

# 镇江市城区降雨径流水质分析

## Study on Quality of Runoff in Zhenjiang Urban Area

陈海丰<sup>1</sup>, 王新刚<sup>1</sup>, 盛建国<sup>1</sup>, 陈方艳<sup>1</sup>, 唐玉斌<sup>1</sup>, 赵冀平<sup>2</sup>, 胡 坚<sup>2</sup>

(1.江苏科技大学生物与化学工程学院, 江苏 镇江 212018; 2.镇江市水业总公司, 江苏 镇江 212003)

**摘要:** 雨水径流污染是城市面源污染的主要形式, 通过对镇江市城区 2011 年 10 场降雨径流水质监测, 分析了镇江市城区降雨径流水质。结果表明, 镇江市城区降雨径流存在一定污染, 直接排入城市地表水体会对其造成污染。其主要污染指标为 COD、BOD<sub>5</sub>、NH<sub>3</sub>-N、TP 和总悬浮颗粒物, 重金属含量较低, 基本不存在重金属污染。各种不同类型雨水径流水质污染程度差异较大, 天然降雨、屋面径流, 大市口路面径流水质相对较好, 基本能达到 III 或 IV 类水体的水质标准; 泵站、排口径流、河道径流污染较重, 大多属于超 V 类水体; 南门大街路面径流污染最为严重, 部分水质指标接近工业废水。

**关键词:** 面源污染; 降雨径流; 水质; 水质标准

**中图分类号:** TV121.1

**文献标识码:** A

**Abstract :** The urban runoff pollution is the main form of urban non-point pollution. The quality of runoff in Zhenjiang urban area has been studied, through monitoring water quality of ten times of urban rainfall in 2011. The results show that if discharged into surface water directly, the polluted rainfall runoff in Zhenjiang urban area will pollute it. The main pollution indexes are COD, BOD<sub>5</sub>, NH<sub>3</sub>-N, TP and TSS. The contents of heavy metals are low, so there are no heavy metal pollution. There are great differences between the pollution degree of the rainfalls and the runoff at different underline surfaces. The water quality of natural rainfall, roof runoff and road runoff of Dashikou is relatively good, which belongs to the III ~ IV type of the surface water quality. The runoff of the pump station, outlet of river and river channel is polluted seriously, which belongs to V type of the surface water quality. The road runoff with the most serious pollution is at Nanmen Street. Some water quality indexes are closed to industrial wastewater.

**Key words :** Non-Point Pollution; Rainfall Runoff; Water Quality; Water Quality Standard

**CLC number :** TV121.1

随着对工业污染和城市生活污染控制水平的提高, 点源污染得到有效控制, 面源污染已经成为水环境的重要污染源, 对城市水环境污染的影响日益突出<sup>[1]</sup>。降雨对大气污染物的淋洗及其对地表污染物的冲刷使雨水径流污染问题成为城市面源污染的主要形式。城市降雨和雨水径流及溢流水质特征是进行雨天面源污染控制所必需的基础资料, 因此调查城市降雨地表径流水质, 了解城市降雨污染负荷及其分布, 对于雨水径流污染控制有重要意义。

发达国家对雨水污染控制方面的研究较为成熟, 形成了一些高效、实用的雨水污染控制技术、管理方法以及各种非点源污染模型<sup>[2-5]</sup>。我国城市地表水环境非点源污染的研究主要集中在少数几个大中城市。汪慧贞等<sup>[6, 7]</sup>对北京市雨水径流水质状况、变化规律、影响因素以及污染控制技术等方面进行了较多的研究。尹澄清等<sup>[8, 9]</sup>研究了武汉市城区降雨径流污染过程和排放特征以及径流污染负荷对接纳水体的贡献。白瑶等<sup>[10]</sup>利用雨水径流截流渗滤系统控制城市面源污染在无

收稿日期: 2012-03-16

基金项目: 镇江市城市雨水径流污染负荷及分布研究

作者简介: 陈海丰(1980-), 男, 讲师、博士。研究方向: 环境污染治理。E-mail: datou1980@yeah.net

锡进行了中试研究,取得较好效果。徐贵泉等<sup>[11]</sup>利用调蓄池对溢流量、溢流污染物进行消减控制,来改善上海市苏州河水质。车伍等<sup>[12]</sup>研究了初期弃流控制在减轻城市雨水径流污染方面的应用。另有很多学者利用国外成熟的非点源污染模型结合实际情况加以修正,来预测城市雨水径流污染负荷<sup>[13, 14]</sup>。

