

DOI: 10.19797/j.cnki.1000-0852.20200513

极值降水对雄安新区年径流总量控制率的影响研究

黄薇^{1,2}, 鲁帆², 孔凡哲¹, 朱厚华³

(1.中国矿业大学 资源与地球科学学院, 江苏 徐州 221116;
2.中国水利水电科学研究院, 北京 100038; 3.水利部水资源管理中心, 北京 100038)

摘要:径流总量控制是低影响开发雨水系统构建的重要控制目标之一。为研究极值降水对年径流总量控制率的影响,首先对雄安新区雄县、容城、安新三个站点年径流总量控制率对应的设计降雨量进行推求,分析设计降雨量与控制率的关系并对雄安新区雨水径流源头控制效果分区进行验证,再利用广义帕累托分布和轮廓似然法估计3个站点不同重现期的降水值以分析极值降水与年径流总量控制率的关系。结果表明:设计降雨量随着控制率增大而增大且设计降雨量增大速度高于控制率的速度,雄安新区雨水径流源头控制效果处于中量低率区;一年里超过设计降雨量的日数在0~10d范围内且2d概率最大;对应一定设计降雨量值每年的控制率会随降水丰枯、极值降水的日数量级的变化而变化;极值降水发生极有可能造成年控制率低于设计值,控制率还受超设计降雨量降水的日数、年降水总量的影响;极值降水虽然发生的日数少但是对排放量的贡献率大,并且随着极值降水重现期增加对控制效果的削弱影响增大;极值降水的日内降水分布不均匀,有可能造成低影响开发(LID)措施达不到设计目标。

关键词:雄安新区;极值降水;年径流总量控制率;广义帕累托分布;轮廓似然估计

中图分类号:TV121⁺.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-0852(2021)04-0001-07

0 引言

从水文循环角度出发,海绵城市建设应充分考虑低影响开发雨水系统的构建,保护原有的水生态敏感区,实现开发后一定量的径流量不外排。年径流总量控制率是指海绵城市建设中为确保城市排水防涝安全,通过采用自然和人工强化的渗透、储存等方式,场地内就地消纳和利用的雨水量占全年总降雨量的比例,是低影响开发雨水系统构建中首要的规划控制目标。年径流总量控制率所对应的设计降雨量是用于确定海绵城市雨水径流源头控制设施建设规模的重要指标。

一些学者从多个角度研究了降水特征对年径流总量控制率的影响。首先是气候变化及水文年型的影响。气候系统本身的丰枯规律和变化趋势使得海绵城市径流总量控制率并非恒定不变,而是具有年际变化特性,

其中京津冀等一些地区对气候变化更为敏感^[1-2];其次是降雨场次划分、降雨间隔等因素的影响。场次降雨划分方法和场次降雨序列年际变化对年径流总量控制率均存在影响,应合理选择降雨间隔,权衡设施排空时间与降雨间隔的关系^[3-4]。此外,印定坤等^[5]利用在线实测数据研究海绵城市改造对径流控制效果的影响,李俊奇等^[6]发现极端大暴雨出现频率虽然较低,却贡献了高比例的径流总量,对雨水年径流总量控制率与24h降雨场次控制率的统计结果均能造成较大影响。总体来看,虽然海绵城市建设技术指南中明确了年径流总量控制率与设计降雨量之间的关系,但实际核算中径流总量控制率还受到诸多因素影响,存在一定的不确定性。极值降水通常影响海绵城市建设中雨水控制设施的效果,分析极值降水对径流总量控制率的影响具有重要的实践意义。

收稿日期:2020-12-14

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2018YFC0406506, 2017YFC0403506)

作者简介:黄薇(1993—),女,壮族,广西柳州人,硕士研究生,主要研究方向为水文水资源。E-mail: 356565402@qq.com

通信作者:鲁帆(1981—),男,湖北天门人,博士,教授级工程师,主要研究方向为水文水资源。E-mail: lufan@iwhr.com

海绵城市建设是雄安新区绿色智慧新城建设的重要规划目标。根据相关规划要求,新区将综合采用“雨水花园、下沉式绿地、生态湿地”等低影响开发设施,实现中小降雨 100%自然积存、净化,规划城市建设区雨水年径流总量控制率不低于 85%。本文选取雄安新区雄县、容城、安新 3 个雨量站的长系列逐日降水数据,计算分析年径流总量控制率与设计降雨量的关系,利用 GPD 分布和轮廓似然估计法确定不同频率的极值降水量,研究极值降水对雄安新区年径流总量控制率的影响。

