

## 基于ArcGIS Engine和.NET的 流域洪水预报系统

获奖情况：应用开发组三等奖  
作品名称：基于ArcGIS Engine和.NET的流域洪水预报系统  
参赛单位：武汉大学水利水电学院  
参赛选手：张家鸣 胡林涓 席金领 李博  
指导老师：陈 华

### 1. 需求分析

水雨情的常规查询结果一般只是以图表的形式输出，数据不能与地理位置直观地对应起来。系统结合空间数据库后，用户只需在地图上操作，就能够实现各种各样的查询，如水雨情实时信息、历史对比信息和洪水预报结果，甚至是洪水警报。操作大为简化，查询结果在时间和空间上的变化也一目了然。

分布式水文模型采用格网的方式将一个流域分成许许多多的栅格，首先单独计算每一个栅格的水文特征值，然后汇总得到整个流域的洪水预报结果。分布式水文模型充分考虑下垫面因子空间分布不均匀性对流域降雨径流形成影响的重要性。GIS技术是快速、自动、合理地划分子流域或子区域的强有力的工具。利用GIS软件可以从网格型数字高程模型自动地生成流域水系和分水岭，自动地按分水岭划分子流域。如果将所划分的子流域或子区域分布图与土壤、植被、地质、水文地质和土地利用图叠加，则还可以提取各子流域或子区域的土壤、植被、地质、水文地质和土地利用特征。现在，GIS已成为研究分布式水文模型来探讨和分析水文现象时空分布和降雨径流形成机理的最有力研究手段。

河道洪水演进的目的是根据上游断面的水文特征（如水位、流量等）演算下流断面相应的水文特征，为下游提供洪水预报以及为下游的防洪行动争取时间。

### 2. 系统设计

系统为三层C/S模式，即客户端，分布式计算模块和数据库服务器。服务器采用大型商用数据库SQL Server 2000，通过ODBC或ArcGIS Engine接口与客户端应用程序建立连接，能充分保证数据库系统的稳定性、安全性、高效性和海量数据的快速访问能力。在Windows XP操作系统环境下，基于ArcGIS Engine组件、Visual Studio 2005开发平台和C#语言实现系统功能。

系统数据库由水雨情数据库和空间数据库两部分组成。水雨情数据库用来存储历史的或者实时的水雨情信息、测站信息、水文模型参数值、计算结果；空间数据库存储该系统中需要表现的矢量图形数据、栅格数据、地形数据等。

此系统的应用程序主要分为五个功能模块，即水雨情

信息查询模块、蓄满方案模块、经验方案模块、分布式水文模型和河道洪水演进模块。系统同时担任鹰眼导航、拼音检索和图表输出等辅助功能。

### 3. 系统功能

#### 3.1 水雨情信息查询模块

该模块提供查询的信息包括测站属性、降雨信息、河道水情、水库水情。按照这样的分类将此模块的功能列在窗体左侧一个树形菜单中。双击各个选项，就会触发相应的事件，从数据库中读取数据，分析计算后读入数组，供信息输出时调用。

信息输出主要在地图上实现，但提供三种选择。一是数据表格；二是直接将结果显示在地图上；三是当鼠标移到地图上某个位置时，自动弹出显示其相关信息的窗口，以图表的形式列出。

因为测站较多，如果对流域地图不熟悉，即使有地图的辅助，不容易快速找到自己所需站点的信息。所以，根据输入信息进行检索也是很有必要的。在上面的双击事件完成时，一个检索窗体会弹出来，在其下拉菜单中选择对应站点或者在其输入框中输入站点名称的首字母，系统就会将该站点移到地图的中心并显示所需的水雨情信息。

图层的控制直接调用ArcGIS Engine自带的工具，如放大缩小，地图漫游，距离面积的测量等。

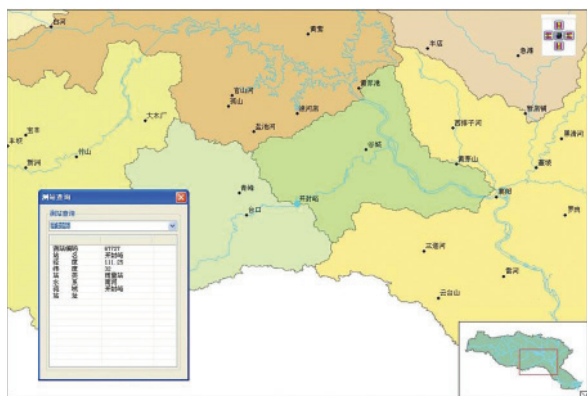


图1. 水雨情信息查询模块

#### 3.2 洪水预报—蓄满方案和经验方案模块

洪水预报通过建立水文模型，根据历史的和实时的水雨情信息以及区域的水文参数，预测未来时间的水位、流量等信息，为防洪工作提供水文信息支持。在比较干旱、

降雨资料较少的西北地区，常采用相近地区的经验公式，即经验方案；而在降雨量较充沛的湿润、半湿润地区，则还可以采用蓄满方案。不管是什么样的方案，都必须建立在合理的水文模型的基础上。

由于丹江口以上流域面积较大，降雨极不均匀。因此针对各区域不同的水文气象特点，将丹江口以上分为十三个经验分区（1-4, 4B, 4-56, 8-9, 11-12, 14-15）分别考虑，对于单区，产流采取降雨径流经验相关法和蓄满产流模型。计算过程中需要计算分区前期土壤含水量指标及分区面均降雨量，利用模型计算每个分区的产流量；根据历史资料可以确定水库以上各区至白河郧县入库的洪水传播时间，进行各区流量入库合成计算。

