



连云港港徐圩港区防波堤工程平面布置研究

祁小辉, 陈浩群, 金明华, 刘碧荣
(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

摘要: 连云港港徐圩港区防波堤工程是徐圩港区成功开发的先决条件之一。通过对防波堤总体布置形态、口门布置方案和结构分段布置等方面的研究, 择优弃劣确定较为合理的平面布置方案, 以利于港区起步和后续项目开发建设。

关键词: 徐圩港区; 防波堤; 平面布置

中图分类号: U 652.7⁴

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)10-0064-09

General layout of breakwater project for Xuwei port area in Lianyungang port

QI Xiao-hui, CHEN Hao-qun, JIN Ming-hua, LIU Bi-rong

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

Abstract: The breakwater project of Xuwei port area in Lianyungang port is one of the prerequisites of the successful development of Xuwei port area. From the research of the general layout, harbor entrance proposal and structure subsection arrangement, etc., we recommend a rational layout arrangement, which is beneficial for port starting and subsequent construction development.

Key words: Xuwei port area; breakwater; general layout

连云港港徐圩港区位于连云港区南翼, 圩子口以西至小丁港之间海岸, 是江苏省重点支持开发建设的对象。由于徐圩港区地处开敞水域, 规模巨大, 做好徐圩港区防波堤工程的平面布置就显得尤为重要。本文通过对防波堤总体布置形态、口门布置方案和结构分段布置等方面的研究, 最终确定防波堤平面布置方案, 既满足港区起步阶段建设需要, 又符合港区远期规划功能布置的要求, 并且达到减少港区综合投资的目的。

1 防波堤工程设计条件

1.1 水文条件

1) 波浪: 本海区常浪向为NE向, 次常浪向为E向; 强浪向为偏N向, 大浪出现于NNE和NE向, 实测NNE向 $H_{1/10}$ 最大波高为5.0 m, N和NE向实测 $H_{1/10}$ 最大波高为4.2 m。

2) 潮流: 本海域海流以潮流为主, 潮流不强, 余流一般较小。徐圩港区附近的各测点外侧为旋转流, 近岸流场长短轴呈顺岸方向。工程区域实测最大垂线平均流速为0.87 m/s。

3) 泥沙: 该地区多年平均含沙量为0.21 kg/m³。在沿岸方向, 年平均含沙浓度甚为相近, 冬高夏低的季节性变化亦十分明显。在垂直岸线方向, 破波带内波浪掀沙作用明显, 含沙量明显高于两侧, 波高0.5 m及2 m时破波带内最大含沙量分别为0.42 kg/m³和1.35 kg/m³。

4) 地形、地貌及海床演变: 徐圩港区所在岸段为淤泥质海岸, 近年来该地区海床冲淤形态已逐渐趋于平衡。

1.2 地质条件

工程区域水下地形平坦, 近岸处泥面高程约为±0.0 m, 规划港区口门处泥面高程约为-5.0 m。

收稿日期: 2013-08-10

作者简介: 祁小辉(1978—), 男, 高级工程师, 从事港口航道工程设计工作。

土层主要由淤泥、黏性土、砂性土组成。表层淤泥厚度6.1~17.8 m, 平均厚度约10.2 m, 具高压缩性、高触变性、高含水量, 工程地质性质极差。

2 平面方案研究

结合港区总体规划, 防波堤平面方案主要从总体布置形态、口门布置方案和结构分段布置等方面进行研究。

2.1 港区总体规划

根据《连云港港徐圩港区总体规划》^[1]及《连云港港徐圩港区控制性详细规划》^[2], 徐圩港区可形成码头岸线约33.5 km, 新增陆域约48.7 km²。港区主要由七大功能区组成: 1) 散货泊位区, 位于三突堤; 2) 通用泊位区, 位于一突堤南北两侧及一港池底部; 3) 件杂货泊位区, 位于大顺岸西段; 4) 液体散货泊位区, 位于四突堤和东防波堤内侧; 5) 装备制造区, 位于二突堤; 6) 预留集装箱泊位区, 位于港区大顺岸东段; 7) 内河港池, 位于纳潮河段。通过建设徐圩港区防波堤工程, 改变开敞海域掩护环境, 是各功能区功能顺利实现的前提条件之一。

