

基于施工造价分析的防波堤结构方案比选



韩明华

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 斜坡堤和直立堤作为常见的防波堤结构形式, 当两者用于设计方案比选时, 工程造价是结构选型须考虑的重要因素。通过结合实际工程案例, 分析自然条件、主材供应、施工难易、工期要求等方面对工程造价的影响。结果表明, 当水深较浅、石料来源丰富的情况下, 斜坡堤具有造价较低的优势; 对于水深较大、有特殊景观使用要求的情况下, 可考虑选用直立堤。

关键词: 防波堤; 造价分析; 方案比选

中图分类号: U 656.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)04-0211-05

Comparison and selection of breakwater structure scheme based on analysis of construction cost

HAN Ming-hua

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

Abstract: Rubble mound breakwater and vertical breakwater are the common forms for breakwater structures, and the cost of the project is the important factor to be considered in the structure selection when the two structures are used for comparison and selection in the design scheme. This paper combines with an actual engineering case, analyzes the impact on the project cost based on natural conditions, main material supply, construction difficulty degree, and construction period requirements. The results show that when the water depth is shallow and the stone source is abundant, the rubble mound breakwater has the advantage of lower construction cost. For the large water depth and special landscape requirements, vertical breakwater can be selected.

Keywords: breakwater; cost analysis; plan optimal selection

防波堤常见的结构形式有斜坡式和直立式, 目前已有的关于两种结构形式的研究成果^[1-4]主要集中在总平面布置、结构稳定性分析和现场施工等方面, 而专门针对造价的分析较少, 而对于防波堤, 造价也是影响设计方案的关键因素。

本文以某防波堤工程为例, 综合了使用要求和自然条件, 分析施工条件和工程造价因素对防波堤结构设计方案的影响。

1 工程设计条件

1.1 设计标准

根据某港区总体规划, 为进一步展现区域特

色, 提高区域发展的竞争力, 拟将防波堤工程建设为集防浪、导航、景观等功能为一体的特色工程。

该防波堤按照基本不越浪标准进行建设, 堤顶宽度结合施工、稳定性及观景要求确定, 设计使用年限为 50 a。

1.2 设计水位

设计水位从当地理论最低潮面起算, 设计高水位为 4.71 m, 设计低水位为 0.67 m, 极端高水位为 5.91 m, 极端低水位为 -0.45 m。高程关系如图 1 所示。

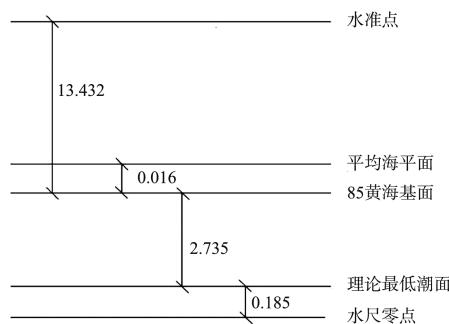


图 1 本工程各高程关系 (单位: m)

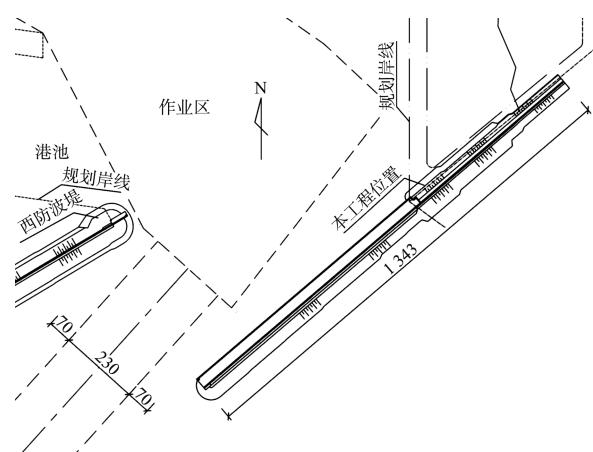


图 2 防波堤平面布置 (单位: m)

