DOI：10.13245/j.hust.260173

过驳平台对系泊船舶泊稳性能的影响研究

曾海洋 唐 潇 姜胜超
(大连理工大学船舶工程学院，辽宁 大连 116024)

摘要 为明确过驳平台这一限制水域条件对系泊船舶泊稳性能的影响，基于三维势流理论，采用脉冲响应函数方法，对比分析了开敞水域与过驳平台两种环境下船舶的泊稳特性．研究表明：在频域框架下，过驳平台将显著改变船舶的激振力、附加质量与辐射阻尼，其中激振力和辐射阻尼峰值分别可达开敞水域工况的3～10倍，附加质量则在共振频率处趋向于正负无穷大；在时域框架下，过驳平台的影响主要体现在时域迟滞函数，其衰减时长增大至原来的6～12倍；当规则波作用时，过驳平台的存在将增大船舶横荡、横摇运动幅度并提升护舷反力与系缆张力，其中对横荡与横摇影响尤为明显，其平均幅值约为开敞水域下的1.8倍，缆绳张力、护舷反力及变形量在船舶固有周期附近均显著增大，峰值约为开敞水域的2～4倍，在不规则波作用下，因波浪周期成分复杂，过驳平台对船舶系泊的影响相对较小．

关键词 系泊船舶；过驳平台；运动响应；护舷；系缆力
中图分类号 U661.1 **文献标志码** A **文章编号** 1671-4512(2026)10-0125-08

Study on effect of lightering platform on berthing stability of moored ships

ZENG Haiyang TANG Xiao JIANG Shengchao
(School of Naval Architecture Engineering，Dalian University of Technology，Dalian 116024，Liaoning China)

Abstract To clarify the influence of restricted water condition formed by the lightering platform on the berthing stability performance of moored ships，the impulse response function (IRF) method was adopted based on three-dimensional potential flow theory，and the berthing characteristics of ships under two environments of open water area and lightering platform were compared and analyzed．It is indicated by the research that within the frequency domain framework，the wave excitation force，added mass and radiation damping of ships are significantly changed by the lightering platform．The peak values of wave excitation force and radiation damping can reach 3 to 10 times of those under the open water condition，while the added mass tends to positive and negative infinity near the resonant frequency．Within the time domain framework，the influence of the lightering platform is mainly reflected in the time-domain memory function，whose attenuation duration is increased to 6 to 12 times of the original value．When regular waves act，the existence of the lightering platform enlarges the motion amplitudes of ship sway and roll，and raises the fender reaction force and mooring line tension．Remarkable influences are exerted on sway and roll，whose average amplitudes are approximately 1.8 times of those in open water．The mooring line tension，fender reaction force and compression deformation all increase significantly near the natural period of the ship，with peak values reaching 2 to 4 times of those in open water．Under the action of irregular waves，due to complex wave periodic components，the influence of the lightering platform on ship mooring is relatively small.

Key words moored ship；lightering platform；motion response；fender；mooring force

泊稳性是指系泊船舶在风、浪、流耦合作用下 保持安全停靠姿态的能力，主要包括船舶运动响

收稿日期 2026-04-06．
作者简介 曾海洋(2001—)，男，硕士研究生；姜胜超(通信作者)，教授，E-mail：jiangshengchao@foxmail.com．
基金项目 国家自然科学基金面上项目(52371267，52171250)．

应、系缆张力、护舷变形与反力等指标，是评价港口系泊系统安全性与作业稳定性的关键依据，因此如何准确预测码头或过驳平台前系泊船舶的泊稳性能，受到了国内外学者越来越广泛的关注．物理模型试验是研究波浪作用下船舶系泊问题的主要方法之一．Abdelwahab等[1]基于物理模型试验，探讨了不同海况等级与系泊缆预张力对系泊船舶的影响．Liang等[2]通过物理试验研究了波浪与液舱晃荡联合作用下并靠驳船组的运动特性．Zou等[3]针对两艘并排固定驳船之间的窄缝共振现象开展了系统研究．Wang等[4]针对波浪作用下多浮式矩形结构间因窄缝共振引发的波能演化及涡旋生成与脱落过程，开展了系统的实验设计与研究．Ran等[5]进行了浮式驳船与底座式平台并靠系泊的物理模型试验，重点分析了相同波高、不同波浪周期条件下横浪对船舶运动响应、缆绳张力、护舷压缩量及其反力的影响．严明宇[6]和王瑾等[7]分别基于物理模型试验开展了涌浪作用下系泊船舶的水动力响应研究．

随着计算机技术的发展，数值模拟方法近些年得到了快速的发展，凭借其高效和经济的特点逐渐成为研究波浪对系泊船舶作用问题的主流工具．Buchner等[8]建立了时域数值模型，用于预测LNG-FPSO与LNG运输船并靠系泊时的水动力响应，重点分析了两船间的水动力相互作用与相对运动规律．Koo等[9]采用三维时域势流模型模拟了缆绳连接双浮体的水动力相互作用．Ding等[10]研究波浪与均匀流联合作用下两艘并列固定驳船间的三维窄缝共振问题．Gao等[11]针对双固定浮体构成的窄缝共振系统，全面研究均匀流流向与流速对窄缝共振特性及结构波浪荷载的影响规律．Ganesan等[12]基于三维混合欧拉-拉格朗日方法，系统研究了非线性波浪中并靠双浮体的受力特性、运动响应及窄缝流场行为．Song[13]等研究了并靠船舶输运过程中窄缝内的非线性流体振荡现象．

