



爆炸挤淤堤身合龙段施工方法探讨

葛新兴

(长江武汉航道工程局, 湖北 武汉 430014)

摘要: 对采用爆炸挤淤处理软基的堤身合龙段施工方法进行探讨。针对不同堤身断面类型及场区施工环境条件提出全断面推进法、两侧推进法和单侧推进法3种施工方法, 从合龙段位置的选取、长度的确定、抛填方法、抛填材料规格要求、爆炸参数等方面阐述合龙段施工的技术要点, 并且结合工程实例介绍上述施工方法的应用情况。

关键词: 控制加载; 爆炸挤淤; 合龙段

中图分类号: TU 471.8

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)05-0199-06

Closure segment construction on soft ground treated by explosive compaction

GE Xin-xing

(Changjiang Wuhan Waterway Engineering Bureau, Wuhan 430014, China)

Abstract: This paper describes the closure segment construction on soft ground treated by explosive compaction. For different cross-section types, the paper presents three types of construction methods: the whole section to promote the law, both sides of the marching method and unilateral advancing method. As the technical points, closure segment position selection, determination of the length, with filling material specifications, and explosion parameters are described. In combination with the engineering practice, the paper introduces the application of the methods.

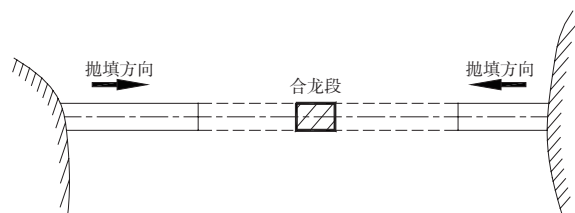
Key words: control-loaded; sludge-extruding; folding segment

爆炸挤淤筑堤技术在港口工程与围垦工程中已得到广泛应用。通常爆炸挤淤施工工序为: 堤头端部爆填推进→侧向爆填→堤侧坡脚爆夯, 当采用堤头端部爆填推进时, 沿轴线单方向只有一个工作面。因此, 为提高抛填效率、合理缩短工期, 在护岸、围堰等工程施工中, 常采用多个堤头同步抛填的方法, 增加爆填工作面, 最后在堤身轴线的适当位置形成堤身合龙。根据结构总平面布置要求及施工现场抛填石料的供料途径, 可采用两端相向抛填推进或利用临时便道形成“丁”字型堤头多向抛填推进的施工方法, 从而会形成一个或多个合龙段(图1)。合龙段一般淤泥包高度较高, 两堤距离较近时不具备放堤头炮

的条件, 应采用与堤身爆填施工不同的抛填参数及爆炸参数。如果施工方法不当, 会使堤身下残留较厚淤泥, 在不利工况下合龙段堤身产生大的沉降和水平位移, 导致工程质量事故。

1 几种主要的合龙段施工方法

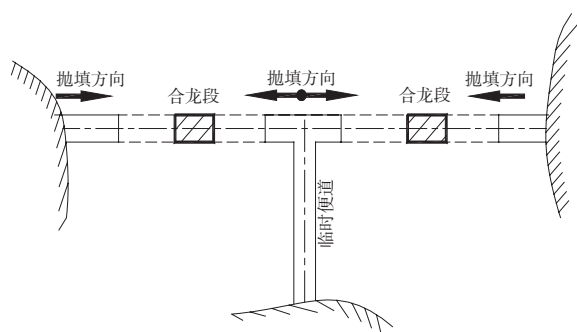
合龙段是两个堤头相对抛填推进, 堤头端部



a) 两端相向抛填

收稿日期: 2012-10-19

作者简介: 葛新兴(1964—), 男, 高级工程师, 从事港口航道施工管理。



b) 丁字型多向抛填

图1 合龙段的形成

的淤泥鼓包会在两堤头相距较近时相互叠加。在一般情况下,叠加的结果导致堤头淤泥鼓包比正常施工段堤头端部形成的淤泥包高2 m以上,这样势必增加爆炸挤淤堤身落底的难度。根据堤身断面形式与淤泥扩散条件的不同,合龙段的施工方法主要有如下3种:全断面推进法、两侧推进法和单侧推进法。

