

# 我国洪水预报调度系统软件开发述评

林凯荣 综述 陈 华

(武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室 湖北 武汉 430072)

**摘要** 简介我国洪水预报调度系统发展过程,从系统软件结构模式、设计方法的角度分析比较不同发展阶段洪水预报调度系统的优缺点,并论述了地理信息系统在洪水预报调度系统中的应用进展情况,结合 21 世纪洪水预报调度系统发展方向,对诸如数据库集成、地理信息系统的应用、数据库与水文模型的集成等有待深入研究的方面进行了展望。

**关键词** 洪水预报;调度系统;C/S;B/S;面向对象;GIS;综述

**中图分类号** :P338+.2      **文献标识码** :A      **文章编号** :1006-7647(2005)S1-0160-04

## 1 我国洪水预报调度系统发展简述

洪水预报调度系统的科学化和现代化是水利工程管理现代化的重要内容之一。自从 20 世纪 80 年代初水情自动测报系统推广应用时起,我国就开始利用计算机进行洪水预报调度,特别是 1998 年以来,国家防汛抗旱总指挥部办公室在全国组织开展了水库洪水调度系统建设的试点工作,极大地推动了我国洪水预报调度系统的发展。经过 20 多年的发展,研制开发了许多规模不一、结构各异的系统,这些系统各有特点,系统结构也经历了几次大的变革,大体上可分为四个阶段<sup>[1-3]</sup>:

**a. 程序文件阶段。**从 20 世纪 80 年代初到 80 年代中期是洪水预报调度系统发展的第一阶段,这一阶段主要以单机为主,且数据是以文件的形式保存在机器中,系统使用 BASIC、FORTRAN 等高级程序设计语言编写,预报调度模型相对简单。由于技术原因,这些功能无法实现无缝连接,数据信息共享需要在程序间进行。

**b. 桌面数据库阶段。**从 20 世纪 80 年代中期开始到 90 年代中期是洪水预报调度系统发展的第二阶段,在数据采集技术、洪水预报调度模型的研究取得进展的同时,Dbase、FoxBase( Foxpro)等小型桌面数据库的应用,提高了程序的灵活性和通用性。

**c. C/S 模式阶段。**20 世纪 90 年代中后期,随着计算机技术的发展,特别是软件技术的进步,如 Window 95 和 Window NT 的广泛应用,洪水预报调度

系统在计算机硬件技术、网络技术、通信技术、数据库技术、面向对象的思想、方法和技术以及面向对象的第四代工具(4GT)即可视化软件集成开发环境的支持下,水库洪水预报调度系统进入了 C/S 模式阶段,特别是在国家防汛指挥系统启动以来,武汉大学、大连理工大学、河海大学等以“实用、可靠、先进、标准、开放”为原则,通过开发模块化程度较高、通用性较强的模板,设计和开发了基于 C/S 模式的洪水预报调度系统,并应用在 155 座大型水库和重点中型水库(群)<sup>[4-7]</sup>。基于 C/S 模式的洪水预报调度系统,大大提高了水库防洪调度的科学决策和水库管理的信息化水平,在防灾减灾工作中起到了重要的作用。

**d. C/S 和 B/S 混合模式阶段。**随着 Web 技术的发展,洪水预报调度系统也逐渐向 Web 方式发展,但由于技术、网络通信等各种因素的限制,出现了 C/S 和 B/S 混合模式。该模式在 C/S 模式下进行洪水预报调度计算,通过 Web 方式显示计算结果,实现了远程数据的访问。林凯荣等<sup>[8]</sup>在原有的 C/S 模式洪水预报调度系统的基础上,开发了基于 Web 的防汛信息系统,并应用于江西、安徽和湖南等多座试点水库,在一定程度上克服了原有系统的缺点。目前大部分洪水预报调度系统都采用这种混合模式。

