

DOI:10.16198/j.cnki.1009-640X.2016.06.004

杨德玮, 盛金保, 彭雪辉, 等. BREACH模型与 MIKE21模型在溃坝风险中的耦合分析[J]. 水利水运工程学报, 2016(6): 23-28. (YANG De-wei, SHENG Jin-bao, PENG Xue-hui, et al. Coupling analysis of MIKE21 model and BREACH model for dam-break risk[J]. Hydro-Science and Engineering, 2016(6): 23-28.)

BREACH模型与 MIKE21模型在溃坝风险中的耦合分析

杨德玮^{1,2}, 盛金保^{1,2}, 彭雪辉^{1,2}, 何佳卓¹

(1. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029; 2. 水利部大坝安全管理中心, 江苏 南京 210029)

摘要: BREACH模型常用来模拟水库大坝漫顶及管涌溃坝模式并获取溃口流量与时间关系, MIKE21模型常用来模拟湖泊、河口、海湾等二维水动力学并获取洪泛区内洪水风险信息要素, 两大模型耦合分析在保障水库大坝安全运行及风险管理方面发挥了积极作用。以 BREACH模型模拟溃口流量动态数据过程与溃口演变尺寸为基础, 通过 ArcGIS 预处理地形文件、工程建筑物参数与水文数据, 构建 MIKE21 二维水动力学模型并计算网格差值空间, 利用 Flow Model 模块生成溃坝洪水模拟文件, 采用判别溃口流量差值是否满足精度要求的迭代法来耦合两大模型, 最终结合所要分析水库大坝的工程概况, 计算不同风险情况下的水库大坝溃坝洪水淹没水深与范围, 进而模拟溃坝洪水演进过程。该方法已成功应用于郑州常庄水库风险分析, 结果表明, 该方法能客观反映溃坝洪水行洪情况, 使用方便, 为水库大坝运行管理与应急处置提供了一定的技术支持。

关键词: BREACH模型; MIKE21模型; 溃坝风险; 耦合分析

中图分类号: TV122+.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-640X(2016)06-0023-06

随着社会经济发展、人口数量增长以及城市化水平不断提高, 水库大坝一旦溃决, 后果极其严重。因此, 进行溃坝洪水模拟研究, 探讨构建平面二维水流数学模型, 分析洪水演进与洪水到达时间特性, 可以为制定应急预案、灾前预警预报、防洪减灾提供技术参考, 对保障水库大坝安全具有实际意义^[1]。目前, 国内 BREACH模型和 MIKE21模型已分别应用于土石坝风险分析与洪水演进模拟研究中。周清勇等将 BREACH模型成功应用于七一水库风险分析^[2-3]; 吴海伟将 MIKE21模型成功应用于金盆水库超标准溃坝洪水二维数值模拟研究^[4]; 而 BREACH模型和 MIKE21模型耦合分析在溃坝洪水中的应用仍处于起步阶段。本文以郑州常庄水库为例, 就 BREACH模型和 MIKE21模型耦合分析的理论基础与应用过程作简要分析。

1 BREACH模型

BREACH模型是一个基于数学机理的预测溃口特征(尺寸、形成时间)和溃决土坝引起的泄流水位过程线的数学模型, 该模型原理基于水力学、泥沙运动、土力学、大坝的几何属性和材料属性及水库属性(库容、溢洪道特征和取决于时间的水库入流速度)^[5]。BREACH模拟土质大坝的破坏, 所模拟大坝可为均质土坝或可能含有两种材料, 即具有显著材料属性的一个外部区域和一个内部核心区域。大坝下游面具体划分为: ①给定恰好的站立长度的植被覆盖层; ②与大坝外表部分一样的材料; ③比外表部分粒径更大的材料。

1.1 溃坝模式

BREACH模型可模拟的溃坝模式为漫顶溃坝和管涌溃坝。

收稿日期: 2015-11-04

基金项目: 水利部公益性行业科研专项项目(201501033)

