

文章编号: 1000—7598—(2006) 02—0332—04

控制加载爆炸挤淤置换法在工程中的应用

赵简英¹, 王 健², 吴京平²

(1. 中国广东核电集团有限公司, 广州 518028; 2. 北京中科力爆炸技术工程有限公司, 北京 100080)

摘 要: 阳江核电海工一期东平台防护堤设计和施工采用了控制加载爆炸挤淤置换法。该方法保证了东平台防护堤堤身的落底宽度与深度, 成功地解决了水下宽平台的形成问题, 并有效地减少了理坡工程量, 是爆炸处理软基技术新方法在防波堤的设计和施工中成功应用的范例。

关 键 词: 控制加载; 爆炸挤淤; 水下宽平台; 检测
中图分类号: TB 4 **文献标识码:** A

An application of blast method to squeeze mud and replacement with controlled loading

ZHAO Jian-ying¹, WANG Jian², WU Jing-ping²

(1. China Guangdong Nuclear Power Holding Co., Ltd., Guangzhou 518028, China;
2. Beijing Zhong-Ke-Li Blasting Technique & Engineering Co. Ltd., Beijing 100080, China)

Abstract: The blast method to squeeze mud and replacement with controlled loading had been applied to the design and construction of breakwaters at the first stage of the project of Yangjiang Nuclear Power Plant. The method ensured the expectable bottom width and depth of the breakwaters. The problem of formation of wide platform underwater was also solved. At the meantime, the amount of work to trim slopes was reduced. It was a successful application of blast methods of marine soft foundation processing in the design and construction of breakwaters.

Key words: controlled loading; blast method to squeeze ooze; underwater wide platform; detection

1 引 言

针对置换淤泥的厚度、物理力学性质、堤身结构形式等不同, 爆炸处理软基筑堤技术已发展出多种方法, 如爆炸排淤填石法(即专利技术水下淤泥质软基的爆炸处理法的简称)、空腔爆炸填石法、包芯堤法、水下淤泥质软地基定向滑移处理法和控制加载爆炸挤淤置换法等, 这些方法各有不同的适用条件, 其中控制加载爆炸挤淤置换法是目前国内最先进的技术方法, 它是保证实现深厚淤泥置换及堤侧坡脚水下宽平台完整形成的最有效方法。

2 工程特点

阳江核电海工一期东平台防护堤堤长 980 m, 为斜坡式抛石堤结构, 采用控制加载爆炸挤淤置换法

处理软基。爆填堤心石规格为 0~1 000 kg 的石料(含泥量及 10 kg 以下的石料小于 5%)。外侧采用 800~1 200 kg 块石垫层 2 层(厚 1.44 m), 1 800~2 500 kg 块石垫层 2 层(厚 1.85 m)和 24 t 扭王字块护面 1 层(厚 2.97 m)护面。工程需置换淤泥厚度为 3.8~10.5 m, 其物理力学性质见表 1。

施工区域位于广东省阳江市东平镇内, 厂址地理位置为东经 112° 16', 北纬 21° 43', 施工场区的平面见图 1, 断面结构如图 2 所示。

表 1 淤泥的物理力学性质
Table 1 Characteristics of the mud

名称	重度	天然含水量	孔隙比	快剪	
	$\gamma/\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$	$w/\%$	e	$\phi/(^{\circ})$	c/kPa
淤泥	14.8	90.2	2.418	1.0	5.53

