

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200710051568.6

[51] Int. Cl.

G06F 17/50 (2006.01)

G06G 7/48 (2006.01)

[43] 公开日 2007年8月15日

[11] 公开号 CN 101017516A

[22] 申请日 2007.2.12

[21] 申请号 200710051568.6

[71] 申请人 三峡大学

地址 443002 湖北省宜昌市大学路8号

[72] 发明人 戴会超 许唯临 王玲玲 刘德富
田 斌

[74] 专利代理机构 宜昌市三峡专利事务所

代理人 成 钢

权利要求书1页 说明书4页

[54] 发明名称

水工水力学的水流精细模拟方法

[57] 摘要

本发明公开了一种水工水力学的水流精细模拟方法，属于水利工程技术领域。本发明研究并发展了水利水电工程紊流数值模拟中适合多类流动问题的紊流模型及模拟方法。模拟获得了水垫塘复杂紊流场水力特性和消能机理及孔板泄洪洞、洞塞泄洪洞、竖井旋流式泄洪洞和龙抬头式泄洪洞的流场细观特征，形成了较为完整的泄洪洞消能体系的理论；建立了一套复式游荡型河道漫滩水流计算方法及洪水演进数值计算模型。

1. 一种水工水力学的水流精细模拟方法,其特征在于:所述的模拟方法包括了对水垫塘复杂紊流场水力特性和消能机理及孔板泄洪洞、洞塞泄洪洞、竖井旋流式泄洪洞和龙抬头式泄洪洞的流场细观特征模拟,以及一套复式游荡型河道漫滩水流计算方法及洪水演进数值计算模型。
2. 如权利要求1所述的水工水力学的水流精细模拟方法,其特征在于:建立了水利水电工程水流精细模拟的大型的数值实验室软件包,具有模拟水利水电工程复杂水流的能力,数值计算结果通过动态显示技术以形象的图形输出,从而可以人机对话的方式灵活地修改模型或原型的形状和参数,方便地进行系列数值试验或不同的方案比较,为方案选择和设计提供数据。
3. 如权利要求1所述的水工水力学的水流精细模拟方法,其特征在于通过用户自定义函数UDF实现了曳力系数的自定义,通过改变曳力系数改善气泡竖向速度和掺气浓度分布。
4. 如权利要求1所述的水工水力学的水流精细模拟方法,其特征在于采用三维紊流模型和VOF方法,对涡室和竖井的旋流涡心形态、通气量、空化数和消能率等进行了定量的描述和分析。
5. 如权利要求1所述的水工水力学的水流精细模拟方法,其特征在于应用两相流理论对带有通气槽的“龙抬头”式泄洪洞进行了数值模拟,并对高速水流边壁凹体的空化特性进行了研究。
6. 如权利要求1所述的水工水力学的水流精细模拟方法,其特征在于通过对洞塞式泄洪洞的紊流数值模拟,得出了洞塞消能的紊动能和紊动能耗散率的分布规律,详细地反映出洞塞的消能情况,得到压力最低点。
7. 如权利要求1所述的水工水力学的水流精细模拟方法,其特征在于采用紊流数学模型成功地进行了水垫塘复杂紊流场水力特性、消能机理和设计优化的研究,获得了水垫塘三元典型流态概化图、水垫塘水体消能分区等。
8. 如权利要求1所述的水工水力学的水流精细模拟方法,其特征在于运用紊流拟序理论对多股多层水平淹没射流水垫塘内复杂三元紊流结构进行了深入分析。

水工水力学的水流精细模拟方法

技术领域

本发明涉及一种水利水电工程紊流数值模拟,适用于多类流动问题的紊流模型及模拟方法。

背景技术

泄洪消能问题、河道水力学问题是水利水电工程十分关注的研究内容。以往对这类问题的研究主要依赖于实体模型试验。随着紊流数值模拟技术的发展,进行流动的紊流数值模拟研究成为可能,它有助于为水利水电工程的相关问题研究和设计开辟一条新途径。高坝水垫塘和高水头泄洪洞等的安全性问题迄今仍是水工水力学的难题之一,对此,流场精细模拟可以发挥十分重要的作用。水利水电工程泄洪研究直接关系到工程的安全,而河道中洪水的研究则关系到自然灾害的防治,后者同样需要深入地水流精细模拟研究。

