

长江中游洪涝灾害的成因与监测决策支持系统的建立

蔡述明¹, 杜耘^{1,2}, 黄进良¹, 吴胜军¹, 薛怀平¹

(1. 中国科学院测量与地球物理研究所, 湖北武汉 430077; 2. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074)

摘要: 洪涝灾害的防治是长江中游地区急需解决的首要环境问题. 讨论了长江中游洪涝灾害的深层次成因, 探讨了运用“3S”技术建设洪涝灾害监测、评估与决策系统的可能性, 初步提出了系统设计的基本框架和试验区建设的结构流程. 以期通过该系统的建设, 利用高新技术手段, 为长江中游地区洪涝灾害防治提供科学的决策支持.

关键词: 长江中游; 洪涝灾害; 信息系统.

中图分类号: TV882.2 文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2001)06-0643-05

作者简介: 蔡述明(1938—), 男, 研究员, 博士生导师, 1960年毕业于中山大学地理系, 主要从事长江中游地区环境演变、区域可持续发展研究.

1 长江中游洪涝灾情概述

中国是一个水灾频发的国家, 长江中下游地区历来就是中国水灾的重灾区. 长江是中国第一大河, 宜昌以上上游地区流域面积约 $100 \times 10^4 \text{ km}^2$, 宜昌以下中下游地区面积约 $80 \times 10^4 \text{ km}^2$, 其中中游平原湖区 $12.5 \times 10^4 \text{ km}^2$, 是长江洪涝灾害最严重的地区, 素有“万里长江险在荆江”之说. 历史资料统计表明, 长江中游洪涝灾害越来越频繁. 自汉代至清末 2096 a 间曾发生大小水灾 214 次. 唐代平均 18 年 1 次, 宋、元两代 6 年 1 次, 明、清 4 年 1 次; 20 世纪 30 至 40 年代平均 2.5 年 1 次, 1931 年和 1954 年的洪水都是历史罕见的流域性大洪水, 进入 20 世纪 80 年代以来, 洪涝灾害明显增多, 如 1980, 1982, 1983, 1989, 1993, 1995, 1996 均为大的洪涝年. 1996 年武汉关超警戒水位时间长达 36 d, 洪峰水位高达 28.66 m, 沿江不少堤防险象环生. 近代洪水的特点是常常出现小水量、高水位、大灾情, 反映了江湖环境状况的日趋恶化.

1998 年的长江洪水, 是 1954 年以来最大的一次全流域性洪水. 主汛期 7~8 月长江中下游主要水

文站洪量均超过 1954 年, 其中宜昌站 $2.631 \times 10^8 \text{ m}^3$, 比 1954 年多 $136 \times 10^8 \text{ m}^3$; 汉口站 $3.446 \times 10^8 \text{ m}^3$, 比 1954 年多 $145 \times 10^8 \text{ m}^3$. 高水位持续时间长是这次长江汛情的突出特点, 7 月 24 日以后, 监利、莲花塘、螺山、武穴、九江等地水文站水位先后超出最高水位. 从 7 月 28 日起, 汉口水位在 28.90 m 以上一共持续了 37 d, 从 6 月 28 日起超警戒水位 (26.30 m) 达 80 d 左右. 其次是流域组合洪水情况恶劣, 川、湘来水遭遇, 加之鄱阳湖水系来水顶托, 引起长江第三、四次洪峰压境, 导致湖北嘉鱼县簰州湾合镇垸堤溃口 (8 月 1 日)、公安县孟溪大垸虎右支堤严家台溃决 (8 月 7 日) 和江西省九江市城区以西 3 km 处一段混凝土防洪墙塌陷. 此外, 由于洪峰推进速度缓慢, 加大了沿江地区防汛难度.