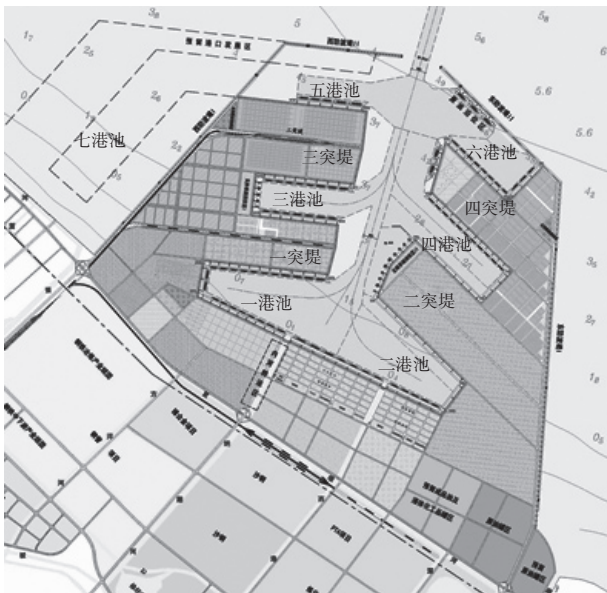


图1 徐圩港区控制性详细规划平面

2.2 总体布置形态研究

2.2.1 初选方案及优化方案研究^[3]

在符合港区远期发展和最终建设规模的框架

下, 以满足港区近期建设计划为前提, 结合徐圩港区航道工程, 设计分别提出大环抱、中环抱、小环抱、大小环抱、单侧起步等不同起步形态的初选方案, 见图2~7。

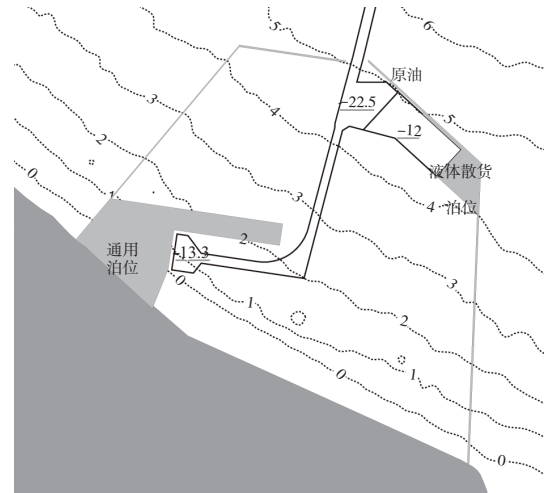


图2 大环抱初选方案1

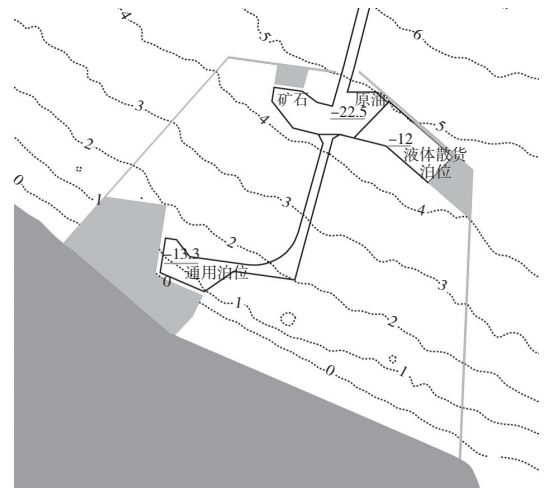


图3 大环抱初选方案2



图4 中环抱初选方案

两个方案建成后泊稳条件均大为改善, 均能满足各作业区所需作业条件; 防波堤挡砂效果明显, 港内回淤大环抱方案小于中环抱方案; 口门处横流大环抱方案也小于中环抱方案, 2种方案航槽中横流对船舶进出口门均无太大影响。港内回流流速均较小, 对船舶航行影响较小。为此, 根据从波浪数值计算、潮流泥沙数学模型等研究成果来看, 两个方案均能为徐圩港区提供较好的建设和使用条件。

2.2.2 口门位置研究

大环抱和中环抱优化方案的主要区别在于口门位置, 大环抱方案口门位于-5 m水深处, 而中环抱方案口门位于-4 m水深处。结合防波堤布置及徐圩港区水文泥沙条件, 防波堤口门位置选择

表1 各方案回淤情况比较

方案	外航道年最大淤强/($m \cdot a^{-1}$)	外航道年回淤量/万 m^3	全港年平均淤强/($m \cdot a^{-1}$)
大环抱方案(30万吨级航道)	2.44	622	0.52
中环抱方案(30万吨级航道)	3.14	859	0.66

分析表1可知, 与防波堤口门设置于-4 m水深处相比, 设置于-5 m水深处时, 全港年平均淤厚及口外航道年回淤量均有明显减小, 且防波堤口门离岸越远, 徐圩港区年平均淤强及航道回淤越小。

3) 连云港港回淤观测情况^[7]表明, 工程海域-5 m以浅开挖水域泥沙淤积情况较重。连云港

主要考虑以下几方面因素:

