

# 合肥市建筑小区雨水利用设计方法

徐得潜, 汪维伟, 余育速

(合肥工业大学 土木与水利工程学院, 安徽 合肥 230009)

**摘要:** [目的] 探讨建筑小区雨水利用设计方法, 为建筑小区雨水利用设计提供理论参考。[方法] 以安徽省合肥市滨湖假日 F-3 居住小区为例, 根据小区雨水设计目标, 计算小区所需雨水利用强度; 结合小区具体条件、各种雨水利用设施雨水利用强度与基本规模、成本与效益, 确定小区雨水利用设施组成。[结果] 提出了小区雨水利用设计方法, 解决了雨水利用设计中规模与组成这 2 个关键问题。滨湖假日 F-3 居住小区雨水利用设施: 景观水体 1 742.1 m<sup>3</sup>, 储水池 1 500 m<sup>3</sup>, 下凹式绿地 12 200.5 m<sup>2</sup>, 透水铺装 10 672 m<sup>2</sup>, 能满足雨水径流总量控制率为 85%, 重现期 2 a 对外排流量径流系数的要求。[结论] 建筑小区雨水利用设计应以外排径流系数为主要目标, 结合小区具体条件, 兼顾雨水利用的经济、环境与社会效益, 并满足相关规定, 合理确定雨水利用设施规模及构成。

**关键词:** 建筑小区; 雨水利用; 设计方法

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1000-288X(2016)05-0225-06

**中图分类号:** TU991.14

**文献参数:** 徐得潜, 汪维伟, 余育速. 合肥市建筑小区雨水利用设计方法[J]. 水土保持通报, 2016, 36(5): 225-230. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.05.043

## Design Method for Rainwater Utilization in Residential Areas of Hefei City

XU Deqian, WANG Weiwei, YU Yusu

(School of Civil and Hydraulic Engineering, Hefei University of Technology, Hefei, Anhui 230009, China)

**Abstract:** [Objective] The aim of this study is to explore the design method of rainwater utilization in districts, in order to provide the theoretical references for rainwater utilization design in residential areas. [Methods] Taking F-3 Garden of Binhu Holiday Community in Hefei City, Anhui Province as the case, according to the design concept, the utilization intensity of rainwater for residential areas was calculated. With the consideration of actual conditions, the utilization intensity, scale, the costs and benefits of different rainwater utilization facilities, the composition of rainwater utilization facilities was determined. [Results] The method for rainwater utilization in residential areas was proposed, which resolved two key problems including scale and composition in rainwater utilization design. The rainwater utilization of Binhu Holiday F-3 Garden included water landscape(1742.1 m<sup>3</sup>), reservoir(1 500 m<sup>3</sup>), concave greenbelt(12 200.5 m<sup>2</sup>) and permeable pavement(10 672 m<sup>2</sup>), which met the requirements of a 85% runoff controlling and a return period of 2 a. [Conclusion] The discharge runoff coefficient should be the major target for the design of rainwater utilization residential areas. Taking the specific condition of each district, the economic, environmental and social benefits, and related regulations into consideration, the scale and composition should be determined rationally.

**Keywords:** residential areas; rain water utilization; design method

建筑小区雨水利用是解决城市内涝、缓解城市缺水及改善水及生态环境的重要措施。目前建筑小区雨水利用设计方法研究成果主要有:李俊奇等<sup>[1]</sup>在分析北京城区某新建小区现状和特点的基础上,提出了小区 4 种雨水处置与利用方案,并用差额内部收益率法对方案进行比选,但雨水利用目标与规模不明确,

雨水利用方案设置主观性较强;张书函等<sup>[2]</sup>依据北京 10 a 来的研究成果和工程设计与建设经验,从技术角度提出了雨水池、绿地下渗设施、透水地面等雨水利用设施设计方法,未考虑各种雨水利用设施的相关性、整体性和经济性;王文亮等<sup>[3]</sup>探讨了城市低影响开发雨水控制利用系统的设计标准和技术体系,给出

收稿日期:2015-11-26

修回日期:2016-01-24

资助项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项:“湿地型河道生态护坡中试方案设计及产品建造”(2012ZX07103-004)

第一作者:徐得潜(1960—),男(汉族),安徽省青阳市人,博士,教授,主要从事水资源利用与水环境保护,给水排水工程优化规划与经济运行等方向研究。E-mail: xudeqian60@163.com.

