

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2018.01.07

基于效益-成本的绿色基础设施规模设计

杨秋侠,李学良

(西安建筑科技大学土木工程学院,陕西 西安 710055)

摘要:选取西安建筑科技大学校园一部分,结合场地实际情况,按照效益-成本双重目标进行绿色基础设施规模设计,在提升一定的设计降雨重现期后,以最低的建设成本使新建绿色基础设施发挥最大的效能,运用 NSGA-II 算法寻找绿色基础设施建设规模效益-成本关系的 Pareto 前沿面。结果显示:在一定范围内,随着汇水区域降雨截留量比例的提高,汇水区域单位面积承担的建设成本提高较缓慢,在此范围内选取建设方案比较经济,一旦超出这个范围后,汇水区域降雨量截留比例的增加会使汇水区域单位面积承担的建设成本急剧变大。

关键词:绿色基础设施;雨水截留能力;建设成本;NSGA-II 算法

中图分类号:TU998

文献标志码:A

文章编号:1004-6933(2018)01-0036-06

Scale design of green infrastructure based on benefit-cost analysis

YANG Qiuxia, LI Xueliang

(School of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: A part of the campus of Xi'an University of Architecture and Technology was chosen to study how to determine the scale of green infrastructure based on the benefit-cost analysis. Scale design of green infrastructure is according to the dual goal of benefit and cost. After improving the rainfall reappearance period, we try to maximize the efficiency of green infrastructure with the lowest construction cost. The NSGA-II algorithm was used to find the Pareto front of the benefit-cost relationship of green infrastructure scale. The results show that, with the increase of the rainwater retention ratio, the construction cost of green infrastructure will increase slowly in a certain range. Beyond this range, the increase of the rainwater retention ratio will lead to a sharp increase in the construction cost.

Key words: green infrastructure; rainwater retention capacity; construction cost; NSGA-II algorithm

随着我国城市化的快速推进,改变了城市地表原有的流域水文特性,地表不透水面积增多,城市地表综合径流系数日趋变大,径流洪峰提前,洪峰径流量变大,给现役雨水管网带来了很大的排水压力。如果不能快速、有效地将雨水处理,那么就会间接地引发城市的洪涝灾害,直接影响到城市化的质量^[1]。由此可见,城市化进程中如何高效合理地处理雨水资源就显得十分重要。2013年12月,习近平总书记在中央城镇化工作会议上明确指出:“在

提升城市排水系统时要优先考虑把有限的雨水留存下来,优先考虑更多利用自然力量排水,建设自然积存、自然渗透、自然净化的海绵城市。”将场地改造成一个对雨水有着“弹性”处理能力的“小海绵体”,可以在雨水源头对其进行有效收集、净化和利用。虽然海绵城市对雨水有着很好的处理能力,但是海绵城市建设成本高昂,总的建设成本大概1.6~1.8亿元/km²,其中渗、滞、蓄等源头减排项目投资约占1/3,巨大的资金压力无疑将阻碍海绵

基金项目:陕西省自然科学基金(2016JM5096);陕西省教育厅专项科研基金(16JK1445)

作者简介:杨秋侠(1970—),女,副教授,博士,主要从事市政管线、海绵城市等研究。E-mail:1071277061@qq.com

城市的建设^[2-5]。

本研究以场地新建绿色基础设施的效益最大和建设成本最低为双重目标进行绿色基础设施的规模优化,使场地以尽可能小的建设成本提供最大化的雨水截留能力,以期在实际中进行合理、经济的设计方案提供决策依据。

1 研究方法

1.1 绿色基础设施的规划目标

绿色基础设施的主要功能就是在源头对雨水进行就地渗透、滞蓄和净化,尽量使场地对雨水的处理能力恢复到开发前的状态,主要的几类绿色基础设施包括下凹绿地、生物滞留设施(主要是雨水花园)、绿色屋顶、透水铺装和蓄水池等^[6]。建立效益-成本双重目标的绿色基础设施规划数学模型,具体目标如下:

a. 效益最大。绿色基础设施的效益体现在建设后场地对降雨量截留能力的提升,降低了各个子汇水流域的径流总量,具体指标体现在改造后每个子汇水流域能够截留的降雨量与总降雨量的比值,比值越高,效益越大。

b. 成本最低。绿色基础设施建设成本参照《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《指南》)中给出的北京地区绿色基础设施单价估算。但在实际建设中,每个地域的绿色基础设施建设成本是不同的,需要根据实际具体情况确定。将每个汇水流域新建的绿色基础设施的总成本分担到各自汇水流域的总面积上,每个子汇水流域单位面积承担的建设成本越低越好。

