

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.06.011

# 双EXP函数径流系数计算模型——以武汉为例

杜 遂, 王 阳, 洪月菊  
(武汉市规划研究院, 湖北 武汉 430014)

**摘 要:** 基于国标对综合径流系数取值的技术条件——城市建筑密度和设计重现期,利用区域平均人口密度和累计降雨量两个径流计算指标形成双EXP函数径流系数计算模型,从而将国标固定取值转化为动态取值。本模型计算的瞬时综合径流系数满足0~1的数值特征和S曲线变化形态。以武汉市人口密度最高区域——天津路排水系统和人口密度一般区域——港西排水系统为例,以瞬时综合径流系数计算的雨峰流量与国标取值对比,城市雨水排放系统平均提高35.7%,城市防涝系统平均提高11.6%。该计算模型对优化雨水工程设计和完善城市防涝系统有显著效益。

**关键词:** 瞬时综合径流系数; 双EXP函数; 累计降雨量; 区域平均人口密度

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)06-0060-07

## A Model with Double EXP Function for Runoff Coefficient Calculation in Wuhan

DU Sui, WANG Yang, HONG Yue-ju  
(Wuhan Planning & Design Institute, Wuhan 430014, China)

**Abstract:** The national standard evaluates the comprehensive runoff coefficient based on the technical conditions of urban building density and design recurrence period. In this paper, the runoff coefficient calculation model with double EXP function was established by using two runoff calculation indexes of regional average population density and cumulative rainfall, and the fixed values specified in the national standard was transformed into dynamic values. The instantaneous comprehensive runoff coefficient calculated by this model conformed to the numerical characteristics of 0-1 and the S-curve variation. The storm peak flows of Tianjin Road drainage system with the highest population density area and Gangxi drainage system with the general population density area in Wuhan calculated by the instantaneous comprehensive runoff coefficient were compared with those specified in the national standard, which indicated that the performances of urban rainwater drainage system and the urban waterlogging control system increased by 35.7% and 11.6%, respectively. The calculation model has significant benefits for optimizing stormwater engineering design and improving urban waterlogging control system.

**Key words:** instantaneous comprehensive runoff coefficient; double EXP function; cumulative rainfall; regional average population density

径流系数是任意时段内的径流深度(或径流总量)与同一时段内降水深度(或降水总量)的比值。

通信作者: 王阳 E-mail: wangyang@wpdi.cn

国内外对降雨地表径流计算的研究成果较多,其中发达国家自19世纪中叶就有径流理论和计算方法,并在20世纪60年代后开始研究可用于城市排水防涝和污染预测的模型,包括利用径流基础理论形成的径流计算模块。目前国内外的主要径流计算方法包括径流系数法、下渗曲线扣损法、SCS曲线法<sup>[1-2]</sup>、瞬时径流系数法<sup>[3-4]</sup>和蓄满产流法等。前4种方法适用于城市区域,其中下渗曲线扣损法、SCS曲线法、瞬时径流系数法将降雨量(即降雨强度与降雨时间的乘积)的瞬时变量与径流量建立了模型关系,可计算瞬时径流系数,而蓄满产流法按照降水在满足田间持水量之前不产流、所有的降水都渗入土壤的设定条件,主要适用于土壤透水性强、田间地表起伏大的农业用地区域。当前国内许多城市尚未获得与雨水径流相关的地质水文、城市土地利用等信息数据,在计算瞬时径流系数时,下渗曲线扣损法的雨水下渗速率、地表洼蓄量、蒸发量以及SCS曲线法、瞬时径流系数法的CN径流曲线数等径流计算指标在大流域雨水汇流范围难以合理测定。即使采用径流计算指标约束较少的瞬时径流系数法,其模型曲线也不甚理想,这是因为该法模拟的瞬时径流系数在降雨初期增长较快,忽略了降雨初损、下渗速率变化特征所形成的缓慢增长变化。国内城镇雨水工程多依据城镇建筑密度采用国标径流系数法确定管渠设计雨水径流量,而不同城镇建筑密度对应的综合径流系数取值区间的弹性范围可达15%~80%,国标也未进一步明确取值细则。城镇建设密度以及进行对应综合径流系数选值时,人为影响因素较大,这种误差最大可达到±25%左右,因而雨水工程设计需要一种操作性较强的径流系数计算模型。

