

# 西安市降雨水质变化规律分析

袁宏林<sup>1,2</sup>, 陈海清<sup>1</sup>, 林 原<sup>1</sup>, 高阅军<sup>3</sup>, 龚 令<sup>1</sup>

(1. 西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 陕西 西安 710055; 2. 西部建筑科技国家重点实验室(筹), 陕西 西安 710055; 3. 西安陕鼓动力股份有限公司, 陕西 西安 710055)

**摘 要:**通过对西安市降雨过程中不同下垫面径流雨水水质分析,研究了雨水中污染物来源及水质变化特征。结果表明:西安市径流雨水中 SS、COD、NH<sub>3</sub>-N、TP 均超过 GB3838—2002《地表水环境质量标准》的 V 类标准;其中 SS、COD、TP 主要来源于径流过程雨水对下垫面的冲刷, NH<sub>3</sub>-N 主要来自源于降雨对大气的直接淋洗;径流雨水中各污染物浓度随降雨历时呈下降趋势,最终趋于稳定;雨水径流污染物 SS 与 COD、TP、NH<sub>3</sub>-N 的相关性较强,说明污染物质多以 SS 形态存在,控制雨水径流污染和雨水处理的关键是去除雨水径流中的 SS。

**关键词:**降雨;径流污染;相关系数;雨水利用;西安

**中图分类号:** X143      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1006-7930(2011)03-0391-05

鉴于水资源短缺和生态环境恶化,雨水利用受到越来越多的重视。近年来,城市雨水利用技术迅速发展。国外许多国家都开展了不同规模、不同用途的雨水利用技术的研究和实施计划<sup>[1-2]</sup>。20 世纪 90 年代以后,北京、上海、武汉、重庆、南京等许多城市也相继开展雨水利用研究工作。处理和回收利用雨水,已成为一种既经济又实用的水资源开发方式<sup>[3-5]</sup>。

西安地处关中平原中部,全市水资源总量 26.66 亿 m<sup>3</sup>,人均水资源占有量为 350 m<sup>3</sup>,占全国人均水资源量的 15%,全市多年平均降雨量为 583.7 mm,降水的年际和年内分布不均<sup>[6]</sup>,属严重缺水城市之一。本文以西安陕鼓动力股份有限公司厂区雨水收集利用工程为依托,通过对不同下垫面雨水水质取样测定,研究了雨水中污染物来源及水质变化特征,为雨水处理工艺的选择及工艺参数的确定提供依据。

## 1 材料及方法

### 1.1 汇水区域

汇水区域选在厂区 1 号集水池的收集区域,总面积 12 496 m<sup>2</sup>,可收集成品库屋面、地面雨水及部分马路路面水。排水体制为分流制,汇水区特征见表 1。

### 1.2 样品采集

为了分析降水各阶段的水质,我们对直接降水、屋面径流雨水、路面径流雨水、汇集后混合雨水进行了分段采集。直接降水是在整个降雨期间用 50 L 聚乙烯盆采集天然降雨;屋面雨水用 500 ml 宽口聚乙烯瓶在屋面雨水落水管处采集;路面雨水在道路雨水集水口用 500 ml 宽口聚乙烯瓶采集;混合雨水在雨水收集池入口前用 500 ml 宽口聚乙烯瓶采集,收集的雨水为屋面径流和路面径流汇合的综合径流。屋面雨水、路面雨水、混合雨水的采样时间间隔均为 10 min。监测了 2010 年 3 月 14 日和 3 月 31 日两场

表 1 汇水区的特征

Tab. 1 Characteristics of watershed

No.	Watershed name	Land surface properties	Area/m <sup>2</sup>
1	Roof	Painting color plate	5 092
2	Road surface	Modified asphalt pavement	5 644
3	Green spaces	Turf	1 760

收稿日期: 2010-11-05      修改稿日期: 2011-04-12

基金项目: 国家十一五重大水专项子课题资助项目(2009ZX07318-008-004)

作者简介: 袁宏林(1965), 男, 陕西岐山人, 副教授, 主要从事给水及污水处理理论与技术研究。

小雨,其中,3月14日降雨总历时 140 min,总降雨量 3.2 mm,降雨前晴天累计数 12 d;3月31日降雨总历时 160 min,总降雨量 4.7 mm,降雨前晴天累计数为 6 d.

