



利用摩擦系数反算法设定深水铺排船 铺排系统滑板最佳倾斜角度

曲俐俐¹, 冯海暴^{1,2,3}, 徐加峰¹

(1. 中交一航局第二工程有限公司, 山东 青岛 266071; 2. 中国海洋大学工程学院, 山东 青岛 266100;
3. 山东大学, 山东 济南 250101)

摘要: 铺排船应用于航道整治工程中, 滑板最佳倾角的设定是铺排船设计过程中一项重要的指标, 很多工程施工通过经验确定, 以排体缓缓下滑作为锁定滑板倾角的依据, 特殊情况下无法准确判断该状态。“半潜1”船舶进行铺排改造后, 通过多次现场试验验证得出滑板与联锁片的摩擦系数范围为0.348~0.380; 设定边界条件后, 利用摩擦系数反算法及反求技术得出滑板最佳倾角为27.83°~30.38°, 在该范围内可实现甲板布置2 m, 滑板布置单排联锁片顺利溜放, 对滚筒拉力达到最佳。

关键词: 铺排船; 滑板; 反算法; 单变量求解; 摩擦系数; 最佳倾角

中图分类号: U 674.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)01-0010-04

Setting best angle for placing system's skateboard of deepwater placing ship by friction coefficient back calculation

QU Li-li¹, FENG Hai-bao^{1,2}, XU Jia-feng¹

(1. The Second Engineering Co., Ltd. of CCCC First Harbor Engineering Co., Ltd., Qingdao 266071, China;

2. Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 3. Shandong University, Jinan 250101, China)

Abstract: For the placing ship used in the waterway project, the setting of the best angle of the skateboard is an important index in the design process. A lot of construction is determined by the experience, but we can not judge the state under special conditions. After renovation of the “semi-submersible ship 1”, we get the friction coefficient range between the skateboard and interlocking pieces through many field tests, which is from 0.348 to 0.380. After setting the boundary conditions, we use the back calculation of friction coefficient and reverse engineering and obtain the skateboard best angle, i.e. 27.83°~30.38°. Within this range, we can achieve the deck disposition of 2 m, realize smooth humping of skateboards when arranged in a single row of interlocking sheet, and obtain the best drum tension.

Key words: placing ship; skateboard; back calculation; goal seek; friction coefficient; best angle

铺排船有自航和非自航两种, 主要任务是在航道整治中对软质基床进行护底铺排。中交一航局最早的铺排船是“青铺1号”, 用于沿海区域联锁片排体铺设, 是结合长江口航道整治中的工况建造的非自航工程船舶。铺排系统中滑板的结构

和倾斜角度设定都是铺排作业的核心部分, 滑板倾斜角度设定的是否合理直接影响铺排溜放的效率和结果。滑板角度倾斜过大或过小, 铺排作业时都会对滑板结构产生过大的荷载, 所以铺排船滑板最佳倾斜角度的设定关系到整个铺排系统的

收稿日期: 2013-04-19

作者简介: 曲俐俐(1967—), 男, 高级工程师, 主要从事船行波、港口工程结构、力学研究工作。

运行。本文结合长江南京以下12.5 m深水航道一期工程整治建筑物工程, 通州沙Ⅱ标段位于通州沙—狼山沙过渡段以及狼山沙区域的工况, 进行深水铺排船的建造, 同时通过现场试验确定铺排船排体铺设系统中的滑板最佳倾角, 实现了滑板倾角设定的有据可循, 提高排体铺施工效率。

1 工程概况

长江南京以下12.5 m深水航道一期工程整治建筑物工程, 位于长江太仓至南通间的通州沙和白茆沙水道。通州沙Ⅱ标段位于通州沙—狼山沙过渡段以及狼山沙区域。通州沙Ⅱ标段施工区域距离上游江苏省南京市约250 km, 距离下游上海市约80 km, 距离左岸江苏省南通市江岸约5 km, 距离右岸江苏苏州常熟市约8 km, 本标段铺排作业主要工程数量约为343万 m^2 , 统计最大流速为

