



# 抛石挤淤及强夯置换在软基处理中的应用

张成光

(福建省交通规划设计院, 福建 福州 350004)

**摘要:** 罗源湾港区可门作业区码头扩能工程地质条件复杂, 需在该场地上建设专业化的散货堆场, 其工艺设备荷载及堆货荷载大, 对地基承载力要求高。应用抛石挤淤及强夯置换法对其软基进行处理, 缩短了工期, 节省了造价, 取得了良好的效果。对设计方案及施工方法进行分析总结, 可为类似工程的设计及施工提供借鉴。

**关键词:** 抛石挤淤; 强夯置换; 软土地基; 设计

中图分类号: U 655.54

文献标志码: B

文章编号: 1002-4972(2015)01-0165-05

## Application of rockfill dumping and dynamic replacement method to soft soil foundation treatment

ZHANG Cheng-guang

(Fujian Communications Planning & Design Institute, Fuzhou 350004, China)

**Abstract:** The capacity expansion of Kemen port in Luoyuan bay had a trait of complex geologic condition. It was planned to construct a specialized bulk yard in Kemen port. However, the great load of the process equipment and the cargo on the yard set a high requirement for the bearing capacity of the foundation soil. The approach of rockfill dumping and dynamic replacement achieved favorable results which shortened the work-period and decreased the cost of the construction. This paper carries out an analysis of the design scheme and the construction method, which may serve as reference for similar projects.

**Keywords:** rockfill dumping; dynamic replacement; soft soil foundation; design

抛石挤淤法是依靠石料的自重使软弱层遭受破坏后被强制挤出而进行的换填处理, 使得基础坐落于较好的持力层。强夯置换法是将夯锤提到高处使其自由落下形成夯坑, 并不断夯击坑内回填的砂石等颗粒材料, 使其形成连续密实的强夯置换墩与周围混有砂石的夯间土形成复合地基, 经强夯置换法处理的地基, 既提高了地基承载力, 又改善了排水条件, 有利于软土的固结。上述两种方法均具有加固效果显著、施工工期短、施工费用低等优点。以罗源湾港区可门作业区码头扩能工程软基处理为例, 分析总结抛石挤淤及强夯置换法设计和施工的关键技术。

### 1 工程概况

罗源湾港区可门作业区码头扩能工程位于福州港罗源湾港区南岸的可门作业区9<sup>#</sup>~11<sup>#</sup>泊位后方的连江县可门经济开发区上宫洋。该工程建设规模为: 建设年转运煤炭900万t, 年煤炭加工量400万t(其中筛煤200万t, 混配煤200万t)的专业化大型散货堆场, 形成陆域面积80.72万m<sup>2</sup>。工程建设场地上部土层为海相沉积物及陆相冲洪积沉积物为主, 主要以淤泥和淤泥质土为主, 特点是高含水量、大孔隙比、强压缩性、低强度、大变形量, 工程地质条件极差, 需对其进行软基处理<sup>[1]</sup>。

收稿日期: 2014-06-10

作者简介: 张成光(1972—), 男, 高级工程师, 从事港口航道工程规划设计工作。

### 2 工程地质条件

根据地质勘察报告可知,场地地质情况分弃方覆盖区及天然滩涂区两大区域。西南侧由不规则填土形成弃方区,地面高程 2.0~5.0 m (黄海高程,下同),主要成分为棱角状毛石,粒径一般在 20~60 cm,个别达 300 cm,毛石岩性以中-微

风化花岗岩为主,少量为凝灰熔岩,层厚 4.80~22.90 m。天然滩涂区表层覆盖淤泥,顶面高程为 0.0~5.0 m,淤泥软土层分布于全场地,厚度在 7.30~23.50 m 之间,总体趋势西厚东薄,层底高程 -6.48~-23.67 m。主要土层物理力学指标见表 1。

