

**JTJ**

中华人民共和国行业标准

**JTJ/T 259—2004**

---

**水下深层水泥搅拌法加固软土地基  
技 术 规 程**

Technical Specification for Offshore Cement Deep Mixing  
Technique to Consolidate Soft Soils

**2004 - 07 - 02 发布**

**2004 - 10 - 01 实施**

---

中华人民共和国交通部发布

中华人民共和国行业标准

水下深层水泥搅拌法加固软土地基技术规程

JTJ/T 259—2004

主编单位：中港第一航务工程局  
中交第一航务工程勘察设计院

批准部门：中华人民共和国交通部

施行日期：2004年10月1日

人民交通出版社

2004·北京

## 关于发布《水下深层水泥搅拌法加固软土地基技术规范》(JTJ/T 259—2004)的通知

交水发[2004]357号

各省、自治区、直辖市交通厅(局、委),长江、珠江航务管理局,上海市港口管理局,有关企事业单位:

由我部组织中港第一航务工程局等单位制定的《水下深层水泥搅拌法加固软土地基技术规范》,业经审查通过,现批准为推荐性行业标准,编号为JTJ/T 259—2004,自2004年10月1日起施行。

本标准由交通部水运司负责管理和解释,由人民交通出版社出版发行。

中华人民共和国交通部

二〇〇四年七月二日

中华人民共和国行业标准

书 名:水下深层水泥搅拌法加固软土地基技术规范(JTJ/T 259—2004)

责任编辑:孙毓华

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门内大街斜街3号

网 址:<http://www.chinastandard.com>

销售电话:(010)85285376, 85285956

总 经 销:人民交通出版社交实书店

经 销:各地新华书店

印 刷:北京牛山世兴印刷厂

开 本:850×1168 1/32

印 张:2.125

字 数:48千

版 次:2004年9月第1版

印 次:2004年9月第1版第1次印刷

书 号:15114·0759

印 数:0001—4000册

定 价:20.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

## 制定说明

本规程是在对国内外采用水下深层水泥搅拌法加固软土地基的工程进行深入调查研究的基础上,借鉴国内外有关科研成果和技术经验,广泛征求有关单位和专家的意见,并结合我国水运工程建设的实际情况编制而成。本规程主要包括水下深层水泥搅拌法加固软土地基的室内配合比试验、设计、施工和检验等技术内容。

本规程的主编单位为中港第一航务工程局和中交第一航务工程勘察设计院,参加单位为天津港湾工程研究所。

水下深层水泥搅拌法加固软土地基,具有在短期内可获取所需要的地基强度,加固后地基变形小和施工无公害等优点,在日本、芬兰、北欧等国已广泛应用于工程,在国内也已成功地应用于港口工程并取得了良好的经济和社会效益。为适应工程建设发展的需要,统一对水下深层水泥搅拌法加固软土地基的技术要求,有效控制工程质量,交通部水运司组织中港第一航务工程局和中交第一航务工程勘察设计院等单位编制了本规程。

本规程共分8章14节和3个附录,并附条文说明。本规程编写人员分工如下:

- 1 总则:王海滨
- 2 术语:舒宁
- 3 基本规定:王海滨
- 4 现场调查:孙万禾
- 5 室内配合比试验:孙万禾
- 6 设计:郭莲清 姜建维 刘永绣 舒宁 杨丽民  
吴荔丹
- 7 施工:周延利 袁孟全

8 检验:孙万禾

附录 A:孙万禾

附录 B:周延利

附录 C:王海滨

本规程于2004年1月8日通过部审,于2004年7月2日发布,自2004年10月1日起实施。

本规程由交通部水运司负责管理和解释。请各有关单位在使用本规程过程中,将发现的问题和意见及时函告交通部水运司和本规程管理组,以便修订时参考。

## 目 次

1 总则 .....	(1)
2 术语 .....	(2)
3 基本规定 .....	(3)
4 现场调查 .....	(4)
5 室内配合比试验 .....	(5)
6 设计 .....	(6)
6.1 一般规定 .....	(6)
6.2 拌和体强度标准值确定 .....	(6)
6.3 拌和体尺寸确定和工程量计算 .....	(7)
6.4 作用和作用效应组合 .....	(9)
6.5 块式拌和体基础计算 .....	(9)
6.6 墩式拌和体基础计算 .....	(17)
7 施工 .....	(28)
7.1 材料 .....	(28)
7.2 现场试验工程 .....	(28)
7.3 施工设备 .....	(29)
7.4 施工定位 .....	(30)
7.5 施工质量控制 .....	(30)
8 检验 .....	(33)
8.1 施工过程中的检验 .....	(33)
8.2 加固后的检验 .....	(33)
8.3 芯样的检验和试验 .....	(33)
附录 A 拌和体钻芯取样及试验方法 .....	(35)
附录 B 水下深层水泥搅拌法加固软土地基施工 综合记录表 .....	(38)

附录 C 本规程用词用语说明 .....	(39)
附加说明 本规程主编单位、参加单位、主要起草人、 总校人员和管理组人员名单 .....	(40)
附 条文说明 .....	(43)

## 1 总 则

**1.0.1** 为统一水下深层水泥搅拌法加固软土地基工程的技术要求,有效控制工程质量,制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于水运工程重力式结构块式和壁式支撑型浅基础采用水下深层水泥搅拌法加固软土地基的设计、施工和检验。

**1.0.3** 水下深层水泥搅拌法加固软土地基的设计、施工和检验,除应符合本规程的规定外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术 语

### 2.0.1 水下深层水泥搅拌法

采用专用的水下深层搅拌机,将预先制备好的水泥浆等材料注入水下地基土中,并与地基土就地强制搅拌均匀形成拌和土,利用水泥的水化及其与土粒的化学反应获得强度而使地基得到加固的方法。

### 2.0.2 拌和土

在水下地基土中注入水泥浆并经搅拌处理后形成的水泥石。

### 2.0.3 拌和体

相互搭接的拌和土桩及桩间土体组成的块体。

### 2.0.4 块式拌和体

断面形状为矩形的拌和体。

### 2.0.5 壁式拌和体

断面由长壁和短壁组成梳子状的拌和体。

### 2.0.6 块式拌和体基础

由块式拌和体构成的基础。

### 2.0.7 壁式拌和体基础

由壁式拌和体及壁间土共同构成的基础。

## 3 基本规定

**3.0.1** 淤泥、淤泥质土和含水率高且地基承载力标准值低于120kPa的粘性土等的软基加固及海上施工环保要求高、海水养殖损失索赔高的工程的软基加固宜采用水下深层水泥搅拌法。

**3.0.2** 当采用水下深层水泥搅拌法处理偏酸性软土、泥炭土和腐殖质或有机质含量较高的软土、地下水具有侵蚀性的软基时,应在工程建设前通过试验分析其加固效果。

**3.0.3** 在进行水下深层水泥搅拌法加固软土地基设计和施工前,应进行现场调查和室内配合比试验。

**3.0.4** 水下深层水泥搅拌法加固软土地基的施工应根据现场调查、室内配合比试验和设计要求编制施工组织设计。

**3.0.5** 水下深层水泥搅拌法加固软土地基施工开工前应进行现场试验工程施工。现场试验工程和加固工程应进行施工过程中和施工后的检验。

## 4 现场调查

**4.0.1** 现场调查应包括土质、水质、水文气象、障碍物和环境等内容。

**4.0.2** 土质调查,除应按现行行业标准《港口工程地质勘察规范》(JTJ 240)的有关规定执行外,尚应进行下列调查。

**4.0.2.1** 应查明加固工程区内标准贯入击数大于 15 的土层分布情况。

**4.0.2.2** 应查明加固工程区内土的酸碱度(pH 值)、主要矿物成分和腐殖质、有机质的含量。

**4.0.3** 水质调查应查明海水及地下水的侵蚀性。

**4.0.4** 水文气象调查应按现行行业标准《海港水文规范》(JTJ 213)和《内河航道与港口水文规范》(JTJ 214)的有关规定执行。

**4.0.5** 障碍物调查应查明加固工程区内的沉船、块石和孤石等障碍物。

**4.0.6** 环境调查应查明加固工程区及影响区内的污染源和污染程度、渔场和养殖场等的分布情况。

**4.0.7** 现场调查应对加固工程区内的影响因素进行综合分析论证,并形成现场调查报告。

## 5 室内配合比试验

**5.0.1** 室内配合比试验,应包括水泥品种、水泥掺量和石灰比的确定、外加剂品种及掺量的确定、拌和土各龄期强度的试验等内容。

**5.0.2** 室内配合比试验应采用加固工程的地基土、拌和用水和工程拟采用的水泥和外加剂进行。

**5.0.3** 根据软土含水率的不同和拌和土搅拌的难易程度,水泥浆的石灰比可取 0.7~1.3。

**5.0.4** 根据拌和土强度的要求,水泥用量宜取 150~200kg/m<sup>3</sup>。

**5.0.5** 拌和土试验龄期可取 14d、28d、60d、90d、120d 和 150d 并应绘制拌和土龄期与强度的关系曲线。

**5.0.6** 试件的成型应按下列程序进行:

(1)取适量加固工程区各土层的土样,分别搅拌、揉搓均匀;

(2)按选定的石灰比和外加剂掺量,制成水泥浆,搅拌均匀;

(3)根据选定的配合比,将土样与水泥浆混合,使用专用的搅拌机进行搅拌;

(4)将搅拌均匀的拌和土装入  $\Phi 5\text{cm} \times 10\text{cm}$  的圆柱形试模中,使用专用的振动台振动密实成型。

**5.0.7** 拌和土试件应在成型后 1~2d 内拆模,拆模后应立即将拌和土试件放入养护室进行潮湿养护,养护室温度应控制在  $20 \pm 3^\circ\text{C}$ ,湿度应控制在 90% 以上。

**5.0.8** 当拌和土试件养护到规定的龄期时,应进行无侧限抗压强度试验,试验方法见附录 A。



## 6 设计

### 6.1 一般规定

6.1.1 水下深层水泥搅拌法加固软土地基的拌和体的形式应通过技术经济比较确定。

6.1.2 当拌和体作为重力式结构基础时,结构稳定性验算应将上部结构与拌和体基础视为整体,验算结构的抗倾稳定、抗滑稳定、地基承载力和圆弧滑动等。

6.1.3 拌和土桩的直径不得小于1.0m,相邻拌和土桩的搭接宽度不应小于桩径的1/6,且不得小于200mm。

6.1.4 当拌和体作为重力式结构基础时,拌和体顶部应设有抛石基床,拌和体顶部隆起土的未清除部分应满足设计强度要求,抛石基床各部位的厚度不应小于0.5m,且不应大于1.5m。当抛石基床厚度大于1.0m时,宜采用重锤低落距拍夯,拍夯能宜取80~100kJ/m<sup>2</sup>。

