



# 爆破挤淤在护岸工程地基处理中的应用

王正义, 荆雷

(上海东华建设管理有限公司, 上海 200231)

**摘要:** 爆破挤淤处理深厚淤泥软基具有施工简便、建设工期短、造价低、地基处理效果好等优点, 在堤防工程深厚软基处理中越来越广泛。以招商局漳州经济技术开发区南炮台护岸工程施工为例, 介绍了爆破挤淤填石的施工方法和质量控制, 为类似工程提供借鉴和经验。

**关键词:** 地基处理; 爆破挤淤; 护岸; 施工技术; 质量与安全控制

中图分类号: TU 472.9

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)10-0244-05

## Application of blasting compaction for foundation treatment of revetment works

WANG Zheng-yi, JING Lei

(Shanghai Donghua Construction Management Co., Ltd., Shanghai 200231, China)

**Abstract:** Due to the advantages of blasting compaction for deep silt foundation including simple construction, short construction period, low cost, as well as good effect of ground treatment, it is applied to the deep soft foundation treatment in levee engineering widely. Taking the south fort revetment construction in China Merchants Zhangzhou Economic and Technological Development Zone as an example, we expound the construction method and quality control of blasting compaction to serve as reference for similar engineering.

**Key words:** foundation treatment; blasting; revetment; compaction; construction technology; quality and safety control

### 1 工程概况

招商局漳州开发区南炮台护岸工程位于厦门湾九龙江出海口的南岸南炮台以南, 总长度3.3 km, 护岸主要结构形式有斜坡式和直立护岸两种, 基础采用1~1 000 kg块石爆破排淤填石法置换处理。

根据地质勘探报告揭示, 南炮台护岸地基土层主要为填石、填砂层及淤泥层(含砂量大, 近岸处包夹块石), 淤泥层下卧层主要为残积砂质黏性土层、砂砾状强风化花岗岩层及砂层; 原泥面高程为-2.636~-3.5 m, 设计将泥石混合层(底高程为-25.59~-7.8 m)作为护岸基础持力层, 需置换淤泥厚度22.954~4.3 m, 而原陆域回填(开山石)已覆盖到了拟建护岸前沿, 覆盖最深处高程从-2.636~-9.4 m, 厚度6.764 m。

### 2 基本原理

爆炸挤淤填石法就是在抛石体外缘一定距离和深度的淤泥质软基中埋放药包群, 起爆后, 爆炸产生的巨大能量将淤泥质软土挤开, 并形成爆炸空腔, 而因爆炸扰动使爆源近区的淤泥质土强度降低, 由于抛填石料的自重荷载使石料下沉落入爆炸附加荷载产生的空腔内, 同时自身也向前向塌落, 最终达到泥石置换的效果, 经多次推进爆破而达到需置换的设计断面要求的目的。

### 3 爆破挤淤方案设计

#### 3.1 爆破挤淤药量计算<sup>[1-3]</sup>

1) 一次爆破挤淤总药量 $Q(\text{kg})$ , 按式(1)计算:

收稿日期: 2013-08-10

作者简介: 王正义(1981—), 男, 工程师, 从事港口及航道监理工作。

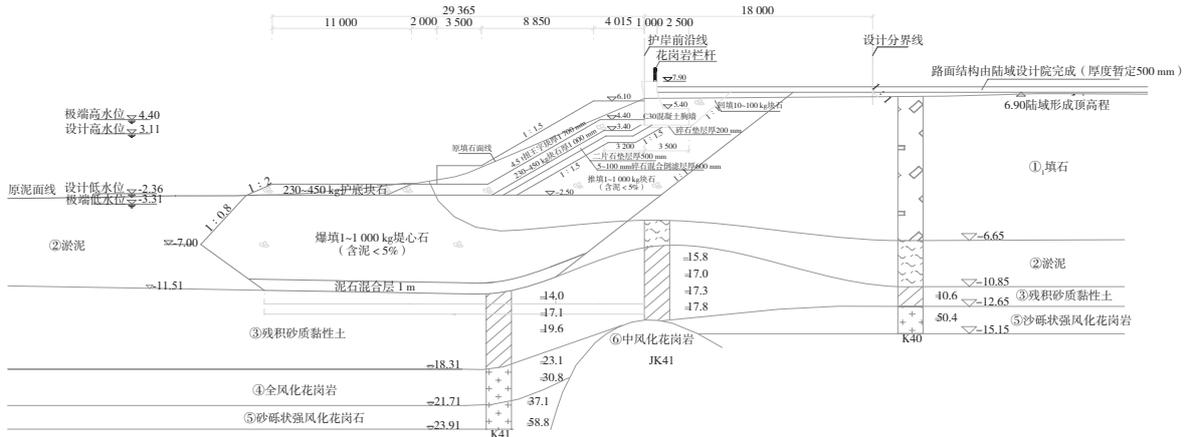


图1 护岸典型断面

$$Q = q_o L_H H_{mw} L_L \quad (1)$$

式中： $q_o$ 指炸药单耗( $\text{kg/m}^3$ )， $q_o=0.3 \sim 0.5 \text{ kg/m}^3$ ，本工程取 $0.3 \text{ kg/m}^3$ ； $L_H$ 指一次推进的水平距离(m)，取 $4 \sim 7 \text{ m}$ ； $H_{mw}$ 指计入覆盖水深的折算淤泥厚度(m)，按式(2)计算：

$$H_{mw} = H_m + (\rho_w / \rho_m) H_w \quad (2)$$

式中： $H_m$ 为需置换淤泥厚度(m)，含淤泥包隆起高度； $\rho_w$ 为水密度( $\text{t/m}^3$ )； $\rho_m$ 为淤泥密度( $\text{t/m}^3$ )； $H_w$ 为泥面以上的覆盖水深； $L_L$ 指一次布药线长度(m)。

2) 药包埋深： $H_B=(0.45 \sim 0.55) H_m$ ，结合本工程淤泥特点取 $H_B=0.55 H_m$ 。

3) 单药包药量 $Q_1(\text{kg})$ ，按下式计算：

$$Q_1 = Q/m \quad (3)$$

$$m = L_L/a + 1 \quad (4)$$

式中： $m$ 指一次布药孔数； $a$ 指药包间距(m)，取 $2.0 \sim 3.0 \text{ m}$ 。

### 3.2 爆破挤淤参数确定

抛填参数和爆炸参数是影响爆破排淤填石施工质量的两个重要因素，根据地质资料和现场施工条件，需置换的淤泥厚度从 $4.3 \sim 22.954 \text{ m}$ 不等，根据地勘资料揭示，该淤泥层属海陆交互沉积物，底部含砂量较大，干强度及韧性好，淤泥层参数：天然密度为 $1.59 \text{ t/m}^3$ ，压缩模量为 $1.7 \text{ MPa}$ ，粘聚力为 $10.4 \text{ kPa}$ ，为残积砂质黏性淤泥层。因此，在选择抛填参数时适当加大堤顶堆高和堆料范围，选用爆破参数时应适当加大药量和埋深，另外还要选择相适应的布药设备和堆载机械。本工程采用侧向爆破和端部爆破相结合的爆破挤淤

方案，根据以往工程的经验和试验，确定抛填参数和爆炸参数如下：

侧向爆破（端部爆破）：爆前抛填高程 $5.1 \sim 6.1 \text{ m}$ ，含超抛高度 $2 \sim 3 \text{ m}$ ；循环进尺 $4 \text{ m}$ （ $6 \text{ m}$ ）；布药位置距泥石交界线 $1 \sim 2 \text{ m}$ ；布药宽度（设计断面底宽） $30 \sim 60 \text{ m}$ （ $10 \sim 25 \text{ m}$ ）；单孔药量 $7 \sim 48 \text{ kg}$ （ $7 \sim 29 \text{ kg}$ ）；药包埋深 $4 \sim 12 \text{ m}$ （ $2.5 \sim 8 \text{ m}$ ）；药包间距 $2 \text{ m}$ （ $2.5 \text{ m}$ ）；起爆水深（设计高水位） $0.5 \sim 2.0 \text{ m}$ 。