了技术设施的选用方法及设计流程,对径流总量控制讨论较细,但在峰值流量控制方面论述较少,只是强调不影响现有排水系统设计标准和排水能力;赵世明等<sup>[4]</sup>认为雨水利用设计雨水量应为不透水硬化面上的雨水径流增量,据此给出多种雨水利用方式组合应用时的目标及相互关联性与制约,但未考虑多种雨水利用设施的合理构成;徐得潜等<sup>[5]</sup>提出按逐日水量平衡法计算雨水利用量,再用经济评价确定小区储水池容积,张炜等<sup>[6]</sup>提出了下凹式绿地设计方法,王哲等<sup>[7]</sup>给出了透水铺装系统的设计流程,但均未考虑其他雨水利用措施、相关规范及标准的规定。

雨水利用设计的关键是合理确定雨水利用设施规模和组成,而目前研究成果存在的主要问题恰恰是雨水利用设计规模不明确,较多的研究单一雨水利用设施尤其是收集回用设施的设计,未考虑雨水利用设计的整体性、关联性 & 合理构成,没有系统地提出雨水利用设计方法,即使《建筑与小区雨水利用工程技术规范》所列条款也不例外<sup>[4]</sup>。本文拟从建筑小区雨水径流总量控制和外排流量径流系数限定条件入手,结合雨水利用效益与成本,对建筑小区雨水利用设施规模及组成的设计方法进行系统研究,并以安徽省合肥市滨湖假日 F-3 居住小区为背景进行实例计算分析,以期对建筑小区雨水利用设计提供参考。

## 1 雨水利用设计方法

### 1.1 雨水利用

建筑小区下垫面主要有建筑物屋面、广场等铺装地面、绿地、道路、景观水面等,所采用的雨水利用措施有入渗、收集回用和调蓄排放<sup>[8]</sup>,通过这些措施,将小区外排径流系数降至开发前水平或规定值,实现雨水控制利用。

### 1.2 设计步骤

建筑小区雨水利用设计的根本目的是通过雨水利用措施使项目区域在设计降雨情况下的径流总量控制率、雨水回用量和外排径流量峰值控制在合理的范围内<sup>[9]</sup>。建筑小区雨水利用设计步骤如下。

(1) 收集小区规划、降雨、水文地质、土壤、水价、雨水利用设施造价等资料。

(2) 根据小区雨水利用目标及小区具体条件,确定设计重现期、雨水径流总量控制率、外排径流系数及设计降雨历时,计算所需雨水利用强度。

(3) 计算景观水体等调蓄排放设施雨水利用规模及其雨水利用强度。

(4) 根据当地水资源紧缺状况、水价、雨水回用需求及雨水利用成本与效益确定雨水收集回用设施

规模,并计算雨水利用强度。

(5) 依据相关规范、标准,确定雨水入渗利用设施构成及规模,并计算雨水利用强度。

(6) 检查雨水利用设施是否满足所需雨水利用规模,并最终确定雨水利用设施总规模。

(7) 单体雨水利用工程设计。

以上计算步骤中,最为关键的步骤是(3)—(6),其中,雨水利用强度决定着小区雨水利用总规模和各种雨水利用设施基本规模,雨水收集回用设施和雨水入渗设施规模则决定着雨水利用设施构成、成本和效益,以下分别论述。

