

# 基于雨后水质变化的南京市面源污染分布特征及成因初探

邢学珂

江苏省南京环境监测中心, 中国·江苏 南京 210000

**摘要:** 论文以自动监测数据、气象数据等作为基础数据, 通过分析降水过程污染强度, 研究了南京城市面源污染分布特征。结果表明, 金川河宝塔桥、北十里长沟东支红山桥、外秦淮河三汊河口、北十里长沟西支化工桥断面受面源污染影响显著, 降雨后氨氮、总磷指标总体呈上升趋势, 且氨氮与总磷的变化趋势基本一致, 其中氨氮的波动幅度相对较大。研究结论可为南京城市面源污染防治提供参考。

**关键词:** 面源污染; 降水过程污染强度; 降雨径流污染

## Preliminary Study on the Spatial Characteristics and Causes of Urban Non-point Source Pollution Based on Changes in Water Quality after Rainfall in Nanjing

Xueke Xing

Jiangsu Nanjing Environmental Monitoring Center, Nanjing, Jiangsu, 210000, China

**Abstract:** Based on automatic monitoring data and meteorological data, this paper studies the distribution characteristics of non-point source pollution in Nanjing city by analyzing the pollution intensity of precipitation process. The results showed that Baota Bridge of Jinchuan River, Hongshan Bridge of East Branch of North Shilichangou, Sancha estuary of Outer Qinhuai River and Huagong Bridge of North Shilichangou were significantly affected by non-point source pollution. The indexes of ammonia nitrogen and total phosphorus showed an overall upward trend after rainfall, and the change trend of ammonia nitrogen and total phosphorus was basically the same, but the fluctuation range of ammonia nitrogen was relatively large. The results can provide reference for the prevention and control of non-point source pollution in Nanjing city.

**Keywords:** non-point source pollution; pollution intensity of precipitation process; rainfall runoff pollution

### 0 前言

点源污染和面源污染是水污染的两大来源。中国点源污染治理起步较早, 20 世纪 70 年代以来, 中国相继出台了多部涉水的环境保护法律法规、标准和政策制度等管理性文件, 开展全国工业污染源调查, 治理工业点源污染, 并于“九五”至“十二五”时期开展重点流域大规模治污工作、“十三五”后全面推进“三水统筹”, 深入打好污染防治攻坚战, 开展全域入河入江排污口的排查溯源整治工作, 点源污染治理取得显著成效, 水环境质量持续改善<sup>[1]</sup>。

相比点源污染, 中国面源污染研究治理起步较晚, 长期以来工作重点主要放在农业面源污染方面, 对于城市面源污染未给予足够的重视<sup>[2]</sup>。在点源污染得到控制的今天, 伴随着城市化进程的不断加快, 城市不透水下垫面的比例进一步提高, 以降雨径流污染为代表的城市面源污染在水污染中所占的比例越来越大, 部分断面雨后水质超标时有发生, 汛期的面源污染问题已逐步上升为制约水环境持续改善的主要矛盾。

面源污染, 又称非点源污染, 主要是指通过降雨和地表径流冲刷等方式, 将大气和地表中的颗粒态或溶解态污

染物带入受纳水体, 使受纳水体遭受污染的现象<sup>[2,3]</sup>。城市面源污染以降雨径流污染为代表<sup>[4]</sup>, 是仅次于农业面源污染的第二大非点源污染源<sup>[5]</sup>。中国城市面源污染研究工作始于 20 世纪 80 年代, 先后在北京、上海、天津、南京等一系列城市陆续开展了一系列面源污染研究<sup>[6]</sup>。降雨经地表植被截流后, 在地表形成液膜, 当液膜厚度达到阈值时, 产生降雨径流<sup>[7]</sup>。城市面源污染程度与城镇不透水面积比例成正比<sup>[8]</sup>, 现代城市地表下垫面大部分为不透水面, 降雨落到地面后迅速形成径流, 冲刷并携带地表污染物形成径流污染<sup>[9,10]</sup>。相关研究<sup>[11]</sup>表明, 城市降雨径流中含有大量污染物, 如悬浮物、好氧物质、营养物质、有毒物质及油脂类等, 汇入受纳水体引起水质超标。与点源污染相比, 面源污染一般具有随机性、广泛性、滞后性、模糊性、潜伏性、难监测性等特点, 其研究与治理也是水环境保护工作中的重点和难点<sup>[12]</sup>。

