



# 复杂地质条件下围堤加固设计

朱 琳

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

**摘要:** 针对大小鱼山北堤堤基范围地质条件复杂多变的特征, 开展了围堤加固方案的研究。1) 分析堤基具有软土深厚、局部发展有深槽的特点, 概括地质特征。2) 采用圆弧滑动法对不同地质特征的典型断面, 尤其是深槽段进行稳定分析。3) 提出结构方案的优化建议。研究结果表明: 采用爆破挤淤地基加固方案处理含砂层的深厚软基是合理可行的, 镇压棱体的范围和高程对结构优化有重要影响。优化方案可有效减少抛石量、降低工程造价。

**关键词:** 深厚软土; 围堤; 深槽; 稳定性; 爆破挤淤

中图分类号: U 65

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)05-0031-04

## Seawall reinforcing design in complicated geological condition

ZHU Lin

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

**Abstract:** The reinforcing scheme of the seawall is studied because of the complex and changeable geological conditions of the foundation in the north levee of Da-xiao-yushan. 1) The characteristics of seawall foundation with deep soft soil and deep groove are analyzed, and the geological characteristics are summarized. 2) The stability of typical sections with different geological characteristics, especially deep groove sections are analyzed by the arc sliding method. 3) The optimization suggestions for structural schemes are proposed. The research results show that it is reasonable to use the blasting compaction foundation reinforcement scheme, and the range and elevation of the rock platforms have an important influence on structural optimization. The optimization scheme can effectively reduce the amount of rock and the cost.

**Keywords:** deep soft soil; seawall; deep groove; stability; mud displacement by blasting

为使舟山市成为今后我国石化产业领域与日韩及海湾地区国家开展行业竞争的重要项目基地, 浙江省委省政府正加紧推进在舟山建设国家级绿色石化基地的工作。经过选址论证研究, 推荐舟山市岱山县大、小鱼山为绿色石化基地的建设位置。由于大、小鱼山岛陆域空间不足, 须经过开山和回填成陆为绿色石化园区提供必备的土地资源。北堤是鱼山陆域和海域综合开发利用总体工程的组成部分, 北堤的建设有利于节省浅滩围涂工程围区的回填投资, 完全建成后可提供高标准的防护条件、促进海域合理开发利用。其平面位置见图 1。

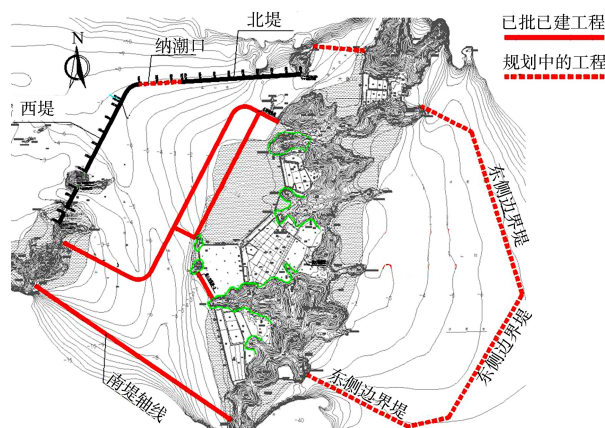


图 1 北堤及周边建构筑物平面布置

收稿日期: 2020-12-01

作者简介: 朱琳(1983—), 女, 硕士, 高级工程师, 从事岩土工程设计。

北堤全长约 2 599.0 m，天然高程多在-6.6 m (1985 国家高程基准)，局部有深度超过 20 m 的深槽。本文以北堤的结构断面设计为例，提出合理的设计断面及其调整方式以满足结构的安全要求。

1 建设条件

北堤所在场地浅部主要为软弱黏性土层③<sub>2</sub>灰色淤泥质粉质黏土，为高含水量、高压缩性、低强度、排水固结缓慢、中-高灵敏度软土，实测标准贯入试验击数 1~2 击，工程性质差。根据工程地质勘察报告中堤轴线方向的地质剖面，地质情况可以概括为以下 4 类情况：

