

DOI: 10.3880/j.issn.1004-6933.2015.02.021

# 青岛市生态居住区雨水综合利用

初开艳<sup>1</sup>, 陈吉升<sup>1</sup>, 陈乃青<sup>2</sup>

(1. 青岛市城市规划设计研究院, 山东 青岛 266022; 2. 青岛市海润自来水集团有限公司, 山东 青岛 266001)

**摘要:** 通过对于青岛市某居民小区两次典型降雨后形成径流雨水中的 COD、SS、NH<sub>3</sub>-N 和 TP 的分析, 发现在初雨期 2mm 产生的径流中, 4 项污染物指标的污染程度最大, 应舍弃不用; 初雨期后可通过清浊分流方法在居民小区内对雨水进行回收利用。通过对居民区的年杂用水量与可收集雨水量比较, 上游汇水量可以满足区内的用水需求, 雨水综合利用方案实施后可节约自来水 2 万 t/a 以上, 具有良好的社会效益和经济效益。

**关键词:** 雨水; 污染物; 雨水综合利用; 生态居住区; 青岛市

中图分类号: TU991.2 文献标志码: B 文章编号: 1004-6933(2015)02-0103-04

## Comprehensive utilization of rainwater in ecological residential district of Qingdao

CHU Kaiyan<sup>1</sup>, CHEN Jisheng<sup>1</sup>, CHEN Naiqing<sup>2</sup>

(1. Qingdao Urban Planning & Design Research Institute, Qingdao 266022, China;

2. Qingdao Hairun Water Co. Ltd, Qingdao 266001, China)

**Abstract:** By analyzing the COD, SS, NH<sub>3</sub>-N and TP in the rainwater after two processes of rainfall in a certain residential district in Qingdao, we found that the pollution degree of these 4 pollutant indicators in the initial 2mm deep rainwater is the biggest during the whole raining process and such rainwater should not be utilized. We can recycle and utilize the rainwater by decontamination triage method in the residential district after the initial rainfall period. By comparing the amount of all kinds of water consumption in the residential district and the amount of collectable rainwater, we conclude that the recycled rainwater can meet the water demand of residential district in the upstream. Once the project of urban rainwater utilization is carried on, no less than 2 million tons of tap-water will be saved annually and more economic benefits and positive social effects will be brought.

**Key words:** rainwater; pollutants; comprehensive utilization of rainwater; ecological residential district; Qingdao City

### 1 国内外雨水综合利用简介

雨水综合利用在发达国家应用较早, 德国在积累了多年开展雨水利用丰富经验的基础上, 于 1989 年制定了屋面雨水利用设施标准, 目前德国城市雨水利用已进入标准化、产业化阶段。以色列由于严重干旱缺水, 雨水资源利用率已达到 98%。美国也大量建造渗滤田, 用于补充地下水或在暴雨洪水时起汇集和调节雨水的作用<sup>[1]</sup>。日本四面环海气候湿润, 年降雨量比较大, 鹿儿岛县厅大厦按照 15 ~ 20 d 的用水量计算出储水池的容积, 所存雨水经过

调节 pH 值、过滤消毒后用做生活杂用水<sup>[2]</sup>。新加坡雨水利用划定了三类集水区, 分别为受保护集水区、河道蓄水池和城市骤雨收集系统, 配套建设了大量蓄水池, 新加坡每天耗水的 50% 都来自收集起来的雨水<sup>[3]</sup>。

我国建设部于 2006 年颁布了 GB 50400—2006 《建筑与小区雨水利用工程技术规范》, 此后国内也逐渐重视雨水综合利用, 目前雨水综合利用示范区主要集中在北京、上海、广州、深圳等大中城市。在上海浦东国际机场航站楼已经建有完善的雨水收集系统用来收集浦东国际机场航站楼的屋面雨水, 在

