

新疆某引水工程渗管反滤料渗透特性试验研究

何建新^{1,3}, 刘录录², 吴斌³, 李亚运³

(1. 新疆农业大学 水利与土木工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052;

2. 新疆水利水电勘测设计研究院 地质勘察研究所, 新疆 乌鲁木齐 830000;

3. 新疆兴农建筑材料检测有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要: 采用自行设计的渗管反滤料渗透试验装置对新疆某引水工程反滤料进行渗透试验, 研究在清水与浑水两种工况下四层滤料及河床料综合作用下的渗透特性。结果表明: 清水试验反滤料渗水效果良好; 浑水试验中反滤料渗透系数随着落淤厚度的增加而减小, 渗管出水效果不明显, 分析了影响反滤料“滤土”和“排水”作用的原因, 为设计者提出合理的建议。

关键词: 反滤料; 渗透特性; 清水试验; 浑水试验; 落淤厚度

中图分类号: TU411.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2014)01-0109-03

Experiment on penetration characteristics of filter material in infiltration pipe of a water diversion project of Xinjiang

HE Jianxin^{1,3}, LIU Lulu², WU Bin³, LI Yayun³

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2. Geological Exploration Institute, Xinjiang Water Conservancy and Hydropower Survey and Design Academy,

Urumqi 830000, China; 3. Xingnong Building Materials Testing Co., Ltd of Xinjiang, Urumqi 830052, China)

Abstract: The test device of infiltration pipe anti-filter penetration of self design was used to carry out anti filter penetration test for a water diversion project in Xinjiang so as to study the permeability characteristics in two conditions of clean water and muddy water under the comprehensive role of four filter and riverbed material. The results show that the anti-filter water seepage of clean water test has good effect; the permeability coefficient of filter material of muddy water test is reduced with the increase of falling slurry thickness. The effect of effluent water of infiltration pipe is not obvious. The paper analyzed the cause of impacting the role of filter soil and drain of anti-filter material, which can put forward reasonable proposals for designers.

Key words: filter material; permeability characteristics; clean water test; muddy water test; silting thickness

渗管取水在给水处理工程中的广泛应用, 成为城市和工业用水的一项重要工程^[1]。它是将渗管埋设在河床或河漫滩下一定深度处, 渗管上部做人工反滤层, 对天然河水进行渗滤处理, 获取河流垂直渗透水量。反滤层是渗管取水工程中最重要的一部分, 滤料透水性大小直接影响渗管的取水能力, 滤土作用能保证渗管的取水质量, 渗透稳定性能决定了渗管的使用年限^[2-3]。新疆某引水工程采用在河床下渗管取水的方法来补给城市供水, 渗管反滤料作用尤为重要, 为充分发挥滤料的“滤土”和“排水”作用^[4], 需要对该工程设计的反滤料及天然河床进行

粗粒土综合渗透试验, 研究反滤料渗透特性^[5], 验证渗管取水方案是否满足设计要求, 为设计者提供建议。

1 试验装置与材料

1.1 试验装置

在引水工程中渗管取水反滤层设计主要考虑层数和层厚两方面内容, 层数根据渗管取水的质量要求来确定, 层厚应根据反滤料的级配、粒径、料源、用途等因素综合考虑确定。设计资料中渗管取水工程中共设置五层反滤, 细料在上, 粗料在下, 表层为天

收稿日期: 2013-05-30; 修回日期: 2013-06-28

基金项目: 新疆水利水电工程重点学科基金项目(XJZDXK20091206)

作者简介: 何建新(1973-), 男, 河南扶沟人, 硕士, 副教授, 从事岩土工程教学与科研工作。

然河床料,是对河床渗透水的初级过滤,其余反滤料厚度均为 500 mm。为测定反滤层渗透系数和便于观测试验过程中水流渗透过程以及在浑水状态下反滤层对泥沙的过滤过程,结合设计资料,制作了渗透试验装置,试验装置见图 1。整个装置用有机玻璃板制成,长 400 mm,宽 400 mm,高 1 200 mm。根据模型装置的高度将试验反滤料铺料厚度按实际值的 1: 2.5 的比例进行模型试验,铺料顺序从下往上,第一层滤料粒径为 40 ~ 80 mm,第二层滤料粒径为 20 ~ 40 mm,第三层滤料粒径为 5 ~ 20 mm,第四层滤料粒径为 5 mm 以下,表层为天然河床料,各层滤料层面间设有测压管,滤管埋在第一层下部,渗流方向由上往下,装置装满滤料后渗透面积为 1 600 mm²,各层滤料的渗径均为 200 mm。