6.1.5 拌和体应设置结构缝,结构缝的位置宜与上部结构分缝的位置相对应,结构缝的间距不宜小于8m。

### 6.2 拌和体强度标准值确定

6.2.1 拌和土的抗压强度标准值应根据施工工期长短,取室内配合比试验拌和土90d或120d龄期的无侧限抗压强度。施工期各计算情况应取相应龄期拌和土的强度。

6.2.2 拌和体抗压强度标准值可按下式计算:

$$\sigma_{\text{cak}} = \kappa q_{\text{ak}} \quad (6.2.2)$$

式中  $\sigma_{\text{cak}}$ ——拌和体抗压强度标准值(kPa);

$\kappa$ ——换算系数,取0.6;

$q_{\text{ak}}$ ——拌和土的抗压强度标准值(kPa)。

6.2.3 拌和体抗剪强度标准值可按下式计算:

$$\tau_{\text{ak}} = \frac{1}{2} \sigma_{\text{cak}} \quad (6.2.3)$$

式中  $\tau_{\text{ak}}$ ——拌和体抗剪强度标准值(kPa);

$\sigma_{\text{cak}}$ ——拌和体抗压强度标准值(kPa)。

### 6.3 拌和体尺寸确定和工程量计算

6.3.1 拌和体的宽度应根据稳定性和地基承载力的要求确定。

6.3.2 拌和体的深度和前肩宽度应根据强度、稳定性和地基承载力的要求计算确定,并应满足构造要求。

6.3.3 壁式拌和体的壁间宽度应根据稳定性和地基承载力的要求确定。

6.3.4 壁式拌和体的短壁深度应根据其抗剪强度要求确定,且不宜小于3m。

6.3.5 块式拌和体的体积应按拌和体四周拌和土桩搭接交点的连线所包围的面积乘以拌和体的深度计算。

6.3.6 壁式拌和体体积应按下列方法计算:

(1)长壁和短壁的宽度以拌和土桩搭接交点的连线计算;

(2)拌和体的宽度以最外侧拌和土桩搭接交点的连线间的宽度计算;

(3)拌和体的体积以长壁和短壁四周拌和土桩搭接交点连线所包围的面积分别乘以长壁和短壁深度之和计算,见图6.3.6-1和图6.3.6-2。

6.3.7 拌和体工程量可根据工程的具体情况计算确定,也可取拌和体的体积乘以系数1.10的计算值。

## 6.4 作用和作用效应组合

### 6.4.1 拌和体上的作用可分为下列三类：

- (1) 永久作用，包括结构自重、固定设备自重、主动土压力、被动土压力和剩余水压力等；
- (2) 可变作用，包括堆货荷载、流动机械荷载、码头面可变作用产生的土压力、船舶荷载、施工荷载、冰荷载和波浪力等；
- (3) 偶然作用，包括地震作用等。

### 6.4.2 拌和体设计应考虑下列二种设计状况：

- (1) 持久状况，结构使用期按承载力极限状态和正常使用极限状态设计；
- (2) 短暂状况，施工期或使用初期临时承受某种荷载时，按承载力极限状态设计，必要时按正常使用极限状态设计；
- (3) 偶然状况，使用期遭受地震作用时按承载力极限状态设计。

### 6.4.3 拌和体承载力极限状态设计，应考虑下列二种作用效应组合：

- (1) 持久组合，持久状况下的永久作用、主导可变作用和非主导可变作用的效应组合，持久组合的水位采用设计高水位、设计低水位、极端高水位和极端低水位；
- (2) 短暂组合，短暂状况下的永久作用和可变作用的效应组合，短暂组合的水位采用设计高水位和设计低水位；
- (3) 偶然组合，作用效应组合中包括地震作用，按现行行业标准《水运工程抗震设计规范》(JTJ 225)的有关规定执行。

### 6.4.4 拌和体正常使用极限状态设计应考虑持久状况作用效应的长期组合。

## 6.5 块式拌和体基础计算

### 6.5.1 块式拌和体基础的承载力极限状态设计应包括持久组合、短暂组合、偶然组合的稳定性验算和强度验算。稳定性验算和

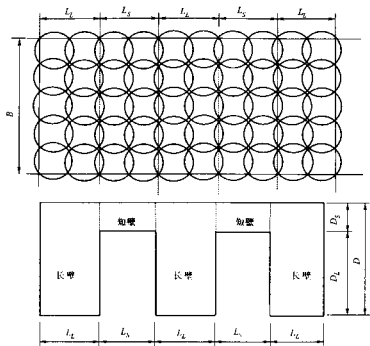


图 6.3.6-1 壁式拌和体尺寸示意图

$L_4$ —长壁宽度； $L_3$ —短壁宽度； $B$ —拌和体宽度； $D$ —长壁深度； $D_3$ —短壁深度； $D_2$ —长短壁深度差

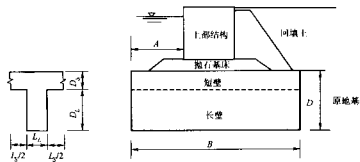


图 6.3.6-2 壁式拌和体结构断面示意图

$A$ —拌和体前趾长度； $B$ —拌和体宽度； $D$ —长壁深度； $D_2$ —短壁深度； $D_1$ —长短壁深度差； $L_4$ —长壁宽度； $L_2$ —短壁宽度

强度验算应包括下列内容。

#### 6.5.1.1 稳定性验算应包括下列内容:

- (1)沿拌和体底面的抗滑稳定性验算;
- (2)对拌和体前趾的抗倾稳定性验算;
- (3)地基承载力验算;
- (4)整体抗滑稳定性验算。

#### 6.5.1.2 强度验算应包括下列内容:

- (1)拌和体抗压强度验算;
- (2)拌和体抗剪强度验算。

6.5.2 块式拌和体基础的正常使用极限状态设计应进行持久状况作用效应长期组合的地基沉降计算。

6.5.3 拌和体上的荷载计算应符合下列规定。

6.5.3.1 拌和体上的荷载应以通过拌和体前趾、后踵的铅直面和通过拌和体底面的水平面所组成的结构整体进行计算。作用于结构整体上的荷载见图 6.5.3。

6.5.3.2 主动土压力和剩余水压力标准值的计算,应按现行行业标准《板桩码头设计与施工规范》(JTJ 292)和《重力式码头设计与施工规范》(JTJ 290)的有关规定执行。

6.5.3.3 当结构后方回填土进行堆载加固时,应考虑固结度对土压力的影响。

6.5.3.4 被动土压力标准值,应按现行行业标准《板桩码头设计与施工规范》(JTJ 292)的有关规定计算,并应对被动土压力标准值进行折减,折减系数可取 0.5。

6.5.3.5 上部结构和回填料的重度,可按现行行业标准《重力式码头设计与施工规范》(JTJ 290)的有关规定取值。

6.5.3.6 拌和体的重度,应按实测值取用,若无实测资料时,也可取各土层的原土重度。

6.5.3.7 波浪力标准值的计算,应按现行行业标准《海港水文规范》(JTJ 213)的有关规定执行。

6.5.4 块式拌和体基础的稳定性验算应符合下列规定。

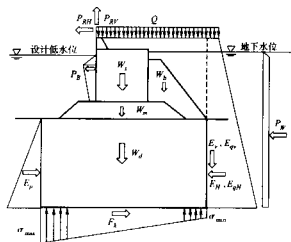


图 6.5.3 结构整体荷载示意图

$P_{RH}$  系缆力水平分力标准值;  $P_{RV}$  系缆力竖向分力标准值;  $Q$  地面可变荷载标准值;  $W_1$  上部结构和固定设备自重标准值;  $W_2$  作用于上部结构的波浪力标准值;  $W_3$  拌和体上回填土自重标准值;  $W_4$  抛石基床自重标准值;  $W_5$  拌和体自重标准值;  $E_1$  永久作用总主动土压力竖向分力标准值;  $E_{1P}$  可变作用总主动土压力竖向分力标准值;  $E_{2P}$  永久作用总主动土压力水平分力标准值;  $E_{2QP}$  可变作用总主动土压力水平分力标准值;  $P_R$  作用在拌和体底面以上的剩余水压力标准值;  $E_P$  永久作用总被动土压力的水平分力标准值;  $F_s$  拌和体底面抗滑阻力标准值;  $\sigma_{max}, \sigma_{min}$  拌和体底面最大、最小地基压力标准值

6.5.4.1 沿拌和体底面的抗滑稳定性应根据下列不同的作用效应组合进行验算:

(1)不考虑波浪作用且可变作用产生的土压力为主导可变作用时,按式(6.5.4-1)计算,其中  $F$  按式(6.5.4-2)和式(6.5.4-3)分别计算并取较小值:

$$\gamma_0(\gamma_E E_H + \gamma_{RW} P_W + \gamma_E E_{QH} + \psi \gamma_{PR} P_{RH}) \leq \frac{1}{\gamma_d} (F + \gamma_{EP} E_P) \quad (6.5.4-1)$$

$$F = (\gamma_G G + \gamma_E E_V + \gamma_E E_{QV}) \tan \varphi + \gamma_c c B \quad (6.5.4-2)$$

$$F = \frac{1}{\gamma_R} \tau_{sk} B \quad (6.5.4-3)$$

(2) 不考虑波浪作用且系缆力为主导可变作用时,按式(6.5.4-4)计算,其中  $F$  按式(6.5.4-3)和式(6.5.4-5)分别计算并取较小值;

$$\gamma_0 (\gamma_E E_H + \gamma_{PW} P_W + \gamma_{PR} P_{RH} + \psi \gamma_E E_{qH}) \leq \frac{1}{\gamma_d} (F + \gamma_{EP} E_P) \quad (6.5.4-4)$$

$$F = (\gamma_G G + \gamma_E E_V - \gamma_{PR} P_{RV} + \psi \gamma_E E_{qV}) \tan \varphi + \gamma_c c B \quad (6.5.4-5)$$

(3) 考虑波浪作用且波浪力为主导可变作用时,按式(6.5.4-6)计算,其中  $F$  按式(6.5.4-3)和式(6.5.4-7)分别计算并取较小值;

$$\gamma_0 (\gamma_E E_H + \gamma_{PW} P_W + \gamma_P P_B + \psi \gamma_E E_{qH}) \leq \frac{1}{\gamma_d} (F + \gamma_{EP} E_P) \quad (6.5.4-6)$$

$$F = (\gamma_G G + \gamma_E E_V + \psi \gamma_E E_{qV}) \tan \varphi + \gamma_c c B \quad (6.5.4-7)$$

(4) 考虑波浪作用且可变作用产生的土压力为主导可变作用时,按式(6.5.4-8)计算,其中  $F$  按式(6.5.4-2)和式(6.5.4-3)分别计算并取较小值。

$$\gamma_0 (\gamma_E E_H + \gamma_{PW} P_W + \gamma_E E_{qH} + \psi \gamma_P P_B) \leq \frac{1}{\gamma_d} (F + \gamma_{EP} E_P) \quad (6.5.4-8)$$