### 1.3 雨水利用规模

建筑小区雨水利用规模取决于小区外排流量径流系数、年径流总量控制率、小区及市政雨水管网设计重现期、雨水利用成本与效益等,应根据规范相关规定并经综合分析后确定。

1.3.1 径流系数对雨水利用规模的影响 雨水径流系数分为雨量径流系数和流量径流系数,分别用于雨水收集回用量和雨水设计流量计算。考虑到产流期间汇水面上径流损失与小区雨水利用对流量径流系数的影响,用扣损法计算流量径流系数<sup>[10]</sup>:

$$\varphi_m = 1 - \frac{u \tau^n}{S_p} \quad (1)$$

式中:  $\varphi_m$  ——流量径流系数;  $u$  ——产流期间平均损失强度,为产流期间内汇水面上的损失强度  $u_1$  与雨水利用设施的雨水利用强度  $u_2$  之和 (mm/h);  $S_p$  ——设计频率暴雨强度 (mm/h);  $\tau$  ——场地汇流时间 (h);  $n$  ——暴雨强度衰减指数。下同。

由式(1)可得雨水利用设施的雨水利用强度  $u_2$  计算式:

$$u_2 = (1 - \varphi_m) \frac{S_p}{\tau^n} - u_1 \quad (2)$$

对于特定的小区,  $S_p$ ,  $\tau^n$  和  $u_1$  为定值,  $u_2$  计算值仅与  $\varphi_m$  有关。  $\varphi_m$  大,  $u_2$  小,雨水利用规模小,反之亦然。因此在小区雨水利用设计中,应合理确定外排流量径流系数。

目前中国与雨水利用相关的《室外排水设计规范》<sup>[11]</sup>、《绿色建筑评价标准》<sup>[12]</sup> 和《建筑与小区雨水利用工程技术规范》<sup>[8]</sup> 等 3 个规范(标准)从不同的角度对小区外排流量径流系数取值作了直接或间接的规定,所要求的严格程度及计算方法彼此之间存在一定差异。以上 3 个规范(标准)在下文中依次简称为《设计规范》《评价标准》和《技术规范》。

《设计规范》规定综合径流系数不应高于 0.7。中国城区径流系数一般在 0.6 左右,因此该项规定对

径流系数取值的限制作用不大。《评价标准》从雨水利用和场地雨水外排总量控制角度出发,规定场地年径流总量控制率达到55%,得3分;达到70%,得6分,且与设计重现期无关。年径流总量控制率为一定值时,小区外排流量径流系数将随着设计重现期的增大而增大。因此,笔者认为不宜仅按年径流总量控制率确定小区外排流量径流系数。

《技术规范》规定雨水利用系统的规模应满足建设用地外排雨水设计流量不大于开发建设前的水平或规定的值,设计重现期不得小于1a,宜按2a确定;建设用地雨水外排管渠流量径流系数宜按扣损法计算确定,并借鉴绿地的径流系数,规定外排流量径流系数根据溢流排水设计重现期与雨水利用设施设计重现期在0.25~0.40之间选用,这项规定几无差别。径流系数和雨水利用规模均随重现期增大而增大,因此,合理确定设计重现期对于雨水利用设施规模及投资至关重要。

对于给定的城市建筑与小区,外排流量径流系数、雨水径流总量控制率及设计重现期3者之间存在一一对应关系。北京市建筑设计研究院有限公司和北京建筑大学研究成果表明<sup>[13]</sup>:从实际减排的效果来看,当(北京市)区域内的雨水设施在5a重现期下能控制区域的外排雨水流量径流系数不大于0.40时,可达到区域年均雨水径流总量控制率大于85%,即区域内的年均(重现期为1a)外排径流系数不大于0.15的水平。

1.3.2 雨水利用设计标准和市政雨水管网设计标准对雨水利用规模的影响 在确定小区外排流量径流系数时,尚需考虑小区雨水利用设施设计重现期与市政雨水管网设计重现期之间的差别。市政管网设计重现期通常都高于小区雨水利用措施的设计重现期,以便能排除短期积水。若重现期相等,雨水利用规模大,雨水几乎全部进入利用设施,外排量少、外排管径小,遇到大雨时小区内的积水时间比无雨水利用时延长<sup>[8]</sup>。当小区雨水利用设施设计重现期与市政雨水管网设计重现期相差较大时,可适当增加小区外排流量径流系数,减小雨水利用规模,以降低雨水利用成本。

