

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第38卷 第6期

Vol.38 No.6

2017

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

PM_{2.5}浓度空间分异模拟模型对比:以京津冀地区为例 吴健生,王茜,李嘉诚,涂媛杰(2191)

北京地区近35年大气污染扩散条件变化 郭淳薇,孙兆彬,李梓铭,张小玲,杨慧玲(2202)

北京市典型区域夏季降水及其对大气污染物的影响 韩力慧,张海亮,向欣,张鹏,程水源,魏巍(2211)

北京山谷风环流特征分析及其对PM_{2.5}浓度的影响 董群,赵普生,王迎春,苗世光,高健(2218)

北京市建筑施工扬尘排放特征 薛亦峰,周震,黄玉虎,王堃,聂滕,聂磊,秦建平(2231)

生物质成型燃料锅炉挥发性有机物排放特征 吴昌达,张春林,白莉,沈丽冉,王伯光,刘军,杨立辉(2238)

广州番禺大气成分站复合污染过程VOCs对O₃与SOA的生成潜势 邹宇,邓雪娇,李菲,殷长秦(2246)

南京北郊大气臭氧周末效应特征分析 王俊秀,安俊琳,邵平,邹嘉南,林旭,张玉欣(2256)

亚热带稻区大气氨/铵态氮污染特征及干湿沉降 王杰飞,朱潇,沈健林,曾冠军,王娟,吴金水,李勇(2264)

宣威肺癌高发区燃煤排放颗粒物中铁的价态及其氧化性 王强翔,谭正莹,赵慧,李继华,田林玮,王青耀,米持真一,吕森林(2273)

垃圾焚烧厂二噁英污染及厂区工人呼吸暴露评估 杜国勇,汪倩,张姝琳,张素坤,邓春萍,张洪铭,朱盟翔,蒋昕,朱成旺,任燕玲(2280)

重庆市新型干法水泥厂汞排放特征 张成,张雅惠,王永敏,王定勇,罗程钟,徐凤,何秀清(2287)

轻型汽油车简易瞬态工况法与定容全流稀释采样法(CVS)的排放相关性 王鸿宇,黄成,胡馨遥,李莉,陈勇航,徐健(2294)

不同排放标准公交车燃用生物柴油颗粒物排放特性 楼狄明,赵成志,徐宁,谭丕强,胡志远(2301)

西江水氧同位素组成的空间变化及环境意义 许琦,李建鸿,孙平安,何师意,于爽(2308)

基于SWAT与DNDC模型对比研究亚热带流域氮淋溶与输出过程 韩宁,陈维梁,高扬,郝卓,于贵瑞(2317)

三峡库区澎溪河与磨刀溪电导率等水质特征与水华的关系比较 姜伟,周川,纪道斌,刘德富,任豫霜,Douglas Haffner,谢德体,张磊(2326)

滇池草海间隙水与上覆水氮磷时空变化特征 王一茹,王圣瑞,焦立新,张云,高秋生,杨枫(2336)

香溪河沉积物、间隙水的磷分布特征及释放通量估算 罗玉红,聂小倩,李晓玲,戴泽龙,胥焘,黄应平(2345)

大冶湖表层水和沉积物中重金属污染特征与风险评价 张家泉,田倩,许大毛,占长林,刘婷,姚瑞珍,刘先利,肖文胜(2355)

海水淡化低温多效蒸馏工艺(LT-MED)沿程溴代消毒副产物的生成 齐菲,孙迎雪,杨哲,胡春芳,常学明,胡洪营(2364)

两种水体铜配合容量测试方法的适用性比较及应用 王晨焱,姜括,谢文龙,汪磊(2373)

高地下水地区透水铺装控制径流污染的现场实验 金建荣,李田,时珍宝(2379)

稳定型纳米零价铁去除地下水中2,4-二氯苯酚 张永祥,常杉,李飞,徐毅,高维春(2385)

超声、紫外增强H₂O₂/KI降解磺胺甲基嘧啶 魏红,孙博成,杨小雨,李克斌(2393)

不同铅负载量改性膨润土对水中磷酸盐吸附作用的对比 姜博汇,林建伟,詹艳慧,邢云青,黄宏,储鸣,王星星(2400)

铁炭内电解垂直流人工湿地对污水厂尾水深度脱氮效果 郑晓英,朱星,周翔,徐亚东,王菊,韦诚,高雅洁,周徽(2412)

组合生物滤池对养殖废水的净化效率及影响因素分析 张世羊,张胜花,张翔凌,王广军(2419)

温度对聚磷菌活性及基质竞争的影响 张玲,彭党聪,常蝶(2429)

海洋厌氧氨氧化菌的富集培养及其脱氮特性 冯莉,于德爽,李津,单晓静,杨振琳(2435)

不同生物过滤系统铵态氮转化速率及生物膜特性分析 周洪玉,韩梅琳,仇天雷,高敏,孙兴滨,王旭明(2444)

磷酸盐对厌氧氨氧化活性污泥脱氮效能的影响 周正,刘凯,王凡,林兴,李祥,黄勇,顾澄伟(2453)

碳源胁迫下脱氮除磷颗粒污泥性能变化及其机制 秦诗友,陈威,马兆瑞,刘小英,陈晓国,余文韬,夏媛媛,黄健(2461)

外源Ca²⁺对SBR启动期活性污泥胞外多聚物的动态影响 任丽飞,杨新萍,张雯雯(2470)

膨胀污泥中丝状菌的分离鉴定与特性分析 张崇森,牛全睿,徐雨梅,王院梅,王岱,武少华(2477)

反硝化悬浮填料适用性及其微生物群落结构解析 谭阳,李激,徐巧,付磊,尤世界,王硕(2486)

硫代硫酸钠对排硫硫杆菌固碳能力的影响及其作用机制 李欢,王磊,王亚楠(2496)

关帝山森林土壤真菌群落结构与遗传多样性特征 乔沙沙,周永娜,柴宝峰,贾彤,李磊(2502)

基于受体模型与地统计的城市居民区土壤重金属污染源解析 陈秀端,卢新卫(2513)