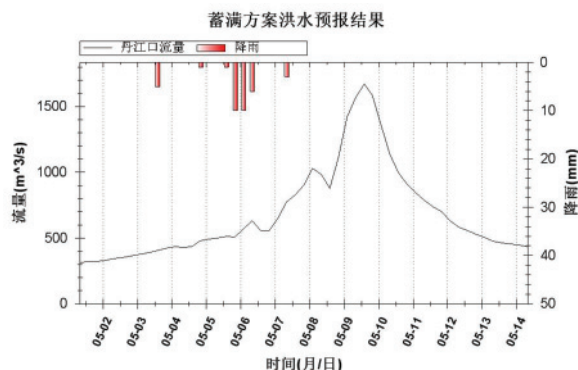


图2. 蓄满方案预报结果图

系统中输入计算的起止时间，便可自动完成上述的计算过程。鼠标移到分区图或者结点，系统将自动弹出该分区或者结点的预报流量过程。

#### 3.3 洪水预报—分布式水文模型

分布式水文模型的计算首先基于DEM提取流域的特征信息（流域边界、水系、子流域分区等），利用GIS工具构建覆盖整个汉江流域的 $9 \times 9 \text{ km}^2$ 网格；其次，根据汉江流

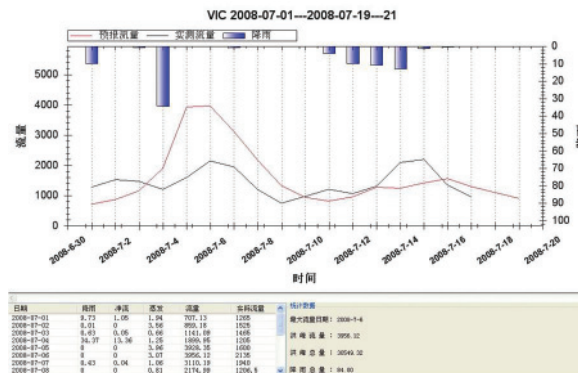


图3. 分布式模型计算结果图



域的水文气象测站分布，建立利用距离平方反比法将站点的水文气象数据插值到网格的机制；接着，分别统计各网格的土地利用、土壤信息，建立汉江流域的网格植被参数库和土壤参数库；以各子流域为单元率定参数，而后在此基础上将参数网格化并利用汉江干流水文控制站资料适当重新率定修正，最终建立汉江流域VIC分布式模型的水文参数网格库。系统中可以查询流域格网的土壤、植被、格网流向以及VIC模型的参数。

系统嵌入的分布式水文模型是基于 $9 \times 9 \text{ km}^2$ 网格而构建，由于汉江流域面积辽阔，因而计算网格众多，利用分布式模型进行预报计算的工作量巨大，甚至是传统集总式模型的几千倍，如果此工作在客户端完成，势必造成计算灾难，影响工作效率，一般而言，服务器的计算机硬件配置比较高，而且用户的同时操作需求不多，如果将繁重的模型计算工作放在服务器端实施，将大大提高效率。首先，开启服务器端的监听功能；在客户端设置预报计算的起始时间和所选的预报模式等信息，并发送到服务端请求进行计算；服务端监听到有请求到来，先判断请求的预报模式类型，然后调用不同的方法来执行相对应的操作，最后将计算结果写入数据库。通过调用.NET中的TCPClient和TCPListener类使用传输控制协议（TCP）和用户数据报文协议（UCP）服务来实现客户端与服务端的通信。在客户端可以根据方案号，查询模型的计算结果。

在系统中实现分布式水文模型，能很方便地分析和判断流域洪水产流过程的空间变化情况，为防汛决策支持提供直观的科学依据。

### 3.4 河道洪水演进模块

此系统根据上游断面处的水位和下流水位的流量演算两断面间各断面处的水位和流量，其原理运用普林斯曼四点偏心的隐式差分求解圣维南方程组。

按距离等分的原则，将河道划分为23个单元河段（22个断面）。在这个基础上，适当调整断面间的距离，以符合弯曲河道水力学特性。河道洪水演进的思路是：以

颜色的深浅代表断面处流量的大小，时间变化时，整条河道各断面的颜色随着改变。颜色越深的地方，表示流量越大。如果流量数据可靠，我们就可以看到深颜色沿河道下移的情形，实际上就是洪峰的移动。可以设定一个颜色域，当颜色越过这个域时，会提出警报。这样就可以实现洪水警报。



图4. 河道洪水演进截图

## 4. 设计亮点

（1）运用ArcGIS Engine很好地解决了常规洪水预报系统缺少空间分析的问题。一是使基于空间信息的水雨情查询更为直观，二是运用图层渲染成功实现了一维河道洪水的动态演进，三是将分布式模型的网格参数以图层的形式显示出来，加强了参数分析的能力。

（2）成功将分布式水文模型用于洪水预报，并实现计算与客户端的分离。可以将一台计算机的计算交付给另一台计算机，实现了分布式计算，成功合理地解决了分布式水文模型计算量的难题。

（3）界面友好，简洁易用。系统启动时配有启动画面，主窗体为Vista风格。如果不使用此风格，只需让主窗体不继承VistaForm这个类即可。主窗体左侧树形菜单将所有的功能都列出来，而且配合右键的打开树、关闭树功能，使功能操作简单易用。

## 作品点评

此系统最大的优点在于实用性强，界面友好。系统开发者能深刻了解水利水文预报的业务需求及业务流程，结合水文预报模型和GIS的空间分析功能，在水文预报方面提供了一个初步的解决方案，有较强的实用性，体现了GIS的核心价值。分布式计算也是本系统的一个亮点，但同时也存在如下问题：如何实现真正分布式计算，整合多台计算结果，另外数据是GIS的生命，因此数据管理模块也是有必要完善的。总体上讲是个不错的作品。