

Doi:10.20062/j.cnki.CN 37-1453/N.2025.01.002

复杂风-浪-流环境下海洋牧场交通栈道施工阶段 钢管桩受力行为研究

周国涛¹,张成明¹,侯 总²,聂瑞锋³

(1.山东省公路桥梁建设集团有限公司,济南 250000;2.山东省路桥集团有限公司,济南 250000;
3.山东科技大学 土木工程与建筑学院,山东 青岛 266590)

摘要:为明确复杂海洋环境下钢管桩的受力行为,借助于有限元数值模拟,采用流固耦合的方法,进行施工阶段钢管桩在风-浪-流耦合作用下的受力行为研究,总结得到不同参数下钢管桩的动力响应规律。首先,借助有限元软件 ANSYS Workbench 的 Fluent 模块,通过加载 UDF 程序进行二次开发,对数值模型进行了速度入口、压力出口、入口体积和出口体积等边界条件的设置,实现风-浪-流耦合环境场的构造;其次,基于风-浪-流耦合数值环境场,对单向和双向流固耦合作用下风-浪-流耦合环境与钢管桩的动力响应结果进行了对照分析,结果表明双向流固耦合方法更符合实际海洋环境下钢管桩受力状态;最后,对施工阶段钢管桩进行动力响应研究,分析了桩径、斜度、长度、截面形状、水深、环境等参数影响下钢管桩动力响应规律,并对钢管桩周围流体域进行分析,得到不同斜度钢管桩周围流体域运动规律。

关键词:风-浪-流耦合;海洋牧场;钢管桩;动力响应

中图分类号:U443.15 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-8020(2025)01-0009-10

近年来,海洋牧场正向产业融合、多元化的趋势发展^[1-2],对海洋牧场建设提出了更高的要求。海洋牧场交通栈道钢管桩处在复杂的海洋环境中,受到风、浪、流等多种荷载共同作用的影响,直接威胁着海洋牧场交通栈道的安全。相较于成桥阶段,钢管桩在施工阶段往往不被关注,特别是作为单桩受力时,其受力行为较成桥存在较大差异。

当前,对海洋环境中构造物的力学行为研究多采用流固耦合的方法。流固耦合(fluid-solid interaction, FSI)^[3-6]是流体力学、固体力学和动力学交叉产生的力学分支,是一门研究变形固体在流场作用下的各种行为以及固体结构与流场之间相互作用的科学。流固耦合主要分为单向流固耦合^[7]和双向流固耦合^[8-9]两大类。单向流固耦合是指流体域和固体域通过流固耦合界面进行单向的数据传输,即经流体域仿真计算软件(Fluent)计算得到的数据通过流体-固体交界面向固体域传递并在固体域对结构物进行分析,而固体域数据不能向流体域传递;双向流固耦合是指流体域与固体域在流体-固体交界面上的数据

传递是双向的,并进行不间断的持续计算。单向流固耦合适用于所进行仿真的结构物变形微小且对流体域的影响可忽略不计的情况,双向流固耦合适用于流体域对固体域结构物产生的变形较大且由于结构物变形对流体域产生较大影响的情况。实现波浪水槽数值模拟的方法有很多,主要有摇板造波法^[10]、边界造波法^[11]等。目前研究所建立风-浪-流耦合环境场中的海流要素主要应用定常流速,应用剪切流进行风-浪-流耦合的研究较少,而许多研究表明,剪切流型^[12-14]更符合实际海流环境。许多学者通常用对数律和指数律两种形式来描述风剖面,这两种形式的剖面主要应用在海上风机等受风要素影响较大的结构,对于海面以上并不高的结构物,则主要采用均匀风速进行风环境数值模拟。

针对海洋环境中钢管桩动力响应问题的研究,多集中在直立钢管桩的动力响应规律方面,而对风-浪-流耦合作用下倾斜钢管桩的动力响应方面研究较少。钢管桩动力响应问题主要以单桩形式进行研究,而未能对成桥后不同桩型组合的

收稿日期:2024-05-30;修回日期:2024-09-05

基金项目:山东省自然科学基金(ZR2020ME241)

通信作者简介:聂瑞锋(1983—),男,副教授,博士,研究方向为桥梁安全评估方法研究。E-mail:qingdaoniufeng@163.com

动力响应进行对比研究。施工阶段占据工程形成期的 90% 以上,较长时间的风-浪-流耦合作用严重威胁单根钢管桩的安全性,因此,有必要对施工阶段钢管桩的受力行为进行系统研究。本研究通过 ANSYS Workbench 有限元软件平台,采用流固耦合的方法,进行施工阶段钢管桩在风-浪-流耦合作用下的受力行为研究,总结得到不同参数下钢管桩的动力响应规律。

1 流固耦合场构建

1.1 流固耦合各模块参数设置

1) 流体域参数设置

如图 1 所示,所建立的三维数值水槽左侧设

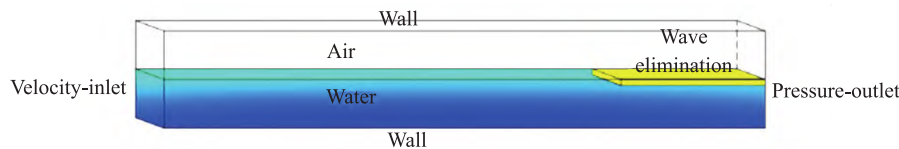


图 1 三维数值波浪水槽模型边界条件

Fig.1 The boundary conditions of 3D numerical wave tank model

2) 固体域参数设置

通过有限元软件平台 ANSYS Workbench 的 Transient Structural 模块,进行结构域的网格划分和参数设置,将钢管桩底端设置为“Fixed Support”。钢管桩顶部面与侧面是固体域的面,且两个面同时处于流体域中,两个面在流体域与在固体域中的网格节点不需相互对应。钢管桩与流体的交界面上发生数据传递,交界面数据传递如图 2 所示。通过 System coupling 模块在这两个面上建立数据传输,计算时流体运动得到压力分布数据,传递至钢管桩上,钢管桩发生位移的同时又对流体域产生影响,流体域重新计算压力分布,并将这两个面设置为流体固体交界面。