表 1 防波堤外侧和内侧设计波要素

位置	水位	波向	$H_{1\%}/m$	$H_{4\%}/m$	$H_{5\%}/m$	$H_{13\%}/m$	平均周期 \bar{T}/s
防波堤外侧	极端高水位	SSE	7.60	6.50	6.40	5.50	8.9
		S	5.60	4.80	4.65	3.90	7.5
		SSW	5.50	4.75	4.60	3.90	7.3
	设计高水位	SSE	7.50	6.40	6.30	5.30	8.9
		S	5.50	4.70	4.60	3.80	7.5
		SSW	5.40	4.60	4.50	3.70	7.3
	设计低水位	SSE	7.00	6.05	5.90	5.00	8.9
		S	5.30	4.60	4.45	3.80	7.5
		SSW	5.00	4.30	4.20	3.60	7.3
防波堤内侧	极端高水位	SSE	2.00	1.70	1.65	1.40	8.9
		S	2.45	2.10	2.00	1.60	7.5
		SSW	3.20	2.80	2.70	2.30	7.3
	设计高水位	SSE	1.85	1.55	1.50	1.25	8.9
		S	2.35	2.00	1.95	1.60	7.5
		SSW	3.10	2.70	2.60	2.20	7.3
	设计低水位	SSE	1.70	1.45	1.40	1.20	8.9
		S	1.85	1.60	1.55	1.30	7.5
		SSW	2.40	2.10	2.05	1.70	7.3

注: 重现期为 50 a。

1.4 工程地质

拟建的防波堤区段土层自上而下为淤泥、中细砂、粗砾砂和强风化花岗岩。淤泥层主要由淤泥质粉质黏土、淤泥质黏土、淤泥质粉土及淤泥质砂组成, 层厚 0.3~6.1 m, 其孔隙比大、含水量高、压缩性高、强度低、工程地质性质差。中细砂、粗砾砂工程地质性质较好, 可作为一般持力层使用。强风化花岗岩工程地质性质较好, 平

均标准贯入击数 $N>50$ 击, 承载力高, 分布广泛, 为该区良好的基础持力层。

1.5 设计荷载

结合后期使用, 使用期防波堤挡浪墙内侧顶面荷载 q 取 20 kPa。

1.6 地震

本工程抗震设防烈度 7 度, 设计基本地震加速度值为 0.10g。

2 设计方案

2.1 斜坡堤结构方案

拟设计的斜坡式结构方案为：防波堤堤心为抛填开山石（含泥量<5%），外海侧护面采用12 t扭王字块体，护面块体下设500~1 000 kg垫层块石。外海侧高程-5.0 m处设置肩台，护底采用

100~200 kg 块石。内侧栅栏采用 0.6 m 厚栅栏板，栅栏板护面下设肩台，肩台高程-4.29 m，肩台宽 2.5 m，肩台下护面采用 500~800 kg 块石，护底采用 50~100 kg 块石，地基处理采用清淤换填，结构断面见图 3^[5]。

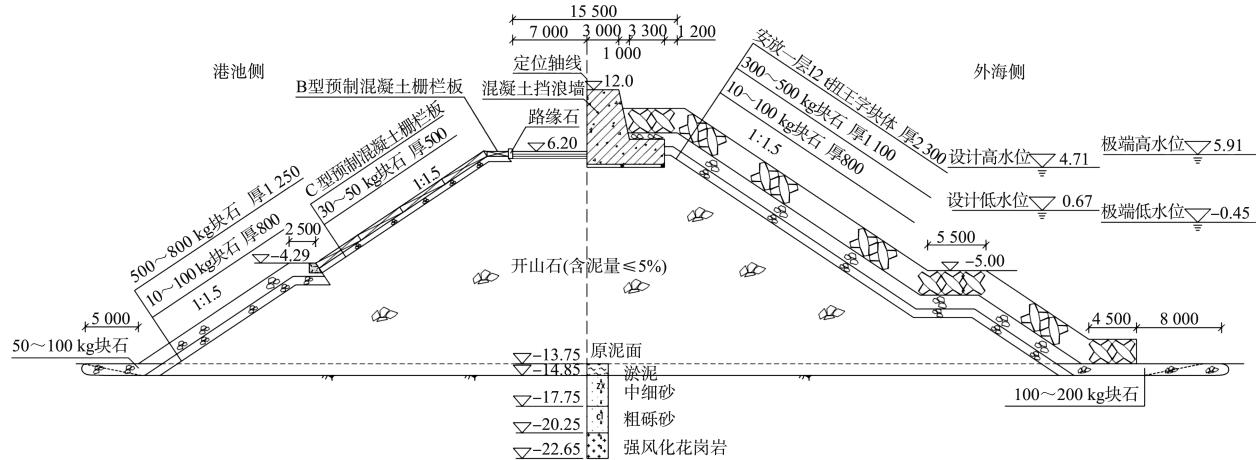


图 3 斜坡堤结构断面 (高程: m; 尺寸: mm)

