

中国防汛抗旱

CHINA FLOOD & DROUGHT MANAGEMENT

基于MIKE SHE水文模型的山东省弥河流域洪涝过程模拟研究

牛小茹 王封祚 郝建浩

Simulation study of flooding processes in the Mihe River Basin in Shandong Province based on the MIKE SHE hydrological model

NIU Xiaoru, WANG Fengzuo, HAO Jianhao

在线阅读 View online: <http://www.cfdm.cn/article/doi/10.16867/j.issn.1673-9264.2024161>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于一二维耦合模型的山东省弥河干流平交道口洪水风险分析

Analysis of flood risk at the Level-crossing of Mainstream Intersection of Mihe River in Shandong Province based on 1D-2D coupled model
中国防汛抗旱. 2025, 35(3): 46-51. <https://doi.org/10.16867/j.issn.1673-9264.2024084>

湖北汉北河流域复杂洪水综合模拟模型研究

Study on comprehensive simulation model of complex floods in Hanbei River Basin of Hubei Province
中国防汛抗旱. 2021, 31(9): 55-61. <https://doi.org/10.16867/j.issn.1673-9264.2021215>

基于郑州“7·20”特大暴雨移置的山东省傅疃河流域洪水形势分析

Analysis of flood situation in Futuan River Basin based on the transplantation of the “7·20” extreme rainstorm in Zhengzhou City
中国防汛抗旱. 2023, 33(9): 19-24,55. <https://doi.org/10.16867/j.issn.1673-9264.2023281>

HEC-HMS水文模型在辽宁省细河流域的应用研究

Application of HEC-HMS hydrological model in Xihe River Basin of Liaoning Province
中国防汛抗旱. 2020, 30(7): 22-29. <https://doi.org/10.16867/j.issn.1673-9264.2019133>

2403号台风“格美”暴雨移置山东大汶河流域洪涝灾害分析及应急救援对策

Analysis of flood disasters and emergency rescue countermeasures in the Dawen River Basin in Shandong Province transplanted by No.2403 Typhoon "Gaemi"
中国防汛抗旱. 2025, 35(2): 93-96. <https://doi.org/10.16867/j.issn.1673-9264.2024417>

基于分布式水文模型的内蒙古自治区小流域洪水分析技术研究与应用

Research and application of flood analysis technology based on distributed hydrological models for small watersheds in Inner Mongolia Autonomous Region
中国防汛抗旱. 2024, 34(3): 47-54. <https://doi.org/10.16867/j.issn.1673-9264.2023130>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI:10.16867/j.issn.1673-9264.2024161

牛小茹, 王封祚, 郝建浩. 基于 MIKE SHE 水文模型的山东省弥河流域洪涝过程模拟研究[J]. 中国防汛抗旱, 2025, 35(4): 85-89. NIU Xiaoru, WANG Fengzuo, HAO Jianhao. Simulation study of flooding processes in the Mihe River Basin in Shandong Province based on the MIKE SHE hydrological model[J]. China Flood & Drought Management, 2025, 35(4): 85-89. (in Chinese)

基于 MIKE SHE 水文模型的山东省弥河流域 洪涝过程模拟研究

牛小茹 王封祚 郝建浩

(黄河勘测规划设计研究院有限公司, 郑州450000)

摘要: 以山东省弥河流域为研究对象, 依据流域河网、雨水情、数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)、土地利用、土壤类型等数据, 基于分布式水文模型 MIKE SHE 耦合水动力模型 MIKE 11 建立分布式洪涝耦合模型, 模拟河道洪水过程及河道外洪涝过程, 选取谭家坊水文站实测洪水资料对模型进行参数率定, 并结合现场调研数据对模型进行验证。结果表明, 河道水动力模型可以较为准确地模拟河道洪水演进过程, 分布式水文模型可以较好地模拟坡面洪涝演进过程, 两者耦合形成的分布式洪涝耦合模型能结合两者的优点, 较好地适用于弥河流域的洪涝模拟, 模拟结果可为流域洪涝灾害风险评估、预报及预警提供数据支撑。

