



呼吸型装配式生态驳岸 在某航道整治工程中的应用

靳付成，顾宽海，胡周洲

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司，上海 200032)

摘要：针对传统驳岸功能性强而生态性弱、驳岸前后的物质能量交换被阻隔，难以适应新时期绿色生态航道建设需求的问题，本文以上海油墩港航道整治工程为例，通过对建设条件、工程特点以及生态驳岸理念的研究和分析，提出呼吸型装配式生态驳岸结构，总结了生态性、亲水性、节点连接以及计算方法等设计技术，为建设更快、更好的绿色航道提供参考。

关键词：呼吸型；装配式；生态驳岸；装配式驳岸

中图分类号：U 656

文献标志码：A

文章编号：1002-4972(2023)05-0111-07

Application of respiratory-type prefabricated ecological revetment in a channel regulation project

JIN Fucheng, GU Kuanhai, HU Zhouzhou

(CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: Traditional revetment has a strong function but weak ecology, and the material and energy exchange before and after revetment is blocked, so it is difficult to meet the needs of green and ecological channel construction in the new era. In view of this problem, this paper takes the channel regulation project of Youdun Port in Shanghai as an example and analyzes the construction conditions, engineering characteristics, and ecological revetment concept. In addition, the paper puts forward a respiration-type prefabricated ecological revetment structure and summarizes technologies such as ecology design, hydrophilicity design, and joint connection design, as well as calculation method, so as to provide a reference for the construction of a faster and better green channel.

Keywords: respiration-type structure; prefabricated structure; ecological revetment; prefabricated revetment

驳岸是航道水域与陆域的交际线，对航道的基本功能、水体质量和景观美感均有一定的影响。传统驳岸强调航运、防汛、防洪等功能性，大多采用浆砌或干砌块石、现浇或预制混凝土等刚性材料，忽略了驳岸的生态性。

随着经济的发展、人们日益增长的美好生活需要、生态保护意识的提升、新材料和新技术的发展，生态、绿色航道建设也提上日程，生态型装配式驳岸越来越受关注。丁永和等^[1]提出了植

被护坡和空心方块+生态混凝土护坡等多种生态驳岸；葛红群^[2]提出生态鱼巢和生态芦苇护坡；朱红亮等^[3]提出装配式钢筋混凝土空箱结构护岸；顾宽海等^[4]提出了节能环保的装配式护岸；杨有军等^[5]提出箱型装配式护岸；杨帆等^[6]提出了多层预制箱型装配式护岸结构。综上，现有研究成果生态性主要集中在植被绿化和驳岸亲水性方面，挡墙前后方水体和物质能量仍被阻隔，并未实现真正意义上的“生态驳岸”^[7-10]，对呼吸型装配式

收稿日期：2022-11-15

作者简介：靳付成（1978—），男，硕士，高级工程师，从事港口航道工程的设计与研究工作。

桩基承台驳岸研究较少。

本文以上海油墩港航道整治工程为例,结合工程特点以及对生态驳岸的理解,提出呼吸型装配式生态驳岸结构,分析研究装配式生态驳岸生态性、亲水性、节点连接以及计算方法等设计技术,更快、更好地建设绿色生态航道,为类似工程提供参考。

1 工程案例

1.1 工程概况

油墩港是“一环十射”高等级航道网中“一环”的重要航段,连接苏申内港线(吴淞江)和黄浦江(横潦泾),全长36.47 km,工程近期按IV级内河航道标准进行整治,远期兼顾90 TEU内河集装箱船的通航。其建设对上海国际航运中心集疏运体系的构建以及上海综合立体交通系统的完善具有重要的意义。

1.2 地质及水文

1) 根据勘察成果,本工程区域内揭示的土层从上到下依次为:①₀ 杂填土、①₁ 素填土、①₂ 淤泥、②₁ 褐黄-蓝灰色粉质黏土、③₁ 灰色淤泥质粉质黏土、③₂ 灰色砂质粉土、③₃ 灰色粉质黏土、⑥₁ 暗绿-草黄色粉质黏土、⑥₂ 灰黄色砂质粉土、⑥₃ 灰色粉质黏土、⑥₄ 草黄色粉质黏土、⑦₁ 灰色砂质粉土、⑦₂ 灰色粉砂、⑧₁ 灰色粉质黏土、⑧₂₋₁ 灰色粉砂、⑧₂₋₂ 灰色粉质黏土夹粉土、⑨₁ 青灰色粉砂。驳岸若采用重力式挡墙结构,基底坐落在③₁ 层,该土层地基承载力特征值为50 kPa,不满足要求,且容易发生不均匀沉降,需采取地基处理措施。

