



联锁块软体排深水沉排受力的 线性有限元分析

袁立莎, 马燕

(中交一航院有限公司, 天津 300222)

摘要: 长江南京以下12.5 m深水航道一期工程在狼山沙左缘的铺排工程中, 遇到流速2 m/s及水深达30 m的沉排条件, 使排体受力十分复杂。设计中通过对软体排沉排过程的受力状态进行有限元分析, 提出了排体所受水流力的大小与移船距离的相对关系; 通过分析深水铺排施工要点, 优化排体设计方案。

关键词: 软体排排体拉力; 移船距离; 水流力; 线性有限元分析

中图分类号: U 617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)03-0011-04

Analysis of sinking force of concrete interlocking blocks in deepwater by linear finite element

YUAN Li-sha, MA Yan

(CCCC First Harbor Consultant Co., Ltd., Tianjin 300222, China)

Abstract: The placing of concrete interlocking blocks at the left edge of Langshansha in the 12.5 m deepwater channel downstream Nanjing of the Yangtze River phase I project encountered a flow rate of 2 m/s and water depth of up to 30 m, which made the acting force of concrete interlocking blocks quite complicated. Based on the finite element analysis of the acting force on the concrete interlocking blocks, we point out the relationship between the current force and the moving distance of the ship. Based on the analysis of the key points of deepwater construction, we optimization the design scheme.

Key words: pulling force of concrete interlocking blocks; sistance of moving ship; flow force; linear finite element

长江南京以下深水航道工程正在按照“整体规划、分步实施、自下而上、先通后畅”的思路, 积极稳妥地推进12.5 m深水航道的建设。通过长江南京以下12.5 m深水航道一期工程项目实施, 将使长江口12.5 m深水航道向上延伸, 加速长江深水航道的贯通。

本工程航道整治建筑物中的通州沙整治建筑物包括通州沙潜堤、狼山沙潜堤、狼山沙尾部潜堤及丁坝(图1)。潜堤和丁坝均采用软体排护底结构以防止水流冲刷, 软体排分为砂肋软体排和混凝土联锁块软体排。其中堤身排体为砂肋软体排,

砂肋为长管状, 直径为0.3 m, 横向间距为1.0 m, 管内充填砂。余排采用联锁块软体排, 混凝土联锁块尺寸为480 mm × 480 mm × 120 mm; 考虑排体边缘受水流影响较大, 排体边缘5 m范围内采用尺寸为480 mm × 480 mm × 200 mm的联锁块以增加压重。

通州沙整治建筑物护底铺排面积达约700万m², 其中水深在20~30 m的排体占约30%, 因此进行深水铺排时的排体受力分析是非常必要的。由于护滩面积大, 部分单块排体长达350 m以上, 铺设施工需历时2 d, 要经过4次涨、落潮, 因此分析水流

收稿日期: 2012-11-16

作者简介: 袁立莎(1983—), 女, 工程师, 主要从事港口航道结构设计工作。

力对排体的影响也是非常必要的。

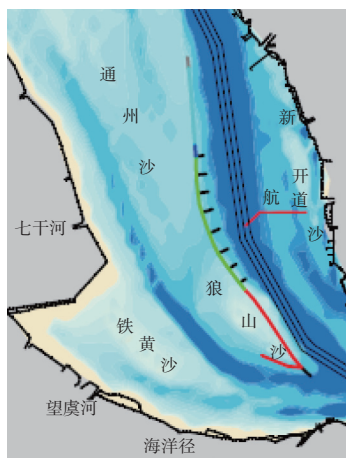


图1 工程示意图

1 本工程铺排施工条件分析

1.1 潮汐特点

通州沙河段涨落潮历时不对称, 涨潮历时短, 落潮历时长; 潮差沿程递减, 落潮历时沿程递增, 涨潮历时沿程递减。该潮汐特点使铺排船平潮作业时间很少, 由于单块排体铺设时间长, 形成排体受力条件恶化。