1) 全断面推进法。

适用条件:堤顶宽度不大于20 m,水深较浅、堤侧坡脚没有较宽的水下平台。

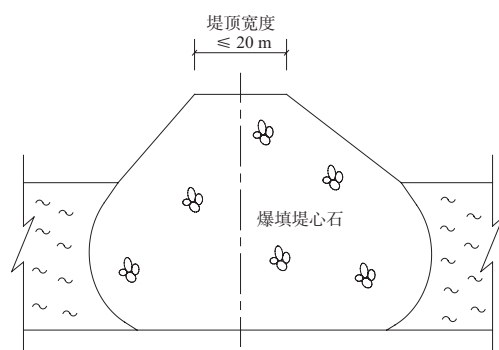
抛填工艺:一次将合龙龙口抛填封闭,宽度与设计堤顶宽度一致,当堤侧设计有水下平台时应根据爆炸塌落规律适当加宽堤顶抛填宽度。堤顶高度在堤头炮抛填高度基础上增加1~3 m,在堤身两侧布药,一次起爆。抛填布药见图2。重复上述“抛填-布药-起爆”施工过程2~4遍,即可保证合龙段的落底和稳定。

布药参数:布药位置在合龙段堤身两侧泥石交界外1~2 m,合龙段爆炸参数应参照堤头炮的爆炸参数,药包埋深与堤头炮药包埋深相等或稍深,炸药质量 Q 比堤头炮增加10%~20%,药包间距可取2.5~3.5 m。堤头炮的爆炸参数可采用“控制加载爆炸挤淤置换法”,根据文献[1]的说明进行计算。

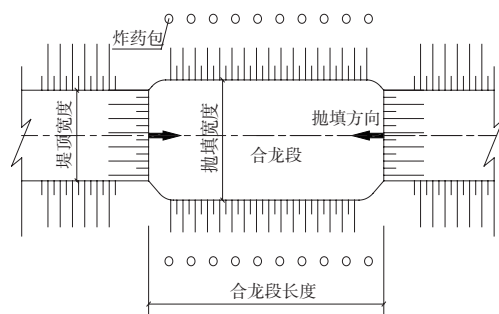
2) 两侧推进法。

适用条件:堤顶宽度大于20 m,或者水深较深、堤侧坡脚有一定宽度的水下平台。

抛填工艺:首先在堤身断面中间位置抛填一条宽度为10~15 m的窄堤(如软基深厚,要进行堤头爆炸处理),堤顶抛填高度在堤头炮抛填高度



a) 合龙段堤身标准断面

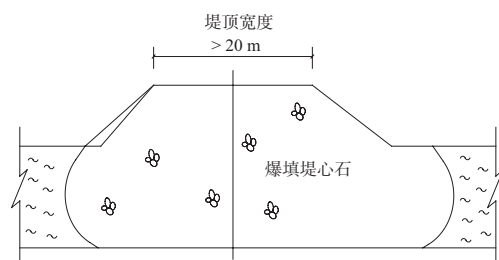


b) 合龙段堤身抛填平面

图2 全断面推进法抛填布药示意图

基础上增加1~3 m,在堤身两侧布药,一次起爆或分段起爆。爆炸完成后,从堤中间向两侧以5~7 m为一个循环进尺进行抛填,在堤侧泥石交界处布药爆炸,直到形成全断面。每一次抛填时,堤顶爆沉部分应补抛至设计抛填高度。

布药参数:布药位置在合龙段堤身两侧,药量设计、布药深度和方法与1)相同,除第一次抛填窄堤时应两侧同时起爆,分别向两侧爆填推进时可采用单侧起爆的方式。全断面爆填完成后,可在两侧分别进行一次加强侧爆或爆夯。两侧抛填不一定对称,应根据现场挤出淤泥的扩散条件确定,对淤泥包扩散有利的方向可以多推进。抛填布药见图3。