1)特征 1。淤泥层较厚，底高程高于-25.0 m，

淤泥层下分布有连续的最小厚度大于 5 m 的砂层，或淤泥层内分布有砂层透镜体，但是透镜体砂层在堤身范围内均有分布，且厚度均较厚，最薄处砂层也大于 5 m。

2)特征 2。淤泥层较厚，底高程高于-25.0 m，淤泥层内分布有砂层透镜体，透镜体砂层在堤身范围内有分布，但是厚度变化大。

3)特征 3。淤泥层深厚，底高程低于-28.0 m，淤泥层内无砂层透镜体，或透镜体仅在堤身局部范围内分布，其厚度较薄，通常不大于 4 m。

4)无名峙岛以西堤段，局部天然泥面约-25.0 m，明显低于周边海域-6.6 m，形成深槽，见图 2。下卧淤泥层较厚，淤泥层底高程低于-40.0 m。

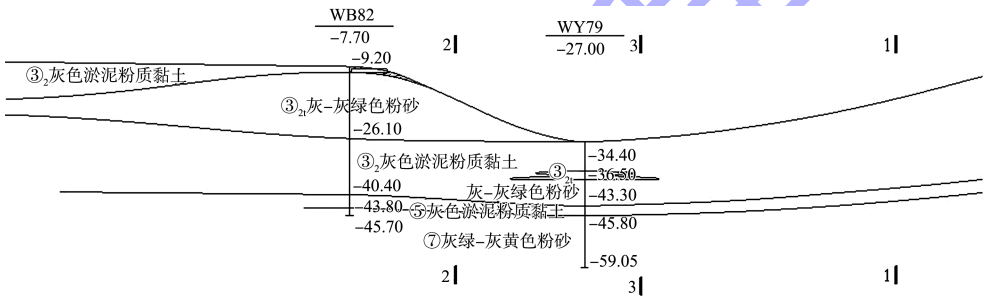


图 2 北堤深槽段地质纵剖面 (单位: m)

2 海堤结构计算

工程所在区域天然地基的承载力不能满足结构稳定要求。根据本工程开山石储量丰富的实际情况和围堤使用条件，采用爆破挤淤法处理地基，确保结构稳定性。堤顶高程 8.5 m，筑堤高度约 16 m，堤顶宽 6.0 m，堤身结构主要采用 10~300 kg 开山石。

2.1 计算依据

根据稳定性试算先确定初步爆破深度，以爆穿③<sub>2</sub>层淤泥质粉质黏土或底高程低于-28.0 m 为控制原则。

采用 Slide 边坡稳定性分析软件 Bishop 圆弧滑动法计算地基稳定性。计算最危险滑弧均应满足如下极限状态设计表达式：

$$\gamma'_0 M_{sd} < M_{Rk} / \gamma_R \tag{1}$$

式中： $M_{sd}$ 为作用于危险滑弧上滑动力矩的设计值 (kN·m/m)； $M_{Rk}$ 为作用于危险滑弧上抗滑力矩的标准值 (kN·m/m)； $\gamma'_0$ 为重要性系数，安全等级为

一级、二级、三级的建筑物，分别取 1.1、1.0、1.0； $\gamma_R$ 为抗力分项系数。

稳定计算结果要求满足《港口工程地基规范》<sup>[1]</sup>：施工期  $\gamma_R > 1.2$  (土体指标为三轴不固结不排水指标)，使用期  $\gamma_R > 1.2$  (土体指标考虑三轴不固结不排水指标的强度增长)。

2.2 计算工况

北堤未来为大小鱼山围涂工程的内部隔堤，工程防潮 (洪) 标准为 200 a 一遇潮位加 100 a 一遇波浪。因此，计算工况重点考虑内侧无加固、堤顶荷载 10 kPa、场地无堆载。内坡取 200 a 一遇高水位 3.81 m，外坡取 200 a 一遇低水位-2.69 m。

2.3 计算参数

③<sub>2</sub>灰色淤泥质粉质黏土层十字板剪切试验抗剪强度  $C_u$  与试验深度  $H$  关系的表达式为：

$$C_u = 1.301\ 2H + 11 \tag{2}$$

依据此式计算取值，并参照周边地区工程经验，

按  $C_u \leq 35$  kPa 控制。其余土体物理力学指标见表 1。

表 1 地基土层物理力学指标

土层编号	天然含水率 $w/\%$	天然密度 $\rho/(t \cdot m^{-3})$	内摩擦角 $\varphi/(^\circ)$	黏聚力 $C/\text{kPa}$
③ <sub>2</sub> 灰色淤泥质粉质黏土	44.0	1.77	0	16.5
③ <sub>2</sub> 灰-灰绿色粉砂	28.2	1.90	31.7	1.1
⑤ 灰绿-灰黄色粉质黏土	27.2	1.92	12.1	51.4
⑦ 灰绿-灰黄色粉砂	-	20.0	35.0	0