表 1 主要土层物理力学指标

土层名称	天然密度 $\rho/(kg \cdot m^{-3})$	含水率 $\omega_0/\%$	孔隙比 $e$	压缩模量/MPa		直剪				承载力容许值 $f/kPa$
				$E_{s1-2}$	$E_{s2-3}$	快剪		固快		
						粘聚力 $C/kPa$	内摩擦角 $\varphi/(^\circ)$	粘聚力 $C/kPa$	内摩擦角 $\varphi/(^\circ)$	
淤泥	1 620	62.1	1.692	1.5	2.5	6	4.5	11	13.0	45
圆砾	2 000			11.0	13.0					230

### 3 地基处理设计及施工

根据地质情况及使用要求,总平面自西向东依次布置了筛煤作业区、混配煤堆场(201、202堆场)及煤炭堆场(203~207堆场)3个功能区(图1)。其中筛煤作业区设计荷载为 50 kPa,混

配煤堆场为 85 kPa、煤炭堆场为 135 kPa。

#### 3.1 地基处理设计方案

根据现场的地质情况及使用要求,将地基分为 4 个区域进行(图2)。

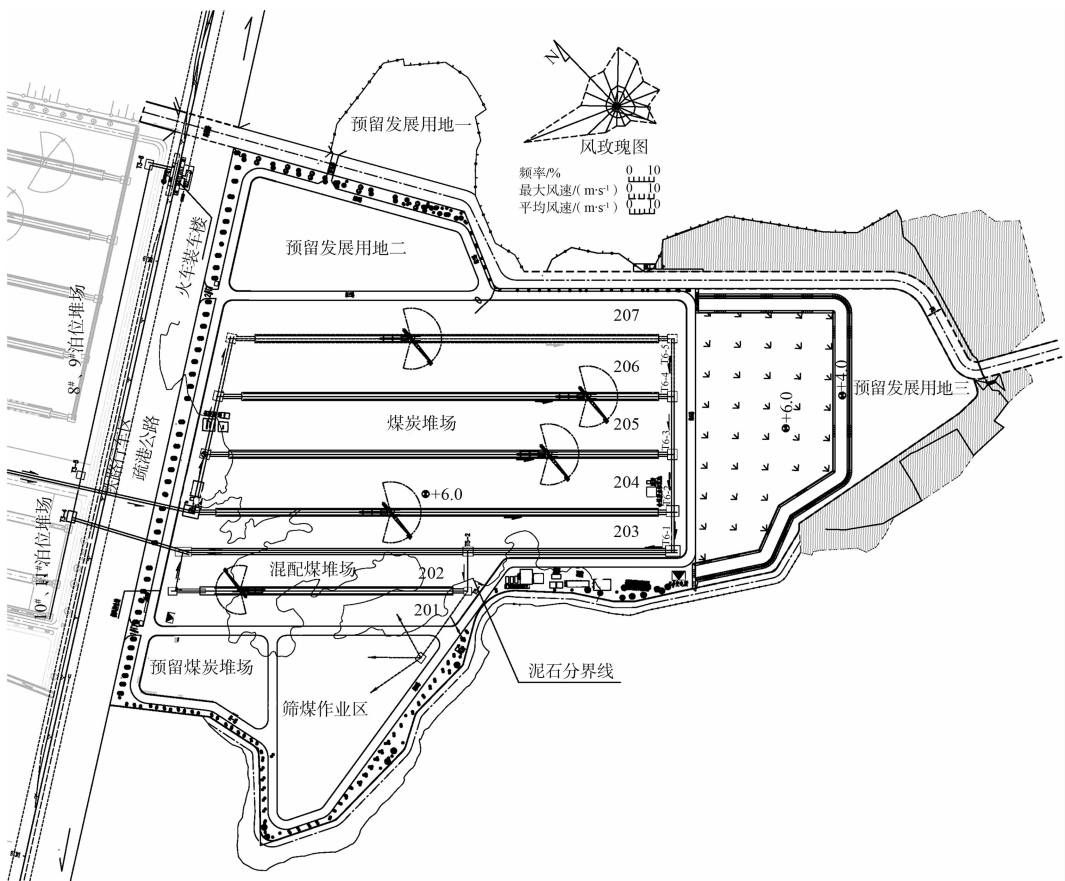


图 1 堆场功能分区

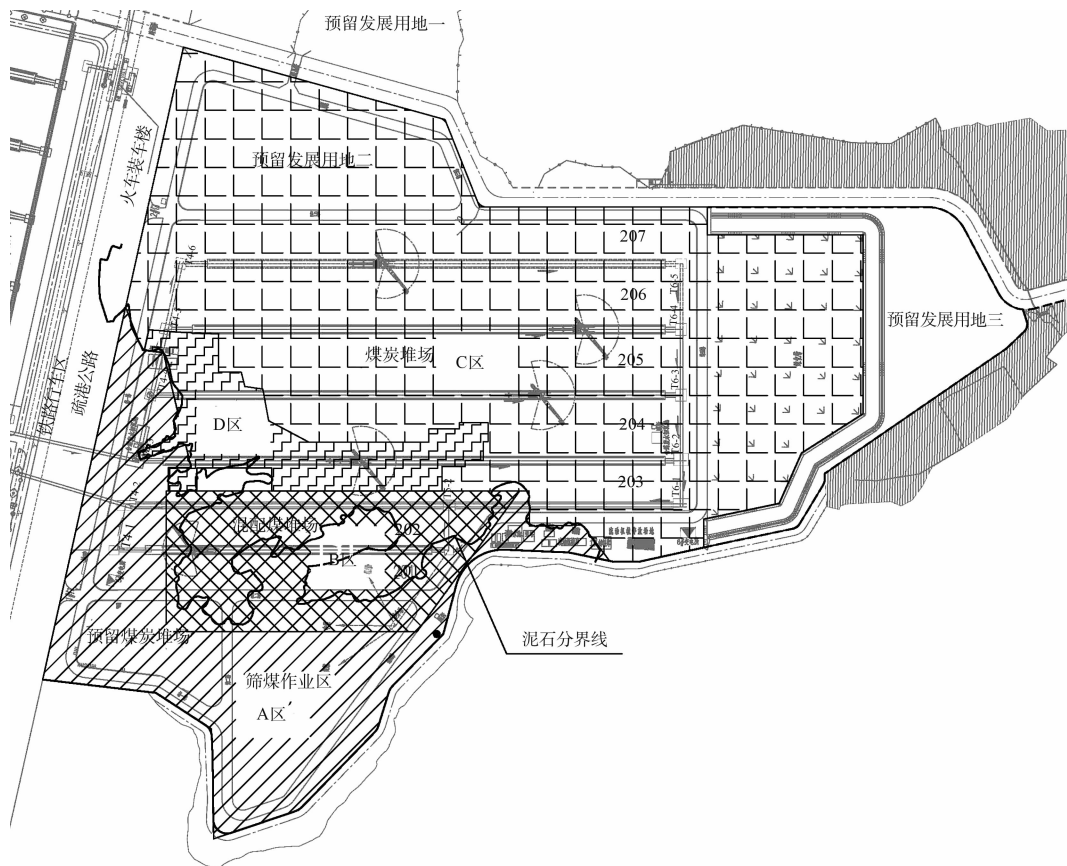


图2 地基处理分区

1) 分区 A 坐落于弃方区, 其分布回填料的落底在  $-1.0\text{ m}$  左右, 无法对软基进行加固, 并考虑其堆场的使用功能为筛煤作业区, 使用荷载为  $50\text{ kPa}$ , 直接回填开山石后, 采用  $4\ 000\text{ kN}\cdot\text{m}$  强夯加固的方案进行地基处理。

