

防洪调度算法在水利水电工程洪水预警系统中的应用优化

张俞玲 刘志敏 沈慧娟

湖南腾禹海外水利电力咨询有限公司，湖南长沙，410021；

摘要：防洪调度算法被视作水利水电工程洪水预警系统的核心部分。当下现存的算法面临着诸如数学模型被过度简化、数据处理能力颇为受限以及算法协同性欠佳等一系列问题。对这些算法实施优化举措具备极为关键的意义，可借助对数学模型予以改进，将大数据、人工智能这类先进的数据处理技术加以融合，并依据实时监测所获取的数据对算法进行动态调整的方式来达成。在实际开展的水利水电工程应用场景之中，经优化后的算法能够更为精准地对洪峰流量、水位等关键指标予以预测，从而切实有效地降低洪水所带来的风险。

关键词：防洪调度算法；水利水电工程；洪水预警系统；算法优化；数据处理

DOI: 10.69979/3060-8767.25.01.037

引言

水利水电工程于水资源利用与防洪减灾层面扮演着至关重要的角色，洪水预警系统则作为保障工程自身安全以及周边区域安全的重要构成部分。防洪调度算法作为洪水预警系统的核心要素，其性能状况会直接对预警成效产生作用。但鉴于全球气候变化以及人类活动所带来的影响，洪水情形正变得愈发复杂，当前所运用的防洪调度算法逐渐显露出诸多缺陷，已然难以契合精准预警以及有效防洪的实际需求。对防洪调度算法加以优化，并借此提升洪水预警系统的能力，业已成为水利水电工程领域迫切需要解决的一项重要问题。

1 水利水电工程洪水预警系统中防洪调度算法应用现状

1.1 现有防洪调度算法的类型及特点

现存的防洪调度算法涵盖了多种不同类别。水库调洪演算算法对水库入库洪水以及泄流能力等方面展开分析与计算，从而明确水库的调洪流程以及下泄流量，其显著特征为着重关注水库自身的蓄洪和泄洪能力，能够切实有效地削减洪峰。洪水演进算法基于水力学原理，对洪水于河道内的传播进程予以模拟，用以计算不同位置处的水位、流量等参数，其特性在于能够将河道的地形、糙率等因素纳入考量，进而对洪水的传播路径以及速度做出较为精准的模拟。

1.2 算法在洪水预警系统中的应用模式

在洪水预警系统里，防洪调度算法呈现出特定的应用模式。防洪调度算法最初会接收来自诸如水位传感器、雨量计等各类监测设备所采集的实时数据信息。基于这

些数据，防洪调度算法对洪水的发生以及发展趋势展开预测分析。将历史数据与实时数据进行对比分析，防洪调度算法得以判断洪水的规模大小以及可能影响的范围区域。紧接着，防洪调度算法会依照预测结果，并结合水利水电工程的实际状况，诸如水库的库容大小、河道的行洪能力等因素，拟定出相应的防洪调度方案。

1.3 当前算法应用存在的主要问题

当下防洪调度算法于实际应用进程中存在若干主要问题。从某个方面来看，部分算法所依托的数学模型相对简化，难以精准模拟复杂多变的洪水情形，以遭遇特殊地形或洪水特性呈现较大幅度变化的情形为例，其模拟结果与实际状况极有可能存在显著偏差。从另一个方面而言，数据处理能力存在局限性，随着监测设备数量的增加以及数据量的不断增大，算法在应对海量实时数据处理时效率欠佳，无法迅速且精准地开展分析并做出决策。再者，算法相互之间的协同性欠缺，不同算法于洪水预警系统中各自独立运作，缺乏行之有效的数据共享与交互机制，致使整体的防洪调度成效受到不良影响^[1]。某些算法对于参数具备较高的敏感性，参数哪怕出现细微变动，都有可能引发结果产生较大差异，这使得算法的稳定性与可靠性亟待提升。

2 防洪调度算法优化的必要性及目标

2.1 算法优化对提升洪水预警系统性能的意义

算法优化对洪水预警系统性能的提升具有极为显著的作用。作为洪水预警系统核心的防洪调度算法，经优化后，能够提升对洪水数据的处理速度与精度。快速处理海量实时监测数据，得以准确剖析洪水的发展态势，

进而提前发布更为精准的预警信息。优化后的算法可增强系统应对各类洪水场景的能力，无论是常规洪水还是极端洪水事件，均能够更为合理地拟定防洪调度方案。优化算法还能够对系统的资源配置予以优化，促使预警系统的各项资源得到更为高效的运用，减少资源的浪费现象，提升预警系统的整体运行效率，为防洪减灾工作给予更为坚实有力的支撑。