2) 设计最高通航水位3.60 m;设计最低通航水位2.20 m;内河常水位2.30~2.80 m;预降最低水位1.80 m。

1.3 工程特点

1) 油墩港横贯青浦和松江两区,随着青浦、松江等地新城开发的逐步完成,油墩港的作用越

来越重要,因此航道整治不仅要满足航运、防洪排涝等传统要求,而且要将航道建设成为“岸绿、水清、流畅、人水和谐”的生态廊道、遗产廊道、绿色休闲廊道^[1]。

2) 油墩港南北两端分别建有油墩港枢纽与东大盈枢纽,属于闸控河道,内河水位基本低于现状地面,可以根据气象预报提前调控。

2 结构总体方案

2.1 呼吸型生态驳岸定义及特点

呼吸型生态驳岸是指恢复后的自然河岸或具有自然河岸可渗透性的人工护岸。它拥有渗透性的自然河床与河岸基底,丰富的河流地貌,可充分保证河岸与河流水体之间的物质能量交换,维系、保护着物种的多样性及种群密度和生物生产率,同时具有一定抗洪、排涝的强度,是一种真正呼吸型的生态驳岸。

2.2 结构方案

根据工程特点,驳岸平面布置原则上按照航道规划蓝线实施,驳岸结构尽量采用生态性、景观性好的结构,尤其有条件时优先采用生态型装配式驳岸结构。根据该设计思路,经充分比选,提出采用呼吸型装配式生态驳岸结构—桩基承台上的阶梯形空心方块挡墙结构,结构由上部挡墙和下部桩基承台2部分组成,上部挡墙采用3层台阶形空心方块,其中顶层空心方块宽1.10 m,高1.26 m;中层空心方块宽2.05 m,高0.83 m;底层空心方块宽2.80 m,高0.83 m;空心方块下方布置钢筋混凝土基础底板,厚0.50 m、宽3.70 m、底高程0.90 m,底板顶前后沿设置挡坎,其顶高程1.50 m;桩基采用两排300 mm×300 mm方桩,桩长均为13.0 m,前排桩基间距1.2 m,后排桩基间距1.6 m;预制底板通过预留孔与桩基连接。挡墙后与防汛通道的地坪放坡顺接;墙前泥面高程按1.50 m考虑,并以边坡1:3接至航道底边线,结构断面见图1。