a) 合龙段堤身标准断面

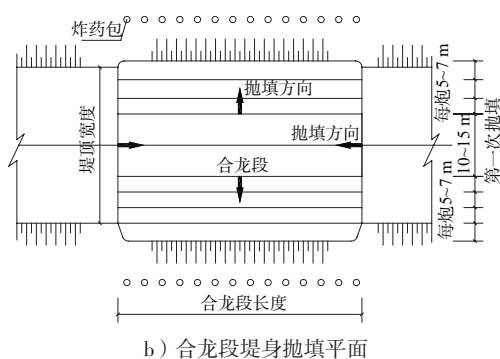


图3 两侧推进法抛填布药示意图

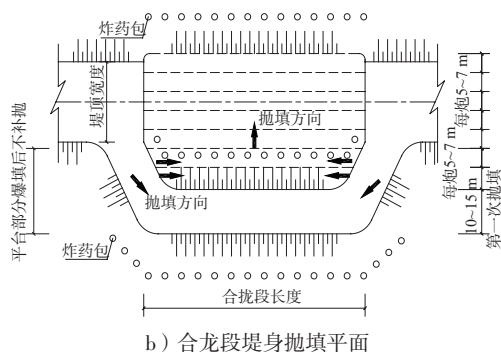


图4 单侧推进法抛填布药示意图

3) 单侧推进法。

适用条件：堤顶宽度较宽或者水深较深，且堤侧坡脚有较宽的水下平台（一般大于10 m）。

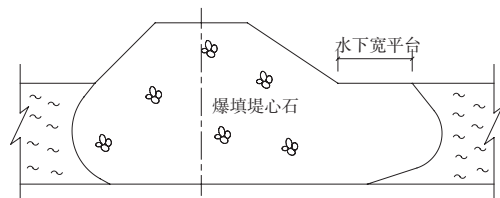
抛填工艺：单侧推进法与两侧推进法最大的不同在于前者是先形成堤侧的水下平台，在水下平台位置抛填到位、爆炸完成后，不再将下沉部分补抛至设计堤顶高度，而是向另一侧连续爆填，使第1次抛填部分在多次爆炸作用影响下不断下沉，形成水下平台。后者则是每次爆炸后都将爆炸下沉的部分补抛到设计高度，且两侧推进。

抛填按两个大的步骤进行：先在设计平台位置最外侧抛填一个宽度约10~15 m的窄堤，在堤两侧布药爆炸，位于水下平台上方堤身下沉部分不再补抛；其次向堤身另一侧以5~7 m的进尺进行侧向爆填。顶抛填高度在堤头炮抛填高度基础上增加1~3 m。

布药参数：布药位置在合龙段堤身两侧，药量设计、布药深度和方法与2)相同，除第一次抛填窄堤时应两侧同时起爆，单侧爆填推进时可采用单侧起爆的方式。抛填布药见图4。

2 合龙段施工的技术要点

根据“控制加载爆炸挤淤置换法”的基本原理，完全挤出堤坝基础的淤泥，不是在一个堤头炮的一次爆炸作用下完成的，而是在多次连续的



a) 合龙段堤身标准断面

堤头爆炸及侧炮作用下逐渐完成堤身断面。多项工程测量结果表明，一次堤头爆炸对堤身影响范围大约为30~50 m，因此，简单地将两个相对抛填推进堤头安放堤头炮的常规施工工艺合龙，将会使合龙段约60 m范围内堤身不能完全落底。一般情况下堤头抛填时会有1:1.0~1:1.3的块石自然坡比，堤头向前的泥下块石也会以一定的坡比交汇，无法将炸药埋设在淤泥下必要的深度（图5），因而无法保证爆破安全和可靠的挤淤效果。在深圳某围海护岸工程中就因不重视合龙段施工，在堤头抛填至较近距离时，泥下块石相交，无法埋药，仅简单补抛堤身至设计断面，进行堤身合龙，结果在后方回填过程中，堤身发生数米的水平位移^[2]。

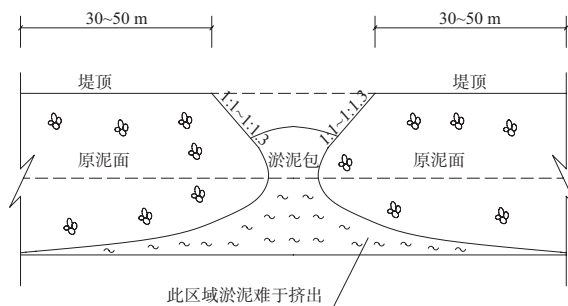


图5 合龙段堤头交汇示意图

合龙段施工应考虑以下技术要点：

1) 合龙段位置的选取。

合龙段应按以下原则选取：①堤身所处海底地势较为平坦；②需要置换淤泥层厚度较小，一般应控制在20 m以内；③淤泥层分层单一，尽量避免有淤泥质黏土、粉质黏土、砂层等存在夹层的土层；④淤泥层中淤泥的物理力学指标应满足：强度指标相对较弱，含水量 ω 较大，液性指数

