

DOI:10.3880/j.issn.1006-7647.2008.02.002

明渠水沙条件对渗渠产水量影响分析

刘焕芳¹ 程 琨² 吕宏兴³ 刘持峰⁴ 郑铁刚⁴

(1. 石河子大学水利建筑工程学院 新疆 石河子 832003; 2. 安徽省水利水电勘测设计院 安徽 合肥 230022; 3. 西北农林科技大学水利建筑工程学院 陕西 杨凌 712100; 4. 新疆生产建设兵团绿洲生态农业重点实验室 新疆 石河子 832003)

摘要 :针对渗渠取水过程中明渠水沙条件对渗渠产水量的影响,结合模型试验,运用泥沙运动力学理论研究分析了同种来水量、不同水深条件下明渠水流泥沙运动变化,以及由此引起渗渠产水量变化的情况。试验结果表明,水流能保持一定的流速,满足明渠水流含沙颗粒推移运动并实现泥沙颗粒向下游输送的条件,就可以避免渗渠反滤层结构的改变以及渗透系数的减小,从根本上防止反滤层淤塞,避免反滤层翻修,实现渗渠工程的长期安全正常运行。

关键词 :渗渠;水沙条件;渗透系数;产水量

中图分类号 :TU991.5276.7+4 文献标识码 :A 文章编号 :1006-7647(2008)02-0004-04

Influence of water and sand condition on water yield of open channel//LIU Huan-fang¹, CHENG Kun², LÜ Hong-xing³, LIU Chi-feng⁴, ZHENG Tie-gang⁴ (1. College of Hydraulic and Construction Engineering, Shihezi University, Shihezi 832003, China; 2. Anhui Survey and Design Institute of Water Conservancy and Hydropower, Hefei 230022, China; 3. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China; 4. Key Laboratory of Oasis Ecology Agriculture of Xinjiang Production and Construction Corporation, Shihezi 832003, China)

Abstract : The variation of water yield of a seepage channel caused by changes of open channel flow and sediment movement at different depths under uniform discharge was analyzed based on the sediment movement theory and model test. The results show that holding the flow velocity at a certain value, which satisfies the transport condition for sediment moving towards lower reaches, can effectively reduce or even preclude the variation of the structure of the inverted filter and the decrease of the permeability coefficient. Thus, it can prevent the inverted filter from silting-up or overhauling and the seepage channel can realize long-term safety operation.

Key words : seepage channel; water and sand condition; permeability coefficient; water yield

1 问题的提出

取水构筑物的形式需要适应一个地区的水文地质条件,使本来对取水不利的水文地质条件向有利的方面转化。目前,节水工程和人畜供水工程水源多为地下水,但从水资源利用的发展趋势来看,利用取水构筑物集取地表河渠水以及岸边地下浅含水的方法将越来越受到社会的欢迎^[1]。

近年来,随着我国工业和市政建设的迅速发展,渗渠取水越来越多地在给水工程中得到应用,成为城市和工业建设的一项重要工程^[2-5]。其方法是将在渗渠取水装置固定在河床或河漫滩下一定深度处,利用其上部天然滤床或在其上部做人工反滤层,用自身水头对天然河水进行渗透处理^[6],集取河流垂直渗透水,实现了净水与排沙同步运行,清浑分开。

这是一种非全流过滤,为解决过滤器堵塞问题开辟了一条崭新的途径,在大面积节水灌溉中具有较大的推广价值。

设计渗渠一般都是以提高它的出水量为前提,但必须考虑到随着渗渠运行时间的延长其出水量会不断衰减这一动态因素。由于渗渠产水量的减少直接关系到人们的生产和生活,河水混浊时,在反滤层不受冲刷的情况下关于河床冲淤变化对渗渠产水量影响的研究工作进行得很少,大都只有定性分析。本研究通过渗渠取水工程室内试验,运用泥沙运动力学理论研究分析了河床床面冲淤变化对渗渠产水量的影响,以期对渗渠工程设计提供技术支持。

2 试验装置及方法

试验在 11 m 长、1.0 m 宽、1.5 m 高的水槽中进

基金项目:新疆生产建设兵团绿洲生态农业重点实验室开放课题发展基金(200506)

