

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第3期

Vol.34 No.3

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

BP网络框架下MODIS气溶胶光学厚度产品估算中国东部PM _{2.5}	郭建平, 吴业荣, 张小曳, 李小文(817)
北京市近地层颗粒物浓度与气溶胶光学厚度相关性分析研究	林海峰, 辛金元, 张文煜, 王跃思, 刘子锐, 陈传雷(826)
气象因素对长三角背景地区甲烷浓度的影响分析	浦静姣, 徐宏辉, 顾骏强, 马千里, 方双喜, 周凌晔(835)
密闭化填埋作业条件下的场内恶臭污染分布情况与分析	路鹏, 吴世新, 戴志锋, 张晓辉, 苏昭辉, 周小飞, 代占国, 卢旭飞, 郑斌, 沈凯, 卫潘明(842)
冬季中国东海海水中挥发性卤代烃的分布特征和海-气通量	何真, 陆小兰, 杨桂朋(849)
2000~2010年大鹏湾颗粒有机物的年变化和年际变化	李绪录, 周毅频, 夏华永(857)
渤海湾浮游植物与环境因子关系的多元分析	周然, 彭士涛, 覃雪波, 石洪华, 丁德文(864)
青藏高原淡水湖泊水化学组成特征及其演化	王鹏, 尚英男, 沈立成, 伍坤宇, 肖琼(874)
漳卫南运河流域非点源污染负荷估算及最佳管理措施优选	徐华山, 徐宗学, 刘品(882)
面向对象的湖泊污染控制智能工程设计方法	邹锐, 周璟, 刘永, 朱翔, 赵磊, 阳平坚, 郭怀成(892)
九龙江口湿地植物凋落物对沉积物有机质赋存的贡献	罗专溪, 邱昭政, 王振红, 颜昌宙(900)
修复达标土壤回填对地下水环境影响的层次化评估方法应用研究	钟茂生, 姜林, 姚珏君, 樊艳玲, 夏天翔, 李婷婷, 田美影(907)
去除地下水中硝酸盐的渗透性反应墙研究	李秀利, 杨君君, 卢晓霞, 张姝, 侯珍(914)
北京城区雨水管道沉积物污染负荷研究	李海燕, 徐波平, 徐尚玲, 崔爽(919)
城市污水处理厂及其受纳水体中5种典型PPCPs的赋存特征和生态风险	温智皓, 段艳平, 孟祥周, 陈玲(927)
城市景观娱乐水体微生物风险评价	孙傅, 沙婧, 张一帆, 刘彦华(933)
模拟曝气生物滤池去除邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯试验研究	李伟, 赵晶, 余健, 任文辉(943)
膜生物反应器处理工业废水中膜污染及膜过滤特性研究	范举红, 余素林, 张培帅, 兰亚琼, 刘锐, 陈吕军(950)
γ -Al ₂ O ₃ 负载磷钨酸催化强化电化学法处理水中酸性大红3R的研究	岳琳, 王开红, 郭建博, 杨景亮, 刘宝友, 廉静, 王涛(955)
活性炭催化过硫酸钠降解金橙G动力学	杨梅梅, 周少奇, 刘琳, 郑可(962)
ABR反应器处理碱减量印染废水的启动研究	杨波, 钟启俊, 李方, 田晴(968)
O ₃ -BAF深度处理制革废水中沿程污染物降解规律	余彬, 刘锐, 程家迪, 范举红, 李昌湖, 冉坤, 曹国华, 陈吕军(974)
规模化猪场养殖废水UASB-SFSBR-MAP处理工艺中试研究	王亮, 陈重军, 陈英旭, 吴伟祥(979)
连续流态下以城市污水培养好氧颗粒污泥及颗粒特性研究	牛姝, 段百川, 张祚薰, 刘士峰, 张家铭, 王聪, 周丹丹(986)
乙酸/丙酸作为EBPR碳源的动力学模型研究(Ⅰ)——模型的建立	张超, 陈银广(993)
乙酸/丙酸作为EBPR碳源的动力学模型研究(Ⅱ)——动力学模拟	张超, 陈银广(998)
乙酸/丙酸作为EBPR碳源的动力学模型研究(Ⅲ)——模型的应用	张超, 陈银广(1004)
三峡水库两条支流水-气界面CO ₂ 、CH ₄ 通量比较初探	李哲, 白镭, 郭劲松, 方芳, 蒋滔(1008)
不同土地利用方式下土壤呼吸空间变异的影响因素	陈书涛, 刘巧辉, 胡正华, 刘艳, 任景全, 谢薇(1017)
黄土区农田和草地生态系统土壤呼吸差异及其影响因素	周小刚, 张彦军, 南雅芳, 刘庆芳, 郭胜利(1026)
层次化健康风险评估方法在苯污染场地的应用及效益评估	姜林, 钟茂生, 梁竞, 姚珏君, 夏天翔, 樊艳玲, 李敬东, 唐振强(1034)
海州湾潮滩重金属污染的历史记录	张瑞, 张帆, 刘付程, 尹福军, 丁迎军, 高金荣, 陈晶, 邵威(1044)
草海典型高原湿地表层沉积物重金属的积累、分布与污染评价	张清海, 林昌虎, 谭红, 林绍霞, 杨鸿波(1055)
大金山岛土壤重金属污染评价及相关性分析	程芳, 程金平, 桑恒春, 于金莲, 席磊, 皮帅帅(1062)
典型有色金属矿山城市小河流沉积物重金属形态分布及风险评估	李如忠, 姜艳敏, 潘成荣, 陈婧, 徐晶晶(1067)
典型有色金属矿业城市零星菜地蔬菜重金属污染及健康风险评估	李如忠, 潘成荣, 徐晶晶, 陈婧, 姜艳敏(1076)
城市表层土壤磁化率与重金属含量分布的相关性研究	陈秀端, 卢新卫, 杨光(1086)
典型热带林地土壤团聚体颗粒中重金属的分布特征及其环境意义	龚仓, 徐殿斗, 成杭新, 任雅阁, 刘志明, 刘应汉, 刘飞, 聂海峰, 郑祥, 马玲玲(1094)
生态沟渠底泥属性与磷吸附特性研究	张树楠, 贾兆月, 肖润林, 杨凤飞, 余红兵, 刘锋, 吴金水(1101)
三峡库区澎溪河底泥及消落区土壤磷的形态及吸附特性研究	孙文彬, 杜斌, 赵秀兰, 何丙辉(1107)
Triton X-100在黄土上的吸附行为及影响因素	钟金魁, 赵保卫, 朱琨, 钱小龙, 张杰西(1114)
新疆哈密地区有机氯农药大气、土壤残留特征、气-土交换及潜在生态风险	马子龙, 毛蒲萱, 丁中原, 高宏, 黄韬, 田慧, 郭强(1120)
青海省西宁市与天峻县大气中得克隆与十溴联苯醚的水平与来源	何畅, 金军, 马召辉, 王英, 扎西卓玛, 马丽花(1129)
太湖沉积物中多溴联苯醚和类二噁英多氯联苯的水平垂直分布	马召辉, 金军, 亢学奎, 王英, 姜霞, 何松洁, 李明圆(1136)
典型电器工业区河涌沉积物中有机污染物特征分析	刘近, 邓代永, 许玫英, 孙国萍(1142)
柴油轿车颗粒多环芳烃的排放特性	谭丕强, 周舟, 胡志远, 楼狄明(1150)
机械炼焦过程生成飞灰中多环芳烃分布特征研究	牟玲, 彭林, 刘效峰, 白慧玲, 张建强(1156)
污泥干化床与芦苇床稳定化污泥中多环芳烃的含量比较	崔玉波, 孙红杰, 冉春秋, 李金凤, 谢瑶(1161)
固体添加剂对污泥焚烧过程中重金属迁移行为的影响	刘敬勇, 孙水裕, 陈涛(1166)
铸造废砂的环境毒性研究	张海凤, 王玉珏, 王劲磷, 黄天佑, 熊鹰(1174)
Cr ⁶⁺ 生物可利用度检测的微生物全细胞传感器CB10的构建及其响应特征	侯启会, 马安周, 庄绪亮, 庄国强(1181)
反硝化脱硫工艺中微生物群落结构及动态分析	于皓, 王爱杰, 陈川(1190)
农业废物好氧堆肥中环境因子对nirK、nirS和nosZ数量的影响	胡春晓, 陈耀宁, 张嘉超, 唐聪, 曾光明(1196)
蚯蚓体内过氧化物还原蛋白PRDX基因对土壤PAHs污染胁迫的转录响应	林康丽, 郑森林, 宋玉芳, 邱晓燕, 薛文玲(1204)
有序介孔碳载金/L-赖氨酸/纳米金修饰电极的制备及其对邻苯二酚、对苯二酚的检测响应研究	周耀渝, 汤琳, 李贞, 刘媛媛, 杨贵德, 伍梦诗, 雷晓霞, 曾光明(1211)
新建核电站风险信息沟通实证研究	贺桂珍, 吕永龙(1218)
《环境科学》征订启事(942) 《环境科学》征稿简则(992) 信息(932, 949, 1061, 1210) 专辑征稿通知(1173)	

