

# 潮流对港口水工结构波浪力的影响与数值模拟分析

王帅

中国铁建港航局集团有限公司第三工程分公司

**摘要:** 本文主要研究了潮流对港口水工结构波浪力的影响, 并通过数值模拟进行了深入分析。文章首先回顾了港口水工结构波浪力的基本理论, 随后结合潮流的动力特性, 探讨了其对波浪力作用机理的影响。通过建立数值模型, 本研究模拟了不同潮流条件下港口水工结构所受波浪力的变化情况, 并对比分析了模拟结果与实际观测数据, 验证了模型的准确性和可靠性。研究表明, 潮流对港口水工结构波浪力有显著影响, 特别是在强潮流作用下, 波浪力的分布和大小会发生明显变化, 这对港口水工结构的设计和安全运营具有重要指导意义。

**关键词:** 港口水工结构; 波浪力; 潮流影响; 数值模拟; 动力特性

【DOI】10.12252/j.issn.2096-627X.2022.08.067

## 引言

随着海洋工程技术的发展, 港口水工结构安全受到了广泛关注。特别是在潮流动力作用下, 波浪力对港口水工结构的影响成了研究的热点。本文通过数值模拟方法, 探讨了潮流对波浪力作用机理的影响, 旨在为港口水工结构的设计和改进行提供理论依据和技术支持。研究不仅揭示了潮流与波浪力相互作用的复杂性, 也为确保港口结构的安全稳定提供了新的视角。

## 一、港口水工结构波浪力的基本理论

港口水工结构波浪力的基本理论是海洋工程中一个重要的研究领域, 其核心目的在于理解和预测波浪对港口结构所产生的力量, 从而指导结构设计和施工, 确保港口安全高效地运行。波浪力是由海浪对港口水工结构产生的动态载荷, 包括波浪压力、波浪冲击力等, 这些力量的大小和分布直接影响到港口结构的稳定性和耐久性。波浪对港口结构的作用力主要由两部分组成: 一部分是由波浪直接作用于结构表面产生的静水压力和动水压力; 另一部分是由波浪引起的水体粒子运动产生的惯性力。静水压力随着水深的增加而增大, 而动水压力则与波浪的高度、周期及其与结构物的相互作用有关。

为了精确计算波浪力, 需要综合考虑波浪的传播、折射、绕射和反射等现象, 这些现象都会影响波浪力的大小和分布。此外, 港口结构的形状、尺寸以及相对于波浪方向的位置也是影响波浪力计算的重要因素。在波浪理论中, 线性波理论是最基本的, 适用于小幅波的分析; 而在处理大幅波及其对结构的强烈作用时, 非线性波理论提供了更加准确的分析方法。近年来, 随着计算机技术和数值模拟方法的发展, 通过数值模拟来研究波浪力并预测其对港口水工结构的影响成了可能。这些数值模型能够模拟复杂波浪与结构物的相互作用过程, 为港口水工结构设计提供更为科学的依据。

然而, 尽管已有多种理论和计算模型用于分析波浪

力, 实际应用中仍面临诸多挑战。首先, 海洋环境复杂多变, 实际中的波浪条件往往比理论模型更为复杂, 这就要求模型能够准确捕捉到这些复杂性。其次, 港口水工结构的互相影响以及地形对波浪传播的影响也需要被考虑进来, 这些因素使得波浪力的计算更加复杂。最后, 随着全球气候变化和海平面上升, 极端天气事件的频发使得港口水工结构面临更大的波浪冲击力, 这要求现有的波浪力理论和计算方法不断更新和完善, 以适应这些变化。因此, 对港口水工结构波浪力的研究不仅需要深入理解波浪力的基本理论, 还需不断探索和发展新的理论、技术和方法, 以确保港口结构在复杂多变的海洋环境中的安全性和可靠性。