从上述两个目标可以看出,为了使场地在建设绿色基础设施后对雨水的截留能力达到最大,必然需要建设大量的绿色基础设施,导致建设成本增加。即一个目标在趋向最优解时,另一个目标在趋于最劣解,本文着重研究在各个建设方案下,绿色基础设施效益-成本之间的关系,找到二者关系曲线的 Pareto 前沿面,在 Pareto 前沿面上进行方案选取,这对制定合理、经济的绿色基础设施建设方案具有重要意义。

1.2 总体思路

首先依据场地的实际情况,进行统计和调查,根据场地现状路网和雨水管网的布置形式,进行汇水流域划分,确定各个汇水流域可用来改造或者新建绿色基础设施的用地情况,分析各个汇水流域可用来改造为绿色基础设施的类型。以场地降雨截留能力和绿色基础设施改造或新建的建设

成本为双目标进行数学建模,计算分析得出优选方案,尽可能地提升场地可承受的设计降雨重现期标准,以最低的建设成本使新建绿色基础设施发挥最大的效能。

2 模型的构建

2.1 模型构建过程中的几点假设

模型构建的假设包括:①每个子汇水流域内的降雨量首先进行自我消纳,多余无法消纳的雨水才会对外排放;②可用于改造为绿色屋顶的屋面有着允许的承载力,基质厚度不小于 300 mm;③仅考虑现役雨水管网,不考虑其他种类管网埋深对绿色基础设施竖向设计的影响;④不考虑地下水位高程的影响;⑤本模型适用于增设下凹绿地、雨水花园、绿色屋顶、透水铺装和蓄水池等绿色基础设施规模设计;⑥将场地用地类型归为 3 类,包括:绿地、硬化场地和屋面,在此 3 类用地上进行改造、新建绿色基础设施;⑦雨水花园蓄水层有溢流管连接现役雨水管网,土壤内部有渗流管连接着足够大的蓄水设施;⑧下凹绿地蓄水层有溢流管连接现役雨水管网,内部无渗流管;⑨不考虑降雨过程中雨水的蒸发量。

2.2 模型建立

2.2.1 以效益最大为目标进行建模

效益最大化即指新建绿色基础设施对降雨量的截留能力最大,具体体现在降雨量的截留比例,其目标表达式为

$$\max(W) = V_{\text{截留量}} / V_{P,t} \quad (1)$$

其中: $V_{\text{截留量}} = V_{\text{下凹绿地}} + V_{\text{雨水花园}} + V_{\text{绿色屋顶}} + V_{\text{透水铺装}} + V_{\text{其他}} + V_{\text{未改造绿地}} + V_{\text{未改造硬化}}$

式中: W 为场地雨水截留比例; $V_{P,t}$ 为场地的设计降雨量, P 为设计重现期, t 为降雨历时; $V_{\text{截留量}}$ 为每个子汇水区域截留的总雨量,指雨水降落到地面后,被场地就地消纳和吸收无法形成径流排放到现役雨水管网中的降雨量,截留量的大小对径流总量控制起着至关重要的作用,主要包括新建绿色基础设施的雨水调蓄量和原有未改建场地的雨水截留量; $V_{\text{下凹绿地}}$ 、 $V_{\text{雨水花园}}$ 、 $V_{\text{绿色屋顶}}$ 、 $V_{\text{透水铺装}}$ 和 $V_{\text{其他}}$ 分别为下凹绿地、雨水花园、绿色屋顶、透水铺装和其他绿色基础设施的设计调蓄容积; $V_{\text{未改造绿地}}$ 和 $V_{\text{未改造硬化}}$ 为未改造绿地和未改造硬化地面的雨水截留量。