1 年径流总量控制率与设计降雨量之间的关系

根据住房和城乡建设部 2014 年印发的《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建》,计算并分析雄安新区年径流总量控制率与设计降雨量之间的关系。首先选取雄县雨量站 1974~2016 年、容城雨量站 1968~2016 年、安新雨量站 1960~2013 年(均满足海绵城市建设技术指南规定的至少近 30 年)的逐日降水数据,扣除降雪数据及小于等于 2mm 的降雨事件的降雨量后,将各站逐日降雨量系列按雨量值由小到大进行排序,统计各站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)在站点总降雨量中的比率,此比率(即年径流总量控制率)对应的降雨量(日值)即为站点的设计降雨量。选取 75%、80%、85%、90%、95% 五个控制率,对应设计降雨量的计算结果列于表 1 中。

由表 1 可知,三个站点相同控制率的设计降雨量值比较接近,因此可以取三个站点设计降雨量的均值作为整个雄安新区特定年径流总量控制率所对应的设计降雨量值。75%、80%、85%、90%、95% 五个控制率对应的设计降雨量值分别为 23.4mm、27.9mm、34.0mm、

42.8mm、59.0mm。年径流总量控制率从 75% 提升到 95%,每提高 5 个百分点对应的设计降雨量的增加值分别为 4.5mm、6.1mm、8.8mm、16.2mm。可见,随着控制率的上升,其对应设计降雨量的增加速度越来越快。这说明,作为确定海绵城市雨水径流源头控制设施规模的重要建设依据,年径流总量控制率并非越大越好,而应从经济性角度出发,选择适中的控制率,既能有效降低城市雨洪径流,又能避免设施规模过大和投资效益下降。

张质明等^[7]在研究中国日降水空间变化对雨水径流源头总量控制的影响时,通过空间插值将全国分为 47964 个像元,分别计算 20mm 设计降雨量条件下每个像元的年径流总量控制率和年均控制量,按大小排序后等分为 3 部分,控制率 $\alpha \geq 88.96\%$ 、 $88.96\% > \alpha \geq 72.86\%$ 、 $\alpha < 72.86\%$ 分别为高、中、低控制率,年均控制量 $427.2\text{mm} \leq D < 1116.0\text{mm}$ 、 $183.1\text{mm} \leq D < 427.2\text{mm}$ 、 $D < 183.1\text{mm}$ 分别为高、中、低控制量,将不同等级的控制率和控制量两两组合,从而将中国雨水径流源头控制效果分为 9 个区。本文计算了 20mm 设计降雨量条件下上述 3 个雨量站对应的控制率及年均控制量,结果表明 3 个站点的控制率和年均控制量相当接近,平均控制率为 70.0%,平均年均控制量为 337.0mm,表明雄安新区处于中量低率分区,其中控制率接近中、低等级控制率的交界值,雄安新区地理位置也位于中国中量低率区与中量中率区的交界处。

2 极值降水频率计算及影响分析

2.1 极值降水频率计算

广义帕累托分布(GPD)是极值统计理论中的一种重要分布,用于估算极端事件发生的频率及不确定性,在极值降水频率计算中得到了较多应用^[8-9]。广义帕累托分布用统一的形式表示 Pareto、指数、Beta 3 种极值分布类型,分布类型由分布中形状参数的数值大小决定。其中:形状参数大于 0 时,它对应于 Pareto 分布;形状参数等于 0 时,它对应于指数分布;形状参数小于 0 时,它对应于 Beta 分布。在实际建模计算中,通常需要选取观测数据中超过某个较大阈值的所有数据来构建极值统计模型。我国气象部门规定 24h 降水量超过 50mm,即已达到暴雨级别。因此,本文将 50mm 作为 GPD 模型拟合样本的选取阈值,分别选取雄县、容城、安新等 3 个站点日降雨量 50mm 以上的暴雨数据系列,作为广义帕累托分布的样本数据进行拟合,

表1 雄安新区三站点不同控制率对应的设计降雨量

Table1 The design rainfall depth corresponding to different volume capture ratios of annual rainfall of Xiongan New Area

