

# 不冲流速限值在流域骨干 引排工程中的应用

李 昱<sup>1</sup>, 郑宏伟<sup>1</sup>, 陈玉龙<sup>2</sup>, 费照骅<sup>1</sup>

(1. 江苏省太湖水利规划设计研究院有限公司, 江苏 苏州 215100;  
2. 常州市水利建设投资开发有限公司, 江苏 常州 213000)

**摘要:**现有规范规定的不冲不淤的流速限值是基于梯形渠道断面提出的,太湖流域骨干引排工程常采用坡墙结合的复式断面,其适用性有待进一步研究验证。采取数值模拟的方法,以白屈港河道综合整治工程为例,对河道不冲流速的限值进行了计算探讨。研究表明:对于非黏性土的复式断面河道,其允许不冲流速的计算水深可按照河底水深选取。

**关键词:**复式断面; 不冲流速; 河底水深; 数值模拟

中图分类号:TV212 文献标识码:B 文章编号:1007-7839(2021)04-0012-04

## Application of non – scouring velocity limit value in backbone diversion and drainage project of watershed

LI Yu<sup>1</sup>, ZHENG Hongwei<sup>1</sup>, CHEN Yulong<sup>2</sup>, FEI Zhaohua<sup>1</sup>

(1. Jiangsu Taihu Planning and Design Institute of Water Resources Co., Ltd., Suzhou 215100, China;  
2. Changzhou Water Conservancy Construction Investment and Development Co., Ltd., Changzhou 213000, China)

**Abstract:** The non – scouring and non – silting velocity limit value stipulated by existing code was based on trapezoidal channel section. The composite section of slope – wall combination was often used in backbone diversion and drainage project of Taihu Basin, and its applicability needed to be further studied and verified. Taking the comprehensive regulation project of Baiqugang River as an example, the numerical simulation method was adopted to calculate and discuss the limit value of river non – scouring velocity. The research showed that for the non – cohesive composite cross – section river, the calculation depth of the allowable non – scouring velocity could be selected according to the river bottom depth.

**Key words:** compound section; non – scouring velocity; water depth of river bottom; numerical simulation

设计流速是区域河道达到设计流量时的断面平均流速,应在河道的允许流速范围内,同时满足相关经济技术的要求。允许流速是为保障河道正常运用和安全,对水流流速规定上下限值。为保证河床及坡面不发生冲刷,设计流速应小于规范规定的允许不冲流速<sup>[1-3]</sup>。不冲流速的限值主要参考《灌溉与排水工程设计标准》,主要与河床的土质特

性以及水流的含沙量有关。苏南地区水流含沙量较小,可按照清水渠道考虑。

太湖流域经济发达,考虑到征地拆迁成本,流域骨干引排工程常采用坡墙结合的方式<sup>[4-5]</sup>,即河道两侧采用直立挡墙,挡墙底板顶高程处设置平台,平台末端与河底放坡衔接,与灌溉排水渠道常规的梯形渠道断面有较大的区别,故原有的规范

收稿日期:2020-09-10

作者简介:李昱(1991—),男,工程师,研究方向为水力学及河流动力学。E-mail:158154371@qq.com

规定的  
不冲流速  
的限值取值取用应开展相应的研究探讨。

流域骨干引排工程常承担排泄区域洪水的任务,设计流量较大,且部分区域土质以沙性土为主,抗冲能力较差,目前主要采取扩大设计断面或者采用沉排护砌等手段对其进行防护,成本较高,有必要对河道的不冲流速限值进行进一步研究。对于沙性土而言,河道的不冲流速限值应按照不同的水深进行选取,水深越深,不冲流速限值越大。坡墙结合断面平台处水深与河底水深相差较大,该断面流速限值的取值该如何选用规范并无明确的说明。

本文以白屈港河道整治工程为例,通过数值模拟的方法<sup>[6-7]</sup>,研究了坡墙结构断面下流速分布。研究表明,对于非黏性土的复式断面河道,其允许不冲流速的计算水深可按照河底水深选取,为太湖流域骨干引排工程的断面设计提供了依据。