2 m/s, 工程区域属于中等强度潮汐河口, 平均潮差约为2.5 m, 最大潮差4.0 m以上, 高潮期最大水深为35 m, 通州沙的位置见图1。

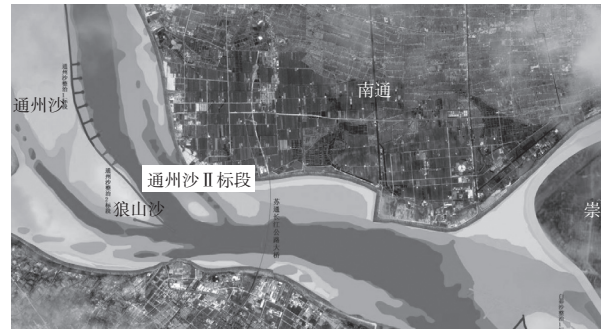


图1 通州沙工程位置

护底施工顺序从T14+000处分别向下游和上游施工, T17+400向T15+509方向施工, 丁坝由坝头向坝根施工, 护底施工顺序及分幅形象图见图2。

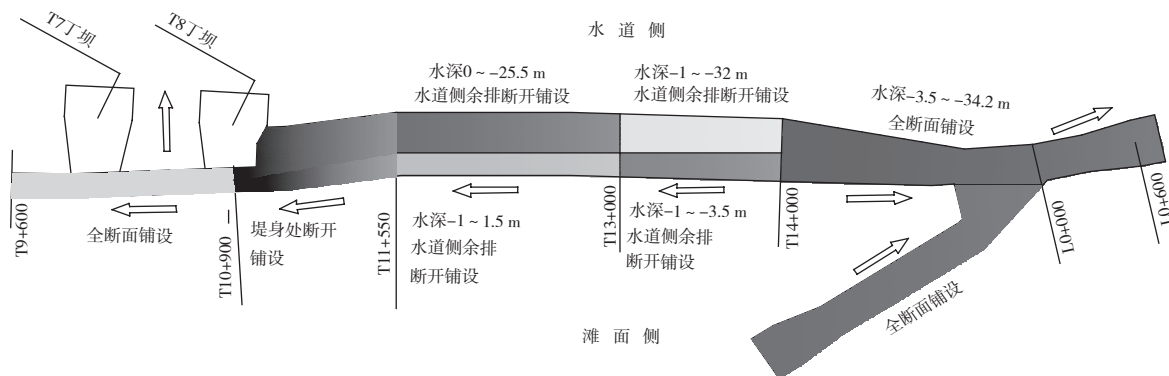


图2 护底施工顺序及分幅形象图

2 滑板临界倾角试验及摩擦系数确定

2.1 船型与船舶主尺寸

滑板摩擦系数试验利用摩擦系数反算法和反求技术^[1]确定最佳倾角, 使用的船舶是一航局二公司依托该工程新改造的35 m深水铺排船“半潜驳1”, 为非自航工程船^[2]。

船长69.15 m, 总宽20.8 m, 型深3.88 m, 空载艏吃水0.9 m, 船艉吃水2.1 m; 满载艏吃水2.6 m, 船艉吃水3.0 m; 主甲板有效面积57 m \times 20.8 m, 滑板宽度5.5 m, 铺排施工有效作业宽度41.35 m。

2.2 混凝土连锁软体排型号及尺寸

混凝土连锁软体排分为3种, 排头连锁片型号为480 mm \times 480 mm \times 200 mm, 其他两种

分别为480 mm \times 480 mm \times 160 mm和480 mm \times 480 mm \times 120 mm型号, 每片4 m (宽) \times 5 m (长), 每排连锁片由9片组成, 尺寸为38.5 m (长) \times 5 m (宽)。

2.3 临界倾角试验

2.3.1 临界判定条件

铺排系统滑板作为一种排体溜放和引导的装置^[3], 利用摩擦系数反算法和反求技术计算滑板最佳倾角, 需要测试排体与铺排船滑板之间的摩擦系数。试验采用以下步骤: 滑板初始为水平状态, 将单排5 m混凝土连锁软体排放置滑板上, 通过船舶吊索控制装置使滑板开始缓缓倾斜^[4], 倾放速度控制在每分钟出绳0.5 m, 间歇式进行, 混凝

土软体排后部设置拉力装置，以连锁片尾部测力装置拉力变化作为临界判定，此时减小角度时拉力无变化，增加0.1°倾角时出现明显变化，即为临界倾角的判定标准。

2.3.2 试验测试

利用“半潜1”深水铺排船分别对干排布和湿排布组成的连锁片进行临界倾角测试。

对于干排布和湿排布分别进行了5次临界下滑角度测试（表1）。

表1 “半潜1”滑板排体溜放临界角度测试

测试次数	干排布		湿排布	
	临界角度/(°)	摩擦系数	临界角度/(°)	摩擦系数
第1次	20.1	0.366	20.3	0.370
第2次	20.3	0.370	20.8	0.380
第3次	20.1	0.366	20.4	0.372
第4次	19.2	0.348	19.8	0.360
第5次	20.0	0.364	20.1	0.366
平均值	19.94	0.363	20.28	0.369