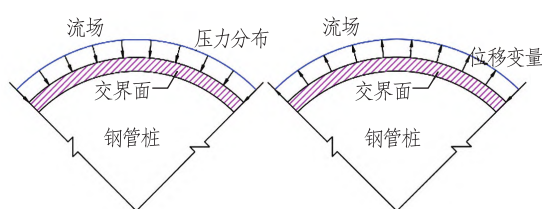


图 2 交界面数据传递示意图

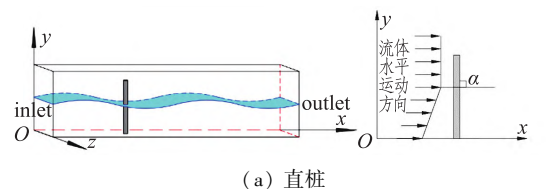
Fig.2 Schematic diagram of data transfer at the interface

置为速度入口边界 (Velocity-inlet),右侧为压力出口边界 (Pressure-outlet),流体域上边界和下边界以及前、后边界均为无滑移壁面 (Wall),水槽末端为阻尼消波区域 (Elimination)。

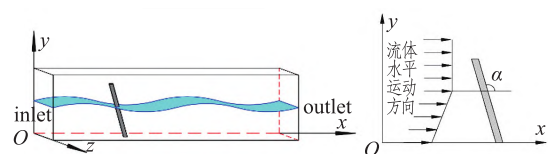
采用边界造波法,通过 UDF 编译速度函数、波高方程、压力出口、入口和出口体积分数以及消波函数。消波区域长度为数值水槽右端一个波长的距离。流体区域通过 ICEM CFD 进行结构化网格划分,利用 ANSYS Workbench 的 Fluent 模块进行流体域相关计算。Fluent 模块采用压力基求解器进行求解,求解方法为 PISO 算法。体积分数 (Volume Fraction) 选用几何重构 (Geo-Reconstruct) 方法。此外,数值模拟所采用的工作环境压力值为 0.101 325 MPa,重力加速度为 $9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

1.2 模型设计及网格划分

基于已建立的风-浪-流数值环境耦合场,将钢管桩添加至风-浪-流环境耦合场中,采用控制变量的方法,分别对不同参数下钢管桩(包括桩径、桩长、斜度和截面形状)以及流体域(包括水深和风、浪、流条件)进行施工阶段钢管桩受力行为研究。风-浪-流耦合环境下钢管桩的三维模型如图 3 所示,为考虑倾斜角度的影响,研究主要包括直桩、正斜桩与反斜桩。其中,当流体水平运动方向与钢管桩形成夹角 α 为 90° 时定义为直桩, $\alpha > 90^\circ$ 时定义为正斜桩, $\alpha < 90^\circ$ 时定义为反斜桩。



(a) 直桩



(b) 正斜桩

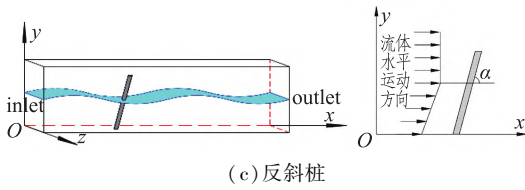


图 3 施工阶段钢管桩数值水槽模型示意图
Fig.3 Schematic diagrams of numerical tank model of steel pipe piles during construction

利用 ANSYS Workbench 的 ICEM CFD 模块对流体域进行结构化网格划分,由于在流固耦合交界面进行数据传递,故将该部分网格进行加密处理,通过 ICEM CFD 的 block 分块功能,对此部分进行“O”型切分,确保网格质量。以桩径 $D=1\text{ m}$ 、水深 $d=8\text{ m}$ 为例,流体域三维模型网格如图 4 所示,流固耦合计算的结构域钢管桩网格无需与流体域相互对应;钢管桩网格划分如图 5 所示。

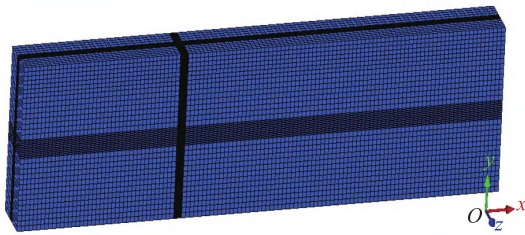


图 4 流体域三维模型网格
Fig.4 3D model mesh of the fluid domain

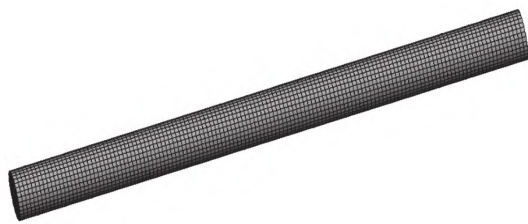


图 5 钢管桩网格划分
Fig.5 Steel pipe pile meshing

2 流固耦合数值模拟结果及对比

在进行单向流固耦合与双向流固耦合分析时,均以直桩为例,所选用钢管桩材料相同,对比 4~20 s 内两种流固耦合方法的计算等效应力,结果如表 1 所示。

由表 1 可知,单向流固耦合最大等效应力为定值,不随时间变化而变化;双向流固耦合的最大等效应力范围为 0.187 19~0.467 99 MPa,随时间

的变化而变化,这是因为钢管桩受到波浪周期性冲击的影响,使得钢管桩所受最大等效应力随时间发生变化。因此,双向流固耦合的分析方法更符合钢管桩在风-浪-流耦合环境作用下的受力情况。双向流固耦合的最大等效应力值大于单向流固耦合最大等效应力值,所以,采用双向流固耦合计算方法比单向流固耦合更为安全且更反映实际。基于此,后续分析均采用双向流固耦合方法对钢管桩开展相关研究。

表 1 不同时刻流固耦合最大等效应力结果对比
Tab.1 Comparisons of maximum equivalent stress results for fluid-solid coupling at different moment

时刻/s	单向流固耦合/MPa	双向流固耦合/MPa
4	0.350 30	0.187 19
8	0.350 30	0.372 76
12	0.350 30	0.325 40
16	0.350 30	0.271 10
20	0.350 30	0.220 85

