

船闸流场空化现象数值模拟研究进展

魏述和
凯里学院

DOI: 10.12238/ems.v6i8.8818

[摘要] 船闸作为水运交通的枢纽,其流场中的空化现象是影响通航效率和安全性的的重要因素。随着数值模拟技术的不断进步,对船闸流场空化现象的模拟研究日益深入。本文综述了船闸流场空化现象数值模拟的最新进展,探讨了空化现象的形成机理及其对船闸运行的影响,并分析了数值模拟技术在研究中的应用和优势。通过总结现有研究成果,本文旨在为船闸设计和运行提供理论支持和技术参考,同时展望了未来研究方向,以期推动船闸流场空化现象研究的深入发展。

[关键词] 船闸流场、空化现象、数值模拟、流体动力学、计算流体力学

Progress in Numerical Simulation of Cavitation Phenomenon in Ship Lock Flow Field

Wei Shuhe

Kaili University

[Abstract] As a hub of water transportation, the cavitation phenomenon in the flow field of ship locks is an important factor affecting navigation efficiency and safety. With the continuous advancement of numerical simulation technology, the simulation research on cavitation phenomenon in ship lock flow field is becoming increasingly in-depth. This article reviews the latest progress in numerical simulation of cavitation phenomena in ship lock flow fields, explores the formation mechanism of cavitation phenomena and their impact on ship lock operation, and analyzes the application and advantages of numerical simulation technology in research. By summarizing existing research results, this article aims to provide theoretical support and technical references for the design and operation of ship locks, while also looking forward to future research directions, in order to promote the in-depth development of research on cavitation phenomena in ship lock flow fields.

[Keywords] lock flow field, cavitation phenomenon, numerical simulation, fluid dynamics, computational fluid dynamics

引言

随着船舶运输业的蓬勃发展,船闸作为水运交通的重要设施,其运行效率和安全性显得尤为重要。船闸流场中的空化现象是影响船闸运行的关键因素之一,它不仅影响船闸的通航能力,还可能对船闸结构和船舶安全造成威胁。因此,对船闸流场空化现象进行深入研究,对于提升船闸运行效率和安全性具有重要意义。近年来,数值模拟技术作为研究船闸流场空化现象的重要手段之一,取得了显著进展。本文将综述船闸流场空化现象数值模拟研究的最新进展,以期对船闸设计和运行提供参考。

1. 船闸流场空化现象概述

1.1 空化现象的定义及形成机理

在水利工程领域中,船闸作为连接不同水位段的重要设施,其运行状况直接关系到航运的安全与效率。然而,船闸

在运行过程中,特别是当水头较高时,输水阀门等关键设备可能会遭遇空化现象,这不仅会影响船闸的正常运行,还可能带来严重的安全隐患。因此,对船闸流场空化现象进行深入研究,并通过数值模拟手段进行模拟预测,具有重要的理论价值和实践意义。

空化现象,是指在液体流动过程中,当液体压力降低到一定程度时,液体中的溶解气体或原本存在的微小气泡开始急剧膨胀,形成大量明显可见的气泡。这些气泡在液体中形成空泡,从而改变流体的物理性质,如密度、流速等。空化现象的形成机理主要包括两方面:一是液体压力的降低,使得气泡的膨胀成为可能;二是气泡的膨胀过程伴随着能量的释放,进一步加剧了空化现象的发展。在船闸运行过程中,输水阀门等关键设备在开启过程中会受到高速水流的作用。当水流速度较高时,水流对阀门等设备的冲击作用会使设备