暴雨季节收集的雨水量为 500 t/h, 这些雨水均被处理后加以利用<sup>[4]</sup>。广州亚运会收集、储存和利用屋面雨水作为杂用水水源, 解决亚运村赛时和赛后的杂用水需求, 不足部分采用市政自来水补水<sup>[5]</sup>。深圳市光明新区在城市开发建设之初就积极探索低影响开发模式, 因地制宜采用各种雨水入渗设施滞蓄地表径流、回补地下水, 目前已探索出适合光明新区的雨洪利用目标、技术手段、政策保障措施等<sup>[6]</sup>。

## 2 研究区雨水综合利用

青岛市全市水资源总量约 22 亿 t, 目前人均占有水资源量为 312.8 t, 为全国平均值的 12.3%, 远远低于世界公认的人均 500 t 的绝对缺水标准, 是全国严重缺水城市之一。在青岛这种资源性缺水的北方城市中雨水综合利用规划应合理纳入城市规划的一部分。

某新建生态居住小区位于青岛市滨海大道以北区域, 三面环山, 地势相对较低且整体平坦, 用地面积约 23.6 hm<sup>2</sup>, 容积率 2.0, 上游汇水面积 70 hm<sup>2</sup>, 小区规划着重体现“人·城市·自然”和谐共生的主题思想, 规划绿地面积约 81 250 m<sup>2</sup>, 道路、广场面积约 48 750 m<sup>2</sup>, 同时利用原有塘坝改建为小区内湖, 有效面积约 1.1 万 m<sup>2</sup>。根据生态居住小区的绿色生态社区定位及所处环境优势, 规划中重点考虑利用小区汇集的部分雨水补充景观和绿化用水, 节约优质水资源, 减少排水系统的费用, 削减雨水径流量和污染负荷, 保护居住区的水环境与生态环境。

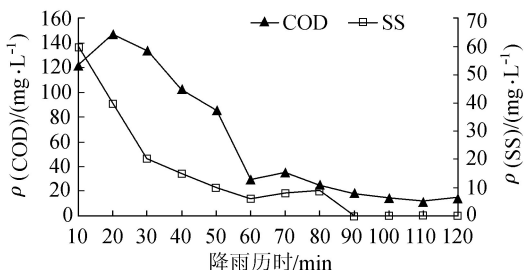
### 2.1 雨水水质分析

研究区地势东南略高西北低洼, 外来客水均为外围丘陵绿地区内的雨水径流, 水质较好。

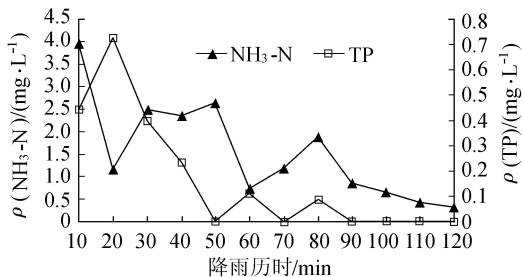
根据鲍万民<sup>[7]</sup>、孙常磊<sup>[8]</sup>以及车武等<sup>[9]</sup>的研究, 屋面径流和道路径流污染比较严重, 尤其是初雨期雨水污染最为严重, 水质浑浊、色度大。

由于研究区现处规划设计阶段, 现状为农田和村庄, 目前无法取得建成后雨水水质资料, 为此采用类比法获取该区域雨水水质概况, 试验取水点位于研究区东侧 300 m 处的 2009 年建成的住宅区。根据 2011 年 7 月和 2011 年 8 月各 1 次典型降雨收集的雨水水样水质分析结果(图 1、图 2), 初雨期 COD 质量浓度多在 200 mg/L 以上, SS 质量浓度达到 60 mg/L, NH<sub>3</sub>-N 质量浓度最高达到了 12 mg/L, TP 质量浓度最高达到了 2.5 mg/L, 电导率在 200~600 μS/mm 之间。随着降雨时间的延长, COD 和 SS 的质量浓度呈下降趋势并稳定在一定数值左右, 在降雨中后期, COD 质量浓度在 20 mg/L 左右, SS 质量浓度低于 10 mg/L, TP 质量浓度低于 0.15 mg/L, NH<sub>3</sub>-N 质量浓度低于

