

波浪型预制桩护岸在河道治理中的应用

刘淋淋, 刘嘉男, 张琦

(山东省水利勘测设计院有限公司, 山东 济南 250014)

【摘要】以德州市站前沟河道治理工程为例,阐述了波浪型预制桩的结构设计过程和施工注意事项,分析了该护岸在城市河道的施工中出现的问题及解决办法,包括护岸与城市复杂地下管线和既有建筑物衔接的设计、在复杂地层中施工时的加固处理、桩后反滤层新材料的应用、预制桩顶栏杆的选择等,可为预制桩的广泛应用提供借鉴。

【关键词】德州市;河道治理;波浪型预制桩;河道护岸

【中图分类号】TV85

【文献标志码】A

【文章编号】1009-6159(2026)-09-0001-03

Application of Wavy Precast Pile Revetment in River Regulation

LIU Linlin, LIU Jianan, ZHANG Qi

(Shandong Survey and Design Institute of Water Conservancy co., Ltd, Jinan, Shandong 250014, China)

Abstract: Taking the Zhan Qiangou River Regulation Project in Dezhou Municipality as an example, this paper illustrates the structural design process and key construction points of wavy precast piles. Problems encountered during construction of this type of revetment in urban rivers and corresponding solutions are analyzed, including design for connection between revetments and complex urban underground pipelines as well as existing buildings, reinforcement measures for construction in complex strata, application of new materials for the back-pile filter layer, and selection of railings atop precast piles. It can provide reference for the wide application of precast piles.

Key words: Dezhou Municipality; River regulation; Wavy precast pile; River revetment

随着城市化进程的加快,河道治理中的护岸工程面临着越来越多的挑战,如征占地困难、施工场地受限等问题日益突出^[1]。现浇混凝土挡墙、重力式浆砌石结构等传统护岸型式存在施工工序复杂、工期长、环境影响大等弊端,在抗冲刷、耐久性及景观协调性方面难以满足现代水利工程的需求。波浪型预制桩护岸作为一种新型水利护岸技术具备许多新优势,桩体采用混凝土预制半圆环型设计,可通过调整桩体长度深入稳定土层,能适应复杂的水流和地质条件,同时错落有致的波浪形造型还具备美观的生态景观效果。

1 工程概况

德州经济技术开发区引调水工程(一期)对站前沟河道进行综合治理,治理河长 3.8 km,自己建入减马横河穿东风大道涵闸北侧开始新疏

挖明渠 0.5 km,以上向北至入杨庄河口对现状河道清淤为主,清淤疏浚长 3.3 km;河道疏浚设计中心线基本沿现状河道中心线布设,河道清淤疏浚时,以不破坏河道东岸紧邻的崇德十大道为基本原则。河道采用复式断面设计,主河槽为矩形断面,两侧设戗台,河槽内设置 C80 混凝土预制桩,桩长 9 m,河底以上高度为 3.5 m,戗台以上边坡与现状地面顺接,并采用生态草皮护坡。工程建成后,能够恢复站前沟河防洪排涝、连通调水的基本功能,同时打造宜人的生态景观,使站前沟成为一条风景靓丽的城区综合河道。

2 预制桩护岸的结构设计

根据河道实际情况并结合建设单位需求,该

收稿日期:2026-03-09

作者简介:刘淋淋(1988—),女,高级工程师

工程站前沟河槽内设置波浪型混凝土预制桩护岸,通过预应力钢筋的布置和混凝土强度等级的优化设计,使预制桩具备较高的承载力及耐久性。波浪型预制桩通过“S”型搭接方式实现了桩间的紧密咬合,有效提高了整体结构的稳定性^[2]。

2.1 预制桩工程范围

站前沟自减马横河控制闸至张文成村闸 3.6 km 均采用复式断面,矩形主河槽两岸均设置预制桩护岸,两岸总长共 7.2 km。

2.2 预制桩长度

预制桩长度需超过设计高水位一定深度,且桩端需嵌入稳定土层或岩层,软土地基中,桩长需穿透软弱层,嵌入承载力较高的土层。预制桩属于悬臂结构,悬臂端 3.5 m,根据《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—2012),嵌固深度不小于 0.8 倍基坑深度。根据站前沟实测资料,基坑深度为设计河道底到道路的高度,约 5 m,因此嵌固深度应不小于 4 m,桩长为 7.5 m。此外,在满足设计要求的前提下,应尽量控制工程造价,通过技术经济比较选择合理的桩长,以达到最佳的经济效益。鉴于该工程为永久支护,桩长一般取整数的基础上,再预留一定的安全长度,该工程预制桩桩长采用 9 m,结构简图如图 1 所示。

