

① 1997\93234B\017\006 97.17(6) 防洪决策支持系统的开发和应用

胡四一

TV87

(水利部南京水文水资源研究所 南京 210024)

摘要 在国家“八五”科技攻关成果(85-16-01-03)的基础上简要介绍防洪决策支持系统的研究现状和发展趋势、系统结构和主要功能,以及系统开发中需要的相关技术。以长江上游“81.7”洪水的发展过程为脉络,通过系统运行模拟示例,显示了防洪决策支持系统在信息查询、水情仿真、方案评价等方面的强大功能及其在防洪决策过程中的支持作用。

关键词 防洪 决策支持系统 信息查询 系统模拟 数据库 知识库 长江洪水

1 防洪决策支持系统研究现状和发展趋势

近年来,支持决策者研究解决半结构化和非结构化决策问题的人机交互组合系统——决策支持系统,在国内外发展迅速,已在水资源系统规划、设计和管理中得到了成功的应用^[1]。在防洪方面,人们普遍认为从实时洪水预报系统过渡到防洪决策支持系统是当前的发展趋势^[2],发达国家竞相开展这类研究和开发工作^[3],但目前仍处于只针对系统开发中的关键技术进行探索并在中小河流域试验开发的阶段。

我国在“八五”期间平行安排了长江、黄河、淮河防洪决策支持系统的开发。这些系统的原型均已初步建成,目前陆续开展系统的后续开发——实体建设和具体实施。

防洪决策支持系统日益重视信息查询与模型仿真的有机结合,广泛应用地理信息系统技术,其结构设计正朝着更加可视、交互、智能、集成化方向发展。主要发展趋势可概括为5个方面。

a. 更加重视防洪决策过程的信息需求分析,强调信息查询与模型仿真相结合,尤其注重复杂庞大的洪水演进和调度仿真模型的开发。

b. 日益重视图形、图像技术及多媒体技术的应用开发,主要包括图形用户界面、多窗口技术、信息的图形/图像表示及快速查询,与GIS结合的地理空间数据处理技术,配合模型的信息处理及反馈信息的图形/图像表达等。

c. 采用先进的信息集成处理技术,将信息的收集、传送、处理、结果表达等集成在统一的计算机网络环境中,以加快信息运用的速度,满足实时防洪决策快速响应的要求。

d. 在库管理技术方面,通过方案管理技术来改善模型管理系统的功能;采用面向对象的数据管理技术及SQL查询方式,增加数据更新的灵活性,提高信息查询速度,减少数据冗余,提高数据的安全性。

e. 由于防洪决策问题的半结构化特点,如何将专家知识和经验引入决策支持系统,以及采用何种方式激发专家的创造性思维,

作者简介:胡四一,男,教授级高工,水利部南京水文水资源研究所副总工程师,从事水文水资源研究,曾发表《长江防洪决策支持系统总体设计》等论文。

产生有利于正确决策的直觉和灵感,是防洪决策支持系统智能化急待解决的难题。

2 防洪决策流程、信息需求及系统开发原则

2.1 防洪决策流程

一般来说,实时防洪决策的大致过程为:

①根据实时水雨情信息及对未来一定时段内水雨情变化的预测进行防洪形势分析;②在整体防洪规划的约束下,按照优化的防洪调度方式确定系统防洪工程体系的蓄泄对策,分析计算如采用这样的蓄泄对策,流域各地将发生的水情,将上述信息全部进入防洪决策支持系统;③决策部门主要根据以上信息及工情、灾情等其它信息,经过判断,提出防洪调度预案集;④通过防洪调度模型和洪水演进模型对预案进行水情仿真,评价其效果和影响,再由专家分析、对比、判断、综合,最后经决策部门确定采取的防洪控制工程蓄泄对策及其它堤防、分蓄洪工程如何运用的决策,并付诸实施。决策确定后,还要分析计算采取这样的决策后各地的水情,以便及时指导各地的防汛工作。

2.2 防洪决策支持系统的特点和信息需求

防洪决策支持系统的工作特点可概括为:要求多方面协同工作,信息查询和系统仿真相结合,人机交互快速同步进行。主要目的是激发群体智慧,选择合理可行、易于实施的防洪决策方案。

防洪决策支持系统应具有如下主要功能:

a. 运用现代化网络通讯和信息处理技术,通过数据库和知识库查询检索大量有关的历史和实时水情、雨情、工情信息,经专家群体分析综合,汲取其中最有价值的内容,以丰富、扩展专家群体智慧,深化定性分析。

b. 将专家群体在会商过程中提出的调度方案、抉择、数据等各种信息与计算机、仿真、模拟技术结合起来,对水情变化和调度预案反复进行定性、特别是定量的分析,使之能从感性到理性、从微观到宏观、从局部到整