2.2 直立堤结构方案

拟设计的直立堤采用钢筋混凝土方沉箱直立结构。沉箱底高程-17.00 m, 顶高程3.5 m, 沉箱尺寸为16.06 m×19.42 m(含2.0 m趾)×20.50 m(长×宽×高)。沉箱下设经过夯实的10~100 kg块石基床, 地基处理采用基槽挖泥方式, 沉箱上部现浇

钢筋混凝土胸墙，胸墙顶高程 12.0 m，在外海侧高程 6.5 m 处设置宽 6.0 m 的亲水平台，在港池侧高程 6.2 m 处设置宽 8.42 m 的道路。外海侧护底采用 300~500 kg 块石，港池侧护底采用 100~200 kg 块石，结构断面见图 4。

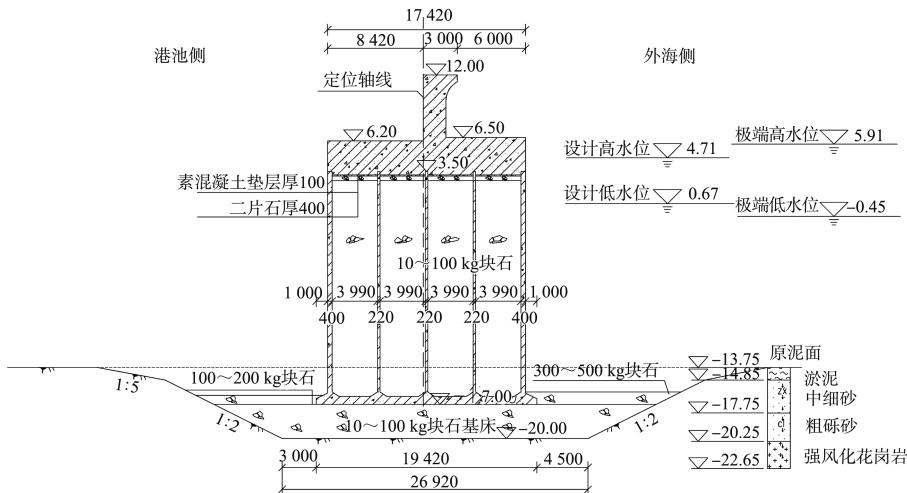


图 4 直立堤结构断面 (高程: m; 尺寸: mm)

3 施工造价分析

本工程后方道路穿越多个村庄，且道路等级较低、路况较差，施工过程中通过陆上来料方式不能有效保证石料供应能力，故采用水上施工的方式，拟在工程临近湾底选择合适的地点建设装船码头，水上装料后运输至工程现场

抛填形成防波堤。港区内多个泊位已经建成投产，为本工程提供良好的施工条件，施工期间所需的水、电、通信等均可从附近既有设施上接引。根据交通部沿海港口水工建筑工程定额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

材料	钢筋	型钢	板枋材	水泥(32.5)	水泥(42.5)	中粗砂	碎石	块石(100 kg 内)
单价	4 320 元/t	4 160 元/t	2 225 元/m ³	455 元/t	515 元/t	120 元/m ³	85 元/m ³	78 元/m ³
材料	块石(500 kg 内)	二片石	开山石	柴油(机用)	柴油(船用)	水	电	
单价	85 元/m ³	85 元/m ³	70 元/m ³	7.41 元/kg	7.54 元/kg	5.05 元/m ³	1 元/(kW·h)	

3.1 斜坡堤结构

施工过程先由抓斗式挖泥船清除防波堤底部淤泥，而后由驳船水上抛填堤心开山石及护底、护面垫层块石。针对施工水位以下的石料，可采用开底驳装运石料直接抛填；针对施工水位以上的石料，可采用平板驳装运石料利用驳船上的长

臂挖掘机卸料。用于护面的扭王字块体、栅栏板块体拟在后方陆域新设临时预制场预制，装船运至施工现场采用方驳吊机组水上安装。上部混凝土胸墙在堤身结构完成并基本稳定后，现场绑扎钢筋、支设模板而后进行混凝土浇筑并养护。费用构成见表 3 和图 5^[6-7]。

表 3 斜坡堤每延米工程造价

工程	斜坡堤挖泥	堤心石抛填	护面块石抛填	栅栏板预制及安装	扭王字块预制及安装	堤顶胸墙施工	其他	合计
造价/(万元·m ⁻¹)	0.69	13.04	2.48	1.28		4.66	4.34	5.43 31.91

