

文章编号: 1001-1455 (2003) 05-0475-06

防波堤基础的爆炸处理方法及应用*

陶松垒, 李未材

(浙江科技学院, 浙江 杭州 3100121)

摘要: 采用了爆炸法处理地基的新方法; 它包括堤端推进爆填、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、观察和比较, 表明此方法能够比较彻底地置换淤泥层, 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: 爆炸力学; 地基处理; 爆破排淤; 防波堤; 爆破夯实;

中图分类号: O389

国标学科代码: 130·3599

文献标志码: A

1 工程概况

本工程为玉环坎门防波堤工程。堤轴线总长 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 $\nabla 8.5$ m (黄海标高, 下同), 挡浪墙顶标高 $\nabla 10.0$ m, 泥面标高 $\nabla -7.0 \sim 8.0$ m。防波堤横断面结构如图 1 所示。

地质情况: 地貌为

台州湾—沙埕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。周围山体岩性属侏罗系上统黄尖组 b 段 ($J_3 n^b$) 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。第四系土层多为全新统滨海相淤积土层 (mQ_{4b}), 各土层主要力学指标如表 1。

工程特点:

(1) 台风影响突出, 平均每年受台风影响 6~7 次, 严重受灾平均每年 1.7 次。并且渔港港区波浪高, 据有关部门统计, 每五十年遇到海浪的最大高度分别为: $H_{1_{max}} = 7.25$ m、 $H_{5_{max}} = 6.23$ m、 $H_{13_{max}} = 5.40$ m (数字下标表示遇到的海浪次数)。由此决定了防波堤高度, 且结构处理难度大。

(2) 潮差大, 实测最大潮差 7.02 m, 年平均 4.05 m, 加上渔船数量较多, 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, 一般为 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, 使防波堤工程的布局及结构设计

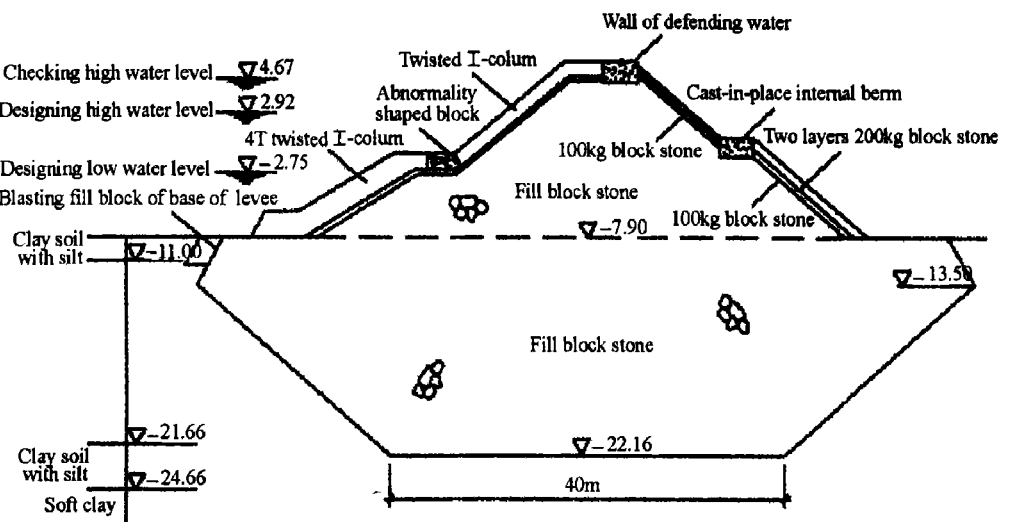


图 1 防波堤横断面图

Fig. 1 Cross section diagram of breakwater

* 收稿日期: 2002-05-30; 修回日期: 2003-06-16

作者简介: 陶松垒 (1957—), 男, 高级工程师。

难度增大,方案选择余地减少,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,采用爆炸法处理地基的方法,取得了预期的效果,本文以东堤为例介绍爆炸处理地基方法。

