

# 珠海港南泾湾防波堤爆炸挤淤处理软基工程

珠海港务局 叶亦林

中国科学院力学研究所 邢维复 任京生

## 摘要

简要介绍珠海港南泾湾防波堤爆炸处理软基工程施工情况,其中着重介绍了泥面爆炸法的爆填施工。根据爆填法石舌形成机理,并结合模型的实验的结果,分析了泥面爆填施工的可行性。

## 关键词

防波堤 爆炸 挤淤 施工

## ABSTRACT

The construction conditions of consolidating Nanjingwan breakwater soft foundation of Zhuhai Port, esp. the explosive consolidation construction of silt-surfaced foundation by displacement are briefly introduced. Based on the formation mechanism of stone tongue in explosive consolidation by displacement and combining the model test result, the feasibility of consolidating silt-surfaced foundation by displacement through explosion is analyzed.

## 1 工程概况

珠海港南泾湾防波堤位于珠海市南水高栏岛风猛鹰岬角,由东向西偏南20°延伸,堤长1400m,为斜坡式防波堤,堤顶宽13.35m,堤底宽116m。防波堤断面图见附图示。

防波堤处海底平坦,高程为-6.6~-7.1m。其地层分布如下:

(1) 淤泥:层厚4.0~9.1m;

(2) 粉细砂:层厚2.2~4.4m。

设计要求防波堤之堤心石在爆炸挤淤后座落在粉细砂(混有淤泥)层上,淤泥和粉细砂的物理力学指标见表1、表2。

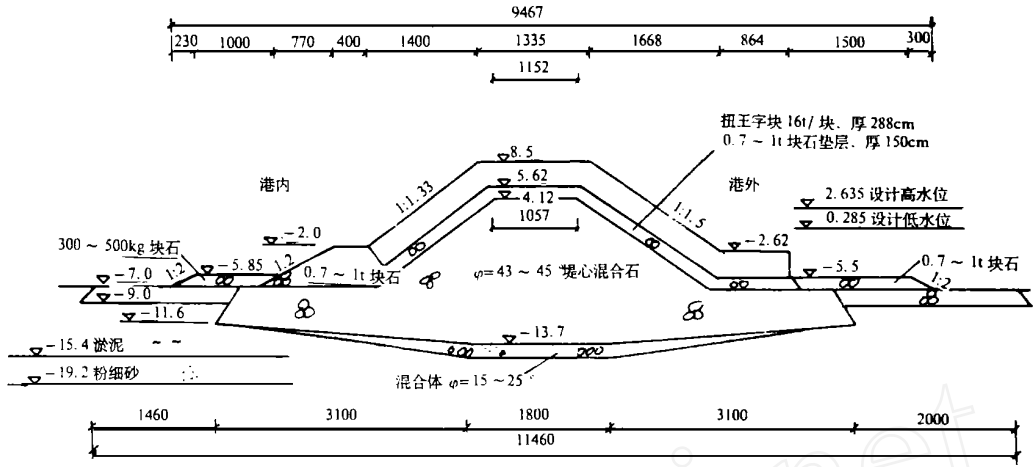
本工程的爆炸处理软基施工包括用爆填法修筑堤心并拉出两侧堤肩,爆炸理坡,内外堤肩的爆炸密实和护底混合石爆夯,使

堤心堆石体落到持力层上和基础稳定。在落底范围内,要求0.8倍淤泥深度内的淤泥被置换成堆石体,堆石体的内摩擦角达到 $\varphi=43^\circ\sim 45^\circ$ ,容重 $1.8\text{t}/\text{m}^3$ ;下部0.2倍深度内可为淤泥、碎石、砂和粘土组成的混合体, $\varphi=15^\circ\sim 25^\circ$ ;侧向最小置换深度为0.55倍的淤泥厚度。详见附图。

本地区全年强风向为E和NE,最大风速 $30\text{m}/\text{s}$ 。常风向依次是NE、E,频率分别是22.4%、22.1%。每年4~11月为台风季,以6~9月为最盛。对港区有影响的台风年平均为4.2次,最多为9次。

本地区波浪以涌浪为主,全年涌浪占69.1%,风浪占30.9%。

多雨,尤其是雷雨是本地区的气象特点之一,平均年降水日数158.9d,最多年降水



附图 (单位: cm)

日数 197d。

69 个。

本工程质量检测方法共五项: 沿防波堤钻孔 8 个, 观察堆石体落底情况; 物理探测; 每 100m 设立沉降观测点, 共 13 个测点, 连续观测三个月, 累计沉降不超过 30cm; 每 100m 探测一次爆填后石舌的分布形态; 每 20m 测量一个横断面竣工图, 共

