DOI:10.3969/j.issn.1004-6933.2013.02.014

住宅小区雨水收集利用方案及其效益分析

王 岚,张其成,陈 星

(河海大学水文水资源学院,江苏 南京 210098)

摘要:以福州万科大樟溪住宅小区为例,设计城市雨水资源的回收利用方案,提出雨水收集、水质处理、雨水调蓄排放的一整套雨水收集利用工程方案,并分析雨水收集利用工程的效益。结果表明,在住宅小区建立雨水收集利用工程在技术上是可行的,社会效益、经济效益和环境效益也很可观,雨水收集利用工程值得推广。

关键词:雨水资源;雨水回用;方案设计;效益分析;住宅小区

中图分类号:TV213.9 **文献标志码**:A **文章编号**:1004-6933(2013)02-0067-04

Scheme design and profit analysis of rainwater collection and recycling in a residential district

WANG Lan, ZHANG Qicheng, CHEN Xing

(*College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing* 210098, *China*)

Abstract: A rainwater recycling scheme was designed for the Wanke Dazhangxi Residential District, in Fuzhou. An entire rainwater recycling scheme for rainwater collection, treatment, and storage and discharge was proposed, and the scheme's profit was analyzed. The results show that rainwater collection and recycling are technically feasible in residential districts and have favorable social, economic, and environmental profits. Thus, they are worth promotion.

Key words: rainwater resources; rainwater recycling; scheme design; profit analysis; residential district

目前我国城市的发展不同程度上受到干旱缺水、洪涝灾害、水环境恶化的影响[1]。水资源短缺是全国大多数城市存在的问题[2]。所含污染物超标的初期雨水直接排入城市河道、湖泊,影响了城市水环境质量。雨水资源利用能缓解水资源紧张,减轻排水和防洪压力,是保护水环境、实现宜居城市目标的重要措施之一。

目前,世界五大洲约 40 多个国家和地区在雨洪资源利用方面进行了大量实践。德国是欧洲开展雨水利用工程最好的国家之一,早在 1995 年,其首都柏林市就设计安装了许多雨水利用设施,如,贝尔斯-鲁德克街区利用 7 000 m^2 集水面积的屋顶和街道、停车场、广场收集雨水,雨水经处理后用于花园灌溉和厕所冲洗,在源头上保留了 58% 的雨水,每年节约饮用水大约 2 430 m^3,保护了相当数量的柏林地下水,同时也减少了暴雨造成的污染[3]。

我国雨水充沛,雨水资源是我国可利用的淡水资源之一[4],但降雨多集中在 6—9 月份,且雨水随径流排走,使地下水补给不足。我国雨水资源化利用尚不普及,除部分地区建立了小型雨水收集利用系统外,大部分地区的雨水利用还处于研究阶段。笔者认为,在住宅小区和公园的规划和设计中,应考虑雨水资源的控制利用,要采用规模化的雨水利用系统,建设雨水利用示范工程,以展示城市雨水排放新概念,实现雨水资源化。

基金项目:水利部公益性行业科研专项(201001030);河海大学自然科学基金(2009423211);中央高校基本科研业务费专项资金(2009B05914)

作者简介:王岚(1989—),女,硕士研究生,研究方向为环境水文与生态水文。E-mail:wlan_1989@163.com

1 研究区概况

1.1 水文气象特征

研究区福州万科大樟溪住宅小区位于大樟溪西侧。大樟溪是闽江下游最大的河流,河床比降大,在福建省永泰县境内长 121 km,被誉为“永泰的母亲河”。研究区属亚热带季风气候,四季分明,温暖多雨,多年平均降水量为 1 723 mm。虽然研究区水资源相对丰富,但降水量年内分布不均,主要集中于 4—9 月,4—9 月的降水量约占全年降水量的 83.4%。根据相关水文资料,规划区五十年一遇最大降雨量为 100 mm/h,二十年一遇最大降雨量为 88 mm/h。由于降水季节不均,研究区季节性和结构性缺水的问题比较突出,一方面半年时间处于枯水、缺水季节;另一方面山区暴雨洪涝灾害对居民安全造成影响。

1.2 产汇流特征

规划在研究区建设总面积为 0.45 km^2 的生态化居住区。研究区位于福建省福州市永泰县赤壁村,距离福州市中心 32 km,地貌以丘陵为主,最高点高程为 66 m,最低点高程为 16 m,地势自西南向东北逐渐降低。研究区所在流域集水面积只有 0.591 km^2,且河道短,坡降陡,产汇流快。研究区地块大部分为未经开发的天然农田与丘陵林地,区域内小河流、河沟基本为天然状态,河流护岸大都为天然或简易生产岸坡。水流大多依地势汇入洼地农田或排入小区内蓄水池塘,发生稍大洪水时,低洼处农田甚至房屋等建筑物将被淹没。研究区地形与集水区域示意见图 1。

