



定向滑移爆炸挤淤处理悬浮式防波堤 地基施工技术

王国新, 沙友德

(中建二局土木工程有限公司, 北京 101101)

摘要: 在海域深厚层淤泥(>28 m)条件下, 对定向滑移爆炸挤淤悬浮式防波堤施工技术, 从堤头抛石加载、爆炸挤淤爆破参数选择、循环进尺控制、两侧爆夯等方面进行阐述。在施工过程中采用“体积平衡法, 沉降观测, 钻孔勘探”等检测手段进行监控, 保证爆炸挤淤悬浮式防波堤地基质量, 工期短、费用低、沉降小, 值得在类似工程中推广应用。

关键词: 深厚层淤泥; 定向滑移; 爆炸挤淤; 悬浮式防波堤; 沉降观测

中图分类号: U 655.54

文献标志码: B

文章编号: 1002-4972(2013)05-0189-05

Directional slip blasting compaction treatment for foundation of suspended breakwater

WANG Guo-Xing, SHA You-de

(Civil Engineering Ltd., Co. of the Second Bureau of Construction and Engineering of China, Beijing 101101, China)

Abstract: This paper discusses the construction technology of directional slip blasting compaction treatment for the foundation of suspended breakwater from the riprap loading of dike head, parameter selection of blasting compaction, circulation measurement control, as well as tamping compaction of both sides, which is under deep and thick silt (>28 m) conditions of sea area. Monitoring through volume equilibrium method, settlement observation, and drilling exploration, the blasting compaction quality is guaranteed, and the engineering is characterized by short construction period, low cost and small settlement. Thus the technology is worthy of popularizing in similar engineering.

Key words: deep and thick silt; directional slippage; blasting compaction; suspended breakwater; settlement observation

1 工程概况

华润电力浙江苍南电厂 $2 \times 1\,000$ MW级燃煤机组火电厂土石方场平、围堤、防波堤工程中, 分部工程挡砂防波堤全长 $2\,680$ m, 堤身基础处理采用爆炸挤淤法处理, 需要置换爆填石料工程量 471.38 万 m^3 。其中F1+400~F2+680 m段为悬浮式堤结构, 爆填后堤身下部未置换淤泥层厚度为 $2.0 \sim 23.0$ m。

防波堤处于浙江沿海强潮海区, 属正规半日潮, 海区地基土为软土层, 淤泥面高程为 $0.00 \sim -7.30$ m。海堤地基上部为淤泥、淤泥质黏土, 软土层总厚度 $28 \sim >52.45$ m不等(勘探深度

