

# 控制加载爆炸挤淤置换法在宁德核电厂 一期工程厂区护岸中的应用

李秀英<sup>1</sup>, 王培楠<sup>1</sup>, 吴京平<sup>2</sup>

(1.天津市海岸带工程有限公司, 天津 300384; 2.中国科学院力学研究所, 北京 100080)

**摘要:** 宁德核电厂厂区护岸工程是核电厂防御海潮及海浪袭击的重要屏障, 针对该工程位置处淤泥层厚, 斜坡堤压脚平台宽的特点, 在采用常规爆破排淤填石法不能形成设计断面情况下, 采用控制加载爆炸挤淤置换法完成了设计断面的实施, 该方法的应用能够对深厚淤泥层地质处的地基进行置换处理, 使宽压脚平台的爆破实施成为可行, 为同类工程提供了成功经验。

**关键词:** 爆炸挤淤; 地基处理; 护岸

中图分类号: U656.3; TU472.9

文献标识码: A

文章编号: 1003-3688(2008)06-0024-05

## Displacement by Blasting with Controlled Loading in Construction of Revetments for Phase I of Ningde Nuclear Power Plant

LI Xiu-ying<sup>1</sup>, WANG Pei-nan<sup>1</sup>, WU Jing-ping<sup>2</sup>

(1. Tianjin Coastal Zone Co., Ltd., Tianjin 300384, China;

2. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

**Abstract:** The revetments for Ningde Nuclear Power Plant are an important shelter for the plant to guard against sea tides and waves. Since the silty stratum was great in the location where the revetments are to build and the apron bermes for the revetments were wide, it was impossible to form a design cross section by using the conventional method of displacement by blasting with rock fill. Hence, the method of displacement by blasting with controlled loading to remove the silty soil was adopted to achieve the design cross section. The method can not only displace the deep and thick silty soil with replacement but also make it practicable to build a wide apron berm by blasting, offering successful experience for similar projects.

**Keywords:** displacement by blasting; soil improvement; revetment

### 1 工程概况

宁德核电厂厂区护岸工程是防御核电厂遭受海潮及海浪袭击的重要海工构筑物, 为安全运营提供保障。因此, 需满足结构稳定性安全度高、沉降及变形量小的要求, 即使在地震情况下也不允许出现较大变形。厂区护岸由东护岸、南护岸、西护岸组成, 长度分别为 1 126.7 m、307.87 m、1 305.253 m。主厂区陆域高程前期为 9.0 m, 西部厂区陆域高程前期为 7.0 m, 后期为 8.0 m。

### 2 设计条件

#### 2.1 设计水位

根据护岸在厂区不同位置以及重要性, 护岸设计水位

采用不同设计标准, 东护岸和南、西护岸的设计水位分别为, 设计高水位: 4.71 m 和 3.15 m; 设计低水位: -3.87 m 和 -2.62 m; 极端高水位: 6.11 m 和 4.55 m; 极端低水位: -4.43 m 和 -3.81 m; 设计基准洪水位: 东护岸 8.85 m。

#### 2.2 设计波浪

护岸波要素采用电厂整体物模试验结果 (见表 1~表 3)。

表 1 东护岸堤前波浪要素 (波浪重现期 100 a)

水位 / m	$H_{1\%}$ / m	$H_{4\%}$ / m	$H_{13\%}$ / m	$\bar{T}$ / s
设计基准洪水位(DBF): 8.85	10.78	10.25	9.03	10.68
极端高水位: 6.11	8.92	8.03	6.96	10.68
设计高水位: 4.71	8.00	7.46	6.28	10.68
设计低水位: -3.87	2.22	2.10	1.67	10.68