北京城区雨水管道沉积物污染负荷研究

李海燕¹, 徐波平^{1,2}, 徐尚玲¹, 崔爽¹

(1. 北京建筑工程学院城市雨水系统与水环境省部共建教育部重点实验室, 北京 100044; 2. 北京丹华创联科技有限公司, 北京 100070)

摘要: 在北京市城区部分排水管道调研的基础上, 通过监测西城区上游、下游雨水管道检查井断面径流中的污染物, 研究管道沉积物在次降雨条件下的冲刷释放污染负荷。结果表明, 在城市降雨径流污染控制中, 雨水管道沉积物的冲刷释放作用对管道出流的污染贡献不可忽视。对于本研究所选取的雨水管道, 其中 84 m 管道中沉积物次降雨(2010 年 7 月 9 日)过程中对径流出流的污染负荷贡献率分别为: TN(总氮)8.5%、TP(总磷)8.2%、COD 18.3%、SS(悬浮颗粒物)7.7%; 295 m 管道中沉积物次降雨过程中(2010 年 8 月 4 日)的污染负荷贡献率为: TN(总氮)23.12%、TP(总磷)30.01%、COD 33.78%、SS(悬浮颗粒物)31.89%。因此, 为保证城市水环境得到根本的改善, 明确雨水管道沉积物冲刷释放的量对径流总量的控制有一定的借鉴意义。

关键词: 雨水管道; 沉积物; 降雨径流; 污染特性; 污染负荷

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)03-0919-08

Research on Pollution Load of Sediments in Storm Sewer in Beijing District

LI Hai-yan¹, XU Bo-ping^{1,2}, XU Shang-ling¹, CUI Shuang¹

(1. Key Laboratory of Urban Stormwater System and Water Environment, Ministry of Education, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China; 2. Sino-Dan Tech Co., Ltd., Beijing 100070, China)

Abstract: Based on the investigation of sewer sediments in Xi Cheng district in Beijing, scour-release pollution load in one rainfall from sewer sediments was studied by monitoring the pollutants in the run-off of manhole's section. It was shown that the contribution of scour-release pollutants from sewer sediments to sewer outflow was obvious. The contribution rate of the sediments pollution load to runoff outflow in the 84 m pipeline in one rainfall (9 Jul., 2010) was as follows: TN 8.5%, TP 8.2%, COD 18.3%, SS 7.7%, respectively. And the pollutant contribution rate in the 295 m pipeline in another rainfall (4 Aug., 2010) was TN 23.12%, TP 30.01%, COD 33.78%, SS 31.89%. Therefore, it is important to control the pollution from sewer sediments for the improvement of water environment.

Key words: sewer; sediment; runoff; pollution characteristics; pollution load

城市排水管道不仅是城市雨、污水排除的通道,也是非点源污染进入城市水体的重要途径。随着城市径流污染对城市水体影响研究的逐步深入,城市排水管道由于旱季流量过低所产生的污染物沉积现象已开始受到关注^[1]。城市排水管道中沉积物的存在,将直接导致管道过流能力的下降从而降低排水管道的排水容量^[2]。更重要的是,分流制排水系统中,雨水经雨水管道直接排入城市水体,合流制排水系统则在雨天过流排放,雨季暴雨排放时由于径流冲刷会将沉积物中积累的污染物重新悬浮释放带入水体,形成冲击性污染负荷,使非点源污染转化成点源污染,成为城市水体水质改善难度的主要原因之一^[3], Bertrand-Krajewski 等^[4]的研究认为排水系统中沉积污染物的再悬浮对径流中 SS 和 COD 的贡献均为 60%。赵磊等^[5]采用系统污染物平衡计算方法研究合流制管道,排水系统污染物输出负荷为日常污水负

荷、地表径流负荷量和管道沉积物负荷三者之和,从而间接得出管道沉积物负荷在降雨期间的污染贡献率分别为: TN 1% ~ 60%、TP 1% ~ 60%、SS 15% ~ 60% 和 COD 13% ~ 66%。Gromaire 等^[6]采用与赵磊类似的研究方法在巴黎对 31 场降雨的检测结果表明,管道沉积物的污染负荷贡献率分别为: SS 40% ~ 80%、COD 25% ~ 70%、BOD₅ 30% ~ 80%。Krejci 等^[7]通过雨水管道和合流制管道水量水质监测估算合流制排水系统降雨期间管道沉积物贡献率,4 场降雨的监测结果表明,管道沉积物、地表径流和日常污水对 SS 的贡献率分

收稿日期: 2012-05-29; 修订日期: 2012-10-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(50808009); 水体污染控制与治理科技重大专项(2010ZX07320-002); 北京市城市雨水系统与生态环境生态技术创新团队项目(PHR201106124)

作者简介: 李海燕(1975~),女,博士,副教授,主要研究方向为城市雨水径流污染物迁移转化规律, E-mail: lihaiyan@bucea.edu.cn

别为 59%、35% 和 6%。Ahyerre 等^[8]研究得出在旱季合流下管道沉积物在降雨条件下冲刷释放的污染物占径流污染的 30%~80%。因此,明确排水管道中沉积物的冲刷释放污染负荷对有效控制城市水体污染具有重要意义。

相比于发达国家,我国仅有较少研究关注了管道沉积物对城市水体的污染影响,对污染负荷的量化研究更是有限^[5,9],且鲜见基于现场实测数据量化管道沉积物径流冲刷污染负荷的研究。本研究选择北京市西城区分流制雨水管道,监测上、下游雨水管道检查井水量、水质,利用差减法,明确次降雨条件下管道沉积物冲刷再悬浮对管道出流污染的影响,以期控制管道沉积物对水体的污染贡献提供一定的理论依据^[10]。