注：测试环境，天气晴，风为微风。

2.3.3 小结

通过对半潜驳滑板临界角度测试试验，结合表1试验数据，分析得出连锁片下滑临界角度与排布的干湿存在一定的关系，但影响不大。滑板下滑临界角度在干排布时介于19.2°~20.3°，平均角度为19.94°，对应的摩擦系数介于0.348~0.37，平均摩擦系数为0.363。滑板下滑临界角度在湿润排布时介于19.8°~20.8°，平均角度为20.28°，对应的摩擦系数介于0.36~0.38°，平均摩擦系数为0.369（图3）。

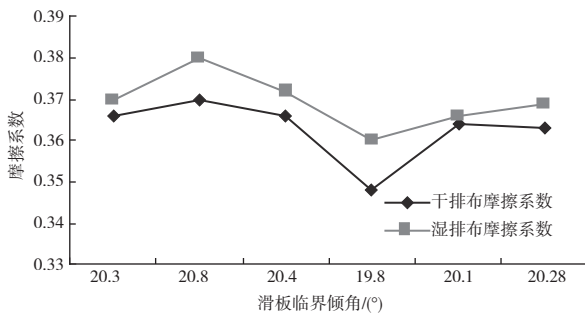


图3 铺排船滑板临界角度与摩擦系数关系

由于排布的干和湿对临界倾角影响不大，故不考虑其他因素，取最大区间作为控制临界角度，则滑板取临界倾角为19.2°~20.8°，临界溜放

摩擦系数为0.348~0.380，作为滑板自重溜放摩擦角度和系数控制值。

3 摩擦系数反算法设定滑板最佳倾角

摩擦系数的确定通过试验获得，但是在理论上需要有支撑，通过试验已求摩擦系数进行核对，核对摩擦系数的设置是否合理。

1) 连锁片布置原则。

在实际施工时，铺排船甲板上布设2 m连锁片（在下放2 m时，可以不起吊滑板，直接将连锁片在滑板上铺设），滑板上布设5 m连锁片，单排连锁片干质量63 t，全部浸水后的浮力 $F=250$ kN；滑板倾斜 θ 角后，部分连锁片浸水后的状态下，重力为 $G_1=G-(5.5-\frac{1.6}{\sin\theta}) \times 25/5$ （图4）。

