

DOI:10.11705/j.issn.1672-643X.2021.04.03

降雨控制模式对海绵城市设计参数的影响

——以江苏省为例

陈燕¹, 许遐祯¹, 孙佳丽¹, 苗茜¹, 王国庆^{2,3,4}

(1. 江苏省气候中心, 江苏 南京 210008; 2. 南京水利科学研究所 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029; 3. 水利部应对气候变化研究中心, 江苏 南京 210029; 4. 长江保护与绿色发展研究院, 江苏 南京 210098)

摘要: 为了研究降雨控制模式对低影响开发系统设计参数的影响, 以江苏省为例, 利用全省 70 个国家气象站、1961-2019 年的降水资料开展分析。结果表明: 在相同的控制率之下, 降雨总量控制模式的日设计雨量大于降雨场次控制模式的日设计雨量, 在暴雨占比较高的地区更加明显, 且两种控制模式的日设计雨量差值随着控制率的增大而增加; 两种控制模式的日设计雨量有一定的比例关系, 85% 降雨总量控制率和 90% 降雨场次控制率的日设计雨量比值为 1.08; 初期雨量控制率的空间分布形态差异较大, 降雨总量控制模式下的控制率由南向北逐渐减小, 分布规律明显, 降雨场次控制模式的控制率分布比较复杂; 强降水的比例越大, 两种控制模式之间的设计雨量、初期雨量控制率、最优控制率、最优设计雨量的差异越大。

关键词: 低影响开发; 设计雨量; 初期雨量; 最优控制率; 海绵城市; 江苏省

中图分类号: TV213.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2021)04-0015-09

Influence of rainfall control method on the design of sponge city construction: A case study of Jiangsu Province

CHEN Yan¹, XU Xiazhen¹, SUN Jiali¹, MIAO Qian¹, WANG Guoqing^{2,3,4}

(1. Jiangsu Provincial Climate Center, Nanjing 210008, China; 2. State Key Laboratory of Hydrology - Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 3. Research Center of Climate Change, Ministry of Water Resources, Nanjing 210029, China; 4. Yangtze Institute for Conservation and Development, Nanjing 210098, China)

Abstract: To study the influence of different rainfall control methods on the design parameters of the low impact development (LID) system, a case study of Jiangsu Province was carried out. The precipitation data of 70 national meteorological stations from 1961 to 2019 are used for the analysis. The results show that under the same control rate, the designed daily rainfall depth under the mode of volume capture ratio of annual rainfall is greater than that under the mode of event capture ratio of annual rainfall, which is more so in areas with more heavy rains. Moreover the difference increases with the increase of the control rate. Also, the designed rainfall depth of the two rainfall control methods are proportional. The ratio of designed rainfall depth corresponding to 85% volume capture ratio of annual rainfall and that corresponding to 90% event capture ratio of annual rainfall is 1.08. However, the spatial distribution of the initial rainfall control rate of the two rainfall control methods is quite different. The initial rainfall control rate of volume capture ratio of annual rainfall decreases from south to north, with an obvious distribution pattern, whereas that of event capture ratio of annual rainfall is more complicated. The higher the proportion of heavy precipitation, the greater the differences between the two rainfall control methods in aspects of designed rainfall depth, initial rainfall control rate, optimal control rate and optimal designed rainfall.

收稿日期: 2020-12-22; 修回日期: 2021-04-23

基金项目: 国家重点研发计划课题(2017YFA0605002、2017YFC1502701); 国家自然科学基金项目(51779144); 中国气象局气候变化专项(CCSF201932)

作者简介: 陈燕(1977-), 女, 江苏扬州人, 博士, 正研级高级工程师, 主要从事气候变化影响评估、城市气象、风能资源评估的研究。

通讯作者: 王国庆(1971-), 男, 山东成武人, 博士, 教授级高工, 主要从事气候变化、水文水资源、流域水文模型等方面的研究。

Key words: low impact development (LID); designed rainfall depth; initial rainfall; optimal control rate; sponge city; Jiangsu Province

1 研究背景

随着城市化的发展,城市下垫面硬化、植被稀疏、自然水体减少以及不透水面积的大幅增加改变了地表的自然径流特征。加上受气候变化的影响,水汽循环变快,降水极端性增强。当强降水超过城市排水能力时,会产生积水灾害,诱发内涝现象^[1-3]。另外,城市人口密集、交通繁忙、污染严重,径流挟带大量污染物对城市水环境也会造成严重污染^[4-5]。针对如何有效地开展城市雨水综合管理,提高地区水资源承载力,国内外学者开展了大量研究^[6-8]。低影响开发(low impact development, LID)作为雨洪管理和水污染治理的代表性方案,通过对雨水的渗透、储存、转输、净化,实现有效控制雨水径流总量、径流峰值和径流污染,最终保持城市地区的水文特征不变^[9-10]。

径流总量控制是指在某块场地中,通过自然和人工强化的渗透、集蓄、蒸发、蒸腾等多种方式,实现全年一定比例降雨量的不需要外排^[11-12]。如何计算和确定一定比例降水量,美国环保署采用年场次控制模式,提出95%场次控制率的标准,认为其所对应的径流总量能够较好地代表开发前自然条件下能够下渗的径流量^[9]。我国的低影响开发雨水系统建设中提出了采用年降雨总量控制模式,分地区确定不同的最高和最低的控制率,以实现径流总量控制目标^[10]。年场次控制模式和年降雨总量控制模式均与降水关系密切,很多学者认为两者之间既有联系又有区别^[13]。张建云等^[14]认为中国多数城市降雨在年内集中于汛期,不同地区的降雨特性差异很大,径流控制效果与场次暴雨总量和时程分布有直接关系,对于控制指标的阈值需要进行科学论证。李兵等^[15]研究发现中国北方某城市年降雨总量控制率和年降雨场次控制率与当地的降雨量之间都具有较好的对数关系,可以根据城市条件合理取值。王虹等^[16]对我国6个城市分别用两种方法进行计算,发现控制指标值相差在32%~46%之间,70%的年降雨总量控制指标与80%的年降雨场次控制指标相当。席广朋等^[17]选择我国8个典型城市近30年的降雨资料作为统计样本,比较了不同统计方法对应的设计降雨量的差别,发现同样在85%控制率下,两种设计雨量在不同城市之间差异很大,变化在7.1%~87.3%之间,建议各地应通过当地