基于蒙特卡罗模拟的土壤环境健康风险评价:以PAHs为例 佟瑞鹏,杨校毅(2522)

Eh、pH和铁对水稻土砷释放的影响机制 钟松雄,尹光彩,陈志良,林亲铁,黄润林,刘德玲,彭焕龙,黄玲,王欣,蒋晓璐(2530)

典型土壤不同提取态Cd与水稻吸收累积的关系 陈齐,邓潇,陈珊,侯红波,彭佩钦,廖柏寒(2538)

复合改良剂对Cd污染稻田早晚稻产地修复效果 陈立伟,杨文骏,辜娇峰,周航,高子翔,廖柏寒(2546)

两种钝化剂对土壤Pb、Cd、As复合污染的菜地修复效果 田桃,雷鸣,周航,杨文骏,廖柏寒,胡立琼,曾敏(2553)

大豆和小麦根系对非的吸持作用及其生物有效性 王红菊,李倩倩,沈羽,顾若尘,盛好,占新华(2561)

源自腐殖土的溶解性有机质组分对棕壤和黑土吸附苯并三唑的影响 杨宁伟,毕二平(2568)

地形、树种和土壤属性对喀斯特山区土壤胞外酶活性的影响 罗攀,陈浩,肖孔操,杨利琼,文丽,李德军(2577)

长期定位有机物料还田对关中平原冬小麦-玉米轮作土壤N₂O排放的影响 郝耀旭,刘继璇,袁梦轩,周应田,杨学云,顾江新(2586)

基于大气被动式采样的人体头发中类二噁英多氯联苯暴露的途径 袁浩东,白瑶,李秋旭,王英,金军(2594)

广西刁江野生鱼类重金属积累特征及其健康风险评价 王俊能,马鹏程,张丽娟,陈棉彪,黄楚珊,柳晓琳,胡国成,许振成(2600)

活性炭在中高温条件下对玉米秸秆厌氧发酵的影响 甘荣,葛明民,刘勇迪,贾红华,闫志英,雍晓雨,吴夏莞,周俊(2607)

工艺过程源和溶剂使用源挥发性有机物排放成分谱研究进展 王红丽,杨肇勋,景盛翱(2617)

《环境科学》征稿简则(2452) 《环境科学》征订启事(2560) 信息(2201, 2230, 2384)

高地下水位地区透水铺装控制径流污染的现场实验

金建荣¹, 李田^{1*}, 时珍宝²

(1. 同济大学污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092; 2. 上海市水务规划设计研究院, 上海 200232)

摘要: 为确定高地下水位地区使用透水铺装对地下水水质的影响, 在上海市区建造了3种实验性透水铺装停车场及1个不透水铺装对照, 监测实际降雨条件下3种实验设施进、出水水质, 考察其对径流中污染物的去除效果并评价设施对地下水造成污染的可能性。结果表明, 3种设施对TP、TSS、COD、Cr、Mn、Cu、Zn、Pb及石油类均有良好的去除效果, 而对TN的去除效果较差; 3种设施中均发生了明显的 NO_3^- -N释放现象; 以水泥稳定碎石为基层的缝隙透水砖铺面以及碎石基层的缝隙透水砖铺面对 NH_4^+ -N去除效果明显好于透水混凝土铺面; 不同透水铺装设施出水水质除 NH_4^+ -N之外无显著差异; 现场地下水水质总体上劣于上海市地下水背景值, 而3种透水铺装出水总体上劣于现场地下水, 且多项指标属于或接近地下水V类标准。在高地下水位地区使用无防渗衬垫透水铺装存在污染地下水的风险。

关键词: 透水铺装; 下渗水质; 地下水位; 地下水污染; 海绵城市建设

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2017)06-2379-06 DOI: 10.13227/j.hjkk.201612056

Performance of Applying Scale Permeable Pavements for Control of Runoff Pollution in an Area with High Groundwater Level

JIN Jian-rong¹, LI Tian^{1*}, SHI Zhen-bao²

(1. State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Shanghai Water Resources Planning and Design Research Institute, Shanghai 200232, China)

Abstract: The purpose of this article was to study the effect of permeable pavements on runoff pollution control and its possible influence on groundwater quality in the area with high groundwater level. Three experimental permeable parking lots and one impermeable parking lot were built in urban Shanghai in order to monitor their quality of influent and effluent water under actual precipitation conditions, in order to investigate the performance of pollutant control effects and to evaluate the possibility of the pollution of groundwater. The results showed that all the three facilities could effectively remove TP, TSS, COD, Cr, Mn, Cu, Zn, Pb and O&G, but imposed poor removal efficiency on TN. Obvious release of NO_3^- -N occurred in all three pavements. The permeable interlocking concrete pavement using cement stabilized crushed stones as base course and the one using crushed stones as base course had a better removal efficiency on NH_4^+ -N than the previous concrete one. The quality of effluent water from different permeable pavements had no significant difference except NH_4^+ -N. The in-situ groundwater quality was generally worse than background values of groundwater in Shanghai. Effluent water quality of three permeable pavements was generally worse than that of the in-situ groundwater, and a number of indicators belonged to or were close to groundwater class V standard. In the area with high groundwater level, there was risk of groundwater pollution caused by permeable pavements without liners.

Key words: permeable pavement; infiltrate quality; groundwater level; groundwater pollution; development of sponge city

城市化进程的深入使得城区不透水铺面的比例持续提高, 加剧了城市内涝与面源污染^[1, 2]。我国大城市的人口密度高, 土地紧缺, 实施低影响开发受到可利用土地资源的限制。透水铺装不额外占用土地, 能有效滞蓄消纳部分径流, 具有良好的源头控制作用, 在发达国家已被广泛应用于广场、停车场以及轻载路面^[3-5]。透水铺装对改善开发场地的水文及水质状况有显著的作用^[6-8], 是我国大中城市海绵城市建设的重要措施之一。

在高地下水位地区, 透水铺装可能造成地下水污染^[9]。国内相关技术规程指出, 在土基与地下水最高动水位距离小于1.0 m 的场合必须使用防渗层以阻止径流下渗, 并在铺装结构中安置排水管^[10]。