1.2 水深、流速条件

狼山沙左缘余排铺设范围内, 高潮时最大水深超过30 m。现场实测施工区垂线平均最大流速达到2 m/s。水深过深以及水流流速较大使排体受力条件复杂。

1.3 单延米排体自重大

排体每平方米布置了4块480 mm × 480 mm × 120 mm的混凝土连锁块, 质量达到255 kg/m², 自重加大对软体排排体强度要求较高。

2 软体排铺设过程中的受力状态分析

2.1 过程1: 排体垂直状态

铺排开始, 软体排沿翻板滑出甲板, 呈垂直河床入水状态, 排体受垂直向下荷载作用(图2)。

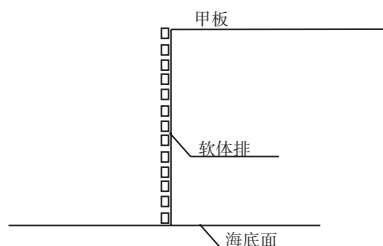


图2 排体受力状态1

2.2 过程2: 排体呈悬链线状态

悬链线(Catenary)是一种曲线, 它的形状因与悬在两端的绳子因均匀引力作用下掉下来之形似而得名。适当选择坐标系后, 悬链线的方程是一个双曲余弦函数(图3)。其数学表达式为:

$$y = a \cosh(x/a) \quad (1)$$

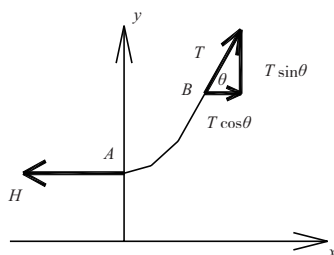


图3 双曲余弦函数曲线

铺排船沿铺设方向向前移动, 使软体排于水中呈半悬链线状态, 结合工程实际, 软体排沉排轨迹公式为:

$$y = a [\cosh(x/a) - 1] \quad (2)$$

过程1→过程2, 形成了铺排的全过程^[1]。

2.3 软体排受力计算外荷载条件假设

1) 混凝土连锁块按照均布荷载施加于排布上。

2) 排体考虑水流力作用, 根据潜堤轴线与流向关系, 水流力作用方向与排体间按15°夹角考虑。丁坝排体沉排时为迎流铺设, 因此考虑水流力正向作用。

3) 排体沉放是在一个很复杂的环境条件下进行的, 由于很多荷载无法计算精准^[2](如: 沉排过程中的卷排筒刹车所产生的附加动力荷载, 水流受阻碍而形成的复杂流场等、波浪作用力、排体弹性变形等), 故参照JTJ 239—2005《水运土工合成材料应用技术规范》中9.2.4条, 软体排抗拉安全系数在满足施工期和使用期要求的情况下取为3.0。

2.4 排体有限元受力分析与比较

在实际铺排施工过程中, 软体排排体最不利的受力位置位于翻板底口^[2]。计算主要考虑水流力、水下连锁块重和移船距离对排体受力的影响。

应用国际通用有限元计算软件Algor对各种工况进行模型计算分析。模型按实际计算条件建

立。计算模型的边界条件考虑为排体两端释放转动约束, 限制平动约束。

2.4.1 计算采用的基本条件

1) 设计高水位2.67 m; 施工铺排船甲板到水面高度2 m^[3]; 施工铺排船翻板角度40°^[4]; 施工铺排船翻板长度12 m^[4]; 断面垂线平均流速2 m/s; 根据施工铺排船的规模, 确定单块排体宽度为38.5 m; 根据软体排不同位置连锁块的不同厚度, 计算质量采用折合平均厚度为131 mm; 每平方米布置4块480 mm × 480 mm连锁块, 故块体占排布面积92.16%; 混凝土连锁块水下密度取1.3 t/m³。

2) 水流量计算公式:

$$F = \frac{A\rho_w v^2 K}{2} \quad (3)$$

式中: K 为挡水形状系数, 矩形取1.0; A 为有效受力面积; ρ_w 为水的密度, 取1.025 t/m³。

2.4.2 潜堤铺排移船距离与排体拉力的关系

计算数据显示, 在相同水深条件下, 移船距离不同, 会使排体受力不同, 其中水流量产生的排体拉力所占比例也不同, 下面列出当铺排水深为30 m时, 移船距离为20 m (图4,5), 35 m (图6,7), 62 m (图8,9)时, 有限元分析单块排体所受总拉力(表1)。此组计算是根据潜堤轴线位置, 取水流量与排体夹角为15°。

2.4.3 丁坝铺排移船距离与排体拉力的关系分析

根据丁坝位置, 计算中考虑水流量正向作用。下面列出当水深为20 m时, 设移船距离为

表1 水深30 m时不同移船距离排体所受拉力计算值

移船距离/ m	排体最大拉力/ kN	水流量产生拉力/ kN	水流量作用所占 比例/%
20	2 498	190	7.60
35	3 255	34	1.04
62	5 954	0	0.00

