

# 海绵城市年径流总量控制率计算方法及应用探讨

刘绪为, 李成江, 徐洁, 方帅, 于中海  
(中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300381)

**摘要:** 以我国北方某城市30年的实测降雨数据为依托,采用《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》中年径流总量控制率的说明方法,进行实操计算,并总结计算过程及方法。通过计算方法的研究以及近两年海绵城市试点建设的实践经验,对年径流总量控制率这一指标的应用进行探讨,并指出年径流污染控制的效果目标,年径流总量的控制是实现这一效果目标的有效途径和方法之一。

**关键词:** 海绵城市; 低影响开发; 年径流总量控制率; 径流污染

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)05-0130-04

## Calculation and Discussion on Volume Capture Ratios of Annual Rainfalls in Sponge City

LIU Xu-wei, LI Cheng-jiang, XU Jie, FANG Shuai, YU Zhong-hai  
(North China Municipal Engineering Design and Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300381, China)

**Abstract:** Based on 30 years of rainfall data from a city in North China, the calculation method of the capture ratio according to the description from the Guide was further applied and summarized. Through the study of the calculation method and the applications of the sponge city pilot projects in the latest two years, the application range of the volume capture ratio of total annual rainfall was discussed. Meantime, it's indicated that the annual rainfall pollution control should be the key control target, and the control of the annual rainfall volume should be the effectively control way to achieve this key target.

**Key words:** sponge city; LID; capture ratio of annual rainfall; runoff pollution

2014年10月住建部颁布了《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》(简称《指南》),提倡推广和应用低影响开发建设模式,对城市雨水水量及水质进行控制与约束,有效缓解城市内涝、水体污染,改善修复城市生态环境,并提出“渗、滞、蓄、净、用、排”等一系列概念及方法。这其中,有一个非常重要的概念“年径流总量控制率”,《指南》附录1中定义为“根据多年日降雨量统计数据进行分析计算,通过自然和人工强化的渗透、储

存、蒸发等方式,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”,并在附录2中给出了“年径流总量控制率与设计降雨量之间的关系”说明。笔者以我国北方某城市30年的实测降雨数据进行实操计算,通过研究计算过程,并结合海绵城市试点建设过程的设计经验,对“年径流总量控制率”这一概念进行了梳理和应用探讨。

### 1 降雨数据的统计归纳

以北方某城市的实测降雨数据为例,根据当地

气象部门提供的1986年1月1日—2015年12月31日总共30年的降雨数据,总计天数为10 957 d,实际降雨天数为2 815 d,根据《指南》的计算要求,扣除2 mm以下的降雨数据,实际大于2 mm的降雨天数为1 450 d,降雨量范围为2.1~157.1 mm,对数据进行升序排列。