体,迅速得出较精确的汛情发展态势和防汛决策效果,进一步调动专家群体的知识和经验,激发创造性思维。

c. 利用可视化或多媒体技术,特别是遥感、遥测和信息网络技术,不仅可以直观、形象地观测到大范围天气形势的动态变化,而且可以将远在千里之外的洪水场景同步传输到防汛指挥中心,犹如身临其境,极大地扩展了人的认识范围,更加全面、准确、如实、动态地把握水雨情变化和洪水环境,审定所提方案的适用性,并不断予以调整,找出最佳方案。

d. 在防汛过程中,随着汛情的不断发展,必须及时利用现代化信息网络,快速将提出的防洪决策方案在实施中遇到的问题与新情况反馈回来,显示在会商中心的电子屏幕上,迅速调整各种模型、方案与数据,预测新的效果,再提供新的最佳决策。如此不断循环往复下去,一次比一次更准确、更高明。

e. 把科学理论与经验知识结合起来。一些不成文的实际经验,甚至灵感、潜意识等往往有着十分重要的作用。防洪决策支持系统所提供的信息环境有助于充分发挥专家经验和知识的作用,激发专家的创造性联想,产生对防汛决策的关键问题进行判断和抉择的直觉和灵感。

2.3 系统开发原则

根据上述防洪决策支持系统的特点和功能要求可以看出,系统开发涉及学科众多,系统结构复杂,关键技术密集,建库建模量大。为使系统开发顺利进行,系统开发应遵循下述原则:①以流域防洪决策流程为基础,目标为可运行的实用系统;②整个系统全面规划,分期实施,逐步完善,按模块化的思想进行设计和开发;重点做好总体设计,提供一个可操作的原型,以反映系统的技术特点、功能、设计风格以及应用前景;在此基础上,进一步完善设计和功能并进行系统的实体建设;③在开发过程中,注重决策过程中“信息-经验-反馈”之间的交互分析,发挥综合集成系统的整体优势;④注重系统的统一完整性和系统的逐步完善

要求,在系统开发初期重点考虑子系统模块的接口预留和延拓;⑤对于高新技术的应用,既要考虑到其技术发展的先进性,又要兼顾现实可能性;所选用的计算机系统、网络方案、操作平台、数据库管理系统及自行开发的软件,应在实用的前提下力求方案和技术方向上是先进的;⑥针对主用户建立和开发系统,在一定程度上兼顾次级用户要求;⑦系统主要用于实时防洪调度,但兼顾规划、设计方面的要求;⑧充分利用现有数据、模型及研究成果,尤其注重经过实践检验行之有效的的方法和模型的二次开发;⑨遵循行业主管部门在软、硬件环境、综合数据库等方面制订的有关指南和规定,协调或尽量统一库结构和接口方面的要求,以利于分散开发的系统各部件在统一环境下有机集成和顺利运行。

3 防洪决策支持系统的结构和功能

3.1 系统总体逻辑结构和功能

防洪决策支持系统从功能上一般可分为系统总控、信息查询、防洪调度、数据库和知识库五大功能块。

系统的总体逻辑结构是:以数据库和知识库作为基本信息支撑,通过总控程序构筑防洪决策支持系统的运行环境,辅以友好的人机界面和人机对话过程,有效地实现信息查询和防洪调度两大操作功能。

信息查询实现防洪决策过程中所需的各种信息查询、数据检索等功能,主要包括实时水雨工情、气象信息、水文历史信息、防汛文档、预报预测结果等信息的查询和自动显示,并辅有自动报警、超保提示、告警功能,使防汛值班人员在不操作或少量操作的情况下,及时了解汛情的位置和密切监视汛情的发展。信息查询要求响应速度快,表达形象直观、清晰、简洁,操作方便。

防洪调度是防洪决策支持系统的核心功能块。它将防汛情报、预报、调度决策等技术

环节有机地结合在一起,有效地实现防洪形势分析、调度预案生成、调度预案仿真和方案评价的功能。其最重要的特点是利用各种数学模型,进行防洪系统的水情仿真和各种防洪调度预案的后果预测,以及评价各种可能的水雨情变化对汛情发展的影响。例如,可以采用系统总体控制、模糊决策、大系统解耦以及网络分析等技术,确定使库群与分蓄洪区达到最佳联合防洪效果的蓄泄策略^[4];采用各种洪水演进模型,包括水文学演进、一维和二维非恒定流演进模型等,进行河道或分蓄洪区或防洪系统的洪水演进,以反映洪水在河湖中的运动及防洪措施的蓄泄效果^[4]。针对防洪决策采用会商形式,即专家群体决策这一特点,设计开发决策方案管理子系统。在此子系统下,辅助决策人员可以根据防洪专家围绕预定防洪目标拟定的各种防洪调度预案,进行模型选择、参数设置、模型运行及其运行结果的显示查询。该子系统可对多种方案进行统一管理和综合比较,并提交会商讨论,供决策者选定方案,付诸实施。