表 1 防波堤工程地基土层主要力学指标

Table 1 Main mechanical index of the soil layer of breakwater' groundwork

名称	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/(°)
淤泥质粘土	出露地表	0~2.5	51.7	1.71	1.45	11.7	1.60
淤泥	-6.21~-9.16	5~17	66.7	1.62	1.84	10.1	0.80
淤泥质粘土	-20.61~-23.62	0~4	52.6	1.73	1.43	1.8	1.70
软粘土	-19.23~-25.42	0~32.3	36.5	1.85	1.04	30.4	4.20
粉质粘土	-51.00~-54.21	0~3.3	25.4	2.04	0.64	—	—

2 爆炸处理地基方法

2.1 有关理论和方法

爆炸法处理地基是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。主要分为两种方法: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^[1~3]。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^[2],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。

2.1.1 堤端推进爆填

要求: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 2~6.0 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);落底宽度 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 6 m,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。

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))。

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,坡度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。（断面如图 3(c)）

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。

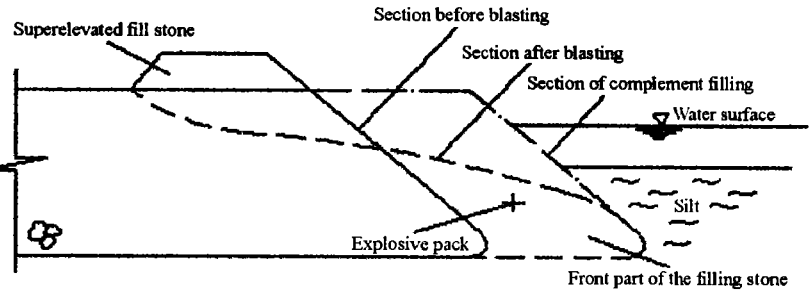


图 2 爆破排淤填石法示意图

Fig.2 Schematic diagram of filling stone from silt by blasting

2.2 药量的计算[1]

2.2.1 爆填法

线药量按式(1)和式(2)计算。

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

$$H_{mw} = H_m + r_w H_w / r_m \quad (2)$$

式中： q_L 为线药量，即单位布药长度的药量； q_0 为爆破排淤填石单耗，即爆除单位体积淤泥所需的药量； L_H 为爆破排淤填石一次推进的水平距离； H_{mw} 为计入覆盖水深的折算淤泥厚度； H_m 为置换淤泥厚度，含淤泥包隆起高度； r_m 为淤泥比重 (kN/m^3)； r_w 为水比重； H_w 为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

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

式中： Q_1 为一次爆破排淤填石药量； L_L 为爆破排淤填石一次的布药线长度。

单孔药量按式(4)和(5)计算

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

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

式中： q_1 为单孔药量，如为单药包孔位，则为单药包药量 q_2 ； m 为一次布药孔数； a 为药包间距；设 N 为爆破次数。

2.2.2 爆夯法

单药包药量 q_2 按式(6)和(7)计算

$$q_2 = q_0 abH\eta / n \quad (6)$$

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

式中： q_0 为爆破夯实单耗，指爆破压缩单位体积所需的药量； b 为药包排距； H 为爆破夯实前石层平均厚度； ΔH 为爆破夯实后石层顶面平均沉降量； η 为夯实率； n 为爆破夯实次数。