1 研究区域概况与方法

1.1 研究区域概况

研究区域位于北京市西城区,面积约为 0.14 km²(图 1)。该区域人口密度较大,用地以商业、居住用地为主。研究区域下垫面可分为道路与广场、

建筑屋面及非道路铺装区、绿地,各部分所占比例见表 1^[11]。研究区域排水系统为分流制,雨水管道直径为 400~1 000 mm,研究管道分布见图 1。取管道中几个典型雨水检查井(图中分别标记为 A、B、C、D、E 干管节点)之间管段作为研究对象,选择其中采样及检测均较方便的 D~E 管段,研究其中管道沉积物的径流冲刷悬浮对径流污染的污染负荷贡献。为更加准确地反映管道沉积物对径流污染的贡献,同时考虑到同一场降雨中多点取样监测任务较重,本研究将所研究雨水管道的监测管段延长(取本条管道最长的 A~E 管段),降雨条件选择为与 D~E 管段研究(2010 年 7 月 9 日)降雨特征类似的降雨条件(2010 年 8 月 4 日)^[12]。

调研期间(2010 年 11 月~2011 年 10 月)研究区域雨水管道沉积物的沉积厚度^[13]分别为:A~B 段 4.2~15.2 cm; B~C 段 2.1~4.1 cm; C~D 段 2.0~4.0 cm; D~E 段 2.8~4.2 cm。雨水取样点管道直径为 1 000 mm,无旱季流量,上、下游雨水管道检查井(D~E 段)间距为 84 m。雨水管道 A~E 段间距 295 m。

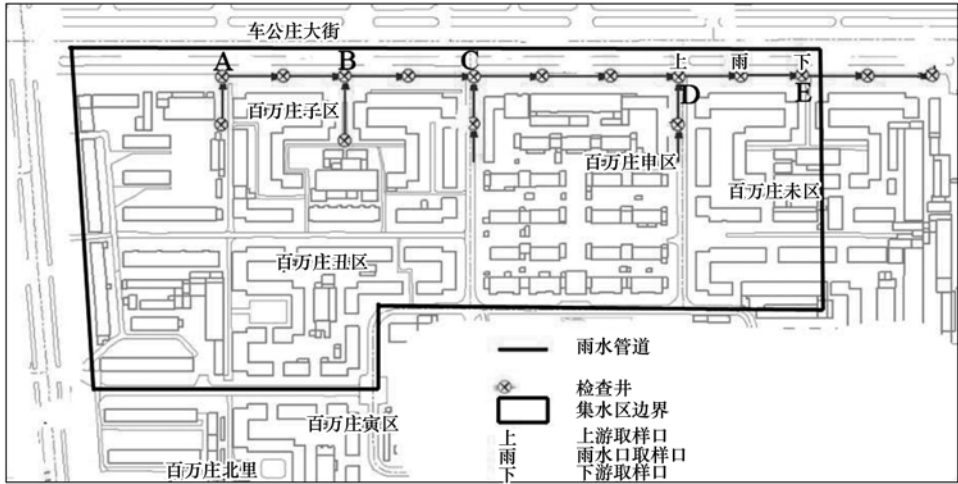


图 1 研究区域及监测点分布示意

Fig. 1 Map of the experimental catchment and location of the sampling sites

表 1 汇水面面积组成

Table 1 Compositions of the experimental catchment

用地类型	面积/m ²	面积率/%	径流系数
建筑屋面以及道路铺装区	70 000	50	0.90
绿地	42 000	30	0.20
道路与广场	28 000	20	0.90
合计	140 000	100	0.69 ¹⁾

1) 综合径流系数

1.2 研究方法

分别监测雨水管道干管检查井上、下游断面

处、管道出口检查井处及雨水口汇入径流雨水水量水质,利用差减法计算管道内沉积物再悬浮对管道出流径流污染负荷的贡献率。

对于所研究的一段雨水管道,下游管道接受来自上游管道的雨水,同时接受该管段对应道路汇水面产生的径流雨水。雨水径流在管道中会冲刷沉积物,部分沉积物随水流一起向下游运动^[14]。因此,下游管道检查井断面污染物负荷量可表示为:

$$M_{下游} = M_{上游} + M_{雨水口} + M_{管道沉积物} \quad (1)$$

式中, $M_{下游}$ 为下游管道检查井断面污染负荷量(g);

$M_{\text{上游}}$ 为上游管道检查井断面污染负荷量 (g); $M_{\text{雨水口}}$ 为雨水口径流污染负荷量 (g); $M_{\text{管道沉积物}}$ 为管道沉积物冲刷释放污染负荷量 (g). 由此, 管道沉积物产生的污染负荷:

$$M_{\text{管道沉积物}} = M_{\text{下游}} - M_{\text{上游}} - M_{\text{雨水口}} \quad (2)$$

由一场降雨引起的地表径流排放污染物的总量称为次降雨污染负荷, 某种污染物的径流污染负荷可用地表径流量与该污染物浓度的乘积来表示, 则一年中第 i 场降雨的径流污染负荷可表示为^[15]:

$$L_i = \int_0^{T_i} c_{t,i} Q_{t,i} dt \quad (3)$$

式中, L_i 为一年中第 i 场降雨的污染负荷 (g); $c_{t,i}$ 为一年中第 i 场降雨地表径流中某污染物在 t 时的瞬时浓度 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$); $Q_{t,i}$ 为一年中第 i 场降雨地表径流在 t 时的径流量 ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$); T_i 为第 i 场降雨的总历时 (s).

在一次降雨过程中, 径流中污染物的质量浓度随时间变化很大, 因此需要对一场降雨径流的污染负荷做出总体评价. 目前最为常用的指标为降雨径流事件平均质量浓度 (event mean concentration, EMC), 用来表示在一场降雨径流全过程排放中某污染物的平均质量浓度. EMC 实质上是一场降雨径流全过程样品污染物质量浓度的流量加权平均值, 如式 (4) 所示^[16]:

$$\text{EMC} = \frac{M}{V} = \frac{\int_0^t c_i Q_i dt}{\int_0^t Q_i dt} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i c_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} \quad (4)$$

表 2 降雨特征

Table 2 Characteristics of the rainfall

日期	降雨历时/h	降雨量/mm	平均雨强/ $\text{mm} \cdot (10 \text{ min})^{-1}$	雨前干燥期/d	降雨类型 (按 24 h 划分)
2010-07-09	1.87	22	1.96	7	中雨
2010-08-04	2.80	26	2.48	14	大雨

表 3 2 场降雨前后雨水管道各管段中沉积物平均沉积厚度/cm
Table 3 Mean sediment depth in sewer before and after 2 rainfalls/cm

管段	阶段	A ~ B	B ~ C	C ~ D	D ~ E
2010-07-09	降雨前	14.2	3.7	3.9	3.8
	降雨后	12.0	3.4	3.1	3.3
2010-08-04	降雨前	14.5	4.0	3.7	4.2
	降雨后	10.2	2.4	2.7	3.4

2.2 雨水管道径流污染物输出规律的研究

图 3 为所研究管道不同降雨历时上、下游雨水管道检查井断面污染物的浓度变化趋势. 随着降雨径流的产生, 下游雨水管道检查井处断面径流流量

式中, EMC 为污染物次降雨平均质量浓度 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$); M 为整个降雨过程总污染物含量 (mg); V 为相对应总径流量 (L); t 为径流时间 (min); c_t 指随时间变化的污染物浓度 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$); Q_t 指随时间变化的径流流量 ($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$); n 指 t 时间段内径流取样的次数; Q_i 指第 i 次取样时的流量 ($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$); c_i 第 i 次取样时的污染物浓度 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$).