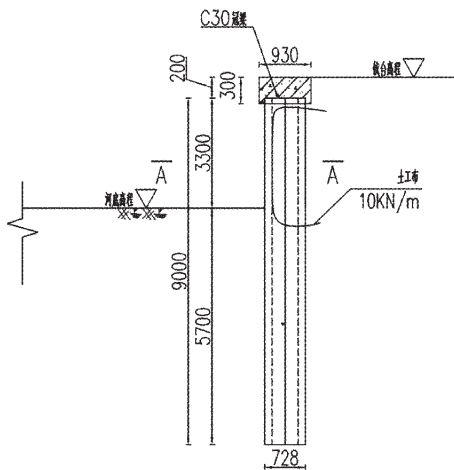


图 1 预制桩结构简图

2.3 预制桩稳定计算

根据工程需求,预制桩结构为半圆环形预应力混凝土构件,支护结构安全等级为二级。预制桩护岸结构的设计参数如下:预制桩长度为 9 m,其中插入地下土体深度为 5.5 m,背水侧填土高度为 3.5 m。桩体采用预制混凝土材料,其强度等级根据《水利水电工程结构可靠性设计统一标准》

(GB 50199—2013)设定为 C80,设计使用年限为 50 年。

预制桩的整体稳定性计算是以瑞典条分法为基础,用有效应力法分析土条宽 1.00 m、圆心坐标分别为 $X=3.41$ m、 $Y=-3.62$ m 的滑裂面在圆弧半径 $R=15.43$ m 时的情况,计算出整体稳定安全系数 $K_s=2.61>1.30$,符合规范要求;计算预制桩的抗倾覆稳定系数 $K_s=2.8\geq 1.20$,满足规范抗倾覆要求;利用公式 $P_s\leq E_p$ 对站前沟基坑内侧的土反力进行验算,进一步验证预制桩埋设段的稳定性,土反力也符合要求。

3 施工困难及措施

3.1 预制桩与地下管线和既有建筑物的衔接

在城市河道护砌工程中,预制桩的设计与施工必须充分考虑与地下管线和既有建筑物的协调。根据管线、桥梁产权单位的要求,在满足既有建筑物使用功能的前提下,对排水管涵、电缆通信管线等设施采用局部防护设计。在河道中经过排水管涵和电缆通信管线的区域,通过扩大护岸基础、采用钢筋混凝土直墙的形式进行支护;对原有排水管涵长度不足的情况,通过续接相同管径的钢管与直墙护岸进行相接,确保整体结构的完整性和功能性。

波浪型预制桩与既有桥梁、道路处衔接采用 C30 素混凝土挡墙或 M10 浆砌石挡墙(基础厚度不低于 500 mm)进行防护,坡率与现有构(建)筑物自然顺接。同时,波浪型预制桩与既有建筑物的衔接施工需统筹结构安全、环境保护与施工效率。将既有建筑物附近的波浪型预制桩施工区域划分为衔接区和过渡区,优先施工过渡区,逐步向建筑物方向推进。在建筑物周边设置沉降、位移监测点,通过精细化施工流程、严格的监测控制及针对性的保护措施,可实现波浪型预制桩与建筑物的稳固衔接。

3.2 站前沟复杂地层的加固处理

站前沟河道有长约 300 m 的河段在预制桩施工中发生土体液化的情况,桩身出现沉降、倾斜等现象,致使现场无法继续进行施工。

根据前期地勘报告显示,该段地层地质从上而下依次为:砂壤土、壤土、砂壤土、黏土,现场地质与地勘地质基本相符。根据实际地质条件、设

计标准及施工工期要求,采用土体注浆和波浪型预制桩加固齿墙对复杂地层进行加固,增强土体密实度及其承载,确保预制桩的施工质量。

1)土体加固注浆。采用水泥净浆由地面向下钻孔至设计深度后进行注浆,注浆顶标高为河床底 1 m,加固深度为 7 m,加固宽度为 3.0 m,加固长度沿预制桩线性方向长度,钻孔孔径 150 mm,注浆孔按 1.5 m×1.5 m 的间距呈梅花形布置;根据以往施工经验和《注浆技术规程》(YS/T 5211—2018),扩散半径为 1.5 m,浆液填充系数为 0.4~0.6,孔隙比为 0.7,即孔隙率为 0.41,浆液注入率为 15%~20%,计算得每延米水泥用量约为 165~267 kg。根据现场实际地质进行调整,确保达到土体加固效果,保证桩身稳定性。