1.3 样品分析

水样采集后进行水质分析,检测项目包括: pH、SS、COD、NH<sub>3</sub>-N、TP. pH 分析使用 pH S-3C 精密酸度计, COD 分析采用分光光度法, SS、NH<sub>3</sub>-N、TP 分析方法采用《水和废水监测分析方法》(第四版)中的重量法、纳氏试剂法、钼锑抗分光光度法.

2 结果与讨论

2.1 雨水中的污染物水平

雨水中污染物水平受降雨区域大气质量、汇水下垫面及周边环境、污染物积累时间、气候地质条件等很多因素影响. 表 2 分别列举了直接降雨、屋面径流雨水、路面径流雨水、混合雨水的污染物浓度, 括号内为监测场次的平均值.

表 2 雨水中污染物浓度

Tab. 2 The concentration of pollutants in rain water / (mg · L<sup>-1</sup>)

Types	Sampling date	pH	SS	COD	NH <sub>3</sub> -N	TP
Direct rainfall	14 March	7. 16	63. 5	48. 28	7. 87	0. 32
	31 March	7. 13	58. 5	46. 62	4. 5	0. 17
Roof runoff	14 March	6. 7 ~ 7. 0	426 ~ 877	73. 26 ~ 284. 1	8. 74 ~ 22. 47	0. 4 ~ 2. 32
	31 March	6. 98 ~ 7. 37	124 ~ 689	53. 28 ~ 342. 1	6. 24 ~ 21. 62	0. 21 ~ 2. 17
Road surface runoff	14 March	6. 4 ~ 6. 78	439 ~ 722	86 ~ 221	8. 14 ~ 13. 57	0. 49 ~ 1. 3
	31 March	6. 8 ~ 7. 61	199 ~ 657	114. 6 ~ 431	3. 92 ~ 6. 30	0. 51 ~ 1. 29
The mixed rainwater	14 March	6. 72 ~ 7. 12	436 ~ 526	67 ~ 158	9. 56 ~ 24. 91	0. 38 ~ 0. 64
	31 March	7. 11 ~ 7. 39	187 ~ 346	46. 62 ~ 93. 24	5. 08 ~ 9. 15	0. 22 ~ 0. 46

表 2 显示, 各点采集雨水的 pH 值均在 7 左右, 波动不大. 雨水中的主要污染物为 SS、COD、NH<sub>3</sub>-N、TP, 污染物主要来源于雨水对屋面、路面的冲刷. 其中 SS 浓度超过城市污水 2 倍以上; 相比《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002) V 类水质要求, 屋面径流中 COD、NH<sub>3</sub>-N、TP 平均浓度超标倍数达到 4 倍、6 倍、3 倍, 路面径流中 COD、NH<sub>3</sub>-N、TP 平均浓度超标倍数达到 7 倍、5 倍、2 倍, 混合雨水中 COD、NH<sub>3</sub>-N、TP 平均浓度超标倍数达到 3 倍、6 倍、2 倍. 可见, 雨水的污染较为严重, 直接排入水体会给水环境带来冲击.

总体来看, 第 1 场降雨中的污染物浓度要高于第 2 场降雨, 这主要与降雨前的晴天数有关, 也就是说降雨前累积的晴天数越长, 降雨时雨水中的污染物越多, 说明污染物的根本来源是粉尘积累. 另外, 由于两次降雨均为小雨量级别, 径流量较小, 集水井及管道对污染物有一定的沉淀截留作用, 致使混合雨水污染物浓度略低于屋面和路面径流雨水.

2.2 雨水载入污染物的途径

一般来说, 雨水中的污染物主要是降雨过程中雨水对大气的淋洗、对屋面和路面的冲刷. 对两场降雨做污染物来源的分析, 计算两场降雨淋洗大气和冲刷下垫面携入污染物的平均比例. 图 1 和图 2 分别表示了降雨过程中淋洗大气与冲刷屋面、淋洗大气与冲刷路面时携入污染物占总径流污染物的百分比. 结果显示, 雨水冲刷下垫面是携入 SS、COD、TP 的主要来源, 雨水淋洗大气是携入 NH<sub>3</sub>-N 的主要来源.