3 风-浪-流耦合作用下钢管桩受力行为分析

3.1 压力分析

浪-流耦合场中,钢管桩主要受到波浪和海流的来流流速形成的冲击压力以及海水深度在钢管桩表面形成的压强的影响。伯努利方程^[15]是根据机械能守恒推导得到,因此仅适用于可以忽略粘度、不可被压缩的理想流体,公式为:

$$P + 0.5\rho v^2 + \rho gh = C, \quad (1)$$

式中: P 为流体中某点的压强 (Pa); v 为流体该点的流速 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); ρ 为流体密度 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$); g 为重力加速度 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$); h 为该点所在高度 (m); C 为常量。

由式(1)可知, $0.5\rho v^2$ 为动压,来流流速 v 是动压大小的关键,波速和流速越大,对钢管桩的冲击就越大,其动压也就越大; $P+\rho gh$ 为静压,海水深度 h 是静压大小的关键,海水深度 h 越大,其静压也就越大。图 6 为波峰及波谷状态时钢管桩表面气液两相的相位图,其中上半部分为空气(蓝色),下半部分为海水(红色)。由于流体在运动过程中触碰钢管桩时对钢管桩产生冲击作用,在波峰位置处,水位明显高于波谷位置处水位,且迎浪向水位高于背浪向水位。图 7 为波峰及波谷状态时钢管桩表面压力云图,由图 7 可知,钢管桩上

部(海面以上部分)处在空气之中,钢管桩表面相对压力值为 0。钢管桩在海面以下的部分随水深的增加,压力值也会增大,因为波峰处的水位大于波谷处的水位,在钢管桩的同一位置处,波峰状态时的压力值大于波谷状态时的压力值。对施工阶段钢管桩不同位置进行压强监测,监测点 C1、C11 分别为静水液面时的前、后接触点,监测点 C2、C22 分别为 7.5 m 处前、后接触点,监测点分布如图 8 所示。

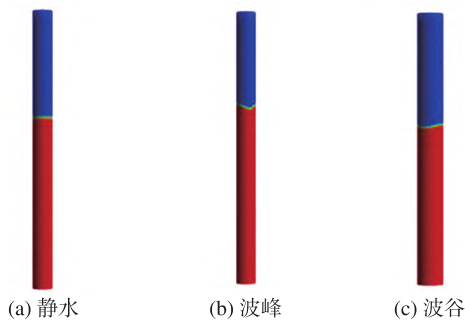


图 6 钢管桩表面气液两相的相位图

Fig.6 Phase diagrams of the gas and liquid phases on the surface of a steel pipe pile

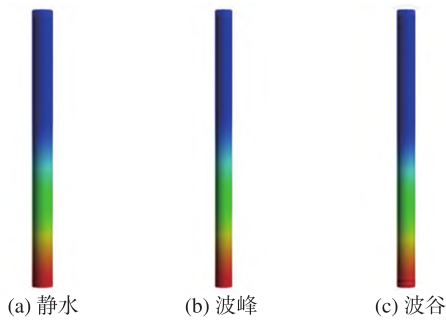


图 7 钢管桩表面压力云图

Fig.7 Pressure cloud diagrams on the surface of a steel pipe pile

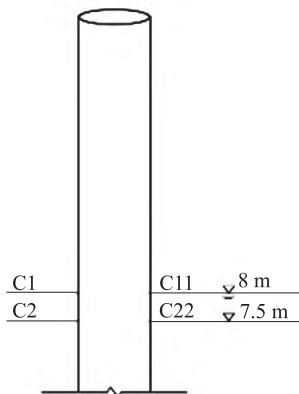


图 8 钢管桩表面压力监测点示意图

Fig.8 Schematic diagram of surface pressure monitoring point of steel pipe pile

在浪流环境、常规风浪流环境、风速 $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时风浪流环境和剪切流型 0.125y 时等不同环境因素下对监测点进行压力监测,结果如图 9 所示。由图 9(a)可知,波流生成开始阶段,流场压力不稳定,钢管桩表面压力有一段时间内的波动,待流场趋于稳定后,钢管桩在耦合流场内表面压力随波流质点运动发生周期性的变化,变化规律同波浪周期一致。由于测点 C1、C11 位于静水面,当波浪运动至测点位置,波谷状态时,监测点暴露在空气中,压强为零,波峰状态时,压力最大;同时 C1 点处压力值明显大于 C11 点处压力值,这是由于 C1 点处位于迎浪方向,接受波浪的冲击作用,而 C11 点处位于钢管桩背面,不会接受波浪的冲击作用,故而有此现象;监测点 C2、C22 处于水下,压力值随波浪周期性变化。

3.2 钢管桩动力分析

为了便于对比,分别对钢管桩的桩径、斜度、长度、截面形状以及水深和环境参数进行了动力响应计算,各参数的数值仿真结果如图 10 ~ 15 所示。

3.2.1 桩径影响分析

图 10 为不同桩径钢管桩的位移及等效应力时程曲线。由图 10 可知:随着钢管桩直径的不断增大,钢管桩的桩顶位移与最大等效应力逐渐减小,这是因为钢管桩桩径增大,使得钢管桩基础的刚度产生变化,钢管桩的桩径与刚度成正比,进而钢管桩的桩顶位移及最大等效应力与钢管桩桩径成反比。钢管桩在风-浪-流耦合作用下发生周期性位移,其振动周期与波浪周期基本相同,说明波浪要素对钢管桩位移影响较大。

3.2.2 斜度影响分析

图 11 为不同斜度钢管桩的位移及等效应力时程曲线。由图 11 可知:直桩的桩顶位移与等效应力最小,5 种斜度钢管桩整体呈 U 型分布,不论正斜桩与反斜桩,随着倾斜角度的逐渐增大,其桩顶位移与等效应力也逐渐增大,这是因为随着桩的倾斜,钢管桩在风-浪-流耦合环境场中除所受到的风、浪、流荷载之外,还因环境耦合场与桩之间的耦合作用受到不同程度升力的影响,斜桩所受到的升力大于直桩所受的升力,导致环境耦合场对斜桩的影响程度高于直桩。

