基于 MIKE 建模的城市生态公园行洪能力分析

张伟超，宋 策，郭梦京，任 雷
（西安理工大学 陕西省西北旱区生态水利工程重点实验室，陕西 西安 710048）

摘 要：[目的] 预测并分析工程对河道行洪能力变化的影响，为城市生态公园工程防洪影响评价提供研究技术方法。[方法] 基于 MIKE 21 建立城市生态公园工程河段的平面二维水流数学模型，以渭河宝鸡段为例，选取 1954 型洪水过程验证模型合理性，模拟 3 种典型流量下河道流场和水位的变化特征，讨论城市生态公园修建后对河道行洪能力的安全影响。[结果] 3 种典型流量洪水下沿线水位均低于堤顶高程，对城市行洪安全不构成威胁，因此行洪安全可以保证。但由于河道行洪宽度变窄左岸流速增大，加剧了对岸堤的冲刷，采取岸堤加固措施是极为必要的。[结论] 河道形状的改变会影响水的流态，水流速度过大会影响河堤结构稳定性，最终影响河道的行洪能力。

关键词：MIKE 模型；行洪能力；流场分析；城市生态公园
文献标识码：B **文章编号**：1000-288X(2017)01-0128-04 **中图分类号**：TV131.4

文献参数：张伟超，宋策，郭梦京，等. 基于 MIKE 建模的城市生态公园行洪能力分析[J]. 水土保持通报，2017，37(1)：128-131. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2017.01.023；Zhang Weichao，Song Ce，Guo Mengjing，et al. Flood discharging capacity of urban ecological park based on MIKE modeling[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation，2017，37(1)：128-131. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2017.01.023

Flood Discharging Capacity of Urban Ecological Park Based on MIKE Modeling

ZHANG Weichao，SONG Ce，GUO Mengjing，REN Lei
（*State Key Laboratory of Eco-hydraulic Engineering of Northwest Arid Area in Shaanxi，Xi'an University of Technology，Xi'an，Shaanxi* 710048，*China*）

Abstract：[Objective] The study aims to predict and analyze the project impacts on the river flood discharging capacity，and provide methods for assessing flood controlling impacts of urban ecological park projects. [Methods] Based on MIKE 21，we constructed a 2-dimension water flow model for urban ecological park section in Weihe River in Baoji City，selected 1954 flooding process to verify the rationality of the model，and simulated three typical flow characteristics of flow field and changes in water level and discuss the urban ecological park impacts on river flood discharging capacity. [Results] Under the three typical flow flooding events，the water level along the river was below embankment and not a threat to urban flood discharging safety，and the flooding safety can be guaranteed. But as a result of flooding passage narrowing and increasing velocity，the erosion of the embankment was intensified，and reinforcement measures was urgently needed. [Conclusion] The river shape will affect the flow regime. The higher water flow speed will affect the stability of embankment structure thus influencing the river flood discharging capacity.

Keywords：**MIKE modeling；flood discharging capacity；flow flood analysis；urban ecology garden**

城市生态公园是近年来备受关注的一个研究领域[1-3]。城市生态公园经过合理的开发利用，形成了集生态保护和休闲于一体的综合性公园[4]，不但可以改善现在城市普遍面临的水体污染、水环境质量变差等问题，而且可以充分体现其生态环境保护和社会生态经济效益。但是城市生态公园的建设必然会使河道受到影响，导致河道行洪断面减小，水位抬高，对河道行洪安全带来一定的风险。城市生态公园与其他

收稿日期：2016-08-19 **修回日期**：2016-09-09
资助项目：国家重点基础科学研究发展计划(973)项目“西北旱区山洪致灾机理及防治研究”(2012CB723201)；西安理工大学水利水电学院开放基金 (2016ZZKT-37)
第一作者：张伟超(1992—)，男(汉族)，陕西省西安市人，硕士研究生，研究方向为水环境模拟。E-mail：lan_yan_lei@126.com。
通讯作者：郭梦京(1986—)，男(汉族)，山西省运城市人，博士，讲师，研究方向为水环境模拟。E-mail：916874373@qq.com。