表 2 普通段稳定计算结果

断面	断面特征	$\gamma_R$
典型断面 1	符合地质特征 1, 典型爆破挤淤落底断面, 底部有连续分布大于 5 m 的砂层	1.404
典型断面 2	符合地质特征 2, 典型透镜体断面, 堤身大部分范围内均有透镜体, 但其厚度变化大	1.364
典型断面 3	符合地质特征 3, 典型不落地断面, 其底高程约 -38.5 m	1.364

2.5 海堤结构断面

结构断面采用抛石斜坡堤形式, 根据上述稳定计算结果, 防波堤外坡设置两级镇压平台, 第 1 级平台高程 -2.0 m, 平台宽度 15.5~16.5 m; 第 2 级平台结合护底设计, 两级均采用 1 000~1 200 kg 块石。

其余具体结构根据《海堤工程设计规范》<sup>[2]</sup> 和本工程实际情况确定如下: 防浪墙顶高程 8.5~10.0 m。

2.4 计算结果

普通段整体稳定计算各选用一个典型断面, 各断面特征描述及稳定计算结果见表 2。

3 个典型断面在施工工况下爆破挤淤加固时安全系数为 1.364~1.404, 均能满足规范对结构整体稳定性的要求。根据上述计算结果, 地基基础以爆破穿透③<sub>2</sub>或底高程低于-28.0 m 为控制标准, 加固深度 5.2~22.5 m。

防浪墙内侧堤顶高程 7.0~8.5 m, 堤顶宽 6.0 m, 堤身结构主要采用开山石。护面结构必须能够抵御波浪袭击和保持足够的稳定性, 并能适应地基沉降, 选用 8~12 t 扭王字块体。

内坡护面结构考虑一期工程的南堤或隔堤对其形成有效的风浪掩护, 爆破挤淤堤完成后, 通过理坡, 形成 1:1.25 的内坡, 设倒滤层。典型断面见图 3。

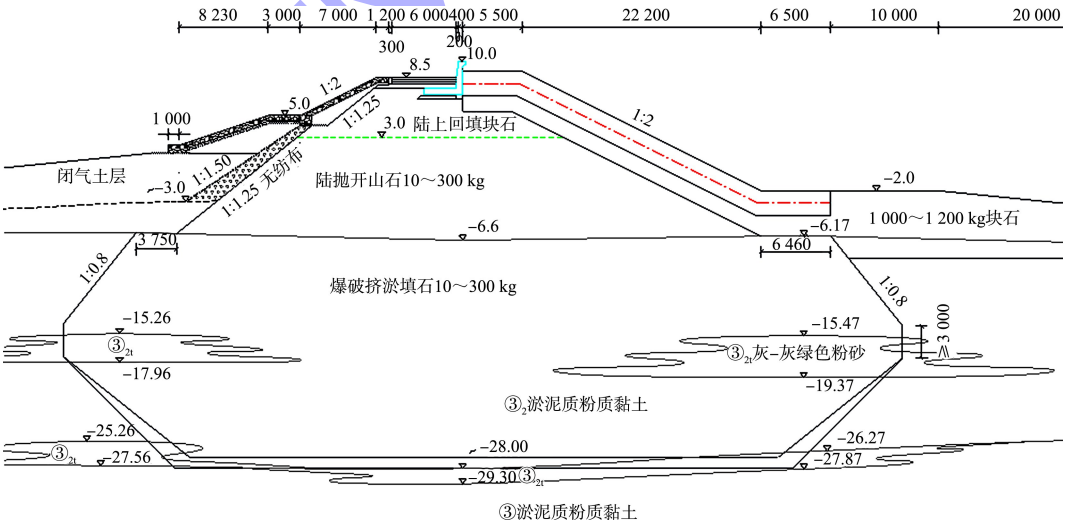


图 3 爆破挤淤方案典型断面 (高程: m; 尺寸: mm)