收稿日期: 2008-07-04 修回日期: 2008-09-26

作者简介: 李秀英 (1963—), 女, 高级工程师, 副总工程师, 港口与航道工程专业。



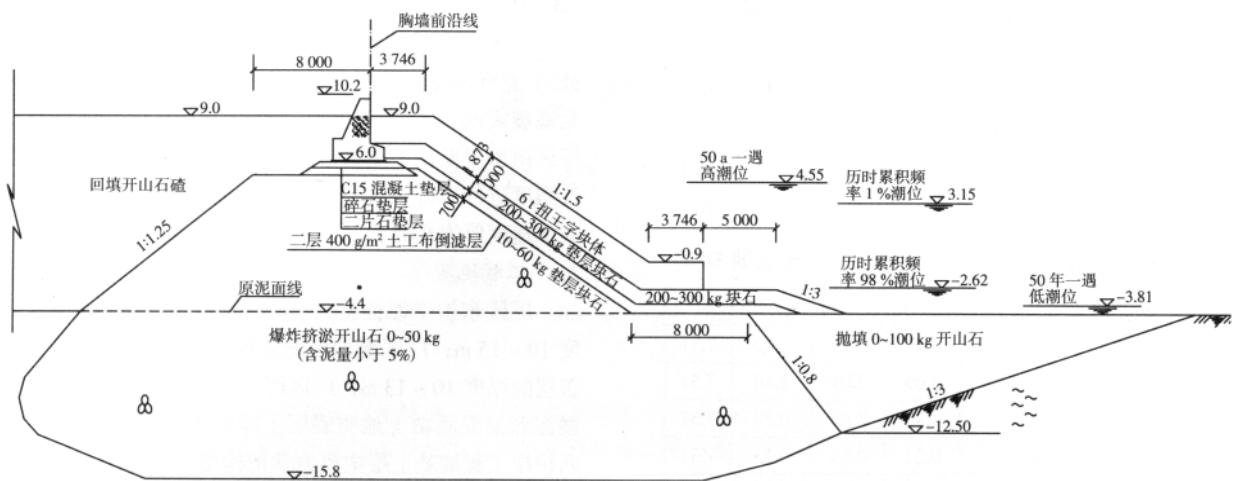


图 2 南护岸结构断面示意图

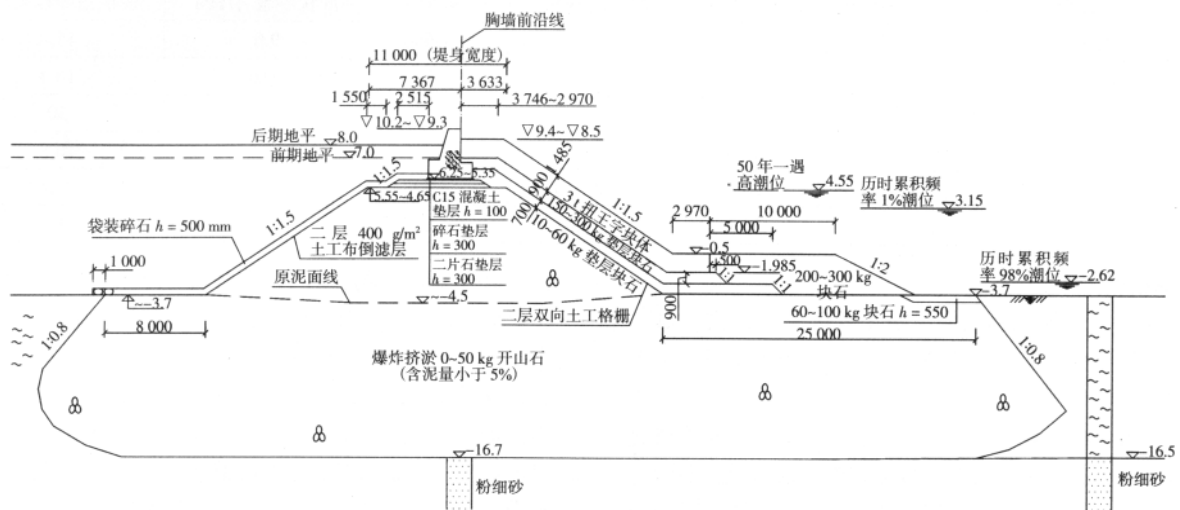


图 3 西护岸结构断面示意图

### 4 施工方案

#### 4.1 爆破施工方案

本工程采用新的爆破方法，为“控制加载爆炸挤淤置换法”<sup>[1]</sup>，是一项新的发明专利技术，已得到国家知识产权局的授权。该方法对堤心基础断面一次爆破完成，既确保设计断面基础底部置换深度、基础置换宽度及基础轮廓边线，又使堤心石碴得到密实，成堤质量得到保证，堤身上部理坡后即可铺设护面层，成堤速度快，施工期可有效避免风损，减少水上挖泥量，施工速度快、总工期短，总造价低。

爆炸处理软基是利用炸药爆破释放的能量，通过置换与密实等手段，达到改良地基承载性能和形成堤坝形体的一种方法。通常方法主要为爆破排淤填石法<sup>[2]</sup>。

爆破排淤填石法完成断面施工顺序为：堤端推进爆填完成堤心料落底，两侧形成约 1:1 的边坡，堤端断面推进 50 m 后，进行边坡拓宽爆填，形成设计落底宽度后，对两侧压脚处进行加抛密实爆夯，补填内外坡压脚脚抛填范围的不足，通过爆夯挤淤使加抛块石与爆填石料结合，最