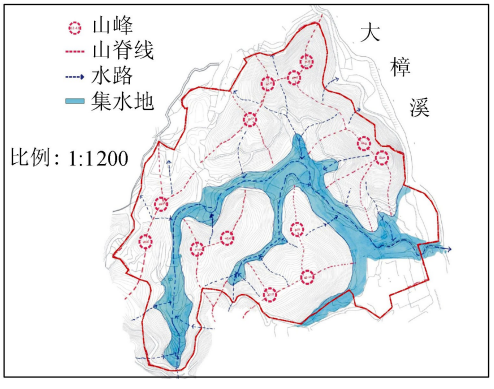

图 1 研究区地形与集水区域示意图

2 雨水收集利用方案

2.1 收集利用流程

本研究采用雨水收集—处理回用—调蓄排放模式,设置雨水收集管网系统、水质处理系统、雨水调蓄排放系统。整个雨水收集系统的设计与布置,结合了大樟溪小区内的建筑物、道路、绿地的规划布局和用水点的空间分布,并综合考虑各类雨水类型的受污染程度及不同雨水利用点对水质的要求,以充分合理利用雨水资源。在具体实施过程中,以人工湖为中心,把雨水收集系统、水质处理系统、雨水调蓄排放系统有机结合起来。研究区雨水收集利用流程见图 2。

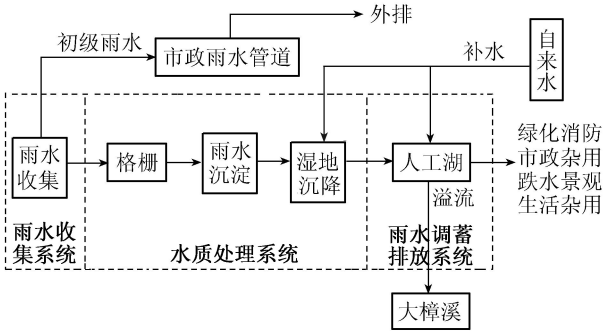

图 2 研究区雨水收集利用流程

2.1.1 雨水收集

根据城市气象、水文地质和不同下垫面条件,雨水集蓄利用方式有多种[5]。本研究雨水收集途径分为 4 类:屋面雨水、路面雨水、绿地雨水和场地(广场、停车场等)雨水。针对不同雨水收集面采取相应的雨水收集技术,构成一个高效的雨水收集有机整体。

a. 屋面雨水。为避免管线太多,尽量选取雨水处理结构附近的建筑物屋面为雨水收集源[6]。建筑物屋顶采用黏土、混凝土等材质,以保证屋面雨水的水质。对小区内面积较小的屋面采用重力流的雨水收集方式,经雨水斗 →雨落管 →雨水管,收集雨水;对面积较大的屋面采用虹吸式雨水收集方式,加设整流器,以减少雨水斗进水时的掺气量[7]。

b. 路面雨水。采用透水型路面,以削减地表径流,补给地下水。在街道雨洪管道口设置截污挂篮,以拦截雨洪径流携带的树叶等较大污染物。

c. 绿地雨水。采用下凹式绿地面,使绿地低于路面 5 ~ 10cm,同时沿着排水道路修建渗透浅沟,在浅沟表面植草皮,以便雨水下渗。雨水口设于路边绿地内,雨水排水口高于绿地面。采用雨水管渠方式收集绿地径流,并用滤网挂篮方式拦截溢流雨水中的杂草和大颗粒等污染物,使绿地成为天然的雨洪汇水面和截污工具。

d. 场地雨水。停车场与广场等场地尽量避免铺硬化地面,要铺设透气透水的生态地面,增大地面透水性和透气性,使雨水及时渗入土壤,以涵养地下水源,削弱城市热岛效应,改善城区环境。

2.1.2 水质处理

一般城市降雨的 pH 值偏弱酸性(大约为

5.6),水中含有大量悬浮物、污染物和泥沙,需要经过净化处理达到水质要求才能回收利用[8]。研究区收集的雨水主要用于绿化、水景、生活杂用等,对水质的要求不高,因此可以不需过滤消毒处理。将雨水沉淀池和湿地沉降池串联融合布置,收集的雨水首先经小型雨水沉淀池(具体大小形状根据场地因地制宜确定)初步筛选过滤去除悬浮物等杂质,再流入配套湿地,经植物沉降,达到净化雨水的目的,最终汇入小区中心人工湖调蓄回用。研究区排水分区、中心人工调蓄湖、湿地工程布局图见图3。