上述研究表明，过驳平台将对船舶泊稳性能产生重要影响，然而针对平台边壁限制水域对泊稳性能的影响目前仍没有系统性的研究．本研究以客滚船的泊稳性能为对象，分别针对敞水域与过驳平台条件展开研究，深入考察过驳平台对船舶泊稳性能的影响，为工程实际提供指导．

1　物模实验设置与数值模拟方法

1.1　物理模型试验

物理模型实验在大连理工大学海岸和近海工程全国重点实验室波浪水池中进行，如图1所示，图中：L_s和B_s分别为船舶的长和宽；L_p和B_p分别为平台的长和宽．实验采用弗劳德相似准则且缩尺比为λ = 1:50，水池水深为0.5 m，模型布置于距造波机19.3 m处．平台为固定式结构，上部由12根均匀分布的矩形立柱支撑，每根立柱长0.30 m、宽0.30 m、高0.25 m．平台与驳船之间的窄缝宽度为0.11 m，驳船与坐底式平台的详细尺寸参数见表1，表中：L为长；B为宽；D为型深；d为吃水．

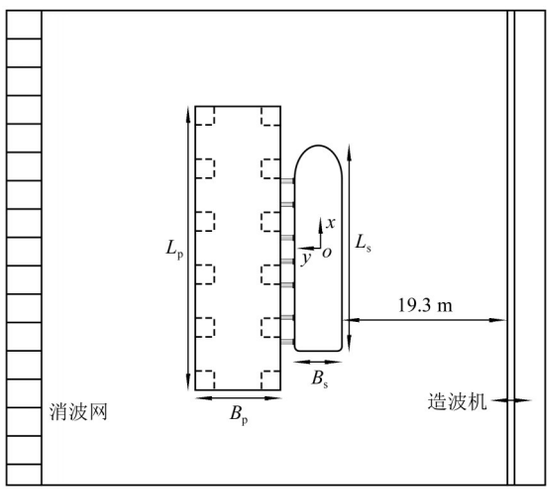


图1　试验布置俯视图

为考虑平台存在的影响，分别在开敞海域及平台傍靠两种工况下开展驳船固有周期的测试．须要说明的是：自由衰减试验过程中，驳船未系泊，相关测量均在无系泊状态下完成．开敞水域下及过驳平台存在情况下的船舶横摇固有周期分别为1.531 s和1.503 s；垂荡固有周期分别为1.309 s和1.254 s．

表1　模型参数

	L/m	B/m	D/m	d/m
船舶	4.360	0.700	0.370	0.164
平台	6.000	1.200	0.650	0.500

实验的系泊系统由8根缆绳(C_1～C_8)和7个护舷(F_1～F_7)组成，如图2所示．护舷选用2250H型圆筒橡胶护舷，其护舷性能的模拟结果如图3所示，图中：黑色曲线为校准后的护舷特性曲线；红色曲线为设计理论曲线；蓝色曲线为吸能曲线；F为护舷反力；E为吸收能量；ΔL为护舷形变量．结果表明实验护舷能准确满足模拟要求．实验中通过线性刚度弹簧模拟系泊缆绳，护舷与缆绳的具体布置与Ran等[5]前期工作相同．

实验仅考虑横浪入射情况，此时驳船在横荡、垂荡与横摇方向运动较为显著，而纵荡、纵摇和艏

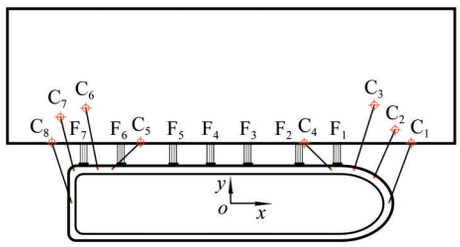


图2　系泊系统示意图

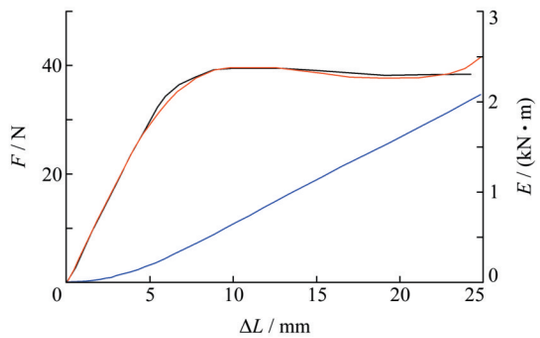


图3　护舷性能曲线图

摇运动可以忽略．分别考虑规则波和不规则波两部分，规则波波高 H=0.02 m，入射波浪周期 T 范围为 0.8～1.7 s，间隔 0.1 s，涵盖了船舶垂荡与横摇自振周期．不规则波采用平均 JONSWAP 谱，谱峰因子 γ=3.3，有效波高 H_1=0.03 m，有效周期 T_1 分别为 0.98，1.15，1.31，1.48，1.64，1.80，1.97，2.13 s．

