



## 软弱淤泥地基陆域形成方案研究

周玲玲, 殷昕, 胡殿才, 陈喆

(中交上海航道勘察设计研究院, 上海 200120)

**摘要:** 结合某工程地质条件和地基处理要求, 对软弱淤泥地基中陆域形成方案进行了研究。从施工可行性、结构可靠性及经济性等方面对海堤堤基处理、陆域回填和地基处理进行了多个方案的分析比较, 推荐了最适合的处理方案, 可供类似工程参考。

**关键词:** 海堤堤基处理; 抛石爆破挤淤; 排水板+砂被; 砂石桩; 陆域回填和地基处理; 自重预压; 真空联合回填料自重预压; 强夯; 强夯置换

中图分类号: TU 473

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)12-0139-05

### Scheme of land formation on silty soil

ZHOU Ling-ling, YIN Xin, HU Dia-cai, CHEN Zhe

(Shanghai Waterway Engineering Design and Consulting Co., Ltd., Shanghai 200120, China)

**Abstract:** In combination with the geologic conditions and utilization requirements of a land formation engineering, we approach the foundation treatment methods of dike and land formation. we compare the methods on construction feasibility, structure reliability and economic efficiency, and recommend the optimal method, so as to serve as reference for similar engineering.

**Key words:** dike foundation treatment of dike; blasting desilting; plastic drainage plate and sand bags; sand pile; land formation and foundation treatment; self-weight preloading method; vacuum preloading combined weight; heavy tamping; dynamic replacement

某工程位于辽东湾内, 利用现有浅滩实施围海造地, 规划为旅游商业地产用地, 陆域形成面积204万 $m^2$ , 建设海堤总长3.5 km, 陆域回填高程为4.0 m, 回填方量1 522万 $m^3$ , 浅层地基为厚6 m以上的淤泥, 陆域形成后需进行地基处理, 地基处理以地基承载力特征值不小于160 kPa为主要目标<sup>[1]</sup>。

本文对该陆域形成工程的海堤、陆域回填和地基处理方案进行研究。

#### 1 设计条件<sup>[1]</sup>

特征水位: 工程区平均高潮位0.58 m, 平均低潮位-0.66 m。

设计水位: 累积频率10%高潮位1.06 m, 累积频率90%低潮位-1.34 m; 50 a一遇高潮位2.06 m, 50 a一遇低潮位-2.94 m。

设计波浪: 工程区50 a一遇高潮位下设计波要素 $H_{1\%}=2.71$  m, 波周期 $T=8.50$  s, 波长 $L=60.10$  m,  $H_{13\%}=1.98$  m。

地质条件: 工程区海域滩面高程-3.9~0.5 m, 为海向沉积近岸滩地, 水下地形较为平坦, 浅层地层依次为: ①淤泥、②粉细砂、③黏土、④<sub>1</sub>全风化灰岩。其中①淤泥为高压缩性软弱淤泥层, 层厚6~13 m, 平均含水量61.2%, 孔隙比1.70, 状态为流塑软塑, 强度低, 地基承载力小。土体渗透性差, 固结速度慢, 固结系数为 $1.5 \times 10^{-4}$ 。压

收稿日期: 2012-10-10

作者简介: 周玲玲(1977—), 女, 工程师, 从事港口航道工作。

缩性大，压缩模量 $E_s$ 为1.96 MPa。

## 2 海堤结构方案研究

### 2.1 海堤结构形式与尺度<sup>[1]</sup>

根据使用功能，海堤工程设计标准按安全等级Ⅱ级的港口建筑物标准设计，防洪防浪标准设计重现期为50 a，允许少量越浪。当地石料丰富、运距短、施工方便、价格便宜，因此采用常规的抛石斜坡堤结构，堤顶宽6 m，外坡1:1.5~1:2，内坡1:1.5，护面采用栅栏板或四脚空心方块（景观段采用条石护面），抛石护底宽5~6 m。

### 2.2 海堤堤基处理方案研究

工程区滩面低、地基条件差、表层淤泥厚度大、压缩性大、强度低，为满足海堤稳定安全及沉降的要求，需进行堤基处理。根据工程实际情

况，初步选取抛石爆破挤淤、排水板+砂被、砂石桩3种方案进行详细分析比较。

#### 1) 抛石爆破挤淤方案。

抛石爆破挤淤利用炸药爆炸的力量将石料置换淤泥，通过爆破形成空腔让已抛土石方靠自重填入土层，并落在硬土层上。在原软土层内含土石方比例较大的混合体，淤泥地基经处理后，即为坚固的护岸结构，可满足堤身稳定及后方回填要求<sup>[2]</sup>。

