

# 防波堤基础的爆炸处理方法及应用

陶松垒<sup>1</sup>,杨洁<sup>1</sup>,叶建<sup>1</sup>,付永平<sup>2</sup>,付显阳<sup>2</sup>

(1. 浙江科技学院,浙江 杭州 310012; 2. 浙江省围海工程公司,浙江 宁波 315000)

**摘要:** 为了快速有效地处理防波堤地基,采用了爆炸法处理地基的新方法,包括堤端推进爆填、边坡拓宽爆填、加抛密实爆夯、边坡整理爆夯等方法,通过玉环坎门防波堤工程中的应用、观察、比较,结果显示此方法费用省、工期短、沉移少、效益好,能够比较彻底的置换淤泥层,夯实堆石体,形成符合设计要求的各部位尺寸及深度。

**关键词:** 防波堤; 爆破排淤; 爆破夯实; 地基处理

中图分类号: TU473.1

文献标识码: A

文章编号: 1671-8798(2002)03-0020-07

## 1 工程概况

### 1.1 概况

玉环坎门防波堤工程堤轴线总长度 1864.9 m,其中口门长 216.9 m,东堤长 630 m,西堤长 1000 m。堤顶标高▽8.5 m(黄海标高,下同),挡浪墙顶标高▽10.0 m,泥面标高▽-7.0~8.0 m。防波堤横断面结构如图 1 所示。

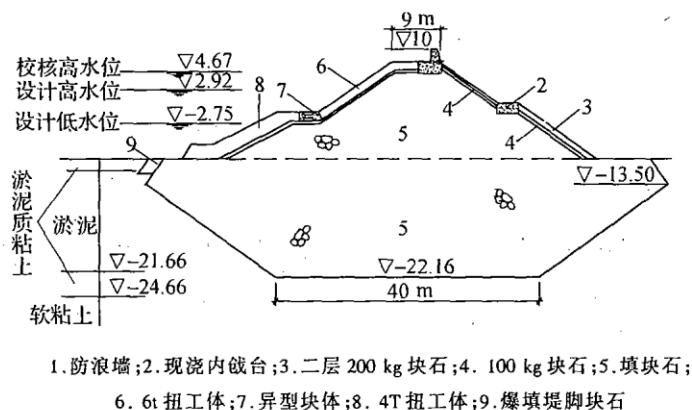


图 1 防波堤横断面图

### 1.2 地质情况

本工程的地貌为台州湾-沙湍港低山丘陵河口堆积平原区及东清湾低山丘陵海湾岛屿亚区。

收稿日期: 2001-10-30

作者简介: 陶松垒(1957-),男,浙江宁海人,高级工程师,有突出贡献的中青年科技人员,主要从事土木工程、海岸工程方面的教学和研究工作。

周围山体岩性属侏罗系统上黄尖组b段( $J_3n^b$ )的青灰、紫灰色块状流纹质晶屑熔结凝灰岩夹英安质晶屑熔结凝灰岩、流纹质晶屑凝灰岩。第四系土层多为全系统滨海相淤积土层( $mQ_4b$ ),各土层主要物理力学指标见表1。

### 1.3 工程特点

(1) 台风影响突出 平均每年受台风影响6~7次,严重受灾为平均每年1.7次,并且渔港港区波浪高,据统计,50年一遇的为 $0.01H_{max} = 7.25$  m,  $0.05H_{max} = 6.23$  m,  $0.13H_{max} = 5.40$  m,由此决定了防波堤高度,且结构处理难度大。

表1 防波堤工程地基土层主要物理力学指标

编号定名	顶板高程	土层厚度(m)	含水量(%)	湿密度( $g/cm^3$ )	孔隙比	凝聚力(kPa)	内摩擦角(度)
① 淤泥质粘土	出露地表	0~2.5	51.7	1.71	1.45	11.7	1.60
② 淤泥	-6.21~-9.16	5~17	66.7	1.62	1.84	10.1	0.80
③ 淤泥质粘土	-20.61~-23.62	0~4	52.6	1.73	1.43	1.8	1.70
④ 软粘土	-19.23~-25.42	0~32.3	36.5	1.85	1.04	30.4	4.20
⑤ 粉质粘土	-51.0~-54.21	0~3.3	25.4	2.04	0.64	-	-

