

文章编号: 1672-3031 (2004) 01-0073-08

省级防汛指挥决策支持系统的建设与管理

闫继军¹, 徐泽平², 陈煜¹

(1. 中国水利水电科学研究院 信息网络中心, 北京 100044; 2. 中国水利水电科学研究院 岩土工程研究所, 北京 100044)

摘要: 根据作者近年来参与的一系列相关工作的经验和认识, 介绍了省级防汛指挥决策支持系统的研究目标、功能特点、组成结构和关键技术, 提出了“三层”体系结构(人机交互层、模型应用层、系统支撑层)和“五库十机”实用系统框架(数据库、模型库、方法库、知识库、文本库和数据接收、气象产品应用、汛情监视、信息服务、洪水预报、防洪调度、灾情评估、防汛管理、会商支持、城市防洪), 指出基于 Web-GIS 的信息管理、基于模型的应用开发和基于网络的应用集成, 是省级防汛指挥决策支持系统建设和管理的关键技术。

关键词: 防汛指挥; 决策支持系统; 应用集成

中图分类号: TV87

文献标识码: A

我国幅员辽阔、江河众多, 自然条件十分复杂, 属于洪涝灾害多发国家。洪涝灾害主要集中在黄河、长江、淮河、海河、松花江、辽河、珠江等江河的中、下游平原地区, 这些地区的地面高程多处于江河洪水位以下, 主要依靠堤防、水库、蓄滞洪区等防洪工程进行保护和调蓄。非工程措施是工程措施的重要补充, 利用现代计算机技术、网络通讯技术、数值模拟技术、系统控制技术和遥感遥测技术, 在以往多年防洪预报、调度和指挥管理工作的经验基础上, 研究并建立全新的现代化防汛指挥决策支持系统, 通过对各种防汛信息的采集、传输、综合分析和智能处理, 及时、正确、科学、合理地实施防汛抢险救灾指挥调度, 对于有效地减轻洪涝灾害损失, 保障人民生命财产安全, 保障国民经济稳定、协调和可持续发展, 具有重大意义^[1]。洪水汛情的突发性、历史不重复性、相关环境的复杂性及洪水造成灾害的严重性, 决定了防汛决策是难度大、时效性强、风险度高的决策^[2]。防汛指挥决策是否正确、及时, 将关系到防汛救灾工作的成败, 并直接影响国民经济发展和人民生命财产安全。

1998 年 3 月水利部、国家防办向各流域机构和省厅下发了《国家防汛指挥系统工程——流域、省级系统总体设计指导书》, 指出研究并建立符合各省实际的、技术先进、功能全面、性能优越、运行可靠的省级防汛指挥系统工程, 十分必要。省级防汛指挥系统工程主要由四大部分组成: 信息采集系统、通信传输系统、计算机网络系统和决策支持系统。其中决策支持系统是防汛指挥系统的核心, 是在其他相关系统的设备、通信、信息和计算机网络等资源支持下, 实现对全省防汛决策全方位和全过程的支持, 因而是提高省级防汛指挥决策的关键部分。

1 系统目标和建设原则

1.1 决策和决策支持系统 决策以往主要依靠人们的经验来进行, 称为经验决策。随着科学技术的发展, 经验决策逐步被科学决策所取代, 科学决策是依据科学的方法、程序、手段所进行的决策, 决策者依靠决策体系(决策系统、参谋系统、信息系统的统一体)而开展工作, 严格遵循一定的决策程序和正确的决策原则, 依靠专家和智囊组织, 运用科学的决策方法, 采用先进的信息处理技术和手段, 进行综合性的、全方位的决策。