作者简介: 杨德玮(1987—), 男, 江苏南京人, 博士, 主要从事水利工程风险分析与风险管理研究。

E-mail: 694176657@qq.com

(1)漫顶溃坝模式。漫顶导致溃坝的水流侵蚀,初始时如果没有草被覆盖层存在,那么假设沿着坡面存在一条较小的矩形溪流。在大坝下游坡面,逐渐切割形成一条宽度取决于深度的侵蚀河渠。河渠中的水流流量用宽顶堰关系式确定:

$$Q_b = 3B_0(H - H_c)^{1.5} \quad (1)$$

式中: Q_b 为溃口河渠中的流量; B_0 为初始矩形形状河渠的瞬时宽度; H 为坝前水位高程; H_c 为溃口底部高程。

若大坝下游坡面有一层草被覆盖层,那么沿草被覆盖的下游坡面的漫顶水流速率在每个时间步长处用曼尼公式计算。当水流速率超过容许速率时,遭受侵蚀的下游坡面开始破坏,并沿着下游坡面迅速形成一个有三维量纲(1个深度×2个宽度)的单个溪流。当没有草被覆盖层时,溪流内部的侵蚀便继续发展。沿着下游坡面的水流速率计算如下:

$$q = 3(H - H_c)^{1.5} \quad (2)$$

$$y = \left[\frac{qn'}{1.49(1/ZD)^{0.5}} \right]^{0.6} \quad (3)$$

式中: q 为每英尺堰长度的漫顶流量; $(H-H_c)$ 为超过堰顶部的静态水头; $n' = aq_b$ 为草被均匀覆盖河渠后的曼宁系数; y 为溃口河渠中水流深度; Z_D 为大坝下游坡比; a 和 b 为网格曲线系数,BREACH模型建立后自动生成; $v = q/y$ 为下游坡面水流速率。

漫顶发生时,常规假设初始溃口为矩形,水流冲刷的泥沙输移公式采用Smart^[5]修正公式运算。溃口宽度计算式如下:

$$B_0 = B_r y \quad (4)$$

式中: B_r 为基于最合适河渠水力有效作用的一个因子;对于漫顶破坏,参数 B_r 值为2,对于管涌破坏,参数 B_r 值设置为1.0。

若溃口宽度同时需要考虑溃口处两边土体的边坡角倾斜的稳定性,其函数表达如下:

$$H'_k = \frac{4C \cos \Phi \sin \theta'_{k-1}}{\gamma [1 - \cos(\theta'_{k-1} - \Phi)]} \quad k = 1, 2, 3 \quad (5)$$

式中: H'_k 为溃口处两边土体边坡角倾斜的稳定性; C 为凝聚力; γ 为土体重度; Φ 为内摩擦角。

(2)管涌溃坝模式。模拟管涌溃决时,须假设初始矩形河渠遭受侵蚀管涌后尺寸的中心线高程,并保证水库水位大于此中心线高程。同时,管涌通道底部受到向下的垂直向侵蚀,其顶部也存在向上的同样大小的垂直向侵蚀。溃口宽度见式(4),进入管涌通道的流量计算式如下:

$$Q_b = A [2g(H - H_p)/(1 + fL/D)]^{0.5} \quad (6)$$

式中: Q_b 为通过管涌通道的流量; A 为溃口横断面面积; g 为重力加速度; H_p 为中心线高程; $(H - H_p)$ 为溃口静态水头; L 为管涌通道长度; D 为管涌通道直径或宽度; f 为摩擦因数。

1.2 模型输入参数及输出结果

BREACH模型输入参数主要包括:大坝几何相似尺寸、大坝宽高值、库水位变化值、材料内外属性值和水力相关参数等^[6]。导入输入文件运行后,即可得相关输出文件,文件中含有坝体溃决的各类相关参数以及大坝溃口流量过程曲线。输出文件参数包括:①时间过程下的各出流量;②溃口参数(溃口顶部宽度、底部高程、底部宽度与最终深度等)。

2 MIKE21 模型

MIKE 21 可用于模拟河流、湖泊、河口、海湾、海岸与海洋水流、波浪、泥沙及环境,为工程应用和水库管理及规划提供了完备有效的设计环境。对于水库大坝,MIKE21 二维水动力学模型主要用于模拟水库大坝突发洪水演进、计算洪水淹没范围和洪水到达时间^[7-8]。