天然湿地最大不同在于其紧邻城市[5-6],考虑到其特殊的地理位置因素和安全因素,在城市生态公园建设时,对其安全性有着非常高的要求。由于公园的修建将对河道行洪能力和流场产生影响,因此其是否会对河堤抗洪能力产生影响是工程设计中最关心的问题。河道行洪能力分析常用的数学模拟软件主要有 MIKE,FLUENT,SMS 等,其中 MIKE 软件应用较为广泛,成功进行了河流水源地的水质风险评估、水库下游淹没区模,电厂扩建温排水等方面的模拟研究[7-9]。

基于此,本文拟采用 MIKE 平面二维水流数学模型,研究渭河宝鸡段城市生态公园修建后,河道洪水过程中的流场状况,河道冲刷变形情况,以期为河道防洪影响评价提供理论依据。

1　材料与方法

天然水流是三维的,需要用三维的 Navier-Stokes 方程来描述。对于具有 600 m 堤距的渭河宝鸡段河道来说,由于流动在垂向的尺度比平面尺度小得多,物理量沿水深分布不均匀的影响是次要的,动水压力分布与静水压力十分接近,因此可以用静压假定对流动控制方程进行简化,使用沿水深方向平均的浅水方程及平面二维水流数学模型来计算河道内的流场。这里采用以雷诺平均化 N-S 方程为基础的平面二维水流数学模型。

1.1　基本方程

求解水流运动的基本方程为:

(1) 水流连续性方程:

$$\frac{\partial \xi}{\partial \mathrm{t}}+\frac{\partial p}{\partial \mathrm{x}}+\frac{\partial q}{\partial y}=S_{\mathrm{S}} \tag{1}$$

式中:$\xi(x,y,t)$ ——水流表面波动(m);p ——压力;q ——流量;S_{S} ——单位水平面积的源量值(m/s)。

(2) 水流动量方程。

① x 方向动量方程:

$$S_{ix}=\frac{\partial p}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{p^2}{h}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{pq}{h}\right)+gh\ \frac{\partial \xi}{\partial x}+\frac{g\sqrt{\frac{p^2}{h^2}+\frac{q^2}{h^2}\times\frac{p}{h}}}{C^2}-fVV_x+\frac{h}{p_w}\times\frac{\partial p_n}{\partial x}-\Omega q-\frac{\partial}{\partial x}\left(2Eh\ \frac{\partial u}{\partial x}\right)-\frac{\partial}{\partial y}\left[Eh\left(\frac{\partial u}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial x}\right)\right]+\frac{1}{\rho_w}F_x \tag{2}$$

② y 方向动量方程:

$$S_{iy}=\frac{\partial p}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{p^2}{h}\right)+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{pq}{h}\right)+gh\ \frac{\partial \xi}{\partial y}+\frac{g\sqrt{\frac{p^2}{h^2}+\frac{q^2}{h^2}\times\frac{p}{h}}}{C^2}-fVV_y+\frac{h}{\rho_w}\times\frac{\partial p_n}{\partial y}-\Omega q-\frac{\partial}{\partial y}\left(2Eh\ \frac{\partial u}{\partial y}\right)-\frac{\partial}{\partial x}\left[Eh\left(\frac{\partial u}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial x}\right)\right]+\frac{1}{\rho_w}F_y \tag{3}$$

式中:u ——速度分量;h ——水深(m);F_x,F_y ——波浪应力所产生的分量;S_{ix},S_{iy} ——在 X 轴和 Y 轴方向的源汇量值(m^2/s^2);C ——Chezy 阻力常数($m^{1/2}/s$);$E(x,y)$ ——旋涡或动量扩散系数(m^2/s);f ——风的摩阻力常数($m^{1/2}/s$);V_x,$V_y(x,y,t)$ ——在 X 轴和 Y 轴方向上的风速分量(m^2/s);Ω——旋转角度(rad/s);g——重力加速度(m/s^2);V——流速(m/s)。

1.2　地形条件

地形由渭河宝鸡段城市生态公园工程沿线实测河道地形资料获得,并依据此地形建立模型计算网格,采用三角网格,确定计算网格大小为 100 m^2,节点数为 10 884,网格数为 21 143。