多年降水资料开展系统分析对比。王家彪等^[18]认为降雨总量控制模式能较好地反映城市年均产流水水平,有利于雨水利用目标实现,场次控制模式更体现出城市对场次降雨的消纳能力,有利于径流污染控制目标的实现。在LID场地,如果降雨小于设计降雨量,当LID设施与不透水地表采用串联方式时,不透水地表产流完全被LID设施吸收,实现场次控制;而如果降雨大于设计降雨量,不透水地表产流未经LID设施直接排出,实现部分控制^[19]。

径流总量控制是实现低影响开发的首要目标,径流污染控制目标也可以通过径流总量控制而实现,即通过控制高频率的中小降水事件来控制径流污染,低频的强降水事件可能稀释地面污染,污染危害相对较小。有学者提出了初期冲刷的概念,认为大部分径流污染物存在于初期12.7~25.4 mm降雨产生的径流中,这个雨量大体对应美国东北部地区90%的年降雨场次控制率^[20-21]。潘国庆等^[22]研究认为降雨过程中后期的径流水质比初期好,当采用年降雨总量控制模式时,控制雨量增大后对污染控制效果的贡献率更小,所以应该注意控制小降水事件。车伍等^[23]认为,降雨在不同的汇水面或管渠系统中形成初期径流,这一部分降水是初期雨量,是体现径流污染控制效率目标的一个参数,采用不同的控制模式在不同地区有不同的差异。朱甜甜等^[24]研究发现在不同土地利用类型和重现期下,径流污染物均呈现先增大、后减小、最后稳定在某一数值附近的变化规律,这体现了初期雨水径流污染效应。结合我国实际情况,《室外排水设计规范》(GB 50014—2006,2014年版)中将初期雨水控制标准定为4~8 mm,以此作为雨水调蓄池有效容积的参考取值,用于径流污染控制^[25]。

上述事实表明,采用不同的控制模式会对径流总量控制率日设计雨量和初期雨量均产生影响,尤其在强降水事件发生频率增加、强度变大的长江中下游地区^[26-27],几场暴雨就有可能影响一个地区的低影响开发设施的设计参数。本文以江苏省为例,利用全省70个国家气象站1961-2019年的59年日降水量资料,分析不同降雨控制模式对径流总量控制率、初期雨量分布的影响,对比两者之间的联系和差异,研究造成这些差异的关键因素,探讨最优控制率和最优设计雨量,为科学地确定控制指标,建设城市地区低影响开发系统提供数据支撑。

2 数据与方法

2.1 数据来源

本研究使用的气象数据来自江苏省气象信息中心的1961-2019年江苏省70个国家气象站逐日的日降水实况资料、天气现象资料,这些资料均按照中国气象局气象观测规范要求,经过数据质量控制和均一性检验。气象站的分布如图1所示。

按照《海绵城市建设指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》中的要求^[10],将降雪和小于2 mm降雨这些不产生径流的事件剔除后,其余为有效降水事件,其日降水数据为有效降水数据集。气象中一般规定日降水量<10 mm为小雨,本文根据研究需要定义2 mm≤日降水量<10 mm为小雨,10 mm≤日降水量<25 mm为中雨,25 mm≤日降水量<50 mm为大雨,日降水量≥50 mm为暴雨。

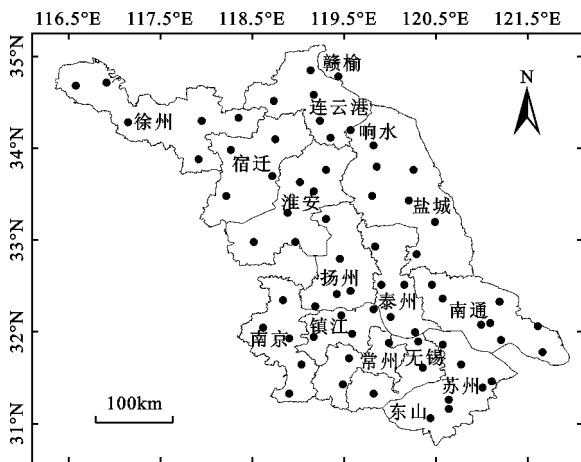


图1 江苏省气象站分布图

2.2 降雨总量控制模式

降雨总量控制模式采用统计学方法计算年径流总量控制率^[10],根据某地区至少30 a以上的多年日降水观测资料,统计有效降水事件小于某一降雨量的降雨总量在总降雨量中的比率,其对应的降雨量即为设计降雨量。

以某地年径流总量控制率为 α (单位:%)时对应的设计降雨量 H (单位:mm)为例,该地共有 n 个有效降水日数,则该地的有效降雨量序列从小到大排列 $(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_{n-1}, x_n)$,其中 (x_1, x_2, \dots, x_i) 小于等于 H , $(x_{i+1}, \dots, x_{n-1}, x_n)$ 大于 H 。对于小于或等于设计降雨量 H 的部分,按真实雨量计算出降雨总量;对于大于设计降雨量 H 的部分,按该降雨量计算出降雨总量。

2.3 降雨场次控制模式

降雨场次控制模式同样是根据某地区30 a或更长时间的日降水记录,剔除不产生径流的无效数据,应用降雨场次百分点法来确定径流控制指标^[28]。如95%降雨场次控制率的设计降雨量就是这段时期内,降雨量从小到大排序时95百分位所对应的降雨量。

