

# 基于 InfoWorks ICM 模型的合流排水渠箱 优化调度研究

杨 辉<sup>1</sup>, 陈绎浪<sup>1</sup>, 周午阳<sup>2</sup>, 孙志民<sup>2</sup>

(1. 沈阳建筑大学市政与环境工程学院, 辽宁 沈阳 110168; 2. 广州市市政工程设计研究总院有限公司, 广东 广州 510060)

**摘要** 目的 优化广州市东濠涌(珠江广州段河道)流域的合流排水渠箱泄水闸的运行方式, 解决泄水闸开闸频繁的问题. 方法 基于 InfoWorks ICM 软件, 建立东濠涌流域的排水系统水力模型, 筛选实测的降雨量和液位, 以中雨、暴雨降雨数据用于模型参数的确定, 大雨降雨数据用于模型验证, 模型模拟得到最优开闸液位. 结果 优化后的合流排水渠箱泄水闸最优开闸液位为 2.80 m, 较之人工操作的开闸最高液位 2 m 提升了 0.8 m; 泄水闸运行方式优化后, 2017 年 1 月~2017 年 7 月减少开闸次数 7 次, 等比例换算至年开闸次数减少比例为 77%、减少泄水闸年泄水量总和为 378 669.13 m<sup>3</sup>. 结论 经验证后 InfoWorks ICM 水力模型可靠性高, 可模拟分析得到最优开闸液位, 更有效地防止内涝、减少河涌污染.

**关键词** Info Works ICM 模型; 合流排水; 开闸液位; 运行优化

中图分类号 TU992 文献标志码 A

## Optimal Scheduling of Combined Drainage Tanks Based on InfoWorks ICM Model

YANG Hui<sup>1</sup>, CHEN Yilang<sup>1</sup>, ZHOU Wuyang<sup>2</sup>, SUN Zhimin<sup>2</sup>

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168; 2. Guangzhou Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Guangzhou, China, 510060)

**Abstract:** The purpose of this paper is to optimize the operation mode of the sluice gate of the combined drainage tank in the DongHaochong, Guangzhou (Guangzhou Reach of Pearl River), and to solve the problem of frequent opening of the sluice gate. The hydraulic model of the drainage system in the DongHaochong basin is established based on InfoWorks ICM software. The measuring rainfall and liquid level data are screened, and mid-rain and rainstorm data are used to determine the model parameters, the heavy rain data for model verification, and the optimal level of sluice opening is obtained by model simulation. The results show that the optimal level of sluice

收稿日期:2018-03-22

基金项目:国家重大科技专项水专项(2018ZX07601-001)

作者简介:杨辉(1973—),女,副教授,主要从事水污染控制工程理论与技术等方面研究.

opening of the combined drainage tank is 2.80 m, which is 0.8 m higher than the manual operation of the maximum liquid level of 2 m. Since the operation mode optimized of the sluice gate, the number of opening trips is reduced 7 times from January to July 2017, and annual number reduced 77% by equal proportion conversion, and the sum of the annual discharges of the sluice gates is reduced by 378669.13 m<sup>3</sup>. So the InfoWorks ICM hydraulic model has high reliability. The optimal opening liquid level can be obtained by the model, which can effectively prevent waterlogging and reduce river pollution.

**Key words:** InfoWorks ICM model; combined drainage; opening liquid level; operation optimization

InfoWorks ICM 水力模型以科学准确的方式真实完整地模拟城市排水系统<sup>[1-7]</sup>. GIS 空间分析系统与排水系统一维模型无缝对接,为排水系统研究提供强大助力<sup>[8-11]</sup>. 唐智等<sup>[12]</sup>利用 InfoWorks ICM 模型对武汉长江隧道进行暴雨渍水风险评估,探讨了长江隧道渍水灾害等级的划分. 黄国如等<sup>[13-14]</sup>基于 InfoWorks ICM,建立了海口市主城区的水力模型,选用3场实测暴雨和不同重现期设计暴雨进行模拟分析,模型能较好地评估研究区域的排水能力. 笔者基于 InfoWorks ICM 水力模型,利用实测降雨量和在线监测液位,模拟广州市东濠涌流域雨天合流排水渠箱的水力情况,优化其泄水闸的开闸液位,从而更有效地防止内涝、减少河涌污染.

