



## 某航道重力式护岸结构经济性选型分析

韩莹莹, 董霞

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

**摘要:** 素混凝土重力式护岸和钢筋混凝土扶壁式护岸均为内河限制性航道常用的直立护岸结构, 当两者用于直立护岸结构比选时, 除了平面布置、结构稳定分析和现场施工方案等方面, 工程造价也是影响航道护岸结构设计选择的关键因素。为了选择更经济的航道直立护岸, 结合工程案例, 分析自然条件、使用要求和施工条件等对工程造价的影响。结果表明: 当现浇混凝土主要成分如水泥、碎石、砂来源丰富且价格较低时, 选择素混凝土重力式护岸具有造价较低的优势; 当护岸结构较高、混凝土用量大, 钢筋价格较低时, 可优先考虑选择钢筋混凝土扶壁式护岸结构。

**关键词:** 重力式护岸; 造价分析; 方案比选

中图分类号: U61

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)12-0192-05

### Economic selection of gravity revetment structure for a channel

HAN Yingying, DONG Xia

(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

**Abstract:** Concrete gravity revetment and reinforced concrete buttress revetment are both commonly used vertical revetment structures in restricted inland waterways. When the two are used for vertical revetment structure comparison, in addition to the plane layout, structural stability analysis and site construction scheme, the project cost is also an important factor affecting the selection of waterway revetment structure design scheme. To select a more economical vertical revetment, this paper analyzes the influence of natural conditions, use requirements and construction conditions on project cost by combining with engineering cases. The results show that when the main components of cast-in-place concrete such as cement, gravel and sand are rich in sources and low in price, the selection of concrete gravity revetment has the advantage of low cost. When the revetment structure is high, the amount of concrete used is large, and the price of steel is low, the reinforced concrete buttress revetment structure can be given priority.

**Keywords:** gravity revetment; cost analysis; scheme comparison

对于内河限制性航道, 岸坡破坏的主要因素为船舶航行产生的船行波淘刷、船舶的撞击, 以及水流的冲刷、雨水侵蚀等, 为防止岸坡遭受破坏, 有必要按照航道等级标准拓宽和浚深整治后设置护岸和护坡, 其主要目的是有效保护两岸设施, 维护航道水深, 增强航道沿线水土保持功能,

减少航道维护费用<sup>[1]</sup>。护岸结构选择需考虑生态性、安全可靠、自然条件、使用要求以及施工条件, 且护岸布置必须因地制宜, 既要保护岸坡、减小土地损失, 又要经济合理、方便施工, 尽量少征地、少拆迁, 保持原有生态环境。

目前关于航道护岸结构的比选主要集中在平

收稿日期: 2024-03-04

作者简介: 韩莹莹 (1984—), 女, 硕士, 高级工程师, 从事水工设计及造价工作。

面布置、结构稳定分析和现场施工方案等, 专门针对护岸结构造价的分析较少, 在航道整治的过程中, 需要考虑航道改造的成本, 其造价也是影响航道护岸结构设计选择的关键因素。本文以某内河航道整治工程为例, 综合自然条件、使用要求和施工条件, 分析工程造价因素对航道护岸结构设计选择的影响, 从而选择更为经济的护岸结构施工方案。

## 1 工程设计条件

### 1.1 设计标准

该河段整治前航道条件较差, 水深 1.1~1.3 m、底宽 7.0~13.5 m、弯曲半径 160 m, 航道狭窄多弯, 且常水位时河宽不足 50 m, 航道里程 9.2 km。

根据省级干线航道网规划, 该航道按Ⅲ级标准进行建设。航道底宽不小于 45 m, 最小通航水深 3.2 m, 航道弯曲半径不小于 480 m, 航道口宽不小于 70 m<sup>[1]</sup>。航道两侧护岸基本沿河岸布置, 遇交叉河口断开, 且充分利用已建护岸, 节省工程投资。

### 1.2 设计水位

该段航道设计最高通航水位采用洪水重现期 20 a 一遇水位; 设计最低通航水位采用保证率频率法, 年保证率 98%, 重现期为 4 a 一遇。防洪水位采用洪水重现期 50 a 一遇洪水位。高程采用吴淞零点, 设计水位见表 1。根据设计通航水位、设计船舶、船行波的影响及防洪等综合因素, 确定护岸的顶高程为 6.50 m, 防洪堤顶高程为 8.50 m。