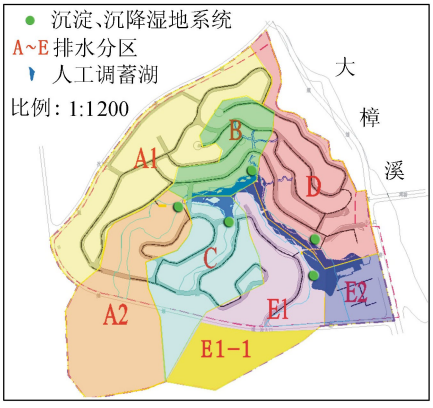

图3　研究区排水分区、中心人工调蓄湖、湿地工程布局图示意图

在规划的湿地沉降池内种植芦苇、香蒲、风车草、香根草、美人蕉等兼具景观和污染物去除功能的植物,使人工湿地具有独特的绿化环境功能。人工湿地作为一种生态处理技术,管理维护简单。成规模的人工湿地能迅速增加绿地面积,消除城市热岛效应,提供优美的城市生态景观。

为保证人工湿地内植物的正常生长,湿地有效水深一般为0.6~1.1 m。考虑到用地限制,规划区人工湿地的有效水深取0.8 m[9]。人工湿地多数采用潜流式,根据暴雨强度计算公式和湿地水力负荷来计算湿地面积。

暴雨强度计算公式为

$$q = \frac{2041.102(1 + 0.7\lg T_E)}{(t + 8.008)^{0.691}} \quad (1)$$

$$Q = \psi_m q F \quad (2)$$

$$A = Q/(H_L) \quad (3)$$

考虑到研究区湿地水力负荷条件和设计暴雨强度,总结出各排水分区径流面积与所需湿地面积的关系公式:

$$A = \psi_m q F/(H_L) \quad (4)$$

式中:q 为设计暴雨强度,L/(s·hm^2);ψ_m 为径流系数;T_E 为设计重现期,取1 a;t 为降雨历时,min;F 为汇水面积,hm^2;A 为湿地面积,m^2;Q 为湿地流量,m^3/s;H_L 为湿地的水力负荷,可取0.8~1.2 m/d,为提高去污效果取0.8 m/d。

计算结果见表1。

2.1.3　调蓄回用

小区中心开挖的人工调蓄湖作为雨水利用系统的雨水调蓄池,兼具雨水储存、沉淀、循环等作用。考虑到小区整体规划布局、景观环境需求和区域集水区分布,人工湖形态规划为狭长形,河长约400 m,河宽最大约90 m,面积约2.7万m^2,横河方向左侧高右侧低,左侧最高点高程19.0 m,右侧最高点高程16.0 m。考虑到人工湖还具有作为小区中心景观点的功能,最终确定人工湖的库容最大值为5.7万m^3。

储存处理后的雨水为社区提供绿地浇灌、道路冲洗、跌水水景、厕所冲洗、车辆冲洗等用水,而雨水调蓄池与社区外围河道连通,可向外排水和泄洪。汛期4—9月,人工湖的溢流可以通过市政雨水管直接排入大樟溪,补充大樟溪水体,为福州市存储优质水源,改善水生态环境;枯水期10月至次年3月,用自来水向人工湖输送水源,保障人工湖基本的景观水位。

2.2　效益分析

雨水收集利用工程需投资1 260万元(不包括人工湖的景观功能投资),较直接排放系统多投资1 020万元,但雨水收集利用工程建成后,每年可直接集蓄利用雨水16万~24万m^3,按照福州永泰县1.5元/m^{3}的水价计算,每年可节约水费24万~36万元。若考虑节水增加的国家财政收入,以及消除污染而减少的社会损失和节省城市排水设施的运行费

表1　湿地面积计算结果

分区	降雨历时/min	汇水面积/hm^2	设计暴雨强度/(L·s^{-1}·hm^{-2})	径流系数	分区流量/(m^3·s^{-1})	湿地流量/(m^3·s^{-1})	湿地面积/m^2
A1	12	11.6	257	0.40	1.19	2.14	22 470
A2	15	11.6	234	0.35	0.95		
B	10	4.6	277	0.50	0.64	0.64	6 720
C	12	8.2	257	0.40	0.84	0.84	8 820
D	12	9.6	257	0.50	1.24	1.24	13 020
E1	15	6.5	234	0.35	0.53		
E2	10	2.9	277	0.50	0.40	1.27	13 335
E1-1	15	4.1	234	0.35	0.34		
合计		59.1			6.13	6.13	64 365

用等间接效益,每年可收益91.2万~136.8万元[10],故雨水收集利用工程的静态差额投资回收期为7.5~11.2 a。且水景社区是一类以景观湖为核心的生态住宅小区,能满足城市居民回归自然的需求[11]。人工调蓄景观湖岸设置的5片结合沉淀池布置的人工湿地,有效保证了雨水水质达到小区回用标准,保护了水环境。由此可见,雨水收集利用工程已是一种极有价值的水资源利用工程,具有良好的经济效益和产业前景。