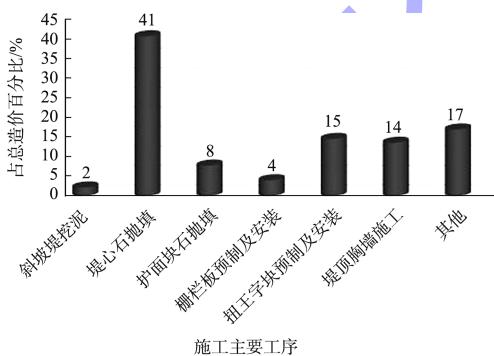


图 5 工程造价构成比例

3.2 直立堤结构

施工过程由抓斗式挖泥船进行基槽开挖，而后方驳定位，驳船靠定位驳抛填基床块石，由专用夯实船夯实基床，由整平作业船配合潜水员整平基床。主体钢筋混凝土沉箱拟在港区现有大型沉箱预制场预制，半潜驳出运下水，当沉箱上半潜驳后，即可调节压舱水乘潮起浮，而后移至下

潜坑，半潜驳注水下潜，由拖轮拖曳至沉箱存放场存放，待合适时机经海上拖运至施工现场乘低潮定位安装。沉箱内填石应在沉箱安放后进行，以确保沉箱在施工期间的稳定。上部混凝土胸墙在堤身结构完成并基本稳定后，现场绑扎钢筋、支设模板而后进行混凝土浇筑并养护。费用构成见表 4 和图 6。

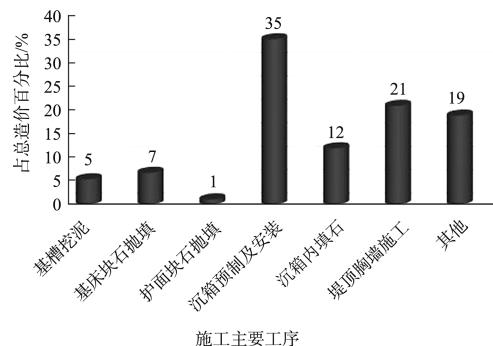


图 6 工程造价构成比例

表4 直立堤每延米工程造价

工程 造价/(万元·m ⁻¹)	基床挖泥	基床块石抛填	护面块石抛填	沉箱预制及安装	沉箱内填石	堤顶胸墙施工	其他	合计
1.93	2.44	0.37	12.78	4.33	7.61	6.87	36.33	

3.3 对比分析

斜坡式和直立式结构方案比选见表5，结合表3、4和图5、6可以看出，斜坡堤结构方案每延米造价31.91万元，其中堤心石抛填施工费用占比较大，为41%，因此，斜坡堤结构在石料丰富的地区是一个降低造价的有利选择。直立堤结构方案每延

米造价36.33万元，其中沉箱预制及安装费用占比较大，为35%，如港区有良好的施工条件及大型预制场，可缩短拖运距离、优化沉箱尺寸以达到降低造价的目的。就本工程而言，采用全水上施工方式，斜坡结构施工简单、施工速度快，造价具有一定优势，因此最终选定斜坡堤结构。

表5 结构方案比选

结构类型	施工条件	耐久性	石料量	地基	安全性	景观	造价/(万元·m ⁻¹)
斜坡堤结构	简易预制场地即可，钢筋用量少	耐久性好	较多	对不均匀沉降适应性好	消浪性能良好，满足使用要求	能看到斜坡护面，景观稍差	31.91
直立堤结构	需要专门的起吊、浮运设备，施工速度较慢，附近已有专门的沉箱预制场	耐久性好	较少	对地基要求较高	堤身整体性好，满足使用要求	较好，形成路面宽度大	36.33

4 结论

1)对于石料供应丰富或附近有良好的石料供应来源的地区，抛石斜坡堤结构的石料用量虽然多于沉箱直立堤结构，但因石料单价便宜，总体工程造价会有优势，应首选抛石斜坡堤结构。