控制率	设计降雨量/mm			
	雄县	容城	安新	平均
75%	23.6	22.6	23.8	23.4
80%	28.2	27.2	28.4	27.9
85%	34.5	33.1	34.4	34.0
90%	43.7	41.7	43.0	42.8
95%	61.7	57.4	58.0	59.0

用极大似然估计法和轮廓似然函数法估计不同重现期暴雨的重现水平和置信区间。三站点的逐日降水样本阈值及 GPD 模型拟合的尺度参数和形状参数的数值列于表 2 中。为诊断阈值及参数选取的合理性,采用概率图和密度函数图反映所选理论分布与实际样本系列的拟合程度,2 种诊断图都支持用 GPD 拟合 50mm 以上的降水数据样本。

轮廓似然函数是固定兴趣参数后,对其他参数求最大化的函数,此最大化的参数值即为所需的估计值,给定置信水平和参考分布选定分位数,采用“估计值±分位数×估计值的标准误”来计算估计值的置信区间^[10]该方法可应用于水文气象等领域^[11-12]。本文选取 2 年一遇以上重现期的降水作为极值降水,利用轮廓似然函数法估计 3 个站点 2 年一遇、10 年一遇、50 年一遇、100 年一遇重现期的降水量,雄县站的计算结果如图 1,横坐标为日降水值,纵坐标为轮廓对数似然值,轮廓似然曲线的峰值对应的横坐标为估计的暴雨设计值,曲线与横线的两个交点的横坐标分别是置信度为 95%的置信区间上、下限。

统计 3 个站点的极值降水及其 95%的置信区间列入表 3 中。由表 3 可知,3 个站点频率降水估计都呈现出随着重现期的增大置信区间增大的特征,说明估计值的不确定性在增大,是因为高重现期对应的降水样本较少引起较大的估计误差,同时通过广义帕累托分布计算可得雄安新区 85%年径流控制率对应的设计降雨量 34mm 的重现期约为 3 个月一遇。

表2 阈值及GPD模型参数

Table2 Values of threshold rainfall and GPD model parameters

站点名称	选取阈值/mm	GPD 模型	
		尺度参数	形状参数
雄县		18.286	0.257
容城	50	20.572	0.089
安新		19.269	0.142

表3 3个站点不同重现期的极值降水值及95%置信区间

Table3 Rainfall and 95% confidence intervals of different return periods of 3 stations

站点	重现期			
	2年一遇 /mm	10年一遇 /mm	50年一遇 /mm	100年一遇 /mm
雄县	73[67~82]	121[102~168]	195[144~414]	237[163~625]
容城	73[67~80]	112[98~139]	157[129~254]	178[141~332]
安新	74[69~81]	115[101~144]	166[133~273]	193[147~367]

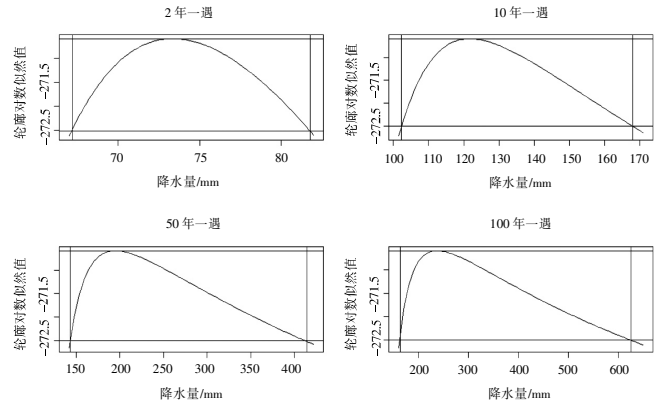


图1 雄县站各重现期降水值

Fig.1 Rainfall of different return periods of Xiongqian

2.2 极值降水对年径流总量控制率的影响分析

核密度估计法是非参数检验法的一种,用于估计未知的概率密度,在各领域有广泛应用^[13-14]。设 $X_i(i=1,2,\dots,n)$ 为样本总体 X 的观测值,核密度估计的表达式如下:

$$f(x)=\frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-X_i}{h}\right) \quad (1)$$

式中: n 为样本观测值的个数; $K(\cdot)$ 为核密度估计函数,简称核函数; h 为窗宽,决定核函数的方差。常用的核函数有线性核、多项式核以及高斯核。《河北雄安新区规划纲要》要求雄安新区年径流总量控制率不低于 85%,对应 85%控制率的设计降雨量 34mm,统计 3 个站点逐年的日降水量超设计降雨量的日数,雄县 1974~2016 年共发生了 138d,容城 1968~2016 年共发生 162d,安新 1960~2013 年共发生 188d,以横坐标为一年里发生超设计降雨量值降水的日数、纵坐标为发生该日数降水年份的数量绘制直方图如图 2 所示。