I_L 较大,流动性好;⑤周边有较大的空间以便容纳挤出的淤泥;⑥施工方便。

以上条件应综合考虑,淤泥强度高、分层复杂,就应选择厚度更薄的位置进行合龙。在这些条件中黏性土的稠度状态是反映挤淤难易程度的一个很重要的指标。黏性土的稠度状态用表征土的天然含水量与界限含水量之间的相对关系的指标,即液性指数(I_L)来加以判定。

$$I_L = \frac{\omega - \omega_p}{\omega_L - \omega_p} \quad (1)$$

式中: ω 为含水量; ω_L 为液限; ω_p 为塑限。 $I_L < 0$ 时,土是坚硬的; $0 \leq I_L \leq 0.25$ 时,土是硬塑的; $0.25 < I_L \leq 0.75$ 时,土是可塑的; $0.75 < I_L \leq 1.0$ 时,土是软塑的; $I_L > 1.0$ 时,土是流塑的。合龙段位置尽可能选在土层的 I_L 值大的区段,且 I_L 值越大愈好。

2) 合龙段长度的确定。

合龙段长度的确定受堤顶高程、淤泥包高度、水深、堤头水下抛石体前沿位置等因素影响(图6)。可按下式计算:

$$L = 2b_1 + 2b_2 + b \quad (2)$$

式中: L 为合龙段长度(m); b_1 为堤头前沿至海底淤泥面的水平距离(m); b_2 为泥石交界至泥下抛石体前缘位置,一般取3~10 m,当淤泥面上有一定水深、淤泥黏稠度低流动性好时取大值,无水、淤泥黏稠度高流动性较差时取小值,也可现场实测取得; b 为合龙段绝对长度,考虑两侧堤头对合龙段中间抛石体的约束作用,取值一般应大于20 m为宜。

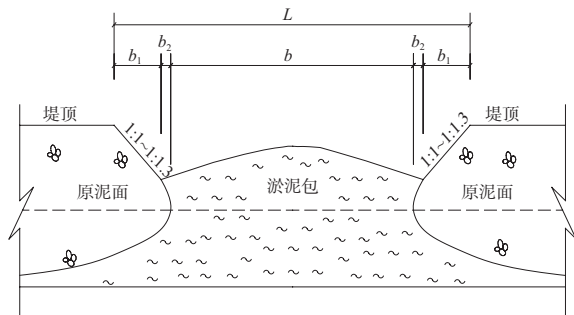


图6 合龙段长度的确定

3) 合龙段抛填石料的要求。

多项工程实践表明,抛填石料的块度大、单

块重力大,挤淤效果好。因此,合龙段抛填的石料尽量选用粒径大、含泥砂量少的石料。

4) 合龙段淤泥包的处理。

合龙段龙口处的淤泥包隆起高度虽比正常施工段要高,但在场区内有容纳淤泥的空间的条件下,一般不需要挖泥。

3 工程应用情况

1) 盐田港区三期集装箱码头纳泥塘围堰工程^[3]。

盐田港区三期集装箱码头纳泥塘围堰工程地处盐田港西港区,采用斜坡式堆石堤的结构形式,由东、南和西围堰组成,设计全长1 228 m,其中需采用爆炸法对软基实施处理的围堰段是东围堰0+80~0+140,南围堰0+000~0+948,西围堰0+000~0+140,共长1 148 m。合龙段桩号为0+457~0+497,长度为40 m,断面结构形式见图7,淤泥指标见表1。

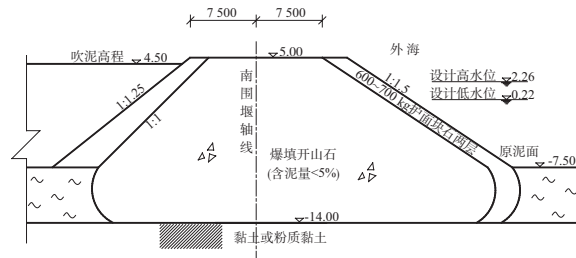


图7 纳泥塘围堰0+457~0+497

表1 0+457~497淤泥物理、力学指标

土层编号	土质名称	含水量/%	密度/(t·m ⁻³)	孔隙比e	直接快剪 C _d /kPa	直接快剪 φ _d /(°)	标贯击数/击
① ₁	淤泥	73.2	1.560	2.05	4.0	0.0	
② ₁	黏土	33.5	1.892	0.94	50.3	2.5	13.7

合龙时采用全断面推进法,两侧布药爆炸,共爆4遍,每次爆炸完成后,均补抛至设计抛填高度。具体施工参数如下:①抛填参数:高度>7.00 m,堤顶宽度15 m,全断面一次合龙。②布药参数:两侧布药,单药包质量30 kg,药包间距3.0 m,埋深泥面下大于3.0 m,单炮药包数量2×12个。