表面的压力降低,从而引发空化现象。此外,由于船闸水头的存在,水流在通过阀门等设备时会产生压力降,也为空化现象的形成提供了条件。

1.2 空化现象对船闸运行的影响

空化现象对船闸运行的影响主要表现在以下几个方面:首先,空化现象会改变流体的物理性质,如密度、流速等,从而影响船闸的输水能力。当空化现象严重时,甚至可能导致水流中断,影响船闸的正常运行。其次,空化现象产生的气泡在溃灭时会释放巨大的能量,形成冲击波。这些冲击波会对设备表面产生强烈的冲击作用,导致设备损坏或失效。例如,在阀门开启过程中,空化现象产生的冲击波可能导致阀门振动加剧,甚至引发“声振”现象,对船闸的安全运行构成威胁。此外,空化现象还可能对船闸的运行效率产生影响。由于空化现象改变了流体的物理性质,使得水流在通过船闸时的阻力增大,从而降低了船闸的输水效率。

1.3 船闸流场空化现象的研究意义

对船闸流场空化现象进行深入研究具有重要的理论价值和实践意义。首先,通过研究空化现象的形成机理和影响因素,可以深入理解空化现象的本质和规律,为船闸的设计和运行提供理论依据。其次,通过数值模拟等手段对船闸流场空化现象进行模拟预测,可以及时发现潜在的安全隐患,为船闸的安全运行提供有力保障。最后,研究成果还可以为其他类似工程提供借鉴和参考,推动水利工程领域的科技进步和发展。

2. 数值模拟技术在船闸流场空化现象研究中的应用

2.1 数值模拟技术的发展历程

随着计算机技术的飞速发展,数值模拟技术在各个领域的应用日益广泛,特别是在水利工程中,其对于复杂流体力学问题的研究具有重要意义。船闸流场空化现象作为水利工程中的一个重要问题,数值模拟技术的应用为其研究提供了新的手段和方法。

数值模拟技术的发展可追溯到20世纪中期,当时计算机技术刚刚起步,人们开始尝试利用计算机进行流体力学问题的模拟。随着计算机性能的不提高和数值计算方法的不断完善,数值模拟技术逐渐成为一种有效的研究手段。^[1]在船闸流场空化现象研究中,数值模拟技术的应用也逐渐增多。从最初的简单模型到现在的复杂三维模型,数值模拟技术不断推动着船闸流场空化现象研究的深入。

2.2 数值模拟技术在船闸流场空化现象研究中的优势

数值模拟技术在船闸流场空化现象研究中的优势主要体现在以下几个方面:高效性。数值模拟技术可以在计算机上快速模拟船闸流场空化现象,无需进行实际的物理试验,节省了大量的人力、物力和时间。同时,数值模拟可以针对不同的工况进行模拟,提高了研究的效率;准确性。数值模拟技术可以通过精确的数学模型和计算方法来模拟船闸流场空化现象,其模拟结果具有较高的准确性。通过与实际试验结果的对比验证,可以进一步提高数值模拟的准确性;可控性。

数值模拟技术可以灵活地控制模拟参数和条件,从而实现船闸流场空化现象的精确控制。这有助于深入研究空化现象的形成机理和影响因素,为船闸的安全运行提供有力保障;^[2]可视化。数值模拟技术可以将模拟结果以图像、动画等形式直观地展示出来,便于研究人员观察和分析。这有助于发现潜在的安全隐患和问题,为船闸的设计和运行提供有价值的参考。

2.3 数值模拟技术的主要方法及其特点

在船闸流场空化现象研究中,常用的数值模拟方法主要包括有限差分法、有限元法、有限体积法等。这些方法各有特点,适用于不同的研究场景。有限差分法。有限差分法是一种基于差分原理的数值计算方法,它将连续的流体动力学问题离散化为一系列差分方程进行求解。该方法具有计算速度快、易于实现等优点,但在处理复杂边界条件和流体动力学特性时可能存在一定的困难;有限元法。有限元法是一种基于变分原理和加权余量法的数值计算方法,它将连续的流体动力学问题离散化为有限个单元进行求解。该方法具有较高的计算精度和适用性,能够处理复杂的边界条件和流体动力学特性。然而,其计算量较大,对计算机性能要求较高;有限体积法。有限体积法是一种基于控制体积概念的数值计算方法,它将连续的流体动力学问题离散化为一系列控制体积进行求解。该方法结合了有限差分法和有限元法的优点,具有较高的计算精度和稳定性,同时具有较好的适用性。在船闸流场空化现象研究中,有限体积法被广泛应用并取得了一定的成果。总之,数值模拟技术在船闸流场空化现象研究中具有显著的优势和广泛的应用前景。随着计算机技术的不断发展和数值计算方法的不断完善,数值模拟技术将在船闸流场空化现象研究中发挥更加重要的作用。