1) 港区口门不宜设置在强破波区范围内。连云港海域泥沙输运以波浪掀沙、潮流输沙为主, 冬季出现偏北向大风的频次较高, 防波堤口门设置离岸越远, 受破波区高含沙水体的影响越小。徐圩港区大风天破波带外边界变动范围-3.0~-5.0 m水深处(特大波除外), 正常天气破波带外边界变动范围在-3.0 m以浅水域内。防波堤口门设在-5.0 m水深处, 位于大风天破波带变动范围的外缘, 可降低徐圩港区口门段航道回淤及口外高含沙水体向港内输送泥沙。

2) 泥沙回淤计算成果表明, 口门离岸越远徐圩港区年平均淤强及外航道回淤强度越小。根据模型研究成果, 大、中环抱方案回淤情况见表1。

表2 连云港港7万吨级航道不同时期回淤厚度

历时	庙岭乙段	庙岭甲段	外航道内段	W弯道段	外航道外段1	外航道外段2	外航道延长段
2002-12—2003-06			0.51	0.61	0.52	0.26	0.14
2003-06—2003-12	0.14	0.02	0.68	0.80	0.75	0.34	0.20
合计	0.14	0.02	1.19	1.41	1.28	0.60	0.34

表3 连云港港15万吨级航道年淤强设计取值

航道分段	回淤强度/($m \cdot a^{-1}$)
内2段	1.28
W弯段1	1.71
W弯段2	1.60
外1段	1.86
外2段	1.73
外3段	1.29
外4段	0.80
向外	0.15 ~ 0.58

港(连云港区)7万吨级航道不同时期回淤厚度见表2。连云港区15万吨级进港航道于2008年8月竣工, 通过一系列观测与研究, 结合已有的观测研究成果, 推算年淤强设计取值见表3。徐圩港区航道先导试挖工程和徐圩5万吨级航道工程回淤观测资料分别见图10和11。

况, 连云港港连云港区进港航道处于-5 m以浅的W弯段至外1段一直为强淤积航段。

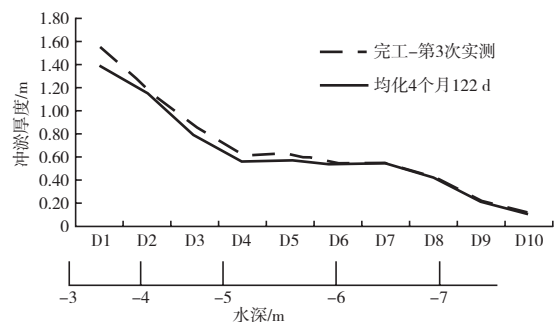


图10 徐圩先导试挖工程-8 m挖槽累计淤强分布

根据连云港港7万吨级和15万吨级航道回淤情

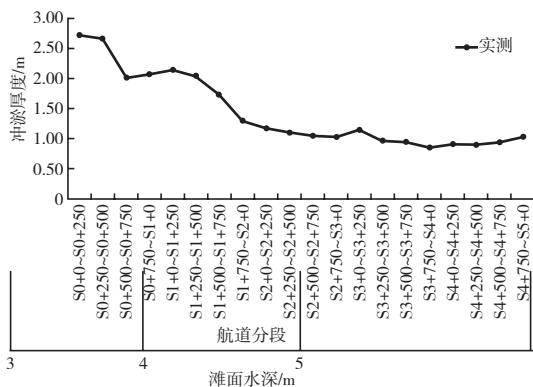


图11 徐圩5万吨级航道 2011-08-2012-04累计淤强分布

徐圩港区先导试挖槽和徐圩5万吨级航道回淤观测资料进一步证明工程海域-5 m以浅开挖水域泥沙淤积情况较重,徐圩港区防波堤口门设置在水深-5 m等深线处,对-5 m以浅水域的航槽形成掩护十分必要。

4) 防波堤口门设在-5 m水深处,可有效增加徐圩港区港内使用面积,有效保障港区后续发展所需的岸线和土地资源。

防波堤口门设在-5 m水深处,防波堤总长约21.78 km,可形成码头岸线约34.6 km,可形成陆域面积约48.71 km²;若防波堤口门设在-4 m水深处,防波堤总长约18.8 km,可形成码头岸线约28.6 km,可形成陆域面积约37 km²。可见防波堤长度增加约16%,可使港内岸线增加21%,陆域面积增加32%,为港区后续发展提供了充足的资源。

综上所述,将防波堤口门设于-5 m水深附近较设于-4 m或-3 m水深处,对降低港区及航道回淤、保障港区后续发展等方面具有明显的优势。

2.2.3 最终平面布置形态

防波堤大环抱方案,按照徐圩港区控详规港区边界进行布置,各类泊位能较好地按照功能划分来进行布局,同时可以预留较大的发展空间;各作业区码头建设时,均可按有掩护条件进行建设,节省投资。防波堤中环抱方案,是港区实施过程中的阶段性成果,虽然近期可比大环抱方案节省投资,但港内可形成岸线较大环抱方案大幅减少,同时给港区各类泊位布置带来一定的不利影响;远期,随着港区发展最终形成五、六港池时,需再次建设外围防波堤,造成中环抱拐弯段防波堤的投资浪费。