## 4 爆破挤淤施工

### 4.1 爆破挤淤施工顺序

爆破挤淤施工顺序：施工准备→清理表层填石→测量放线→堆载→药包制作、布设→爆前加载→侧向爆破→测量→推进下一循环抛石堆载→局部侧向补爆→钻孔检验。

### 4.2 爆破挤淤施工工艺

#### 1) 施工准备。

①对业主提供的坐标控制点、水准点进行复核，并设立施工水准点及辅助施工基线。

②根据地质资料及设计图纸，对施工现场原抛填石位置进行探摸，并对原泥面的水深进行测量，绘制水深图。

③勘察现场，对爆破区附近建筑物安全距离进行测量。

④根据原泥面水深和地质资料及现场探摸情况，确定需清理表层填石的范围和深度，选择合适的开挖设备和满足布药深度要求的布药设备。

⑤编制专项施工方案，并按批准的专项施工方案组织施工。

⑥向当地公安部门申请办理火工品购买手续及准备其它爆破辅助材料。

2) 堆载控制。

①根据设计图纸进行放样，设立两侧抛填、推进距离和布药范围标志，以控制石料堆载的宽度、本炮进尺和布药范围。

②石料运至现场沿堤身轴线方向按设计的抛填标志进行抛填，挖机辅助整平，至堆载要求的堤顶高程和宽度；对于超抛部分石料，用装载机辅助堆高至要求的超抛高程，根据现场实际经验，采用装载机堆高可避免石料滚落破坏已布设好的药包与导爆索（因超抛部分石料是在堆载至要求的堤顶高程及宽度并布药完毕后方进行堆载）。

③根据设立的推进距离标志，严格控制抛填进尺，防止进尺超过设计的抛填参数要求，而影响爆填效果。

④堆载石料严格按设计图纸要求的石料规格控制为1~1 000 kg，含泥量<5%。

3) 药包制作与布设。

①炸药品种与起爆器材：本工程施工使用安全爆炸性能好、抗水性能强、环境污染小的乳化炸药，主要是考虑其防水能力；采用塑料防水导爆索、导爆管雷管作为传引爆器材，用于同一工作面的起爆器材采用双发同厂、同批、同型号的毫秒微差电雷管，以减少震动、加强安全起爆。

②药包质量与配重：为保证药包质量精度，单个药包接设计单药包质量用台秤称量，允许偏差为±5%；施工前将药包配重在专用场所预先制作完成，药包配重采用砂或石料。

③药包制作：药包防水需根据施工的浸水时间和承受水压采用相应的防水措施，将称量好的炸药装到塑料编织袋内，将导爆索的一端做成起爆头，插入炸药内部，用细麻绳捆扎袋口，导爆索的另一端用防水塑料胶布绑扎。

④药包布设：根据本工程施工现场的条件，选用SANY365型和斗山300型挖掘机改装的直插式装药设备（图2），分别配有16 m和12.5 m钻杆用

于布药，可以满足布药深度的要求。装药机的钻杆可以在液压卡盘内上下移动，装药时，挖掘机行至指定位置，人工提起装药器打开底门，将药包送入药室后关上底门，然后水平旋转至设计孔位后，通过钻杆向装药器施加压力，根据装药机上的标尺控制装药深度，当药包埋设至设计深度后打开底门，提起装药器进行下一个药包布设作业。