式中  $\gamma_0$ ——结构重要性系数,按表 6.5.4-1 取值;  
 $\gamma_E$ ——主动土压力分项系数,按表 6.5.4-2 取值;  
 $E_H$ ——永久作用总主动土压力水平分力标准值(kN);  
 $\gamma_{PW}$ ——剩余水压力分项系数,按表 6.5.4-2 取值;  
 $P_W$ ——作用在拌和体底面以上的剩余水压力标准值(kN);  
 $E_{qH}$ ——可变作用总主动土压力水平分力标准值(kN);  
 $\psi$ ——作用效应组合系数,持久组合取 0.7,短暂组合取 1.0;  
 $\gamma_{PR}$ ——系缆力的分项系数,按表 6.5.4-2 取值;

$P_{RH}$ ——系缆力水平分力标准值(kN);

$\gamma_d$ ——结构系数,取 1.1;

$F$ ——拌和体底面抗滑阻力设计值(kN);

$\gamma_{EP}$ ——被动土压力分项系数,取 1.0;

$E_P$ ——永久作用总被动土压力水平分力标准值(kN);

$\gamma_G$ ——自重力分项系数,取 1.0;

$G$ ——作用于拌和体底面的总自重力标准值(kN);

$E_V$ ——永久作用总主动土压力的竖向分力标准值(kN);

$E_{qV}$ ——可变作用总主动土压力竖向分力标准值(kN);

$\varphi$ ——拌和体着底土层的内摩擦角(°);

$\gamma_c$ ——拌和体着底土层粘聚力分项系数,取 1.0;

$c$ ——拌和体着底土层的粘聚力(kPa);

$\tau_{sk}$ ——拌和体抗剪强度标准值(kPa);

$B$ ——拌和体的宽度(m);

$\gamma_R$ ——拌和体抗力分项系数,取 2.2;

$P_{RV}$ ——系缆力竖向分力标准值(kN);

$\gamma_P$ ——波浪力分项系数,按表 6.5.4-2 取值;

$P_B$ ——作用于上部结构波浪力的标准值(kN)。

结构重要性系数 表 6.5.4-1

结构安全等级	一级	二级	三级
$\gamma_0$	1.1	1.0	0.9

稳定性验算作用分项系数 表 6.5.4-2

组合情况	永久作用		可变作用		
	$\gamma_E$	$\gamma_{PW}$	$\gamma_E$	$\gamma_{PR}$	$\gamma_P$
持久组合	1.35	1.05	1.35(1.25)	1.40(1.30)	1.30(1.20)
短暂组合	1.35	1.05	1.25	1.30	1.20

注:持久组合采用极端高水位和极端低水位时取表中括弧内的数值

6.5.4.2 对拌和体前趾的抗倾稳定性应根据下列不同的作用

效应组合进行验算：

(1) 不考虑波浪作用且可变作用产生的土压力为主导可变作用时，按下式计算：

$$\begin{aligned} & \gamma_0(\gamma_E M_{EH} + \gamma_{PW} M_{PW} + \gamma_E M_{EqH} + \psi \gamma_{PR} M_{PR}) \\ & \leq \frac{1}{\gamma_d}(\gamma_G M_G + \gamma_E M_{EV} + \gamma_E M_{EqV} + \gamma_{EP} M_{EP}) \quad (6.5.4-9) \end{aligned}$$

(2) 不考虑波浪作用且系缆力产生的倾覆力矩为主导可变作用时，按下式计算：

$$\begin{aligned} & \gamma_0(\gamma_E M_{EH} + \gamma_{PW} M_{PW} + \gamma_{PR} M_{PR} + \psi \gamma_E M_{EqH}) \\ & \leq \frac{1}{\gamma_d}(\gamma_G M_G + \gamma_E M_{EV} + \gamma_{EP} M_{EP} + \psi \gamma_E M_{EqV}) \quad (6.5.4-10) \end{aligned}$$

(3) 考虑波浪作用且波浪力为主导可变作用时，按下式计算：

$$\begin{aligned} & \gamma_0(\gamma_E M_{EH} + \gamma_{PW} M_{PW} + \gamma_P M_{PB} + \psi \gamma_E M_{EqH}) \\ & \leq \frac{1}{\gamma_d}(\gamma_G M_G + \gamma_E M_{EV} + \gamma_{EP} M_{EP} + \psi \gamma_E M_{EqV}) \quad (6.5.4-11) \end{aligned}$$

(4) 考虑波浪作用且可变作用产生的土压力为主导可变作用时，按下式计算。

$$\begin{aligned} & \gamma_0(\gamma_E M_{EH} + \gamma_{PW} M_{PW} + \gamma_E M_{EqH} + \psi \gamma_P M_{PB}) \\ & \leq \frac{1}{\gamma_d}(\gamma_G M_G + \gamma_E M_{EV} + \gamma_E M_{EqV} + \gamma_{EP} M_{EP}) \quad (6.5.4-12) \end{aligned}$$

式中  $\gamma_0$ ——结构重要性系数，按表 6.5.4-1 取值；

$\gamma_E$ ——主动土压力分项系数，按表 6.5.4-2 取值；

$M_{EH}$ ——永久作用总主动土压力水平分力标准值对拌和体前趾的倾覆力矩(kN·m)；

$\gamma_{PW}$ ——剩余水压力分项系数，按表 6.5.4-2 取值；

$M_{PW}$ ——作用在拌和体底面以上的剩余水压力标准值对拌和体前趾的倾覆力矩(kN·m)；

$M_{EqH}$ ——可变作用总主动土压力水平分力标准值对拌和体前趾的倾覆力矩(kN·m)；

$\psi$ ——作用效应组合系数，持久组合取 0.7，短暂组合取 1.0；

$\gamma_{PR}$ ——系缆力分项系数，按表 6.5.4-2 取值；

$M_{PR}$ ——系缆力标准值对拌和体前趾的倾覆力矩(kN·m)；

$\gamma_d$ ——结构系数，取 1.1；

$\gamma_G$ ——自重力分项系数，取 1.0；

$M_G$ ——作用于拌和体底面的总自重力标准值对拌和体前趾的稳定力矩(kN·m)；

$M_{EV}$ ——永久作用总主动土压力竖向分力标准值对拌和体前趾的稳定力矩(kN·m)；

$M_{EqV}$ ——可变作用总主动土压力竖向分力标准值对拌和体前趾的稳定力矩(kN·m)；

$\gamma_{EP}$ ——被动土压力分项系数，取 1.0；

$M_{EP}$ ——永久作用总被动土压力标准值对拌和体前趾的稳定力矩(kN·m)；

$\gamma_P$ ——波浪力分项系数，按表 6.5.4-2 取值；

$M_{PB}$ ——作用于上部结构的波浪力标准值对拌和体前趾的倾覆力矩(kN·m)。

**6.5.4.3** 地基承载力应按现行行业标准《港口工程地基规范》(JTJ 250)中的有关规定进行验算。

**6.5.4.4** 拌和体和地基的整体抗滑稳定性验算应按现行行业标准《港口工程地基规范》(JTJ 250)的有关规定执行。

**6.5.4.5** 在持久组合时，作用于拌和体上的合力标准值作用点与拌和体前趾的距离不得小于拌和体底宽的 1/3。

**6.5.5** 拌和体的强度验算应符合下列规定。

**6.5.5.1** 拌和体底面地基应力的计算应按现行行业标准《重力式码头设计与施工规范》(JTJ 290)的有关规定执行。

**6.5.5.2** 拌和体抗压强度可按下进行验算：

$$\gamma_0 \gamma_{\sigma} \sigma_{\max} \leq \frac{1}{\gamma_R} \sigma_{\text{enk}} \quad (6.5.5-1)$$

式中  $\gamma_0$ ——结构重要性系数，按表 6.5.4-1 取值；

$\gamma_g$ ——地基应力综合分项系数,取 1.35;

$\sigma_{\max}$ ——拌和体底面最大地基应力标准值(kPa);

$\gamma_R$ ——拌和体抗力分项系数,取 2.2;

$\sigma_{rak}$ ——拌和体抗压强度标准值(kPa)。

6.5.5.3 拌和体平均剪应力标准值可按式(6.5.5-2)计算,见图 6.5.5。

$$\tau_a = \frac{V - W}{S} \quad (6.5.5-2)$$

式中  $\tau_a$ ——拌和体平均剪应力标准值(kPa);

$V$ —— $B_L$  范围内拌和体底面地基应力合力标准值(kPa);

$W$ —— $B_L$  范围内拌和体自重标准值(kN);

$S$ ——计算剪切面上拌和体的面积( $m^2$ )。

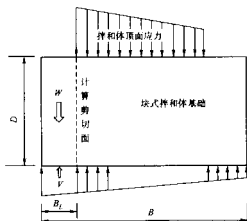


图 6.5.5 块式拌和体平均剪应力计算示意图

$H$ ——拌和体深度;  $W$ —— $B_L$  范围内拌和体的自重;  $V$ —— $B_L$  范围内地基反力的合力;  $B$ ——拌和体宽度;  $B_L$ ——拌和体前趾铅直面至拌和体顶面应力边线的距离

6.5.5.4 拌和体抗剪强度可按式(6.5.5-3)进行验算:

$$\gamma_0 \gamma_r \tau_a \leq \frac{1}{\gamma_R} \tau_{ak} \quad (6.5.5-3)$$

式中  $\gamma_0$ ——结构重要性系数,按表 6.5.4-1 取值;

$\gamma_r$ ——剪应力综合分项系数,取 1.35;

$\tau_a$ ——拌和体平均剪应力标准值(kPa);

$\gamma_R$ ——拌和体抗力分项系数,取 2.2;

$\tau_{ak}$ ——拌和体抗剪强度标准值(kPa)。

6.5.6 当着底土层以下存在可压缩土层时,应进行可压缩土层的沉降量计算,计算时拌和体本身的变形可忽略不计。

6.5.7 拌和体抗震设计应按现行行业标准《水运工程抗震设计规范》(JTJ 225)的有关规定执行。

## 6.6 壁式拌和体基础计算

6.6.1 壁式拌和体基础的设计除应包括第 6.5.1 条和第 6.5.2 条的计算内容外,对不设前壁式拌和体尚应进行壁向上抗挤出的稳定性验算。

6.6.2 作用于拌和体上的荷载计算除应符合第 6.5.3 条的规定外,拌和体自重标准值应按式(6.6.2-1)计算,壁向上自重标准值应按式(6.6.2-2)计算,作用于结构整体上的荷载见图 6.6.2。

$$W_d = \gamma' (DR_L + D_S R_S) B \quad (6.6.2-1)$$

$$W_u = \gamma' D_L R_S B \quad (6.6.2-2)$$

式中  $W_d$ ——拌和体自重标准值(kN);

$\gamma'$ ——拌和体的水下重度( $kN/m^3$ );

$D$ ——拌和体长壁的深度(m);

$R_L$ ——拌和体长壁的总宽度与拌和体长短壁总宽度的比值;

$D_S$ ——拌和体短壁的深度(m);

$R_S$ ——拌和体短壁的总宽度与拌和体长短壁总宽度的比值;

$B$ ——拌和体的宽度(m);

