

西安市不同下垫面雨水水质分析及道路雨水利用设计

王小林¹, 余李鑫², 王旭东², 吴珂琦²

(1. 西安市政设计研究院有限公司, 陕西 西安 710068; 2. 西安建筑科技大学 环境与市政工程学院, 陕西 西安 710055)

摘要: 针对西安市面临的水资源短缺、雨水资源浪费以及径流污染严重等问题, 对西安高新区不同下垫面降雨径流水质进行了监测, 选取了如下采样点: 直接降雨、屋顶、路面、绿地及停车场等, 并根据不同区域划分, 分析了水中污染物浓度及特征. 结果表明, 西安市降雨径流中有机污染物含量均有超出《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) V 类水质, 超标率达 75%; 屋面、路面 SS 含量超出国外城市 3~4 倍, 超出国内其他城市 2~4 倍, 污染十分严重. 雨水资源化利用对于西安市具有极大的意义及潜在优势, 故本文将选取西安高新技术开发区某路段雨水利用改造设计为例, 介绍生态滤沟技术在道路径流雨水的滞蓄与利用中的应用.

关键词: 雨水利用; 道路雨水利用; 下垫面; 降雨径流水质

中图分类号: TU991.114

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2017)04-0555-06

Analysis of rain water quality from different underlying surfaces in Xi'an and the design of road drainage project

WANG Xiaolin¹, YU Lixin², WANG Xudong², WU Keqi²

(1. Xi'an Municipal Engineering Design & Research Institute Company, Xi'an 710068, China;

2. School of Environmental & Municipal Engineering, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China)

Abstract: Shortage of water resource, waste of rainwater and the water environment pollution are serious problems in Xi'an, so it is necessary to study the quality of rainwater. In order to analyze rainwater from different underlying surfaces in Xi'an High-tech Zone, the natural rainwater and rainwater runoff over six underlying surfaces are chosen as research objects, including runoff from roofs, roads, green land and parking lot in different districts. Research indicated that the contents of organic pollutants of the rainwater runoff in Xi'an are all beneath Class V criteria of surface water. Approximately 75% of the pollutants exceeded Class V criteria of surface water. The content of SS in Xi'an is three to four times higher than cities abroad and two to four times higher than other cities in China. Because of the advantage of rainwater utilization in Xi'an, the collection and utilization of road rainwater with the bio-filtration is introduced by taking the design of road drainage project in high-tech zone for instance.

Key words: rainwater utilization; rainwater runoff quality; underlying surface; utilization of road rainwater

目前我国城市化发展迅速, 雨水资源浪费、径流污染等问题日渐严重^[1]. 随着低影响开发(LID)理念的引进以及我国建设海绵城市构想的提出^[2-3], 如何控制降雨径流中的污染物并充分利用雨水资源, 成为日渐被重视的问题. 为了实现雨水资源化利用, 研究不同类型下垫面降雨径流水质状况具有十分重要的意义. 侯立柱等^[4]对北京市水利科学研究所附近进行了水质监测, 分析了天然

雨水及屋面、道路、绿地径流中污染物浓度变化特征; 张立成^[5]等对沈阳市浑南新区的屋顶降雨、小区径流及市政排水口进行了为期一年的监测, 分析了其主要污染物及浓度特征; 王彦红等^[6]对宝鸡市路面雨水径流进行了测定分析, 并提出了相应污染控制措施; 袁宏林等^[7]研究了西安市某厂区内屋面、地面、混合及直接降雨雨水污染物来源及水质变化特征.

收稿日期: 2016-05-04

修改稿日期: 2017-07-15

基金项目: 陕西省科技统筹创新工程计划(2012KTCL03-06)

第一作者: 王小林(1970—), 男, 高级工程师, 主要从事污水处理工艺设计与研究. E-mail: 1037481095@qq.com

通讯作者: 王旭东(1979—), 男, 博士, 教授, 主要从事水污染控制理论与技术方面的研究. E-mail: xudongw7904@126.com

然而, 由于影响降雨径流中污染物的因素是复杂多变的, 对于西安市区内多种不同下垫面雨水水质研究尚不充分, 商业区与住宅区的径流雨水水质状况也不同. 本文将通过对西安市商业区、住宅区内不同类型下垫面的雨水径流水质监测, 分析其污染物状况, 并针对性的提出雨水可行性利用 LID 技术措施.

