

文章编号:0559-9350(2017)12-1490-09

关于海绵城市两种降雨控制模式的讨论

王家彪¹, 赵建世¹, 沈子寅², 王浩^{1,3}, 雷晓辉³

(1. 清华大学 水沙科学与水利水电工程国家重点实验室, 北京 100084;

2. 美国ACT工程咨询公司 美国 洛杉矶; 3. 中国水利水电科学研究院 水资源研究所, 北京 100038)

摘要: 我国《海绵城市建设技术指南—低影响开发雨水系统构建(试行)》采用降雨总量控制模式以实现径流总量控制目标, 但降雨总量控制率并不等同于径流总量控制率, 降雨控制需将降雨转换成径流后才能与径流控制对应。按美国EPA提出的降雨场次控制模式进行设计, 其降雨场次控制率等于径流场次控制率, 降雨控制与径流控制直接对应。为此, 本文开展了关于海绵城市建设中两种降雨控制模式的讨论。论文首先对两种降雨控制模式内涵进行了解析。然后以北京、武汉、广州为代表比较了两种不同控制模式下的城市产流量设计结果。研究表明, 两种降雨控制模式其设计降雨量具有一定对应关系, 但概念上应有所区别; 相同控制条件下, 按降雨总量控制的设计降雨量要明显高于按降雨场次控制, 但两种模式下的最优控制率差异并不大; 总量控制模式能较好地反映城市年均产流水平, 有利于雨水利用目标实现, 而场次控制模式则更能代表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。

关键词: 低影响开发; 降雨总量控制率; 降雨场次控制率; 雨水利用; 径流污染

中图分类号: P467

文献标识码: A

doi: 10.13243/j.cnki.slxb.20170616

1 研究背景

2014年我国住房和城乡建设部下发了《海绵城市建设技术指南—低影响开发雨水系统构建(试行)》(以下简称《指南》), 并将低影响开发(Low Impact Development, LID)建设规划目标落实在了年降雨总量控制^[1]。与美国EPA(美国环保署, USEPA)提出的城市LID控制模式不同^[2], 《指南》中采用降雨总量控制模式以实现径流总量控制目标。这种方式引起了一定的争议。以车伍为代表的《指南》主要编制专家认为按降雨总量控制和按降雨场次控制都能实现径流总量控制而无原则上区别, 两者具有对应关系, 但应与对初期雨水的控制有所区别^[3]; 而王虹等^[4]则认为控制降雨场次和控制初期降雨的理念是一致的, 我国《指南》中提出的计算方法既不同于美国的径流总量计算法, 也不同于降雨场次百分点控制方法; 张建云等^[5]认为海绵城市中径流控制效果与场次暴雨总量和时程分布有直接关系, 根据地域降雨特征来设置径流控制指标更加合理。另外, 张鷟等^[6]认为我国径流总量控制目标包含了径流污染控制内容, 但《指南》只是将径流污染作为兼顾指标。还有学者认为降雨总量控制与径流总量控制之间对应关系因径流系数的差异而有所差别^[7], 并且探讨了多场次降雨下的平均径流系数与总量控制之间的关系。此外, 有些学者针对我国径流污染控制及其设计降雨量的问题, 提出按控制年90%降雨事件所产生的径流来确定径流污染控制下雨量设计值^[8]。王文亮等^[9]还考虑了降雨总量控制模式下极端暴雨对控制目标的影响, 建议“统计过程中可扣除少数极端暴雨, 如按雨量大小排序, 扣除频率小于0.5%的

收稿日期: 2017-06-25; 网络出版日期: 2017-12-15

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1882.TV.20171215.1116.001.html>

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFC0404403, 2016YFC0401302); 国家自然科学基金项目(51709273)

作者简介: 王家彪(1990-), 男, 江西吉安人, 博士生, 主要从事水文水资源研究。E-mail: waterwhu@foxmail.com

通讯作者: 沈子寅(1976-), 男, 浙江宁波人, 硕士, 主要从事城市防洪排涝规划设计、水环境治理研究。

E-mail: shenziyin@gmail.com

暴雨”^[9]。

依据LID建设要求，城市开发前后应尽可能保持各水文特征量不变^[1-2,10]。在实践中，这一开发要求常通过控制径流量或产流雨量来实现，例如，我国《指南》中所规划的控制目标实则为降雨总量控制目标，而美国EPA导则^[2]则是以降雨场次控制为目标。本文从“《指南》中是否该采用降雨总量控制为目标”这一问题出发，开展了关于海绵城市建设中两种降雨控制模式的讨论。论文首先分析了低影响开发下“年降雨总量控制”和“年降雨场次控制”两种模式的不等价问题。然后以北京、武汉、广州为代表城市，推求了两种控制模式下我国部分城市的设计降雨量，并与《指南》中同标准设计值进行对比分析。在此基础上，着重比较了两种不同控制模式对海绵城市各建设目标的影响，研究以期为我国城市低影响开发下水控制提供指导和借鉴。

