

Study on the safety performance assessment and reinforcement strategy of Marine platform structure in extreme environment

Yanan Chen

Biwei (Tianjin) Security Technology Co., Ltd., Tianjin, 300000, China

Abstract

The structural safety of Marine platforms in extreme environments has always been an important topic in the field of ocean engineering. Marine platforms are exposed to harsh Marine climate conditions and dynamic loads for a long time, and they are susceptible to corrosion, fatigue and other environmental factors, resulting in potential safety risks of the structure. This paper summarizes the safety performance assessment method of Marine platform in extreme environment, analyzes the main factors affecting the safety of platform structure, and discusses the application and development of platform reinforcement strategy. Through numerical simulation, finite element analysis and other methods, combined with practical cases, the platform structure under extreme conditions is studied, and targeted reinforcement measures are proposed, aiming to provide theoretical basis and technical support for the design, operation and maintenance of the Marine platform. The study shows that accurate safety performance assessment and reasonable reinforcement strategy can effectively improve the wind and wave resistance of the Marine platform in extreme environments, extend the service life of the platform, and ensure the safety and economy of the Marine platform.

Keywords

Marine platform; extreme environment; structural safety; performance evaluation; reinforcement strategy; finite element analysis

极端环境下海洋平台结构安全性能评估与加固策略研究

陈雅楠

必维(天津)安全技术有限公司, 中国·天津 300000

摘要

海洋平台在极端环境下的结构安全性一直是海洋工程领域的一个重要课题。海洋平台长期暴露在严酷的海洋气候条件和动态荷载作用下,易受到腐蚀、疲劳和其他环境因素的影响,造成结构的安全隐患。本文综述了极端环境下海洋平台的安全性能评估方法,分析了影响平台结构安全性的主要因素,探讨了平台加固策略的应用与发展。通过数值模拟、有限元分析等方法,结合实际案例,对平台结构在极端条件下的表现进行研究,并提出了针对性加固措施,旨在为海洋平台的设计、运营和维护提供理论依据和技术支持。研究表明,精确的安全性能评估与合理的加固策略能够有效提高海洋平台在极端环境下的抗风浪能力,延长平台使用寿命,确保海洋平台的安全性和经济性。

关键词

海洋平台; 极端环境; 结构安全; 性能评估; 加固策略; 有限元分析

1 引言

海洋平台作为海洋油气开采、风电等能源利用的核心基础设施,其安全性直接关系到资源开发和生态保护。海洋平台长期处于复杂的海洋环境中,受到极端气候条件(如强风、暴雨、台风等)、海流、波浪以及腐蚀等多重因素的影响,极大地增加了结构损伤和故障的风险。特别是在深海和极地等特殊环境下,海洋平台的设计和运营面临更加严峻的挑战。因此,如何对海洋平台结构的安全性能进行科学评估,并采取有效的加固措施,已经成为当前海洋工程领域亟待解

决的关键问题。

随着计算机技术、材料科学和工程技术的不断发展,海洋平台的结构安全性评估方法逐渐从传统的经验性分析转向数值模拟、动态分析等现代化手段。通过采用有限元分析、可靠性分析、健康监测等技术,能够更加精确地评估海洋平台在极端环境下的表现。同时,随着新型高性能材料的研发和结构加固技术的进步,海洋平台的加固策略也得到了广泛的研究和应用。

本文旨在通过分析海洋平台在极端环境下的安全性能,结合不同的评估方法和加固策略,为海洋平台的结构优化和维护提供理论支持。具体内容包括海洋平台的安全性能评估方法、影响因素分析、加固策略研究等,探讨当前技术发展的趋势以及未来的研究方向。

【作者简介】陈雅楠(1985-),女,中国天津人,本科,工程师,从事海洋平台结构安全评估、设计审查研究。

2 极端环境下海洋平台的安全性能评估方法

2.1 基于有限元分析的结构安全评估

有限元分析 (FEA) 是一种通过将复杂结构分解为有限个小单元, 模拟各单元受力、变形和失效等行为的数值计算方法。对于海洋平台这种复杂的结构体系, 有限元分析能够较为准确地模拟其在极端环境条件下的响应行为。通过建立平台的三维有限元模型, 结合海洋环境中的波浪荷载、风荷载和海流荷载等, 进行结构响应分析, 可以获得平台结构在极端条件下的应力、位移等关键参数, 进而评估其安全性能。

在实际应用中, 有限元分析常用于评估海洋平台在风暴、台风等极端气候条件下的响应特性。分析结果可为平台的设计和加固提供依据。例如, 通过模拟台风过境时平台的风载作用, 计算平台结构的极限状态, 并评估可能的结构损伤和失效风险。