表 1 航道水位

| 防洪水位/m    | 最高通航水位/m  | 最低通航水位/m | 常水位/m |
|-----------|-----------|----------|-------|
| 6.90~6.60 | 6.00~5.70 | 2.72     | 3.20  |

### 1.3 工程地质

该航道所在区域地貌属构造剥蚀低山丘陵和

湖沼平原。航道整治拟建的护岸结构区段土层自上而下为: 填土、黏土、粉土、淤泥质粉质黏土、粉质黏土。航道护岸结构主要坐落于粉土和粉质黏土, 容许地基承载力分别为 100 和 130 kPa, 可作为一种持力层使用, 无需进行地基处理。

### 1.4 设计荷载

墙后地面均载  $q = 3.5 \text{ kPa}$ ; 防洪大堤顶面均载  $q = 5.0 \text{ kPa}$ 。

### 1.5 地震

抗震设防烈度为 7 度, 设计基本地震加速度值为 0.10g, 设计地震分组为第 1 组。

## 2 设计方案

航道护岸工程以维护航道开挖土坡的稳定、维护航道的水深、保护土地资源为出发点。本航道河面较窄, 水位变幅较大, 两岸设有防洪堤, 护岸工程建设将影响两岸地区的防洪安全, 因此采用半直立式护岸。航道整治采用双边拓宽, 根据自然条件和使用要求, 对素混凝土重力式护岸结构和钢筋混凝土扶壁式护岸结构进行比选。

### 2.1 素混凝土重力式结构

素混凝土重力式护岸结构段长 10 m, 护岸结构顶高程 6.50 m, 墙身高 5.08 m, 墙身和底板均采用 C25 现浇素混凝土, 底板宽 6.50 m、厚 0.50 m, 底板设前趾, 底板下设 10 cm 厚 C15 素混凝土垫层<sup>[2]</sup>。墙身设 3 道横向 PVC 排水管, 墙前采用 C15 混凝土灌砌块石护脚, 墙顶平台宽 2.50 m, 平台以 1:2.5 边坡接至防洪大堤堤顶, 堤顶高程 7.20 m、堤宽 6 m。堤顶采用 20 cm 厚泥结碎石路面, 下设 30 cm 石灰土垫层(石灰 8%), 大堤背水侧以 1:2.5 边坡接至原地面。大堤迎水面采用草皮固土护坡。结构断面见图 1。

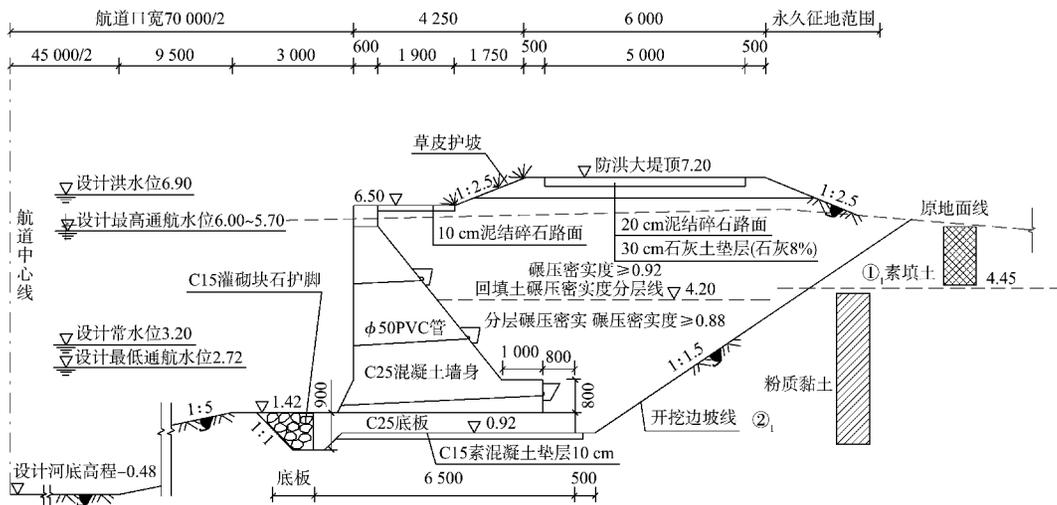


图1 素混凝土重力式结构断面 (高程: m; 尺寸: mm)

