

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.16.005

基于容积法设计的海绵场地理论径流控制能力研究

资 强¹, 殷 乐², 杨仲韬¹, 渠元闯¹, 陈光屋³

(1. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300381; 2. 保定市排水总公司, 河北保定 071000; 3. 三明市城市建设投资集团有限公司, 福建 三明 365000)

摘 要: 对《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》中有关年径流总量控制率的定义进行了公式化表达。发现在设定的目标年径流总量控制率情况下,采用容积法确定LID设施规模的场地,其能达到的理论年径流总量控制率与目标年径流总量控制率之间存在差异。对两者的偏差值进行了研究,结果表明,影响各场降雨综合径流系数的因素均对偏差值产生影响。偏差值恒为负值,即因忽略了本底超额控制雨量,按照容积法确定的LID设施规模具有一定的安全度。以广州市降雨序列为例,计算了不同径流系数、不同目标年径流总量控制率情景下,按照容积法设计的海绵场地所能实现的理论年径流总量控制率。案例分析结果表明,理论年径流总量控制率总是大于目标年径流总量控制率,其相对偏差值在可接受范围内,但对于建设密度较大的老城区,因其径流系数较大,采用容积法设计的海绵设施规模安全余量较小,应当加以注意。

关键词: 海绵城市; 容积法; 理论年径流总量控制率; 超额本底控制雨量

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)16-0024-06

Study on Theoretical Runoff Control Ability of Sponge Site Designed According to Volume Method

ZI Qiang¹, YIN Le², YANG Zhong-tao¹, QU Yuan-chuang¹, CHEN Guang-hou³

(1. North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300381, China; 2. Baoding Drainage Corporation, Baoding 071000, China; 3. Sanming City Construction Investment Group Co. Ltd., Sanming 365000, China)

Abstract: The definition of volume capture ratio of annual rainfall in the *Technical Guide of Sponge City Construction—Low Impact Development Stormwater System Construction (Trial)* was formulated. It was found that there was a deviation between the theoretical volume capture ratio of annual rainfall and the target volume capture ratio of annual rainfall in the case of setting the target volume capture ratio of annual rainfall when using the volume method to determine the LID facility sizes. The study results showed that the factors influencing the comprehensive runoff coefficient of each rainfall also affected the deviation value. The deviation value was always negative, that is, the LID facility designed by volume method had a certain degree of safety margin because the excess background control rainfall was ignored. Taking the rainfall series of Guangzhou City as an example, the theoretical volume capture ratio of annual rainfall in sponge sites designed by the volume method under different runoff coefficients and target volume capture ratio of annual rainfall was calculated. Case analysis results showed that the theoretical volume capture ratio of annual rainfall was always greater than the target volume capture ratio of annual rainfall, and the relative deviation was within the acceptable range. However, it should be

noted that due to larger runoff coefficient in the old urban area with high building density, the safety margin of the sponge facilities designed by the volume method was small.

Key words: sponge city; volume method; theoretical volume capture ratio of annual rainfall; excess background control rainfall

海绵城市,是新一代城市雨洪管理概念,是指城市在适应环境变化和应对雨水带来的自然灾害等方面具有良好的“弹性”,也可称之为“水弹性城市”。有关海绵城市建设的内涵、实施途径、建设模式等国内已有大量的阐述^[1-6]。海绵城市建设的重要目标之一就是雨水径流进行控制,进而实现对城市面源污染的削减。

一般采用年径流总量控制率指标来衡量径流控制程度。年径流总量控制率指标是确定海绵设施规模、决定海绵城市改造程度的重要标准和依据,也是海绵城市建设专项规划需要重点考量的指标^[7]。同时,年径流总量控制率还是设计成果审查、工程竣工验收的重要考核指标。因此年径流总量控制率在规划、设计、审查各个阶段非常重要。

将海绵城市建设目标所对应的设计年径流总量控制率称为目标年径流总量控制率。《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》)将年径流总量控制率指标转化为单位面积控制容积,并推荐采用容积法来确定 LID 设施的有效容积。容积法通过计算目标年径流总量控制率情景下所需要控制的径流体积来确定 LID 设施容积。