## 1 研究方法

### 1.1 径流特征与模型径流计算指标选择

径流系数与雨水下渗能力成反比。地面雨水在分子力、毛管力和重力作用下首先下渗到土壤孔隙,被土壤吸收,补充土层缺乏的水分,满足土壤最大持水量,多余的水在重力作用下沿着土壤孔隙向下运动,最后达到潜水面,补给地下水,在雨水补给地下水后又释放了土壤孔隙空间,后续降雨雨水得以继续下渗到土壤孔隙。因而径流系数服从0~1的数值特征,其主要影响因素包括降雨量、下垫面种

类(屋面、草地等)和土壤特性(黏土、沙土等)3大因素,次要影响因素包括降雨初损(植物截留、填洼)和降雨蒸发等因素。

模型径流计算指标的选择,应以影响径流系数3大因素的关联性指标为对象,但基于现有城市的数据收集条件,一般只能收集到与降雨量、下垫面种类相关联的统计数据,因此可先建立与以上两大因素相关联的模拟径流计算指标。

武汉市已有24 h设计雨型(包括5和60 min降雨时间步长),可作为累计降雨量模型径流计算指标。此外,武汉市可采集到不同集中建设区的人口密度数据,形成区域平均人口密度指标,该指标与下垫面种类存在关联性,拟作为第二个模型径流计算指标。

区域平均人口密度指标与下垫面种类存在关联性的缘由如下:城市区域一般具有城市建筑密集程度分布特征,即越靠近城市中心区,其城市建筑密集程度越高。按照武汉市城市道路环线分区和人口密度分布,可形成不同区域城市建筑密集程度与人口密度对比。武汉市2035年集中建设区规划人口密度分布见图1,城市建筑密集程度与区域平均人口密度对比见表1。

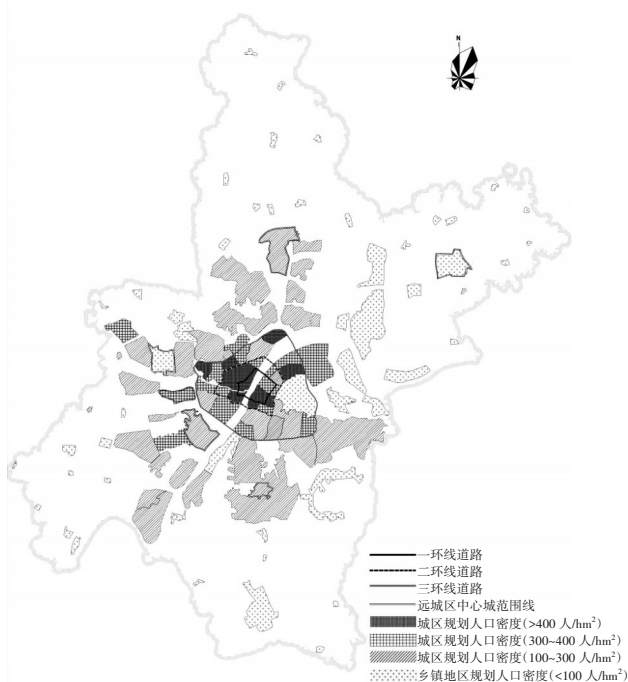


图1 武汉市2035年集中建设区规划人口密度分布

Fig.1 Planned population density distribution of centralized construction area in Wuhan in 2035

表1 武汉市城市建筑密集程度与区域平均人口密度  
Tab.1 Urban building density and regional average population density in Wuhan