2) 分区 B 为专业的混配煤堆场, 使用荷载为  $85\text{ kPa}$ , 其场地  $50\%$  已被石料覆盖,  $50\%$  为滩涂面, 若采用施打塑排排水固结进行加固淤泥区, 将造成今后轨道基础的石料落底不均匀及底下软基沉降速率不均匀, 易造成轨道断裂。因此, 设计大胆地提出了采用大范围抛石挤淤的方案处理淤泥区, 使得该堆场的石料落底均匀, 以减小今后轨道区域的差异沉降。抛石挤淤后堆场采用夯击能量  $6\ 000\text{ kN}\cdot\text{m}$  的强夯进行处理, 斗轮机轨道区域夯击能量  $8\ 000\text{ kN}\cdot\text{m}$ 。

3) 分区 C 地质为天然滩涂, 设计考虑采用施打塑排 + 堆载预压 + 强夯的方案。

4) 分区 D 原设计与 C 区处理方案一致, 但局部发现其泥层中夹杂着石头层, 无法施打塑排。考虑其今后上专业化设备实施的可能性, 设计考虑采用高能强夯置换的方案增加基础层的厚度, 加大其承载能力, 强夯置换采用夯击能为  $9\ 000\text{ kN}\cdot\text{m}$ , 处理后的使用荷载需达  $80\text{ kPa}$ 。

本文的重点是对其中的抛石挤淤区 (B 区) 及强夯置换区 (D 区) 进行详细介绍。

### 3.2 设计计算及技术要求

#### 3.2.1 抛石挤淤区<sup>[2]</sup>

##### 1) 地基承载力。

地基承载力主要是考虑斗轮机条形基础的结构自重及工艺设备荷载所需的地基承载能力,  $f = 163\text{ kPa}$ 。

##### 2) 整体稳定性。

图 3 为抛石挤淤区 (混配煤堆场) 整体稳定性示意。抛石挤淤应处理至  $-5.0\text{ m}$  深度。

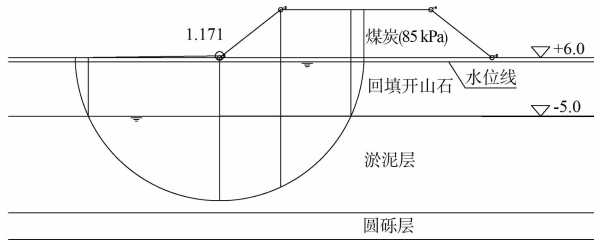


图3 抛石挤淤区域堆场整体稳定性示意

## 3) 抛石挤淤深度计算。

挤淤深度一般按抛石层底的压力和软土层的地基承载力相平衡的原理进行计算,即不断增加挤淤深度,按公式 $\sigma_z + \sigma_{cz} \leq f$ 验算软弱下卧层的地基承载力,直至满足为止,但这种方法不仅计算过程繁琐,而且计算结果不够精确。因此本文采用地基处理手册<sup>[3]</sup>推荐的压载法计算公式:

$$H = \frac{(2 + \pi) c_u + 2\rho_s g D}{\rho g} + \frac{(4c_u + 2\rho_s D) D}{\rho g B} + \frac{2\rho_s g D^3}{3\rho g B^2} \quad (1)$$

式中: $c_u$ 为淤泥十字板抗剪强度(kPa); $\rho_s$ 、 $\rho$ 分别为淤泥及换填堆石密度( $10^{-3} \text{ kg/m}^3$ ); $B$ 为换填体的宽度(m); $D$ 为换填体在淤泥中下沉深度(m)。