计算绿色基础设施的雨水调蓄容积参照《指南》中所给出的相关要求。下凹绿地的雨水调蓄容积包括绿地下凹部分蓄水层的雨水调蓄体积和下凹绿地在降雨过程中的雨水下渗量;分层填料式雨水

花园相比于均质黄土填料雨水花园有着更好的雨水调蓄能力^[7],所以设计中新增加的生物滞留设施最好为分层填料式雨水花园,其对雨水的滞留和存储有着较强的能力,雨水花园的雨水调蓄容积主要包括3部分:雨水下渗量、蓄水层的雨水调蓄量和土壤层的空袭储水量^[8];透水铺装和绿色屋顶仅参与综合雨量径流系数的计算,其结构内的空隙容积一般不再计入总调蓄容积。各类绿色基础设施的设计调蓄容积和原有未改造的绿地和硬化地面的雨水截留量的具体计算方法为

$$V_{\text{下凹绿地}} = S_{ij}w_{ij_1}d_{ij_1}(1 - f_v) + 60K_1JS_{ij}w_{ij_1}t \quad (2)$$

$$V_{\text{雨水花园}} = S_{ij}w_{ij_2}d_{ij_2}(1 - f_v) + K_2(d_{ij_2} + d_{ij_3})S_{ij}w_{ij_2}t/d_{ij_3} + nS_{ij}w_{ij_2}d_{ij_3} \quad (3)$$

$$V_{\text{绿色屋顶}} = (S_{ij}/S_i)w_{ij_3}(1 - \psi_1)V_{P,i} \quad (4)$$

$$V_{\text{透水铺装}} = (S_{ij}/S_i)w_{ij_4}(1 - \psi_2)V_{P,i} \quad (5)$$

$$V_{\text{未改造绿地}} = (S_{ij}/S_i)(1 - w_{ij_1} - w_{ij_2}) \times (1 - \psi_1)V_{P,i} \quad (6)$$

$$V_{\text{未改造硬化}} = (S_{ij}/S_i)[1 - w_{ij_1} - w_{ij_2} - (1 - w_{ij_1} - w_{ij_2})w_{ij_4}](1 - \psi_3)V_{P,i} \quad (7)$$

式中: S_i 为子汇水区 i 的面积; S_{ij} 为汇水区 i 可用来改造的 j 类用地面积, $j=1$ 时,指硬化场地, $j=2$ 时指绿地, $j=3$ 时指屋面; ψ_1 、 ψ_2 、 ψ_3 分别为绿地、透水铺装和硬化场地的径流系数; w_{ij_1} 为新建下凹绿地面积占汇水区 i 中 j 类用地的比例; w_{ij_2} 为新建雨水花园面积占汇水区 i 中 j 类用地的比例; w_{ij_3} 为改造为绿色屋顶的面积占汇水区屋顶总面积的比例; w_{ij_4} 为新建透水铺装占汇水区未改造硬化场地的比例; n 为土壤孔隙率,一般取 0.3 左右; f_v 为植物横截面积占蓄水层表面积的比例,一般取 0.2 左右; d_{ij_1} 为汇水区 i 中 j 类用地改造为下凹绿地的下凹深度; d_{ij_2} 为汇水区 i 中 j 类用地改造为雨水花园的蓄水层厚度; d_{ij_3} 为汇水区 i 中 j 类用地改造为雨水花园的土壤层厚度。

2.2.2 以建设成本最低为目标进行建模

根据《指南》中所给的各类绿色基础设施的建设成本,结合各个子汇水区内各类绿色基础设施的建设比例,各个汇水区域单位面积承担的建设成本目标表达式为

$$\min(C_T) = [X(S_{ij}w_{ij_1}A + S_{ij}w_{ij_2}B) + YS_{ij}w_{ij_3}D + ZS_{ij}(1 - w_{ij_1} - w_{ij_2})w_{ij_4}C]/S_i \quad (8)$$