2 洪涝灾害原因分析

2.1 人地关系紧张, 围湖垦殖日甚

长江中游水患日趋严重, 归根结蒂是人类砍伐上游森林、破坏中游河湖系统平衡而招致的恶果, 也是人地关系日趋紧张的必然结果^[1]. 这主要表现在: (1) 由于长江上游水土流失, 荆江河道泥沙淤积、水位不断上升, 汛期荆江水位高于荆北地面 6~13 m,

遂使上游洪水来量大而中下游河段泄流不畅而造成洪患；(2)在平原湖区，由于大规模围湖垦殖和泥沙淤积，湖泊萎缩严重，减少了调蓄量，增加了长江的泄洪流量，加重了洪灾的威胁。

研究表明，大约距今 4000 a 前，江汉平原与洞庭湖区均为河湖交错的冲积平原，随着生产力的进步，长江高低洪水位的交替出现，人类从平原湖区的周边丘岗于低洪水位时进入湖区垦殖，高洪水位时退出，今天湖区不同历史时期文化遗址的存在与消失就是明证。南宋年间由于水车的出现，战争引起的人口南迁而进入湖区，开始了规模较大的垦殖。明朝中叶出现第 1 个开发的高潮，清初发展迅速，到了中叶，垸田开辟出现了第 2 个高潮。20 世纪 50 年代，出现了一个大规模围湖垦殖的局面，形成了自宋以来的第 3 个高潮。围湖垦殖，使江汉平原和洞庭湖区湖泊面积锐减，江汉湖群数量已从本世纪初的 1 066 个减少到 50 年代的 309 个，湖泊面积则从 8 330 km² 减少到 50 年代的 5 960 km² 和 80 年代的 2 983 km²。20 世纪内整个江汉湖群面积减少了 5 347 km²，建国以来减少了 2 977 km²，调蓄量减少了 75×10⁸ m³，其中尤以四湖地区最为严重。50 年代初，四湖地区有湖泊面积 2 033 km²，80 年代为 844 km²，到了 90 年代只有 707.34 km²。围垦使四湖地区耕作线下降了 1.5 m，低产田增加了 10×10⁴ hm²，而调蓄水量减少 10×10⁸ m³，造成常年有 3×10⁸~6×10⁸ m³ 的内涝水难以外排^[2]。洞庭湖面积也从本世纪初的 6 000 km²，缩小到 4 350 km² (50 年代)，2 691 km² (80 年代) 和 2 145 km² (90 年代)。同样，20 世纪内缩小面积 3 855 km²，其中建国以来减少 2 205 km²，调蓄减少约 100×10⁸ m³。洞庭湖已从建国初期的第一淡水湖退居第 2，行将位于太湖之后，排行第三^[3,4]。

江汉平原和洞庭湖区的围湖垦殖，一方面反映了江河泥沙淤积；另一方面也说明随着人口的增多，争地要粮已成为日益严重的社会问题。滥围滥垦给自己的生存环境带来了不良的影响，导致这一地区河湖系统紊乱，造成内蓄外排比例失当，渍涝不断，引起种、养、蓄、运之间的矛盾，从而不得不增加了湖区农田基本工程的投资。这些均已成为发展湖区综合性农业的限制性因素。

2.2 江湖关系失调，荆江洪患不断

长江自枝城以下至城陵矶段，素称荆江。荆江以北是江汉平原的四湖地区，荆南是著名的洞庭湖区。

荆江南北水系和湖泊变迁，同荆江的演变历程息息相关。战国以前，荆江以其漫流形态存在于众多湖沼之中；秦汉时期，荆江以江陵为顶点，呈扇状分流水系向东扩散，其主流偏南；魏晋时期，由于荆江统一河床的形成，两岸尚无堤防控制水势，一旦河水泛滥，就向荆北和荆南渲泄。公元 450—524 年，由于荆江南岸太平、调弦两口溃决，长江水倒灌入洞庭湖，洞庭湖面积因之逐步扩大。唐宋时期，江北湖群缩小，而洞庭湖则已“横亘七八百里”。明嘉靖年间，张居正连荆江大堤为一线，尽堵北岸穴口，终于形成四口分流长江河水入湖的局面。从 1524 年荆江大堤形成到 1860 年藕池洪道冲开之前 300 多年间，下荆江河段比较顺直，上下荆江泄量基本相适应，藕池决口以后，继之松滋决口，下荆江流量剧减，自然淤塞萎缩，顺直河床向曲流发展。

明代中叶，张居正修建荆江大堤，采取“舍南救北”的治水策略以后，江湖关系骤变，实际上成了“江北确保，江南分洪”的状态。解放后虽做了一些调整，在江北建立了分洪区，但基本态势未变。

