

InfoWorks RS、FloodWorks 软件及应用

陈 鸣¹, 吴永祥¹, 陆卫鲜¹, 朱 佳², 杨红秀³

(1. 南京水利科学研究院 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029; 2. 山西省水利厅, 山西 太原 030000; 3. 汾河水库管理局, 山西 娄烦 030300)

摘要: InfoWorks RS 和 FloodWorks 软件是英国 Wallingford 软件公司开发的用于实时洪水预报、预警和水资源管理软件. 软件包含有关河道、漫滩、堤防以及水工建筑所有的水力学模拟计算, 同时也提供了基于事件和概念性水文模型的流域降水-径流模拟, 如溶雪模型、降雨径流模型、汇流模型等. 软件具有图形化操作及动态显示运行结果等先进管理理念与附属工具, 通过地理平面视图、剖面视图、总断面、表格及逐时变化图表等进行所有模型数据的交互, 与 MapInfo Professional 和 ArcView GIS 无缝连接, 可容易地将 GIS 软件生成的地理数据转化为 InfoWorks RS 和 FloodWorks 模型数据. 本文详细介绍了软件功能及实时洪水预报配置. 通过山西省汾河水库实时洪水预报系统的应用, 说明了预报点、模型点的配置; 河道断面、旁侧入流点和上、下游边界点的配置及预报方案的构建. 最后综述了该软件的优点及有待改进之处.

关键词: InfoWorks RS 软件; FloodWorks 软件; 洪水预报; 系统

中图分类号: TP31

文献标识码: A

文章编号: 1009-640X(2008)04-0019-06

Characteristics and application of InfoWorks RS and FloodWorks software

CHEN Ming¹, WU Yong-xiang¹, LU Wei-xian¹, ZHU Jia², YANG Hong-xiu³

(1. *State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing 210029, China;*
2. *Shanxi Bureau of Water Resources, Taiyuan 030000, China;* 3. *Bureau of Fenhe Reservoir, Loufan 030300, China*)

Abstract: The software of InfoWorks RS and FloodWorks is developed by Wallingford Software Company for real-time flood forecasting and prewarning, and water resources management. The software includes full solution modelling of open channels, floodplains, embankments and hydraulic structures. Rainfall-runoff simulation is available using both event-based and conceptual hydrological methods, including snowmelt model, probability distributed model (PDM), and conflux model. There are many advanced concepts and tools in this software. Full interactive views of data are available using geographical plan views, sectional view, long sections, spreadsheet and time varying graphical data. The underlying data can be accessed from any graphical or geographical view. Direct links between the software and MapInfo Professional or ArcView GIS enable data to be converted directly into the InfoWorks RS and FloodWorks model database for model building. In this paper InfoWorks RS and FloodWorks model function

收稿日期: 2008-01-20

基金项目: 水利部 948 项目(200507); 国家科技支撑计划课题(2006BAB14B07)

作者简介: 陈 鸣(1957-), 男, 江苏南京人, 高级工程师, 主要从事洪水预报及 3S 技术应用研究. E-mail: mchen@nhri.cn

and the configuration of real-time flood forecast system have been introduced in detail. The configuration of forecasting nodes, river cross sections, modelling nodes, boundary conditions and construction of forecasting schemes have been illuminated by application of the real-time flood forecast system in Fenhe reservoir of Shanxi Province. At last, the advantage and aspects to be improved of this software package are described synthetically.

Key words: InfoWorks RS software; FloodWorks software; flood forecast; system

随着人水和谐治水理念的深入人心,我国的防洪措施由单一倚重水利工程逐步向工程措施与非工程措施并重转换.洪水预报预警、防洪调度、洪水风险分析等均属非工程措施^[1,2].在治水理念变化的背景下,引进了英国 Wallingford 软件公司的《流域水资源和洪水管理决策支持系统》软件. Wallingford 软件公司(成立于1987年)基于英国生态和水文中心(CEH)开发的 RFFS 江河水流预测系统,开发的《流域水资源和洪水管理决策支持系统》主要包括 InfoWorks RS(综合河流系统模型解决方案)和 FloodWorks(实时洪水预报、预警和管理软件).应用该软件先后建立了比利时丹玛流域实时防汛预报调度决策系统^[3]、墨西哥河洪水模拟^[4]及我国太湖水量水质预报系统^[5]等,是目前应用较为广泛的流域水资源和洪水管理的商业软件之一.