## 1 建立 InfoWorks ICM 水力模型

### 1.1 东濠涌排水系统介绍

东濠涌是珠江广州段河道,其流域内为合流制排水系统. 生活污水及雨水经排水干管接入合流排水渠箱,渠箱末端设置泄水闸门. 降雨时,当雨污水总量超过排水干管负荷,渠箱内液位达到一定高度时会产生内涝风险,只能通过开启泄水闸,将合流污水排入东濠涌,降低城市内涝风险.

合流排水渠箱为东濠涌流域排水系统中的一条大渠箱,全长约 2 466 m,宽高为 1.5 m × 1.8 m ~ 6.0 m × 2.2 m. 东濠涌流域排水系统如图 1 所示

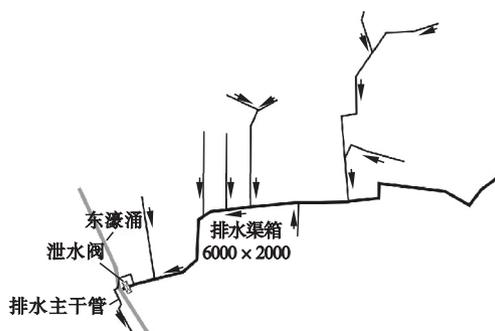


图 1 东濠涌流域排水系统示意图

Fig. 1 Schematic diagram of drainage system in Donghaochong basin

### 1.2 建立东濠涌排水系统水力模型

根据东濠涌流域排水管网、闸站、泵站和河涌排水等有关数据,建立东濠涌排水系统一维模型. 东濠涌流域排水系统一维模型包含雨水分区、污水分区、河流和建筑边界、检查井、管道、泵组及闸门等. 录入地表高程及等高线等,利用 GIS 空间分析工具生成东濠涌流域地理模型. 将地理模型与东濠涌排水系统一维模型耦合,进而建成排水系统 InfoWorks ICM 二维水力模型.

## 2 模型验证

针对东濠涌流域排水管网,选取液位监测点,建立降雨量及雨水井内液位在线监测系统,实现远程实时对排水管网关键点的降雨量、液位在线监测和数据采集<sup>[15]</sup>. 根据降雨量计算雨天排水管网中的液位,模拟其管网的水力过程,将模拟数据与对应实测数据拟合对比,确定模型参数并对其验证.

### 2.1 动态数据监测

#### 2.1.1 监测点选取

排水管网关键节点的液位等对排水模型的边界条件确定和模型校核起着重要作用. 根据合流排水渠箱区域历史水浸点记录, 得到液位监测点 2、液位监测点 3 和液位监测点 4 为内涝监测点, 井深分别为 2.3 m、2.5 m 和 2.8 m, 其中液位监测点 2 地势最低为最不利点; 液位监测点 1 为泄水闸前液位监测点. 设 1 个雨量监测点, 位于合流排水渠箱汇水区域的中心地带. 各监测点安装位置如图 2 所示.

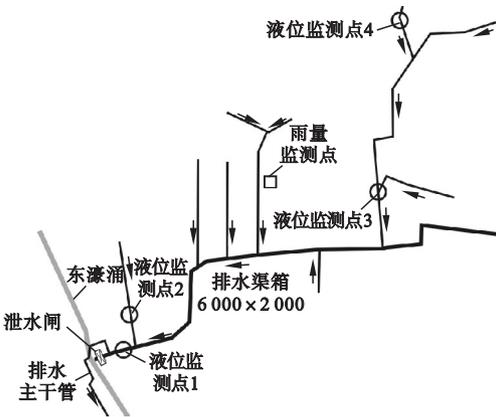


图 2 动态数据监测点位置示意图

Fig. 2 Schematic diagram of dynamic data monitoring point location

#### 2.1.2 数据采集设备

采集数据主要包括降雨量和液位, 其采集设备分别为雨量计和液位计. 雨量计和液位计测得的数据传输到服务器后台, 进行储存并处理, 实现各监测点的实时在线监测.

