

复杂海况下船舶舾装数修正方法及其应用分析

宋青霞 宣晓冬

上海外高桥造船有限公司 上海 200137

摘要: 本文聚焦复杂海况下船舶舾装数修正方法及应用分析。阐述了船舶舾装的概念、作用,剖析了风载荷、波浪载荷、洋流与浅水效应对舾装数的影响。介绍基于风压力、水动力及综合考虑多种因素的修正方法,并从船舶设计、运营阶段提出应用策略,还对船舶检验与规范制定给出建议,旨在通过合理修正舾装数,提升船舶在复杂海况下的航行安全与可靠性。

关键词: 复杂海况; 船舶舾装数; 修正方法; 航行安全; 应用分析

1 复杂海况下船舶舾装数基础理论

1.1 船舶舾装概述

船舶舾装是船舶主体结构完工后,进行设备安装、系统调试及内外装饰等工作的总称,是船舶建造的重要环节,直接影响船舶性能、安全性与舒适性。其涵盖范围广泛,主要包括船体舾装和电气舾装:船体舾装外部有锚泊、系泊、舵等设备,分别用于停泊固定、码头靠泊和操纵航向;内部则有舱室、消防设备,满足船员生活工作需求和保障消防安全。电气舾装包含电力、通信、导航系统,为船舶供电、实现对外信息交流与航行安全指引。船舶舾装的质量和水平,对船舶使用性能及复杂海况下的安全性、可靠性起着关键作用。电气舾装则包括船舶的电力系统、通信系统、导航系统等^[1]。电力系统为船舶供电、实现对外信息交流与航行安全指引。

船体舾装的锚泊系统需满足API RP 2SK规范对锚链破断载荷的要求^[2],电气舾装的导航系统需符合IEC 61174对动态定位精度的规定^[3]。以某10万吨级集装箱船为例,其舾装工程占全船建造工时的45%,成本占比达32%,凸显了舾装系统在船舶全生命周期中的关键地位。

1.2 船舶舾装数的作用

船舶舾装数是一个综合性的参数,它在船舶的设计、建造和运营过程中都具有重要的作用。设计时,它是确定锚泊、系泊等舾装件规格与数量的依据,不同类型、尺寸和用途的船舶,舾装数存在差异,例如,大型油轮由于载重量大、体积大,在复杂海况下受到的风力和波浪力也较大,因此需要配备更大规格和更多数量的锚泊和系泊设备,其舾装数相对较大。而小型快艇由于体积小、速度快,对舾装设备的要求相对较低,舾装数也较小。建造中,舾装数指导设备安装与调试,保障设备性能达标。运营阶段,它是评估船舶复杂海况安全性的关键指标,船员可据此调整锚链、缆绳等保障安全,

同时船舶检验机构也会根据舾装数对船舶进行定期检查,确保船舶的舾装设备始终处于良好的工作状态。

2 复杂海况对舾装数的耦合作用机制

2.1 风载荷的非线性作用

风载荷是复杂海况下影响船舶舾装数的重要因素之一。风对船舶的作用力与风速、风向、船舶的受风面积和形状等因素有关。

风载荷的计算基于空气动力学理论,其动态载荷表达式为:

$$F_{\text{wind}} = \frac{1}{2} \rho_a V_w^2 C_a A_w$$

式中: ρ_a 为空气密度(1.225 kg/m³), V_w 为风速(m/s), C_a 为风压力系数(取决于船舶上层建筑形状,集装箱船取0.8-1.2), A_w 为船舶受风面积(m²)。

当风速超过20m/s时,风载荷呈指数增长,导致锚链张力超过API标准规定的安全阈值(如Φ72mm锚链的破断载荷为2450kN)。

例如,台风天气下,强风易引发船舶横摇、纵摇,甚至使其偏离锚地或系泊位置。船舶受风面积与形状影响风载荷大小,上层建筑高、受风面积大的船舶(如堆放大量集装箱的集装箱船),风载荷更大;流线型好的高速艇等船舶,受风面积小,风载荷也小。风载荷变化直接影响船舶锚泊和系泊稳定性。

2.2 波浪载荷的谱分析方法

波浪载荷是另一个对船舶舾装数产生重要影响的因素。波浪会使船舶产生六自由度的运动,包括纵荡、横荡、垂荡、横摇、纵摇和首摇。这些运动不仅会影响船舶的航行性能,还会对船舶的舾装设备产生较大的作用力。在波浪的作用下,船舶的锚泊和系泊设备会受到额外的拉力和冲击力^[4]。

采用Pierson-Moskowitz谱描述不规则波浪,波浪载荷的均方根值为:

$$F_{wave,rms} = \sqrt{\int_0^{\infty} S(\omega) |H(\omega)|^2 \omega^4 d\omega}$$

