

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2022.08.026

基于“容积法”的海绵城市道路计算关键步骤分析及优化

郑骁奇^{1,2}, 邵知宇^{3,4}, 龚华凤^{1,2}

[1.林同校国际工程咨询(中国)有限公司,重庆市 401121; 2.重庆市山地城市可持续交通工程技术研究中心,重庆市 401121; 3.重庆大学环境与生态学院,重庆市 400045; 4.重庆大学三峡库区生态环境教育部重点实验室,重庆市 400045]

摘要:以某一城市主干路为案例,采用传统容积法及改进容积法分别对其进行了海绵城市调蓄容积的计算。结果显示:针对同一场地,采用改进容积法计算的年径流总量控制率小于传统容积法计算值,传统容积法计算结果偏不安全;另外,改进容积法是通过强调分散式布置海绵城市设施,鼓励增大服务面积来增大调蓄容积,从而提高年径流总量控制率的,与海绵城市强调分散式源头控制的理论更加一致。

关键词:年径流总量控制率;容积法;设施服务范围

中图分类号:U416

文献标志码:A

文章编号:1009-7716(2022)08-0091-04

0 引言

海绵城市作为生态文明建设的重要组成部分,正逐步从规划阶段走向实施阶段。在实施过程中,工程项目需通过海绵城市专项设计来确定海绵城市设施规模、平面布置及单项设施设计。其中,海绵城市设施规模应根据项目上位规划所确定的建设目标、设计指标、项目下垫面分类综合确定。《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建》(以下简称《导则》)^[1]规定了容积法、流量法和水量平衡法这 3 种计算方法。其中,容积法由于可实施性强、计算过程简单等原因,被广泛应用于工程项目中。根据《导则》,现阶段所用的传统容积法计算流程见图 1。

根据图 1,场地年径流总量控制率 $P_{控制}$ 为:

$$P_{控制} = f\left(\frac{A_1 \times c}{\sum A_i \times \phi_i}\right) \quad (1)$$

式中: A_1 为海绵城市设施面积, m^2 ; c 为单位面积海绵城市设施调蓄容积, m^3/m^2 ; ϕ_i 为第 i 个下垫面雨量径流系数; A_i 为第 i 个下垫面面积, m^2 ; f 为设计降雨与控制率函数,其函数关系见图 2^[2]。

1 传统容积法问题分析

1.1 设计调蓄容积计算

在设计调蓄容积的计算过程中,传统容积法的

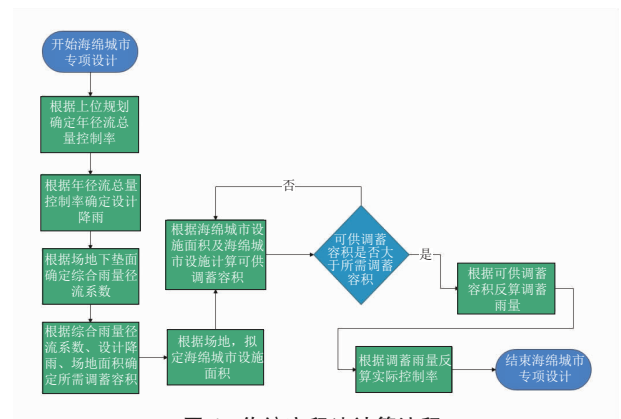


图 1 传统容积法计算流程

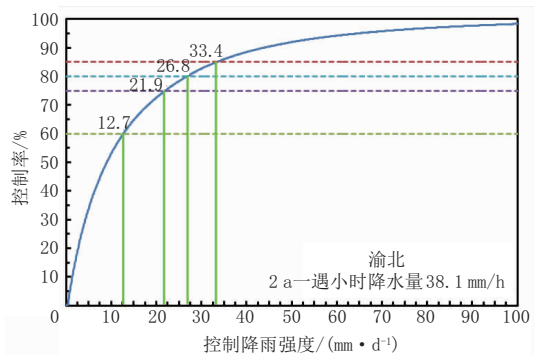


图 2 年径流总量控制率与设计降雨量关系图(重庆地区)^[2]

表达式为:

$$V_{设计} = 10 \times H \times \phi \times F \quad (2)$$

$$\phi = \frac{\sum A_i \times \phi_i}{\sum A_i} \quad (3)$$

式中: $V_{设计}$ 为设计调蓄容积, m^3 ; H 为设计降雨量, mm , 由年径流总量控制率确定; ϕ 为综合雨量径流系数, 由式(3)计算; A_i 为第 i 个下垫面面积, m^2 ; ϕ_i 为第 i 个下垫面雨量径流系数, 根据表 1 取值; F 为汇水面

收稿日期: 2021-10-26

作者简介: 郑骁奇(1990—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事海绵城市研究和设计工作。