1 试验装置与方法

1.1 区域概况及采样地点

西安市属暖温带半湿润大陆性季风气候, 气候温和, 雨量适中, 黑河水库为主要的供水来源. 目前, 水资源短缺已成为一个全国大部分城市所面临的问题, 西安也存在一方面水资源短缺、一方面洪涝灾害严重的双重问题. 近 51 年(1961—2011 年)来西安降雨集中度在增加, 大雨和暴雨的强度也在增加, 主要集中在 7—9 月, 这 3 个月大雨日数占到全年 66%, 暴雨日数约占全年 82%, 2005 年以后大雨和暴雨发生频次增加更明显. 如何能够在缓解西安市城市内涝的同时对雨水收集利用是研究人员讨论的重要问题.

本次试验选取高新区某道路、某小区公寓为采样点, 该段道为高新区主干道, 双向四车道、人车分流, 其汇流路面为双车道混凝土路面. 路面、屋面等不透水下垫面及绿地为城市的主要下垫面形式^[8], 按照不同下垫面形式以及不同污染物来源选取采样点. 各采样点见表 1, 平面位置图见图 1.

表 1 采样点位置与类型

Tab. 1 Situation of sampling point

编号	采样位置	采样类型
1	公交车站	市政路面
2	某地面停车场	地面停车场
3	某地面停车场嵌草砖路面	半透水性嵌草砖路面
4	某住宅小区	小区路面
5	某住宅小区	小区停车场
6	某住宅小区内某栋楼雨水立管下	屋顶降雨
7	某商业广场	直接降雨

1.2 样品采集

不同类型的采样点在降雨过程中所产生的径流水质是不同的, 我们通过对 7 个采样点进行分时段监测, 来分析其规律. 直接降雨收集装置如图 2 所示, 可选用较大的取样面积从而快速收集大量



图 1 采样点位置图

Fig. 1 Position of sampling point

水样. 在降雨产流初期, 既大约 20 min 内产生的径流污染物浓度最高, 污染物浓度随降雨历时延长逐渐降低, 由于初期雨水污染物含量过高, 不适合收集回用, 故将其舍弃, 本文以形成径流后 30 min 为时间点采集水样. 屋顶雨水、路面雨水、停车场及嵌草砖路面雨水用 500 mL 宽口聚乙烯瓶采集. 由于初期雨水污染物含量过大, 不适合收集回用, 故舍弃初期雨水, 选用降雨形成地面径流后 30 min 为采样时间点. 本次监测对象为三场降雨, 第一场降雨为 2014 年 9 月 27 日, 地面径流 30 min 后开始采样, 于次日凌晨两点结束; 第二场降雨为 2014 年 10 月 20 日, 降雨发生于 11 点, 地面径流 30 min 后开始采样, 于当天 15 点结束; 第三场降雨为 2014 年 11 月 22 日, 降雨发生于 7 点, 9 点形成地面径流, 地面径流 30 min 后开始采样, 于当日 16 点结束.

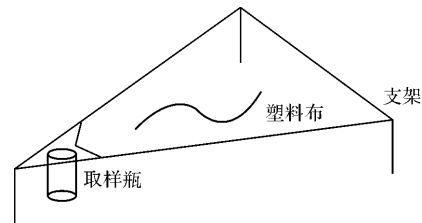


图 2 取样装置示意图

Fig. 2 Instrument for water sampling

1.3 监测指标

径流水质分析项目为氨氮、COD、BOD₅、TN、TP、SS、石油类、pH. 分析方法参照《水和废水监测分析方法》^[9].

2 西安市雨水水质特征分析

三次集中采取的降雨径流水质测定结果及排放标准如表 2 所示.