数据库及知识库是防洪决策支持系统的两大信息支撑块。数据库系统实现各种防洪决策所需的实时、历史、预测数据及地图空间数据、社会经济数据等信息的管理和数据更新。例如,全国防洪调度系统中防洪综合数据库子系统选择了以 Sybase 数据库作为数据库管理系统^①,它面向客户机/服务器结构,既能充分发挥服务器端的数据管理功能,又能有效地实现客户机端的独立的数据编辑、显示、处理功能。通过在服务器上建立各种数据库表结构,实现数据的统一管理。文本信息与数据信息一样,都是防洪决策支持的基础。知识库系统包括防洪决策过程中需要的各种文档资料,如防洪调度规则、决策案例文本、历史洪水资料、防洪政策法规、防洪专家对防洪关键问题的论述等。文本以文件形式存储,文本管理则依赖于文本内容的索引,

①水利部世行特别信贷 019 项目办公室.全国防洪调度系统(NFCDS-1)终结报告,1996.2

而基于 Intranet-Web 技术框架的超文本索引技术则是防洪知识库中文本信息查询的最新、最有效的手段。

各库之间的逻辑关系可简要表述为:模型库对数据库提出数据需求及存储格式要求,数据库作为数据源,通过接口程序为模型库提供模型运行所需的数据;模型的运行结果以约定的存储格式存入数据文件,数据库对模型运行结果数据进行统一的管理。知识库是一个相对独立的系统,通过总控程序直接对其进行内容查询。

3.2 系统总体框架和系统接口

从用户角度来看,系统的总体框架表现为系统的总控菜单。从软件系统的设计开发角度来说,构筑系统总体框架的关键技术包括:①各种任务的合理调度与协调运行;②系统内存的合理分配运用;③各子系统及各独立功能模块的集成技术研究开发;④快速灵活的图形功能开发等等。通过各种数据接口技术的开发,建立各库之间的有机联系;通过各种控制接口技术的开发,总控程序将各子系统和各独立功能模块集成起来,形成可实际运行的软件系统。

各种接口设计总的原则是:数据提取速度快,功能相对独立,数据传递平滑过渡。

3.3 人机交互界面

友好直观的人机界面有助于决策者快速理解系统所提供的信息。采用分层分级的电子地图的方式可以快速地选择所需的地图信息,并实现对象区域的背景地图与防洪信息的复合叠加。对于图形功能开发应突出两个字:“快”和“活”。“快”是指反应要迅速;“活”是指信息的选择及范围的圈定要灵活,图形的缩放、漫游、开窗、指定点移至中心等功能均能实现。人机交互界面的开发采用图形用户界面技术(GUI)。

3.4 系统软硬件环境

3.4.1 系统运行的网络环境

防洪决策支持系统总体上可采用客户机/服务器(Client/Server)网络体系结构来建立

系统的网络支持环境。服务器一端主要完成数据提取及传输等数据服务;客户机一端可同时安装若干台微机,作为客户机终端使用。由于整个系统中涉及多种硬件及软件平台,因此需采用支持异种机互联的 TCP/IP 网络结构。

3.4.2 系统开发运行的硬件环境

目前普遍采用 Intel 系列微机作为系统开发及运行的硬件环境,一般 486/586 微机的标准配置就可满足上述要求。此外,为了与大屏幕投影系统连接,可配置单枪(或三枪)投影或液晶投影板。与 TCP/IP 网络配套,可选择合适的网卡及相应的网络管理软件。

3.4.3 系统开发运行的软件环境

系统开发运行的软件环境应适应当前计算机技术的发展趋势,可选择 Microsoft Windows 中文版作为系统开发运行的软件环境。其特点是:实现了图形用户界面技术,使开发的系统用户界面友好直观;突破 DOS 640K 常规内存的限制;可以实现多任务运行;应用程序操作简单、方便等。

相应地,系统总控、用户界面及决策方案管理可采用 C++, VB, PowerBuild 等语言或开发工具,模型开发采用 FORTRAN 语言,数据库管理系统采用 FoxPro,知识库系统开发采用超文本技术。在上述多种软件的联合应用支撑下,完成整个防洪决策支持系统的开发。考虑到系统升级及性能改善的需要,系统设计时,应充分考虑系统的兼容性、可扩充性及可移植性。