1 工程概况

白屈港综合整治工程北起长江江边白屈港枢纽,利用白屈港现有河道拓浚(疏浚)至锡北运河,新建张村水利枢纽穿过锡北运河后,利用严埭港、寺头港拓浚(疏浚)至北兴塘河、木材仓库河,河道整治全长 49.23 km。

白屈港河道底高程 -1.0 m,东横河至应天河段河道底宽为 30 m,河道边坡为 1:2.5,接至高程 2.0 m 平台,平台宽 2 m,后新建钢筋混凝土挡墙。白屈港河道标准断面见图 1。

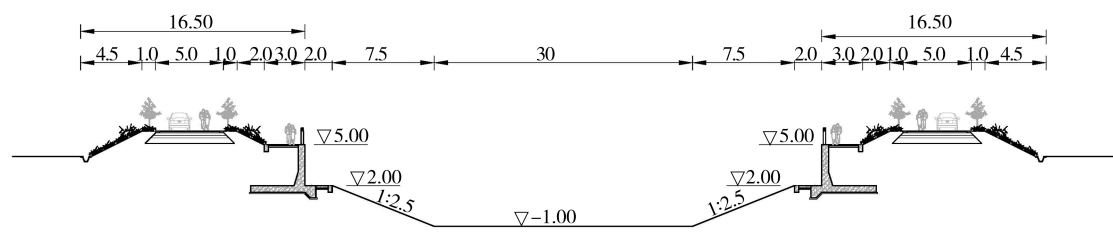


图 1 白屈港河道标准断面图(单位:m)

2 河道允许不冲流速限值的选取

2.1 边界条件

- 1)考虑到水流含沙量小,采用清水渠道限值。
- 2)沿江段河道以沙性土为主,粒径 0.05 ~ 0.25 mm。
- 3)计算水位按 3.50 m 考虑。

2.2 允许不冲流速限值

清水渠道中非黏性土的不冲流速限值与水深有关,水深越深,不冲流速限值越大,如表 1 所示。

表 1 细沙的允许不冲流速限值表

土质	水深/m			
	0.4	1.0	2.0	≥3.0
细沙	0.17 ~ 0.27	0.21 ~ 0.32	0.24 ~ 0.37	0.26 ~ 0.40

注:表中所列允许不冲流速值为水力半径  $R=1.0\text{ m}$  的情况。当  $R\neq 1.0\text{ m}$  时,表中所列数值应乘以  $R^\alpha$ 。指数  $\alpha$  值可采用  $\alpha=1/3\sim 1/5$ 。

河底处水深 4.5 m,河道 2.0 m 平台处水深 1.5 m,河道过水断面水力半径为 3.5 m,不冲流速限值修正系数为  $R^\alpha$ , $\alpha$  取 1/3,则不冲流速限值修正系数为 1.52,表中限值取值均取大值。综上所述,该段河道按河底水深考虑所得不冲流速限值为 0.61 m/s,按 2.0 m 平台处水深考虑所得不冲流速限值为 0.52 m/s。

2.3 流速限值取值分析

对于流域骨干工程的沙性土质区,流速限值的取值显著影响了河道的建设投资。按不同水深计算考虑得出的不冲流速限值差别较大,相关规范并没有明确指出该如何正确取值。如按取大值,则存在工程安全风险,如直接取小值,可能需要进行增设大范围的河道床护砌或者扩大河道规模,增加工程投资。本段河道的设计流速为 0.60 m/s,略小于按河底水深计算得出的不冲流速限值 0.61 m/s,但是大于按 2.0 m 平台处水深考虑所得不冲流速限

值(0.52 m/s),部分研究人员认为河底处不冲流速限值取大值,护坡及平台处不冲流速限值取最小值,折中考虑水深对流速限制的影响。

本文拟采用河底处水深对应的不冲流速作为河道平均流速进行数值模拟<sup>[6-7]</sup>,计算墙前平台处流速分布情况,从而研究分析其冲刷影响。

3 数值模拟

3.1 数学模型基本控制方程

连续方程:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

动量方程:

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = f_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \gamma \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} \quad (2)$$