2) 台山核电站厂前区防洪护岸工程^[4]。

台山核电站厂前区防洪护岸全长1 151.143 m,

为斜坡式结构,采用“控制加载爆炸挤淤置换法”进行软基处理。爆炸挤淤置换厚度为2.14~10.1 m。合龙段桩号为K0+806~K0+884,长度为78 m,断面结构形式见图8。淤泥(层号②):暗黄灰色,深灰色,含有机质,见少量贝壳碎屑,局部含少量粉细砂,有腥臭异味,海积;饱和,流塑($I_L > 1.5$);实测标贯击数一般为1击,局部含砂或贝壳较多时击数偏高,厚度为8.4 m。

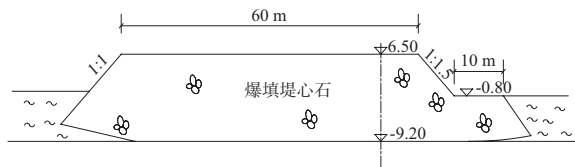


图8 厂前区防洪护K0+806~K0+884

合龙时采用两侧推进法,两侧分别爆填推进,因内侧能够纳泥的空间较小,采用不对称抛填,外侧抛填推进长度比内侧长。选择大块石进行推填,严格控制石料质量,推填高程大于7.50 m,按照设计参数内侧6 m和外侧9 m从南端、北端同时推填至合龙段中心位置合龙,保证淤泥有最合理的消散路径,然后分别向内、外两侧爆填推进。

抛填参数:高度大于7.50 m,第1次抛填宽度15 m(内侧6 m,外侧9 m),依次按5~6 m向两侧爆填推进(图9)。

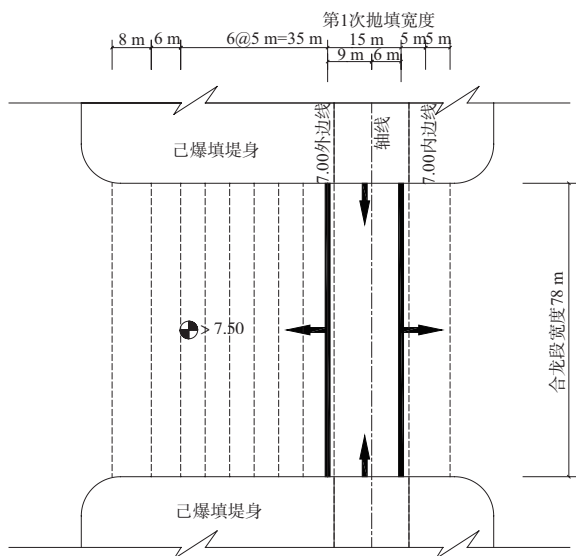


图9 K0+806~K0+884抛填控制示意图

布药参数:合龙段内侧3炮外侧8炮完成后还需各进行1次和2次加强侧爆。爆炸参数见表2。

表2 K0+806~K0+884爆炸参数

区段	单药包质量/kg	药包间距/m	药包个数/个	药包埋深/m
内侧(3炮)	35	2.5~3.0	28	>8.0
外侧(8炮)	35	2.5~3.0	28	>8.0

3) 双鱼岛(招商局漳州开发区人工岛)填海工程13#堤^[5]。

双鱼岛(招商局漳州人工岛)填海工程(图10)位于南太武高尔夫球场东侧大磐湾中的大磐浅滩海域填海造陆区域,形成的人工岛工程总面积为221.67万m²。外护岸堤段为斜坡式结构,施工中形成多个堤头抛填工作面,在13#堤形成合龙。合龙时结合“控制加载爆炸挤淤置换法”采用单侧推进法进行施工。合龙段桩号为13#0+503~0+599,长度为96 m,断面结构形式见图10。置换的淤泥底高程在-16.37~-20.50 m,置换深度10.6~14.73 m,淤泥的物理、力学性质见表3。