2.2 疲劳与腐蚀效应的综合评估

海洋平台由于长期暴露在海洋环境中, 疲劳和腐蚀效应对其安全性构成了严重威胁。疲劳损伤主要源于反复的波浪荷载和风荷载作用, 而腐蚀效应则是海水环境对平台结构材料的侵蚀过程。为了全面评估海洋平台在极端环境下的安全性, 需要综合考虑疲劳和腐蚀对平台结构的影响。

疲劳分析通常基于 S-N 曲线法, 通过计算平台结构在特定环境下的应力幅值, 预测其疲劳寿命。而腐蚀效应则需要复合材料的腐蚀速率和平台结构的暴露时间, 进行长期的腐蚀损伤评估。结合疲劳和腐蚀的影响, 可以为海洋平台的加固和维修提供科学依据。

2.3 健康监测与实时评估技术

随着物联网和传感技术的发展, 海洋平台的健康监测系统逐渐得到应用。通过在平台关键部位安装传感器, 实时监测平台的受力、位移、振动等数据, 可以实时评估平台的结构健康状况。这种基于实时数据的评估方法能够有效捕捉平台在极端环境下的动态变化, 及时发现结构损伤和故障隐患。

健康监测技术结合有限元分析和数据驱动算法, 可进一步提升平台安全性评估的精度和及时性。尤其在极端气候和突发事件下, 实时监测数据能够为平台的安全评估提供重要参考, 确保平台在运行过程中的安全性和稳定性。

3 极端环境对海洋平台结构的影响分析

3.1 极端气候条件的影响

海洋平台常常暴露在强风、台风、暴雨等极端气候条件下, 这些气候因素对平台结构的影响主要体现在荷载的增大和结构响应的变化。极端风速和波浪高度的变化, 会使平台结构受到巨大的动荷载作用, 特别是高强度风浪冲击时, 平台的稳固性和安全性可能遭到严重威胁。

例如, 台风经过时, 平台上部的桁架和管道系统容易

受到风压的作用而发生变形, 造成结构的疲劳损伤。暴雨和大雾天气则可能导致平台的视距问题, 影响海上操作的安全性。

3.2 海洋环境腐蚀作用

海洋环境中, 盐雾和海水的腐蚀作用对平台结构材料造成了持续性损伤。钢铁等金属材料在海水中暴露时间过长, 容易发生腐蚀, 导致平台的承载能力逐渐下降。特别是在深海平台和极地平台, 腐蚀作用更加显著, 严重时可能导致平台的关键部件失效。

腐蚀损伤的影响主要表现为材料的强度降低、疲劳寿命缩短以及裂纹的扩展。通过对平台结构的长期监测, 结合腐蚀速率预测, 可以为平台的维护与加固提供依据, 减少平台因腐蚀造成的结构失效。

3.3 海洋环境荷载的作用

海洋平台在海洋环境中受到波浪、海流、潮汐等荷载的作用, 这些荷载的强度、频率和方向具有较大的变化性。特别是在极端天气条件下, 这些荷载的作用会更加复杂和剧烈。波浪荷载和海流荷载会对平台的浮力系统和支撑结构造成持续冲击, 增加平台的结构响应和疲劳损伤。

通过对平台在不同海洋环境荷载下的动态响应分析, 可以进一步优化平台结构设计, 减少因荷载过大导致的破坏。

4 海洋平台的加固策略

4.1 结构加固设计

海洋平台的结构加固设计是确保平台在极端海洋环境下安全运行的重要手段。海洋环境中, 平台常常受到风、浪、海流等自然因素的综合作用, 特别是台风、暴风雨等极端天气条件下, 平台的承载能力和稳定性可能受到巨大挑战。因此, 通过合理的结构加固设计, 能够增强平台的抗风浪能力, 降低因自然灾害引发的结构损伤风险, 延长平台的使用寿命。

常见的加固方法包括增大平台支撑结构的截面、加强关键部位的抗拉能力、采用耐高强度材料等。对于平台的立柱、支撑桩、基础等关键结构, 可以通过增大截面尺寸、强化焊接部位以及加厚钢板等方式进行加固, 从而提高平台对波浪、风力等极端荷载的抗压和抗弯能力。此外, 加强平台结构的连接节点, 特别是平台立柱与支撑系统的连接处, 也是加固设计中不可忽视的一部分。通过优化连接方式, 减少结构疲劳损伤的发生, 提升平台的稳定性。

对于受腐蚀影响较为严重的海洋平台部分, 尤其是深海环境中的平台, 传统的钢铁材料容易受到海水中盐分的侵蚀, 从而导致平台结构的强度下降。对此, 采用防腐涂层或更换腐蚀损伤部件成为有效的加固措施。新型高性能防腐涂层能够有效抵抗海水腐蚀, 延缓平台表面材料的退化。特别是在极端环境下, 平台的防腐涂层和加固措施能够确保结构