收稿日期: 2004-02-11

作者简介: 闫继军(1956-), 男, 安徽蚌埠人, 高级工程师, 主要从事软件工程、计算机应用、水利信息化研究。

E-mail: yanjij@iwhr.com

根据决策的结构化程度不同,一般常将其分为程序化决策和非程序化决策两类。程序化决策表现为重复出现和例行状态,可以由人们设计出一套固定的程序来处理;而非程序化决策则表现为新颖、无结构,具有不寻常的影响,人们无法设计一套固定程序来处理它们。因程序化决策所解决的问题具有良好的结构,故亦称之为结构化决策;非程序化决策问题的结构不清楚,故亦称之为非结构化决策;而决策问题的结构化程度介于两者之间时,即称其为半结构化决策。通常认为,决策支持系统 DSS (Decision Support System) 是用于解决半结构化决策问题效果最佳的工具^[3]。

防汛指挥决策,面对的是洪水灾情及其可能产生的社会化后果,主要涉及工程运用、工程抢护和防灾减灾,这三类问题均属半结构化问题或非结构化问题。国内外的诸多实践已经证明,基于模型和知识构建的决策支持系统是解决这类问题的有效途径。省级防汛指挥决策支持系统就是用于支持省级防汛指挥决策全过程的,结合专家知识及其它各类相关技术的专业实用决策支持系统。

1.2 省级防汛指挥决策支持系统目标 省级防汛指挥决策支持系统研发的目标是:根据省级防汛指挥的需要,以现代 IT 技术为基础,充分利用人工智能、信息工程、系统工程、软件工程等技术手段,建立面向全省防汛指挥应用的网络化的决策支持系统。该系统应具有防汛信息的实时接收、动态管理、综合服务和基于模型与知识的信息加工处理能力,支持在全省尺度上实现可视化的实时汛情监视、洪水预报、灾情评估、防洪调度、电子会商和指挥管理等专业处理逻辑,实时完整地进行防汛信息的收集、存储、分析、处理,快捷灵活的以图、文、声、像一体化的多媒体和超文本方式,密切结合本省实际提供雨情、水情、工情、险情、灾情等防汛指挥背景资料、历史资料、动态资料,提供汛情动态分析、异地电子会商和指挥决策支持机制。从而有效提高洪水预报和险情预报的科学性、准确性和及时性,改善防洪调度手段,支持迁安咨询;及时向重点城市和蓄滞洪区发布洪水警报,收集反馈信息;提供现代化的防洪减灾管理、决策手段,提高防汛指挥及其管理工作的效率、质量、效益和水平^[4]。

1.3 省级防汛指挥决策支持系统建设原则 省级防汛指挥决策支持系统遵照《国家防汛指挥系统工程总体设计大纲》的规定和“全面规划、分步实施、突出重点、先易后难、急用先行、逐步扩展”的实施方针开展研究和进行开发。在设计开发过程中,始终强调系统的“实用、先进、实时、安全、可靠、扩展、开放、标准、规范”。系统设计采用“自顶向下”与“自底向上”相结合的方法,力求达到更高级、更完善的平台化、网络化和标准化水平。在系统的设计和开发过程中,强调软件工程方法、工具和过程(管理)的应用。还特别强调:(1)尽可能采用先进科学技术与防汛指挥实际应用需求相结合;(2)遵循国家(及流域)总体规划设计与突出本省防汛指挥特点相结合;(3)追求功能完善、性能优越与本省实际经济条件和社会发展水平相结合的建设管理原则。

在进行系统设计和开发工作的全过程中,还应注意:(1)充分利用国家防汛指挥系统工程的设计和开发成果,并与之相协调;(2)充分利用已有的科学研究和技术开发成果;(3)充分利用本省以往对防汛指挥系统工程已投资的设备和技术储备。系统建设应采用软件原型开发方法,根据系统设计,选择典型的示范区域(流域或地区)进行原型开发和验证,然后再在全省范围进行若干分阶段的推广性开发和整个系统的分级完善。

