

# 基于伯努利能量方程 河道洪水水位设计及护岸分析

张 岩<sup>1</sup>, 孙强国<sup>2</sup>, 张志闯<sup>3</sup>, 张 健<sup>4</sup>, 张 波<sup>5</sup>

(1. 淮安市淮阴区淮高水利服务站, 江苏 淮安 223300; 2. 淮安市淮阴区高家堰水利服务站, 江苏 淮安 223300;  
3. 江苏信通工程项目管理有限公司, 江苏 淮安 223003; 4. 淮安市淮阴区活动坝水利管理所, 江苏 淮安 223300;  
5. 淮安市淮阴区水利局, 江苏 淮安 223300)

**摘要:**以太平河河道整治工程为例,为推求天然河道沿程设计洪水位,以稳定非均匀流为计算依据,按伯努利能量方程对河道水位进行推求,并对该河岸的护岸设计方法进行了分析研究。研究表明,采用伯努利能量方程依次往上推算水面线,符合水面线推算原则,计算得出的水面线结果均在合理范围内。通过分析护岸设计方案,松木桩的抗剪、抗弯能力差,易折断,且松木桩方案投资相比 C60 仿木桩方案高,因此 C60 仿木桩更适合本工程的河道护岸。

**关键词:**河道整治; 能量方程; 洪水位设计; 护岸结构

中图分类号:TV861

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2023)04-0024-0004

## Design of river flood level and analysis of bank protection based on Bernoulli energy equation

ZHANG Yan<sup>1</sup>, SUN Qiangguo<sup>2</sup>, ZHANG Zhichuang<sup>3</sup>, ZHANG Jian<sup>4</sup>, ZHANG Bo<sup>5</sup>

(1. Huaigao Water Conservancy Service Station in Huaiyin District, Huai'an 223300, China;

2. Gaojiayan Water Conservancy Service Station in Huaiyin District, Huai'an 223300, China;

3. Jiangsu Xintong Engineering Project Management Co., Ltd., Huai'an 223003, China;

4. Huaiyin District Activity Dam Water Conservancy Management Office, Huai'an 223300, China;

5. Huaiyin District Water Conservancy Bureau, Huai'an 223300, China)

**Abstract:** Taking the Taiping River regulation project as an example, in order to calculate the design flood level along the natural river course, the water level of the river course is calculated according to Bernoulli energy equation based on the calculation of stable non-uniform flow, and the bank protection design method of the river bank is analyzed and studied. The results show that the calculation of water surface line by Bernoulli energy equation is in accordance with the principle of water surface line calculation, and the calculated results of water surface line are within a reasonable range. Through the analysis of the bank protection design scheme, the pine pile is poor in shear and bending ability, easy to break, and the investment of pine pile scheme is higher than that of C60 imitation pile scheme, so C60 imitation pile is more suitable for the river bank protection of this project.

**Key words:** river regulation; energy equation; flood level design; bank protection structure

收稿日期: 2022-12-18

作者简介: 张岩(1989—),男,工程师,硕士,主要从事水利设计、施工等工作。E-mail:digangdujiu@163.com

河道是水资源的载体,是行洪的唯一通道,其防洪安全、行洪畅通,对抗御洪涝灾害具有重要作用<sup>[1-3]</sup>。当前,部分河道饱受水力和风化因素等侵蚀,很多河道失去了原有的行洪能力,因此需要进行重整建设,而河道设计水位是河道整治设计的重要参数之一,因此如何设计河道洪水位对建设后的河道行洪功能具有重要意义<sup>[4-6]</sup>。

吴心艺等<sup>[7]</sup>基于吴淞江所在流域、区域水文特性,提出吴淞江(江苏段)设计水位的研究方法及相关建议;张红<sup>[8]</sup>通过设计断面水文分析,计算出洪水位,为合理拟定工程中防洪堤高度提供科学依据;程维<sup>[9]</sup>对某河段的现状进行介绍和分析,对该河段整治工程的堤线布置、堤坝高程设计和干流堤防工程设计进行详细介绍;马惠群等<sup>[10]</sup>以哈尔滨蜚克图河流域某电力工程为例,研究山丘区河道洪水对电力工程的影响,并采用历史洪水调查和曼宁公式两种方法分别进行计算,相互验证;曾黄锦<sup>[11]</sup>以湛江东岸官(官渡)南(南三岛)公路官渡海围、消坡海围及龙王湾特大桥工程设计洪水为例,说明滨海河口设计洪水计算与内河设计洪水计算的差异。