设计采用开山石成堤，抛石工艺采用陆上抛填，先进行堤头爆填，每次爆破循环推进量一般为4.5~7 m，然后进行侧爆，使坡脚充分落底，最终形成堤身坡度为1:0.8~1:1.5，经整理后进行护底、护面和后方反滤施工，见图1。断面用石量约460 m<sup>3</sup>，断面工程费用约3.48万元/m。

#### 2) 排水板+砂被方案。

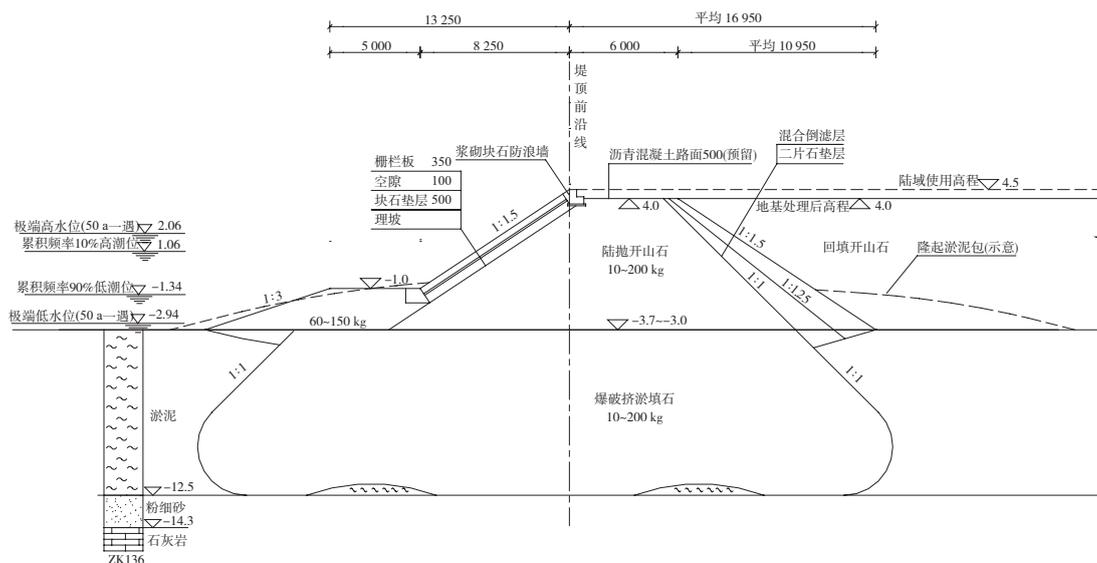


图1 爆破挤淤方案海堤断面

先在淤泥地基表层铺排水砂垫层，打排水板形成排水通道，利用堤身堆载加快排水固结，提高地基土强度，待排水板插打完成后，在砂垫层的上面铺设加筋砂被，利用土工材料的加筋作用保持上部结构的整体性，同时均匀上部荷载，调整地基应力，并对地基形成一定的侧限作用，形成复合地基，提高地基承载力<sup>[3-4]</sup>。

采用排水板间距1.3 m，排水层上面设置3层加筋砂被。内外坡设置15 m宽平台，砂被上面陆上抛开山石，见图2。断面用砂量约153 m<sup>3</sup>，用石量约127 m<sup>3</sup>，断面工程费用约4.15万元/m。

#### 3) 砂石桩方案。

采用挤密砂石桩，形成复合地基，达到提高地基承载力、减少残余沉降和差异沉降的目的<sup>[5]</sup>。

采用砂桩直径1 m，间距2 m，底部打穿软弱土层，见图3。断面用砂石料约90 m<sup>3</sup>，用石量约123 m<sup>3</sup>，断面工程费用约4.48万元/m。

### 2.3 海堤堤基处理方案选择

对抛石爆破挤淤、排水板+砂被、砂石桩3个方案的比较见表1，由表1可见，本工程堤基处理采用爆破挤淤方案具有施工方便、工后沉降小，费用省等优点，因此推荐采用爆破挤淤方案。