2 系统功能和组成结构

2.1 防汛指挥体系和主要任务 防汛工程体系是防汛的基本手段和措施,也是防汛决策的对象。工程运用决策、工程抢护决策和防灾减灾决策均需围绕防洪工程体系运用并发挥作用。反映防汛工程体系状况的工情信息、实时汛情信息(包括水情、雨情、灾情等)、社会经济信息、历史水文信息和防汛指挥经验等,构成了防汛决策支持系统的信息基础。

省级防汛指挥决策的总目标是,在保证防汛工程安全的前提下,充分发挥防汛工程效益,尽可能减少灾害损失,同时确保对环境的不利影响最小化。防汛指挥决策的参照基础是实时汛情、工情的变化状态和相关的政策法规,决策对象是防汛工程(包括堤防、水坝、圩垸、蓄滞分洪区、水库、湖

泊、泵站、涵闸等) 和 Related 的人员、物资、资金、组织机构等。

2.2 防汛指挥决策的内容及其决策流程 防汛指挥决策在时程上可以划分为如下 5 个阶段 (参见图 1)。

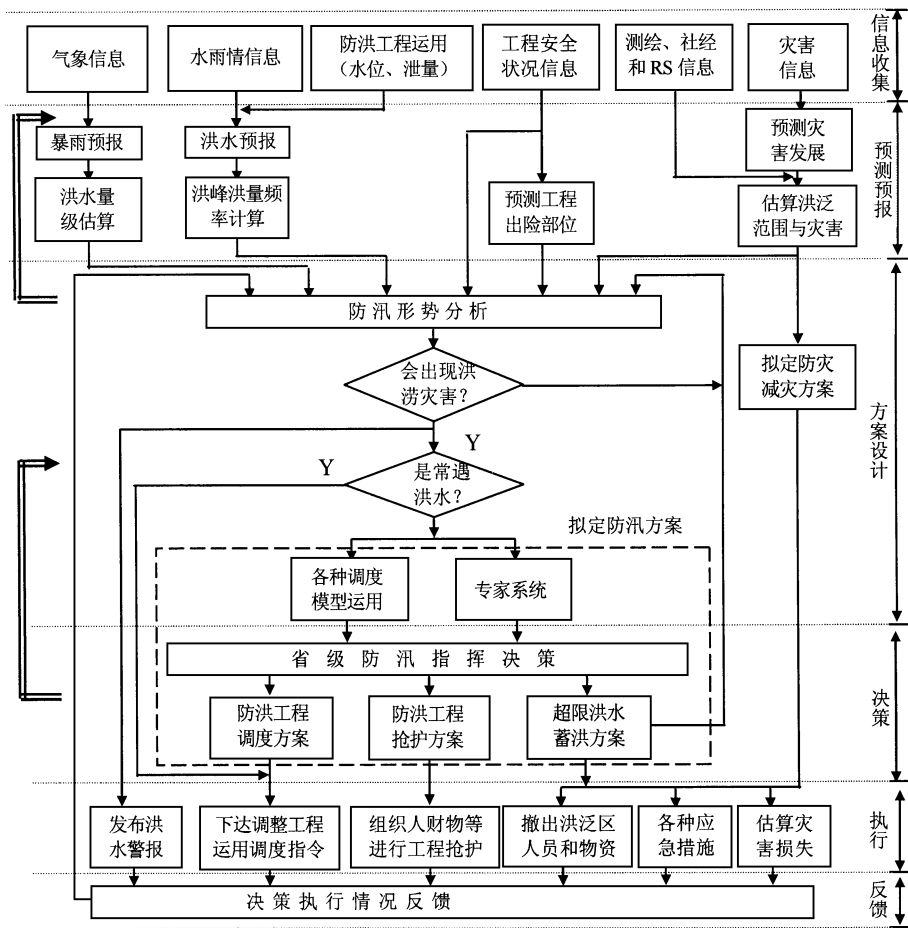


图 1 防汛决策内容与流程

(1) 信息收集阶段。主要进行气象、水情、雨情、险情、灾情监测数据资料，水库、圩堤、分(蓄、滞、行)洪区运用情况和工程安全状况，以及地理、社经信息变化情况等防汛相关情报信息的实时收集、整理和存贮管理，并提供方便灵活的信息服务。信息是决策的基础，实时准确的情报信息构成正确决策的基本条件。