表 2 降雨径流水质测定结果及排放标准
Tab. 2 Content of rainwater runoff of each sampling point and discharge standard

采样点	编号	pH	氨氮 /mg · L ⁻¹	总氮 /mg · L ⁻¹	总磷 /mg · L ⁻¹	COD /mg · L ⁻¹	BOD /mg · L ⁻¹	SS /mg · L ⁻¹	石油类 /mg · L ⁻¹
市政路面	1	7.6	1.1	4.4	1.2	360.9	8.0	355	未测出
	2	8.4	7.9	45.4	0.4	625.3	4.7	1020	337.2
	3	7.6	4.4	6.4	1.9	474.6	7.0	2030	41.6
地面停车场	1	7.6	0.9	5.9	0.2	48.2	8.0	55	未测出
	2	8.2	5.7	9.3	0.2	96.5	7.4	187	281.2
	3	7.1	2.4	4.0	1.1	3.5	8.9	175	424.7
小区路面	1	7.5	1.0	7.8	0.2	67.5	8.3	74	未测出
	2	8.0	6.3	9.2	0.6	316.5	5.5	1743	197.2
	3	6.9	1.7	3.4	0.6	61.1	3.6	108	14.6
小区停车场	1	7.6	1.1	6.7	0.9	59.8	8.3	81	未测出
	2	7.8	12.3	15.8	0.6	111.9	6.4	582	197.2
	3	7.1	2.4	3.8	0.8	61.1	5.6	313	85.6
屋顶	1	7.5	0.9	5.5	0.1	94.5	8.3	49	未测出
	2	7.8	3.5	7.0	0.6	7.7	2.7	39	1
	3	6.3	2.3	3.5	0.1	3.6	1.8	73	20.4
嵌草砖	1	6.3	2.2	4.2	0.1	22.8	0.7	6.7	5.2
	2	7.8	6.2	7.6	1.3	57.9	7.3	142	229.2
	3	6.7	2.7	4.1	0.3	79.1	2.5	80	254.8
直接降雨	1	7.9	1.6	10.8	0.04	1.9	8.2	44.2	未测出
	2	5.5	6.9	7.4	0.2	15	3.5	63.3	8.2
	3	5.5	1.8	3.5	0.04	14.4	3	82.1	35.8
《地表水环境质量标准》 (GB3838-2002)			≤2.0	≤2.0	≤0.4	≤40	≤10		≤1.0
V 类水质									
《污水综合排放标准》 (GB8978-1996)			≤15		≤0.5	≤100	≤30	≤70	≤10
一级排放标准									

注：编号 1、2、3 分别为 9 月 27 日、10 月 20 日、11 月 22 日检测结果

2.1 道路径流水质分析

由表 2 监测结果发现，与其他下垫面相比，路面径流雨水中所含污染物的量最大，污染状况最为严重，初期径流污染程度甚至超过生活污水。取三次检测结果的平均值，将其与地表水 V 类水比较，发现 COD、氨氮、TN、TP 及石油类均有超标，其中 COD 超标约 11 倍，TN 超标约 8 倍，石油类超标约 100 余倍。影响污染物含量的因素为交通量，雨强、风速、风向、等不确定因素也会对其造成不同程度影响。

路面径流污染物中 SS 含量最高，根据表 3 国内外城市的监测结果，西安市路面径流 SS 含量远超过国内外其他城市^[10]，为北京的 4.5 倍、武汉的 2.3 倍^[8]、巴黎的 2.2 倍，小区路面径流 SS 含量也超过巴黎。10 月 20 日道路径流中 COD、石油类及 SS 含量均明显高于 9 月 27 日，这是由于在 9 月 27 日采样之前存在半个月连续降雨，径流中污染物多被冲刷掉，而 9 月 27 日至 10 月 20 日期间无降雨，所以降雨前晴天积累日数也是影响径流中污染物含量的重要因素之一。

表 3 国内外城市地表径流水质监测结果对比
Tab. 3 Comparison of runoff quality from different cities in China and Paris