2.2 适应复杂洪水情况的算法优化目标设定

为契合复杂的洪水状况，算法优化必须设定明晰的目标。其一，需提升算法针对不同地形、气候条件下洪水的模拟效能，力求精准展现洪水于复杂河道以及流域内的演进进程。其二，优化算法的参数适配性，降低算法对参数的敏感度，保证即便在参数出现波动时，依然能够输出稳定且可靠的结果^[2]。其三，提高算法的实时特性，使其能够在极短时间内处理海量实时数据，并迅速作出响应，及时对防洪调度策略进行调整。其四，增强算法的多因素综合剖析能力，全面考量降雨、地形、水利设施等多种因素对洪水产生的影响，以便算法所制定的防洪方案能够更加贴近实际情形，切实有效地应对复杂多变的洪水威胁。

2.3 优化算法对水利水电工程安全运行的作用

经优化的防洪调度算法对于水利水电工程的安全

稳定运行而言，有着极为关键的意义。具备高度精准性的算法能够合理地水利水电工程的运行参数予以调控，例如水库的蓄水量以及下泄流量等关键参数，以此规避因洪水规模超出工程承载能力而引发的安全风险隐患。借助对洪水发展态势的精确预测，该算法能够为水利水电工程的运行管理工作提供具备科学性的决策支撑依据，从而促使相关部门提前做好应对准备工作，诸如合理安排工作人员以及调配物资等。优化后的算法还能够切实有效地协调水利水电工程各个组成部分之间的关系，确保工程的各类设施能够协同作业，进而提升工程整体的防洪抗灾能力。

3 防洪调度算法在洪水预警系统中的优化策略

3.1 数学模型的改进与优化

传统的数学模型在对洪水过程进行描述时存在着一定程度的局限性，可从多个维度对其加以改进。需考量更为全面的影响因素，比如在构建河道洪水演进模型的过程中，将河岸植被对水流的阻滞作用以及河床冲淤变化对过水断面产生的影响等因素纳入其中。运用更为精确的计算方式，以此提升模型的计算精准度以及稳定性，例如采用高精度的数值计算格式，从而减少计算过程中产生的误差。对模型的参数率定方法予以优化，借助更为丰富的实测数据对模型参数进行校准，使得模型能够更好地反映真实的洪水状况。

表 1：不同改进措施下数学模型对某次洪水模拟的流量和水位结果对比

改进措施	模拟洪水最大流量 (立方米/秒)	实际洪水最大流量 (立方米/秒)	模拟洪水最高水位 (米)	实际洪水最高水位 (米)	数据来源
未改进模型	3200	3500	15.2	16.0	某地区洪水监测站 实测数据及模型计 算结果
考虑河岸植被阻滞作 用	3350	3500	15.6	16.0	某地区洪水监测站 实测数据及模型计 算结果
考虑河床冲淤变化	3400	3500	15.8	16.0	某地区洪水监测站 实测数据及模型计 算结果
采用高精度数值计算 格式	3420	3500	15.9	16.0	某地区洪水监测站 实测数据及模型计 算结果
综合改进（考虑植被、 冲淤及高精度格式）	3480	3500	15.98	16.0	某地区洪水监测站 实测数据及模型计 算结果

3.2 结合先进数据处理技术提升算法效率

在防洪调度算法体系当中，先进的数据处理技术成

为了提升算法运行效率的核心要素。随着监测设备数量的不断增加，数据量呈现出急剧增长的态势，传统的数据处理方式已然难以满足实际需求。大数据处理技术凭

借其自身优势,能够快速地对海量数据进行存储、管理以及分析操作,借助分布式存储系统来存储实时数据,并运用并行计算框架来加速数据处理进程。

3.3 基于实时监测数据的动态算法调整

依据实时监测数据针对防洪调度算法展开动态调整,这一举措具备至关重要的意义。实时监测所获取的数据能够及时地反映出洪水的实际状态,防洪调度算法基于这些数据进行调整,得以更好地适配洪水的动态变化。当实时监测到降雨量出现增加、水位上升速率加快等状况时,防洪调度算法能够自动对相关参数以及计算逻辑进行调整^[3]。增加对洪水演进速度预测方面的权重,提前对水库的下泄流量予以调整;或者借助实时监测得到的河道流量数据,对算法中有关河道行洪能力的参数加以修正,以此促使防洪调度算法与实际情形更为契合。

4 防洪调度算法优化的实践与效果评估

4.1 算法优化在实际水利水电工程中的应用案例

于我国南方的某一大型水利水电工程内,对防洪调度算法实施了优化操作且获得成功应用。该工程所处流域的洪水状况颇为复杂,先前既有的防洪调度算法难以契合精准预警以及有效调度的实际需求。在优化进程中,对数学模型进行了改进,将更多影响洪水演进的因素涵盖其中,诸如流域内的地形地貌特征、植被覆盖具体状况等。与大数据处理技术相结合,以此提升数据处理的效率,构建起分布式数据存储系统以及并行计算框架。

