

北京市房地产类建设项目下凹式绿地的 雨水拦蓄能力及挖深研究

解 刚, 王向东

(中国水利水电科学研究院, 北京 100048)

摘 要: 下凹式绿地是解决由城市大量房地产建设引发的排洪压力和降水径流流失等问题的一种有效措施。通过设计暴雨产汇流计算, 分析了北京市不同下凹深度绿地的雨洪拦蓄能力。针对北京市房地产类项目绿地率的一般要求, 当下凹式绿地率为 20% 以上, 下凹深度为 15 cm 时, 对于设计重现期为 2 a 的降雨, 拦蓄率可达 80% 以上; 下凹深度 20 cm 时, 对于设计重现期为 5 a 的降雨, 拦蓄率可达 80% 以上。从土方挖填平衡的角度提出了下凹式绿地施工挖深的计算方法。结果表明, 北京市房地产类项目下凹式绿地设计深度为 15~20 cm, 施工挖深约为 6~15 cm 较为合理。

关键词: 下凹式绿地; 拦蓄能力; 挖深; 房地产; 建设项目; 北京

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)02-0144-03

中图分类号: TV213.9, S157

Storage Capacity and Digging Depth for Rainwater Collection on Low Elevation Green Land in Projects of Real Estates in Beijing City

XIE Gang, WANG Xiang-dong

(China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100048, China)

Abstract: Low elevation green land is an effective measure to relief city flood discharge pressure and to reduce runoff losses caused by the establishment of a large amount of real estates. By calculation of runoff yield and flow concentration, the rainwater storage capacity of different green lands with various depths in Beijing City was analyzed. Approximately 80% of the rain with 2-year re-occurrence probability could be sequestered if the green land ratio was higher than 20% with concave depth of 15 cm as specified by the requirements real estate development in Beijing City. With a concave depth of 20 cm, the sequestration rate could be still higher than 80% for the rains with 5-year re-occurrence probability. Based on the earthwork balance, the calculation method for digging depth of low elevation green land was proposed. According to the calculation and analysis, the design depth should range between 15~20 cm with digging depth of 6~15 cm for low elevation green lands.

Keywords: low elevation green land; storage capacity; digging depth; real estate; construction project; Beijing City

在城市建设中, 房地产开发建设改善了市民的居住、办公、商业等条件, 然而大量的房屋建筑和地表硬化, 引发了汛期径流的增加, 减少了地表入渗, 加剧了防洪压力, 为城市水土保持带来了新的问题。下凹式绿地是近年来出现的保水、增加地表入渗的有效措施之一^[1-4], 其形式是低于周围地面适当深度的绿地, 以便自身雨水不外排, 同时周围区域的地表径流能流入绿地下渗。张思聪、晋存田等^[4-5]分析了下凹式绿地

的雨洪拦蓄效果, 但未针对房地产项目绿地率的要求、土石方挖填平衡要求等进行分析和评价。此外, 目前下凹式绿地在水土保持措施布设中应用较少, 制约了水土保持措施的保水效益, 造成了雨洪资源的浪费。

大量房地产类项目的建设引发的排洪和水的流失问题在北京市尤为突出。近年来, 随着北京市经济、社会的快速发展, 房地产类开发建设项目快速增

加,开发面积每年均保持在较大的规模,据统计,2009 年完成开发面积为 23 006 hm²,在城市新区甚至是集中连片式开发建设。开发建设中大量的房屋建筑、道路等硬化地表,造成降水大量汇流,汛期道路大量积水,雨水外排不能有效地渗入地下或补给绿地,相反每年却大量使用市政供水进行绿化养护。北京是世界上严重缺水的大城市之一,人均水资源量不足 300 m³[6]。特别是 1999—2006 年北京地区连续 8 a 干旱,年均降水量仅为 398.2 mm,但汛期与往年降雨强度相同的径流洪峰流量却在增加[1]。在气候变化、降水减少、水资源供需矛盾加大的不利情况下,如何有效利用雨洪资源、增加降水地表入渗是近年来北京市房地产类建设项目水土流失治理中的热点。针对北京市房地产类建设项目存在的问题,在北京市房地产类项目绿地率规划要求的基础上,对下凹式绿地的雨水拦蓄能力进行分析,并从土方挖填平衡的角度提出绿地挖深的计算方法。

1 下凹式绿地雨水拦蓄能力分析

1.1 计算方法

(1) 城市设计暴雨过程。根据规范[7],城市暴雨过程一般采用暴雨公式为:

$$I = \frac{A_1(1 + C \lg T)}{(t + b)^n} \quad (1)$$

式中: I ——时段 t 内的平均暴雨强度 (mm/min);
 t ——历时 (min); T ——设计暴雨重现期 (a); A_1, b, C, n ——地区参数。

令 $s = A_1(1 + C \lg T)$, 表示不同设计暴雨重现期的雨力,即 $t = 1$ h 的最大暴雨平均强度 (mm/min)。对于北京地区,公式 (1) 中的参数 A_1, b, C, n 分别取值为 12.006, 8, 0.811 和 0.711。