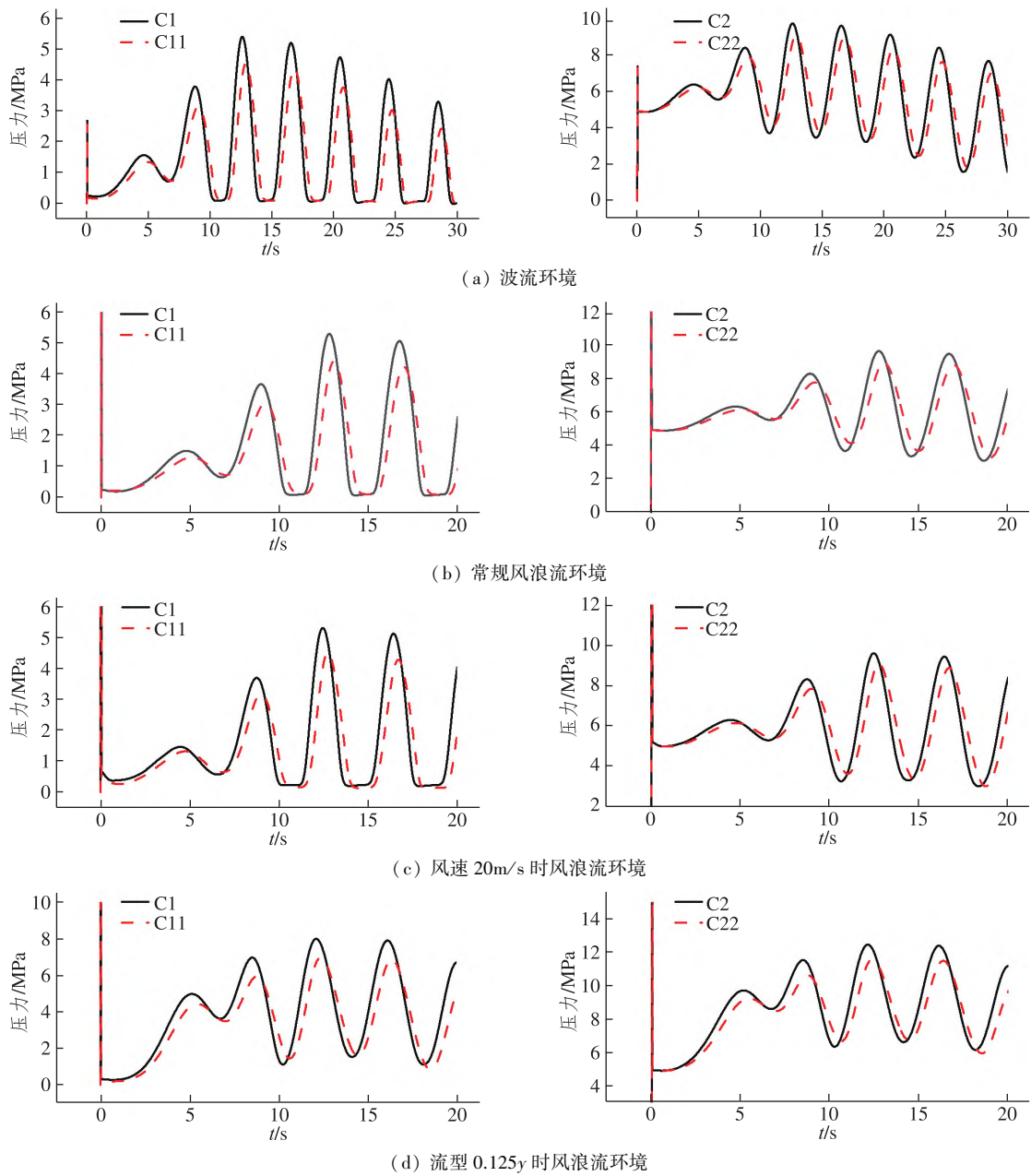


图 9 不同环境因素下监测点压力变化曲线

Fig.9 The pressure changing curves of monitoring points under different environmental factors

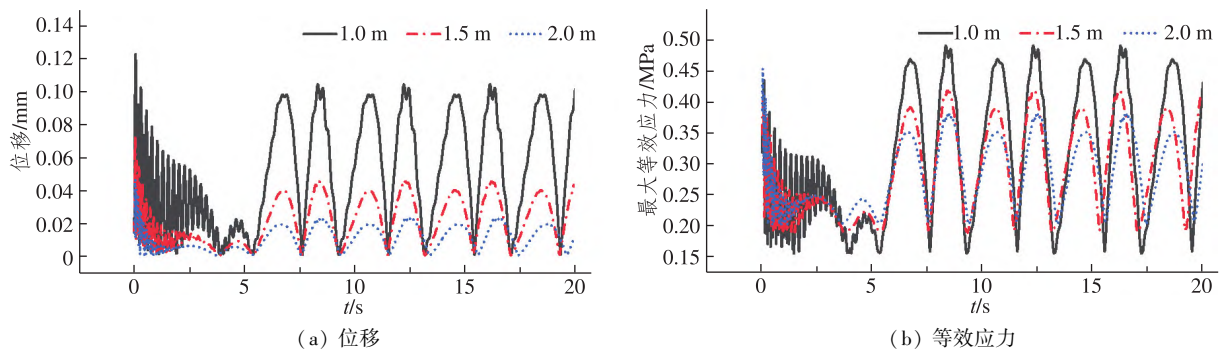


图 10 不同桩径钢管桩的位移及等效应力时程曲线

Fig.10 Displacement and equivalent stress time history curves of steel pipe piles with different diameters