1.3　初始及边界条件

模型初始条件的变量包括流量、流速、水位,计算区域内流量和水位为计算相应的初值,流速为零。即:$u(\xi,\eta,t_0)=0$,$v(\xi,\eta,t_0)=0$,$w(\xi,\eta,t_0)=0$。

模型计算时上游进口边界采用流量条件,下游出口边界采用水位条件,河床糙率取值根据河床结构取 0.033。

1.4　模型验证

根据河道上下游断面资料,采用曼宁公式计算得出水位流量关系,代入模型进行计算,其计算结果与实测资料基本一致,说明本模型的水动力学理论符合实际,可用来模拟不同工况下河道的流场[10-14]。根据河道实测地形资料和河道平面图将其划分为 9 个断面,对本模型计算的水面线成果进行合理性分析。

由表 1 可以看出,在 D_4(550 m)断面与 D_6(1 750 m)断面之间,河道主槽缩窄,河道过流断面变小,且缩窄段长约 1.2 km,河道水面比降因壅水在 D_5 以上变化平缓;经过 D_6 断面,河道在突然收缩之后又快速拓宽,拓宽段长约 400 m,河道水位在 D_5(1 300 m)与 D_6(1 650 m)区间内出现跌水,D_7(2 200 m)断面与 D_9(2 850 m)断面之间平面地形变化不大,河道过流断面顺直,水位变化相对比较平稳,说明计算水面线形态符合水面线与河槽平面形态的对应关系,本模型

计算结果合理。此外，通过模型计算的百年一遇流量洪水水面线和水文局百年流量实测基本一致，证明了模型的准确性，可以进行城市生态公园的行洪能力模拟与分析。

表 1 百年一遇流量条件下水面线对比

项 目	不同断面水面线/m								
	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7	D_8	D_9	D_{10}	D_{11}
观测值①	569.46	568.92	568.15	567.21	566.41	565.91	565.49	565.10	564.62
模拟值②	569.47	569.11	568.39	566.57	565.47	564.94	564.60	563.99	563.79

注：① 水文局百年流量观测水面线(1972 年)；② 模型计算百年一遇流量洪水水面线。

2 结果与分析

为了研究渭河宝鸡段城市生态公园工程沿线河道在不同流量量级条件下的水位、流场，分析渭河宝鸡段城市生态公园工程的防洪影响，拟定如下工况进行模拟计算。① 设计流量(3 000 m^3/s)条件下模拟河道的流场；② 1954 型特征洪水(5 030 m^3/s)条件下模拟河道的流场；③ 百年一遇流量(7 260 m^3/s)条件下模拟河道的流场，分别模拟 3 种工况的河道水位。

城市生态公园子堤设计流量为 3 000 m^3/s，对此工况下行洪能力进行模拟，模拟结果如图 1 所示。由图 1 可知，设计流量洪水水位沿线均低于子堤堤顶高程，表明设计流量洪水发生时不会漫过子堤，对城市行洪安全不构成威胁，因此设计条件下子堤行洪是安全的。若发生 1954 年型的大洪水，在距离子堤首段 850～1 300 m 范围内子堤堤顶的高程不足，届时洪水会经由此处出现漫溢，威胁到城市行洪的安全，更危险时可能会在此处出现决口，造成更大程度的损失。因此，应该对该段河堤进行加固与增高，以应对特征流量洪水带来的威胁，保证河道行洪能力。

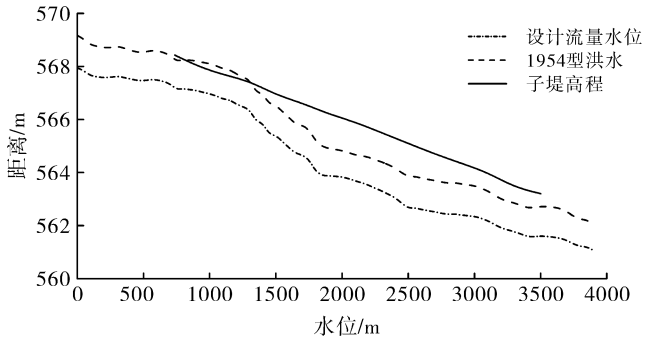


图 1 河道设计水位与堤防高程的对比分析

虽然河道缩窄使河道行洪能力在一定程度上受到影响，但研究表明百年一遇洪水水位并没有超过渭河宝鸡段左右大堤的实测堤顶高程(图 2)，大堤行洪安全没有受到威胁，说明城市生态公园工程不对大堤行洪安全产生影响，城市生态公园在安全性方面具有可靠性。