综合两个方案对港区掩护效果、流场变化、泥沙回淤、防波堤工程量和港区运营安全角度各关键因素,结合连云港港30万吨级航道以及30万吨级原油泊位的建设,按照港口建设可持续发展的要求,防波堤大环抱方案优于中环抱方案。防波堤总体形态最终确定为大环抱布置形态。

2.3 口门布置方案研究

2.3.1 口门宽度

1) 口门有效宽度。

平行于航道方向的防波堤口门有效宽度 B_0 为设计船长的1~1.5倍,按照徐圩港区最大设计船型30万吨级散货船和油船计算,防波堤口门有效宽度 $B_0=500$ m。

2) 口门有效宽度底边线至防波堤的距离。

本工程口门处滩面高程约为-5 m,30万吨级航道底高程为-21.7 m,航道疏浚边坡1:10,超宽10 m。考虑堤头结构、护底长度、挖槽与护坡的安全距离、挖槽疏浚超宽和疏浚边坡等因素,推算得到 d_0 约为210~230 m。同时考虑到防波堤轴线与航道轴线交角较大、口门处涨落流较急,从有利于船舶进出口门的角度出发,综合考虑 d_0 取250 m。

3) 垂直于航道方向的口门宽度。

垂直于航道方向的口门宽度 $B_s=B_0+2d_0=1\ 000$ m;参照国内其它大型港口防波堤口门宽度,结合数模研究成果,设计确定防波堤口门宽度取1 200 m。

2.3.2 口门平面方案

在防波堤平面按大环抱方案进行布置的前提下,结合徐圩港区30万吨级原油泊位等项目的建设,研究重点放在口门形态上,设计共提出8种方案开展研究。8个方案(图12~19)主要区别如下:方案1与方案2口门宽度分别为1 000 m和1 200 m;方案3~5的口门宽度均为1 200 m,其中,方案3口门设东侧外堤和西侧内堤,长度分别为400 m和515 m,方案4外侧设平行双导堤,长400 m,方案5在口门外侧设八字形双导堤,堤头间距1 200 m,向口门逐渐放宽至约1 700 m;方案6将方案5的“八”字形口门两侧导堤设为潜堤,堤顶高程3.5 m;方案7在“八”字形口门导堤中取消西导堤;方案8则将“八”字形口门的导堤均取消,口门宽度扩大至约1 700 m。

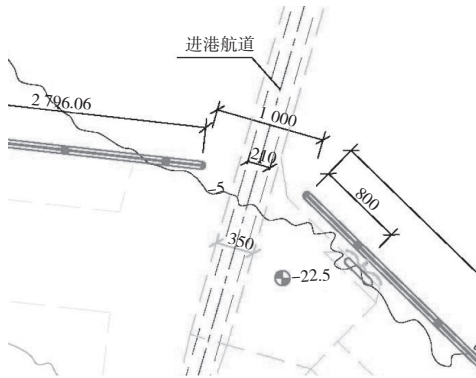


图12 方案1 (1000 m口门)

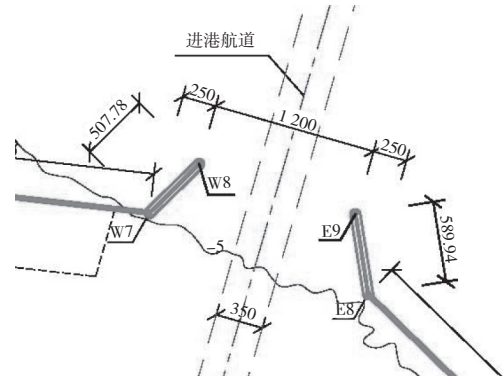


图16 方案5 (八字型口门)

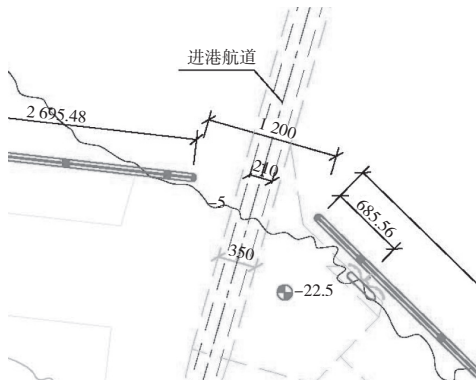


图13 方案2 (1200 m口门)