关键词: MIKE SHE; 分布式水文模型; 洪水模拟; 暴雨内涝; 弥河流域; 山东省

中图分类号: TV877

文献标识码: A

文章编号: 1673-9264(2025)04-85-05

0 引言

平原地区河流比降较小, 遭遇大洪水时, 由于过流能力有限, 极易引发洪涝灾害, 并且波及范围广, 持续时间长, 造成严重的财产损失甚至人员伤亡^[1]。基于水文模型的洪涝模拟是防洪减灾非工程措施的重要组成部分, 水文模型经历了经验模型—黑箱子水文模型—概念性水文模型—分布式水文模型的发展过程。分布式水文模型考虑了气象及下垫面的空间分布^[2], 相较于传统模型能更准确地模拟流域水文物理过程, 为分析流域内洪涝灾害分布情况提供依据。在我国应用较为广泛的具有代表性的分布式水文模型主要有 SWAT 模型、VIC 模型、SHE 模型、MIKE SHE 模型等。

MIKE SHE 水文模型中水流运动模块由多个独立子模块构成, 实际应用时可根据研究区气候、下垫面条件自由

组合, 使模型在流域水文模拟、洪水预报、降雨径流模拟等多个领域得到广泛应用^[3]。黄粤等^[4]利用 MIKE SHE 在气象、土壤及水文地质等数据缺乏的条件下, 模拟了开都河流域的日径流过程; 赖冬蓉等^[5]利用 MIKE SHE 模型对华北平原地区水资源状况进行了模拟及预测; 姜钧耀等^[6]构建了基于地面高程、下垫面条件及河流水系等要素的暴雨内涝模型, 模拟了流域内暴雨内涝演进过程; 周璐^[7]构建了徒骇河官家闸上游流域分布式洪涝耦合模型, 进行了不同降雨情景下洪涝模拟预测及分析和不同降雨情景洪涝灾害风险评估研究; 赵华青等^[8]从洪涝灾害成灾机理出发, 建立 MIKE-A-R 耦合模型, 较好地模拟平原流域河流外洪涝过程及河流洪水演进过程。

本文以弥河流域为研究对象, 构建 MIKE SHE 水文模型, 选取谭家坊水文站实测洪水资料对模型进行率定和验

收稿日期: 2024-05-07

第一作者信息: 牛小茹, 女, 硕士, 工程师, E-mail: 805811756@qq.com。

证,研究模型在弥河流域洪涝模拟中的适用性,为平原区洪涝灾害模拟提供科学依据。

1 研究区概况

弥河位于山东半岛地区中部,发源于临朐县沂山西麓九山镇水石屋村附近,由群泉汇集而成。弥河干流自南向北流经潍坊市的临朐县、青州市、寿光市、滨海经济技术开发区 4 市(县、区),于滨海经济技术开发区注入渤海莱州湾,流域面积 4 008 km²,其中干流长度 193 km,流域面积 3 319 km²。分流口以下为两分泄洪,向东为弥河老河道,流经上口镇、营里镇、侯镇等向东经滨海经济技术开发区入海,长度约 44.3 km;分流口向北为弥河分流,经营里镇至羊口镇东汇入小清河后入海,长度约 31.5 km,流域面积 689 km²。其主要支流有丹河、五井石河等。弥河流域的主要气象成因是气旋、台风、锋面、切变线等,流域多年平均降水量 650.8 mm,汛期 7—9 月降水量达 462.5 mm,占全年降水量的 71.1%。中上游多山区丘陵,河道陡峭,洪水暴涨暴落,峰高量大,持续时间短;下游多为平原,河道坡度较缓,洪水急流而下,河槽宣泄不及,极易造成堤防决口,形成洪涝灾害。

2 研究方法

2.1 模型原理

MIKE SHE 是一种基于物理机制的分布式水文模型,该模型考虑了气象、地形、土壤等输入数据和参数在空间分布上的变化,在平面上将输入数据划分为矩形网格,在垂向上可进行土壤和地质分层。水流运动模块包括坡面流、蒸散发、饱和带、非饱和带、河流与湖泊、融雪 6 个独立且互相联系的子模块,各子模块联合运行可描述完整的水文循环过程,也可根据不同需求选择其中几个子模块进行模拟,通过河流与湖泊模块与 MIKE 11 耦合,建立一维水流数学模型,模拟河道水流状态。由于研究区域不涉及