$W_u$ ——壁式拌和体壁间土自重标准值(kN);  
 $D_L$ ——拌和体长短壁的深度差(m)。

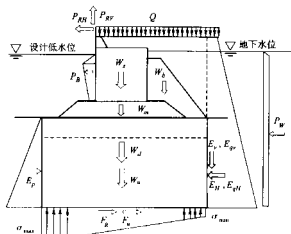


图 6.6.2 结构整体荷载示意图

$P_{30}$ —系缆力竖向分力标准值;  $P_{30P}$ —系缆力水平分力标准值;  $Q$ —地面可变荷载标准值;  $W_U$ —上部结构和固定设备自重标准值;  $W_U$ —作用在上部结构的波浪力标准值;  $W_B$ —拌和体上回填土自重标准值;  $W_U$ —抛石基床自重标准值;  $W_U$ —拌和体自重标准值;  $W_U$ —拌和体壁间土自重标准值;  $E_V$ —永久作用总主动土压力竖向分力标准值;  $E_{VP}$ —可变作用总主动土压力竖向分力标准值;  $E_{HP}$ —永久作用总主动土压力水平分力标准值;  $E_{HP}$ —可变作用总主动土压力水平分力标准值;  $P_A$ —作用在拌和体底面以上的剩余水压力标准值;  $E_{BP}$ —永久作用总被动土压力水平分力标准值;  $F_{RP}$ —拌和体长壁底部抗滑阻力设计值;  $F_{RP}$ —拌和体短壁底部抗滑阻力设计值;  $\sigma_{max}$ 、 $\sigma_{min}$ —拌和体底部最大、最小地基应力标准值

### 6.6.3 壁式拌和体基础的稳定性验算应符合下列规定。

6.6.3.1 沿拌和体基础底面的抗滑稳定性应根据下列不同的效应组合进行验算:

(1)不考虑波浪作用且可变作用产生的土压力为主导可变作用时,按式(6.6.3-1)计算,其中  $F$  按式(6.6.3-2)计算,  $F_R$  按式(6.6.3-3)和式(6.6.3-4)分别计算并取较小值,  $F_U$  按式(6.6.3-5)和式(6.6.3-6)分别计算并取较小值;

$$\gamma_0(\gamma_E E_H + \gamma_{PW} P_W + \gamma_{PE} E_{qH} + \psi \gamma_{PR} P_{RH}) \leq \frac{1}{\gamma_d}(F + \gamma_{EP} E_P) \quad (6.6.3-1)$$

$$F = F_R + F_U \quad (6.6.3-2)$$

$$F_R = (\gamma_C G + \gamma_E E_V + \gamma_E E_{qV}) \tan \varphi + \gamma_{c1} BR_L \quad (6.6.3-3)$$

$$F_R = \frac{1}{\gamma_R} \tau_{ak} BR_L \quad (6.6.3-4)$$

$$F_U = \gamma_C W_U \tan \varphi + \gamma_{c2} BR_S \quad (6.6.3-5)$$

$$F_U = \gamma_{c1} BR_S \quad (6.6.3-6)$$

(2)不考虑波浪作用且系缆力为主导可变作用时,按式(6.6.3-7)计算,其中  $F$  按式(6.6.3-2)计算,  $F_R$  按式(6.6.3-4)和式(6.6.3-8)分别计算并取较小值,  $F_U$  按式(6.6.3-5)和式(6.6.3-6)分别计算并取较小值;

$$\gamma_0(\gamma_E E_H + \gamma_{PW} P_W + \gamma_{PR} P_{RH} + \psi \gamma_E E_{qH}) \leq \frac{1}{\gamma_d}(F + \gamma_{EP} E_P) \quad (6.6.3-7)$$

$$F_R = (\gamma_C G + \gamma_E E_V - \gamma_{PR} P_{RV} + \psi \gamma_E E_{qV}) \tan \varphi + \gamma_{c1} BR_L \quad (6.6.3-8)$$

(3)应考虑波浪作用且波浪力为主导可变作用时,按式(6.6.3-9)计算,其中  $F$  按式(6.6.3-2)计算,  $F_R$  按式(6.6.3-4)和式(6.6.3-10)分别计算并取较小值,  $F_U$  按式(6.6.3-5)和式(6.6.3-6)分别计算并取较小值;

$$\gamma_0(\gamma_E E_H + \gamma_{PW} P_W + \gamma_{PE} E_{qH} + \psi \gamma_E E_{qH}) \leq \frac{1}{\gamma_d}(F + \gamma_{EP} E_P) \quad (6.6.3-9)$$

$$F_R = (\gamma_C G + \gamma_E E_V + \psi \gamma_E E_{qV}) \tan \varphi + \gamma_{c1} BR_L \quad (6.6.3-10)$$

(4)考虑波浪作用且可变作用产生的土压力为主导可变作用时,按式(6.6.3-11)计算,其中  $F$  按式(6.6.3-2)计算,  $F_R$  按式(6.6.3-3)和式(6.6.3-4)分别计算并取较小值,  $F_U$  按式(6.6.3-5)

和式(6.6.3-6)分别计算并取较小值。

$$\gamma_0(\gamma_E E_H + \gamma_{PW} P_W + \gamma_E E_{qH} + \psi \gamma_P P_B) \leq \frac{1}{\gamma_d}(F + \gamma_{EP} E_P) \quad (6.6.3-11)$$

式中  $\gamma_0$ ——结构重要性系数,按表 6.5.4-1 取值;  
 $\gamma_E$ ——主动土压力分项系数,按表 6.5.4-2 取值;  
 $E_H$ ——永久作用总主动土压力水平分力标准值(kN);  
 $\gamma_{PW}$ ——剩余水压力分项系数,按表 6.5.4-2 取值;  
 $P_W$ ——作用在拌和体底面以上的剩余水压力标准值(kN);  
 $E_{qH}$ ——可变作用总主动土压力水平分力标准值(kN);  
 $\psi$ ——作用效应组合系数,持久组合取 0.7,短暂组合取 1.0;  
 $\gamma_{PK}$ ——系缆力分项系数,按表 6.5.4-2 取值;  
 $P_{HK}$ ——系缆力水平分力标准值(kN);  
 $F$ ——拌和体基础底面抗滑阻力设计值(kN);  
 $\gamma_{KP}$ ——被动土压力分项系数,取 1.0;  
 $E_{p}$ ——永久作用总被动土压力水平分力标准值(kN);  
 $\gamma_d$ ——结构系数,取 1.1;  
 $F_R$ ——拌和体长壁底面抗滑阻力设计值(kN);  
 $F_L$ ——拌和体壁间土底面抗滑阻力设计值(kN);  
 $\gamma_c$ ——自重力分项系数,取 1.0;  
 $G$ ——作用于拌和体底面的总自重力标准值(kN);  
 $E_V$ ——永久作用总主动土压力竖向分力标准值(kN);  
 $E_{qV}$ ——可变作用总主动土压力竖向分力标准值(kN);  
 $\varphi$ ——拌和体着底土层的内摩擦角(°);  
 $\gamma_c$ ——拌和体着底土层粘聚力分项系数,取 1.0;  
 $c_1$ ——拌和体长壁底面地基土的粘聚力(kPa);  
 $B$ ——拌和体的宽度(m);  
 $R_L$ ——拌和体长壁总宽度与拌和体长短壁总宽度的比值;

$\tau_{sk}$ ——拌和体抗剪强度标准值(kPa);  
 $\gamma_R$ ——拌和体抗力分项系数,取 2.2;  
 $W_U$ ——拌和体壁间土自重力标准值(kN);  
 $c_2$ ——壁间土底面土的粘聚力(kPa);  
 $R_S$ ——拌和体短壁总宽度与拌和体长短壁总宽度的比值;  
 $P_{RV}$ ——系缆力竖向分力标准值(kN);  
 $\gamma_P$ ——波浪力分项系数,按表 6.5.4-2 取值;  
 $P_B$ ——作用于上部结构的波浪力标准值(kN)。

**6.6.3.2** 对拌和体前趾的抗倾稳定性应根据下列不同的作用效应组合进行验算:

(1) 不考虑波浪作用且可变作用产生的土压力为主导可变作用时,按下式计算:

$$\gamma_0(\gamma_E M_{EH} + \gamma_{PW} M_{PW} + \gamma_E M_{EqH} + \psi \gamma_{PK} M_{PK}) \leq \frac{1}{\gamma_d}(\gamma_G M_G + \gamma_C M_{sw} + \gamma_E M_{EV} + \gamma_E M_{EqV} + \gamma_{EP} M_{EP}) \quad (6.6.3-12)$$

(2) 不考虑波浪作用且系缆力产生的倾覆力矩为主导可变作用时,按下式计算:

$$\gamma_0(\gamma_E M_{EH} + \gamma_{PW} M_{PW} + \gamma_{PK} M_{PK} + \psi \gamma_E M_{EqH}) \leq \frac{1}{\gamma_d}(\gamma_G M_G + \gamma_C M_{sw} + \gamma_E M_{EV} + \gamma_{EP} M_{EP} + \psi \gamma_E M_{EqV}) \quad (6.6.3-13)$$

(3) 考虑波浪作用且波浪作用为主导可变作用时,按下式计算:

$$\gamma_0(\gamma_E M_{EH} + \gamma_{PW} M_{PW} + \gamma_P M_{PB} + \psi \gamma_E M_{EqH}) \leq \frac{1}{\gamma_d}(\gamma_G M_G + \gamma_C M_{sw} + \gamma_E M_{EV} + \gamma_{EP} M_{EP} + \psi \gamma_E M_{EqV}) \quad (6.6.3-14)$$

(4) 考虑波浪作用且可变作用产生的土压力为主导可变作用时,按下式计算:

$$\gamma_0(\gamma_E M_{EH} + \gamma_{PW} M_{PW} + \gamma_E M_{EqH} + \psi \gamma_P M_{PB}) \leq \frac{1}{\gamma_d}(\gamma_G M_G + \gamma_C M_{sw} + \gamma_E M_{EV} + \gamma_E M_{EqV} + \gamma_{EP} M_{EP}) \quad (6.6.3-15)$$