作者简介: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:liuhuanfang@tom.com

行(见图1)水槽边壁为细石混凝土抹面,在中部自底层有0.9m高不透水隔墙将水槽分为前后2段,前段底层有40cm厚不透水层。本项研究共进行了清水、浑水2组试验,在水槽内布置2条完整式渗渠,直径分别为200mm和160mm,其上铺设3层共700mm厚的人工反滤层,自下而上分别为300mm厚、直径20~40mm的卵石,200mm厚、直径10~20mm的砾石,200mm厚、直径1~5mm的粗砂。

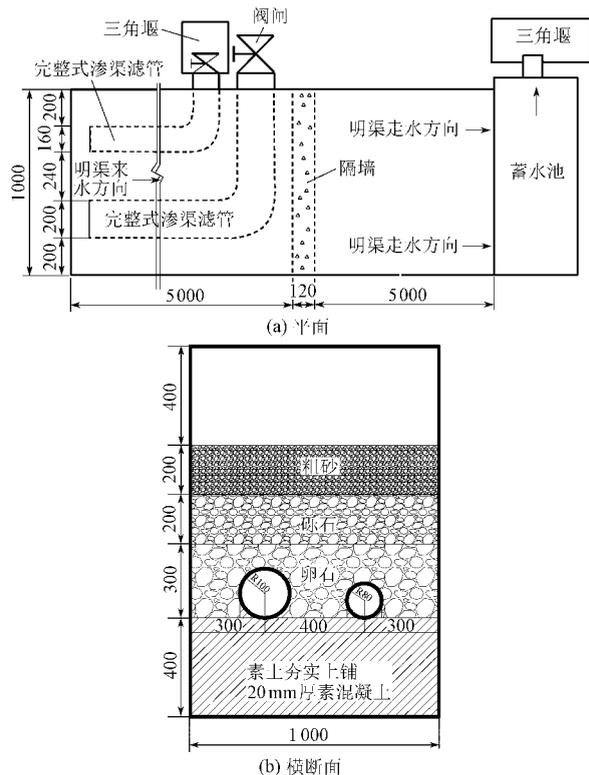


图1 试验装置示意图(单位:mm)

试验采用离心式水泵向渗渠模型中供水,用矩形量水堰量测来水流量,用三角形量水堰量测渗渠取水量。当连接测压管的渗渠滤管中液面与明渠自由水面等高时说明渗透稳定,此时分别单独开启渗渠滤水管阀门,每隔一定的时间用量水堰量测其取水量,直到渗渠取水量不再发生变化(即取水达到稳定)时,关闭该渗渠阀门,打开另一渗渠滤管阀门进行下一组试验。

3 渗渠产水量计算

渗渠出水量主要受渗渠长度、渗管直径、河床含水层厚度、河水深度以及河床渗管以上反滤层、河床淤积情况的影响,因此,设计出水量时应充分考虑渗渠使用长久后由于河床淤积而可能引起的出水量逐年衰减的因素。现阶段渗渠产水量的计算公式很多,并且多为国外公式。集取河床潜流水完整式渗渠产水量常用的计算公式^[7]如下:

$$Q = \alpha L k q_r \quad (1)$$

其中

$$q_r = \frac{H-h}{A}$$

$$A = 0.73 \lg \cot \left(\frac{\pi D}{8 T} \right)$$

式中: Q 为渗渠产水量, m^3/d ; α 为淤塞系数,一般河水不浑浊时采用0.8,中等浑浊时采用0.6,浑浊时采用0.3; L 为渗渠长度, m ; k 为渗透系数, m/d ; H 为地表水头, m ; h 为渗渠滤管内水面水头, m ; D 为渗渠宽度或直径, m ; T 为含水层厚度, m 。

由式(1)可见,在其他条件一定的情况下,同一条渗渠的上部水头($H-h$)越高其产水量(Q)就越大(见图2)。当明渠水流为清水时,遵循上述理论;同种条件下明渠水流为浑水时,渗渠的产水量则不能够完全用上述公式解决。

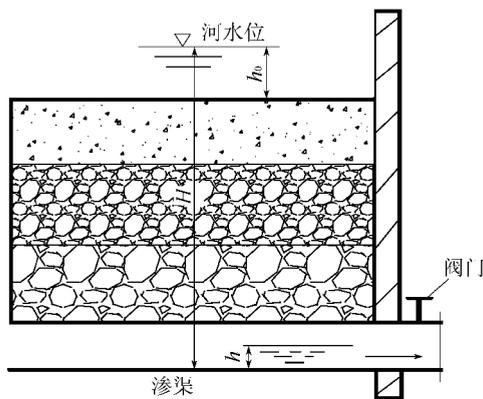


图2 渗渠示意图

4 渗渠产水量试验

在水槽内分别进行了清水、浑水试验,来水流量都是一定的,通过尾门调节水深。图3中2条曲线是明渠同种来水流量、不同水深下,由于($H-h$)的变化导致渗渠产水量 Q 变化的清水、浑水试验结果。