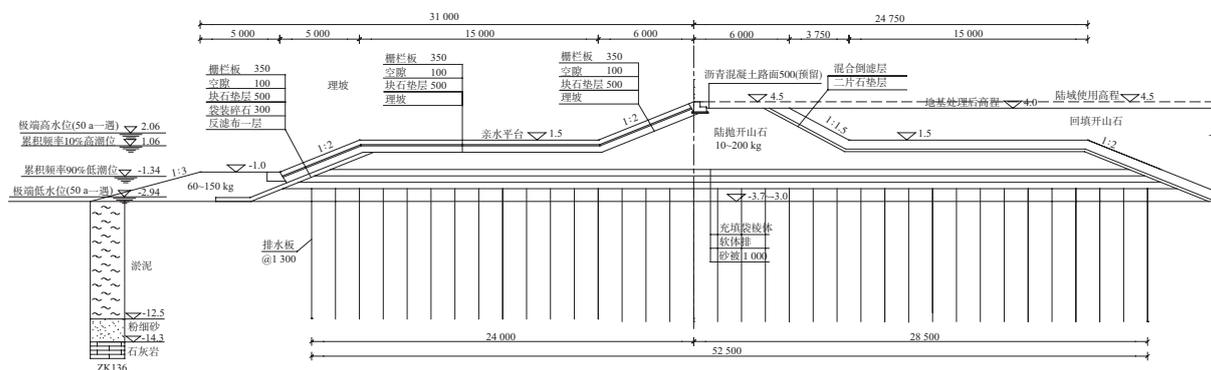


图2 排水板+砂被方案海堤断面

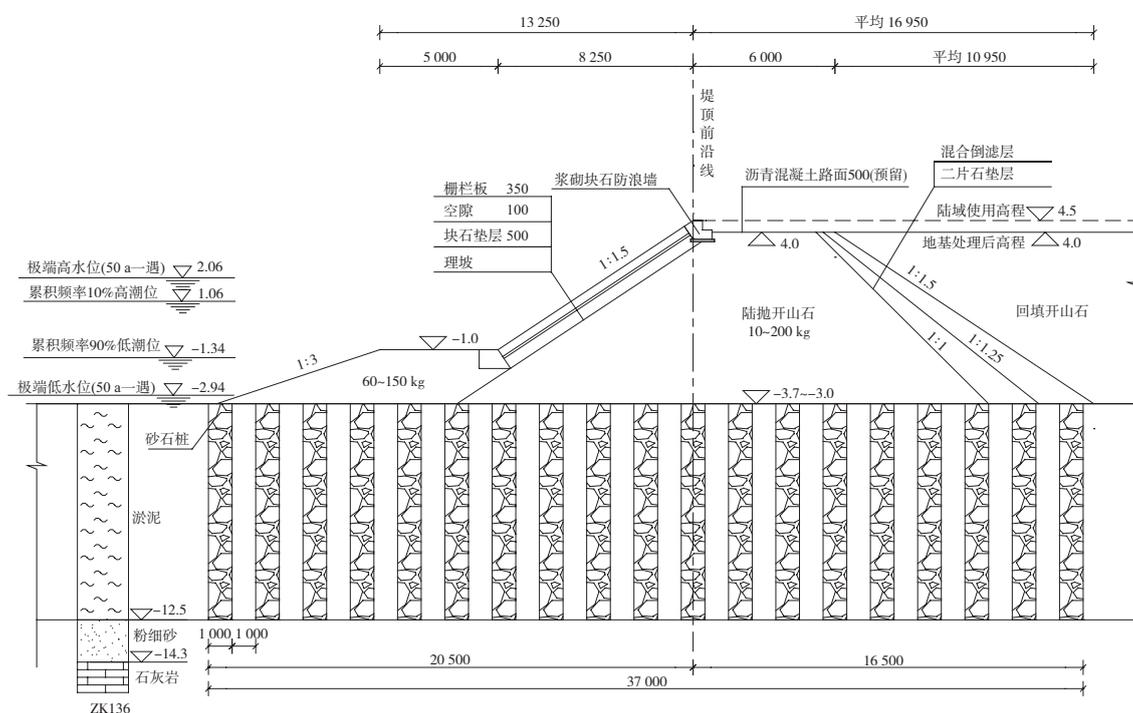


图3 砂石桩方案海堤断面

### 3 陆域回填及地基处理方案研究

#### 3.1 自重预压方案

通过布置垂直排水通道, 利用堆载加速地基土的固结和强度增长<sup>[5]</sup>。首先吹填海砂至0.0 m高程(为设计高程, 实际施工时还需根据施工工期沉降预留超高), 打设塑料排水板, 排水板呈@1 200 mm的三角形布置, 板长打穿淤泥层。然后回填开山石, 以回填料自重压载, 实现排水固结。

#### 3.2 真空联合回填料自重预压方案

通过布置垂直排水通道, 采用抽真空形成负压加堆载来加速地基土的固结和强度增长<sup>[5]</sup>。首先采用疏浚船舶在工程区附近海域取土吹填至2.0 m高程, 铺设工作垫层及70 cm厚砂垫层, 陆上打设塑料排水板, 排水板呈@1 000 mm的三角形布置,