后进行边坡整理爆夯，补坡完成设计断面及密实边坡。但该方法只适用于置换厚度 12 m 内及泥下置换平台宽 6 m 内的断面，对置换深厚淤泥及泥下置换平台宽度宽的断面无法解决。

控制加载爆炸挤淤置换法是专门针对置换深厚淤泥及泥下置换平台宽度较大的断面情况，将其实施完成而推出的一种新的施工方法，该方法的首次应用是在粤海铁路轮渡南北港防波堤工程，4 条防波堤总长 4 km，建成后经多次台风袭击，结构完整，阳江核电海工一期防波堤工程应用该工艺施工，经检测水下平台宽度达到设计要求，断面形成完整。

#### 4.2 控制加载爆炸挤淤置换法基本原理

(1) 根据土体极限平衡理论和堤身设计高度，经过理论分析计算，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，又不至造成施工不便或引起爆后堤顶超高；

(2) 根据抛填计算高度值和堤身设计断面，计算堤身抛填宽度值。通过抛填宽度控制，使堤身宽度尤其是堤身

两侧平台宽度得到保证,同时要尽量减少理坡工作量;

(3) 由抛填高度和宽度计算堤身自重加载挤淤深度,确定堤身需要挤除淤泥厚度值,根据经验和爆炸作用机理确定爆炸参数;

(4) 施工时,通过对施工环境和爆前爆后断面(包括淤泥包)的监测,控制两侧药包位置和参数,确保堤身断面的完整形成。

在该方法中,土及填料的物理力学性质是内因,控制抛填加载是手段,必要的爆炸是完成挤淤过程的附加外载。通过抛填加载的控制和爆炸荷载的控制,使挤淤过程按设计进行,确保堤身达到设计断面,满足质量要求。

针对宁德核电厂厂区东护岸、南护岸与西护岸地基软土较厚、堤身外侧水下平台宽的特点,采用“控制加载爆炸挤淤置换法”进行设计与施工,以保证堤身落底和堤侧水下平台的完整形成、并减少堤身的理坡工作量和水上挖泥工作量。

### 4.3 控制加载爆炸挤淤置换法施工技术方案

#### 4.3.1 抛填参数设计

解决护岸与防波堤水下宽平台的完整形成问题是“控制加载爆炸挤淤置换法”的核心内容之一,其主要技术方案是:通过对抛石自重挤淤深度及淤泥鼓包的估算,试算加宽堤头抛填宽度后,堤侧在爆炸作用下达到平台位置的块石体积能满足水下平台体积,定出此时的堤头抛填宽度和抛填标高,采用“先宽后窄”的抛填方法及其相应的爆炸方法。

(1) 根据土体极限平衡理论和堤身设计高度,经过理论分析计算,确定堤身抛填高度。要点是施工方便、爆后堤顶不超高的前提下抛填高度尽量高,最大限度地达到挤淤效果。

(2) 根据抛填计算高度值和堤身设计断面参数,计算堤身抛填宽度值。通过抛填宽度控制,使堤身宽度尤其是堤身外侧平台宽度和厚度得到保证。

#### 4.3.2 爆炸参数设计

(1) 根据堤身抛填高度和宽度,确定堤身自重挤淤深度。自重挤淤深度  $D_0$  按式(1)<sup>[1]</sup>计算确定。

$$[(2 + \pi)C_u + 2\gamma_s D_0 + (4C_u + \gamma_s D_0)D_0/B + 2\gamma_s D_0^3/(3B^2)]/\gamma = h + D_0 \quad (1)$$

式中:  $C_u$  为软土的抗剪强度,  $\text{kN/m}^2$ ;  $\gamma_s$  为软土的重度,  $\text{kN/m}^3$ ;  $\gamma$  为抛石体容重度,  $\text{kN/m}^3$ ;  $h$  为泥面以上抛石体高度,  $\text{m}$ ;  $B$  为抛石体顶宽,  $\text{m}$ 。

(2) 估算堤头爆破下沉平均高度  $D_1$

$$D_1 = K_1(D - D_0) \quad (2)$$

式中:  $D$  为设计挤淤置换深度,  $\text{m}$ ;  $K_1$  为下沉量系数,  $K_1 = 0.2 \sim 0.6$ 。

(3) 单药包重量  $Q$  计算

$$Q = K_2 b D_1^2 \quad (3)$$

式中:  $Q$  为单药包重量,  $\text{kg}$ ;  $b$  为给定每炮抛填进尺,本工程取  $6 \sim 8 \text{ m}$ ;  $K_2$  为药量系数,  $K_2 = 0.2 \sim 0.4$ 。