2.1 MIKE21 计算参数与建模过程

构建 MIKE 21 二维水动力学模型需要的基础数据主要包括:①地形数据,主要指计算范围内地形地貌。

这些数据可以是 DEM,电子海图,CAD 图等,但都需要前期处理才能用于 MIKE21 中。采用 DEM 数据,通过 ArcGIS 生成初始地形文件。②工程建筑物参数,指计算范围内水库大坝基本尺寸,闸门,溢洪道,涵洞管道以及道路桥梁尺寸。③水文数据,包括降雨和上下游边界数据(流量,水位)。④糙率,糙率是一个影响比较大的参数,如果没有实测糙率,则需根据历史水文数据,对结果进行率定,进而确定糙率。⑤其他,主要包括波浪、风以及潮位等数据^[9]。MIKE 21 模型建模主要步骤如下:①准备地形和水文数据等,确定计算范围。②Mesh Generator 生成 mesh 文件。③在 MIKE21 中选择 Flow Model(FM)生成模拟文件。④结果后处理,将 MIKE21 中的成果转换为 ArcGIS 可读 shp 文件,并在 ArcGIS 编辑洪水要素后整理出图^[10-11]。

2.2 模型耦合分析

基于水库大坝的相关参数,通过 Breach 模型计算获得溃口流量过程与溃口形态变化,计算所得结果导入 MIKE21 模型中作为洪源要素。耦合分析的计算次序是迭代的,进入溃口的水流取决于溃口的底部高程及其宽度,而溃口属性特征取决于溃口的尺寸和流量。BREACH 初次计算出溃口流量与溃口尺寸,作为洪源数据导入 MIKE21 中模拟运行,提取 mesh 文件中溃口所在网格淹没水深并得出计算历时下的溃口流量,若此流量与 BREACH 计算所得溃口流量差值小于 $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$,即满足精度要求,所得结果可输出后处理;若差值大于 $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$,须将溃口流量与初次计算溃口尺寸迭代至 BREACH 模型中再次模拟计算直至所得结果满足精度要求。

3 工程实例

3.1 工程概况与计算工况

常庄水库位于郑州市贾鲁河支流贾峪河,总库容 $1\,708 \text{ 万 m}^3$,属中型水库,由于水库地理位置非常重要,按照大型水库管理。水库正常蓄水位 130.00 m ,汛限制水位 127.49 m ,死水位 118.93 m 。洪水标准采用 100 年一遇设计,设计洪水流量为 $761 \text{ m}^3/\text{s}$,相应设计洪水位 131.34 m ;5 000 年一遇校核,校核洪水流量为 $2\,308 \text{ m}^3/\text{s}$,相应校核洪水位 135.07 m 。

常庄水库大坝为均质土坝,土料以轻粉质壤土为主,其次为重粉质沙壤土,防渗措施采用塑性混凝土防渗墙。坝体最大坝高 26.28 m ,坝顶高程 135.80 m ,坝顶宽 8 m ,坝顶长 380 m ,坝顶防浪墙高 0.9 m ,墙顶高程 136.43 m ,墙体结构为现浇混凝土。上游坡比 $1:3.07$,并设有边长 25 cm 预制六棱块体护坡;下游坡比 $1:2.54$,并铺设草皮护坡。鉴于大坝材质与护坡情况,常庄水库大坝满足 BREACH 模拟要求。

依据《常庄水库大坝安全管理应急预案》^[12],并结合常庄水库工程实际情况,常庄水库可能发生的洪水突发事件如下:①工况 1,遭遇 100 年一遇洪水,主坝发生管涌溃坝。可能在输水洞出口高程 118.93 m 处渗水管涌导致溃坝。②工况 2,遭遇 5 000 年一遇洪水,主坝发生漫顶溃坝。洪水通过溢洪道和输水洞下泄,但因闸门出现故障不能全部打开,导致库水位迅速上涨并漫顶溃坝。

3.2 溃口流量过程

工况 1,溃口破坏模拟总历时为 1.576 h ,溃口洪水流量在 $0.012 \sim 0.126 \text{ h}$ 内迅猛增大,到 0.126 h 时达到峰值流量 $4\,875.40 \text{ m}^3/\text{s}$,溃口顶部和底部宽度分别为 28.65 和 17.71 m ,最大深度为 20.31 m ,溃口侧边坡比为 0.27 。工况 2,溃口破坏模拟总历时也为 1.576 h ,溃口洪水流量在 $0 \sim 0.172 \text{ h}$ 内迅猛增大,到 0.172 h 时达到峰值 $7\,206.17 \text{ m}^3/\text{s}$,溃口顶部和底部宽度分别为 49.41 和 32.32 m ,最大深度为 25.99 m ,溃口侧边坡比为 0.33 。溃口流量过程曲线如图 1。