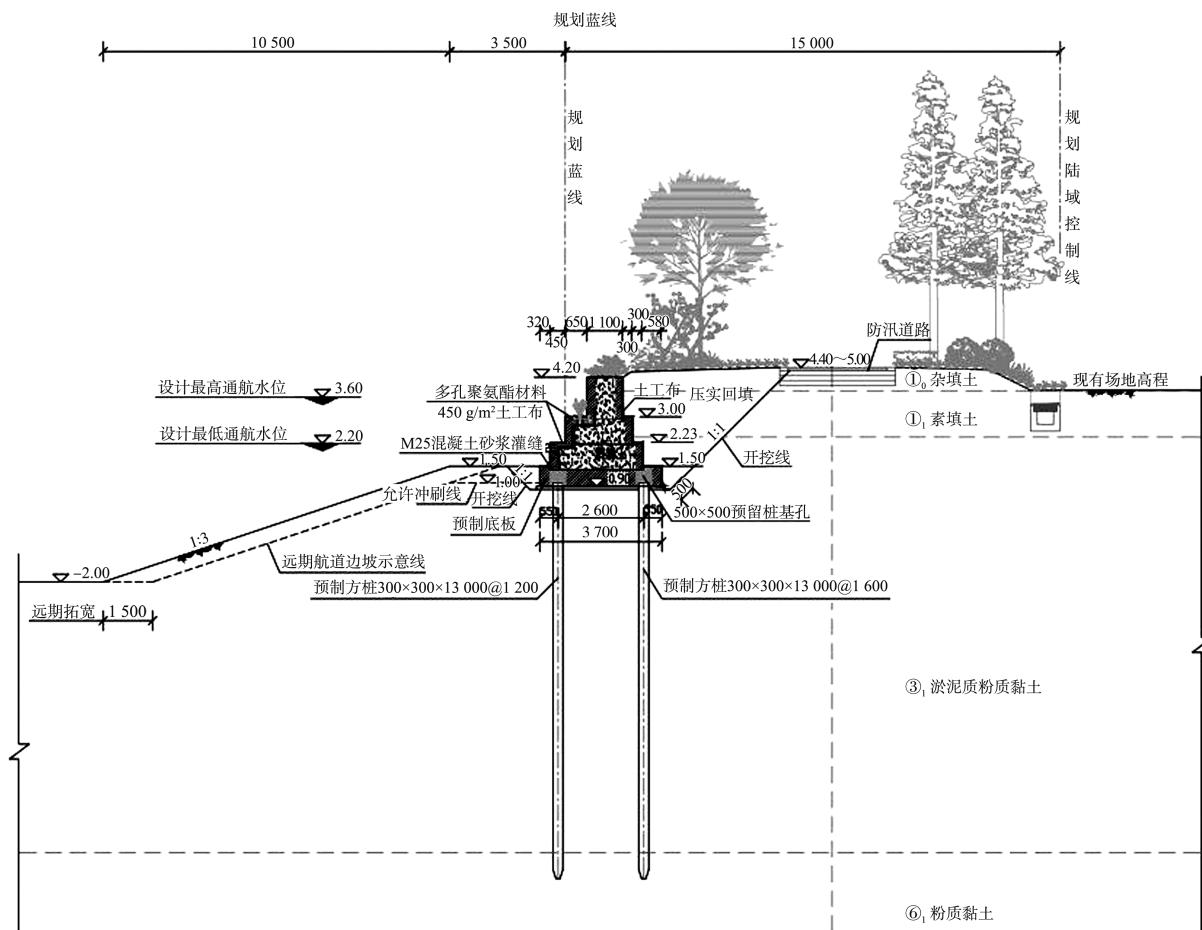


图1 常规生态驳岸结构断面(高程: m; 尺寸: mm)

2.3 完全装配式

装配式驳岸中预制构件的运输、安装极为关键, 为顺利实现全装配式, 设计充分考虑其影响因素, 采取以下措施:

- 1) 桩基: 采用常规的预制混凝土方桩, 可场内预制或市场采购。

- 2) 承台底板: 根据起吊经验, 陆上吊装控制10 t以内, 水上吊装控制30 t以内较为合适。本

次承台底板沿驳岸轴线方向分成4.5 m一个标准段, 质量约22 t/块。

- 3) 空心方块: 将空心方块分为3层, 从下到上高度分别为0.83、0.83、1.26 m; 为方便起吊, 将空心方块沿驳岸轴线方向分成约3 m一个标准段, 下层方块质量约5.90 t, 中层方块质量约4.98 t, 上层方块质量约5.67 t, 空心方块三维模型见图2。