(4) 堤头爆填药包的间距  $a$  应按式(4)计算:

$$a = 1.4 \cdot K_3 \cdot (0.062Q)^{1/3} \quad (4)$$

式中:  $Q$  为单药包重量,  $\text{kg}$ ;  $0.062Q^{1/3}$  为球形药包的半径,  $\text{m}$ ;  $K_3$  为药包作用范围系数,一般取  $8 \sim 12$ 。

(5) 堤头爆填布设的药包的个数  $M$  应按式(5)计算:

$$M = M_1 + M_2 \quad (5)$$

式中:  $M_1$  为堤头前面所布设的药包个数;  $M_2$  为堤头两侧所布设的药包个数;

$M_1$  和  $M_2$  应按式(6)和式(7)计算:

$$M_1 = \text{int} [K_4 (B + B_m)/a] + 1 \quad (6)$$

$$M_2 = 2 \text{int} [K_5 b/a] \quad (7)$$

式中:  $B$  为堤顶宽度,  $\text{m}$ ;  $B_m$  为堤身在泥面处的宽度,  $\text{m}$ ;  $K_4$  为经验系数,一般取  $0.4 \sim 0.8$ ;  $K_5$  为经验系数,一般取  $1.0 \sim 1.5$ 。

结合厂区东护岸与南护岸的结构形式与水深等施工条件,采取上述施工方法和技术方案施工,能够形成设计断面及满足设计要求,东护岸爆炸处理前后堤身断面示意图见图4、图5,南护岸爆炸处理前后堤身断面示意图见图6、图7。爆后两侧的坡比一般在  $1:1.8$  左右,进行必要的理坡后即可满足要求。

而对于厂区西护岸,常规的爆炸挤淤施工方法不能解决如此宽大平台形成问题,因为平台太宽,上部自重荷载过小,平台处不能实现完全置换落底。因此必须采用“大

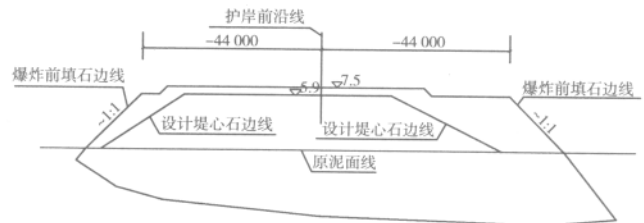


图4 东护岸施工抛填断面示意图

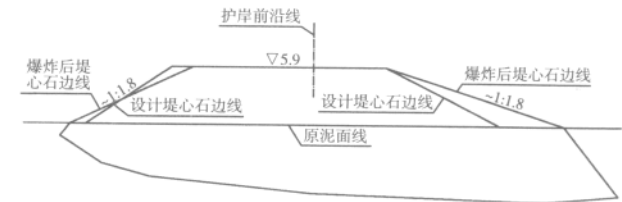


图5 东护岸施工爆填后断面示意图

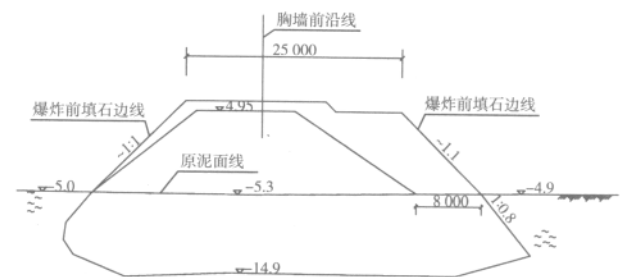


图6 南护岸施工抛填断面示意图



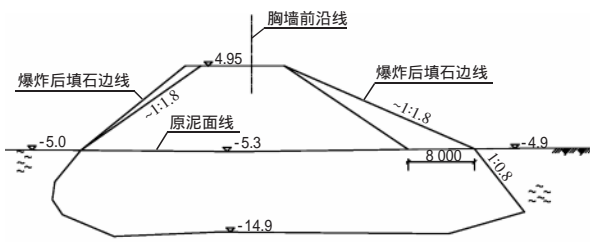


图7 南护岸施工爆填后断面示意图

爆填”的方案，即首先进行全断面堤身抛填与堤头爆填，并在外侧进行全断面补抛，侧爆后回挖多余石料至设计断面，见图8、图9，形成西护岸外侧水下宽平台，达到通过置换平台下地基来满足压脚稳定性，同时不影响平台以上的过水断面。