时段 t 内次暴雨总量 H 计算公式为:

$$H = It = \frac{st}{(t + b)^n} \quad (2)$$

则瞬时降雨强度 i 计算公式为:

$$i = \frac{dH}{dt} = \frac{s[(1-n)t + b]}{(t + b)^{n+1}} \quad (3)$$

(2) 产流模型。考虑绿地为下凹型式,将周边房屋建筑、硬化路面等不透水区域的径流导入绿地,不透水区域作为绿地的汇水区。汇水区的集流时间较短,故可将其入流过程简化为绿地增加的净雨量,设汇水区流入绿地的径流系数为 α ,则总雨力为:

$$S = s(1 + \alpha A_{\text{汇水区}} / A_{\text{绿地}}) \quad (4)$$

式中: S ——绿地和汇水区叠加的总雨力 (mm/min);
 $A_{\text{汇水区}}$ ——不透水汇水区面积 (m²); $A_{\text{绿地}}$ ——下凹

式绿地面积 (m²)。

绿地上的降雨及从屋顶、道路、广场等不透水区汇入的径流在绿地内有截留和下渗,初期截留和下渗量较大,后期趋于稳定。为简化计算,假定平均损失强度 μ 主要为绿地下渗,产流历时为 t_c ,则有:

$$\mu = \frac{s[(1-n)t_c + b]}{(t_c + b)^{n+1}} \quad (5)$$

城市绿地土壤以壤土或沙壤土考虑,下渗率满足霍顿公式,与土壤初始下渗率、土壤含水量、土壤饱和含水量、稳定下渗率等有关,一般随着降雨历时逐渐降低趋于稳定下渗率。土壤初始下渗率、土壤初始含水量、土壤饱和含水量等需要经过试验确定,且降雨初期和末期入渗率大于降雨强度,故简化计算,采用保守计算方法,假定下渗率为稳定下渗率,根据相关文献[8],绿地平均稳定入渗率为 0.3 mm/min。故绿地净雨深 h_c 为:

$$h_c = \frac{St_c}{(t_c + b)^n} - \mu t_c \quad (6)$$

1.2 结果分析

假定绿地均采用下凹型式,则不同设计暴雨重现期总雨力计算结果如图 1 所示。由于计算时间较短,忽略蒸发量,下凹式绿地净雨量加上产流历时 t_c 内的入渗量近似为总降雨量,总降雨量去除绿地溢流量即为下凹式绿地拦蓄量,故绿地的雨洪拦蓄率为:

$$L = \frac{(h_l + \mu t_c)}{(h_c + \mu t_c)} \times 100\% \quad (7)$$

式中: L ——雨洪拦蓄率 (%); h_l ——水深 (mm),当 $h_c <$ 绿地拦蓄深时为 h_c ,当 $h_c >$ 绿地拦蓄深时为绿地拦蓄深。

不同绿地率和下凹深度对应的雨洪拦蓄率计算结果如图 2 所示。由图 2 可以看出,当绿地率为 50%、下凹深度为 10 cm 时,设计重现期 5 a 以下的暴雨,其拦蓄率为 100%,下凹深度为 15 cm 时,设计重现期 20 a 以下的暴雨,其拦蓄率为 100%,下凹深度为 20 cm 时,设计重现期 100 a 以下的暴雨,其拦蓄率为 100%;当绿地率为 30%,下凹深度为 10 cm 时,设计重现期 1 a 以下的暴雨,其拦蓄率为 100%,下凹深度为 15 cm 时,设计重现期 2 a 以下的暴雨,其拦蓄率为 100%,下凹深度为 20 cm 时,设计重现期 5 a 以下的暴雨,其拦蓄率为 100%;当绿地率为 20%、下凹深度为 15 cm 时,设计重现期 1 a 以下的暴雨,其拦蓄率为 100%,下凹深度为 20 cm 时,设计重现期 2 a 以下的暴雨,其拦蓄率为 100%。由此可知,下凹式绿地能很好拦蓄雨水,补充城市地下水。

若严格按照北京市城市规划的规定,房地产住宅

类项目绿地率一般不低于 30%、商业金融公共设施类项目不低于 20%，但一般开发单位都追求建筑密度最大化，故房地产类建设项目绿地率一般为 20%~30%。当下凹式绿地率在 20% 以上时，对于设计重现期为 2 a 的降雨，下凹深度 15 cm 时，拦蓄率可达 80% 以上；对于设计重现期为 5 a 的降雨，下凹深度 20 cm 时，拦蓄率可达 80% 以上。