(2) 潮差大 实测最大潮差7.02 m,年平均潮差4.05 m,加上来往渔船数量较多,增加了工程施工的难度。

(3) 地质条件差 港区淤泥层最大厚度达17 m,一般13~15 m,加上淤泥层粉质粘土,最大软粘土厚度达21.0 m,地基强度指标又低,故整个堤基工程地质条件比较差,不宜直接作堤坝的天然地基。

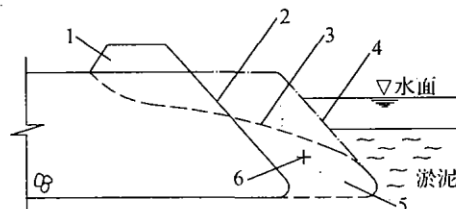
(4) 海水中泥沙含量偏高 各布置方案的泥沙淤积在20 cm以上,使防波堤工程的方案选择余地减少,布局及结构设计难度增大,工程造价因而偏高。

为了适应大水深、大厚度淤泥、大底宽堤身、强台风等特点,本工程采用爆炸法处理地基的方法,取得了预期的效果,仅以东堤为例介绍如下。

## 2 爆炸处理地基方法

### 2.1 理论和方法

爆炸法处理地基是近年兴起的一种新的地基处理技术,它利用炸药爆破释放的能量,通过置换、密实、搬移等手段,达到改良地基承载性能和形成堤坝型体的一种方法。主要分为爆破排淤填石法和爆破振夯密实法。爆破排淤填石法(简称爆填)是排除淤泥质软土填入块石的一种置换方法<sup>[1]</sup>。即在抛石体前沿淤泥中适当位置埋置药包,堆石体在爆炸冲击波、爆炸高压气团及其重力作用下向淤泥内塌落,形成一定范围和厚度的落在下卧硬土层上的“石舌”,如图2所示。爆破振夯密实法(简称爆夯)是通过爆炸使块石或砾石地基基础振动密实的方法<sup>[2]</sup>,即将炸药以点阵式放置在已堆好的堆石体上。堆石体在爆炸载荷作用下,一方面石块之间引起错位使空隙减少,得到密实;另一方面整个堆石体向淤泥中运动,将淤泥从堆石体外泥面挤出,并成型为设计要求的坝体形状。



1. 超高填石;2. 爆前剖面;3. 爆后剖面;

4. 补填剖面;5. 石舌;6. 药包

图2 爆破排淤填石示意图

#### 2.1.1 堤端推进爆填

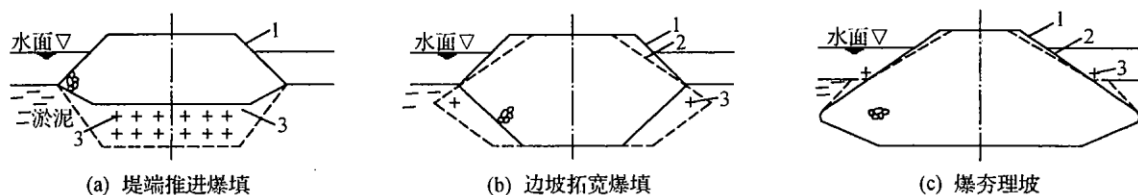
要求:本工程以堤顶挡浪墙混凝土内边线为堤横截

面的轴线,形成堤顶高程▽-6.0 m,堤顶港轴线内侧宽 16.5 m,港外侧宽 13.5 m,堤顶总宽 30 m;填石底标高达设计标高(-16.07~20.71 m);两侧边坡为自然边坡(约 1:1);落底底宽 40 m.以堆料-埋药-爆填-填料为一个循环,周而复始向堤中端推进.