0.3 mg/L, 电导率在 80 μS/mm 以下。可见, 外来雨水的 COD、SS、NH<sub>3</sub>-N 和 TP 的质量浓度随降雨历时的延长而逐渐降低, 降雨中后期的 COD、SS、NH<sub>3</sub>-N 和 TP 质量浓度趋于稳定状态, 水质较好。

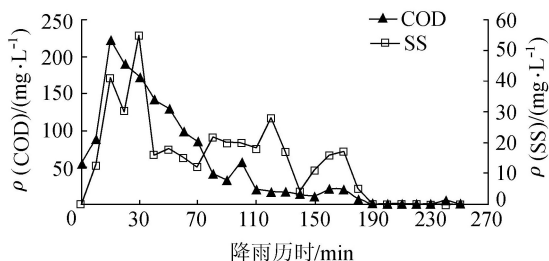


(a) COD和SS质量浓度变化

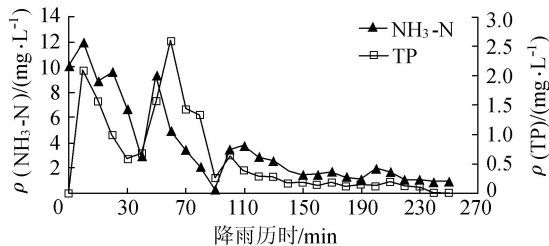


(b) NH<sub>3</sub>-N和TP质量浓度变化

图1 7月降雨初期污染物质量浓度变化趋势



(a) COD和SS质量浓度变化



(b) NH<sub>3</sub>-N和TP质量浓度变化

图2 8月降雨污染物质量浓度变化趋势

根据相关研究<sup>[10-11]</sup>和类比试验结果表明, 居住社区初雨期 2 mm 产生的径流污染程度最大, 初雨过后的雨水属于微污染水源, 为此可考虑清浊分流, 舍去初期 2 mm 降雨量, 然后再进行回收利用。

### 2.2 小区雨水收集量、用水量计算

#### 2.2.1 年可收集的雨水量<sup>[12]</sup>

研究区内可利用雨水按下式计算:

$$Q = \Psi \alpha \beta \xi H \times 10^{-3} \quad (1)$$

式中:  $Q$  为年平均可利用雨量, m<sup>3</sup>;  $\Psi$  为径流系数, 取 0.55;  $\alpha$  为季节折减系数, 0.73;  $\beta$  为初期弃流系

数,0.87;  $A$  为汇流面积,  $\text{m}^2$ ;  $H$  为多年平均降雨量,  $\text{mm}$ ;  $\xi$  为雨水利用系数, 0.50。

根据青岛市多年降水资料统计其降雨量主要集中在汛期(6—9月), 汛期4个月降水量占全年降水量的72.2%, 其中7、8月份的降水量占全年降水量的49.7%, 其他月份不仅雨量少而且降雨强度一般也比较小, 有的降雨过程甚至不能形成径流, 也就无法收集利用, 故考虑了气候和季节等影响因素后, 可利用雨量季节折减系数  $\alpha$  定为0.73; 初期弃流系数  $\beta$  根据降雨和水质资料定为0.87; 研究区位于丘陵地区, 为了保证下游河流的生态需求, 可供调配的雨水量为总降雨量的50%, 即利用系数  $\xi$  为0.50。该地区多年平均降雨量为688.2 mm。

研究区可利用的汇水面积约为  $70 \text{ hm}^2$  (含上游汇水区域), 则年平均可利用雨量  $Q$  为  $8.40 \text{ 万 m}^3$ 。