项目	北京		武汉		巴黎			西安		
	建筑 屋顶	道路 路面	建筑 屋顶	道路 路面	建筑 屋顶	道路 路面	小区道 路路面	建筑 屋顶	道路 路面	小区道 路路面
SS	77.8	243.4	40~60	351~649	303	497	491	54	1 134	640

2.2 停车场降雨径流水质分析

取停车场降雨径流各项污染物含量平均值与地表水 V 类水相比较, TN、TP、氨氮、COD 均超标一到两倍, SS 含量最高为 187 mg/L, 污染成武小与道路路面. 石油类含量最高为 424.7 mg/L, 与污水一级排放标准相比为其 42 倍, 故石油类是停车场地面降雨径流中的主要污染物. 污染物来源为汽车尾气、燃油泄漏、轮胎磨损等, 污染物积累受汽车流动量影响. 小区停车场石油类含量最高为 197.2 mg/L, 为《污水综合排放标准》(GB8978-1996)一级排放标准的 18 倍, 其 SS 含量最高为 581 mg/L, 高于室外停车场, 这是因为小区停车场相对车流量小且流动慢, 故累积了较多 SS, 石油类相对较少.

2.3 屋面、嵌草砖降雨径流水质分析

屋面 SS 含量与国内外其他城市差异不大, 氨氮、TN 相比地表水 V 类水质标准稍有超出, 相比路面和停车场污染物浓度总体较低, 建筑屋面的主要污染物来源为植物落叶和大气沉降, 受人类影响因素小, 故径流水质较好^[11], 而且建筑屋面雨水具有收集利用简单优势. 本次试验选取的绿地监测点为停车楼下嵌草砖路面, 从表 2 可看出, 其氨氮、TN、TP 及 COD 均稍有超出地表水 V 类水质标准, 其 SS、石油类含量均值为停车场径流含量的一半, 这说明嵌草砖中的植物对径流中污染物有一定的吸附去除作用, 相比硬化地面的停车场可将污染物减少将近一半.

3 西安市雨水利用技术设计示例

LID 低影响开发是近几年引进国内的主要理念, 它基于模拟自然水文环境的原理, 降低地

面硬化率, 增加透水面积, 从源头控制与利用雨水资源^[12,13]. 低影响设计的基础是生物滞留设施, 是一种以地面为基础的实践方法, 利用植物、细菌和土壤的化学性质、生物特性和物理特点来控制径流雨水的总量和质量.

通过前面对西安市雨水水质特性的分析, 可看出西安市径流水质较差、各项污染物含量均大幅超标, 若将其不经处理直接排放, 会对地下水环境造成冲击, 污染地下水. 为了将其有效处理、利用, 选取适合西安市土壤状况、气候特征及城区规划现状的生物滞留措施: 生态滤沟、生态树池、雨水花园、生态停车场.

以下将以高新区某道路为例, 借鉴 LID 设计理念, 对道路两旁绿化带进行生态滤沟低影响设计.

3.1 概述

设计选取高新区某路段, 该路段为双向六车道, 总路面宽 35 m, 由 21 m 宽机动车道、3 m 非机动车道, 4 m 绿化带组成. 西安排水设施设计标准低、降雨特征变化、城市硬化扩张等多方面原因导致城市内涝不断出现, 故需对其进行改造以滞蓄、利用雨水.

3.2 设计思路

生态滤沟主要针对道路雨水的收集, 对于既有道路可对其两侧绿化带进行改造, 本设计中绿化带宽 4 m, 可将其改造为 2 m 生态滤沟加 2 m 人行道, 如图 3. 主要用于滞蓄减排机动车道、非机动车道和人行道雨水径流.