3. 船闸流场空化现象数值模拟研究的最新进展

3.1 高精度数值模型的开发与应用

在船闸流场空化现象的数值模拟研究中,高精度数值模型的开发与应用是提高模拟准确性和可靠性的关键。近年来,随着计算机性能的不提高和数值计算方法的不断完善,高精度数值模型得到了广泛的应用。

高精度数值模型通常具有更复杂的数学表达和更高的计算精度,能够更准确地描述船闸流场中的空化现象。例如,基于高精度网格划分和先进的数值算法,研究人员可以构建出能够精确模拟船闸流场中微小气泡运动、聚并和溃灭等复杂过程的数值模型。这些模型不仅能够提供更准确的模拟结果,还能够揭示空化现象背后的物理机制,为船闸的安全运行提供更为可靠的理论支持。高精度数值模型还可以用于船闸设计的优化和改进。通过模拟不同设计参数下的船闸流场空化现象,研究人员可以评估不同设计方案的性能,并选择出最优的设计方案。这不仅有助于提高船闸的输水能力和运行效率,还能够降低船闸的运行成本和维护成本。

3.2 多物理场耦合模拟技术的研究

船闸流场空化现象是一个涉及多个物理场的复杂问题,

包括流体动力学、气体动力学、声学等多个领域。因此,多物理场耦合模拟技术的研究对于深入理解船闸流场空化现象具有重要意义。多物理场耦合模拟技术是一种将不同物理场相互耦合、共同求解的数值模拟方法。

通过考虑不同物理场之间的相互作用和耦合关系,可以更全面地模拟船闸流场中的空化现象。例如,在船闸流场空化现象的数值模拟中,可以同时考虑流体动力学和气体动力学场之间的耦合关系,以更准确地模拟气泡的运动和溃灭过程。多物理场耦合模拟技术还可以用于研究船闸流场空化现象对其他物理场的影响。^[3]例如,可以模拟船闸流场空化现象对船舶航行稳定性、船闸结构安全性等方面的影响,为船闸的安全运行提供更加全面的保障。

3.3 人工智能与数值模拟技术的结合

近年来,人工智能技术的快速发展为船闸流场空化现象的数值模拟研究提供了新的思路和方法。通过将人工智能技术与数值模拟技术相结合,可以实现对船闸流场空化现象的智能化模拟和预测。^[4]人工智能技术可以通过机器学习等方法从大量数据中提取出船闸流场空化现象的特征和规律,为数值模拟提供更为准确的输入参数和边界条件。

同时,人工智能技术还可以对数值模拟结果进行智能分析和处理,提取出有用的信息和知识,为船闸的安全运行提供更加全面的支持。此外,人工智能技术还可以与多物理场耦合模拟技术相结合,实现对船闸流场空化现象的智能化多物理场耦合模拟。通过构建智能化的多物理场耦合模型,可以实现对船闸流场空化现象的全面、准确和高效的模拟和预测。