式中  $\gamma_0$ ——结构重要性系数,按表 6.5.4-1 取值;  
 $\gamma_E$ ——主动土压力的分项系数,按表 6.5.4-2 取值;  
 $M_{EH}$ ——永久作用总主动土压力的水平分力标准值对拌和体前趾的倾覆力矩(kN·m);  
 $\gamma_{PW}$ ——剩余水压力分项系数,按表 6.5.4-2 取值;  
 $M_{PW}$ ——作用于拌和体底面以上的剩余水压力标准值对拌和体前趾的倾覆力矩(kN·m);  
 $M_{EqH}$ ——可变作用总主动土压力水平分力标准值对拌和体前趾的倾覆力矩(kN·m);  
 $\psi$ ——作用效应组合系数,持久组合取 0.7,短暂组合取 1.0;  
 $\gamma_{PK}$ ——系缆力分项系数,按表 6.5.4-2 取值;  
 $M_{PK}$ ——系缆力标准值对拌和体前趾的倾覆力矩(kN·m);  
 $\gamma_c$ ——自重力分项系数,取 1.0;  
 $M_G$ ——作用于拌和体底面的总自重力标准值对拌和体前趾的稳定力矩(kN·m);  
 $M_{wv}$ ——壁间土自重力标准值对拌和体前趾的稳定力矩(kN·m);  
 $M_{Ev}$ ——永久作用总主动土压力竖向分力标准值对拌和体前趾的稳定力矩(kN·m);  
 $M_{Eqv}$ ——可变作用总主动土压力竖向分力标准值对拌和体前趾的稳定力矩(kN·m);  
 $\gamma_{EP}$ ——被动土压力分项系数,取 1.0;  
 $M_{EP}$ ——永久作用总被动土压力标准值对拌和体前趾的稳定力矩(kN·m);  
 $\gamma_d$ ——结构系数,取 1.1;  
 $\gamma_P$ ——波浪力分项系数,按表 6.5.4-2 取值;  
 $M_{PB}$ ——作用于上部结构的波浪力标准值对拌和体前趾的倾覆力矩(kN·m)。

**6.6.3.3 拌和体壁间土抗挤出稳定性应对不同的计算深度按式(6.6.3-16)进行验算,见图 6.6.3。**

$$\gamma_S (P'_a + h_w \gamma_w D_1 / \gamma_j) \leq \frac{1}{\gamma_j} [2(L_S + D_1) c B + P'_p] \quad (6.6.3-16)$$

式中  $\gamma_S$ ——综合分项系数,可取 1.0;  
 $P'_a$ —— $D_1$  范围内作用于壁间土侧面的总主动土压力标准值(kN);  
 $h_w$ ——土体计算滑动面的剩余水头(m);  
 $\gamma_w$ ——水的重度(kN/m<sup>3</sup>);  
 $D_1$ ——拌和体短壁底部至土体滑动面的距离(m);  
 $L_S$ ——拌和体短壁宽度(m);  
 $\gamma_j$ ——抗力分项系数,取值不小于 1.2;  
 $c$ ——土体计算滑动面的抗剪强度(kPa);  
 $B$ ——拌和体宽度(m);  
 $P'_p$ —— $D_1$  范围内作用于壁间土侧面的总被动土压力标准值(kN)。

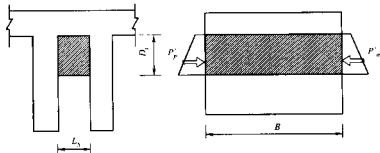


图 6.6.3 壁间土抗挤出稳定性验算示意图

$L_S$ ——拌和体短壁宽度;  
 $D_1$ ——拌和体短壁底部至土体计算滑动面的距离;  
 $B$ ——拌和体宽度;  
 $P'_a, D_1$  范围内作用于壁间土侧面的总主动土压力标准值;  
 $P'_p, D_1$  范围内作用于壁间土侧面的总被动土压力标准值

**6.6.3.4 壁式拌和体地基承载力应按现行行业标准《港口工程**

地基规范》(JTJ 250)中条形基础或矩形基础的有关规定进行验算。

6.6.3.5 壁式拌和体和地基的整体抗滑稳定性验算应按现行行业标准《港口工程地基规范》(JTJ 250)的有关规定执行。

6.6.4 壁式拌和体的强度验算应符合下列规定。

6.6.4.1 当拌和体底面为条形或矩形时,拌和体底面地基应力应按下列方法计算:

(1)当  $\xi \geq \frac{B}{3}$  时,拌和体底面地基应力标准值按下列公式计算:

$$\sigma_{\max} = \frac{V_k}{BR_L} \left( 1 \pm \frac{6e}{B} \right) \quad (6.6.4-1)$$

$$e = \frac{B}{2} - \xi \quad (6.6.4-2)$$

$$\xi = \frac{M_R - M_0}{V_k} \quad (6.6.4-3)$$

(2)当  $\xi < \frac{B}{3}$  时,拌和体底面地基应力标准值按下列公式计算:

$$\sigma_{\max} = \frac{2V_k}{3\xi R_L} \quad (6.6.4-4)$$

$$\sigma_{\min} = 0 \quad (6.6.4-5)$$

式中  $\sigma_{\max}, \sigma_{\min}$ ——拌和体底面最大、最小地基应力标准值(kPa);  
 $V_k$ ——作用于拌和体底面的竖向合力标准值(kN);  
 $e$ ——拌和体底面合力作用点偏心距(m);  
 $B$ ——拌和体宽度(m);  
 $R_L$ ——拌和体长壁的总宽度与拌和体长短壁总宽度的比值;  
 $\xi$ ——合力作用点至前趾的距离(m);  
 $M_R$ ——作用于拌和体底面竖向合力标准值对拌和体前趾的稳定力矩(kN·m);  
 $M_0$ ——倾覆力标准值对拌和体前趾的倾覆力矩(kN·m)。

6.6.4.2 当拌和体底面为条形和矩形以外的形状时,拌和体底面地基应力标准值可按偏心受压公式计算。

6.6.4.3 拌和体抗压承载力可按下式进行验算:

$$\gamma_0 \gamma_s \sigma_{\max} \leq \frac{1}{\gamma_R} \sigma_{\text{rak}} \quad (6.6.4-6)$$

式中  $\gamma_0$ ——结构重要性系数,按表 6.5.4-1 取值;

$\gamma_s$ ——压应力综合分项系数,取 1.35;

$\sigma_{\max}$ ——拌和体底面最大地基应力标准值(kPa);

$\sigma_{\text{rak}}$ ——拌和体抗压强度标准值(kPa);

$\gamma_R$ ——抗力分项系数,取 2.2。

6.6.4.4 长壁和短壁的抗剪强度应按下列方法验算:

(1)长壁抗剪强度按式(6.6.4-7)和式(6.6.4-8)验算,见图 6.6.4-1;

$$\gamma_0 \gamma_s \tau_L \leq \frac{1}{\gamma_R} \tau_{\text{rak}} \quad (6.6.4-7)$$

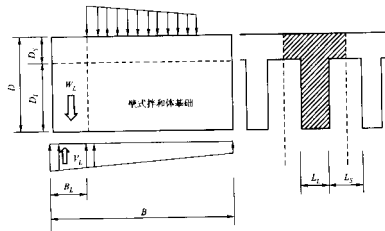


图 6.6.4-1 长壁抗剪强度验算示意图

$D_L$ ——拌和体长壁的深度;  $D_S$ ——拌和体长短壁深度差;  $D_1$ ——拌和体短壁的深度;  $M_k, V_k$ —— $B_1, B_2$  范围内拌和体自重力标准值;  $V_L, B_2$  范围内长壁地基应力合力标准值;  $B_1$ ——拌和体前趾铅直面至拌和体顶部应力边线的距离;  $B$ ——拌和体宽度;  $L_L$ ——拌和体长壁的宽度;  $L_S$ ——拌和体短壁的宽度

$$\tau_L = \lambda_L \frac{V_L - W_L}{S} \quad (6.6.4-8)$$

(2)短壁抗剪强度按式(6.6.4-9)和式(6.6.4-10)验算,见图 6.6.4-2。

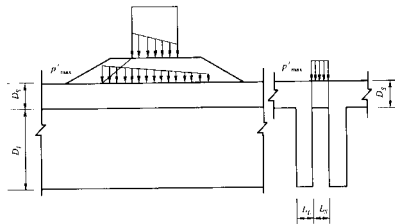


图 6.6.4-2 短壁抗剪强度验算示意图

$D_S$ —拌和体短壁的深度;  $D_L$ —拌和体长壁深度差;  $L_L$ —拌和体长壁的长度;  $p'_{max}$ —抛石基底面最大应力标准值;  $L_S$ —拌和体短壁的长度

$$\gamma_0 \gamma_r \tau_S \leq \frac{1}{\gamma_R} \tau_{ak} \quad (6.6.4-9)$$

$$\tau_S = \lambda_S \frac{(p'_{max} + \gamma D_S) L_S}{2 D_S} \quad (6.6.4-10)$$

式中  $\gamma_0$ ——结构重要性系数,按 6.5.4-1 取值;

$\gamma_r$ ——剪应力综合分项系数,取 1.35;

$\tau_L$ ——长壁最大剪应力标准值(kPa);

$\gamma_R$ ——抗力分项系数,取 2.2;

$\tau_{ak}$ ——拌和体抗剪强度标准值(kPa);

$\lambda_L$ ——长壁最大剪应力与平均剪应力之比,取 1.5;

$V_L$ —— $B_L$  范围内长壁地基应力合力标准值(kN);

$W_L$ —— $B_L$  范围内拌和体自重标准值(kN);

$S$ ——计算剪切面拌和体的面积( $m^2$ );

$\tau_S$ ——短壁最大剪应力标准值(kPa);

$\lambda_S$ ——短壁最大剪应力与平均剪应力之比,取 1.5;

$p'_{max}$ ——抛石基底面最大应力标准值(kPa);

$\gamma$ ——拌和体重度( $kN/m^3$ );

$D_S$ ——拌和体短壁深度(m);

$L_S$ ——拌和体短壁宽度(m)。

6.6.5 当壁式拌和体着底土层以下存在可压缩土层时,应进行可压缩土层的沉降量计算,计算时拌和体的变形可忽略不计。

6.6.6 壁式拌和体的抗震设计应按现行行业标准《水运工程抗震设计规范》(JTJ 225)的有关规定执行。

## 7 施 工

### 7.1 材 料

7.1.1 水下深层水泥搅拌法加固软土地基采用的水泥品种的选择应符合下列规定。

7.1.1.1 水泥可选用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥或矿渣硅酸盐水泥,必要时也可选用其他品种水泥。有条件时应选用缓凝水泥,水泥质量均应符合国家现行标准的有关规定。

7.1.1.2 施工前应进行水泥与加固区内各层土的内室搅拌试验,验证拟用水泥品种对工程土质的匹配性并进行技术经济比较。

7.1.2 水泥浆的外加剂应符合下列规定。

7.1.2.1 当工程采用非缓凝水泥时,水泥浆中宜掺入缓凝型外加剂,其品种和用量应通过试验确定。外加剂的质量应符合现行国家标准《混凝土外加剂》(GB 8076)和现行行业标准《混凝土外加剂》(JC 473~JC 476)的有关规定。

7.1.2.2 选用的外加剂应质量稳定,并应附有产品质量检验合格证等技术文件。

7.1.3 拌和用水可采用工程所在地的海水或淡水,并应对拌和用水进行有机物含量、pH值、混浊度和水温等物理化学检验。

### 7.2 现场试验工程

7.2.1 现场试验工程,应选在加固工程区内地质条件有代表性的地点进行。内容应包括加固搅拌的送浆方式、拌和体的强度和均匀性、拌和体的着底情况和着底标准、拌和土桩的搭接质量和搅拌设备系统工作的稳定性等试验。现场试验工程应在加固工程开工