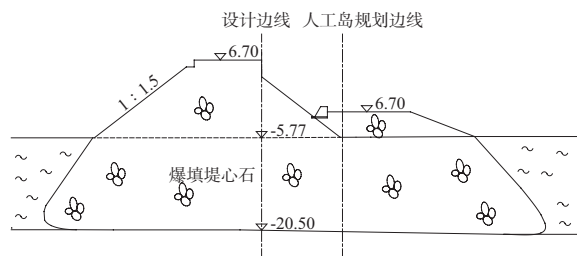


图10 13#0+503~0+599断面

表3 13#0+503~0+599土层物理、力学性质

土层	含水量 $\omega/\%$	密度/ $(t \cdot m^{-3})$	孔隙比 e	液性指数 I_L	快剪 C/kPa	快剪 $\phi/(\circ)$
①淤泥	75.4	15.5	2.046	2.20	10.2	1.4
①淤泥混砂	75.6	15.9	1.737	2.30	15.0	5.0
①淤泥质黏土	58.2	16.6	1.618	1.48		

合龙段共进行5次爆填,每一次的抛填高程及抛填宽度见图11。

布药参数:合龙段由外侧向内侧推进,一共放5炮,布药参数见表4。

4 结语

1) 根据堤身断面形式的不同,爆炸挤淤合龙段施工方法可分别采用全断面推进、两侧推进法和单侧推进法。工程实践表明,在合理选取合龙段位置、长度、抛填方法、抛填材料规格与爆炸

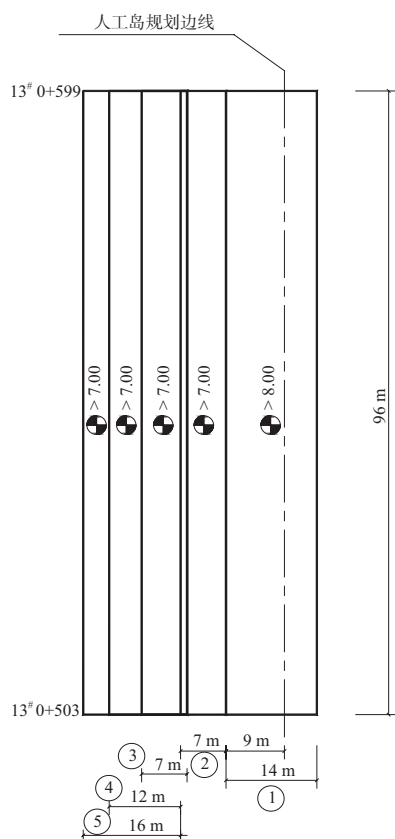


图11 13#0+503 ~ 0+599抛填示意图

表4 13#0+503 ~ 0+599爆炸参数

炮号	单药包质量/kg	药包间距/m	药包埋深/m	布药位置
①	48	2.0~3.0	>9.0	内、外侧
②~⑤	48	2.0~3.0	>9.0	内侧

参数等条件下,这3种施工方法是可行的。

2)单侧推进法主要是为了减少堤侧平台上多余石料的回挖量,单侧推进法的抛填要求比较高。当堤侧水下平台较宽但堤顶到水下平台的高

度差较小时,也可采用两侧推进法或全断面推进法,施工完成后结合理坡工序回挖掉平台上的多余石料,这样可以减小单侧推进法爆前的抛填难度。

3)单侧推进法一般适用于置换软基厚度不大的情况。对于深厚软基,使用这种方法处理软基应充分论证。

4)也可以将合龙段技术进行推广,即当堤顶宽度较小、置换淤泥厚度适中、淤泥强度较低、流动性较好时,爆炸挤淤可以不放堤头炮,采用类似合龙段全断面推进法的爆炸挤淤施工工艺,堤身一次抛填完成后,仅在两侧进行爆炸处理也可以形成设计断面,相应提高施工效率,缩短了工期。

参考文献:

- [1] 江礼茂.控制加载爆炸挤淤置换法:中国,ZL0 31 19314.5[P].2003-03-18.
- [2] 王健,吴京平,刘伟庆,等.爆炸挤淤防波堤、护岸堤身失稳形式[J].水运工程,2012(6):70-73.
- [3] 刘伟庆,孙学军.盐田港区三期集装箱码头纳泥塘围堰工程竣工报告[R].宁波:宁波科宁爆炸技术工程有限公司,2004.
- [4] 王健,刘伟庆.台山核电站厂前区防洪护岸工程爆炸挤淤合龙段施工设计[R].宁波:宁波科宁爆炸技术工程有限公司,2008.
- [5] 刘伟庆.双鱼岛(招商局漳州开发区人工岛)填海工程13#堤合龙段施工设计[R].宁波:宁波科宁爆炸技术工程有限公司,2012.

(本文编辑 武亚庆)

