

# MIKE SHE 在电厂洪峰计算中的应用与结果分析

汤 旻, 曹双和, 胡红兵, 任 曦

(贵州电力设计研究院, 贵州 贵阳 550002)

**摘要:**传统的水电厂、变电站设计洪水计算方法都是以经验公式或推理公式为基础建立的简单算法, 计算结果的正确率都较低。采用 MIKE SHE 分布式水文模型, 结合 GIS 与 RS 技术, 对贵州喀斯特地貌区的六硐河甲茶水电站进行了洪峰流量计算, 并与其他模型方法的计算结果进行了比较。结果表明, 在洪峰计算中, MIKE SHE 模型具有模拟结果更加精确、详细等独特优势, 且适用于喀斯特地貌区。该模型的成功使用为今后类似地区的洪峰计算奠定了坚实的基础。

**关键词:**MIKE SHE 模型; 分布式水文模型; 洪峰计算; 甲茶水电站; 贵州省

**中图法分类号:**TV122

**文献标志码:**A

**DOI:**10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.09.007

目前对于大中型流域, 如果具有足够的实测流量或暴雨资料, 其洪峰计算主要采用水文统计法(直接法)利用实测流量或通过成因分析(间接法)推求设计洪水; 如果缺乏实测流量资料, 多采用经验公式法计算。而对于小流域而言, 由于经常缺少实测径流资料, 洪峰计算常根据暴雨资料利用经验公式间接推求。随着现代信息技术的不断发展, 水文模型在洪峰计算中获得了较为广泛的应用。分布式水文模型与传统模型相比, 可以在一定程度上解决无资料或缺资料地区的水文模拟问题, 具有相对准确、详细、实际等优势, 因此获得了长足的发展。

分布式水文模型通过将研究区域划分为大量的基本单元(如栅格网、不规则三角网等)来考虑各种水文响应影响因素的空间分布, 并以 GIS、RS、雷达等空间分布的信息为数据源。分布式水文模型包括概念性分布式水文模型和基于物理过程的分布式水文模型两类。概念性分布式水文模型结构较为松散, 即假设各子流域或子单元的水文响应是相互独立的, 整个流域的水文响应就是将各子流域或子单元的水文响应叠加计算得到的, 如 SWAT 模型。基于物理过程的分布式水文模型结构是紧密耦合的, 即采用一组微分方程及

其求解条件构成的定解问题描述流域的产汇流规律, 如 TOPMODEL 模型、MIKE SHE 模型等。分布式水文模型之所以能够得到迅猛发展, 是与数字高程模型(DEM)、地理信息系统(GIS)和遥感(RS)等技术的支撑和发展分不开的, 这些技术促使分布式水文模型突破了瓶颈限制<sup>[1-4]</sup>。

## 1 分布式水文模型 MIKE SHE 简介

### 1.1 模型原理

MIKE SHE 模型是一种典型的、定量的、分布式的、基于物理过程的水文模型, 被广泛应用于单一的土壤类型(或子流域不同土壤类型)流域的水文模拟研究。MIKE SHE 拥有一整套先进而灵活的模拟水文过程的处理工具, 可以对水文循环中蒸散发、地表径流、明渠流、非饱和流和地下水流及各过程间的相互作用进行模拟, 模型的核心模块 MIKE-SHE WM(水流运动模块)能够较为准确地描述研究区的水分运动过程。该模型通过将流域划分成网格之后, 再在垂直方向上将每个网格划分成若干个的水平层, 在水平方向上用正交的长方形网格来表示, 然后输入流域的下垫面属性及降水等数据即可模拟出流域的水文响应过

程。

## 1.2 模型研究现状

MIKE SHE 模型是由以丹麦水利研究所为主的 3 个欧洲组织于 20 世纪 80 年代共同开发的综合流域模拟软件,目前在水文、环境、生态、气象等各个领域都得到了广泛的测试和验证,特别是在欧洲的一些流域,在流域水流运动规律的模拟、流域水资源的规划与管理、洪水预报、污染物扩散模拟、土地利用变化的影响、流域生态环境评价与保护等各个领域的应用都非常广泛且成熟。国内对于 MIKE SHE 模型的研究尚处于起步阶段,2009 年,中科院新疆所黄粤等将 MIKE SHE 模型应用于干旱区资料稀缺流域日径流过程模拟,证明了在资料相对缺少的条件下构建具有完备物理基础的流域分布式水文模型是可行的<sup>[5]</sup>。2010 年,王盛萍,张志强等研究了 MIKE SHE 在中国黄土高原区域侵蚀产沙模拟的适用性,将 MIKE SHE 与修正后土壤侵蚀模型 MUSLE 耦合,对黄土高原小流域侵蚀产沙进行了模拟,获得较好的结果<sup>[6-7]</sup>。