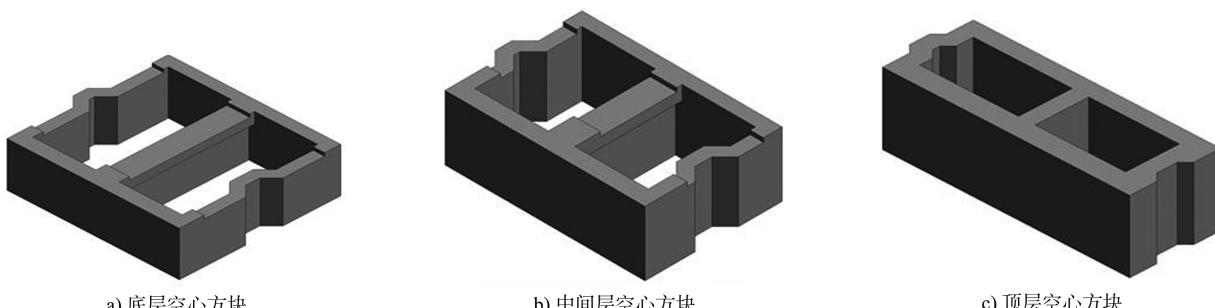


图2 预制空心方块三维模型

3 设计方案

3.1 生态性设计

驳岸的生态性设计是新时期驳岸结构设计的重点，对于以往常规驳岸设计，水系到陆域的生态性主要通过植被来实现，依次为水草→藤蔓植物→护坡草皮→灌木→乔木，表面上生态性较好，实际驳岸割裂了挡墙前后方水体和物质能量交换。本工程采用阶梯形空心方块结构的墙身^[12]，不仅在空心方块台阶处布置亲水植物，增加生态景观效果，而且水体可通过台阶界面处与后方陆域连通，实现物质与能量交换，形成驳岸局部的生态圈。植被可从驳岸本体生长，使驳岸与植被融为一体，结合水系至陆域植被过渡，整个驳岸与生态系统有机结合，实现生态驳岸的目标。其中，设计要求前方台阶宽度 ≥ 500 mm，为植物生长提供空间；后方台阶宽度 ≥ 300 mm，以保证水体等物质能量交换通道的畅通，断面见图1。

3.2 亲水性设计

3.2.1 亲水型生态驳岸设计

根据景观布置要求，并结合规划及工程周边实

际情况，目前驳岸采用3层阶梯形空心方块结构墙身，生态性较好，但亲水性一般。为增加驳岸亲水性，结合工程常水位2.3~2.8m，取消顶层空心方块，将驳岸顶高程降至3.0m，以满足规范要求，即根据DG/TJ 08-2116—2020《内河航道工程设计标准》8.3.2节规定要求，当需要兼顾生态和景观要求时，驳岸结构顶高程不应低于常水位（高值）或高潮累计频率10%的潮位以上0.1~0.5m，且在驳岸前沿后方1.0m范围内应设置能明确引导船舶航行的警示设施，其顶高程不应低于设计最高通航水位以上0.1~0.5m。在后方增设二级挡墙和生态砌块护坡，形成局部弯曲的景观造型和亲水效果，并在一、二级挡墙之间局部设置景观栈桥和平台，增加驳岸亲水性和休闲性，整体呈现绿色、生态、自然的滨水景观。将驳岸顶高程降至3.0m，并在驳岸前沿设置警示桩，桩顶高程不低于3.7m，兼顾生态性、景观性并满足通航安全要求，见图3。