图 2 中直方图形状与高斯核密度函数曲线形状较为接近,因此本文使用高斯核(见式(2))对各站点每年日降水超设计降雨量值的日数进行核密度估计,相应的概率密度图如图 3,横坐标为一年里发生超设计降雨量的日数,纵坐标为对应的概率,可见 3 个站点的概率密度曲线都是单峰型,竖线对应曲线峰值,雄县、容城、安新三条概率密度曲线都在横坐标为 2~2.5 的时候达到峰值,在区间大小相等的情况下,包含峰值所对应的横坐标的区间与概率密度曲线包围的面积最大即概率最大,四舍五入后认为 3 个站点一年里发生有 2d 降水量超设计降雨量值降水的概率最大。

$$K(\cdot)=\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

由于一个地区的年径流总量控制率是基于该地区的长序列降水日数据计算而得,对应的设计降雨量对每一年的雨水径流控制效果有差异,因此对一年里的逐日降水数据,若降水量大于85%控制率的设计降雨量则以设计降雨量的大小计,若降水量小于设计降雨量则以原降水数值计,统计一年里的控制降水量,与该年的降水总量比则为该年的控制率。本文计算了3站点的逐年控制率,并绘制控制率逐年变化序列如图4,图中可看出雄县的最大控制率是100%,最小控制率是64.7%,有27年控制率在85%以上,占总年数

62.8%;容城的最大控制率是100%,最小控制率是57.5%,有33年的控制率在85%以上,占总年数67.3%;安新的最大控制率是99.2%,最小控制率是68.0%,有31年的控制率在85%以上,占总年数57.4%。雄县与容城总体趋势较为平稳;安新的逐年控制率总体呈较明显的上升趋势,M-K趋势分析置信度接近99%,且中前期波动较为明显,中后期控制率基本处于较高水平;根据Kripalani等^[15]的定义以变异系数(序列标准差与平均值比值百分数)表征年际变化率,雄县、容县、安新的变异系数分别为9.4%、10.1%、

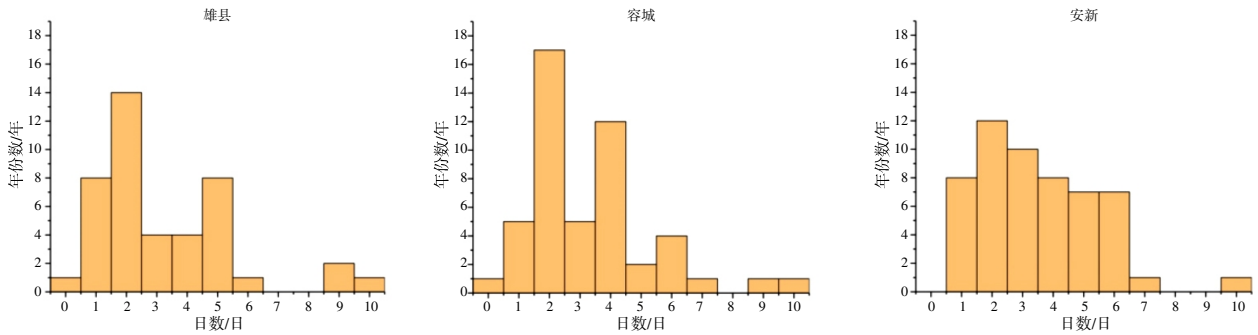


图2 一年里超设计降雨量的日数及对应的年份数

Fig.2 The amount of rainfall days who excess design rainfall and the number of corresponding years