这样, 透水铺装的水文控制效果显著降低, 实用性受到影响。地下水交替程度较弱, 自净能力低, 抵御污染的能力脆弱^[11]。我国东南沿海地区, 已有的渗透铺装底部距离地下水的间距大多不足1 m, 且大多数场合没有设置隔水层。尽管据现有的研究报道, 透水铺装能有效去除大部分常规污染物, 对某些重金属也有良好的去除效果^[12-14], 高地下水位地区透水铺装的下渗水很可能造成了地下水污染。

为考察不同面层及结构层组成的透水铺装设施

收稿日期: 2016-12-07; 修订日期: 2017-01-03

基金项目: 上海市科委科技专项(14DZ1208200)

作者简介: 金建荣(1992~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为城市面源污染控制, E-mail: woodbleach@hotmail.com

* 通信作者, E-mail: tianli@tongji.edu.cn

下渗水水质及其对地下水可能的影响,本文建造了3种不同构造的应用规模透水铺装,在实际降雨条件下现场考察透水铺装下渗水水质,并与现场地下水水质进行对比,以期海绵城市建设规划与工程设计提供支撑。

1 材料与方法

1.1 实验设施

在同济大学校园内一处停车场建造了3个实验性透水铺装单元和1个不透水铺面对照(称设施0),其中透水混凝土面层铺装由上海格林路得公司建造,4个单元的面积均为6 m×6 m且无额外汇水面积。在距离设施约10 m处设1处地下水观测井,用于地下水位的观测以及现场地下水样本的采集。设施表面标高3.28 m,现场实测地下水高程变化范围2.23~2.84 m。4个单元的具体结构组成与编号如表1,其中混凝土缝隙透水砖的缝隙宽度为3~4 mm,设施I与设施II在找平层下垫有无纺土工布,3个透水铺装设施底部均设有HDPE防渗膜,并于底部设置穿孔排水管。

表1 实验设施结构组成

编号	构造	深度/mm	结构材料
设施0	面层	150	普通水泥混凝土
	结构层	300	粒径20~40 mm 碎石
设施I	面层	150	透水混凝土
	结构层	300	粒径20~40 mm 碎石
设施II	面层	60	混凝土缝隙透水砖
	找平层	20	粒径0.5~1.0 mm 粗砂
	基层	150	5%水泥+粒径15 mm 以下碎石的水泥稳定碎石
	垫层	200	粒径20~40 mm 碎石
设施III	面层	60	混凝土缝隙透水砖
	找平层	20	粒径0.5~1.0 mm 粗砂
	基层	150	粒径15 mm 以下碎石
	垫层	200	粒径20~40 mm 碎石

各设施面层均做出1%~2%的坡度,并于低端设置排水沟以收集表面产流,通过排水管接入临近的观测井,观测井面积为2.5 m×1.2 m。各设施底部出流与表面径流分别连接到置于观测井中的60°三角堰,各三角堰配置超声波液位计与数据记录仪,可以连续准确检测流量过程。在距离实验地点约100 m处屋顶安装SL3-A翻斗式雨量计监测场地的降雨情况。

1.2 样品采集与检测

4个停车单元相邻并列,设施0的干、湿沉降负

荷与其他3个相同,其径流水质与流量过程可以作为其他设施进水的代表。分别采集其他3个设施的底部出流代表无防渗膜设施的下渗水。径流发生初期间隔5~10 min采集一次样品,后期间隔30~60 min采集一次样品,具体根据降雨强度与历时情况确定。观测井内地下水样品使用蠕动泵抽取。样品使用1 L聚乙烯采样瓶收集,采集后24 h内检测,未能及时检测的置于4℃冰箱内贮存不超过48 h。本文中除重金属、高锰酸盐指数及电导率以外的所有的指标均检测过程样,结合流量监测结果计算单次降雨的事件平均浓度(EMC),混合样则由过程样按过程流量配置而成。

水质检测指标包括TSS、COD、TP、TN、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N、重金属离子、高锰酸盐指数、石油类、pH、电导率。主要水质指标采用国家标准检测方法: TSS为重量法, COD比色法(HACHDRP2010), TP为过硫酸钾消解-钼锑钨分光光度法, TN为过硫酸钾氧化-紫外分光光度法, NH₄⁺-N为纳氏试剂光度法, NO₃⁻-N为酚二磺酸分光光度法, 石油类使用红外分光光度法(MAI-50G)。重金属采用电感耦合等离子质谱法(Agilent 7700), 测定元素包括Cr、Mn、Cu、Zn、Pb。pH使用METTLER TOLEDO FE20 pH计测量, 电导率使用METTLER TOLEDO FE30电导率计测量。

1.3 数据分析方法

本文采用IBM SPSS 20进行正态性分析,结果显示所有数据均符合正态分布规律。由于多数指标测定值的方差不齐,故用Games-Howell法进行单因素方差分析,主要对3种透水铺装设施相互之间下渗水水质差异的显著性进行分析,并分析了3种透水铺装设施下渗水与设施0径流的主要监测指标差异的显著性。

2 结果与讨论

2.1 监测降雨事件

在2016年3月至2016年8月期间对16场设施产生出流的降雨事件进行了水质监测,其中降雨量小于10 mm的降雨事件2场,10~24.9 mm的9场,25~49.9 mm的1场,大于50 mm的4场,监测降雨事件的特征见表2。相关降雨事件包括了不同类型的降雨,水质监测结果具有代表性。设施实验初期表面渗透性能较好,基本无表面径流产生;后期渗透速率有所下降,在暴雨期间部分产流,径流系数达到0.1~0.2。

表 2 监测降雨事件的降雨特征

Table 2 Characteristics of monitored rainfall events

特征值	平均值	中值	最大值	最小值
降雨量/mm	28.5	22.7	63.9	8.5
降雨历时/h	14.3	12.5	31.0	1.0
平均降雨强度/mm·h ⁻¹	4.45	2.0	25.1	0.6
前期晴天数/d	3.6	2.0	14.0	0.8

