

海洋工程结构极限强度分析

姜 艳

利丰工程技术(天津)有限公司 天津 300000

摘 要: 本论文聚焦海洋工程结构极限强度分析领域,详细阐述了海洋工程结构所处的复杂环境以及极限强度分析在保障结构安全与可靠性方面的关键意义。系统介绍了多种常用的极限强度分析方法,深入探讨了影响海洋工程结构极限强度的各类因素,并对该领域未来的发展方向进行了展望。旨在为海洋工程结构的设计、建造和维护提供全面且深入的理论支持,助力提升海洋工程结构在复杂海洋环境下的性能与安全性。

关键词: 海洋工程结构; 极限强度; 分析方法; 影响因素

引言

海洋工程广泛涉及海洋油气开采、海上风电及跨海桥梁建设等领域,其结构是海洋开发的关键载体。但复杂恶劣的海洋环境中,风、浪、流、冰等载荷频发,海水腐蚀与生物附着也不断侵蚀。在此情形下,确保海洋工程结构强度与稳定性极为关键。极限强度分析能精准评估结构承载能力,为工程各环节提供依据。随着海洋开发向深远海迈进,深入研究该分析方法意义重大。

1 海洋工程结构概述

1.1 常见海洋工程结构类型

海洋工程结构类型丰富多样,不同类型的结构因其功能和所处环境的差异,在设计和建造上具有独特的要求。其中,海洋平台是海洋油气开发的关键设施,常见的有导管架平台、自升式平台、半潜式平台和FPSO(浮式生产储卸油装置)等。导管架平台通过钢质导管架将平台固定于海底,适用于浅海海域,具有结构简单、稳定性好的特点。自升式平台在作业时可通过桩腿将平台提升至海面以上,适应不同水深,移动灵活,广泛应用于近海油气勘探开发。半潜式平台由下浮体、立柱和上部平台组成,具有良好的抗风浪性能,可在较深海域作业。FPSO集生产、储存、外输等功能于一体,具有储油能力大、适应水深范围广等优势。此外,跨海桥梁作为连接陆地与岛屿、岛屿与岛屿之间的重要通道,其结构形式多样,如梁式桥、斜拉桥、悬索桥等。海上风电结构则主要包括单桩基础、多桩基础、导管架基础和浮式基础等,用于支撑风力发电机组,将风能转化为电能。

1.2 海洋环境载荷特性

海洋环境载荷是影响海洋工程结构极限强度的重要外部因素。海浪是海洋中最为显著的动力载荷之一,其产生的随机波浪力对海洋工程结构的作用复杂多变。海浪的特性通常用波高、周期和波长等参数来描述,不同

海域的海浪参数差异较大,且具有明显的随机性和间歇性。例如,在风暴期间,海浪波高会急剧增大,对海洋工程结构产生巨大的冲击载荷。海流是海洋中大规模的海水流动,其对海洋工程结构产生的拖曳力和升力不容忽视。海流的速度和方向在不同海域和深度有所不同,且会受到地形、潮汐等因素的影响。风载荷也是海洋工程结构面临的主要载荷之一,海上风速通常高于陆地,且风的随机性强。强风作用下,海洋工程结构会受到较大的风力作用,可能导致结构的振动和疲劳损伤。此外,在极地海域,海洋工程结构还会受到海冰的作用,海冰的挤压、撞击等会对结构造成严重的破坏^[1]。

2 海洋工程结构极限强度分析方法

2.1 试验研究方法

试验研究是获取海洋工程结构极限强度数据的最直接方法。通过开展模型试验或足尺试验,能够真实地模拟海洋环境载荷作用下结构的力学响应,从而准确确定结构的极限强度。模型试验通常按照一定比例制作结构模型,并在实验室环境中模拟海洋环境载荷,如通过造波机产生模拟海浪,利用风机模拟风载荷等。在试验过程中,使用各种传感器测量结构的应力、应变、位移等参数,通过对试验数据的分析,得出结构的极限强度。足尺试验则是对实际的海洋工程结构进行加载测试,虽然成本较高,但能够获得最真实可靠的数据。例如,在对某新型海洋平台进行设计验证时,进行了足尺的抗风浪试验,通过在实际海况下对平台施加不同程度的风浪载荷,监测平台结构的变形和应力分布,从而确定其极限承载能力。试验研究方法的优点是直观、可靠,但存在成本高、周期长、试验条件难以完全模拟实际海洋环境等局限性。