镇江水环境治理的主要任务是通过研究,形成一套适合于镇江的城市面源污染削减技术。对镇江城区降雨径流水质进行监测,分析城区降雨径流水质特征,从而为镇江市雨水资源利用和面源污染控制提供基础性参考资料。

## 1 水样的采集与水质监测

### 1.1 采样点的选择

镇江市位于长江下游、宁镇山脉与长江三角洲平原的过渡带上,年平均降雨量1 063.2 mm,年产生雨水径流量为920 000 m<sup>3</sup>,集中在120 d左右排放到内江。在对镇江地理环境和市内水体情况调研的基础上,本研究选取了位于繁华市中心的大市口街道、南门大街、棒槌营小区和横贯镇江市区的主要河道古运河、运粮河、虹桥港等共21个采样点。其中古运河段包括了其途径市区的各主要雨水排口和4条支流的汇入口;运粮河和虹桥港包括了其间主要的雨水泵站;面源包含了闹市区路面,饮食街道路面,老住宅区屋面和小区。采样点的选取具有较好的代表性,能够反应

降雨径流水质。取样类别包括了天然雨水、屋面径流、路面径流及河道径流等。

### 1.2 采样方法

对2011年7月到10月期间的10场降雨进行了采样和检测分析。在降雨刚形成径流时开始取样,并将此时记为零点,取样时间持续2~3 h(根据降雨时长调整)。雨水排放口或雨水泵站零点选在雨水排放口出现排水,或雨水泵站开启水泵时。采样频次按前密后疏的原则,开始每隔5~15 min采集一次水样,1.5 h以后每个30 min采集一次水样。采样结束后,将各时间点取得水样按一定比例混合,作为混合样。采集水样的同时,监测降雨量、流量和水位等参数。

### 1.3 检测分析方法

样品采集好后当场测量pH值,运回实验室分析TSS、COD、NH<sub>3</sub>-N、TP、BOD<sub>5</sub>等指标。各指标测定均采用国标方法:TSS采用重量法,COD采用重铬酸盐法,NH<sub>3</sub>-N采用纳氏试剂分光光度法,TP采用钼酸铵分光光度法,BOD<sub>5</sub>采用稀释与接种法,铜、锌、铅采用原子吸收分光光度法。

## 2 城区降雨径流水质分析

### 2.1 有机物含量分析

有机物含量为降雨径流主要污染水质指标,降雨径流的有机物含量见表1。

表1 降雨径流的有机污染物含量

水样类别	COD/mg · L <sup>-1</sup>			BOD <sub>5</sub> /mg · L <sup>-1</sup>			BOD/COD
	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	
天然降雨	37.1	11.5	19.8	11.9	4.2	7.6	0.37
屋面	35.2	7.3	20.4	10.4	1.84	5.6	0.28
泵站	51.2	16.2	28.0	22.6	3.4	10.3	0.37
路面大市口	23.8	7.3	18.1	10.3	2.0	7.2	0.40
路面南门大街	1636	87.2	735	627	32.8	230	0.31
河道	85.4	27.8	45.7	39.2	7.8	18.3	0.40
排口	312	58.4	169.5	129	23.5	68.8	0.41

天然降雨与屋面径流有机污染物含量较低,COD值大多在7.3~37 mg/L,平均值在20 mg/L左右,大多属于IV和V类水体。雨水泵站径流中有

机污染物含量在16~51 mg/L,平均值为28 mg/L,为V类水体。排口径流中有机物污染较为严重,COD值在68~312 mg/L,平均值为169.5 mg/L,最

高值已接近生活污水水质。河道径流由于河水的稀释作用，有机物污染程度较轻，COD值在27.8~85.4 mg/L，平均值为45.7 mg/L，属于超V类水体。不同路面径流的有机物污染差别巨大，普通路面径流（以大市口路面为例）有机污染物含量较低，和天然降雨、屋面径流水质相似。南门大街路面径流有机物污染十分严重，COD值在87.2~1 636 mg/L，平均值为735 mg/L，已接近工业废水水质。其原因主要是南门大街