式中: C_T 为各类绿色基础设施的总建设成本; A 为下凹绿地的改造成本,取 40 ~ 50 元/ m^2 ; B 为生物滞留设施(即雨水花园)的改造成本,取 150 ~ 800 元/ m^2 ; C 为透水铺装的改造成本,取 60 ~ 200 元/ m^2 ; D 为

绿色屋顶的改造成本,取 100 ~ 300 元/ m^2 ; X 、 Y 、 Z 为系数。原有场地上的绿地和硬化场地可以考虑建设下凹绿地和雨水花园,屋面只能改造为绿色屋顶,未改造的硬化场地可以增设透水铺装,绿地不用增设透水铺装,根据这些限制条件, X 、 Y 、 Z 的具体取值为:当 $j=1$, $j=2$ 时, $X=1$, $j=3$ 时, $X=0$; 当 $j=3$ 时, $Y=1$, $j=2$, $j=3$ 时, $Y=0$; 当 $j=1$ 时, $Z=1$, $j=1$, $j=2$ 时, $Z=0$ 。

3 算法介绍

求解双目标问题一般有两种方法,一种是将多目标优化中的各分目标函数,经处理或数学变换,转变成为一个单目标函数进行求解,这种方法具有很大的局限性。另一类方法就是搜寻多目标函数值的 Pareto 域, Pareto 域上的目标函数值之间不存在任何占优关系。目前,求解多目标函数值 Pareto 域比较好的算法是 NSGA-II 算法,其将所有目标函数值进行快速非支配排序,将所有的目标函数值进行分级排序,采用拥挤度和拥挤度比较算子保证解集多样性,引入精英保留机制保持优良个体,提高求解效率。具体流程见图 1。

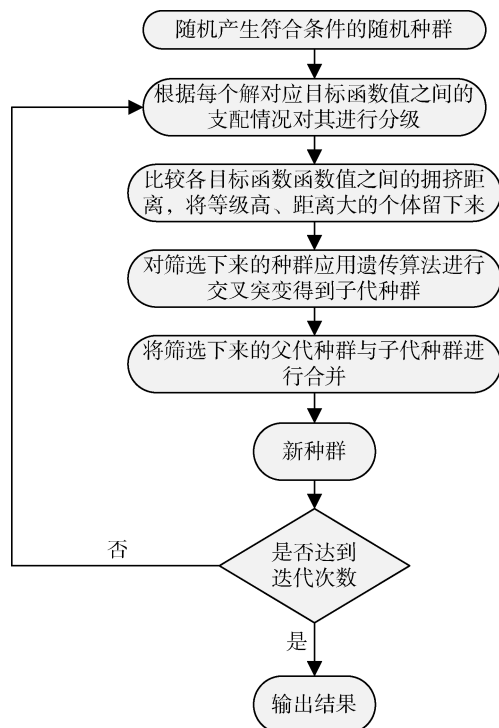


图 1 NSGA-II 算法求解流程

NSGA-II 算法首先将满足条件的各组多目标函数值进行比较,将比较下来均最优的目标函数值组进行逐等级划分,再将相邻两组目标函数值组之间的二维距离较大的数组保留下来,保证了 Pareto 域解集的全面性,将保留下来符合条件的个体再进行遗传交叉和突变,也就是优中选优,不断趋向多目

