

# 基于典型年法的海绵城市建设控制指标研究

潘笑文, 徐得潜

(合肥工业大学 土木与水利工程学院, 安徽 合肥 230009)

**摘要:** [目的] 探讨海绵城市建设控制指标年径流总量控制率的确定方法, 为海绵城市建设控制指标的合理确定提供新的思路。[方法] 结合中国目前海绵城市建设相关规范及研究成果, 分析关于年径流总量控制目标确定方法的合理性。以合肥市为例, 分别采用长序列法、典型年法、外排径流系数法、逐日水量平衡法对相关问题进行研究, 探讨不同年径流总量控制率对外排径流系数的影响及不同规模雨水调蓄设施的实际控制效果。[结果] 提出控制指标的典型年计算法, 并总结了外排径流系数随年径流总量控制率变大不能无限减小的规律, 提出采用雨水利用有效容积这一指标来校核年径流总量控制率提高的适宜范围。[结论] 典型年计算方法与雨水系统设计重现期相对应。结合对实际雨水总量控制率的研究, 可为海绵城市建设中径流总量控制目标的确定提供新的思路。

**关键词:** 海绵城市; 年径流总量控制率; 典型年法; 长序列法

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1000-288X(2017)01-0123-05

**中图分类号:** TU992

**文献参数:** 潘笑文, 徐得潜. 基于典型年法的海绵城市建设控制指标研究[J]. 水土保持通报, 2017, 37(1): 123-127. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.01.022; Pan Xiaowen, Xu Deqian. Research on control index in sponge city construction using typical hydrological year method[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(1): 123-127. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.01.022

## Research on Control Index in Sponge City Construction Using Typical Hydrological Year Method

PAN Xiaowen, XU Deqian

(College of Civil and Hydraulic Engineering, Hefei University of Technology, Hefei, Anhui 230009, China)

**Abstract:** [Objective] The determination method for total annual runoff volume is investigated in order to provide a new idea for the determination of control index of sponge city construction. [Methods] Combining with the relevant standards and research achievements in the construction of sponge city in China, the rationality about the method to determine the total annual runoff volume control at present are analyzed. Hefei City was taken as an case to discuss relevant problems using typical hydrological year method, long-term runoff serials method, runoff coefficient method and daily water balance method. The effect of variation of runoff control rate on control targets and the actual rainfall control of rainwater storage facilities in different scales were explored. [Results] This paper proposes a typical hydrological year method, and finds that the runoff control rate cannot be unlimitedly reduced with the rise of total annual runoff volume control target. The effective volume of rainwater utilization can be used to check the suitable range of total annual runoff control. [Conclusion] The typical hydrological year method, combining well with the design return period of rainwater system and its application in studying actual rain volume control, provides a new idea for the determination of runoff volume control in sponge city construction.

**Keywords:** sponge city; total runoff volume control; typical hydrological year method; long-term runoff serials method

收稿日期: 2016-05-29

修回日期: 2016-06-23

资助项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助“城市内涝风险评估与雨水排水系统优化设计研究”(21920150505)

第一作者: 潘笑文(1991—), 女(汉族), 辽宁省大连市人, 硕士研究生, 研究方向为城镇给水排水工程与技术。E-mail: Panxw0926@163.com。

通讯作者: 徐得潜(1960—), 男(汉族), 安徽省青阳市人, 博士, 教授, 主要从事水资源利用与环境保护, 建筑给水排水工程, 给水排水工程优化规划与经济运行研究。E-mail: xudeqian60@163.com。

确定低影响开发控制目标与指标是海绵城市建设的城市总体规划阶段中极为关键的一步,直接影响相关专业的协调与规划内容、控制指标的分解与落实以及投入使用的最终效果。控制指标具体表现为径流总量控制、径流峰值控制、径流污染控制、雨水资源化利用等。一般选择径流总量控制作为低影响开发雨水系统构建的重要控制目标<sup>[1]</sup>。

年径流总量控制率是指通过自然和人工强化的渗透、调蓄、利用、蒸发、蒸腾等方式,场地内累计全年得到控制(不外排)的雨量占全年总降雨量的比例<sup>[2]</sup>,理想状态下以开发建设后径流排放量接近开发建设前自然地貌时的径流排放量为标准。2009年美国环保局颁布的“雨水径流减排技术导则”中,径流总量目标为“控制 95% 年降雨场次”,即认为年径流总量控制率为 95% 时与未开发前的自然地貌年均下渗量一致<sup>[3]</sup>。

