程即可控制软管进口的自压水头。为了控制软管铺设坡度,试验中用铝合金槽钢连接构成了软管铺设面,每隔 2 m 设 1 支座,作为铝合金铺设面的调坡控制点。试验中通过调整支座高程来控制铺设坡度,坡度用自动安平水准仪校核,试验装置见图 1。试验中的主要变化参数为多孔管铺设坡度、压力水头、滴孔间距(以下简称孔距)、管长,按以下组合安排试验组次:软管铺设坡度 i 为 -0.1% , 0% , 0.1% , 0.3% , 0.6% ; 压力水头 H 为 20 cm,

基金项目 国家自然科学基金(50369003)

作者简介 刘文华(1985—),女,河北南宫人,硕士研究生,从事水工水力学研究。E-mail: 1whdyf@163.com

通讯作者 刘焕芳(1965—),男,河南禹县人,教授,博士,从事工程水力学研究。E-mail: 1hf0818@shz.edu.cn

水利水电科技进展,2009,29(5) Tel: 025-83786335 E-mail: jz@hhu.edu.cn http://hkb.hhu.edu.cn

• 13 •

30 cm,40 cm,50 cm ;孔距 l 为 30 cm,60 cm,120 cm,240 cm ;管长 L 为 5 m,10 m,20 m,30 m,40 m,50 m。通过试验分析和理论研究,分别作出四者对压力沿程变化的影响关系曲线,揭示不同水头、坡度、孔距、管长对多孔管沿程压力分布规律的影响。

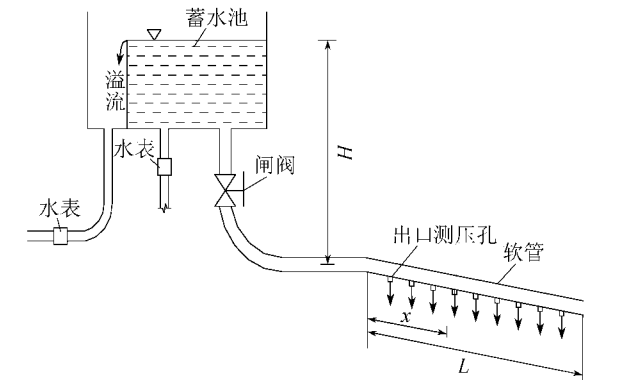


图 1 自压多孔管水力特性试验装置示意图

2 多孔管的压力分布特性

2.1 坡度对多孔管沿程压力分布的影响

图 2 给出了水头 50 cm、孔距 30 cm、管长 50 m、管径 0.035 m 条件下,坡度分别为 -0.1% , 0% , 0.1% , 0.3% , 0.6% 时的压力分布沿程变化关系曲线。

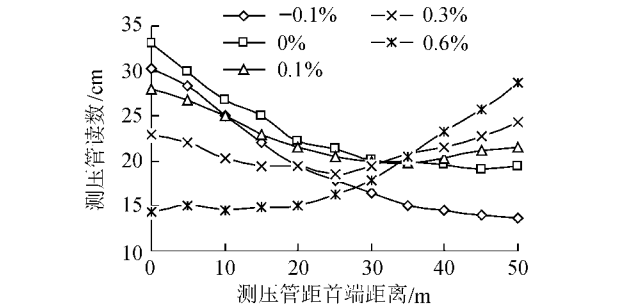


图 2 不同坡度时多孔管沿程压力分布曲线

由图 2 可知,平坡时,多孔管压力分布沿程降低,是由于沿程有水头损失导致的。顺坡时,当坡度很小时(0.1%)压力分布沿程降低;当坡度大于一定值时(此次试验大于或等于 0.3%),压力分布沿程升高,这是因为坡度使沿程压力逐渐增大,而水头损失使沿程压力逐渐减小,坡度达到一定值时,坡度对压力的影响大于水头损失对压力的影响,导致压力分布沿程升高。逆坡时,压力分布沿程降低,且逆坡越大,软管首端压力越大,末端压力越小,多孔管沿程压力分布就越不均匀。

2.2 压力水头对多孔管沿程压力分布的影响

为研究压力水头对多孔管沿程压力分布的影响,设其他参数均为定值,并尽量使其对压力分布的沿程变化影响最小,因此多孔管铺设坡度设为平坡。图 3 给出了平坡、孔距为 30 cm 条件下,压力水头分