2 两种不同降雨控制模式的内涵解析

根据《指南》，海绵城市LID建设目标包括径流总量控制、径流峰值控制、径流污染控制、雨水资源化利用等，其中作为最终落实目标的径流总量控制其实质是通过控制住80%~85%的年降雨总量来实现。而美国环保署(USEPA)根据美国《能源独立与安全法》中的第438章为联邦政府项目编制了《实施暴雨径流控制导则》，该导则中应用降雨场次百分点法来确定径流控制指标，并确定95%作为控制百分点，尽管大部分州选择80%~90%之间的控制指标^[2]。很明显，这两份导则文件在设计时采用了两种不同的降雨控制模式：降雨总量控制和降雨场次控制。

2.1 径流控制和降雨控制 我国《指南》定义年径流总量控制率为：根据多年日降雨量统计分析计算，通过自然和人工强化的渗透、储存、蒸发(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百分比。虽然《指南》中统计的都是产生径流的降雨，并将小于2mm的日降雨进行了剔除。但其定义的实际上是年降雨总量控制率，属降雨控制范畴，从概念上应与径流控制有所区别。

首先，从水文上来说，径流除地表外排部分外，还存在壤中流和地下径流，《指南》中定义未涵盖所有径流。其次，降雨总量控制率与径流总量控制率并不相等，降雨-径流之间存在明显的非线性关系^[11]。车伍等^[12]指出年径流总量控制率与年降雨总量控制率两者间相差一个径流系数的换算。王虹等^[4]也指出《指南》中的降雨量没有乘以径流系数而转变为径流量。而且，径流系数并不是一个固定常数，而是随下垫面和降雨量变化的系数。下图1是根据美国SCS产流模型推出的降雨-径流关系^[13]，图1中仅对于完全不透水的地块(CN值为100)，降雨量与径流量是线性对应的，即径流系数始终为1，而对于一般的地块(以CN值70为例)，降雨量与径流量之间呈非线性关系。当然，不同的降雨产流模型有不同的公式，但可以肯定的是，降雨量与径流量之间的关系是非线性的。所以控制了年降雨总量的80%~85%不等于控制了年径流总量的80%~85%。

尽管如此，若按美国EPA导则中降雨场次百分点法来确定控制目标，则径流控制和降雨控制是

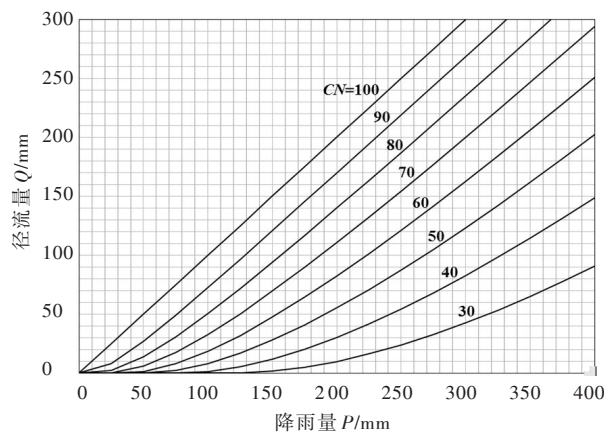


图1 SCS产流模型计算降雨-径流关系曲线

等效的，因为降雨场次控制率等于径流场次控制率而不受降雨-径流关系影响。类似于降雨总量控制率定义，降雨场次控制率应具有如下概念：根据多年日降雨量统计数据计算，通过自然和人工强化的渗透、储存、蒸发(腾)等方式，场地内累计全年得到控制(不外排)的降雨场次占全年总降雨场次的百分比。降雨场次控制率确定时同样将不产流的降雨(小于2 mm的日降雨)进行剔除。

综合上述，径流控制和降雨控制应从概念上有所区别。径流控制目标和降雨控制目标不具有完全等价关系，虽然径流场次控制率等于降雨场次控制率，但径流总量控制率并不等于降雨总量控制率。

虽然，径流控制和降雨控制有所区别，但不可否认，降雨是产流的直接来源，径流控制可通过降雨控制来实现。考虑到我国《指南》与美国EPA导则以及国内外相关研究最终都是以降雨控制来实现LID建设目标，因此本文将着重讨论两种不同降雨控制模式及其对海绵城市建设目标实现的影响。