中国《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》<sup>[4]</sup>(简称《指南》)中未对年径流总量控制率的确定方法提出统一的要求,但提出,应通过对排水系统总体评估、内涝风险评估等,明确低影响开发雨水系统径流总量控制目标,并针对当前不具备广泛使用模型模拟法的阶段,详细介绍了按多年日降雨量排序的长序列计算方法确定控制指标的步骤。本文拟通过介绍控制指标的典型年计算方法,并研究年径流总量控制率对外排径流系数的定量影响,同时结合连续降雨情况分析指标的实际年径流总量控制率,以期为海绵城市建设控制指标的合理确定提供新的思路,对建设项目的落实及最终效果起到把控作用。

## 1 研究方法

### 1.1 长序列计算法

长序列分析法以反映长期的降雨规律为目标,对长序列日降雨量数据进统计分析,并据此给出建设区域年径流总量控制率推荐值。《指南》对中国近 200 个城市 1983—2012 年日降雨量进行了统计分析,扣除小降雨事件,将日降雨量由小到大进行排序,统计小于某一降雨量的降雨总量(小于该降雨量的按真实雨量计算出降雨总量,大于该降雨量的按该降雨量计算出降雨总量,两者累计总和)占总降雨量的比率,此比率即为年径流总量控制率,对应的降雨量(日值)即为设计降雨量。根据以上方法将中国大陆地区大致分为 5 个区,给出各区年径流总量控制率的取值范围,以供不具备长序列降雨数据的地区参考。

长序列分析法是目前中国在海绵城市建设总体

规划阶段中确定控制指标最为常用的方法,既可以根据当地多年日降雨量的数据进行统计分析得到年径流总量控制指标,也可以通过查询径流总量控制率分区图得到。长序列分析法快捷高效,在中国雨水管网模型建立不完善的情况下具有较好的操作性。可以看出,目前对年径流总量控制率这一指标的理解主要集中在多年平均这一概念上,在此基础上的长序列法采用多年日降雨量数据统一排序,并没有明确体现“年控制”的概念。其次,中国雨水系统设计标准采用重现期法,而长序列法无法与其一一对应。同时,长序列法是通过日降雨量排序,按照控制年降雨量的比例来确定设计降雨量的,实际上打乱了日降雨过程的自然排序,在连续降雨事件中,由于雨水回用系统设计用水量不能完全排空蓄水池的日储蓄量,造成了雨水外泄,因此,年径流总量控制率这一指标对年降雨量的实际控制效果仍需进行探讨。

### 1.2 典型年计算法

典型年法即按多年年降雨量作为寻找设计年的参数,选择有代表性的年降水过程作为实际的降水数据输入。中国雨水系统设计标准采用重现期法,《建筑与小区雨水利用工程技术规范》<sup>[5]</sup>(简称《技术规范》)中规定,雨水利用系统设计重现期不得小于 1 a,宜按 2 a 确定。《城市排水工程规划规范》<sup>[6]</sup>中规定,重要干道、地区或短期积水能引起严重后果的地区,重现期宜采用 3~5 a。同时,对于给定的城市建筑与小区,外排流量径流系数、雨水径流总量控制率及设计重现期三者之间存在一一对应关系<sup>[7]</sup>。对设计标准不同的城区,当年径流总量基本一致时,年径流总量控制率将随着设计重现期的增大而减小,因此,结合设计重现期选取可靠的内涝保证率对应的典型年是合理的,综合选择设计重现期为 2, 3, 5 a 对应的内涝保证率,作为确定典型年的标准。

将多年降雨量以年为单位从小到大排序,统计小于某一年的降雨量占总降雨量比例为 50%, 65%, 80%(设计重现期分别为 2, 3, 5 a 时的年份作为设计典型年,将该比率定义为海绵城市建设的内涝保证率。内涝保证率为 50% 的典型年实际上即为平均年,即当年降雨量等于该地多年降雨量平均值时的年份。当有 2 个以上年份的年降雨量值与设计典型年降雨量值比较接近时,应按照年内分配最不利的原则进一步选择确定,使得设计偏于安全<sup>[8]</sup>。将典型年内日降雨量由小到大排序,统计小于某一降雨量的降雨总量占总降雨量的比率,即得出典型年法计算下的年径流总量控制率及对应的设计降雨量。