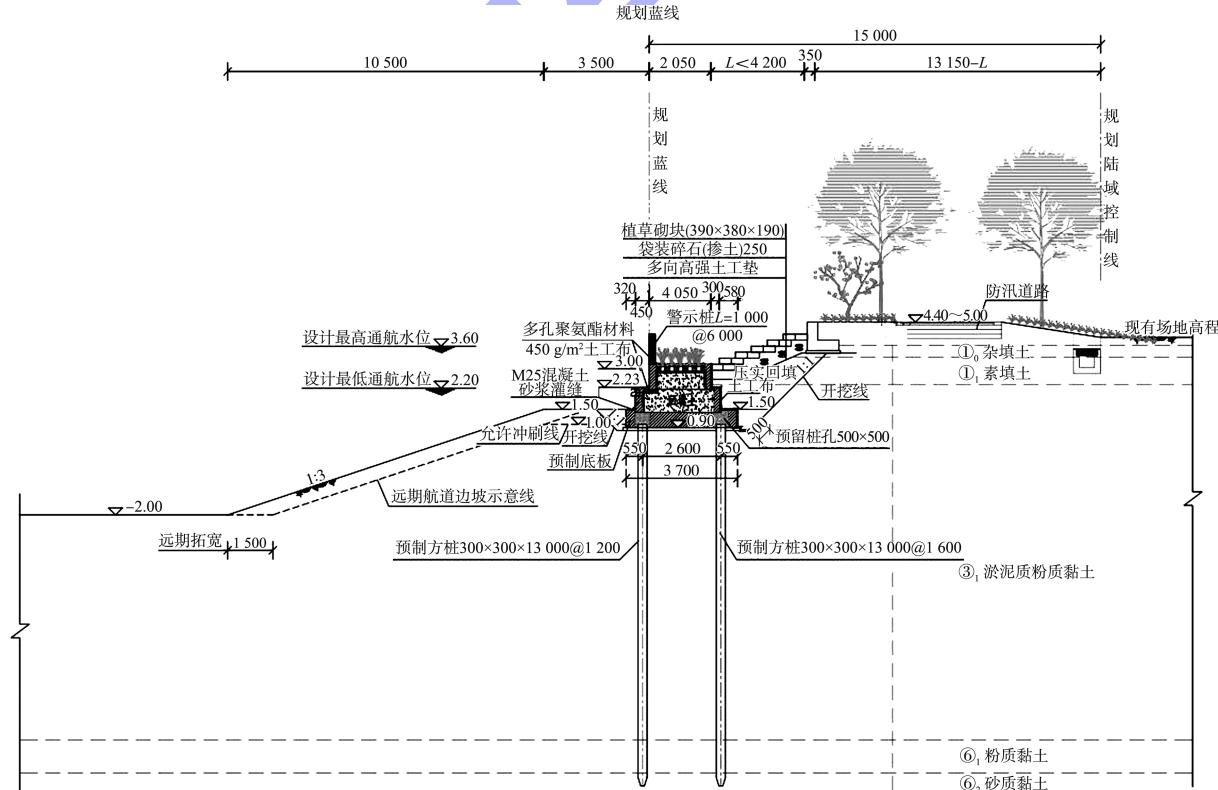


图3 亲水型生态驳岸结构断面 (高程: m; 尺寸: mm)

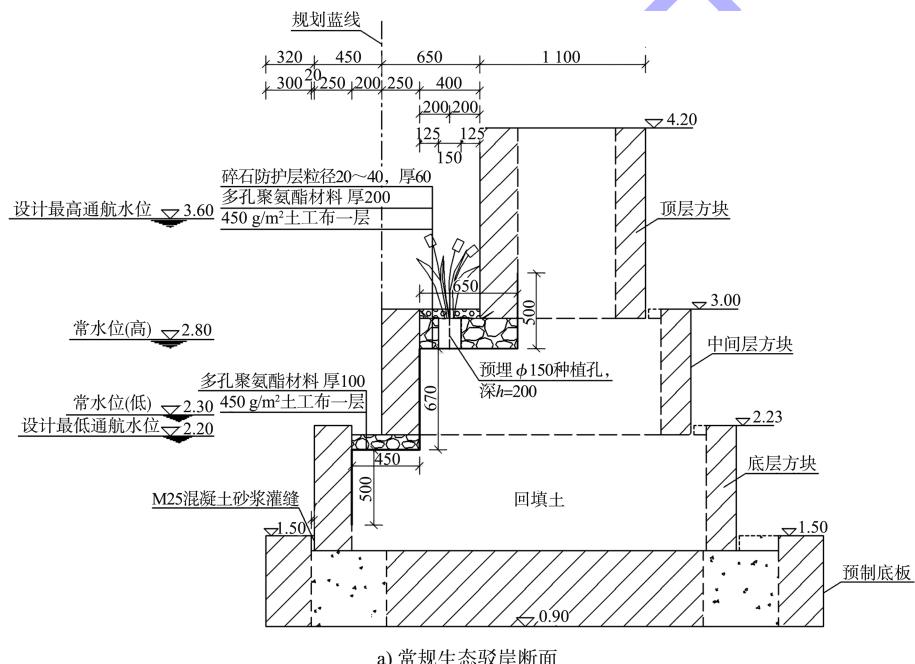
3.2.2 抗船行波构造措施

该航段为Ⅳ级通航航道, 计算船行波高约0.39 m, 对驳岸及水中植物有一定的冲刷作用, 因此设计时需考虑船行波对驳岸的冲刷以及对水中植被的影响。在位于水位变动区的中间层方块前沿植草区域或亲水型驳岸顶层方块内设置带预留孔的聚氨酯生态护面, 护面厚200 mm, 预留孔直径150 mm。同时, 为保证物质能量交换通道畅通等功能, 护面内有孔隙, 要求孔隙率 $\geq 35\%$ 。孔内种植方法是将预先培育的植株移栽至预留孔, 植物及其根系可以在预留孔及护面结构孔隙之间生长; 为防