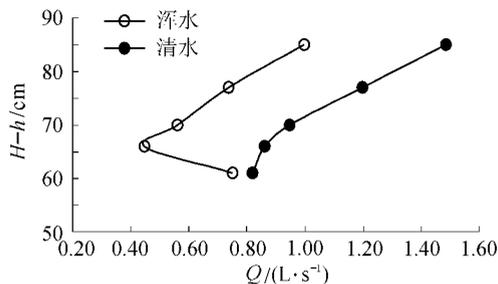


图3 渗渠水深-取水量关系

试验时来水流量一定,通过调节明渠尾门改变明渠水深,水深由深而浅。由图3可见,来水为清水的情况下,渗渠出水量总体趋势是随着明渠水深的降低其($H-h$)在不断降低,产水量也在不断减小,说明渗渠产水量 Q 与渗渠上部明渠有效水头($H-h$)成正相关关系,这与公式(1)是一致的。

来水为浑水的情况下,在渗渠有效水头($H-h$)

由深而浅即明渠水流由深而浅的过程中,渗渠产水量在不断降低($H-h$)为85 cm时渗渠单位产水量为1.0 L/s;调节尾门降低水深,渗渠产水量逐渐减少,当($H-h$)降低为65 cm时渗渠单位产水量降低到0.45 L/s;当($H-h$)降低到60 cm时,发现渗渠产水量突然增大,为0.75 L/s。这与式(1)是矛盾的。这是由于明渠来水流量一定时,水深越浅其水流流速越大,会使得河床(反滤层)上落淤的细小泥沙颗粒起动或悬浮并随水冲走,细小颗粒的减少和流失改变了渗渠反滤层的孔隙结构,导致其渗透系数 k 值增大,从而提高了渗渠的产水能力,所以其产水量突然增大。这一现象说明浑水试验时渗渠有效水头($H-h$)和河床床面冲淤变化都会对渗渠产水量产生影响。

上述泥沙颗粒在明渠水流中的运动可用泥沙运动力学的知识来进行分析,为渗渠工程选择合理的河段、确保渗渠产水量提供理论依据。

5 水沙条件对渗渠产水量的影响

5.1 泥沙起动流速计算

河床上的泥沙一方面具有对运动的抗阻性,另一方面受水流作用又具有可动性。因此,在一种水流条件下它会保持静止状态,在另一种水流条件下它会随水流运动。泥沙由静止状态变为运动状态的临界水流条件称为泥沙的起动条件^[8]。

采用张瑞瑾^[8]的研究成果计算沙粒起动流速,公式为

$$U_c = \left(\frac{h_0}{d}\right)^{0.14} \left(17.6 \frac{\rho_s - \rho}{\rho} d + 0.000000605 \frac{10+h}{d^{0.72}}\right)^{1/2} \quad (2)$$

式中: U_c 为泥沙起动流速,m/s; ρ_s 为泥沙密度, kg/m^3 ; ρ 为清水密度, kg/m^3 ; g 为重力加速度, m/s^2 ; h_0 为明渠水深,m; d 为泥沙粒径,mm。

本次试验配制浑水的含沙量为10.6 g/L,泥沙颗粒级配曲线如图4所示。

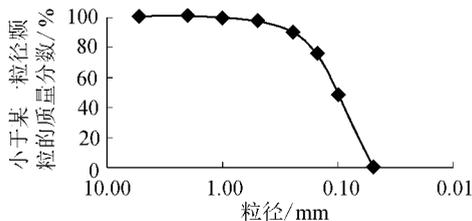


图4 明渠水流含沙颗粒级配曲线

取泥沙粒径 $d=0.1\text{ mm}$ 及其相应处水深代入式(2)即可求得该粒径泥沙的起动流速。经计算得该粒径泥沙不同水深下的起动流速 U_c 列于表1。

表1 明渠不同水深下泥沙起动流速和止动流速 m/s

h_0/m	U_c	U'_c	h_0/m	U_c	U'_c
0.10	0.228	0.190	0.30	0.268	0.223
0.15	0.242	0.202	0.35	0.274	0.228
0.20	0.252	0.210	0.40	0.280	0.233
0.25	0.261	0.218	0.50	0.290	0.240