### 2.2.2 小区杂用水年用量

研究区杂用水主要包括绿化、浇洒道路及补充景观水系用水, 水量计算如下。

**a. 绿化年用水量:** 考虑小区雨季、冬季浇洒绿地次数较少, 绿化用水平均日用水量按浇洒面积以  $0.5 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  计算, 则绿化年用水量为  $Q_1 = 81250 \text{ m}^2 \times 0.5 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{d}) \times 365 \text{ d} = 1.48 \text{ 万 m}^3$ 。

**b. 浇洒道路、广场年用水量:** 小区全年浇洒道路、广场的次数远小于浇洒绿地的次数, 其平均日用水量按浇洒面积以  $0.5 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  计算, 则浇洒道路、广场年用水量为  $Q_2 = 48750 \text{ m}^2 \times 0.5 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{d}) \times 365 \text{ d} = 0.89 \text{ 万 m}^3$ 。

**c. 景观水年补充水量:** 小区景观水系的补充水量主要指因水面蒸发、水体渗漏引起的水体损耗量, 不考虑水体循环换水需求量。该地区多年平均水面蒸发量约  $1000 \text{ mm}$ , 水系面积约  $11000 \text{ m}^2$ , 年水面蒸发量  $Q_3 = 11000 \text{ m}^2 \times 1.0 \text{ m} = 1.10 \text{ 万 m}^3$ ; 小区水系底部平均渗透系数取  $0.001 \text{ m}/\text{d}$ , 年渗漏需水量  $Q_4 = 11000 \text{ m}^2 \times 0.001 \text{ m}/\text{d} \times 365 \text{ d} = 0.40 \text{ 万 m}^3$ ;

**d. 小区杂用水年用水量:**  $Q_{\text{总}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 3.87 \text{ 万 m}^3$ 。

由此可以计算出年可利用水量和杂用水年用水量之间的差额:  $Q_{\text{差}} = Q - Q_{\text{总}} = 8.40 \times 10^4 - 3.87 \times 10^4 = 4.53 \text{ 万 m}^3$ , 即研究区上游汇水量可以满足区内的用水需求。

## 3 雨水收集与处理

### 3.1 雨水收集

研究区内雨水综合利用流程如图3所示。

居住区绿地、道路及屋顶降雨根据汇水区域面积的不同设置不同规模的弃流井收集雨水, 每个弃

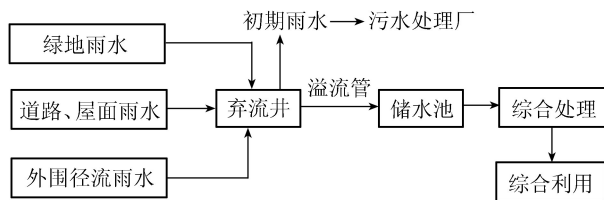


图3 雨水综合利用流程示意图

流井的容积根据其汇水区域的  $2 \text{ mm}$  降雨量设置, 构造简图如图4所示, 依靠水力作用, 用浮球阀控制水闸, 雨水斗收集满后自动关闭闸门2, 同时打开闸门1使雨水切换至供往储水池(或区内景观水体)的管道, 超出储水池容量的雨水经超越管进入市政雨水管道。降雨完毕后打开泄水闸3, 使弃流井中的初期雨水排入市政污水管道, 进入污水处理厂进行处理后排放。

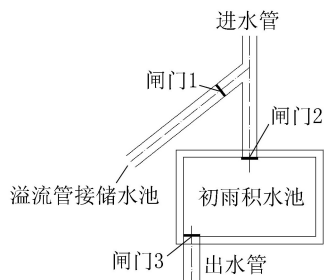


图4 初期雨水弃流井平面示意图

### 3.2 雨水收集与处理

储水池的雨水经过模块式微污染水处理单元处理后, 水质达到设计标准  $\text{GB}/\text{T} 18920-2002$ 《城市污水再生利用城市杂用水水质标准》, 完全可用于城市生活杂用水, 主要用于小区的绿化浇洒、景观水面补充水及道路冲洗水。