## 2 模型应用

### 2.1 甲茶水电站概况

六硐河甲茶水电站位于贵州省六硐河支流新桥河三级支流红水河上,距离下游平湖水文站 24.3 km,距平塘县县城直线距离约 24 km,公路里程约 60 km,交通条件较为便利。六硐河全长 206 km,流域面积 3 482 km<sup>2</sup>,其中贵州境内全长 160.9 km(含界河段)。甲茶水电站以发电为主,水库正常蓄水位 665 m,死水位 635 m,正常蓄水位库容 4.33 亿 m<sup>3</sup>,调节库容 1.52 亿 m<sup>3</sup>,属年调节水库。电站装机容量 200 MW(2 × 100 MW),多年平均发电量 6.996 亿 kW · h。

### 2.2 洪峰计算方法

本次研究对甲茶水电站的交通位置、影响流域、水库洪水设计值等进行了资料收集,找到了同流域、距离最近的水文站——平湖水文站,可以运用该水文站及其涉及的雨量站实测资料推算出该流域洪峰。采用 DHI 公司 2009 版的 MIKE SHE 分布式水文模型软件,基于 GIS 和 RS 技术,利用六硐河水系图、雨量站、水文站多年实测数据以及研究区域 DEM、土地利用分布图等资料,对甲茶水电站影响流域的水文过程、洪峰流量进行水文模拟,并通过对模拟结果和其他水文模型作对比、分析,探讨更能适用于水电厂、变电站设计洪水计算的方法,以及计算设计洪水时可能存在的问题,为电厂、变电站设计洪水的研究及防洪决策支持系统提供理论支撑。

## 2.3 模型构建与模拟

### 2.3.1 模块选择

MIKE SHE 对降雨径流过程的描述可以分成以下几个模块:① 截留/蒸发(ET);② 坡面流(OL)和河道流(OC);③ 不饱和带(UZ);④ 饱和带(SZ);⑤ 融雪(SM);⑥ 含水层和河道的水量交换(EX)。

在 MIKE SHE 中,可以根据水文过程的描述需要以及流域相关数据的收集程度选择不同的模块组合。本次研究针对的是喀斯特流域设计洪峰的计算,因此将选用除融雪模块(SM)以外的所有模块。

### 2.3.2 水文资料处理

MIKE SHE 模型可以直接导入 GIS 的数字高程地形作为流域地形资料,以反映流域下垫面的空间差异性。用 ARCGIS 将 DEM 自动提取的 .shp 格式流域边界转换成 ASCII 的数据格式,在 MIKE ZERO 中将数据转换成 .dfs2 格式的栅格数据作为模型模拟的范围。为了提高模拟精度,本次研究用地形资料,选用 30 m × 30 m 分辨率的 DEM 资料。

为提高模拟精度,采用泰森多边形法对雨量站进行空间划分,将收集到的研究区内平湖、兔场、沙寨、凯口和墨冲 5 个雨量站的降雨量作为内部格网的降雨量,将 GIS 提取的泰森多边形 .shp 格式数据导入 MIKE SHE。

### 2.3.3 截留/蒸发(ET)

在 MIKE SHE 截留蒸发计算模块中,主要采用 Kristensen - Jensen 模型和简化两层 - 水量蒸散发模块(2 - Layers UZ/ET)来进行流域蒸发量的计算。蒸散发计算主要使用气候条件及植被类型、植被密度等数据来预测总的蒸散发以及净降雨,主要由植物冠层对降雨的截留、植物冠层降落到土壤层的水量、植物冠层和土壤表面的蒸发、根系的吸收作用等因素决定。本文选用两层蒸散发 - 水量平衡模型来计算蒸散发量。

### 2.3.4 坡面流(OL)和河道流(OC)

(1) 坡面汇流。坡面汇流采用 Saint Venant 方程的二维扩散波近似方程进行模拟,并用有限差分求解方程。这个模块的设置比较简单,仅仅涉及到 3 个参数:曼宁系数  $M$ 、地表最大贮水深和初始水深。① 曼宁系数  $M$  是曼宁糙率系数  $n$  的倒数,反映了阻力的特征,与地表的粗糙程度密切相关。喀斯特地区由于岩溶裂隙发育,坡度越大,糙率系数也越大。因此,可根据喀斯特各地貌平均坡度间的关系,推断不同土地利用和地貌组合下的曼宁系数  $M$ 。② 地表最大贮水深表示坡面产流的临界水深,当水深大于该值时开始产