2.2 水质净化效果

2.2.1 N、P 去除情况

监测降雨事件各透水铺装设施下渗液与设施 0 径流的 TN、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N、TP 的质量浓度分布情况见图 1。其中,3 种设施出水的 TN 和设施 I 的 NH₄⁺-N 与设施 0 径流无显著差异 ($P > 0.05$), 这与 Brown 等^[8] 报道的结果相似, 而 TP 呈现显著差异 ($P < 0.05$)。此外, 仅设施 I 与另 2 种设施出水相互之间 NH₄⁺-N 存在显著差异, 3 种设施出水 P 及其他形态的 N 相互之间均无显著差异。表明 3 种不同构造设施对 N、P 的去除效果相近。

设施 II 与设施 III 的 NH₄⁺-N 去除效果明显优于设施 I, 这主要由于粗砂找平层的生物转化作用^[15], 而设施 I 中并不存在这样的结构。3 种设施均发生了明显的 NO₃⁻-N 释放现象, 这是由于被设施截留的 TN 或 NH₄⁺-N 在好氧环境中产生了硝化作

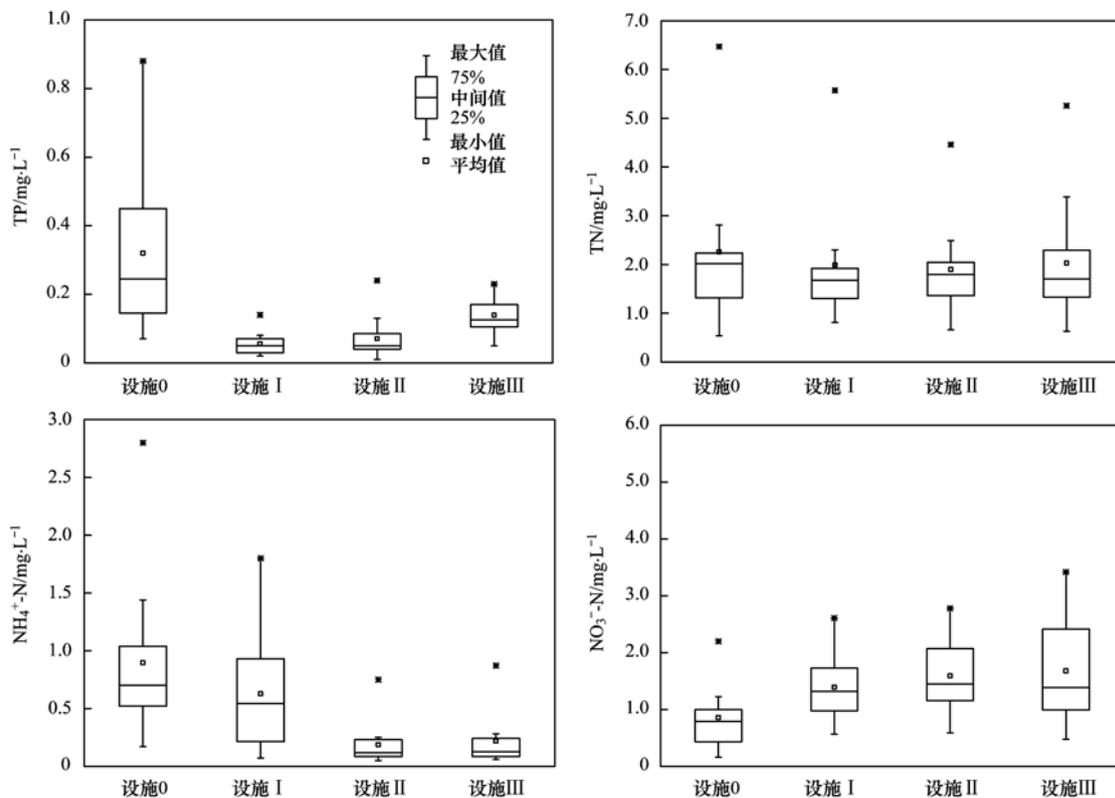
用, 产生的 NO₃⁻-N 被出水带出^[16]。

2.2.2 COD 与 TSS

监测降雨事件各透水铺装设施下渗液与设施 0 径流 TSS、COD 的质量浓度分布情况见图 2。3 种设施对 COD 与 TSS 均有良好的去除效果, 且设施相互之间 TSS 和 COD 去除效果没有显著差异, 无论地面径流水质如何波动, 降雨出流过程中出水 TSS 含量稳定地保持在 30 ~ 50 mg·L⁻¹ 之间。表明不同构造的透水铺装均可对径流中 TSS 起到很好的截留、过滤作用^[17]。COD 的去除主要由于设施结构层的截留作用, 被拦截的 COD 逐渐在结构层填料表面被降解^[15]。

2.2.3 重金属与石油类

各透水铺装设施下渗液与设施 0 径流中 Cr、Mn、Cu、Zn、Pb 和石油类的质量浓度分布情况见图 3。3 种设施对 Mn、Cu、Zn 及石油类去除效果良好, 平均去除率分别达到 84%、62%、59%、65%; 而对 Cr 与 Pb 的去除效果较差, 平均去除率仅为 43%、42%。设施表面径流中重金属含量偏高, 可能与停车场用地原为金工实习工厂有关。设施 II 与设施 III 的重金属去除能力可能主要归结于找平层中粗砂的过滤作用^[18], 而设施 I 更多是由于其对径流较强的碱化作用使得 pH 升高从而导致重金属元素

图 1 各设施进出水 TN、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N、TP 的质量浓度情况Fig. Concentrations of TN, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, TP in influent and effluent of each facility

析出^[6, 12, 19]. 3种设施出水 pH 均值分别为 11.15、9.43、8.91(表3). 设施 II 与设施 III 对出水的碱化作用较弱,然而,其找平层粗砂的过滤作用较设施 I 强,结果表现为3种设施的重金属去除效果之间不存在显著差异. 设施 II 与设施 III 对石油类的去除主

要由于找平层粗砂与土工布的过滤作用,以及后续的生物降解作用^[20~22],设施 I 不具备这样的结构,其下渗水的石油类含量波动范围大,但是,平均值与另外两个设施相近,结果为3个设施去除效果之间不存在显著差异.