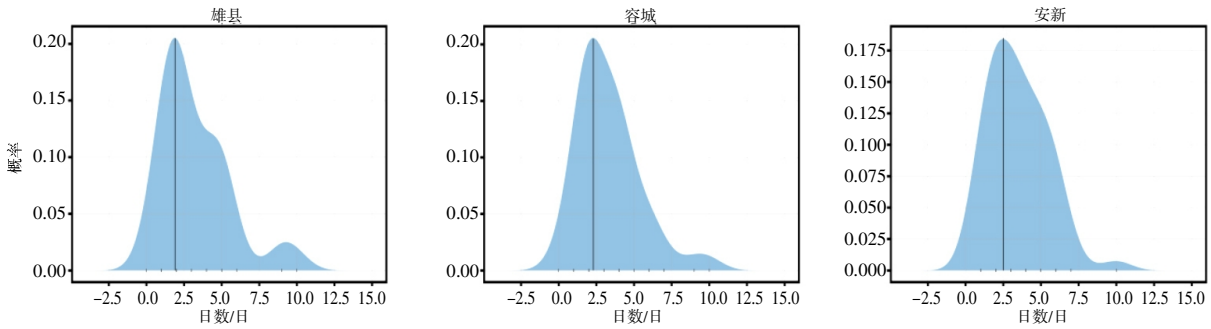


图3 核密度估计法对应的概率密度图

Fig.3 Probability density graph corresponding to kernel density estimation method

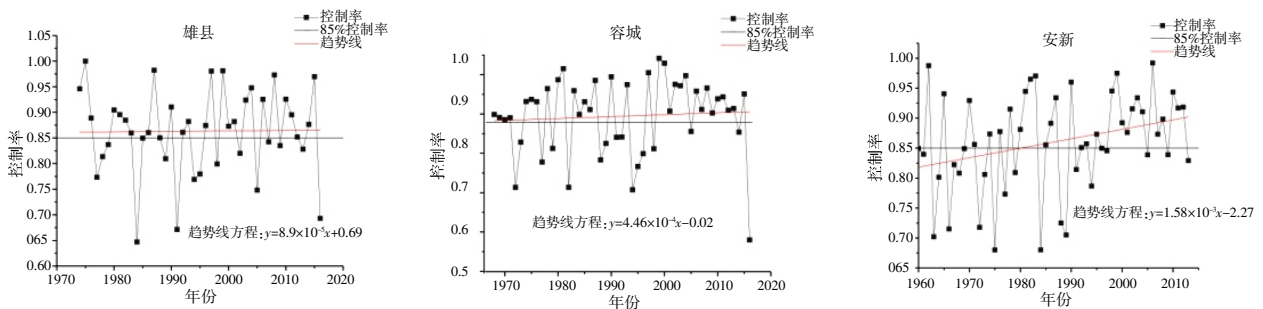


图4 雄安新区三站点逐年控制率

Fig.4 Volume capture ratios of annual rainfall

9.3%,三个站点变异系数差别不大。虽然可以通过长序列日降水计算出年径流总量控制率与设计降雨量值的一一对应关系,但是对应一定设计降雨量值每年的控制率会因降水的丰枯、极值降水日数量级的变化而变化,因此每一年的控制率具有一定的不确定性。

为了分析极值降水发生与年控制率低于设计值85%的关系,本文统计3个站点控制率小于85%的年份以及发生极值降水的年份,同一年里发生2个事件的年份占统计总年份的频率为:雄县78.9%,容城88.2%,安新65.4%,说明极值降水的发生与控制率低于设计水平有较大关系。安新的频率较低,其中1961年、1968年、1969年没有发生极值降水但是控制率低于85%,一是因为1961年与1969年发生超设计降雨量的日数分别都为6d远高于核密度估计值2d而造成总排放量高,二是1968年的年降水总量低,排放量在控制率计算中较为敏感。上述可得,极值降水大概率造成年控制率低,且控制率还受超设计降雨量值降水的日数、年总降水量的影响。

为了便于分析极值降水量级对年径流总量控制率的影响,按日降水量值 P 大小将其分为四个量级,其中:设计降雨量值 $34\text{mm} \leq P < 2$ 年一遇降水值、2年一遇降水值 $\leq P < 10$ 年一遇降水值、10年一遇降水值 $\leq P < 50$ 年一遇降水值及50年一遇以上降水值分别为A、B、C、D级。

分别统计资料年限内各站点不同量级降水的日数及各量级降水对应于径流总量控制率85%时的设计降雨量34mm所产生的径流排放量,3个站点能排放雨水径流(超设计降雨量值)的日数共488d,共排放雨水径流量10465mm,其中雄县138d,排放量3106mm,容城162d,排放量3484mm,安新188d,排放量3875mm。相关指标统计见表4。其中:日数占比指站点某一量级降水日数与该站点能排放雨水径流日数的比值,排放量占比指站点某一量级降水产生的排放量占该站点总排放量的比例。由表4可看出,对于同一站点,极值降水(B、C、D级)日数占比是低于排放量占比的,例如雄县的B级降水日数占比为13.8%,排放量占比为34.1%,并且3个站点的极值降水共发生69d,数量占总排放日数的14.1%,产生了45.2%的排放量,相反A级降水发生的日数占比高但是造成的排放量占比却比较低,说明极值降水虽然发生的日数少,但是对排放量的贡献率比较大,对年径流总量的控制