由于降雨时空分布的不均一性且研究区域面积相对较小, 在研究区域内设置 1 个自动雨量计记录降雨量. 降雨历时过程中每隔 5 min 同时测定管道内流速、水深并采集水样. 水样采集、保存和监测按照文献 [17] 中的标准方法进行. 研究污染指标为径流中的 TN、TP、SS、COD.

2 污染物输出规律及污染负荷计算

2.1 降雨特征与降雨前后研究管段中管道沉积物沉积情况

研究中的降雨条件即降雨特征及管道中沉积物的厚度是影响管道沉积物径流冲刷悬浮污染释放的关键因素. 本研究监测 (现场安装雨量计监测) 的 2 场降雨 (2010 年 7 月 9 日和 2010 年 8 月 4 日降雨) 降雨特征见表 2 和图 2, 2 场降雨前 2 h 及降雨后 2 h 测量所研究雨水管道各管段中沉积物的沉积厚度, 结果见表 3.

本研究以 7 月 9 日降雨为例, 讨论管道污染物输出规律及沉积物污染负荷的计算^[18].

迅速升高, 这与区域不透水汇水面积比例较大有关, 不透水汇水面积显著缩短了径流的产汇流时间. 径流中污染物的浓度远远高于地表水环境质量标准 (GB 3838-2002) 中 V 类水质标准, 直接排放进入城市水体会造成严重的水体污染.

本场降雨 17:10 开始, 自 17:20 径流开始产生取第一个样品, 共取 14 个样品, 从降雨特征曲线及径流污染物变化过程图可以看出: 雨强峰值与流量峰值基本吻合, 但雨强峰值早于流量峰值, 这与地表汇流时间有关. 上游检查井断面径流中 COD、SS、TP 呈现出明显的初期冲刷规律^[19], 径流中污染物

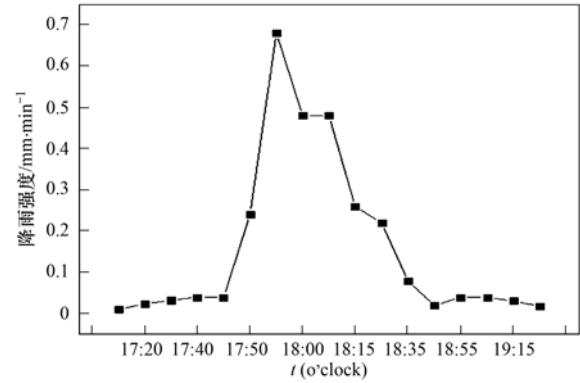


图2 2010年7月9日降雨过程线
Fig. 2 Process of the rainfall(2010-07-09)

浓度随降雨过程的进行逐渐降低;下游检查井断面径流中各污染指标浓度随径流过程的进行先降低后升高,可能是由于管道中沉积物在径流冲刷作用下引起再次悬浮进而造成污染物的释放,COD、TP等溶解性污染物仍表现出明显的初期冲刷现象,SS则由于其固体颗粒态特性而表现出与管道径流量相同的变化趋势;整场降雨过程中,管道上下游检查井断面径流中的TN浓度变化虽无明显规律,但在降雨过程后期也表现出浓度升高的趋势.综上所述,管道沉积物在径流冲刷作用下的污染释放现象不容忽视,有必要将其对管道出流污染负荷的贡献进行量化研究^[20].

2.3 管道沉积物冲刷释放污染负荷的计算

2.3.1 来自雨水口的污染负荷

上、下游雨水管道检查井取样点中间有1个雨水口,道路径流由此进入雨水管道.上、下游管道检查井间距离为84 m,路面宽约30 m,则一个雨水口对应的道路汇水面积约为1 260 m²,产生的径流量按式(5)计算^[5]:

$$Q = \Phi \cdot F \cdot q \tag{5}$$

式中, Q 为*i*种下垫面雨水口径流量(L·min⁻¹), Φ 为径流系数(道路径流系数取0.9)^[21,22], F 为汇水面积(m²), q 为降雨强度(mm·min⁻¹).一场降雨不同时刻所研究雨水口对应的道路汇水面径流量和对应管道断面实测径流量比较见表4.从中可看出,道路汇水面形成的径流占管道径流的比例较小,多数情况下不超过1%,因此可近似忽略雨水口径流对管道中径流的影响,认为上下游雨水管道检查井断面流量近似相等.本次降雨历时内每隔5 min采集雨水口汇流水样,其主要污染物质量浓度见表5.雨水口径流污染负荷按公式(3)计算见表6.

2.3.2 下游检查井断面污染负荷总量估算

表4 次降雨不同时刻道路雨水口径流量和雨水管道径流量

Table 4 Runoff between the stormwater pipe and the gully

时间 (o'clock)	下游管道断面 实测径流量 /L·s ⁻¹	雨水口径流量 /L·s ⁻¹	雨水口径流量占 下游管道径流量的 比率/%
17:40	19.44	0.76	3.88
17:45	11.25	0.76	6.71
17:50	77.34	0.76	0.97
17:55	380.50	12.85	3.37
18:00	1 526.83	9.07	0.59
18:05	2 476.46	9.07	0.36
18:15	1 386.28	4.91	0.35
18:25	860.16	4.16	0.48
18:35	503.49	1.51	0.30
18:45	265.33	0.38	0.14
18:55	131.21	0.76	0.57
19:05	99.20	0.76	0.76

表5 雨水口径流污染物质量浓度/mg·L⁻¹

Table 5 Pollutant concentration in the gully runoff/mg·L⁻¹

时间(o'clock)	COD	TP	TN	SS
17:40	361	3.57	3.20	324
17:45	356	3.27	3.09	287
17:50	320	2.16	3.21	243
17:55	290	2.04	3.17	210
18:05	243	3.14	3.12	103
18:15	130	3.42	3.01	100
18:25	102	3.41	3.31	122
18:35	89	3.28	3.18	73
18:45	87	3.21	3.02	68
18:55	73	2.78	3.11	60
19:05	63.7	2.40	3.57	58

以下游雨水管道检查井断面为例,其径流污染负荷计算见式(6).上游检查井断面径流污染负荷计算方法同下游检查井断面.

$$\int_0^t Q_{下,t} c_{下,t} dt = \int_0^t Q_{上,t} c_{上,t} dt + \int_0^t Q_{雨,t} c_{雨,t} dt + M_{沉积物,t} \tag{6}$$

式中, $Q_{下,t}$ 为*t*时刻下游管道检查井断面径流流量(L·s⁻¹); $c_{下,t}$ 为*t*时刻下游管道检查井断面径流污染物浓度(mg·L⁻¹); $Q_{上,t}$ 为*t*时刻上游管道检查井断面径流流量(L·s⁻¹); $c_{上,t}$ 为*t*时刻上游管道检查井断面径流污染物浓度(mg·L⁻¹); $Q_{雨,t}$ 为*t*时刻雨