同时,《指南》还给出了分解年径流总量控制率指标的另一种方法,即模型法。模型法计算地块的年径流总量控制率是该场地不直接外排水量占总降雨量的百分比。模型法计算 LID 设施容积时过程相对复杂,需要先设定场地内的 LID 设施规模,然后通过计算得到在该 LID 设施规模条件下的年径流总量控制率。由于模型法也是基于一些理想条件的假定,计算结果与实际仍然有所差别,将模型法计算结果称为理论年径流总量控制率以示区分。将计算得到的理论年径流总量控制率与目标年径流总量控制率进行对比,如果二者相等,那么设定的 LID 设施规模即为所求,否则需要重新设定 LID 设施规模重新计算,直到二者相等。

容积法采用了转化的思路,由目标年径流总量控制率对应的设计降雨量直接算出场地所需要的

LID 设施有效调蓄容积,计算简便,工程人员容易掌握。模型法研究了降雨产汇流的物理过程,计算结果更为准确。若采用的计算模型足够精细、LID 设施设计及施工情况足够理想,可以认为模型法计算的结果就是该海绵场地上能够达到的年径流总量控制率。就目前国内情况来看,计算方法、考核要求没有统一标准,容积法和模型法在海绵规划、海绵工程设计、海绵工程审查、竣工验收考核中均有应用,但在工程实践中发现,对于同一目标年径流总量控制率,采用容积法和模型法计算的场地所需要的 LID 设施规模是不一样的。换句话说,对于采用容积法设计的海绵场地,利用模型法核算时会发现,该场地能达到的理论年径流总量控制率与目标年径流总量控制率之间存在差异,有时差异还比较明显,给海绵成果量化考核工作带来不便。针对这一问题,通过理论推导,找出产生差异的原因以及差异值大小,为海绵城市建设各环节提供理论支持。

1 《指南》中年径流总量控制率公式化

按照《指南》中附录 2 有关年径流总量控制率的计算方法,对于实测的不少于 30 年的剔除降雨量 ≤ 2 mm 后的 n 个日降雨系列值,按从小到大依次排列为 $X_1, X_2, \dots, X_i, X_{i+1}, \dots, X_n$, 则对于某一特定的控制目标降雨量 $Y(X_i \leq Y < X_{i+1})$, 其对应的年径流总量控制率的计算公式如下:

$$\alpha = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_i + (n - i) \times Y}{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n} \quad (1)$$

计算图示如图 1 所示。

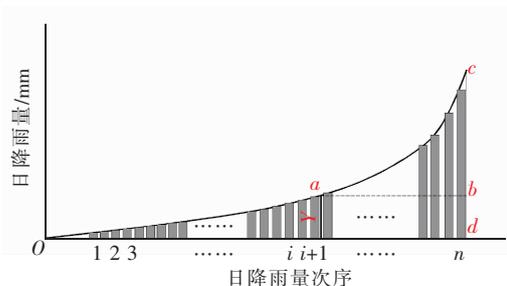


图 1 排序后日降雨量序列

Fig. 1 Sequenced daily rainfall series

对于给定的设计降雨量 Y , 当实际降雨量 $X \leq Y$

时,降雨将得到全部控制,不产生外排径流。当实际降雨量 $X > Y$ 时,产生的外排径流量为 $X - Y$ 。地块的设计降雨量 Y 对应的年径流总量控制率为图1中 $Oabd$ 围成的面积与 Ocd 围成的面积之比。