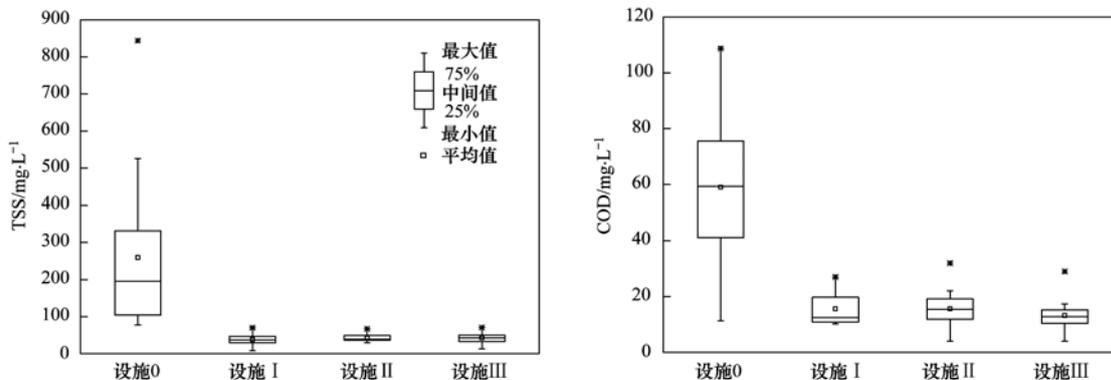


图2 各设施进出水 TSS 及 COD 质量浓度情况

Fig. 2 Concentrations of TSS and COD in influent and effluent of each facility

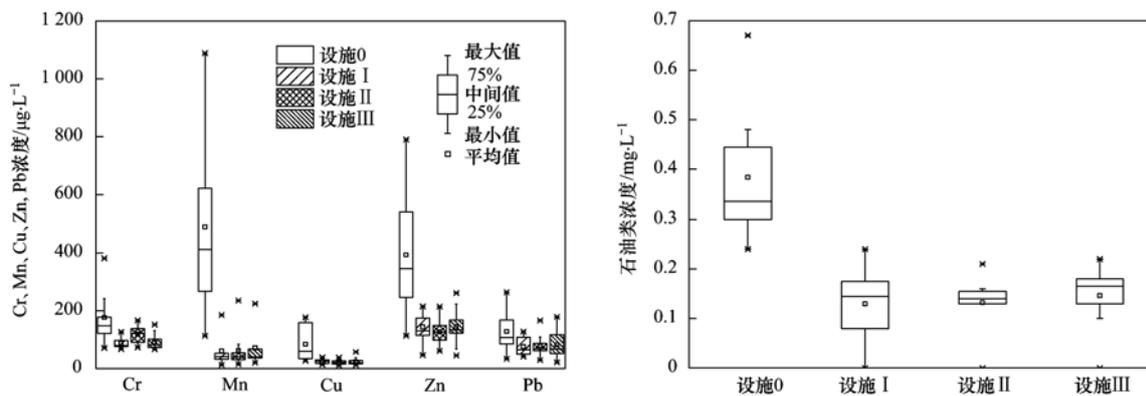


图3 各设施中主要重金属及石油类质量浓度情况

Fig. 3 Concentrations of main heavy metals and O&G in influent and effluent of each facility

2.3 设施出流与地下水水质的对比

共从地下水观测井内采集6次地下水样本,现场地下水与3种设施出流的高锰酸盐指数(OC)、

pH、电导率(Cond.)及其它水质指标检测结果见表3. 从中可知,设施出水 pH、TN、NO₃⁻-N质量浓度均远大于现场地下水;NH₄⁺-N、TP、COD、SS及OC与

表3 3种设施与现场地下水污染物平均质量浓度情况¹⁾

Table 3 Concentrations of pollutants from three facilities and groundwater

项目	设施 I	设施 II	设施 III	现场地下水	地下水 V 类
OC/mg·L ⁻¹	4.82(2.38~8.38)	5.47(2.8~8.74)	4.90(2.1~9.45)	5.02(4.75~5.39)	>10
pH	11.15(10.97~11.35)	9.43(8.86~10.24)	8.91(8.21~9.35)	7.34(7.28~7.46)	<5.5, >9
Cond./μS·cm ⁻¹	541(412~645)	261(170~320)	299(226~338)	748(722~763)	/
TN/mg·L ⁻¹	1.99(0.81~5.57)	1.9(0.32~4.46)	2.03(0.63~5.26)	0.86(0.69~1.02)	/
NH ₄ ⁺ -N/mg·L ⁻¹	0.63(0.07~1.80)	0.19(0.05~0.75)	0.22(0.06~0.87)	0.55(0.16~0.90)	>0.5
TP/mg·L ⁻¹	0.06(0.02~0.14)	0.07(0.03~0.24)	0.13(0.05~0.23)	0.12(0.08~0.16)	/
NO ₃ ⁻ -N/mg·L ⁻¹	1.40(0.57~2.61)	1.6(0.59~2.78)	1.68(0.48~3.42)	0.30(0.26~0.33)	>30
COD/mg·L ⁻¹	15.6(10.2~26.3)	15.6(4.0~22.1)	13.2(4.0~29.0)	23.2(18.0~29.0)	/
TSS/mg·L ⁻¹	38(24~52)	42(12~67)	43(13~70)	35(29~40)	/
Cr/μg·L ⁻¹	87(68~127)	119(73~167)	91(67~152)	—	>100
Pb/μg·L ⁻¹	76(41~128)	80(29~166)	82(22~179)	—	>100

1) 括号中表示检测数据的最小和最大值;“/”表示该项在相关标准中并未给出;“—”表示该项未对其进行检测

现场地下水相近;仅电导率小于地下水. 根据上海浅层地下水背景值的研究结果,3种设施下渗水 OC、pH 与检测重金属的含量明显高于背景值^[23]. 其中,3种设施均增大了出水 pH,这与文献报道结果相近^[24, 25],且设施 I 出水的 pH 明显大于另两个设施,这是因为设施 I 由水泥现浇,水泥中 CaCO₃ 及 MgCO₃ 提高了出水的 pH^[16]. 设施 0 径流电导率小于 3 种透水铺装,因此由电导率测定结果可以得出,设施下渗水中常规离子含量高于径流中含量,但低于现场地下水实测值,径流经透水铺装下渗不会增加浅层地下水的总含盐量.