以餐饮业为主，且有众多的路边摊小吃，餐馆废水、垃圾随处排放，产生了较为严重的污染。各类降雨径流的BOD/COD值在0.28~0.41之间，可生化性较差，难以用生物法工艺进行处理。

### 2.2 营养物含量分析

营养物是降雨径流的另一个主要污染指标，降雨径流营养物含量见表2。

表2 降雨径流的营养物含量

水样类别	NH <sub>3</sub> -N/mg · L <sup>-1</sup>			TP/mg · L <sup>-1</sup>		
	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值
天然降雨	0.47	0.06	0.30	0.22	未检出	0.04
屋面	1.88	0.21	0.87	0.30	未检出	0.10
泵站	3.72	1.56	2.23	0.94	0.54	0.73
路面大市口	1.54	0.15	0.67	0.87	0.02	0.28
路面南门大街	3.02	0.04	1.10	1.18	0.42	0.79
河道	5.43	0.92	2.63	1.13	0.48	0.80
排口	4.28	0.39	2.03	3.01	0.41	1.84

天然降雨和屋面径流的营养物含量较低，NH<sub>3</sub>-N和TP平均值分别为0.30 mg/L、0.87 mg/L、0.04 mg/L和0.10 mg/L，均达到地表水Ⅲ类水体标准。大市口路面径流营养物含量也较低，NH<sub>3</sub>-N和TP平均值分别为0.67 mg/L和0.28，为Ⅳ类水体。南门大街路面径流营养物含量较高，NH<sub>3</sub>-N为0.04~3.02 mg/L，平均值为1.10；TP为0.42~1.18 mg/L，平均值为0.79 mg/L，为超V类水体。泵站、河道及排口径流营养物含量很高，NH<sub>3</sub>-N平均值均超过2.0 mg/L，TP平均值超过0.7 mg/L，其中排口的TP平均值高达1.84 mg/L。其原因包括两方面，一是晴天污染物积累后，经降雨的冲刷作用进入这些水体当中；二是镇江仅部分区域实现了雨污分流，其他区域仍是合流制管网，部分生活污水混入了雨水径流当中。

### 2.3 总悬浮固体分析

总悬浮固体也是降雨径流的一个主要污染指标，总悬浮固体含量见表3。

表3 降雨径流的总悬浮固体含量

水样类别	TSS/mg · L <sup>-1</sup>		
	最大值	最小值	平均值
天然降雨	119	37	72
屋面	274	87	132
泵站	370	87	188
路面大市口	141	42	86
路面南门大街	767	109	370
河道	752	122	285
排口	542	132	251

天然降雨的总悬浮固体含量最低，平均值为72 mg/L，接近工业废水的Ⅰ级排放标准。屋面和大市口路面雨水径流的总悬浮固体含量略高于天然雨水，平均值分别为86 mg/L和132 mg/L，符合工业废水的Ⅱ级排放标准。泵站、排口和河道径流的总悬浮固体含量较高，平均值为188 mg/L、251 mg/L和285 mg/L，符合工业废水的Ⅲ级排放标准。南门大街路面径流的总悬浮固体含量最高，达到了370 mg/L，接近工业废水的Ⅲ级排放标准限值。

地表径流中的悬浮固体能较好的吸附TP、

COD、BOD<sub>5</sub>等污染物,通过沉积或过滤去除城市地表径流中的悬浮固体,可以一定程度上减少这类污染物的含量。但溶解态的污染物无法通过沉积或过滤去除,例如90%多的总氮都为溶解态,这类雨水排放到河流湖泊等水体中对水体富营养化的影响非常严重<sup>[15]</sup>。

## 2.4 重金属含量分析

各类雨水径流中铅含量都很少,绝大多数水样中都检测不到铅,仅在前期晴天数较多时,路面径流中能测出含有少量的铅,其浓度也低于50 μg/L。天然降雨和屋面径流中重金属物质较少,路面、河道及排口的雨水径流中含有少量的铜和锌,主要以悬浮固体吸附的形式或重金属颗粒形式存在。其浓度受降雨强度和前期晴天积累影响显著,由于镇江属于降雨较多的城市,重金属难以有效富积,各类雨水径流的浓度在30~200 μg/L内,符合地表水Ⅲ类水体标准。可见城区降雨径流不会造成水体的重金属污染。