2 《指南》中 LID 设施调蓄容积的计算方法

目标径流总量控制率及其对应的设计目标控制降雨量 $H_{控}$ 是指导海绵城市建设的核心指标。《指南》中规定,对于低影响开发设施以径流总量和径流污染控制为目标进行设计时,设施具有的调蓄容积一般应满足“单位面积控制容积”的指标要求。设计调蓄型 LID 设施的调蓄容积一般采用如下容积法公式进行计算:

$$V = 10H\Psi F \quad (2)$$

式中 V ——设计调蓄容积, m^3

H ——设计降雨量, mm

Ψ ——综合雨量径流系数

F ——汇水面积, hm^2

按照《指南》中的概念,设计目标控制降雨量 $H_{控}$ 、LID 设施总蓄水量 $H_{蓄}$ (调蓄容积 V 所对应的径流深),与年径流总量控制率目标 α 之间的关系表达式为:

$$\alpha = \frac{Q_{控}}{Q_{降}} = \frac{10 \sum_{k=1}^i H_k F + 10(n-i)H_{控} F}{10 \sum_{k=1}^n H_k F} = \frac{\sum_{k=1}^i H_k + (n-i)H_{控}}{\sum_{k=1}^n H_k} \quad (3)$$

图示化表达如图2所示。其中 α 为 $Oaqm$ 的面积 A_{Oaqm} 与 Ohm 的面积 A_{Ohm} 之比。其中径流序列由降雨序列乘以径流系数得到。

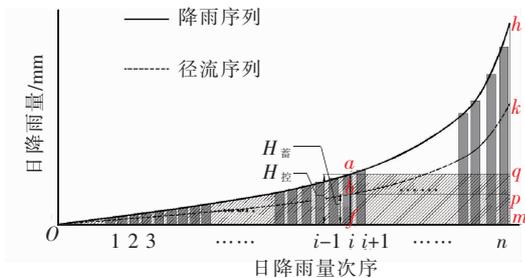


图2 容积法年径流总量控制率计算示意

Fig.2 Calculation of volume capture ratio of annual rainfall by volume method

3 场地理论年径流总量控制率分析

对于某一面积为 F 的区域,为简单起见,假设

区域内各点的降雨均匀。为保证公式表达与《指南》的一致性,文中所采用的单位均与《指南》保持一致。对于一场降雨,区域总产生降雨量为 $Q_{降} = 10HF$ 。经植物截留、填洼、下渗、蒸发后产生的自然损失雨量 $Q_{损} = 10(1 - \Psi)HF$,产生的径流量 $Q_{径} = Q_{降} - Q_{损} = 10\Psi HF$ 。

实际过程中,径流系数与降雨强度、降雨历时、土壤初期饱和程度有关。对于特定的设计控制雨量 $H_{控}$,产生的径流量 $Q_{控径} = Q_{控降} - Q_{控损} = 10H_{控} \Psi_{控} F$ 。在海绵城市设计过程中, $H_{控}$ 选用设计年径流总量控制率所对应的设计降雨量值,并以在设计降雨量情景下不产生外排径流为标准,计算调蓄容积 $V_{蓄}$,则 $V_{蓄} = Q_{控径} = 10H_{控} \Psi_{控} F$ 。

设置 LID 设施后,对于任意一场降雨 H ,当 $H \leq H_{控}$ 时,全部径流得到有效控制,不产生外排径流量。当 $H > H_{控}$ 时,将产生部分径流量 $Q_{排}$ 。

$$Q_{排} = Q_{降} - Q_{损} - V_{蓄} = 10HF - 10(1 - \Psi)HF - 10H_{控} \Psi_{控} F = 10\Psi HF - 10H_{控} \Psi_{控} F = 10(H\Psi - H_{控} \Psi_{控}) F \quad (4)$$

按照年径流总量控制率的定义,年径流总量控制率为全年控制不外排的径流量与降雨量的比值。

假定在每一场降雨的初期,LID 设施均为排空状态,即不考虑前场降雨对 LID 设施调蓄能力的影响。假设全年有 n 场降雨,将每场降雨从小到大依次排序为 $H_1, H_2, \dots, H_i, \dots, H_n$,其中 $H_i \leq H_{控} < H_{i+1}$,则设置 LID 设施后,场地理论年径流总量控制率计算式如下:

$$\alpha = \frac{Q_{控}}{Q_{降}} = \frac{10 \sum_{k=1}^i H_k F + 10 \sum_{k=i+1}^n [H_k(1 - \Psi_k) + H_{控} \Psi_{控}] F}{10 \sum_{k=1}^n H_k F} = \frac{\sum_{k=1}^i H_k + \sum_{k=i+1}^n [H_k(1 - \Psi_k) + H_{控} \Psi_{控}]}{\sum_{k=1}^n H_k} \quad (5)$$