## 2 软基处理施工

### 2.1 堤心爆填 — 泥面布药

本地区的风浪大而且频繁, 它严重影响海上作业, 从而影响工程进度。为此必须探求新的爆填施工方法, 即陆上作业的泥面布

表 1

项 目 名 称	天然含水量 W (%)	液限 W <sub>L</sub> (%)	塑限 W <sub>P</sub> (%)	塑限指标 I <sub>P</sub> (%)	液性指数 L	天然密度 ρ (g/cm <sup>3</sup> )	比重 G <sub>s</sub>	天然孔 隙比 e	饱和度 S <sub>r</sub> (%)
淤泥	52.1	30.7	19.3	11.3	2.86	1.7	2.69	1.427	97.3
粉细砂	29.6	23.7	14.3	9.3	0.90	1.92	2.68	0.760	95.3

表 2

名称	压缩性			快 剪		团结快剪		无侧限抗 压强度 Qu kPa	压缩 指数 Cc	渗透 系数 K E-6 cm/s	前期固 结压力 Pc kPa
	压缩系数 Av 1/MPa	压缩模量 Es MPa	团结系数 Cv E-03 cm <sup>2</sup> /s	凝聚力 C kPa	摩擦角 φ (°)	凝聚力 C kPa	摩擦角 φ (°)				
淤泥	1.01	2.17	0.56	-	-	11.6	9.28	19.0	0.336	1.64	71.95
粉细砂	0.41	4.7	0.8	18.6	20.4	14.0	12.1	-	2.14	0.266	130.3

## 药爆填法。

当淤泥的含水量较大、强度低,水深相对淤泥厚度较深时,用泥面爆炸进行爆填施工应当是可行的。这时水起阻抗作用。随着防波堤不断向前推进,淤泥层的厚度由5m增至9m,而水深也相应地由6m增至10m,即水深较泥深稍大一些。这里的淤泥含水量较小,为52.1%,密度较大,为 $1.7\text{g}/\text{cm}^3$ ,其强度也较高。在这种情况下,用泥面爆炸进行爆填施工是否可行,为此进行了实验。

对工程有意义的是瞬态最大爆坑。现场观察表明:石舌的形成和爆炸早期过程有关或和爆炸空腔运动有关。当药包起爆后,首先形成爆炸空腔。由于在高速高压运动下,淤泥和水均为流体,空腔不形成裂缝,因而爆炸鼓包是连续的<sup>[1]</sup>。这样,当爆炸空腔膨胀到适当程度时,空腔之中出现负压,在重力和大气压力的作用下,堤头的堆石体开始下滑,由于它的平均密度大、堆积高而势能也大,下滑时由于水和石块缝隙中淤泥的润滑作用,其摩擦系数变小因而冲击较远,形成石舌。堤头两侧的水和淤泥同时也会回流,但由于其动能和势能均较小,淤泥回淤的速度小于石块下滑的速度。这一过程表明,影响工程效果的是爆炸空腔和瞬态最大爆坑。

文献[2]中,当水深与泥深之比为0.38,耗药量(线装药量与泥深比)为0.235时,爆坑的深度为泥深的一半,实验还表明,在相同药量下,2.1倍的水深所产生的爆坑深度等于1.0倍泥中埋深的爆坑深度。由于现场水深略大于泥深,泥面爆炸则相当于无水时药包埋入淤泥中一半深度的爆炸效果。显然,这时瞬态最大爆坑达到淤泥底部是完全可能的。

实验段选在0+035~0+107m,以后又推进到0+160m处,该处水深4~7m,淤泥厚度4~5m。堤头堆石体标高3.0m。顶宽14m,侧边坡为1:1。堤头前泥面布药,单

药包重30kg,间距2m,布药宽度18m,采用导爆索同时起爆。循环进尺为6m。实验段完成后,在0+085m和0+160m处进行钻孔取样检测。结果表明,堆石体全部落在持力层上,无泥石混合层,施工质量良好。

随着防波堤向海中延伸,泥厚增至9m,而水深也相应增加到10m,这时药包的效率增加了,所以全堤仍采用泥面爆填法施工。在施工过程中严格注意质量控制,定期检测石舌情况。爆炸参数基本不变,只是在堤头圆弧段做了一些加强处理,以保证其稳定性。