## 3 城区降雨径流水质变化规律

### 3.1 水质和降雨历时以及降雨量的关系

初期雨水的污染程度较重,随降雨历时的延长降雨径流水质会由重污染向轻污染转化,一般认为其临界时间是10~15 min。在此时间段,径流中污染物浓度较高,且波动大。某一排口在不同降雨强度下,其降雨径流的COD随降雨历时变化见图1。

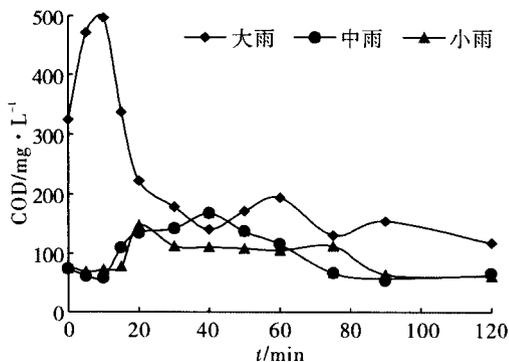


图1 排口水径流COD随降雨历时变化

图1看出,不同降雨强度下,其临界时间差别很大。小雨的临界时间开始较晚,且历时较

长,大多在20~60 min;中雨的临界时间约为15~40 min;大雨的临界时间约为5~10 min。由于汇水存在时间差,排口和泵站临界时间要迟于天然降雨、屋面径流和路面径流,河道径流延迟更多。当然,雨水径流水质的影响因素很多,例如两次降雨间隔天数,降雨的具体时间(季节、白天或夜晚)等,都会影响水质变化规律。

### 3.2 不同类型径流水质比较

根据前述雨水径流水质分析中各污染物浓度的数据,可得不同类型雨水径流水质优劣排序为:天然降雨径流、屋面径流、大市口路面径流、泵站径流、河道径流、排口径流、南门大街路面径流。天然降雨、屋面径流、大市口路面水质状况较好,主要得益于镇江市良好的绿化和城市卫生状况,以及相对较少的机动车排放污染物。泵站、河道和排口由于雨水的冲刷作用,污染较重,其中河道径流有河水的稀释作用,水质略好于排口。南门大街由于餐饮业、夜市、大排档聚集的特殊原因,污染十分严重,是镇江市面源污染控制后续工作的重点和难点。

## 4 结论

(1) 镇江市城区雨水径流存在一定程度的污染,其主要污染物为有机物,营养物和总悬浮颗粒物,基本不含重金属污染物。

(2) 不同类型降雨径流水质污染程度差异较大,天然降雨、屋面径流,大市口路面径流水质相对较好,多数指标能达到或接近Ⅲ或Ⅳ类水体的水质标准;泵站、排口径流、河道径流污染较重,部分指标超出了Ⅴ类水体标准;南门大街路面径流污染最为严重,COD和总悬浮颗粒物浓度已接近工业废水。

(3) 雨水径流有明显的初期冲刷作用,初期雨水污染程度较重,随后逐渐减轻。其临界时间和降雨强度相关,大雨的临界时间开始较早,历时较短;小雨则开始较晚,历时较长。不同类型的降雨径流的临界时间也存在时差。

(下转第49页)

在能源结构调整方面, 新能源发电成本持续降低, 发电装备的运行效率不断提高, 对新能源发电的政策优惠也要随之有所减弱, 但削减的速度要明显低于技术进步的速度。新能源发电的市场运行平台基本建立, 但还不够成熟, 仍需要行政手段加以辅助。

### 3.3 成熟——市场平台高效运行阶段、

经过一段时期的探索和磨合, 低碳经济的市场运行体系基本完善, 经济资源能自觉流向有利于节能减排的领域。行政干预手段将很少使用, 政府只作为低碳经济运行的监督者。制度创新、能源结构和产业结构基本趋于稳定, 不再是战略重点, 而为了保持这种良好的态势, 持续的技术创新成为唯一的战略主题。

在制度创新方面, 大体的低碳经济制度框架已经成型, 各项制度的实施层面也具备了较强的可操作性, 碳税征收、碳排放权交易制度和相关财政制度能起到合理高效配置经济资源的作用。大的制度变革将不会再出现, 但微小的制度增量调整将会持续进行。

在技术创新方面, 通过引进、消化吸收和二次创新, 在创新能力和创新人才方面具有了雄厚实力, 此时的技术创新重点, 应更多的面向具有更强辐射能力的基础研究方面, 由政府牵头, 通过直接投资或建立研发联盟等形式, 确立完备的低碳技术基础研究体系, 为保持区域竞争优势提