3.3 溃坝洪水模拟

MIKE21 建模主要步骤为:①准备地形数据和水文数据等,确定计算范围。②Mesh Generator 生成 mesh

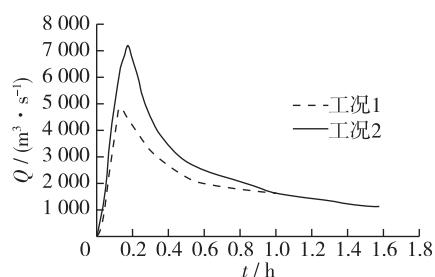


图1 溃口流量过程

Fig. 1 Breach flow hydrograph

文件。mesh 文件由 MIKE ZERO 建立,包括网格划分、网格差值和 mesh 文件。③建立时间序列文件用作边界条件。模型主要考虑溃坝洪水作为洪源,将其概化为溃口流量点,通过耦合 BREACH 模型模拟水库溃口流量过程。④在 MIKE21 中选择 Flow Model(FM)生成模拟文件。⑤结果后处理,将 MIKE21 中的成果转换为 ArcGIS 可读 shp 文件,并在 ArcGIS 编辑洪水要素后整理出图。MIKE21 成果文件、shp 文件见图 2。

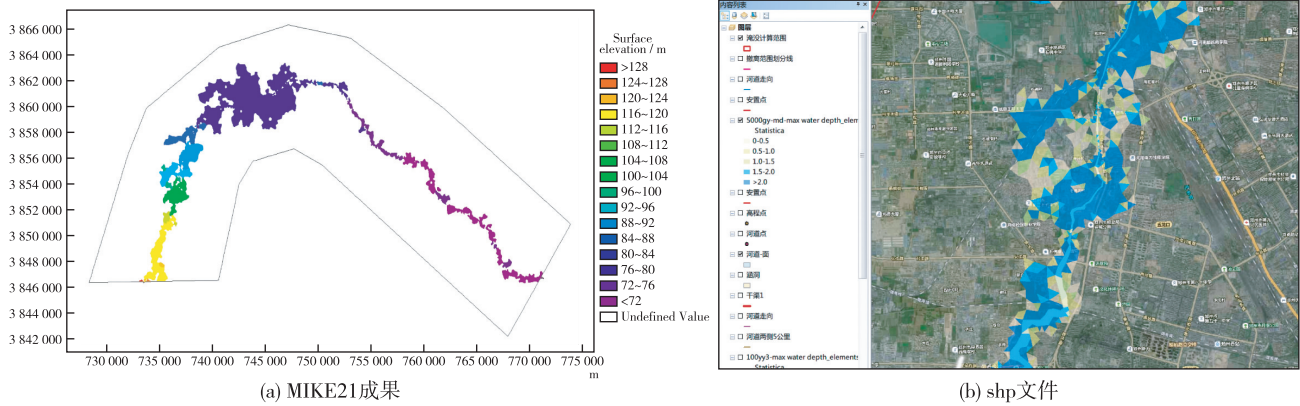


图2 模型成果文件示意

Fig. 2 Model results files

经 MIKE21 计算,工况 1 溃坝洪水淹没 4 个乡镇、22 个村落、8 条道路;工况 2 溃坝洪水淹没 4 个乡镇、45 个村落、13 条道路。两种工况下,洪水淹没区域与到达时间如图 3。