下荆江河曲的形成和演变取决于下荆江水沙条件的变化，而导致水沙条件变化的决定性因素则是藕池和松滋的决口以及四口的演变。四口分流使荆江大量来水进入洞庭湖，不仅削弱了荆江汛期洪量，同时也改变了湖区汇流和出流过程，增强了洞庭湖汛期出流对荆江的顶托，使下荆江汛期比降变得很缓，水位壅高，形成汛期淤滩、枯期刷槽、不易切滩的有利于河曲发育的水沙条件^[5]。在荆江形成曲流的过程中，大量泥沙淤落，逐渐抬高河床，增加水位，荆江河床现已高出地面 2 m，汛期水位高出地面 6~13 m。荆江已呈悬河状态。汛期，荆江已成为长江中下游的防洪重点。

由于下荆江在直线长仅 87 km 的距离内，河槽弯曲竟达 247 km 长，摆动幅度达 20 多 km，河道不稳，过流不畅，对行洪不利，1967 年、1969 年、1972 年下荆江实行的系统裁弯工程，使荆江河长缩短了 70 km，沙市水位降低 0.5 m，石首市水位降低 1.1 m，提高了荆江的泄洪能力，减少了三口入湖流量，可见效益是明显的。但由于监利泄量的增大，缩减洞庭湖口泄量，洞庭湖能吞不能吐，故而加重了洞庭湖的洪患。

此外，由于荆北长江中游通江湖泊的全部堵塞和洲滩、湖泊、民垸的大量围垦，使城陵矶至汉口河段的泄洪能力显著降低，从而顶托了洞庭湖湖水，拉

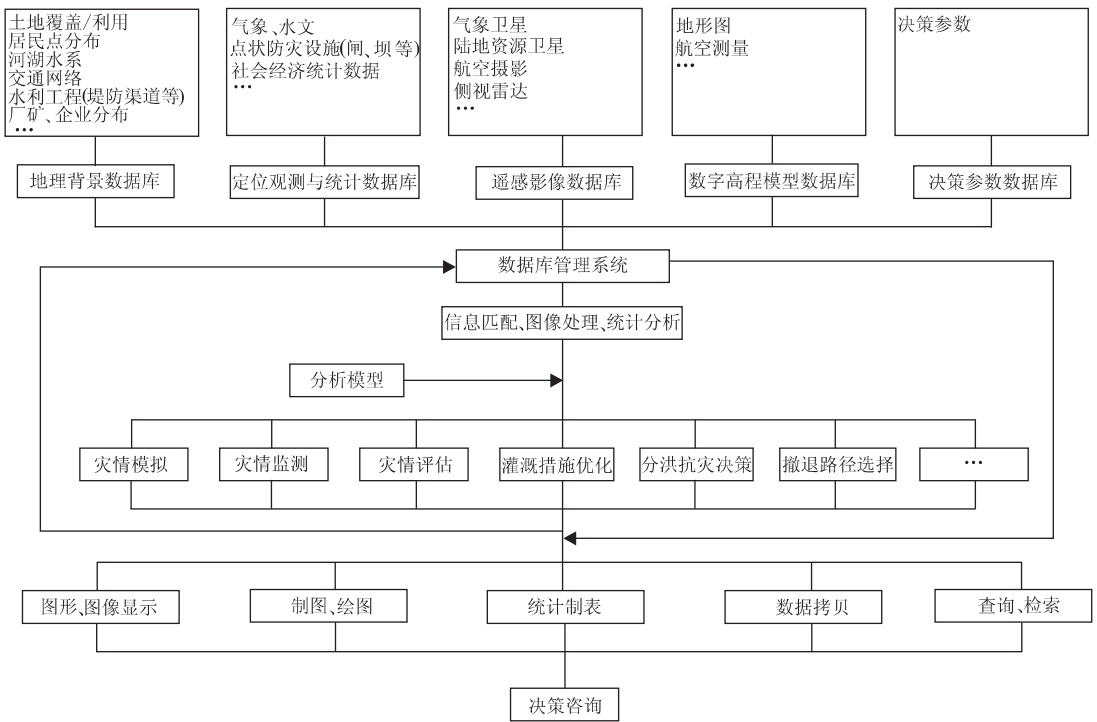


图 1 试验区江河洪水灾情预报与灾情对策信息系统的结构及流程

Fig. 1 Structure of decision-making support system for flooding and water logging hazards monitoring and evaluation and its working processes