2.4 最优控制率

对于任何一种控制模式,定义控制率的增长和设计雨量的增长比例相当时的控制率为最优控制率,对应的设计雨量为最优设计雨量^[13,18]。当控制率小于最优控制率时,随着控制率增加所能控制的雨水和径流污染会迅速增加;当达到最优控制率时,两者的增加达到平衡;当控制率大于最优控制率后,控制率增加所能带来的对雨水和径流污染的控制会大幅减小。

3 结果分析与讨论

3.1 对日设计雨量的影响

根据江苏省1961-2019年59 a的日降雨数据,采用降雨总量控制模式和降雨场次控制模式两种方法,计算不同控制率下的日设计雨量。

图2为在降雨总量控制模式下,不同控制率对应的日设计雨量分布。图3为降雨总量控制模式下不同控制率对应的日设计雨量分布。对比两种不同的控制模式下,发现日设计雨量空间分布、变化规律有明显的异同点。

由图2和3可以看出,两种控制模式日设计雨量的空间分布规律基本一致,均是在苏州太湖地区最小,向北逐渐增加,连云港地区最大。同时,随着控制率的提高,日设计雨量增加,但是北部地区增加更快,南北日设计雨量的差异逐渐增加。在降雨总量模式下,当控制率为65%时,苏州地区的日设计雨量小于16 mm,连云港地区大于20 mm,两者相差4 mm;控制率增加至85%时,差距扩大到10 mm;当控制率达到95%时,连云港地区的日设计雨量迅速增加,多大于76 mm,比苏州地区高12 mm。在降雨场次控制模式下,这种规律表现的更加明显,在控制率65%时,苏州地区设计雨量在12.5~13.5 mm之间,连云港地区在13.5~14.5 mm之间,南北差异仅为1 mm;随着控制率逐步增加,苏州地区增加至40~48 mm之间,连云港地区增加至56~64 mm之间,南北差异达到16 mm。