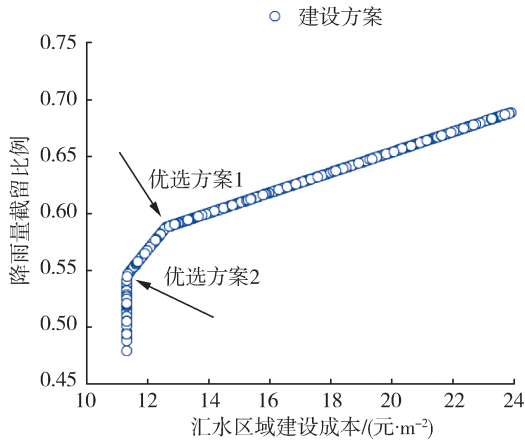
表 2 模型参数取值范围

参数	取值	单位	来源
d_{ij_1}	50 ~ 200	mm	《城市雨水利用技术与管理》
d_{ij_2}	200 ~ 300	mm	文献[3]
d_{ij_3}	500 ~ 1 300	mm	文献[3]
w_{ij_1}	0 ~ 10	%	文献[7]
w_{ij_2}	5 ~ 10	%	《海绵城市建设技术指南》
w_{ij_3}	0 ~ 100	%	—
w_{ij_1}	70 ~ 100	%	《雨水控制与利用工程设计规范》
ψ_2	0.45		《海绵城市建设技术指南》
ψ_1	0.15		《海绵城市建设技术指南》
ψ_3	0.9		《海绵城市建设技术指南》
K_1	3×10^{-6}	m/s	《雨水控制与利用工程设计规范》
K_2	6×10^{-6}	m/s	《雨水控制与利用工程设计规范》

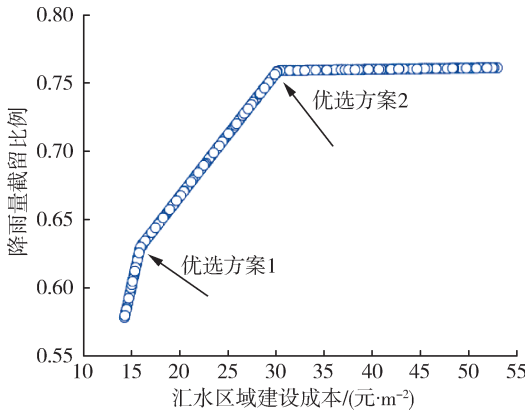
注： K_1 、 K_2 分别为下凹式绿地的土壤渗透系数和雨水花园的土壤渗透系数。

将各个参数的取值以及各个子汇水区域用地现状统计数据带入模型中进行求解。NSGA-II 算法基本参数设置为：初始种群数量为 500，遗传次数为 1 000。各个汇水区域建设绿色基础设施的效益-成本关系曲线的 Pareto 前沿面见图 5。

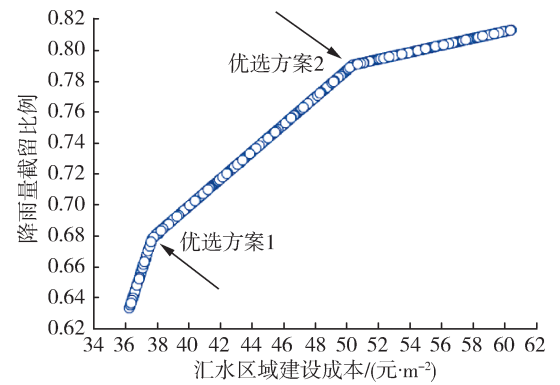
通过观察各个子汇水区域新建绿色基础设施的效益-成本关系曲线的 Pareto 前沿面可以发现，在一定范围内，随着汇水区域降雨量截留量比例的提高，汇水区域单位面积承担的建设成本提高较缓慢，在此范围内选取建设方案比较经济，一旦超出这个