(1) 雨量计. 选用北京华云生产的触发翻斗式雨量计. 触发翻斗式雨量计测量东濠涌流域地区一段时间内的降雨量. 将观测降雨量转换为开关量电信号输出, 使之能满足降雨信息数据传输、记录与显示的进一步需要, 可与遥测终端等设备配套使用. 考虑到远程输出和控制, 雨量计尽量设置在液位计布置点, 以便共同使用同一远程控制终端连接服务器. 雨量计安装如图 3 所示.



图 3 雨量计安装示意图

Fig. 3 Schematic diagram for installation of rain gauge

(2) 液位计. 液位计用于测量检查井或管渠中自由水面的高低, 即液位. 选用安布雷拉厂商提供的压力式液位计. 液位计外形及与数据传输终端设备的衔接如图 4 所示. 图 5 为液位计安装示意图.

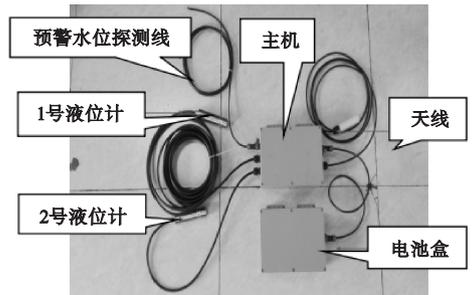


图 4 液位计与数据传输设备衔接图

Fig. 4 Connection diagram of level gauge and data transmission equipment

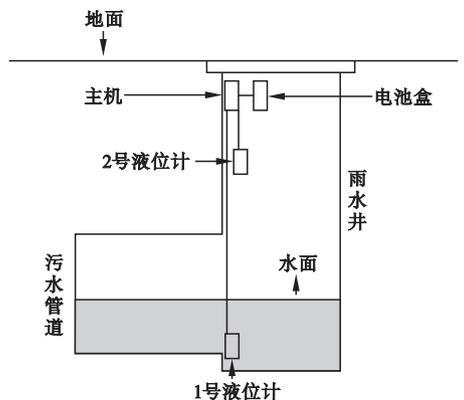


图 5 液位计安装示意

Fig. 5 Schematic diagram for installation of liquid level gauge

## 2.2 降雨数据筛选

按照《降水量等级标准》(GB T 28592—2012)划分降雨等级,分为小雨、中雨、大雨、暴雨、大暴雨和特大暴雨.笔者将雨量监测点测得的降雨数据按照降雨等级划分标准进行预处理.降雨等级为小雨时,无内涝风险,泄水闸无需开启;降雨等级为大暴雨以上时,东濠涌液位较高,往往顶托合流排水渠箱中的雨污水,导致无法泄流.因而在大暴雨降临前,预先排泄合流排水渠箱污水,同时预泄东濠涌景观水以降低东濠涌液位,最大限度保证排水顺畅,此种情况开闸液位优化空间小<sup>[16-18]</sup>,故不考虑小雨、大暴雨及特大暴雨雨型的优化.2017年1月~2017年7月共测得有效降雨18场,根据雨型的优化筛选原则选取其中6场降雨,按降雨实测数据划分成中雨、大雨、暴雨各2组;其中,中雨、暴雨降雨数据用于模型参数的确定,大雨降雨数据用于模型验证.选取的实测降雨量如表1所示.不同雨量下各监测点液位数据如表2所示.