2)水深较深而软土层较厚的地区，抛石斜坡堤结构断面过大导致石料需求增加，附近如配有完备的施工设施和条件，如大型沉箱预制场，可优选沉箱直立堤降低工程造价。

3)在工期要求短或远期规划中港池侧为陆域的情况下，斜坡堤结构施工工艺简单，速度快，造价具有一定优势。

4)建议对于地基条件复杂，使用要求多样的情况下，选择水平混合式直立堤设计断面，以优化工程造价。

参考文献：

- [1] 王斌,许佳佳.烟台港西港区防波堤二期工程施工方案分析[J].港工技术,2014,51(4):46-50.
- [2] 李秀英,杨文斌.烟台港西港区防波堤结构方案比选[J].港工技术,2011,48(4):21-24.
- [3] 蒋希浩.大连港大连湾通用杂货泊位工程护岸及防波堤结构比选[J].水运工程,2007(9):111-114.
- [4] 张宏,高涛,马杰,等.日照港LNG码头配套航道及防波堤工程方案[J].水运工程,2019(2):107-111,169.
- [5] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司.防波堤设计与施工规范:JTS 154-1—2011[S].北京:人民交通出版社,2011.
- [6] 交通部水运工程定额站.沿海港口建设工程概算预算编制规定[S].天津:交通部水运工程定额站,2004.
- [7] 交通部水运工程定额站.沿海港口水工建筑工程定额[S].天津:交通部水运工程定额站,2004.

(本文编辑 王璁)

(上接第193页)

- [10] 孔友南,陈谦,曹凯平,等.中美欧日桩基承载力设计规范比较[J].水运工程,2018(6):241-246.
- [11] 郭欣玥,刘润.海洋工程中桩基抗拔承载力研究[J].地震工程学报,2018,40(20):369-375.
- [12] 中交天津港湾工程研究院有限公司.水运工程地基基础试验检测技术规程:JTS 237—2017[S].北京:人民出版社,2018.

- [13] Institution of Civil Engineers. ICE specification for piling and embedded retaining walls[M]. 2nd ed. London: Thomas Telford Press, 2007.
- [14] Construction Industry Research and Information Association. Report 144-Integrity testing in piling practice[M]. London: CIRIA, 1997.

(本文编辑 武亚庆)

投稿须知

- 1) 论文著作权人应确保所投稿件为尚未公开发表的原创性著作，若论文发表后发生侵权问题，一切责任由著作权人承担。
- 2) 所投稿件不得涉及国家秘密，若发生失泄密问题，一切责任由著作权人承担。
- 3) 立论正确，论据充分，重点突出，逻辑严密，数据可靠，文字精练。
- 4) 文中图片要求插入原图（勿用截屏方式），可以清晰显示图中文字。
- 5) 版面与篇幅：A4 版面，通栏排版，正文 5 号字。篇幅一般不超过 5000 汉字（含图、表所占面积）。
- 6) 来稿中必须给出论文题目、作者姓名、单位（邮编）、论文摘要、关键词、中图分类号、第一作者照片（插入文末）及作者简介（出生年月、性别、学历、职称、现从事科技工作领域或研究方向）以及上述从论文题目到关键词的英译文。论文题目应恰当反映文章的特定内容，中文题目一般不超过 20 个汉字。
- 7) 论文摘要（中英文）是一篇尽量简短的完整短文（一般在 200~300 字），包括目的、方法、结果和结论 4 部分，应具有独立性和自含性。摘要以提供梗概为目的，毋需自己评论研究成果。摘要中出现的数据应该是最重要、最关键的数据，不能出现图表参数。摘要中的缩写名称在第一次出现时要有全称。撰写英文摘要时，不能因为某些内容不好翻译就弃掉要点。
- 8) 关键词应选取能表达全文主题内容信息款目的单词或术语 4~8 个。名词术语必须符合国家标准、国家军用标准和相关行业标准。要尽量使用名词或名词性词组并避免使用形容词或形容词性词组做关键词。中英文关键词要一一对应。
- 9) 论文章节编号采用三级标题顶格排序：一级标题为 1, 2, 3, ……；二级为 1.1, 1.2……；三级为 1.1.1, 1.1.2……。
- 10) 正文（含图表）中的物理量和计量单位必须符合最新颁布的国家标准、国际标准和规定。外文字母的文种、字体的大小写、正斜体、是否黑体、上下角标及易混的字母应书写清楚。必须区分数值等式和量的等式，写法应符合 GB 3101—1993 有关量、单位和符号的一般原则。
- 11) 图、表内容具有自明性，且随文出现，其中的字符和数据应准确、清晰、无误，并与正文一致。图、表应附上图号（表号）。图题（表题）中文表达。图和表中加注的单位应写作相关量（或其符号）的分母，而不应写作与相关量相乘。
- 12) 参考文献选用主要的、公开发表的、并尽量选用近年发表的中外文献，按照在正文中出现的先后顺序编号。中外文献作者姓名一律姓前名后，3 名以内全部列出，4 名以上则只列 3 名，后加“等”或“et al”。引用参考文献的页码不可遗漏；（可参照下载中心中的参考文献著录格式）。
- 13) 源于国家自然科学基金或省、部委重点课题、获奖课题的论文，请注明相关项目名称及批准号。