2.2.3 爆破参数。

本工程实际爆破参数见表 2、表 3。

2.3 炸药的埋设

爆填药包埋深按公式 $H_u = 0.45H_{mw}$ 计算； H_u 为药包埋深，指药包中心在水面以下的深度。

药包的埋设采用爆破挤淤作业船进行施工^[3]，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。

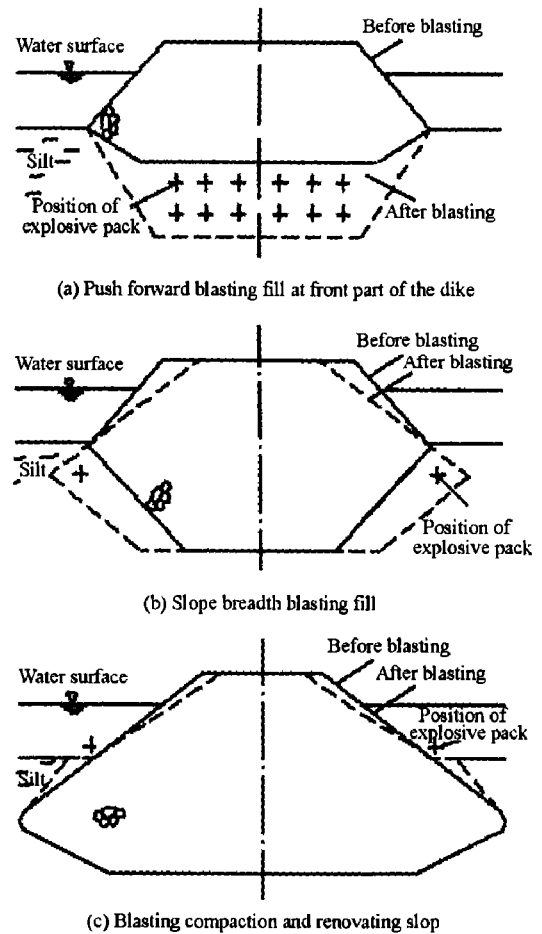


图 3 典型的断面爆破过程

Fig.3 The shaping process of typical section

表 2 爆填参数

Table 2 Parameters of blasting and filling

位置	参 数 ¹⁾						药包标高/m	总药量/kg	布药线位置	起爆水位/m	L_H /m
	q_2 /kg	a /m	L_L /m	m	Q_1 /kg	N					
堤 端	60	3	33	12	720	85	泥面或泥面 以下 2.5m	61200	抛石前沿 1m	$\geq +2.14$	7
堤 侧	30	2	20	10	300	60	泥面	18000	抛石前沿 1m	$\geq +2.14$	

1) 堤根部 30 m, 不计爆破工作量, 故计算长 600 m。

表 3 爆夯参数

Table 3 Parameters of blasting and tamping

位置	参 数						药包悬高/m	总药量/kg	起爆水位/m	
	q_2 /kg	a /m	b /m	L_L /m	m	Q_1 /kg				
一级 平台 ¹⁾	10	2.5	0	40	16	160	31	0	4960	$\geq +3.15$
二级 平台 ²⁾	10	2.5	8	40	48	480	31	0	14880	$\geq \pm 0.00$

1): 一级平台指戗台以下抛至平台; 2) 二级平台指原泥面标高处的抛石平台。

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, 每炮准爆率应不低于 90%, 小于 60% 应补爆一次, 60%~90% 之间应局部补爆。

(5) 施工宜对称进行, 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。

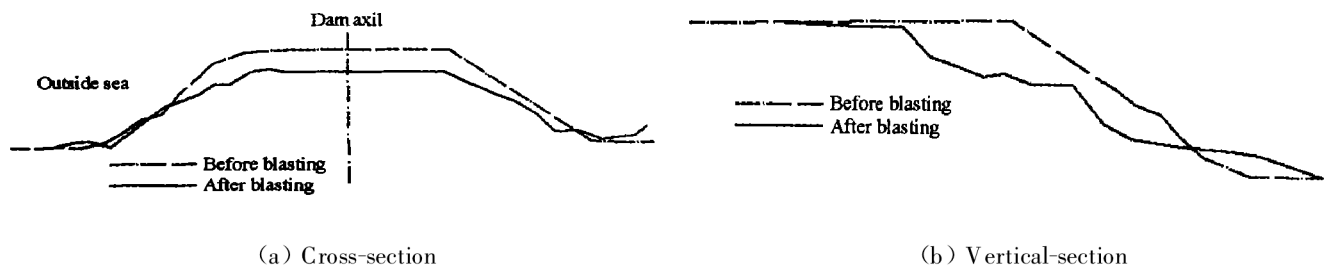


图 4 堤端推进爆填前后横、纵断面图

Fig. 4 Cross-section and vertical-section before and after blasting and filling at front part of the dike