表1 实测降雨量

Table 1 Measured data of rainfall

降雨编号	日期	降雨等级	降雨量/mm
1	2017-03-22	中雨	10.1
2	2017-05-07	大雨	22
3	2017-03-31	暴雨	40
4	2017-06-14	中雨	14.5
5	2017-06-21	大雨	18
6	2017-03-18	暴雨	65

表2 不同监测点实测液位

Table 2 Measured data of different monitoring point

降雨编号	液位/m			
	监测点1	监测点2	监测点3	监测点4
1	1.04	0.60	0.38	0.23
2	1.81	1.39	1.33	0.96
3	2.32	1.89	1.19	0.92
4	1.38	1.04	0.63	0.65
5	1.62	1.20	0.91	0.75
6	1.94	1.56	0.73	0.61

## 2.3 模型参数调整及校核

泄水闸主要作用是暴雨泄流,防止内涝.故采用液位峰值和峰值时间作为结果对比指标.将中雨、暴雨降雨数据输入模型运行模拟,根据模拟结果和实测数据的比对结果,重新核对管网信息和开闸记录,局部调整径流系数和汇水面积分配,完成模型参数的调整.为进一步验证模型,检验模型模拟输出结果的精度,将大雨降雨数据输入模型运行模拟,得到模拟结果.模拟与实测数据对比如表3所示.

表3 模拟与实测数据对比

Table 3 Comparison of simulated and measured data

降雨编号	监测点编号	液位/m	
		实测	模拟
2	监测点1	1.81	1.84
	监测点2	1.39	1.42
	监测点3	1.33	1.32
	监测点4	0.96	0.97
5	监测点1	1.62	1.62
	监测点2	1.2	1.09
	监测点3	0.91	0.92
	监测点4	0.75	0.76

监测点液位的实测值与模拟值相对误差在10%以内,模型模拟吻合度较高,故认为模型校核完成,可用于现状评估和优化模拟.

## 3 泄水闸运行现状评估

对降雨编号为1~6号的闸门开启状态和内涝监测点水浸风险分析,明确泄水闸的现状运行,优化泄水闸开闸液位.

人工操作时,泄水闸默认开闸液位为2 m,但根据操作人员经验,实际开闸液位会有所变化.根据闸站提供的开闸时间记录,开闸液位对应监测点1的液位高度.1~6号降雨的闸门启闭状态如表4所示.

表4 泄水闸启闭状态

Table 4 Opening and closing state of the sluice

降雨编号	监测点1 液位	开闸	闸门启闭
	峰值/m	液位/m	状态
1	1.04	未开闸	闭
2	1.81	1.70	开
3	2.32	2.30	开
4	1.38	未开闸	闭
5	1.62	未开闸	闭
6	1.94	1.94	开

从表4可以看出,降雨编号为1号、4号和5号时,闸门未开启,且各内涝监测点液位低于地面,合流排水渠箱汇水区域无内涝风险;2号、3号和6号降雨时,闸门有开启,最高液位时水面离地面距离如表5所示。

表5 最高液位时水面离地面距离

Table 5 Distance between the water surface and the ground at the highest liquid level

降雨编号	监测点编号	最高液位时水面离地面距离/m
2	监测点2	0.91
	监测点3	1.17
	监测点4	1.84
3	监测点2	0.41
	监测点3	1.31
	监测点4	1.88
6	监测点2	0.74
	监测点3	1.77
	监测点4	2.19

由表2、表4、表5得出:不同降雨条件下,监测点2井内水面距离地面高度最小,即为最不利点;降雨编号为2号、开闸液位为1.7 m时,各内涝监测点最高液位下水面与地面距离最小0.9 m;降雨编号为3号,开闸液位高于经验开闸液位为2.3 m时,各内涝监测点最高液位下水面与地面距离最小为0.41 m,尚未有水浸风险;6号降雨下,开闸液位1.94 m时,内涝监测点最高液位下水面与地面距离至少0.76 m。可见,泄水闸门人