鉴于降雨径流污染过程规律复杂, 影响降雨径流污染的因素众多<sup>[13-15]</sup>, 论文采用降水过程污染强度来表征南京市地表水断面受面源污染的影响程度, 研究不同降雨条件下面源污染对地表水质的影响, 以期南京市面源污染治理提供参考。

# 1 研究方法

## 1.1 研究区域概况

南京市位于江苏省西南部，地处长江中下游平原，属于亚热带湿润季风气候区，气候湿润，四季分明，降水量年际年内变化大。南京市多年平均降水量约为 1050mm，年内降水主要集中在汛期（五至九月），6 月中旬至 7 月上旬梅雨期间常遭受暴雨和大暴雨袭击，7 至 9 月易受热带风暴或台风的外围影响形成强降水。

## 1.2 降水过程污染强度

降水过程污染强度是指某断面降水期间首要污染物浓度与Ⅲ类标准浓度限值的比值，主要反映监测断面降水期间污染程度与水质目标之间的差距，有利于精准识别平时水环境质量较好、受降水影响污染物浓度大幅上升的情况。24h 累计降水量 ≥ 5mm，则对该断面进行汛期污染强度计算。污染强度计算数据来源于地表水高锰酸盐指数、氨氮、总磷自动检测有效小时数据，降水信息来源于断面所在地区的气象部门。

$$\text{污染强度} = \frac{\text{某断面首要污染物}}{\text{该断面该项指标Ⅲ类标准浓度限值}}$$

式中，污染强度统计时段为降水当日至降水停止次日。首要污染物浓度是指河流断面水质类别劣于Ⅲ类标准时，水质类别最差的指标；当同一断面不同指标对应的水质类别相

同时，其首要污染物取超出Ⅲ类标准倍数最大的指标。

## 1.3 数据来源

国省考断面水质监测数据来源于南京市地表水环境自动监测站自动监测数据，降雨数据来自中国天气网（http://www.weather.com.cn），时间为 2022 年 3 月 1 日至 2022 年 11 月 30 日。

# 2 结果与讨论

## 2.1 南京市面源污染分布特征

对 2022 年 3 至 11 月南京市 42 个国省考断面降水过程污染强度、地表水质变化趋势进行统计分析，结果显示国考断面受面源污染影响较小，省考断面中有 4 个断面受面源污染影响较显著，分别是金川河宝塔桥、北十里长沟东支红山桥、外秦淮河三汊河口、北十里长沟西支化工桥。降水前，断面水质在Ⅱ~Ⅲ类，无超标现象；降水期间，水质变化明显，氨氮、总磷等监测因子浓度急剧升高，最差时达劣Ⅴ类水质，超标严重。研究区域典型断面分布图如图 1 所示。

分析发现，4 个断面均位于主城区，且采用同一组气象数据。根据气象数据，在 2022 年 3 至 11 月的 275 天中，有降水的天数为 60 天，占比 21.8%，其中降水量大于 5mm 的降水过程有 16 场。降水情况及断面雨后超标情况如图 2 所示。



