

# 爆炸排淤法在外海渔港防波堤工程中的应用

中国科学院力学研究所

叶东英

北京中科力爆炸技术工程公司

## 摘要

介绍爆炸排淤法在外海渔港防波堤工程中的应用及质量检测结果。

## 关键词

防波堤 爆炸排淤 稳定性

## ABSTRACT

It introduces the blastig compaction method for the breakwater works of a sea fishig harbor and also gives the results of its quality examination.

浙江嵊泗中心渔港是农业部“八·五”建设项目中最早建成的最大渔港之一。海港防波堤采用了中科院力学所等单位的专利金奖技术“爆炸排淤填石法”进行软基处理。施工单位为力学所所属北京中科力爆炸技术工程公司。爆炸处理软基工程从1992年7月至1995年3月完成，施工期间因石源问题曾停工两次。1996年通过国家级验收，爆炸处理基础工程被评为优质工程。

## 1 防波堤工程概况

防波堤位于东海前沿，在嵊泗礁岛和金平岛一线，堤轴偏东 $10^\circ$ ，全长1398m。防波堤结构为“斜坡式抛石堤”，并决定采用“爆炸排淤填石法”新技术处理防波堤软基。

### 1.1 工程水文地质概况

#### (1) 水文

防波堤施工海域水深4~7m，本区属正规半日潮。涨、落潮历时均在6.5h左右，涨潮时流速达 $0.7\text{m/s}$ 。

本区波浪主要为风浪，常风向和强风向基

本相同，为N、NNE和NE向。因处于外海直接受东海海面波况影响，常年大风不断，最大平均风速为 $40\text{m/s}$ 。每年第3季度为台风多发期。当台风逼近与经过时，常与大潮汛相遇，危害很大。所以防波堤设计波高为5.76m。

#### 潮位：

平均潮位 (m) 0 (黄海基准面)

设计高潮位 (m) 2.05 (累计频率10%)

校核高潮位 (m) 3.02 (50a一遇)

设计低潮位 (m) -1.75 (累计频率10%)

校核低潮位 (m) -2.76 (50a一遇)

#### (2) 地质

堤轴线上各土层状况见表1。表2为天然地基承载力标准值(f)建议值；表3为地基土抗剪强度建议值。

表1中 $\gamma_1$ 淤泥层和 $\gamma_2$ 淤泥混粉土层，因土质不好，物理力学性能差，应于清除。防波堤基础持力层落在 $\gamma_1$ 砂质粉土层上。

各工程地质层划分表

表 1

层号	岩性特征	顶板标高 (m)	平均层厚 (m)
1	淤泥: 灰黄~浅灰色, 流塑, 土质稀软	- 3.6 ~ - 6.1	3.29
	淤泥混粉土: 灰色, 流塑, 土质不均	- 8.3 ~ - 8.7	3.26
1	砂质粉土: 灰~灰绿色, 稍~中密, 很温	- 9.8 ~ - 12.5	5.27
	淤泥质粉质粘土: 灰色, 流塑	- 16.0 ~ - 16.9	2.03
1	粉质粉土: 浅灰~灰色, 软塑	- 16.15 ~ - 19.03	3.18
	粉质粘土、粘土: 灰黑~深灰色~可塑		9.75
1	粉质粘土: 灰黄~褐黄色, 可塑		9.97
	含粘性土中砂: 灰黄~褐黄色, 稍密~中密、饱和		2.85
	粘土: 灰~深灰色, 软~可塑		9.50
1	粉质粘土 (含砾): 杂色, 硬可塑		1.67
	含粘性土碎石: 杂色, 中密~密实		1.35
	强风化基岩: 褐黄~灰白色, 密实, 饱和		1.40

2 爆炸法处理本防波堤软基稳定性验算

采用爆炸法筑堤, 应对爆炸设计的堤心部分及全断面的地基进行稳定性验算。

2.1 验算断面的选取

(1) 堤心断面

顶宽 16.5m, 两侧坡比均为 1: 1.3, 处理泥厚 6、10m, 落底宽度分别为 20、16m。堤头断面顶宽 19m, 落底 24m。

(2) 竣工断面

顶宽 6m, 内侧 1: 1.5, 外侧坡比 0 标高以上 1: 2.0, 0 标高以下 1: 1.5。处理泥厚为 6、10m, 落底宽 37、32m。堤头断面内坡与外坡相同, 落底宽 40m。

(3) 持力层<sub>1</sub>下含有软弱层<sub>2</sub>处的验算段面

2.2 堤心石及各土层的指标选取

堤心石为混合石料, 经爆炸振动后, 其密度增大可达 1.9 左右, 摩擦角<sub>值</sub>也高于平常值, 最大可达 50°以上。根据石料所处位置不同, 选取石料的 C、<sub>值</sub>及其重度如下:

水面以上部分:

$C = 0, \quad \varphi = 48^\circ, \quad \gamma = 18\text{kN/m}^3。$

水面至泥下 2/3 石厚部分:

$C = 0, \quad \varphi = 42^\circ, \quad \gamma_{浮} = 11\text{kN/m}^3。$

泥下 1/3 石厚 (石灰泥) 部分:

$C = 0, \quad \varphi = 38^\circ, \quad \gamma = 10\text{kN/m}^3。$

混合层 (泥灰砂, 碎石):

$C = 10\text{kPa}, \quad \varphi = 20^\circ, \quad \gamma_{浮} = 9\text{kN/m}^3。$

2.3 计算结果

(1) 堤心断面

爆炸处理 10m 厚淤泥断面, 稳定系数为 1.21, 处理泥厚 6m 断面, 稳定系数为 1.1, 堤头处断面稳定系数为 1.1。

(2) 竣工断面

处理泥厚 10m 断面, 稳定系数为 1.48。处理泥厚 6m 断面, 稳定系数为 1.39。堤头断面稳定系数为 1.5。

(3) 软弱夹层 (2) 处的断面稳定性验算

天然地基承载力标准值 (f) 建议值 表 2

层号	1	2	1	2
f	30	60	140	70



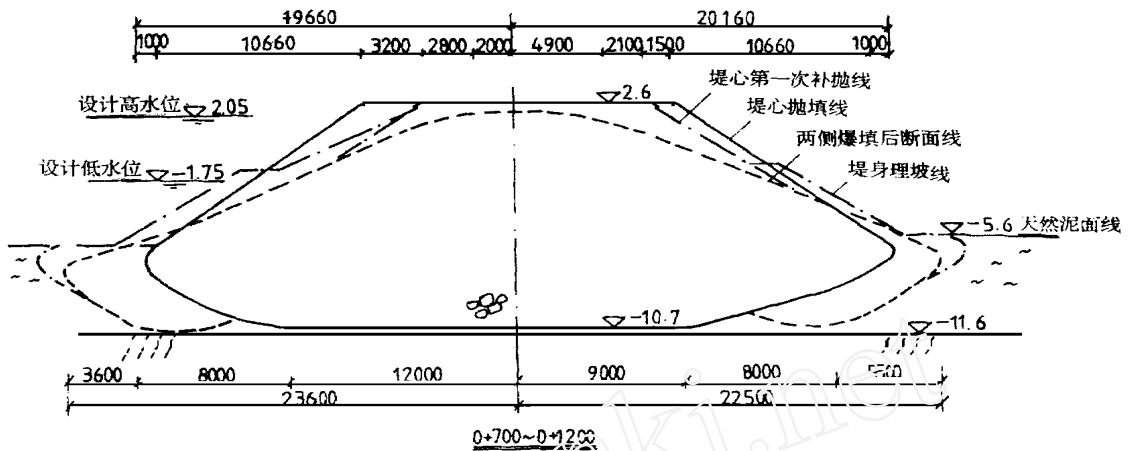


图 2 典型堤心爆炸处理断面图

#### 4 施工中爆炸处理软基的质量控制及检测

##### 4.1 质量控制

(1) 施工中严格按照设计中的爆炸参数控制布药质量。

(2) 爆前、爆后必须作断面测量。

(3) 严格控制抛填石的石质，大块石尽量向两侧抛。本工程要求堤心石，泥、砂含量不超过 15%。

##### 4.2 施工中的检测

爆炸处理水下软基是一种多循环的处理方法，因此，对前循环的工程质量应进行施工期的检测。根据检测的结果及时调整爆炸参数，以便保证工程质量。本工程在施工中检测的内容为：

(1) 过磅统计日抛石料量，用体积平衡法逐段计算爆炸进尺及测算抛石体底部深度。

(2) 用钻机探测爆炸“石舌”的长度和深度。

(3) 设置沉降、位移长期观测点。定期进行监测。本工程在堤轴线上共设置 11 个观测点，位置由桩号 0 + 100m 至 1 + 100m，每隔 100m 设一个点。监测时间一般为爆炸处理后三个月开始测量。

#### 5 竣工后质量检测及检测结果分析

爆炸处理软基的质量检测，目前主要采用沉降、位移观测法、钻孔勘察法及物探检测法（本工程采用探地雷达检测）。

##### 5.1 沉降、位移观测

全堤设置了 11 个沉降观测点，其中第 # 4 (0 + 400m 处) 点已在施工中被破坏，第 # 7 (0 + 700m) 点曾被破坏，后又修复继续观测。

从沉降观测资料可见，堤身施爆后，各点长期观测的累计沉降量都不超过 20cm。当爆炸处理 6 ~ 12 个月后，沉降趋于平稳。一年后各点的累计沉降量更小，不超过 4cm。而 # 6 ~ # 9 (0 + 600 ~ 0 + 900m) 测点，因抛石体下含砾粉土淤泥层，初始沉降量稍大些，但爆炸施工一年后，沉降已趋于稳定。证明堤身是稳定的。