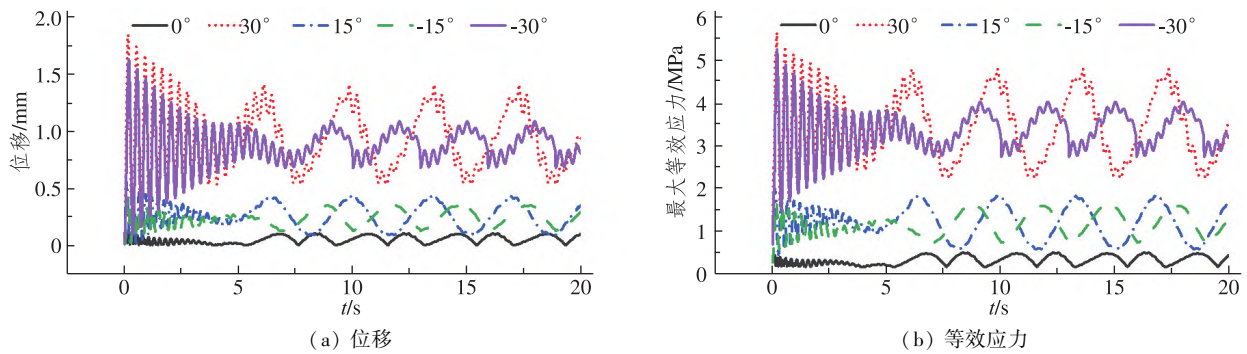


图 11 不同斜度钢管桩的位移及等效应力时程曲线

Fig.11 Displacement and equivalent stress time history curves of steel pipe piles with different inclines

3.2.3 桩长影响分析

图 12 为不同桩长钢管桩的位移及等效应力时程曲线,由图 12 可知:不同桩长钢管桩在相同风-浪-流耦合条件下,桩顶位移与最大等效应力随时间的变化而变化,所得到的桩顶位移以及最大等效应力的响应趋势基本一致,随着钢管桩桩长的减小,钢管桩的桩顶位移与最大等效应力逐

渐减小。钢管桩的桩顶位移以及最大等效应力与桩长成正比,这是因为钢管桩长度增加,钢管桩表面受到风场影响的面积增大,所以受到较大的风荷载,桩身产生较大的弯矩,使桩的等效应力增大;此外,因为钢管桩长度增加,桩身的抗弯性能减弱,导致钢管桩位移随长度增加而增大。

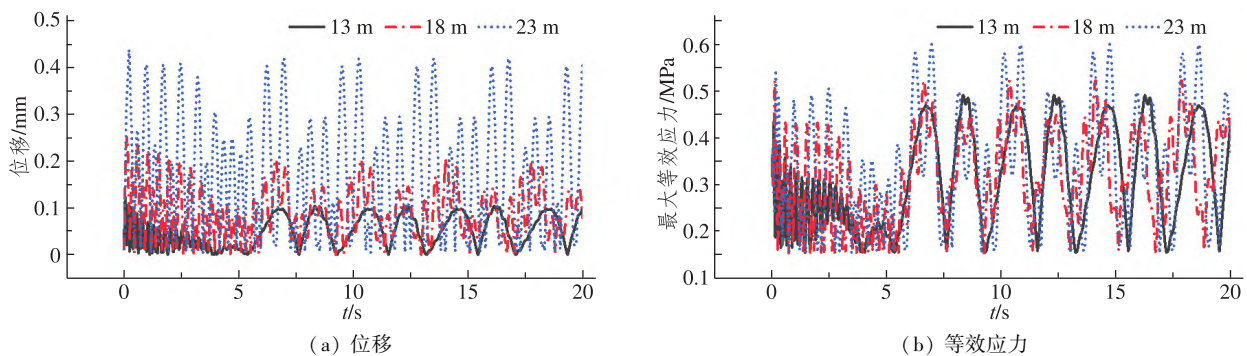


图 12 不同桩长钢管桩的位移及等效应力时程曲线

Fig.12 Displacement and equivalent stress time history curves of steel pipe piles with different pile lengths

3.2.4 截面形状影响分析

图 13 为不同桩型钢管桩的位移及等效应力时程曲线,由图 13 可知:在风-浪-流耦合环境场中,桩顶位移与最大等效应力随时间的变化而变化,方桩与圆桩的位移响应及应力响应趋势均一致,圆桩的桩顶位移大于方桩的桩顶位移,而方桩等效应力大于圆桩的等效应力,这是因为同等直径的方桩外表面积相比圆桩大很多,且有 4 个边角,相比圆桩有较高的刚度和抗弯折能力,因此方桩比圆桩有更强的抵抗风、浪、流荷载的能力。

3.2.5 水深影响分析

图 14 为不同水深时钢管桩的位移及等效应

力时程曲线,由图 14 可知:随着水深增加,钢管桩的桩顶位移与最大等效应力逐渐增大,这是由于水深的增加使得钢管桩表面所受到的压力增大,且随水深增加,水流速逐步增大,钢管桩表面受到更大水流力,使得计算所得到的钢管桩桩顶位移及最大等效应力增大。

3.2.6 环境参数影响分析

在波浪的波长 $L = 24.21 \text{ m}$ 、周期 $T = 4 \text{ s}$ 、波高 $H = 1 \text{ m}$ 的基础上,选择风速 U_{wind} 为 5 和 $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,剪切流型 U_c 为 $0.04y$ 、 $0.125y$ 进行对比分析,研究不同环境参数对钢管桩动力响应的影响。3 种耦合环境场参数如表 2 所示。

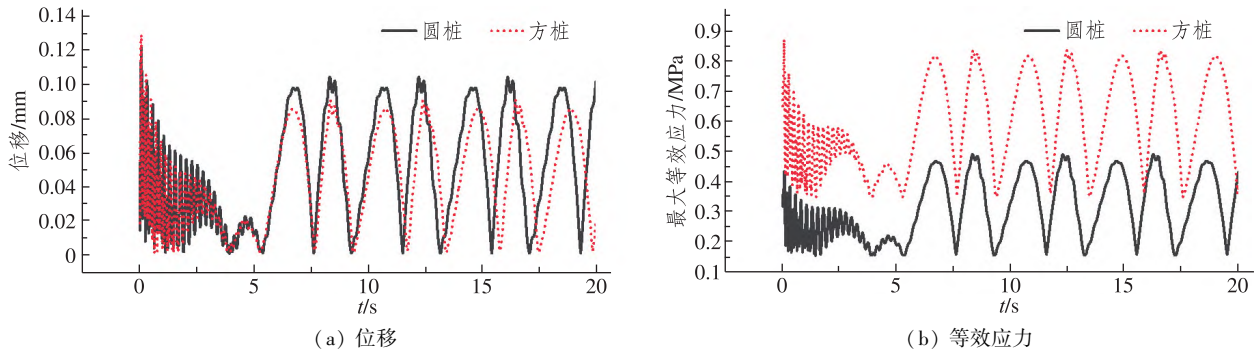


图 13 不同桩型钢管桩的位移及等效应力时程曲线

Fig.13 Displacement and equivalent stress time history curves of different steel pipe piles