流。在模型模拟过程中,可以利用这一限制条件,对结果进行调整。③ 初始水深是流域坡面初始的贮水深,是坡面流计算的重要参数,对扩散波近似方程求解有重要影响,设置不当可能导致计算结果无法收敛,模型参数将初始水深值设置为 0。

(2) 河道汇流。MIKE SHE 模型对流域水文过程的模拟并不包括河道汇流模块,必须与同为 DHI 开发的河道水动力汇流模块 MIKE 11 进行耦合,并通过“河道链接”与 MIKE SHE 中的 DEM 进行预处理,将坡面汇流、壤中流和地下水流和河道水运动关联起来,最终汇流到流域出口断面。

2.3.5 不饱和带(UZ)水流模拟

模型采用两层水量平衡法进行不饱和带水流模拟,这种方法只考虑水流在垂直方向上的运动,即蒸散发和土壤下渗。根据土壤分类资料,使用 SPAW 软件中的 Soil Water Characteristics 模块来计算模型中需要的土壤物理属性数据。

2.3.6 饱和带(SZ)水流模拟

水库处于岩溶发育区,地表水大量转化为地下水,因此地下径流所占的比重较大,一般可占年径流量的 25%~30%,最高可达 40%。根据喀斯特流域管道水、裂隙水发育的特点,降雨形成的地表径流迅速下渗进入地下储水空间,因此,本次研究采用线性水库方法,将地下水存储空间概化为水库,对饱和带水运动进行模拟。

2.3.7 参数率定

MIKE SHE 模型参数均具有物理意义,所以一般情况下,只需要根据实际情况输入相关参数,或者按照地区差异性作一定程度上的微调。但是,这种方式必须以大量的数据资料作为基础,然而目前由于技术手段的限制并不能够完全得到模拟所需的所有资料。在此情况下,只能以经验或试验得出的值作为参数初值,根据模拟的结果进行参数校正。本次研究采用人工试错的方法对 MIKE SHE 分布式水文模型的参数进行率定,并对率定结果进行分析,寻找 MIKE SHE 分布式水文模型合适喀斯特流域的参数并探求喀斯特流域水文运动的规律。具体参数率定结果如下。

(1) 蒸散发(ET)模块。

C1	0.3
C2	0.2
C3	20 mm/d
Cint	0.05 mm
Aroot	0.25 L/m

(2) 坡面流(OL)模块。

曼宁系数	20~45 m <sup>1/3</sup> /s
地面持水量	50 mm
初始水深	0 m

(3) 非饱和带(UZ)模块。

黄棕壤	4.65e <sup>-6</sup> m/s
黄壤	8.78e <sup>-7</sup> m/s
石灰土	3.37e <sup>-6</sup> m/s
水稻土	4.73e <sup>-6</sup> m/s

(4) 饱和带(SZ)模块。

壤中流水库	给水度	0.1
	初始水深	5 m
	水库深	5 m
	门槛水深	5 m
	壤中流时间常数	5 d
基流水库	渗漏时间常数	40 d
	给水度	0.2
	基流时间常量	365 d
	反馈水量系数	0.1
	初始水深	20 m
	门槛水深	20 m
	水库深度	20 m

(5) 河道汇流模块。河床糙率为 35 m<sup>1/3</sup>/s。

2.4 结果分析

经过应用与检验,MIKE SHE 模型模拟过程与实测流量过程基本能够吻合(见图 1,2),确定性在 0.7 以上(见表 2)。按照《水文情报预报规范》的相关规定,达到乙级预报精度。由此可知,MIKE SHE 模型在该研究区内的中长期水文预报应用中可以达到很好的效果,能够较为准确地模拟出整个水文过程,从 MIKE SHE 模型流域模拟洪水值可推求甲茶电厂所处流域的洪水值。普及分布式水文模型 MIKE SHE 在贵州地区水电厂、变电站设计洪水中的应用,是今后电力水文方向大势所趋,在湿润区、干旱区或资料稀缺地区较多相关研究的成功,凸显出了 MIKE SHE 模型在暴雨、洪峰计算中具有更加详细、精准等独特优势。