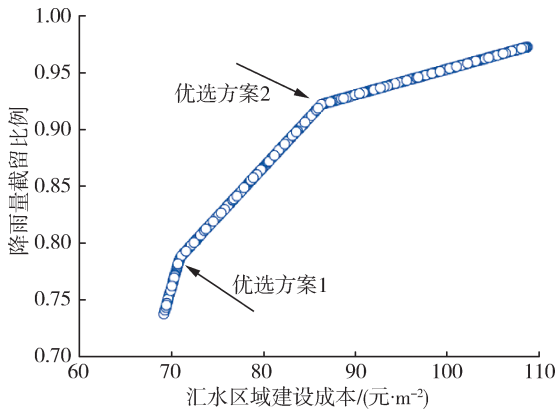
(a) 汇水区 3



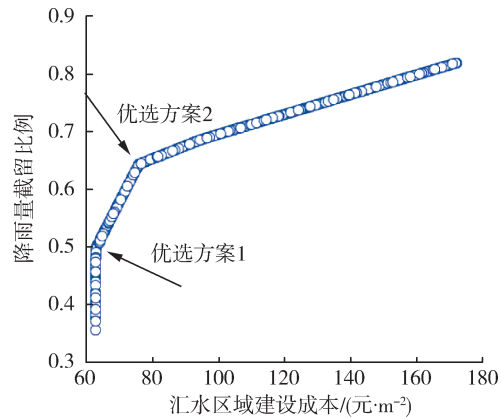
(b) 汇水区 4



(c) 汇水区 5



(d) 汇水区 6



(e) 汇水区 7

图 5 汇水区 3~7 效益-成本 Pareto 前沿面

范围后，汇水区域降雨量截留比例的增加会使汇水区域单位面积承担的建设成本提高变快。我们称这个发生变化的点为拐点，也就是优选方案点，在拐点前，提升子汇水流域的雨水截留能力比较经济，在拐点后，随着子汇水流域雨水截留能力的提升，建设成本提升太快，不经济。从图 5 可以看出，有的汇水区效益-成本关系曲线的 Pareto 前沿面有多个拐点，这个需要根据场地的径流总量控制目标和所能支出的建设成本来确定最佳方案。最佳方案有可能产生在拐点处，可能是在拐点前，也有可能是在两个拐点之间，汇水区 3~7 绿色基础设施的优选建设方案见表 3。

表 3 汇水区 3~7 的绿色基础设施优选建设方案

汇水区	方案	$w_{i11}/\%$	$w_{i12}/\%$	$w_{i14}/\%$	$w_{i33}/\%$	$w_{i21}/\%$	$w_{i22}/\%$	d_{i11}/mm	d_{i12}/mm	d_{i13}/mm	d_{i21}/mm	d_{i22}/mm	d_{i23}/mm	$W/\%$	$C_T/(\text{元}\cdot\text{m}^{-2})$
3	未改造	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34.5	—
	优选方案 1	0	0	0	0	9.95	5.01	0	0	0	199	294	1284	58.8	12.6
	优选方案 2	0	0	0	0	9.99	5.83	0	0	0	199	294	1284	60.4	14.45
4	未改造	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36.8	—
	优选方案 1	0	0	70.1	0	9.9	5.01	0	0	0	194	293	1255	67.9	37.69
	优选方案 2	0	0	70.2	0	9.99	10	0	0	0	194	293	1255	79	50.37
5	未改造	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39.1	—
	优选方案 1	0	0	0	0.07	9.4	5.02	0	0	0	192	299	1297	62.7	15.84
	优选方案 2	0	0	0	0.19	9.99	9.98	0	0	0	193	300	1297	75.9	30.13
6	未改造	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42.9	—
	优选方案 1	0	0	70	0.02	9.96	5	0	0	0	180	288	1243	78.6	70.82
	优选方案 2	0	0	70	0.0014	9.9	10	0	0	0	182	290	1244	92.2	86.24
7	未改造	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.5	—
	优选方案 1	9.99	5.05	70	0.037	0	0	192	282	1247	0	0	0	49.9	63.14
	优选方案 2	9.99	9.99	70.2	0.18	0	0	194	289	1251	0	0	0	64.3	75.92

各个汇水流域绿色基础设施建设规模方案可在优选方案中进行选择,汇水区 3 通过改造现有部分绿地,在现有绿地上增设一定比例的下凹绿地和雨水花园后,场地对降雨量的截留能力提升了 25% ~ 30%,建设成本为 12.6 ~ 14.5 元/m²;汇水区 4 通过对现有绿地的改造和部分硬化场地的透水铺装改造,场地对雨水的截留能力提升了 30% ~ 35%,建设成本为 37.7 ~ 50.4 元/m²;汇水区 5 通过改造原有绿地和建筑物屋顶,场地对雨水的截留能力提升了 22% ~ 35%,建设成本为 15.8 ~ 30.1 元/m²;汇水区 6 通过改造原有绿地和建筑物屋顶,并对部分硬化场地进行透水铺装改造后,场地对雨水的截留能力提升了 35% ~ 50%,建设成本为 70.8 ~ 86.2 元/m²;汇水区 7 的原有硬化场地面积很大,绿化很少,在原有部分硬化场地上新建下凹绿地、雨水花园和透水铺装,并将现有部分建筑物屋顶改造为绿色屋顶,场地对雨水的截留能力提升了 37% ~ 52%,建设成本为 63.1 ~ 75.9 元/m²。通过与表 1 进行比较可以发现,原有子汇水区的可改造绿地比例越高,改造后汇水区域单位面积的承担成本相对越低,并越能容易达到径流总量的控制目标。