**e. B/S 模式阶段。**随着 Internet 以及分布式数据库等技术的迅速发展,软件系统的设计思想发生了巨大的变化,洪水预报调度系统正在向以 Web 技术为核心的 B/S 网络应用模式过渡。赵玉庆等<sup>[2]</sup>提出

作者简介:林凯荣(1980—),男,福建龙海人,博士研究生,从事水文水资源研究。

了基于 B/S 的洪水预报调度系统雏形,李向阳等<sup>[9]</sup>、李订芳等<sup>[3]</sup>分别开发了基于 Web 的洪水预报系统。

尽管现有洪水预报调度系统有多种不同的模式,但如何利用现有的系统资源,建立一个有效实用且具有较高集成度、能够满足当前和未来一段时间内需要的洪水预报调度系统是需要研究的重点。

## 2 系统的软件结构模式

### 2.1 C/S 模式的洪水预报调度系统

目前大部分洪水预报调度系统多为单机结构或客户/服务器(Client/Server, 简称为 C/S)方式的网络结构,简称为 C/S 模式。在 C/S 模式的网络中,数据库信息管理工作是由服务器和客户机分别完成的。所有的客户机与数据库服务器相连,服务器负责管理数据库的访问,对数据进行检索和排序,此外还要对数据库的安全层层加锁,进行安全保护,如图 1 所示。

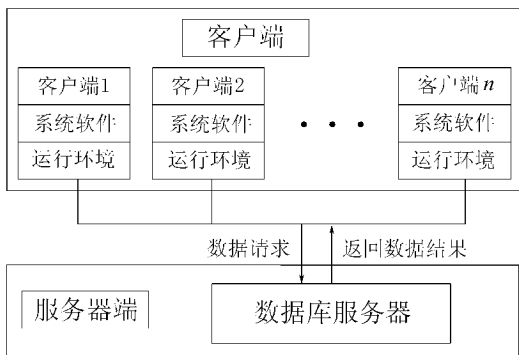


图 1 C/S 模式的网络结构

在 C/S 模式中,提供给一个客户机和一个服务器的软件是成套出现的,开发人员不仅需要开发客户端软件,同时还要开发出后台运行的软件。而在访问另一套服务器时,则需要另一套软件,这是一种配对、点对点、框架结构的模式。

C/S 模式系统的优点是与大型数据库的连接紧密且快捷,实现了分布式数据处理,减轻了服务器的工作量,提高了数据处理速度和网络利用资源,实现透明访问异地数据库的数据,整个系统安全性好。

C/S 模式系统有以下缺点:① C/S 模式水库洪水调度系统是典型的胖客户端软件,系统的所有功能都是以 DLL 或 PBD 文件的形式存在于客户端,如果用户需要在某台计算机上运行其水库的洪水调度系统软件,执行其中的功能,就必须在该台计算机上安装一套完整的水库洪水调度系统软件,并通过复杂的网络设置、系统配置才能使用水库洪水调度系统<sup>[3]</sup>。由于结构逻辑层在客户端,随着机器数量的增加,系统的维护也很困难<sup>[2]</sup>,系统的可扩展性差。

② C/S 模式系统的数据库容易形成“信息孤岛”,数

据共享性差,集成度低,不利于各级防汛指挥部门进行防汛会商等决策和管理活动。③由于两层 C/S 的客户开发高度的专业化,如果软件系统从一种客户开发环境移植到另一种环境将是一件很费时的工作,传统的 C/S 模式移植性不够理想。

### 2.2 B/S 模式的洪水预报调度系统

B/S 模式,即浏览器/服务器(Browse/Server)模式,是基于 Internet 的 WEB 模型,一般称之为 Intranet 模式。B/S 模式可分解为一个应用服务器(WEB 服务器)和一个或多个数据库组成的系统,它的网络结构如图 2 所示。

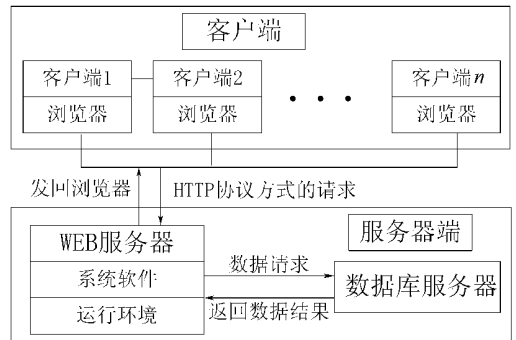


图 2 B/S 模式的网络结构

在 B/S 模式中,客户机只需要安装操作系统、网络协议软件、网络浏览器,即瘦客户机模式,而服务器端则集中了所有应用软件的开发、维护和管理工作。

B/S 模式洪水调度系统具有使用简单、标准化、开放性、分布式等众多优势,对传统的洪水调度系统的体系结构产生了巨大的影响。它突破了传统系统面向事物处理的局限性,把信号采集、数据处理、办公事务和决策事务有机地结合起来,从而促进了防汛各部门内部信息的广泛交流和共享,便于各级防汛指挥部门进行防汛会商等决策和管理活动。