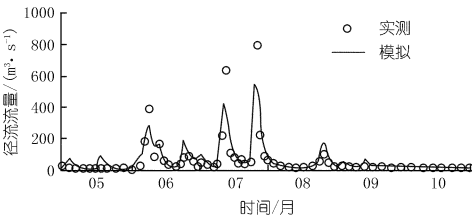


图 1 2007 年径流模拟过程

表 3 典型水文模型对比

模型	原理	优点	缺点
SWAT 模型	SWAT 模拟流域水文过程中水循环的陆面部分(即产流和坡面汇流部分)和水面部分(即河道汇流部分)。前者控制着每个子流域内主河道的水、沙、营养物质和化学物质等的输入量;后者决定水、沙等物质从河网向流域出口的输移运动。整个水循环系统遵循水量平衡规律	① 具有很强的物理概念,适用于具有不同土壤类型与管理条件的复杂大流域,在结构上考虑了融雪和冻土对水文循环的影响,较适合资料缺乏的西北寒区;② 输入参数简单,计算效率高;③ 计算时段以日或月计,较适用于长时段的分布式水文过程	① 模型所需数据难以获得,且精确度不高;② 模拟精度不高
SWMM 模型	SWMM 模型是一个动态的降水-径流模拟模型,主要用于模拟城市某一单一降水事件或长期的水量和水质模拟。其径流模块综合处理各子流域所发生的降水、径流和污染负荷。其汇流模块则通过管网、渠道、蓄水和处理设施、水泵、调节闸等进行水量传输	① 模型可以跟踪模拟不同时间步长任意时刻每个子流域所产生径流的水质和水量,以及每个管道和河道中水的流量、水深及水质等情况;② 充分考虑了各种物理过程及其影响因素;③ 水量模拟精度高,简便易学,兼用性好,可以与其他模型连接使用	① 模型数据难以获得;② 模型适用性较差;③ 模拟结果不够准确
TOPMODEL 模型	TOPMODEL 是一个基于地形的半分布式模型,利用易于获取的地形信息(如地形指数、土壤-地形指数等)来描述流域产流及源面积的变化与分布,简化流域降水径流过程的模拟。其理论基础为变动源面积,通过土壤含水量来确定源面积的大小和位置。含水量的计算方程基础是连续方程和达西定律	① 对实际水文过程的模拟更贴切,尤其是对包气带(不饱和带)水分的运动及浅层地下水动态的模拟;② 考虑了下垫面地形的空间变异性对水文响应的影响,并实现了产流面积的空间可视化;③ 与地理信息系统相结合,易于实现数据的更新,能够实时反映现实下垫面的变化;④ 模型结构简单、优选参数少、物理概念明确、模拟精度高	① 对水文要素的空间变异性及水文单元的相互联系有些考虑不足;② 模型的网格并没有实际意义;③ 模拟结果会出现不同参数相同结果的可能;④ 对地下水的模拟不准确
MIKE SHE 模型	MIKE SHE 是典型的基于物理过程的分布式水文模型,能够模拟水循环陆面过程中主要的水文过程包括水量、水质及沉积物输移。该模型可以对水文循环中蒸发、地表径流、非饱和流、地下水流和明渠流及各过程间的相互作用进行模拟	① 模型较为灵活、便利,用户可根据既有的对现实流域的概念直观地建立模型;② MIKE SHE 构建模型框架时可以有相互独立的时空尺度对各主要水文过程进行模拟运算;③ 模型有效耦合了地表水和地下水,以及环境与生态变化;④ 模型应用范围广泛,适用性良好	① 模型对流域的物理特性数据精度要求高;② 在模型参数确定方面存在一定的难题;③ 模型算法效益不高,计算速度待提高

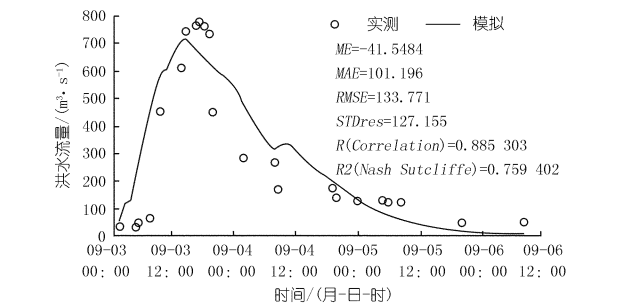


图 2 2008 年洪水径流模拟过程

表 2 模拟值与实测值对比评价

项目	时间	确定性系数
率定期	2006 年 5 ~ 10 月	0.7216
验证期	2007 年 5 ~ 10 月	0.7140
	2008 年 5 ~ 10 月	0.7240

3 MIKE SHE 模型优势

几种典型的分布式水文模型 SWAT 模型、SWMM 模型、TOPMODEL 模型与 MIKE SHE 模型各自优缺点的比较结果如表 3。

本次研究凸显出了 MIKE SHE 模型的高度灵活性、操作的简单性与应用范围的广泛性等特点。除此之外,本研究还需要模拟地表与地下水间的相互关系与转化,因此使得 MIKESHE 模型能够有效耦合地下水与地表水的无可比拟的优势得到了充分发挥,使本次模拟结果更加准确、合理。