绘制图形如图3所示。设计年径流总量控制率对应的设计降雨量为 $H_{控}$,按照设计降雨条件下不产生外排径流设计的 LID 设施能控制的径流量为 $H_{蓄}$,则当实际降雨量 $H_{降} > H_{控}$ 时,自然损失的水量为 $H_{损}$,LID 设施实际调蓄的水量为 $H_{蓄}$,产生的外排径流量为 $H_{排}$ 。即对于全年的降雨实际得到控制的降雨量由两部分组成,即 $H_{损}$ 和 $H_{蓄}$ 。全年自然损失

的总雨量为图 3 中 Okh 围成的阴影部分,由 LID 设施调蓄的总水量为图 3 中 $Ompb$ 围成的阴影部分,曲线 bpk 围成的部分即为外排径流量。

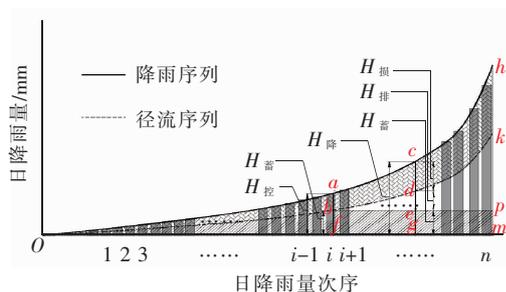


图 3 场地理论年径流总量控制率

Fig. 3 Theoretical volume capture ratio of annual rainfall

对比图 3 和图 2,目标年径流总量控制率(图 2 中 $A_{O_{aqm}}/A_{O_{ohm}}$)与场地理论能实现的理论年径流总量控制率[图 3 中 $(A_{O_{hk}} + A_{O_{mpb}})/A_{O_{ohm}}$]是不一致的。对比式(3)和式(5),两者的差值为:

$$\Delta = \frac{\sum_{k=1}^i H_k + (n-i)H_{控}}{\sum_{k=1}^n H_k} - \frac{\sum_{k=1}^i H_k + \sum_{k=i+1}^n [H_k(1-\Psi_k) + H_{控}\Psi_{控}]}{\sum_{k=1}^n H_k} = \frac{(n-i)H_{控} - \sum_{k=i+1}^n [H_k(1-\Psi_k) + H_{控}\Psi_{控}]}{\sum_{k=1}^n H_k} = \frac{\sum_{k=i+1}^n [H_{控}(1-\Psi_{控}) - H_k(1-\Psi_k)]}{\sum_{k=1}^n H_k} \quad (6)$$

式(6)中 $H_{控}(1-\Psi_{控}) = H_{控损}$,为设计降雨量情况下的自然损失雨量; $H_k(1-\Psi_k) = H_{损}$,为某一场降雨量 H_k 时的自然损失雨量。

比较图 2 与图 3,以及式(3)~(6),可以发现,容积法实际采取了一种简化处理,即假定 $H_k > H_{控}$ 时, $H_{损} = H_{控损}$ 。即当 $H_k > H_{控}$ 时均假定 $H_{控}(1-\Psi_{控}) - H_k(1-\Psi_k) = 0$ 。而实际情况并非如此,这就是导致两种方法计算结果的差异所在。

自然损失的雨量 $H_{损}$ 也是被控制雨量的一部分,定义其为本底控制雨量。本底控制雨量不是一个定值,而是随降雨量增大而增大。场地内实际控制的雨量由两部分组成,即本底控制雨量和 LID 设施控制雨量。按容积法确定 LID 设施规模时就是考