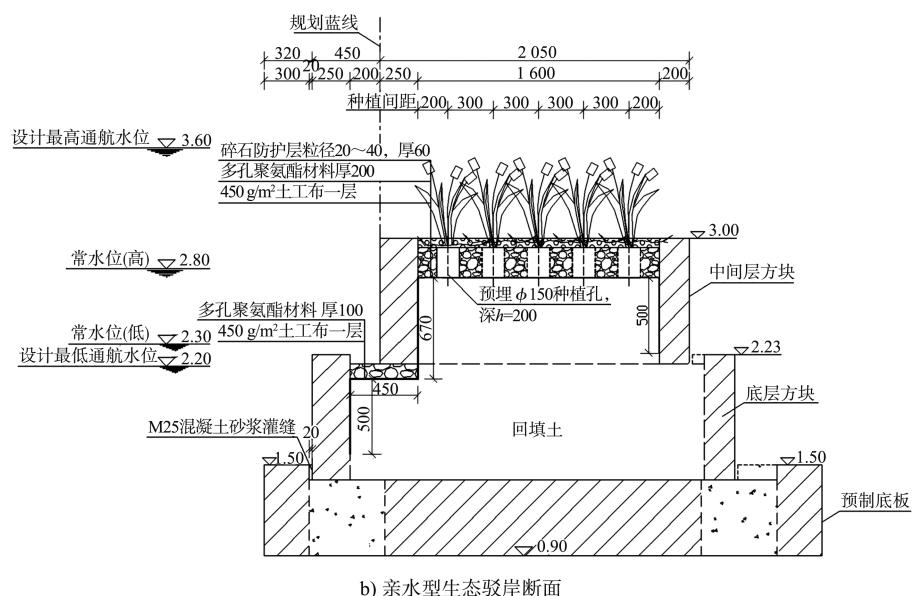
止预留孔内土体冲刷, 在预留孔上方铺设厚60 mm的碎石进行防护, 见图4a)、b)。植物移植与驳岸结构同步实施, 待植物成活后再拆除临时施工围堰。

3.2.3 植被选择和布置

植物品种的选择是影响水生植物成活的关键因素, 需选择亲水性好、适应水中生长, 且根系比较发达、生命力较强的植物作为亲水性植被, 经比选, 本工程选择旱伞草、黄菖蒲和千屈菜等, 植株间距约300 mm, 平面布置见图4c)、d)。为保证植物成活率, 首先在先行段进行试验, 成功后进行全航段推广。



a) 常规生态驳岸断面



b) 亲水型生态驳岸断面

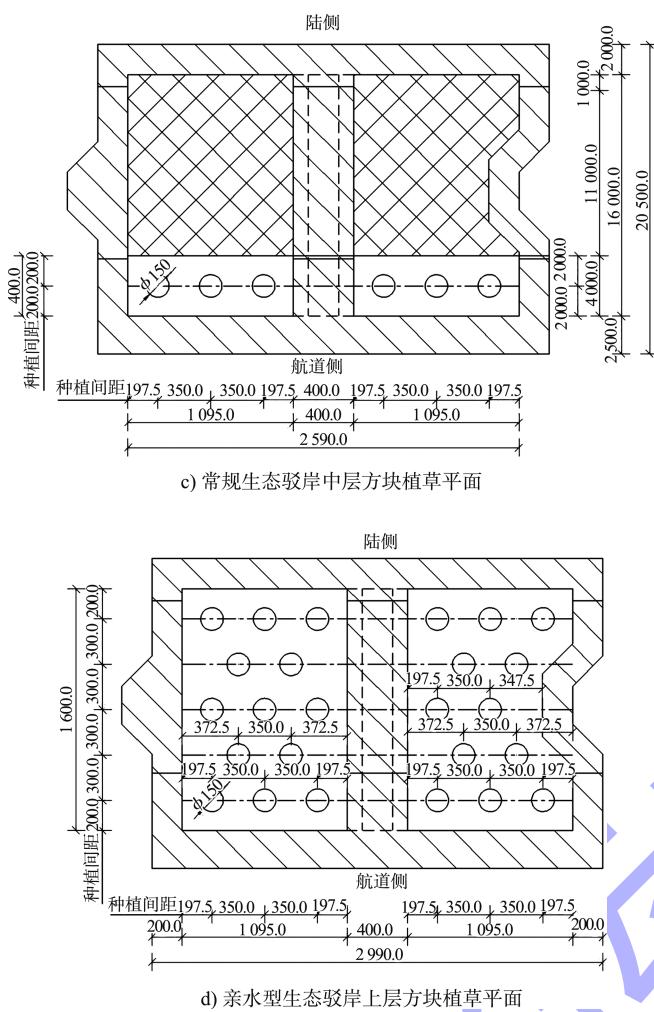


图 4 植被种植平、剖面 (高程: m; 尺寸: mm)