通过经济技术比较, 确定在规划区内结合广场、绿地及地下车库, 共设雨水储水池4座(兼做消防储水池), 每座有效容积为  $500 \text{ m}^3$ , 同时利用小区内的规划水系作为调蓄水池, 调蓄能力约  $1.5 \text{ 万 m}^3$ 。预测方案实施后可实现年节水  $2 \text{ 万 m}^3$  以上, 具有良好的社会效益和经济效益。多余降水通过防洪通道进入城市河流, 居住区内杂用水不足部分通过再生水补充。

## 4 可行性与环境效益分析

### 4.1 建设与运行成本可行性分析

由于研究区结合现状塘坝建设, 主要利用小区内景观水体的调蓄作用, 工程设计简单, 省却了建造大型调蓄水池费用, 建设成本大大降低。主要的雨水收集回用设施包括: 雨水弃流设施、4座小型调蓄水池、水处理设施、清水池、提升泵及雨水回用管道等。其中, 雨水弃流设施主要用于屋面、路面和广场

初期雨水的弃流,可结合雨落管和雨水口设置,由于绿地的表层植被和土壤对雨水具有较强的截污和净化作用,绿地雨水可考虑不进行弃流;小型调蓄水池尽量结合地下车库建设,兼做消防储水池,降低建设成本;初期雨水弃流后的雨水较为清洁,采用模块式微污染水处理设施简单处理后即可加以利用,处理工艺简单、费用较低。

研究区雨水设施的建设费用约 130 万元(因 4 座小型调蓄水池兼做消防水池,其土建费用不纳入建设费用),考虑人工、药剂、动力、维修等因素运行费用约 0.3 元/m<sup>3</sup>。设施的使用年限按照 30 年考虑,折旧残值取零,贴现率按年贷款利率 6.55% 计算,小区年雨水利用量按 2.0 万 m<sup>3</sup> 计算,每年运行费用支出为 0.6 万元。根据建设总投资和年运行费用得出年等额总成本 10.6 万元,则雨水回收成本为 5.3 元/m<sup>3</sup>。青岛市目前居民生活用水到户综合水价为 2.5 元/m<sup>3</sup>。由于水资源的不可替代性和稀缺性,我国水资源的价格未来将呈上涨的趋势,而随着科技的进步,雨水利用的成本将逐步降低,势必促进雨水综合利用的发展。

#### 4.2 环境效益分析

通过成本分析可知,雨水回收利用成本高于自来水价格,但是城市雨水综合利用不能仅考虑雨水利用直接经济效益,还应该考虑雨水利用带来的社会与环境效益,主要表现在节约水资源、提高排水系统安全性及削减污染物排放量等方面。

a. 雨水利用项目实施后,每年至少可节约 2 万 m<sup>3</sup> 优质水资源,间接补充了城市供水资源,具有一定的社会效益。

b. 通过收集初期雨水并将其排入污水管网,经污水处理厂集中处理后,可有效削减排入环境中的 COD、NH<sub>3</sub>-N 和 TP 等污染物总量,改善区域生态环境。经测算,初雨期有机物的平均削减率可达 40%,氮磷等污染物的平均削减率可达 70%。

c. 根据可行性研究报告,研究区内通过雨水的收集利用可削减 30% 左右的洪峰流量,可有效减轻城市防洪排涝系统的压力。

## 5 结 语

青岛地区初雨期污染比较严重,降雨量在 2mm 后雨水水质较好,可以满足回用的要求。在规划区通过弃流井将初期雨水暂时储存后排入污水处理厂处理,其余雨水就地收集利用,不仅可以大大减少城市地面径流量,减轻城市暴雨时排水管网的排水压力,减少初期雨水的污染,还可以节约城市水资源,提高水资源利用效率,减少因缺水而造成的社会经

济损失。目前制约雨水收集推广的主要因素是土建成本问题。通过可行性研究报告的相关调查,笔者认为在季节性降水不均的北方城市不宜建设大型人工蓄水池,蓄水设施可结合现状塘坝或水景建设。