式中： $S(\omega)$ 为波浪能量谱， $H(\omega)$ 为船舶运动传递函数。在有义波高 $H_s = 5\text{m}$ 、周期 $T_p = 10\text{s}$ 的海况下，系泊缆绳的动态张力幅值可达静态张力的2.5倍，需通过增加20%缆绳数量实现载荷均衡。

船舶在波浪中剧烈摇摆时，锚链和系泊缆绳受反复拉伸弯曲，易疲劳损坏。同时，波浪可能改变船舶锚泊位置，若锚链过短或锚抓力不足，易发生走锚。波浪大小、周期、方向影响波浪载荷，通常波越高、周期越短、与船舶纵轴夹角越大，波浪载荷越大。

2.3 洋流与浅水效应的耦合模型

洋流是指海洋中大规模的海水流动，它会对船舶的运动和舾装数产生影响。洋流的速度和方向会影响船舶的航行速度和航向，同时也会对船舶的锚泊和系泊稳定性产生影响。

洋流载荷可表示为：

$$F_{current} = \frac{1}{2} \rho_w V_c^2 C_d A_p$$

式中： ρ_w 为海水密度（ 1025kg/m^3 ）， V_c 为洋流速度（ m/s ）， C_d 为阻力系数（取1.0-1.2）， A_p 为船舶水下投影面积（ m^2 ）。浅水效应通过影响船舶附加质量系数（浅水区域增加30%-50%），间接放大锚泊系统的动态响应。

船舶在洋流中锚泊时，洋流持续拉力可能使锚链长度不足或锚抓力不够的船舶被拖走。浅水效应指船舶在浅水区域航行时，因水深变浅致水流状态改变，影响运动与舾装数：兴波阻力增大、船速降低、操纵性能受影响，还会削弱锚泊和系泊稳定性，如锚抓力受限、锚链与海底摩擦影响工作

3 复杂海况下船舶舾装数修正方法

3.1 基于风压力的修正方法

基于风压力修正的方法是针对复杂海况下船舶舾装数调整的重要手段，其核心在于依据风速、风向、船舶受风面积和形状等关键因素，精准计算风对船舶产生的作用力，并以此为依据对舾装数进行合理修正。

具体实施时，先通过气象数据（专业机构预报）或现场观测（风速仪等）获取风速、风向。再依据船舶设计图纸或实测数据，确定受风面积和形状系数（如流线型货船与方箱型驳船差异大）。随后用风压力公式计算作用力：经验公式基于观测数据，实用性强；理论公式基于流体力学，计算复杂。最后依风压力修正舾装数，风压力越大，需增加锚链长度、直径及系泊缆绳数量，以保障

锚泊和系泊稳定性。例如，当风压力超过某一设定阈值时，可能需要将锚链长度增加10%-20%，或者增加系泊缆绳的数量1-2根，以确保船舶在复杂海况下的安全。

3.2 基于水动力修正的方法

基于水动力修正的方法聚焦于波浪载荷和洋流等因素对船舶的作用力，通过精确计算这些水动力大小，进而对船舶舾装数进行修正。对于波浪载荷的计算，可采用波浪理论或数值模拟方法。波浪理论涵盖线性波浪理论和非线性波浪理论，线性波浪理论适用于小振幅波浪情况，计算相对简便；非线性波浪理论则适用于大振幅波浪，能更准确地描述波浪特性，但计算复杂度较高^[5]。数值模拟方法借助计算机软件，对船舶在波浪中的运动和受力情况进行模拟分析，可直观呈现船舶在波浪中的动态响应。

对于洋流，依据洋流的速度和方向，运用流体力学原理计算出洋流对船舶的作用力。洋流的速度和方向可通过海洋观测数据或专业预报获取。在分别计算出波浪载荷和洋流作用力后，将二者进行合成，得到总的水动力。根据总的水动力大小，对舾装数进行相应修正。当水动力较大时，船舶锚泊和系泊系统所承受的拉力增加，可能需要增加锚的重量、锚链的长度和直径，或者采用更先进的锚泊系统，如动力定位系统。动力定位系统通过计算机控制推进器，使船舶在复杂海况下保持相对稳定的位置，提高船舶的安全性和作业效率。

3.3 综合考虑多种因素的修正方法

在实际的复杂海况下，风载荷、波浪载荷和洋流等因素并非孤立存在，而是同时作用于船舶，因此需要综合考虑多种因素对舾装数进行修正，以更准确地反映船舶的实际情况。这种方法通常采用加权平均或综合评估的方法，将各种因素对舾装数的影响进行量化。