在 B/S 模式下,对数据库进行访问的客户是不确定的,他们可能来自网络的任意一个节点,是完全分布的,虽然洪水预报调度系统不是面向公众的,但如果要实现远程会商,那么数据的安全性还是一个值得注意的问题。通过设立防火墙和设置数据库用户权限等可以在一定程度上减少非法用户的入侵,但由于进行破坏的入口增多,有必要采取更多、更好的防范措施,这将成为在 B/S 模式下值得研究的一个重要问题。

## 3 系统的软件设计方法

### 3.1 洪水预报调度系统的结构化设计

传统的洪水预报调度系统的设计方法是以“功能”为中心的面向过程的结构化方法。结构化编程的

基本思想是把大的程序划分为若干相对独立、功能简单的程序模块,它以过程为中心,强调的是过程,强调功能模块化.通过一系列过程调用和处理完成相应的任务<sup>[10]</sup>.由于人类活动范围的增加,对水库流域范围内的影响日益显著,相应的一些计算模型要改变<sup>[2]</sup>,而在这种编程模式下修改起来十分困难,且往往会使系统开发人员陷入代码的泥潭,通用性和可扩展性较差.

### 3.2 洪水预报调度系统的面向对象设计

20世纪90年代广泛应用的面向对象技术是一种全新的系统分析与设计方法,它第一次从根本上改变了半个多世纪以来的编程方式.这一技术着眼于软件开发对象,通过软件对象来模拟现实中的实际物理对象,对象把数据和过程结合在一起赋予数据以动作.这一技术的类、封装性、继承性、动态连接、多态性、模块化和实例化等概念和特性,使得对象一旦被创建即可被重用;也可以此为基础,通过修改或扩充来创建新的对象.以这些类为基础开发新的软件就变得非常容易,特别便于软件的维护、扩展、重用和集成<sup>[4,5]</sup>.

面向对象的洪水预报调度系统克服了传统的面向过程的设计方法的缺陷,具有通用性、可扩展性、独立性等优点.①通用性.避免了以往许多相同工作的重复处理,可以使不同类型、不同尺度预报调度模块在同一框架下进行考虑,更符合实际,节省了工作量.②可扩展性.面向对象的洪水预报调度系统在水库类中定义了一系列洪水预报模型方法、洪水调度方法.当计算模型要改变,或者是要增加一些模型和算法,在面向对象的洪水预报调度系统中很容易实现.③独立性.面向对象设计使得洪水预报调度系统各个功能模块之间独立性增强,功能的增加修改对整体的影响减小,这既有利于分期开发和团体协作,也大大方便了以后的系统维护工作.

程春田<sup>[11]</sup>利用面向对象设计思想,进行了水库防洪调度系统设计的尝试,游进军<sup>[12]</sup>提出了面向对象设计的水库调度结构.陈华等<sup>[13]</sup>利用微软新一代开发工具 Visual Studio.NET,在全面分析水库洪水预报调度系统数据结构的基础上,运用抽象、聚类、分解等信息建模方法,设计和开发了基于 Web 的水库洪水预报调度系统.

## 4 GIS 在洪水预报调度系统中的应用

传统的洪水预报调度系统停留在对属性数据的单向查询和处理功能上,一般采用的是静态的流域地图,难以动态准确地反映流域的空间分布情况并作进一步的空间分析.地理信息系统(GIS)经过 30

多年的曲折发展,已经成为集地球科学、信息科学与计算机技术为一体的高新技术,它主要是用于采集、存储、分析、再现空间信息的信息系统,它不仅利用了属性数据,更重要的是利用了空间数据.GIS 通过将地理空间模型化并存储在计算机中,便于对地理信息的快速查询、空间分析,以达到对研究对象进行描述、模拟和预测的目的.相对于常规意义上的信息系统,GIS 能进行空间分析而更能全面、直观、动态地采集和利用信息,因此是更加完备、更加成熟、更加有用的信息系统.