### 1.3 外排径流系数计算

按照长序列法、典型年法计算的设计降雨量值来指导设计雨水利用规模,是以控制年均雨量径流系数接近未开发前的状况为目的的,现校核这一指标对外排径流系数,即形成高峰流量的历时内降雨强度与总降雨量强度之比的影响。由于影响因素复杂,目前都采用间接的方法推求洪峰流量径流系数值,即用扣除平均损失强度的方法解决<sup>[9]</sup>,按照计算的雨水利用控制规模在小区基础规模上进行扩建,并计算该小区应对不同重现期暴雨的外排径流系数:

$$\varphi_m = 1 - \frac{u}{A} \tau^n \quad (1)$$

式中:  $\varphi_m$  ——流量径流系数;  $\mu$  ——产流期间总损失强度,为入渗强度  $\mu_1$  与雨水利用强度  $\mu_2$  之和 (mm/min);  $A$  ——设计暴雨强度 (mm/min);  $\tau$  ——设计降雨历时,包括地面集水时间  $t_1$ ,管渠流行时间  $t_2$ ;  $n$  ——暴雨强度衰减指数;损失强度统一按下式计算<sup>[10]</sup>。

$$\mu = 16.7 \times \frac{3600\alpha K A_s t J + W}{\varphi_c t F} \quad (2)$$

$$V = 10H\varphi_c F \quad (3)$$

式中:  $\alpha$  ——综合系数,取 0.8;  $K$  ——土壤渗透系数,取  $10^{-5}$  m/s;  $J$  ——水力坡度,取 1.0;  $A_s$  ——有效下渗面积 ( $\text{hm}^2$ );  $\varphi_c$  ——综合雨量径流系数,按下垫面种类加权计算,取 0.7;  $F$  ——集水面积 ( $\text{hm}^2$ );  $W$  ——雨水利用有效容积,根据设计降雨历时内降雨量及蓄水池容积确定,并小于等于蓄水池容积 ( $\text{m}^3$ );  $V$  ——雨水利用设施容积 ( $\text{m}^3$ );  $H$  ——设计降雨量 (mm)。

## 2 实例分析

采用合肥市 1985—2014 年共 30 年日降雨量数据进行海绵城市建设控制指标确定方法的研究,详细分析了与不同设计重现期相对应的典型年法的计算结果。以合肥市滨湖假日 F-3 居住小区为例研究不同年径流总量控制率对外排径流系数的定量影响,同时结合连续降雨情况分析指标的实际年径流总量控制率。

### 2.1 基本资料

合肥市位于安徽省中部,多年平均蒸发量 1 514 mm,降水量 984 mm,多年平均最大最小年降水量分别为 1 506.1 mm (1991 年)、502.7 mm (1978 年)。未进行低影响开发建设时,滨湖假日小区基础规模如下:规划总面积 139 592  $\text{m}^2$ ,屋面面积 25 126  $\text{m}^2$ ;绿地面积 60 025  $\text{m}^2$ ;道路面积 27 290  $\text{m}^2$ ;广场面积 14 696  $\text{m}^2$ ;停车场面积 6 648  $\text{m}^2$ ,有效下渗区域主

要包括透水铺砖式停车场、绿地面积。地面集水时间  $t_1$  取 15 min,管渠流行时间  $t_2$  按照管渠最小流速 0.75 m/s,汇流最长距离 528 m 计算,取 11 min。根据《建排》<sup>[11]</sup> 中有关小区用水量相关条例,该规划区域绿地浇灌及道路、广场浇洒用水取 3.0 L/( $\text{m}^2 \cdot \text{d}$ );水景补水量按日均蒸发量 4.15 mm/( $\text{m}^2 \cdot \text{d}$ )计;车辆每周清洗 1 次,车辆数 1 845 辆,需水量 13.18  $\text{m}^3/\text{d}$ ;《技术规范》规定最高日设计用水量不宜小于集水面日雨水设计径流量的 40%,按两者中较大值确定该小区日雨水利用量,雨天雨水利用量为 0。