本文以太平河河道整治工程为例,为推求天然河道沿程设计洪水位,以稳定非均匀流为计算依据,按伯努利能量方程对河道水位进行推求,并对该河岸的护岸设计方法进行了分析研究,研究方法可为相关工程提供参考。

## 1 工程概况

太平河位于淮阴区西南方向,是淮阴区境内一条以排涝为主的区级河道,河道总长约 19.0 km,流域面积 23.5 km<sup>2</sup>,河底宽 1~30 m,河底高程 12.88~10.41 m。由于河道土质较差,以淤泥质土和砂壤土夹淤泥土为主,导致淤积情况较为严重。整条河道仅高堰街段(河道桩号 3+822~5+395)进行过护砌,其中部分河段为单侧护砌,护岸型式为浆砌石直立挡墙;其余河段均为原始河道,部分河道淤积堵

塞。由于长期缺乏系统性治理,太平河现状存在如下问题:①河道连通性不足,水质污染加剧,水环境恶化;②河道排涝标准不足,坝梗阻塞严重;③建筑物损坏严重、功能效率降低;④河道功能退化,淤积严重;⑤威胁水源地安全,与环保要求不匹配;⑥水域被侵占,水面率下降。鉴于以上问题,为尽快提高太平河的排涝标准,确保区域内涝水及时下泄,恢复并完善沿线配套建筑物功能体系,改善河道水环境,开展本次治理工程。

## 2 设计洪水位计算

### 2.1 河道断面

为推求天然河道沿程设计洪水位,本次对天然河道纵横断面进行了实测。具体选择断面时,考虑了如下几方面因素:①参照实测河道纵断面图,根据河段水面调查洪水比降坡度变化选取断面,尽可能使分段的水面坡度接近一致,断面大小形状无剧烈变化;②在河道弯曲处选取断面,以求在各分段内的断面具有相似的或渐变的形态过渡;③当河流有分支或汇合等流量突变处,均在分支或汇合口的上、下游选取断面,避免在一个分段内形成流量分出或汇入等造成的突变。太平河河道现状见表 1。

### 2.2 洪水位计算

天然河道的洪水大多属于不稳定流,水面线的计算可以近似地视为稳定流量,以简化计算。稳定非均匀流按伯努利能量方程进行计算,即,

$$Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_f + h_j \quad (1)$$

式中: $Z_2$ 、 $Z_1$ 分别为计算段上、下游断面水位,m; $V_2$ 、 $V_1$ 分别为计算段上、下游断面平均流速,m/s; $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 分别为计算段上、下游断面的动能修正系数; $h_f$ 为沿程水头损失,m; $h_j$ 为局部水头损失,m。在流量、控制断面水位和河段糙率确定后,即可由式(1)计算出河道断面的水力要素。主要参数的确定根据一维水面线的计算公式,其关键在于沿程水头损失和

表 1 太平河河道现状

序号	桩号	长度/km	河底高程/m	河底宽度/m	河道坡比	堤顶高程/m	备注
1	0+000~2+600	2.600	10.89~11.82	2.0~12	2.0~2.5	13.08~15.56	
2	2+600~8+010	5.400	10.62~12.88	1.0~18	0.1~2.5	12.79~15.99	桩号 8+010~8+086 现状水系不通,路面 高程约为 17.4 m
3	8+086~13+740	5.654	10.80~12.20	1.5~30	1.5~3.0	12.56~15.25	
4	13+740~16+622	2.882	10.80~12.36	1.5~16	1.5~3.0	12.85~15.36	
5	16+622~19+000	2.380	10.85~12.19	3.0~12	2.0~4.0	13.91~16.89	

局部水头损失的确定。

### (1) 动能修正系数 $\alpha$

$\alpha$ 是以总流的断面平均流速 $V$ 代替过水断面上各点的点流速 $V_i$ 来计算断面的平均单位动能,为校正误差而引入的修正系数,理论上可按式计算:

$$\alpha = \frac{\int_A V_i^3 dA}{V^3 A} \quad (2)$$

式中: $V_i$ 为断面单元流速; $V$ 为断面平均流速; $A$ 为过水面积; $\alpha$ 为动能修正系数,是个大于1.0的数值,其值取决于断面上流速分布不均匀的程度,流速分布越不均匀, $\alpha$ 值越大。

### (2) 沿程水头损失

水流在流动过程中,由于克服河床的阻滞作用,边壁的低流速层对高流速层产生的阻力而消耗的能量,就是沿程阻力损失 $h_f$ ,其主要决定于均匀流的坡降,可表示为

$$h_f = \frac{n^2 Q^2 L}{R^{4/3} A^2} \quad (3)$$

式中: $L$ 为计算段上下游断面间距; $n$ 为糙率; $Q$ 为流量; $R$ 为水力半径; $A$ 为过水面积。由式(3)可知,欲求 $h_f$ ,主要是确定糙率 $n$ 值,划界天然河道糙率根据河道形态、河床组成及两岸植被情况结合《天然河道糙率表》选定。