1.3.3 雨水利用成本与效益对雨水利用规模的影响

建筑小区雨水利用设施规模直接决定着雨水收集量、雨水利用设施成本与效益,并对市政雨水管网规模及年费用、水循环产生影响。雨水利用设施规模过大,会增加雨水利用成本,导致雨水过量收集,使原有水体的萎缩或影响水系统的良性循环<sup>[13]</sup>。雨水利用设施规模偏小,会增加市政雨水管网成本和城市内涝

风险。因此从经济性和维持区域性水环境的良性循环角度出发,小区外排雨水流量不宜过大或过小,其最佳值应接近建成前的外排流量,即按《技术规范》给出的外排流量径流系数取值较为合理。

#### 1.4 雨水利用设施雨水利用强度计算

下凹式绿地、透水铺装、调蓄池和景观水体是建筑小区4种常见的雨水利用措施,通过雨水入渗和调蓄所增加的设计降雨历时雨水利用强度统一用公式(3)计算<sup>[14]</sup>:

$$u_{2,i} = 1\,000 \times \frac{3\,600KF_1tJ + V}{\varphi_{m,t}tF} \quad (3)$$

式中:  $K$ ——绿地的土壤渗透系数或透水铺装土层饱和导水率(m/s),雨水储水池  $K$  值为0;  $F_1$ ——下凹式绿地或透水铺装面积( $\text{m}^2$ );  $t$ ——设计降雨历时(h);  $J$ ——水力坡度,一般取1.0;  $\varphi_{m,t}$ —— $t$ 时段综合流量径流系数;  $F$ ——小区雨水汇水面积( $\text{m}^2$ );  $V$ ——设计降雨历时内雨水利用措施蓄存的雨量( $\text{m}^3$ ),分4种情况计算:

(1) ① 下凹式绿地。根据雨水汇入面积和径流系数计算  $V$ ,并小于等于下凹式绿地调蓄容积。考虑到下凹式绿地面积远小于雨水汇入面积,取  $V = h_1F_1$ ,  $h_1$  为下凹深度(m)。

(2) 透水铺装。  $V = h_2F_1$ ,  $h_2$ ——透水铺装层容水量(m)。

(3) 雨水储水池。储水池容积与集水面积比值通常为5%~10%<sup>[14]</sup>,亦即在扣除初期降雨后,合肥市小区需有(50~100 mm)/屋面径流系数=(56~112)mm的降雨量才能使储水池蓄满,应根据设计降雨历时内降雨量及储水池容积计算  $V$ ,且小于等于储水池容积。

(4) 景观水体。  $V = (h_4 - h_3)F_2$ ,  $h_4, h_3$ ——景观水体溢流水位和设计水位;  $F_2$ ——景观水体面积。

#### 1.5 雨水利用设施构成

建筑小区雨水利用设施可以是入渗、回用和调蓄设施中的一种或多种组成。不同的雨水利用设施,其雨水利用强度及雨水利用成本都不同。因此,应分析小区可能的雨水利用设施并计算它们的雨水利用强度,并根据小区雨水利用强度  $u_2$ 、相关规范及雨水利用成本,合理确定小区雨水利用设施构成,使在满足规定的前提下,雨水利用总成本最小。雨水利用设施构成计算步骤如下。

(1) 根据雨水利用相关规范、标准规定及小区雨水回用需求,确定入渗、调蓄及收集回用设施基本规模。

① 雨水入渗设施基本规模。《技术规范》规定渗透设施的日渗透能力不宜小于其汇水面上重现期 2 a 的日雨水设计径流总量,但对具体的雨水入渗设施规模(渗透能力)没有明确规定。《评价标准》规定下凹式绿地、雨水花园等有雨水调蓄功能的绿地和水体的面积之和占绿地面积的比例达到 30%,得 3 分;硬质铺装地面中透水铺装面积的比例达到 50%,得 3 分。本文按《评价标准》规定确定下凹式绿地和透水铺装基本规模。