积, hm²。

由式(2)可知,综合雨量径流系数对设计调蓄容积有直接影响。由式(3)可知,不同类型的下垫面,其雨量径流系数对综合雨量径流系数有较大影响。根据《重庆市海绵城市规划与设计导则》(试行)^[3],不同类型下垫面雨量径流系数见表1。

表1 不同下垫面雨量径流系数表

序号	下垫面种类	雨量径流系数 ϕ_i
1	硬屋面	0.90
2	绿化屋面	0.30
3	混凝土和沥青广场、路面	0.85
4	块石等铺砌路面	0.60
5	干砌砖、石及碎石路面	0.40
6	非铺砌的土路面	0.30
7	透水铺装路面	0.30
8	绿地	0.15
9	水面	1.00

由表1可知,当前下垫面类型中并未指定海绵城市设施的雨量径流系数范围。由于海绵城市设施常常设置在绿地中,目前在实际工程中的做法是直接按照绿地下垫面选定雨量径流系数。然而,根据雨量径流系数的定义以及海绵城市设施的特点可知,海绵城市设施与普通绿地在雨水节流方面有较大区别。具体体现在:普通绿地的降雨主要有蒸发、下渗、植物截留和地表径流,而由于降雨历时较短,一般情况下不考虑蒸发;对于海绵城市设施,特别是底部包裹防渗膜的设施而言,其降雨均通过下渗缓排或直接溢流,除蒸发外的所有雨水均无法离开海绵城市设施继而进入其他下垫面,其地表径流特性应与绿地有较大差距。因此,将海绵城市设施假设为绿地下垫面来选取雨量径流系数不符合实际并会导致计算出的综合雨量径流系数偏小,进而影响场地所需调蓄容积计算,使其小于实际值。

1.2 可供调蓄容积计算

可供调蓄容积指海绵城市设施能够提供的调蓄容积。工程实践中,可通过海绵城市设施的平面布置以及海绵城市设施单位面积蓄水量来计算可供调蓄容积 $V_{\text{可供}}$ (m³),其表达式为:

$$V_{\text{可供}} = \sum a_i \times c_i \quad (4)$$

式中: a_i 为第*i*个海绵城市设施面积,m²,一般根据项目平面布置确定; c_i 为第*i*个海绵城市设施单位面积调蓄雨水能力,m³/m²,一般根据海绵城市设施下凹深度,种植土厚度、孔隙率及渗透系数,排水层厚度及孔隙率计算确定。

由式(4)可知,计算可供调蓄容积时的主要影响因素为海绵城市设施面积及海绵城市设施单位面积蓄水能力。根据《导则》,通过该方法算出来的雨水控制量即为可供容积。但在工程设计中,如仅考虑前述2个因素,会导致出现不符合海绵城市设计理念^[4-6],却满足上述公式要求的设计方案出现。例如,当计算的可供调蓄容积小于设计调蓄容积时,设计人员会更加倾向于增大 c_i ,而不是增大 a_i ,因为增大 c_i 仅需调整海绵城市设施结构参数,而增大 a_i 必须结合道路平面布置综合确定,工作量远远大于调整海绵城市设施结构。然而,优先增大 c_i 的做法与海绵城市强调分散式源头处理雨水的理论是背道而驰的。同时,当可供容积小于设计容积时,一味增大 c_i 会导致该海绵城市设施所服务(即该范围的雨水通过道路坡度进入该设施)的车行道的年径流总量控制率大于100%,明显不符合实际情况。

1.3 传统容积法问题总结

根据1.1节和1.2节所述,在设计调蓄容积计算过程中,由于海绵城市设施下垫面径流系数取值偏小,会直接导致设计调蓄容积偏小,基于此容积布置的海绵城市设施规模偏小,无法达到设计目标;同样,在可供调蓄容积计算过程中,未考虑海绵城市设施服务车行道面积大小,易导致车行道年径流总量控制率大于100%,不符合实际情况^[7-8]。针对上述问题,本研究对传统容积法的计算公式进行了补充和优化,从而使其计算的结果更加准确并符合实际情况。