## 2 对降雨数据进行计算

通过EXCEL进行数据计算,详见表1。

表1 年径流总量控制率计算过程

Tab.1 Calculation of capture ratio of annual rainfall

控制雨量/mm	累计降雨量/mm	累计频率/%	单个频率/%	小于该降雨量的次数	大于该降雨量的次数	控制降雨总量/mm	控制率/%
3	559.5	3.32	3.32	226	1 224	4 231.5	25.08
4	1 173.3	6.95	3.64	404	1 046	5 357.3	31.75
5	1 726.5	10.23	3.28	529	921	6 331.5	37.52
6	2 267.9	13.44	3.21	629	821	7 193.9	42.64
7	2 950.1	17.48	4.04	735	715	7 955.1	47.15
8	3 496.9	20.73	3.24	808	642	8 632.9	51.16
9	3 978.3	23.58	2.85	865	585	9 243.3	54.78
10	4 516.4	26.77	3.19	922	528	9 796.4	58.06
11	5 130.9	30.41	3.64	981	469	10 289.9	60.99
12	5 609.9	33.25	2.84	1 023	427	10 733.9	63.62
13	6 120.6	36.27	3.03	1 064	386	11 138.6	66.02
14	6 564.6	38.91	2.63	1 097	353	11 506.6	68.20
15	7 001	41.49	2.59	1 127	323	11 846	70.21
16	7 339.9	43.50	2.01	1 149	301	12 155.9	72.04
17	7 780.7	46.11	2.61	1 176	274	12 438.7	73.72
18	8 321.9	49.32	3.21	1 207	243	12 695.9	75.24
19	8 580.3	50.85	1.53	1 221	229	12 931.3	76.64
20	8 873.6	52.59	1.74	1 236	214	13 153.6	77.96
22	9 337.1	55.34	2.75	1 258	192	13 561.1	80.37
24	9 682.6	57.39	2.05	1 273	177	13 930.6	82.56
26	10 157.4	60.20	2.81	1 292	158	14 265.4	84.55
28	10 820.7	64.13	3.93	1 317	133	14 544.7	86.20
30	11 221.8	66.51	2.38	1 331	119	14 791.8	87.67
35	12 345.7	73.17	6.66	1 365	85	15 320.7	90.80
40	13 204.7	78.26	5.09	1 388	62	15 684.7	92.96
45	14 053.2	83.29	5.03	1 408	42	15 943.2	94.49
50	14 527.8	86.10	2.81	1 418	32	16 127.8	95.58
60	15 348.6	90.97	4.86	1 433	17	16 368.6	97.01
80	15 968.8	94.64	3.68	1 442	8	16 608.8	98.44
100	16 333.1	96.80	2.16	1 446	4	16 733.1	99.17
120	16 451.6	97.50	0.70	1 447	3	16 811.6	99.64
130	16 576.1	98.24	0.74	1 448	2	16 836.1	99.78
140	16 715.7	99.07	0.83	1 449	1	16 855.7	99.90
160	16 872.8	100.00	0.93	1 450	0	16 872.8	100.00

各列的计算过程及说明如下:

第1列,分别设置3、4、5、…、160 mm等 $X$  mm不同控制降雨强度的层级。各地区可以根据降雨强度的不同而不同。

第2列,分别对小于 $X$  mm的降雨量进行累加求和。

第3列,计算小于 $X$  mm的降雨量累计频率。计算方法为“第2列数值”/16 872.8 mm(累加总和) $\times 100\%$ 。

第4列,计算对应 $X$  mm的降雨量频率。

第5列,统计小于 $X$  mm降雨量的次数,可以从EXCEL列表直接读取。

第6列,计算大于 $X$  mm降雨量的次数,即1 450(总次数) - “第5列数值”。

第7列,计算对应 $X$  mm的控制降雨总量,即“第2列数值” + “第1列数值” $\times$ “第6列数值”。根据《指南》,“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”。

第8列,计算对应的控制率,即“第7列数值”/16 872.8 mm(累加总和) $\times 100\%$ 。

## 3 年径流总量控制率成果

根据表1计算的控制率数据,可以采用内插法进行取整,并根据实际所需控制率数据,内插得到控制雨量数值,详见图1。

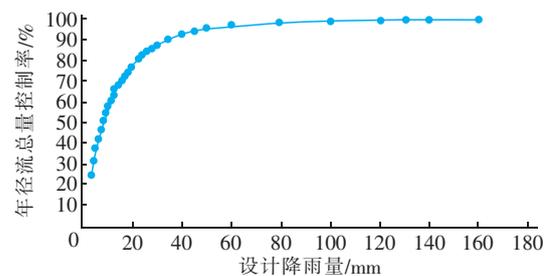


图1 年径流总量控制率与设计降雨量的关系

Fig.1 Relationship between capture ratio of annual rainfall and design rainfall depth

## 4 年径流总量控制率的实质

根据上述计算过程可以明显看出,对30年的日降雨量进行统计计算的控制率,实质上是指“设计降雨量控制率”,《指南》上定义为“年径流总量控制率”,从名称上增加了“径流”二字容易混淆,径流雨量=降雨量 $\times$ 径流系数,所以,在实际的工程应用中应注意区分。《指南》中虽然中文名称为“年径流总量控制率”,但实质上是指“设计降雨量控制率”,从