前的90~120d内完成。

7.2.2 现场试验工程施工地点,应具有地质钻孔和地基土的物理学指标等资料。

7.2.3 现场试验工程施工,应确定制备水泥浆的水灰比,拌和土的配合比,水泥浆的输浆量,搅拌机的贯入速度和提升速度,搅拌轴的转速,相邻拌和土桩的搭接情况,拌和土的强度,拌和体的深度、均匀性,着底情况和着底标准,设备的适用性、稳定性和施工效率等施工参数。

7.2.4 现场试验工程施工,应采取钻孔取样方法检验拌和体的深度、强度、均匀性、搭接情况和着底情况等。

7.2.5 拌和体的着底标准应根据钻孔柱状图和搅拌机的贯入深度、贯入速度、荷重、转速、扭矩等参数综合判断和确定,且宜将对着底反应灵敏的搅拌机电流值作为着底标准的指标。

7.2.6 在室内试验的基础上,现场试验工程施工宜选用不同的配合比,并经现场搅拌和钻孔检验,分析确定满足设计要求且经济合理的配合比。

### 7.3 施 工 设 备

7.3.1 水下深层水泥搅拌法加固软土地基的施工,应采用专用成套设备进行。专用成套设备应由专用船组及测量定位系统、搅拌机及操作控制系统、质量控制系统、制浆输浆系统和水泥供应保障系统等组成。

7.3.2 专用船组及搅拌机,在允许作业工况下,应能满足连续作业的要求。

7.3.3 专用作业船组应设置测量定位系统、平衡调控系统和数据自动处理系统。测量定位系统定位的有效范围、精度和速度应能满足施工要求;平衡调控系统应能保证拌和土桩的垂直度;数据自动处理系统应对施工作业过程中的主要施工参数逐桩自动采集、处理、储存和打印。

7.3.4 搅拌机机架高度和搅拌加固深度,应能满足设计要求。搅

拌机的动力、转速、钻杆承受扭矩和搅拌加固的能力应能满足施工的需要。

**7.3.5** 搅拌机的搅拌叶片应设置 2 层以上,叶片的最小直径不宜小于 1.0m。

**7.3.6** 搅拌机叶片对加固区加固深度每米土体的搅拌切土次数不应少于 400 次。当采用贯入送浆法时,切土次数可按下式计算:

$$T = \sum M [(N_d/V_d) + (N_u/V_u)] \quad (7.3.6)$$

式中  $T$ ——切土次数(次/m);

$\sum M$ ——搅拌翼的总叶片数;

$N_d$ ——贯入时搅拌轴转速(r/min);

$V_d$ ——搅拌翼贯入速度(m/min);

$N_u$ ——提升时搅拌轴转速(r/min);

$V_u$ ——搅拌翼提升速度(m/min)。

**7.3.7** 输浆泵及控制系统应满足输浆流量的要求,并应具备及时调整和稳定保持既定流量的性能。

## 7.4 施工定位

**7.4.1** 水下深层水泥搅拌法加固软土地基施工前,应根据勘测基线控制点布设施工基线。施工基线和施工水准点测量精度应符合现行行业标准《水运工程测量规范》(JTJ 203)的有关规定。

**7.4.2** 施工基线和施工水准点应根据施工具体情况定期校验,并应对施工基线和施工水准点进行保护。

**7.4.3** 拌和土桩的定位宜采用全球卫星定位系统(GPS)、微波测距仪或光波测距仪等定位装置。

**7.4.4** 拌和土桩平面定位的允许偏差为 50mm,倾斜度偏差不应大于 1%。

## 7.5 施工质量控制

**7.5.1** 制备水泥浆所采用的水、水泥和外加剂的计量装置,应按

要求率定,其计量允许误差为  $\pm 2\%$ 。

**7.5.2** 储浆罐中应设置低速搅拌装置,储浆罐的入口和出口处应设置过滤网。

**7.5.3** 水泥浆在储浆罐内的储存时间不得超过 2h。在水泥浆中加入缓凝剂并在储浆罐内缓慢搅拌的情况下,储存时间不得超过 3h。

**7.5.4** 水下深层水泥搅拌法加固软土地基施工前应清除施工障碍物。

**7.5.5** 水下深层水泥搅拌法加固软土地基宜在拌和体设计顶高程以上留有 1~2m 的覆盖层。

**7.5.6** 搅拌机搅拌头贯入作业困难时,可采取喷浆或降低贯入速度等措施穿越硬层。

**7.5.7** 搅拌机每搅拌处理 4~6 组拌和土桩时,宜将搅拌头提出水面,对搅拌头进行检查和清理。施工中每搅拌作业 10~12h,宜将搅拌头提出水面清洗管路。

**7.5.8** 每组拌和土桩施工完成后,搅拌头应提高泥面 1m 以上方可移船。

**7.5.9** 水下深层水泥搅拌法加固软土地基应进行全过程的施工检测和质量控制。测控项目、内容和仪器如图 7.5.9 所示。

**7.5.10** 水下深层水泥搅拌法加固软土地基应设置一定数量的永久观测点,定期观测拌和体在施工期和使用期的沉降、水平位移和倾斜情况。

**7.5.11** 施工过程中主要施工参数应逐桩进行记录。施工综合记录表见附录 B。

**7.5.12** 拌和体顶面隆起土的数量可按压入水泥浆量的 70% 进行估算。

**7.5.13** 拌和体顶面的隆起土应进行清除,隆起土的清除应满足第 6.1.4 条的要求。

**7.5.14** 水下深层水泥搅拌法加固软土地基宜避开冬季施工,当必须在冬季施工时,应采取相应的防冻措施。

## 8 检 验

### 8.1 施工过程中的检验

8.1.1 在现场试验工程和软基加固工程施工过程中,应检验拌和土相应龄期的强度、拌和土搅拌的均匀性和着底情况。

8.1.2 拌和土的检验应进行垂直钻探取芯,搭接部位的检验应进行斜钻孔取芯。钻取的芯样应进行室内物理力学试验,试验内容应包括拌和土的无侧限抗压强度、重度和含水率等。拌和体钻芯取样及试验方法见附录 A。

8.1.3 现场试验工程的垂直钻孔取芯不宜少于 4 根,斜钻孔取芯不应少于 1 根。软基加固工程施工过程中垂直钻孔取芯不宜少于 3 根,斜钻孔取芯不应少于 1 根。

### 8.2 加固后的检验

8.2.1 水下深层水泥搅拌法加固软土地基工程施工完成后,应对拌和体进行质量检验,检验应采用钻孔取芯法进行。

8.2.2 钻孔取芯的数量视工程的规模而定,当拌和体工程量大于 50000m<sup>3</sup> 时,每 10000 m<sup>3</sup> 拌和体应进行 1 根垂直钻孔取芯,每 20000 ~ 30000m<sup>3</sup> 拌和体进行 1 根斜钻孔取芯;当拌和体工程量不大于 50000m<sup>3</sup> 时,垂直钻孔取芯不应少于 3 根,斜钻孔取芯不应少于 1 根。

### 8.3 芯样的检验和试验

8.3.1 钻孔取芯的取芯率不宜低于 80%。当不同土层的拌和土强度相差较大时,钻孔取芯率可按不同土层分别统计。

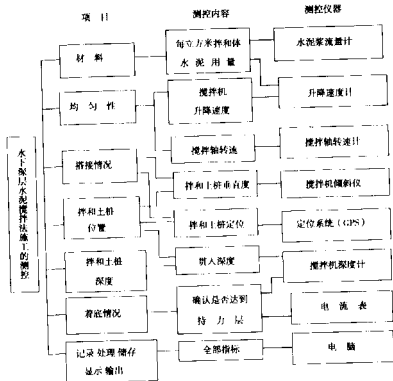


图 7.5.9 水下深层水泥搅拌法加固软土地基施工过程测控图

8.3.2 取芯后的钻孔孔底应进行标准贯入试验,检验搅拌体的着底情况。

8.3.3 钻孔取得的芯样应制成试样并进行无侧限抗压强度试验,试验龄期应取 90d、120d 和 150d。无侧限抗压强度试验方法见附录 A。

8.3.4 不同土层芯样的无侧限抗压强度平均值应满足式(8.3.4)的要求,各土层芯样无侧限抗压强度值的变异系数不宜大于 0.35,最大不应大于 0.50。

$$\gamma_0 \gamma_c \sigma_{\max} \leq \frac{\kappa'}{\gamma_R} q_{cf} \quad (8.3.4)$$

式中  $\gamma_0$ ——结构重要性系数,按表 6.5.4-1 取值;

$\gamma_c$ ——压应力综合分项系数,取 1.35;

$\sigma_{\max}$ ——拌和体底面最大地基应力标准值(kPa);

$\kappa'$ ——换算系数,取 0.6~0.7;

$q_{cf}$ ——不同土层芯样的无侧限抗压强度平均值(kPa);

$\gamma_R$ ——抗力分项系数,取 2.2。

## 附录 A 拌和体钻芯取样及试验方法

A.0.1 钻孔取样应采用岩芯钻机。取芯直径不应小于 65mm。

A.0.2 当拌和土强度小于 1.0MPa 时,宜采用三重管取样器;当拌和土强度不小于 1.0MPa 时,宜采用双重管取样器。

A.0.3 钻芯取样应采用合金钢钻头。

A.0.4 水下钻芯取样应设置固定的钻探平台,其面积不宜小于 4m×4m。平台结构应安全可靠并便于移动。当需要斜钻孔取样时,应在平台上设置可靠的导向槽或导向管。

A.0.5 钻架可采用井架式或排架式,结构应安全可靠并便于固定和移动钻机。进行斜钻孔取样时,应配置专门的滑轮支架。

A.0.6 钻探平台可采用经纬仪、激光测距仪或全球卫星定位系统(GPS)进行定位,钻孔中心与拌和土桩中心水平偏差不得大于 200mm。钻机套管垂直度偏差不得大于 5‰。

A.0.7 拌和体上部淤泥宜采用鱼尾钻清理,清理时应注意避免塌孔漏水。

A.0.8 钻芯取样时,钻机转速宜为 137r/min,钻进速度宜为 50~100mm/min,当钻进压力明显增高时,应控制钻进速度或停止钻进。

A.0.9 从取样器中推出芯样应平稳,严禁试样受拉、受弯。芯样在运送和保存过程中应避免压、震、晒、冻并防止试样失水或吸水。

A.0.10 试样应选取有代表性的芯样制作,试样高径比宜为 1.5:1。

A.0.11 拌和体钻芯取样强度试验应按下列程序进行:

- (1)量测试样的重量、直径和高度;
- (2)将试样放在压力机底座中心部位处,启动压力机,至试样

顶部与压力机上横梁座轻轻接触为止；

(3)调整压力零点,安放好测量变形的百分表并调整零点；

(4)开动压力机,以每分钟试件高度1%的变形速度加荷,每变形0.2mm测记一次压力；

(5)当压力达到峰值时,加记压力与变形一次,并继续记录变形达0.4~0.6mm时的压力,终止试验,记录试样总变形量；

(6)从试样中心部位取适量拌和土样,测定含水率。

**A.0.12** 试样重度可按下列公式计算：

$$\gamma = \frac{4M}{\pi H_0 D_0^2} \quad (\text{A.0.12-1})$$

$$H_0 = \frac{1}{4}(h_1 + h_2 + h_3 + h_4) \quad (\text{A.0.12-2})$$

$$D_0 = \frac{1}{4}(D_1 + 2D_2 + D_3) \quad (\text{A.0.12-3})$$

式中  $\gamma$ ——试样重度(kN/m<sup>3</sup>)；

$M$ ——试样重量(kN)；

$H_0$ ——试样初始平均高度(m)；

$D_0$ ——试样初始平均直径(m)；

$h_1, h_2, h_3, h_4$ ——试样上表面或下表面任意两条互相垂直的直径与圆周的4个交点对应的试样高度(m)；

$D_1, D_2, D_3$ ——试样上部、中部、下部直径(m)。

**A.0.13** 试样压缩应变可按下列式计算：

$$\epsilon = \frac{\Delta H}{H_0} \times 100\% \quad (\text{A.0.13})$$

式中  $\epsilon$ ——试样压缩应变(%)；

$\Delta H$ ——试样变形量(cm)；

$H_0$ ——试样初始平均高度(cm)。

**A.0.14** 试样应力可按下列公式计算：

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (\text{A.0.14-1})$$

$$A_0 = \frac{1}{4} \pi D_0^2 \quad (\text{A.0.14-2})$$

式中  $\sigma$ ——试样应力(kPa)；

$P$ ——试样承受的垂直力(kN)；

$A_0$ ——试样初始面积(m<sup>2</sup>)；

$D_0$ ——试样初始平均直径(m)。

**A.0.15** 试样的抗压强度应取应力—应变关系曲线的峰值应力。

**A.0.16** 试样强度应对施工条件相同的试样,沿高程每米均匀选取有代表性试样2~3个进行统计,并按式(A.0.16-1)、式(A.0.16-2)和式(A.0.16-3)分别计算平均强度、标准差和变异系数。试样平均强度应为拌和土的抗压强度标准值。

$$\bar{q}_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^n q_{ij}}{n} \quad (\text{A.0.16-1})$$

$$\sigma_{ij} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (q_{ij} - \bar{q}_{ij})^2} \quad (\text{A.0.16-2})$$

$$\delta_{ij} = \frac{\sigma_{ij}}{\bar{q}_{ij}} \quad (\text{A.0.16-3})$$

式中  $\bar{q}_{ij}$ ——试样平均强度(kPa)；

$q_{ij}$ ——某钻孔第*i*(*i*=1~*n*)个试样的抗压强度(kPa)；

$n$ ——参加统计的试样个数；

$\sigma_{ij}$ —— $q_{ij}$ 的标准差(kPa)；

$\delta_{ij}$ —— $q_{ij}$ 的变异系数。

**A.0.17** 钻孔取样试验结果应填报试验成果总表并绘制抗压强度分布图。试验成果总表填报的内容应包括试样取样的高程、高径比、重量、含水率和抗压强度等；抗压强度分布图绘制内容应包括地质剖面柱状图和不同高程拌和土试样的抗压强度、水泥用量、重度和含水率等。





## 附加说明

### 本规程主编单位、参加单位、 主要起草人、总校人员和管理组人员名单

主 编 单 位:中 港 第 一 航 务 工 程 局

中交第一航务工程勘察设计院

参 加 单 位:天 津 港 湾 工 程 研 究 所

主 要 起 草 人:王 海 滨 (中 港 第 一 航 务 工 程 局)

郭 莲 清 (中 交 第 一 航 务 工 程 勘 察 设 计 院)

(以下按姓氏笔画为序)

刘 永 绣 (中 交 第 一 航 务 工 程 勘 察 设 计 院)

孙 万 禾 (天 津 港 湾 工 程 研 究 所)

吴 荔 丹 (中 交 第 一 航 务 工 程 勘 察 设 计 院)

周 延 利 (中 港 第 一 航 务 工 程 局)

杨 丽 氏 (中 交 第 一 航 务 工 程 勘 察 设 计 院)

姜 建 维 (中 交 第 一 航 务 工 程 勘 察 设 计 院)

袁 孟 全 (中 港 第 一 航 务 工 程 局)

舒 宁 (中 交 第 一 航 务 工 程 勘 察 设 计 院)

总 校 人 员 名 单:李 永 恒 (交 通 部 水 运 司)

何 文 辉 (交 通 部 水 运 司)

王 海 滨 (中 港 第 一 航 务 工 程 局)

刘 永 绣 (中 交 第 一 航 务 工 程 勘 察 设 计 院)

袁 孟 全 (中 港 第 一 航 务 工 程 局)

孙 万 禾 (天 津 港 湾 工 程 研 究 所)

董 方 (人 民 交 通 出 版 社)

管 理 组 人 员 名 单:王 海 滨 (中 港 第 一 航 务 工 程 局)

周 延 利 (中 港 第 一 航 务 工 程 局)

舒 宁 (中 交 第 一 航 务 工 程 勘 察 设 计 院)

杨 丽 氏 (中 交 第 一 航 务 工 程 勘 察 设 计 院)

中华人民共和国行业标准

# 水下深层水泥搅拌法加固软土地基技术规程

JTJ/T 259—2004

条文说明

# 目 次

1	总则	(46)
3	基本规定	(47)
4	现场调查	(48)
5	室内配合比试验	(49)
6	设计	(50)
6.1	一般规定	(50)
6.2	拌和体强度标准值确定	(50)
6.3	拌和体尺寸确定和工程量计算	(51)
6.4	作用和作用效应组合	(52)
6.5	块式拌和体基础计算	(52)
6.6	壁式拌和体基础计算	(55)
7	施工	(56)
7.3	施工设备	(56)
8	检验	(57)
8.1	施工过程中的检验	(57)
8.2	加固后的检验	(57)
8.3	芯样的检验和试验	(57)

## 1 总 则

1.0.2 在我国应用水下深层水泥搅拌法加固软土地基已超过 60 万  $\text{m}^3$ , 主要是采用了支承型块式和壁式加固地基, 用以在软土地基上建造重力式码头。在采用水下深层水泥搅拌法加固软土地基应用较广泛的日本, 根据着底型式将拌和体分为着底型和悬浮型。拌和体座落于承载力较高的持力层上时, 称为支承型; 拌和体座落于软弱土层上或拌和体悬浮在软弱土层中, 称为悬浮型。目前对悬浮型的研究较少, 考虑到目前我国应用水下深层水泥搅拌法加固软土地基刚刚开始应用, 实践工程较有限, 经验还比较少, 因此本规程的编制和应用目前仅限于支承型拌和体。

根据形状可将拌和体分为块式、壁式、格子式和桩式等。其中格子式和桩式拌和体的受力较复杂, 在港口工程中应用较少。因此本规程条文中只考虑了块式和壁式两种型式且埋深与底宽的比小于 1.0 的浅基础。埋深与底宽的比大于 1.0 的基础可按深基础参照相应的规范计算。

## 3 基本规定

3.0.2 根据国外的经验应用水下深层水泥搅拌法加固软土地基, 其地基上的有机质含量、矿物成分、酸碱度和腐殖质含量等指标介于表 3.0.2 中的中间值时, 需要经试验确定其有效程度。

水下深层水泥搅拌法加固软土地基适用性指标判别

表 3.0.2

指标 效果	pH 值	土粒重度	天然含水率	腐殖质含量	有机质含量	主要矿物 成份中
		$\gamma_s (\text{kN}/\text{m}^3)$	(%)	(%)	(%)	
效果显著	$\geq 7$	$\geq 27$	$\leq 100$	$\leq 0.6$	$\leq 5$	不含伊利石
效果不显著	$< 4$	$< 26$	$> 100$	$> 1.9$	$> 5$	含伊利石

3.0.5 影响水泥搅拌法加固软土地基工程质量的因素很多, 除配合比以外, 还有设备的适用性、搅拌机贯入提升速度等。此外, 室内试验因受条件所限, 本身试验结果会存在一定偏差。因此, 仅靠室内试验尚不足以确定正式施工的全部施工参数, 还应进行现场试验工程。

## 4 现场调查

**4.0.2** 本条是根据水下深层水泥搅拌法加固软土地基的施工特点,依据现行行业标准《港口工程地基规范》(JTJ 250—98)和《港口工程地质勘察规范》(JTJ 240—97)的有关规定并结合天津港、烟台港的施工经验而制定的。

查明硬层,是由于  $N_{63.5} > 15$  时,搅拌困难,  $N_{63.5} > 30$  的局部硬层,搅拌无法穿透,因此需要查明。此外,需要重点查明被加固土中伊利石的含量。

大型的沉船、金属异物和大块石等障碍物可能导致搅拌设备的毁损,所以,事先要查明,并适当处理。因障碍物多存在于土层的上层,若搅拌施工前先行挖泥,可减少甚至不再需要进行障碍物的探查。

## 5 室内配合比试验

**5.0.2** 室内配合比试验应采用工程加固区的软土和海水,在进行土性和水质分析的基础上进行,这样,室内试验结果才有代表性,才能作为设计和施工的依据。

**5.0.6** 试验中,掺入的水泥按所定的水灰比预先制备成均匀的水泥浆,掺入土中,以保证水泥掺入软土中的均匀性。

## 6 设 计

### 6.1 一般规定

**6.1.4** 基床的作用是扩散应力,保证上部结构与拌和体均匀接触,厚度不应小于0.5m。为防止损坏拌和体,夯击能不能过大,100kJ/m<sup>2</sup>系天津港东突堤北侧码头工程的经验值。

**6.1.5** 拌和体近似于素混凝土,其结构分段不能过长。根据实际工程经验,一般为8m左右。拌和体的深度应随实际的土层逐渐变化,在厚度变化较大时,应设结构缝。

### 6.2 拌和体强度标准值确定

**6.2.1** 日本 CDM 研究会编写的《水泥系深层拌和法(CDM 工法)设计和施工手册》(以下简称“CDM 手册”)中采用拌和土 28d 的无侧限抗压强度为强度标准值。但实际情况表明,拌和土在 28d 后强度仍在继续增长,因此在我国天津港东突堤北侧码头工程中采用了 60d 的强度为设计强度标准值,在烟台港西港池二期工程中采用了 90d 的强度为设计强度标准值,均获得成功。实践证明,拌和土在 120d 后其强度仍在增长。各龄期强度的参考关系式为:

$$q_{u,90} = 1.20 \sim 1.33 q_{u,28}$$

$$q_{u,120} = 1.31 q_{u,60} = 1.57 \sim 1.74 q_{u,28}$$

注:式中符号下角标的数字表示龄期,单位为 d。

所以对施工期较长的工程,由于满载的时间较长,采用 120d 龄期的强度作为设计强度的标准值,能充分利用拌和土后期强度增长的潜力。

**6.2.2** 日本的“CDM 手册”中考虑多种因素对拌和体强度的影

响,对设计标准强度乘以折减系数后,再除以安全系数得到容许抗压强度,其表达式为:

$$\sigma_{ca} = \alpha \beta \lambda \gamma \frac{q_{uf}}{F_S} = \frac{1}{k} q_{uf}$$