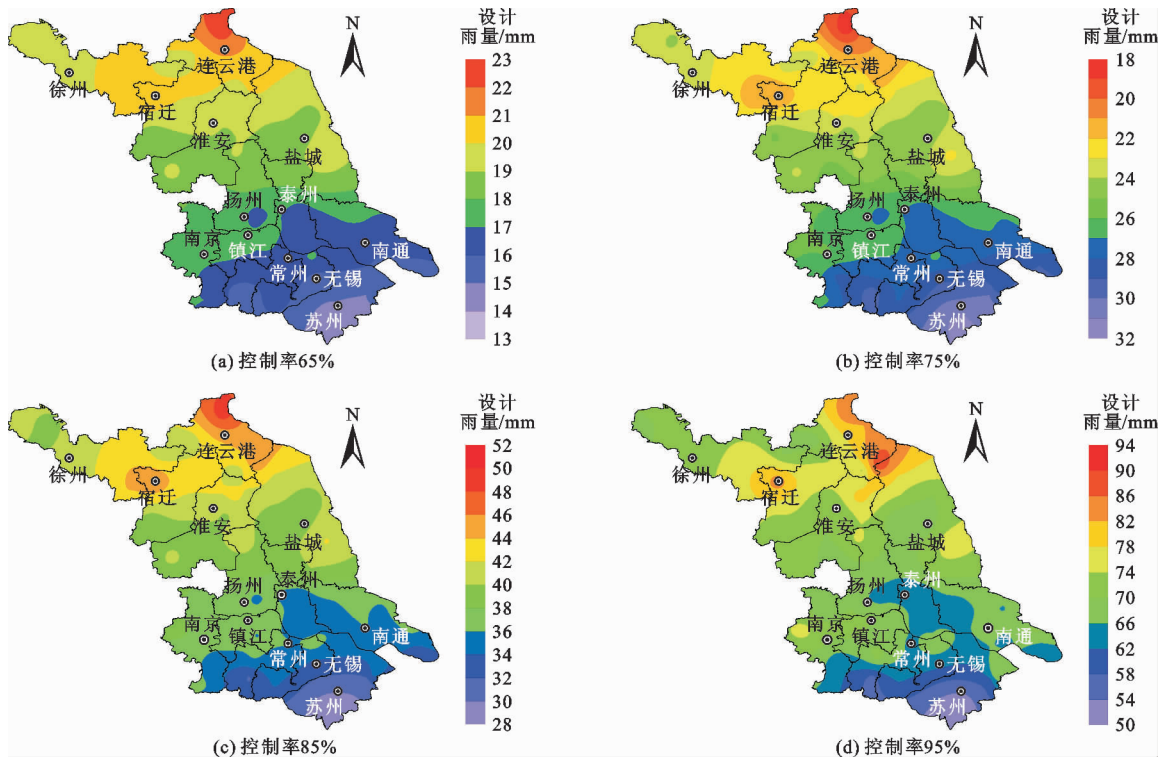


图2 降雨总量控制模式下的日设计雨量分布

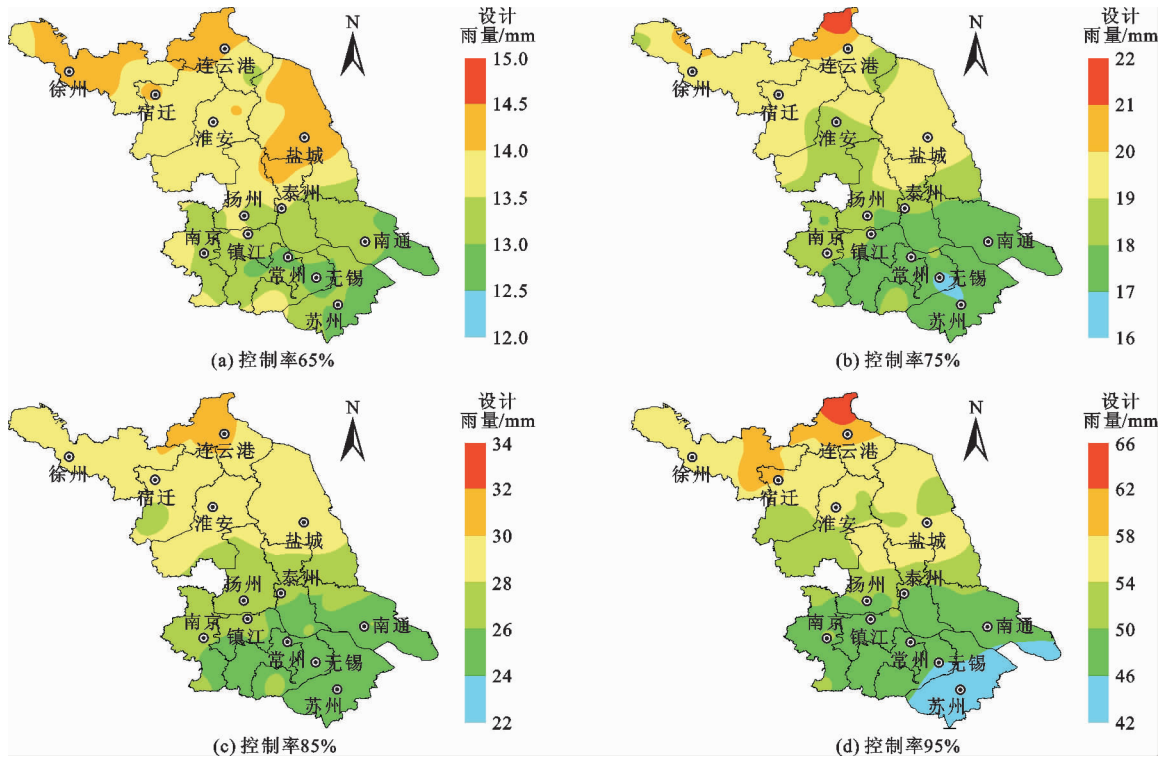


图3 降雨场次控制模式下的日设计雨量分布

两种控制模式不同之处同样也很明显,主要体现在日设计雨量的具体数值上。在相同的控制率之下,江苏省各地的降雨总量控制模式的日设计雨量总是大于降雨场次控制模式的日设计雨量。两种模

式之间的差异随着控制率的增大而增加,如在 65% 控制率时,两者差异的全省平均值仅为 4.4 mm,到 75% 控制率时增加为 6.9 mm,85% 控制率时进一步增加到 10.9 mm,当控制率为 95% 时,两者的平均

差异已达到 18 mm。这种差异在不同地区的程度不一,在太湖地区两者的差异最小,而在连云港南部、盐城北部和宿迁地区则差异较大。图 4 给出了 95% 控制率下降雨总量和场次控制模式的日设计雨量之差。

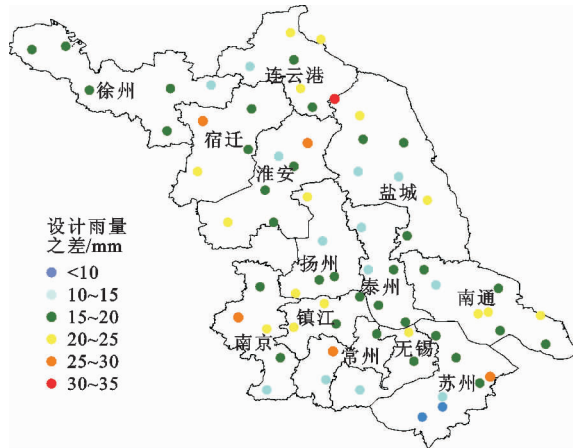


图 4 降雨总量和场次控制模式 95% 控制率设计雨量差值

由图 4 可见,在太湖地区的东山村,降雨总量和场次控制模式的日设计雨量之间的差异最小,而盐城和连云港交界处的响水站差异最大,该两个气象站为最典型的站点。在 65%、75%、85% 和 95% 控制率下,东山村降雨总量控制模式比降雨场次控制模式的日设计雨量分别大 1.6、2.8、4.2 和 8.8 mm,而响水站的差异则分别为 8.5、11.9、17.2 和 34.4 mm,是东山村 4~5 倍。

两种控制模式的日设计雨量也有一定的比例关系。《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》^[6] 中利用江苏部分站点 1983 - 2012 年的 30 a 气象资料分析,江苏苏南地区的年径流总量控制分区属于 III 区,控制率 $75\% \leq \alpha \leq 85\%$;苏北地区属于 IV 区, $70\% \leq \alpha \leq 85\%$ 。本研究用时间最新、时序更长、站点更多的资料分析获得更加细致的分区,江苏最南部的吴江地区属于 II 区,控制率 $80\% \leq \alpha \leq 85\%$;苏南和沿江地区属于 III 区,苏北地区属于 IV 区,由此可见江苏省年径流总量控制率需介于 70% 和 85% 之间。因此,重点对比这个控制率范围内的日设计雨量。图 5 为降雨总量控制

模式 85% 控制率设计雨量与场次控制模式 90% 控制率设计雨量之比。

图 5 显示,85% 降雨总量控制率对应的日设计雨量和 90% 降雨场次控制率的日设计雨量比较接近,其比值的全省平均值为 1.08,各地在 0.94 ~ 1.18 之间;太湖地区一般小于 1,吴江为全省最小;盐城北部、连云港、宿迁一带的比值较高,其中响水最大。我国采用降雨总量控制模式,对各区最高控制限值要求为 85%,将此时的日设计雨量和美国 95% 降雨场次控制率要求的日设计雨量进行对比,前者小于后者,两者的比值为在 0.68 ~ 0.81,依然是在东山最小,响水最大,全省平均值为 0.74。