城市道路环线	一环内	一环~二环	二环~三环	三环以外		
密度分区	1区	2区	3区	4区	5区	6区
城市区域特征	中心区			新城区	集中建设 用地较多 的农业区	集中建设 用地较少 的农业区
城市建筑密集程度	密集		较密集	稀疏		
区域平均人口密度/(人·hm <sup>-2</sup> )	496	427	299	154	75	50

由表1可知,武汉市区域平均人口密度越靠近城市中心区越大,因而区域平均人口密度指标与城市建筑密集程度具有正相关性。《城市排水工程规划规范》(GB 50318—2017)和《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)均结合城市建筑密度和设计重现期提出了综合径流系数取值规定,其最关键的影响因子是不透水面积比,而不透水面积比与城市建筑密度成正比。综合分析,能反映城市建筑密度的区域平均人口密度指标与下垫面种类存在关联性,以其作为模型径流计算指标符合国标综合径流系数取值导向。

## 1.2 模型函数选择与计算模型基本表达式

按照已确定的两个径流系数计算指标,模型选择两种函数曲线进行比较:一种基于SEN<sup>[3]</sup>提出的瞬时径流系数法的变形算式,简称单EXP函数;一种基于logistic函数,即 $f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} = \frac{e^x}{1+e^x}$ 的变形计算式,简称双EXP函数<sup>[5]</sup>。两种函数表达式分别如下:

$$\Psi = 1 - e^{-f(P,H)} \quad f(P,H) \geq 0 \quad (1)$$

$$\Psi = \frac{f(P) \cdot e^{f(H)}}{1 + f(P) \cdot e^{f(H)}} \quad f(P) \cdot e^{f(H)} \geq 0 \quad (2)$$

式中: $\Psi$ 为设计雨型第 $n$ 个时间步长的瞬时综合径流系数; $f(P,H)$ 为以城镇集中建设区域平均人口密度 $P$ 和设计雨型第 $n$ 个时间步长的累计降雨量 $H$ 为变量的函数; $f(P)$ 为以城镇集中建设区域平均人口密度 $P$ 为变量的函数; $f(H)$ 为以累计降雨量 $H$ 为变量的函数。

两种函数的瞬时综合径流系数曲线对比如图2所示。

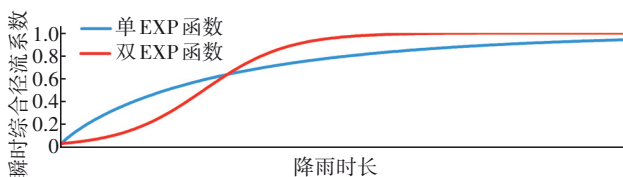


图2 两种函数的瞬时综合径流系数曲线对比

Fig.2 Comparison of instantaneous comprehensive runoff coefficient curves for two functions

由图2可知,两种函数均满足径流系数为0~1的数值特征。随着累计降雨量增大,其中单EXP函数曲线服从曲线质点导数由大趋零的单向变化特征,而双EXP函数曲线服从曲线质点导数由零增大再趋零的双向变化特征,曲线为S形态。按照降雨径流过程,雨水需经过植物截留、洼地蓄水,再到土壤下渗和雨水径流,其雨水径流系数应呈现渐进式增长特征,由零缓慢增长,并随累计降雨量的增大逐步趋近于数值1。因而双EXP函数曲线更符合径流系数变化特征,故选择双EXP函数作为径流系数计算模型。

双EXP函数中不同变量函数 $f(P)$ 、 $f(H)$ 采用对径流系数拟合效果较好的三参数幂函数 $ax^a + b$ 展开,径流系数计算模型基本表达式如下:

$$\Psi = \frac{(a_1 P^{\alpha_1} + b_1) \cdot e^{(a_2 H^{\alpha_2} + b_2)}}{1 + (a_1 P^{\alpha_1} + b_1) \cdot e^{(a_2 H^{\alpha_2} + b_2)}} \quad (3)$$