1.2　数值模拟方法

采用 Commins[14] 提出的脉冲响应函数方法(impulse response function，IRF)开展数值模拟工作，码头前系泊的船舶的时域运动方程为

$$\sum_{j=1}^{6}\left[(M_{kj}+m_{kj})\ddot{\xi}_j(t)+\int_{-\infty}^{t}\dot{\xi}_j(\tau)K_{kj}(t-\tau)\mathrm{d}\tau+\sigma_{kj}\dot{\xi}_j(t)+C_{kj}\xi_j(t)\right]=F_j(t)+G_j(t),\tag{1}$$

式中：M_{kj} 和 C_{kj} 为频域方法中定义相同的物体广义质量和恢复力系数；σ_{kj} 为船舶运动的黏性阻尼；m_{kj} 为时域常数的附加质量；K_{kj} 为迟滞函数；$F_j(t)$ 为波浪的激振力；$G_j(t)$ 为系泊系统引起的非线性作用力，包括系缆力与橡胶护舷作用力，数值模拟中通过将护舷与缆绳变形-受力曲线通过 B 样条函数插值完成．上述参量通过在频域结果的基础上计算得出．

对于时域波浪激振力，可以通过使用波浪力的脉冲响应函数与波面函数的卷积求得

$$F_i=\int_0^t h_i(t-\tau)\eta(\tau)\mathrm{d}\tau\quad(i=1,2,\cdots,6),$$

式中：$\eta(t)$ 为船舶中心处的瞬时波面高度；$h_i(t)$ 为脉冲响应函数，可以通过频域线性传递函数的傅里叶变化求出．

K_{kj} 可根据频域内的辐射阻尼 b_{kj} 经过傅里叶逆变换求得

$$K_{kj}=\frac{2}{\pi}\int_0^{\infty}b_{kj}(\omega)\cos\omega t\mathrm{d}\omega.$$

当依赖于频率的附加质量在某一频率的值是已知时，则时域附加质量可表达为

$$m_{kj}=\alpha_{kj}(\omega')+\frac{1}{\omega'}\int_0^{\infty}K_{kj}(t)\sin\omega' t\mathrm{d}t,$$

式中：$\alpha_{kj}(\omega')$ 为频域附加质量；ω' 为任意选择的频率值．式中所给出的 m_{kj} 的结果不依赖于 ω' 的选取，通常取 $\omega'=\infty$，可得 $m_{kj}=a_{kj}(\infty)$．

上述数值模型的验证将通过与波浪作用下系泊船舶泊稳性能的物理模型实验的对比完成，由于这部分的研究既为验证内容，同时也是研究内容，因此验证部分将在后续波浪作用部分与研究部分同时介绍．

2　过驳平台对频域水动力系数的影响

首先考虑过驳平台对船舶水动力系数的影响．须要特别说明的是：频域分析仅考虑波浪作用下的船舶水动力特性，不包含橡胶护舷的非线性弹性约束与系缆力作用．对于开敞水域的情况，激振力与水动力系数呈现典型的单物体水动力学特征，即随着波浪频率变化而呈现出缓慢变化的特征．图 4 为过驳平台对波浪激振力影响对比图，图中：ω 为波浪角频率；纵轴 f_y，f_z，N_x 分别为横荡、垂荡、横摇三自由度下的波浪激振力或力矩．当考虑过驳平台的影响时，如图 4 所示，由于船舶与平台间流体共振的影响，因此在 ω=5.00 rad/s 附近，横荡与横摇波浪激振力出现显著峰值，该峰值约为开敞水域工况下的 3.5 倍，而垂荡波浪激振力则在该频率附近出现剧烈的振荡．

图 5 为过驳平台对船舶附加质量影响对比，图中：a_{22}，a_{33} 分别为横荡、垂荡下的附加质量；I_{44} 为横摇附加质量．进一步考虑过驳平台对船舶附加质量与辐射阻尼的影响，结果如图 5 所示，船舶附加质量在窄缝共振频率附近也呈现剧烈的振荡现象并分解为两个分支，分别趋向于正负无穷大．

图 6 为过驳平台对船舶辐射阻尼影响对比图，图中：b_{22}，b_{33}，c_{44} 分别为横荡、垂荡、横摇三自由度下的辐射阻尼．如图 6 所示，辐射阻尼在该共振频率处也产生一个极大峰值，最大幅值可到达开敞水域的 10 倍，这说明由于船舶运动而产生的缝隙

间大振幅流体共振运动，将形成一个较强的辐射源，因此导致辐射波显著增大．随着船舶运动频率的增大，在高频区域，开敞水域与过驳平台条件下的波浪激振力、附加质量和辐射阻尼逐渐趋向相同，过驳平台不再产生显著影响．在低频区域，当频率趋向于零时，两种条件下的激振力与水动力系数趋向相同．总体而言，船舶与浮体间流体共振对船舶的频域激振力与频域水动力学系数带来了强烈的改变．由此可见，上述结论与我们的前期研究成果(例如 Jiang 等[15]和 Liu 等[16-17]的研究)是完全一致的．

考虑频域条件下船舶运动响应的结果，如图 7 所示，图中：A 为波幅；k 为波数；ξ_y，ξ_z，α_x 分别为横荡、垂荡、横摇三自由度下的运动响应幅值．首先考虑开敞水域情况，从图 7(c)可以看出，在 ω=4.60 rad/s 附近，横摇运动出现较大峰值，该频率对应为船舶横摇共振频率．在此基础上，由于横荡-横摇耦合作用的影响，因此图 7(a)所示开敞水域下船舶横荡运动在 ω=4.60 rad/s 处出现一个明显谷值．垂荡运动由于与横荡与横摇的耦合作用在开敞水域条件下均较弱，因此运动响应幅值随波浪频率的变化而呈现出缓慢变化的特征，如图 7(b)所示．