其英文定义“volume capture ratio of annual rainfall”也可以看出,是指降雨量的控制率,《指南》中英文的表达准确无误。然而,在多篇论文中也发现“年径流总量控制率”翻译为 volume capture ratio of annual rainfall runoff,笔者认为是不对的,虽然增加一个“runoff”,但含义却不同,应该意译,而非字面的直译,应根据实际的计算原理进行深刻的理解<sup>[1,2]</sup>。

## 5 年径流总量控制率与年场次控制率

《指南》中所指“年径流总量控制率”从上述计算实质上是指对降雨体积进行计算的结果,从另一个角度,该数值不同于“降雨的年场次控制率”,即一年能控制多少场降雨。以该城市的降雨数据为例,降雨在 26.4 mm 时年径流总量控制率为 85%,而该降雨对应的年场次控制率为 90%。因此,年径流总量控制率与年场次控制率在概念、数值及计算方法上都是不同的,在实际应用中应加以区分<sup>[3]</sup>。

根据近两年海绵城市低影响开发建设的实践经验,《指南》中所提到的“年径流总量控制率”更具工程应用意义。“年场次控制率”可以非常直观地表达能控制一年多少场次的降雨,这对于建设单位、政府部门以及公众具有通俗易懂的意义。然而,“年场次控制率”在对海绵设施的设计和计算上,不能完全体现降雨体积控制量的数值;而“年径流总量控制率”直观地体现了雨水体积量的数值,也可以进一步评估雨水污染量数据,所以,“年径流总量控制率”这一概念更具重要意义<sup>[4]</sup>。

## 6 年径流总量控制率的应用

根据《指南》容积法进行计算时,设计调蓄容积  $V=10H \cdot \Psi \cdot F$ ,其中  $H$  为年径流总量控制率对应的设计降雨量,实际所需调蓄的容积 = 设计降雨量  $\times$  径流系数,即实际的径流雨量作为调蓄容积的计算基准值。不同的是,模型法基于 EPA-SWMM 产汇流的原理,总降水量 = 蒸发量 + 下渗量 + 径流量,从其平衡的关系可以看出,其调蓄容积直接基于总设计降雨量为计算基准值。从计算原理讲,采用模型的计算更加贴近年径流总量控制率的概念。容积法和模型法不存在矛盾,只是容积法通过一个径流系数简化了模型中的蒸发模型、入渗模型等参数,在实际工程应用时,应根据不同尺度、不同深度分别应用。

当采用《指南》中各种低影响开发设施时,如何达到年径流总量控制率,是采用《指南》中的容积法

还是 EPA 的模型法,当采用模型法时,采用何种雨型来评估,这些问题都影响着每一个设计人员。前述已阐明了年径流总量控制率的计算过程和机理,不难发现,年径流总量控制率实际上有两个含义,由此也对应不同的雨型应用,其各有优劣。

第一个含义:年径流总量控制率对应的设计降雨量,是对过去 30 年的所有“日”降雨量(2 mm 及以下除外)的概率统计。例如,上述 85% 年径流总量控制率对应的设计降雨量为 26.8 mm,其含义即为,如果要达到 85% 的年径流总量控制率,那么就需要能“控制”住“日”降雨量为 26.8 mm 的降雨。在业内普遍认为,“控制”是指“不外排”,“日”是指 24 h,于是就有了日降雨量 26.8 mm 的 24 h 雨型进行模拟。笔者认为,采用 24 h 雨型是有效且可行的。但应注意两点:①“控制”,是指以控制雨水体积为方法,进而控制雨水污染物,至于是否外排,并不重要,只要径流雨水污染物削减达标,外排雨水也是可以接受的;②“日”,虽然根据设计日降雨量及峰值系数,可以分布出 24 h 的雨型进行模拟,但也应根据当地降雨的经验,采用短历时降雨(比如 2 h 或 4 h)雨型进行校核,因为当短历时的实际降雨发生时,雨水瞬时流量要比长历时大很多,按长历时设计的低影响开发设施能否有效地“控制”短历时降雨时的污染物,应进行进一步校核验证。