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, 结果说明防波堤地基处理的尺寸和指标均达到设计要求。

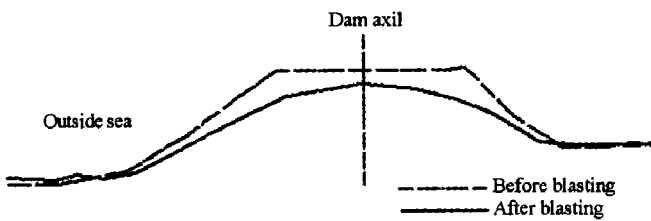


图 5 边坡拓宽爆填前后断面图
Fig.5 Section of slope widening before and after blasting and filling

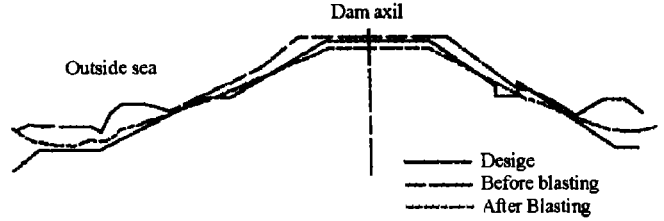


图 6 加抛密爆夯前后断面图
Fig.6 Section of of slope reinforcing before and after blasting and tamping

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;在内钺台处设立了 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。

(1) 垂直沉降观察见图 8、9。

(2) 水平位移观察:从 1999 年 8 月 15 日 ~ 2001 年 5 月 15 日,对异型块体和内钺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、11。其累计位移量均在预定范围内。从时间轴轴看,以最大位移点 0+250 点为例,位移量如图 12,位移量逐渐减少,说明堤坝趋于静止。

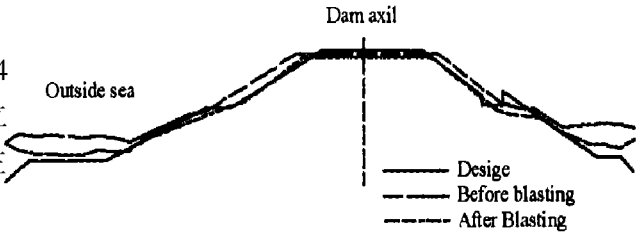


图 7 边坡整理爆夯前后断面图
Fig.7 Section of slope ranovation before and after blasting and tamping