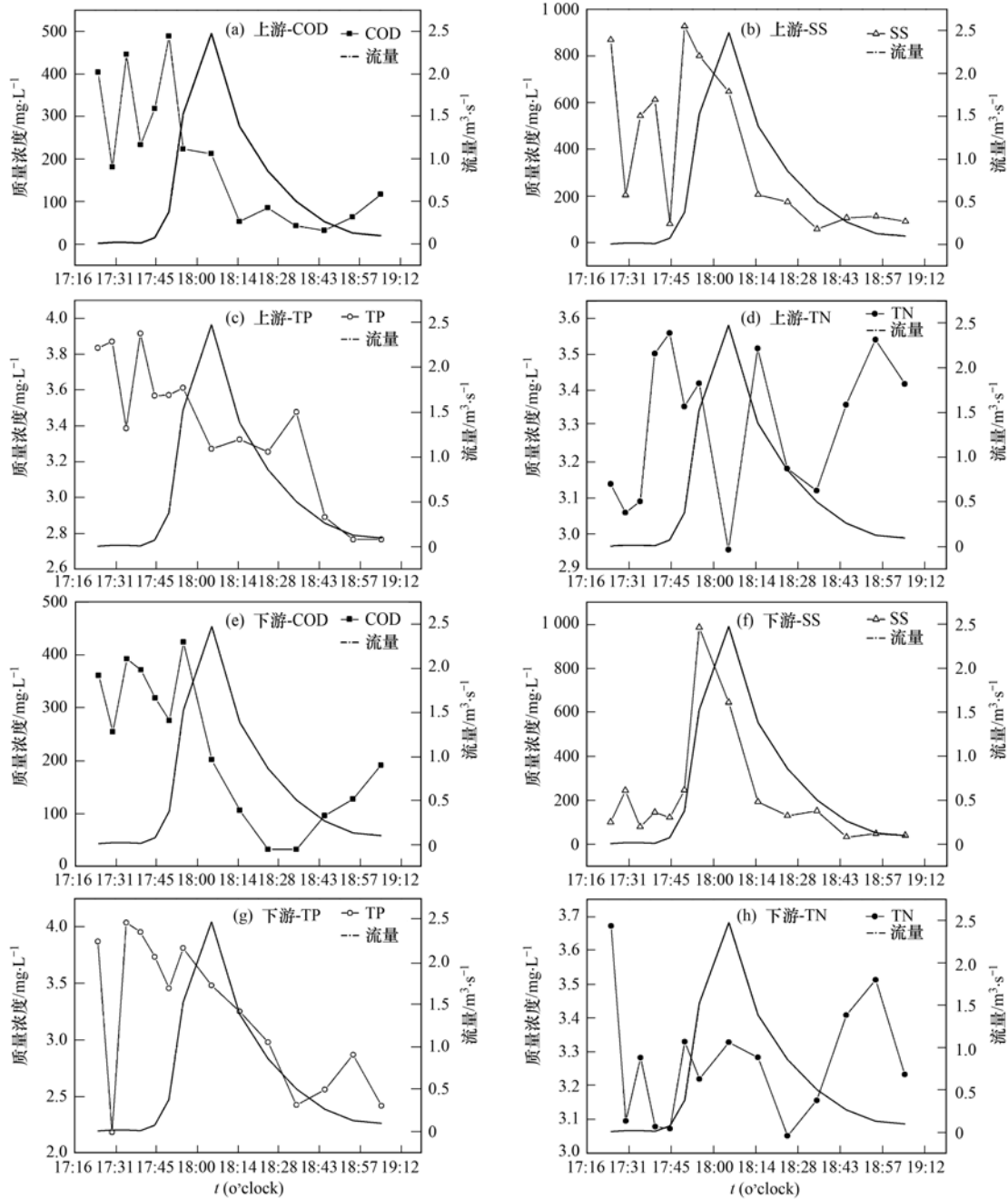


图3 上、下游检查井断面雨水径流污染物质量浓度变化

Fig. 3 Time courses of the runoff pollutants in inspection chambers

水口径流流量($L \cdot s^{-1}$); $c_{雨,t}$ 为 t 时刻雨水口径流污染物浓度($mg \cdot L^{-1}$); $M_{沉积物,t}$ 为 $0 \sim t$ 时间内管道沉积物冲刷释放量。

下游检查井断面单场降雨不同时刻径流污染物质量浓度见表7。按公式(6)计算径流污染负荷,雨水口径流污染负荷占管道径流污染负荷比例见表8。从中可知雨水口径流污染负荷占雨水管道的径流负荷的比率很小,可以忽略其对管道径流污染负荷的影响^[23],认为下游检查井断面径流污染负荷相

对于上游的增量主要来自管道中沉积物的冲刷释放。

本研究所监测雨水管道管段径流中污染物的浓度远高于地表水环境质量标准(GB 3838-2002)中V类水质标准,直接排放进入城市水体会造成严重污染。管道径流污染负荷与雨强有相同变化趋势,从有效的数据看径流初期地表污染物负荷不容忽视。

2.3.3 管道沉积物冲刷释放污染负荷计算

表 6 雨水口径流污染负荷和单位时间内径流污染负荷
Table 6 Pollution load from the gully

时间段 (o'clock)	雨水口径流 COD 污染负荷/g	单位时间雨 水口径流 COD 污染负荷 /g·min ⁻¹	雨水口径流 TP 污染负荷/g	单位时间雨 水口径流 TP 污染负荷 /g·min ⁻¹	雨水口径流 TN 污染负荷/g	单位时间雨 水口径流 TN 污染负荷 /g·min ⁻¹	雨水口径流 SS 污染负荷 /g	单位时间雨水口 径流 SS 污染负荷 /g·min ⁻¹
17:35 ~ 17:40	82.31	16.46	0.81	0.16	0.73	0.15	73.87	14.77
17:40 ~ 17:45	81.17	16.23	0.75	0.15	0.70	0.14	65.44	13.09
17:45 ~ 17:50	72.96	14.59	0.49	0.10	0.73	0.15	55.40	11.08
17:50 ~ 17:55	1 117.95	223.59	7.86	1.57	12.22	2.44	809.55	161.91
17:55 ~ 18:05	1 322.41	132.24	17.09	1.71	16.98	1.70	560.53	56.05
18:05 ~ 18:15	382.98	38.30	10.08	1.01	8.87	0.89	294.60	29.46
18:15 ~ 18:25	254.59	25.46	8.51	0.85	8.26	0.83	304.51	30.45
18:25 ~ 18:35	80.63	8.06	2.97	0.30	2.88	0.29	66.14	6.61
18:35 ~ 18:45	19.84	1.98	0.73	0.07	0.69	0.07	15.50	1.55
18:45 ~ 18:55	33.29	3.33	1.27	0.13	1.42	0.14	27.36	2.74
18:55 ~ 19:05	29.05	2.90	1.09	0.11	1.63	0.16	26.45	2.64

表 7 单场降雨不同时刻下游检查井断面径流
污染物质质量浓度/mg·L⁻¹

时间(o'clock)	COD	TP	TN	SS
17:40	372	3.96	3.08	145
17:45	319	3.74	3.07	122
17:50	276	3.46	3.33	246
17:55	425	3.81	3.22	986
18:05	202	3.48	3.33	645
18:15	106	3.25	3.28	193
18:25	31.9	2.98	3.05	130
18:35	31.9	2.42	3.16	152
18:45	95.6	2.56	3.41	33
18:55	127	2.87	3.51	48
19:05	191	2.42	3.23	40