融雪过程,本次选用除融雪模块以外的其余 5 个子模块构建模型(表 1)。

表 1 模型所用子模块及计算方法

子模块	方法
坡面流	有限差分法
蒸散发	Kristensen-Jensen法
饱和带	线型水库法
非饱和带	双层平衡法
河流与湖泊	MIKE 11耦合运行

2.2 模型构建

基于 ArcGIS 将研究区域数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)、流域边界图、雨量站分布图、土地利用图、土壤类型图等空间输入数据统一转换为.shp 格式,为保证数据输入的一致性,将投影坐标系统定义为 CGCS2000_3_Degree_GK_CM_120E。弥河流域支流较多且复杂,考虑到支流对洪涝的实际作用及数据资料获取的难易程度,本次计算选取五井石河、大石河、南阳河、黄龙沟、七贤河、营子沟、小石河、张僧河、官庄沟等 33 条支流。将模型研究区域的网格尺度设置为 200 m×200 m, X、Y 方向分别为 440 行和 540 列,将编制区域 10 m 分辨率的原始 DEM 转换为与网格大小相同的精度为 200 m 的栅格,使用流域边界裁剪 DEM,得到编制区域 DEM 数据。降雨数据来源于谭家坊、寒桥站、清水泊站、大家洼站、羊角沟站、昌乐站、丰城站和冶源水库站共 8 个雨量站点间隔为 1 h 的实测数据,利用泰森多边形法进行分区。蒸发数据采用实测资料作为流域统一值。将土地利用分类为耕地、草地、水域、城镇用地、农村居民点 6 类。土壤类型根据研究区域对世界土壤数据库(HWSD)进行裁剪,分类合并得到流域土壤数据,研究区土壤类型分为 9 类(表 2)。将模型范围、降雨数据、蒸发数据、地面高程、植被、地形和土壤等数据输入模型,耦合 MIKE SHE 与 MIKE11 模型^[9],对 2018—2021 年的 4 场洪水进行模拟。

表 2 弥河流域 MIKE SHE 模型数据来源

数据类型	数据来源	数据名称	数据格式
DEM	山东省自然资源局		10 m×10 m 栅格
土地利用类型	资源环境科学与数据中心	山东省 2020 年土地利用遥感监测数据	1 km×1 km 栅格
土壤类型	国家冰川冻土沙漠科学数据中心	基于世界土壤数据库(HWSD)的中国土壤数据集(v1.1)	1 km×1 km 栅格
水文数据	山东省水文局	降雨数据、流量数据、蒸发数据	Excel
河道断面数据	实测		Excel

3 模型率定及验证

模型参数可分为 3 类:第 1 类是基于实测、遥感影像及资料收集等途径获取,或通过间接计算获得的相关参数,可不进行率定,如植被参数、土壤水动力学参数;第 2 类是不经实验测量及计算获取,但是根据相关研究,参数敏感性较低,可不进行率定,一般是参考模型默认值及同类研究进行设定,如坡面流曼宁系数;第 3 类是不经实验测量及计算获取,参数敏感性较高的参数,需进行参数率定,如给水度、壤中流时间常数、渗漏时间常数、河道曼宁系数、河床透水系数等^[10]。

植被参数和坡面流曼宁系数,根据研究区域的土地利用类型,分别以 MIKE SHE 自带的植被数据库和相关研究成果进行取值^[11-12],参数取值见表 3。

表 3 不同土地利用类型的植被参数和坡面流曼宁系数取值

项目	耕地	林地	草地	水域	城镇用地	农村居民点
叶面积指数(LAI)	5.0	6.0	3.0	0	0.8	1.0
根系深度(RD)/cm	1 000	800	500	0	100	100
曼宁系数(M)	10	2	4	33	100	50