式中: $P$ 为区域平均人口密度,人/hm<sup>2</sup>;  $H$ 为设计雨型第 $n$ 个时间步长的累计降雨量,mm; $a_1$ 、 $b_1$ 、 $\alpha_1$ 均为 $f(P)$ 的参数; $a_2$ 、 $b_2$ 、 $\alpha_2$ 均为 $f(H)$ 的参数。

## 1.3 模型参数设计思路

为确定模型基本表达式各参数,常规方法是通过实地降雨监测或模拟实验形成与径流计算指标相关联的模型样本数据,再采用回归分析法完成径流系数计算模型。基于国标已确定综合径流系数在城市建筑密度和设计重现期影响下的取值区间,计算模型可以国标为依据,通过锁定若干边界条件的综合径流系数取值,从而确定模型基本表达式各参数。此外,为满足模型曲线S形态的要求,先假定累计降雨量为均匀增加变量(均匀降雨),使模型样本呈连续平滑曲线,以判别模型曲线形态的合理性,按此条件确定的模型基本表达式各参数则为模型样本计算式参数,进而依据模型样本计算式确定



模型样本,再推求模型应用计算式各参数。

#### 1.4 关键节点均值样本

依据模型基本表达式确定径流系数计算指标组合条件,将区域平均人口密度分为10个等级(50、100、150、200、250、300、350、400、450、500人/hm<sup>2</sup>),与重现期8个等级(2、3、5、10、20、30、50、100a)的24h累计降雨量对应,形成80个径流系数计算指标组合节点。对于任一组合节点,依据模型基本表达式和设定参数,可计算24h降雨过程各时间段的瞬时综合径流系数,从而确定瞬时综合径流系数在24h全降雨过程的加权平均值,即该节点的瞬时综合径流系数节点均值。

GB 50318—2017给出了雨水排放系统(视同重现期2~5a)和防涝系统(视同重现期10~100a)在不同城市建筑密集区的综合径流系数取值规定,可以作为雨峰径流量综合径流系数的取值依据,如表2所示。按照降雨径流特征,雨峰径流量的瞬时综合径流系数应高于降雨初期值并低于降雨末期值,因此可将表2的综合径流系数取值视为降雨全程瞬时综合径流系数的平均值(在国标对累计降雨量与综合径流系数两者关系量化后可再进行调整)。对于80个径流系数计算指标组合节点,其中符合表2边界条件的若干个节点的瞬时综合径流系数均值应符合国标取值规定,以其作为关键节点,形成关键节点均值样本(其中包括累计降雨量、区域平均人口密度以及对应的综合径流系数取值),使模型样本计算式在关键节点计算的瞬时综合径流系数加权均值等于关键节点均值样本取值。

表2 综合径流系数取值规定

Tab.2 Regulation on the value of comprehensive runoff coefficient

城市建筑密度分区	城市建筑密集区	城市建筑较密集区	城市建筑稀疏区
雨水排放系统	0.60~0.70	0.45~0.60	0.20~0.45
防涝系统	0.80~1.00	0.60~0.80	0.40~0.60

依据表2和表1对应的武汉市6个分区区域平均人口密度,设定4个关键节点均值样本:

① 关键节点50-2:采用区域平均人口密度50人/hm<sup>2</sup>和重现期2a所对应的累计降雨量作为径流计算指标,该指标可视为雨水下渗最好条件,即城市建筑稀疏区和最小重现期,该关键节点均值样本的综合径流系数取值为0.2。

② 关键节点50-100:采用区域平均人口密度50人/hm<sup>2</sup>和重现期100a作为径流计算指标,该指标对应防涝系统在城市建筑稀疏区中综合径流系数最大取值,即该关键节点均值样本的综合径流系数取值为0.6。