板长打穿吹填土及下卧淤泥层。然后安装真空设备、铺真空膜, 进行真空预压。预压达到一定强度后, 吹填0.3 m厚砂垫层, 回填开山石 2 m。前期采用真空预压, 后期采用回填料自重预压, 进行联合预压, 实现排水固结。

#### 3.3 强夯方案

运用夯击在地基中产生的冲击波和动应力, 提高地基土的强度, 降低土的压缩性<sup>[5]</sup>。首先回填开山石至约5.0 m, 回填完成后, 间隔30 d后开始强夯施工。共强夯3遍, 普夯1遍, 强夯单点夯击能4 500 kN·m, 普夯单点夯击能1 000 kN·m。第1遍夯距6 m, 正方形布置, 每个夯点夯击数为6~8击, 前后两遍的夯击间歇时间为3~5 d。

表1 海堤堤基处理方案比较

比选项目	爆破挤淤方案	砂被+排水板方案	砂石桩方案
材料源	全部采用抛石堤, 需要开山石约460m <sup>3</sup>	石料用量127 m <sup>3</sup> , 砂被约153 m <sup>3</sup>	石料用量约123 m <sup>3</sup> , 砂石桩约90 m <sup>3</sup>
材料供应	工程区5km内有专门矿场可供开山石, 储量丰富	国内排水板厂家供应能力充足, 需外购	砂需要外购
施工工艺	淤泥地基筑堤的成熟工艺	淤泥地基筑堤的成熟工艺	淤泥地基筑堤的成熟工艺
施工条件	炸药布孔陆上作业, 受风浪影响小	取充填料、运充填料、充灌、排水板施打均水上作业, 受风浪影响	水上作业、受风浪影响大
需投入设备	插药机、大量自卸汽车、推土机, 所需施工设备简单、普通	取料船、运料船、泥浆泵、插板船和少量汽车, 所需施工设备简单、普通	振动打桩机、施工平台、专用吊机、取料船、运料船, 需专业施工设备
施工可行性	采用陆上推进, 对后方交通压力大。石料陆路运输受通路条件制约。石料场距离为5 km以内, 目前为4车道道路	水上运输充填料筑堤。可以水上供大部分水上平台施工(或采用专用船舶), 主要材料水上供应	
安全性	施工需控制落底高程, 如出现淤泥夹加载期间地基变形较大; 施工期需加载期间复合地基变形介于爆破挤淤层, 则后期变形大, 有诸多隐患。爆破分级加载, 保证地基土的固结时方案和砂被+塑料排水板方案之间; 施工影响大, 施工作业安全要求高	间, 才能保证围堤安全	施工期需加载期间复合地基变形介于爆破挤淤层, 则后期变形大, 有诸多隐患。爆破分级加载, 保证围堤安全
施工效率	陆上双点推进, 单点日推进速度为4.5~7 m/端, 运输强度约1万方/天。工期较长, 并受石料供应能力和道路条件制约	可以水上供应充填料、全面展开的施工工艺, 工期短	施工速度慢, 效率低
结构稳定性	满足使用期要求	满足使用期要求	满足使用期要求
结构可靠性	荷载承载能力 淤泥层全部置换为填石, 承载力高	淤泥采用排水板进行地基处理, 承载力取决于固结后的淤泥强度	由天然地基与碎石砂桩组成复合地基, 通过设计置换率使复合地基承载力满足设计要求
后期沉降	淤泥层全部置换为填石, 后期沉降小	后期沉降大	后期沉降介于爆破挤淤方案和砂被+塑料排水板方案之间
每延米工程费用	约3.48万元	约4.15万元	约4.48万元

### 3.4 强夯置换方案

利用强夯将地基土挤密或排开, 把块石、碎石或其他质地坚硬的材料, 采用多次填入和夯击, 形成密实的复合地基, 提高地基土的强度<sup>[5]</sup>。首先回填开山石料至高程0.0 m(为设计高程, 实际施工时还需根据施工期沉降预留超高), 然后进行强夯置换施工, 夯点间距2.5 m, 正方形布置, 设计墩长为10 m, 直径为1.4 m, 单击夯击能为5 000 kJ。

### 3.5 方案比选

上述4种地基处理方案均能满足地基处理目标要求, 即地基承载力大于160 kPa(表2), 自重预压方案和强夯方案费用较低, 工后沉降较大, 真空联合回填料自重预压方案和强夯置换方案费用较高, 工后沉降较小。本工程陆域用途为旅游用地, 对工后沉降要求不高, 强夯方案施工方便, 工期短, 且工程费用较低, 因此推荐强夯方案。