推料:为保证爆填效果,每次爆破前堤头应超高抛填,超填范围为堤顶全宽,长度 6m,高度为自卸汽车卸石的自然高度.

埋药:如图 2、图 3(a)所示,用爆破挤淤作业船<sup>[3]</sup>把炸药包埋入设定的位置.

爆填:通过爆炸,炸药释放了巨大能量,把药包周围的淤泥排挤出去,预先堆放的石料填入空腔位置.爆填后的断面图形如图 3(b)实线部分,然后继续推进堆料.



1.爆前;2.爆后;3.药包位置

图 3 典型断面过程图

### 2.1.2 边坡拓宽爆填

当堤端推进 50 m 后,可进行边坡拓宽爆填,并以 50 m 为堤端和边坡爆填的正常施工面控制距离.边坡拓宽爆填应内外边坡对应同时施工.

边坡爆填后,形成堤顶高程▽5.0 m,轴线内宽 8.9 m,轴线外宽 4.6 m,总宽 13.5 m,边坡约 1:1.5,堤顶两坡脚抛石底面落至设计标高,断面如图 3(b)所示.

边坡爆填完成一循环作业,即填平堤顶,保证施工道路通畅.

### 2.1.3 加抛密实爆夯

为弥补内外坡脚抛填范围的不足,采用液压开底驳在水上定位加抛块石补足方量,并采用爆夯挤淤,使加抛块石与爆填石料接合.由于经爆填扰动的淤泥强度已大大降低,故很容易挤净淤泥,不会造成两次抛填石料间的淤泥夹层.

经本次处理后,内外坡脚二级平台形成符合设计要求的各部尺度及深度.

### 2.1.4 边坡整理爆夯

根据设计断面的要求,对边坡进行边坡整理爆夯.通过爆夯,一方面使边坡密实,减少沉降位移量;另一方面,坡比更接近于设计断面,减少人工理坡的工程量.

为加强工程质量,在内外坡一级平台位置进行爆夯,并初步形成轮廓断面,形成平台及堤心断面.本次爆夯与上述水上加抛爆夯应同时进行,断面图如图 3(c)所示.

爆填爆夯后,应基本完成堤心断面.内外坡脚平台形成符合设计要求的各部尺度及深度,再经一段时间的沉降后堤坝趋于稳定,可继续加荷填筑.

## 2.2 药量的计算<sup>[1]</sup>

### 2.2.1 爆填法

线药量按式(1)和式(2)计算.

$$q_L = q_0 \cdot L_H \cdot H_{m10} \quad (1)$$

$$H_{m10} = H_m + \frac{r_w}{r_m} \cdot H_{10} \quad (2)$$

式中  $q_L$ ——线药量,即单位布药长度上分布的药量(kg/m);

$q_0$ ——爆破排淤填石单耗, 即爆除单位体积淤泥所需的药量( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$L_H$ ——爆破排淤填石一次推进的水平距离(m);

$H_{mw}$ ——计入覆盖水深的折算淤泥厚度(m);

$H_m$ ——置换淤泥厚度(m), 含淤泥包隆起高度;

$r_m$ ——淤泥重度( $\text{KN}/\text{m}^3$ );

$r_w$ ——水重度( $\text{KN}/\text{m}^3$ );

$H_w$ ——覆盖水深即泥面以上的水深.

一次爆破排淤填石药量按式(3) 计算

$$Q_1 = q_L \cdot L_L \quad (3)$$

式中  $Q_1$ ——一次爆破排淤填石药量(kg);

$L_L$ ——爆破排淤填石一次的布药线长度(m).

单孔药量按式(4) 和式(5) 计算

$$q_1 = Q_1 / m \quad (4)$$

$$m = L_L / a + 1 \quad (5)$$

式中  $q_1$ ——单孔药量, 如为单药包孔位, 则为单药包药量  $q_2$ (kg);

$m$ ——一次布药孔数;

$a$ ——药包间距.