3 结 语

在住宅小区建立雨水收集利用工程,技术上是可行的,社会效益、经济效益和环境效益也很可观。在地形条件和空间范围允许的条件下,将雨水的收集传输和储存利用与城市的景观建设、环境改善相结合,不仅可有效利用雨水资源,补给涵养地下水,缓解用水矛盾,还可减轻污水处理厂的压力,增添城市景观。雨水收集利用工程值得推广。

参考文献:

[1] 方绍东,黄英,柏绍光. 昆明城市发展进程中的水资源演变分析[J]. 水资源保护,2010,26(6):32-36. (FANG Shaodong, HUANG Ying, BAI Shaoguang. Analysis of water resources evolution with urban development in Kunming[J]. Water Resources Protection,2010,26(6):32-36. (in Chinese))

[2] 魏杰. 循环经济理论与深圳市城区雨水利用规划[J]. 水资源保护,2010,26(4):80-83. (WEI Jie. Circular economy and urban rainwater utilization planning of Shenzhen [J]. Water Resources Protection,2010,26(4):80-83. (in Chinese))

[3] 李红梅. 多国雨水收集利用探索实践[N]. 中国水利报,2011-09-22(07).

[4] 曾子洋,曾玉彬. 对武汉市城市雨水收集利用的现状和趋势的探讨[J]. 科技创新导报,2010(34):121. ZENG Ziyang, ZENG Yubin. Probe to status and trends of collecting and utilizing to urban rainwater in Wuhan City [J]. Science and Technology Innovation Herald, 2010(34):121. (in Chinese))

[5] 鹿新高,庞清江,邓爱丽,等. 城市雨水资源化潜力及效益分析与利用模式探讨[J]. 水利经济,2010,28(1):1-5. (LU Xingao, PANG Qingjiang, DENG Aili, et al. Potential benefit analysis and utilization mode of urban rainwater resources [J]. Journal of Economics of Water Resources,2010,28(1):1-5. (in Chinese))

[6] 林涛. 某住宅小区雨水回用系统设计简介[J]. 给水排水,2008(S1):289-291. (LIN Tao. Brief introduction to system design of rainwater reuse to one of residential areas [J]. Water & Wastewater Engineering, 2008(S1):289-291. (in Chinese))

[7] 曹秀芹,车武. 城市屋面雨水收集利用系统方案设计分析[J]. 给水排水,2002,28(1):13-15. (CAO Xiuqin, CHE Wu. Analysis of program design to system of collecting and utilizing of urban roof rainwater [J]. Water & Wastewater Engineering, 2002, 28(1): 13-15. (in Chinese))

[8] 张迪瀚,陈永平. 珠海十字门中央商务区雨水回用设计[J]. 给水排水,2011(S1):386-387. (ZHANG Dihan, CHEN Yongping. Design to rainwater reuse of central business area in Zhuhai City [J]. Water & Wastewater Engineering,2011(S1):386-387. (in Chinese))

[9] 张静,张旭,李广贺,等. 潜流湿地中填料的理化作用及对植物生长的影响[J]. 环境科学,2006(5):874-879. (ZHANG Jing, ZHANG Xu, LI Guanghe. Physical and chemical effects and plant growth suitability of substrates in subsurface flow wetland [J]. Environmental Science, 2006(5):874-879. (in Chinese))

[10] 李俊奇,车武,孟光辉. 城市雨水利用方案设计与技术经济分析. 给水排水[J] 2001,27(12):25-28. (LI Junqi, CHE Wu, MENG Guanghui. Program design and technical and economic analysis to urban rain water utilization[J]. Water & Wastewater Engineering,2001,27(12):25-28. (in Chinese))

[11] 陈小华. 水景社区的雨水收集与综合利用设计[J]. 水资源保护,2010,26(5):78-82. (CHEN Xiaohua. Case study on collection and reuse of rainwater in waterscape community of Shanghai[J]. Water Resources Protection, 2010,26(5):78-82. (in Chinese))

(收稿日期:2012-08-22 编辑:彭桃英)

·简讯·

河海大学获两项教育部2012年度科学研究优秀成果奖

教育部近日发布关于2012年度高等学校科学研究优秀成果奖(科学技术)奖励的决定,河海大学获两项2012年度高等学校科学研究优秀成果奖。

其中,陆光华教授主持的"河湖水体典型污染物的生态风险及去除机制"获自然科学二等奖;蒋亚清教授为主要完成人的"混凝土裂缝分龄期防治新技术与应用"获科技进步一等奖。

(本刊编辑部供稿)