泥沙由运动到静止的临界状态系指泥沙的止动流速,水流流速小于该流速时泥沙将会沉落。不少学者提出计算止动流速的公式,一般按式(3)计算^[9]:

$$U'_c = 0.83 U_c \quad (3)$$

式中: U'_c 为泥沙止动流速。

根据不同水深下的起动流速 U_c 可计算出相应的泥沙颗粒止动流速 U'_c (见表1)。

5.2 明渠水流流速计算

明渠水流流速对河床床面冲淤变化的影响很大^[10]。来水量一定时,不同水深会产生不同流速,明渠水流流速一般按公式(4)进行计算:

$$v = \frac{Q_0}{Bh_0} \quad (4)$$

式中: v 为明渠水流流速,m/s; Q_0 为来水流量, m^3/s ; B 为明渠宽度,m; h_0 为明渠水流深度,m。

试验时来水流量为 $0.035\text{ m}^3/\text{s}$, $B=1.0\text{ m}$,用式(4)计算得不同水深下的水流流速见表2。

表2 明渠不同水深下水流流速 m/s

h_0/m	v	h_0/m	v	h_0/m	v
0.10	0.35	0.25	0.14	0.40	0.09
0.15	0.23	0.30	0.12	0.45	0.08
0.20	0.18	0.35	0.10	0.50	0.07

由上述分析可知,来水流量一定、明渠水深为10 cm时水流流速为0.35 m/s,能够实现浑水泥沙颗粒的推移运动。为了保证渗渠工程的安全运行,渗渠要满足反滤层颗粒不起动、滤层不冲刷的条件。运用泥沙运动力学知识计算明渠水深为10 cm、水流流速为0.35 m/s时,明渠水流和渗渠反滤层的水沙关系。渗渠反滤层表层颗粒级配曲线见图5。

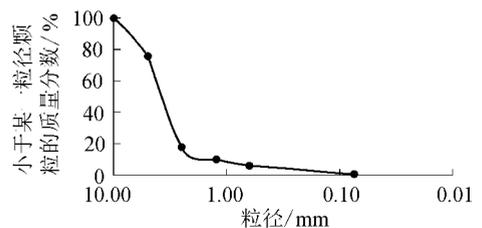


图5 表层滤料颗粒累计曲线

取泥沙粒径 $d=3.7\text{ mm}$ 及其水深代入式(2)即可求得该粒径泥沙的起动流速。经计算得该粒径泥沙在不同水深下的起动流速 U_c 和止动流速 U'_c 列于表3。

表3 渗渠不同水深下滤层颗粒的起动流速和止动流速 m/s

h_0/m	U_c	U_c'	h_0/m	U_c	U_c'
0.10	0.52	0.43	0.35	0.62	0.52
0.15	0.55	0.46	0.40	0.63	0.52
0.20	0.57	0.48	0.45	0.64	0.53
0.25	0.59	0.49	0.50	0.65	0.54
0.30	0.61	0.50			

由表2、表3的计算结果可见,同种水深下明渠水流流速均小于渗渠反滤层颗粒的起动流速和止动流速,说明渗渠反滤层颗粒不会起动,表层反滤层不冲刷,能够实现渗渠的安全运行。

由表1、表2的计算结果可见,在明渠水流深度为10cm(即渗渠有效取水水头 $H-h=60$ cm)时,明渠水流流速为0.35m/s,大于同种水深下浑水的泥沙起动流速(0.228m/s)表现为淤积在河床上的细颗粒泥沙被水流冲向下游,粗化了渗渠反滤层,河床渗透系数增大,渗渠产水量增大;而在明渠水深为35cm(即渗渠有效取水水头 $H-h=85$ cm)时,明渠水流流速为0.10m/s,小于同种水深下的泥沙止动流速(0.288m/s)表现为泥沙淤积在河床上,细化了渗渠反滤层,使河床渗透系数减小,渗渠产水量随之降低。