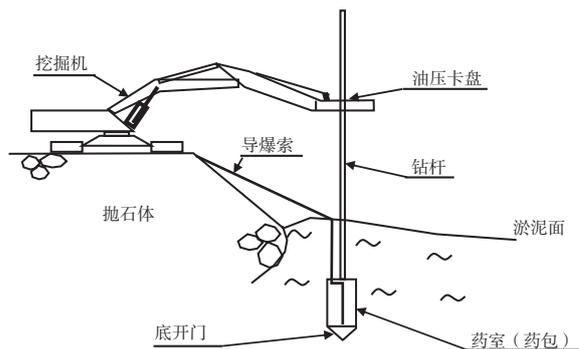


图2 布药机（液压直插式）布药示意图

4) 爆破网路设计。

布药结束后，进行爆破网路的分组连接。考虑到对古建筑南炮台和招商地产卡达凯斯建筑群施工的保护，控制最大单响药量，药包分组连接，分段微差爆破。

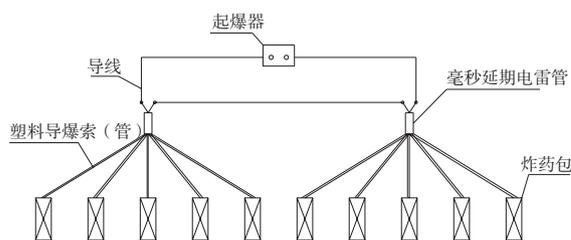


图3 爆破网路示意图

爆破网络由电雷管、主导爆索、支导爆索和药包组成（图3），爆破网路或药包不得出现扯拉缠绕，若发现及时进行处理。

4.3 爆破与爆破安全

1) 爆破前检查。

起爆前应对起爆网路进行检查，主要包括以下几个方面：

①起爆前网路应保持短路状态。导爆索连接搭接长度不小于15 cm，并绑扎结实，导爆索与炸药接触部分用防水胶布进行包裹；

②在爆破网路的主线与起爆电源连接前，对网路的总电阻值进行检测，其实测值与计算值的

偏差不超过5%;

③对爆破网路的导通与电阻值使用专用导通器和爆破电桥进行检查, 专用爆破电桥的内部工作电流不大于30 mA; 在确定起爆网路可靠及安全后实施爆破。

## 2) 爆破安全设计。

爆破施工的安全主要包括地震波、冲击波、飞散物及噪音等对周围人员、建筑物、机械设备和船舶的危害。

### ①地震波。

本工程爆破区域主要的保护对象为南炮台及护岸附近正准备施工的别墅建筑群, 爆破地震速度(cm/s)计算公式:

$$v = K \left( \frac{Q^{1/3}}{R} \right)^\alpha \quad (5)$$

式中:  $R$ 为距爆破点安全允许距离(m);  $Q$ 为爆药量(kg), 延时爆破为最大一段的药量;  $K$ ,  $\alpha$ 为与爆破地震安全距离有关的系数、指数, 与爆区的地质、地形条件和爆破方式有关, 结合工程实际取 $K=300$ ,  $\alpha=1.9$ 。

参照规范分别取 $v_1=2.3$  cm/s,  $v_2=3.5$  cm/s, 依据以上公式和距周围建筑物的距离, 可计算得出一次起爆的单段最大允许药量(表1)。

表1 一次起爆单段最大允许药量计算结果 kg

距离/m	$v/(cm \cdot s^{-1})$		
	0.2	2.3	3.5
90		333	646
100	9.7	1 542	886
150	32	1 542	2 992
200	77	3 655	7 093
250	151	7 140	13 854
300	261	12 338	23 940
350	414	19 593	38 016

施工中严格按表1采用毫秒微差分段爆破, 控制单段最大起爆药量, 从施工结果可以看出, 采用毫秒微差爆破技术有效地确保了南炮台和别墅区建筑群的安全。

### ②冲击波。

由于本工程施工的爆破药包埋于泥下, 泥面以上有水层覆盖, 故空气冲击波的危害可以不作考虑。根据《水运工程爆破技术规范》<sup>[1]</sup>及工程实践, 本工程水中冲击波的安全距离按施工船舶

150 m, 其他航行船舶1 500 m控制。

### ③飞散物。

个别飞散物的距离与装药量、装药深度及覆盖水深等有关。根据规范及类似工程经验, 本爆破现场个别飞散物的距离可控制在250 m以内, 本工程堤头爆填及侧向爆填时最小安全距离取为300 m。爆破过程中实测个别飞散物最大距离约为180 m, 未发生有飞散物造成的对建筑物和人员的伤害事故。

## 5 质量控制与检验

### 5.1 质量控制要点

1) 复核护岸的轴线、控制点坐标等, 确定护岸轴线位置, 对施工定位标志和水尺零点进行检查。

2) 根据典型段施工经验, 结合爆填段地质和设计断面, 对抛填参数、爆炸参数进行修正, 以指导抛填、爆破作业施工, 确保置换效果。

3) 检查抛填参数落实情况。抛填前应进行爆前断面测量, 并确定本爆抛填线位置、抛填宽度、高程(加载高度)、循环进尺等, 按设计要求的石料规格1~1 000 kg和含泥量<5%控制抛填石料质量, 不得超抛, 堆载到位应及时进行爆前断面测量。

4) 检查爆炸参数落实情况。布药前应进行堆载断面测量, 布药机的性能及参数应满足插药深度要求, 检查单药包药量、药包数量、布药范围、间距、埋深等是否与设定的参数一致, 布药总质量、起爆水深是否符合设计要求。

5) 检查爆破器材是否符合相应规范要求、爆破网路是否符合设计方案中的可靠性和安全性要求; 爆破警戒线必须严格按交通部JTS 204—2008《水运工程爆破技术规范》<sup>[1]</sup>执行, 确认安全后方可起爆。