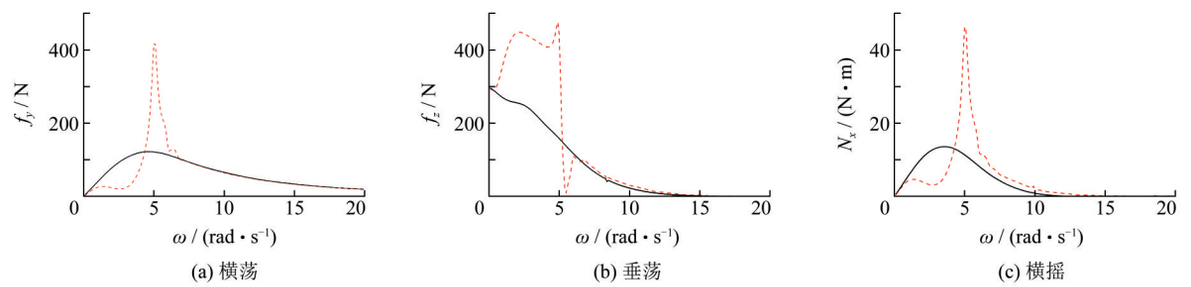


图 4　过驳平台对波浪激振力及力矩影响对比图

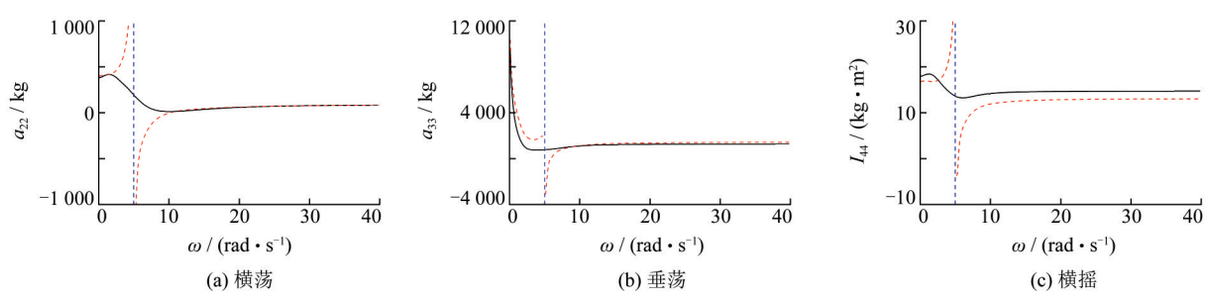


图 5　过驳平台对船舶附加质量影响对比

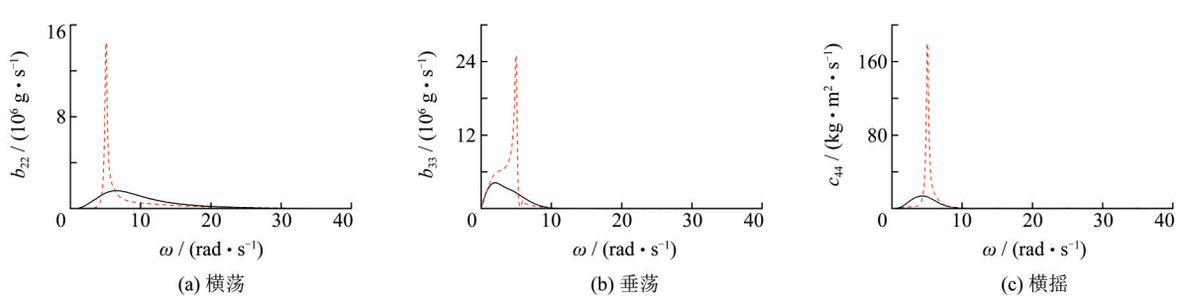


图 6　过驳平台对船舶辐射阻尼影响对比图

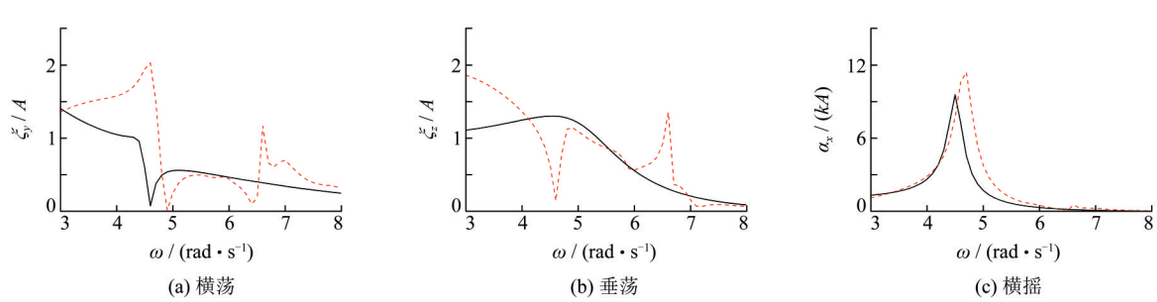
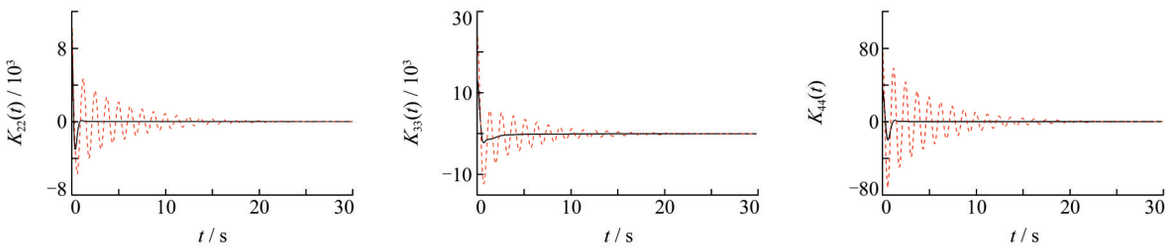