③ 关键节点400-2:采用区域平均人口密度400人/hm<sup>2</sup>(相当于武汉市三环线内中心城区平均人口密度)和重现期2a作为径流计算指标,该指标可视为武汉市常见雨水工程设计条件,对应雨水排放系统在城市建筑密集区的综合径流系数平均取值,该关键节点均值样本的综合径流系数取值为0.65。

④ 关键节点500-100:采用区域平均人口密度500人/hm<sup>2</sup>和重现期100a作为径流计算指标,该指标可视为雨水下渗最不利条件,其最大瞬时综合径流系数可接近于1.0,该关键节点均值样本的综合径流系数取值可按≈0.90控制。

#### 1.5 模型样本计算式与模型应用计算式

在累计降雨量为均匀增加变量的条件下,模型基本表达式采用任意一组参数代入,可计算出80个瞬时综合径流系数节点均值。经参数调整,当4个关键节点瞬时综合径流系数加权均值等于各关键节点均值样本取值时,此时计算式为模型样本计算式,计算的80个节点瞬时综合径流系数加权均值为节点均值样本取值。武汉市24h降雨瞬时综合径流系数节点均值样本见表3。

模型样本计算式(降雨时间步长为5min)如下:

$$\Psi_1 = \frac{0.626P^{1.195} \cdot e^{(1.519H_1^{0.309} - 11)}}{1 + 0.626P^{1.195} \cdot e^{(1.519H_1^{0.309} - 11)}} \quad (4)$$

式中: $\Psi_1$ 为24h均匀降雨第 $n$ 个时间步长的瞬时综合径流系数; $H_1$ 为24h均匀降雨第 $n$ 个时间步长的累计降雨量,mm。

以表3各节点均值样本为依据,并依据地方24h设计雨型确定累计降雨量,通过最小误差迭代逼近法确定模型应用计算式各参数,从而确定各节点瞬时综合径流系数拟合均值,如表4所示。模型应用计算式(降雨时间步长为5min)如下:

$$\Psi_2 = \frac{0.970P^{1.173} \cdot e^{(1.663H_2^{0.294} - 11.500)}}{1 + 0.970P^{1.173} \cdot e^{(1.663H_2^{0.294} - 11.500)}} \quad (5)$$

式中: $\Psi_2$ 为24h设计雨型第 $n$ 个时间步长的瞬时综合径流系数; $H_2$ 为24h设计雨型第 $n$ 个时间步长的累计降雨量,mm。

表3 武汉市24 h降雨瞬时综合径流系数节点均值样本

Tab.3 Nodal mean samples of instantaneous comprehensive runoff coefficient for 24-hour rainfall in Wuhan

重现期/a	24 h降雨量/mm	瞬时综合径流系数节点均值									
		50 人/hm <sup>2</sup>	100 人/hm <sup>2</sup>	150 人/hm <sup>2</sup>	200 人/hm <sup>2</sup>	250 人/hm <sup>2</sup>	300 人/hm <sup>2</sup>	350 人/hm <sup>2</sup>	400 人/hm <sup>2</sup>	450 人/hm <sup>2</sup>	500 人/hm <sup>2</sup>
2	115.3	0.200*	0.337	0.429	0.497	0.548	0.589	0.622	0.650*	0.673	0.694
3	144.8	0.263	0.412	0.504	0.568	0.615	0.652	0.682	0.706	0.727	0.745
5	181.1	0.336	0.489	0.576	0.634	0.676	0.709	0.735	0.756	0.774	0.789
10	228.6	0.421	0.568	0.647	0.698	0.734	0.762	0.783	0.801	0.816	0.829
20	274.3	0.489	0.626	0.697	0.742	0.774	0.798	0.816	0.832	0.844	0.855
30	300.3	0.523	0.654	0.720	0.762	0.792	0.814	0.831	0.845	0.857	0.867
50	332.1	0.559	0.682	0.744	0.783	0.810	0.831	0.847	0.859	0.870	0.879
100	373.9	0.600*	0.714	0.771	0.806	0.830	0.849	0.863	0.875	0.884	0.892*