推广应用雨水作为城市供水的补充具有很好的社会效益和经济效益,对于满足国家节能减排的政策,推动城市可持续发展具有很高的意义。

#### 参考文献:

- [1] 周沁沁. 浅谈国内外雨水利用与景观设计[J]. 化工设计,2012,22(4):46-50. (ZHOU Qin. Brief discussion on domestic and international rainwater utilization and landscape design [J]. Chemical Engineering Design, 2012,22(4):46-50. (in Chinese))
- [2] 晏中华. 国外雨水利用的方法[J]. 节能,2000(6):46-48. (YAN Zhonghua. Methods of foreign rainwater utilization[J]. Energy Conservation,2000(6):46-48. (in Chinese))
- [3] 潘丽娟. 浅谈新加坡的雨水综合利用系统[J]. 城市道桥与防洪,2013,7(7):160-161. (PAN Lijuan. Elementary discussion of comprehensive utilization system of rainwater in Singapore [J]. Urban Roads Bridges & Flood Control,2013,7(7):160-161. (in Chinese))
- [4] 徐扬,瞿迅. 浦东国际机场航站楼屋面雨水排水系统设计比较[J]. 给水排水,2000,26(4):43-47. (XUE Yang, QU Xun. Roof rain water drainage system of Pudong International Airport [J]. Water & Wastewater Engineering,2000,26(4):43-47. (in Chinese))
- [5] 罗慧英,丘玉蓉,王耀堂,等. 广州亚运村杂用水专项研究:雨水综合利用[J]. 给水排水,2008,34(5):70-78. (LUO Huiying, QIU Yurong, WANG Yaotang, et al. Special study on urban reclaimed water in Guangzhou Asian Sport Village [J]. Water & Wastewater Engineering,2008,34(5):70-78. (in Chinese))
- [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. (HU Aibing, REN Xinxin, YU Shaowu, et al. Exploration for creating low-impact development stormwater management demonstration area in Shenzhen [J]. China Water & Wastewater,2010,26(20):69-72. (in Chinese))
- [7] 鲍万民. 径流雨水对青岛奥运竞技水域污染负荷研究[D]. 青岛:青岛理工大学,2005.
- [8] 孙常磊. 西安城市雨水利用分区及不同下垫面雨水径流水质研究[D]. 西安:西安理工大学,2005.
- [9] 车武,汪慧珍,任超,等. 北京城区屋面雨水污染及利用研究[J]. 中国给水排水,2001,17(6):57-61. (CHE Wu, WANG Huizhen, REN Chao, et al. Research on Beijing urban roof runoff pollution and utilization [J]. China Water & Wastewater, 2001, 17(6):57-61. (in Chinese))

(下转第 110 页)

Advances in Sciences and Technology of Water Resources, 2010,30(5):19-23. (in Chinese))

- [4] 隋涛,刘娟娟.滨州市滨城区雨水利用分析[J].水资源保护,2012,28(1):85-88. (SUI Tao, LIU Juanjuan. Analysis of rainwater utilization in Bincheng District of Binzhou City [J]. Water Resources Protection, 2012, 28(1):85-88. (in Chinese))
- [5] 金彦兆,卢书超.雨水利用农业灌溉工程评价方法及效果评价[J].水利经济,2008,26(6):34-36. (JIN Yanzhao, LU Shuchao. Evaluation method and effect

evaluation on agricultural irrigation engineering of rainwater utilization [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2008,26(6):34-36. (in Chinese))

- [6] 王情,张广录,王晓磊,等.中国北方城市雨水资源利用探讨[J].水资源保护,2009,25(4):86-89. (WANG Qing, ZHANG Guanlu, WANG Xiaolei, et al. Investigation on utilization of rainwater resources in Northern China cities [J]. Water Resources Protection, 2009,25(4):86-89. (in Chinese))

(收稿日期:2014-09-21 编辑:彭桃英)

(上接第78页)