图 7　船舶运动响应的频域结果对比

进一步考虑过驳平台的影响，对于横摇运动，由于过驳平台的影响，因此横摇共振频率向高频移动，在ω=4.7 rad/s附近横摇出现较高峰值．对于横荡与垂荡情况，在横摇共振与流体共振两者共同的耦合作用影响下，在ω=4.4～5.00 rad/s的频率范围内，船舶运动响应随入射波频率的变化而剧烈改变，过驳平台的影响最为显著．最后，在ω=6.60 rad/s附近，横荡与垂荡均出现另一个峰值，这主要是船舶运动与流体共振耦合作用的结果，有关这一问题可参考Jiang等[15]的理论分析．

进一步分析过驳平台对系泊船舶时域水动力系数的影响．由式(1)可知，时域附加质量与延迟函数是决定时域运动响应的关键参数．首先考虑时域附加质量，其定义为$m_{kj}=\beta_{kj}(\infty)$．如图5所示，高频阶段附加质量随频率增加逐渐趋于常数．更重要的是，由图5(a)和(b)可见，过驳平台的存在不改变横荡与垂荡方向的时域附加质量；而图5(c)显示，过驳平台使横摇方向的时域附加质量略有减小，但总体影响较小．因此，过驳平台对系泊船舶的时域附加质量无决定性影响．

最后分析过驳平台对系泊船舶时域迟滞函数的影响如图8所示，图中：K_{22}，K_{33}，K_{44}分别为横荡、垂荡、横摇三自由度下的迟滞函数．无平台时迟滞函数呈现过阻尼自由衰减特征；有平台时则表现为典型小阻尼自由衰减特征．



(a) 横荡　　(b) 垂荡　　(c) 横摇

图8　过驳平台对船舶迟滞函数影响对比

在开敞水域条件下，迟滞函数随时间快速衰减：当首次到达波谷时，横荡、垂荡、纵荡方向的绝对值分别衰减71.91%，84.06%和47.96%；随后横荡与横摇方向约2 s、垂荡方向约4 s后几乎衰减为零．当过驳平台存在时，迟滞函数呈现明显的波动特征，衰减较慢：横荡方向5 s衰减80.52%，10 s衰减92.32%；垂荡方向5 s衰减86.14%，10 s衰减95.09%；横摇方向5 s衰减67.81%，10 s衰减87.67%，三自由度迟滞函数衰减至10%以下所需时间为开敞水域下的6～12倍．由此可见，过驳平台对时域水动力系数的影响主要体现在迟滞函数上．

3　时域规则波作用下过驳平台对系泊船舶的泊稳性能影响

考虑规则波作用下过驳平台对系泊船舶泊稳性能的影响，图9为系泊船舶运动响应的对比结果．首先，对比过驳平台条件下的实验与数值结果，从图中可以看出，两者总体符合良好，验证了本文数值方法的正确性．进一步对比开敞水域与过驳平台两种条件下的数值结果：在横荡方向，过驳平台使船舶横荡运动在常见周期内显著增大，尤其在短周期T≤1.3 s时差异最为突出，平均约为开敞水域的2.7倍．在横摇方向，两者的差别主要体现于共振周期附近：开敞水域条件下，由于系泊系统的约束，因此船舶横摇运动未出现明显共振峰值；而过驳平台的存在则导致横摇运动在共振周期下显著增大，最大增幅可达近4倍．在垂荡方向，当周期T≤1.2 s时，开敞水域系泊船舶垂荡运动大于有过驳平台的情况；而当T≥1.3 s时，则相反，有过驳平台的垂荡运动更大．同时，开敞水域下当系泊船舶在T=1.2 s时的垂荡运动是所有工况中的最大峰值．总体而言，过驳平台的存在会使系泊船舶的横荡和横摇运动显著增大．

进一步对系泊船舶的护舷变形与约束反力进行研究，如图10所示．由于本研究针对的是横浪入射，尽管三维效应显著，但总体呈现二维特征，且前期实验与数值模拟表明护舷变形与受力具有明显相似性，因此本研究仅展示护舷的平均变形与平均受力．首先开展数值方法的验证，从图10中可以看出：数值结果与实验总体符合良好，表明本文模型对护舷变形与反力的计算具有较高准确性．

图10(a)为不同波浪周期下护舷的变形情况，可以看出护舷变形与船舶横荡运动响应高度相关，这是因为护舷变形主要来源于船舶向岸运动，而横荡运动产生的挤靠力大于横摇运动，从而使两者呈现相似的规律．与横荡运动一致，当考虑过驳平台