3.2 对初期雨量的影响

初期雨量的目的主要是考虑降水对污染物的冲刷作用,尤其是降雨一开始的时段。初期雨量的具体控制值和污染程度、汇水面性质、汇水面面积、系统设计等诸多因素有关。由前文分析可以看出,在江苏,当初期雨量为 12.7 mm 时,降雨总量控制模式和降雨场次控制模式下对应的控制率均已经超过了 50%;当初期雨量为 25.4 mm 时,控制率均已经超过了 75%。因此本文按照《室外排水设计规范》^[25] 要求将 4、6、8 mm 作为初期雨水设计雨量来讨论其对应的控制率分布特征,表 1 给出了不同初期雨量对应的控制率平均值和范围,图 6 给出了不同初期雨量对应控制率空间分布。

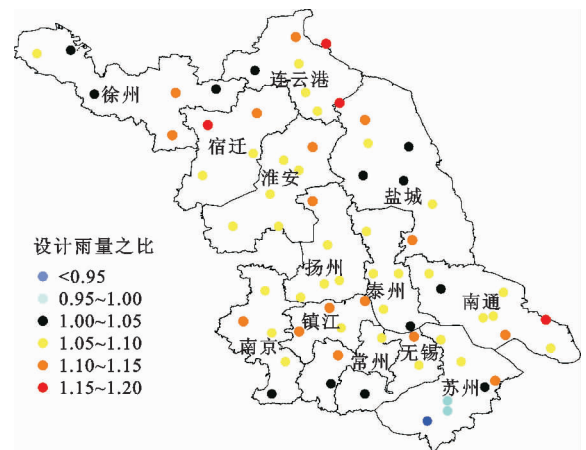


图 5 降雨总量控制模式 85% 控制率设计雨量与场次控制模式 90% 控制率设计雨量之比

表 1 不同初期设计雨量对应的控制率

控制模式	4 mm		6 mm		8 mm	
	平均值	范围	平均值	范围	平均值	范围
降雨总量控制模式	24.4	21.2 ~ 27.2	33.6	29.1 ~ 37.4	41.1	35.7 ~ 45.9
降雨场次控制模式	21.6	19 ~ 24	35.8	33 ~ 38	46.1	44 ~ 48

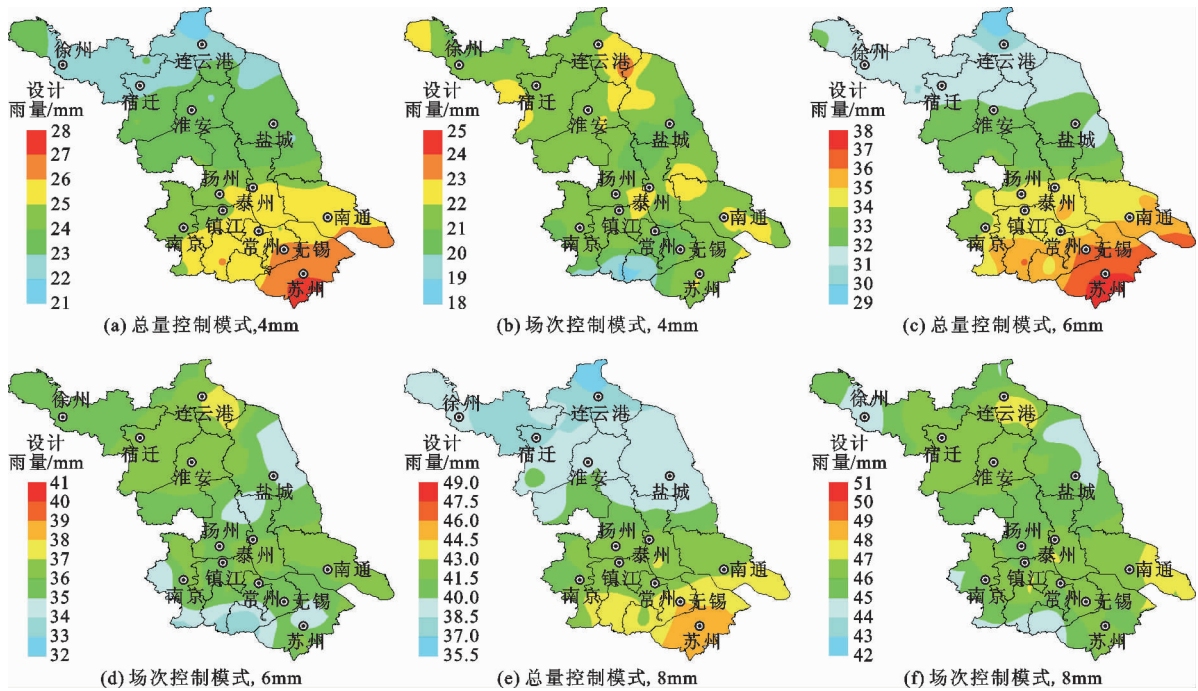


图6 不同初期雨量对应控制率空间分布

由表1可以看出,在两种控制模式下,虽然不同初期雨量控制率的全省平均值相差并不是太大,但是图6显示空间分布的差异却十分明显。在降雨总量控制模式下,不同初期雨量的控制率的空间分布形态是一致的,均是由南向北逐渐减小;在降雨场次控制模式下,各地初期雨量控制率相差较小,但是空间分布形态比较复杂。总体而言,泰州北部和盐城中部的控制率相对较低,在不同的初期雨量时,这些地区的控制率均比周围低,说明这些地区的降水变化更加平缓;相对高值区出现在连云港南部-盐城北部以及扬州-泰州-镇江交界处,说明这些地区的降水变化相对迅速。可以看出,虽然降雨总量控制模式和降雨场次控制模式有较好的对应关系,但对于初期雨水的控制有明显不同,对于江苏而言,在连云港南部-盐城北部体现最为明显,可能会对当地的径流污染控制产生影响。

3.3 对典型地区的影响

降雨总量控制模式和降雨场次控制模式虽然均与降水有关,但是由于各自关注重点不同,导致差异较大。前者统计的是需要控制部分的雨量占总有效雨量的比例,体现该地区平均产流水平;后者则是关注多少频率的降水事件需要被控制,体现该地区对场次降雨的消纳能力。一般情况下,即使在同样的气候背景条件下,各地由于受局地地形、大气环流场的影响,降水量、降水强度、降水持续时间等都有很