注：①24 h降雨时间步长为5 min；②\*为样本中关键节点均值，符合关键节点均值样本控制要求。

表4 武汉市24 h降雨瞬时综合径流系数节点拟合均值

Tab.4 Nodal fitted mean values of instantaneous comprehensive runoff coefficient for 24-hour rainfall in Wuhan

重现期/a	24 h降雨量/mm	瞬时综合径流系数节点拟合均值									
		50 人/hm <sup>2</sup>	100 人/hm <sup>2</sup>	150 人/hm <sup>2</sup>	200 人/hm <sup>2</sup>	250 人/hm <sup>2</sup>	300 人/hm <sup>2</sup>	350 人/hm <sup>2</sup>	400 人/hm <sup>2</sup>	450 人/hm <sup>2</sup>	500 人/hm <sup>2</sup>
2	115.3	0.204	0.341	0.433	0.500	0.550	0.591	0.623	0.651	0.674	0.694
3	144.8	0.267	0.415	0.506	0.569	0.616	0.652	0.682	0.706	0.726	0.744
5	181.1	0.339	0.490	0.577	0.635	0.676	0.708	0.734	0.755	0.772	0.787
10	228.6	0.422	0.568	0.647	0.697	0.733	0.760	0.782	0.799	0.814	0.826
20	274.3	0.489	0.626	0.696	0.741	0.772	0.796	0.815	0.830	0.842	0.853
30	300.3	0.522	0.653	0.719	0.761	0.790	0.812	0.830	0.844	0.855	0.865
50	332.1	0.558	0.682	0.743	0.782	0.809	0.829	0.845	0.858	0.868	0.877
100	373.9	0.599	0.714	0.770	0.805	0.829	0.848	0.862	0.873	0.883	0.891

注：24 h降雨时间步长为5 min。

最小误差迭代逼近法为多参数回归模型求解参数方法。利用计算机编程或EXCEL软件,初始给定一组模型参数,依据平均绝对值相对误差率或均方差作为回归模型误差检验指标,再通过逐一调整模型参数,使模型误差检验指标降低到最小,此时各参数为回归模型求解参数。以表3节点均值样本为模型精度控制目标,依据模型应用计算式计算武汉市80个瞬时综合径流系数节点拟合均值与节点均值样本的绝对值相对误差率,其平均值为0.238%,最大值为2.172%。

## 2 模型检验

### 2.1 图形与数值检验

关键节点样本曲线与回归曲线的对比见图3。其中平滑曲线为模型样本计算式对应的24 h均匀降雨样本曲线,非平滑曲线为模型应用计算式对应的24 h设计雨型回归曲线。由图3可知,对于24 h均匀降雨,关键节点的样本曲线形态各异,随着关

键节点的降雨下渗条件降低(关键节点50~2~500~100),径流初损现象逐步降低,只有关键节点50~2样本曲线的S形态较为明显。而24 h设计雨型能反映真实降雨特征,各关键节点的回归曲线均显示为S形态,径流初损明显,因而模型应用计算式作为径流系数计算模型符合模型曲线S形态的预期目标。

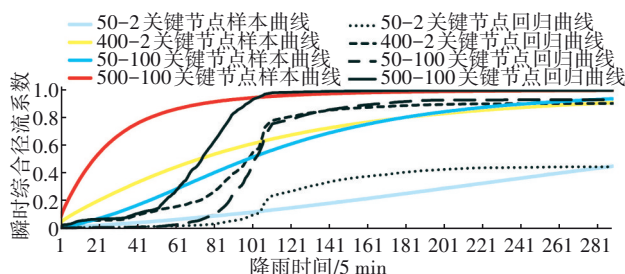


图3 关键节点样本曲线与回归曲线的对比

Fig.3 Comparison between sample curves and regression curves of key nodes

武汉市24 h设计雨型关键节点500~100的瞬时综合径流系数见表5。

表5 关键节点500-100的瞬时综合径流系数  
Tab.5 Instantaneous comprehensive runoff coefficient  
of 500-100 key nodes