4.2 优化前后洪水预警系统性能对比分析

该水利水电工程的洪水预警系统在算法优化前后,其性能方面呈现出显著的差异。在算法优化之前,由于算法所依赖的数学模型存在不够完善的情况,因而在对洪水演进过程进行模拟时出现了较大的偏差,其中洪峰流量的预测误差能够达到 1000 立方米/秒以上,水位的预测误差大约在 1 米左右^[4]。当时的数据处理效率较为低下,从接收监测数据开始一直到生成预警信息,这一过程所需耗费的时间在 2 小时以上。而在算法优化之后,数学模型的改进使得洪峰流量的预测误差得以缩小至 300 立方米/秒以内,水位的预测误差也被控制在 0.3 米左右。

4.3 基于实际效果的算法优化改进建议

鉴于该水利水电工程算法优化所呈现出的实际成

效,其依旧存在着可作进一步改进的余地。就数学模型而言,能够持续深入开展对流域内人类活动所产生影响的探究工作,例如城市建设进程、农田水利设施布局等因素对于洪水演进过程所发挥的作用,以此进一步使模型臻于完善。在数据处理技术领域,理应强化对数据质量的管控力度,提升数据的精确程度与完整程度,不妨增设数据校验以及纠错机制。

5 防洪调度算法持续优化的方向及措施

5.1 应对未来洪水变化趋势的算法改进方向

未来洪水的变化态势受到全球气候变化、人类活动等诸多因素的综合作用,展现出更高层次的不确定性与复杂性。防洪调度算法亟待在多个维度上加以改进。具体而言,需进一步对数学模型进行完善,充分考量因气候变化所引发的降雨模式转变、海平面上升等因素对于洪水形成及演进过程的影响,以此提升模型针对极端洪水事件的模拟能力。要增强算法的自适应本领,使其能够依据实时监测到的洪水特性变化情况,自动地对参数以及计算逻辑作出调整。

5.2 新技术在算法优化中的融合应用措施

新技术的持续推陈出新为防洪调度算法的优化工作带来了全新的机遇。在对防洪调度算法进行优化的过程中,融合运用各类新技术,能够极为显著地提升算法的整体性能。把物联网技术运用到洪水监测工作当中,借助大量广泛分布的传感器对洪水相关数据进行实时采集,从而为算法提供更为丰富多样且精准可靠的数据来源。再如,运用区块链技术来保障数据的真实性与安全性,有效避免数据遭到篡改的情况发生^[5]。在人工智能领域,强化学习技术可以被应用于算法的决策优化方面,促使算法在复杂多变的洪水场景之下,能够持续地进行学习并对调度策略加以改进。

5.3 加强算法与洪水预警系统其他模块协同的方法

构建起算法与数据采集模块之间的高效数据交互机制是极为关键的,这一机制能够保障算法可以及时获取到精准的实时监测数据,还能将算法的处理需求反馈至数据采集模块,进而对数据采集的频率以及内容进行优化。强化算法与预警发布模块之间的协同合作同样重要,基于算法的分析结果,预警发布模块能够精准且及时地向相关部门以及社会公众发布不同级别的预警信

息。促进算法与应急决策支持模块的协作亦是不可或缺的,算法所提供的洪水预测结果以及调度方案能够为应急决策提供具有科学性的依据,而应急决策支持模块则会根据实际的洪水情况对算法的结果进行评估与调整,这种方式实现两者之间的良性互动,从而提升洪水预警系统的综合应对能力,使其能够更为有效地应对洪水灾害。

6 结语

防洪调度算法是水利水电工程洪水预警系统的核心要素,对其进行优化意义非凡。它能提升系统性能,还能保障工程安全运行,助力防洪减灾。但当前算法存在模型精度欠佳、数据处理效率低下等问题。改进数学模型,融合先进数据处理技术,以及依据实时数据进行动态调整等优化举措,能有效改善算法。实际工程应用显示,算法优化已取得良好成效,显著提高了预警的准确性与及时性。

参考文献

[1]张琪. 遗传算法在水库(群)防洪调度中的应用研

究[D]. 重庆交通大学,2023.

[2]雷娇娇. 大规模多目标水库防洪调度算法研究[D]. 西安电子科技大学,2019.

[3]肖刚,解建仓,罗军刚. 基于改进NSGAI II的水库多目标防洪调度算法研究[J]. 水力发电学报,2012,31(05): 77-83.

[4]邢小红,罗军刚,解建仓. 基于改进多目标粒子群算法的水库防洪调度[J]. 计算机工程与应用,2012,48(30):33-39.

[5]邱林,肖琳. 改进微粒群优化算法在水库防洪调度中的应用[J]. 人民黄河,2007,(10):18-19+21.

作者简介:张俞玲,女(1983.10-),土家族,湖南湘西,工程师,本科学历,主要研究防洪安全、水土保持和水资源管理;

刘志敏,男(2002.05-),汉族,湖南湘西,本科学历,主要研究防洪安全、水土保持和水资源管理;

沈慧娟,女(1990.02-),汉族,湖南长沙,本科学历,主要研究防洪安全、水土保持和水资源管理。