图 1 研究区域典型断面分布图

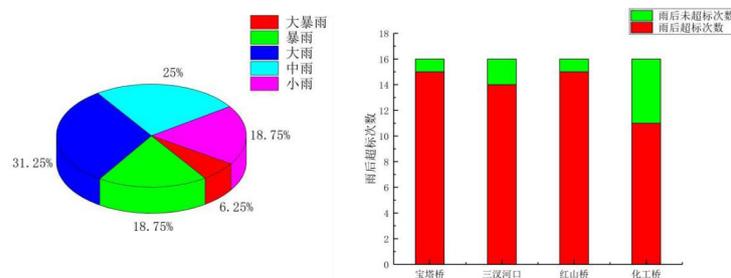


图 2 典型断面降水及雨后超标情况

从断面空间分布来看,一方面,受面源污染显著的四个断面均位于南京主城区,主城区雨污水管网由于建成时间长,存在不同程度的老旧破损,雨污混接等问题。例如,化工桥断面,断面上游 1.5 公里均为暗涵,汇水区域复杂,原有污水管网存在一定程度的损坏,降雨时混流污水漫溢下河。主城区不透水地面比例越高,城市降雨径流的水质污染将可能呈现越严重的趋势<sup>[13]</sup>。另一方面,四个断面均属于入江支流断面,河流沿线客观存在一定的末端截流设施,雨天溢流污染问题突出,在降雨期间,截流设施内雨污混流,污水管网负担过大,造成污水下河。例如,红山桥断面,北十里长沟东支沿线存在末端截污措施,部分排口截流设施管养不到位,径流污水漫溢下河,泵站污水应急释放。

从降水过程污染强度来看,3 至 11 月降水过程污染强度化工桥>三汊河口>红山桥>宝塔桥,超标因子比较集中,雨后主要超标因子为氨氮和总磷。总体而言,在降雨量为小到中雨时,降水过程污染强度与降雨量有较强的正相关,当降雨量为大到暴雨时,降水对污染物的稀释作用显著,降水过程污染强度与降雨量相关性较弱。典型断面降水过程污染强度如图 3 所示。

### 2.2 典型断面降雨前后水质变化

利用降雨前一天与降雨后一天主要指标的日均值,分析评价四个断面主要污染指标降雨前后的变化倍数,结果如图 3~4 所示。降雨量大于 5mm 时,降雨后氨氮、总磷指标总体呈上升趋势,且氨氮与总磷的变化趋势基本一致,其中氨氮的波动幅度相对较大。降雨前后氨氮变化

倍数宝塔桥为 0.12~9.11,三汊河口为 -0.22~4.14,红山桥为 -0.13~8.27,化工桥为 -0.56~13.39;总磷变化倍数宝塔桥为 -0.19~1.66,三汊河口为 -0.01~1.05,红山桥为 -0.04~1.55,化工桥为 -0.17~8.93。典型断面氨氮、总磷变化倍数如图 4 所示。

### 2.3 城市面源污染控制措施

面源污染对水环境质量有着严重影响,是当前城市水环境综合治理亟待解决的主要问题之一。根据分析南京面源污染分布特征及其成因,可以从以下几方面着手,治理城市面源污染,改善汛期水环境质量。

一是做好源头控制,强化源头治理。开展城镇区域水污染物平衡核算,制定源头治理方案,加强流域内污染源综合治理。在污染源产生地采取措施将污染物截流下来,可以根据实际情况,建设生态护岸、缓冲带等。

二是推进基础设施建设,加强基础设施维护管养。对重点河流沿线各片区开展雨污管网接点的排查和修复,着重做好暗涵整治;对截流设施实施精准化改造,推动截流设施常态化打开,实现雨水有效释放;加强管网、截流设施等基础设施日常养护,提高管养水平,减少合流污水入河。

三是完善水质监测体系,做好水污染预警溯源。在重点泵站、排口等关键点位处,布设小微站、雨量站等监测设备,提升监测预警预报能力;及时关注气象变化,特别是大雨及暴雨前后,应加密监测,利用无人机、无人船、走航、遥感监测等先进技术手段,精准溯源,对溯源问题限期整改销号,降低面源污染对河道水环境的影响。