供最为可靠的原动力。

在产业结构和能源结构调整方面, 大体结构已趋于稳定, 形成了小而精干的传统工业和颇具优势的旅游、现代服务业, 但随着低碳技术的不断推陈出新, 在这些产业内部, 少量调整仍将持续。

## 4 结论

本文根据区域经济发展的一般规律和陕西省实际情况, 提出其发展低碳经济的战略选择, 即“以制度创新为根本, 以技术创新为动力, 优化产业结构, 调整能源结构”, 并从多个方面分析了该战略对陕西省经济发展的促进作用, 证实了其有效性和必要性。

最后, 从时间维度上, 提出陕西省的低碳发展将遵循“先紧后松”的发展路径, 具体包括起步、转型和成熟3个阶段, 并围绕制度、技术、产业结构和能源结构4个方面, 论述了每个阶段的工作重点, 和将呈现出的态势。

## 参考文献

(上接第25页)

### 参考文献

- [1] 官莹, 阮晓红, 胡晓东. 我国城市地表水环境非点源污染的研究进展[J]. 中国给水排水, 2003, 19(3): 21-23.
- [2] Michael D., Kaplowitz, Frank Lupi. Stakeholder preferences for best management practices for non-point source pollution and storm water control [J]. Landscape and Urban Planning, 2012, 104: 364-372.
- [3] Stacy L. Hutchinson, T. Keane, R.D. Christianson, et al. Management practices for the amelioration of urban storm water [J]. Procedia Environmental Sciences, 2011, 9: 83-89.
- [4] V. Polyakov, A. Fares, D. Kubo, et al. Evaluation of a non-point source pollution model, AnnAGNPS, in a tropical watershed [J]. Environmental Modelling and Software, 2007, 22: 1617-1627.
- [5] Michele Munafò, Giuliano Cecchi, Fabio Baiocco, et al. River pollution from non-point sources: a new simplified method of assessment [J]. Journal of Environmental Management, 2005, 77: 93-98.
- [6] 汪慧贞, 李宪法. 北京城区雨水径流的污染及控制[J]. 城市环境与城市生态, 2002, 15(2): 16-18.

- [1] 李俊峰, 马玲娟. 低碳经济是规制世界发展格局的新规则[J]. 世界环境, 2008, 2: 17-20.
- [2] Furubotn EG, Richter R著, 姜建强, 罗长远译. 新制度经济学: 一个交易费用分析范式[M]. 上海: 上海人民出版社, 2006.
- [3] 陈劲, 郑刚. 创新管理: 赢得持续竞争优势[M]. 北京: 北京大学出版社, 2009.
- [4] 道格拉斯·C·诺思著, 杭行译. 制度、制度变迁与经济绩效[M]. 上海: 格致出版社, 2008.
- [7] 车伍, 欧岚, 汪慧贞, 等. 北京城区雨水径流水质及其主要影响因素[J]. 环境污染治理技术与设备, 2002, 3(1): 33-37.
- [8] 李立青, 尹澄清, 何庆慈, 等. 武汉汉阳地区城市集水区尺度降雨径流污染过程与排放特征[J]. 环境科学学报, 2006, 26(7): 1057-1061.
- [9] 李立青, 尹澄清, 何庆慈, 等. 武汉市城区降雨径流污染负荷对受纳水体的贡献[J]. 中国环境科学, 2007, 27(3): 312-316.
- [10] 白瑶, 左剑恶, 千里里, 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.
- [11] 徐贵泉, 陈长太, 林卫青, 等. 初期雨水调蓄池控制溢流污染研究[J]. 中国给水排水, 2005, 21(8): 19-22.
- [12] 车伍, 张炜, 李俊奇, 等. 城市雨水径流污染的初期弃流控制[J]. 中国给水排水, 2007, 23(6): 1-5.
- [13] 车伍, 刘燕, 欧岚, 等. 城市雨水径流面污染负荷的计算模型[J]. 中国给水排水, 2004, 20(7): 56-58.
- [14] 韩凤朋, 郑纪勇, 王云强, 等. 黄河支流非点源污染物(N、P)排放量的估算[J]. 环境科学学报, 2006, 26(11): 1893-1899.
- [15] 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): 129-132.