

基于低影响开发的天津市绿色雨水基础设施应用研究

李爽¹, 邢国平¹, 刘洪海², 季民¹

(1. 天津大学 环境科学与工程学院, 天津 300072; 2. 天津大学 建筑设计规划研究总院, 天津 300072)

摘要: 城市雨水的收集与利用是实现城市可持续发展, 保护城市水文特性的重要途径之一。针对天津市降雨及建设规划特点, 以该市某居民小区雨水利用工程为例, 对雨水利用技术进行了优化分析, 提出基于低影响开发理念的雨水综合利用系统建设构想, 并通过计算提出了适用于天津市的绿色雨水基础设施建设规模。分析了该设施应用效果及控制参数选择, 研究结果可为城市住宅小区的雨水利用系统规划建设提供参考依据。

关键词: 雨水利用; 低影响开发; 优化分析; 绿色雨水基础设施

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2013)02-0147-04

中图分类号: TV213.9

Developing Low-Impact Green Stormwater Infrastructure in Tianjin City

LI Shuang¹, XING Guo-ping¹, LIU Hong-Hai², JI Min¹

(1. School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. Research Institute of Architectural Design & Urban Planning, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: The collection and utilization of urban stormwater is not only an important part to achieve sustainable development of water environment, but also an effective way to protect urban hydrological features. Based on the characteristics of rainfall and urban planning in Tianjin City, a case study was conducted in an urban subdivision in regard to optimizing the technologies of stormwater utilization. The construction tentative plan of stormwater utilization was discussed based on the concept of minimum impact. The feasible scale of green stormwater infrastructure is proposed to meet the needs of the City. Furthermore, applied effects and control parameters were analyzed to provide a reference basis for planning and construction of rainwater utilization system in urban residential areas.

Keywords: rainwater utilization; low impact development; optimized analysis; green stormwater infrastructure

随着城市化建设进程的加快, 城市水资源短缺、水环境污染及城市内涝等问题日益突出。低影响开发模式(low impact development, LID)不需要大面积的土地资源就可就地截蓄大部分雨水径流, 结合景观设计对雨水径流进行处理以调节洪峰流量、控制面源污染^[1], 是实现水资源可持续开发和循环利用的有效手段^[2]。

城市化建设及经济发展使天津市面临严峻的水资源及水生态问题, 雨季内涝问题突出。因此, 基于LID的理念和技术体系, 对天津市的雨水利用系统设计及优化分析, 提出适用于天津市的雨水综合利用系统及建设规模, 对天津市生态城市目标的实现提供有力保证。

1 低影响开发

1.1 低影响开发的理念

低影响开发(LID)也称低冲击开发, 是由美国马里兰州及其他各市在 20 世纪 90 年代提出的一种雨洪综合控制利用技术^[3]。传统的雨水利用技术主要遵循的原则是“末端控制”, 雨水大量排入雨水管网后送入污水处理厂处理或排入就近的河道中进行消纳, 这种处理模式不仅增加了城市市政管网的压力, 雨季或暴雨期宜造成管道溢流或城市内涝, 降雨初期大量污染物也会对河道造成一定的污染, 同时, 大量的雨水资源被浪费, 未能物尽其用。

低影响开发提倡采用分散、小型及低成本的雨水

利用及消纳设施对雨水在源头进行控制。与传统的雨水利用措施相比,低影响开发使城市的开发建设尽量不破坏当地的水文条件或不发生巨大的改变,更多地融入了已有设施的开发与利用。

1.2 低影响开发的措施

为了将低影响开发的理念结合到城市雨洪利用的实践中去,因此又产生了绿色雨水基础设施(green stormwater infrastructure, GSI)这一概念。美国规划协会对其作用的评价为:GSI 是利用湿地、公园、林地、自然植被区等开放空间和自然区域组成的相互联系的网络,使其以天然的方式控制城市雨水径流总量及径流污染、减少城市洪涝灾害、保护水环境^[4]。这两种体系的结合,推动了城市雨水的综合利用与控制。