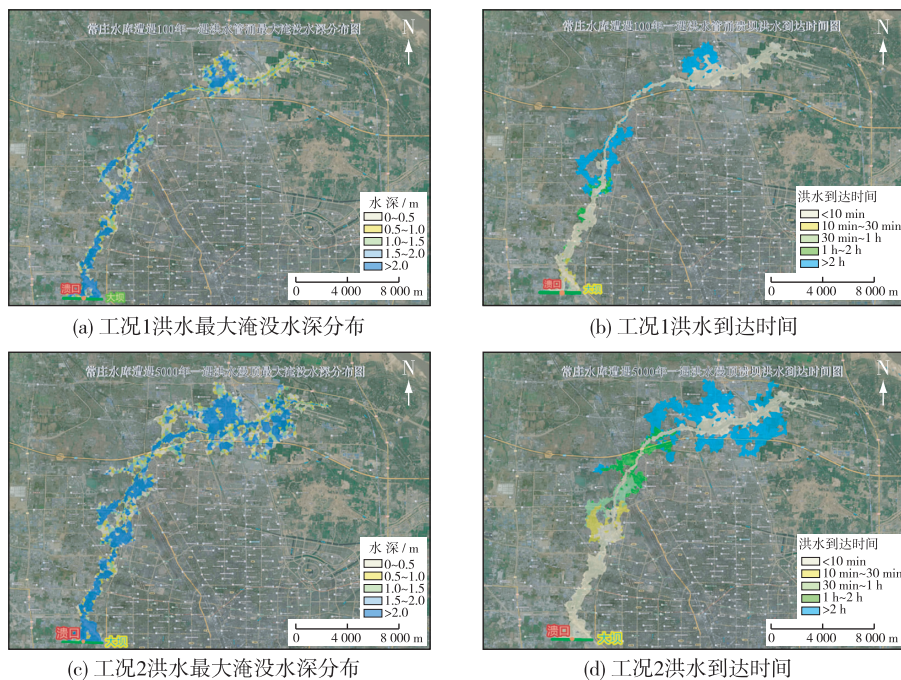


图3 两种工况下洪水模拟结果

Fig. 3 Flood simulated results of two working conditions

根据现有情况,对常庄水库避难安置点进行了大致规划,淹没区居民可以根据路程情况就近避难。水库下游沿河道左右两岸共规划了 4 个安置点。各类突发事件应急转移可参考相应的洪水到达时间图,突发事件发生前应提前预警,保证充分的转移时间。突发事件及其建议通知转移时间见表 1。

表 1 突发事件及其建议通知转移时间

Tab. 1 Emergency and time for personnel transfer

工况	转移范围	洪水到达时间	建议通知转移时间
工况 1	坝址以北、中原西路以南	10 min	溃坝前 5 h 以上
	中原西路以北、化工路以南淹没区	10~30 min	溃坝前 3 h 以上
	化工路以北、科学大道以南淹没区	30 min~1 h	溃坝前
	科学大道以北、连霍高速以南淹没区	1~2 h	溃坝后 30 min 以内
	连霍高速以北淹没区	2 h 之后	溃坝后 1 h 以内
工况 2	坝址以北、中原西路以南	10 min	溃坝前 5 h 以上
	中原西路以北、化工路以南淹没区	10~30 min	溃坝前 3 h 以上
	化工路以北、科学大道以南淹没区	30 min~1 h	溃坝前
	科学大道以北、连霍高速以南淹没区	1~2 h	溃坝后 30 min 以内
	天河路以西淹没区	2 h 之后	溃坝后 1 h 以内

4 结 语

BREACH 模型和 MIKE21 模型耦合分析能准确计算水库大坝溃口动态数据与溃口尺寸、并有效模拟溃坝洪水演进过程,为编制水库大坝安全管理与应急预案提供了可靠的洪水风险信息,对洪水预警预报及人员撤离等具有一定参考价值。通过常庄水库溃坝洪水模拟计算结果表明,BREACH 模型和 MIKE21 模型耦合分析方法较适合目前水库大坝突发洪水模拟的需求。但建模过程繁杂、计算历时长,如何构建 BREACH 与 MIKE21 软件接口并优化耦合接驳过程需做进一步研究。

参 考 文 献:

- [1] 陈象. 土石坝溃坝及其灾害研究[D]. 广西: 广西大学, 2011: 3-28. (CHEN Xiang. Study on earth dam-break and its disaster [D]. Guangxi: Guangxi University, 2011: 3-28. (in Chinese))
- [2] 周清勇, 傅琼华. Breach 模型与 River2D 模型在土石坝溃坝中的耦合分析[J]. 吉林水利, 2015(1): 15-18. (ZHOU Qing-yong, FU Qiong-hua. Coupling analysis of Breach model an River2D model in earth dam failure[J]. Jilin Water Resources, 2015 (1): 15-18. (in Chinese))
- [3] 周清勇, 周建云. BREACH 模型在土石坝中的应用分析[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2014(3): 1-5. (ZHOU Qing-yong, ZHOU Jian-yun. Application analysis of BREACH model in earth rockfill dam[J]. Theoretical Study on Urban Construction (Electronic Version), 2014(3): 1-5. (in Chinese))
- [4] 吴海伟. 基于 MIKE 的金盆水库超标溃坝洪水二维数值模拟研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2013: 12-35. (WU Hai-wei. Study on 2-D numerical simulation of extream dam break floods in Jinpen reservoir with Mike[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2013: 12-35. (in Chinese))
- [5] FREAD D L. A breach erosion model for earthen dam[R]. Silver Spring: NOAA, 1984: 1-6.
- [6] FREAD D L. Breach: An erosion model for earthen dam failures[R]. Maryland: Hydrologic Research Laboratory, National Weather Service, NOAA, 1988: 1-8.
- [7] 袁雄燕, 徐德龙, 丹麦 MIKE21 模型在桥渡壅水计算中的应用研究[J]. 人民长江, 2006, 37(4): 31-33. (YUAN Xiong-yan, XU De-long. Research on application of Danish MIKE21 model in computation of backwater caused by bridge piers[J]. Yangtze River, 2006, 37(4): 31-33. (in Chinese))
- [8] 王晓青, 李哲. SWAT 与 MIKE21 耦合模型及其在澎溪河流域的应用[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(3): 426-431. (WANG Xiao-qing, LI Zhe. SWAT and MIKE21 coupled models and their application in Pengxi watershed[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2015, 24(3): 426-431. (in Chinese))
- [9] 初祁, 彭定志, 徐宗学, 等. 基于 MIKE11 和 MIKE21 的城市暴雨洪涝灾害风险分析[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2014, 50(5): 446-451. (CHU Qi, PENG Ding-zhi, XU Zong-xue, et al. Risk analysis of urban flooding by using MIKE 11 and MIKE 21[J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 2014, 50(5): 446-451. (in Chinese))