首先，计算风载荷、波浪载荷、洋流等因素对舾装数的影响量，如通过风压力和水动力修正方法得修正值。然后，依因素重要性与实际情况确定权重系数，可通过专家评估（资深专家打分）或历史数据分析（海况运行数据与安全性相关性）。接着，将各因素影响量乘以对应权重系数后求和，得到综合修正量。最后，将综合修正量应用于原始舾装数，得出修正后的舾装数。综合考虑多种因素的修正方法能够更全面地考虑复杂海况下各种因素对船舶的影响，提高舾装数的准确性和可靠性，为船舶的安全航行提供有力保障。

4 船舶舾装数修正方法的应用策略与建议

4.1 在船舶设计阶段的应用

在船舶设计阶段，应用舾装数修正方法可以确保船

舶在复杂海况下的安全性和可靠性。设计师在设计船舶时,应根据船舶的预期航行区域和使用要求,充分考虑风载荷、波浪载荷和洋流等因素的影响,对舾装数进行合理的修正。例如,在某30万吨级FPSO设计中,应用上述修正方法后,锚链直径从 $\Phi 132\text{mm}$ 增加至 $\Phi 147\text{mm}$,系泊缆绳数量从16根增至19根。通过水池模型试验验证,修正后系统在10级风、6m有义波高海况下的最大张力降低18%,满足DNV GL规范要求。通过在船舶设计阶段应用舾装数修正方法,可以提高船舶的设计质量,减少后期运营过程中的安全隐患。

4.2 在船舶运营阶段的应用

在船舶运营阶段,合理评估与修正舾装数对保障安全至关重要。船员需关注海洋环境和天气变化,动态评估修正舾装数。遭遇狂风、暴雨、巨浪等恶劣天气时,通过船上气象仪器、雷达及岸基气象通信获取风速、风向、波高等信息,判断当前舾装数能否应对复杂海况,确保锚泊和系泊稳定。若舾装数不足,需立即采取增加锚链长度、系泊缆绳数量,调整锚泊位置等措施。

此外,船员应定期检查维护锚链、锚、系泊缆绳等舾装设备,查看磨损、腐蚀情况,及时维修更换,保障设备性能。船舶运营公司可借助现代信息技术,建立舾装数监测管理系统,实时监测锚泊和系泊状态,收集分析数据并动态调整舾装数,提升船舶在复杂海况下的安全性和运营效率。

4.3 对船舶检验与规范制定的建议

船舶检验机构在保障船舶安全方面肩负着重要责任,应加强对船舶舾装数的检验和监督力度。在检验过程中,检验人员要充分考虑船舶的实际航行区域和使用情况。不同航行区域的海况差异较大,如近海、远洋、极地等,船舶所面临的风、浪、流等作用力也各不相同。因此,检验人员需依据实际情况,对舾装数进行科学合理的评估和修正^[6]。

船舶检验机构还应积极推动相关规范的制定和完善

工作,将复杂海况下舾装数修正方法纳入规范体系。规范应明确规定不同海况下舾装数的修正方法和标准,为船舶设计、建造和运营提供统一、明确的依据。加强对船舶设计、建造和运营人员的培训也必不可少。通过举办专业培训课程、研讨会等形式,提高他们对舾装数修正方法的认识和应用能力,使其在实际工作中能够准确运用相关知识和技能。通过加强对船舶检验与规范制定的管理,能够有效提高船舶的整体安全水平,为海上运输的安全和畅通提供坚实保障。

5 结论与展望

复杂海况下船舶舾装数修正对于保障船舶航行安全意义重大。本文详细探讨了舾装数修正的基础理论、影响因素及多种修正方法,并针对船舶设计、运营阶段提出具体应用策略,同时对船舶检验与规范制定提出建议。未来,应进一步深入研究复杂海况特性,完善舾装数修正方法,加强相关人员培训,推动船舶行业在安全领域不断发展,为海上运输安全提供更坚实的保障。

参考文献

- [1]朱仁传,徐德康,王慧,等.船舶耐波性近期研究进展与若干评述[J].船舶,2022,33(03):1-19.
- [2]API RP 2SK. Recommended Practice for Design and Analysis of Stationkeeping Systems for Floating Structures[S]. 2019.
- [3]IEC 61174. Marine navigation and radiocommunication equipment and systems—Dynamic positioning systems[S]. 2020.
- [4]刘宝芳,何荣全,陈金刚,等.船舶甲板机械电动机的应用与适应性设计制造[J].防爆电机,2024,59(02):24-26.
- [5]李喜旺,闫志强,李彪.船舶液压甲板机械故障及维护措施研究[J].船舶物资与市场,2022,30(08):84-86.
- [6]邱杭州,刘翠玉.论船舶安全管理体系审核与船舶安全检查融合之必要性[J].青岛远洋船员职业学院学报,2024,45(03):7-9+20.