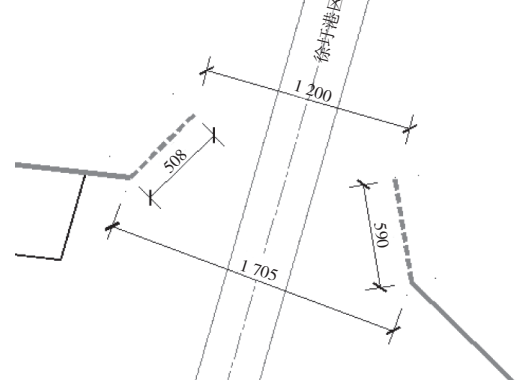


图17 方案6 (导堤堤顶高程3.5 m)

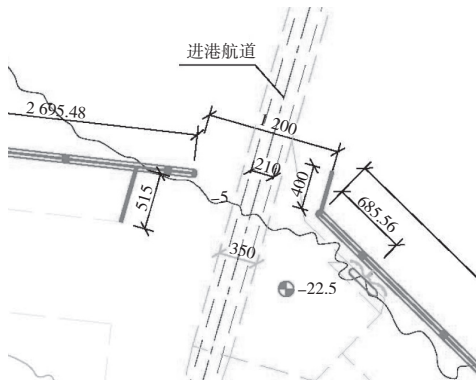


图14 方案3 (内外导堤)

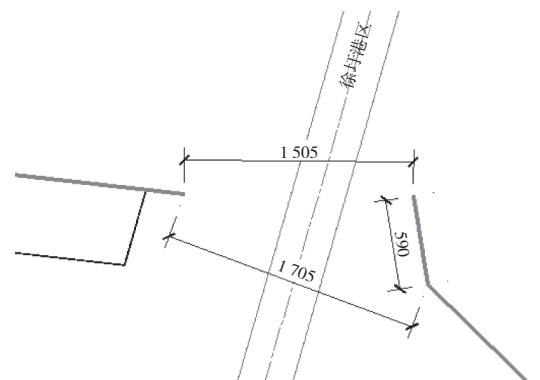


图18 方案7 (西导堤缓建)

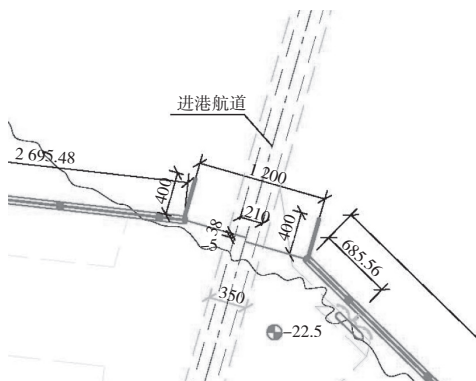


图15 方案4 (外侧平行导堤)

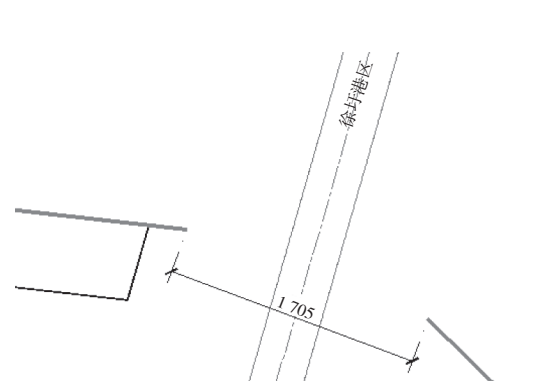


图19 方案8 (东、西导堤均缓建)

在口门的8个方案中，防波堤堤线变化主要集中在防波堤口门约1.8 km × 0.5 km的范围内，而整个环抱港区面积约80 km²，其变化所造成的港内波浪掩护、水流、泥沙回淤等情况的变化差异不大。结合河海大学、南科院潮流泥沙数模研究成果和武汉理工大学船舶模拟仿真试验研究成果^[8]，设计认为：

1) 方案1防波堤口门宽度为1 000 m，其它方案口门宽度在1 200 m以上，针对布置于东防波堤口门附近的30万吨级原油船，方案1的船舶操纵相对其他方案困难。

2) 从布设导堤作用来看，方案3错口布置导堤，导致口门内外流态较差，对港内掩护情况也不及方案4和方案5，错口布置导堤还使得港内航道回淤增大，所以建议不采用方案3。

3) 方案4和方案5都采用双导堤外伸方案，方案5采用“八”字口方案，堤长较方案4短约240 m，工程造价有所降低；方案4导堤与防波堤接合处夹角较小，外海波能传至此处更为集中，波浪对工程结构安全影响相对较大；两个方案比较，方案5相对较优。