表4 不同量级降水日数及排放量
Table4 The number of extreme rainfall and emissions of different levels

站点名称	指标	A级	B级	C级	D级
雄县	日数	116	19	2	1
	日数占比/%	84.1	13.8	1.4	0.7
	排放量/mm	1553	1058	266	229
	排放量占比/%	49.9	34.1	8.6	7.4
	场均排放量/mm	13	56	133	229
容城	日数	138	19	4	1
	日数占比/%	85.2	11.7	2.5	0.6
	排放量/mm	1949	1001	353	181
	排放量占比/%	56	28.7	10.1	5.2
	场均排放量/mm	14	53	88	181
安新	日数	165	17	6	0
	日数占比/%	87.8	9.0	3.2	0
	排放量/mm	2229	986	660	0
	排放量占比/%	57.6	25.4	17.0	0
	场均排放量/mm	14	58	110	/

效果有明显削弱影响,A级降水虽然发生的日数很多但是产生的排放量很低。随着重现期的提高,每一场降水产生的排放量也增大,对年控制率的削弱强度增大,尤其是发生于雄县1991年7月28日及容城2016年7月20日的百年一遇降水,降水量分别达到237mm及214mm,均造成了当日接近200mm的排放量,当年的控制率也分别降低至67%及58%,远低于设计值。

3个站点共有12d的降雨量超过100mm/d。为分析降雨分布的影响,进一步整理分析了相应的逐时降水资料,发现降水主要发生在夜间与凌晨,日降水时间基本不足12h,一般为4~10h。大于10mm/h的小时降水大多集中在4:00~8:00的时段。多次出现大于50mm/h的短时强降水,其中2007年7月31日在雄县发生了89mm/h的降水,占该日降水量的82%,该天降水只发生了4个h,其余3h降水均值只有6.5mm/h,降雨十分集中。可见该区域日内逐时降水分布比较不均匀,短时强降水可能使得雨水径流控制措施无法及时控制住降水量以致LID措施达不到设计目标。

3 结论

本文对雄安新区雄县、容城、安新三个站点年径流总量控制率对应的设计雨量进行推求,分析设计降

雨量与控制率的关系,并对雄安新区雨水径流源头控制效果分区进行验证,之后利用 GPD 分布和轮廓似然估计法估计 3 个站点不同重现期的极值降水值,以及分析极值降水与年径流总量控制率的关系,结论如下:

(1)雄安新区 3 个站点相同年径流总量控制率对应的设计降雨量接近,因此可以用平均值代表雄安新区整体,推求 75%、80%、85%、90%、95%的年径流总量控制率对应的设计降雨量分别为 23.4mm、27.9mm、34.0mm、42.8mm、59mm,随着控制率的提高对应的设计降雨量也相应提高,并且设计降雨量的增加速度越来越快,由于设计降雨量确定是雨水径流源头控制设施规模的建设依据,因此控制率并非越高越好,还应考虑经济效益。通过计算 20mm 的设计降雨量对应的年径流总量控制率和年均控制量,验证了雄安新区的雨水径流源头控制效果处于中量低率分区。

(2)雄安新区 3 个站点的 2 年一遇、10 年一遇、50 年一遇、100 年一遇的极值降水估计值分别为:雄县 73mm、121mm、195mm、237mm,容城 73mm、112mm、157mm、178mm,安新 74mm、115mm、166mm、193mm,估计值 95%置信度的置信区间随着重现期增大而增大,不确定性提高。

(3)极值降水发生与控制率低于设计水平 85%有一定对应关系,雄县、容城、安新同一年里发生 2 个事件的年份占统计总年份的频率为 78.9%、88.2%、65.4%,年控制率还受到超设计降雨量的降水日数、年降水总量等因素的影响。极值降水虽然发生频率低,但是对排放量的贡献却比较大,统计的 3 个站点极值降水的总日数只占总排放日数的 14.1%,对总排放量的贡献率有 45.2%,并且随着极值降水重现期增大,对控制率的削弱效果越强大,100 年一遇以上的降水可使当年的控制率远低于设计值。极值降水的日内降水主要分布于凌晨和夜间,极值降水的日内分布不均匀有可能造成 LID 措施不达标。