② 雨水调蓄设施基本规模。建筑小区天然洼地、池塘、景观水体,可作为雨水径流高峰流量的调蓄设施,其溢流水位与设计水位(常水位)之间的调蓄容积即为其基本规模。由于景观水体等雨水调蓄设施的增量成本为零,故应优先作为最基本的雨水利用设施。

③ 雨水收集回用设施基本规模。雨水收集回用设施规模应根据雨水收集量、回用量及其变化规律和经济效益等因素,经水量平衡计算确定。目前大多是以年为单位进行雨水利用水量平衡分析,导致雨水利用量和雨水利用效益计算结果高于实际值<sup>[5]</sup>。本文基于逐日水量平衡分析,使计算的雨水利用量与实际相符,并确定合理的储水池容积,亦即雨水回用设施基本规模,具体步骤参见参考文献<sup>[5]</sup>。

(2) 计算实际雨水利用强度  $u' = \sum_i u_{2,i}$ 。如  $u' \geq u_2$ ,则计算结束,否则,转入下步。

(3) 按雨水利用设施增量成本由小到大由基本规模开始增加雨水利用规模,并满足其上限约束,直至  $u' = u_2$ 。其中,下凹式绿地和透水铺装增量成本为各自改建前后的差价加上破坏原有下垫面的成本。收集回用设施增量成本为其建造成本减去雨水替代自来水的收益。景观水体增量成本为零。

## 1.6 雨水利用工程设计

(1) 下凹式绿地。下凹式绿地设计的关键是确定下凹深度、雨水口高度和绿地的土壤渗透系数  $K$ 。下凹深度取决于小区绿地率和雨水拦蓄率,宜低于周边铺砌地面或道路高程 0.05~0.10 m,且不大于 0.20 m<sup>[15-16]</sup>。雨水口顶面高程应高于绿地 0.02~0.05 mm<sup>[8]</sup>。不同土壤类型和植被覆盖绿地的  $K$  值差异很大。 $K$  值大,下凹式绿地雨水渗蓄效果好,适宜修建下凹式绿地的  $K$  值应在  $5 \times 10^{-7}$  m/s 以上<sup>[17]</sup>。

(2) 透水铺装。透水铺装设计的关键是确定铺装层容水量、各铺装层厚度及其渗透系数<sup>[2]</sup>。铺装层容水量应根据各层的孔隙率和厚度确定,且不宜小于 2 年一遇 60 mm 降雨量。面层厚度由透水砖规格确定,找平层厚度宜为 0.02~0.05 m,垫层厚度不小于

0.15 m。铺装层渗透系数决定于面层、找平层和垫层的最小渗透系数。面层渗透系数应大于  $1 \times 10^{-4}$  m/s。找平层和垫层的渗透系数须大于面层<sup>[8]</sup>。

(3) 雨水收集回用。雨水收集回用系统设计的关键是确定储水池的容积。目前储水池的计算方法主要以年为单位进行雨水利用水量平衡分析后确定,导致储水池容积偏大、雨水利用率降低等不合理状况。建议以日为单位进行水量平衡计算,结合经济性分析,最终确定合理的储水池容积<sup>[5]</sup>。

## 2 实例分析

### 2.1 基本资料

合肥市滨湖假日 F-3 居住小区规划总面积 139 592 m<sup>2</sup>,其中,屋面面积 25 126 m<sup>2</sup>;绿地面积 60 025 m<sup>2</sup>;景观水体面积 5 807 m<sup>2</sup>,设计水位 0.5 m,溢流水位 0.8 m;道路面积 27 290 m<sup>2</sup>;广场面积 14 696 m<sup>2</sup>;停车场面积 6 648 m<sup>2</sup>。