2.2 降雨总量控制和降雨场次控制界定 《指南》中通过按降雨总量控制模式实现场地内一定比例的累计全年雨量得到控制而不外排。而美国EPA导则采用的降雨场次控制模式则要求全年中一定百分比内的降雨事件得到完全控制。总的来说，总量控制和场次控制概念并不一样，两者本质区别在于是统计降雨量还是降雨次数：前者是量的统计，关注控制部分雨量占总雨量的比例，后者是频率的统计，关注多少频率的事件会被控制住。下图2中可进一步看出两种模式的区别，图中将统计年所有逐日降雨按从小到大的顺序进行排序，以柱状图高度示意每天降雨量。

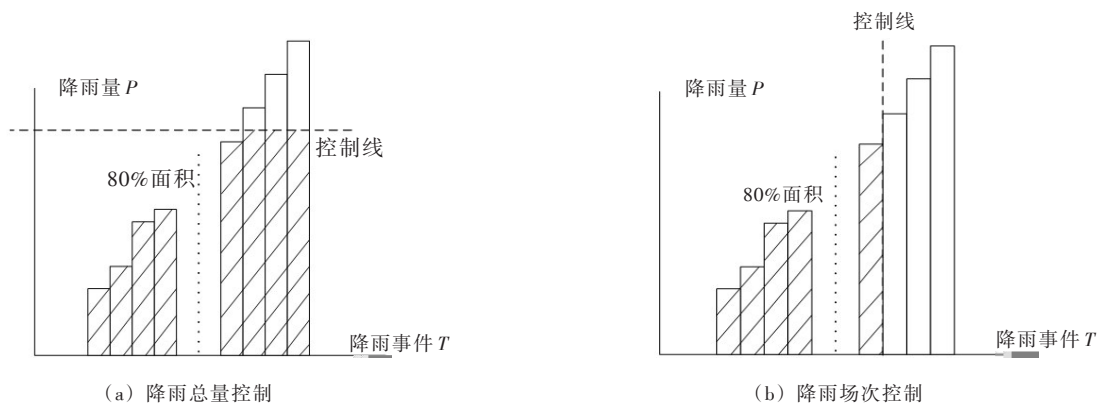


图2 80%控制率下雨量控制示意图

从图2中可看出，两种模式控制效果具有较大差异：(a)中按总量控制的模式需确定特定降雨量值，使小于该值的年累计雨量(柱状图累计阴影面积)占总雨量的比例为控制百分比；(b)中按场次控制则是直接根据降雨次数(柱状图条形块数)乘以控制百分比后确定某一顺序位对应雨量值，使其左端部分的雨量得到完全控制。很显然，降雨场次控制关注的是该场次降雨是否得到完全控制，因此控制线右端不能完全控制的降雨不直接参与计算，这也可避免年内一些特大暴雨对雨量设计的过于影响^[8-9]。

仅从量上来看，降雨场次控制率和降雨总量控制率最终都是对应于特定的设计降雨量，其设计值之间有一定的对应关系。车伍等^[12]提到：一般而言，90%~95%年降雨场次控制率大致对应80%~85%的年径流总量控制率，两者对应设计降雨量的精确关系与各地具体降雨特征有关。为验证这一说法，本文以北京为例，比较分析了1951—2015年以来两种控制模式下不同雨量值(10 mm至80 mm每5 mm取一个点)和不同控制率(25%至95%每5%取一个点)之间的对应关系，如下图3所示，图中可看出两者具有较好的线性关系。

虽然降雨场次控制率和降雨总量控制率在一定条件下可建立数值上的对应关系，但这并不意味着可将两种降雨模式进行等价^[3,9,14]。因为，降雨-径流之间具有很强的非线性关系^[11](图1)，即使降雨总量控制率和降雨场次控制率之间存在固定的线性关系，也很难保证同标准下两种控制模式具有等效的LID设计效果。Guo在文献^[15]中对比分析了年降雨总量控制率与年降雨场次控制率，其研究指出，年径流场次控制率比年径流总量控制率更有实用意义，因为在设计LID时，目标是提高进入自然水体的水质，而不是削减洪涝。潘国庆^[8]也指出，对于一个按设计降雨量建设的控制设施或系统，