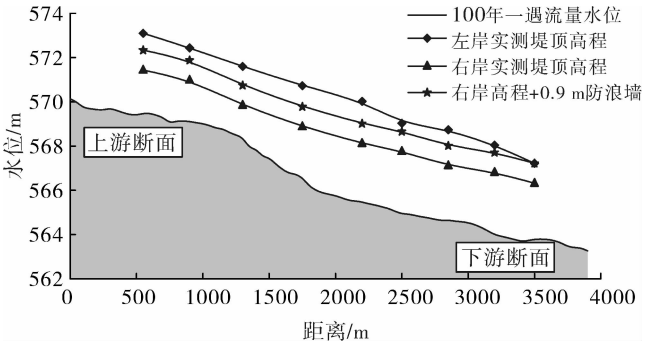


图 2 河道 100 年一遇流量水位与大堤高程比分析

根据上述模型对 3 种工况下河道流场变化进行模拟计算，河道流场计算成果如图 3 所示。

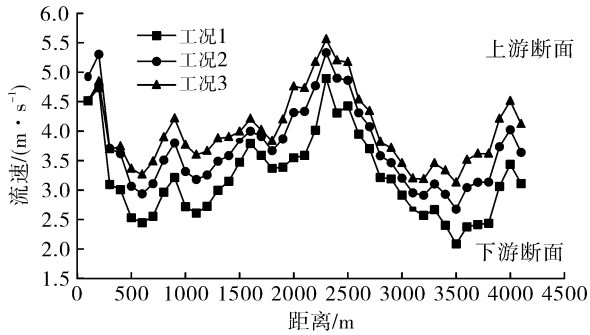


图 3 3 种工况下流速及流场变化

由图 3 可以看出，在工况 1(设计流量)条件下，受子堤的影响河道过流面积变小，在 D_1—D_3 河段宽度逐渐减小但变化幅度不大，河道流速也受河宽影响有所波动；在 D_4—D_6 段河道主槽变窄，河道过流面积变小，流速逐渐增大，最大流速出现在 2 250 m 里程处约为 4.7 m/s；D_6－D_8 河段，河道主槽宽度增大，河道流速减小为 2.1 m/s；D_9 断面处河道主槽变窄河道流速增大到 3.5 m/s。河道左岸流场密集，较大的流速会对左岸护坡造成影响，子堤附近的水位较低，大部分流场的流速约为 2.0 m/s 不会对子堤构成威

胁。在工况 2(1954 型洪水)条件下，随着上游来水增加，河道流速明显加大，尤其在 D_4—D_6 河段，河道左岸流速最大约为 5.4 m/s，与工况 1 相比，河道左岸流场密集度有所增加，高流速带加长，对左岸护坡影响变大。对于工况 3(100 年一遇流量)情况，来水条件大于工况 1 和工况 2，河道流速明显增强，D_4—D_6 河段左岸流速提高到约 5.7 m/s，对左岸堤脚构成威胁，应对河岸堤脚进行加固措施，D_9 断面处流速同样很高，但不靠近堤岸，不会对堤岸造成影响。

3　讨论与结论

建立 MIKE 平面二维水流数学模型，以渭河宝鸡段城市生态公园为实例，通过对不同工况下的水位、流场，及行洪能力的模拟分析，评价工程对河道行洪能力的影响。根据模拟结果，在 1954 型洪水(Q=5 030 m^3/s)和 100 年一遇流量下(Q=7 260 m^3/s)，河道流速分别达到 5.4 和 5.7 m/s，从流场分布图可以明显看出，河道左岸流场密集度有所增加，高流速带加长，对左岸护坡影响变大。在 D_4—D_6 段由于河道宽度变窄流速到达峰值，因此在该河段应设置相应的护坡和堤脚保护措施，预防由于高流速洪水的冲刷，河堤被掏空。结果表明河道形状的改变会影响水的流态，水流速度过大会影响河堤结构稳定性最终影响河道的行洪能力，本研究成果可以为流域内类似工程的修建提供借鉴意义。

[参 考 文 献]

[1] Duan N, Liu X D, Dai J, et al. Evaluating the environmental impacts of an urban wetland park based on emergy accounting and life cycle assessment: A case study in Beijing[J]. Ecological Modelling, 2011,222(2):351-359.