别为 20 cm,30 cm,40 cm,50 cm 时的压力分布沿程变化关系曲线。

由图 3 可知,随着压力水头的增大,多孔管沿程压力均增大,压力分布沿程降低。即在其他参数不变的条件下,压力水头的变化对压力的沿程分布变化规律无明显影响。

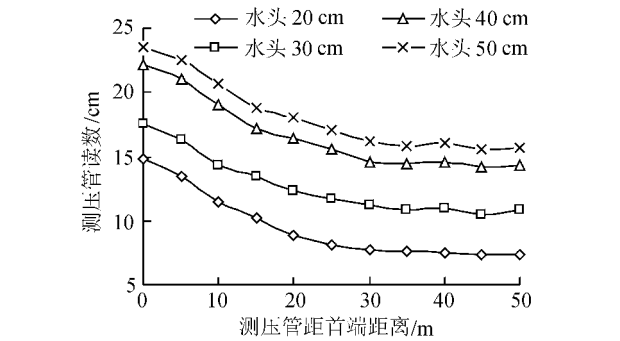


图 3 不同压力水头时多孔管沿程压力分布曲线

2.3 孔距对多孔管沿程压力分布的影响

图 4 给出了水头 50 cm、坡度 0.1% 、管径 0.035 m 条件下,孔距分别为 30 cm,60 cm,120 cm,240 cm 时的压力分布沿程变化关系曲线。由图 4 可知,多孔管的其他参数为定值时,孔距越大,多孔管沿程压力就越大,这是因为在其他参数不变的条件下,孔距增大,开孔率减小,导致多孔管内压力升高,且孔距越大,沿程压力分布就越均匀。

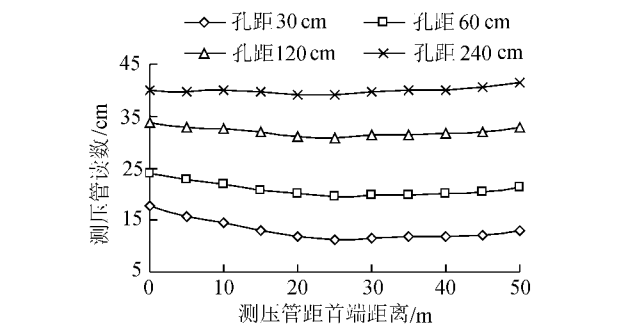


图 4 不同孔距时多孔管沿程压力分布曲线

2.4 管长对多孔管沿程压力分布的影响

为研究管长对多孔管压力分布沿程变化的影响,设其他参数均为定值,只改变管长,测其沿程压力分布。图 5 给出了水头 40 cm、坡度 0.1% 、孔距 30 cm、管径 0.035 m 条件下,管长分别为 50 m,40 m,30 m,20 m,10 m,5 m 时的压力分布沿程变化关系曲线。用无量纲量来表示,测压管距首端距离与管长之比为横坐标 x/L ,测压管水头与压力水头之比为纵坐标 h/H 。

由图 5 可知,多孔管越短,其沿程压力越大,当管长减小到一定值时,多孔管的沿程压力升至很高。这是因为当其他参数不变时,进口压力水头不变,但管长变小,出水孔减少,出水量急剧减小,而管道进

口压力水头不变,压力急剧升高,且多孔管越短,其压力分布沿程越均匀。

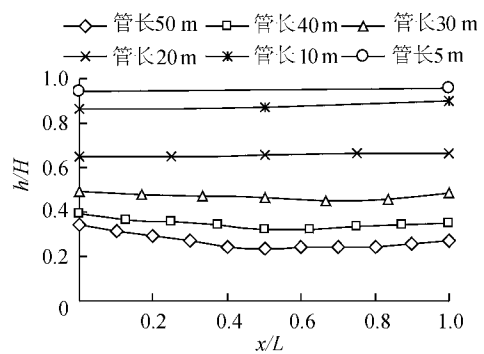


图5 不同管长时多孔管沿程压力分布曲线

3 压力分布特性的理论分析

多孔管可以看成是均匀出流管道,那么要研究多孔管的压力分布就可以按照均匀出流管道的压力分布来研究。如果忽略沿程分流的局部水头损失,则将沿程均匀出流管道的进口压力水头减去管道从进口到任一断面之间的沿程水头损失,就是该断面处的压力水头。因此,要确定沿程均匀出流管道的压力分布,只要确定沿程水头损失的分布就可以了^[5]。