长了防汛时间,加重了洪涝灾害。

由于江湖的自然演变和人为的结果,目前荆北地面高程已比荆南低 5~7 m,比荆江洪水位低 10 余 m,形成对荆江四湖地区的严重威胁。自荆江大堤形成以来 443 a 间,溃口 60 多次,解放后可数的溃口淤塘仍有 50 多处。1931 年、1935 年、1949 年、1954 年几次特大洪水,几乎把整个荆北四湖地区的中下游,卷入一片汪洋泽国,成为荆北的另一个洞庭湖。有人曾说,“今天的洞庭湖就是明天的江汉平原”,这并不是没有根据的。

3 长江中游洪涝灾害与环境变化监测与决策支持系统

解决长江中游的洪涝灾害问题,必须协调好该区人口—资源—环境—灾害的关系,依靠社会的共同努力,制定相应的协调政策,谋求社会与大自然的和谐,走可持续发展道路。因此,除加固长江堤防,建设防洪屏障,开展河道整治,加快分蓄洪区建设,退田还湖,建立统一的全流域管理机构,制定相应的法律法规外,必须高度重视运用 3S 技术,建立洪涝灾

害、预测、监控、评估与决策支持系统^[6,7]。

3.1 系统设计的基本框架

3.1.1 系统目标 充分利用多平台卫星遥感数据,以地理信息系统、卫星网络通讯技术为支持,建立环境与洪涝灾害监测、灾害仿真、灾情评估与减灾、救灾、辅助决策支持系统,并投入运行服务。(1) 环境监测。随时提供环境状况数据,利用最新遥感信息进行植被覆盖、水体变化、土地退化等动态监测,提供环境状况发展趋势分析报告。(2) 洪涝灾害监测与损失评估。实时监测洪涝灾害并进行灾情损失快速评估。(3) 洪涝灾害仿真与减灾救灾措施。利用计算机仿真技术对洪涝灾害频发地区特别是江汉平原和鄂东地区进行灾情模拟显示,预测不同条件下可能出现的灾情发展趋势,提供防灾、减灾、救灾应急措施及灾后恢复计算方案。(4) 系统的运行。建立能实现以上目标的性能稳定、易用和可扩充的运行服务系统。

3.1.2 研究内容 (1) 洪涝灾害分类、灾害危险程度及危害程度分区。① 划分灾害类型,对主要洪涝旱灾害类型的发生、发展规律加以分析,提供灾害类型分布图(1:50 万)。② 依据定量指标进行湖北省洪涝灾害危险程度和危害程度分区评价,提供 1:50

万全省灾害分区图。(2)洪涝灾害频发区背景数据库。①全省 1:25 万或 1:50 万地形图、土地利用图、植被图、水系图。主要灾区(河道、河谷平原、江汉平原湖区)1:5 万或 1:1 万地形图、土地利用图、水系图、居民点图、交通网络图、水利工程设施(防洪工程设施)分布图等。②数字地形模型数据库。③社会经济统计数据库。④气象数据库、水文数据库。⑤遥感影像数据。(3)洪涝灾害监测、评估与速报系统。本运行系统由 4 大模块组成:①卫星数据的接收及其预处理。利用遥感技术(包括 NOAA 卫片、TM 相片、合成孔径雷达影像,必要时辅以机载遥感相片)对卫星数据进行接收和预处理。②洪涝灾害的人机交互判读。最终形成受灾范围面积提取与面积数据的自动生成。③洪涝灾害损失的评估。包括地面土地类型的分析复合,各种土地类型淹没数据的自动生成。④洪涝灾害淹没数据、图件报告的编辑及其网络传输。

本系统的时效与监测精度:通过 NOAA 卫星,从接收到数据上网,当天 2~3 h 可完成,精度 85%,通过雷达卫星监测结果,从接收到数据上网约需 10~20 h,精度达 90%~95%。

3.2 根据洪、涝类型、特点,选择试验区

湖北江汉平原四湖地区素有“水袋子”之称,是典型的洪涝地区,尤以洪湖监利为著,他们各自构成了两个不同的试验区,但却形成相同的系统,系统的结构大体上由数据库系统和分析模型库系统组成。它们之间的接口负责提供模型所需的数据,并把有价值的计算结果或新的信息反馈到数据库。综合其