[2] Li Yufeng, Liu Hongyu, Zheng Nan, et al. Analysis of trophic status and its influence factors of different water body types in Xixi National Wetland Park, China[J]. Procedia Environmental Sciences, 2010(2):768-780.

[3] Li Xiaoping, Chen Manman, Anderson B C. Design and performance of a water quality treatment wetland in a public park in Shanghai, China[J]. Ecological Engineering, 2009,35(1):18-24.

[4] Johnston J. Nature Areas For City People[M]. London: Ecology Unit, 1990.

[5] 邓毅.城市生态公园的发展及其概念之探讨[J].中国园林,2003,19(12):51-53.

[6] 唐铭.西北地区城市生态公园评价体系研究:以兰州银滩生态公园为例[J].山东农业大学学报:自然科学版,2010,41(1):80-86.

[7] 宋策,谭奇林.水电工程干扰下饮用水水源地的水质风险评估[J].长江流域资源与环境,2013,22(1):59-65.

[8] 刘冀,李伟,张弛,等.碧流河水库下游河道行洪能力及洪水淹没模拟[J].中国农村水利水电,2008(2):22-25.

[9] 王庆改,戴文楠,赵晓宏,等.基于 Mike21 FM 的来宾电厂扩建工程温排水数值模拟研究[J].环境科学研究,2009,22(3):332-336.

[10] 李大鸣,管永宽,李玲玲,等.蓄滞洪区洪水演进数学模型研究及应用[J].水利水运工程学报,2011(3):27-35.

[11] 李大鸣,林毅,徐亚男,等.河道、滞洪区洪水演进数学模型[J].天津大学学报:自然科学与工程技术版,2009,42(1):47-55.

[12] Savage B M, Johnson M C. Flow over ogee spillway: Physical and numerical model case study[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2001,127(8): 640-649.

[13] 何杰,辛文杰.含有紊动黏性项浅水方程的数值求解[J].水利水运工程学报,2010(3):95-100.

[14] 高庆先,胡铭,杨新兴,等,湖泊流体动力学模型及其应用[J].环境科学研究,2001,14(6):29-32.

(上接第 127 页)

[3] 李小静,李俊奇,王文亮.美国雨水管理标准剖析及其对我国的启示[J].给水排水,2014,40(6):119-123.

[4] 建设部.《海绵城市建设设技术指南:低影响开发雨水系统构建(试行)》[S].北京:中国建筑工业出版社,2014.

[5] 住房城乡建设部.(GB5400-2006.2006)建筑与小区雨水利用工程技术规范[S].北京:光明日报业出版社,2006.

[6] 建设部.(GB50318-2000)城市排水工程规划规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2001.

[7] 徐得潜,汪维伟,余育速.合肥市建筑小区雨水利用设计方法探讨[J].水土保持通报,2016,36(5):225-230.

[8] 左其亭,陈耀斌.具有多个水文站的多支流河流典型年选取方法[J].水文,2012,32(2):1-4.

[9] 湖南大学西安冶金建筑学院.水文学[M].北京:中国建筑工业出版社,1979.

[10] 王彩娟.合肥市建筑与小区雨水及中水利用研究[D].合肥:合肥工业大学,2010.

[11] 建设部.(GB50015-2009)建筑给水排水设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2007.

[12] 建设部.(GB/T50378-2014)绿色建筑评价标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2015.

[13] 合肥市规划局编研中心.《合肥市建筑与小区雨水利用科研报告》[R].合肥:2008.

[14] 徐得潜,李兴彩,张丽峰,等.合肥市建筑与小区雨水利用[J].武汉大学学报:工学版,2009,42(6):741-744.