(1) 雨水利用设施。① 收集屋面雨水用于绿化和车辆冲洗。绿化用水定额 2 L/(m<sup>2</sup>·d),日需水量为 120.05 m<sup>3</sup>/d,雨天不需绿化用水;车辆每周清洗 1 次,车辆数 1 845 辆,日需水量为 13.18 m<sup>3</sup>/d;② 部分道路广场两侧绿地为下凹式绿地。下凹式绿地下凹深度为 0.06 m,绿地稳定入渗速率  $0.75 \times 10^{-5}$  m/s<sup>[18]</sup>;③ 部分停车场、广场地面铺装为透水铺装,铺装层容水量 0.048 m;④ 景观水体为雨水调蓄设施。

(2) 设计参数。雨水径流总量控制率 85%,社会折现率 8%,工程寿命期 30 a,自来水价格 2.31 元/m<sup>3</sup>,设计降雨历时 15 min。

### 2.2 计算结果及分析

根据合肥市 1954—2012 年的降雨资料计算出雨水径流总量控制率为 85%,降雨历时 15 min 雨水利用强度为 0.94 mm/min,设计重现期 1,2,5 a 产流期内汇水面上的损失强度依次为 0.019,0.035,0.040 mm/min,暴雨强度为 1.26,1.57,1.96 mm/min,据此算出外排流量径流系数依次为 0.24,0.38,0.50。2 a 重现期内外排流量径流系数满足《技术规范》0.25~0.40 的规定,5 a 重现期外排流量径流系数不满足《技术规范》规定,需增加雨水利用措施规模,使外排流量径流系数  $\leq 0.40$ 。

合肥市滨湖假日 F-3 居住小区雨水利用设施基本规模:① 景观水体调蓄容积 1 742.1 m<sup>3</sup>;② 下凹式绿地面积 12 200.5 m<sup>2</sup>;③ 透水铺装面积 10 672 m<sup>2</sup>;④ 雨水调蓄池容积 1 500 m<sup>3</sup>。储水池、下凹式绿地、透水铺装增加单位损失强度所需的年增量成本计算结果见表 1<sup>[14]</sup>。

表1 雨水利用措施增加单位损失强度所需的年增量成本 元

重现期/a	储水池	下凹式绿地	透水铺装
1	680	1 350	2 800
2	720	1 430	2 950
5	780	1 550	3 220

根据外排流量径流系数计算方法不同,分2种情形计算小区雨水利用设施规模及构成。情形1根据实际降雨资料计算的外排流量径流系数。表2为雨水利用设施基本规模能降低的外排流量径流系数,能满足该小区3种重现期外排流量径流系数0.25,0.38,0.50的要求,故雨水利用设施规模即为基本规模,年增量成本1,2和5a均为18.51万元,具体构成见表2。

情形2根据《技术规范》确定的外排流量径流系数。①按基本规模及增量成本确定雨水利用设施规模。重现期1,2,5a允许的外排流量径流系数依次取0.25,0.30,0.40<sup>[8]</sup>,雨水利用设施规模及构成见表3。当重现期为1,2a时,由表2基本规模即可满足外排流量径流系数的要求。重现期为5a时,在基

本规模的基础上,按雨水利用措施增量成本大小及增加规模的可能,增加下凹式绿地面积(如表3所示)。

②按成本最小确定雨水利用设施规模。当重现期为1a时,选用景观水体、储水池、下凹式绿地即可满足外排流量径流系数的要求;当重现期为2,5a时,在重现期1a的基础上,按雨水利用措施增量成本大小及增加的可能性扩大规模。考虑小区实际用地限制,当小区下凹式绿地率超过40%时,选用透水铺装满足外排流量径流系数的要求。表4列出了除景观水体外的雨水利用设施规模。