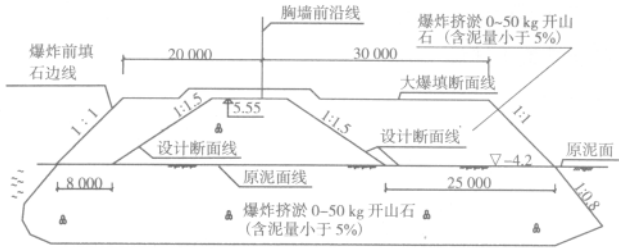


图8 西护岸施工抛填断面示意图

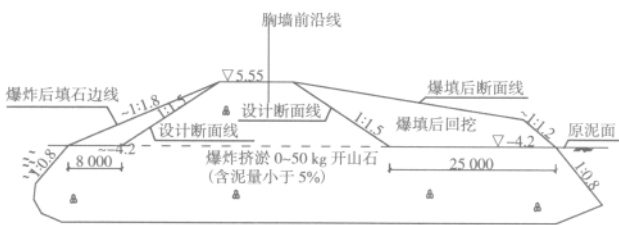


图9 西护岸施工爆填后断面示意图

### 5 结论

宁德核电厂厂区护岸工程在核岛区附近区为核安全物项，对护岸的整体稳定性及使用期变形要求较高，并且在地震情况下护岸也要满足整体稳定并不能产生过大变形，以确保核岛安全。厂区护岸工程从结构安全及消耗厂区开山产生的土石方，护岸围埝结构采用抛石斜坡堤，外侧设人工块体护面，顶部设混凝土挡土墙结构。护岸工程处地质条件为表层有15m深厚淤泥软土覆盖层，为满足护岸整体稳定性并控制使用期及地震时护岸变形，在护岸结构设计上要求对护岸堤身下的深厚淤泥软土覆盖层进行完全置换，让堤身底落在硬土层上，及压脚平台置换宽度宽，才能满足核安全物项护岸的稳定及变形控制要求。

由于该厂区护岸处淤泥厚度深，采用常规爆破方法不能做到将护岸堤身下的深厚淤泥软土覆盖层进行完全置换，底部会留一定厚度淤泥，压脚平台置换宽度宽，采用常规爆破方法也不能做到，形成的断面不能达到设计要求，采用“控制加载爆炸挤淤置换法”施工，堤底深厚淤泥软土覆盖层进行完全置换及形成宽压脚平台，经钻孔检验底部淤泥被完全挤出，堤身落在硬土层上，抛石堤身密实度高，现场观测竣工后沉降很小，满足了设计要求，并积累了成功经验。

该工程的实施为在软土层厚度大的地基上建设变形要求较高的抛石堤工程提供了可靠的施工方法，该方法施工可操作性强，造价低，适合所有软基上的抛石堤，因此应用范围广，具有广泛推广意义。

### 参考文献：

- [1] 控制加载爆炸挤淤置换法：中国专利。CN03119314.5[P].
- [2] 陶松垒，李未材. 防波堤基础的爆炸处理方法及应用[J]. 爆炸与冲击, 2003, 23(5)
- [3] JTJ/T258-1998, 爆炸法处理水下地基和基础技术规程[S].

## 第七届全国工程排水与加固技术研讨会会议纪要

由中国土木工程学会港口工程分会工程排水与加固专业委员会主办，中国铁道科学研究院深圳研究设计院承办，南京水利科学研究院协办的第七届全国工程排水与加固技术研讨会暨工程排水与加固学术委员会年会于2008年11月7日—11月10日在深圳召开，来自国内外高校、科研、设计、施工、生产等单位的近百名代表出席了会议。

本次会议的主题是：(1)围堰及造陆工程技术；(2)大面积超软地基处理技术；(3)工程安全与环境监控技术；(4)工程排水与加固新材料及新方法。会议期间邀请相关专家结合会议主题就国内正在进行的大型相关工程进行专题报告，并组织考察了深圳机场扩建陆域形成及软基处理工程。

本次会议由水利水电出版社出版了《第七届全国工程排水与加固技术研讨会论文集》，论文集包括综合报告、计算理论研究、材料和测试技术、设计与现场试验研究等方面的内容，这些论文较全面地反映了我国工程排水与加固技术的应用现状及发展水平。

会议期间还召开了工程排水与加固专业委员会年会，选举产生了新一届学术委员会组成人员。经协商，第八届全国工程排水与加固技术研讨会将于2011年在福州举行，由福建省建筑科学研究院承办。另外，会议初步商定于2010年在天津召开“围海造陆工程关键技术主题讨论会”，并由中交天津港湾工程研究院和中交四航工程研究院联合承办。

(中国土木工程学会港口工程分会工程排水与加固专业委员会秘书处 关云飞 供稿)