1 软件特性及基本功能

1.1 InfoWorks RS

InfoWorks RS 内嵌了先进的 ISIS 水力模拟引擎、图形分析功能和关系数据库,并能很容易地将测量数据和时间序列整合在详细、准确的模型中,可快速准确地模拟河流系统. InfoWorks RS 可模拟降雨径流,明渠、滞洪区、堤坝和复杂的水工结构及调度.成果的表现包括在地理背景下的动态演示,纵断面、横断面视图以及利用图、表的成果分析报告. InfoWorks RS 包含错综复杂的错误诊断、警告、快速调用所有与帮助系统整合的在线文档.

InfoWorks RS 中的洪水插值模型能利用输入的地面模型,产生洪水淹没图.洪水插值模型允许产生任何事件的连续洪水淹没图、动态回放,显示最大洪水淹没范围和水深,显示在洪水淹没模型外包线范围内任一点的水位、水深,以及指定点的淹深、滞时报告^[6].

1.2 FloodWorks

FloodWorks 是一集成了数据采集系统和降雨径流模型、汇流模型、水动力模型、雪融模型等多种水文模型的实时预报调度决策支持系统. FloodWorks 连接实时数据库,收集来自各种数据源的数据,并且把数据转换成适用于 FloodWorks 预报模型的形式.数据源包括遥测数据、水文数据库、气象雷达、卫星图象和气象预测. FloodWorks 提供各种简单的模型运算法则进行数据处理和校检,运算法则包括校核并交叉检查数据源,以判断数据中的测量仪器带来的误差;从点雨量计算面积平均降雨量;从温度和湿度的单点测量值计算面积平均的潜在蒸发量.根据用户自定义的优先级,合并来自各数据源的观测及预测数据;水位与流量数据相互转换.

FloodWorks 通过 Web 模块管理预报系统生成网页报告并在 Internet 上发布.远程客户通过 FloodWorks 事件管理器预报模拟,网络客户通过 IE 浏览器远程驱动 FloodWorks 服务器,进行洪水预报模拟运行.

1.3 PDM 模型

PDM(probability distributed model)模型是 InfoWorks RS、FloodWorks 中均采用核心降雨径流模型. PDM 模型结构见图 1.模型将降雨和蒸发数据转换成流域出口断面

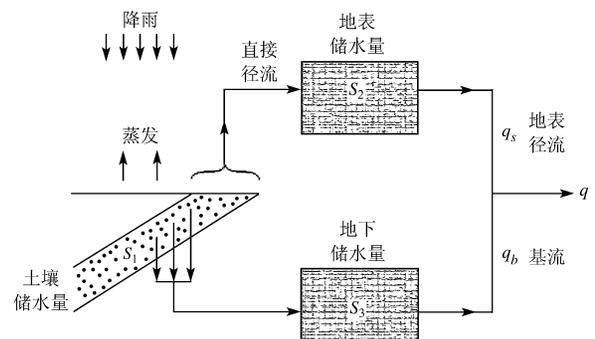


图 1 PDM 降雨-径流模型结构

Fig. 1 Structure of precipitation-runoff model

的流量. 流域内某点产生的径流量取决于土壤容水能力. 考虑到流域内不同点的蓄水能力不同, 模型将对蓄水量的空间变化进行概率分配, 以明确表示汇集点径流量成流域地表径流总量的简单径流模型. 上层土壤的水分补给地下水, 地表水和地下水的出流总量, 加上确定的流量形式(比如水库放水 and 取水), 形成模型的输出.

PDM 模型涉及的参数有 17 个, 参数分类及各参数物理意义见表 1.

表 1 PDM 模型参数
Tab. 1 PDM model parameter

类别	参数名称	单位	意义
常规	f_c		降雨换算因子
	τ_d	h	滞时
蓄水量概率分布	C_{min}	mm	蓄水量最小值
	C_{max}	mm	蓄水量最大值
	b		Pareto 分布中代表蓄水空间变异度的指数
蒸发函数	b_g		实际蒸发函数指数
补充函数: 标准	k_g	h	地下水补给时间常数
	b_g		补给作用函数指数
	S_t	mm	土壤张力蓄水量
补充函数: 基本需求	α		地下水最大缺水率
	β		地下水需求函数因数的指数
	q_{sat}	mm/h	最大补给速率
补充函数: 分割	α		径流系数-将降雨量分割成地面径流和地下水蓄水量
地表演算	k_1, k_2	h	两级串联线性水库流出时间常数
地下水蓄水量演算	k_b	h/mm	基流时间常数
	m		基流非线性水库时间常数
	q_c	m ³ /s	回灌/抽取的流量值

2 应用实例

2.1 汾河水库及流域概况

汾河水库位于汾河干流上游, 水库上游流域面积 5 268 km², 水库库容 7.21 亿 m³. 汾河上游流域处于中纬度大陆性季风带, 其降水特点是年内变化大, 冬春少而夏秋多; 大雨、暴雨多且集中; 年际降水变幅大^[7]. 汾河水库流域地处黄土高原, 雨量稀少, 年降雨量仅 500 mm, 但逢雨季又常大雨滂沱, 严重威胁两岸人民生命财产及水库大坝安全. 因此, 有效预报汾河水库流域突发性洪水意义重大.