降雨时 间/5 min	累计降雨 量/mm	瞬时综合 径流系数	降雨时 间/5 min	累计降雨 量/mm	瞬时综合 径流系数
1	0.000	0.000	160	317.050	0.992
20	0.827	0.065	180	350.881	0.994
40	2.135	0.103	200	370.112	0.995
60	8.884	0.253	220	372.392	0.995
80	34.355	0.614	240	372.886	0.995
100	113.439	0.920	260	373.562	0.995
120	231.405	0.982	280	373.746	0.995
140	278.948	0.989	288	373.909	0.995

由表5可知,依据模型应用计算式计算得到的降雨下渗最不利关键节点500-100的瞬时综合径流

系数的最大值为0.995,未达到1.0,满足径流系数0~1的数值特征。

2.2 与国标对比检验

瞬时综合径流系数均值与国标的对比见表6。  
为检验计算模型与国标在综合径流系数取值的一致性,将武汉市6个密度分区与表1中城市建筑密集程度和区域平均人口密度对应,并按照雨水排放系统(重现期2~5 a)和防涝系统(重现期10~100 a)的条件,依据模型应用计算式得出模型值(瞬时综合径流系数均值),并与国标取值对比。由表6可知,各区间内模型值较国标值上下浮动,浮动范围总体为-11.0%~18.0%,模型值符合国标取值方向,且强化了定量合理性。

表6 武汉市瞬时综合径流系数模型模拟均值与国标的对比  
Tab.6 Comparison of the mean value of instantaneous comprehensive runoff coefficient with that of national standard in Wuhan

密度分区		1区	2区	3区	4区	5区	6区
城镇建筑密集程度		密集		较密集		稀疏	
区域平均人口密度/(人·hm <sup>-2</sup> )		496	427	299	154	75	50
雨水排放系统瞬时综合径流系数	国标	0.65~0.70	0.60~0.65	0.50~0.60	0.45~0.55	0.30~0.45	0.20~0.35
	模型	0.693~0.786	0.664~0.764	0.590~0.708	0.439~0.582	0.280~0.427	0.204~0.339
	模型值较国标值增幅/%	10.7~12.3		-2.4~18.0		-5.1~2.0	
防涝系统瞬时综合径流系数	国标	0.85~1.00	0.80~0.95	0.65~0.80	0.60~0.75	0.50~0.60	0.40~0.50
	模型	0.826~0.890	0.808~0.879	0.760~0.847	0.651~0.773	0.509~0.669	0.422~0.599
	模型值较国标值增幅/%	-11.0~1.0		5.9~8.5		5.5~11.5	

3 应用效果

3.1 排水防涝模型应用

基于武汉市长历时24 h暴雨设计雨型和雨型径流量计算法,武汉市规划研究院开发了《武汉市排水防涝WFCM模型软件》(已获得计算机软件著

作权),将径流系数计算模型作为设计模块纳入该软件后,可计算排涝系统在不同设计标准下的瞬时雨水径流量、调蓄容量和防涝水位。

3.2 武汉市实例径流系数模型计算与国标对比

实例径流系数模型计算与国标的对比见表7。

表7 武汉市实例径流系数模型计算与国标的对比  
Tab.7 Comparison between the calculation of runoff coefficient model and national standard in cases in Wuhan