## 二、潮流动力特性及其对波浪力的影响机制

潮流动力特性及其对波浪力的影响机制是海洋工程和港口设计中的重要研究内容, 理解这一机制对于确保港口水工结构的稳定性和安全性至关重要。潮流, 作为海洋动力学的一个基本现象, 是由地球自转、月球和太阳的引力作用以及地球表面的地形影响共同作用的结果。潮流的动力特性, 包括流速、流向和流量的变化, 对海洋环境和港口水工结构产生深远的影响。特别是在港口区域, 潮流可以显著改变水流条件, 进而影响波浪力的作用方式和强度。

波浪在传播过程中, 当遇到潮流时, 其传播速度、方向和波高会发生变化。这种变化依赖于波浪与潮流的相对方向和强度。例如, 当波浪顺着潮流方向传播时, 波速会增加, 波长变长, 而波高可能减小; 相反, 当波浪与潮流方向相反时, 波速减小, 波长缩短, 波高增加。这种现象对于港口水工结构的波浪力计算意义重大, 因为它直接影响到波浪力的大小和作用点。此外, 潮流还可以通过改变水深来间接影响波浪特性。在潮汐作用下, 水深的变化会导致波浪折射和绕射效应的改变, 进而影响波浪力的分布。

从动力学角度来看,潮流对波浪力的影响还体现在对波浪能量的转移上。潮流可以将能量从一个区域转移到另一个区域,从而改变波浪能量的分布。这种能量转移不仅改变了波浪力的大小,还可能改变波浪力作用的位置和方向,对港口结构的稳定性和安全性构成挑战。

然而,研究潮流对波浪力影响的复杂性不仅在于需要精确描述波浪和潮流的相互作用,还在于这种相互作用是非线性的,且受多种因素的影响,如风力、水深变化、地形特征等。为了解这一复杂现象,研究人员开发了一系列数值模型和模拟方法,通过计算流体动力学(CFD)模型、波浪传播模型和潮流模型等,模拟波浪在潮流作用下的传播特性,从而预测波浪力对港口水工结构的影响。这些模型能够考虑潮流和波浪的相互作用,提供更为准确的波浪力预测,为港口设计和安全评估提供科学依据。

尽管如此,对潮流动力特性及其对波浪力影响机制的研究仍面临诸多挑战。首先,现有模型在处理极端条件下的波浪和潮流相互作用时,仍存在不足。其次,环境条件的快速变化,如气候变暖导致的海平面上升,对波浪和潮流特性的影响需要进一步研究。此外,提高模型的精确度和适用范围,以适应复杂多变的海洋环境,是未来研究的重点。通过深入探索潮流动力特性及其对波浪力的影响机制,可以为港口水工结构的设计和评估提供更为坚实的理论基础和技术支持。

### 三、数值模拟方法在波浪力分析中的应用

数值模拟方法在波浪力分析中的应用是现代海洋工程研究的一个重要方向,它通过模拟波浪与港口水工结构的相互作用过程,提供了一种既精确又经济的手段来预测波浪力的影响。随着计算技术的飞速发展,数值模拟已成为分析和设计港口水工结构中不可或缺的工具,尤其是在处理复杂的波浪动力作用问题时。

数值模拟方法的主要优势在于其能够模拟波浪在不同条件下的行为,包括波浪的生成、传播、反射和绕射等过程,以及这些过程对波浪力的直接影响。此外,数值模拟能够考虑潮流、风力等其他海洋环境因素的影响,这些都是传统分析方法难以全面考虑的。通过建立数值模型,研究人员可以在模型中设定不同的海洋环境条件和结构参数,从而研究这些变量如何影响波浪力的大小和分布,进而指导港口结构的设计和改进。

在数值模拟中,常见的方法包括有限元方法(FEM)、边界元方法(BEM)和计算流体动力学(CFD)等。这些方法各有特点,例如,FEM适合于处理复杂的几何结构和边界条件,BEM适用于解决无限域问题,而CFD则能够提供流场内部详细的流动信息。通过