虑了在设计降雨量情景下的本底控制雨量 $H_{控损}$,称其为设计本底控制雨量。而当实际降雨量大于设计降雨量时,本底控制雨量也会增大,即场地的实际控制雨量比设计控制雨量大。定义某一场降雨的本底控制雨量与设计本底控制雨量的差值($H_{损} - H_{控损}$)为本底超额控制雨量。《指南》中的容积法实际忽略了本底超额控制雨量对年径流总量控制率的贡献。式(6)中 Δ 就是全年本底超额控制雨量对年径流总量控制率贡献的累计值。

显然,本底超额控制雨量不仅与降雨序列有关,还与设计降雨量的取值有关。对于特定的降雨序列,目标年径流总量控制率越高,对应的设计降雨量越大, $H_{控}$ 所处的全年降雨量序列的位置越靠后,则超额控制雨量越小, Δ 的绝对值也越小,反之 Δ 绝对值越大。

由式(6)可知,所有影响各场降雨综合径流系数 Ψ_k 的因素均对 Δ 产生影响。实际上径流系数并不是一个固定值,即径流与降雨之间存在明显的非线性关系^[8]。综合径流系数与其对应的降雨量值 H_k 有关。由于土壤下渗逐渐达到饱和,随着 H_k 的增大,表现为径流系数也会逐渐增大。综合径流系数 Ψ_k 还与降雨强度有关。对于日降雨量相同的两场降雨,强度低、历时长的降雨会因下渗、蒸发而损失更多。而强度大、历时短的降雨,雨水下渗不及时,将会产生更多的径流。

为简单起见,不考虑径流系数随降雨量的变化而变化,即采用固定径流系数 Ψ ,则式(6)简化为:

$$\Delta = \frac{\sum_{k=i+1}^n (H_{控} - H_k)(1-\Psi)}{\sum_{k=1}^n H_k} \quad (7)$$

由式(7)可以看出,由于 $1-\Psi > 0$,当 $k \geq i+1$ 时, $H_k > H_{控}$,因此式(7)中 Δ 总是小于 0,即针对某一目标年径流总量控制率,按照容积法设计的海绵场地,其能实现的理论年径流总量控制率总是比目标年径流总量控制率大,即采用容积法进行海绵设计偏于安全。

如前所述, $H_{控}$ 是目标年径流总量控制率对应的设计降雨量。由图 3 和式(7)可知,当采取固定径流系数法计算时, Δ 是由降雨量大于 $H_{控}$ 的降雨决定的,即与 $H_{控}$ 所处全年降雨量序列的序位有关。

4 年径流总量控制率计算案例

为直观表现理论年径流总量控制率与目标年径

流总量控制率之间的差异,以广州市降雨序列为例,计算不同综合径流系数取值、不同目标年径流总量控制率情景下,按照容积法设计海绵场地能够实现的理论年径流总量控制率。

根据统计的1982年—2011年共30年的日降雨量,去掉日降雨量 ≤ 2 mm不产生径流的降雨量,总共有2784个有效数据。统计的最大日降雨量为239 mm。将各降雨量按照从小到大依次排列并绘制条形图,如图4所示。为简单起见,综合径流系数均采用固定值,即不考虑各场降雨的实际综合径流系数随降雨量、降雨历时和强度的不同而变化。假定研究区域内的降雨均匀一致,不同目标年径流总