内示揭穿), 物理力学性质差、具有含水率高($40\% \sim 50\%$)、孔隙比大、天然强度低、沉降变形大、灵敏度高、固结周期长的特点。

2 施工重点与难点

在淤泥厚度 ≥ 28 m条件下, 进行定向滑移爆炸挤淤抛石的爆破参数设计要求更加精细化, 根据不同的淤泥深度分阶段调整装药量。

爆破堤心石持力层为淤泥软地基, 在装药施工细节上严加控制, 保证装药质量, 以保证堤心石落底深度和宽度。

爆破堤心石持力层物理力学指标较差, 施工

收稿日期: 2012-10-25

作者简介: 王国新(1973—), 男, 高级工程师, 从事技术研发和管理工作。

中应加强沉降观察，根据沉降情况和石料体积平衡计算情况，对防波堤抛填堤顶高程进行控制并作动态调整，如未达要求应及时补抛填石料，做好质量过程控制。

3 防波堤填筑与爆炸挤淤施工参数

3.1 防波堤特征参数

防波堤从桩号F1+400~F2+680 m，长度1 280 m

淤泥深度>28 m范围内，悬浮式防波堤结构断面，见图1。

3.2 堤心石抛填断面参数

悬浮式防波堤堤头抛填断面参数见表1。

3.3 爆炸挤淤爆破参数

特征段1，每次堤头爆破药量为720 kg，如此循环爆破38次；

特征段2，每次堤头爆破药量为740 kg，如此

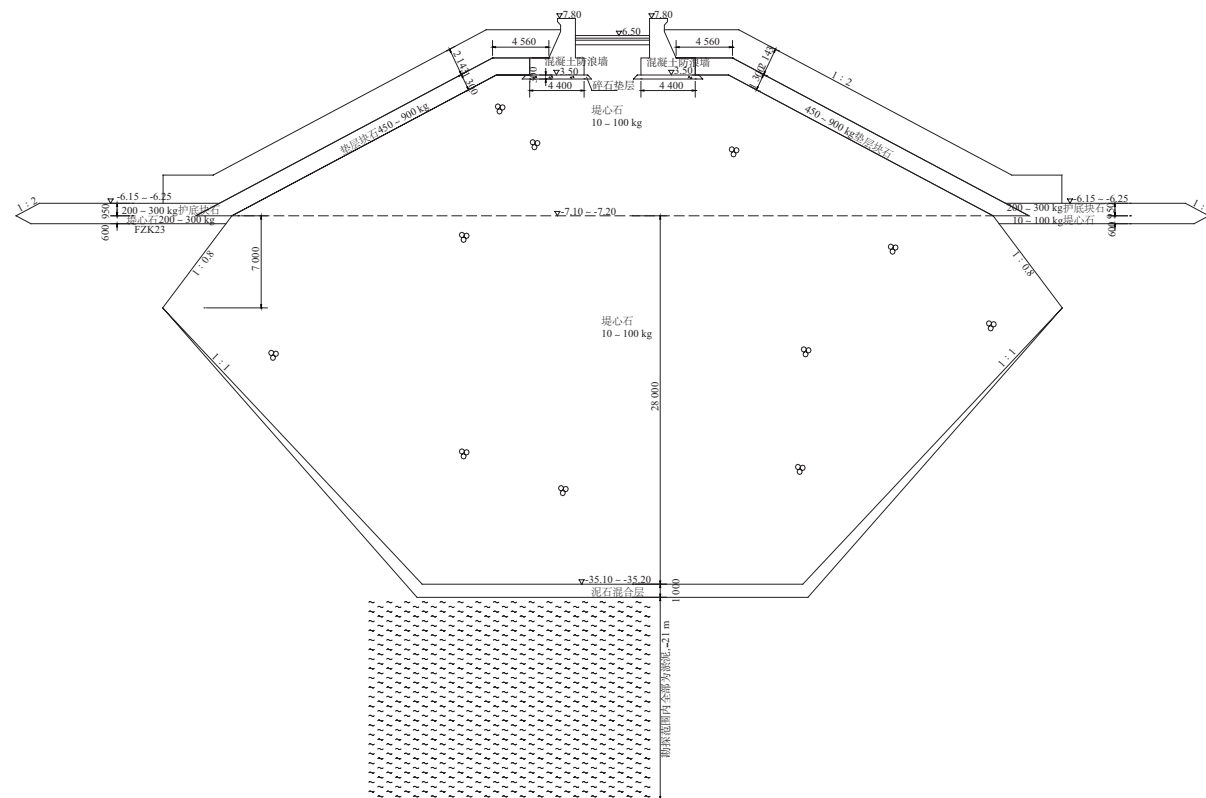


图1 悬浮式防波堤断面

表1 防波堤抛填参数设计

特征段	桩号	爆前堤顶抛填宽度/m		抛填进尺/m	爆前堤顶高程/m	爆后堤顶补抛宽度/m		爆后堤顶高程/m
		内侧	外侧			内侧	外侧	
特征段1	1+400~1+700	10.0	22.0	8	5.0~6.0	10.0	17.0	4.0
特征段2	1+700~2+000	13.0	22.0	8	5.0~6.0	13.0	17.0	4.0
特征段3	2+000~2+580	19.0	19.0	8	5.0~6.0	15.0	15.0	4.0
特征段4 (堤头段)	2+580~2+665	20.0~40.0	19.0	8	5.0~6.0	15.0~35.0	15.0	4.0

循环爆破37次；

特征段3，每次堤头爆破药量为760 kg，如此循环爆破72次。

对特征段4（堤头部分）堤体是不规则堤体，

每次爆破淤泥抛石处理方量都不同，所以每一次的爆破参数也应做相应的调整。抛填宽度40~60 m，布药宽度60~80 m，每次进尺8 m，共爆破13次，药量为700~1 000 kg，堤头爆破总药量12 000 kg。特

征段4侧爆总用药量为1 728 kg。

4 施工工艺及施工方法

4.1 爆炸挤淤施工工艺

堤头爆填施工工艺流程见图2。按确定的宽度和高度进行堤身抛填, 满足要求后在堤头布药爆破。爆后补抛并继续向前推进, 达到设计进尺后再次布药爆破, 这样“抛填 → 爆破 → 抛填”循环进行(图3), 直至达到设计堤长为止。