4) 方案6导堤改为潜堤，五、六港池及四突堤端部泊位设计波高均有所增大，方案7和方案8缓建导堤，口门扩大导致五、六港池波浪掩护条件变差，同时方案7仅建设东侧导堤，导致口门处流态较为紊乱，上述方案不建议采用。

根据上述因素，设计将方案2作为总平面布置的推荐方案，采用有利于30万吨级油船靠离防波堤内侧近口门处泊位的方案5作为比较方案。推荐方案东、西防波堤从现有海堤至港区口门一次形

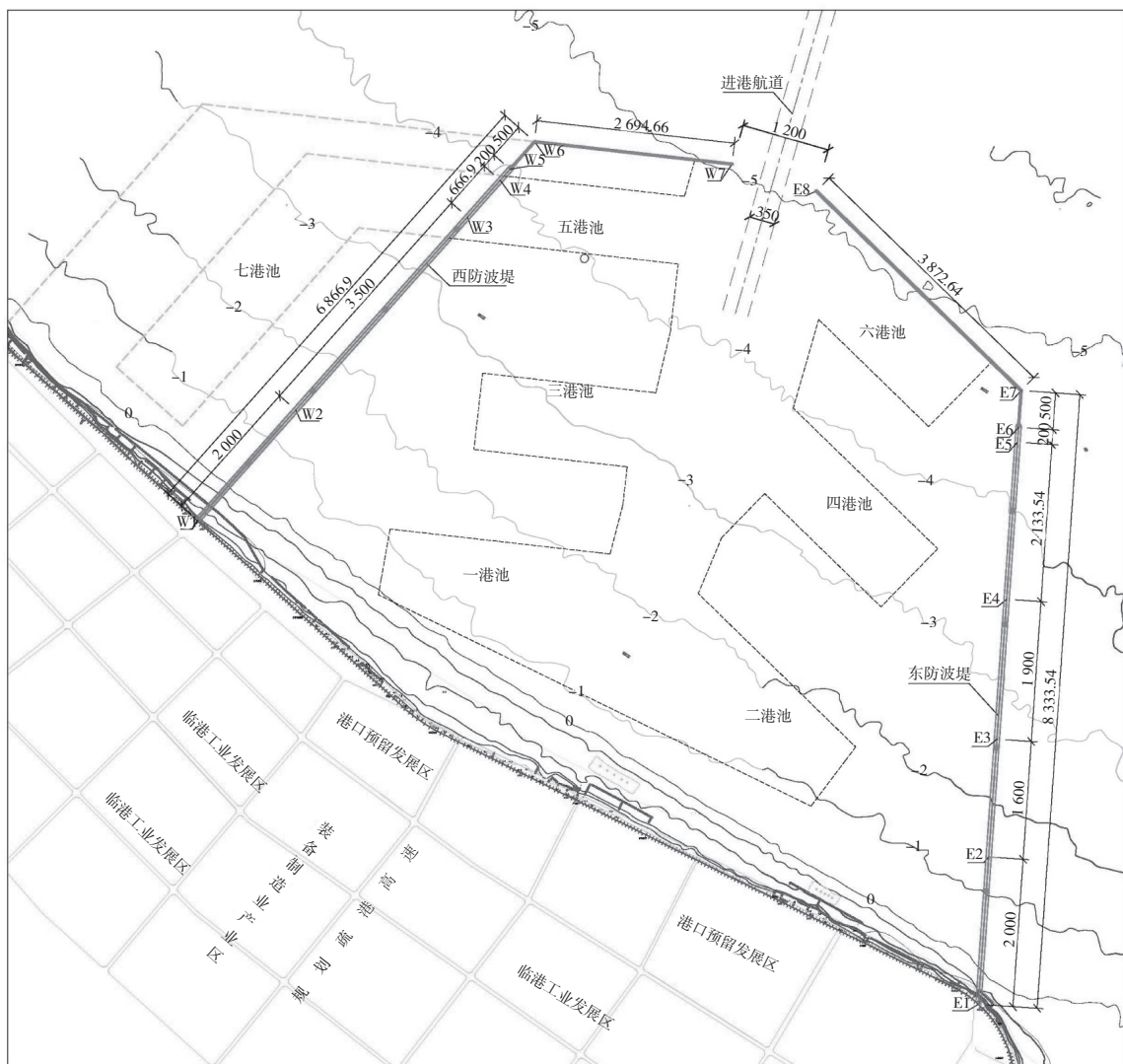


图20 总平面推荐方案（平口方案）

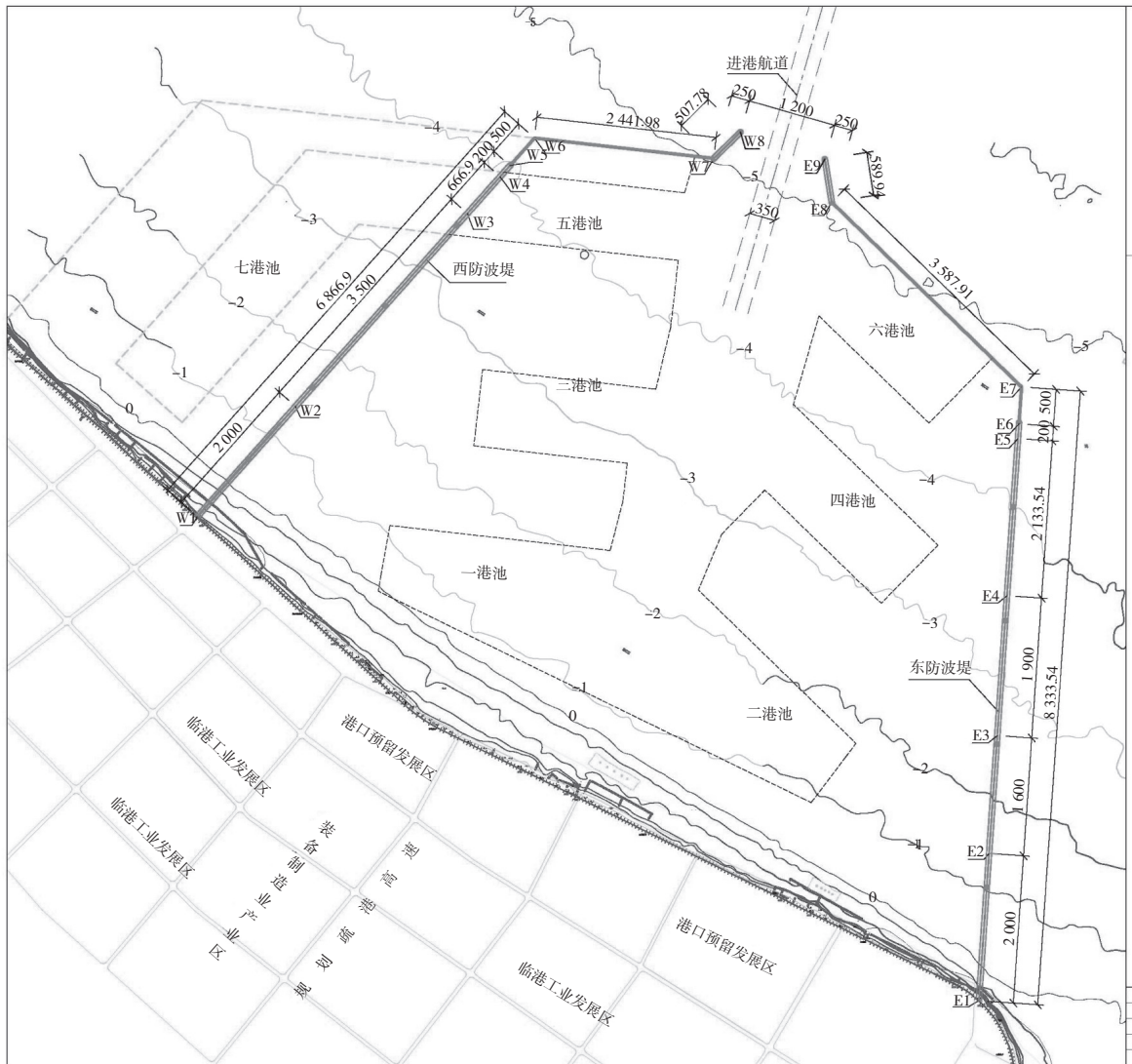


图21 总平面比较方案(八字口方案)

成, 防波堤总长约21.78 km, 口门位于-5.0 m等深线附近, 口门宽度为1 200 m。

2.4 结构分段布置研究^[9-10]

根据工程区域自然条件、材料供应、建设规模、工期等综合考虑, 本工程防波堤选用斜坡堤和直立堤组合结构方案。结合水深和软土层分布等情况, 设计对防波堤结构分段布置主要考虑以下几个方面因素。

1) 地形及地质土层分布。

本工程所在区域泥面高程在0.0 ~ -5.0 m, 离岸越远水越深, 表层普遍存在较厚淤泥。如在水深较深、淤泥较厚处采用斜坡堤结构, 堤身断面大、工程量大、受施工期风浪影响也大。因此, 在口门附近(-4.5 ~ -5.0 m) 满足桶式基础结构浮

游水深要求的区域, 采用新型桶式基础直立堤结构, 而在水深较浅处采用斜坡堤结构。

2) 材料来源。

防波堤工程量大, 施工周期长, 斜坡堤砂石料用量多, 而连云港地区的砂石料资源日趋紧张且价格不断上涨。在深水区采用新型桶式基础结构, 可以减少土石方用量, 适当缓解砂石料短缺问题。