4 系统模拟运行示例

1981 年 7 月中旬,长江上游地区出现特大洪水,严重危及正在施工的葛洲坝工程及荆江大堤安全。根据水情预报,葛洲坝工程及时采取了措施,加固了上、下游围堰。而荆江河段,由于预报沙市洪峰水位接近荆江防洪标准,防汛决策的关键是是否需要动用荆江分洪工程。决策部门根据天气形势、水雨工情的全面分析及水文预报的结果,最后决

定不启用荆江分洪工程,并组织 30 万军民上堤全力防守。事实证明这一决策完全正确,确保了荆江大堤的安全无恙,避免了荆江分洪区近 40 万人口的搬迁及 2 万 hm^2 农田受淹的巨大损失。下面将以“81.7”洪水发展过程为线索,按照防洪决策流程,模拟实时洪水环境,侧重介绍我所国家“八五”科技攻关成果“长江防洪决策支持原型系统”^[5]在信息查询、模拟仿真、辅助决策方面的强大功能,以反映系统设计的特点、应用方式及其在防洪决策中的支持作用。

4.1 长江上游四川中部范围大降雨(1981 年 7 月 9~12 日)

a. 天气信息对暴雨的大小,暴雨中心的位置以及变化趋势的正确判断起着十分重要的作用,充分利用卫星云图、测雨雷达来监测降雨时空分布,掌握雨情发展演变趋势,对争取更长的时效来部署防汛工作具有十分重要的意义。系统提供:①实时气象卫星云图;②形成洪水的高空及地面天气形势图。

b. 雨情信息通过雨量监测网的采集、处理、传输进入防洪决策支持系统。系统可以提供长江中游汛情紧张地区的实时雨情及暴雨的时空分布,主要包括:①实时雨量分布图;②降雨历时过程图;③实时降雨等值线图。据此分析雨区的可能发展方向和估计降雨量级,并为洪水预报提供输入准备。

4.2 密切监视水雨情发展(1981 年 7 月 12~15 日)

a. 当长江上游出现有暴雨的天气形势时,就要根据定量的降水预报或可能的降水量进行洪水的粗略估算,以便防汛部门做到心中有数;当已经降雨的实时信息传输到水情预报中心,就可逐时段地用降雨径流模型连续进行洪水预测。通过网络可以将预报结果传输进入防洪决策支持系统,系统可查询预报站点的水位和流量预报结果。

b. 当可能发生洪水灾情时,需要进行防洪调度预案的拟定和选择,而洪水量级判断是其基础。洪水量级不但需要根据实时天

气、雨水情信息,而且还要与历史洪水信息进行比较。系统提供典型洪水年的大气环流形势图。如果要了解或查询关于历史洪水的环流背景的详细描述,系统可以切换至防洪知识库,即可得到相应的文档信息,进而进行天气形势的历史对比分析。

c. 为了进行洪水量级判断,综合数据库存储有大量历史上发生过的暴雨和洪水资料,将其与预报结果进行比较,有助于确定洪水量级。例如,在这个例子中,系统提供了 1981 年洪水宜昌站的流量过程与 1870 年洪水的对比分析图。

d. 在 1981 年 7 月 14 日的会商会议上,防汛部门通报了长江上游的水雨情报,分析了可能的水情,研究相应的防汛措施,并作出了荆江分洪准备工作的部署。在会商过程中,需要以简洁、直观的形式提供各种水雨情实时信息,用户可随时检索上述信息和告警信息,密切监视汛情的发展。为了便于领导和专家会商决策,系统的显示内容可以切换到大屏幕。信息查询的主要内容有:①水位分布图——给出重要控制站实时水位及其与历史最高水位、设防水位、保证水位、警戒水位的比较;②水尺分布图——水位分布的一种直观表示;③水位流量分布图——实时水位流量的空间分布;④多站水位流量比较——任选不同控制站点,进行上下游水位流量比较和区域水情分析。

e. 从历史水情数据库提取历史水情资料,将其与实时水情数据库中的洪水过程进行比较,以判断水情的发展趋势。同时,从防洪知识库可以查询历史大洪水的文档信息。

4.3 防汛会商决策(1981 年 7 月 16~19 日)

当 1981 年 7 月 16 日重庆寸滩站出现 $85000 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,根据天气形势和水情发展,最担心的是长江上游继续降雨,进一步增大重庆的洪峰,或乌江、三峡区间、清江可能发生暴雨,形成各自洪峰与重庆下泄洪峰的遭遇叠加。上述两种情况都有可能使宜昌、沙市出现更大的洪峰,可能达到 1870 年洪水的