2.3 雨水径流水质变化规律

图 3 是屋面雨水的水质指标随降水历时的变化规律, 图 4 是路面雨水的水质指标随降水历时的变

化规律. 由图 3 和图 4 可以看出:

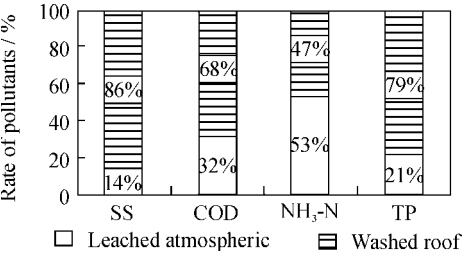


图 1 降雨淋洗大气与冲刷屋面的  
污染物比例

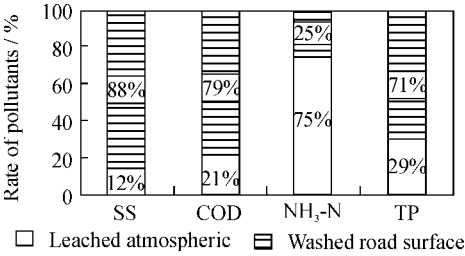


图 2 降雨淋洗大气与冲刷路面  
的污染物比例

Fig. 1 The rate of pollutants of atmospheric leaching of  
rainfall and washed roof

Fig. 2 The rate of pollutants of atmospheric leaching of  
rainfall and washed road surface

(1)产流初期, 径流雨水中污染物浓度较高, 屋面雨水中 SS、COD、NH<sub>3</sub>-N、TP 的浓度分别达到 700~870 mg/L、280~340 mg/L、15~22 mg/L、2~2.3 mg/L, 路面雨水中 SS、COD、NH<sub>3</sub>-N、TP 的浓度分别达到 680~720 mg/L、330~430 mg/L、13~15 mg/L、0.9~1.1 mg/L. 随着降雨历时的延续, 各项污染物指标呈现下降趋势, 最后趋于平稳.

(2)两场降雨均为小级别降水, 降雨强度较小, 降雨历时较长. 污染物在形成径流 60 min 后趋于稳定. COD、TP 分别稳定在 100 mg/L、0.5 mg/L 左右, 第 1 场降雨的 NH<sub>3</sub>-N、SS 分别稳定在 10 mg/L、400 mg/L 左右, 第 2 场降雨的 NH<sub>3</sub>-N、SS 分别稳定在 5 mg/L、200 mg/L 左右.

(3)各污染物下降趋势与张向东等人在辽宁对中雨和大雨做的研究相比更为平缓<sup>[7]</sup>, 说明小雨过程径流污染物的携入冲刷作用较弱, 主要以淋洗、溶解等作用带入雨水径流.

(4)从整体污染水平上看, 3 月 31 日路面雨水中的污染物水平高于屋面雨水, 符合地面污染物来源广泛的实际, 但是 3 月 14 日路面雨水中的污染物水平低于屋面雨水, 究其原因可能是污染物积累时间长(12 天), 地面道路在此期间得到清理. 另外, 路面雨水污染物浓度波动较大, 说明降雨期间地面污染物进入径流雨水的随机性很大.

(5)从污染物浓度下降趋势看, 降雨持续 30 min 以内时雨水中所含的污染物较多, 所以对西安地区小雨量的初期雨水界定时间可以采取 30 min.