2.2 洪水预报方案

汾河水库上游流域内现有雨量遥测站 16 个、水位站 2 个(见图 2). 汾河水库入库洪水预报采用线性河道演进加流域产流方案. 河道水流从上游宁化堡站向下游演进, 同时吸纳支流来水作为集中入流, 吸纳流域产水作为均匀旁侧入流. 考虑到降雨分布的不均匀性, 流域内遥测站网分布状况及流域地形、地貌, 按支流划分为 3 个子流域^[8,9]. 各子流域面积、雨量站及雨量站在各子流域中的权重见图 2. 上游宁化堡站

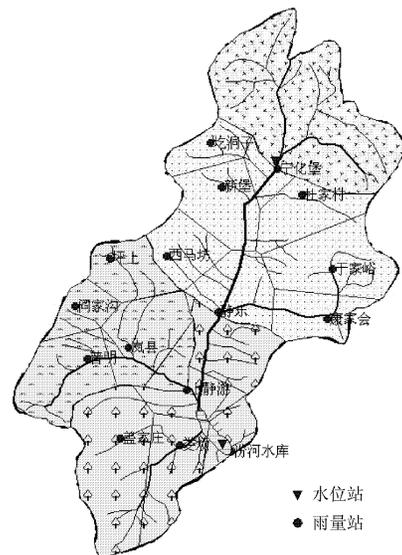


图 2 雨量站及在各子流域中的权重
Fig. 2 Weight of rainfall gauge

件(最大迭代次数或目标函数收敛容许值),结合人工干预期望模型参数,使目标函数达到最佳^[10]. PDM 模型参数优选常用的目标函数有均方误差、自然对数均方差、常用对数均方差、平方差、自然对数平方差、常用对数平方差等多种. 本次研究采用均方差最小作为目标函数.

采用 1979~2006 年间共 15 场洪水资料进行参数率定,结果见表 2 和图 6. 可见,预报不合格洪水共 4 场,其中,有 2 场洪水洪峰(洪峰量误差大于 20%)和峰现时间(峰现时间误差大于预见期的 1/3)同时不合格;有 1 场洪峰量预报不合格;有 1 场峰现时间预报不合格. 合格率为 73%,达到水利部颁布的《水文情报预报规范》SL 250-2000 的乙级($70\% \leq \text{合格率} < 85\%$)标准.

表 2 洪水模拟精度统计

Tab. 2 Precision of flood simulation

洪水编号	洪峰流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)		相对误差 /(%)	峰现时间误差 /h
	实 测	模 拟		
19790822	485	587	21.03	1
19790907	490	402	-17.96	2
19800727	450	427	-5.11	-1
19800919	604	511	-15.40	2
19830315	555	449	-19.10	1
19830524	446	329	-26.23	3
19840518	710	738	3.94	0
19850623	1061	1149	8.29	1
9860611	723	767	6.09	1
19870910	801	949	18.48	-1
19880411	1320	1176	-10.91	0
19890403	267	289	8.24	-1
19890727	806	1034	28.29	-5
20050901	901	787	-12.65	2
20060517	386	452	17.10	3

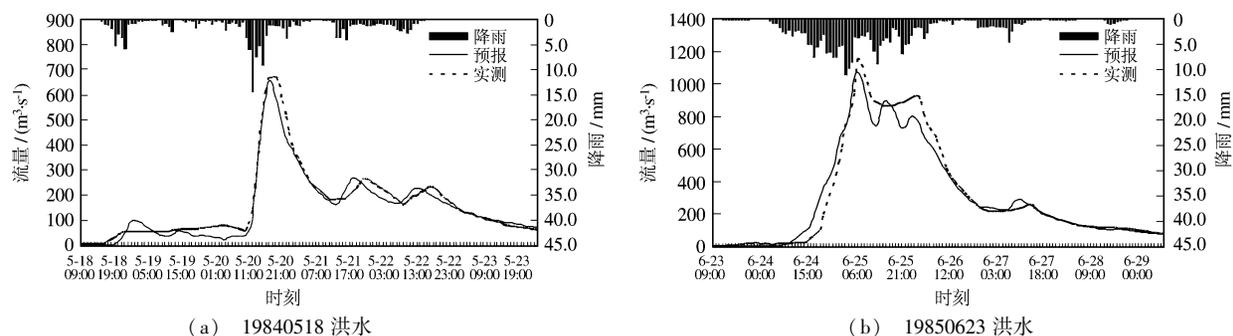


图 6 实测洪水与模拟过程

Fig. 6 Comparison between recorded hydrograph and simulated hydrograph

3 结 语

InfoWorks RS 和 FloodWorks 的网络化建模、可审计跟踪数据库等独特设计使洪水事件的出库、入库,计算的追加、删除等均有详细记录,便于数据及模型的运行管理. InfoWorks RS 和 FloodWorks 中包含产汇流计算模型、河流演进计算模型、洪水淹没图制作等多种模型、工具,可满足洪水预报、水资源规划、水旱灾害风险分析等多种工作的需求. 系统与 GIS 无缝连接,可图形化操作及动态显示运行结果,对水情的发生、发展的模