## 2.2 堤侧爆填施工

按照我国目前的爆炸处理软基的施工程序,首先是自岸边向海填筑堤心石,这是控制工期和风险较大的一道工序,由于第一道工序一般不能形成两侧堤肩,因此在堤心石填出一定长度后,为保证堤心石的稳定和安全,要尽快进行两侧的侧爆填施工,拉出堤肩;最后进行两侧堤肩及基础混合石的爆夯密实,并使之顶标高达至设计要求,以加强抗风浪能力和提高稳定性。

进行两侧爆填时,由于风浪影响减小,故本工程仍采用常规泥下爆填工艺施工,以提高炸药效率。循环进尺一般为30~50m,第一遍爆填布药距堤中心线22~24m,第二遍爆填布药距堤中心线24~25m。原则上两侧爆填应同时起爆,但由于堤外侧风浪较大,不利于船只作业,也可内外侧分别起爆。经两次侧爆填后,堤肩基本形成。

## 2.3 爆夯施工

爆夯分两层三次进行,每层石料厚度2m。第一次布药范围距堤中心线22~42m,第二次布药范围距堤中心线24~51m,第三次布药范围距堤中心线50~62m。药包为 $3\times 3\text{m}$ 网格均布,一次布药长度为30~80m。

## 3 几个特殊问题的处理

### 3.1 堤内侧淤泥包的处理

当防波堤内侧施工到0+450~0+700m时,发现堤内侧有淤泥包,其厚度约1.5m,宽度约18m。经研究,为保证工程质量,决定对该段内侧进行挖泥清除,挖至-7.0m。挖后进行抛石爆夯处理,完全达到了设计要求。

对内侧0+820~1+400m段则通过改变爆夯布药参数,加大单药包药量,变化药包间距,使堤肩达到设计标高。

### 3.2 台风的影响

在施工过程中,防波堤受到1995年15号台风的袭击。在0+720~0+820m段堤心石大部分被打到堤内侧距中心线20~30m范围内,堤外侧也有较多堤心石塌落。其石面高为-2.8m,个别段石面竟高至-2.0m,致使正常侧向泥下爆填无法进行。为此,我们将内侧第一遍爆填改为双排微差强爆夯,即在原爆填位置布置微差延迟起爆的主爆夯药包,外侧布置副药包。先行起爆的副药包在淤泥中形成爆坑,造成一个凌空面,然后主药包起爆,完成爆夯挤淤。第二次爆填施工仍按原施工组织设计进行。外侧处理也按内侧处理方法进行。

该段的爆夯施工,也采取大药量强爆夯。

处理过后的断面测量和钻孔检测表明,这种处理方法是成功的,堤心石完全落到持力层上。

## 4 施工质量的检测

### 4.1 钻孔检测

在全长1400m的防波堤上,共钻了8个孔。钻孔特别着重选在施工中可能出现问题的位置上进行。钻孔结果表明堤心石全部落底,未发现有淤泥、碎石、砂、粘土组成的混合层。

### 4.2 物探检测

用电测法对防波堤断面作物探检测,共完成纵断面2条,横断面10条。物探检测结果与钻孔结果符合较好。

### 4.3 沉降观测

沉降观测共进行了二次,第一次是在施工期间,即1995年3月~1996年12月;第二次观测是在防波堤竣工后,即1996年12月~1997年3月。第一次观测结果表明,在0+200m处沉降为15.0cm,0+400m处沉降为17.5cm,其余均小于10cm。第二次观测最大沉降量为10.5cm,最小为0.2cm,符合设计要求。

## 5 结论

(1)本工程爆炸处理软基施工,自1994年6月开工,到1996年9月完工,历时27个月。其中包括堤心石爆填、堤内外侧爆填、堤两侧爆夯及处理特殊施工问题。平均月进尺52m,最高月进尺达130m,考虑到本海域的恶劣施工环境和资金情况,工程进度当为较快。

(2)施工质量完全达到了设计要求,且在多次台风打击下,防波堤未发生整体和局部滑动,稳定性良好。

(3)泥面爆填法在本工程的应用是成功的。瞬态最大爆坑深度或垂向最大爆炸空腔半径已达到100倍装药半径,经验估算,此值余量已不大,即本泥面爆填施工方案的用药量是合理的。类似工程应用泥面爆填方案时应注意此情况。

## 参考文献

- [1]许连波等 在海淤中爆破的一些现象和问题《爆炸与冲击》第九卷第四期 1989年10月。
- [2]邢维复等 淤泥的爆坑与表面条形药包装药处理软基的实验研究《工程爆破》1997年9月。