2.2 数值模拟方法

随着计算机技术的飞速发展,数值模拟方法在海洋

工程结构极限强度分析中得到了广泛应用。有限元方法是目前最为常用的数值模拟手段之一,它将连续的结构离散为有限个单元,通过求解单元的平衡方程,得到整个结构的力学响应。在进行海洋工程结构极限强度分析时,利用有限元软件建立结构的三维模型,赋予材料属性和边界条件,并施加模拟的海洋环境载荷,如波浪力、海流力、风载荷等。通过数值计算,能够得到结构在不同载荷工况下的应力、应变分布以及变形情况,进而分析结构的极限强度。例如,采用ANSYS软件对跨海桥梁的关键节点进行有限元分析,模拟在复杂风荷载和地震作用下节点的受力状态,评估节点的极限承载能力。数值模拟方法具有成本低、效率高、可模拟复杂结构和工况等优点,但数值模型的准确性依赖于对材料本构关系、边界条件等的合理假设和参数选取。

2.3 理论分析方法

理论分析方法基于经典力学和结构力学理论,通过建立数学模型来分析海洋工程结构的极限强度。对于一些简单的结构形式,如梁、柱等,可以利用材料力学和结构力学的基本公式进行极限强度计算。例如,对于受弯梁,根据材料的屈服强度和梁的截面几何尺寸,可通过公式计算出梁的极限弯矩。对于复杂的海洋工程结构,通常采用简化的力学模型进行分析。如将海洋平台的空间框架结构简化为平面框架,利用结构力学的矩阵位移法求解结构在载荷作用下的内力和变形,进而确定结构的极限状态。理论分析方法具有概念清晰、计算简便等优点,但对于复杂结构和实际海洋环境的模拟精度有限,往往需要与试验研究或数值模拟方法相结合,以提高分析结果的准确性^[2]。

2.4 可靠性分析方法

可靠性分析方法将结构的极限强度分析与概率统计理论相结合,考虑结构参数、载荷等因素的不确定性,评估结构在规定时间内和规定条件下完成预定功能的概率。在海洋工程结构极限强度可靠性分析中,通常将结构的极限状态定义为结构失效的临界状态,如结构出现屈服、断裂、过大变形等。通过建立结构的极限状态方程,将结构参数(如材料强度、几何尺寸)和载荷作为随机变量,利用概率统计方法计算结构的失效概率。例如,采用蒙特卡罗模拟法对海上风电结构进行可靠性分析,通过大量的随机抽样,模拟结构参数和载荷的不确定性,统计结构的失效次数,从而得到结构的失效概率。可靠性分析方法能够更全面地评估海洋工程结构在复杂海洋环境下的安全性和可靠性,为结构的设计和维护提供更科学的依据。

3 影响海洋工程结构极限强度的因素

3.1 材料性能

材料性能在海洋工程结构极限强度的影响因素中处于核心位置。由于海洋环境极端复杂,海洋工程结构对材料要求极为严苛。钢材和混凝土作为常用材料,其强度、韧性及疲劳性能与结构承载能力紧密相连,直接关系到结构的安全与稳定。钢材在海洋工程中应用广泛,其屈服强度、抗拉强度等力学指标对结构极限强度起决定性作用。不同等级钢材因化学成分和加工工艺不同,力学性能各异。设计海洋工程结构时,需依据结构受力特性和复杂海洋环境,精准挑选适配钢材等级。例如海洋平台的支撑腿、连接节点等关键部位,长期承受海浪、海流动载荷,常选用高强度、高韧性钢材。这类钢材抗疲劳性能优异,能有效抵御交变载荷冲击,降低结构因疲劳失效风险,显著提升极限承载能力。混凝土材料的强度和耐久性,对海洋工程结构极限强度影响重大。在海洋环境下,混凝土长期受海水侵蚀和干湿循环作用。海水中氯离子渗透至混凝土内部,与水泥水化产物反应,破坏微观结构,导致强度降低。干湿循环催生微裂缝,加速侵蚀介质侵入,劣化混凝土性能。为保障混凝土结构长期性能与极限强度,工程常采用高性能混凝土,并采取防腐措施。添加阻锈剂抑制钢筋锈蚀,采用涂层防护在混凝土表面形成屏障,阻挡海水等侵蚀介质,有效延长混凝土结构使用寿命,维持极限强度。

3.2 结构几何形状与尺寸

结构几何形状与尺寸在海洋工程结构极限强度的众多影响因素中,占据着举足轻重的地位。科学合理的结构几何形状,犹如为结构精心构建了一套高效的力学传导系统,能极大程度优化结构的受力状态,进而显著提升其承载能力。以海洋平台为例,选用恰当的桁架结构形式,巧妙借助三角形与生俱来的稳定性特质,能够把来自海浪、海流等极为复杂的海洋环境载荷,均匀且有效地分摊到各个构件之上。这一过程使得单个构件所承受的内力大幅降低,有效避免了局部应力过度集中的情况出现,从而有力地增强了海洋平台的整体极限强度。结构的尺寸参数,诸如构件的截面尺寸、壁厚等,与结构极限强度存在着直接且紧密的关联。一般而言,适当增大构件的截面尺寸或者壁厚,确实能够提升构件的承载能力。比如,适度加大海洋平台支撑腿的直径或壁厚,可显著增强其对轴向压力以及弯曲力的抵抗性能。然而,这种做法并非毫无弊端,尺寸的增大必然会导致结构自重的显著增加,不仅会提高材料成本,还会对基础设计提出更高要求,进而增加整体工程成本。所以,