认为上、下游雨水管道检查井断面的流量近似相等,应用公式(4)计算上、下游雨水管道检查井断面径流水质 EMC 浓度,结果见表 9。由于雨水管道没有旱季径流,则认为雨水管道径流污染负荷为次降雨污染负荷。根据公式(3)计算得出的次降雨污染负荷见表 10。

根据以上结果,计算得出 D~E 段雨水管道(84 m)中沉积物在本次降雨期间的不同污染物质的污染贡献率分别为:TN 8.5%、TP 8.2%、COD 18.3%、SS 7.7%。

为更加准确地反映管道沉积物对径流污染的贡

献,本研究将所研究雨水管道的监测管段延长,以上述研究方法估算管道沉积物的径流冲刷悬浮对径流污染的污染负荷贡献^[24,25]。监测降雨为 2010 年 8 月 4 日的降雨(降雨特征见表 1),分别监测雨水管道干管节点(图 1 中 A、B、C、D 点)检查井处水质和管道出口(图 1 中 E 点)检查井处水量水质。忽略雨水口进水水质水量的影响,按照公式(5)估算各节点处径流流量,结合公式(1)、(3)、(4)和(6),得出次降雨条件下 A~E 段 295 m 雨水管道中沉积物在径流冲刷下对管道出流的污染负荷贡献率分别为:TN 23.12%、TP 30.01%、COD 33.78%、SS 31.89%。

3 结论

通过对两场降雨过程城市雨水管道径流中污染物的监测分析与污染负荷计算,量化了降雨径流的冲刷作用下城市雨水管道中沉积物所产生的径流污染负荷。结果表明,所研究雨水管道管段径流中污染物的浓度远高于地表水环境质量标准(GB 3838-2002)中 V 类水质标准,直接排放进入城市水体会造成严重污染;管道沉积物在径流的冲刷作用下产生的污染负荷贡献明显,84 m 的雨水管道中沉积物对径流的污染负荷贡献率为 TN 8.5%、TP 8.2%、COD 18.3%、SS 7.7%,295 m 的雨水管道中沉积物对径流的污染负荷贡献率为 TN 23.12%、TP 30.01%、COD 33.78%、SS 31.89%。因此,要有效控制城市水体污染,须通过地表颗粒物源头控制、

表 8 雨水口径流污染负荷(COD、TP、TN、SS) 占管道径流污染负荷比率

Table 8 Pollution load between the stormwater pipe and the gully

时间段 (o'clock)	管道径流 COD 污染负荷/g	雨水口径流 COD 污染负荷/g	雨水口径流 COD 污染负荷占管道 径流污染 COD 负荷比例/%	管道径流 TP 污染 负荷/g	雨水口径流 TP 污染负荷/g	雨水口径流 TP 污染 负荷占管道径流 TP 污染负荷比例/%
17:35 ~ 17:40	2 169.5	82.31	3.8	23.1	0.81	3.5
17:40 ~ 17:45	1 076.6	81.17	7.5	12.6	0.75	5.9
17:45 ~ 17:50	6 403.8	72.96	1.1	80.3	0.49	0.6
17:50 ~ 17:55	48 513.8	1 117.95	2.3	434.9	7.86	1.8
17:55 ~ 18:05	300 147.0	1 322.41	0.4	5 170.8	17.09	0.3
18:05 ~ 18:15	88 167.4	382.98	0.4	2 703.2	10.08	0.4
18:15 ~ 18:25	16 463.5	254.59	1.5	1 538.0	8.51	0.6
18:25 ~ 18:35	9 636.8	80.63	0.8	731.1	2.97	0.4
18:35 ~ 18:45	15 219.3	19.84	0.1	407.5	0.73	0.2
18:45 ~ 18:55	9 998.2	33.29	0.3	225.9	1.27	0.6
18:55 ~ 19:05	11 368.3	29.05	0.3	144.0	1.09	0.8
17:35 ~ 17:40	18.0	0.73	4.1	845.6	73.87	8.7
17:40 ~ 17:45	10.4	0.70	6.8	411.8	65.44	15.9
17:45 ~ 17:50	77.3	0.73	0.9	5 707.7	55.40	1.0
17:50 ~ 17:55	367.6	12.22	3.3	112 551.9	809.55	0.7
17:55 ~ 18:05	4 948.0	16.98	0.3	958 390.0	560.53	0.1
18:05 ~ 18:15	2 728.2	8.87	0.3	160 531.2	294.60	0.2
18:15 ~ 18:25	1 574.1	8.26	0.5	67 092.5	304.51	0.5
18:25 ~ 18:35	954.6	2.88	0.3	45 918.3	66.14	0.1
18:35 ~ 18:45	542.9	0.69	0.1	5 253.5	15.50	0.3
18:45 ~ 18:55	276.3	1.42	0.5	3 778.8	27.36	0.7
18:55 ~ 19:05	192.2	1.63	0.8	2 380.8	26.45	1.1

表 9 上、下游检查井断面雨水管道径流平均质量浓度/mg·L⁻¹

Table 9 EMCs of the different sampling sites/mg·L⁻¹

取样点	COD	TP	TN	SS
上游检查井断面	149	3.313	3.213	433
下游检查井断面	170	3.365	3.262	437

表 10 次降雨径流污染负荷

Table 10 Pollution load from the rainfall runoff

污染物污染负荷	COD	TP	TN	SS
上游检查井/kg	602.7	13.4	13.0	1 751.5
下游检查井/kg	737.8	14.6	14.2	1 896.9
管道沉积物释放负荷/kg	135.1	1.2	1.2	145.4
管道沉积物释放负荷占 径流污染负荷比例/%	18.3	8.2	8.5	7.7

管道径流颗粒物沉淀处理、管道清淤等措施加强对管道沉积物污染的控制。

参考文献:

[1] Chapman P M. Sediment Quality Triad approach. In: Sediment Classification Methods Compendium[R]. EPA-823-R-92-006.
[2] Christine-Mertz M C, Chebbo G, Saad M. Origins and characteristics of urban wet weather pollution in combined sewer systems: The experimental urban Catchment “ Le Marais ” in

Paris[J]. Water Science and Technology, 1998, **37**(1): 35-43.
[3] 杨雪, 车伍, 李俊奇, 等. 国内外对合流制管道溢流污染的控制与管理[J]. 中国给水排水, 2008, **24**(16): 7-11.
[4] Bertrand-Krajewski J L, Bardin J P, Gibello C. Long term monitoring of sewer sediment accumulation and flushing experiments in a man-entry sewer [J]. Water Science & Technology, 2006, **54**(6-7): 109-117.
[5] 赵磊, 杨逢乐, 王俊松, 等. 合流制排水系统降雨径流污染物的特性及来源[J]. 环境科学学报, 2008, **28**(8): 1561-1570.
[6] Gromaire M C, Garraud S, Saad M, *et al.* Contribution of different sources to the pollution of wet weather flows in combined sewers[J]. Water Research, 2001, **35**(2): 521-533.
[7] Krejci V, Dauber L, Novak B, *et al.* Contribution of different sources to pollutant loads in combined sewers [A]. In: Proceeding of the 4th international conference on urban storm drainage[C]. Lausanne, Switzerland, 1987. 34-39.
[8] Ahyerre M, Chebbo G, Saad M. Sources and erosion of organic solids in a combined sewer[J]. Urban Water, 2001, **2**(4): 305-315.
[9] 李立青, 尹澄清. 雨、污合流制城区降雨径流污染的迁移转化过程与来源研究[J]. 环境科学, 2009, **30**(2): 368-375.