$$H_x = H_0 - h_{fx} \quad (1)$$

式中: H_0 为管道进口处水头,cm; x 为任一断面距管口的距离,m; h_{fx} 为距管道进口 x 处的沿程水头损失。

如果沿程均匀出流管道存在均匀坡度,则需要考虑坡度对总水头线的影响。因为有了坡度,管道在不同位置上的位置水头就不同,显然,下坡管道由于位置水头使管道末端压力水头增加,上坡管道与此相反,压力水头随管长而减小。因此,距管道进口 x 处的压力水头为^[6]

$$\text{下坡管道 } H_x = H_0 - h_{fx} + ix \quad (2)$$

$$\text{上坡管道 } H_x = H_0 - h_{fx} - ix \quad (3)$$

式中: H_0 为管道进口端的总水头; i 为管道铺设坡度。

如果假定沿程连续且均匀出流,以管道进口为坐标原点,则距沿程均匀出流管道进口 x 处的管道流量为^[6]

$$Q_x = q \left(n - \frac{x}{l} \right) \quad (4)$$

式中: l 为孔口间距,m; $L = nl$,其中 n 为孔口数; q 为每个出水孔的孔口流量,L/h。

计算沿程阻力系数的公式大多为隐函数关系,需要进行试算。如果管道水流属于紊流光滑区,可以用布拉修斯公式导出直接计算沿程水头损失的公

式。管道水头损失的计算,可以采用公式(5)计算^[5],即

$$J = \frac{h_f}{l} = \frac{2.62 \times 10^{-5} v^{0.25} Q^{1.75}}{d^{4.75}} \quad (5)$$

式中: J 为单位管长的水头损失,即管道的水力坡度; h_f 为沿程水头损失,m; v 为水的运动黏滞系数,cm²/s,根据水温定; Q 为管道进口流量,L/h; d 为管道计算内径,cm。

根据沿程水头损失计算公式,距管道进口 x 处任一断面的水头损失为

$$h_{fx} = SxQ_x^m \quad (6)$$

式中: S 为管道的比阻率或比阻抗,其值取决于管道的计算内径和沿程阻力系数; m 为流量指数。

根据式(6),一微小管段 dx 上的沿程水头损失为

$$dh_{fx} = S Q_x^m dx = S q^m \left(n - \frac{x}{l} \right)^m dx$$

积分,得

$$h_{fx} = \int_0^x dh_{fx} = \int_0^x S q^m \left(n - \frac{x}{l} \right)^m dx = \frac{S q^m l}{m+1} \left[n^{m+1} - \left(n - \frac{x}{l} \right)^{m+1} \right] \quad (7)$$

在沿程均匀出流管中,根据基本假定,只要管径沿程不变,在计算公式确定后 S 和 m 不随流量变化, n, l 在已知管道的情况下不变,并有 $L = nl, Q = nq$,如果采用达西-威斯巴赫公式($m = 1.75$),则式(7)可变为^[5]

$$h_{fx} = \frac{S q^{1.75}}{2.75 l^{1.75}} [L^{2.75} - (L - x)^{2.75}] \quad (8)$$

由理论分析得,当其他参数为定值时,多孔管沿程压力随进口压力水头增大而增大,随孔距的增大,沿程水头损失减小,沿程压力增大;平坡时,多孔管压力分布沿程降低;顺坡且当坡度很小时,压力分布沿程降低,当坡度大于一定值时,压力分布沿程升高;逆坡时,压力分布沿程降低。由式(8)及式(1)~(3)可分别求出平坡、顺坡、逆坡时多孔管任一断面的压力,即可揭示多孔管压力分布沿程变化规律,其分析结果与试验分析结论基本一致。

4 试验验证

在推导或建立上述相应的计算公式时,曾假设软管中水流沿程连续且为均匀出流,但在实际试验时,软管中水流不可能出现沿程连续且为均匀出流的情况。软管沿程水头损失的计算都是以能量方程为依据的。因此,当流量偏差率较大时,计算结果与试验结果对比的偏离程度就大,在推导或建立上述相应的计算公式时计算结果与试验(下转第88页)

站设计,2007,23(1):1-4.

[10] 陈先明,肖焕雄.施工导流系统随机优化设计[J].水电站设计,2001,17(1):5-8.

[11] 唐晓阳.不过水围堰隧洞导流方案洞径及围堰高度的多目标择优[J].水力发电,1994,20(8):36-40.

[12] 郭军,董兴林,高季章.导流洞改建为泄洪洞的几种形式及其应用[C]//刘树坤,陈刚,周教德.中国水利学会水力学专委会 2002 年年会论文集.西安:西安工业大学出版社,2002:39-43.