李敏等<sup>[14]</sup>开发了基于 PowerBuilder 和 Map Object 的水库洪水调度信息查询系统.谢鸿宇等<sup>[15]</sup>以微软的 SQL Server 2000 大型数据库管理系统作为数据库运行平台,开发了基于 Visual Basic 和 Map Object 的流域洪水预报调度信息系统,并应用于江西省清丰山流域,从运行效果看,利用 Map Objects 控件开发的系统,能够较好地完成指定空间查询、预报和调度等功能,显示效果较好,在目前系统数据量不大的情况下,运行速度较快.此外,周惠成等<sup>[16]</sup>、侯召成等<sup>[17]</sup>进行了 Web 和 GIS 相结合的尝试,开发了基于 Web GIS 的防汛信息服务系统.

基于 GIS 的洪水预报调度系统的设计目标应该是应用 GIS 技术,在地图上动态查询流域内的所有工情信息和水雨情信息,实现洪水演进模拟、洪水淹没分析等空间分析功能,利用流域洪水预报调度和水资源优化配置结果,对防洪抗旱形势进行分析,合理地进行防洪调度和分配水资源.系统应该包括水雨情信息模块、工情信息模块、防汛物资和社会经济信息模块、地理量算与分析模块、流域规划管理模块、防洪抗旱形势分析模块和指挥调度模块.

## 5 结 语

综上所述,我国开发了许多不同模式的洪水预报调度系统,这些系统在防汛指挥的现代化管理中发挥了重要的作用,为整个社会带来了重大的经济效益和社会效益.C/S 模式的洪水预报调度系统对通讯网络的要求不高,使用公用通讯网,通过拨号上网等方式建立连接,如试点水库与国家防汛总指挥办公室的远程数据传输.但软件的可靠性、稳健性、对环境适应性不强是这类软件存在的主要问题.随着计算机技术的发展,尤其是超媒体和宽带网的发展解决了原有的低宽带和 HTML 较弱信息表现能力这个限制 B/S 模式推广应用的瓶颈问题,基于 Web-GIS 的洪水预报调度决策支持系统将是我国未来洪水预报调度系统的应用雏形,该系统以 GIS 为基础信息平台,采用 B/S 的工作模式,实现远程

实时洪水预报和调度等应用,能够较好地解决现有系统所存在的问题.由于数据库的分布、异构特征以及水文系统的复杂性决定了新一代洪水预报调度系统的集成是一项复杂的工程,还需要在以下方面作进一步深入的研究:

a. 数据库系统集成与管理.由于洪水预报调度系统涉及大量数据,防洪调度涉及的部门繁多,重要数据需要及时传递到各个管理部门,不同业务部门的信息需要进行集成统一管理<sup>[18]</sup>,因此,系统的数据集成和统一管理,以及如何从这些大量的数据中提取有用的信息是一个值得研究的方向.在这方面,利用数据仓库和数据挖掘的洪水预报调度系统的信息集成研究和开发,将是今后很长一段时间内的发展方向.

b. 空间数据集成与利用.目前,GIS在洪水预报调度系统中的应用还停留在解决防汛信息可视化等低层次上.建立与防汛属性数据集成的空间数据库、空间数据仓库,在此基础上开展防汛形势分析、洪水演进模拟、洪灾损失评估等深层次问题的研究、开发和应用,从一个更高、更宏观的思路来考虑如何避免水旱灾害的发生,实现与遥感、卫星等系统的实时数据共享,实现洪水成灾原因、成灾情况、灾情评估的实时化,是新一代洪水预报调度系统需要开展的研究.