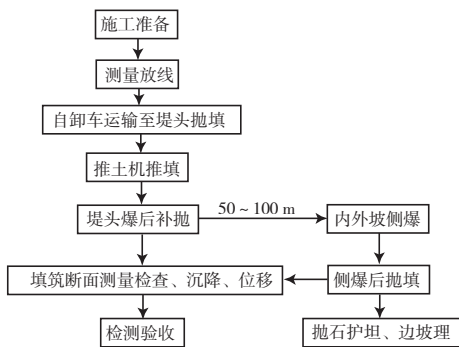


图2 爆炸挤淤施工工艺流程

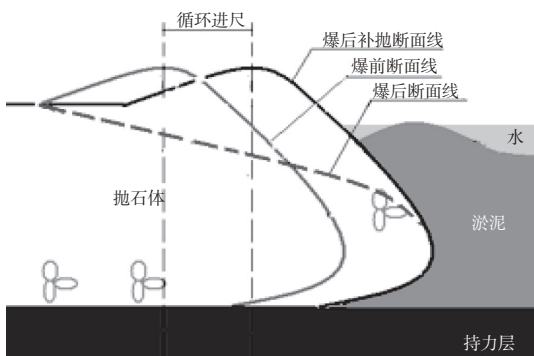


图3 爆前、爆后及循环爆填示意图

堤身向前推进达到适当长度后, 在内外侧进行侧爆处理。在两侧爆炸前, 中间的石料基本落到持力层上, 经过侧爆才能保证平台落底深度和密实度, 以便加宽堤身和整形, 达到设计要求, 并保证护面稳定。侧爆一次处理长度应根据安全及实际工程情况确定, 一般为50 ~ 100 m。

考虑到外侧平台较大, 外侧侧爆装药时难度大。所以对外侧平台较大的断面, 实施“堤头爆炸+外侧爆炸, 两侧侧爆”的方法, 即在堤头爆破时药包将两侧翅膀包围, 外侧多药包, 内侧少药包, 相当于侧爆的作用, 之后再行两侧侧爆。

4.2 主要施工方法

4.2.1 施工准备

施工开始前, 进行爆破区及周围现场的勘察, 特别是周围建筑物设施全调查, 同时根据业主提供的坐标控制点, 水准点, 进行实地校核, 在施工区内建立控制网点, 水准点, 并且根据设计施工图纸进行放样, 设立抛填及警示标志。

4.2.2 堤心石抛填

定向滑移悬浮式防波堤爆炸挤淤堤心石抛填高程、宽度、进尺等参数是最关键的。根据工程设计断面, 在爆破处理软基施工时, 用20 t自卸车上堤填筑, CAT320推土机平整, 一次堤头控制加载抛填工程量为1.6万 ~ 2.0万 m³, 见图4。抛填采用“堤身先宽后窄”的方法, 使得爆后水下平台宽度一次到位, 而爆后补抛时堤身缩窄以控制方量, 尽量减少理坡工作量。抛填中大块石尽量抛在堤身外侧, 以减少冲刷。

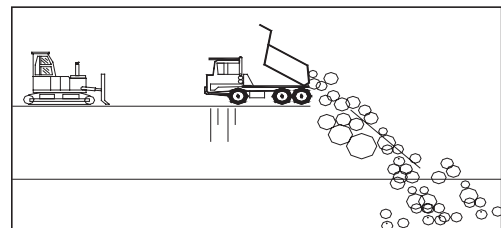


图4 陆上推填作业示意图

抛填用石料规格、强度、级配、含泥量等满足设计、规范要求, 抛填过程中设专人检查, 确保石料质量。

4.2.3 控制填筑范围

根据施工图纸和现场控制点放出堤轴线, 抛填宽度的边线与堤轴线的距离, 根据设计数据用皮尺量出。爆前抛填高度的控制, 现场控制人员, 依据已抛堤段堤顶的高程数据, 依据相关的抛填高度数据控制抛填高度。堤头抛填安排专人跟班计量和指挥, 堤上推填指挥人员负责填筑的宽度、高程和进尺控制。在堤身爆填后, 对填筑断面边线和高程再进行测量校核, 对不符合要求的部位及时进行补抛或修坡处理。

4.2.4 堆料区域控制

堤头抛填前, 由测量放样确定填筑控制点, 并对现场卸料指挥人员进行交底。填筑时按质量

技术要求,对石料分类、分区域填筑,确保堤身两侧大块石的填筑宽度。堤头爆炸时大块石尽量抛在前面,以达到爆炸挤淤效果并保证堤身达到设计深度。对于堤身外露面尽量采用大块石,以增强堤身防冲抗浪能力。