土壤水动力学参数利用 SPAW(土壤水文特性)软件中的 Soil Water Characteristics 模块进行计算,土壤水动力学参数见表 4。

表 4 弥河流域土壤水动力学参数

序号	FAO-90符号	土壤类型	土壤深度/cm	凋萎系数/(%vol)	田间持水量/(%vol)	饱和含水率/(%vol)	饱和导水率/(10 ⁻⁶ m·s ⁻¹)
1	FLc	石灰性冲积土	0~30	11.6	26.3	41.0	2.27
			30~100	11.4	25.6	40.3	2.36
2	GLk	钙积潜育土	0~30	12.4	26.0	42.6	3.39
			30~100	11.8	24.3	40.1	2.85
3	ARh	筒育砂性土	0~30	4.2	24.7	38.4	3.34
			30~100	4.1	24.4	37.5	3.04
4	ATc	人为堆积土	0~30	13.5	29.2	43.3	2.04
			30~100	13.3	27.8	42.0	2.05
5	CLI	黏化钙积土	0~30	16.1	27.9	41.4	1.58
			30~100	20.0	32.5	42.7	0.69
6	CMc	石灰性锥形土	0~30	13.3	27.3	41.6	2.16
			30~100	14.2	28.4	41.3	1.54
7	LVk	钙积高活性淋溶土	0~30	14.1	24.7	40.2	2.49
			30~100	18.2	29.5	41.2	1.01
8	RGc	石灰性疏松岩性土	0~30	13.2	25.8	41.3	2.44
			30~100	15.4	28.3	41.4	1.42
9	SCh	筒育盐土	0~30	15.8	29.4	41.9	1.41
			30~100	16.8	26.5	40.4	1.88

3.1 模型参数率定

本研究对上述第 3 类敏感性较高的参数进行率定,采用确定性系数、洪峰误差和洪量误差 3 个指标来定量描述模型模拟的精度。

确定性系数:

$$C_D = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - \bar{Q}_{obs})^2}$$

洪峰相对误差:

$$Q_{RE} = \frac{Q_{sim} - Q_{obs}}{Q_{obs}}$$

洪量相对误差:

$$W_{RE} = \frac{W_{sim} - W_{obs}}{W_{obs}}$$

式中: $Q_{obs,i}$ 为第 i 时刻实测值; $Q_{sim,i}$ 为第 i 时刻模拟值; $\bar{Q}_{obs}$ 为实测均值; Q_{sim} 为模拟洪峰流量; Q_{obs} 为实测洪峰流量; W_{sim} 为模拟洪量; W_{obs} 为实测洪量。

弥河下游平原区域缺少实测洪水资料,选取谭家坊水文站实测洪水资料进行率定和验证,对谭家坊水文站洪水资料进行分析,选取 3 场实测洪水过程进行参数率定,分别为“2018.8.18”“2020.8.26”和“2021.9.4”场次洪水,参数率定结果见表 5,模型模拟精度结果见表 6,模拟洪水过程线如图 1 所示。

从模拟结果看,模拟与实测的流量过程线趋势一致,拟合程度较好,确定性系数在 0.80 以上,洪峰模拟值与实测值接近,误差在 10% 以内,考虑到本次河道断面采用河道治理后断面,与选用场次河道断面相差较大,洪量误差也在合理范围内,本研究构建的模型基本能反映洪水演进过程,模拟精度较好。