结构流程图见图 1。

在上述流程中要注意到,数字高程(地形)模型(DEM 或 DTM)是地理信息系统的基础数据库。采样时指标的确定和技术方法的选择主要取决于区域特点、应用目标和数据量。此外,应用分析模型和专家系统开发是发挥信息系统功能的关键,可根据试验区的特点,开发各种专门模型。

参考文献:

- [1] 蔡述明,雷慈慈,关庆滔.试论综合治理开发江汉平原之方略[A].见:中国科学院武汉分院,中国科学院武汉图书馆,中国科学院水生生物研究所,编.长江流域资源、生态、环境与经济开发研究论文集[C].北京:科学出版社,1991. 12-20.
- [2] 蔡述明,周新宇.人类活动对长江中游湿地的冲击[J].地理科学,1996,16(2): 129-136.
- [3] 黄进良.洞庭湖湿地面积变化与防洪功能分析[A].见:许厚泽,赵其国,编.长江流域洪涝灾害与科技对策[C].北京:科学出版社,1999. 106-112.
- [4] 杜耘,蔡述明,赵艳.洞庭湖的演变、发展趋势及洪涝灾害分析[A].见:许厚泽,赵其国,编.长江流域洪涝灾害与科技对策[C].北京:科学出版社,1999. 96-100.
- [5] 蔡述明,马毅杰.三峡工程与沿江湿地及河口盐渍化土地[M].北京:科学出版社,1997.
- [6] 魏成阶,王世新.遥感技术在我国洪涝灾害监测评估中的作用[J].中国科学院院刊,1998,13(6): 443-447.
- [7] 魏成阶,王世新.1998 年长江流域洪涝灾害遥感监测评估[A].见:许厚泽,赵其国编.长江流域洪涝灾害与科技对策[C].北京:科学出版社,1999. 135-146.

CAUSES OF FLOODING AND WATER LOGGING IN MIDDLE REACHES OF THE YANGTZE RIVER AND CONSTRUCTION OF DECISION-MAKING SUPPORT SYSTEM FOR MONITORING AND EVALUATION OF FLOODING AND WATER LOGGING HAZARDS

Cai Shuming¹, Du Yun^{1,2}, Huang Jinliang¹, Wu Shengjun¹, Xue Huaiping¹

(1. Institute of Geodesy and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430077, China; 2. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: Flooding control is an urgent problem in the middle reaches of the Yangtze River. In this paper, the authors present deep-layer causes of the flooding and water logging in the middle reaches of Yangtze River and some possibilities of application of "3S" technology to the construction of decision-

making support system for the monitoring and evaluation of these flooding and water logging hazards. The authors then present the basic framework of system design and the structural flow chart of the test area construction. Therefore, the construction of this system and the application of high and new technology can both be employed to provide scientific decision-making support for the prevention of the flooding and water logging in the middle reaches of the Yangtze River.

Key words: middle reaches of the Yangtze River; flooding and water logging hazards; information system.

《地球科学——中国地质大学学报》

2002 年 第 27 卷 第 1 期 要目预告

大别山英山和熊店榴辉岩单颗粒锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究——早古生代高压—超高压变质作用的证据及高压—超高压带北界的讨论	高山等
东昆仑东段中更新世以来的成山作用及其动力转换	王国灿等
最后 4 个冰期旋回中国黄土记录的东亚冬季风变化	孙有斌等
准噶尔盆地基底火山岩中的辉石及其对盆地基底性质的示踪	曾广策等
济阳拗陷非生物成因气聚储的深层构造因素探讨	汤达祯等
基于 GIS 的石油勘探图形库系统分析和设计	潘继平等
辽河盆地西部凹陷源岩特征及低熟油分布规律研究	朱芳冰
河北平原第四系深层地下水 ³⁶ Cl 同位素年龄的研究	董悦安等
离散裂隙渗流方法与裂隙化渗透介质建模	王明玉等
中国北方第四系地下水同位素分层及其指示意义	陈宗宇等
置换深度估算的一维波动方程法	罗嗣海等
复杂结构构造区遥感图像的地质信息提取方法探索——基于小波变换的多层次图像分割	陆关祥等
中国铀矿遥感影像地质模式研究	王怀武等
基于 GIS 遥感区域构造的空间信息集成研究	周东岱等
全球古大陆再造计算机软件开发研究	赵坤等