##### 5.2 钻孔检测

在堤身抛填基本结束后，全堤布设 6 个抛填块石检测孔，位置为 0 + 180m、0 + 400m、0 + 700m（外侧戗台处）、0 + 706m（内侧平台处）、1 + 095m、1 + 290m。钻孔总进尺量为 96.7m。钻孔取样表明，防波堤抛石层已落底于持力层上，并且抛填石层均匀而密实。

##### 5.3 探地雷达检测

在防波堤上进行了 3 个纵剖面、12 个横剖面的质量检测。检测结果有以下三项：

(1) 沿堤轴各横剖面上，抛石层底面标

高、混合层厚度、含砾粉土淤泥层厚度及抛石体有效密度的测量数据；

(2) 由探地雷达轴向测量值，钻孔勘探值和设计剖面线绘制的典型轴向剖面图；

(3) 探地雷达测出的防波堤堤顶以下块石体积含量数据。

由质量检测结果分析：

(1) 从长期沉降、位移测量值表明，防波堤经多次爆炸处理密实后，堤身沉降量很小，远小于设计允许值。这足以证明，整条堤是相当稳定的，完全达到设计要求。

(2) 钻孔取样证明，爆炸后抛石层已落于持力层上，抛填石均匀而密实。

(3) 从钻孔、探地雷达测得的抛石层、混合层剖面与设计剖面相比较，结果为基本吻合。在 0 + 100 ~ 0 + 230，根据钻孔及探地雷达实测结果，该区段抛石体下卧层地质条件较好。经爆炸后，允许承载力测试结果为  $[R] = 186\text{kPa}$ 。所以认为堤身底部已落于亚砂土层，防波堤的基础是稳定的。

(4) 爆后堤身横断面主要参数（抛石层落底深度、有效宽度等），已达到防波堤结构设计要求。图 3 为探地雷达测得的典型堤身横剖面图。虽然有个别区段抛石层及持力层之间残

留较薄的含砾粉土淤泥层，但根据抽样测试，地质土样分析，堤身经爆炸处理后，该处土层的物理力学性质有明显改变，承载强度值已远大于原状土。在 0 + 700m 处，钻孔取得该夹层土样测试后结果为：含水量  $w = 28.9\%$ ，孔隙比  $e = 0.79$ ，压缩系数  $(0.1 \sim 0.2) = 0.34\text{MPa}^{-1}$ ，内摩擦角  $= 7.5^\circ$ ，内聚力  $C = 40\text{kPa}$ 。该层工程地质条件较好，允许承载力  $[R] = 186\text{kPa}$ 。因此可认为该段抛石体仍然落于工程地质条件较好的土层上。此层对防波堤整体稳定无影响。另外从此点的长期沉降及位移观测数据，也同样得到证实防波堤是稳定的（此点爆后六个月测得的累计沉降量为 5cm）。

所以说，防波堤堤身经多次爆填、爆夯循环作业后，相当密实而坚固，抛石层下土质的物理力学性能也得到较大改善，更利于整堤稳定。可以认为这是爆炸处理软基的独特之处。

防波堤验收后，在 1997 年度又遭受到一次百年一遇的 11# 强台风（风力 12 级）袭击，由于本防波堤堤身稳定，整个堤的基础没有任何破坏，渔港起到了避风作用，嵎洒渔民损失较小。这一事实，充分展示了爆炸处理外海渔港防波堤软基的优势。

（参考资料略）

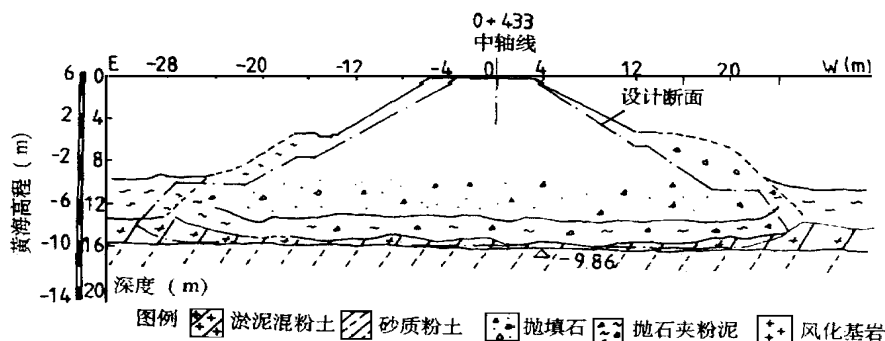


图 3 典型堤身横剖面图