6) 对爆后断面进行测量, 以判断堤身断面轮廓线及泥石交界位置, 根据探明的泥石交界位置, 继续下一爆堆载抛填, 达到循环进尺长度后再次按布药爆破, 如此按“抛填—爆破”循环进行, 直至达到设计(堤长或)断面要求。

7) 通过爆前与爆后断面的测量数据, 大致计算出每爆置换的淤泥量, 预估每段挤淤置换效果;

对堤身不足断面进行补抛、补爆,如对采用端爆堤段,通过侧面爆破来填补未达到的断面尺寸。

8) 爆破排淤形成设计断面后,对挤出的淤泥包特别是护底块石外边线位置的淤泥进行清理,

保证护底块石施工的稳定要求。

## 5.2 质量检验

- 1) 爆破排淤填石检验允许偏差见表2。
- 2) 爆破排淤填石效果检验。

表2 爆破排淤填石检验允许偏差

项目	要求	允许偏差/mm	检验数量	单元测点	检验方法
抛石底面高程	仅有高程要求	0	每500 m一个断面,且不少于3个断面	2~3	钻孔检测
		-1 000			
	既有高程又有土层要求	±1 000			
泥面处堤身边线		+10 000	每10~20 m一个断面	2	用水深测杆测量
		0			

采用爆破排淤处理地基效果检验通常以钻孔探摸法为主,体积平衡法、探地雷达法以及沉降位移观测法辅助,本工程利用以上方法对爆填效果检验结果如下:

① 钻孔检测法比较直观、可靠,通过断面钻孔直接探明抛石体通过爆填置换淤泥的落底情况。设计要求“断面间距取100 m,每断面布置钻孔1~3个,全断面布置3个钻孔的断面数不少于总断面的一半,抛石排淤断面落底泥石混合层厚度不超1.0 m”,本工程共完成33个钻孔检测点,32点合格,爆破排淤达到设计的落底深度要求,证明方案设计及修正所采用的技术参数合理,工艺可行。

② 利用体积平衡法比较每段实际抛填石料方量和设计断面理论置换方量来验证抛石断面落底情况。通过统计,每段实际抛填方量均达到设计方量的90%以上,其落底深度满足设计要求。

③ 探地雷达法是在钻孔检测数据的基础上,采用浅层地震仪进行声波测试,对钻孔的抛石底面高程进行验证。本工程业主还委托第三方检测3段7个剖面,检测结果表明其抛石底面高程和底面范围均符合设计要求。

沉降位移观测法主要检验爆炸排淤法形成的抛石断面随时间的稳定性,设计要求每50 m布设临时观测点一个,每50 m布设永久观测点一个,各测点在施工期每7 d观测一次,单点连续观测时间不少于3个月。根据持续观测结果表明沉降趋于稳定,未发生异常情况。

此外,业主还委托第三方检测单位对本护岸进行了钻孔检测、探地雷达检测以及深层土体水平位移监测。钻孔检测18个孔,残留淤泥层厚度均小于1 m;探地雷达共检测7个剖面,与设计断面吻合率达85%以上,表明其落底高程和落底范围均符合设计要求;深层测斜最大累计观测天数317 d,最大位移36.51 mm,未出现异常情况,根据监测数据表明本护岸处于稳定状态。

## 6 结语

爆破排淤填石施工的抛填参数和爆破参数是影响抛石落底效果的关键因素,特别是对于置换深厚淤泥层、含砂质黏性土的淤泥层,应采取非常规的施工工艺和满足布药深度的布药设备,根据淤泥层厚度、淤泥含水量、黏塑性等指标,确定抛填参数和爆破参数,并通过试验段对选定的参数进行修正,在爆填推进过程中,根据设计断面的变化,适时调整抛填和爆炸参数,以达到最佳的爆破排淤效果。

## 参考文献:

- [1] JTS 204—2008 水运工程爆破技术规范[S].
- [2] 向建军,欧正保.厚层淤泥的爆破挤淤技术[J].工程爆破,2007(2): 1-3.
- [3] 余海忠,胡荣华.爆破挤淤技术的研究与应用现状[J].施工技术,2009(S1): 2-4.

(本文编辑 武亚庆)