[13] 郑林平,李岳军.水工隧洞内消能工的研究及应用进展[J].水力发电,2006,32(9):81-83.

[14] 孙双科,刘之平,周胜,等.小湾水电站大型导流洞改建泄洪洞研究[J].水力发电,2001,27(1):26-31.

[15] 牛争鸣,洪镛,谢小平,等.导流洞改建为旋流式内消能泄洪洞的研究和实践—以公伯峡水电站为例[J].水利水电科技进展,2007,27(1):36-41.

[16] 董兴林,高季章,鲁慎吾,等.导流洞改建为漩涡式竖井溢洪道综合研究[J].水力发电,1995,21(3):32-37.

[17] 孙双科,刘之平,周胜.下游高水位条件下导流洞改建为旋流竖井式泄洪洞的水力学问题研究[J].水利学报,2000(10):22-27.

[18] 陈超敏,詹金环,汪小茂,等.清江水布垭工程导流洞设计[J].人民长江,2001,32(10):16-17.

[19] 陈云良.进口口前立轴旋涡水力特性研究[D].成都:四川大学,2006.

[20] 戴光清,杨庆,王海云,等.溪洛渡水电站施工导流整体水力模型试验报告[R].成都:四川大学水力学国家重点实验室,2001.

[21] 刘善均,许唯临,曲景学,等.导流洞出口集中布置的优化研究[J].四川大学学报:工程科学版,2003,35(2):18-21.

[22] 刘善均,许唯临,邓军,等.大渡河瀑布沟水电站施工导流水工模型试验研究[R].成都:四川大学水力学国家重点实验室,2002.

(收稿日期:2008-09-10 编辑:高建群)

(上接第 15 页)结果就存在偏差^[7]。所以上述计算公式是否正确还需要试验来验证。

现根据试验条件,取 $d=0.035\text{ m}$, $L=50\text{ m}$, $l=0.3\text{ m}$, $i=0.1\%$, 水头为 50 cm 。测压管读数时,水头损失的理论值计算结果与试验值的比较见表 1。其中, $q=4.33\text{ L/h}$, $T=20^\circ$ 。

表 1 水头损失的实测值与计算值对比

x/m	h_{fx}/cm		x/m	h_{fx}/cm	
	实测值	计算值		实测值	计算值
5	23.3	23.6	30	30.0	27.8
10	25.0	24.9	35	30.2	28.1
15	27.0	25.9	40	29.7	28.2
20	28.4	26.8	45	28.8	28.3
25	29.5	27.4	50	28.5	28.3

由表 1 可知计算结果与试验实测结果基本上是吻合的。考虑到试验有一定的误差,以及计算理论值公式的建立是在沿程连续且为均匀出流的情况下推导出来的,这说明计算公式在与试验条件类似或基本一致的条件下是可以用于实际计算的。

5 结 论

多孔管微灌技术在干旱地区对解决农业灌溉缺水有着很大的成效,笔者主要研究了多孔管的压力分布沿程变化规律,分别研究了坡度、压力水头、孔距及管长对多孔管压力分布沿程变化的影响。利用水头损失公式导出了任一断面上在不同坡度情况下压力的计算公式,理论上分析了多孔管的压力分布沿程变化规律,并通过试验进行了验证,从计算结果与试验实测结果的对比看,二者基本相符,这说明计算公式在与试验条件类似或基本一致的条件下是可

以用于实际计算的,为多孔管微灌技术在干旱灌溉农业区的发展提供了依据。

参考文献:

[1] 水利部农村水利司.节水灌溉技术标准选编[M].北京:中国水利水电出版社,1999:115-155.

[2] 王峻晔,章明川,吴东棣.流体在多孔管分支系统中的流动机理研究[J].水动力学研究与进展:A 辑,1999,14(1):34-44.

[3] DAVIS M R, FUNGTAMASAN B. Two-phase flow through pipe branch junctions [J]. Int of Multiphase Flow, 1990, 16(5):799-817.

[4] KELLER J, KARMELI D. Trickle irrigation design parameters [J]. Trans of the ASCE, 1974, 12(3):651-663.

[5] 吕宏兴,裴国霞,杨玲霞.水力学[M].北京:中国农业出版社,2002:148-151.

[6] 吴持恭.水力学[M].北京:人民教育出版社,1991:60-68.

[7] 刘焕芳,孙海燕,苏萍,等.自压软管沿程压力水头分布研究[J].水利水电科技进展,2006,26(1):10-12.

(收稿日期:2008-10-27 编辑:方宇彤)