量控制率情景下,按照容积法设计的海绵场地,其所可能达到的理论年径流总量控制率结果如表1所示。

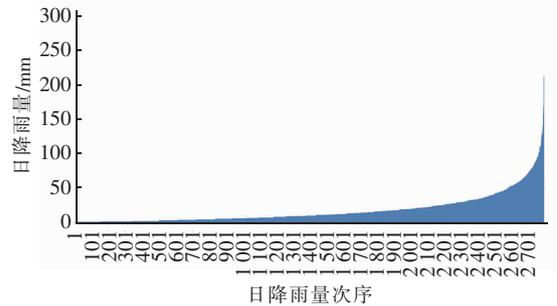


图4 广州市1982年—2011年日降雨量序列

Fig. 4 Daily rainfall series of Guangzhou from 1982 to 2011

表1 年径流总量控制率计算结果

Tab. 1 Calculation results of volume capture ratio of annual rainfall

| 目标年径流总量控制率/% | 40 | 50 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 | 95 | |
|--------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 设计控制降雨量 $H_{控}/mm$ | 9.56 | 13.36 | 18.35 | 21.45 | 25.20 | 29.70 | 35.50 | 43.45 | 54.90 | 75.30 | |
| 场地理论年径流总量控制率/% | $\Psi=0.20$ | 88.00 | 90.00 | 92.00 | 93.00 | 94.00 | 95.00 | 96.00 | 97.00 | 98.00 | 99.00 |
| | $\Psi=0.30$ | 82.00 | 84.99 | 88.00 | 89.50 | 91.01 | 92.50 | 94.00 | 95.50 | 97.00 | 98.50 |
| | $\Psi=0.35$ | 79.00 | 82.49 | 86.01 | 87.75 | 89.51 | 91.25 | 93.00 | 94.74 | 96.50 | 98.25 |
| | $\Psi=0.40$ | 75.99 | 79.99 | 84.01 | 86.00 | 88.01 | 90.00 | 92.00 | 93.99 | 96.00 | 98.00 |
| | $\Psi=0.45$ | 72.99 | 77.49 | 82.01 | 84.25 | 86.51 | 88.75 | 91.00 | 93.24 | 95.50 | 97.75 |
| | $\Psi=0.50$ | 69.99 | 74.99 | 80.01 | 82.50 | 85.01 | 87.50 | 89.99 | 92.49 | 95.00 | 97.50 |
| | $\Psi=0.55$ | 66.99 | 72.49 | 78.01 | 80.75 | 83.51 | 86.25 | 88.99 | 91.74 | 94.50 | 97.25 |
| | $\Psi=0.60$ | 63.99 | 69.99 | 76.01 | 79.00 | 82.01 | 85.00 | 87.99 | 90.99 | 94.00 | 97.00 |
| | $\Psi=0.65$ | 60.99 | 67.49 | 74.01 | 77.25 | 80.52 | 83.75 | 86.99 | 90.24 | 93.50 | 96.75 |
| $\Psi=0.70$ | 57.99 | 64.99 | 72.01 | 75.50 | 79.02 | 82.50 | 85.99 | 89.49 | 93.00 | 96.50 | |
| $\Psi=0.80$ | 51.99 | 59.98 | 68.01 | 72.00 | 76.02 | 80.00 | 83.99 | 87.99 | 92.00 | 96.00 | |

从表1可以看出,采用容积法设计的海绵场地,其理论年径流总量控制率与目标年径流总量控制率存在较大的差异。为便于比较,将表1中的偏差值归一化,采用相对偏差(Δ')表示,结果见图5。

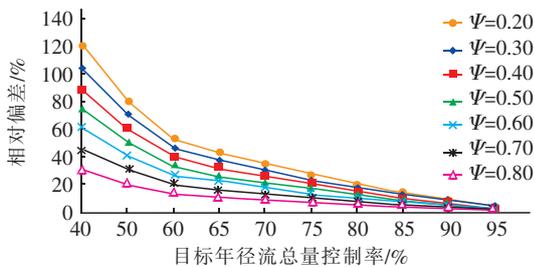


图5 年径流总量控制率相对偏差

Fig. 5 Relative deviation of volume capture ratio of annual runoff

由图5可知, Δ' 与综合径流系数和设计控制降雨量 $H_{控}$ 有关,当 Ψ 和 $H_{控}$ 越小时, Δ' 越大,且 $H_{控}$

对 Δ' 影响更敏感。如对于目标年径流总量控制率(α)为75% (对应的的设计控制降雨量 $H_{控} = 29.70$ mm), Ψ 从0.20到0.80变化时, Δ' 从26.65%变化至6.66%。而对于 Ψ 取0.60, α 由40%提升至95% (对应 $H_{控} = 9.56 \sim 75.30$ mm) 时, Δ' 从59.98%降至2.10%。