3) 工期要求。

本工程是港区建设的先导工程, 根据近期港区工程开发的进度要求, 防波堤工程需在4 a内完成, 在深水区采用新型桶式基础直立式结构可形成多面施工作业, 各单体独立抗施工期风浪能力强, 施工速度快。

4) 工程造价。

在深水区域, 相对于斜坡式结构, 直立式结构不仅施工速度快, 而且造价还更低。

综上所述, 设计考虑将东、西堤拐点南侧500 m处作为斜坡堤和直立堤的分界点, 岸侧采用斜坡式结构, 海侧采用直立式结构。

3 结语

1) 综合港区掩护效果、流场变化、泥沙回淤、防波堤工程量和港区运营安全角度各关键因素, 结合连云港港30万吨级航道以及30万吨级原油泊位的建设, 防波堤大环抱方案优于中环抱、小环抱等方案。防波堤总体形态最终确定为大环抱布置形态。

2) 根据潮流泥沙数模研究成果和船舶模拟仿真试验研究成果, 确定宽度为1 200 m的平口布置方案为推荐口门布置方案, 八字口方案为比较方案。

3) 结合工程区域地形及地质土层分布、材料来源、工期要求和工程造价等因素, 将东、西堤拐点南侧500 m处作为斜坡堤和直立堤的分界点, 岸侧采用斜坡式结构, 海侧采用直立式结构。

参考文献:

[1] 交通运输部规划研究院. 连云港港徐圩港区总体规

划[R]. 北京: 交通运输部规划研究院, 2010.

[2] 交通运输部规划研究院, 中交第三航务工程勘察设计院有限公司. 连云港港徐圩港区控制性详细规划(2010-2030)[R]. 北京: 交通运输部规划研究院, 2011.

[3] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司. 连云港港徐圩港区防波堤工程工程可行性研究报告[R]. 上海: 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 2012.

[4] 南京水利科学研究院. 连云港港徐圩港区防波堤工程波浪数模研究[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2010.

[5] 南京水利科学研究院. 连云港港徐圩港区防波堤工程工可阶段潮流泥沙数模研究[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2011.

[6] 河海大学. 连云港港徐圩港区防波堤工程工可阶段潮流泥沙数模研究[R]. 南京: 河海大学, 2011.

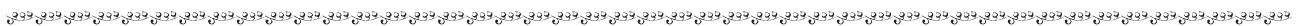
[7] 中交上海航道勘察设计研究院有限公司. 连云港港30万吨级航道二期工程工程可行性研究报告[R]. 上海: 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 2012.

[8] 武汉理工大学. 连云港港徐圩港区防波堤工程船舶模拟仿真试验研究[R]. 武汉: 武汉理工大学, 2011.

[9] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司. 连云港港徐圩港区直立式结构东防波堤工程初步设计[R]. 上海: 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 2012.

[10] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司. 连云港港徐圩港区斜坡式结构东防波堤工程初步设计[R]. 上海: 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 2012.

(本文编辑 武亚庆)



(上接第63页)

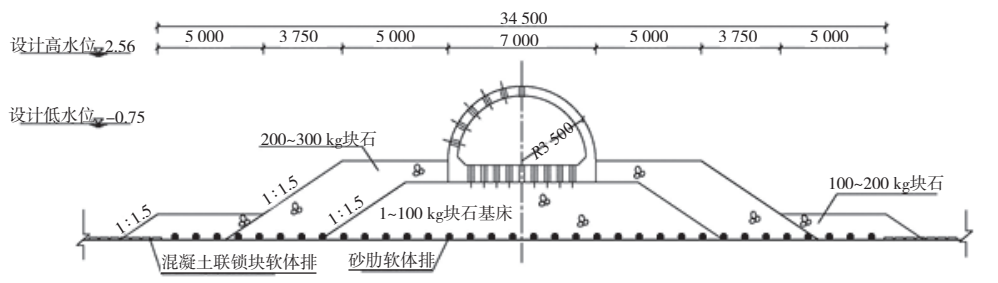


图3 半圆体堤典型断面

参考文献:

[1] 孙吉书, 杨春风, 艾忠华, 等. 模糊综合评价方法在桥型多方案选择中的应用[J]. 河北工业大学学报, 2009(4): 99-102.

[2] 蔡云鹤, 范期锦. 长江口深水航道治理二期工程整治建筑物结构设计方案的确定[C]// 深水港建设技术研讨会

论文集. 北京: 中国土木工程学会港口分会, 2003: 51-69.

[3] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 中交水运规划设计院有限公司. 长江南京以下12.5 m深水航道一期工程初步设计C标结构设计专题报告[R]. 上海: 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 2012.

(本文编辑 武亚庆)