换填体高出淤泥面的高度:

$$h = H - D \quad (2)$$

本工程抛石挤淤区天然泥面高程约+2.0 m,根据稳定计算需处理至-5.0 m,经计算抛石挤淤的堆载高度为+11.0 m。

## 4) 技术要求。

①抛石挤淤总体呈淤泥自西向东挤出淤泥、施工呈带状自北向南推进,须严格控制挤淤路径(图4)。

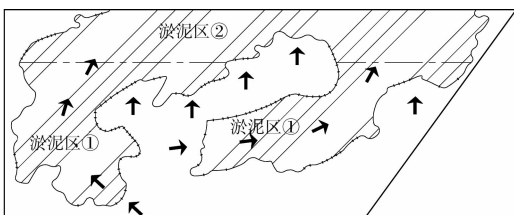


图4 大范围抛石挤淤路线

②施工中挤出的淤泥将对已处理区域形成反压作用,减少后续区域挤淤的效果。因此,应及时卸载挤出的淤泥。

③在施工中,为使挤淤达到设计深度,必须尽可能快速、连续、全断面堆高块石挤淤体,填料应级配良好。

## 3.2.2 强夯置换区

- 1) 地基承载力同抛石挤淤区。
- 2) 整体稳定性。

由于该区域下卧淤泥层厚度达18 m,强夯置换处理深度有限,无法达到下卧硬层。因此,为了保证该堆场上专业化设备实施的可能性,堆场的整体稳定性主要考虑能够上斗轮堆取料机进行专业化散货堆取作业为标准。通过计算斗轮堆取料机基础范围的换算均载为80 kPa,因此,该区域的石料落底深度按照均载80 kPa进行设计(图5)。通过稳定计算,该区域的处理深度须达-3.0 m。

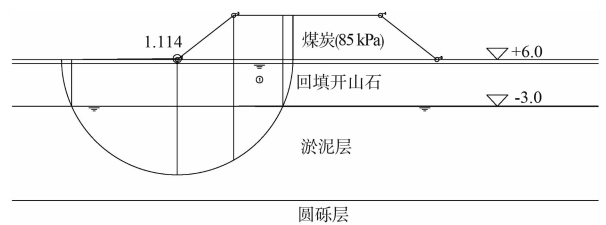


图5 强夯置换区域堆场整体稳定性示意

## 3) 技术要求。

①置换锤锤径为1.2~1.5 m,锤重40 t,夯能为9 000 kN·m,夯点布置为5 m×5 m。

## ②夯沉量及收锤标准。

第1遍夯点的累计夯沉量不小于16 m(为设计墩长的1.5~2.0倍),若无法达到,则按最后2击平均夯沉量不大于20 cm进行收锤;第2遍夯点的累计夯沉量不小于16 m,若无法达到,则按最后2击平均夯沉量不大于10 cm进行收锤。

③地面隆起高度较大时,应进行观测并分析原因。若非淤泥原因隆起,则可停锤;若因淤泥隆起,则必须在隆起处开挖排泥处置。

## ④强夯置换后石料落底高程不高于-3.0 m。

⑤施工过程中应及时钻探自检,按每2 500 m<sup>2</sup>一个钻孔控制。

## 3.3 地基处理施工中出现的問題

## 3.3.1 抛石挤淤施工

本工程抛石挤淤与传统抛石挤淤的区别在于

传统的水运工程抛石挤淤一般用于处理围堤的地基，属于一定宽度的条形基础，而本工程是属于大范围的抛石挤淤。项目施工过程中采用条形抛石挤淤的方法，即对大范围抛石挤淤总体呈淤泥自西向东挤出淤泥、施工呈带状自北向南推进，施工中主要出现以下现象：

- 1) 施工前期抛石挤淤效果很好，挤淤处理深度经检测局部可达到 -11.0 m；
- 2) 施工后期由于施工单位未按设计要求及时卸载挤出的淤泥，减少其对后续挤淤区域效果的影响，造成后续的挤淤效果较差；
- 3) 堆场在堆载预压卸载过程中局部出现淤泥冒出现象，经分析主要是由于未及时卸载挤出的淤泥，且施工抛石推进尺度未控制好，造成淤泥被挤淤石料包裹，形成薄弱的淤泥通道，造成基础不均匀，在卸载时由于承载力不够，导致淤泥冒出。