4.2.5 抛填高程、宽度、进尺的控制

1) 抛填高程:根据土工计算原理和堤身设计高度,经过理论分析计算,按照“方便堤面施工,高潮位堤顶不过水,爆后堤顶不超高,同时考虑减少平台上多余石方量”的原则。确定堤头爆破前抛填高程为5.0~6.0 m,堤头爆破后补抛高程控制到4.0 m。

2) 抛填宽度:抛填宽度的确定取决于断面宽度、落底宽度、堤顶高程、泥面高程等因素。爆破处理软基施工时,使得爆后水下平台宽度一次到位,而爆后补抛时堤身缩窄以控制方量,尽量减少理坡工作量^[1]。爆前堤顶抛填宽度28~38 m,爆后补抛堤顶宽度为24~30 m。

3) 循环爆填进尺:根据地质条件、爆破用药量、爆炸挤淤作用效果综合考虑,本防波堤工程循环爆填进尺取8 m。

4.2.6 爆炸挤淤药包埋设

爆炸挤淤要求将炸药置放到防波堤泥石交界处前方2~3 m处的有一定深度淤泥中。本工程采用挖掘机直(斜)插式布药机,该装药机具主要由一台320型长臂履带式挖掘机和管内径为 $\phi 219$ mm,管长13.5 m装药圆管组成,装药量为30 kg/m。

装药操作时履带式挖掘机行至指定位置,提起装药器,陆上一次装药。通过挖掘机的行走和旋转将装药器定位,在设计位置上成孔,达到设计深度后,打开装药器底部的药室小门,将装药器导管上提,药包在配重和淤泥、水压作用下落至设计位置。提起装药器进行下一循环作业。其特点是陆上装药,不受风浪影响,速度快,堤头爆破作业时间约1~1.5 h。

4.2.7 起爆网路

堤头爆破共布置8~10个药包,爆炸挤淤的爆破网路有电雷管、主导爆索、分导爆索和药包联成。主导爆索起爆药包靠起爆头激发能量,用主导爆索加工成起爆体放入药包中,然后将药包埋入泥下

设定深度处,同时将导爆索引出水面,并与主导爆索相连(并联),最后用电雷管起爆。

5 施工检测

5.1 体积平衡法

采用“自沉和爆沉累计算法及体积平衡法”方法,用该段总称重力 G (堆石体理论密度 $\rho \times g \times$ 该段堤身长度 L)=该段理论填筑断面量的计算式,跟在每次爆破前后,对堤身断面进行测量,并根据过磅称重情况进行抛填量统计数据进行爆填效果评估。如发现与设计有较大偏差时,及时调整抛填和爆破参数,将爆破参数控制在允许偏差范围内,以确保堤身断面达到设计要求。

5.2 沉降位移观测法

通过对堤身抛填断面防波堤施工过程中进行沉降与位移观测结果表明:在桩号F1+400~F1+700 m过渡段,4个月左右沉降基本稳定,累计沉降量约130 cm;在桩号F1+700~F2+580 m悬浮堤段,6个月左右沉降基本稳定,累计平均沉降量1.50 m左右,最大沉降量2.6 m;在桩号F2+580~F2+650 m堤头段,沉降情况与悬浮段基本相同。但由于堤头抛石护坦宽度仅15 m左右,在堤身沉降基本稳定后进行防浪墙上部结构施工时,堤头部位发生往前端位移的现象,致使堤头段浇筑后的防浪墙沉降缝宽度达20 cm左右。

5.3 物探检测法

采用探地雷达检测,测线应布满全断面范围,每50 m探测一个断面,并在堤中心、外坡和内坡进行3条纵断面检测。检测时,测点距离不大于2 m,或采用不间断扫描方式。该法与钻孔岩芯资料结合来分析,以获得可靠的物探分析精度。

5.4 钻孔检测法

本工程采用钻孔勘探方法来探明抛石体置换淤泥的落底实际状况。围堤每200 m左右布置一个检测断面,每个断面不少于1个孔,全断面布置3个钻孔的断面数不少于总断面的一半。钻孔检测揭示抛填体的厚度、混合层厚度,并深入下卧持力层不少于2 m。钻探取土样并做土工试验,以判明各土层的物理力学指标^[2]。