拟直观明了。

InfoWorks RS、FloodWorks 中还存在个别问题需进一步完善,以适应国情。如系统中概念性降雨径流模型仅 PDM 一个,难以满足中国幅员广、降雨和下垫面多样性的要求;系统中 ISIS 模型为一维恒定流、非恒定水动力学模型,对蓄滞洪区洪水运动的模拟精度相对较差;PDM 模型调试参数计算时,当前版本(InfoWorks RS 8.0)只能在英文操作系统下进行,使用不方便。

参 考 文 献:

- [1] 鄂竟平. 论控制洪水向洪水管理转变[J]. 中国水利, 2004, (8): 14-21.
- [2] 向立云. 洪水管理模型及其应用[J]. 水利发展研究, 2002, 2(12): 12-14.
- [3] Demer Basin Flood Forecasting & Decision Support System. Wallingford Software. [EB/OL]. [2006-05]. <http://www.wallingfordsoftware.com>.
- [4] InfoWorks RS Models Mexican River Flooding. Wallingford Software. [EB/OL]. [2007-09]. <http://www.wallingfordsoftware.com>.
- [5] 马振坤. 太湖流域水量水质实时监控决策支持系统模型研究及应用[D]. 南京: 河海大学, 2007.
- [6] 南京水利科学研究院. MDSF 在新疆克孜尔水库、山西汾河水库应用研究报告[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2007.
- [7] 王志璋, 谢新民. 汾河上游流域分布式水文模型的构建[J]. 西北水力发电, 2006, (9): 15-18.
- [8] 陈 鸣, 唐海行, 陆家驹, 等. 飞来峡水利枢纽洪水预报模型研究[J]. 人民珠江, 2003, (5): 32-36.
- [9] 陈 鸣, 陆卫鲜, 万永波, 等. 石板水库洪水预报[J]. 人民长江, 2005, (11): 23-25.
- [10] Lamb, Robert. Calibration of a conceptual rainfall-runoff model for flood frequency estimation by continuous simulation[J]. *Water Resources Research*, 1999, 35(10): 0043-1397.

请 订 阅 《 岩 土 工 程 学 报 》

《岩土工程学报》创办于1979年,是我国水利、土木、力学、建筑、水电、振动等六个全国性学会联合主办的学术性科技期刊。由南京水利科学研究院承办,国内外公开发行。主要刊登土力学、岩石力学领域中能代表我国理论和实践水平的论文、报告、实录等。报道新理论、新技术、新仪器、新材料的研究和应用。欢迎国家自然科学基金项目及其他重要项目的研究成果向本刊投稿,倡导和鼓励有实践经验的作者撰稿,并优先利用这些稿件。主要栏目有论文、短文、工程实录、焦点论坛、学术讨论和动态简讯等。

本刊被《中文核心期刊要目总览》连续4版确认为核心期刊,并在建筑类核心期刊中排列首位;本刊被收录为国家科技部“中国科技论文统计源期刊”(中国科技核心期刊),并被评为“百种中国杰出学术期刊”;本刊被“中国科技论文与引文数据库”、“中国期刊全文数据库”和“中文科技期刊数据库”等多个国内重要的数据库收录,并可在《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》、万方网和重庆维普网全文检索;本刊被美国工程索引 Ei Compendex 等国际检索系统收录。

本刊读者对象为土木建筑、水利电力、交通运输、矿山冶金、工程地质等领域中从事岩土工程及相关专业的科研人员、设计人员、施工人员、监理人员和大专院校师生。

本刊为月刊,大16开,双栏排版,160页,每月中旬出版,2009年起每期定价25元,全年300元。

本刊国际标准刊号 ISSN1000-4548,国内统一刊号 CN32-1124/TU,国内发行代号 28-62,国外发行代号 M00520。

欢迎广大读者在全国各地邮局订购,也可在编辑部订购(不另收邮费)。编辑部订购地址:(210024)南京虎踞关34号《岩土工程学报》编辑部;联系电话:(025)85829534,85829553;传真:(025)85829555;E-mail: ge@nhri.cn。