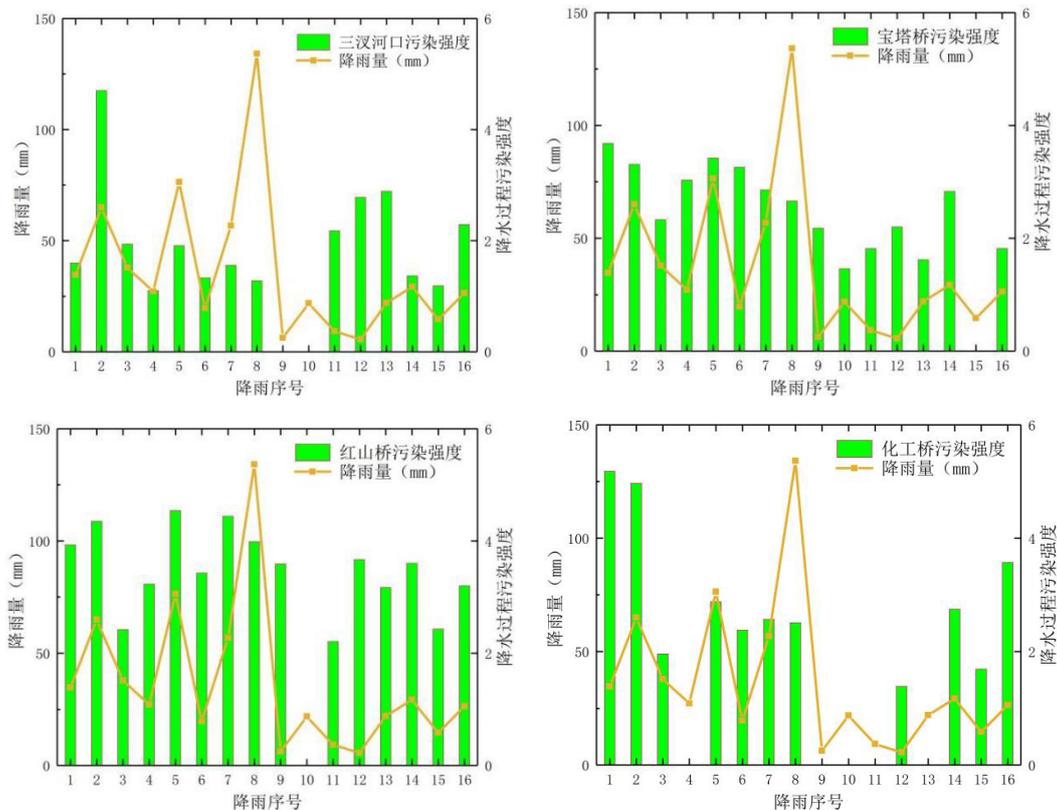


图 3 典型断面降水过程污染强度

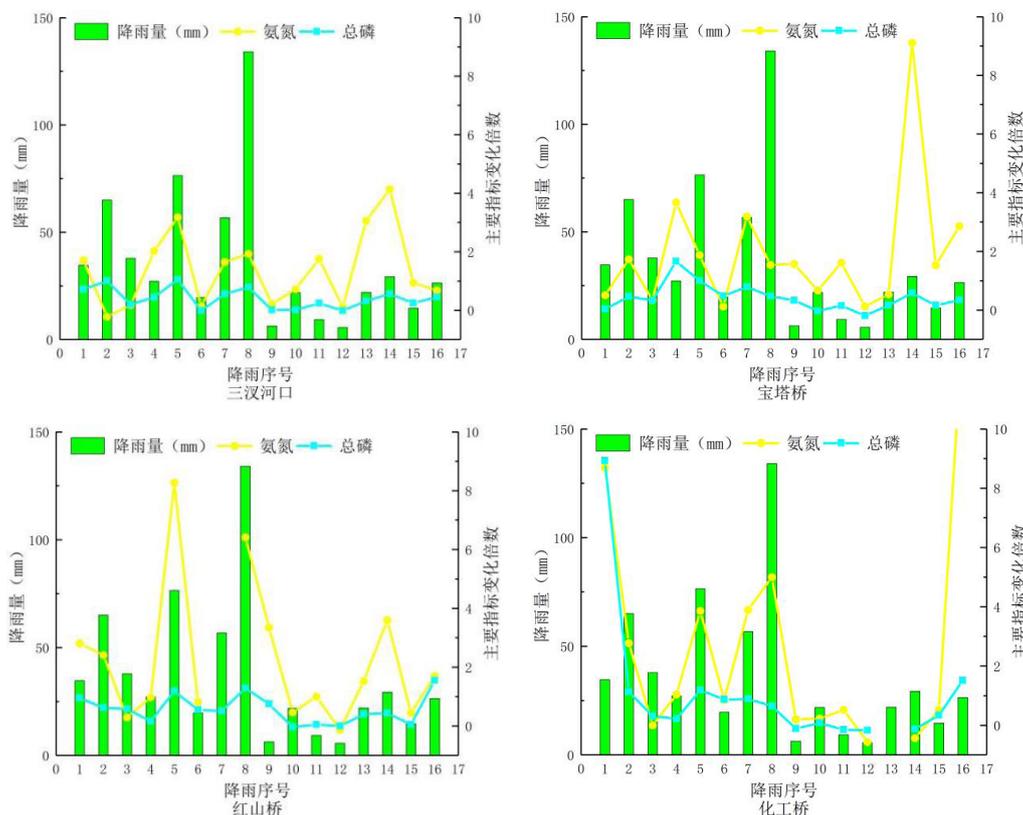


图 4 典型断面氨氮、总磷变化倍数

### 3 结论

基于 2022 年 3 至 11 月南京市水质自动监测数据及气象数据,对南京市面源污染分布特征进行了评价分析,结论如下:

①国考断面受面源污染影响较小,省考断面中金川河宝塔桥、北十里长沟东支红山桥、外秦淮河三汊河口、北十里长沟西支化工桥受面源污染影响显著。

②氨氮、总磷是南京市主城区面源污染最主要的污染因子,降雨后变化趋势基本一致,氨氮波动幅度较大。

③在未来的工作中,需结合水质自动监测网络及溯源排查,开展面源污染负荷估算,进一步研究南京主城区面源污染形成机理,为水质预测预报提供技术支撑。

#### 参考文献:

[1] 徐敏,张涛,王东,等.中国水污染防治40年回顾与展望[J].中国环境管理,2019,11(3):65-71.  
 [2] 侯培强,王效科,郑飞翔,等.我国城市面源污染特征的研究现状[J].给水排水,2009,45(S1):188-193.  
 [3] 张明睿,郑俊,徐力刚,等.城市小流域面源污染输出特征及污染负荷分类核算研究[J].环境监测管理与技术,2021,33(4):25-29.  
 [4] 夏宏生,林芳莉.广州市城区降雨径流水质特征分析[J].环境科学与管理,2010,35(5):129-131+150.  
 [5] 陈玉成,李章成,许红艳.城市地表径流污染及其全过程削减[J].水土保持学报,2004(3):133-136.