项目	重现期/a	雨峰累计降雨量/mm	瞬时综合径流系数	模型雨峰流量/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	国标综合径流系数	国标雨峰流量/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	模型雨峰流量较国标增幅/%
天津路排水系统	3	85.4	0.870	23.03	0.68	18.00	27.9
	5	106.4	0.910	28.52	0.70	21.94	30.0
	50	192.1	0.972	49.19	0.95	48.08	2.3
	100	214.9	0.978	54.72	0.99	55.39	-1.2
港西排水系统	3	86.2	0.789	81.20	0.55	56.60	43.5
	5	107.3	0.849	107.27	0.60	75.81	41.5
	50	193.5	0.951	210.90	0.76	168.54	25.1
	100	214.9	0.962	238.55	0.80	198.38	20.3

选择人口密度最高区域天津路排水系统(汇水面积为 $160.76\text{ hm}^2$ ,密度1区,区域平均人口密度为 $496\text{ 人/hm}^2$ )和人口密度一般区域港西排水系统(汇水面积为 $844.71\text{ hm}^2$ ,密度3区,区域平均人口密度为 $299\text{ 人/hm}^2$ ),采用常用设计重现期进行径流系数模型计算,并与国标对比。由于径流系数取值不同,模型雨峰流量较国标平均增幅达到 $23.7\%$ ,其中雨水排放系统平均增幅达到 $35.7\%$ ,排涝系统平均增幅达到 $11.6\%$ 。

#### 4 结论

① 虽然双EXP函数径流系数计算模型没有实测数据进行检验,但其样本数据来源于国标,其成果应用仍具有合理性。

② 双EXP函数径流系数计算模型虽只采用了累计降雨量和区域平均人口密度两个径流计算指标,但模型具有S曲线形态特征,体现了降雨初损(植物截留、填洼)对径流系数的影响。

③ 模型计算的瞬时综合径流系数加权均值较国标值上下浮动,浮动范围总体为 $-11.0\% \sim 18.0\%$ ,模型值符合国标取值方向,且强化了定量合理性。

④ 以瞬时综合径流系数计算雨峰流量,模型值较国标平均增幅达到 $23.7\%$ ,其中雨水排放系统平均增幅达到 $35.7\%$ ,排涝系统平均增幅达到 $11.6\%$ 。

⑤ 有条件的地区可采用公园、林地等非硬化率指标,这些指标能直接衡量雨水下渗能力,较区域平均人口密度指标相关性更强,效果更好。

#### 参考文献:

- [1] MISHRA S K, SINGH V P. Soil conservation service curve number (SCS-CN) methodology [J]. Water Science & Technology Library, 2007, 22(3):355-362.
- [2] 刘家福,蒋卫国,占文凤,等. SCS模型及其研究进展[J]. 水土保持研究, 2010, 17(2): 120-124.  
LIU Jiafu, JIANG Weiguo, ZHAN Wenfeng, et al. Processes of SCS model for hydrological simulation: a review [J]. Soil and Water Conservation Research, 2010, 17(2): 120-124(in Chinese).
- [3] SEN Z K. Instantaneous runoff coefficient variation and peak discharge estimation model [J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2008, 13(4):270-277.
- [4] 唐宁远,车伍,潘国庆. 城市雨洪控制利用的雨水径流系数分析[J]. 中国给水排水, 2009, 25(22):4-8.  
TANG Ningyuan, CHE Wu, PAN Guoqing. Runoff coefficient analysis for urban storm water and flood control and utilization [J]. China Water & Wastewater, 2009, 25(22):4-8(in Chinese).
- [5] 易子豪. 武汉市生态用地时空演变及驱动力分析[D]. 武汉:武汉大学, 2018: 17.  
YI Zihao. Spatial-temporal Evolution and Driving Forces of Ecological Land's in Wuhan City [D]. Wuhan: Wuhan University, 2018: 17(in Chinese).

作者简介:杜遂(1962-),男,湖北武汉人,本科,正高级工程师,长期从事市政工程规划、水环境研究及相关模型设计工作。

E-mail:3058402389@qq.com

收稿日期:2023-01-13

修回日期:2023-06-25

(编辑:沈靖怡)

深入实施乡村振兴战略,促进人水和谐