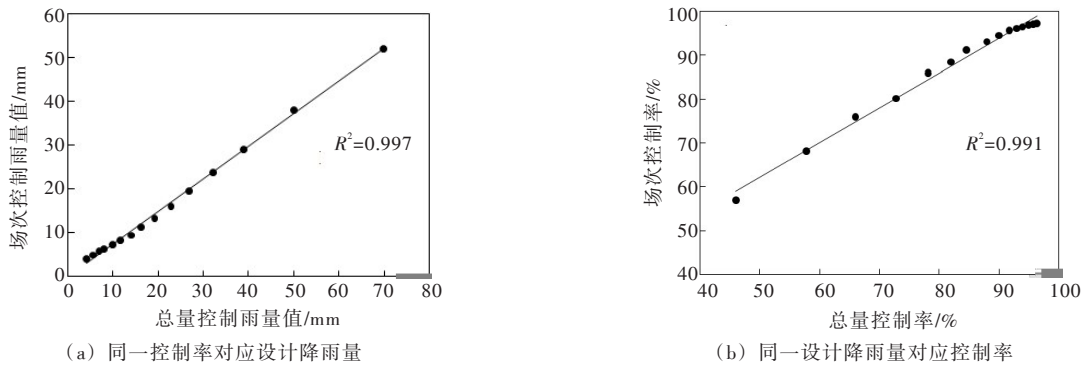


图3 北京两种降雨控制模式对比

小于设计降雨量的降雨会全部经过处理；大于设计降雨量的降雨，超过的部分得不到有效处理而溢流排放。例如，如果某个LID是按照30 mm降雨量设计的，那么一场50 mm的日降雨量，就有20 mm溢流排放，可以肯定的是前面30 mm的污染负荷比后面20 mm的污染负荷要高，但是因为20 mm的溢流，30 mm部分的污染负荷没有来得及处理，因为混合、溢流，而被带入自然水体。

2.3 降雨场次的划分 为更明确地讨论降雨场次控制模式，需对降雨场次进行划分。通常降雨场次划分有两种方式，一是按日降雨量划分，即每天8点到次日8点之间的降雨作为一场降雨；二是实际降雨场次划分。实际降雨场次根据间隔时间来确定是否为不同的降雨场次，间隔时间根据应用情况设定，比如设为6 h或者12 h。按日降雨量划分的优点是简单且时间固定，而按实际降雨场次划分则更能体现出降雨的实际情况，计算径流量更准确。Guo等^[15]在文献中采用按实际降雨场次的划分方式，王虹等^[4]也提到美国的径流总量计算方法有采用实际降雨场次划分的。尽管如此，美国EPA技术导则与中国海绵城市《指南》采用的降雨场次都是按日降雨量来划分的。因此，本文研究的降雨场次也采用日降雨量划分的方式，一是便于设计降雨量的比较，二是便于今后在实际应用中研究成果的推广。

3 两种降雨控制模式下设计降雨量推求

美国EPA导则中采用长系列多年平均的方法推求了代表城市95%场次控制率下的设计降雨量作为LID设计指标。而《指南》中则采用80%~85%总量控制率所对应的雨量设计值作为控制指标：根据中国气象科学数据共享服务网中国地面国际交换站气候数据，选取至少近30年日降雨资料，扣除小于等于2 mm的日降雨量，将降雨量日值按雨量由小到大进行排序，统计小于某一雨量值的降雨总量在总降雨量中的比率（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，两者累计总和图2），此比率对应的降雨量即为设计降雨量。

3.1 设计方法和代表城市设计雨量推求 现以北京、武汉、广州为例，分别选取1951—2015年（其中广州缺1951年资料，《指南》中选取的是1983—2012年，本文为使数据更具代表性而将系列延长）逐日降雨量值，按《指南》中设计方法分析降雨总量控制和降雨场次控制这两种模式下的雨量设计问题。

方法具体推求步骤如下：

(1) 获取设计城市1951—2015年的日降雨数据并进行整理。数据从中国气象科学数据共享服务网下载，将降雪等非降雨数据和异常数据（特殊标记的如缺测等）剔除后再扣除累计小于等于2 mm的日降雨，按从小到大进行排序。

(2) 依次统计长系列中每一降雨段的降雨场次（降雨天数）、年均雨量和累计雨量比例等，如下表1所示。

(3) 根据表1得到设计降雨量及对应百分比后绘制雨量设计曲线（设计降雨量与百分比关系曲线），

表1 北京1951—2015年降雨统计^[8,16]