工调度趋于保守,开闸液位可优化空间较大。

## 4 泄水闸开闸液位优化模拟

开闸液位的优化原则是:在减少内涝的前提下,尽可能地提高开闸液位,减少开闸次数,从而减少开闸泄水导致的河涌污染。

### 4.1 降雨选取及水浸风险界限判定

选取降雨量大、监测点液位较高的数据进行优化模拟,再辅以广州中心城区各重现期设计降雨进一步模拟分析,最后得出最优开闸液位。对比选取2017-05-04、2017-05-08~2017-05-09、2017-05-15~2017-05-16、2017-07-15降雨时的实时监测数据及利用广州市中心城区最新暴雨强度公式分别计算重现期 $P=0.25$ 、 $P=0.5$ 、 $P=1$ 、 $P=2$ 和 $P=5$ ,降雨历时120min的设计降雨量。选取的用于优化模拟的降雨量数据如表6、表7所示。

表6 实际测得降雨量

Table 6 Measured data of rainfall volume

日期	降雨量/mm	雨型
2017-05-04	32.0	暴雨
2017-05-08~2017-05-09	41.8	暴雨
2017-05-15~2017-05-16	64.2	暴雨
2017-07-15	55.9	暴雨

表7 不同重现期下的降雨量

Table 7 Rainfall volume of different recurrence interval

重现期 $P$	计算降雨量/mm	雨型
0.25	41.8	暴雨
0.5	53.4	暴雨
1	65.9	暴雨
2	78.3	大暴雨
5	95.5	大暴雨

《室外排水设计规范》(GB50014—2006)规定,至少有一条车道积水高度不得超过0.15 m,积水时间不超过30 min。考虑到内涝点积水高度和积水时间难以控制,优化模拟应控制内涝点不产生积水,即控制内

涝点检查井内液位不高于地面;考虑该模型最大误差为 0.2 m,故在开闸液位优化模拟过程中,防止水漫界限控制标准为:内涝点液位不高于对应地面以下 0.2 m.

### 4.2 开闸液位优化模拟

以 2017-05-15 ~ 2017-05-16 暴雨的开闸液位优化模拟. 设定开闸液位分别为 2.0 m、2.5 m 和 3.0 m,输入降雨量数据进行水力模拟. 利用 ICM 水力模型软件中管道纵剖视图功能和节点液位变化曲线图功能,分析最不利监测点 2 井内最高水面高度. 开闸液位 2.5 m 时,监测点 2 井内最高水面距离地面

0.51 m;开闸液位 3.0 m 时,监测点 2 井内最高水面距离地面 0.03 m,故监测点 2 井内最高水面距离地面 0.20 m 的临界状态对应的开闸液位应位于 2.5 ~ 3.0 m;在 2.5 ~ 3.0 m 区间内设定具体开闸液位,输入降雨量数据进行水力模拟,分析得到该临界状态对应的开闸液位为 2.8 m. 2017-05-15 ~ 2017-05-16 降雨量下,最优开闸液位为 2.8 m 时,监测点 2 井内水位 2.1 m、距地面 0.2 m,监测点 3 井内水位 1.1 m、距地面 1.7 m,监测点 4 井内水位 0.7 m、距地面 1.8 m. 此时,管道最不利水力剖面图见图 6、图 7.