参照《地下水质量标准》(GB-T 14848-1993),表 3 设施出水中除 OC、NO₃⁻-N 以外,其余指标次降雨出水质量浓度多次达到地下水 V 类标准,特别是 Cr 和 Pb^[26]. 监测结果表明高地下水水位地区透水铺装设施下渗水存在污染浅层地下水的风险.

3 结论

(1) 本文使用的 3 种透水铺装设施均能有效去除径流中 TP、COD 和 TSS 等污染物,而对 TN 的去除效果较差. 混凝土缝隙透水砖铺面对 NH₄⁺-N 去除效果明显优于透水混凝土. NO₃⁻-N 出现了明显的释放现象,出水含量普遍高于对照设施.

(2) 3 种透水铺装设施对 Mn、Cu、Zn 具有良好的去除效果,不同设施之间的去除率无显著差异,上述重金属平均去除率分别为 84%、62%、59%. 对石油类的平均去除率为 65%,不同设施的去除率无显著差异.

(3) 众多降雨事件设施出水 OC、pH、TN 及本研究检测的重金属含量均大于现场地下水实测值或当地背景值. 且设施出水多项指标均属于地下水 V 类标准. 因此,透水铺装设施下渗水在高地下水水位地区存在污染地下水的风险.

参考文献:

- [1] 林莉峰,李田,李贺. 上海市城区非渗透性地面径流的污染特性研究[J]. 环境科学, 2007, **28**(7): 1430-1434.
Lin L F, Li T, Li H. Characteristics of surface runoff pollution of Shanghai urban area[J]. Environmental Science, 2007, **28**(7): 1430-1434.
- [2] 白瑶,左剑恶,干里里,等. 雨水径流截流渗滤系统控制城市面源污染的中试研究[J]. 环境科学, 2011, **32**(9): 2562-2568.
Bai Y, Zuo J E, Gan L L, et al. Urban non-point source pollution control by runoff retention and filtration pilot system [J]. Environmental Science, 2011, **32**(9): 2562-2568.
- [3] Ahiablame L M, Engel B A, Chaubey I. Effectiveness of low impact development practices: literature review and suggestions

- for future research[J]. Water, Air, & Soil Pollution, 2012, **223**(7): 4253-4273.
- [4] Collins K A, Hunt W F, Hathaway J M. Hydrologic comparison of four types of permeable pavement and standard asphalt in eastern North Carolina[J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2008, **13**(12): 1146-1157.
- [5] Hunt B, Stevens S, Mayes D. Permeable pavement use and research at two sites in eastern North Carolina [A]. In: Proceedings of the 9th International Conference on Urban Drainage (9ICUD). Portland, Oregon, United States; ASCE, 2002.
- [6] Bean E Z, Hunt W F, Bidelsbach D A. Evaluation of four permeable pavement sites in eastern North Carolina for runoff reduction and water quality impacts[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 2007, **133**(6): 583-592.
- [7] Brattebo B O, Booth D B. Long-term stormwater quantity and quality performance of permeable pavement systems [J]. Water Research, 2003, **37**(18): 4369-4376.
- [8] Brown R A, Borst M. Nutrient infiltrate concentrations from three permeable pavement types [J]. Journal of Environmental Management, 2015, **164**: 74-85.
- [9] Scholz M. Water quality improvement performance of geotextiles within permeable pavement systems: a critical review [J]. Water, 2013, **5**(2): 462-479.
- [10] CJJ/T 188-2012, 透水砖路面技术规程[S].
CJJ/T 188-2012, Technical specification for pavement of water permeable brick[S].
- [11] 杨彦,于云江,王宗庆,等. 区域地下水污染风险评估方法研究[J]. 环境科学, 2013, **34**(2): 653-661.
Yang Y, Yu Y J, Wang Z Q, et al. Study on the risk assessment method of regional groundwater pollution [J]. Environmental Science, 2013, **34**(2): 653-661.
- [12] Solpuker U, Sheets J, Kim Y, et al. Leaching potential of pervious concrete and immobilization of Cu, Pb and Zn using pervious concrete[J]. Journal of Contaminant Hydrology, 2014, **161**: 35-48.
- [13] Beecham S, Pezzaniti D, Kandasamy J. Stormwater treatment using permeable pavements[J]. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management, 2012, **165**(3): 161-170.
- [14] Gilbert J K, Clausen J C. Stormwater runoff quality and quantity from asphalt, paver, and crushed stone driveways in Connecticut [J]. Water Research, 2006, **40**(4): 826-832.
- [15] Niu Z G, Lv Z W, Zhang Y, et al. Stormwater infiltration and surface runoff pollution reduction performance of permeable pavement layers [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2016, **23**(3): 2576-2587.
- [16] Collins K A, Hunt W F, Hathaway J M. Side-by-side comparison of nitrogen species removal for four types of permeable pavement and standard asphalt in eastern North Carolina [J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2010, **15**(6): 512-521.
- [17] Huang J, Valeo C, He J X, et al. Three types of permeable pavements in cold climates: hydraulic and environmental performance [J]. Journal of Environmental Engineering, 2016, **142**(6): 04016025.
- [18] Huang J, Valeo C, He J X, et al. Winter performance of interlocking pavers-stormwater quantity and quality [J]. Water, 2012, **4**(4): 995-1008.