参考文献:

- [1] 张质明,潘润泽,李俊奇,等.气候变化对雨水控制设施年径流总量控制率的影响[J].中国给水排水,2018,34(11):126-131. (ZHANG Zhiming, PAN Runze, LI Junqi et al. Impact of climate change on volume capture ratio of annual rainfall of stormwater facilities [J]. China Water & Wastewater, 2018,34(11):126-131. (in Chinese))
- [2] 刘家宏,丁相毅,邵薇薇,等.不同水文年型海绵城市径流总量控制率特征研究[J].水利学报,2019,50(9):1072-1077. (LIU Jiahong, DING Xiangyi, SHAO Weiwei, et al. Characteristics of total runoff control rate of sponge cities for different hydrological year types [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2019,50(9):1072-1077. (in Chinese))
- [3] 杨默远,潘兴瑶,刘洪禄,等.考虑场次降雨年际变化特征的年径流总量控制率准确核算[J].水利学报,2019,50(12):1510-1517+1528. (YANG Moyuan, PAN Xingyao, LIU Honglu, et al. Accurate calculation of the volume capture ratio of annual rainfall considering the field rainfall evolution [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2019,50(12):1510-1517+1528. (in Chinese))
- [4] 李俊奇,林翔,王文亮,等.降雨间隔对雨水年径流总量控制率的影响规律探析[J].中国给水排水,2019,35(9):120-126. (LI Junqi, LIN Xiang, WANG Wenliang, et al. Analysis of influence of rainfall interval on volume capture ratio of annual rainfall [J]. 2019,35(9):120-126. (in Chinese))
- [5] 印定坤,陈正侠,李骐安,等.降雨特征对多雨城市海绵改造小区径流控制效果的影响[J/OL].清华大学学报(自然科学版):1-7[2020-11-02]. <https://doi.org/10.16511/j.cnki.qhdxxb.2020.25.029>. (YIN Dingkun, CHEN Zhengxia, LI Qian et al. Influence of rainfall characteristics on runoff control of a sponge reconstructed community in a rainy city [J/OL]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology),1-7[2020-11-02]. <https://doi.org/10.16511/j.cnki.qhdxxb.2020.25.029>. (in Chinese))
- [6] 李俊奇,林翔.极端降雨事件对雨水年径流总量控制率和 24h 降雨场次控制率的影响规律探析[J].给水排水,2018,54(1):21-26. (LI Junqi, LIN Xiang. Analysis of the influence of extreme rainfall events on the annual runoff control rate and rainfall field control rate within 24 hours [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018,54(1):21-26. (in Chinese))
- [7] 张质明,胡蓓蓓,李俊奇,等.中国日降雨空间变化对雨水径流源头总量控制的影响[J].水科学进展,2018,29(4):465-472. (ZHANG Zhiming, HU Beibei, LI Junqi, et al. Influence of spatial variation in daily rainfall on volume capture of rainfall by source control facilities in China [J]. Advances in Water Science, 2018,29(4):465-472. (in Chinese))
- [8] 高永胜,鲁帆,王雪.杭州市极值暴雨的统计建模与频率计算研究[J].自然灾害学报,2017,26(6):224-230. (GAO Yongsheng, LU Fan, WANG Xue. Study on statistical modeling and frequency calculation of extremum rainstorm in Hangzhou City [J]. Journal of Natural Disasters, 2017,26(6):224-230. (in Chinese))
- [9] 鲁帆,王浩,严登华,等.轮廓似然函数在水文气象极值推断不确定性分析中的应用[J].中国科学:技术科学,2013,43(12):1299-1308. (LU Fan, WANG Hao, YAN Denghua, et al. Application of profile likelihood function to the uncertainty analysis of hydrometeorological extreme inference [J]. Scientia Sinica (Technologica), 2013,43(12):1299-1308. (in Chinese))
- [10] 韩栋,陈征,陈平雁,等.轮廓似然函数及其应用[J].中国卫生统计,2012,29(4):478-480+483. (HAN Dong, CHEN Zheng, CHEN Pingyan, et al. Profile likelihood and its application [J]. Chinese Journal of Health Statistics, 2012,29(4):478-480+483.(in Chinese))
- [11] 鲁帆,宋昕熠,朱奎等.大渡河流域超阈值降雨样本模拟及不确定性分析[J].人民长江,2016,47(7):23-27+33. (LU Fan, SONG