3.3 设计内容及参数

生态滤沟的各组成部分具有不同的雨水控制作用, 以及相应的技术要求, 具体内容见表 4:

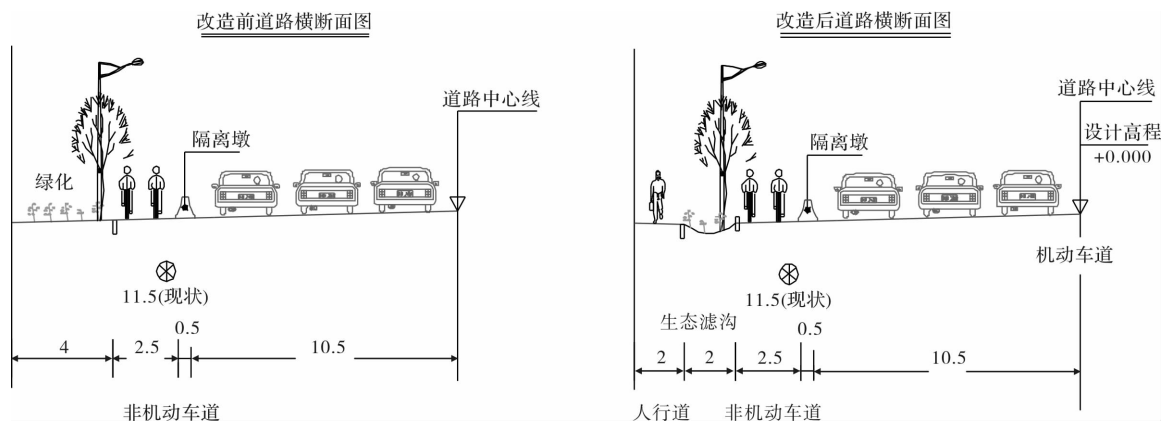


图 3 改造前后道路断面示意图(单位: m)

Fig. 3 The fracture surface of redesign(uint: m)

表 4 生态滤沟各组成部分作用及技术要求

Tab. 4 The function and technical requirement of the separate parts of bio-filtration

组成	用途	技术要求
蓄水层	①雨水滞蓄 ②过滤净化雨水	蓄水层的高度由开发场区域降雨特性决定, 一般为 100~250 mm
种植土层	过滤、净化雨水	①选用渗透系数大的砂质土壤, 主要组成: 含沙量 60%~80%、含有机成分 5%~10%、含黏土小于 5%。 ②种植土的厚度取决于种植植物, 花卉与草本植物: 30~50 cm 厚; 灌木: 50~80 cm 厚; 乔木: 大于 1 m。 ③植物应选择耐水涝多年生草本植物
人工填料层	渗水	①多选取渗透性较强的天然、人工材料。 ②厚度由当地降雨特性、生态滤沟服务面积决定, 一般为 0.5~1.2 m。 ③若采用砂质土壤, 其主要成分与种植土层保持一致。 ④若采用炉渣或砾石时, 其渗透系数大于等于 10^{-5} m/s
砾石层	排除多余雨水, 由穿孔收集管收集	①由直径小于 50 mm 的砾石组成, 厚度通常为 200~300 mm。 ②埋设直径 100 mm 穿孔管

设计生态滤沟服务长度 100 m, 其面积计算见表 4, 所需生态滤沟总面积为 309.6 m², 本设计面积选取 352 m². 生态滤沟尺寸为 22 m×2 m×1.45 m, 每侧 4 组共 8 组, 组间隔 4 m, 可用于连接人行道与非机动车道. 自上而下依次为蓄水层、种植土层、填料层(选取高炉渣)、砾石层; 在种植土层、填料层、砾石层分隔处均铺设透水土工布, 在绿化带靠近行车道一侧及砾石层底部铺设两布一膜(防渗膜).

生态滤沟两侧路缘石为断开状, 可使道路径流雨水流入沟内, 蓄水层会起到简单滞蓄功能, 种植土层中的植物、土壤可对径流中污染物进行过滤、净化吸附, 填料层同样可起到过滤净化作用, 最终通过砾石层下渗, 被底部穿孔管收集排入市政管网, 补充地下水或集水池回用.