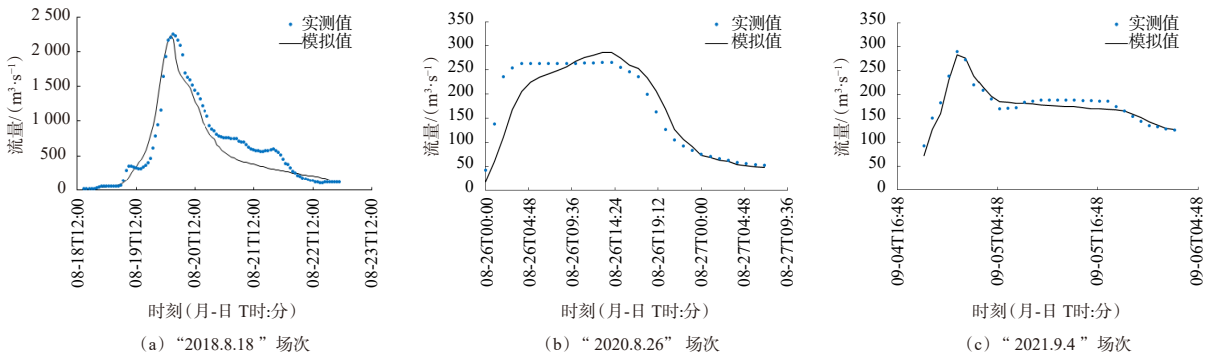


图 1 谭家坊站 3 场次洪水模拟过程线

3.2 模型验证

选取“2019.8.10”场次洪水进行模型验证,模型模拟精度结果见表 7,模拟洪水过程线如图 2 所示,根据模型验证结果可以看出拟合程度较好。由于研究区域为平原流域,发生洪涝灾害时缺乏流域坡面上淹没情况的实测数据,为进一步检验模拟精度,调查并收集“2019.8.10”场次暴雨洪涝的相关资料,对模型做进一步验证。根据调查得知,8 月 10 日 9 时至 11 日 22 时,寿光市平均降雨量 287.4 mm,折合水量 6.32 亿 m³,实地走访有菜农回忆:“自 8 月 9 日受到台风影响后,目前地里的积水,依不同的地势,最深处达到 2~3 m,一般处积水为 30~40 cm”。

表 7 谭家坊站“2019.8.10”场次洪水模拟精度

实测洪峰/ (m ³ ·s ⁻¹)	模拟洪峰/ (m ³ ·s ⁻¹)	洪峰误差 (%)	洪量误差 (%)	确定性 系数
3 490	3 450	-1.15	7.66	0.88

表 5 弥河流域 MIKE SHE 模型参数率定结果

模块	参数	率定结果
非饱和带	给水度	0.21
	壤中流时间常数	40
	渗漏时间常数	25
河流与湖泊	河床透水系数	10 ⁻⁸
	曼宁系数/(m ^{1/3} ·s ⁻¹)	25

表 6 谭家坊站 3 场次洪水模拟精度结果

序号	洪水场次	实测洪峰/ (m ³ ·s ⁻¹)	模拟洪峰/ (m ³ ·s ⁻¹)	洪峰误差 (%)	洪量误差 (%)	确定性 系数
1	“2018.8.18”	2 250	2 240	-0.33	-9.84	0.90
2	“2020.8.26”	266	286	8.00	-4.00	0.83
3	“2021.9.4”	290	283	-2.00	-2.00	0.90

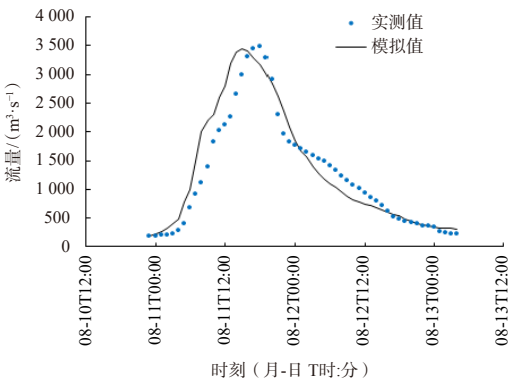


图 2 谭家坊站“2019.8.10”场次洪水模拟过程线

对“2019.8.10”场次洪水进行模拟,模型结果显示,最大淹没水深为 3.00 m,平均淹没水深为 0.34 m,主要集中在寿光市台头镇、营里镇、纪台镇、卧铺乡等低洼地区。模拟结果与调查的分布范围及积水深度能较好地吻合。与实际情况相比略偏高,主要是因为突降暴雨后,寿光市政府