低影响开发及绿色雨水基础设施的典型技术措施包括绿色屋顶、下凹式绿地、雨水花园、植被浅沟、绿色街道、生态湿地、透水铺装、雨水调蓄池等^[5]。这些措施在消除城市雨水径流所带来的城市内涝和面源污染的同时,还带来了巨大的环境效益、社会效益及经济效益^[6]。

2 天津市自然条件与城区现状

2.1 天津市及试验住宅小区概况

天津市地处华北平原的东北部,属半干旱地区。通过查阅分析天津市 1985—2009 年月降雨资料可以发现,天津市年均降水量为 520~660 mm,降水日数为 63~70 d,其中 6—8 月的降雨量约占全年降雨总量的 75%^[7]。

选取天津市某总面积为 4.52 hm² 的住宅小区为研究对象,其中,绿地面积 1.45 hm²,建筑屋面 1.72 hm²,不透水路面 1.35 hm²。在小区临建建有供附近居民休闲娱乐的公园,内有面积为 1.31 hm² 的景观湖泊。

2.2 城市化前后雨水径流总量分析

为比较天津市城市化前后雨水产汇流过程,模拟了降雨频率为 20% 时,该居民小区城市化前后出口径流线(图 1)。由图 1 可以看出,城市化建设改变了地貌状况,提高了地表径流系数,导致出口径流量和洪峰流量加大,且缩短了降雨到产流的时间,大量径流集中在较短时间内涌入市政管网,急剧增加了城市管网的排洪压力。

要达到建设用地外排雨水流量不大于开发建设前水平这一条件,在时间上,需要利用雨水利用措施延长城市化后降雨到产流的时间,推迟峰值出现的时间。在数值上,雨水利用措施需要较少出口径流总量和峰值流量。

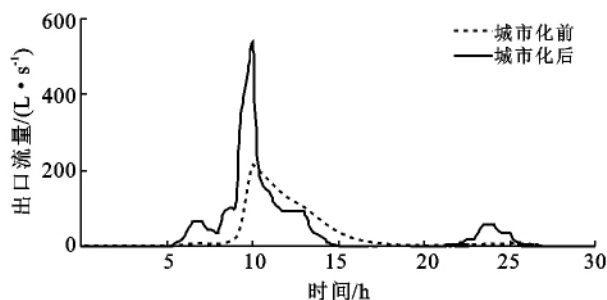


图 1 降雨频率为 20% 时城市化前后的出口径流过程线对比

2.3 雨水综合利用方案设计

城市建设密度高,人口密度大,不透水面积大,可利用闲置场地少是天津市城市建设的特点。因此基于 LID 的先进理念,选取 GSI 中的下凹绿地、景观水体、小型雨水调蓄池作为天津市雨水综合利用的主要技术措施。

将小区汇水面分为不透水路面、公共绿地、建筑屋面以及景观水体共 4 类。绿地全部改建为下凹绿地,道路径流产生的雨水,通过路旁的雨水口或渗透沟等设施全部排入下凹绿地中。在小区停车场或居民公共活动场地地下修建雨水蓄水池,可节约土地。屋面雨水较道路径流产生的雨水干净,因此可直接排入蓄水池中收集回用。在雨水较为充沛的夏季或暴雨期雨量大于雨水蓄水池的储水量时,可将剩余部分的溢流量排入景观水体中,补充景观水体的蒸发、下渗等损耗。该系统的设计是符合 LID 理念的可持续雨水利用系统,其利用方案由图 2 所示。