2) 预制桩齿墙加固。待河道清淤疏浚完成后,在河槽底两侧连续施做混凝土齿墙,防止桩体位移及基地隆起;加固齿墙采用 C30 混凝土,尺寸为厚 0.8 m、宽 0.5 m。

3.3 预制桩反滤层设计

根据原设计,预制桩后方铺设土工布并加厚度不小于 100 mm 中粗砂反滤层防止水土流失,其中回填深度 3.5 m,回填厚度不小于 100 mm。但在实际施工中发现,采用传统砂石反滤层施工具有以下问题:1)该工程首先完成了垂直打入预制桩的施工,受施工机械限制,桩后反滤层施工无法按照逐层填筑、逐层压实的工法施工,导致桩后反滤层施工困难、质量难以保证;2)波浪型预制桩相互咬合为 S 型,若采用砂石刚性回填材料,无法与预制桩桩体凹槽处紧密贴合,且预制桩背后施工空间狭小,难以进行反滤层填筑和压实,导致桩后存在空洞或压缩变形量过大,影

响预制桩正常受力和功能作用;3) 中粗砂回填过程中对土工布易造成损坏,致使反滤层功能失效。

在满足设计要求的前提下,根据现场实际情况,将工程中粗砂反滤层调整为采用 PFF(Poly-meric Fiber Filter) 整体式复合反滤层进行施工。PFF 整体式复合反滤层作为一种新型的过滤材料,具有较多适合桩后施工的优点:1)复合反滤层为柔性材料,土工布与反滤层能够与桩体紧密贴合,确保回填质量;2)采用独特的三层复合结构,具有高孔隙率和优良的渗透性能,能够迅速将水排出,在使用过程中不会出现堵塞和淤积现象,有效防止土壤和填料的流失;3)过滤层采用高强度、高耐磨性、抗腐蚀的合成纤维材料,保证了过滤层的稳定性和耐久性,使其能在复杂的水环境下长期、稳定工作;4)复合反滤层采用整体式设计,可以通过各种施工设备进行立面铺设和安装,提高了施工效率和质量,缩短工程周期并保证施工安全。

3.4 预制桩顶栏杆设计

在预制桩护岸上增设栏杆时,必须综合考虑安全性、美观性及施工的可行性。依据现场环境的具体要求和实际情况,设计栏杆的样式、高度、材料等,确保与周围环境协调,并符合安全标准。站前沟中的预制桩护岸顶高程位于河底以上 3.5 m,为确保行人安全,需在护岸两侧设置栏杆,其高度不应低于 1.1~1.2 m。

栏杆材料的选择直接影响其安全性、耐久性 & 美观度,符合设计要求的栏杆材料有石材栏杆、木质栏杆及不锈钢栏杆等。对工程准备采用的栏杆型式进行比选,详情见表 1。(下转第 8 页)

表 1 栏杆型式比选表

方案	石材栏杆	木质栏杆	不锈钢栏杆
优点	1.天然石材质感较好,易于加工成各种复杂的造型,提升整体环境的美观度 2.石材具有极高的耐久性,无需频繁保养,耐腐蚀耐晒	1.天然木纹质感温馨,造型美观,与自然环境和諧融合 2.重量轻,安装过程简单快速	1.304 不锈钢等材质抗腐蚀性强,无需涂层,长期户外使用不易生锈 2.为模块化组装,无需现场焊接,施工效率高,维护成本低
缺点	1.石材采购、加工及运输费用较高,预算需求大 2.立柱和扶手较厚重,可能占用较多空间,不适合狭窄道路	1.耐腐蚀性和抗变形能力较弱,容易腐朽、开裂 2.需要日常保养维护	1.缺乏天然材料的质感,美观性稍差 2.可能出现局部锈蚀风险
施工要求	需要提前确定栏杆样式,在预制桩冠梁浇筑时预埋构件		
造价	600 元·m ⁻¹	200 元·m ⁻¹	150 元·m ⁻¹