2 改进容积法

2.1 试算法确定综合雨量径流系数

在确定综合雨量径流系数的过程中,应将海绵城市设施作为单独的下垫面进行计算。在拟定雨量径流系数的过程中,由于降落在海绵城市设施下垫面范围内的雨水不会流入周围下垫面,并且所有雨水均通过缓排后进入雨水系统,其水文特性与水面类似,因此,海绵城市设施下垫面雨量径流系数取1。海绵城市设施面积可根据现状场地绿化面积以及车行道位置进行合理拟定。因此,该场地综合雨量径流系数 ϕ 的表达式为^[9-12]:

$$\phi = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \times \phi_i + A_1 \times \phi_1}{\sum A_i} \quad (5)$$

$$A_1 = \sum a_i \quad (6)$$

式中: ϕ_1 为海绵城市设施雨量径流系数,根据其特性,应取1; ϕ_i 为不同下垫面雨量径流系数,根据表1取值; A_i 为第*i*个下垫面面积,其中 A_1 为海绵城市设施面积, m^2 ; a_i 为第*i*个海绵城市设施面积, m^2 ,该面积根据项目平面布置确定。在计算初期,可将路侧带绿化及侧分带绿化全部算作海绵城市设施面积,参与计算;该海绵城市设施面积在确定设施服务面积后,应根据设施服务面积反算的所需海绵城市设施面积进行修正,以确保海绵城市设施面积设置合理,避免规模过大,造成浪费。

2.2 考虑设施服务面积确定可供容积

在进行可供容积计算的过程中,《导则》中明确指出设施可供容积应根据渗透设施的有效调蓄容积,即设施顶部及结构内部蓄水空间容积以及渗透量之和计算。该计算仅根据设施可供容积能力进行,并未考虑海绵城市设施所处理的雨水范围(服务面积),因此在确定海绵城市设施可供容积的过程中,还应考虑海绵城市设施的服务面积,通过合理拟定服务面积的控制率,继而确定设计降雨及调蓄容积。海绵城市设施的可供容积应在根据设施服务面积计算的调蓄容积及设施有效调蓄容积中取小值,作为该海绵城市设施的可供容积。

2.3 改进容积法计算流程

改进容积法计算流程见图3。

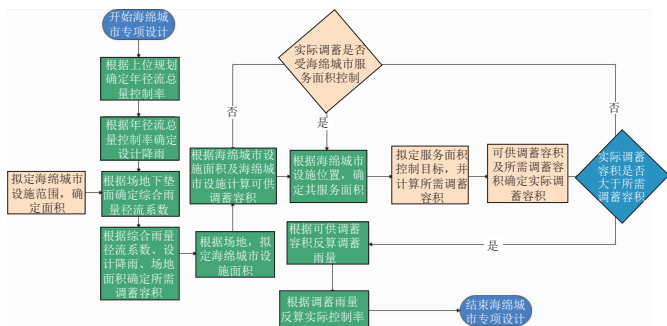


图3 改进容积法计算流程

根据图3,场地年径流总量实际控制率 P 为:

$$P = f \left(\frac{\min(A_1 \times c, A_2 \times r_2 \times f(P_{受控}) \times \phi_2)}{\sum_2^n A_i \times \phi_i + A_1 \times \phi_1} \right) \quad (7)$$

式中: A_1 为海绵城市设施面积, m^2 ; A_2 为车行道面积, m^2 ; r_2 为车行道受控面积比; $P_{受控}$ 为受控车行道年径流总量控制率。

3 计算案例对比

本研究选取了重庆市某条城市主干道海绵城市设计作为案例,分别采用传统容积法及改进容积法

计算了年径流总量控制率,并对2种计算结果进行了对比和分析。

3.1 传统容积法

如表2所示,本研究根据项目平面布置,确定了下垫面面积。根据相关规范要求拟定了雨量径流系数,并根据式(3)明确了综合雨量径流系数,结果见表2。

表2 不同下垫面面积及雨量径流系数表(传统容积法)

分类	面积/ m^2	雨量径流系数
车行道	569 762	0.90
人行道	161 854	0.15
绿化加边坡	374 468	0.20
合计	1 106 084	0.553

根据上位规划^[2],市政用地年径流总量控制率为70%,由图2可知,此时设计降雨为18.9 mm。采用式(2)计算设计调蓄容积,结果见表3。

表3 场地所需调蓄容积计算(传统容积法)

控制率/%	设计降雨/mm	径流系数	面积/ m^2	所需调蓄容积/ m^3
70	18.9	0.553	1 106 084	11 560

根据以上计算,场地所需调蓄容积应不少于11 560 m^3 ,即海绵城市设施的设置应不少于11 560 m^3 ,才能保证其年径流总量控制率满足要求。此外,根据项目平面布置,确定了海绵城市设施位置及面积,并根据规范导则^[1,3],拟定了海绵城市设施单位面积调蓄水量,采用式(4)计算了海绵城市设施能够提供的调蓄容积,即可供调蓄容积,结果见表4。

表4 海绵城市设施可供调蓄容积计算(传统容积法)