表2 雨水利用设施基本规模降低的外排流量径流系数

雨水利用措施	基础规模	降低的外排流量径流系数		
		5 a	1 a	2 a
景观水体	1 742.1 m <sup>3</sup>	0.35	0.27	0.20
储水池	1 500 m <sup>3</sup>	0.30	0.23	0.17
下凹式绿地	12 200.5 m <sup>2</sup>	0.16	0.13	0.09
透水铺装	10 672 m <sup>2</sup>	0.12	0.09	0.07
总计	—	0.93	0.72	0.53

表3 重现期5a基本规模的雨水利用设施规模

重现期/a	允许外排流量径流系数	雨水利用措施	基础规模	降低的外排流量径流系数	增加的规模	总规模	年增量成本/万元
5	0.40	储水池	1 500 m <sup>3</sup>	0.17	0	1 500 m <sup>3</sup>	22.45
		下凹式绿地	12 200.5 m <sup>2</sup>	0.09	8 799.5	21 000 m <sup>2</sup>	
		透水铺装	10 672 m <sup>2</sup>	0.07	0	10 672 m <sup>2</sup>	

表4 按成本最小确定的雨水利用设施规模

重现期/a	允许外排流量径流系数	雨水利用措施	基础规模	降低的外排流量径流系数	增加的规模	总规模	年增量成本/万元
1	0.25	储水池	1 500 m <sup>3</sup>	0.30	0	1 500 m <sup>3</sup>	8.37
		下凹式绿地	7 500 m <sup>2</sup>	0.10	0	7 500 m <sup>2</sup>	
2	0.30	储水池	1 500 m <sup>3</sup>	0.23	0	1 500 m <sup>3</sup>	13.70
		下凹式绿地	7 500 m <sup>2</sup>	0.08	12 000 m <sup>2</sup>	19 500 m <sup>2</sup>	
5	0.40	储水池	1 500 m <sup>3</sup>	0.17	0	1 500 m <sup>3</sup>	21.36
		下凹式绿地	7 500 m <sup>2</sup>	0.06	16 510 m <sup>2</sup>	24 010 m <sup>2</sup>	
		透水铺装	0	0	7 500 m <sup>2</sup>	7 500 m <sup>2</sup>	

由上述结果可以得出如下结果。①雨水利用基本规模可以满足设计重现期1,2a的外排流量径流系数要求,这是因为该小区有景观水体,可以降低的外排流量径流系数达0.27。因此,小区在规划时应考虑景观水体等雨水调蓄设施建设,降低内涝发生的可能。②按最小成本法确定雨水利用设施规模所需增量成本明显小于相同条件下根据规范相关规定计算的雨水利用设施增量成本。表4中的设施规模虽然成本最小,但表2—3同时采用了多种雨水

利用措施,其社会和环境效益较高。因此小区雨水利用措施的构成,除考虑经济因素外,还应考虑小区用地条件、相关规定和社会环境效益。③按《评价标准》取雨水径流总量控制率55%,70%,雨水利用基本规模能满足外排流量径流系数要求,这是因为雨水径流总量控制率降低,必然导致外排流量径流系数的增加和雨水利用增量成本的下降。《评价标准》对雨水利用设施规模的要求要低于《技术规范》。

### 3 讨论与结论

(1) 雨水利用能降低小区雨水外排流量径流系数,促进地表水和地下水良性循环,防治内涝发生,减轻城市面源污染。不同的雨水利用设施减少外排径流系数的成本有明显差别。在实际工作中,应结合小区具体条件,并满足相关规定,兼顾经济、环境与社会效益,明确雨水利用目标,合理确定雨水利用设施规模及构成。建议在《技术规范》中增加雨水利用设施总规模及构成的相关条文。

(2) 以《评价标准》规定的雨水径流总量控制率为限定条件,建筑小区雨水利用设施规模与重现期无关。以《技术规范》规定的外排流量径流系数(0.25~0.40)为限定条件,小区雨水利用设施规模与重现期有关。从提高雨水设计标准,减少内涝发生考虑,建筑小区设计规模应按《技术规范》给出的外排流量径流系数(0.25~0.40)确定。