大的不同,使得降雨总量控制模式和降雨场次控制模式有明显的异同点。

在江苏省,东山地区在两种控制模式下的设计雨量均是全省最小,两种模式之间的差异最小;响水则位于设计雨量大值区,且两种模式之间的差异最大,因此选取东山站和响水站所在区域为典型地区,图7给出了这两个典型地区不同降水等级的雨量比例和场次比例,开展进一步分析。

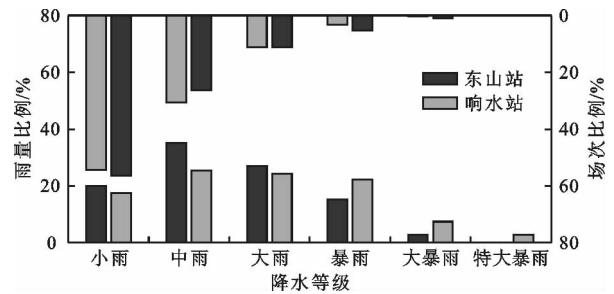


图7 东山站和响水站不同降水等级的雨量比例和场次比例

图7清晰的显示出东山站的小雨场次比例略高于响水站,但是暴雨以上的雨量比例则比响水站低很多。东山站的中雨对雨量的贡献为35.1%占首位,暴雨以上雨量的贡献为18%,基本是中雨的一半;而在响水站,暴雨以上雨量的贡献达到32.6%,远大于中雨的25.3%。强降水所占的比例越大,设计雨量越大,两种控制模式下均是如此。

如果将降水等级进一步细化,图 8 给出了这两个站点更细致的不同等级日降水量的降水特征。从图 8 可以看出,东山站大部分降水日的日降水量较低;在 20~30 mm 降水出现一个局部高峰,降雨量占总降水量的 18.5%,降水场次占总场次的 10.5%;在 60~70 mm 降水又出现一个相对高值,降雨量占总降水量的 3.6%,降水场次占总场次的 0.8%。响水站在 20~30 mm 同样出现一个降水局部高峰,降雨量占总降水量的 13.3%,降水场次占总场次的 8.8%;在 70~80 mm 降水又出现一个相对高值,降雨量占总降水量的 5.2%,降水场次占总场次的 1.1%,这些和东山站相差不大,但是在 100~120 mm、200~250 mm 和大于 250 mm 处,响水站均出现了明显局部峰值,降雨量分别占总降水

量的 3.0%、1.0% 和 2.8%,降水场次占总场次的 0.4%、0.1% 和 0.1%,这 3 个峰值在东山站是没有的,尤其是响水大于 250 mm 的降水占降水总量的 2.8%,而东山站为 0。从累计比例也可以明显看出差异,当降水达到 120 mm 时,东山站的累计雨量比例已达到 98.8%,累计场次比例更达到 99.9%,而响水站的累计雨量比例为 92.7%,场次为 99.5%。可见由于东山站降水场次多且日降水量小,累计雨量比例和累计场次比例同步增长,相差不大,因此降雨总量控制模式与降雨场次控制模式之间的差异较小;但是响水站降水场次少,出现强降水的场次比例较高,累计雨量比例和累计场次比例同步增长性差,导致两种模式之间的日设计雨量、初期雨量控制率的差异越大。