钻探结果表明: F1+400 ~ F1+700 m段为过渡段, 设计落底高程-34.1 ~ -34.5 m, 爆破置换堤心石底高程达到-31.7 ~ -36.8 m; F1+700 ~ F2+655 m段为悬浮段, 设计落底高程-35.1 ~ -35.2 m, 爆破置换堤心石落底高程为-36.5 ~ -40.2 m。达到悬浮段抛石基底高程允许误差-1.0 m, 混合过渡层厚度均小于1.50 m设计的要求。

6 结语

1) 在水域深厚层淤泥地质条件下悬浮式防波堤爆炸挤淤地基处理施工, 必须掌握淤泥的物理力学性能、覆盖水深、海潮规律等客观条件, 采用合理的堤头加载、爆破参数, 以确保堤心石的落底深度和宽度。

2) 施工中严格进行沉降观测, 根据沉降数据和石料体积平衡计算情况验证, 及时调整抛填加载量和高程, 如未满足设计要求时, 应及时进行

补充抛填, 以达到设计断面几何尺寸要求, 保证防波堤构筑物结构的稳定安全。

3) 通过对深厚层淤泥悬浮堤的爆炸挤淤处理地基施工过程中的严格质量安全控制, 实现质量、安全“零”事故的预定目标。完工后钻孔检测表明, 定向滑移爆炸挤淤悬浮式防波堤的堤身宽度与落底深度均能满足设计要求, 未被爆破置换的淤泥没有被扰动破坏, 堤身爆破置换后能悬浮在淤泥软基上, 堤身经过6个月的沉降后基本稳定, 可进行上部结构的施工。悬浮堤经受了2009年、2010年的2次台风考验, 堤体稳定, 满足设计要求, 竣工验收一次通过。

参考文献:

- [1] JTS 204—2008 水运工程爆破技术规范[S].
- [2] 邓卖勇, 张翠兵, 杨岸英. 厚层淤泥中的爆炸定向滑移法原理及工程实例[J]. 岩土力学, 2004(10): 1 677-1 680.

(本文编辑 郭雪珍)

~~~~~

(上接第183页)

稍有倾斜或晃动, 船底稠泥浆向倾斜方向移动而且越移倾斜越厉害。采用不倒翁原理后, 问题迎刃而解, 研制6 000 m<sup>3</sup>及以上舱容的自航满底泥驳已不是件难事。

### 5.3 双侧吹泥船

现不少地方采用耙吸船抛泥, 再由绞吸船吹泥<sup>[2]</sup>, 一则泥沙容易流失, 二则不属于封闭性作业, 环保性不好。在天津港作业的双侧船靠吹泥船是一种启示, 只要吹泥船船体足够大, 双侧船舷各装上4组斜吊吸泥泵组, 即可形成双侧两组各为6 000 m<sup>3</sup>/h的吹泥能力, 双侧同时转吹, 可形成12 000 m<sup>3</sup>/h的转吹能力。如需进行远距离吹填, 每增配一台空气活塞增压器, 即可增加吹距3 000 m。

### 5.4 船带装驳并非直接装驳的唯一方法

在长江口耙吸船船带装驳模拟试验中, 风大浪高流急施工条件已引起参试者的忧虑, 从美国海军远洋舰船补给报道来看, 在风大浪高流急的水域进行维护疏浚施工, 船带装驳并非直接装驳的唯一方法, 更不一定是最好的方法, 因此美国海军远洋舰船均不取船带补给而取纵向补给方

法。同理, 连云港、迪拜与天津港等地的挖泥船船带装驳的成功经验并非处处可用, 尚需因地制宜、量身定做才好。

## 6 结语

尽管“无泥舱自航(锚拉)挖泥船船带装驳+自航泥驳船靠吹泥船转吹”疏浚工艺现已成为天津港水深维护疏浚工程的唯一采用的施工工艺, 但作为一件新生事物, 仍存有许多不足与缺点, 需要进一步完善与提高。相信无泥舱挖泥船装驳转吹疏浚工艺, 在港口航道维护疏浚、内河水运维护疏浚与生态环保疏浚等疏浚市场上, 均具有十分广阔的应用前景。

## 参考文献:

- [1] 季岚, 张建锋, 张谷明, 等. 耙吸船船带泥驳疏浚工艺在长江口维护施工中的应用研究[J]. 水运工程, 2012(6): 183-187.
- [2] 付桂, 丁健, 赵德招. 长江口疏浚土综合利用技术试验研究[J]. 水运工程, 2012(7): 8-14.

(本文编辑 郭雪珍)