积极采取行动,人工干预排洪除涝,加速了退水过程。

4 结 论

本研究基于弥河流域河网、降雨、蒸发、DEM、土地利用、土壤类型等数据,利用分布式水文模型 MIKE SHE 耦合水动力模型 MIKE 11 建立分布式洪涝耦合模型,采用谭家坊站 2018—2021 年 4 场实测洪水资料对模型进行率定和验证。结果显示,确定性系数在 0.80 以上,洪峰和洪量误差均在 10% 以内,模拟效果较好。调查并收集“2019.8.10”场次暴雨洪涝的相关资料,对模型作进一步验证,计算淹没范围及积水深度与调查情况基本吻合,能够合理地模拟出研究流域的淹没情况。研究表明,MIKE SHE 模型在弥河流域具有较好的适应性,模型模拟精度较高,能够合理地描述流域洪涝过程,为流域洪涝灾害风险评估、预报及预警提供全面数据支撑。

参考文献

- [1] 黄玄,刘国庆,刘思恩,等.平原河网城市极端暴雨洪涝风险数值模拟方法研究[J].中国防汛抗旱,2023,33(7):21-27,33.
- [2] 陈钢,赵艳红,王晓书,等.河网地区洪水预报模型开发及在长江下游地区的应用[J].中国防汛抗旱,2024,34(3):8-15.
- [3] 袁旭,陆颖,赵著燕,等.国内 MIKE SHE 水文模型研究与应用综述[J].水利科技与经济,2018,24(1):13-17.
- [4] 黄粤,陈曦,包安明,等.开都河流域山区径流模拟及降雨输入的不确定性分析[J].冰川冻土,2010,32(3):567-572.
- [5] 赖冬蓉,秦欢欢,万卫,等.基于 MIKE SHE 模型的华北平原水资源利用情景分析[J].水资源与水工程学报,2018,29(5):60-67.
- [6] 姜钧耀,刘璐,彭慧,等.基于 MIKE SHE 模型的平原区流域暴雨内涝模拟[J].治淮,2021(6):23-25.
- [7] 周璐.徒骇河官家闸上游流域洪涝模拟与灾害风险评估研究[D].济南:山东大学,2021.
- [8] 赵华青,周璐,赵然杭,等.基于 MIKE 耦合模型的平原区流域洪涝过程模拟[J].中国农村水利水电,2022(7):97-102.
- [9] 姜雪娇,张焜,和继军,等.基于 MIKE 模型的山洪沟风险分析——以北京怀柔区龙泉沟为例[J].中国防汛抗旱,2024,34(2):68-73.
- [10] 陈丕华,武佳枚,刘莉莉.台风“利奇马”对弥河干流寿光段影响分析[J].山东水利,2021(5):35-36.
- [11] 郑震,张静,官辉力.MIKE SHE 水文模型参数的不确定性研究[J].人民黄河,2015,37(1):23-26.
- [12] ENGMAN, EDWIN T. Roughness coefficients for routing surface runoff[J]. Journal of Irrigation & Drainage Engineering Asce, 1986, 112(1): 39-53.

Simulation study of flooding processes in the Mihe River Basin in Shandong Province based on the MIKE SHE hydrological model

NIU Xiaoru, WANG Fengzuo, HAO Jianhao

(Yellow River Engineering Consulting Co., Ltd., Zhengzhou 450003)

Abstract: Taking the Mihe River Basin in Shandong Province as the research object, based on data such as river network, rainfall and runoff situation, Digital Elevation Model (DEM), land use, soil type data, etc., a distributed flood coupling model is established based on the MIKE SHE coupled hydrodynamic model MIKE 11. The model simulates the flooding process in the river and outside the river channel, selects the measured flood data from the Tanjiafang Hydrological Station to calibrate the parameters of the model, and verifies the model with on-site survey data. The results show that the riverine hydrodynamic model can accurately simulate the process of riverine flood evolution, and the distributed hydrological model can simulate the process of slope flood evolution well. The distributed flood coupling model formed by the coupling of the two models can combine the advantages of the two models and is suitable for flood simulation in the Mihe River Basin. The simulation results can provide comprehensive data support for the risk assessment, prediction, and early warning of flood disasters in the basin.

Keywords: MIKE SHE; distributed hydrological model; flood simulation; rainstorm flooding; Mihe River Basin; Shandong Province

编辑 江 密