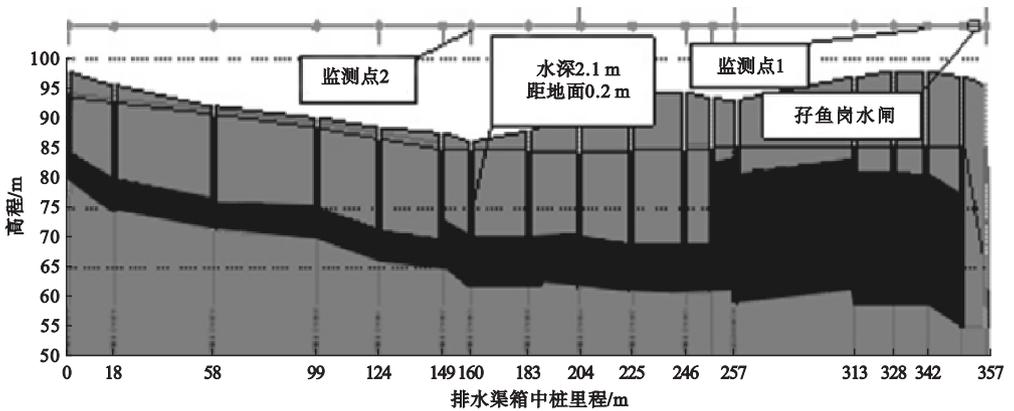


图 6 监测点 1、2 最优开闸液位管道水力纵剖面

Fig. 6 Hydraulic longitudinal section of pipeline at the optimal opening liquid level of sluice at monitoring points 1 and 2

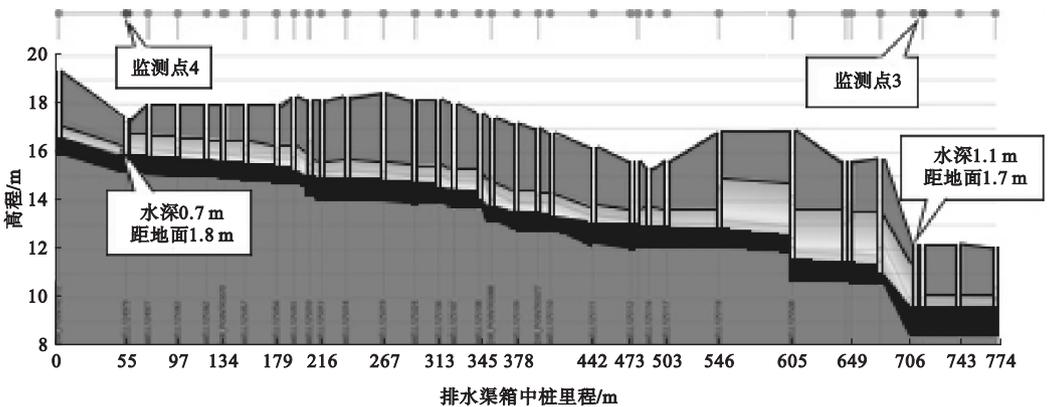


图 7 监测点 3、4 最优开闸液位管道水力纵剖面

Fig. 7 Hydraulic longitudinal section of pipeline at the optimal opening liquid level of sluice at monitoring points 3 and 4

### 4.3 开闸液位优化模拟结果

经优化模拟可以得到各降雨对应的最优

开闸液位(见表 8).

表8 不同降雨量对应最优开闸液位

Table 8 Optimum opening level of sluice at different rainfall volume

降雨量/mm	实际开闸液位/m	最优开闸液位/m
32.0	1.80	无需开闸
41.8	1.30	无需开闸
64.2	1.40	2.80
55.9	1.90	2.87
41.8	2.00	2.90
53.4	2.00	2.85
65.9	2.00	2.80
78.3	2.00	提前开闸预泄
95.5	2.00	提前开闸预泄

从表6~表8可以看出,2017-05-04和2017-05-08~2017-05-09暴雨下,泄水闸始终关闭的模拟结果为均无内涝发生,不需开闸泄流,进一步验证泄水闸启闭控制有很大优化空间.2017-07-15、 $P = 0.25$ 、 $P = 0.5$ 及 $P = 1$ 的降雨量下,即暴雨及暴雨以下降雨对应的最优开闸液位最低为2.8 m. $P = 2$ 、 $P = 5$ 时各监测点液位模拟结果如表9、表10所示.