### (3) 局部水头损失

局部水头损失即为河道的河床断面沿程不均匀引起的水头损失。局部阻力系数与河槽形态、收缩或放宽的比例以及水流情况有关,特别是在跨河桥梁河段特别明显,局部水头损失 $h_j$ 可按式计算:

$$h_j = \xi \left( \frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} \right) \quad (4)$$

式中: $\xi$ 为局部阻力系数,取 $\xi=0\sim 1$ ; $V_i$ 为断面单元流速; $g$ 为重力加速度。依据计算结果,桩号0+000~2+600的设计洪水位为13.75~13.74 m;桩号2+600~8+010的设计洪水位为13.74~13.4 m;桩号8+086~13+740的设计洪水位为13.57~13.5 m;桩号13+740~16+622的设计洪水位为13.5~13.55 m;桩号16+622~19+000的设计洪水位为14.16~14.15 m。

本次水面线计算各断面是经实测大断面获取的数据,各断面均根据河道的走势、断面变化、沿河建筑物等布设,因计算河段比较长,沿程采用分段流量计算。各断面糙率是根据实际勘察各划界河段河床和滩地情况参照《天然河道糙率表》后分段确定,综合分析天然水面线的河道糙率取值范围为0.04~0.065之间,该值符合《天然河道糙率表》中取

值范围。

天然河道的洪水大多属于不稳定流,水面线的计算可以近似地视为稳定流量,以简化计算。本次采用伯努利能量方程对断面水位进行推求,该方程在流量、控制断面水位和河段糙率确定后,即可由该式算出河道断面的水力要素。主要参数的确定根据一维水面线的计算公式,其关键在于沿程水头损失和局部水头损失的确定。本次河道水面线计算起始水位基本资料采用合理,采用伯努利能量方程依次往上推算水面线,符合水面线推算原则。因此可以认为本次水面线计算成果比较合理。

## 3 护岸方案分析

桩号3+712~4+550、5+104~5+204、5+620~5+740段太平河左岸河口外为防汛道路或居民住房,且多在基本农田范围内,右岸为二河堤防,为了减少河道开挖断面,减少永久征地面积,确保二河堤防安全,因此考虑在该河段新建护岸。由于边坡土质中存在较厚的淤泥质粉土及淤泥层(4~5 m),基础承载力很差,因此护岸型式拟选择打桩护岸,本次采用C60仿木桩( $\varphi 30$  cm、 $L=7.5$  m)和松木桩( $\varphi 30$  cm、 $L=7.5$  m)两种打桩形式进行护岸方案比较。

方案1:仿木桩护岸加固方案。设桩段桩顶高程13.83~14.94 m,桩底高程6.33~7.44 m,桩号3+712~4+550段布设在右岸侧,桩号5+620~5+740段布设在左岸侧,桩号5+104~5+204段布设在两岸,C60仿木桩( $\varphi 30$  cm、 $L=7.5$  m)适用于土质不好的河坡地基处理,混凝土预制方桩的抗弯、抗剪能力强,不易折断,加固后可增强岸坡整体抗滑稳定。仿木桩护岸加固方案见图1。

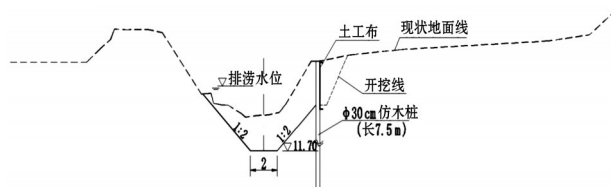


图1 仿木桩护岸加固(单位:m)

方案2:松木桩护岸加固方案。相比于C60仿木桩,松木桩方案同样适用于土质不好的河坡地基处理,区别在于桩基础材质选择不同,松木桩的抗剪、抗弯能力差,易折断,且松木桩方案投资相比C60仿木桩方案高,护岸效果明显逊于方案一。