降雨量日值/mm	65年降雨场次	65年累积降雨场次	累计出现频率/%	年均雨量/mm	年均累积雨量/mm	累计雨量比例/%
0.03~2	2037			20.78	20.78	3.73
2~4	555	555	23.96	24.91	24.91	4.47
4~6	337	892	38.51	25.68	50.59	9.08
6~8	238	1130	48.79	25.60	76.19	13.67
8~10	194	1324	57.17	26.72	102.91	18.47
10~12	120	1444	62.35	20.45	123.36	22.14
12~14	103	1547	66.80	20.60	143.96	25.84
14~16	82	1629	70.34	18.94	162.90	29.23
16~18	64	1693	73.10	16.78	179.68	32.25
18~20	69	1762	76.08	20.20	199.88	35.87
20~25	129	1891	81.65	44.81	244.69	43.91
25~30	108	1999	86.31	45.47	290.16	52.07
30~35	66	2065	89.16	33.22	323.38	58.03
35~40	48	2113	91.23	28.20	351.58	63.10
40~45	39	2152	92.92	25.59	377.17	67.69
45~50	36	2188	94.47	26.26	403.43	72.40
50~55	25	2213	95.55	20.06	423.49	76.00
55~60	13	2226	96.11	11.57	435.06	78.08
60~70	32	2258	97.50	31.95	467.01	83.81
70~80	16	2274	98.19	18.54	485.55	87.14
80~90	11	2285	98.66	14.42	499.97	89.73
90~100	10	2295	99.09	14.51	514.48	92.33
100~110	7	2302	99.40	11.29	525.77	94.36
110~120	5	2307	99.61	8.77	534.54	95.93
120~140	3	2310	99.74	6.22	540.76	97.05
140~160	3	2313	99.87	6.96	547.72	98.30
>160	3	2316	100.00	9.50	557.22	100.00

注：表中以北京为例，采用的是1951—2015年共65年排除降雪等特殊降水事件后的分析结果。其中0.03~2 mm行代表的是所剔除的不产流日降雨，0.03 mm代表的是气象资料中记录的微小降雨。

其中北京雨量设计曲线如下图4所示。(4)得到雨量设计曲线后，可直接根据设计曲线确定不同控制率下的设计降雨量。

3.2 最优控制率分析 《指南》中通过年平均产流比例(产流系数)来体现海绵城市建设前后水文过程的等效关系，其合理性有待商榷。为比较两种模式的控制潜力和分析LID设计的合理控制率，先不考虑与天然产流过程的等效关系，参照《指南》中控制率的说明及文献方法[7, 12]推求出最优控制率：控制百分比的增长与设计雨量的增长

比例相当时对应于最优控制率(此时随着控制率增长所能控制的雨水和径流污染都会大幅度减小)。以北京、武汉和广州为代表城市，比较两种模式下对应的最优控制率，如下图5和表2所示。图5中，由于横纵坐标物理量的不统一，需将代表设计雨量的横坐标需进行归一化，为此参考文献[17]以控制率99.5%所对应的降雨量作为最大降雨量。

图5和表2中可看出，两种控制模式都在控制率为85%左右时达到最优的控制效果，两者最优控

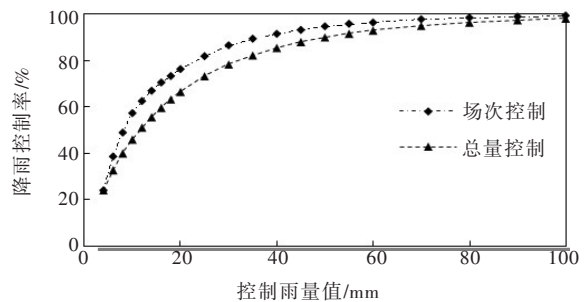


图4 北京不同控制模式下雨量设计曲线

制率相差很小，但对应降雨量最优设计值却差异很大。一方面，《指南》推荐的80%~85%控制率除了与经验估计的绿地径流系数(0.15~0.2)对应外，也能与城市多年降雨水平下的最优控制效果对应。另一方面，两种控制模式下最优设计值差异显著，一种模式下按最优控制率进行设计很难保证在另一种模式下也最优。这一现象与两种模式具有不同的物理含义有关，降雨总量控制能代表城市平均产流(径流外排)水平，而降雨场次控制则反映了城市对场次降雨的消纳能力，前者有很大比重受强降雨影响，而后者则完全着眼于中小量级降雨，不受强降雨过程的影响。