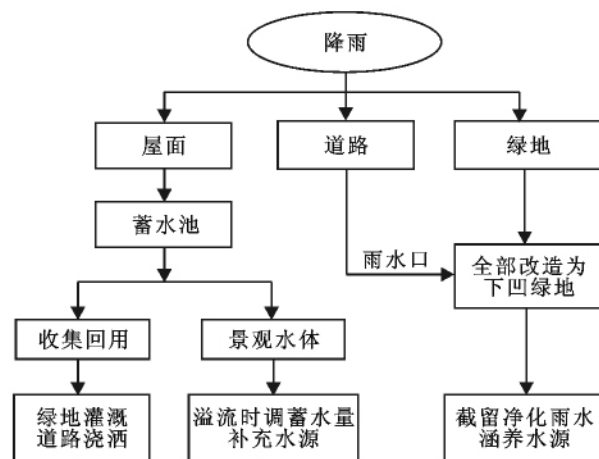


图 2 天津市雨洪调蓄方案设计

3 雨洪调蓄利用方案分析

3.1 利用方案计算

雨水可调蓄利用量遵循水量平衡方程:

$$W_{\text{总量}} = W_{\text{入渗}} + W_{\text{贮存}} + W_{\text{损耗}} + W_{\text{外排}} \quad (1)$$

$$W_{\text{入渗}} = W_1 + W_2 \tag{2}$$

$$W_{\text{贮存}} = W_3 \tag{3}$$

$$W_{\text{外排}} = W_4 + W_5 \tag{4}$$

式中: W_1 ——路面雨水产生的径流量(m^3); W_2 ——绿地面积上自身所接纳的降雨量(m^3); W_3 ——屋面汇入雨水池中的水量,即雨水池的容积(m^3); W_4 ——雨水池溢流量(m^3); W_5 ——下凹绿地溢流量(m^3)。

绿地(W_2)、屋面(W_6)、道路(W_1)所能汇集的雨水的计算公式为:

$$W = 10\alpha \cdot \beta \cdot \varphi \cdot h \cdot F \tag{5}$$

式中: α ——初期弃流系数,取 $\alpha = 0.87$; β ——季节折减系数,取 $\beta = 0.85$; φ ——雨水径流系数; h ——设计降雨厚度(mm); F ——各汇水面的汇水面积(hm^2)。设计降雨厚度 h 由天津市降雨强度公式计算:

$$q = \frac{3\,833.34(1 + 0.85\lg P)}{(t + 17)^{0.85}} \tag{6}$$

式中: q ——设计降雨强度 [$\text{L}/(\text{s} \cdot \text{hm}^2)$]; P ——设计降雨重现期(a); t ——降雨历时(min)。

在各汇水面径流量计算中考虑了初期弃流、季节折减、地表径流等因素,已将雨水损耗量计算在内。因此, $W_{\text{损耗}} = 0$ 。

下凹绿地渗蓄雨水量由绿地入渗量及下凹部分的蓄水量两部分组成,可按下式计算:

$$W_7 = 10\lambda \cdot k \cdot J \cdot A \cdot t + 10 \cdot A \cdot H \tag{7}$$

式中: W_7 ——下凹绿地可消纳雨水量(m^3); λ ——综合安全系数,取 $\lambda = 0.8$; k ——土壤渗透系数(mm/h); J ——水力坡度,一般可取 $J = 1.0$; A ——下凹

绿地面积(hm^2); H ——绿地下凹深度(mm)。

采用人工降雨条件下室内绿地土柱模拟试验测定天津市土壤及绿地的入渗速率。选用天津市中心城区典型绿化土及常见草地种类^[8],土壤质地为壤质黏土,是由“海退”海河冲积所形成的平原土层,土壤容重为 $1.30\text{ g}/\text{cm}^3$ 。得到天津市土壤稳定渗透系数为 $11.2\text{ mm}/\text{h}$ 。