(2) 预测预报阶段。根据气象信息进行包括降雨范围和量级的预报，并据此生成流域洪水量级估算；根据水情、雨情进行江河湖库主要控制站的洪水预报，并生成峰、量频率计算成果；根据工程运用情况及相关模型，参考专家判断可能出险类型和部位的意见，进行工程安全状况预测；根据各类汛情和地理、社经资料，综合进行洪灾发生和发展预测，以及灾情的预评估。由于防汛决策属于事前决策，因而在洪水到来之前必须对防洪工程运用、防汛措施选择等做出安排。预测预报是事前决策的基本前提，预测预报的结果是拟定方案和进行调度的基本依据，因而从另一层面上的预测预报是在省级防洪的规划阶段，充分利用历史资料和模型等手段，尽可能地针对各种洪水频率等做出具有针对性的预测，事先存入数据库内供汛期实际防洪决策参考、使用。

(3) 方案设计阶段。实时气象、水文信息和雨情、水情、工情、灾情及其发展趋势的预测预报，构成防汛的形势。通过对防汛形势进行科学的分析、归纳、推理，形成防汛决策的具体内容和目标，然后依据决策目标和可采用的各类工程的和非工程的防汛手段，设计实现决策目标的可行方案集，并对每个可行方案的风险及其后果进行评价。

(4) 决策实施阶段。在认清防汛形势的基础上，以洪灾损失最小为总目标，结合专家经验和首长意志，通过会商进行方案调整，选择出适宜方案。通过先进的现代通讯指挥平台以数字化指令、视频会议、可视电话、语音和文字指令等方式下达防汛调度命令、抗洪抢险人员物资布置、蓄滞洪区撤离、应急措施启用等指令，并在 3S (GIS、GPS、RS) 技术的支持下，实时快速的计算，分析出洪泛区范围，估算洪涝灾害损失，进行动态灾情评估，提供相关决策参考。

(5) 执行反馈阶段。决策的执行结果和相关情况，通过计算机网络和通信平台进行实时反馈。必要时可进一步在执行过程中，对防汛决策进行动态的修正和完善。

上述第 (3)、(4) 两个阶段是防汛决策的核心内容。其中决策实施阶段 (4) 中，还有可能会根据具体需要向上反馈到决策方案设计阶段 (3) 进行方案的调整或重新设计。方案设计阶段 (3) 中也会反馈到预测预报阶段 (2) 重新进行预报。

需强调的是，为切实加强、保证防汛指挥决策的正确性和有效性，上述 (1) ~ (4) 4 个阶段的工作应在汛前做防洪规划时尽可能充分地进行，即做出各种防汛预案，供实时参考、使用。

2.3 系统逻辑结构 省级防汛指挥决策支持系统的总体逻辑结构框架可分为 3 个层次：人机接口层、模型应用层和系统支撑层。模型应用层通过人机接口与决策分析人员和高层指挥决策者进行交互，在系统支撑层的数据、模型、方法、知识、图形、图像、空间信息等各种应用分析功能的支持下，完成防汛指挥决策过程中各个阶段、各个环节的多种信息需求和分析处理。系统的总体逻辑结构框架见图 2。