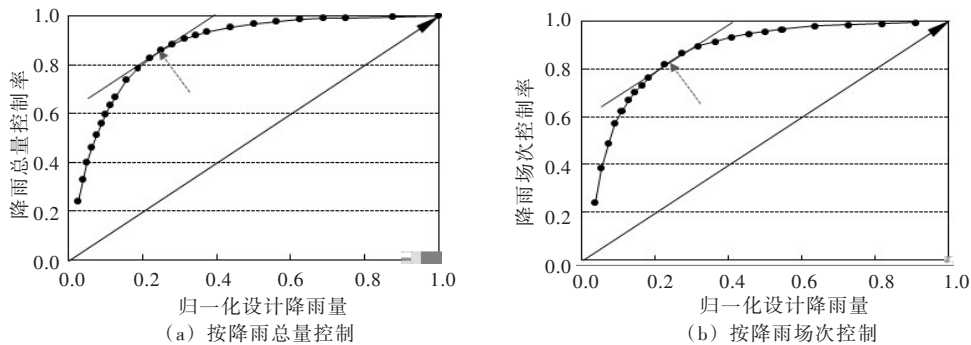


图5 北京不同控制模式下最优控制率

表2 不同控制模式下最优控制率

城市	控制模式	最优控制率/%	最优设计值/mm
北京	总量控制	85.0	38.9
	场次控制	84.0	26.8
武汉	总量控制	85.0	42.5
	场次控制	85.0	30.5
广州	总量控制	83.0	39.7
	场次控制	84.8	33.6

4 与《指南》中设计降雨量对比

根据表1中设计成果和《指南》中附表F2-1，推算出不同控制模式下的设计降雨量与《指南》中设计降雨量对比如下表3所示。

表3 我国部分城市不同降雨控制模式对应日雨量设计值

控制率	北京			武汉			广州		
	总量	场次	《指南》	总量	场次	《指南》	总量	场次	《指南》
60%	16.1	11.3	14.0	17.0	12.5	17.6	18.0	14.9	18.4
70%	22.8	16.0	19.4	24.1	17.2	24.5	24.9	20.0	25.2
75%	26.8	19.6	22.8	29.8	20.1	29.2	29.2	23.5	29.7
80%	32.1	23.7	27.3	34.3	24.1	35.2	34.9	28.1	35.5
85%	38.9	28.5	33.6	42.5	30.5	43.3	43.2	34.0	43.4

注：表中都采用《指南》中中长系列多年平均的方法，设计时扣除了2mm以下降雨。

根据表3分析不同降雨控制模式下雨量设计值与《指南》中设计值关系，可得出结论：(1)同一城市相同控制率时，按降雨总量控制模式推求的设计雨量要明显高于按场次控制模式，并且两种模式下设计雨量值的差异随控制率的增加而增加。(2)不同城市相同控制率时，两种模式下由北至南3个城市的设计降雨量都在增加。但按总量控制时武汉和广州较为接近，而按场次控制时则是北京和武汉更为接近。其主要原因可能与不同城市的历史降雨分布规律有关，这也可从图6中看出。

本文按照总量控制模式得出的降雨设计值与《指南》中设计值较接近，因为推导方法是一样的。但仍有一些差别，这可能是由于本文采用了1951—2015年的降雨资料，延长了《指南》中的降雨系列