### 2.2 控制指标的确定

按长序列计算法对合肥市近 30 a 日降雨量数据进行分析,算得不同年径流总量控制率对应的设计降雨量并与《指南》、《绿色建筑评价标准》(简称《标准》)<sup>[12]</sup> 中针对合肥地区的设计降雨量推荐值对比(见表 1)。

表 1 长序列法计算值与推荐值比较

方法	不同年径流总量控制率对应的设计降雨量/mm				
	60%	70%	75%	80%	85%
《标准》	—	17.2	—	—	30.2
《指南》	13.1	18.0	21.3	25.6	31.3
长序列法	13.0	17.9	21.1	25.4	31.2

可见,在相同的年径流总量控制率下,利用长序列法根据近 30 a 算出的设计降雨量值和《指南》的计算结果基本一致,高于《标准》的计算结果,这是由于当统计年限不同时,不同控制率下对应的设计雨量会有差异<sup>[8]</sup>,各地区应综合考虑气候变化的趋势和周期性选择合理的计算年限。根据年降雨量排序,分别选取内涝保证率为 50%,65%,80% 时的典型年为 2000,1998,2010 年,按典型年法分别计算年径流总量控制率及其对应的设计降雨量。

表 2 典型年法计算

典型年	内涝保证率/%	不同年径流总量控制率对应的设计降雨量/mm				
		60%	70%	75%	80%	85%
2000	50	12.2	16.6	19.1	22.1	25.4
1998	65	13.8	18.9	22.4	26.6	32.3
2010	80	16.0	22.2	25.5	30.1	36.9

雨水径流总量控制率与内涝保证率一一对应。当以径流总量为控制目标时,设计降雨量可用于确定低影响开发设施的设计规模<sup>[1]</sup>。由表 2 可见,年径流总量控制率一定时,内涝保证率越大的典型年对应的需要控制的设计降雨量值越高,雨水利用设施规模加大。设计重现期从 2~5 a,年径流总量控制率分别为

60%,85%时,设计降雨量提高了 31.1%,45.3%;即雨水径流总量变大时,随着年径流总量控制率变大,为减小外排径流系数所需提高的雨水设施利用规模幅度也变大。同时,典型年计算法中,年径流总量控制率及对应的设计降雨量不是一组定值,其大小与选取的典型年及该年年内降雨量分配有关,这与长序列法并不矛盾。将表 1 数据与表 2 进行比较:按照长序列法确定年径流总量控制率对应的设计降雨量值高于平均年的情况,与典型年内涝保证率 65%时的计算结果基本一致。

典型年法较长序列法更具有针对性,在海绵城市建设规划阶段,可以结合建设区域重要性以及汇水地区类型、地形特点、雨水排水管网现状和气候条件等因素确定设计重现期,在易发生内涝以及经济条件允许的区域,选择设计重现期较大的典型年作为设计年。有条件的城市应结合更长序列的降雨量数据,当同一内涝保证率下存在 2 个以上年份满足设计典型年降雨量标准时,按照年内分配最不利的原则选择有代表性的典型年或者计算 2 个以上典型年,以确保计算结果具有更高的可靠性。

### 2.3 控制指标对流量径流系数的影响

根据长序列法不同年径流总量控制率计算设计重现期分别为 1,2,3,5 a 产流期内汇水面上的外排流量径流系数如表 3 所示。

表 3 不同年径流总量控制率的外排径流系数

重现期	暴雨强度/ ( $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ )	不同年径流总量控制率的径流系数				
		60%	70%	75%	80%	85%
1 年一遇	1.525	0.53	0.35	0.33	0.33	0.33
2 年一遇	1.693	0.62	0.48	0.38	0.33	0.33
3 年一遇	1.905	0.65	0.53	0.45	0.34	0.34
5 年一遇	2.192	0.69	0.58	0.51	0.41	0.34

由表 3 可见,一定范围内,相同的年径流总量控制率指标应用于不同重现期降雨量时,外排径流系数随着降雨重现期的变大而变大;外排径流系数不会随着雨水利用规模的无限扩大而不断趋于变小,在 2 年一遇降雨条件下,年径流总量控制率超过 80%,即可达到外排径流系数 0.33,即当雨水利用规模超过一定限值时,外排径流量达到一个固定值,这是因为降雨历时内的暴雨量不足以填满雨水利用设施,此时雨水调蓄设施的利用强度是由暴雨量决定的。