## 2.2.2 爆夯法

单药包药量  $q_2$  按式(6) 和式(7) 计算

$$q_2 = q_0 \cdot a \cdot b \cdot H \cdot \eta / n \quad (6)$$

$$\eta = \Delta H / H \times 100\% \quad (7)$$

式中  $Q_0'$ ——爆破夯实单耗, 指爆破压缩单位体积所需的药量( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$a$ 、 $b$ ——药包间距、排距(m);

$H$ ——爆破夯实前石层平均厚度(m);

$\Delta H$ ——爆破夯实后石层顶面平均沉降量(m);

$\eta$ ——夯实率;

$n$ ——爆破夯实次数.

## 2.2.3 工程实际爆破参数见表2、表3.

表2 爆填参数

参 数	堤 端	堤 侧
单药包重(kg)	60	30
药包间距(m)	3	2
布药长度(m)	33	20
一次起爆药包数(个)	12	10
一次起爆药量(kg)	720	300
爆破次数(次)	85	60
药包标高(m)	泥面或泥面以下 2.5 m	
总 药 量(kg)	61200	18000
布药线位置	抛石前沿 1 m	抛石前沿 1 m
起爆水位(m)	$\geq +2.14$	$\geq +2.14$
每炮推进(m)	7	

注: 堤根部 30 m, 不计爆破工作量, 故计算长 600 m;

表3 爆夯参数

参 数	一级平台	二级平台
单药包重(kg)	10	10
药包间距(m)	2.5	2.5
药包排距(m)	0	8
一次布药长度(m)	40	40
一次起爆药包数(个)	16	48
爆破次数(次)	31	31
一次起爆药量(kg)	160	480
药包悬高(m)	0	0
总药量(kg)	4960	14880
起爆水位(m)	$\geq +3.15$	$\geq \pm 0.00$

注: 一级平台指钹台以下抛石平台, 二级平台指原泥面标高处的抛石平台;

### 2.3 炸药的埋设

爆填药包埋深按如下公式计算:

$$H_u = 0.45 H_{mw}$$

式中  $H_u$ ——药包埋深,指药包中心在水面以下的深度(m);

$H_{mw}$ ——折算置换淤泥厚度(m).

$$H_{mw} = H_m + H_w'$$

式中  $H_m$ ——置换淤泥厚度(m);

$H_w'$ ——折算水深(m).

$$H_w' = \frac{r_w}{r_m} \cdot H_w$$

式中  $r_w$ 、 $r_m$ ——分别为水和淤泥的容重;

$H_w$ ——水深(m).

药包的埋设采用爆破挤淤作业船进行施工<sup>[3]</sup>,边坡爆填的药包设计埋深均高于泥面标高,故边坡爆填药包的实际泥下埋深均取为 0.

### 2.4 施工注意事项

(1) 宜在低潮位时布药,以提高布药的准确性,节省船只费用;在高潮位时起爆,可充分利用炸药的能量,而且起爆时有水覆盖,可减少飞石危害.

(2) 平面上分区段爆夯时,相邻两次爆夯的药包应重复布置在同一断面上以保证搭接段的夯实效果.

(3) 在施工期应安排适量的沉降位移观测,并及时掌握施工期的沉降位移规律.

(4) 药包应做好防水措施,布药后应抓紧引爆,以提高准爆率.爆破中,每次准爆率应不低于 90%,小于 60%应补爆一次,60%至 90%之间应局部补爆.

(5) 施工中宜对称进行,以保持堤坝的平衡稳定.

(6) 起爆前应对来往船只、水下泳者要按规定安全距离清场.

## 3 效 果

### 3.1 爆破前后的断面比较

图 4(a)为堤端推进爆填前后横断面图;图 4(b)为堤端推进爆填前后纵断面图;图 5 为边坡拓宽爆填前后断面图;图 6 为加抛密实爆夯前后断面图;图 7 为边坡整理爆夯前后断面图.