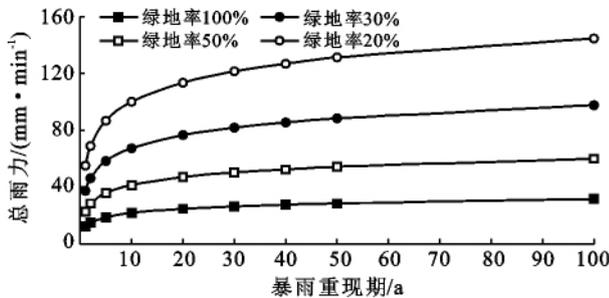


图 1 北京市不同绿地率的总雨力

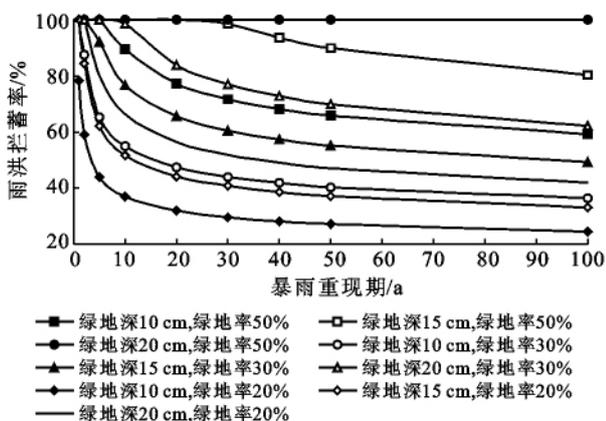


图 2 北京市不同绿地率和下凹深度的雨洪拦蓄率

2 绿地施工下挖深度

当降雨强度和绿地率相同时，绿地下凹深度越大则雨洪拦蓄率则越高，然而施工中绿地土方开挖量也越大。若按 2009 年北京房地产开发面积 23 006 hm²、下凹式绿地率 20%、下凹深度 10 cm 计算，则当年这部分土方开挖总量就高达 4.60×10⁶ m³。然而，北京市房地产类建设项目绝大部分位于平原，项目周边无合法的弃土弃渣堆放点，弃土(渣)一般都由施工单位拉运，大部分弃渣被堆放在城乡结合部，造成滥堆滥放，影响了城市环境。按照水土保持技术规范的要求，在开发建设中应尽量做到土石方挖填平衡，弃方综合利用，减少弃土弃渣^[9]。根据北京市城市规划的要求，房地产住宅类项目建筑密度一般不超过 30%，商业金融公共设施类项目不超过 50%，而绿地率一般在 20%~30% 之间。故绿地下凹取土可回填

于自身项目区的道路和广场区域，回填区面积约占 30%~40%。绿地蓄水深度的确定也应同时考虑道路和广场的填高。假定项目占地面积为 A(m²)，则下凹式绿地挖土量计算公式为：

$$W_l = A \cdot \alpha_1 \cdot h_w \quad (8)$$

式中： W_l ——绿地挖土方量(m³)； α_1 ——绿地率(%)； h_w ——绿地挖土深(m)。

若绿地挖土方全部填至该项目道路及广场，则有：

$$A \cdot \alpha_1 \cdot h_w = A(1 - \alpha_1 - \beta)h_t \quad (9)$$

式中： β ——建筑密度(%)； h_t ——道路及广场填土高(m)。

由公式(9)可知

$$h_t = \frac{h_w \alpha_1}{1 - \alpha_1 - \beta} \quad (10)$$

设绿地设计拦蓄深度 $h_{绿拦}$ (m)，则有：

$$h_{绿拦} = h_w + h_t \quad (11)$$

由公式(10)~(11)可得：

$$h_w = \frac{(1 - \alpha_1 - \beta)h_{绿拦}}{1 - \beta} \quad (12)$$

由公式(12)可知，绿地挖深与绿地率、建筑密度、绿地设计拦蓄深度有关。经计算，当下凹式绿地率为 20%~30%，建筑密度 30%~50%，设计拦蓄深度为 15~20 cm，则绿地需挖深约 6~15 cm，对于周边建筑和环境的影响较小，是比较合适的下凹深度。

3 结论

下凹式绿地是房地产建设项目绿化中有效增加地表入渗和雨洪拦蓄能力的措施。绿地下凹深度越深，雨洪拦蓄率也越大，然而土方开挖量也越多，多余的弃土是与城市水土保持相悖的。将绿地下凹深度与开挖土方回填利用结合起来能够发挥水土保持的最佳效益。按土方挖填平衡的理念，通过计算，当下凹式绿地率在 20% 以上时，对于设计重现期为 2 a 的降雨，下凹深度 15 cm 时，拦蓄率可达 80% 以上，则绿地需挖深约 6 cm；对于设计重现期为 5 a 的降雨，下凹深度 20 cm 时，拦蓄率可达 80% 以上，则绿地需挖深约 15 cm。施工中注意挖填平衡，只需下挖 6~15 cm，挖余土方用于周边道路、广场等垫方处理，就会形成 15~20 cm 的绿地下凹深度。

下凹式绿地也可以采取周边拦挡的型式，并且绿地表面形成一定的坡度。目前，下凹式绿地还没有得到广泛应用，在绿地管护、增大拦蓄率、初期水质净化等方面，对于下凹式绿地的型式还有待进一步优化研究。

(下转第 150 页)

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。渗透补充地下水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] 丁纪闯,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,许土国,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.