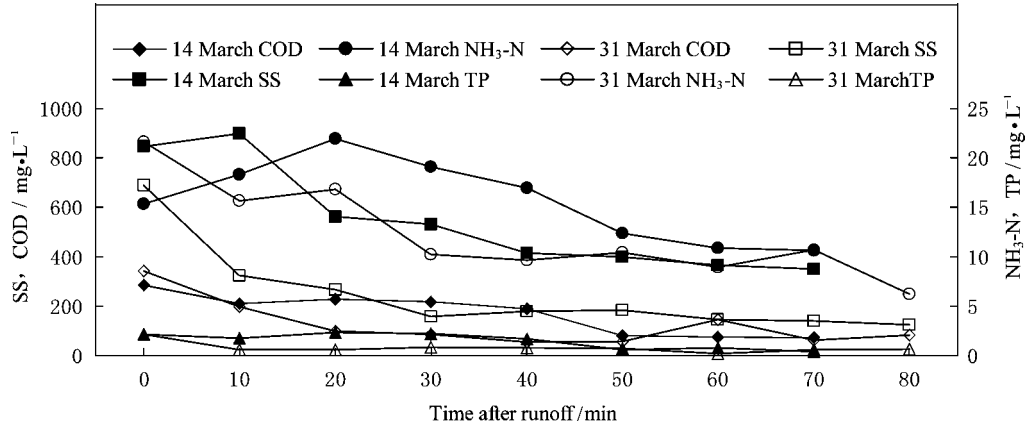


图 3 屋面雨水水质变化规律

Fig. 3 Changes of water quality in roof rainwater

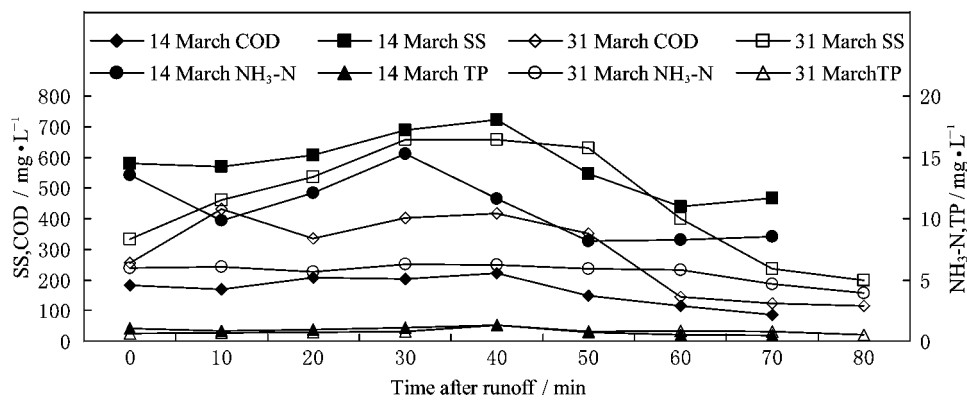


图 4 路面雨水水质变化规律

Fig. 4 Changes of water quality in road rainwater

2.4 雨水中污染物相关性分析

以 SS、COD、TP 和 NH<sub>3</sub>-N 分别代表颗粒物、有机物、营养物,研究了径流雨水中各污染物量之间的相关关系,见表 3.结果显示,SS 与 COD 具有很强的相关性,对于屋面雨水和路面雨水,其相关系数分别为 0.9 与 0.89.同时 SS 与 TP、NH<sub>3</sub>-N 的相关系数也都超过 0.65,具有较好的相关性.说明各类污染物质大多附着在颗粒物上,因此认为控制雨水径流污染和雨水处理的关键是去除雨水中的 SS.

表 3 各污染物之间的相关系数

Tab. 3 The correlation coefficient between each pollutant

Type	Pollutant	Correlation coefficient R			
		SS	COD	NH <sub>3</sub> -N	TP
Roof runoff	SS	1	0.9	0.65	0.86
	COD	0.9	1	0.78	0.85
	NH <sub>3</sub> -N	0.65	0.78	1	0.66
	TP	0.86	0.85	0.66	1
Road surface runoff	SS	1	0.89	0.78	0.79
	COD	0.89	1	0.77	0.68
	NH <sub>3</sub> -N	0.78	0.77	1	0.65
	TP	0.79	0.68	0.65	1

3 结 论

(1)西安市径流雨水中 SS、COD、NH<sub>3</sub>-N、TP 均超过 GB3838-2002《地表水环境质量标准》的 V 类标准数倍,直接排入水体会造成水环境污染.其中 SS、COD、TP 主要来源于降雨过程中雨水对下垫面的冲刷,NH<sub>3</sub>-N 主要来源于降雨对大气的直接淋洗.

(2)初期雨水中 SS、COD、NH<sub>3</sub>-N、TP 的浓度在屋面雨水中分别达到 700~870 mg/L、280~340 mg/L、15~22 mg/L、2~2.3 mg/L,在路面雨水中分别达到 680~720 mg/L、330~430 mg/L、13~15 mg/L、0.9~1.1 mg/L.随着降雨历时的延续,各项污染物指标呈现下降趋势.从污染物浓度下降趋势看,对西安地区小雨量的高浓度初期雨水界定时间可以采取 30 min.

(3)雨水对污染物的载入量与降雨前的晴天数有关,降雨前累积的晴天数越长,降雨时雨水中的污染物越多,说明污染物的根本来源是粉尘积累.