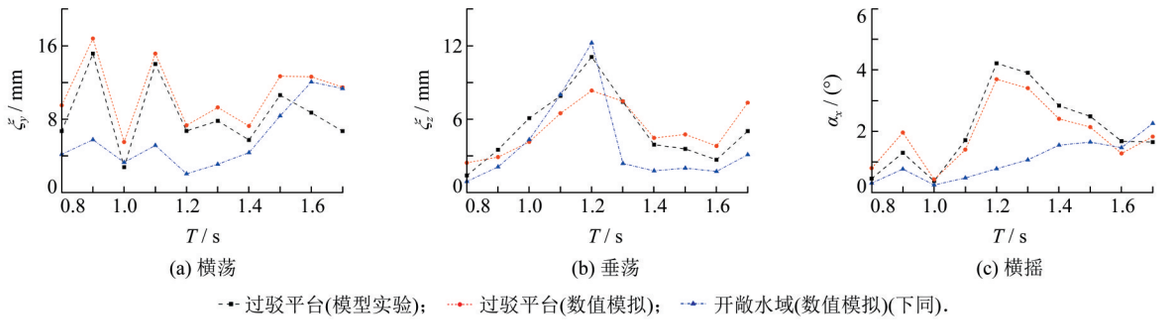


图9　过驳平台对船舶运动响应影响对比

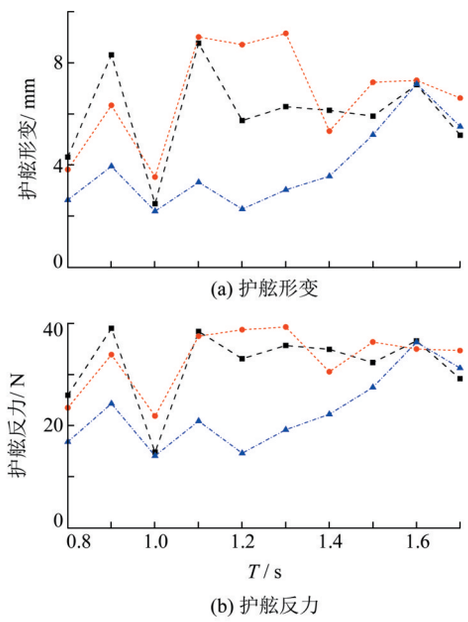


图10　过驳平台对护舷形变、反力影响对比

时，护舷变形量显著大于开敞水域工况，全周期平均变形量约为后者的1.5倍.

相应地，如图10(b)所示，护舷反力在有过驳平台时也显著大于开敞水域情况，平均约为开敞水域下的2倍. 值得注意的是：在本研究条件下，开敞水域中护舷的变形-反力特征主要处于橡胶护舷“变形-反力”曲线的第一阶段；而当过驳平台存在时，则处于第二阶段，即图中 T=1.1～1.3 s区间，此时不同变形量对应的护舷反力基本保持不变. 在该周期区间下，考虑过驳平台情况下的护舷形变与反力约为开敞水域下的3.2和2.2倍.

考虑开敞水域与过驳平台条件下系泊船舶系缆力的情况，与护舷研究类似，由于横浪入射，因此仍可采用平均化的处理方式. 然而，缆绳布置差异较大，艏艉缆、艏艉横缆和艏艉倒缆的受力存在显著区别，因此分别对三者进行对比，结果如图11所示.

从图11中可以看出：当有过驳平台时，数值模型与实验结果在系缆力随入射波浪周期变化的趋势上总体一致，但数值模拟得到的艏艉缆和艏艉横缆结果明显大于实验结果. 这主要是因为系缆力对缆绳状态非常敏感，实验中的初始效应等因素会使船舶位置发生变化，从而显著改变系缆力；而数值模型采用理想化的初始条件，导致两者间存在一定差异. 总体来看，艏艉倒缆的数值与实验结果符合最好，艏艉横缆次之，艏艉缆差异较大，但整体仍能满足数值分析的精度要求.

在开敞水域条件下，系缆力随周期的变化与船舶横荡、横摇运动具有一定相似性，总体对波浪周期的依赖性较弱. 当有过驳平台时，系缆力与波浪周期呈现显著的依赖关系，在 T=1.1～1.3 s附近出现较大峰值，艏艉缆、艏艉横缆和艏艉倒缆依次增大2.8倍、3.1倍及2.2倍. 结合图9(c)可见：该周期对应系泊船舶的共振周期，此时横摇也出现较大峰值. 总体而言，在规则波作用下，过驳平台会显著影响系泊船舶的泊稳性能，主要表现为横荡与横摇运动的明显增大，从而导致系缆力和橡胶护舷受力显著增加.