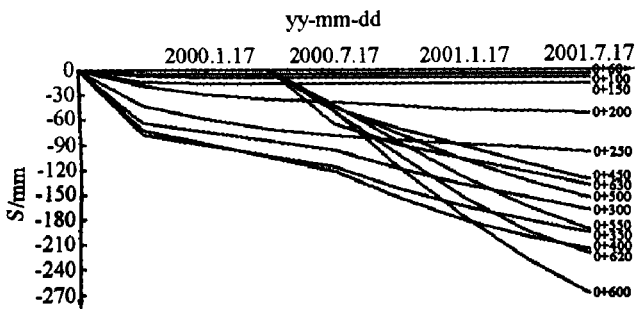


图 8 外坡沉降线
Fig.8 Settlement curve of outside slope

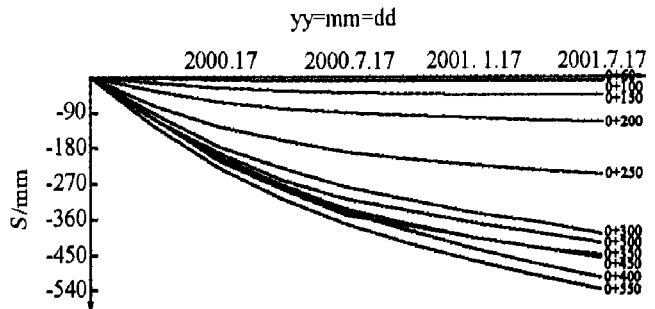


图 9 内坡沉降线
Fig.9 Settlement curve of inside slope

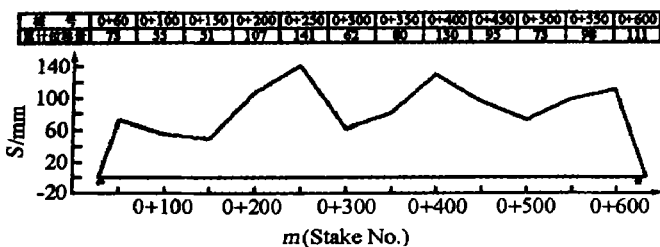


图 10 异体块位移量曲线
Fig.10 The displacement curve of the abnormal block

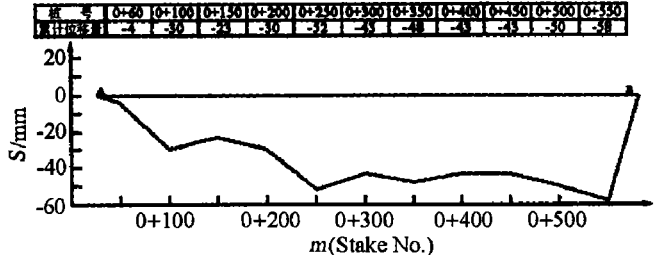


图 11 内钺台位移量曲线
Fig.11 The displacement curve of the internal berm

4 讨论

1. 当继续抛填时,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,因此块石可以很

容易的挤开并与下层石舌形成无淤泥夹层的完整抛石体

2. 为了充分利用炸药能量,在药包上有一定深度的覆盖水情况下起爆。

3. 经过观察,堤端沉降较小,中间沉降稍大。原因是顺着堤端而下,岩基渐深。从时间上看,开始沉降较大,以后沉降逐渐减小,防波堤趋于稳定。

4. 从众多断面图中比较可见,爆后的堤顶均比爆前低,说明爆填效果是明显的,也说明爆夯的密实作用也是有效的。只要严格按照规范要求施工,完全能达到设计要求。

综上所述,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,使防浪堤趋于稳定。并有如下优点:(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,置换了淤泥质地基,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。

参考文献:

- [1] JTJ/T258-98-1998, 爆炸法处理水下地基和基础技术规程[S].
- [2] 陶松垒,李祖兴,张子和,王云球. 爆炸夯实法处理海堤抛石基床. 爆破器材[J]. 1999(6): 24~30.
TAO Song-lei, LI Zhu-xing, ZHANG Zi-he, et al. Disposition of pierre-perdue of sea dams by explosive rammimg[J]. Explosive Materials, 1999, 9(6): 24~30.
- [3] 陶松垒,张志建. 爆破挤淤作业船[J]. 工程机械. 1998, 29(8): 4~5.
TAO Song-lei, ZHANG Zi-jie. Poping and squeezing puddly soil work boat[J]. Construction Machinery and Equipment, 1998, 29(8): 4~5.

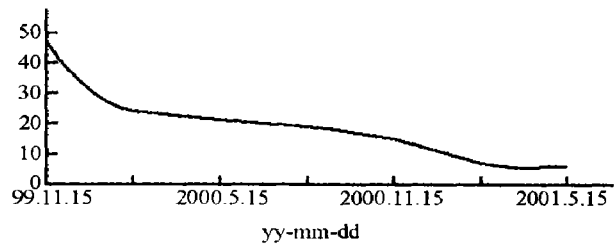


图 12 0+250 点位移量曲线

Fig.12 The displacement curve of the point 0+250

Blasting method for the breakwater groundwork and its application

TAO Song-lei^{*}, LI Wei-cai

(Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310012, Zhejiang, 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. Through observation and comparison of the method applied in the breakwater project at Kanmen, Yuhuan, it is shown that this method can replace silt more thoroughly, tamp enrockment and form the size and depth of every part in accordance with the design.

Key words: mechanics of explosion; ground treatment; blasting and silt removal; breakwater; blasting and tamping

* Corresponding author: TAO Song-lei E-mail address: taosonglei@163.com; Telephone: 0571-88868089