(4)雨水径流污染物 SS 与 COD、TP、NH<sub>3</sub>-N 的相关性较强,说明污染物质多以 SS 形态存在,控制雨水径流污染和雨水处理的关键是去除雨水径流中的 SS.

## 参考文献 References

- [1] KIM G, YUR J, KIM J. Diffuse pollution loading from urban stormwater runoff in Daejeon city, Korea[J]. *Environ Manag*, 2006, 7: 10-16.
- [2] CHRIS S. BRANFIREUN E B. Simulated rain events on an urban roadway to understand the dynamics of mercury mobilization in stormwater runoff. [J]. *Water Resources*, 2009, 43: 3635-3646.
- [3] 吴正刚, 江 浩, 解静静. 雨水水质监测与常规处理技术的试验研究[J]. *环境科学与管理*, 2008, 5: 125-127.  
WU Zheng-gang, JIANG Hao, XIE Jing-jing. Rainwater Quality Monitoring and Experiment Research on Treating Rainwater by Conventional Method [J]. *Environmental science and management*, 2008, 5: 125-127.
- [4] 肖海文, 翟 俊, 邓荣森, 等. 处理生态住宅区雨水径流的人工湿地运行特性研究[J]. *中国给水排水*, 2008, 6: 34-38.  
XIAO Hai-wen, ZHAI Jun, DENG Rong-sen, et al. Performance of Constructed Wetland for Treatment of Stormwater Runoff in Eco-residential Area[J]. *CHINA WATER & WASTEWATER*, 2008, 6: 34-38.
- [5] 戴 斌, 徐国勋. 上海住宅小区雨水利用的特征分析[J]. *中国给水排水*, 2007, 23(2): 75-77.  
DAI Bin, XU Guo-xun. Characteristic Analysis of Rainwater Utilization in Residential Areas of Shanghai City [J]. *CHINA WATER & WASTEWATER*, 2007, 23(2): 75-77.
- [6] 赵红斌, 宇文娜. “八水绕长安”的景观生态演变及规划利用研究[J]. *西安建筑科技大学学报: 自然科学版*, 2009, 41(2): 262-268.  
ZHAO Hong-bin, YU Wen-na. May the eight rivers run across chang'an again——Study on the ecological evolution, planning and utilization of the rivers running around Xi'an[J]. *J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech.: Natural Science Edition*, 2009, 41(2): 262, 268.
- [7] 张向东, 李喜林, 刘 玲, 等. 北方建筑小区雨水径流水质变化规律与处理利用研究[J]. *水资源与水工程学报*, 2009, 8: 26-28.  
ZHANG Xiang-dong, LI Xi-lin, LIU Ling, et al. Study on the Water Quality Variation and Treatment of Rainwater Runoff in North Building District [J]. *Journal of Water Resources & Water Engineering*, 2009, 8: 26-28.

## Analysis of quality variation of rainwater in Xi'an

YUAN Hong-lin<sup>1,2</sup>, CHEN Hai-qing<sup>1</sup>, LIN Yuan<sup>1</sup>, GAO Yue-jun<sup>3</sup>, GONGling<sup>1</sup>

(1. School of Envir. and Muni. Eng, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China;

2. State Key Laboratory of Architecture Science and Technology in West China (XAUAT), Xi'an 710055, China;

3. Xi'an Shaangu Power Co., Ltd, Xi'an 710055, China)

**Abstract** Through the analysis of different underlying surfaces during rainfall Xi'an stormwater runoff water quality, this paper studies the sources of pollutants in stormwater and water quality variations. The results showed that the SS, COD, NH<sub>3</sub>-N, and TP of rainwater in Xi'an exceed V water requirements of GB3838-2002 in "Surface Water Environmental Quality Standard". SS, COD and TP are mainly from rainfall runoff process by the underlying surface erosion and NH<sub>3</sub>-N is mainly from the leach of atmosphere caused by rainfall. The concentration of pollutants shows overall downward trend in rainfall process, tends to be stable eventually. SS, the pollutant of stormwater runoff is related to COD, TP and NH<sub>3</sub>-N. All kinds of pollutants are mostly attached to the particles. The removal of SS is the key to the control of the stormwater runoff pollution and stormwater treatment.

**Key words:** rainfall; runoff pollution; correlation coefficient; rainwater utilization; Xi'an