由此可见,渗渠上部明渠水流流速决定了明渠水流中泥沙是沉积在渗渠反滤层表面还是随水流向下游,直接影响渗渠反滤层结构,改变渗渠反滤层渗透系数,导致渗渠取水量的变化。

5.3 渗透系数推算

影响渗渠产水量的因素包括上部明渠来水流量及水深、明渠水流流速与所含泥沙起动流速之间的关系、明渠水流浑浊度、渗渠滤管长度及直径、反滤层(含水层)渗透系数等,其中反滤层(含水层)渗透系数是影响渗渠产水量大小的重要因素,而明渠水流流速与所含泥沙起动流速之间的关系对反滤层(含水层)渗透系数具有一定的影响。

由式(1)可得渗渠反滤层渗透系数计算式:

$$k = \frac{QA}{\alpha L(H-h)} \quad (5)$$

式中各符号意义同式(1)。

将浑水试验中水深 h_0 为10cm和15cm时测得的数据列入表4,并将试验数据代入式(5),可算出水深 h_0 为10cm和15cm时的渗透系数,见表4。

表4 水深为10cm和15cm时反滤层渗透系数

编号	h_0/cm	α	L/m	d/m	T/m	$H-h/m$	$Q/(m^3 \cdot s^{-1})$	$k/(m \cdot d^{-1})$
1	10	0.6	4	0.2	0.7	0.60	0.00075	89.00
2	15	0.6	4	0.2	0.7	0.65	0.00045	49.27

由表4推算的明渠同种来水流量下不同流速的渗渠反滤层渗透系数可见,水深 h_0 为10cm时反滤层

的渗透系数比水深为15cm时的大。由式(1)可知,同种条件下,反滤层的渗透系数越大则渗渠的产水量也越大,渗透系数的大小决定了渗渠产水量的大小。在来水量一定的情况下,明渠水流流速决定了河床冲淤变化,河床冲淤变化直接影响渗渠反滤层结构,改变其渗透系数,对渗渠产水量产生很大影响。

6 结 语

渗渠上部明渠水深越大,渗渠取水的有效水头($H-h$)就越大,则渗渠的取水量就越大;反之,就越小。渗渠产水量 Q 与渗渠上部明渠有效水头($H-h$)成正相关关系。因此,保持渗渠上部明渠水流有一定的深度,即维持渗渠具有一定的有效水头($H-h$),能够保证渗渠产水量。但为了追求大的水流深度,而选择深河谷的河段是不可取的,那样会增加渗渠的施工费用,造成浪费。可通过调整渗渠反滤层来实现增大取水量的目的。

上述浑水试验可以充分说明在明渠水流中即使含有泥沙,若水流能保持一定的流速,满足明渠水流含沙颗粒推移运动或悬移运动,实现泥沙颗粒向下游输送的条件,就可以避免渗渠反滤层结构的改变以及渗透系数的减小,从根本上避免反滤层淤塞,避免反滤层的翻修,实现渗渠工程的长期安全正常运行。因此,在渗渠设计时,选择合适的河段,既充分满足渗渠的补给,又要使河段有一定水力条件,实现河段的自清,是一项成功设计必不可少的。

参考文献:

- [1] 李晓, 杨立中. 利用天然河床渗渠取水的新技术[J]. 中国给水排水, 2003, 19(6): 74-76.
- [2] 吴正淮. 渗渠取水[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1981.
- [3] 王允麒, 谭浩, 孙海英, 等. 关于渗渠取水设计的几个问题[J]. 给水排水, 1997, 23(10): 11-14.
- [4] 南忠, 王佐. 浅谈供水工程渗渠的设计问题[J]. 大同高专学报, 1998, 12(4): 108-110.
- [5] 邓方霞. 渗渠取水的建议与计算[J]. 甘肃水利水电技术, 2002, 38(1): 36-38.
- [6] 程琨, 刘焕芳, 周银军. 砂石反滤层设计方法的探讨[J]. 石河子大学学报, 2006, 24(2): 241-244.
- [7] 阿拉文 В И, 努米罗夫 С Н. 水工建筑物的渗透计算[M]. 伍修焘, 李协生, 译. 北京: 中国工业出版社, 1959: 106-107.
- [8] 武汉水利电力学院. 河流泥沙工程学[M]. 北京: 水利出版社, 1981.
- [9] 武汉水利电力学院水流挟沙力研究组. 长江中下游水流挟沙力研究[J]. 泥沙研究, 1959, 4(2): 54-73.
- [10] 余明辉, 段文忠, 刘智, 等. 长江中下游洪水水位与河床冲淤关系初探[J]. 水利水电科技进展, 2005, 25(3): 18-21.

(收稿日期: 2007-04-18 编辑: 高建群)