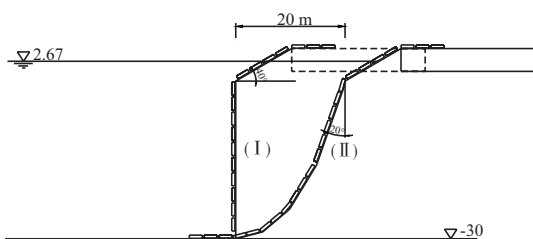


图4 移船20 m沉排示意图

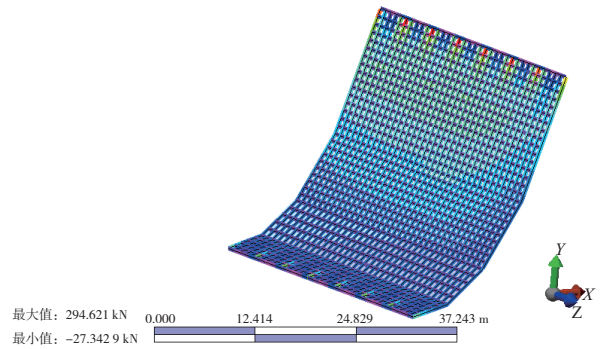


图5 移船20 m有限元受力分析

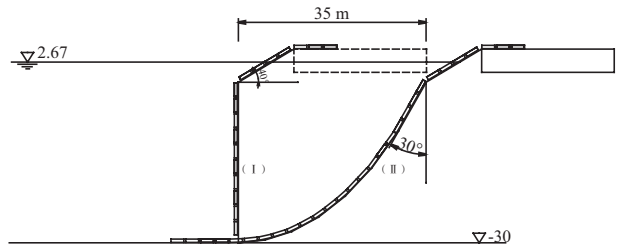


图6 移船35 m沉排示意图

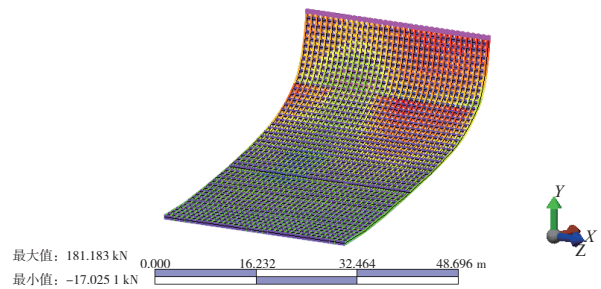


图7 移船35 m有限元受力分析

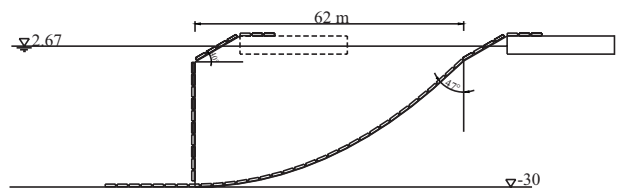


图8 移船62 m沉排示意图

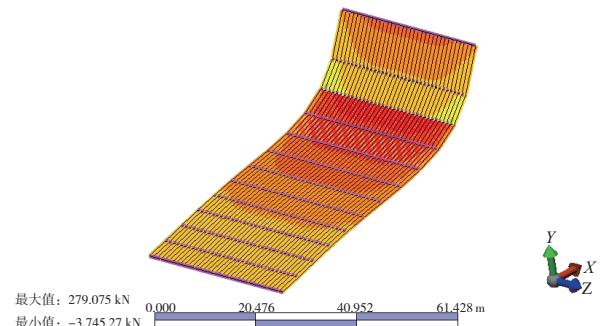


图9 移船62 m有限元受力分析

17 m (图10,11), 30 m (图12,13), 50 m (图14,15)时, 有限元分析单块排体所受总拉力数值(表2)。

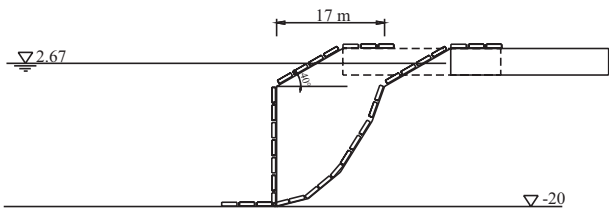


图10 移船17 m沉排示意图

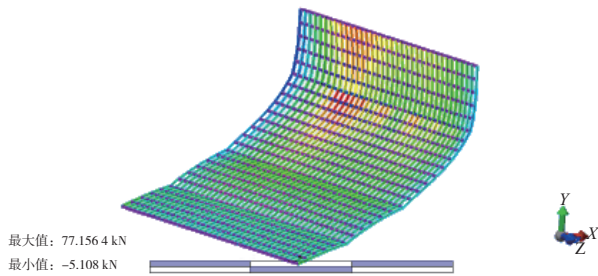


图11 移船17 m有限元受力分析

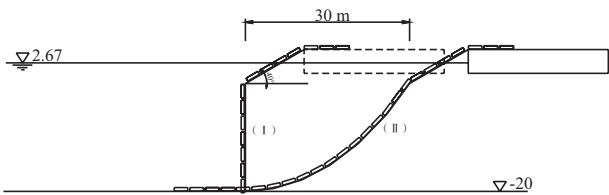


图12 移船30 m沉排示意图

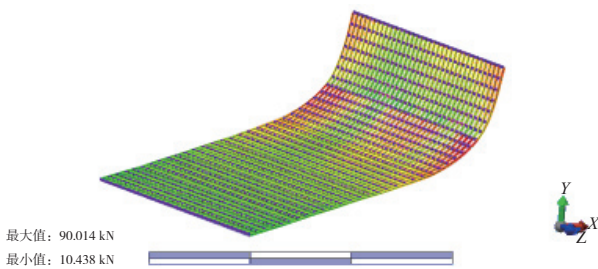


图13 移船30 m有限元受力分析

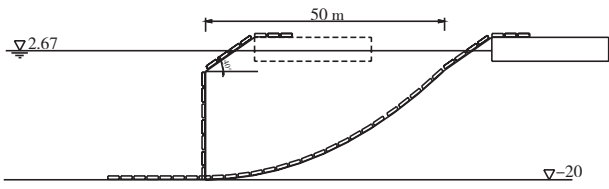