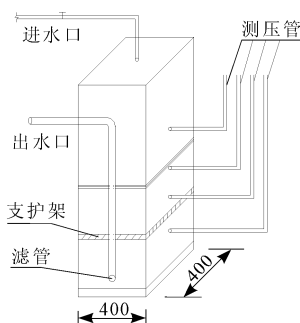


图1 渗透试验装置示意图

1.2 材料

根据滤料设计要求及分布规律,为增加实验材料的代表性,在工程区附近取三组河床料,按《土工试验规程》SL237 - 006 - 1999 方法进行了颗分试验^[6],颗分曲线见图 2。河床料不均匀系数 $C_u = 39.2$, 曲率系数 $C_c = 2.5$, 级配良好, 泥土含量 0.4%。从颗分曲线可以看出,大于 60 mm 粒组含量为 9.4%, 60 ~ 2 mm 粒组含量为 70.0%, 2 ~ 0.075 mm 粒组含量为 20.2%, 小于 0.075 mm 粒组含量为 0.4%, 属于级配良好砾。

2 试验方案及现象

2.1 试验方案

渗管反滤料取水试验共设计清水和浑水两种工况下的渗透试验,清水为普通自来水,浑水是依据工程区河流多年洪水悬移质资料配制而成。从试验装置上方注入水流,充分饱和滤料,待渗管出水稳定后开始记录进出口水头、测压管水头和渗管出水量。根据达西公式计算各滤料的渗透系数,研究反滤料的渗透特性,分析渗管取水的合理性。

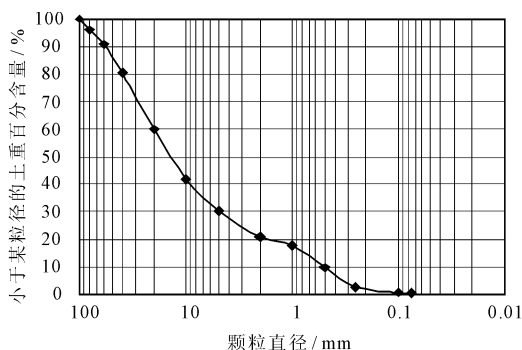


图2 河床料颗分曲线

2.2 试验现象

从两种试验中观察到不同的试验现象,清水试验中渗管出水为清水,滤料未发生明显变化,5次试验后测压管水头和出水量稍有减小,但不明显;浑水试验中渗管出水稍有浑浊,经过一段时间后发现在反滤料表面形成了一层非常薄的“泥膜”,泥膜厚度随时间的增加越来越厚,并且通过试验装置可以看到一部分泥土已被水流带入到滤料中,在此过程中测压管水头和渗流出水量均呈下降趋势。

3 试验结果与分析

3.1 清水试验

清水试验是从装置上方注入清水,充分饱和滤料,待出水后开始试验,共进行了 5 次试验,记录渗管出水口水头通过测量得到,要随时测量进口水头。在测量渗流出水量的同时还要记录连接各层反滤料的测压管水头,根据进出口水头、测压管水头和出水量计算各层滤料和综合滤料的渗透系数。滤料综合渗透系数根据成层土渗透系数计算公式:

$$k_y = \frac{H}{\frac{H_1}{k_1} + \frac{H_2}{k_2} + \cdots + \frac{H_n}{k_n}}$$

式中: k_y 为与层面垂直的土层平均渗透系数; H 为总滤料的水位差; $H_1, H_2, \dots, H_n$ 为各级滤料的水位差; $k_1, k_2, \dots, k_n$ 为各级滤料的渗透系数。

清水试验渗透系数见表 1。从表 1 中可以看出 5 次试验中,各层滤料的渗透系数也存在一定的变化规律,它随着滤料孔隙率的增大而增大,随着时间的增加而减小,原因是水在渗透作用下把表层河床料的细颗粒(1 mm 以下)逐渐带到了下层滤料中,出现了渗淤层堵塞了下层滤料中的孔隙,随着时间的延长,下层滤料中的孔隙越来越小,最终使各层滤料的渗透系数和综合滤料的渗透系数也在逐渐减小。

表 1 清水试验渗透系数表								s, cm ³ , cm/s
试验 次数	时间	出水量	河床料 渗透系数	1~5 mm 渗透系数	5~20 mm 渗透系数	20~40 mm 渗透系数	40~80 mm 渗透系数	滤料综合 渗透系数
1	180	679.5	6.94×10 ⁻²	2.95×10 ⁻¹	6.74×10 ⁻¹	7.86×10 ⁻¹	1.18	2.34×10 ⁻¹
2	120	937.3	5.81×10 ⁻²	2.71×10 ⁻¹	6.51×10 ⁻¹	7.51×10 ⁻¹	9.76×10 ⁻¹	2.02×10 ⁻¹
3	60	829.0	5.55×10 ⁻²	2.47×10 ⁻¹	6.40×10 ⁻¹	7.20×10 ⁻¹	8.22×10 ⁻¹	1.91×10 ⁻¹
4	180	3546.7	5.49×10 ⁻²	2.32×10 ⁻¹	6.32×10 ⁻¹	6.84×10 ⁻¹	7.95×10 ⁻¹	1.86×10 ⁻¹
5	120	2916.7	5.38×10 ⁻²	2.20×10 ⁻¹	6.20×10 ⁻¹	6.60×10 ⁻¹	7.23×10 ⁻¹	1.81×10 ⁻¹

