



D型软体排沉排施工中缩撕断排机理

肖庆华, 潘美元, 雷国平, 黄召彪
(长江航道规划设计研究院, 湖北 武汉 430011)

摘要: 以长江中游周天河段天星洲高滩守护工程为例, 描述在复杂水流条件下D型软体排沉排施工中的缩撕断排现象, 综合分析缩撕断排现象的不确定因素, 并从受力角度深入探讨缩撕断排的机理, 为复杂水流条件下软体排的设计和沉排施工提供指导。

关键词: D型软体排; 缩撕断排; 机理分析

中图分类号: U 655.54

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)01-0200-04

Mechanism of shrinkage, tearing, breakage of type D flexible mattress in mattress sinking construction

XIAO Qing-hua, PAN Mei-yuan, LEI Guo-ping, HUANG Zhao-biao

(Changjiang Waterway Planning, Design and Research Institute, Wuhan 430011, China)

Abstract: Taking Tianxingzhou coast protecting project implemented at the Zhoutian reach of middle reaches of the Yangtze River, the paper describes the shrinkage, tearing and breakage phenomenon of type D flexible mattress in mattress sinking construction under complex flow condition, analyzes uncertain factors of the shrinkage, tearing and breakage phenomenon, and probes into the mechanism of the above-said phenomena from the angle of force loaded. The result provides a guidance for the design of flexible mattress and mattress sinking construction under complex flow condition.

Keywords: type D flexible mattress; shrinkage, tearing, breakage; mechanism analysis

长江中游航道整治工程的护滩(底)和护岸工程中,常采用软体排进行水下护底,保护工程区域河床泥沙免受水流的淘刷,从而确保整治建筑物的稳定。由于D型软体排具有整体性较好、适应河床变形、施工方便、价格较低等优点,在长江中游航道整治工程中得到了广泛的应用,并取得了良好的整治效果。但在水深流急、水流紊乱区域,D型软体排在垂直水流方向沉排施工中,时常出现排体向下游缩移导致排体的实际有效覆盖宽度达不到设计覆盖宽度,排体之间的搭接宽度不足或该护底区域出现空缺,甚至出现上游侧水下排布上下游侧受力不均匀扭曲或褶皱后排布

撕断等现象。D型软体排在沉排施工中的缩撕断排现象,不仅影响施工进度、造成了一定的经济损失,而且直接影响工程的整体稳定。

基于长江中游周天河段天星洲高滩守护工程D型软体排沉排施工中缩撕断排现象,对复杂水流条件下D型软体排沉排中缩撕断排现象进行机理分析。

1 软体排设计与施工

长江中游周天河段天星洲高滩守护工程与下游已建高滩守护工程联合作用,以稳定主航道左边界,控制过渡段主流的频繁摆动引起航道条件的不

稳定。在天星洲高滩守护工程末端沉D型软体排施工过程中,出现了D型软体排撕断缩排的现象。

1.1 缩撕断排区域设计条件

天星洲高滩守护工程下游与已建高滩守护工程衔接,衔接处的天然岸线冲刷凹陷形成人为矾头,缩撕断排区域表面流速为1.6~2.14 m/s,流态紊乱,近岸侧水下地形较陡、局部坡比达到

1:1.5,最深水深达23 m左右,采用D型软体排和抛石压载进行水下护底^[1]。

1.2 构件设计

D型软体排采用小型矩形混凝土块作压载体,压载体之间缝隙较大。其结构由排垫和混凝土压载体两大部分组成,单块规格宽40 m^[1]。主要材料技术指标见表1。

表1 D型软体排主要材料技术指标

名称	规格	单位质量	抗拉强度		等效孔径/mm
			纵向 \geq	横向 \geq	
聚丙烯编织布	14×15(根×in) ²	300 g/m ²	3 400 N/5 cm	2 800 N/5 cm	0.12
聚丙烯加筋条	宽7 cm	80 g/m	20 000 N/根		
长丝系结条	宽1.2 cm	5.8 g/m	1 300 N/根		

1) 排垫:由300 g/m²的聚丙烯编织布缝制加筋而成。沿排宽方向每隔50 cm设有1根宽7 cm的纵向聚丙烯加筋条,用于固定系结条和增加排垫抗拉强度;沿排长方向每隔200 cm设1根宽5 cm、长300 cm的横向聚丙烯加筋条。

2) 混凝土压载体:该压载体为C20混凝土块体,平面尺寸为40 cm×26 cm×10 cm(长×宽×厚),质量21.93 kg。

1.3 缩撕断排实例

1.3.1 撕断排

D型软体排的沉排方向为从天星洲的高滩侧向河心侧进行沉放,上游侧导轨上起牵引固定作用的尼龙绳在上游侧与纵向加筋条进行绑系,用于牵引承受横向拉力,并且控制上游侧排布沉放至河床的平面位置。

在D型软体排沉至坡脚地形最深处,入水处上游侧纵向加筋条与尼龙绳绑系部位排布沿着纵向加筋条缝合部位发生开裂,发生撕排现象,并向下游发展演变为整体纵向加筋条和排布断裂(图1),即发生横向断排现象。