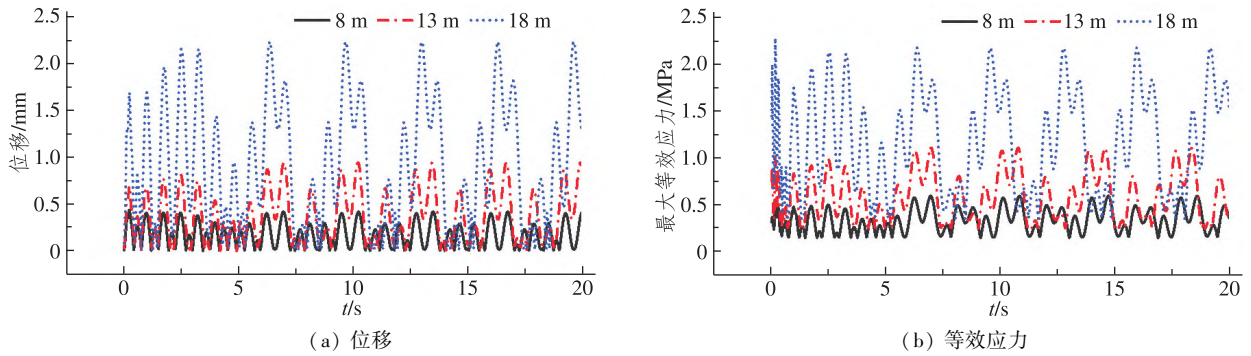


图 14 不同水深时钢管桩的位移及等效应力时程曲线

Fig.14 Displacement and equivalent stress time history curves of steel pipe piles at different water depths

表 2 不同环境参数模拟分类
Tab.2 Simulation classification of different environmental parameters

类型	U_{wave}	U_c	U_{wind}
EN1	6.05	0.04y	5
EN2	6.05	0.04y	20
EN3	6.05	0.125y	5

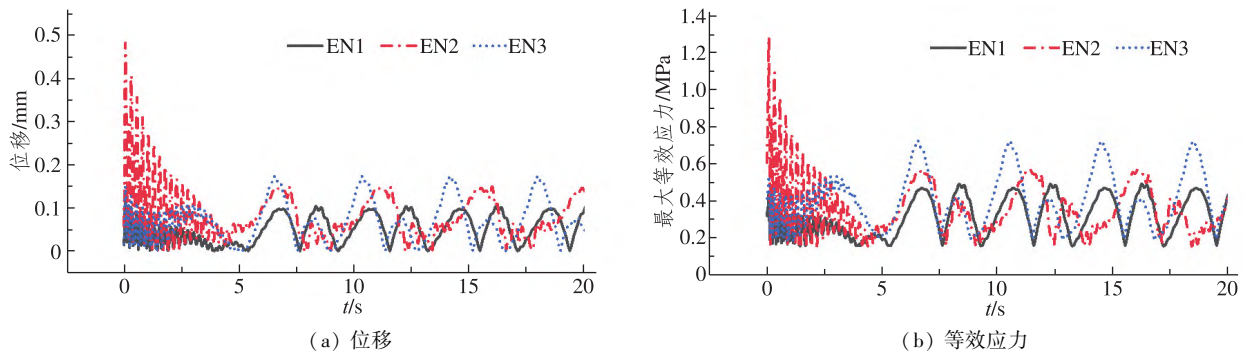


图 15 20 s 内不同环境下钢管桩的位移及等效应力时程曲线

Fig.15 Displacement and equivalent stress time history curves of steel pipe piles under different environments within 20 s

图 15 为 20 s 内不同环境下钢管桩的位移及等效应力时程曲线,由图可知:风速及流速越大,其桩顶位移与等效应力越大。3 种耦合环境场作用下的钢管桩均呈周期性响应,并且周期与波浪运动周期基本一致,继而可知响应频率与波浪频率基本相同,因此,波浪对钢管桩在风-浪-流耦合环境场作用下动力响应影响较大,相比之下海流与风对钢管桩动力响应影响较小。

3.3 钢管桩周围流体域分析

选取不同截面钢管桩周围流体速度矢量图(图 16)进行分析,流体沿 x 正方向运动,运动至钢管桩位置处,钢管桩的绕流过程呈对称性。对不同斜度钢管桩周围流体域进行研究可知:流体运动至钢管桩位置时,由于遇到钢管桩的阻碍,水流速度迅速减小至 0,钢管桩迎浪侧出现一定范围的 0 速度,流场作用使得钢管桩 0 速度侧产生正压力;待流场继续运动,水流压力减小,流场在背浪侧产生旋涡继而分解,钢管桩在迎浪侧的正

压力与背浪侧旋涡的共同作用下发生振动,以此往复,钢管桩动力响应逐渐变为稳定状态。如图 16 所示,3 种斜度钢管桩自下而上旋涡影响长度逐渐增大,直桩在风场中所形成的旋涡长度大于斜桩风场中所形成的旋涡长度。图 17 为不同斜度钢管桩周围流体速度云图,由图可知:速度场在不同斜度下沿 x 轴方向在钢管桩中心线上对称分布;随着斜度的增大,钢管桩背浪侧尾流变短;再结合图 16 可以看出,钢管桩斜度增大会使钢管桩背浪侧旋涡更早泄放。风场中直桩背风侧风速小于斜桩背风侧速度。