两种打桩方案比较见表2,经过方案比选,C60仿木桩更适合河道护岸。

表2 两种打桩方案比较

序号	方案	单价/元	工程量 / km	造价/万元	力学性能
1	方案1:C60 仿木桩( $\varphi 30\text{ cm}$ 、 $L=7.5\text{ m}$ )	130	25	325.0	桩体采用预应力钢筋,蒸汽养护,桩体强度高,抗弯及抗裂性能较好,抗冲击能力较强,不易变形、变色,稳定性较好
2	方案2:松木桩( $\varphi 30\text{ cm}$ 、 $L=7.5\text{ m}$ )	175	25	437.5	抗剪、抗弯能力差,易折断,地下水位变化幅度较大时不宜使用松木桩

## 4 结 论

本文以太平河河道整治工程为例,为推求天然河道沿程设计洪水位,以稳定非均匀流为计算依据,按伯努利能量方程对河道水位进行推求,并对该河岸的护岸设计方法进行了分析研究。研究结果表明,本次河道水面线计算起始水位基本资料采用合理,采用伯努利能量方程依次往上推算水面线,符合水面线推算原则,因此可以认为本次水面线计算成果比较合理。此外,采用C60仿木桩( $\varphi 30\text{ cm}$ 、 $L=7.5\text{ m}$ )和松木桩( $\varphi 30\text{ cm}$ 、 $L=7.5\text{ m}$ )两种打桩形式进行护岸方案比较,得出松木桩的抗剪、抗弯能力差,易折断,且松木桩方案投资相比C60仿木桩方案高,因此C60仿木桩更适合河道护岸。

### 参考文献:

- [1] 邓瑞欣. 增江流域派潭河上游段河道设计洪水研究[J]. 水利科技与经济, 2022, 28(11): 90-94.
- [2] 龚定, 李致家, 臧帅宏, 等. 河道汇流演算方法对比分析与研究[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2022, 50(6):

33-39, 57.

- [3] 贺成山, 陈情情, 刘波, 等. 河道下游存在梯级水库的溃坝洪水演进模拟研究[J]. 科学技术创新, 2022(30): 147-150.
- [4] 康璐, 向波, 张婧, 等. 黑龙江河道演变及工程整治技术的研究[J]. 水资源与水工程学报, 2022, 33(5): 138-147.
- [5] 王海强. 浅析韩城市盘河水库下游段交通桥洪水分析计算[J]. 陕西水利, 2022(10): 41-43, 46.
- [6] 王玲玲, 姜兆宇, 韩建军, 等. 长江浦口段江滩复绿对河道行洪能力的影响[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2021, 49(4): 316-321.
- [7] 吴心艺, 吴小靖, 张骁, 等. 吴淞江(江苏段)河道整治设计水位探讨[J]. 中国水运(下半月), 2021, 21(6): 109-111.
- [8] 张红. 河道防洪治理工程设计断面水文分析[J]. 青海农林科技, 2021(1): 69-73.
- [9] 程维. 河道防洪整治工程设计[J]. 陕西水利, 2020(11): 187-188.
- [10] 马惠群, 王勇. 山丘区河道设计洪水位对电力工程的影响[J]. 工程建设, 2020, 52(11): 49-51.
- [11] 曾黄锦. 滨海河口地区设计洪水位的研究[J]. 广东水利水电, 2013(增刊1): 40-42.

(上接第23页)

均满足设计强度要求<sup>[6-7]</sup>。

新沂河堤防建设年代久远,地质条件复杂,深搅桩防渗施工过程中,可能会遇到堤内砂礅等障碍物,使得施工机械严重受损而无法正常工作。对于这种难以预见的施工障碍物,必须及时调整施工方案,重新试桩,选定施工参数,满足工程质量要求,对于技术上难以“逾越”的问题,经过经济、技术比较后,可作为“难工”专门处理,从而加快工程进度,及早发挥防洪效益。

### 参考文献:

- [1] 王天云. 多头小直径深层搅拌桩防渗墙在文瀾湖水库

中的应用[J]. 山西水利, 2017(10): 36-38.

- [2] 王浩淼. 水泥搅拌桩在堤防工程软土地基处理中的应用[J]. 陕西水利, 2021(5): 166-167, 170.
- [3] 高大钊. 关于土的目力鉴别[J]. 工程勘察, 2003(1): 1-4.
- [4] 华建新. 工程地质手册[M]. 5版, 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.
- [5] 侯永峰, 龚晓南. 水泥土的渗透特性[J]. 浙江大学学报, 2000, 34(2): 77-81.
- [6] 王静芳. 多头小直径搅拌桩防渗墙体的性能研究及其渗流分析[D]. 扬州: 扬州大学, 2009.
- [7] 郝洁, 李军, 郑国宝, 等. 水泥土搅拌桩防渗墙对土坝防渗效果的模拟研究[J]. 河北工程大学学报(自然科学版), 2020, 37(4): 1-6.