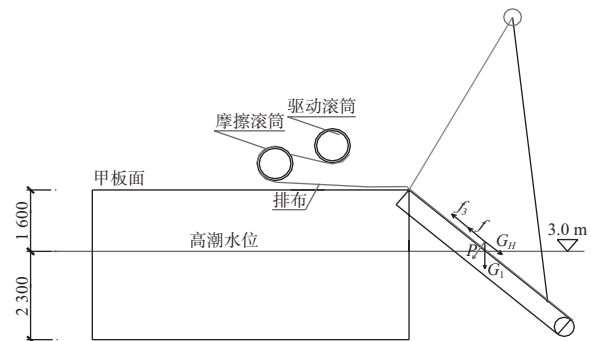


图4 连锁片溜放受力示意图

2) 滑板临界溜放摩擦系数为0.348~0.380。

3) 临界倾角计算。

连锁片对滑板的压力

$$P = G_1 \cos\theta \tag{1}$$

连锁片和滑板产生的摩擦力

$$f = P\mu \tag{2}$$

连锁片和滑板产生的下滑力

$$G_H = G_1 \sin\theta \tag{3}$$

甲板和连锁片摩擦力为

$$f_3 = 2G\mu/5 \tag{4}$$

下滑力克服摩擦力对滚筒产生拉力

$$F_0 = G_H - f - f_3 \tag{5}$$

滑板和连锁片摩擦系数 μ 取0.348~0.380。

4) 连锁片下滑受力模型。

连锁片需要在滑板上靠自重下滑入水，土工

材料缠绕在船舶滚筒上, 在联锁片下水过程中, 对滚筒产生的拉力转化为摩擦力 $f_2=F_0\mu$ 。受力模型见图5。

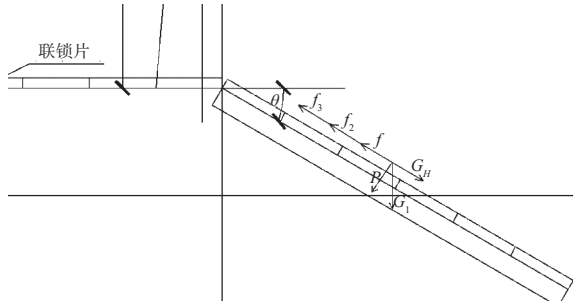


图5 联锁片自重下滑受力模型

下滑力

$$G_H = G_1 \sin \theta \quad (6)$$

联锁片和滑板产生的摩擦力

$$f = P\mu \quad (7)$$

下滑力克服摩擦力对滚筒产生的拉力

$$F_0 = G_H - f - f_3 \quad (8)$$

滚筒产生的拉力转化为摩擦力

$$f_2 = (G_H - f - f_3) \mu \quad (9)$$

5) 滑板倾斜角度反算法。

如联锁片实现下滑需要满足方程 $G_H > f_2 + f$, 当利用方程 $G_H - (f_2 + f) = 0$ 时为滑板最佳倾角。滑板最佳倾角单变量求解参数见表3。

表3 滑板倾斜角度反算法求解参数

数值	滑板最佳倾角 $\theta/(^\circ)$	联锁片干重力 G/kN	铺排船干弦/m	浸水后联锁片总重 G_1/kN	下滑力 G_H/kN	联锁片对滑板压力 P/kN	滑板摩擦系数	产生的摩擦力 f/kN	滚筒压力 F_0/kN	甲板摩擦力 f_3/kN	单变量方程求解
最小值	27.83	630	1.6	551.4	257.4	48.76	0.348	16.97	0.000 1	8.77	闭合
最大值	30.38	630	1.6	538.2	272.2	46.43	0.380	17.64	-0.000 8	9.58	闭合

6) 单变量求解滑板倾角 θ 。

通过摩擦系数反算法进行单变量求解, 甲板上放置2 m联锁片, 滑板上满铺联锁片, 滑板(甲板)和联锁片摩擦系数 μ 取0.348~0.380; 单变量求解滑板最佳倾角 θ 为27.83°~30.38°时, 可实现联锁片顺利溜放, 并在铺排作业对滚筒压力值可控制在最佳。为留有一定的余量, 在甲板上布置联锁片适当放大, 考虑滑板倾角时也可以适当放大, 但应相对应的考虑加大铺排系统结构的设计参数。

4 结论

铺排船最关键的部位是铺排系统^[5], 本文依托长江南京以下12.5 m深水航道一期工程中的铺排作业工况, 进行了滑板倾斜角度的临界试验, 并对临界判定条件进行设定, 通过试验得出混凝土联锁片的排布干、湿与对滑板的溜放临界倾角影响不大, 试验结果显示控制滑板最大区间临界角度为19.2°~20.8°, 临界溜放摩擦系数为0.348~0.380。

通过试验得出的摩擦系数, 设定铺排船甲板和滑板上分别布置2 m和5 m联锁片, 利用摩擦系数反算法和反求技术, 进行单变量求解滑板最佳

倾角 θ 为27.83°~30.38°, 滑板倾角设定位于该区间时, 可实现联锁片顺利溜放, 并在铺排作业对滚筒压力值可控制在最佳。为留有一定的余量, 如在甲板上布置数量加大时, 可根据本文中的计算过程, 利用反算法进行单变量求解计算核对, 确保铺排系统结构的设计参数满足要求, 并使得滚筒受力最佳, 该试验数据和反算法单变量求解计算属于试验验证结果, 具有一定的参考价值, 可为类似深水铺排船舶改造时滑板倾角设定及滚筒受力计算提供参考数据。

参考文献:

- [1] 高宽, 李光耀, 韩旭. 一种板料成型摩擦系数的反求技术[J]. 机械制造, 2006(6): 12-14.
- [2] 忻亚哪. 某铺排船改装设计的思路和方法[J]. 中国修船, 2004(3): 23-24.
- [3] 顾敏童, 高捷, 谭家华. 软体排铺设工程船介绍[J]. 造船技术, 2000(5): 34-36.
- [4] 曹根祥, 丁捍东. 长江口深水航道整治工程护底软体排施工成套工艺及装备的开发[J]. 水运工程, 2006(12): 68-73.
- [5] 钱耀, 孙钦扬. 铺排船铺排系统装备设计的思路与方法[J]. 中国水运, 2009(10): 14-16.

(本文编辑 武亚庆)