发明内容

本发明的目的是要提供一种水工水力学的水流精细模拟方法。通过该方法能够对水垫塘复杂紊流场水力特性和消能机理流场精细模拟;能够对孔板泄洪洞、洞塞泄洪洞、竖井旋流式泄洪洞和龙抬头式泄洪洞的流场精细模拟;能够对复式游荡型河道漫滩水流计算方法及洪水演进数值计算模型。

本发明的目的是这样实现的:一种水工水力学的水流精细模拟方法,所述的模拟方法包括了对水垫塘复杂紊流场水力特性和消能机理及孔板泄洪洞、洞塞泄洪洞、竖井旋流式泄洪洞和龙抬头式泄洪洞的流场细观特征模拟,以及一套复式游荡型河道漫滩水流计算方法及洪水演进数值计算模型。本发明建立了水利水电工程水流精细模拟的大型的数值实验室软件包,具有模拟水利水电工程复杂水流的能力,数值计算结果通过动态显示技术以形象的图形输出,从而可以人机对话的方式灵活地修改模型或原型的形状和参数,方便地进行系列数值试验或不同的方案比较,为方案选择和设计提供数据。本发明通过用户自定义函数UDF实现了曳力系数的自定义,通过改变曳力系数改善气泡竖向速度和掺气浓度分布。本发明采用三维紊流模型和VOF方法,对涡室和竖井的旋流涡心形态、通气量、空化数和消能率等进行了定量的描述和分析。本发明应用两相流理论对带有通气槽的“龙抬头”式泄洪洞进行了数值模拟,并对高速水流边壁凹体的空化特性进行了研究。本发明通过对洞

塞式泄洪洞的紊流数值模拟, 得出了洞塞消能的紊动能和紊动能耗散率的分布规律, 详细地反映出洞塞的消能情况, 得到压力最低点。本发明采用紊流数学模型成功地进行了水垫塘复杂紊流场水力特性、消能机理和设计优化的研究, 获得了水垫塘三元典型流态概化图、水垫塘水体消能分区等。本发明运用紊流拟序理论对多股多层水平淹没射流水垫塘内复杂三元紊流结构进行了深入分析。

本发明所提供的水工水力学的水流精细模拟方法, 包括水垫塘复杂紊流场水力特性和消能机理及孔板泄洪洞、洞塞泄洪洞、竖井旋流式泄洪洞和龙抬头式泄洪洞的流场细观特征, 形成了较为完整的泄洪洞消能体系的理论; 建立了一套复式游荡型河道漫滩水流计算方法及洪水演进数值计算模型。

具体实施方式

(1) 坝下消能工水流特性的数值实验室软件包开发: 水工水力学中涉及到的水流现象几乎都是紊流, 为了确定水工建筑物的合理布置、掌握坝下游的流态、分析河床的冲刷、研究坝下水流的消能防冲措施, 需对紊流进行专门研究。以往水工建筑物设计基本上以模型试验为依据, 不仅费时耗物, 且受比尺效应的影响, 不能完全反映真实的紊流流动情况。相比之下, 数值模拟具有花费少、适应能力强、提供详细的流场资料、便于方案比较等优点。人们愈来愈重视运用数值模拟手段预测各种复杂的水流现象及流场的内部结构。国际上一些享有盛名的研究所由过去的模型试验为主要研究手段转化为数值模拟为主要研究手段。课题组结合重大工程课题和多项自然科学基金课题, 建立了水利水电工程水流精细模拟的大型数值实验室软件包, 具有模拟水利水电工程复杂水流的能力, 数值计算结果通过动态显示技术以形象的图形输出, 从而可以人机对话的方式灵活地修改模型或原型的形状和参数, 方便地进行系列数值试验或不同的方案比较, 为方案选择和设计提供足够精细和准确的数据, 有助于数学模型逐步地或部分地取代费时耗物的物理模型试验。