各个子汇水区的优选方案不一定能达到规范中要求的径流总量控制的理想目标,这需要根据实际情况在效益-成本关系曲线的 Pareto 前沿面的拐点附近或者拐点间进行方案筛选,选取尽可能达到径流控制目标的比较经济的建设方案。

5 结 论

研究了绿色基础设施在建设过程中的效益-成

本关系曲线,此二者间关系曲线的 Pareto 前沿面存在拐点,在拐点前,提升子汇水流域雨水截留能力比较经济,在拐点之后,随着子汇水流域雨水截留能力的提升,绿色基础设施单位面积建设改造成本提升太快,相对不经济。同时分析了研究区域在较大的降雨重现期极端降雨事件下的分析结果,得出各类绿色基础设施的建设比例、竖向设计等参数以及建设成本的优选方案,分析结果并选取方案,方案选取较为可靠。

参考文献:

[1] 刘昌明,张永勇,王中根,等. 维护良性水循环的城镇化 LID 模式:海绵城市规划方法与技术初步探讨[J]. 自然资源学报,2016,31(5):719-731. (LIU Changming, ZHANG Yongyong, WANG Zhonggen, et al. The LID pattern for maintaining virtuous water cycle in urbanized area:a preliminary study of planning and techniques for sponge city[J]. Journal of Natural Resources, 2016, 31(5):719-731. (in Chinese))

[2] 冯彪. 防涝压力倒逼 海绵城市建设开启万亿市场[N]. 每日经济新闻,2016-07-08(001).

[3] 胡庆芳,王银堂,徐海波,等. 海绵城市建设的 5 点技术思考[J]. 水资源保护,2016,32(5):152-153. (HU Qingfang, WANG Yintang, XU Haibo, et al. Thinking about sponge city construction from five technical levels [J]. Water Resources Protection, 2016, 32(5):152-153. (in Chinese))

[4] 唐克旺. 海绵城市建设存在的误区[J]. 水资源保护, 2016,32(4):160. (TANG Kewang. Misunderstandings in sponge city construction[J]. Water Resources Protection, 2016,32(4):160. (in Chinese))

(下转第 49 页)

其效果预测[J]. 水资源保护,2012,28(3):16-21.
(CHEN Zhihe, CHEN Xiaohong, DU Jian, et al. Water
diversion and regulation of water environment and effect

forecast in river network region[J]. Water Resources
Protection,2012,28(3):16-21. (in Chinese))
(收稿日期:2017-04-14 编辑:徐 娟)

(上接第 41 页)

[5] 廖朝轩,高爱国,黄恩浩. 国外雨水管理对我国海绵城市建设的启示[J]. 水资源保护,2016,32(1):42-45.
(LIAW Chaohsien, GAO Aiguo, HUANG Enhao. Enlightenment of rainwater management in foreign countries to sponge city construction in China[J]. Water Resources Protection,2016,32(1):42-45. (in Chinese))

[6] 张伟,车伍,王建龙,等. 利用绿色基础设施控制城市雨水径流[J]. 中国给水排水,2011,27(4):22-27.
(ZHANG Wei, CHE Wu, WANG Jianlong, et al. Management of urban stormwater runoff by green infrastructures[J]. China Water & Wastewater,2011,27(4):22-27. (in Chinese))

[7] 唐双成,罗纨,贾忠华,等. 填料及降雨特征对雨水花园削减径流及实现海绵城市建设目标的影响[J]. 水土保持学报,2016,30(1):73-78. (TANG Shuangcheng, LUO Wan, JIA Zhonghua, et al. Effects of filler and rainfall characteristics on runoff reduction of rain garden and achieving the goal of sponge city construction[J]. Journal of Soil and Water Conservation,2016,30(1):73-78. (in Chinese))