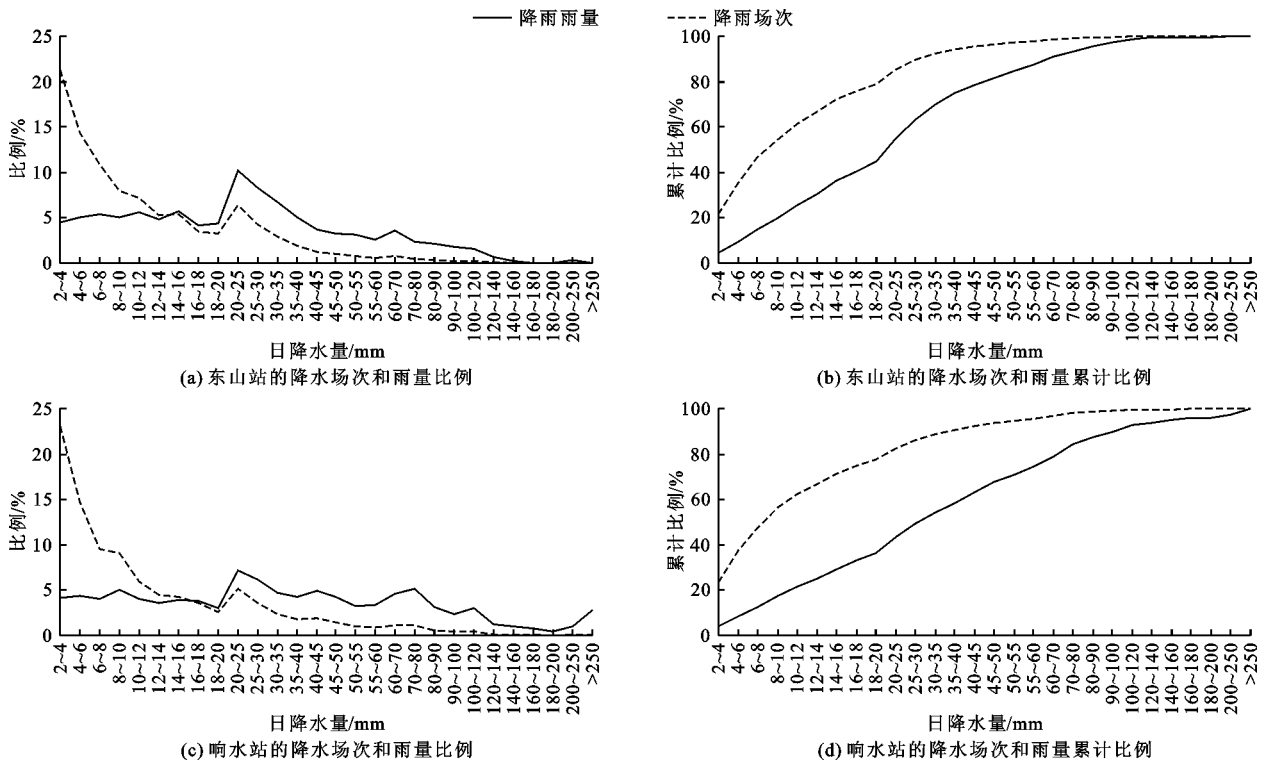


图 8 东山站和响水站不同等级日降水量的降水特征

控制率代表着城市对雨水的吸纳和处理能力,控制率越高,降水对城市内径流的影响越小,但是此时设计雨量越高,需要通过更多的海绵城市 LID 系统来实现,必然需要更多的经济投入,这其中可以寻找一个平衡点。控制率增长速度和设计雨量增长速度之间的关系会影响这个平衡点,图 9 给出了东山站和响水站在降雨总量控制模式和场次控制模式下的雨量设计曲线。同时,参照一些学者提出的方案^[13,18],以控制率为 99.5% 的设计雨量为最大雨量^[29],对设计雨量进行归一化处理,计算最优控制

率和对应的最优设计雨量,表 2 列出了这两个典型站点最优控制率和最优设计雨量。

由图 9 可以看出,在不同的控制率区间,控制率的增长和设计雨量的增长并不同步,在控制率小于 60% 时,控制率的增长速率明显高于设计雨量的增长速率;当控制率在 60%~90% 区间时,控制率的增长速率总体与设计雨量的增长速率相当;当控制率大于 90% 时,控制率的增长速率则小于设计雨量的增长速率。表 2 展示出在两种控制模式下,东山站和响水站的最优控制率在 76.0~83.4% 之间,降

雨总量控制模式的最优控制率总是大于降雨场次控制模式,在东车站两者相差2.2%,在响水站相差7.4%,差异更加明显。最优设计雨量差异则较大,东

山站降雨总量控制模式的最优设计雨量比降雨场次控制模式大5.5 mm,在响水站前者比后者大23.4 mm。

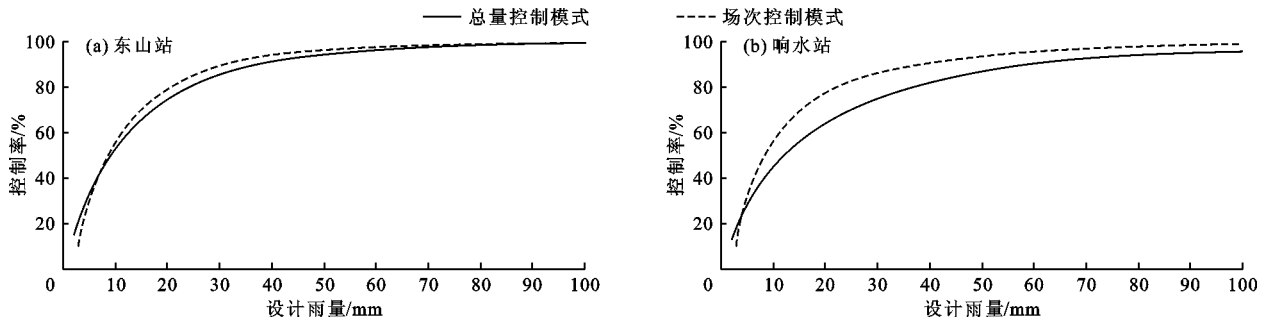


图9 东车站和响水站在两种控制模式下的雨量设计曲线

表2 东车站和响水站在两种控制模式下的最优控制率和最优设计雨量

控制模式	东车站		响水站	
	最优控制率/%	最优设计雨量/mm	最优控制率/%	最优设计雨量/mm
降雨总量控制模式	83.2	26.9	83.4	42.2
降雨场次控制模式	81.0	21.4	76.0	18.8

以上分析表明,两种控制模式下最优设计雨量差异显著,在一种模式下按最优控制率进行设计不一定能够保证在另一种模式下也是最优情况。尤其是在暴雨占比较大的地区,不同控制模式之间的设计雨量差值会更大,这些地区往往位于降水总量比较小,降水更加集中,水资源相对较少的北方地区,本身对雨水利用的需求也比较强烈。因此,在海绵城市建设中,这些地区更需要细致的分析本地的总量控制、污染控制、雨水资源化利用等不同控制目标的需求,采用多种控制模式进行对比研究,确定当地的最优控制率和设计雨量,实现最佳的整体效益。

4 结论

不同的降雨控制模式会影响低影响开发系统的设计参数,本文以长江中下游地区降水事件频发的江苏省为例,利用全省所有国家气象站1961-2019年的相关资料,研究了降雨总量控制模式和降雨场次控制模式的异同点,得出以下主要结论:

(1)不同降雨控制模式的日设计雨量的空间分布形态分布差异较小,但是数值差异较大。在相同的控制率之下,降雨总量控制模式的日设计雨量大于降雨场次控制模式的日设计雨量;在暴雨占比较高的地区更加明显;随着控制率的增大而增加。在85%和95%控制率下,响水的降雨总量控制模式比降雨场次控制模式的日设计雨量分别大17.2和

34.4 mm,远高于东山。

(2)两种控制模式的日设计雨量也有一定的比例关系,85%降雨总量控制率对应的日设计雨量和90%降雨场次控制率的日设计雨量比值为1.08。

(3)不同降雨控制模式之间的初期雨量控制率的空间分布形态明显不同,降雨总量控制模式下的控制率由南向北逐渐减小,分布规律明显,但是降雨场次控制模式的控制率分布比较复杂。