根据该区域降水特性, 本设计中蓄水层厚度选取 15 cm; 种植土层厚度选取 60 cm, 种植植物应根据不同地域选取当地生长周期长、生长速度快、耐水淹能力强的植物, 常选择的植物有黄杨、麦冬草、黑麦草、小叶女贞等. 本设计选用黄杨、麦冬草, 麦冬草含有块状根茎, 对于吸收营养盐、微生物的附着十分有利, 是人工湿地中常用的植物^[14]; 人工填料层需选取渗透率高的天然或人工材料, 当选用炉渣或砾石时, 其渗透系数一般不小于 10^{-5} m/s, 本设计中渗透系数为 80 mm/h, 即 2×10^{-5} m/s, 大于 10^{-5} m/s, 因此填料采用炉渣, 其深度选取为 500 mm; 砾石层由直径不超过 50 mm 的砾石组成, 本设计中深度选择为 200 mm. 本

设计生态滤沟为防渗型(采用土工布作为防渗材料), 因此在砾石层中铺设穿孔排水管, 以将雨水通过穿孔排水管排入市政管网. 成熟且运行稳定的生物滞留系统对 SS 的去除十分有效, 可达 80% 以上, 对 TN 具有一定去除效果, 去除率在 22%~46% 之间, 对重金属的去除率在 80% 以上, 同时生态滤沟对后期的维护具有一定要求, 以保证其良好的运行效果.

表 5 生态滤沟总设计面积计算表

Tab. 5 Computation sheet of bio-filtration design area

地面类型	面积 S/m ²	径流系数 φ	汇水面面积 S _汇 /m ²	径流量 Q/m ³	生态滤沟面积 S _滤 /m ²
人行道	400	0.9	360	39.5	
市政路	2 700	0.9	2 430	267.2	306.8
绿地	0	0.2	0	0	

注: $S_{\text{汇}}=S\cdot\varphi$; $Q=S_{\text{汇}}\cdot h$; $S_{\text{滤}}=Q/h_0$

生态滤沟剖面图如图 4, 单组平面图如图 5 所示.

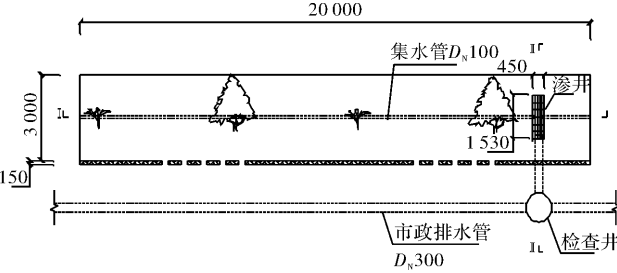


图 4 生态滤沟剖面示意图(单位: mm)

Fig. 4 The fracture surface of bio-filtration(unit: mm)

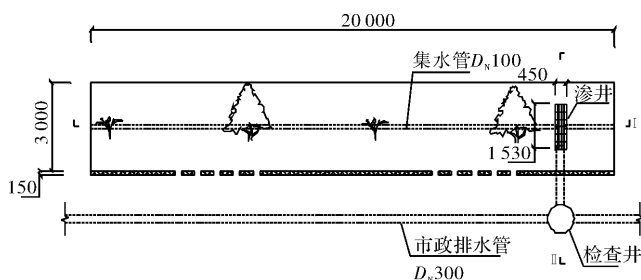


图5 单组生态滤沟平面图(单位: mm)

Fig. 5 The planar graph of single bio-filtration(unit: mm)

4 结论

(1)通过不同下垫面径流雨水水质分析,道路径流污染程度最高,主要污染物为氨氮、TN、TP、COD、SS及石油类,均超出《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) V类水质标准,尤其是COD、TN,超标倍数为8~11倍,石油类更是为标准的100余倍,SS含量也是国内外其他城市的2~5倍.影响污染物含量的因素为交通量、降雨前晴天累计数,雨强、风速、风向、等不确定因素也会对其造成不同程度影响.

(2)下设嵌草砖的停车场其径流雨水中SS、石油类含量均比传统停车场减少将近一半,嵌草砖中植物可吸附去除径流中的污染物.

(3)屋面雨水径流水质较好,且收集利用简便,故具有收集利用的极大潜势.