- [19] Huber M, Welker A, Helmreich B. Critical review of heavy metal pollution of traffic area runoff: occurrence, influencing factors, and partitioning[J]. *Science of the Total Environment*, 2016, **541**: 895-919.
- [20] Newman A P, Puehmeier T, Kwok V, *et al.* Protecting groundwater with oil-retaining pervious pavements: historical perspectives, limitations and recent developments[J]. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 2004, **37**(4): 283-291.
- [21] Coupe S J, Smith H G, Newman A P, *et al.* Biodegradation and microbial diversity within permeable pavements[J]. *European Journal of Protistology*, 2003, **39**(4): 495-498.
- [22] Newman A P, Aitken D, Antizar-Ladislao B. Stormwater quality performance of a macro-pervious pavement car park installation equipped with channel drain based oil and silt retention devices [J]. *Water Research*, 2013, **47**(20): 7327-7336.
- [23] 夏晨, 李金柱, 何中发. 上海市浅层地下水环境地球化学背景值研究[J]. *上海地质*, 2006, (1): 24-28.
- Xia C, Li J Z, He Z F. Research on geochemistry background value for subsurface water in Shanghai[J]. *Shanghai Geology*, 2006, (1): 24-28.
- [24] Myers B, Beecham S, van Leeuwen J A. Water quality with storage in permeable pavement basecourse [J]. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management*, 2011, **164**(7): 361-372.
- [25] Kuang X H, Sansalone J. Cementitious porous pavement in stormwater quality control: pH and alkalinity elevation [J]. *Water Science and Technology*, 2011, **63**(12): 2992-2998.
- [26] GB/T 14848-1993, 地下水质量标准[S].
- GB/T 14848-1993, Quality standard for ground water[S].

《环境科学》多项引证指标名列前茅

2016年10月12日,中国科学技术信息研究所在中国科技论文统计结果发布会上公布了2015年度中国科技论文统计结果.统计结果显示《环境科学》2015年度总被引频次8 844,影响因子1.617,多项引证指标位居环境科学技术及资源科学技术类科技期刊前列.