同时还发现,对于一般的城市建成区, Ψ 取值0.50~0.70,目标年径流控制率为70%~85%时, Δ' 为5.3%~21.4%,处于工程可接受范围内。另外,考虑到实际工程中调蓄设施受限于位置、高程、施工等诸多因素,雨水收集效果与理论计算存在差异,在设计中考虑必要的安全系数是十分必要的。《指南》中按照容积法计算调蓄设施的调蓄量具有一定的富余量,同时容积法计算简便,便于设计人员掌握,具有较强的可操作性。另外,对于建设密度较大的老城区,径流系数较大,采用容积法计算时安全余量较小,应当加以注意。

5 结语

年径流总量控制率是海绵城市建设中最核心的控制指标,是确定 LID 设施有效容积的重要依据。《指南》中将年径流总量控制率转化为单位面积控制容积,并推荐采用容积法计算 LID 设施容积。研究表明,容积法确定的 LID 设施有效容积偏于安全。但是也应该认识到容积法暗含的假定,即忽略了本底超额控制雨量。而本底超额控制雨量与当地的降雨序列、场地的径流系数和目标年径流总量控制率的设定值有关。实际案例分析表明,忽略本底超额控制雨量产生的误差一般在工程可接受范围内,且偏于安全。

参考文献:

- [1] 王浩,梅超,刘家宏,等. 海绵城市系统构建模式[J]. 水利学报,2017,48(9):1009-1014.
Wang Hao, Mei Chao, Liu Jiahong, *et al.* Systematic construction pattern of the sponge city [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2017, 48 (9): 1009 - 1014 (in Chinese).
- [2] 王文亮,李俊奇,车伍,等. 海绵城市建设指南解读之城市径流总量控制指标[J]. 中国给水排水,2015,31(8):18-23.
Wang Wenliang, Li Junqi, Che Wu, *et al.* Explanation of sponge city development technical guide: Planning index for urban total runoff volume capture [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31 (8): 18 - 23 (in Chinese).
- [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.
Li Junqi, Wang Wenliang, Che Wu, *et al.* Explanation of sponge city development technical guide: Regional division for total rainfall runoff volume capture target [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31 (8): 6 - 12 (in Chinese).
- [4] 康丹,叶青. 海绵城市年径流总量控制目标取值和分解研究[J]. 中国给水排水,2015,31(19):126-129.
Kang Dan, Ye Qing. Study on evaluation and decomposition of volume capture ratio of annual rainfall in sponge city [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31 (19): 126 - 129 (in Chinese).
- [5] 周广宇,程小文,金欣,等. 新常态语境下法定规划与海绵城市建设的关系——以遂宁市海绵城市规划为例[J]. 建设科技,2016(10):70-73.
Zhou Guangyu, Cheng Xiaowen, Jin Xin, *et al.* Relationship between legal planning and sponge city construction in the context of new normal—A case study of sponge city planning in Suining [J]. Construction Science and Technology, 2016 (10): 70 - 73 (in Chinese).
- [6] 柏蔚. 对低影响开发中雨水调蓄设施的分析和思考研究[J]. 环境科学与管理,2017,42(8):185-189.
Bai Wei. Analysis and thoughts on rainwater storage facilities [J]. Environmental Science and Management, 2017, 42 (8): 185 - 189 (in Chinese).
- [7] 张车琼. 海绵城市规划中年径流总量控制目标分解方法研究[J]. 给水排水,2017,43(8):51-54.
Zhang Cheqiong. Study on the method of decomposing total annual runoff control target in sponge city planning [J]. Water & Wastewater Engineering, 2017, 43 (8): 51 - 54 (in Chinese).
- [8] 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.
Xia Jun, Shi Wei, Wang Qiang, *et al.* Discussion of several hydrological issues regarding sponge city construction [J]. Water Resources Protection, 2017, 33 (1): 1 - 8 (in Chinese).



作者简介:资强(1986-),男,湖南耒阳人,硕士,工程师,主要从事市政给排水、海绵城市、排水防涝方面的规划设计工作。

E-mail:294406496@qq.com

收稿日期:2020-03-06