在设计海洋工程结构时,必须进行全面的综合的权衡。运用有限元分析技术,在充分保障结构强度满足要求的基础之上,对结构的几何形状与尺寸展开精准优化。就像在设计跨海桥梁的桥墩时,借助该技术对桥墩的截面形状与尺寸进行细致调整,确保桥墩在具备足够极限强度的同时,尽可能减轻自身重量,最终实现结构性能与经济性的最佳平衡^[3]。

3.3 制造与安装误差

在海洋工程结构从制造到安装的复杂流程中,误差的产生难以避免,而这些误差对结构极限强度有着不可小觑的影响。(1)制造环节的误差形式多样。构件的尺寸偏差,好比木桶上长短不一的木板,会致使结构受力时,在尺寸异常处形成局部应力集中区域。在海洋平台中,若支撑构件尺寸小于设计标准,承受相同载荷时,该部位应力远超预期,大幅降低结构极限强度。焊接缺陷同样危害巨大,气孔、夹渣削弱焊接接头的密实性,裂纹更是直接破坏接头连续性。这些缺陷使焊接接头成为结构的薄弱点,在海浪、海流等交变载荷冲击下,裂纹极易扩展,最终致使结构失效。(2)安装过程中的定位偏差与垂直度偏差,也会严重干扰结构受力。定位偏差使结构承受的载荷偏离设计方向,额外产生附加弯矩与扭矩;垂直度偏差如海上风电塔筒安装不垂直,在风载荷作用下,塔筒承受的弯曲应力大幅增加。(3)鉴于此,在海洋工程结构制造与安装进程中,务必严格把控误差。运用先进数控加工技术,保障构件尺寸精准;采用自动化焊接设备,提升焊接质量。安装时,借助高精度测量仪器,确保结构定位与垂直度符合设计要求,从而有效保障结构质量与极限强度,让海洋工程结构能在恶劣海洋环境中安全服役。

3.4 海洋环境因素

如前文所述,海洋环境因素对海洋工程结构极限强度的影响至关重要。长期的海浪、海流、风、冰等载荷作用,会使海洋工程结构产生疲劳损伤,降低结构的极限强度。例如,海浪的周期性作用会导致结构构件产生疲劳裂纹,随着裂纹的扩展,结构的承载能力逐渐下降。海水腐蚀也是影响海洋工程结构极限强度的重要因

素之一。海水中含有大量的盐分和溶解氧,会对金属结构产生电化学腐蚀,使结构构件的壁厚减薄,强度降低。此外,海洋生物附着在结构表面,会改变结构的表面粗糙度和水动力特性,增加结构的阻力和附加载荷,进而影响结构的极限强度。因此,在海洋工程结构的设计和维护中,需要充分考虑海洋环境因素的影响,采取有效的防护措施,如防腐涂层、阴极保护、定期维护检测等,以保证结构在服役期内的极限强度^[4]。

3.5 服役时间

随着服役时间的增加,海洋工程结构会逐渐出现老化和损伤,其极限强度也会随之降低。除了上述的疲劳损伤、海水腐蚀等因素外,结构在长期使用过程中还可能受到各种意外事件的影响,如船舶碰撞、地震等,这些都会对结构造成不同程度的损伤,进一步降低结构的极限强度。因此,对于服役中的海洋工程结构,需要建立完善的监测和评估体系,定期对结构进行检测和评估,及时发现结构的损伤和安全隐患,并采取相应的维修和加固措施,以延长结构的使用寿命,保证结构的极限强度。

结语

海洋工程广泛涉及海洋油气开采、海上风电及跨海桥梁建设等领域,其结构是海洋开发的关键载体。但复杂恶劣的海洋环境中,风、浪、流、冰等载荷频发,海水腐蚀与生物附着也不断侵蚀。在此情形下,确保海洋工程结构强度与稳定性极为关键。极限强度分析能精准评估结构承载能力,为工程各环节提供依据。随着海洋开发向深远海迈进,深入研究该分析方法意义重大。

参考文献

- [1]段伟涛,赵玲文,陈艳军等.船舶与海洋工程结构极限强度研究[J].现代工业经济和信息化,2023,13(04):261-262.
- [2]刘俊阳.船舶与海洋工程结构极限强度分析[J].船舶物资与市场,2021,29(05):23-24.
- [3]孙国芳.关于船舶与海洋工程结构极限强度的探讨[J].船舶物资与市场,2021(02):11-12.
- [4]徐海军.关于船舶与海洋工程结构极限强度的探讨[J].山东工业技术,2019(08):52