- Xinyi, ZHU Kui, et al. Simulation of above-threshold rainfall sample series of Dadu River Basin and uncertainty analysis [J]. Yangtze River, 2016,47(7):23-27+33. (in Chinese)
- [12] 汪琳, 彭涛, 董晓华, 等. 变化环境下雅砻江流域水文极值演变及不确定性分析[J]. 水利水电技术, 2019,50(7):55-63. (WANG Lin, PENG Tao, DONG Xiaohua, et al. Analysis on evolution and uncertainty of hydrological extreme value of Yalongjiang River Basin under changing environment [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2019,50(7):55-63. (in Chinese))
- [13] 李文娟, 赵放, 郇敏杰, 等. 核密度估计在短时强降水统计分析中的应用[A]. 中国气象学会第33届中国气象学会年会 S1 灾害天气监测、分析与预报[C]. 北京:中国气象学会, 2016:12. (LI Wenjuan, ZHAO Fang, LI Minjie, et al. Application of kernel density estimation in the statistical analysis of short-term heavy Precipitation [A]. Chinese Meteorological Society. Disaster Weather Monitoring, Analysis and Forecast for S1 at the 33rd Annual Meeting of Chinese Meteorological Society[C]. Beijing: Chinese Meteorological Society, 2016:12. (in Chinese))
- [14] 付青, 匡文凯, 薛阳, 等. 基于高斯核密度估计法的路灯窃电检测方法[J/OL]. 电力系统及其自动化学报:1-7[2020-11-14]. <https://doi.org/10.19635/j.cnki.csu-epsa.000609>. (FU Qing, KUANG Wenkai, XUE Yang, et al. Gauss Kernel density estimation based detection of street lamp electricity theft [J/OL]. Proceedings of the CSU-EPSA, 1-7 [2020-11-14]. <https://doi.org/10.19635/j.cnki.csu-epsa.000609>. (in Chinese))
- [15] Kripalani R H, Oh J H, Chaudhari H S. Response of the East Asian summer monsoon to doubled atmospheric CO₂: Coupled climate model simulations and projections under IPCC AR4 [J]. Theoretical and Applied Climatology, 2007,87(1-4).

Effects of Extreme Rainfall on Volume Capture Ratios of Annual Rainfall of Xiongan New Area

HUANG Wei^{1,2}, LU Fan², KONG Fanzhe¹, ZHU Houhua³

(1. School of Resources and Geoscience, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China;

2. China Institute of Water Resources & Hydropower Research, Beijing 100038, China;

3. Water Resources Management Center, Ministry of Water Resources, Beijing 100038, China)

Abstract: In order to study the effects of extreme rainfall on volume capture ratios of annual rainfall, this paper computed the design rainfall corresponding to volume capture ratios of annual rainfall of Xiongxian, Rongcheng and Anxin stations in Xiongan New Area, analysed the relationship between the design rainfall and capture ratios and verified the rainfall runoff source control effect subarea of Xiongan New Area. GPD distribution and contour likelihood estimation were used to estimate the rainfall values of three stations at different return periods and the relationship between extreme rainfall and total annual runoff control rate was analysed. The results show that the design rainfall increases with the volume capture ratios of annual rainfall increases and the design rainfall increases faster than the capture ratios and the rainfall runoff source control effect in Xiongan New Area is in the area of medium quantity and low rate. The amount of daily rainfall which exceeds design rainfall in one year within 0-10 and highest probability is 2 days. Corresponding to a certain design rainfall value, volume capture ratios of each year due to the abundance and lack of rainfall and the scale of extreme rainfall events. Extreme rainfall is likely to cause volume capture ratios of that year is lower than the design value and is also influenced by the number of daily rainfall excesses design rainfall and total annual rainfall. Although the amount of extreme rainfall is less, the contribution on emission is large, and with the increase of extreme rainfall return period, weakening influence on the control effect increases. The distribution of intraday precipitation of extreme rainfall is not uniform which may cause LID measures to fail to meet the design goal.

Key words: Xiongan New Area; extreme rainfall; volume capture ratios of annual rainfall; GPD distribution; contour likelihood estimation