1.3.2 缩撕排

D型软体排沉排发生撕断排后,从增加排体缝合处抗撕裂强度角度出发,提高了排布与纵向和横向加筋条缝合处质量和密度;从增加排体横向抗拉强度的角度出发,沿着排体整个横向每隔3 m



图1 天星洲高滩守护撕断排

增设了通条宽7 cm宽的横向加筋条^[2];另外,将起牵引固定作用的尼龙绳与排布的绑系部位移至上游侧横向加筋条和纵向加筋条交汇处,避免绑系处成为局部抗拉薄弱环节。

D型软体排进行上述优化后,在沉排过程中,沉排船上游轨道处突然来了一股流速较快的紊流,受紊流的顶托作用,上游侧紧贴工作平台的排布在入水处脱离沉排船工作平台,并略有翻转,形成堵水面瞬间向下游滑移动,发生缩排现象。

伴随着缩排的同时,在上游侧导轨上起牵引固定作用的尼龙绳与加筋条绑系部位的排布在纵向加筋条与排布缝合处沿着纵向加筋条的方向开始撕裂,发生撕排现象。随着排体缩排幅宽逐渐加大,上游侧与尼龙绳绑系点处的纵向加筋条发生断裂,尼龙绳和排体脱离,排布沿着沉排船工作平台迅速向下游滑移,卷起并折叠成团(图2)。



图2 天星洲高滩守护护排缩排

2 缩撕断因素和机理

2.1 因素

通过分析天星洲高滩守护工程 D 型软体排缩撕断排现象, 影响因素主要包括: 动力因素(如流速流向、水深、河床摩擦力等), 软体排自身因素(如排布质量、排布和加筋条设计强度、加筋条质量等)以及结构因素(如排布缝合质量、筋条与排布缝合质量等)和施工因素(相对移船位移、船舶制动等)。这 4 个因素之间的相互耦合, 使 D 型软体排在沉排中发生局部应力集中或局部强度薄弱环节, 从而引发水下排布向下收缩或排布入水处局部撕排, 并产生连锁反应导致整个 D 型软体排整体断排和撕排。

动力因素主要来源于工程河段的河势和工程局部地形: 从工程河段河势来看, 上游主流由左岸向右岸过渡, 工程对岸新陀阳树边滩向江中淤涨挤压航槽, 主流紧贴右岸, 主流流速较大, 在主流的持续冲刷下, 该区域水下地形较陡、较深; 从工程局部来看, 随着已建护岸上游形成了局部岸线薄弱环节, 本缩撕排部位岸线冲刷后退, 已建护岸工程逐渐形成水下矶头, 随着矶头的形成, 加速了上游岸线局部水流的淘刷, 岸线更加凹陷, 水流更为紊乱, 水下地形更为深陡。软体排自身因素主要体现在排布和加筋条的强度是否能满足设计荷载。结构因素主要体现在排布缝合处和加筋条与排布缝合处强度往往难以满足设计要求的缝合强度, 在缝合处形成强度薄弱处, 排布的破坏往往都是从这些位置开始。另外, 施工因素中沉排船相对移船位移过大及船舶制动等均会使得排布受力增大^[3]。

其中动力因素、结构因素和施工因素相互耦合作用是 D 型软体排破坏的重要原因。

2.2 机理

D 型软体排沉排施工中, 排布受到的外力有: 河床床面摩擦力 F_0 、卡排梁对排布在软体排与船舷相切位置的拉力 T_A ^[3]、动水压力 P_U 、排布自身重力 G 和甲板上游侧尼龙绳横向拉力 T_H ^[4], 受力分析见图 3。其中河床床面摩擦力大小与排布在河床面上铺设面积成正比, 与河床坡度的正弦值成反比; 排布自身重力大小与排布悬空长度(可以转换为与水深成正比)成正比; 动水压力与流速的平方、受力面积成正比; 通过受力平衡分析可得, 卡排梁拉力、甲板上游侧尼龙绳横向拉力与动水压力、河床床面摩擦力、排布自身重力的函数关系, 即 $F(F_0, T_A, P_U, G, T_H) = 0$ 。

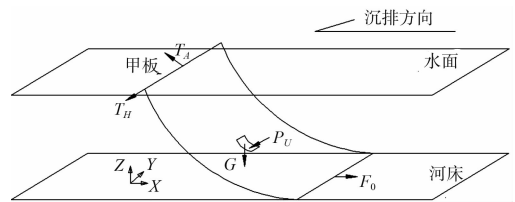


图3 排布受力简图

从缩撕断排现场来看, 甲板上游侧尼龙绳横向拉力 T_H 大小是决定性因素。当 D 型软体排顺水流沉排施工时, 由于排布兜水变形而产生甲板上游侧尼龙绳横向拉力 T_H , 但是其很小可以忽略; 当 D 型软体排垂直水流沉排施工时, 由于排布兜水变形形成较小的阻水面积而产生较小的甲板上游侧尼龙绳横向拉力 T_H ; 当 D 型软体排沉排方向与水流有一定夹角时, 排布在水流方向将形成一个阻水面而产生甲板上游侧尼龙绳横向拉力 T_H 。