- [10] 李茂英, 李海燕. 城市排水管道中沉积物及其污染研究进展[J]. 给水排水, 2008, **34**(S1): 88-92.
- [11] 潘国庆. 不同排水体制的污染负荷及控制措施研究[D]. 北京: 北京建筑工程学院, 2007. 27.
- [12] 杨云安, 管运涛, 许光明, 等. 老城区不同功能区排水管道沉积物性质研究[J]. 给水排水, 2011, **37**(9): 159-162.
- [13] 李海燕, 梅慧瑞, 徐波平. 北京城市雨水管道中沉积物的状况调查与分析[J]. 中国给水排水, 2011, **27**(6): 36-39.
- [14] 高原, 王红武, 张善发, 等. 合流制排水管道沉积物及其模型研究进展[J]. 中国给水排水, 2010, **26**(2): 15-27.
- [15] 赵剑强. 城市地表径流污染与控制[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [16] 杨逢乐, 赵磊. 合流制排水系统降雨径流污染物特征及初期冲刷效应[J]. 生态环境, 2007, **16**(6): 1627-1632.
- [17] 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]. (第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [18] Saget A, Chebbo G. Pollution loads of urban wet weather discharges [A]. In: Proceedings of the 7th international conference on urban storm drainage [C]. Hannover, Germany, 1996, 61-66.
- [19] 潘国庆, 车伍, 李海燕, 等. 雨水管道沉积物对径流初期冲刷的影响[J]. 环境科学学报, 2009, **29**(4): 771-776.
- [20] 车伍, 刘燕, 李俊奇. 国内外城市雨水水质及污染控制[J]. 给水排水, 2003, **29**(10): 28-41.
- [21] 刘翠云, 车伍, 董朝阳. 分流制雨水与合流制溢流水质的比较[J]. 给水排水, 2007, **33**(4): 51-55.
- [22] GB 50014-2006, 室外排水设计规范[S].
- [23] 李海燕, 徐波平, 梅慧瑞. 城市排水管道沉积物的冲刷释放模型综述[A]. 见: 中国城市雨洪控制利用高级研讨会[C]. 北京, 2010. 330-336.
- [24] Campisano A, Creaco E, Modica C. Experimental and numerical analysis of the scouring effects of flushing waves on sediment deposits[J]. Journal of Hydrology, 2004, **299**(3-4): 324-334.
- [25] Sakakibara T. Sediments flushing experiment in a trunk sewer [J]. Water Science and Technology, 1996, **33**(9): 229-235.