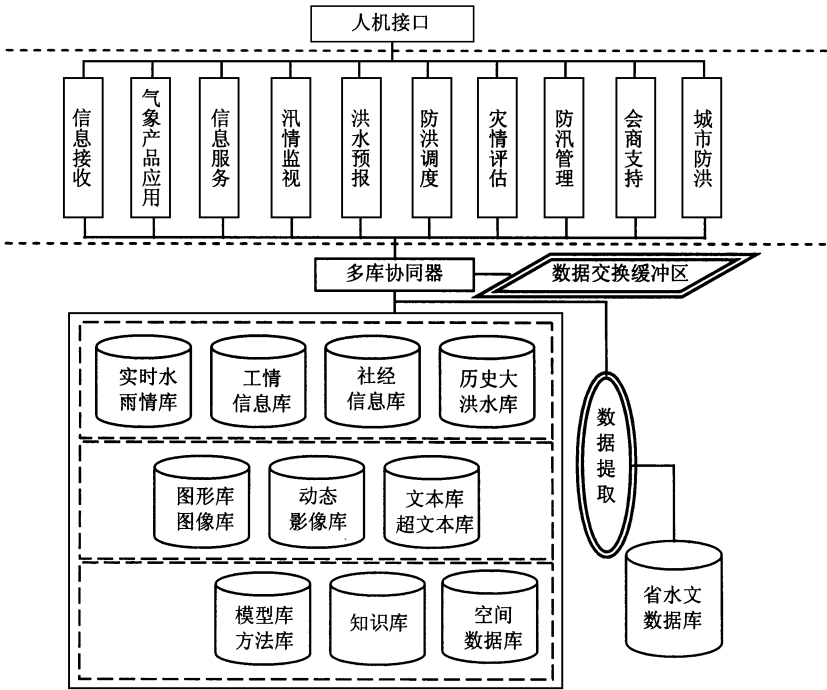


图 2 系统总体逻辑结构框架

2.3.1 模型应用层 模型应用层是决策支持系统的核心，基于模型库中的各类应用模型提供防汛指挥决策过程中所需要的各种业务分析、处理和信息管理功能。针对防汛指挥决策属于群体决策的特点，系统应用层还特别强调提供对决策会商的有效支持。

根据防汛指挥决策过程中对业务分析、信息管理和信息服务的实际要求，系统的模型应用层又具体划分为信息接收、气象产品应用、信息服务、汛情监视、洪水预报、防洪调度、灾情评估、防汛管理、会商支持、城市防洪十大功能子系统。系统总的运行原则是：各子系统之间不进行直接的相互控制，各自独立运行；各子系统之间的信息（包括数据、模型、方法、知识、超文本和多媒体等形式）交换通过中间件技术和数据交换缓冲区进行，控制联系则通过 XML 技术以模型引用和消息传递的方

式实现。

2.3.2 系统支撑层 系统支撑层包括数据支撑、设备支撑和平台支撑。

数据支撑层的功能是指存储和管理防汛指挥决策过程中模型应用层各子系统共用的所有数据（即两个以上子系统共用的数据）。按数据获取的时程来划分，包括实时的和历史的数据；按信息类型来划分，包括数值型数据文件、图形、图像、文本、程序、音频、视频信息和数字化的空间信息、模型、方法、知识和指令等。根据数据类型、来源、用途及获取时间等因素的综合分析，系统数据支撑层由实时水雨情库、工情信息库、社会经济信息库、图形库、动态影像库、历史大洪水库、超文本库（含成果、预案等）、省水文数据库等组成系统综合数据库。

设备支撑是指各种专用设备及其硬、软件接口，平台支撑则是指包括硬件平台、软件平台、网络平台等在内的系统运行环境。

2.3.3 系统交互层 系统交互界面是使用者与应用系统之间的人机接口，总的作用是通过建立总控程序构筑系统运行的操作和监控环境。具体功能包括控制应用软件运行、进行运行控制参数的输入和运行结果的表达等。决策支持系统的开发除了建立各种模型以外，系统交互界面的设计和开发是其最为重要的内容，其功能的优劣将直接影响到整个系统的实用性、安全性和可靠性。