3.3 结构节点设计

1) 桩基与底板的连接。目前常规装配式驳岸大多采用无桩基的重力式预制构件, 或桩基承台现浇的重力式结构, 因此桩基与预制承台底板的连接是装配式承台结构设计的关键。

呼吸型装配式生态驳岸结构为全装配式, 桩基和预制底板采用连接孔连接。设计时考虑在预制底板上预留桩孔, 预制桩和底板之间采用湿接头连接, 即通过底板预留桩孔和桩头连接筋进行现场浇筑连接(图 5), 后浇混凝土可采用微膨胀混凝土。考虑制桩误差、规范允许施工打桩偏位及实际施工情况, 桩预留孔取 $B+200$ mm(B 为边长)。

2) 底板与底层空心方块之间的构造措施。在确保断面整体及各层方块之间抗倾、抗滑稳定满

足规范要求的前提下, 在底板顶面前后沿均设置挡坎等构造措施。挡坎高 100 mm、宽 300 mm, 尺度可根据需要进行调整。

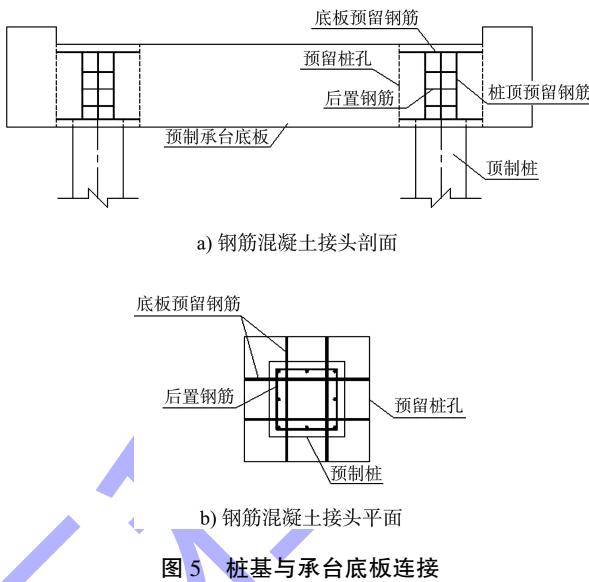


图 5 桩基与承台底板连接

3) 空心方块之间的连接。同一层空心方块之间水平方向进行限位设置梯形凹凸槽, 凹槽顶宽 250 mm, 底宽 650 mm, 深 200 mm; 凸出部分顶宽 250 mm, 底宽 630 mm, 高 195 mm; 空心方块层与层之间前后沿均设置挡坎, 挡坎高 60 mm。

4) 防止水土流失的措施。方块内回填土之前需铺设土工布, 在满足水体、物质能量交换的呼吸型生态驳岸的前提下, 防止土颗粒流失; 墙后铺设土工布, 防止土颗粒从方块接缝处流失。土工布布置见图 1。

4 驳岸结构计算

呼吸型装配式生态驳岸结构属于低桩承台结构, 其整体计算与以往驳岸结构计算方法区别较小, 上部结构类似于重力式方块码头的计算方法。

驳岸上下层空心方块间的稳定主要依靠填料的摩擦作用和挡坎的阻碍作用, 但由于空心方块内和方块后方位置较小, 大型机械不易操作, 尤其是紧靠墙背的范围内, 往往需要小型机械进行压实或人工夯实, 压实度难以控制。为提高驳岸的结构安全, 稳定性计算时回填土质量、黏聚力和内摩擦角均按 0.8, 方块层与层之间的摩擦力按 0.8 折减, 以确保结构安全。

4.1 整体稳定计算

岸坡整体稳定根据 JTS 147—2017《水运工程地基设计规范》第 6.3.2 条计算, 滑动面按瑞典圆弧滑动法, 计算软件采用“水运工程地基 CAD V1.0”, 计算结果见表 1。可知驳岸的整体稳定满足要求。