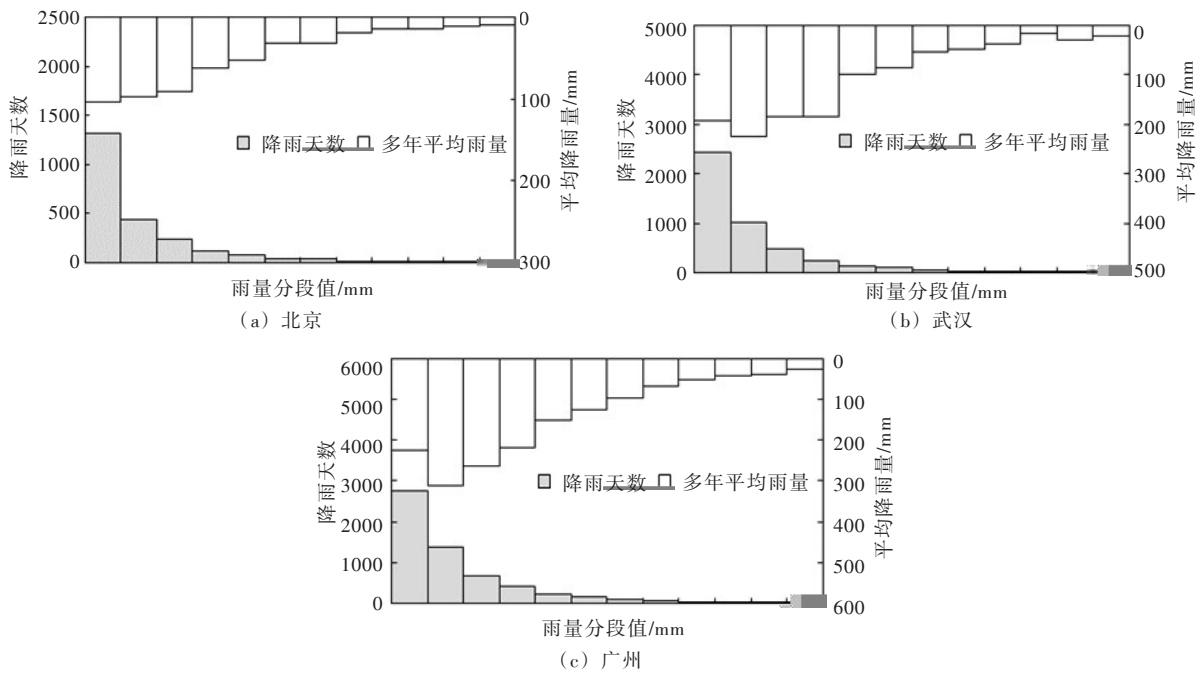


图6 不同城市历史降雨分布规律

表4 1983—2012降雨系列下本文设计值与《指南》中设计值对比

控制率	北京		武汉		广州	
	本文设计	《指南》设计	本文设计	《指南》设计	本文设计	《指南》设计
60%	14.0	14.0	17.5	17.6	18.3	18.4
70%	19.3	19.4	24.7	24.5	25.2	25.2
75%	23.0	22.8	29.5	29.2	29.8	29.7
80%	27.4	27.3	35.2	35.2	35.6	35.5
85%	33.6	33.6	43.2	43.3	43.5	43.4

长度。为此，同样采用1983—2012年降雨系列按总量控制模式推求北京、武汉、广州设计降雨量，然后将设计结果与《指南》中设计值进行对比如表4。

由表中4可看出，同样降雨系列情况下，本文设计值与《指南》中设计值并无很大出入，可见表3中这种差别确实是源于降雨系列的差异。但考虑到长系列数据的代表性更强，因此本文采用了1951—2015年的降雨资料进行分析，这也便于后续研究成果的深入。

5 两种降雨控制模式对LID建设目标影响

依据《指南》中海绵城市LID系统建设控制目标，分别讨论两种不同降雨控制模式对径流总量控制、径流峰值控制、径流污染控制和雨水资源化利用的影响。

5.1 对径流总量控制影响 前文已分析，年径流总量控制率和年降雨总量控制率之间的对应关系并不固定。同样，虽然年径流场次控制率等于年降雨场次控制率，但年径流场次和径流总量之间的关系也不固定，因此，年降雨场次控制率和年径流总量控制率之间也无直接对应关系。但两种降雨控制模式都能对径流总量控制产生直接影响，主要有以下三点：(1)两种降雨控制模式仅从设计值本身来看是具有一定对应关系的(图3)，但降雨-径流之间的非线性关系决定了两者雨量设计效果并不等价。同一设计标准下的降雨场次控制率和降雨总量控制率经降雨-径流关系转换后可能得到不同的径流总量控制标准。(2)同一控制率下两种控制模式所能控制的径流总量不同，通常按降雨总量控制会高于按降雨场次控制(图3、图4)。主要原因是影响两种控制模式设计值的降雨量级迥异：按降雨总量

控制主要受强降雨影响,雨量越大,控制标准越高;而按降雨场次控制则主要受中小降雨场次影响,小降雨场次越多,控制标准越低。(3)采用降雨场次控制模式更容易等效天然产流过程。虽然从平均意义上来说,按降雨总量控制直接与产流量对应,但对于单场次降雨来说却不能真实反映出场次降雨的产流比例。天然产流过程中,降雨强度越大,产流能力也越大,而对于一些极端暴雨事件,其天然产流能力远大于《指南》中推荐系数0.15~0.20。当大暴雨占总雨量比例很大时,总量控制模式所确定出的等效径流系数会对小量级降雨控制过高,关于这一点有国内专家已探讨过并建议对一些极端暴雨进行排除^[9]。

5.2 对径流峰值控制影响 无论是按降雨总量控制还是按降雨场次控制,两种模式都是对小量级、初期雨水进行控制,而对大量级降雨所产生的径流峰值仅起到削减和延迟作用^[1,14]。由于更受强降雨影响,在一同控制率下按总量控制对径流峰值的削减作用要强于按降雨场次控制模式。

5.3 对径流污染控制影响 对于径流污染控制来说,按降雨场次控制模式更为适合。因为通常情况下,降雨场次控制率=径流场次控制率=径流污染场次控制率,因此,控制一定场次降雨无径流外排其直观意义上就控制了一定比例降雨不产生径流污染。

另一方面,由于污染物并非均匀对应于降雨量,中小量级降雨尤其是初期降雨产生的径流污染更为严重,而总量控制模式只控制总径流体积而不能反映出污染的控制比例。

5.4 对雨水资源化利用影响 对于雨水资源化利用目标来说,按降雨总量控制模式更为合适,因为雨水的收集利用率与总量控制率是一致的。尽管如此,此处雨水的资源化利用应包含雨水净化后排入天然水体的途径。因为,LID设计时并非是完全对径流量控制而不外排,通过LID建筑截流的雨水有部分会再排入天然水体,以符合海绵城市建设理念^[10]。