省级防汛指挥决策支持系统包括多个子系统，各子系统功能不同，因而对其界面设计和实现的要求也各有特点。总的原则如下：

- (1) 尽量采用直观的图形用户界面技术（GUI），信息表达要尽可能形象、简洁、直观；
- (2) 以 1:25 万全省电子地图作为系统背景（大江大河沿线采用 1:5 万电子地图，重点湖库区域、重要城市和蓄滞洪区采用 1:5000 电子地图），实现系统的分布式表达和可视化信息查询；
- (3) 各模型与系统界面控制程序之间的接口要平滑连接；
- (4) 系统操作要以菜单、图形、标像等形象化的界面元素为基础，大多数操作可以通过鼠标点击完成，对话框的层次不宜过多，追求更加方便快捷的操作步骤和操作方法；
- (5) 尽可能采用基于 Web 技术和多媒体形式的信息表达手段，灵活运用图形、图像、声音、音乐及视频信息处理技术，实现图、文、声、像一体化的综合表达效果。

3 应用集成

省级防汛指挥决策支持系统的研发过程是一个超大规模的软件工程，系统结构和技术的复杂性以及往往采用多家开发单位协同会战的形式进行研发的组织特点，使得各子系统在设计和开发过程中，需要进行协调、沟通和互相配合，有关设计思想、技术路线、开发工具、功能结构、运行环境和软件成果的界面风格等都必须协调一致，各子系统之间的控制流程和信息传递也需要进行统一的规范和管理，最终系统各部分的研发成果还必须能够集成在一起，形成统一的大系统投入运行。因此系统集成非常重要，是影响整个系统研发成败的关键。

系统集成是指根据应用需求，将硬件设备、网络设施、系统软件、工具软件和相应的应用软件等部件，组合成为能够满足一定功能要求、具有优良性能价格比的计算机应用信息系统的全过程。系统集成的关键是系统的整体优化，即所有部件和成分组合起来之后，不仅仅是能够运行，而且要求实现整个系统的低成本、高效率、性能稳定匀称、扩充和维护方便。现代系统集成技术，着重关心解决系统的结构、性能、成本、开放性、可靠性、可扩充性等六大问题。

系统集成技术至少包括硬件集成、软件集成、网络集成和平台集成等。软件集成是指为特定的应用环境构建工作平台和将各软件产品组装形成整体系统，其关键技术是针对特定应用需求，提供运行环境和软件接口，并组合实现系统的整体应用功能，从而实现系统建设目标。软件集成的内容包括运行平台集成、数据信息集成和应用集成等。运行平台集成是指系统硬件平台、软件平台、网络平台的设计构建和开发工具的选择等，其主要目的是建立支持系统运行的环境，实质上就是系统体系结构的确定，并由此而决定系统的具体构建模式、组成结构、运行方式和开发方案。数据信息集成包括不同

类型数据资源的综合集成、不同层级同类数据资源分布式集成、广义数据集成和集成化的数据接口等技术。应用集成是指根据用户需求，利用软件集成技术将各种应用软件（包括新开发的应用子系统、原有的应用软件和商业封装式的应用软件等）进行组合，生成完整的应用系统，并使之达到或超过系统功能及性能设计目标的过程。应用集成可以在表示层、数据层和功能层这三个软件层面上具体实现。

3.1 应用集成模型 集成模型是指一种用来集成软件的特定方法和结构。它为各种方法和结构以及要求和限制提供了一系列不同的选项，从而提供追求实现集成的简单性、对于不同配置集成的可重用性、可用集成方法的广泛度等方法和在执行集成的过程中需要使用的专门技术。应用集成模型定义了应用集成的特性和机制，从而决定采用何种方法将软件部件集成在一起。最常见的应用集成模型包括：表示集成、数据集成和功能集成模型。

(1) 表示集成模型。通过被集成软件体的现有表示来集成新的软件（即使用软件用户界面来实现对多种软件的集成），通常用来创建一个新的用户界面，也能用它来与其他软件进行集成。集成的典型结果是形成一个新的、统一的显示界面，它表面上是单一的应用程序，但实际上却是调用了若干已有的应用软件或是新开发的子系统。集成逻辑将现有的显示界面作为集成点来指导用户进行互动操作，并在用户操作与应用软件之间进行通信，然后再把不同的软件部件产生的结果综合起来（图 3）。