CONTENTS

Comparison of Models on Spatial Variation of PM _{2.5} Concentration; A Case of Beijing-Tianjin-Hebei Region	WU Jian-sheng, WANG Xi, LI Jia-cheng, <i>et al.</i> (2191)
Change of Atmospheric Pollution Diffusion Conditions in Beijing in Recent 35 Years	GUO Chun-wei, SUN Zhao-bin, LI Zi-ming, <i>et al.</i> (2202)
Precipitation and Its Effects on Atmospheric Pollutants in a Representative Region of Beijing in Summer	HAN Li-hui, ZHANG Hai-liang, XIANG Xin, <i>et al.</i> (2211)
Impact of Mountain-Valley Wind Circulation on Typical Cases of Air Pollution in Beijing	DONG Qun, ZHAO Pu-sheng, WANG Ying-chun, <i>et al.</i> (2218)
Fugitive Dust Emission Characteristics from Building Construction Sites of Beijing	XUE Yi-feng, ZHOU Zhen, HUANG Yu-hu, <i>et al.</i> (2231)
Characteristics of Volatile Organic Compounds Emitted from Biomass-pellets-fired Boilers	WU Chang-da, ZHANG Chun-lin, BAI Li, <i>et al.</i> (2238)
Effect of VOCs on O ₃ and SOA Formation Potential During the Combined Pollution Process in Guangzhou Panyu Atmospheric Composition Station	ZOU Yu, DENG Xue-jiao, LI Fei, <i>et al.</i> (2246)
Characteristic Study on the "Weekend Effect" of Atmospheric O ₃ in Northern Suburb of Nanjing	WANG Jun-xiu, AN Jun-lin, SHAO Ping, <i>et al.</i> (2256)
Atmospheric Ammonia/Ammonium-nitrogen Concentrations and Wet and Dry Deposition Rates in a Double Rice Region in Subtropical China	WANG Jie-fei, ZHU Xiao, SHEN Jian-lin, <i>et al.</i> (2264)
Species of Iron in Size-resolved Particle Emitted from Xuanwei Coal Combustion and Their Oxidative Potential	WANG Qiang-xiang, TAN Zheng-ying, ZHAO Hui, <i>et al.</i> (2273)
Dioxin Pollution and Occupational Inhalation Exposure of PCDD/Fs in Municipal Solid Waste Incinerator	DU Guo-yong, WANG Qian, ZHANG Shu-lin, <i>et al.</i> (2280)
Characteristics of Mercury Emissions from Modern Dry Processing Cement Plants in Chongqing	ZHANG Cheng, ZHANG Ya-hui, WANG Yong-min, <i>et al.</i> (2287)
Correlations of Light-duty Gasoline Vehicle Emissions Based on VMAS and CVS Measurement Systems	WANG Hong-yu, HUANG Cheng, HU Qing-yao, <i>et al.</i> (2294)
Emission Characteristics of Particulate Matter from Diesel Buses Meeting Different China Emission Standards Fueled with Biodiesel	LOU Di-ming, ZHAO Cheng-zhi, XU Ning, <i>et al.</i> (2301)
Spatial Variation and Environmental Significance of δ ¹⁸ O and δD Isotope Composition in Xijiang River	XU Qi, LI Jian-hong, SUN Ping-an, <i>et al.</i> (2308)
Comparative Study of SWAT and DNDC Applied to N Leach and Export from Subtropical Watershed	HAN Ning, CHEN Wei-liang, GAO Yang, <i>et al.</i> (2317)
Comparison of Relationship Between Conduction and Algal Bloom in Pengxi River and Modao River in Three Gorges Reservoir	JIANG Wei, ZHOU Chuan, JI Dao-bin, <i>et al.</i> (2326)
Temporal and Spatial Variation Characteristics of Nitrogen and Phosphorus in Sediment Pore Water and Overlying Water of Dianchi Caohai Lake	WANG Yi-ru, WANG Sheng-ru, JIAO Li-xin, <i>et al.</i> (2336)
Distribution and Emission Flux Estimation of Phosphorus in the Sediment and Interstitial Water of Xiangxi River	LUO Yu-hong, NIE Xiao-qian, LI Xiao-ling, <i>et al.</i> (2345)
Pollution Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals in Water and Sediment from Daye Lake	ZHANG Jia-quan, TIAN Qian, XU Da-mao, <i>et al.</i> (2355)
Formation of Brominated Disinfection By-products in Low Temperature Multi-effect Distillation (LT-MED) Process for Seawater Desalination	QI Fei, SUN Ying-xue, YANG Zhe, <i>et al.</i> (2364)
Applicability Comparison and Application Study of Two Methods for Determination of the Copper Complexing Capacity of Waters	WANG Chen-ye, JIANG Kuo, XIE Wen-long, <i>et al.</i> (2373)
Performance of Applying Scale Permeable Pavements for Control of Runoff Pollution in an Area with High Groundwater Level	JIN Jian-rong, LI Tian, SHI Zhen-bao (2379)
Removal of 2,4-dichlorophenol in Underground Water by Stabilized Nano Zero-valent Iron	ZHANG Yong-xiang, CHANG Shan, LI Fei, <i>et al.</i> (2385)
Enhancement of Sulfamerazine Degradation Under H ₂ O ₂ /KI System by Ultrasound and UVA Irradiation	WEI Hong, SUN Bo-cheng, YANG Xiao-yu, <i>et al.</i> (2393)
Comparison of Phosphate Adsorption onto Zirconium-Modified Bentonites with Different Zirconium Loading Levels	JINAG Bo-hui, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> (2400)
Removal of Nitrogen in Municipal Secondary Effluent by a Vertical Flow Constructed Wetland Associated with Iron-carbon Internal Electrolysis	ZHENG Xiao-ying, ZHU Xing, ZHOU Xiang, <i>et al.</i> (2412)
Purification Efficiency and Influencing Factors of Combined Bio-filters for Aquaculture Wastewater	ZHANG Shi-yang, ZHANG Sheng-hua, ZHANG Xiang-ling, <i>et al.</i> (2419)
Effect of Temperature on PAO Activity and Substrate Competition	ZHANG Ling, PENG Dang-cong, CHANG Die (2429)
Enrichment and Nitrogen Removal Characteristics of Marine Anaerobic Ammonium Oxidizing Bacteria	FENG Li, YU De-shuang, LI Jin, <i>et al.</i> (2435)
Ammonia Removal Rate and Microbial Community Structures in Different Biofilters for Treating Aquaculture Wastewater	ZHOU Hong-yu, HAN Mei-lin, QIU Tian-lei, <i>et al.</i> (2444)
Influence of Phosphate on Nitrogen Removal Efficiency of ANAMMOX Sludge	ZHOU Zheng, LIU Kai, WANG Fan, <i>et al.</i> (2453)
Characteristics and Mechanism of Biological Nitrogen and Phosphorus Removal Granular Sludge Under Carbon Source Stress	QIN Shi-you, CHEN Wei, MA Zhao-ni, <i>et al.</i> (2461)
Evolution of Extracellular Polymeric Substances of the Activated Sludge with Calcium Ion Addition During Set-up Period of Sequencing Batch Reactors	REN Li-fei, YANG Xin-ping, ZHANG Wen-wen (2470)
Isolation, Identification and Characterization of the Filamentous Microorganisms from Bulking Sludge	ZHANG Chong-miao, NIU Quan-ru, XU Li-mei, <i>et al.</i> (2477)
Applicability and Microbial Community Structure of Denitrification Suspended Carriers	TAN Yang, LI Ji, XU Qiao, <i>et al.</i> (2486)
Effect of Thiosulfate on the Carbon Fixation Capability of <i>Thiobacillus thioparus</i> and Its Mechanism	LI Huan, WANG Lei, WANG Ya-nan (2496)
Characteristics of Fungi Community Structure and Genetic Diversity of Forests in Guandi Mountains	QIAO Sha-sha, ZHOU Yong-na, CHAI Bao-feng, <i>et al.</i> (2502)
Source Apportionment of Soil Heavy Metals in City Residential Areas Based on the Receptor Model and Geostatistics	CHEN Xiu-duan, LU Xin-wei (2513)
Environmental Health Risk Assessment of Contaminated Soil Based on Monte Carlo Method; A Case of PAHs	TONG Rui-peng, YANG Xiao-yi (2522)
Influencing Mechanism of Eh, pH and Iron on the Release of Arsenic in Paddy Soil	ZHONG Song-xiong, YIN Guang-cai, CHEN Zhi-liang, <i>et al.</i> (2530)
Correlations Between Different Extractable Cadmium Levels in Typical Soils and Cadmium Accumulation in Rice	CHEN Qi, DENG Xiao, CHEN Shan, <i>et al.</i> (2538)
Remedying Effects of a Combined Amendment for Paddy Soil Polluted with Cd for Spring and Autumn Rice	CHEN Li-wei, YANG Wen-tao, GU Jiao-feng, <i>et al.</i> (2546)
Effects of Two Amendments on Remedying Garden Soil Complexly Contaminated with Pb, Cd and As	TIAN Tao, LEI Ming, ZHOU Hang, <i>et al.</i> (2553)
Sorption of Phenanthrene to Soybean and Wheat Roots and the Bioavailability of Sorbed Phenanthrene	WANG Hong-ju, LI Qian-qian, SHEN Yu, <i>et al.</i> (2561)
Effects of Dissolved Organic Matter Fractions Extracted from Humus Soil on Sorption of Benzotriazole in Brown Soil and Black Soil	YANG Ning-wei, BI Er-ping (2568)
Effects of Topography, Tree Species and Soil Properties on Soil Enzyme Activity in Karst Regions	LUO Pan, CHEN Hao, XIAO Kong-cao, <i>et al.</i> (2577)
Effects of Long-term Organic Amendments on Soil N ₂ O Emissions from Winter Wheat-maize Cropping Systems in the Guanzhong Plain	HAO Yao-xu, LIU Ji-xuan, YUAN Meng-xuan, <i>et al.</i> (2586)
Exposure Route of Dioxin-like Polychlorinated Biphenyls in Hair Based on Passive Sampling	YUAN Hao-dong, BAI Yao, LI Qiu-xu, <i>et al.</i> (2594)
Accumulation Characteristics and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Wild Fish Species from Diaojiang River, Guangxi	WANG Jun-neng, MA Peng-cheng, ZHANG Li-juan, <i>et al.</i> (2600)
Effect of Activated Carbon Addition on the Anaerobic Fermentation of Corn Straw in Mesophilic and Thermophilic Conditions	GAN Rong, GE Ming-min, LIU Yong-di, <i>et al.</i> (2607)
Volatile Organic Compounds (VOCs) Source Profiles of Industrial Processing and Solvent Use Emissions; A Review	WANG Hong-li, YANG Zhao-xun, JING Sheng-ao (2617)