### 3.2 质量检验

本工程爆填、爆夯后,通过探地雷达法和钻孔探模法进行探测分析,结果说明防波堤的地基处理的尺寸和指标均达到设计要求.

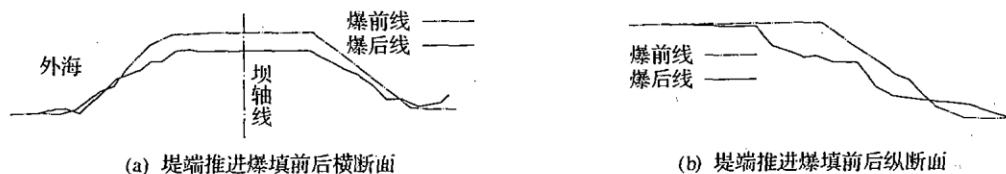


图 4 堤端推进爆填前后纵横图

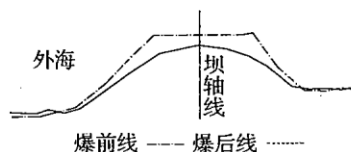


图5 边坡拓宽爆填前后断面图

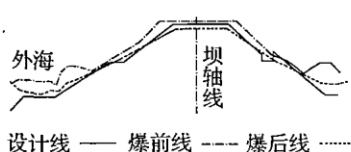


图6 加抛密实爆夯前后断面图

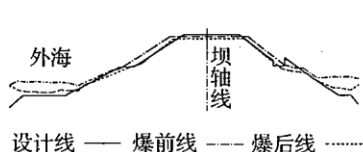


图7 边坡整理爆夯前后断面图

### 3.3 沉降观测

在防波堤施工过程中,在异型块体处设立了14个沉降观察点,12个位移观察点;在内铎台处设立了11个沉降观察点,11个位移观察点.经一年左右观察,具体分析如下.

#### 3.3.1 垂直沉降观察

各点的沉降量见图8、图9.

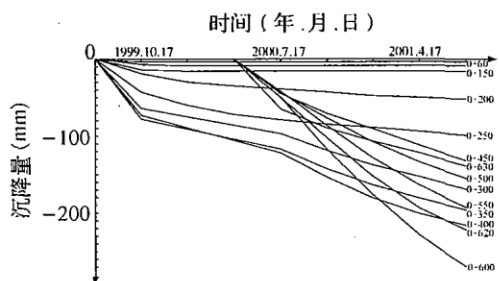


图8 外坡沉降曲线

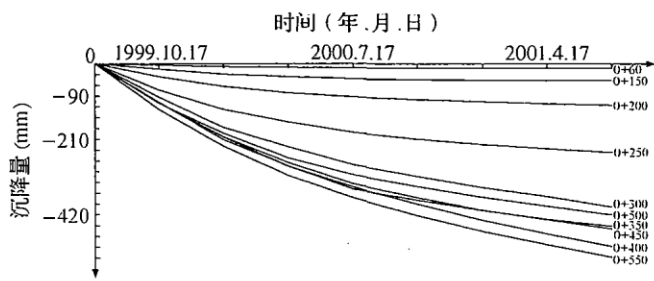


图9 内坡沉降曲线

#### 3.3.2 水平位移观察

从1999年8月15日~2001年5月15日,对异型块体和内铎台设置的几个位移点,每隔三个月观察一次,累计位移如图10、图11.其累计位移量均在预定范围内.从时间轴线看,以最大位移点0+250点为例,画出位移量曲线如图12.随着时间的推进,位移量逐渐减少,说明堤坝趋于静止.