长期稳定运行,减少维护频率和成本。

总之,结构加固设计不仅关注平台的抗风浪能力,还需要充分考虑平台的长期耐久性,结合环境特点,实施科学、合理的加固方案。

4.2 耐腐蚀材料的应用

耐腐蚀材料的应用是提升海洋平台长期稳定性和安全性的关键手段之一。海洋环境中的盐水、湿气以及低温等因素,容易引发金属材料的腐蚀,严重时会降低平台的整体结构强度和安全性。尤其在深海及极端环境下,腐蚀问题尤为突出,直接影响平台的使用寿命和安全性能。因此,选择合适的耐腐蚀材料和防护涂层,是解决这一问题的核心策略。

常见的耐腐蚀材料包括高强度不锈钢、钛合金、铝合金等。这些材料具有良好的抗腐蚀性能,能够有效抵御海水和大气中的盐分侵蚀,保证平台在恶劣环境下的耐久性。特别是在深海平台建设中,钛合金和不锈钢常被用作平台的主要支撑材料,其优异的耐腐蚀性使其成为深海平台的理想选择。钛合金不仅耐腐蚀性强,而且密度低、强度高,因此特别适用于要求较高的深海平台结构。

除了材料选择外,耐腐蚀涂层的应用也是加固策略中至关重要的一环。随着涂层技术的不断发展,新型防腐涂层在耐盐水腐蚀性、耐紫外线能力和抗磨损性能等方面均取得了显著进展。现代海洋平台加固设计中,通常会在平台的钢结构表面涂覆多层防腐涂层,这些涂层能够有效延缓平台的腐蚀过程,减少因腐蚀引起的材料损伤。通过定期检测和维持涂层的完整性,可以确保平台结构长期处于安全可靠的状态。

对于已经受到腐蚀损伤的部位,通过更换腐蚀部件或加装防腐层也能有效减缓损伤的进一步扩展。例如,使用复合材料替代传统金属材料,或者通过加装耐腐蚀合金层,可以对原有结构进行有效的修复和加固。

4.3 智能加固与自适应技术

智能加固与自适应技术是近年来海洋平台加固领域中的前沿研究方向,主要通过集成传感器、执行器和控制系统,实现对平台结构的实时监控和动态调整。与传统的结构加固方式相比,智能加固技术能够更加灵活和高效地响应环境变

化和平台状况,适应不同荷载条件下的动态调整需求。这种基于实时数据反馈的自适应加固技术,有助于提高平台的运行安全性和耐久性。

具体来说,智能加固技术主要依靠物联网(IoT)技术,在平台的关键结构部位部署传感器,实时监测平台的受力、振动、位移等数据。这些传感器将数据传输到中央控制系统,通过数据分析,实时评估平台的健康状况。一旦系统检测到平台结构发生异常,例如疲劳损伤、裂纹扩展等,便可以自动调整平台结构的受力状态或触发加固措施。例如,在波浪和风速较大的情况下,系统可以调节平台的支撑力,减少风浪对平台的冲击力,从而提高平台的稳定性。

5 结语

海洋平台在极端环境下的结构安全性问题,涉及多个因素的综合作用。海洋平台长期暴露在恶劣的海洋气候和动态荷载作用下,结构的疲劳损伤、腐蚀和环境荷载等问题使其面临较大的安全隐患。因此,科学有效的安全性能评估和加固策略是确保平台安全性和延长其使用寿命的关键。

本文通过对海洋平台加固策略的研究,提出了结构加固设计、耐腐蚀材料的应用以及智能加固与自适应技术等几项主要加固手段。随着技术的不断发展,海洋平台的安全性评估和加固策略将不断优化,特别是智能化技术的应用,将使得平台的安全管理更加高效和精准。

未来,随着新材料、新技术的不断涌现,海洋平台的加固策略将更加多样化,能够更好地适应极端环境的挑战。通过持续的技术创新,海洋平台的安全性将得到有效保障,为海洋资源的开发利用提供更加坚实的基础。

参考文献

- [1] 白智磊.海洋石油平台在极端天气情况的应急响应探索[J].现代职业安全,2024,(11):55-57.
- [2] 张玉,郭玉晗,王庆松,等.海洋复合管缆设计关键技术与挑战[J].船舶工程,2024,46(08):126-137.
- [3] 孔凡鹏,邹少军.船舶结构设计中的疲劳寿命预测与维护策略[J].船舶物资与市场,2024,32(06):36-38.
- [4] 刘磊.船舶气路智能化监控系统的设计与研究[D].山东交通学院,2024.