(2) 高紊动掺气水流数值模拟: 经过系列的二、三维分析、计算, 研究了水工中一类常见的高速掺气水流及掺气减蚀问题。特别是针对高速水流的高紊动、非定常, 存在复杂自由表面和两相流动的特性, 提出了一套新的数值计算方法。对比了单颗粒直径气泡与多颗粒直径气泡群对水气二相流模拟的影响。群颗粒气泡的模拟较之单粒径气泡的模拟更为符合实际, 结果也更为合理; 通过用户自定义函数UDF实现了曳力系数的自定义, 通过改变曳力系数改善气泡竖向速度和掺气浓度分布, 数值试验发现掺气浓度分布曲线对曳力系数并不敏感; 数值计算结果显示小直径气泡在底面附近的浓度相对于其在水体内其他部位的浓度为大。研究结果表明, 这里提出的新的数值计算方法是合理可行的。

(3) 竖井旋流式泄洪洞数值模拟: 采用三维紊流模型和VOF方法, 对竖井旋流式泄洪

洞的水流特性进行了详细的研究,获得了不同运行工况下泄洪洞内水流流速场和压力场的系列计算结果,对涡室和竖井的旋流涡心形态、通气量、空化数和消能率等进行了定量的描述和分析。经与模型试验成果对比,计算结果合理。该成果在竖井旋流的理论研究和应用上有所创新,为高速水流体型研究和设计打下了很好的基础。

(4) 龙抬头式泄洪洞数值模拟:首次应用两相流理论对带有通气槽的“龙抬头”式泄洪洞进行了数值模拟,并对高速水流边壁凹体的空化特性进行了研究,计算给出了沿洞身水面线和断面的掺气浓度分布,为导流洞改建利用提供了技术及方法。

(5) 洞塞式泄洪洞的紊流数值模拟:通过对洞塞式泄洪洞的紊流数值模拟,得出了洞塞消能的紊动能和紊动能耗散率的分布规律,详细地反映出洞塞的消能情况,特别是细致地捕捉了压力最低点,弥补了物理模型试验的不足。研究表明,导流洞改建高水头泄洪洞采用洞塞消能方案是安全可行的。

此外,通过对多级洞塞消能工的布置优化和三维非轴对称洞塞的大量计算,给出了多级洞塞在不同面积比和不同布置条件下的各级洞塞的消能率曲线,为工程设计提供了参考。

(6) 水垫塘复杂紊流场水力特性、消能机理和设计优化的研究:采用紊流数学模型成功地进行了水垫塘复杂紊流场水力特性、消能机理和设计优化的研究,获得了水垫塘三元典型流态概化图、水垫塘水体消能分区等。以小湾水电站为例,对小湾水电站采用非平底型水垫塘后,下泄水流对水垫塘的影响进行了模拟研究,了解不同方案下水垫塘内水流流态的变化,以及水垫塘底板处水流各特征参数的变化,判断各方案在工程上的可行性。模拟研究成果先后应用于多项大型水电工程水垫塘的水力学研究。其中三元直角坐标 $k-\epsilon$ 模型应用于拉西瓦水垫塘的水力学研究;流态特征、消能机理以及多股淹没射流消能优化的成果应用于小湾水垫塘的水力学研究;三元贴体曲线坐标的数学模型应用于溪洛渡水垫塘的水力学研究。成果也可推广应用于其它类似问题的数值模拟研究。

(7) 水平多股淹没射流(跌坎——底流)新型消能方式的数值模拟研究:运用紊流拟序理论对多股多层水平淹没射流水垫塘内复杂三元素流结构进行了深入分析。采用VOF法和RNG $k-\epsilon$ 紊流模型,结合向家坝水电站,对多股多层水平淹没射流水垫塘流动结构进行了数值模拟和分析。结果表明,该消能型式对下游的适应性较强,消能率较高;物理试验结果表明,该消能型式在保持流态稳定的同时,能够显著降低临底流速,减小出坎水流波动,对下游的适应性较强,消能率较高;数值模拟结果还表明,水垫塘跌坎下游出现横

轴漩涡和立轴漩涡等多种漩涡结构，流动结构复杂。探明了流动结构中立轴漩涡的形成机理，分析了漩涡结构对建筑物的影响，提出了改善水流结构，增强结构稳定的工程措施。研究表明，它是一种流态稳定、适应性强、低雾化、高消能率的新型消能方式，能够显著减轻工程建设给环境带来的不利影响，易于工程应用，从而丰富了现代泄洪消能新理论，为实际工程设计提供了科学依据。