[8] 向璐璐,李俊奇,卞诺,等. 雨水花园设计方法探析[J]. 给水排水,2008,34(6):47-51. (XIANG Lulu, LI Junqi, KUANG Nuo, et al. Discussion on the design methods of rainwater[J]. Water & Wastewater,2008,34(6):47-51. (in Chinese))

[9] ROGER Bannerman, ELLEN Considine. Rain gardens: a

how to manual for homeowners [M]. Wisconsin:University of Wisconsin Extension,2003:3-4.

[10] 郑克白,孙敏生,彭鹏. 北京奥林匹克公园中心区下沉花园雨水利用及防洪排水设计[J]. 给水排水,2008,34(7):97-101. (ZHENG Kebai, SUN Minsheng, PENG Peng. Rainwater utilization and flood control drainage design of sinking garden in the central area of Beijing Olympic Park [J]. Water & Wastewater Engineering,2008,34(7):97-101. (in Chinese))

[11] 唐宁远,车伍,潘国庆. 城市雨洪控制利用的雨水径流系数分析[J]. 中国给水排水,2009,25(22):4-8. (TANG Ningyuan, CHE Wu, PAN Guoqing. Runoff coefficient analysis for urban stormwater and flood control and utilization[J]. China Water & Wastewater,2009,26(22):4-8. (in Chinese))

[12] 张乔松. 海绵城市的园林解读[J]. 园林,2015(7):12-15. (ZHANG Qiaosong. Garden interpretation of sponge city[J]. Garden,2015(7):12-15. (in Chinese))

[13] 朱木兰,廖杰,陈国元,等. 针对 LID 型道路绿化带土壤渗透性能的改良[J]. 水资源保护,2013,29(3):25-28. (ZHU Mulan, LIAO Jie, CHEN Guoyuan, et al. Soil permeability improvement for LID-type road greenbelt [J]. Water Resources Protection,2013,29(3):25-28. (in Chinese))

(收稿日期:2017-03-23 编辑:王 芳)

欢迎订阅《水资源保护》杂志

中国科学引文数据库来源期刊 中国科技核心期刊 RCCSE 中国核心学术期刊
中国高校优秀科技期刊 江苏十佳精品科技期刊 华东地区优秀期刊

ISSN 1004-6933 CN 32-1356/TV

《水资源保护》是由河海大学和中国水利学会环境水利专业委员会联合主办的科技期刊。本刊针对我国水资源短缺、水环境污染、水生态恶化等突出问题,探讨水资源管理、水环境治理、水生态修复等理论和技术,主要栏目有“水资源”“水环境”“水生态”,并根据需要开设“特约专家论坛”“水事观察”等栏目。

《水资源保护》是中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊、中国科技核心期刊、RCCSE 中国核心学术期刊,已被美国化学文摘(CA)数据库、美国《剑桥科学文摘》(CSA)数据库、波兰哥白尼索引(IC)数据库等收录和引用,长期以来一直都是水利界和环保部门备受关注的重点期刊,2012 年、2014 年连续被教育部科技司授予“中国高校特色科技期刊”称号;2016 年被中国高校科技期刊研究会评为“中国高校优秀科技期刊”,被江苏省科技期刊学会评为“十佳精品期刊”;2017 年被评为华东地区优秀期刊。

《水资源保护》主要读者对象为全国从事与水资源保护工作有关的工程技术人员、科研人员、管理人员以及大专院校师生,邮发代号:28-298,双月刊,96 页,20 元/期,全年共计 120 元,每逢单月 20 日出版。可向当地邮局订阅,若无法从邮局订阅,亦可在本刊网站下载征订单。

编辑部地址:南京市西康路 1 号 邮政编码:210098 电话/传真:(025)83786642
E-mail:bh1985@vip.163.com; bh@hhu.edu.cn http://www.hehaiqikan.cn/szybh/ch/index.aspx