图14 移船50 m沉排示意图

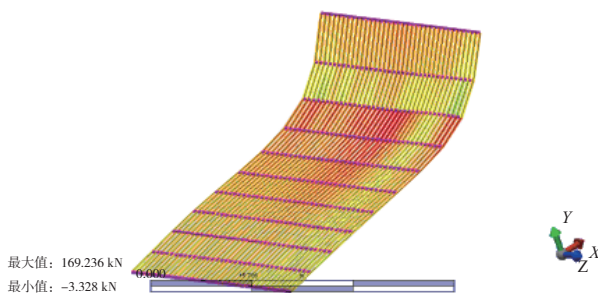


图15 移船50 m有限元受力分析

表2 水深20 m时不同移船距离排体所受拉力计算值

移船距离/ m	排体最大 拉力/kN	水动力产生 拉力/kN	水动力作用 所占比例/%
17	1 900	242	12.73
30	2 720	57	2.11
50	5 230	0	0.00

3 结语

1) 移船距离对排体受力的影响分析。

根据潜堤在水深30 m和丁坝在水深20 m条件下，采用半悬链线型有限元法分别计算的不同移船距离的软体排受力情况，得出以下结论：随着移船距离的增大，排体所受拉力基本呈线性增长（图16）。

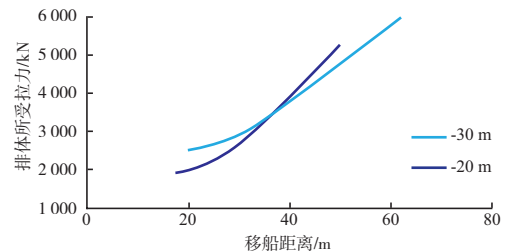


图16 移船距离与拉力值关系

因此，在沉排过程中，应严格控制铺排船的移船距离，避免因单次移船距离过大，使排体加筋带受力过大，造成断排的情况。

2) 水动力对排体受力的影响分析。

水动力属于非常复杂的外荷载，当施工区域水深、流急时，就必须考虑水动力对排体整体受力的影响。目前计算了2种水深条件下，3种移船距离的水动力对排体受力的影响，从图17中可以直观地看出，随着移船距离的增加，水动力对排布拉力的影响逐渐减少，因此当移船距离大于水深时，水流力的影响很小，因此对于浅水区进行铺排施工时的验算，可忽略水动力作用。

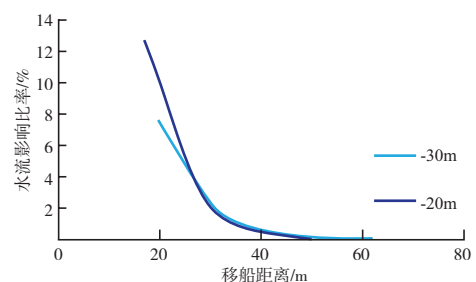


图17 排体拉力值中水动力影响所占的比率

(下转第55页)