c. 数据库、数据仓库与水文模型的集成.水文模型在实际洪水预报调度中的表现形式经历了从单独的可执行文件到动态链接库等可重用构件的进化,如文献<sup>[18-20]</sup>通过构造预报调度模型库,采用面向对象设计方法开发了水库洪水预报调度通用化模板.由于不同流域的气候、地理和下垫面条件等存在差异,同时,防洪任务和防洪对象各不相同,导致预报调度模型和方案差别很大,虽然研究人员在这方面做了很多工作,但仍没有实现水文模型与数据库的集成,模型维护管理不方便.随着基于DEM的数字水文模型理论与应用研究的不断深入,水文模型与数据库、数据仓库、GIS的集成是研制新一代洪水预报调度系统,建设数字流域,实现洪水模拟仿真、洪水淹没分析和洪水灾害损失评估的重要途径.

#### 参考文献:

[1] 郭生练. 水库调度综合自动化系统[M]. 武汉: 武汉水利电力大学出版社, 2000.  
[2] 赵玉庆, 周惠成, 张海. B/S模式下洪水预报调度系统的研究[J]. 计算机应用研究, 2002(7): 130-131.  
[3] 李订芳, 陈华, 林凯荣, 等. 基于B/S模式的水库洪水调度系统[C]//郭生练. 全国首届水问题研究学术研讨会论文集. 武汉: 湖北科技出版社, 2003: 300-307.  
[4] 邱瑞田, 万海斌, 李兴学. 现代水库洪水调度系统研究

[J]. 中国水利, 2001(4): 39-40.  
[5] 梁国华, 周惠成, 王本德. 水库洪水调度系统调度子系统设计与开发[J]. 中国水利, 2001(4): 41-42.  
[6] 包为民, 钟平安, 王船海, 等. 水库洪水调度系统预报子系统关键技术与功能开发[J]. 中国水利, 2001(4): 34-44.  
[7] 郭生练, 戴自速, 陈森林, 等. 水库洪水调度系统数据管理子系统的设计与开发[J]. 中国水利, 2001(4): 43-44.  
[8] 林凯荣, 郭生练, 王金星, 等. 水库防汛信息网的设计与开发[J]. 中国农村水利水电, 2003(2): 30-32.  
[9] 李向阳, 程春田, 李刚, 等. 基于Web的洪水预报系统[J]. 大连理工大学学报, 2003, 43(5): 681-685.  
[10] 李订芳. 基于元数据的防汛综合数据库集成方法与应用研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2003.  
[11] 程春田. 面向对象技术在水库防洪调度系统中的应用[J]. 水电能源科学, 1998, 16(3): 10-15.  
[12] 游进军, 王浩, 甘泓, 等. 面向对象的水库调度系统设计[C]//郭生练. 全国首届水问题研究学术研讨会论文集. 武汉: 湖北科技出版社, 2003: 354-360.  
[13] 陈华, 郭生练, 林凯荣, 等. 基于Web的水库洪水预报调度系统设计与开发[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2004, 37(3): 74-78.  
[14] 李敏, 程春田, 王大刚. 基于PowerBuilder和MapObject水库洪水调度系统信息查询[J]. 大连理工大学学报, 2002, 42(5): 603-605.  
[15] 谢鸿宇, 陈华, 吴建红, 等. 基于GIS的清丰山流域综合查询系统的设计与开发[J]. 长江科学院院报, 2005, 22(4): 34-36.  
[16] 周惠成, 何斌, 梁国华, 等. WebGIS在省级防汛指挥决策信息服务子系统中的应用研究[J]. 水科学进展, 2003, 14(1): 104-108.  
[17] 侯召成, 翟宜峰, 周惠成, 等. 基于WebGIS的防汛信息服务系统设计与实现[J]. 水利水电技术, 2003, 34(5): 33-36.  
[18] 程春田, 欧春平, 王本德. 水库洪水调度系统的集成管理[J]. 水利学报, 2001(3): 77-81.  
[19] 郭生练, 彭辉, 王金星, 等. 水库洪水调度系统设计与开发[J]. 水文, 2001, 21(3): 4-7.  
[20] 周惠成, 梁国华, 王本德, 等. 水库洪水调度系统通用化模板设计与开发[J]. 水科学进展, 2002, 13(1): 42-48.

(收稿日期 2004-11-30 编辑 熊水斌)