式中  $\sigma_{ca}$ ——拌和土容许抗压强度;

$\alpha$ ——断面有效系数;

$\beta$ ——搭接可靠性系数,取 0.8~0.9;

$\lambda$ ——现场加固体的平均强度与室内加固土的平均强度之比;

$\gamma$ ——现场土的不均匀系数,约为 2/3;

$q_{uf}$ ——现场拌和土无侧限抗压强度;

$F_S$ ——安全系数,正常时  $F_S = 3$ ,地震时  $F_S = 2$ ;

$k$ ——综合安全系数。

$\alpha$  为断面有效系数,设计中使用加固断面作为有效断面求得应力,因而要以实际有效断面对拌和体抗压强度标准值进行修正; $\beta$  为搭接可靠度系数,搭接面的强度与加固土体强度之比为  $\beta$ 。 $\alpha \cdot \beta$  根据我国几个工程的经验取 0.9。 $\lambda$  为现场加固体的平均强度与室内加固土的平均强度之比,海上工程采用大型机械加固时多采用 1。 $\gamma$  为现场强度系数,即为设计标准强度与现场加固土强度之比,海上工程多为 2/3。综上所述, $\alpha \cdot \beta \cdot \lambda \cdot \gamma = 0.6$ 。因此本规程中采用的表达式为:

$$\sigma_{ca} = \kappa q_{uck} = 0.6 q_{uck}$$

其中 0.6 的系数是参考日本 CDM 研究会编写的《水泥系深层拌和法(CDM 工法)设计和施工手册》(以下简称“CDM 手册”)中  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\lambda$ 、 $\gamma$  4 个系数组合得出。由于时间和工程实例数量的限制,所采用的数值未经可靠度分析。

### 6.3 拌和体尺寸确定和工程量计算

**6.3.4** 目前国内尚无典型的壁式拌和体的工程实例。根据日本“CDM 手册”所列的资料,在实际工程中,短壁的深度  $D_s$  的最小值

为  $3m_0$ 。

**6.3.5 ~ 6.3.7** 由于搅拌机具搅拌头的直径不同,拌和桩搭接的宽度不同,因此,在形成设计尺寸的拌和体时,不同机具所实际完成的拌和体数量是不同的。为统一计算并保证按设计尺寸施工,本规程规定拌和体的计算长度与计算宽度以拌和桩的搭接交点连线计算。考虑到施工单位为完成设计的拌和体尺寸,其实际完成的拌和体数量大于上述的计算数量,故在计算工程数量和造价时将计算数量乘以适当的扩大系数,该系数约为 1.10。

#### 6.4 作用和作用效应组合

**6.4.2** 参照《重力式码头设计与施工规范》(JTJ 290—98)和《板桩码头设计与施工规范》(JTJ 292—98)。

#### 6.5 块式拌和体基础计算

**6.5.3.3** 在回填和堆载加固时,附加荷载为  $\Delta\sigma$ ,某一时刻固结度为  $U$ ,已发生固结作用部分的附加应力  $U\Delta\sigma$  已转化为有效应力并产生了相应的抗剪强度,该部分荷载产生的土压力应满足土的极限平衡条件,土压力按朗肯公式计算;未固结部分的附加应力  $(1-U)\Delta\sigma$  仍为超孔隙水压力,作用于挡土墙的压力强度等于竖向荷载强度。所以作用于挡土墙的力有三部分组成:土自重产生的土压力、附加荷载已固结部分产生的土压力和附加荷载未固结部分产生的土压力。

**6.5.3.4** 当拌和体的稳定达到极限状态,发生一定的位移使墙背产生主动土压力时,其位移量还不足以使墙前产生被动土压力,这时墙前土压力应介于静止土压力与被动土压力之间,因此,如采用被动土压力应对计算值进行折减是合适的,按《重力式码头设计与施工规范》(JTJ 290—98)的规定取用计算值的 30%。 $K_p \sim \varphi$ 、 $0.5K_p \sim \varphi$ 、 $0.3K_p \sim \varphi$  和静止土压力系数  $K_0$  的关系见图 6.5.3,取  $K_0 = 1 - \sin\varphi'$ 。 $\varphi'$  为土的有效内摩擦角。

黏土的内摩擦角一般在  $10^\circ \sim 20^\circ$ ;在此范围内,忽略内聚力  $c$

的影响,可见  $0.3K_p < K_0$ ,因此,如墙前土压力取用被动土压力的 30% 取值偏小,是不合理的; $0.5K_p \geq K_0$ ,据现有的资料,日本的相关试验表明,墙前土压力为被动土压力计算值的 40% ~ 60%,所以,可以认为墙前的土压力取计算值的 50% 以上。

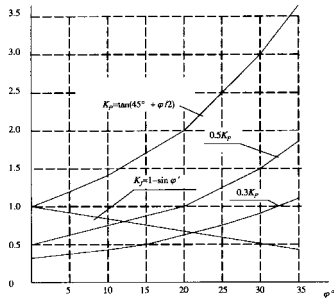


图 6.5.3

**6.5.4.1、6.5.4.2** 关于抗滑和抗倾稳定性验算的规定说明如下:

(1) 由于拌和体基础属重力式结构,计算内容及荷载效应组合与重力式码头大致相同,故计算公式与重力式码头的计算公式相同,仅根据拌和体受力的特点对被动土压力和波浪浮托力做了折减,对滑动和倾覆抗力的计算做了调整。

(2) 结构重要性系数、稳定验算时作用分项系数和作用效应组合系数均与《重力式码头设计与施工规范》(JTJ 290—98)取值基本相同。

(3) 拌和体的滑动破坏有滑动面在着底土层中和滑动面在拌



和体内两种破坏情况,如拌和体的强度与着底土层的抗剪强度相比较弱,则滑动面发生在拌和体内,滑动的抗力应按拌和体的抗剪强度计算,式(6.5.4-3)即表示此种情况;如拌和体的强度足够,则拌和体的滑动破坏的滑动面在着底土层中,滑动抗力实际上是拌和体的着底土层的水平剪切强度破坏,最大摩擦力即为该层土的最大水平抗剪能力,式(6.5.4-2)和式(6.5.4-5)即表示此种情况。

**6.5.4.5** 据现有的有关资料,现行的日本“CDM手册”中设计方法对前趾应力计算结果偏大,实际上拌和体前趾处的地基应力最大,使该处的地基发生局部屈服,地基变形引起地基应力重新分布。但限于目前的研究水平,在现阶段暂仍按直线分布计算,控制合力作用点的位置。

**6.5.5.2~6.5.5.4** 拌和体的强度计算是根据《港口工程地基规范》(JTJ 250—98)(以下简称《地基规范》)第7.10.7条和日本“CDM手册”的有关内容校准转化而建立的以可靠度为基础的分项系数法表达式。其中 $\sigma_{\max}$ 是地基应力的最大值,是由上部结构及设备自重、土压力、剩余水压力等的标准值共同作用下求得的。为转化成设计值,只好采用了综合分项系数 $\gamma_c$ ,并取值为1.35。《地基规范》第7.10.7条中的抗力分项系数 $\gamma_R=5$ 实际上是取用了日本“CDM手册”中的综合安全系数,其中包含 $\alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \lambda$ 及抗力分项系数的综合因素,故要进行以下分解:在本规程第

6.2.2条已取 $\alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \lambda \approx 0.6$ ,则 $\gamma_R = \frac{5 \times 0.6}{1.35} \approx 2.2$ 。

**6.5.6** 由于拌和体的刚度大大高于周围的未加固土,表现为软岩的特性,其压缩变形很小,故不计拌和体自身的压缩沉降量。

**6.5.7** 目前,国内采用水下深层水泥搅拌法加固软土地基建造重立式码头的工程只有天津港东突堤北侧码头工程和烟台西港池二期工程等两个工程实例。在这两项工程中,烟台港为6度地震烈度区,不考虑地震的影响,未做地震情况下的稳定计算;仅天津港东突堤北侧码头按7度地震烈度进行了计算,且是按照《日本港口设施技术标准》进行地震情况下的稳定计算。所以现在还没有采

用我国现行规范进行抗震设计的实例。考虑到要将深层水泥拌和体的设计纳入现行的规范体系,且从结构型式的分类上,深层水泥拌和体仍属于重力式的范围,因此,在本规程中采用现行的《水运工程抗震设计规范》(JTJ 225—98)中的方法计算地震时的稳定。

## 6.6 壁式拌和体基础计算

**6.6.1~6.6.3** 在块式拌和体基础的计算内容上增加了壁间未加固土挤出的验算。为防止壁间土的挤出,也有将拌和体前部全部采用长壁形成局部块式的型式,天津港东突堤南侧码头挡土墙基础即采用该型式。

据有关研究资料介绍,拌和体基础发生破坏时,长壁间未加固土依靠其与长壁间的粘聚力,基本上是与拌和体成为一体发生变形。此外,作用于壁间未加固土的主动土压力和被动土压力被传递给拌和体由拌和体承受。所以,条文中抗力计算考虑了长壁间未加固土的作用。

## 7 施 工

### 7.3 施工设备

**7.3.1** 搅拌机是专用成套设备中的关键设备,有单轴、双轴、四轴、六轴、八轴等之分,水运工程的水下深层水泥搅拌法加固软土地基选用双轴以上的设备,不仅施工速度快,而且有利于拌和土桩的搭接,保证拌和体的整体性。

**7.3.6** 为了保证搅拌体的均匀性,保证其抗压强度,要求拌和土要充分搅拌,使其内部不至于产生夹层或过多的裂隙。根据施工经验,每米土范围内的切土次数不少于 400 次。

## 8 检 验

### 8.1 施工过程中的检验

**8.1.2** 检验的最少数量是根据以往工程经验确定的。

### 8.2 加固后的检验

**8.2.2** 所定数据均为根据工程经验而定。

### 8.3 芯样的检验和试验

**8.3.1** 水泥拌和体的取芯率大于或等于 80%,说明拌和体的连续性较好,这是根据工程经验并参照岩体按岩石质量指标 RQD (Rock Quality Designation)确定的,当 RQD 为 75%~90%时,岩体分类为“好”,RQD 的定义见现行国家标准《岩土工程基本术语标准》(GB/T 50279—98)。

**8.3.4** 现场拌和土强度的平均值一般可以达到设计要求,关键是控制强度均匀性,强度均匀性体现在变异系数的大小。根据烟台港 17 个钻孔 289 个试样的统计,17 个孔的平均变异系数为 21.8%,最大值为 36.7%,最小值为 13.4%。在统计样品中,有的钻孔有 1~2m 数据有不连续现象,说明实际变异系数比统计的要大一些。根据土的指标统计变异系数的控制值为 0.3,考虑到影响水泥拌和土强度的因素较多,尤其顶部(自重压力小)强度往往偏低,因此现场水泥搅拌体的强度变异系数以不大于 0.35 较为合理。