表9  $P = 2$ 时监测点液位模拟结果Table 9 Simulated results of liquid level of monitoring point at  $P = 2$ 

开闸液位/m	最高液位/m		
	监测点2	监测点3	监测点4
2.0	2.23	2.37	1.25
2.5	2.25	2.38	1.25
3.0	2.27	2.45	1.25

表10  $P = 5$ 时监测点液位模拟结果Table 10 Simulated results of liquid level of monitoring point at  $P = 5$ 

开闸液位/m	最高液位/m		
	监测点2	监测点3	监测点4
2.0	2.45	2.9	1.34
2.5	2.45	2.9	1.34
3.0	2.46	3	1.34

从表9和表10可以看出,重现期 $P = 2$

和重现期 $P = 5$ 的大暴雨下,泄水闸闸前液位达到2.0 m及以上后开闸,3个内涝监测点的最高液位基本一致,分析其原因为河涌液位已大幅涨高,泄水闸的泄流作用大大降低.故调度中心应根据气象预测即将来临的大暴雨或特大暴雨,需对合流排水渠箱进行开闸预泄调度.分析得出,开闸液位最终优化为2.8 m.

## 5 结论

(1)建立东濠涌排水系统 InfoWorks ICM 二维水力模型,利用2017年1月~2017年7月有效降雨量数据校核验证,相对误差在10%以内,模型模拟吻合度较高.

(2)InfoWorks ICM 模型模拟优化后,合流排水渠箱泄水闸开闸液位为较之人工操作的开闸最高液位2 m提升了0.8 m;优化后泄水闸开闸次数减少7次,等比例换算至年开闸次数减少比例为77%,减少泄水闸年泄水量总和为378 669.13 m<sup>3</sup>.

(3)开闸液位优化后,在不发生内涝基础上,可减少泄水闸开闸次数,削减污水排放量,有效降低河涌污染.

## 参考文献

- [1] RISTENPART E. Planning of stormwater management with a new model for drainage best management practices [J]. Water science technology, 1999, 39(9): 253-260.
- [2] ARTINA S, BOLOGNESI A, LISERRA T, et al. Simulation of a storm sewer network in industrial area; comparison between models calibrated through experimental data [J]. Environmental model software, 2007, 22(8): 1221-1228.
- [3] 郭芝瑞,崔建国,张峰,等.基于InfoWorks ICM的城市排水调蓄池位置选择[J].给水排水, 2016, 42(2): 49-52.  
(GUO Zhirui, CUI Jianguo, ZHANG Feng, et al. Locating of storage tank for the urban drainage system based on InfoWorks ICM [J]. Water & wastewater engineering, 2016, 42(2): 49-52.)
- [4] MARK O, WEESAKUL S, APIRUMANEKUL C, et al. Potential and limitations of 1D modelling of urban flooding [J]. Journal of hydrology, 2004, 299(3): 284-299.