4. 未来研究方向与展望

4.1 复杂流场条件下空化现象的深入研究

在船闸运行过程中,流场条件往往十分复杂,包括水流速度、压力分布、温度变化等多个因素。这些复杂的流场条件对船闸流场空化现象的影响尚未得到充分研究。因此,未来的研究需要关注复杂流场条件下空化现象的形成机理、演化规律及其对船闸运行的影响。可以通过构建更加精细的数值模型,考虑更多影响因素,如水流速度分布、湍流强度、温度变化等,来模拟复杂流场条件下的空化现象。同时,可以利用先进的实验设备和技术手段,如高速摄像、粒子图像测速等,对复杂流场条件下的空化现象进行实验研究,以验证数值模拟结果的准确性。还可以结合机器学习、深度学习等人工智能技术,对复杂流场条件下的空化现象进行数据挖掘和分析,以发现其背后的规律和特征,为船闸的安全运行提供更加可靠的保障。

4.2 船闸流场优化设计与控制策略

船闸流场优化设计与控制策略是降低船闸流场空化现象风险、提高船闸运行效率的重要手段。未来的研究需要关注船闸流场优化设计与控制策略的创新与发展。具体来说,可以通过数值模拟技术,对船闸流场进行优化设计,如改变闸门形状、调整水流速度等,以降低空化现象的风险。同时,

可以研究船闸流场的控制策略,如采用智能控制系统对船闸运行进行实时监测和调控,以应对复杂流场条件下的空化现象。还可以结合船闸的实际运行情况和工程需求,开展船闸流场优化设计与控制策略的实证研究,以验证其有效性和可行性。^[5]这些研究不仅可以为船闸的安全运行提供有力支持,还可以为其他类似工程提供借鉴和参考。

4.3 数值模拟技术的创新与发展

数值模拟技术是船闸流场空化现象研究的重要手段之一。随着计算机技术的不断发展和数值计算方法的不断完善,数值模拟技术也在不断创新和发展。未来的研究需要关注数值模拟技术的创新与发展趋势。具体来说,可以关注以下几个方面:一是发展更加高效的数值算法和计算方法,以提高数值模拟的精度和效率;二是研究多物理场耦合模拟技术,以更全面地模拟船闸流场中的空化现象;三是利用人工智能技术对数值模拟结果进行分析和处理,以提取有用信息和知识;四是推动数值模拟技术与实验技术的结合,以验证数值模拟结果的准确性和可靠性。

此外,还可以关注数值模拟技术在其他领域的应用和发展趋势,如环境科学、生物医学等,以拓展数值模拟技术的应用范围和提高其社会价值。这些创新和发展趋势不仅可以推动船闸流场空化现象数值模拟研究的深入发展,还可以为其他相关领域的研究提供有力支持。

5. 结语

本文对船闸流场空化现象数值模拟研究的最新进展进行了综述。通过介绍空化现象的定义、形成机理及其对船闸运行的影响,强调了研究船闸流场空化现象的重要性。随后,本文详细阐述了数值模拟技术在船闸流场空化现象研究中的应用、最新进展以及未来发展方向。随着计算流体力学、人工智能等技术的不断发展,数值模拟技术将在船闸流场空化现象研究中发挥更加重要的作用。未来应进一步探索复杂流场条件下空化现象的机理,优化船闸流场设计与控制策略,推动数值模拟技术的创新与发展,为提升船闸运行效率和安全性提供有力支持。

[参考文献]

- [1]周敬林,李维,郭玉.渠江风洞子枢纽船闸水工整体物理模型试验研究[J].中国水运,2024,(06):137-139.
- [2]罗桂.老旧船闸通行超等级大型船舶及夜航助航标志配布方案探讨——以左江山秀一线船闸为例[J].珠江水运,2024,(12):65-67.
- [3]辛玮琰,于广年,梁砚.进水口形式对闸墙长廊道船闸输水系统影响的数值模拟[J/OL].水运工程,1-7[2024-07-13].
- [4]张湛,刘洋,赵凯.急弯河段新建船闸上游引航道通航条件研究[J/OL].水运工程,1-8[2024-07-13].
- [5]马兴佳,康雄才.船闸引航道隔流墙物理模型试验优化研究[J/OL].水运工程,1-8[2024-07-13].