6 结论与建议

本文探讨了我国海绵城市建设中两种不同的降雨控制模式,得出结论如下:(1)两种降雨控制模式并不等价。总量控制模式下,降雨总量控制率不等于径流总量控制率,降雨控制需将降雨转换成径流后才能与径流控制对应;而场次控制模式下,降雨场次控制率等于径流场次控制率,降雨控制可直接与径流控制对应。(2)同一城市相同控制率时,按降雨总量控制推求的设计降雨量要高于按场次控制;同一城市不同控制率时,两种模式下设计降雨量的差异随控制率的增加而增加。(3)两种降雨控制模式对《指南》中LID目标的实现存在不同的影响,其中按降雨总量控制模式反映了城市的平均产流水平,有利于雨水资源化利用目标实现;而按降雨场次控制模式能考虑具体降雨场次特征,反映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。(4)在LID建设时,不同城市应根据其主要控制目标和降雨特点进行降雨控制模式的选择,例如对于年大暴雨集中或以控制径流污染为主要目标的城市建议按降雨场次控制的模式进行雨量设计。

参 考 文 献:

- [1] 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)[S].2014.
- [2] United States Environmental Protection Agency . Technical Guidance on Implementing the Stormwater Runoff Requirements for Federal Projects under Section 438 of the Energy Independence and Security Act [R] . EPA 841-B-09-001 . Office of Water (4503T). Washington, D C 20460 . 2009 .
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 张鹏,车伍.海绵城市建设背景下对城市径流污染问题的审视[J].建设科技,2016(1):32-36.

- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 王文亮, 李俊奇, 车伍, 等. 雨水径流总量控制目标确定与落地的若干问题探讨[J]. 给水排水, 2016, 42(10): 61-69.
- [10] GUILLETTE A, STUDIO L I D. Low impact development technologies[M]. National Institute of Building Sciences, 2005.
- [11] 夏军, 石卫, 王强, 等. 海绵城市建设中若干水文学问题的研讨[J]. 水资源保护, 2017, 33(1): 1-8.
- [12] 车伍, 张鹏, 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.
- [13] AKAN A O, HOUGHTALEN R J. Urban hydrology, hydraulics, and stormwater quality: engineering applications and computer modeling[M]. John Wiley & Sons, 2003.
- [14] QIN H P, LI Z X, FU G. The effects of low impact development on urban flooding under different rainfall characteristics[J]. Journal of Environmental Management, 2013, 129(18): 577-585.
- [15] GUO J C Y, URBONAS B, MACKENZIE K. Water quality capture volume for storm water BMP and LID designs [J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2014, 19(4): 682-686.
- [16] 中国气象数据网[DB/OL]. http://data.cma.cn/data/detail/dataCode/SURF_CLI_CHN_MUL_DAY_CES.html.
- [17] 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.

Discussion about the two rainfall control approaches in Sponge City Construction

WANG Jiabiao¹, ZHAO Jianshi¹, SHEN Ziyin², WANG Hao^{1, 3}, LEI Xiaohui³,

(1. State Key Laboratory of Hydrosience and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. ACT Engineering, Los Angeles, USA; 3. Department of Water Resources, IWHR, Beijing 100038, China)

Abstract: “China Sponge City Construction Guide” (2014) uses rainfall volume capture ratio as runoff volume capture ratio to determine the designed rainfall, which is debatable because they’re not equivalent. Rainfall need be converted to runoff before estimating runoff volume capture ratio. US EPA uses rainfall event capture ratio to determine the designed rainfall and it’s equivalent to runoff event capture ratio. This paper compared two different methodologies with rainfall volume capture ratio and rainfall event capture ratio, and discussed which one is best suitable for Sponge City based on its goals. It discussed the concepts of these two methodologies, then compared them using Beijing, Wuhan and Guangzhou as examples. The designed rainfalls based on these two methodologies have certain correlation, but they’re not same and their concepts are different. The designed rainfall based on volume capture ratio is always higher than the one based on event capture ratio. The study found the optimized ratios, or the break-even point of capture ratio, are very close based on both methodologies. In conclusion, the runoff volume capture ratio represents the capture ratio of long-term annual runoff, hence is suitable for runoff utilization. But the runoff event capture ratio represents the capture capability of each rainfall event, hence is suitable for runoff pollution control.

Keywords: low impact development; volume capture ratio of annual rainfall; event capture ratio of annual rainfall; utilization of rainfall; runoff pollution

(责任编辑: 李琳)