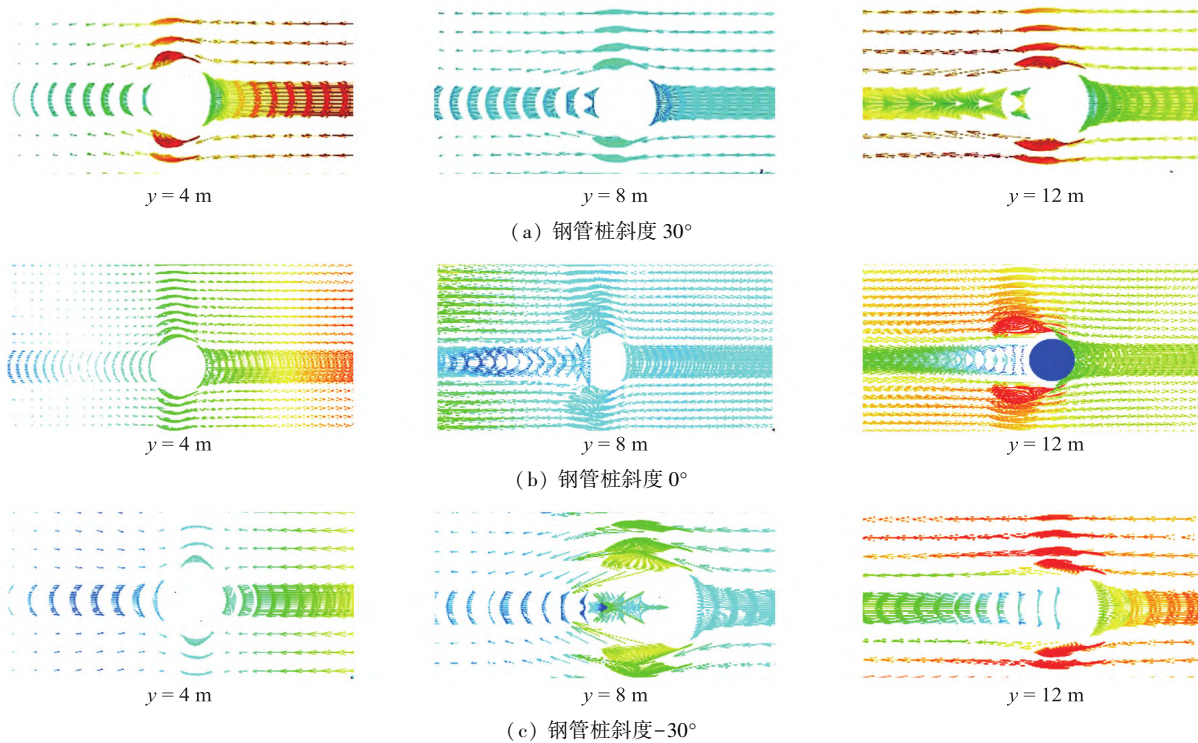
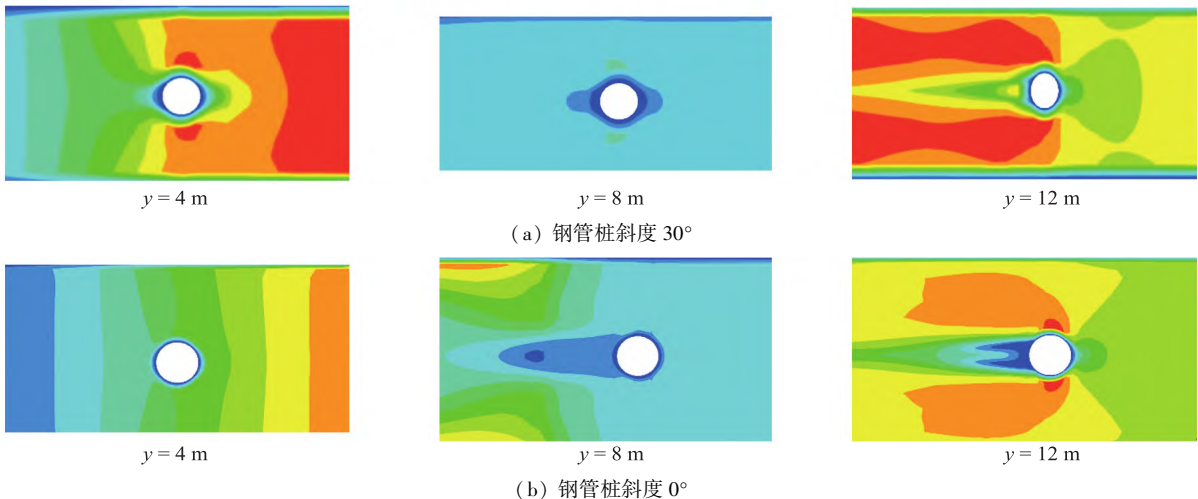


图 16 不同斜度钢管桩周围流体速度矢量图

Fig.16 Fluid velocity vector diagrams around steel pipe piles with different inclinations



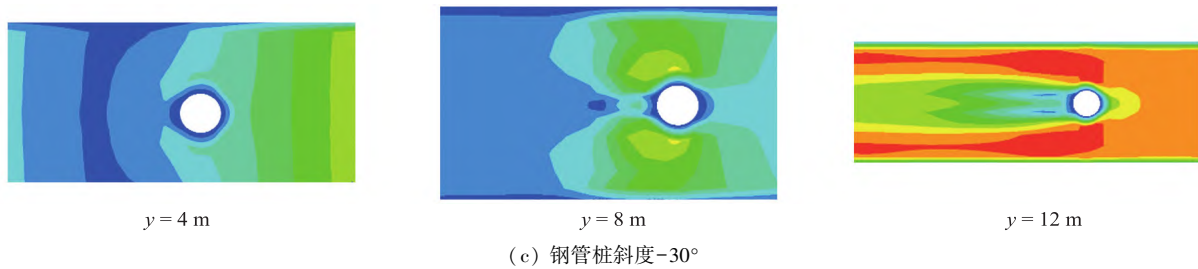


图 17 不同斜度钢管桩周围流体速度云图

Fig.17 Cloud images of fluid velocity around steel pipe piles with different inclinations