(2) 数据集成模型。通过直接访问软件所创建、维护并存储的相应信息来实现软件集成，即通过对各种软件组件的数据存取进行集成，其目的通常是为了在应用软件之间实现数据的重用和同步。用户在通过集成产品存取数据时，就可以绕过相应的应用软件，而直接获取该软件所创建并存储的相应信息（图 4）。

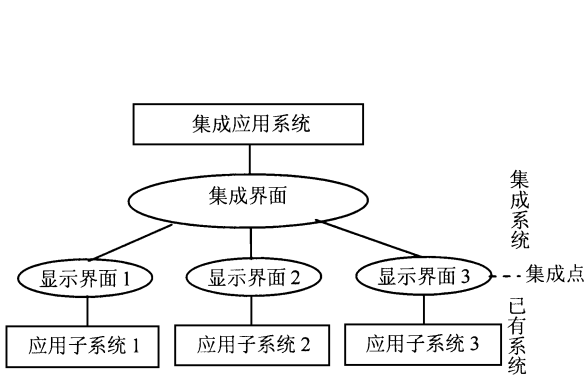


图 3 表示集成方法示意

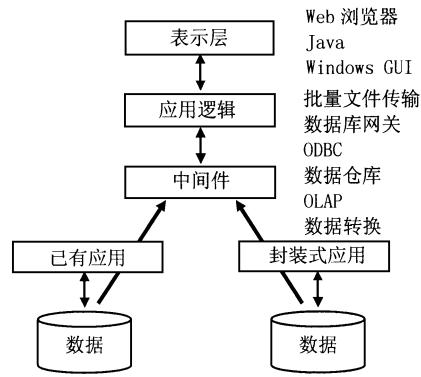


图 4 数据集成原理示意

(3) 功能集成模型。是在代码级上（通过软件接口）实现软件集成，其目的在于从其他新的或现有的软件中调用存在的功能。功能集成通常在对象或过程级别上实现，常用的方法是使用应用编程接口（API）或软件连接器。连接器可以屏蔽软件的内部机制，在向用户提供方便使用软件功能途径的同时隐藏软件内建立实际联接的复杂性。

表示集成是最容易实现的，但有很大的局限性。数据集成比表示集成提供了更加广泛的解决方法，但可能需要重写软件代码才能够正确地处理各种数据。功能集成是最重要的模型，但同时也是最复杂的软件集成方法。

3.2 集成实例 在省级防汛指挥决策支持系统的应用集成中推荐综合采用表示集成、数据集成和功能集成等应用集成技术。对于新开发的软件，在功能集成过程中除了注重系统体系结构的设计和软件工程学的应用以外，还应采用中间件技术、XML 技术、白盒集成与黑盒集成方法等多项应用集成的新技术、新方法，以确保这一大型复杂软件系统应用集成的成功。

在中国水利水电科学研究院和江西省水利厅等单位合作开发的江西省防汛指挥决策支持系统建设过程中，采用数据集成和表示集成技术将新开发的水库洪水预报调度、工情安全评估、蓄滞洪区洪水演进等应用模型，防汛信息管理系统与数据库和 GIS 等商业封装式软件平台进行成功集成，在 2001