表2 陆域回填料及地基处理方案比较

项目	地基承载力/ kPa	工后残余沉降/ mm	处理质量 可靠度	施工	工期	陆域形成+地基处理 费用/(元·m <sup>-2</sup> )
自重预压方案	>160	470~540	较高	施工工序相对较多	为保证安全, 应控制加载速度	395
真空联合回填料自重 预压方案 (开山石范围)	>160	490~580	一般	施工工序繁琐, 施工有一定难度	受真空预压速度控制, 工期较长	540
强夯方案	>160	900~1 400	一般	方便	快	410
强夯置换法方案	>160	330~500	较高	需现场试夯确定施工参数	不需控制加载速率, 施工速度较快	560

## 5 结语

1) 软弱淤泥地基上的海堤可选用抛石爆破挤

淤、排水板+砂被或砂石桩等方案进行地基处理, 都可满足稳定沉降要求, 可根据料场情况、工期及

投资要求选择合适的方案。

2) 软弱淤泥地基上陆域形成和地基处理方案可选择自重预压法、真空联合回填料自重预压法、强夯法及强夯置换法等, 就加固效果而言强夯置换法最好, 如投资有限、工期紧, 可选择强夯法。

3) 本工程为典型的软弱淤泥地基上陆域形成及地基处理方案, 可供类似工程参考。

#### 参考文献:

[1] 中交上海航道勘察设计研究院. 大连世茂金渤海一期

陆域形成工程初步设计[R]. 上海: 中交上海航道勘察设计研究院, 2010.

[2] JTS 204—2008 水运工程爆破技术规范[S].

[3] JTS 206-1—2009 水运工程塑料排水板应用技术规程[S].

[4] JTJ 239—2005 水运工程土工合成材料应用技术规范[S].

[5] 龚晓南. 地基处理技术发展及展望[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 知识产权出版社, 2004.

( 本文编辑 武亚庆 )

~~~~~

( 上接第 129 页 )

#### 1) 围堤稳定观测。

在施工中加强观测有利于判断地基的稳定状况, 决定安全的施工速率。观测内容一般有沉降观测、水平位移观测、孔隙水压力观测等, 其主要目的是通过观测, 测得试验数据, 从而控制填筑速率, 确保围堤稳定。对于抛石挤淤堤来说, 关键是加强抛石挤淤后继续加载期间的沉降和水平位移观测。

#### 2) 挤淤深度检测。

挤淤深度检测主要检验抛石体厚度、剩余淤泥厚度和块石落底情况, 目前有 3 种检测方法, 分别是体积平衡法、钻孔探摸法和物探法。本文工程实例主要采用钻孔探摸法进行检测, 根据检测结果, 抛石挤淤后残留淤泥厚度为 0~1.0 m, 全部达到了预期目标, 部分堤段效果还好于预期。

#### 3) 工后沉降观测。

观测工后沉降是检验软基处理效果的一个有效的方法, 因此堤身填筑完成后, 可选择若干个观测断面埋设永久沉降观测点进行工后沉降观测。观测频率, 工后第 1 个月每隔一周观测一次; 第 2 个月每隔 15 d 观测一次; 第 3 个月开始, 每隔 1 个月观测一次至沉降期结束。本文工程实例抛石挤淤后观测到的沉降约为 50~80 mm, 推算的地基固结度达 90% 以上, 工后沉降很小。

#### 4) 承载力和弯沉值检验。

作为路基使用的围堤, 工程完工后, 为了检

验工程的质量, 也可采用静荷载、地质雷达等方法对堤身的承载力、密实度和弯沉值做一次较全面的检验。本文工程实例围堤主要是作挡潮、防浪使用, 不作相关检测要求。

## 6 结论

1) 抛石挤淤施工工艺简单, 对于 5 m 内的淤泥地基能较好地达到高速优质的施工效果。

2) 采取强夯置换、反压护脚或部分清淤等措施后, 抛石挤淤也能在更深的软土地基中应用。

3) 抛石挤淤工艺成熟, 观测和检测手段完善。一般情况下采用钻孔探摸法进行检测, 能够保证工程质量。

#### 参考文献:

[1] 龚晓南. 地基处理手册[M]. 3 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.

[2] JTS 147-1—2010 港口工程地基规范[S].

[3] JTJ 017—1996 公路软土地基路堤设计与施工技术规范[S].

[4] 陈旭, 魏入波. 抛石挤淤工艺的应用[J]. 水运工程, 2009(8):155-159.

[5] 杨光照. 水下及淤泥中施工与地基处理[M]. 北京: 海洋出版社, 1998.

( 本文编辑 武亚庆 )