表 1 驳岸整体稳定计算成果

组合工况	最小抗力分项系数	允许限值
持久	1.35	1.30
地震	1.28	1.05
水位骤降	1.38	1.15
施工	1.22	1.15

4.2 驳岸结构计算

驳岸计算依据 JTS 1167—2018《码头结构设计规范》的相关规定和研究结论^[13], 采用“水工挡土墙结构分析软件”进行计算, 计算结果见表 2、3。驳岸的结构计算满足要求。

表 2 驳岸计算成果

荷载组合	工况	桩基			底板最大弯矩/(kN·m)
		最大轴力/kN	最大弯矩/(kN·m)	桩顶位移/mm	
承载能力极限状态持久组合	持久	112.6	54.4	—	56.1
承载能力极限状态短暂组合	骤降	111.4	54.6	—	75.0
承载能力极限状态地震组合	施工	169.2	66.3	—	88.1
正常使用极限状态准永久组合	地震	79.7	24.4	—	36.8
	持久	86.9	41.2	1.35	42.1

表 3 各层空心方块抗倾抗滑计算结果

方块位置	抗滑力/kN	滑动力/kN	稳定力矩/(kN·m)	倾覆力矩/(kN·m)
顶层	8.94	2.89	6.05	0.85
中层	25.45	7.61	35.96	5.58
底层	45.80	11.81	85.74	13.35

5 结论

1) 根据航道工程景观建设高要求和闸控河段的特点, 结合驳岸生态性的理念, 适宜采用呼吸型装配式生态驳岸。

2) 针对呼吸型装配式生态驳岸结构的生态性、亲水性、节点连接等设计技术进行研究, 解决航道工程景观生态要求高的技术难题, 丰富了生态驳岸建设方案, 可为类似工程提供设计思路和方向。

3) 为提高驳岸结构的安全性, 提出对回填料质量、黏聚力、内摩擦角及方块层间的摩擦力进行折减的建议, 其计算方法可供类似工程参考。

参考文献:

- [1] 丁永和, 罗业辉, 刘晓飞, 等. 生态设计理念在盐河航道中的应用和研究[J]. 水运工程, 2011(S1): 151-156.
- [2] 葛红群. 京杭运河扬州段生态护岸设计[J]. 水运工程, 2010(5): 75-78.
- [3] 朱红亮, 沈旭鸿. 工业化装配式技术在内河航道重力式护岸中的应用[J]. 中国水运(下半月), 2016, 16(4): 252-253, 257.
- [4] 顾宽海, 陈浩群, 张逸帆, 等. 装配式低桩承台护岸结构设计[J]. 水运工程, 2018(12): 186-192.
- [5] 杨有军, 曹定维, 王鹏, 等. 工业化箱型装配式护岸生态性分析研究[J]. 中国水运(下半月), 2020, 20 (10): 84-85.
- [6] 杨帆, 郑洁. 浅谈多层预制箱型装配式护岸结构设计[J]. 中国水运(下半月), 2021, 21(9): 97-98.
- [7] 严登华, 窦鹏, 崔保山, 等. 内河生态航道建设理论框架及关键问题[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2018, 54(6): 755-763.
- [8] 汪洋, 周明耀, 赵瑞龙, 等. 城镇河道生态护坡技术的研究现状与展望[J]. 中国水土保持科学, 2005(1): 88-92.
- [9] 赵东华, 陈虹. 从欧洲内河航道生态化建设理念谈我国内河航道生态护岸设计思路[C] //中国海洋工程学会. 第十四届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集(下册). 北京: 海洋出版社, 2009: 285-291.
- [10] 张文杰. 城市河道生态护岸技术研究现状与展望[J]. 价值工程, 2011, 30(28): 323-324.
- [11] 顾宽海, 周松泽, 宋凡. 平原地区某内河生态航道整治工程设计要点[J]. 水运工程, 2020(12): 147-154.
- [12] 顾宽海, 年经生, 陆敏, 等. 一种适用于软土地基的装配式生态驳岸结构: CN201822100258. 5 [P]. 2019-11-22.
- [13] 顾宽海, 汪涛, 陈明阳, 等. 装配式重力式混凝土护岸结构的设计及施工[J]. 水运工程, 2021(6): 6-12, 19.

(本文编辑 赵娟)