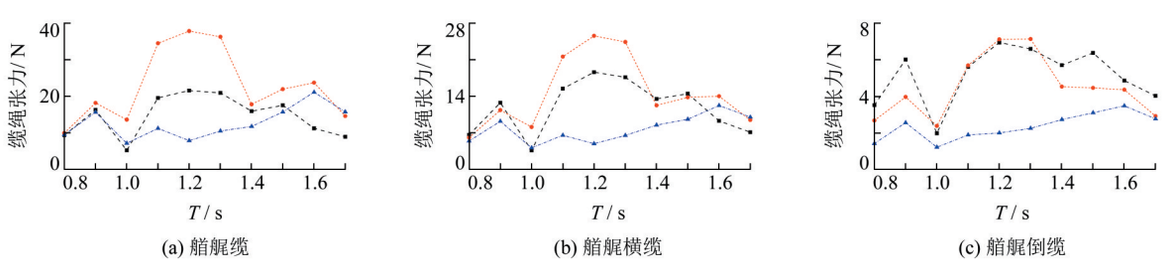
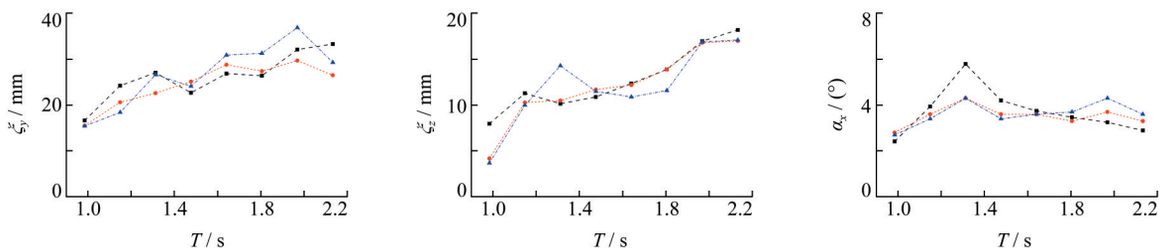


图11　过驳平台对缆绳力影响对比

4　时域不规则波作用下过驳平台对系泊船舶的泊稳性能影响

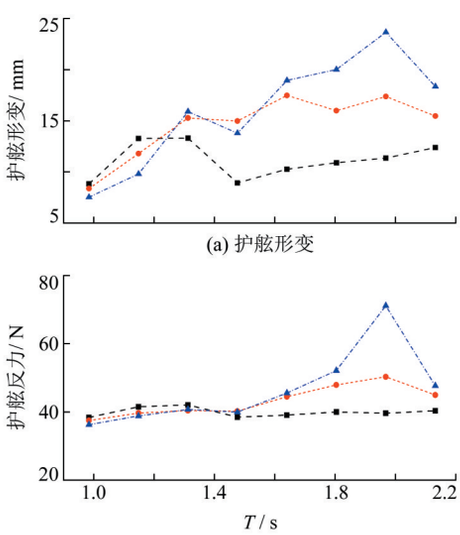
进一步考虑不规则波作用下开敞水域与有过驳平台、系泊船舶的泊稳性问题，系泊船舶运动响应对比结果，结果见图 12．首先开展数值方法的验证，从图 12 中可以看出，数值与实验结果基本符合较好．对比开敞水域与靠泊过驳平台条件下系泊船舶的运动响应：总体而言，当不规则波作用时，有无过驳平台对应的船舶运动差异，明显小于规则波工况，且各运动响应随波浪周期的变化规律整体一致．在此基础上，对于横荡与横摇运动，如图 12(a)和(c)所示，在短周期入射波浪下，两种工况的运动响应幅值相近；而当长周期波浪作用时，开敞水域的运动振幅则略高于过驳平台工况．图 12(b)为垂荡运动情况，短周期条件下开敞水域略大于过驳平台的情况．由此可知：在不规则波作用下，过驳平台的存在并未对系泊船舶运动响应产生特别显著的影响．



(a) 横荡　　(b) 垂荡　　(c) 横摇

图 12　不规则波作用下过驳平台对船舶运动响应影响对比

图 13 所示为不规则波作用下系泊船舶护舷变形与护舷反力随入射波浪周期的变化．首先，通过数值与实验对比可以看出，数值结果在短周期条件下与实验结果符合较好，而长周期条件下，护舷变形存在一定的差异，如图 13(a)所示，但总体而言数值结果能够对护舷变形进行较为准确的模拟．进一步，如图 13(b)所示，护舷反力总体结果符合较好．在此基础上，开展开敞水域与过驳平台条件下数值结果的对比，从图 13 中可以看出：在短周期条件下，过驳平台的存在对于护舷变形和护舷反力的影响不大，随着波浪周期的增大，两者的差别显著增大，开敞水域情况的护舷变形与反力将大于过驳平台存在的情况，这说明在不规则波浪条件下，过驳平台的存在将降低系泊船舶向岸运动对护舷的撞击与挤靠力．

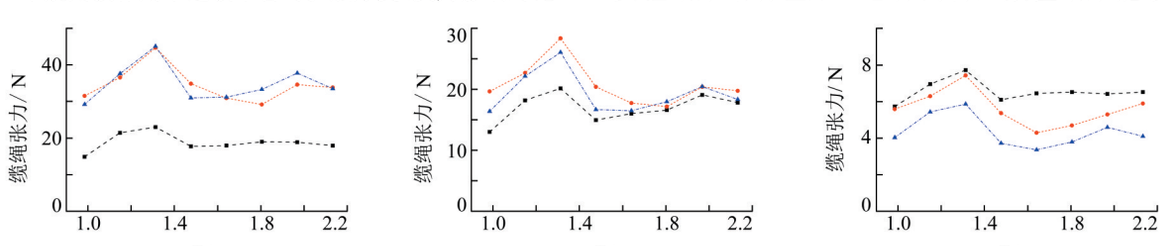


(a) 护舷形变

(b) 护舷反力

图 13　不规则波作用下过驳平台对护舷形变、反力影响对比

图 14 为不规则波作用下系泊船舶缆绳张力的结果，图中仍分别提取艏艉缆、艏艉横缆、艏艉倒缆的受力情况进行对比．首先，数值模拟结果的艏艉缆结果总体大于实验结果，而对于艏艉横缆和艏艉倒缆的情况，数值结果分别在短周期与长周期与实验结果略有差距．总体而言，数值结果能够满足