海绵城市设施面积/ m^2	单位面积调蓄水量/ $(m^3 \cdot m^{-2})$	可供调蓄容积/ m^3
40 176	0.334	13 418

根据式(1)计算了场地实际年径流总量控制率。经计算,实际年径流总量控制率为75%,大于目标值70%,因此基于该计算结果,项目海绵城市设计满足控制率要求。

3.2 改进容积法

改进容积法需要在计算综合雨量径流系数时,将绿化及海绵城市设施分开计算。因此,根据式(1)、式(3)重新计算综合雨量径流系数,结果见表5。

对比表5和表2可知,利用改进容积法计算的综合雨量径流系数大于传统容积法的计算值,说明将绿化和海绵城市设施下垫面分开计算,更符合雨水径流实际情况。因此,在相同年径流总量控制率情

表5 不同下垫面面积及雨量径流系数表(改进容积法)

分类	面积/m ²	雨量径流系数
车行道	569 762	0.90
人行道	161 854	0.15
绿化加边坡	334 292	0.20
海绵城市设施	40 176	1.00
合计	1 106 084	0.582

况下,改进容积法计算的所需调蓄容积大于传统容积法计算值。根据上位规划^[2],市政用地年径流总量控制率为70%,由图2可知,此时设计降雨为18.9 mm。采用式(2)计算了设计调蓄容积,结果见表6。

表6 场地所需调蓄容积计算(改进容积法)

控制率/%	设计雨量/mm	径流系数	面积/m ²	所需调蓄容积/m ³
70	18.9	0.582	1 106 084	12 166

根据以上计算,场地所需调蓄容积,即海绵城市设施的设置应不少于12 166 m³,以保证场地海绵城市年径流总量控制率满足要求,且该所需调蓄容积大于传统容积法的计算值。

根据项目平面布置,确定了海绵城市设施位置及面积,并根据规范^[1,3],拟定了海绵城市设施单位面积调蓄水量;根据改进容积法计算确定海绵设施能够提供的调蓄容积(表4)及服务车行道需要的调蓄容积(表7),两者取较小值,作为可供容积。

表7 车行道受控范围所需调蓄容积计算(改进容积法)

受控车行道面积/m ²	径流系数	设计雨量/mm	实际调蓄容积/m ³
179 670	0.9	43.8	7 083

海绵城市设施可供调蓄容积计算见表4,车行道受控范围所需调蓄容积计算见表7。

根据表4、表7以及式(7)计算,场地实际年径流总量控制率为55%,小于目标值70%,因此基于该计算结果,该海绵城市设计项目不满足控制率要求。

4 结语

(1)改进容积法计算的综合雨量径流系数更符合

实际,能够更好地模拟真实地表径流产生量。

(2)改进容积法计算的年径流总量控制率受海绵城市设施可供容积及其所服务面积能够产生的雨量控制,更加符合实际情况,与海绵城市所提倡的源头分散式布置更相匹配。

(3)就本算例而言,改进容积法计算的年径流总量控制率小于传统容积法计算值。同时,在不满足年径流总量控制率的情况下,设计人员可根据改进容积法的计算过程,更有针对性地选择增大海绵城市可供容积或是增大海绵城市服务面积,使设计更加集约合理。

参考文献:

- [1] 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)[M].北京:中国建筑工业出版社,2015.
- [2] 重庆市规划设计研究院,重庆市市政设计研究院.重庆市主城区海绵城市专项规划[M].重庆:重庆市规划设计研究院,重庆市市政设计研究院,2016.
- [3] 重庆市城乡建设委员会,重庆市规划局.重庆市海绵城市规划与设计导则(试行)[M].重庆:重庆市城乡建设委员会,重庆市规划局,2016.
- [4] 陈永麒.基于容积法的海绵城市道路设计计算[J].低碳世界,2017(26):231-232.
- [5] 刘绪为,李成江,徐洁,等.海绵城市年径流总量控制率计算方法及应用探讨[J].中国给水排水,2017,33(5):130-133.
- [6] 杨新德,曹万春,孔赞.市政道路海绵城市精细化设计[J].给水排水,2019,55(增刊1):11-15.
- [7] 夏军,石卫,王强,等.海绵城市建设中若干水文学问题的讨论[J].水资源保护,2017,33(1):1-8.
- [8] 韦峰,黄任,陈海,等.对低影响开发设施设计中“容积法”的若干思考[J].城市住宅,2018(7):120-122.
- [9] 阳焯,沈敏,何俊超,等.海绵城市年径流总量控制指标分解方法优化研究[J].中国园林,2019(6):89-93.
- [10] 温永杰.基于“海绵城市”要求的城市道路工程专项规划编制研究[J].城市道桥与防洪,2017(5):38-40.
- [11] 王珠俐.基于容积法的海绵城市设计研究——以泸州市某教学区为例[J].现代物业(中旬刊),2019(7):98.
- [12] 资强,殷乐,杨仲韬,等.基于容积法设计的海绵场地理论径流控制能力研究[J].中国给水排水,2020,36(16):24-29.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com