3.2 雨水利用方案效益分析

选取重现期为 1,2,5 和 10 a,降雨时段为 2 h 情况下,计算各雨水利用分系统的雨水消纳量(表 1)。由表 1 和图 3—4 可以看出:(1) 随着重现期的不断增大,降雨厚度不断增大,小区所汇集的雨水量也不断增大。根据天津市建设规划指导意见以及雨水利用系统建设的规定,设计重现期不得小于一年,宜按两年规定。(2) 随着下凹深度的增加,其所能消纳的雨水量也随之增大。当下凹深度为 60 mm 时,可将两年一遇道路汇流其中的雨水全部消纳,无外排水量。按照重现期为 5 a 的标准,其渗蓄率也可达到 85% 以上(图 4)。同时,通过校核计算得到下凹绿地渗透时间为 5.4 小时,远小于下凹绿地植物的耐淹时间限值,使下凹绿地的建设更加安全可靠,符合低影响开发源头截留、绿色天然的理念。(3) 分别选取 400,500,600 m^3 作为雨水池建设规模,随着池容的不断增大,外排水量也不断增大。由图 3 可以看出,随着重现期的不断增大,雨水外排率也逐渐增大,在相同重现期下,池容越大外排率越小。虽然随着池容的增大,可收集及利用的雨水量就越多,但是其建设费用却相应增加,因此还需做进一步的效益分析来确定最优雨水池容积。

表 1 不同重现期下雨水利用系统消纳雨水量

重现期/ a	雨强/ (mm · h ⁻¹)	入渗 总量/ m^3	不同下凹深度绿地渗蓄率/%				屋面汇集 雨水量/ m^3	不同容量雨水池溢流量/ m^3		
			40 mm	50 mm	60 mm	70 mm		400 m^3 /池	500 m^3 /池	600 m^3 /池
1	42.14	830.5	101.1	118.6	136.0	153.5	482.4	82.4	0	0
2	52.92	1 042.9	80.5	94.4	108.3	122.2	605.8	205.8	105.8	5.8
5	67.18	1 324.0	63.4	74.4	85.3	96.3	769.1	369.1	269.1	169.1
10	77.96	1 536.4	54.7	64.1	73.5	82.9	892.4	492.4	392.4	292.4

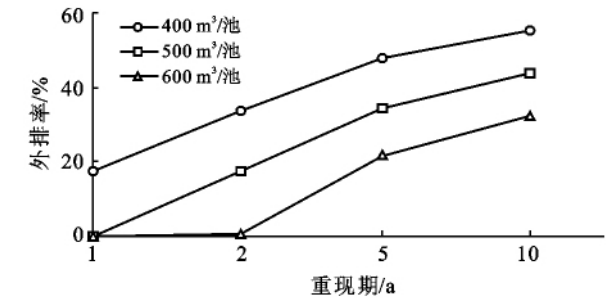


图 3 不同重现期、雨水池容积下雨水外排率

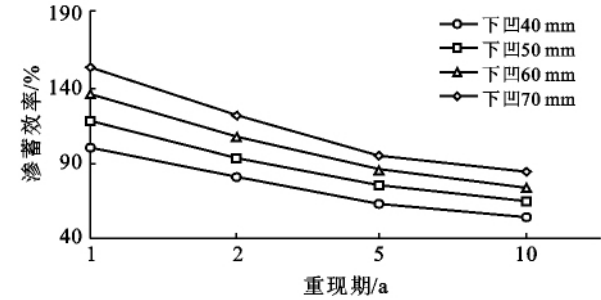


图 4 不同重现期、下凹深度下雨水渗蓄效率

3.3 雨水池最优尺寸确定

雨水池的运行效益主要分为投资建设费用及节省水资源带来的经济效益^[9]。(1) 投资建设费用主要分为建设工程费用及运行维护费用。土建费用根据天津市土建造价按照 800 元/m³ 计。雨水池建成后,其动力、维护管理、加药费用等共计每年 0.7 元/m³。(2) 雨水收集带来的经济效益。减少污染带来的效益按 3 倍排污费计算,为 2.1 元/m³^[10]。收集回用的雨水可抵消自来水的使用量,按照天津自来水价格计算,为 4.5 元/m³。减少城市排水设施的投资运行费用按照 0.08 元/m³ 计。渗透补充地下收益按照自来水价格减去以地下水为水源的自来水成本来计算,为 3.15 元/m³。