年汛期的全省防汛指挥中投入运行并发挥了决策支持的积极作用（见图 5）。

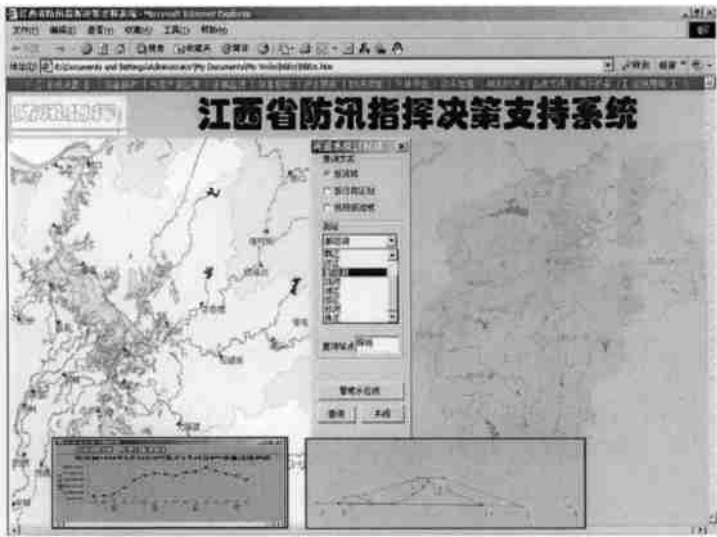


图 5 江西省防汛指挥决策支持系统（局部应用集成成果）

继江西省之后在黑龙江省防汛指挥决策支持系统建设过程中，采用数据集成技术实现了综合数据库、专用数据库与防汛综合信息服务系统的应用集成，并采用表示集成和功能集成技术将实时汛情监视、工情安全评估、灾情评估和哈尔滨市城市防洪等应用系统进行了成功集成，于 2003 年投入试运行（见图 6）。



图 6 黑龙江省防汛指挥决策支持系统（局部应用集成成果）

4 结语

省级防汛指挥决策支持系统基于 Web-GIS 技术以实时信息服务、模型分析、知识参考和电子会商等手段向省级防汛指挥体系的各层次用户提供对防汛指挥过程中情报查询、预案设计、方案选择、执行实现和情况反馈等 5 个阶段全面的决策支持。与其他诸如国家级、流域级和地市级的防汛指挥决策支持系统相比，该系统更加注重情报提供的全面性、预案设计的实时性、模型分析的准确性和会商支持的实用性。

根据省级防汛指挥决策支持系统的功能特点，推荐采用的系统体系结构是由人机交互层、模型应

用层、系统支撑层（“三层”），数据库、模型库、方法库、知识库、文本库（“五层”）和数据接收、气象产品应用、汛情监视、信息服务、洪水预报、防洪调度、灾情评估、防汛管理、会商支持、城市防洪等功能子系统（“十机”）构建的“3层5库10机”系统框架。基于Web-GIS的信息管理、基于模型和电子会商的决策支持和基于网络的应用集成是省级防汛指挥决策支持系统建设和管理的关键技术。

参 考 文 献:

[1] 陈秀万. 洪水灾害损失评估系统 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.
[2] 雒文生, 宋星原. 洪水预报与调度 [M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 2000.
[3] 陈文伟. 决策支持系统及其开发 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
[4] 朱星明, 闫继军, 陈煜. 水利信息化建设中的专业支撑软件开发进展 [J]. 水利规划与设计, 2004, (1): 44- 49.

Development and management of provincial flood control
decision-making support system

YAN Ji-jun¹, XU Ze-ping², CHEN Yu¹

(1. Information and Network Center, IWHR, Beijing 100044, China;
2 Department of Geotechnical Engineering, IWHR, Beijing 100044, China)

Abstract: The authors introduced development target, function characteristics, system structure and key techniques for a support system of flood control decision-making at provincial levels. A system structure of “three layers” with a practical framework of “five databases” plus “ten subsystems” was proposed and adopted. The “three layers” were interactive layer, model application layer and system support layer. The “five databases” were database, model-base, method-base, knowledge-base and text-base. The “ten subsystems” were data receiving system, meteorological products application system, flood monitoring system, information service system, flood forecast system, flood control commanding sysem, disaster assessment system, flood control management system, consulting support system and urban flood control system. The key techniques for developing such a flood control decision-making system would involve information management based on Web-GIS, application-and-development based on professional models and application integration based on network.

Key words: flood control; decision support system; application integration

(责任编辑: 王冰伟)