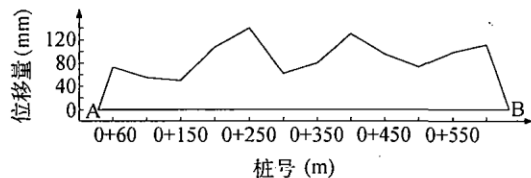


图10 异型块体位移量曲线

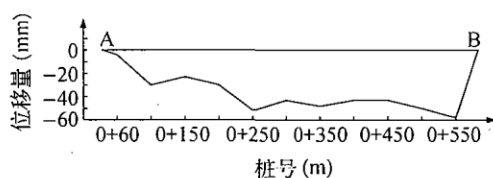


图11 内铎台位移量曲线

## 4 讨论

#### 4.1 爆炸前后断面变化特点和效果

从众多断面图中比较可见,爆炸前后断面曲线具有沉降、坍塌和削凸填凹的特点.爆后的堤顶均比爆前低,说明爆填效果是明显的,爆夯的密实作用也是肯定的,边坡整理爆夯也是可行的.只要严格按照规范要求施工,完全能达到预期要求.

#### 4.2 沉降特点和比较

经过观察,堤端沉降较小,中间沉降稍大.原因为顺着堤端而下,岩基渐深,软弱土层渐厚.从时

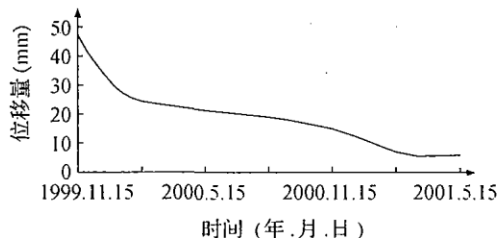


图12 点0+250位移量曲线

间上看,开始沉移较大,以后沉移逐渐减小,竣工前期防波堤已趋向稳定。

#### 4.3 泥石相间夹层的担忧

在抛石体经爆填向淤泥内塌落,形成落在硬土层上的“石舌”后,继续抛填时,由于石舌上部的淤泥是经过爆炸抛掷扰动后回落的,强度降低,块石可以很容易的挤开并与下层石舌形成无淤泥夹层的完整抛石体。但是泥土的强度静置后又能恢复,因此,在施工中,爆填-填料工序不能有长时间的间隔。本工程经探地雷达法和钻孔探模法进行探测分析,未发现泥石相间夹层的情况。

#### 4.4 爆炸法处理水下地基的优点

(1)节约费用,经济效益显著;(2)施工周期相对较短,节约时间;(3)排淤填石、置换淤泥质地基,夯实效果好,位移和沉降在预定范围内;(4)施工工艺简单,质量容易保证。

### 5 结 论

采用爆炸法处理防波堤水下地基,能够比较彻底的置换淤泥层,夯实堆石体,形成符合设计要求的各部位尺寸及深度,快速完成地基处理,减少日后的不均匀沉移,竣工后防浪堤稳定。

#### 参考文献:

- [1] JTJ/T258-98.爆炸法处理水下地基和基础技术规程[S].1998.
- [2] 陶松垒,李祖兴,张子和,等.爆炸夯实法处理海堤抛石基床[J].爆破器材.1999,(6):24-30.
- [3] 陶松垒,张志建.爆破挤淤作业船[J].工程机械.1998,(8):4-5.

## Blasting method of the breakwater groundwork and its application

TAO Song-lei<sup>1</sup>, YANG Jie<sup>1</sup>, YE Jian<sup>1</sup>, FU Yong-ping<sup>2</sup>, FU Xian-yang<sup>2</sup>

(1. Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310012, China;

2. Zhejiang Reclaiming Engineering, Ningbo 315000, China)

**Abstract:** In order to dispose the breakwater groundwork in a more rapid and efficient way, a new method of blast treatment is put to use. It includes blasting and filling of the end of the breakwater, blasting and filling of slope widening, blasting and tamping of consistence, blasting and tamping of slope renovation, etc. By observation and comparison of the method applied in the breakwater project at Kanmen, Yuhuan, the results reveal that this method can save the expense and time, reduce settlement and work efficiently. And it can replace silt more thoroughly, tamp enrockment and form the size and depth of every part according with the design.

**Key words:** breakwater; blasting and silt remove; blasting and tamping; ground treatment