(4)强降水场次和雨量所占比例是影响两种降雨控制模式差异的关键因素。强降水的比例越大,两种控制模式之间的设计雨量、初期雨量控制率、最优控制率、最优设计雨量的差异越大。在强降水比例高的响水,两种控制模式的最优控制率和最优设计雨量分别相差7.4%和23.4 mm;而在中小降水为主的东山,仅分别为2.2%和5.5 mm。

本文的研究表明,在强降水占比高的地区,更需要利用细致、长期、最新的降水资料进行分析,优选控制目标,开展工程技术、经济效益的综合比较,优化低影响开发系统建设方案,这也是今后海绵城市设计和建设的研究重点之一。

参考文献:

- [1] XIA Jun, ZHANG Yongyong, XIONG Lihua, et al. Opportunities and challenges of the Sponge City construction related to urban water issues in China[J]. Science China

- Earth Sciences, 2017, 60(4):652-658.
- [2] 张建云,王银堂,贺瑞敏,等. 中国城市洪涝问题及成因分析[J]. 水科学进展, 2016, 27(4):485-491.
- [3] 谈晓珊,王婕,唐雄朋,等. 1960-2012年澜沧江-湄公河流域气候变化趋势及不同区间的径流响应[J]. 水资源与水工程学报, 2020, 31(4):1-8.
- [4] SHARIFI S, MASSOUDIEH A, KAYHANIAN M. A stochastic storm water quality volume-sizing method with first flush emphasis[J]. Water Environment Research, 2011, 83(11):2025-2035.
- [5] ALMEIDA C A, QUINTAR S, GONZÁLEZ P, et al. Influence of urbanization and tourist activities on the water quality of the Potrero de los Funes River (San Luis - Argentina) [J]. Environmental Monitoring & Assessment, 2007, 133(2):459-465.
- [6] 盛子涵,蒋晓红,龚志浩,等. 基于海绵城市建设理念的圩垸地区城市排涝主要设计参数优化方法[J]. 水资源与水工程学报, 2020, 31(5):164-170.
- [7] ROSE S. The effects of urbanization on the hydrochemistry of base flow within the Chattahoochee River Basin (Georgia, USA) [J]. Journal of Hydrology, 2007, 341(1-2):42-54.
- [8] 余灏哲,李丽娟,李九一. 基于量-质-域-流的京津冀水资源承载力综合评价[J]. 资源科学, 2020, 42(2):358-371.
- [9] United States Environmental Protection Agency. Technical guidance on implementing the storm water runoff requirements for federal projects under section 438 of the energy independence and security act [M]. Washington D C: United States Environmental Protection Agency, 2009.
- [10] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行) [C]// 2015城市排水防涝规划设计与海绵城市建设技术专题交流会. 厦门:2015.
- [11] 任心欣,汤伟真. 海绵城市年径流总量控制率等指标应用初探[J]. 中国给水排水, 2015, 31(13):105-109.
- [12] 庞璇,张永勇,潘兴瑶,等. 城市雨洪模拟与年径流总量控制目标评估:以北京市未来科技城为例[J]. 资源科学, 2019, 41(4):803-813.
- [13] 李俊奇,林翔,王文亮,等. 国内外雨水径流总量控制指标统计方法对比剖析[J]. 中国给水排水, 2018, 34(8):11-16.
- [14] 张建云,王银堂,胡庆芳,等. 海绵城市建设有关问题讨论[J]. 水科学进展, 2016, 27(6):793-799.
- [15] 李兵,韩磊,常剑锋,等. 海绵城市建设降雨控制率与降雨量之间的关系研究[J]. 中国市政工程, 2016(5):28-29+98.
- [16] 王虹,丁留谦,程晓陶,等. 美国城市雨洪管理水文控制指标体系及其借鉴意义[J]. 水利学报, 2015, 46(11):1261-1271+1279.
- [17] 席广朋,王建龙,赵梦圆,等. 城市雨水总量控制方法及应用[J]. 中国给水排水, 2017, 33(16):1-7.
- [18] 王家彪,赵建世,沈子寅,等. 关于海绵城市两种降雨控制模式的讨论[J]. 水利学报, 2017, 48(12):1490-1498.
- [19] 申红彬,徐宗学,张书函,等. 不同汇流关系LID降雨控制方式分析检验[J]. 水利学报, 2019, 50(5):578-588.
- [20] WINER R, ZIELINSKI J. Critical area 10% rule guidance manual: Maryland Chesapeake and Atlantic coastal bays [R]. Annapolis, MD, 2013.
- [21] Vermont Agency of Natural Resources. The Vermont stormwater management manual [M]. Vermont: Vermont Agency of Natural Resources, 2002.
- [22] 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.
- [23] 车伍,张鸥,张伟,等. 初期雨水与径流总量控制的关系及其应用分析[J]. 中国给水排水, 2016, 32(6):9-14.
- [24] 朱甜甜,于增知,于晗,等. 基于不同土地利用类型下的初期雨水径流污染特征分析与LID措施研究[J]. 水资源与水工程学报, 2020, 31(3):8-14.
- [25] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 室外排水设计规范:GB 50014—2006 [S]. 北京:中国标准出版社, 2014.
- [26] 何书樵,郑有飞,尹继福. 近50年长江中下游地区降水特征分析[J]. 生态环境学报, 2013, 22(7):1187-1192.
- [27] 潘欣,尹义星,王小军. 1960~2010年长江流域极端降水的时空演变及未来趋势[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(3):436-444.
- [28] 李俊奇,李小静,王文亮,等. 美国雨水径流控制技术导则讨论及其借鉴[J]. 水资源保护, 2017, 33(2):6-12.
- [29] GUO J C Y, URBONAS B. Maximized detention volume determined by runoff capture ratio [J]. Journal of Water Resources Planning & Management, 1996, 122(1):33-39.