在清水试验中持续注入的是清水,细颗粒只存在于表层河床料中,且泥土含量非常小,经过不同粒径的反滤料反滤,使得渗管出水仍为清水。

3.2 浑水试验

浑水试验与清水试验方法相似,不同的是试验时注入的是已配制好的浑水,配置依据工程区河流多年平均年份洪水期 6 月份洪水悬移质含量表,见

表 2。在浑水试验中发现渗流出水量和各层测压管水头很不稳定,呈下降趋势,与清水试验相比下降幅度更大,并且在滤料表层形成泥膜,为了研究泥膜的淤积厚度对渗管取水的影响,延长了试验时间和次数,经过 4 h 的连续试验,得到了在渗水为浑水工况下泥膜的淤积厚度与渗透系数变化关系,浑水试验中泥膜淤积厚度与渗透系数结果见表 3。

表 2 河流多年平均年份洪水期 6 月份洪水悬移质含量表(小于某粒径的沙重百分数)											mm, %
取样 日期	粒 径										中值 粒径
	0.005	0.01	0.02	0.05	0.1	0.25	0.5	1	2.5	5	
06-23	13.2	25.5	43.5	68.9	81.6	94.4	99.1	100			0.03
06-24	21.7	40.0	64.4	88.2	94.5	98.5	99.7	100			0.01
河床质	1.1	2.0	4.1	9.6	13.8	59.5	86.2	92.3	97	100	0.23

表 3 浑水试验泥膜淤积厚度与滤料渗透系数关系表								mm, cm/s
试验号	淤积厚度	河床料	1~5 mm 透系数	5~20 mm 渗透系数	20~40 mm 渗透系数	40~80 渗透系数		
1	0.0	5.8×10 ⁻²	2.5×10 ⁻¹	6.4×10 ⁻¹	7.2×10 ⁻¹	9.0×10 ⁻¹		
2	1.0	4.9×10 ⁻²	2.4×10 ⁻¹	6.3×10 ⁻¹	6.7×10 ⁻¹	8.6×10 ⁻¹		
3	2.5	2.2×10 ⁻²	2.3×10 ⁻¹	5.9×10 ⁻¹	6.3×10 ⁻¹	7.9×10 ⁻¹		
4	5.0	9.8×10 ⁻²	2.0×10 ⁻¹	5.0×10 ⁻¹	5.7×10 ⁻¹	6.5×10 ⁻¹		
5	10.0	4.4×10 ⁻²	1.9×10 ⁻¹	4.8×10 ⁻¹	5.5×10 ⁻¹	5.9×10 ⁻¹		
6	15.0	3.3×10 ⁻²	1.9×10 ⁻¹	4.6×10 ⁻¹	5.2×10 ⁻¹	5.5×10 ⁻¹		
7	20.0	1.9×10 ⁻²	1.9×10 ⁻¹	4.0×10 ⁻¹	4.8×10 ⁻¹	5.4×10 ⁻¹		

由表 3 看出各层滤料的渗透系数明显小于表 1 中的各层滤料的渗透系数,且渗透系数下降较明显。与清水试验相比,浑水试验中天然河床料的渗透系数受淤积厚度的影响较大,渗透系数减小近 30 倍;设计的反滤料受淤积厚度的影响较小,减少到原来的一半左右,主要原因是天然河床料对浑水中泥土的“过滤”作用较大;渗管出水量较大,说明反滤料的“排水”效果较好,但是出水浑浊,说明设计的反滤料第四层即 1~5 mm 的反滤层颗粒粒径偏大,致使小于 1 mm 的细颗粒透过了反滤层,滤土效果稍差。

经分析可知,随着泥膜淤积厚度的增大,各层滤料的渗透系数逐渐减小,其中河床料和 1~5 mm 滤料的渗透系数受泥膜淤积厚度的影响不大,5~10

mm 滤料、10~20 mm 滤料和 40~80 mm 滤料的渗透系数受泥膜厚度的影响变化较大。对于渗透系数比较大的反滤层,过滤浑水会使其反滤层产生部分淤塞,导致渗透系数大幅度下降,这是由于渗透系数大的反滤层其“滤土”能力相对较小,而其“排水”能力较强,进入反滤层的细颗粒泥沙,有一部分可以随渗透水流排出,另一部分则被吸附在砂石颗粒的表层,作为反滤层的一部分,改变了反滤层的结构,降低了其渗透系数。对渗透系数较小的反滤层,浑水使得其反滤层孔隙淤塞,这是由于渗透系数小的反滤层其“滤土”能力较强,而其“排水”能力较弱,浑水中的细颗粒泥沙首先大部分被“滤”在反滤层的