[6] 杨默远,潘兴瑶,刘洪禄,等.基于文献数据再分析的中国城市面源污染规律研究[J].生态环境学报,2020,29(8):1634-1644.  
 [7] 肖晨曦,王红武,戴晓虎.城市面源污染特点与控制技术研究进展[J].环境工程,2023,41(12):21-31.  
 [8] 赵晨,李晨,胡潜,等.城镇面源污染控制技术及其优化策略综述[J].环境工程,2023,41(12):11-20.  
 [9] 李小静,李俊奇,戚海军,等.城市雨水径流热污染及其缓解措施研究进展[J].水利水电科技进展,2013,33(1):89-94.  
 [10] 张琼华,王倩,王晓昌,等.典型城市道路雨水径流污染解析和利用标准探讨[J].环境工程学报,2016,10(7):3451-3456.  
 [11] 倪艳芳.城市面源污染的特征及其控制的研究进展[J].环境科学与管理,2008(2):53-57.  
 [12] 余游,唐凡,傅蕾玉,等.两江汇流半岛山地城市面源污染模型分析[J].环境生态学,2022,4(Z1):57-64.  
 [13] 梅超,刘家宏,王浩,等.城市下垫面空间特征对地表产汇流过程的影响研究综述[J].水科学进展,2021,32(5):791-800.  
 [14] 朱子奇.万州区海绵城市雨水径流污染影响因素分析[D].重庆:重庆交通大学,2024.  
 [15] 张千千,李向全,王效科,等.城市路面降雨径流污染特征及源解析的研究进展[J].生态环境学报,2014,23(2):352-358.

作者简介:邢学珂(1992-),男,中国山东威海人,硕士,工程师,从事水环境质量监测与评价研究。