式中:  $u_i$  为  $(x, y, z)$  方向上的速度分量;  $\rho$  为流体密度;  $P$  为动态压强,  $f_i$  为单位质量的质量力;  $\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i}$  为单位质量的压强梯度力;  $\gamma \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j}$  为单位质量的黏性力。

### 3.2 数值求解方法

采用有限体积法对数学模型控制方程进行离散, 速度压力耦合矫正采用 SIMPLEC 方法, 动量方程采用二阶迎风离散格式, 所有参量的残差控制标准取为  $1.0 \times 10^{-5}$ 。

### 3.3 计算区域、边界条件和网格划分

所建立的模型进口处为入流边界, 根据流量和水位条件, 给定入口过水断面的流速或流量; 模型出口为水流出流边界, 根据计算工况的不同给定的不同的压力边界条件。

## 4 计算结果分析

### 4.1 河道不冲流速限值取值分析

图 2 为河道流速分布示意图, 由图 2 可知, 水流平面流速分布呈中间大, 两边小的分布规律。当河道断面平均流速为  $0.61 \text{ m/s}$  时, 平台处水流流速为  $0.44 \text{ m/s}$ , 小于按  $2.0 \text{ m}$  平台处水深考虑所得不冲流速限值 ( $0.52 \text{ m/s}$ )。综上可知, 当整个河道断面的设计流速达到渠道的允许不冲流速时, 因受侧壁影响, 流速沿横向流速分布呈中间大两边小的规律, 平台处近壁面, 流速较小, 无法按照较浅水深考

虑所得不冲流速限值, 故而无需对平台和坡面进行防护。

### 4.2 河道不冲流速限值的取值探讨

河道水流在横断面的流速分布规律是研究河道冲刷情况的基础。天然河道流速分布的影响因素众多, 不同的河道断面形状、水流含沙量、土层性质, 河道断面流速都会展现出不同分布情况。对于沙性土而言, 其冲刷特性主要取决于其土质颗粒的启动流速, 但是受限于影响因素太多, 工程上无法准确地测量近壁面的流速情况, 故规范上统一采取设置断面平均流速限值的方式判断河道的运行安全性。

《灌溉与排水工程设计标准》中不冲流速的限值随着水深的加大而减小, 本质上是考虑水流流速受黏滞力的影响, 河道水深越大, 河底流速越小。根据相关研究, 对于宽浅河道, 其流速分布基本按照对数和指数 2 种分布规律, 对于窄深断面河道, 流速分布将产生较大的变形, 说明河道壁面条件的变化对流速分布会产生较大的影响<sup>[8-10]</sup>。规范规定的相关不冲流速限值是基于一常规梯形或矩形过水断面提出的, 与苏南地区的复式断面差距较大, 应进一步研究探讨。

对于本区域骨干引排工程而言, 河道口宽一般较宽, 但是两侧过水平台处水深较浅, 受两侧壁面影响, 主流集中情况更显著, 平台处流速与主流最大流速比值为  $0.62$ , 墙前平台处流速与断面平均流速相比显著减小。当按照规范选取不冲流速限值时, 可不考虑平台处水深对于不冲流速限值取值的影响。