- [4] 卢士强,徐祖信,罗海林,等.上海市主要河流调水方案的水质影响分析[J].河海大学学报:自然科学版,2006,34(1):32-36. (LU Shiqiang, XU Zuxin, LUO Hailin, et al. Influence of water diversion schemes on water quality of Shanghai river networks [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences,2006,34(1):32-36. (in Chinese))
- [5] 刘云华,董增川,李朝方,等.深圳河流水系水质改善引调水工程[J].水资源保护,2008,24(3):31-34. (LI Yunhua, DONG Zengchuan, LI Chaofang, et al. Water diversion project for the improvement of water quality in Shenzhen River-Bay system [J]. Water Resources Protection,2008,24(3):31-34. (in Chinese))
- [6] 陈志和,陈晓宏,杜建,等.河网地区水环境引水调控及其效果预测[J].水资源保护,2012,28(3):16-21. (CHEN Zhi he, 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))
- [7] 李梓嘉,董增川,樊孔明,等. MIKE11模型在泗洪县城

城区河网引水冲污工程中的应用[J].水电能源科学,2012,30(8):100-103. (LI Zijia, DONG Zengchuan, FAN Kongming, et al. Application of MIKE11 model in water diversion and flushing pollutant of urban river network in Sihong City [J]. Water Resources and Power, 2012, 30(8):100-103. (in Chinese))

- [8] 童朝锋,岳亮亮,郝嘉凌,等.南京市外秦淮河水水质模拟及引调水效果[J].水资源保护,2012,28(6):49-54. (TONG Chaofeng, YUE Liangliang, HAO Jialing, et al. Water quality simulation and water diversion effect analysis of external Qinhuai River in Nanjing [J]. Water Resources Protection,2012,28(6):49-54. (in Chinese))
- [9] 南京市地方志编纂委员会.南京环境保护志[M].北京:中国环境科学出版社,1996.
- [10] 李曦,逢勇.江阴城区水环境数学模型建立及应用[J].水资源保护,2009,25(2):38-41. (LI Xi, PANG Yong. Application of water environment numerical model in Jiangyin City [J]. Water Resources Protection, 2009, 25(2):38-41. (in Chinese))

(收稿日期:2014-05-06 编辑:彭桃英)

(上接第102页)

- [5] 刘晓星.跨流域生态补偿要闯几道“关”?[N].中国环境报,2012-02-03(08).
- [6] 徐艳.淮河流域水污染治理政策研究[D].合肥:安徽大学,2012.
- [7] 麻智辉,李小玉.流域生态补偿的难点与途径[J].福州大学学报:哲学社会科学版,2012(6):63-68. (MA Zhihui, LI Xiaoyu. The difficulties and way of the river

basin ecological compensation [J]. Journal of Fuzhou University: Philosophy and Social Sciences Edition, 2012(6):63-68. (in Chinese))

- [8] 张明波.跨省流域生态补偿机制研究[D].西安:西北农林科技大学,2013.
- [9] 刘萍.东江流域水源保护区生态补偿机制研究[D].济南:山东大学,2013.

(收稿日期:2014-08-31 编辑:高渭文)

(上接第106页)

- [10] 冯平,刘伟,罗莎.雨水资源的利用及其实验[J].天津大学学报,2006,39(3):269-272. (FENG Ping, LIU Wei, LUO Sha. Utilization of rainwater resources and its experiment [J]. Journal of Tianjin University, 2006, 39(3):269-272. (in Chinese))
- [11] 李贺,李田,于学珍.上海市屋面雨水回用处理技术研究[J].环境科学与技术,2006,29(3):97-98. (LI He, LI Tian, YU Xuezhen. Reuse and treatment of roof runoff

in Shanghai [J]. Environmental Science and Technology, 2006,29(3):97-98. (in Chinese))

- [12] 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 roof rainwater collection and utilization system of city design [J]. Water & Wastewater Engineering, 2002, 28(1):13-15. (in Chinese))

(收稿日期:2014-04-10 编辑:高渭文)