### 2.2 钢筋混凝土扶壁式结构

钢筋混凝土扶壁式护岸结构段长 12.0 m, 采用现浇 C30 钢筋混凝土, 顶高程 6.50 m。其中立板厚 0.50 m、高 5.08 m; 底板厚 0.50 m、宽 7.00 m, 底板设前趾, 底板下设 10 cm 厚 C15 素混凝土垫层; 肋板高 4.08 m、厚 0.50 m, 结构段中两肋板间净距为 4.00 m。墙身设 3 排横向  $\phi 50$  mm PVC 排

水管, 墙前采用 C15 混凝土灌砌块石护脚, 墙顶平台宽 2.50 m, 设置 10 cm 厚泥结碎石路面, 平台后以 1:2.5 边坡接至大堤堤顶, 堤顶高程 7.20 m, 堤顶宽 6 m, 为泥结碎石路面, 厚 20 cm, 路面下设 30 cm 石灰土垫层 (石灰 8%), 大堤背水侧以 1:2.5 的边坡与原地面相连。结构断面见图 2。

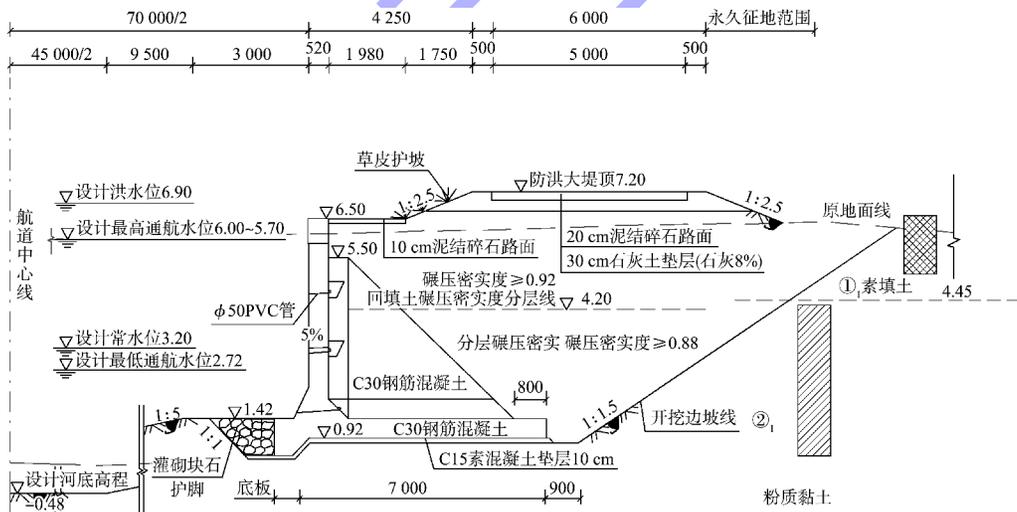


图2 钢筋混凝土扶壁式结构断面 (高程: m; 尺寸: mm)

### 3 施工造价

工程位于长三角区域, 集疏运条件优越, 航道整治所需的主要建筑材料包括砂石料、水泥、钢材等, 可就近组织货源或通过便捷的公路、水

运运输至工地现场。根据交通部内河航运水工建筑工程定额<sup>[3]</sup>与当地市场价格计算各方案造价, 所用的主要材料含税价格见表 2。

表 2 主要材料单价

| 钢筋/<br>(元·t <sup>-1</sup> ) | 板枋材/<br>(元·m <sup>-3</sup> ) | 水泥(32.5)/<br>(元·t <sup>-1</sup> ) | 水泥(42.5)/<br>(元·t <sup>-1</sup> ) | 中粗砂/<br>(元·m <sup>-3</sup> ) | 碎石/<br>(元·m <sup>-3</sup> ) | 块石/<br>(元·m <sup>-3</sup> ) | 柴油/<br>(元·kg <sup>-1</sup> ) | 汽油/<br>(元·kg <sup>-1</sup> ) |
|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 4 340                       | 2 200                        | 370                               | 399                               | 266                          | 228                         | 235                         | 8.86                         | 10.54                        |

### 3.1 素混凝土重力式结构护岸

施工过程中由挖掘机依据现场地质情况分段进行基槽开挖, 做好基槽的排降水措施, 使护岸基坑施工时不受扰动和水的浸泡, 确保驳岸施工安全。之后开挖基底保护土, 浇筑 C25 混凝土底板。当底板混凝土强度达到设计强度的 80% 时, 底板冲刷干净再进行墙身立模, 墙身高度采用分层立模浇筑混凝土, 墙身与压顶分开浇筑<sup>[4]</sup>。墙身砌筑强度大于 85% 以上时进行墙后回填, 然后进行大堤施工, 回填土选择土质较好的粉质黏土。素混凝土重力式护岸每延米费用构成<sup>[5]</sup>见表 3。