## 5 结 语

(1) 对于非黏性土的复式断面河道, 其允许不

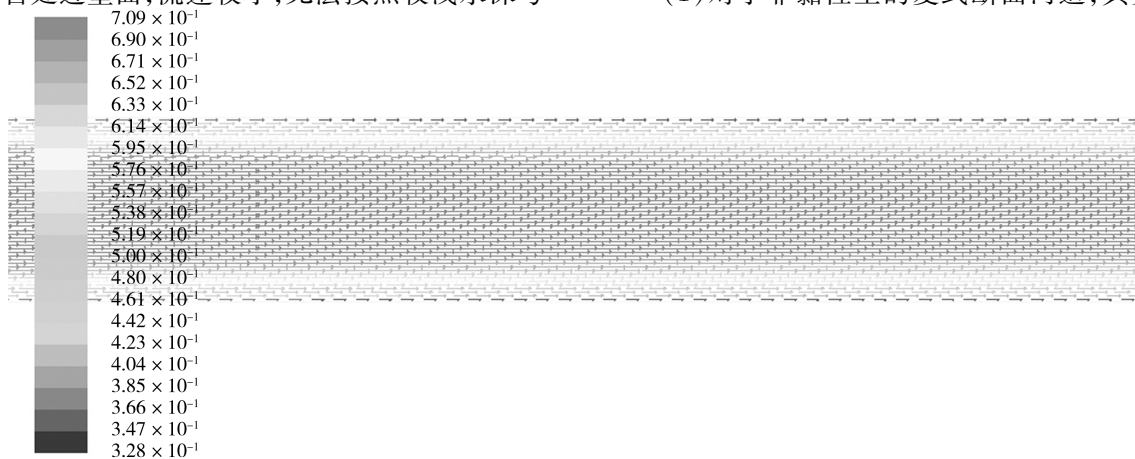


图 2 河道流速分布示意图

冲流速的计算水深可按照河底水深选取。

(2) 苏南地区流域骨干引排工程的不冲流速限值的选取应按照区域河道断面特性进行进一步分析研究,在确保河道安全的前提下进一步优化设计。

#### 参考文献:

- [1] 孟宇. 浅析渠道不冲不淤流速的确定[C]// 水与水技术(第5辑), 2015(4).
- [2] 张庭英. 灌溉渠道不冲不淤坡度的计算方法[J]. 武汉水利电力学院学报, 1964(2):40-43, 100.
- [3] 徐国宾. 应用最小能耗率原理优化设计不冲不淤渠道[J]. 人民黄河, 1993(6):39-41.
- [4] 吴芳, 汪院生. 江苏省中小河流治理工程设计实践与思考[J]. 水利规划与设计, 2013(7):70-72.
- [5] 吴芳. 河道整治中存在的问题及对策浅探[J]. 江苏水利, 2012(1):14-14, 16.

- [6] 杨校礼, 李昱, 孙永明, 等. 弧形短导墙对船闸引航道水流结构影响的研究[J]. 水动力学研究与进展, 2016(31):621-625.
- [7] 于洋, 艾丛芳, 金生. 弯曲度对弯道水流结构影响的三维数值模拟研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2018, 16(3):218-223.
- [8] 卢金友, 詹义正, 赵根生, 等. 河道中受侧壁影响的断面流速分布规律研究[J]. 水利学报, 2012(6):19-26, 32.
- [9] 尹进高, 吕宏兴, 栾维功, 等. 梯形渠道断面流速分布规律试验研究[J]. 人民长江, 2008, 39(12):67-69.
- [10] 刘鸿涛, 李延和, 黄金林. 梯形渠道断面平均流速与单点流速关系研究[J]. 水利科技与经济, 2011(6):5-7.

(上接第11页)

强度提高了9.7%;水泥含量为18%时,添加减水剂,成桩抗压强度提高了39%。说明添加减水剂对提高成桩质量有显著效果。

### 3 结 语

软弱地基处理是工程建设中必须予以高度重视的问题之一。特别是软基上的岸坡无法满足抗滑稳定要求时,水泥搅拌桩技术是一种经济又高效的加固方法。水泥搅拌桩技术具有污染小、费用低、施工快、施组便捷等优势,目前已在公路、铁路、港口码头、市政工程、工业与民用建筑等软土地基加固中广泛应用。在水利工程中推广应用水泥搅拌桩技术,有利于降低工程建设成本、提高工程建设效率,具有重要的现实意义。

#### 参考文献:

- [1] 曾斓. 深层水泥土搅拌桩加固沿海软基试验研究和数值模拟分析[D]. 长沙:长沙理工大学, 2018.
- [2] 李强. 长江三角洲地区水泥土搅拌桩在软基处理中应用研究[D]. 石家庄:石家庄铁道大学, 2016.
- [3] 胡永安. 水利工程软基中水泥搅拌桩的设计及施工探讨[J]. 工程建设与设计, 2020(3):126-128.
- [4] 刘露庭, 李小冲. 水泥搅拌桩在堤防整治工程中的应用[J]. 黑龙江水利科技, 2020, 48(2):156-158.
- [5] 龚晓南. 地基处理手册[M]. 3版. 北京:中国建筑工业出版社, 2008.