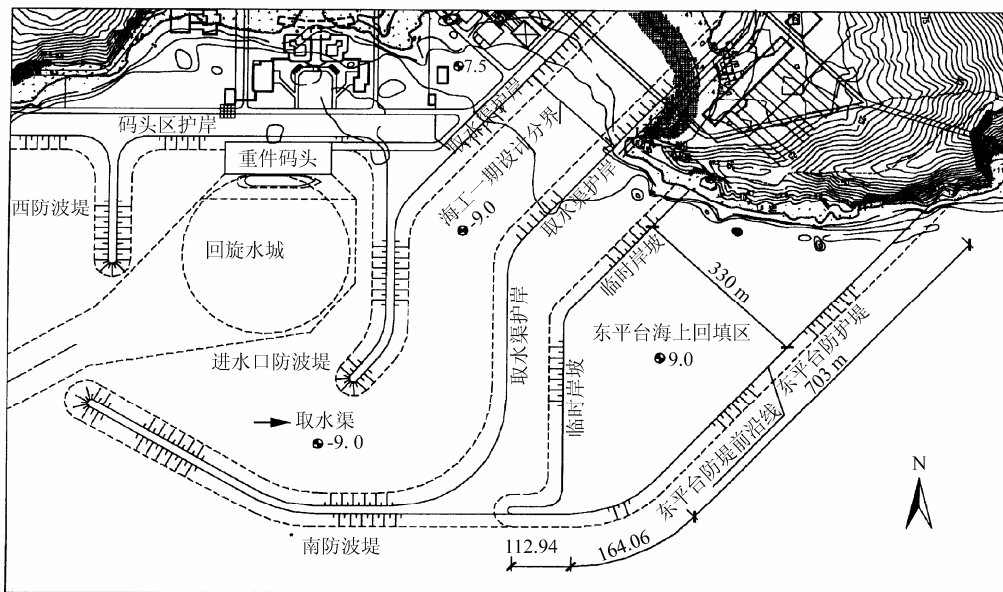


图1 场区平面图 (单位: m)

Fig.1 Plan view of the breakwaters (unit: m)

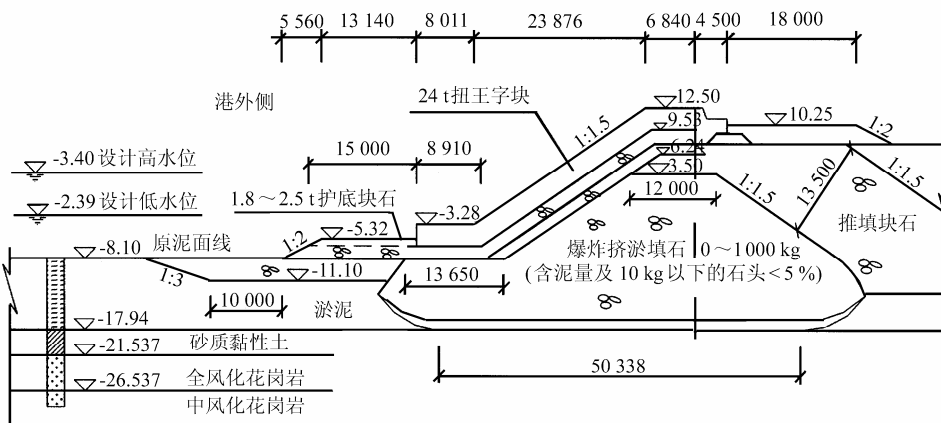


图2 典型结构断面图 (单位: 高程为 m, 其他值为 mm)

Fig.2 Sectional view of the breakwater

从结构形式来分析, 该工程主要有以下施工难点: (1) 外侧坡脚水下平台宽度为 13.65 m, 为国内同类工程宽度之最。如何完整(保证其宽度和厚度)形成水下平台、保证堤侧坡脚的稳定、形成对坡面上的扭王块体可靠的支撑, 是本防护堤爆炸挤淤施工的难点。(2) 堤身落底深度最大为 10.5 m, 但落底宽度较宽 (大于 50 m), 因此侧向挤出淤泥路径较长, 淤泥挤出难度增大。采用控制加载爆炸挤淤置换法可有效解决这些问题。

3 原理及施工参数的计算

控制加载爆炸挤淤置换法基本原理是: 根据淤泥土及抛填料的物理力学性质, 控制抛填荷载的加载形式, 并利用必要的爆炸作用, 产生附加外部动荷载, 使挤淤过程按施工设计进行。主要施工参数分为抛填参数 (爆前爆后抛填高程、爆前爆后抛填

宽度) 和爆炸参数(药量、布药位置、埋深等)。具体设计如下:

(1) 爆前抛填高程 H_b 的确定

根据土工计算原理和堤身设计高度, 确定堤身抛填高度。要点是通过抛填高度参数的控制最大限度地达到挤淤效果, 保证平台有足够的抛石厚度, 又不至于使爆后堤顶超高。抛石体在自重下的挤淤深度公式为

$$\left. \begin{aligned} H_s &> B/(\sqrt{2}+1); \\ \left[(2+\pi)c_u + 2\gamma_s D_0 + \frac{(4c_u + \gamma_s D_0)D_0}{B} + \frac{2\gamma_s D_0^3}{3B^2} \right] / \gamma &= h + D_0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中 H_s 为淤泥深度(m); B 为堤顶抛填宽度(m); c_u 为淤泥的不排水剪强度(kPa); γ_s 为淤泥的重度(kN/m^3); γ 为抛填石料的平均重度(kN/m^3); D_0 为自重挤淤深度(m), 该工程计算得 $D_0 \approx 4.0$ m; H 为