(a) 艏艉缆　　(b) 艏艉横缆　　(c) 艏艉倒缆

图 14　不规则波作用下过驳平台对缆绳力影响对比图

分析精度的需求．进一步对比开敞水域与过驳平台条件下的结果对比，由于系缆力的变化主要与船舶的离岸运动有关，因此系缆力的变化与船舶横荡与横摇运动呈现较强的依赖关系．不同的是，开敞水域与过驳平台条件下系泊船舶系缆力基本保持一致，而并未出现如图12(a)和(c)所示的横荡与横摇运动在较大周期范围内，开敞水域结果略大于过驳平台结果的现象．

5　结语

过驳平台会导致系泊船舶的频域波浪激振力、附加质量及辐射阻尼产生明显振荡，各项参数峰值显著提升．其中，横荡与横摇方向的激振力、辐射阻尼峰值，分别可达开敞水域工况的3.5倍和10倍．受频域辐射阻尼影响，船舶时域迟滞函数振荡时长显著增加，衰减时长增大至原来的6～12倍，波浪作用持续时间更长，但其对时域附加质量的影响十分有限．在规则波作用下，过驳平台会显著加剧船舶运动响应，横荡与横摇运动尤为明显，平均幅值约为开敞水域下的1.8倍；同时，缆绳张力、护舷反力及变形量在船舶固有周期附近均显著增大，峰值约为开敞水域的2～4倍．在波浪周期成分复杂的不规则波作用下，过驳平台对船舶泊稳性能的影响程度较弱，整体响应差异较小．研究成果可为码头过驳作业与系泊系统设计提供理论依据与技术参考．

参　考　文　献

[1] ABDELWAHAB H S，PINHEIRO L，SANTOS J A，et al．Experimental investigation of wave severity and mooring pretension on the operability of a moored tanker in a port terminal[J]．Ocean Engineering，2024，291：116243．

[2] LIANG H，LIU X B，CHUA K H，et al．Wave actions on side-by-side barges with sloshing effects：fixed-free arrangement[J]．Flow，2022，2：E20．

[3] ZOU M Y，CHEN M S，ZHU L，et al．Experimental and numerical investigation of gap resonances between side-by-side fixed barges under beam sea excitation[J]．Ocean Engineering，2024，297：117150．

[4] WANG X Y，LIU Y，WANG F，et al．Wave energy evolution and vortex dynamics induced by gap resonance between multiple floating rectangular structures[J]．Physics of Fluids，2025，37：013631．

[5] RAN Y Q，GU Q，HUANG M H，et al．Experimental investigation on the behavior of moored floating barge alongside a bottom-mounted platform[J]．Journal of Hydrodynamics，2025，37(5)：892-902．

[6] 严明宇．涌浪作用下港内系泊船水动力响应研究[D]．大连：大连理工大学，2024．

[7] 王瑾，杨献鹏，孙华斌，等．系泊船舶动力响应特性试验研究[J]．船舶工程，2024，46(1)：58-64，78．

[8] BUCHNER B，VAN DIJK A，DE WILDE J J．Numerical multiple-body simulations of side-by-side mooring to an FPSO[C]// Proc of International Offshore and Polar Engineering Conference．Stavanger：[s.n.]，2001：343-353．

[9] KOO B J，KIM M H．Hydrodynamic interactions and relative motions of two floating platforms with mooring lines in side-by-side offloading operation[J]．Applied Ocean Research，2005，27(6)：292-310．

[10] DING Y F，WALTHER J H，LIANG H，et al．CFD modeling of three-dimensional gap resonances between side-by-side barges under combined wave and current excitation[J]．Marine Structures，2025，103：103826．

[11] GAO J L，WU Y T，SONG Z W，et al．Influences of low velocity uniform current on characteristics of gap resonance occurring between two adjacent fixed bodies[J]．Marine Structures，2026，106：103961．

[12] GANESAN T S，SEN D．Time domain simulation of side-by-side floating bodies using a 3D numerical wave tank approach[J]．Applied Ocean Research，2016，58：189-217．

[13] SONG Z W，LOU X F，JIN Y，et al．Time-dependent nonlinear fluid oscillations in the gap between two side-by-side ships during transfer[J]．Physics of Fluids，2025，37：017108．

[14] CUMMINS W E．The impulse response function and ship motions[J]．Schiffstechnik，1962，9：101-109．

[15] JIANG S C，BAI W，LIU H，et al．Identification of the two-degree-of-freedom system for heave motion responses of twin hulls with a moonpool[J]．Physics of Fluids，2025，37(2)：021702．

[16] LIU H，YIN Y，JIANG S C．Coupling actions between motion response and gap resonance in a roll-fixed two-box system[J]．China Ocean Engineering，2025，39(4)：597-607．

[17] LIU H，SONG Z W，JIANG S C，et al．Coupling dynamics of gap resonance and heave motion of floating box in front of a fixed box[J]．Physics of Fluids，2025，37(3)：032117．