- [10] 顾立忠, 关琨, 郑国栋, 等. 浅谈 MIKE21 模型地形前处理技巧[J]. 广东水利水电, 2008(8): 122-124. (GU Li-zhong, GUAN Kun, ZHEN Guo-dong, et al. The pre-processing techniques of MIKE21 topographic model[J]. Guangdong Water Resources and Hydropower, 2008(8): 122-124. (in Chinese))
- [11] 田庆, 陈美阳, 田慧云, 等. ArcGIS 地理信息系统详解[M]. 北京: 北京希望电子出版社, 2014: 39-64. (TIAN qing, CHEN Mei-yang, TIAN Hui-yun, et al. ArcGIS geographic information system detailed[M]. Beijing: Beijing Hope Electronic Press, 2014: 39-64. (in Chinese))
- [12] 王晓航, 杨德玮, 彭雪辉, 等. 常庄水库大坝安全管理应急预案[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2014: 4-13. (WANG Xiao-hang, YANG De-wei, PENG Xue-hui, et al. Emergency response plan for Changzhuang reservoir dam safety management [R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2014: 4-13. (in Chinese))

Coupling analysis of MIKE21 model and BREACH model for dam-break risk

YANG De-wei^{1,2}, SHENG Jin-bao^{1,2}, PENG Xue-hui^{1,2}, HE Jia-zhuo¹

(1. *Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China*; 2. *Dam Safety Management Center of the Ministry of Water Resources, Nanjing 210029, China*)

Abstract: The BREACH model is widely used to simulate overtopping and piping dam-break model of the reservoir dams and obtain the relationships between breach flow and time. The MIKE21 model is commonly used to simulate the two-dimensional hydrodynamics of lakes, estuaries, bays and other areas and obtain the flood risk information elements within flood plains. Coupling analysis of two models has a positive effect in the protection of the reservoir dam safety operation and risk management. Based on the analysis of two models application examples in recent years, starting from the modeling principle of BREACH model, simulation of the breach dynamic flow data process and the breach evolution size with BREACH model can obtain the combining input parameters of BREACH model. Through ArcGIS preconditioning terrain file, the engineering structure parameters and hydrological data, a MIKE21 two-dimensional hydrodynamic model is developed, which is divided into the unstructured triangular grid and computational grid difference spaces, and via the Flow Model a two-dimensional hydrodynamic simulation file is generated for the dam-break flood. Coupling the two models by an iterative method to judge the breach flow differences (the differences between the flood flow of the grids where the breach is placed in MIKE21 model and the calculated breach flow in BREACH model) whether to meet the accuracy requirements. Finally, combining with the general engineering situation of the reservoir dams needed to be analyzed, the reservoir dam-break flood submerged water depth, submerged area and flood incoming time are calculated under the different risk conditions, and then the dam-break flood routing process is simulated. This method is successfully applied to the risk analysis and emergency plan preparation for Changzhuang reservoir in Zhengzhou City of Henan Province. The analysis results show that the method can objectively reflect the dam-break flood situations, being easy to use, and provide some technical supports in working out the emergency measures for the operation and management of the reservoir dam.

Key words: BREACH model; MIKE21 model; dam break risk; coupling analysis