(4)生态滤沟作为一种分散的低影响开发措施,可以有效的控制径流污染、削减径流流量、缓解城市内涝,对于道路径流雨水的处理收集十分有效.不同地区在低影响设计时应针对当地实际气候条件、土壤状况、降雨状况,选择适宜的措施、植物配比及构造层深度,从而达到较好的雨水处理、收集效果.

参考文献 References

- [1] 李俊奇. 城市雨水的资源化与可持续发展[J]. 环境经济, 2004(10): 26-28.
LI Junqi. Utilization and sustainable development of Urban rainwater[J]. Environmental Economy, 2004(10): 26-28.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 海绵城市建设技术指南: 低影响开发雨水系统构建(试行)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
Ministry of Housing and Urban-Rural Construction of the People's Republic of China. Sponge city construction technology guide: low impact development of rainwater system construction(trial version)[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2014.
- [3] 张书函. 基于城市雨洪资源综合利用的“海绵城市建设”[J]. 建设科技, 2015(5): 26-28.
ZHANG Shuhan. “The construction of sponge city” based on Comprehensive utilization of urban rain and

- flood resources[J]. Construction Technology, 2015(5): 26-28.
- [4] 王彦红, 韩芸, 彭党聪. 城市雨水径流水质特性及分析[J]. 环境工程, 2006, 24(3): 84-85.
WANG Yanhong, HAN Yun, PENG Dangcong. Water quality characteristics and analysis of urban rainwater runoff[J]. Environment Engineering, 2006, 24(3): 84-85.
- [5] ZHANG Licheng, LAN Yu, CHENG Yanan. Testing and analysis of rainwater quality in Shenyang[J]. Journal of Southeast University (English Edition), 2014, 30(2): 246-250.
- [6] 侯立柱, 丁跃元, 冯绍元, 等. 北京城区不同下垫面的雨水径流水质比较[J]. 中国给水排水, 2006, 22(23): 36-28.
HOU Lizhu, DING Yueyuan, FENG Shaoyuan, et al. Water quality comparison of different underlying surface in Beijing[J]. China Water & Wastewater, 2006, 22(23): 36-28.
- [7] 袁宏林, 陈海清, 林原. 西安市降雨水质变化规律分析[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2011, 43(3): 391-395.
YUAN Honglin, CHEN Haiqing, LIN Yuan. Analysis of rainwater quality variation in Xi'an[J]. Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural Science Edition), 2011, 43(3): 391-395.
- [8] 任玉芬, 王效科, 韩冰, 等. 城市不同下垫面的降雨径流污染[J]. 生态学报, 2005, 25(12): 3225-3230.
REN Yufen, WANG Xiaoke, HAN Bing, et al. Rainfall runoff pollution of different underlying in urban[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(12): 3225-3230.
- [9] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
State Environmental Protection Administration of China (SEPA)《Determination methods for examination of water and wastewater》Editorial Committee. Determination methods for examination of water and waste water[M]. 4th ed. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.
- [10] 车伍, 李俊奇. 城市雨水利用技术与管理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
CHE Wu, LI Junqi. Technology and management of urban rainwater utilization[M]. Beijing: China Building Industry Press, 2006.
- [11] ZHANG M L, CHEN H, WANG J Z. Rainwater utilization and storm pollution control based on urban runoff characterization[J]. Journal of Environmental Sciences, 2010, 22(1): 40-46.
- [12] 王波, 崔玲. 从“资源视角”论城市雨水利用[J]. 城市问题, 2003(3): 50-53.
WANG Bo, CUI Ling. The discussion On urban rainwater utilization from the perspective of resources[J]. Urban issues, 2003(3): 50-53.
- [13] DEBO T N, REESE A. Municipal storm water management[M]. Boca Raton: CRC Press, 2002.
- [14] 李家科, 杜光斐, 李怀恩, 等. 生态滤沟对城市路面径流的净化效果[J]. 水土保持学报, 2012, 26(4): 1-11.
LI Jiake, DU Guangfei, LI Huaien, et al. Purification effect of bio-filtration on urban road runoff[J]. Journal of soil and water conservation, 2012, 26(4): 1-11.

(编辑 桂智刚)