(3) 本文围绕雨水利用设计的关键问题,以扣损法为基础,结合雨水利用设施增加的雨水利用强度,提出小区雨水利用设计方法。该方法便于计算,易于推广,具有较好的应用价值。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 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.
- [2] 张书函,丁跃元,陈建刚.城市雨水利用工程设计中的若干关键技术[J].水利学报,2012,43(3):308-314.
- [3] 王文亮,李俊奇,车伍,等.城市低影响开发雨水控制利用系统设计方法研究[J].中国给水排水,2014,30(24):12-17.
- [4] 赵世明,赵铨,王耀堂,等.雨水控制与利用系统的计算[J].中国给水排水,2014,30(2):54-57.
- [5] 徐得潜,李兴彩,张丽峰,等.合肥市建筑与小区雨水利用[J].武汉大学学报:工学版,2009,42(6):741-744.
- [6] 张炜,车伍,李俊奇,等.图解法用于雨水渗透下凹式绿地的设计[J].中国给水排水,2008,24(20):35-39.
- [7] 王哲,谢杰,谢强,等.透水铺装地面滞蓄净化城镇雨水径流研究进展[J].环境科学与技术,2013,36(12):138-143.
- [8] 住房和城乡建设部.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.
- [9] 潘安君,张书函,陈建刚,等.城市雨水综合利用技术研究与应用[M].北京:中国水利水电出版社,2010.
- [10] 西安冶金建筑学院,湖南大学.水文学[M].北京:中国建筑工业出版社,1979.
- [11] 住房和城乡建设部.GB50014-2006 室外排水设计规范[S].北京:中国计划出版社,2014.
- [12] 住房和城乡建设部.GB/T50378-2014 绿色建筑评价标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2014.
- [13] 郑克白,徐宏庆,康晓鸥,等.北京市《雨水控制与利用工程设计规范》解读[J].给水排水,2014,40(5):55-60.
- [14] 王彩娟.合肥市建筑与小区雨水及中水利用研究[D].合肥:合肥工业大学,2010.
- [15] 北京市规划委员会.DB11-685-2013 雨水控制与利用工程设计规范[S].北京:2014.
- [16] 解刚,王向东.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[J].水土保持通报,2013,33(2):144-150.
- [17] 程江,徐启新,杨凯,等.下凹式绿地雨水渗蓄效应及其影响因素[J].给水排水,2007,33(5):45-49.
- [18] 魏俊岭,金友前,郜红建,等.合肥市绿地土壤水分入渗性能研究[J].中国农学通报,2012,28(25):302-307.
- [17] 郑中,祁元,潘小多,等.基于 WRF 模式数据和 CASA 模型的青海湖流域草地 NPP 估算研究[J].冰川冻土,2013,35(2):465-474.
- [18] Hurst H E. Long-term storage capacity of reservoirs [J]. Transactions of the American Society of Civil Engineers 1951,116(12):776-808.
- [19] Mandelbrot B B, Wallis J R. Some long-run properties of geophysical records[J]. Water Resources Research, 1969,5(2):321-340.
- [20] 陈彦光,靳军.地理学基础理论研究的方法变革及其发展前景[J].干旱区地理,2003,26(2):97-102.
- [21] 江田汉,邓莲堂. Hurst 指数估计中存在的若干问题:以在气候变化研究中的应用为例[J].地理科学,2004,24(2):177-182.
- [22] Liang Shunlin, Yi Qiuxiang, Liu Jinping. Vegetation dynamics and responses to recent climate change in Xinjiang using leaf area index as an indicator[J]. Ecological Indicators, 2015(58):64-76.
- [23] Peng Jian, Liu Zhenhuan, Liu Yinghui, et al. Trend analysis of vegetation dynamics in Qinghai-Tibet Plateau using Hurst Exponent[J]. Ecological Indicators, 2012,14(1):28-39.

(上接第 224 页)