第二个含义:“年”径流总量控制率是指以一个“年”为单位,控制住 85% 的年总降雨量。例如,上述该市在 1986 年—2015 年,年总降雨量最低为 369 mm(2002 年),最高为 838 mm(2010 年),平均为 600 mm。在模型应用中,采用接近平均年降雨量的年份,比如 1999 年的 621 mm 作为典型年,进行一年内逐日降雨量的模拟,同时对低影响开发设施进行设计,然后采用最高降雨年份进行模型校核,并对低影响开发设施进行修正,最终选取可工程化、技术经济性价比最优的方案。通过对全年的模拟,可以直观地看到一年能控制的雨水量和污染物,同时也和每年溢流到受纳水体的污染物浓度以及溢流次数相对应。

总之,从精确性角度而言,模型法必然比容积法更科学更具说服力,当然,这里有一个前提,就是模型参数的准确性,即地形标高、下垫面数据、蒸发量数据等参数是否接近实际情况。如果在前期没有测量相关的参数,而是为了“模型”而模型,笔者认为

倒不如采用容积法与经验的结合更为实用。对于不同尺度的工程、不同的设计阶段,应根据具体情况采用不同的方法。笔者建议,在基础资料不全的情况下,采用容积法;在基础资料齐全的情况下,优先采用模型法,对于小尺度工程,可采用模型法的第一个含义进行模拟,而对于大尺度工程、系统性方案工程以及示范性工程,建议采用模型法的第二个含义进行模拟。

## 7 年径流总量控制率与年径流污染控制率

在《指南》推出两年时间里,海绵城市建设试点进行了很多低影响开发的工程实践,以雨水体积为控制核心的工程在不断地应用。实际上,雨水通过低影响开发等措施进行“渗、滞、蓄、净、用、排”等一系列环节,不仅仅是对雨水进行滞留,更重要的是对径流雨水污染物的截留、去除和控制。笔者认为,“年径流总量控制率”这一指标固然重要,但最终还应以雨水径流污染控制效果为目标。换言之,在海绵城市建设的一系列措施中,雨水体积的控制是一种途径、方法或者载体,通过控制雨水体积,来控制径流雨水的污染。

其实,在实际的落地工程中,如果有能够将雨水快速处理、瞬时处理的“即来即处理”雨水设施,则认为确实不需要对雨水的体积进行控制,但在实际工程中是否存在呢?在现实降雨中,虽然如前所述分析了不同雨型、短历时、长历时,采用不同的模型工况,但每场降雨都是不同的,雨水流量的变化系数是非常大的,具有很多不确定性。因此这类设施很难有效发挥控制径流污染的功能,因此,这类实施就需要对雨水体积进行“滞、蓄”,以缓冲降雨量的变化,这也是把径流总量控制作为重要指标的原因之一,追根溯源,径流总量控制是径流污染控制的方法和途径,而目标还应落在径流污染的控制效果上。

## 8 结论

① 总结归纳了年径流总量控制率的计算方法,以供其他技术人员参考。

② 年径流总量控制率实际上是设计降雨量控制率,其不同于年场次控制率,其概念对于低影响开

发设施的设计具有实际应用的重要意义。

③ 容积法和模型法均为有效检验年径流总量控制率的方法,应根据基础资料的情况以及具体的工程内容采用不同的方法。在基础资料齐全的大系统方案中,建议采用以年为单位的模型法。

④ 年径流总量控制率是一个重要的指标,径流污染的控制是效果目标,体积的控制是实现污染物削减目标的有效方法和重要途径之一。

## 参考文献:

- [1] 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):25-30.
- [2] 任心欣,汤伟真. 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,2015,31(13):105-110.
- [3] 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.
- [4] 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.



作者简介:刘绪为(1984-),男,天津人,硕士,高级工程师,主要从事市政水处理研究和设计工作,发表论文数十篇。2015年起,主要负责镇江海绵城市建设试点的设计工作。

E-mail:liuxuwei06@foxmail.com

收稿日期:2016-10-21