- [5] 汉京超. 应用 InfoWorks ICM 软件优化排水系统提标方案[J]. 中国给水排水, 2014, 30(11):34-38.  
(HAN Jingchao. Optimization of upgrading schemes of drainage systems by InfoWorks ICM software[J]. China water & wastewater, 2014, 30(11):34-38.)
- [6] 刘翠云, 车伍, 董朝阳. 分流制雨水与合流制溢流水质的比较[J]. 给水排水, 2007, 33(4):51-55.  
(LIU Cuiyun, CHE Wu, DONG Chaoyang. Sewer water quality comparison of separate discharge and combined overflow[J]. Water & wastewater engineering, 2007, 33(4):51-55.)
- [7] 车伍, 刘燕, 李俊奇. 国内外城市雨水水质及污染控制[J]. 给水排水, 2003, 9(10):38-42.  
(CHE Wu, LIU Yan, LI Junqi. Urban rainwater quality and pollution control at home and abroad[J]. Water & wastewater engineering, 2003, 9(10):38-42.)
- [8] 冯良记, 张明亮. 城市排水管网明满过渡流模型的研究及应用[J]. 中国给水排水, 2009, 25(23):131-134.  
(FENG Liangji, ZHANG Mingliang. Study and application of free-surface-pressurized flow mathematical model for urban drainage networks[J]. China water & wastewater, 2009, 25(23):131-134.)
- [9] 肖鸣. CAD 数据向 GIS 空间数据库转换方法[J]. 测绘信息与工程, 2007, 32(3):13-15.  
(XIAO Ming. Implementation of data transformation method from CAD to GIS[J]. Journal of geomatics, 2007, 32(3):13-15.)
- [10] 解以扬, 韩素芹, 由立宏, 等. 天津市暴雨内涝灾害风险分析[J]. 气象科学, 2004, 24(3):342-349.  
(XIE Yiyang, HAN Suqin, YOU Lihong, et al. Risk analysis of heavy rain and waterlogging disasters in Tianjin [J]. Journal of the meteorological sciences, 2004, 24(3):342-349.)
- [11] 刘志生, 李晶, 崔凯, 等. 基于 ArcGIS 与 InfoWorks 的城市排水系统模拟研究[J]. 中国给水排水, 2013, 29(21):144-147.  
(LIU Zhisheng, LI Jing, CUI Kai, et al. Simulation of urban drainage system based on ArcGIS and InfoWorks [J]. China water & wastewater, 2013, 29(21):144-147.)
- [12] 唐智, 刘非, 方正, 等. 城市水底隧道暴雨渍水灾害应急预案研究[J]. 中国给水排水, 2015, 1:24-28.  
(TANG Zhi, LIU Fei, FANG Zheng, et al. Research on emergency plan for rainstorm waterlogging in urban underwater tunnels[J]. China water & wastewater, 2015, 1:24-28.)
- [13] 黄国如, 吴思远. 基于 InfoWorks CS 的雨水利用措施对城市雨洪影响的模拟研究[J]. 水电能源科学, 2013, 31(5):1-4.  
(HUANG Guoru, WU Siyuan. Simulating study on the effect of rainwater utilization measures on urban stormwater based on InfoWorks CS[J]. Water resources and power, 2013, 31(5):1-4.)
- [14] 黄国如, 王欣, 黄维. 基于 InfoWorks ICM 模型的城市暴雨内涝模拟[J]. 水电能源科学, 2017, 35(2):66-70.  
(HUANG Guoru, WANG Xin, HUANG Wei. Simulation of rainstorm water logging in urban area based on InfoWorks ICM model [J]. Water resources and power, 2017, 35(2):66-70.)
- [15] 周午阳, 孙志民, 汤舒. 深层隧道排水区域液位在线监测系统研究[J]. 中国给水排水, 2018, 34(1):1-6.  
(ZHOU Wuyang, SUN Zhimin, TANG Shu. Research on liquid level on-line monitoring system of deep tunnel drainage basin[J]. China water & wastewater, 2018, 34(1):1-6.)
- [16] 杨雪, 车伍, 李俊奇, 等. 国内外对合流制管道溢流污染的控制与管理[J]. 中国给水排水, 2008, 24(16):7-11.  
(YANG Xue, CHE Wu, LI Junqi, et al. Control and management of combined sewer overflow pollution at home and abroad[J]. China water & wastewater, 2008, 24(16):7-11.)
- [17] 张盛楠, 李震, 王文琴, 等. 基于 InfoWorks CS 的景观河道汛期暴雨调度研究[J]. 供水技术, 2017, 11(2):16-19.  
(ZHANG Shengnan, LI Zhen, WANG Wenqin, et al. Study on scheduling of rainstorm from city landscape river in flood season based on InfoWorks CS[J]. Water technology, 2017, 11(2):16-19.)
- [18] 余文公. 水闸调度研究[J]. 浙江水利科技, 2015, 5:76-80.  
(YU Wengong. Sluice scheduling research [J]. Zhejiang hydrotechnics, 2015, 5:76-80.)  
(责任编辑:徐玉梅 英文审校:唐玉兰)