### 3.3.2 强夯置换施工

强夯置换按设计的夯能 9 000 kN·m，夯点布置为 5 m × 5 m，2 遍夯进行施工，第 2 遍与第 1

遍的施工间歇时间为 28 d，施工中主要出现以下现象：

- 1) 地面平均隆起 30 ~ 50 cm；
- 2) 强夯置换累计夯沉量及停锤标准基本达到设计要求，但是经检测落底深度达不到 -3.0 m，大部分在 -1.0 m 左右；
- 3) 出现淤泥拱起冒出现象。

由于设计施工过程中未考虑置换出的淤泥的排泥通道，造成淤泥拱起冒出及石料落底深度有限的现象。分析总结后，在后续施工中对有淤泥冒出的点进行就地开挖排泥。经检查，附近区域经排泥后石料落底良好，能够达到 -3.0 m 的要求。

### 3.4 地基处理效果

- 1) 地基承载力。  
地基承载力根据载荷板试验确定，本项目处理后的承载力达 300 kPa，满设计要求。
- 2) 石料落底深度。  
处理后采用钻探结合面波进行检测石料落底深度。经检测，基本达到设计要求（图 6、7）。

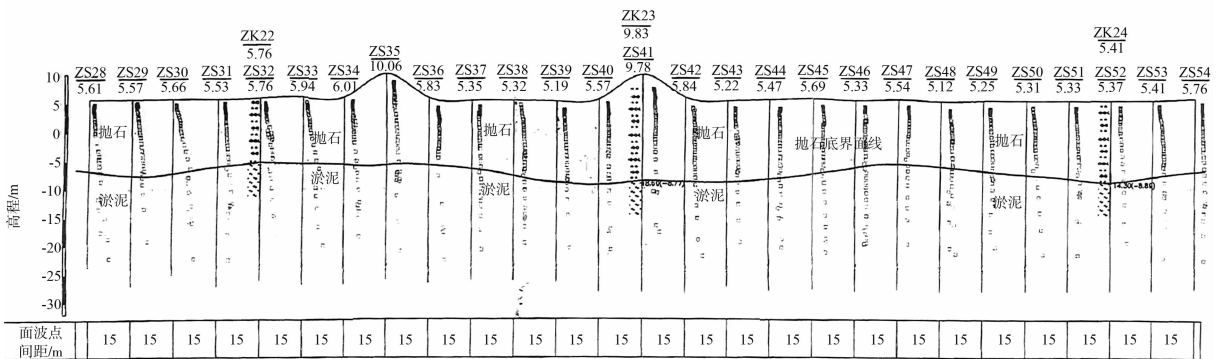


图 6 抛石挤淤区石料落底深度检测剖面

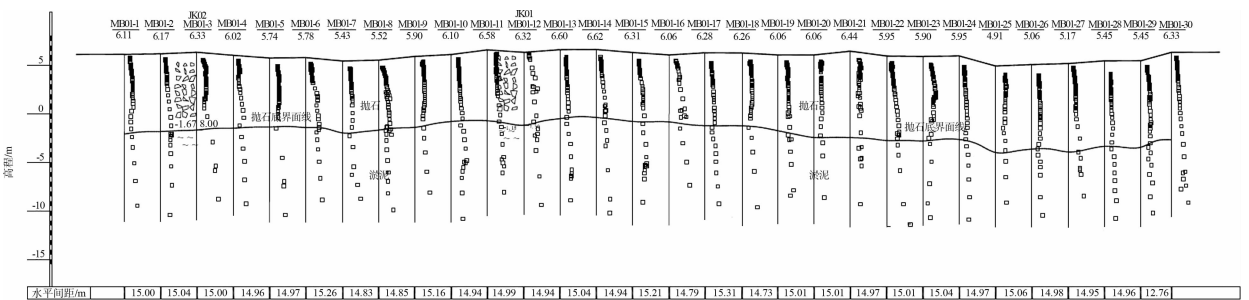


图 7 强夯置换区石料落底深度检测剖面