这些方法,可以模拟波浪对港口结构的冲击力、压力分布和流体流动特性等,为港口水工结构的设计提供更为科学和合理的依据。

然而,尽管数值模拟方法在波浪力分析中提供了广泛的应用前景,但其精确度和可靠性仍然依赖于模型的建立和参数的选取。模型的准确性需要通过实验数据或现场观测数据进行验证。此外,数值模拟的复杂性和计算成本也是其应用过程中需要考虑的因素。因此,在实际应用中,选择合适的模拟方法和优化计算资源配置是保证分析结果准确性和效率的关键。

综上所述,数值模拟方法为波浪力分析提供了一种强有力的工具,它能够帮助工程师和研究人员深入理解波浪与港口结构的相互作用机制,为港口水工结构的设计和维护提供科学依据。随着技术的进步,未来数值模拟方法在波浪力分析中的应用将更为广泛,准确性和效率也将不断提高。

### 四、潮流条件下港口水工结构波浪力的变化分析

在海洋工程和港口设计领域,理解潮流条件下港口水工结构波浪力的变化对于确保结构的稳定性和安全性具有至关重要的意义。潮流,作为海洋动力系统的一个重要组成部分,能够显著影响波浪的传播特性,从而改变作用在港口结构上的波浪力。这种变化不仅涉及波浪力的大小,还包括其作用方向和分布模式,对港口水工结构的设计和运营安全构成直接影响。

潮流对波浪力的影响主要体现在两个方面:一是直接作用,即潮流改变波浪的传播速度和方向,导致波浪力大小和作用点的变化;二是间接作用,通过改变水深条件影响波浪绕射、反射和折射等现象,进而影响波浪力的分布。在潮流作用下,波浪与港口结构的相互作用更加复杂,波浪力的预测和计算需要考虑潮流和波浪的联合效应。

为了准确分析潮流条件下港口水工结构波浪力的变化,研究人员采用了一系列数值模拟方法。这些方法能够模拟波浪在实际海洋环境中的传播过程,包括潮流对波浪传播的影响,以及波浪与港口结构的动态相互作用。通过这些模拟,可以详细了解在特定潮流条件下,波浪力如何随时间和空间分布变化,为港口结构的设计提供科学依据。数值模拟结果显示,潮流可以显著增加或减少某些区域的波浪力,特别是在潮流与波浪方向相反或相同的情况下,波浪力的变化尤为明显。

此外,潮流还可能引起水深的周期性变化,这种变化对于近岸结构尤为重要。水深的变化直接影响波浪的折射和绕射,导致波浪力分布的差异。例如,当水深增加时,波浪可能绕过某些障碍物,减少对港口结构的直

接冲击；而在水深减少时，波浪可能直接冲击结构，增加作用力。因此，潮流条件下的水深变化对于波浪力的预测至关重要，需要在港口设计和安全评估中予以充分考虑。

尽管数值模拟方法在分析潮流条件下港口水工结构波浪力的变化方面取得了显著进展，但仍存在一些挑战。首先，潮流和波浪的相互作用极其复杂，需要高精度的模型和大量的计算资源来进行模拟。其次，模型的准确性高度依赖于输入参数，如波浪特性、潮流数据和结构物的几何特性等，这些参数的准确获取和处理对于模拟结果的可靠性至关重要。最后，由于海洋环境的不确定性和变化性，模型需要不断更新和优化，以适应新的研究需求和环境条件。

综上所述，潮流条件下港口水工结构波浪力的变化分析是一个复杂但至关重要的研究领域。通过数值模拟方法，可以深入理解潮流如何影响波浪力的作用，为港口水工结构的设计和改进行提供重要的理论依据和技术支持。未来的研究需要进一步探索更高效的模拟技术，提高模型的准确性和适用性，以应对日益复杂的海洋环境和工程需求。