的投资减少,短期内经济发展的速度低于经济优先发展模式,然而,从长期来看,在该模式下,经济将会持续稳定的增长,且由于对污水治理、森林保护等环境方面的投资加大,人类的生存环境也不断改善,有利于巢湖流域的可持续发展。在该模式下,呈现出经济增长与生态建设协调、健康发展的态势,有利于巢湖流域的可持续发展。

3 结 语

根据巢湖流域 SD 模型模拟的结果,按照当前经济发展趋向的自然基准模式,该流域的未来经济发展速度较慢,生态环境受到了一定的破坏,难以支撑巢湖流域可持续发展的要求。在经济发展优先模式下,前期经济发展速度快,但生态环境受到严重的破坏,生态环境反过来极大程度的制约经济的发展,生态环境已经不能支持经济的发展。在环境协调发展模式下,经济增长与生态建设协调健康的发展态势,有利于巢湖流域的可持续发展。

巢湖流域可持续发展存在的问题就是流域内的经济发展、人口问题与环境承载力之间的矛盾,实践已经证明:“高增长、高污染”的经济增长模式不符

合可持续发展的理念。需要从自然基准模式逐步过渡到环境协调模式。调整巢湖流域的经济结构,加速发展第三产业,对于第二产业中高污染行业要进行限制,倡导循环经济。同时,要进一步加大对巢湖环境保护和治理的投资力度,更好地促进经济和环境协调发展。

参考文献:

- [1] 吕鸣伦,刘卫国. 区域可持续发展的理论探讨[J]. 地理研究,1998,17(2):131-137.
- [2] 钱学森,等. 论地理科学[M]. 杭州:浙江教育出版社,1994.
- [3] 方创琳. 区域发展规划论[M]. 北京:科学出版社,2000.
- [4] 程叶青,李同升,张平宇. SD 模型在区域可持续发展规划中的应用[J]. 系统工程理论与实践,2004,24(12):13-18.
- [5] 黄震中,王 艳,李思一,等. 中国可持续发展系统动力学模型[J]. 计算机仿真,1997,14(4):3-7.
- [6] 王其藩. 系统动力理论与方法的新进展[J]. 系统工程理论方法应用,1995,14(2):6-12.
- [7] 王其藩. 系统动力学[M]. 北京:清华大学出版社,1994.

(上接第 111 页)

表层,使得反滤层表层形成一层透水能力非常小的“泥膜”,“泥膜”厚度越大,则其渗透系数就越小,导致反滤层渗透系数迅速减小;另一部分进入反滤层内部的细颗粒,由于原来的反滤层颗粒较细,吸附能力比较强,再加上其“排水”能力较差,不能及时排出,被吸附在孔隙本来就很小的反滤层颗粒表面,使得反滤层内部的孔隙大幅度减小,导致渗透系数降低。这两者最终导致反滤层的淤塞,渗水能力降低。

4 结 语

通过对新疆某引水工程渗管反滤料渗透特性试验研究得出两种试验在渗透作用下都存在明显的细料(1 mm 以下)下沉现象,但不影响反滤料排水作用。

在清水试验中渗流相对浑水试验较稳定,出水清澈,由于淤层的作用,渗透系数略有下降;在浑水试验中由于受泥膜的影响,滤料的渗透系数随着落淤厚度的增加而明显减小,并且有部分泥土堵塞或透过了反滤层,水质稍有浑浊。

建议考虑采用混合反滤料或减小 1~5 mm 粒组的粒径,增大反滤料的滤土作用,如果对水质要求较高,还可采用二次反滤或进行水处理工艺。

参考文献:

- [1] 阎士勤,牛富敏,翟 建,等. 中条山供水工程渗渠设计研究[J]. 人民黄河,2001,23(4):13-14.
- [2] 李 晓,杨立中,于苏俊. 重庆白沙渗流井渗透水水质特征研究[J]. 西南交通大学学报,2002,37(6):610-614.
- [3] 李 晓. 天然河床渗滤取水技术研究[D]. 成都:西南交通大学,2003.
- [4] 程 琨,刘焕芳,周银军. 砂石反滤层设计方法探讨[J]. 石河子大学学报(自然科学版),2006,24(2):241-244.
- [5] 刘 杰. 土的渗透稳定与渗流控制[M]. 北京:水利电力出版社,1992:32-34.
- [6] 南京水利科学研究院. SL/T 237-1999. 土工试验规程[S]. 北京:中国水利水电出版社,1999:430-436.