设施的使用年限按 30 a 计,折旧残值取零,贴现率为 5%,计算不同规模下雨水池的效益费用比值,可得 300 m³ 雨水池效益费用比值为 1.76,400 m³ 雨水池效益费用比值为 1.81,500 m³ 雨水池效益费用比值为 1.83,600 m³ 雨水池效益费用比值为 1.58。因此从经济效益方面考虑可以看出,500 m³ 是雨水池建设的最优规格。

4 结 论

低影响开发下的雨水利用系统,为社会带来巨大效益。环境上利用已有生态景观消纳雨水,减少了雨水利用构筑物的建设,消除了初期雨水污染,同时补充涵养地下水源。经济上收集雨水用于市政杂用,节约了自来水量,减少了城市排水设施的运行等其他各项费用。在社会效益方面降低了城市内涝的风险,并

且营造出全民节水惜水的良好氛围。

针对天津市降雨及城市特点,占地 4.52 hm² 的住宅小区,将绿地全部改建为下凹绿地,选取下凹深度 60 mm,对两年一遇标准的道路雨水可全部消纳。通过综合效益分析,500 m³ 是雨水池建设的最优容积。

[参 考 文 献]

- [1] 王建龙,车伍. 低影响开发与绿色建筑[J]. 中国给水排水,2011,27(20):17-20.
 - [2] 解燕平,罗岚,王熙,等. LID 理念对西安雨水利用的启示[J]. 西部环境,2010(14):31-32.
 - [3] Chris K. Green Infrastructure for Urban Stormwater Management[C]// Low Impact Development for Urban Ecosystem and Habitat Protection. Washington: Low Impact Development Center, 2008.
 - [4] 车伍,李俊奇. 低影响开发与绿色雨水基础设施的多尺度应用[J]. 给水排水动态,2011,(12):17-18.
 - [5] 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.
 - [6] 胡爱兵,任心欣,俞绍武,等. 深圳市创建低影响开发雨水综合利用示范区[J]. 中国给水排水,2010,26(20):69-72.
 - [7] 王宁. 天津市暴雨分布规律分析与设计暴雨问题的研究及应用[D]. 天津:天津大学,2007.
 - [8] 丁纪闽,杨珏,黄利群,等. 北方城市下凹式绿地植物选择与配置模式[J]. 中国水利,2010(17):20-22.
 - [9] 李俊奇,车武,孟光辉,等. 城市雨水利用方案设计与技术经济分析[J]. 给水排水,2001,27(12):25-28.
 - [10] 李美娟,徐向舟,许士国,等. 城市雨水利用效益综合评价[J]. 水土保持通报,2011,31(1):222-226.
-
- (上接第 146 页)
- [参 考 文 献]
- [1] 中华人民共和国建设部. GB50400—2006 建筑与小区雨水利用工程技术规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2006.
 - [2] 杨建峰. 城市化和雨水利用[J]. 北京水利,2001(1):22-23.
 - [3] 左建兵,刘昌明,郑红星,等. 北京市城区雨水利用及对策[J]. 资源科学,2008,30(7):990-998.
 - [4] 张思聪,惠士博,谢森传,等. 北京市雨水利用[J]. 北京水利,2003(4):20-22.
 - [5] 晋存田,赵树旗,闫肖丽,等. 透水砖和下凹式绿地对城市雨洪的影响[J]. 中国给水排水,2010,26(1):40-46.
 - [6] 毕小刚,杨进怀,李永贵,等. 北京市建设生态清洁型小流域的思路与实践[J]. 中国水土保持,2005(1):18-20.
 - [7] 中国建筑设计研究院. 建筑给水排水设计手册:上册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2008:219-221.
 - [8] 徐向阳. 平原区城市雨洪过程模拟[J]. 水利学报,1998(8):34-37.
 - [9] 中华人民共和国水利部. GB50433—2008 开发建设项目水土保持技术规范[S]. 北京:中国计划出版社,2008:4-5.