CONTENTS

Estimation of PM _{2.5} over Eastern China from MODIS Aerosol Optical Depth Using the Back Propagation Neural Network	GUO Jian-ping, WU Ye-rong, ZHANG Xiao-ye, <i>et al.</i> (817)
Comparison of Atmospheric Particulate Matter and Aerosol Optical Depth in Beijing City	LIN Hai-feng, XIN Jin-yuan, ZHANG Wen-yu, <i>et al.</i> (826)
Impacts of Meteorological Factors on Atmospheric Methane Mole Fractions in the Background Area of Yangtze River Delta	PU Jing-jiao, XU Hong-hui, GU Jun-qiang, <i>et al.</i> (835)
Dispersion and Analysis of Odor Pollution in Landfill Area Under the Enclosed Operation Condition	LU Peng, WU Shi-xing, DAI Zhi-feng, <i>et al.</i> (842)
Distribution Characteristics and Sea-Air Fluxes of Volatile Halocarbons in the East China Sea in Winter	HE Zhen, LU Xiao-lan, YANG Gui-peng (849)
Intra- and Inter-annual Variabilities of Particulate Organic Matter in the Mirs Bay from 2000 to 2010	LI Xu-lu, ZHOU Yi-pin, XIA Hua-yong (857)
Phytoplankton Assemblages and Their Relation to Environmental Factors by Multivariate Statistic Analysis in Bohai Bay	ZHOU Ran, PENG Shi-tao, QIN Xue-bo, <i>et al.</i> (864)
Characteristics and Evolution of Hydrochemical Compositions of Freshwater Lake in Tibetan Plateau	WANG Peng, SHANG Ying-nan, SHEN Li-cheng, <i>et al.</i> (874)
Estimation of Nonpoint Source Pollutant Loads and Optimization of the Best Management Practices (BMPs) in the Zhangweinan River Basin	XU Hua-shan, XU Zong-xue, LIU Pin (882)
An Object-Oriented Intelligent Engineering Design Approach for Lake Pollution Control	ZOU Rui, ZHOU Jing, LIU Yong, <i>et al.</i> (892)
Contribution of Plant Litters to Sediments Organic Matter in Jiulong River Estuary Wetland	LUO Zhuan-xi, QIU Zhao-zheng, WANG Zhen-hong, <i>et al.</i> (900)
Application of Tiered Approach to Assess the Impact of Backfilling Remediated Soil on Groundwater	ZHONG Mao-sheng, JIANG Lin, YAO Jue-jun, <i>et al.</i> (907)
Removal of Nitrate from Groundwater Using Permeable Reactive Barrier	LI Xiu-li, YANG Jun-jun, LU Xiao-xia, <i>et al.</i> (914)
Research on Pollution Load of Sediments in Storm Sewer in Beijing District	LI Hai-yan, XU Bo-ping, XU Shang-ling, <i>et al.</i> (919)
Occurrence and Risk Assessment of Five Selected PPCPs in Municipal Wastewater Treatment Plant and the Receiving Water	WEN Zhi-hao, DUAN Yan-ping, MENG Xiang-zhou, <i>et al.</i> (927)
Microbial Risk Assessment of Urban Water Bodies for Aesthetical and Recreational Uses	SUN Fu, SHA Jing, ZHANG Yi-fan, <i>et al.</i> (933)
Study on Removal of Di-(2-Ethylhexyl) Phthalate by Using of Small-Scale Biological Aerated Filter	LI Wei, ZHAO Jing, YU Jian, <i>et al.</i> (943)
Mechanism of Membrane Fouling and Filtration Characteristics in a Membrane Bioreactor for Industrial Wastewater Treatment	FAN Ju-hong, YU Su-lin, ZHANG Pei-shuai, <i>et al.</i> (950)
Enhanced Electro-Chemical Oxidation of Acid Red 3R Solution with Phosphotungstic Acid Supported on γ -Al ₂ O ₃	YUE Lin, WANG Kai-hong, GUO Jian-bo, <i>et al.</i> (955)
Degradation Kinetics of Activated Carbon Catalyzed Persulfate Oxidation Orange G	YANG Mei-mei, ZHOU Shao-qi, LIU Dan, <i>et al.</i> (962)
Study on the Start-up of the Anaerobic Baffled Reactor for Treating Alkali-dewighting and Dyeing-printing Wastewater	YANG Bo, ZHONG Qi-jun, LI Fang, <i>et al.</i> (968)
Study on the Pollutants Removal Performance Along the Advanced Treatment in Tannery Wastewater by O ₃ -BAF	YU Bin, LIU Rui, CHENG Jia-di, <i>et al.</i> (974)
Effect of Pilot UASB-SFSBR-MAP Process for the Large Scale Swine Wastewater Treatment	WANG Liang, CHEN Chong-jun, CHEN Ying-xu, <i>et al.</i> (979)
Cultivation of Aerobic Granular Sludge with Municipal Wastewater and Studies on Its Characteristics Under the Continuous Flow	NIU Shu, DUAN Bai-chuan, ZHANG Zuo-li, <i>et al.</i> (986)
Kinetic Model of Enhanced Biological Phosphorus Removal with Mixed Acetic and Propionic Acids as Carbon Sources (I) : Model Constitution	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang (993)
Kinetic Model of Enhanced Biological Phosphorus Removal with Mixed Acetic and Propionic Acids as Carbon Sources (II) : Process Simulation	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang (998)
Kinetic Model of Enhanced Biological Phosphorus Removal with Mixed Acetic and Propionic Acids as Carbon Sources (III) : Model Application	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang (1004)
Comparative Study on Water-air CO ₂ , CH ₄ Flux in Two Tributaries in the Three Gorges Reservoir, China	LI Zhe, BAI Lei, GUO Jin-song, <i>et al.</i> (1008)
Factors Influencing the Spatial Variability in Soil Respiration Under Different Land Use Regimes	CHEN Shu-tao, LIU Qiao-hui, HU Zheng-hua, <i>et al.</i> (1017)
Differences in Soil Respiration Between Cropland and Grassland Ecosystems and Factors Influencing Soil Respiration on the Loess Plateau	ZHOU Xiao-gang, ZHANG Yan-jun, NAN Ya-fang, <i>et al.</i> (1026)
Application and Benefit Evaluation of Tiered Health Risk Assessment Approach on Site Contaminated by Benzene	JIANG Lin, ZHONG Mao-sheng, LIANG Jin, <i>et al.</i> (1034)
History of Heavy Metal Pollution from Tidal Flat in Haizhou Bay	ZHANG Rui, ZHANG Fan, LIU Fu-cheng, <i>et al.</i> (1044)
Accumulation, Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in Surface Sediment of Caohai Plateau Wetland, Guizhou Province	ZHANG Qing-hai, LIN Chang-hu, TAN Hong, <i>et al.</i> (1055)
Assessment and Correlation Analysis of Heavy Metals Pollution in Soil of Dajinshan Island	CHENG Fang, CHENG Jin-ping, SANG Heng-chun, <i>et al.</i> (1062)
Fraction Distribution and Risk Assessment of Heavy Metals in Stream Sediments from a Typical Nonferrous Metals Mining City	LI Ru-zhong, JIANG Yan-min, PAN Cheng-rong, <i>et al.</i> (1067)
Contamination and Health Risk for Heavy Metals via Consumption of Vegetables Grown in Fragmentary Vegetable Plots from a Typical Nonferrous Metals Mine City	LI Ru-zhong, PAN Cheng-rong, XU Jing-jing, <i>et al.</i> (1076)
Correlativity Study of the Distribution of Soil Magnetic Susceptibility and the Heavy Metal Contents in Xi'an City	CHEN Xiu-duan, LU Xin-wei, YANG Guang (1086)
Distribution Characteristics and Environmental Significance of Heavy Metals in Soil Particle Size Fractions from Tropical Forests in China	GONG Cang, XU Dian-dou, CHENG Hang-xin, <i>et al.</i> (1094)
Study on Phosphorus Adsorption Characteristic of Sediments in an Ecological Ditch	ZHANG Shu-nan, JIA Zhao-yue, XIAO Run-lin, <i>et al.</i> (1101)
Fractions and Adsorption Characteristics of Phosphorus on Sediments and Soils in Water Level Fluctuating Zone of the Pengxi River, a Tributary of the Three Gorges Reservoir	SUN Wen-bin, DU Bin, ZHAO Xiu-lan, <i>et al.</i> (1107)
Sorption Behavior of Triton X-100 on Loess and Affecting Factors	ZHONG Jin-kui, ZHAO Bao-wei, ZHU Kun, <i>et al.</i> (1114)
Residual Levels in Air, Soil and Soil-Air Exchange of Organochlorine Pesticides in Hami Region of Xinjiang and Its Potential Ecological Risk	MA Zi-long, MAO Xiao-xuan, DING Zhong-yuan, <i>et al.</i> (1120)
Levels and Sources of Decabromodiphenyl Ether and Dechlorane Plus in Xining and Tianjun, Qinghai Province, China	HE Chang, JIN Jun, MA Zhao-hui, <i>et al.</i> (1129)
Vertical Distribution of PBDEs and DL-PCBs in Sediments of Taihu Lake	MA Zhao-hui, JIN Jun, QI Xue-kui, <i>et al.</i> (1136)
Characteristics of Organic Pollutants in the Sediments from a Typical Electronics Industrial Zone	LIU Jin, DENG Dai-yong, XU Mei-ying, <i>et al.</i> (1142)
Emission Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Exhaust Particles from a Diesel Car	TAN Pi-qiang, ZHOU Zhou, HU Zhi-yuan, <i>et al.</i> (1150)
Characterization of PAHs in Fly Ashes from Coke Production	MU Ling, PENG Lin, LIU Xiao-feng, <i>et al.</i> (1156)
Comparison of PAHs Distribution in Stabilized Sludge by Sludge Drying Bed and Reed Bed	CUI Yu-bo, SUN Hong-jie, RAN Chun-qiu, <i>et al.</i> (1161)
Effects of Adsorbents on Partitioning and Fixation of Heavy Metals in the Incineration Process of Sewage Sludge	LIU Jing-yong, SUN Shui-yu, CHEN Tao (1166)
Environmental Toxicity of Waste Foundry Sand	ZHANG Hai-feng, WANG Yu-jue, WANG Jin-lin, <i>et al.</i> (1174)
Construction and Properties of a Microbial Whole-cell Sensor CB10 for the Bioavailability Detection of Cr ⁶⁺	HOU Qi-hui, MA An-zhou, ZHUANG Xu-liang, <i>et al.</i> (1181)
Structure and Dynamics of Microbial Community in the Denitrifying Sulfide Removal Process	YU Hao, WANG Ai-jie, CHEN Chuan (1190)
Effects of Physico-chemical Parameters on the Abundance of the Denitrification-associated Genes <i>nirK</i> , <i>nirS</i> and <i>nosZ</i> During Agricultural Waste Composting	HU Chun-xiao, CHEN Yao-ning, ZHANG Jia-chao, <i>et al.</i> (1196)
Impact of PAHs on the Expression of PRDX in Earthworm (<i>Eisenia fetida</i>)	LIN Kang-li, ZHENG Sen-lin, SONG Yu-fang, <i>et al.</i> (1204)
Preparation of OMC-Au/L-Lysine/Au Modified Glassy Carbon Electrode and the Study on Its Detection Response to Hydroquinone and Catechol	ZHOU Yao-yu, TANG Lin, LI Zhen, <i>et al.</i> (1211)
Risk Communication in Construction of New Nuclear Power Plant	HE Gui-zhen, LÜ Yong-long (1218)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2013年3月15日 34卷 第3期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 3 Mar. 15, 2013

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行