固定值随设计重现期增大略有增幅,控制在 0.33~0.35,且设计重现期越小时越早趋于稳定,当设计重现期超过 5 a 时,由于雨水利用设施可以实现充分利用,在年径流总量控制率的现有范围内不存在

固定值。可用下述方法判断何时外排径流系数趋于稳定,并利用(1)式计算相应的固定值:针对所选取不同降雨重现期的暴雨,存在一个雨水控制有效容积指标,即式(2)中  $W$ ,当按公式(3)计算得海绵城市建设规模即雨水利用设施容积小于雨水利用有效容积  $W$  时,增大雨水利用规模对减少外排径流系数的效果较好;而反之则达到了固定值,此时增加雨水利用规模对径流系数的减少起不到作用,却增加了雨水设施的建造、维护费用,降低了雨水利用效益。

按长序列法、典型年法设计雨水利用规模,对 5 a 降雨重现期的外排径流系数做进一步分析可得:外排径流系数相同的前提下,不同典型年与长序列法计算的年径流总量控制率存在对应关系:外排径流系数为 0.34 时,按长序列法计算的年径流总量控制率为 85%,按设计重现期 2 a 的典型年计算为 82%,按设计重现期 5 a 的典型年计算为 78%,即用典型年法计算年径流总量控制率时,其取值不同于长序列法,典型年重现期越长,控制率越小。

### 2.4 年径流总量控制率校核

按照指南上的容积法确定该小区雨水利用设施规模,控制年径流总量控制率 85%时,各典型年法计算的雨水调蓄容积分别为 2 481.9,3 156,3 605.6  $\text{m}^3$ ,占各典型年集水面上年降雨量的 2.9%,2.9%,2.8%。长序列法为 3 048.7  $\text{m}^3$ ,占集水面上多年平均降雨量 3.1%。

《技术规范》规定:雨水储存设施的有效储水容积不宜小于集水面重现期 1~2 a 日雨水设计径流总量减去设计初期雨水弃流量<sup>[5]</sup>,按照合肥市 1~2 a 重现期最大日降雨量 45.6~82.1 mm,初期雨水弃流量 4 mm(连续降雨日不重复弃流)计算,该小区雨水储存容积不宜小于 1 625.9~3 052.5  $\text{m}^3$ 。《技术规范》同时指出,直接计算法未考虑部分雨水溢流损失,也未折算流入处理设施的水,因此容积偏大。《合肥市建筑与小区雨水利用研究报告》<sup>[13]</sup>针对合肥市学校、小区、办公楼等功能区,综合考虑集水量与用水量的平衡建立费用数学模型并进行分析,得出了蓄水池容积与集水面降雨量之比为 2%~5%较为经济的结论。可见按典型年、长序列法进行设计的雨水设施利用规模基本满足要求。

《技术规范》中要求,回用系统最高日设计用水量不宜小于集水面日雨水设计径流量的 40%。可以看出,在连续降雨事件中,雨水日储蓄量不能当天回用完毕,对后续降雨的储存造成了影响,因此,仅以年为单位计算是不够的,现结合合肥市 15 a 日降雨量数据,采用逐日水量平衡法探讨按典型年法、长序列法

确定控制指标的实际雨水控制率。利用 Matlab 编程计算设计重现期分别为 2, 3, 5 a, 设计年径流总量控制率为 85% 条件下雨水利用规模的多年实际年径流总量控制率并与长序列法计算结果比较。

表 4 实际径流总量控制率 %

计算方法 容积/m <sup>3</sup>	典型年法			长序列法
	2 481.9	3 156.0	3 605.6	3 048.7
1998	72.9	<u>78.7</u>	81.6	77.9
1999	69.1	74.2	77.1	73.4
2000	<u>73.7</u>	78.8	81.5	78.1
2001	80.2	85.1	87.9	84.2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2008	66.1	71.1	74	70.4
2009	76.3	81.6	84.7	80.8
2010	74.1	77.9	<u>80.3</u>	77.3
2011	80.0	85.0	87.9	84.2
2012	68.5	72.3	74.7	71.7
平均值	73.1	78.1	80.8	77.3