图 3 所示区域表示流速、水深较大, 流态紊乱, 水下地形较陡。该区域 D 型软体排沉排施工是从岸往河心方向沉排, 由于该区域水流表现为强三维, 水流流向与排布的夹角大于 0° 小于 90° 。随着沉排施工的进行, 水深加大、表面流速增大, 动水压力 P_U 增大; 排布悬空长度增长, 排布自身重力 G 增大。当施工进行到距离岸边 40 余米处

时,水深达到最深处(约22.4 m),表面流速增大到最大值,此时作用在排布的动水压力 P_U 随着增大的最大值,但是由于水流流向与排布存在一定的夹角致使动水压力 P_U 对排布的作用表现为力矩的形式 M_U ,加之河床坡面很陡,在排布自身重力 G 和动水压力力矩 M_U 的组合作用下,河床床面摩擦力 F_0 不足以阻止河床排布向下滑动致使上游侧排布发生不均匀扭曲或褶皱,排布在水流方向形成阻水面且其逐渐变大,当阻水面达到一定值(假设该面积为 A_H)时,甲板上游侧尼龙绳横向拉力 T_H 变大超过横向加筋条强度或者排布与横向加筋缝合强度,此时会发生横向加筋条断裂或发生排布抽筋的现象,从而发生严重的缩排现象甚至撕排断排,其临界状态受力分析可以简化为:

1) 动水压力 P_U 对排布产生 X 向的作用力 P_u 、 $T_A X$ 向分力与 F_0 三力平衡;

2) 动水压力 P_U 对排布产生 Y 向的作用力 P_v 与 T_H 平衡,即 $T_H = P_v$, P_v 与动水压强和受力面积有关,动水压强可以通过伯努利方程求得

$$z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = C \quad (1)$$

而受力面积与动水压力力矩 M_U 有关,

$$P_v = f(p_v, A_H) = \iint_{A_H} p_v dA = \iint_{A_H} \frac{1}{2} \rho v^2 dA = \frac{1}{2} \rho v^2 A_H \quad (2)$$

考虑排布破坏位置的临界状态,即横向加筋条和排布缝合强度的70%,根据表1计算得 $T_H = 8372$ N,流速通过现场测流测得 $\bar{v} \approx 1.0$ m/s,可以反求阻水面积 $A_H = 16.7$ m²,此时,排布悬在水中长度约为25 m,排布阻水面宽0.7 m;阻水面逐渐变大,横向加筋条断裂时阻水面积 $A_H = 40$ m²,排布阻水面宽1.0 m。

3) 动水压力 P_U 对排布产生 Z 向的作用力 P_w 、 $T_A Z$ 向分力与 G 三力平衡;

从工程实际情况来看 X 方向和 Z 方向作用力一般情况下不会产生局部应力过大,主要在 Y 方向作用力下才会产生应力集中过大。

3 结语

1) 缩排:上游侧排布受上游紊流的顶托作用,在入水处脱离沉排船工作平台翻转形成堵水面,排布瞬间向下游滑移。撕断排现象,首先在入水处上游侧纵向加筋条与尼龙绳绑系部位的排布沿着纵向加筋条缝合方向撕裂,上游侧纵向加筋条发生断裂,尼龙绳和排体脱离,排布沿着沉排船工作平台迅速向下游滑移,卷起并折叠成团。

2) 动力因素和结构因素是D型软体排发生缩断排的主要原因, X 方向和 Z 方向作用力一般情况下不会产生局部应力过大,主要在 Y 方向作用力下才会产生应力集中过大,即排体上游侧是局部应力集中部位,加筋条与排布缝合处、尼龙绳与排体的绑系部位是强度薄弱环节,是破坏的首发部位。

3) 针对上述缩断排因素和机理分析,并根据排布设计强度可以反求得排布能够承受的最大变形,在强三维水流中沉排可以通过减少排宽减少排布在水下的摆动以及扭曲后的排布阻水面积,优化加强加筋条与排布缝合处、尼龙绳与排体的绑系部位的强度,从而减少缩排和撕排现象。

4) 在沉排过程中,由于动水压强的存在使得排布受力非常复杂,目前对排布受力也是基于经验公式,这方面尚待进一步研究,以真正解决排布沉排过程中出现的问题。

参考文献:

- [1] 雷国平,谷祖鹏,肖庆华,等.长江中游荆江河段航道整治工程昌门溪至熊家洲段工程2013—2014届枯水期周天河段施工图设计报告[R].武汉:长江航道规划设计研究院,2013.
- [2] 雷雪婷,耿嘉良,程铁军,等.混凝土联锁块软体排施工中撕排现象的解决方法[J].水运工程,2012(11):191-193.
- [3] 张为,李义天.系混凝土块压载体软体排受力特性研究[J].水运工程,2006(1):9-15.
- [4] 黄成涛.护岸工程顺水沉排受力现场测试分析[J].人民长江,2013(17):67-71.