3 深槽段结构优化

3.1 结构方案

深槽段泥面高程约 -26.0 m, 原始泥面比周边低 20 m 以上, 加之深槽段水流速度较大, 进行爆

破埋药等操作的施工难度非常大。考虑到施工的可操作性, 堤身结构不进行爆破挤淤置换, 通过增加反压平台的方式满足整体稳定的要求。若坡前直接回填至周边泥面约 -6.6 m 高程, 用石量巨

大,每延米结构断面造价过高。兼顾与常规段结构断面的衔接,坡前反压考虑两个方案:增加-4.0 m平台宽度和增加-6.6 m平台宽度。

3.2 方案优化

本文选取 6 个典型断面,其泥面高程均为-26.0 m,坡前泥面回填至不同高程(-4.0 m 或-6.6 m),相应高程处平台宽度根据稳定计算结果调整,对深槽段断面尺寸进行进一步优化,以节省投资。通过计算,若增加-4.0 m 平台,则平台宽度需要增加至 55 m 以上才能满足规范要求。若增加-6.6 m 平台,则平台宽度需要增加至 65 m

以上才能满足规范要求。优化计算结果见表 3。

表 3 深槽段断面结构优化情况

优化方向	稳定计算结果 $\gamma_R$
-4.0 m 平台段宽度为 40 m	1.113
-4.0 m 平台段宽度为 55 m	1.211
-6.6 m 平台段宽度为 65 m	1.206

北堤大部分天然面高程约-6.6 m,结合其余深槽段断面的计算结果,考虑到断面设计施工的连续性,采用了增加-6.6 m 平台至 65 m 宽度的方案。工程中深槽段的其余断面据此进行了设计调整和优化,其典型断面局部示意图 4。

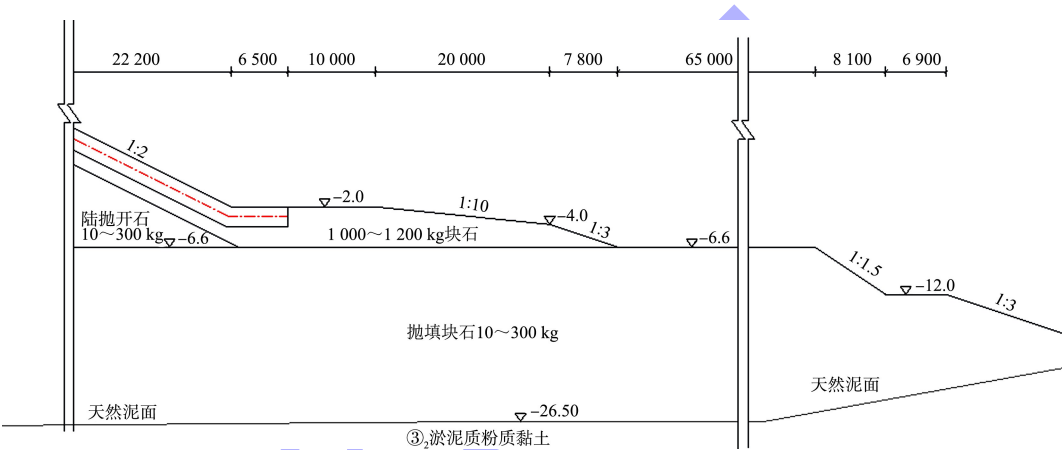


图 4 深槽段优化调整断面(局部) (高程: m; 尺寸: mm)

3.3 优化效果

通过设计断面估算抛填石方量,调整优化后的深槽段比未调整前可少抛填块石约 5.2 万 m³。

4 结论

1)大、小鱼山北堤天然地基的承载力不能满足堤身稳定要求,从结构稳定性方面论证了不仅在堤心石落底的情况下采用爆破挤淤进行地基处理安全可靠,即使悬浮时也可根据理论计算选取合理的落底深度以确保结构稳定。

2)介绍了根据理论计算结果调整围堤深槽段

具体结构方案的过程。通过调整压坡的范围和顶高程,可以进一步优化断面尺寸,从而减少工程用石料、降低工程造价。

参考文献:

[1] 中交天津港湾工程研究院有限公司.港口工程地基规范: JTS 147-1—2010[S].北京:人民交通出版社,2010.  
[2] 水利部水利水电规划设计总院.海堤工程设计规范: GB/T 51015—2014[S].北京:中国计划出版社,2014.

(本文编辑 武亚庆)