注:下划线是为了突出各典型年算法设计规模在该典型年中的实际控制率。

按典型年算法计算的调蓄规模在对应的年份,实际的年径流总量控制率基本在 75% 左右,可见在设计控制率 85% 条件下,以年为单位进行雨水利用水量平衡分析,导致了计算的雨水利用量比实际能利用的雨水量多<sup>[14]</sup>。从平均值可以看出,典型年法在对应年的实际雨水控制率与平均值基本一致。

按相同的计算步骤,得长序列算法年径流总量控制率分别为 60%, 70%, 75%, 80%, 85% 时的多年平均实际雨水控制率分别为 59.4%, 66.1%, 69.0, 73.1, 77.3。

可见,按控制率指标设计的雨水利用规模实际上不能达到设计的年径流总量控制率,这是因为在大暴雨及连续降雨事件中,由于日雨水利用量不足以排空蓄水池而产生了雨水弃流量,从而导致实际年径流总量控制率偏小。随着雨水利用规模的增大,实际控制率上升幅度缓慢,且与设计的年径流总量控制率指标差值变大。

利用程序计算的控制率是实际意义上的年径流总量控制率,即场地内累计全年得到控制的雨量占全年总降雨量的比例。而《指南》中的控制指标,即按照长序列法和典型年法计算的年径流总量控制率指标以控制外排径流系数为出发点,确定雨水利用规模为主要目的,并没有考虑到日雨水回用量是有限度的,这 2 个年径流总量控制率的概念是存在差异的。通过分析可以看到,在设计规模已经较大的条件下继续提高雨水利用规模,对雨水总量控制率的提高幅度有

限,提高控制率的成本却很高。因此,在大强度降雨频次低的地区,应考虑选取控制率 80% 甚至 75% 或更低的控制指标,同时结合雨水利用效益、建设、维护成本进行综合效益分析后决定。

### 3 讨论与结论

(1) 典型年算法通过对最具有代表性年份的日降雨量数据进行统计分析,计算结果体现了年径流总量控制率的概念,并与雨水系统设计重现期相对应。

(2) 外排径系数随着年径流总量控制率的扩大达到一个固定值,当设计重现期小于 5 a 时,这一特征尤为明显,固定值可用文中(1)式计算,通常在 0.33~0.35 范围内。同时,可以计算针对特定重现期降雨的雨水利用有效容积指标,从而判断年径流总量控制率的最大效益区间。当设计重现期为 5 a 以内时,年径流总量控制率在 75%~80% 区间更具有合理性。当设计重现期大于 5 a 时,年径流总量控制率可适当增大,设计人员应结合当地气象数据、下垫面条件、降雨过程线、雨水设施利用规模等因素决定合理的年径流总量控制率指标,以获得内涝防治与雨水利用的最大效益。

(3) 随着年径流总量控制率的增大,实际雨量控制率上升的幅度是有限的。以削减径流峰值为目的的控制指标,没有考虑到日雨水利用量的限值,导致了实际雨水利用率偏小,且随着雨水利用规模增大而愈发明显。设计中应考虑提高控制率的成本,结合雨水利用效益分析最优设计控制率。

(4) 海绵城市规划指标的确定可以从 2 个角度出发:以雨水利用或控制径流污染为主要控制目标时,通过总量控制率计算外排径流系数指标;以控制内涝为主要目标时,通过控制给定重现期降雨事件的外排径流系数,计算总量控制率。同时,有条件的地区,应结合城市管网系统现状,综合考虑控制指标对管网设计流量的影响,分析雨水利用成本,市政管网系统的改造、维护成本,深入研究包括经济、社会和环境效益在内的雨水利用效益,依此选择最优的建设规划指标。

#### [参 考 文 献]

- [1] 李俊奇,王文亮,车伍,等. 海绵城市建设指南解读之降雨径流总量控制目标区域划分[J]. 中国给水排水, 2015, 31(8): 6-12.
- [2] 潘国庆,车伍,李俊奇,等. 中国城市径流污染控制量及其设计降雨量[J]. 中国给水排水, 2008, 24(22): 25-29.

(下转第 131 页)

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( $Q=5\ 030\ \text{m}^3/\text{s}$ )和 100 年一遇流量下( $Q=7\ 260\ \text{m}^3/\text{s}$ ),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 emergency 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.
- [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,汪伟伟,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.

(上接第 127 页)