表 3 素混凝土重力式护岸每延米工程造价

| 工程项目      | 造价/(元·m <sup>-1</sup> ) | 占总造价百分比/% |
|-----------|-------------------------|-----------|
| 垫层及护底     | 573.78                  | 6.15      |
| 墙身施工      | 6 865.14                | 73.58     |
| 倒滤层及排水管   | 367.60                  | 3.94      |
| 墙后回填施工    | 812.78                  | 8.72      |
| 大堤及道路面层施工 | 710.24                  | 7.61      |
| 合计        | 9 329.54                | 100.00    |

### 3.2 钢筋混凝土扶壁式结构护岸

钢筋混凝土扶壁式结构护岸的施工过程由挖掘机依据测量定位进行扶壁式挡土墙基坑开挖, 基底开挖完成后, 首先按要求浇灌 C15 素混凝土垫层; 其次进行墙底板(墙趾板和墙踵板)钢筋的绑扎; 再进行墙底板模板安装、浇筑墙底板混凝土, 当墙底板混凝土强度达到 2.5 MPa 后, 进行墙身立壁和扶肋的绑扎以及模板安装, 然后进行混凝土浇筑, 钢筋混凝土扶壁式护岸结构高度为 5.08 m, 扶壁式墙身分两次浇筑成形。压顶与墙身分开浇筑, 施工缝留在底板与立板交界处。因钢筋混凝土扶壁式护岸结构属于薄壁轻型结构, 对边界条件反映较为灵敏, 须控制好回填的速度, 先进行墙身部分的土方回填, 再进行大堤土方回填, 严禁由后向前的推土方式回填, 以防墙身位移。钢筋混凝土扶壁式护岸每延米费用构成见表 4。

表 4 钢筋混凝土扶壁式护岸每延米工程造价

| 工程项目      | 造价/(元·m <sup>-1</sup> ) | 占总造价百分比/% |
|-----------|-------------------------|-----------|
| 垫层及护底     | 618.12                  | 6.06      |
| 墙身混凝土施工   | 4 119.52                | 40.40     |
| 墙体钢筋      | 3 408.62                | 33.43     |
| 倒滤层及排水管   | 258.43                  | 2.53      |
| 墙后回填施工    | 1 075.85                | 10.55     |
| 大堤及道路面层施工 | 715.36                  | 7.03      |
| 合计        | 10 195.90               | 100.00    |

### 3.3 造价对比

结合表 3、4 可以看出, 素混凝土重力式护岸结构方案每延米造价为 9 329.54 元, 其中素混凝土墙体施工费用占比最大<sup>[6]</sup>, 为 73.58%。因此, 在水泥、粗砂、碎石来源丰富、价格较低的地区, 选择重力式混凝土护岸结构对降低航道护岸造价较为有利。钢筋混凝土扶壁式护岸结构每延米造价为 10 195.90 元, 其中扶壁式护岸现浇混凝土墙身和墙体钢筋施工费用占比分别为 40.40% 和 33.43%, 表明现浇混凝土和钢筋的价格均对钢筋混凝土扶壁式护岸结构的造价影响显著<sup>[7-8]</sup>。

针对水泥、粗砂、碎石以及钢筋的价格进行敏感性分析<sup>[9]</sup>, 其对航道护岸造价的影响见图 3、4。由图可知, 当组成现浇混凝土的主要材料如水泥、碎石和砂的价格上涨超过 52.47%, 或者钢筋的价格下跌超过 35.74% 时, 素混凝土重力式护岸的每延米造价将超过钢筋混凝土扶壁式护岸每延米造价, 此时选择钢筋混凝土扶壁式护岸可以达到降低造价的目的。

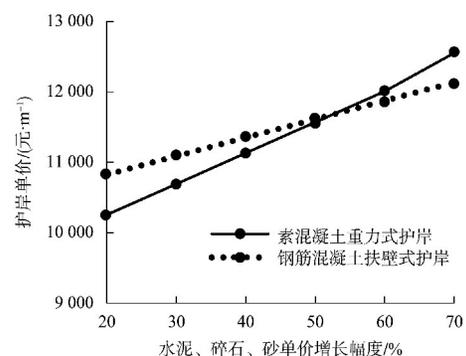


图 3 水泥、粗砂、碎石材料单价敏感性