4 结 语

本文结合喀斯特流域地貌、土地利用类型、植被、土壤等独特的下垫面因素,运用 GIS 等手段,将分布式水文模型 MIKE SHE 引入资料稀缺、空间异质性较大的喀斯特地区,结合研究区的数字高程模型、土地利用、土壤类型、水文气象等资料,通过对模型相关参数的率定和调整,建立了适合喀斯特流域的分布式水文模型。MIKE SHE 模型与其他模型相比,具有高度灵活性、操作简单、应用范围广泛等特点,除此之外,MIKE SHE 还可以模拟地表与地下水间的相互关系与转化,能够较为精准地模拟整个水文过程,这就为今后类似的研究奠定了坚实的基础。

参考文献:

[1] 魏永霞,王丽学. 工程水文学[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2005.

[2] 谈戈,夏军,李新. 无资料地区水文预报研究的方法与出路[J]. 冰川冻土,2004,26(2):192-196.

[3] 贾仰文,王浩,倪广恒,等. 分布式流域水文模型原理与实践[M]. 北京:中国水利水电出版社,2005.

[4] 郭生练,熊立华,杨井,等. 基于 DEM 的分布式流域水文物理模型[J]. 武汉水利电力大学学报,2000,22(6):1-5.

[5] 黄粤,陈曦,包安明,等. 干旱区资料稀缺流域日径流过程模拟[J]. 水科学进展,2009,20(3):332-336.

[6] 张金存,芮孝芳. 分布式水文模型构建理论与方法述评[J]. 水科学进展,2007,18(2):286-292.

[7] 王盛萍,张志强,孙阁,等. 基于物理过程分布式流域水文模型尺度依赖性[J]. 水文,2008,28(6):1-7.

[8] 肖金强.应用分布式流域水文模型 MIKE SHE 研究华北土石山区  
小流域水文响应[D]. 北京:北京林业大学,2006.  
侵蚀产沙空间分布特征[J]. 农业工程学报,2010,26(3):92-98.  
(编辑:常汉生)

[9] 王盛萍,张志强,唐寅,等. MIKE SHE 与 MUSLE 耦合模拟小流域

## Application of MIKE SHE in peak flood calculation of hydropower plant and result comparison

TANG Min, CAO Shuanghe, HU Hongbing, REN Xi  
(Guizhou Electric Power Design Institute, Guiyang 550002, China)

**Abstract:** The traditional design flood calculation methods for hydropower plant are characterized as simple calculation methods established by empirical formula or reasoning formula and the correction rate of the calculation method is low. In the combination of GIS and RS technology, the design flood of Jiacha Hydropower Station on Liudong River in the karst area of Guizhou Province is calculated by MIKE SHE model and the calculation result is compared with that calculated by other models. It shows that the result of MIKE SHE model is more accurate and detail, which is suitable to the karst area. The successful application of the model laid solid foundation for future flood peak calculation in the similar karst area.

**Key words:** MIKE SHE model; distributed hydrological model; flood peak calculation; Jiacha Hydropower Station; Guizhou Province



(上接第 25 页)

## Research of industrial water consumption of Chongqing City based on water resources economic input – output

LU Pingyu<sup>1</sup>, MAO Yujiao<sup>2</sup>, CHEN Hu<sup>3</sup>, MA Yuting<sup>1</sup>

(1. Changjiang Upstream Hydrology and Water Resources, Changjiang Water Resources Commission, Chongqing 400014, China;  
2. River and Sea College, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China; 3. Chongqing Survey and Design Institute of Water Resources, Electric Power and Architecture, Chongqing 400020, China)

**Abstract:** To analyze the water consumption of various industries in Chongqing City, the input – output model of water resources economy is established based on input – output theory in economics by bringing the industrial water consumption of Chongqing City in 2007 into the input – output table. The water consumption coefficients of various industries are calculated, and the water resources utilization benefits are compared. The result shows that the indirect water consumption of each industrial department is highly concealed, which is difficult to be perceived; the proportion of the water consumption coefficients of each industry in total water consumption is different; the input – output table can be used to study the relationship between the industrial economic development and water consumption. The analysis results lay a scientific foundation for the industrial structure adjustment and sustainable development of Chongqing City.

**Key words:** water resources; input – output; water consumption coefficient; industrial structure adjustment; Chongqing City