抛石体在泥面以上的高度(m)。

(2) 抛填宽度 B 的确定

根据抛填计算高度值和堤身设计断面尺寸, 计算堤身抛填宽度值。按照“先宽后窄”抛填宽度控制原则, 使堤身两侧平台断面尺寸满足爆前、爆后体积平衡要求, 尽量减少理坡工作量。一般抛石体的堤脚和泥面的交界位置与水下平台的外边线距离应满足 4~6 m, 并应考虑淤泥鼓包的高度对堤身实际有效抛填宽度的减少量。同时, 还要考虑并计算抛填的断面形式与设计断面间的体积平衡。东防护堤的各区段的抛填宽度、高程计算结果见表 2。

表 2 抛填参数

Table 2 Filling up parameters of core rock of the breakwater

桩号	抛填进尺 /m	爆前堤顶 高程/m	爆前堤顶 宽度/m		爆后堤顶 高程/m	爆后堤顶 宽度/m	
			内侧	外侧		内侧	外侧
0+000~0+194	5	+2.5	6.0	23.0	2.5	4.0	10.0
0+194~0+725	8	+2.5	6.0	25.0	2.5	4.0	10.0
0+725~0+980	8	+2.5	6.0	27.0	2.5	4.0	10.0

(3) 爆炸参数的确定

由抛填高度和宽度计算堤身自重挤淤深度, 确定堤身要达到设计深度还需要挤除的淤泥厚度值 D_1 , 根据式(2)确定爆炸参数。

$$\left. \begin{aligned} D_1 &= K_1(D - D_0); \quad Q = K_2 b D_1^2; \\ a &= 1.4 K_3 (0.062 Q^{1/3}); \quad M = M_1 + M_2; \\ M_1 &= \text{Int}[K_4(B + B_m)/a] + 1; \quad M_2 = 2 \text{Int}[K_5 b/a] \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中 D 为需置换处理的淤泥总厚度(m); Q 为单药包重量(kg); b 为单炮进尺(m); a 为药包间距(m); M 为药包个数(个); M_1 为堤头正面布设药包个数(个); M_2 为堤身侧面布设药包个数(个); B_m 为淤泥表面处的堤身宽度(m); K_1 为下沉量系数, 取 0.2~0.6; K_2 为药量系数, 取 0.2~0.4; K_3 为药包作用范围系数, 一般取 8~12; K_4 为经验系数, 一般取 0.4~0.8; K_5 为经验系数, 一般取 1.0~1.5。计算结果见表 3。

表 3 堤头炮爆炸参数

Table 3 Parameters of loading charge

桩号	单药包重 /kg	药包间距 /m	药包数量 /个	药包埋深 /m	单炮药量 /kg
0+000~0+030	20	3.0	12	0~1	240
0+030~0+525	25	3.0	12	1~2	300
0+525~0+750	30	3.0	12	2~3	360
0+750~0+980	35	3.0	12	2~3	420

注: 侧向爆炸药包间距取 3 m, 单药包重量取相应区段的堤头爆单药包药量, 堤外侧坡脚爆单药包重量比相应区段的侧爆药量少 5 kg。

4 施工方法

东防护堤爆炸处理软基的主要施工工序为: 堤

头炮→堤身内、外侧侧炮→外侧坡脚平台爆夯→外侧坡脚挖泥后补抛大块石。

主要施工流程为: 堤头抛填(进尺 8 m)→堤头炮→堤头循环抛填→堤头炮→...→当堤头炮处理长度超过 40 m 时进行堤身内、外侧侧炮→爆前、爆后测量→外侧坡脚平台爆夯。布药设备采用 CAT240B 改装的全液压式陆上布药机(图 3)。

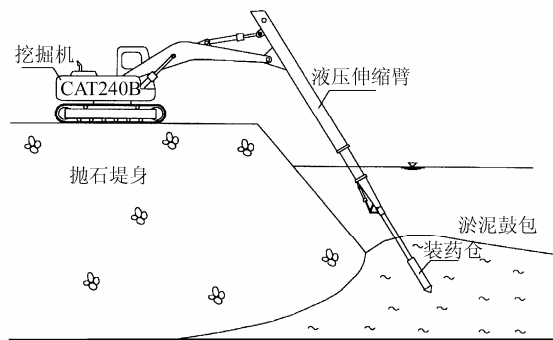


图 3 布药示意图

Fig.3 Sketch of loading charge

5 质量检测

爆炸处理软基施工质量检测主要采用体积平衡法、物探法和钻孔检测法:

(1) 体积平衡法

施工过程中质量控制的重要方法, 通过对每一次堤头炮的方量统计及侧炮、爆夯后的堤顶补抛方量的统计, 结合爆前、爆后断面测量, 计算分析实际抛填方量和设计方量的差异程度, 推算堤身形成的完整性。平均各断面实际抛填方量占设计方量的 95 % 以上, 断面形成应比较完整。典型断面 0+770 测量结果如图 4 所示。由爆炸处理后堤身测量结果显示, 堤身断面坡面多余石料每延米约 40~60 m³, 这对宽平台防波堤的理坡而言, 是可以接受的理坡方量。外侧水下平台的形成宽度一般在 12~14 m 之间, 水下平台基本形成。对其宽度不足部分, 在外侧护底挖泥后, 补抛大块石。

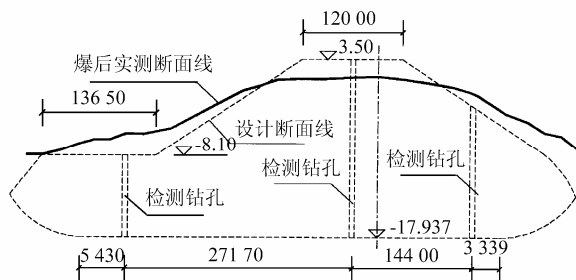


图 4 典型断面(0+770)测量结果

Fig.4 Measured section (0+770) of core rock of the breakwater

(2) 物探法

该法可进行全堤纵、横断面的测量，但其精度稍差且必须结合钻孔结果进行。该工程用浅层地震反射波法进行堤身检测，按纵横断面布置测线：纵断面应分别布置在堤顶内、外侧边线位置上，横断面布满全断面范围，间距取 10 m，测点距离为 2 m，全堤总物探测量长度为 8 000 m。物探报告表明抛石层落底标高与落底宽度都达到设计要求，抛石层底界面与持力层之间衔接良好，堤心部分未发现明显夹泥层。

(3) 钻孔检测法

钻孔检测法结果直观可靠，全堤共布置 10 个横断面，每个断面布置钻孔 3 个（图 4），钻孔弹模揭示堤身落底达到设计要求，部分钻孔检测结果见表 4。

表 4 部分钻孔揭露堤心落底数据
Table 4 The quality examination result of drilling

桩号	设计落底 标高/m	实际落底 标高/m	落底标高 差值/m	实际持力层	备注	
0+200	外侧	-12.040	+0.411	花岗岩	混合层厚 30 cm	
	轴线	-11.599	-13.700	+2.101	花岗岩	混合层厚 30 cm
	内侧	-12.860	+1.261	花岗岩	混合层厚 50 cm	
0+500	外侧	-15.880	+4.896	黏土中砂		
	轴线	-10.984	-15.370	+4.386	花岗岩	
	内侧	-15.810	+4.826	花岗岩		
0+770	外侧	-17.800	+0.208	砂质黏性土		
	轴线	-17.592	-16.500	-1.092	粗砾砂	
	内侧	-17.110	-0.482	砂质粉质黏土		

6 结 语

阳江核电海工一期东平台防护堤设计和施工采用控制加载爆炸挤淤置换法是成功的，该方法保证了东平台防护堤堤身的落底宽度与深度，解决水下宽平台的完整形成问题，并有效地减少了理坡工程量，是爆炸处理软基技术的一种新方法在防波堤设计和施工工程中的成功应用。因此建议，将平台爆夯的工序在堤侧护底挖泥之后进行。由于淤泥包的卸载，爆夯对坡面石料下拉作用加强，可减少坡面多余石料约 10 %~15 %。

参 考 文 献

[1] 王健, 江礼茂, 刘伟庆, 等. 阳江核电海工一期东平台防护堤爆炸处理软基施工组织设计[R]. 北京: 北京中科力爆炸技术工程有限公司, 2004.

[2] 《工程地质手册》编写组. 工程地质手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1975.

[3] 杨光煦. 水下工程爆破[M]. 北京: 海洋出版社, 1992.

[4] 杨文渊. 工程爆破常用数据手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.

[5] 江礼茂, 吴京平, 王健. 爆炸处理软基筑堤的设计与施工[R]. 北京: 北京中科力爆炸技术工程有限公司, 2002.

工程图片新闻



(a) 长江以北最宽的桥梁山东临沂沭河大桥竣工通车



(b) 公共建筑“第一跨”琴台大剧院主体结构完工



(c) 中国大陆第一条大断面海底隧道施工进度顺利



(d) 重庆嘉华大桥进入桥面施工 预定 07 年底开通