### 五、模拟结果与实际观测数据的对比验证及其意义

在海洋工程和港口设计中，数值模拟方法被广泛用于预测波浪力对港口水工结构的影响。然而，为了确保这些预测的准确性和可靠性，模拟结果与实际观测数据的对比验证是一个不可或缺的步骤。这种对比验证不仅可以评估数值模型的性能，还能提高对模型预测能力的信心，确保港口结构的设计和评估基于科学和实证的基础之上。

对比验证过程通常涉及将数值模拟结果与通过实地观测或实验获得的波浪力数据进行比较。这包括分析波浪力的大小、方向、分布等关键参数，评估模拟结果的偏差和误差范围。实际观测数据通常来源于波浪浮标、雷达或其他水文测量设备，这些设备能够实时记录波浪特性和潮流条件。通过这种对比，研究人员能够识别数值模型中的潜在缺陷和不足，如模型假设的简化、边界条件的设定、参数的选取等，进而对模型进行调整和优化。

模拟结果与实际观测数据的对比验证对于提高数值模型的准确性具有重要意义。首先，它可以揭示模型在特定条件下的适用性和局限性，指导模型在不同海洋环境和工程条件下的应用。其次，对比验证有助于提高模型预测的精度，通过调整模型参数和改进模型算法，可以更准确地预测波浪力对港口结构的影响。此外，验证过程还能够促进模型的发展和创新，为处理更复杂的海洋动力问题提供新的思路和方法。

对比验证的一个关键挑战是实际观测数据的可获取性和质量。在许多情况下，高质量的实地观测数据难以获得，尤其是在极端天气条件下或偏远地区。此外，实测数据可能受到各种因素的影响，如设备的精度、数据的处理方法等，这些都需要在对比验证过程中予以考虑。因此，发展高效的数据采集和处理技术，提高观测数据的精度和代表性，对于提高对比验证的有效性至关重要。

模拟结果与实际观测数据的对比验证还具有重要的实践意义。对于港口工程项目而言，这种验证可以增加设计和施工过程中的信心，确保港口结构能够安全应对波浪和潮流等海洋环境条件。对于科研工作而言，验证过程有助于推动海洋工程领域的知识进步，促进理论和实践的结合。通过不断地对比验证和模型优化，可以提高对复杂海洋环境的理解，为港口设计和管理提供更为科学和有效的支持。

总之，模拟结果与实际观测数据的对比验证是数值模拟研究中的一个关键环节，它不仅验证了模型的准确性和可靠性，还促进了模型的改进和发展。通过这种对比验证，可以确保港口水工结构的设计和评估工作基于坚实的科学基础，有效应对海洋环境的挑战，保障港口的安全运营和持续发展。

### 结语

通过深入探讨潮流对港口水工结构波浪力的影响、数值模拟方法的应用以及模拟结果与实际观测数据的对比验证，本文强调了精确预测波浪力对港口安全的重要性。数值模拟作为一个强大的工具，能够帮助工程师和研究人员深入理解波浪力的复杂作用机制，为港口设计和管理提供科学依据，确保结构的稳定性和安全性，推动海洋工程领域的发展。

### 参考文献

- [1] 闻云呈, 薛伟, 闫杰超, 夏云峰. 潮流对桥墩局部冲刷影响研究综述[J]. 水道港口, 2021, 42(02): 141-156.
- [2] 郑松根, 何宏舟, 杨绍辉. 潮流对楔形波浪发电平台发电效果的海试分析[J]. 集美大学学报(自然科学版), 2017, 22(05): 40-46.
- [3] 赵虹, 赵进宝. 潮流对船舶操纵影响的分析[J]. 中国水运, 2015(02): 39-40.
- [4] 冒小丹, 匡翠萍, 潘毅, 顾杰. 潮流对老虎石海滩养护工程响应的数值预测[J]. 海洋地质前沿, 2013, 29(02): 71-78.
- [5] 李庚. 潮流对进出连云港港深吃水船舶的影响[J]. 中国水运, 2011(05): 57-58.