4 结论

通过 ANSYS Workbench 软件平台,结合实际海洋牧场交通栈道工程,进行了风-浪-流耦合作用下施工阶段钢管桩的压力分析和动力响应分析,研究了不同条件参数下对钢管桩动力响应的影响规律,得到以下结论。

1) 单向流固耦合最大等效应力为定值,不会随时间变化而变化,其原因是单向流固耦合数据传递是双向的,受波浪周期影响程度大。通过对比分析,双向流固耦合更符合工程实际情况。

2) 钢管桩在环境耦合场内表面压力随流体质点运动发生周期性变化,变化规律同波浪周期一致,迎浪面所受压力大于背浪面,且波峰状态时钢管桩表面压力值大于波谷状态时。

3) 分别对不同参数条件下钢管桩的动力响应进行分析,结果表明:单根钢管桩动力响应随桩径的增大而减小,且减小的幅度随桩径增大也在减小,而随钢管桩倾斜角度、长度、水深的增大而增大。圆桩的最大等效应力小于方桩,而最大位移大于方桩,圆桩较方桩受力性能更优。环境因素中对钢管桩动力响应影响程度由大到小依次为波浪因素、海流因素、风因素。

4) 分别对不同斜度下的钢管桩周围流体域进行分析,结果表明:3种斜度钢管桩自下而上旋涡影响长度逐渐增大;直桩在风场所形成的旋涡长度大于斜桩风场所形成的旋涡长度;钢管桩斜度增大会使钢管桩背浪侧旋涡更早泄放;风场中直桩背风侧风速小于斜桩背风侧风速。

参考文献:

[1] 宋昱瑾,田涛,杨军,等.海洋牧场背景下的休闲渔业旅游发展模式研究[J].海洋开发与管理,2022,39(1):110-116.

[2] 茹小尚,邓贝妮,冯其明,等.中外海洋牧场建设之比较[J].水产学报,2023,47(11):97-106.

[3] 邢景棠,周盛,崔尔杰.流固耦合力学概述[J].力学进展,1997(1):20-39.

[4] SUN Y, WANG P, CHEN B. A decomposition method for two and three dimensional fluid-solid interaction scattering problem [J]. Computers and Mathematics with Applications: An International Journal, 2024, 165: 106-117.

[5] FENG J H, WU Y F, XUE J H, et al. Dynamic stability analysis of laminated cylindrical shells considering fluid-structure interaction [J]. Composite Structures, 2024, 340: 118183.

[6] ZHANG K Y, ZHU S F, LI J J, et al. Shape gradient methods for shape optimization of an unsteady multiscale fluid-structure interaction model [J]. The Journal of Geometric Analysis, 2024, 34(8): 245.

[7] 刘志远,郑源,张文佳,等.ANSYS-CFX 单向流固耦合分析的方法[J].水利水电工程设计,2009,28(2):29-31.

[8] ZHU N, TIAN J. Numerical simulation of vortex vibration in main girder of cable-stayed bridge based on bidirectional fluid-structure coupling [J]. Applied Mathematics and Nonlinear Sciences, 2022, 8(2): 561-570.

[9] 钟山.考虑流固耦合效应的波浪作用下桥墩动力响应分析[D].重庆:重庆交通大学,2013.

[10] 王雅杰.基于数值波浪水池的导管架平台流固耦合动态特性研究[D].大庆:东北石油大学,2017.

[11] 柯世堂,王硕,张伟,等.风、浪、流多场耦合作用波浪传播演化机理对比分析[J].哈尔滨工程大学学报,2021,42(9):1312-1320.

[12] LIANG L, LI H L, KAI C Y, et al. A steady modeling method to study the effect of fluid-structure interaction on the thrust stiffness of an aerostatic spindle [J]. Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, 2022, 16(1): 453-468.

[13] AGHAYARZADEH M, KHABBAZ H, FATAHI B, et al. Interpretation of dynamic pile load testing for open-

- ended tubular piles using finite-element method[J]. International Journal of Geomechanics, 2020, 20(2):4019169.
- [14] ZHONG J Z, QIU C L, YAN X J, et al. An efficient coupling algorithm of fluid structure interaction for marine propeller flow [J]. VIBROENGINEERING PROCEDIA, 2022, 43:58-63.
- [15] 吴梓鑫. 波流联合作用下海洋立管载荷与响应分析[D]. 镇江: 江苏科技大学, 2015.

The Force Behavior of Steel Pipe Piles in the Construction Stage of Marine Ranching Traffic Trestle Under Complex Wind-Wave-Current Environment

ZHOU Guotao¹, ZHANG Chengming¹, HOU Zong², NIE Ruifeng³

(1. Shandong Highway and Bridge Construction Group Co., Ltd., Jinan 250000, China; 2. Shandong Luqiao Group Co., Ltd., Jinan 250000, China; 3. College of Civil Engineering and Architecture, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China)

Abstract: In order to ascertain the force behavior of steel pipe piles under complex marine environment, the finite element numerical simulation and fluid-structure coupling method were used to research the force behavior of steel pipe piles under wind-wave-current coupling during construction stage, and the dynamic response rules of steel pipe piles under different parameters were summarized. Firstly, by using the Fluent module of finite element software ANSYS Workbench, the UDF program was loaded for secondary development, and boundary conditions such as velocity inlet, pressure outlet, inlet volume and outlet volume were set for the numerical model to realize the construction of wind-wave-current coupled numerical environmental field. Secondly, based on the numerical environment field of wind-wave-current coupling, the results of dynamic response of steel pipe piles in wind-wave-flow coupling environment under unidirectional and bidirectional fluid-structure coupling were compared, which show that the bidirectional fluid-structure coupling method is more consistent with the actual force state of steel pipe piles in marine environment. Finally, the dynamic response of steel pipe piles during the construction stage was researched, and the dynamic response rules of steel pipe piles under the influence of piles diameter, slope, length, section shape, water depth, environment and other parameters were analyzed, and the fluid domain around steel pipe piles was analyzed, and the movement rule of fluid domain around steel pipe piles with different slope was obtained.

Keywords: wind-wave-current coupling; marine ranching; steel pipe piles; dynamic response