

高速公路路面径流水质特性及排污规律

赵剑强,刘 珊,邱立萍,陈 莹 (长安大学环境工程学院,陕西 西安 710064)

摘要: 采用现场连续取样,在雨天某一时段对西安至临潼高速公路路面径流排水进行了监测.结果表明,高速公路路面排水具有较高的污染强度,污染物以 SS 和 COD 为主,且生物可降解性较差.水质参数 SS、COD、总 Pb、总 Zn 之间存在较好的线性相关关系.分析探讨了路面径流污染物排放规律及其对河流水质的影响.

关键词: 路面径流; 水质; 排污

中图分类号: X508

文献标识码: A

文章编号: 1000-6923(2001)05-0445-04

The characteristics of expressway runoff quality and pollutants discharge rule. ZHAO Jian-qiang, LIU Shan, QIU Li-ping, CHEN Ying (School of Environmental Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, China). *China Environmental Science*. 2001,21(5): 445~448

Abstract: With on-site continuous sampling, drainage water from expressway runoff of Xi'an-Lintong expressway was monitored in a period of a wet weather. The results show that the expressway runoff has greater pollution intensity and the main pollutants are SS and COD with rather low biodegradability. There are better linear relations among the water quality parameter SS, COD, total Pb and total Zn. The rule of pollutant discharge of the highway runoff and its impact on water quality of the river were discussed.

Key words: highway runoff; water quality; pollutant discharge

城市地表径流污染的研究开始于 20 世纪 70 年代初期,最早策划这一研究的机构是美国国家环境保护局,研究重点以城市地表径流为对象.之后,随着研究的深入,包括城市道路和高速公路在内的路面径流被给予关注,至今路面径流已逐渐发展成为一门具有自身特征的相对独立的研究领域^[1].

在我国,关于路面径流污染方面的研究除了在公路建设项目环境影响评价工作中将路面径流作为一项影响地表水体水质的因素加以分析评价外,尚没有见到深入研究的报道.路面径流这一具有非点源污染特征的地表径流,在影响地表水体水质方面,不仅体现在对地表水体悬浮固体浓度有着较大影响,而且较明显地影响着重金属和有机物的含量.所以,本研究以西安至临潼高速公路雨天桥面径流排水为对象,在某一时段的时间间隔内连续监测水量及水质,以探讨路面径流污染源的强度、水质特性、排污规律以及对地表水体水质的影响.

1 研究方法

1.1 采样地点

在降雨期间对西安至临潼(简称西临)高速公路浐河大桥桥面径流排水水量及水质进行等时间间隔连续采样分析,采样点为大桥排水孔(落水管).该公路为双向 4 车道,全封闭,全立交,设中央分隔带,带宽 1m,单向机动车道路面宽为 10m,桥面宽为 9m.桥面采样点汇流面积为 608m².

1.2 水质分析项目

水质分析项目为 SS、COD、总 Pb、总 Zn、溶解性 COD 及 BOD₅,其中溶解性 COD 及 BOD₅仅测定了混合样平均值.

1.3 采样时间及降雨状况

采样时间为 2000 年 10 月 10 日上午 9:30~11:00,每隔 11min 取水样 1 次,测流量 1 次,计量降雨强度 1 次(11min 平均值),测试结果见表 1.

收稿日期: 2001-02-21

基金项目: 陕西省自然科学基金资助项目(99C09)

表 1 西临高速公路桥面径流测试结果

Table 1 Monitoring results of the bridge runoff of Xi'an-Lintong expressway

测试参数	采样时间 (2000-10-10)								算术平均浓度 (mg/L)	流量加权平 均浓度(mg/L)	《地表水环境质 量标准》Ⅲ类		《污水综合排 放标准》Ⅰ级
	9:31	9:42	9:53	10:04	10:15	10:26	10:37	10:48					
降雨强度×10 ⁻³ (mm/min)	15.5	36.1	47.7	23.1	17.3	7.2	25.3	52					
地表径流量(mL/s)	161	378	508	300	232	110	280	560					
SS(mg/L)	200	813	288	225	228	126	239	339	307	347	(灌 100)	70	
COD(mg/L)	208	412	161	64	89	58	81	148	153	167	20	100	
总 Pb(mg/L)	0.21	0.77	0.18	0.10	0.09	0.05	0.10	0.15	0.21	0.23	0.05	1.0	
总 Zn(mg/L)	0.46	1.34	0.36	0.21	0.20	0.15	0.27	0.32	0.41	0.45	1.0(渔 0.1)	2.0	

1.4 交通状况

同步统计雨天交通量为 372 辆/h(单向),其中大型车 108 辆,占 29.0%,中型车 48 辆,占 12.9%,小型车 216 辆,占 58.1%.

2 结果与讨论

2.1 路面径流水质特性

由表 1 可见,高速公路路面排水具有较高的污染强度,污染指标值范围为 SS=813~126mg/L, COD=412~58mg/L,总 Pb=0.77~0.05mg/L,总 Zn=1.34~0.15mg/L,算术平均浓度为 SS=307mg/L, COD=153mg/L,总 Pb=0.21mg/L,总 Zn=0.41 mg/L,流量加权平均浓度为 SS=347mg/L,COD= 167mg/L,总 Pb=0.23mg/L,总 Zn=0.45mg/L.可见 SS 及 COD 平均浓度值大于《地表水环境质量标准》(GHZB1-1999)Ⅲ类和《污水综合排放标准》(GB8978-1996)Ⅰ级,总 Pb 和总 Zn 浓度小于《污水综合排放标准》Ⅰ级,但总 Pb 高于《地表水环境质量标准》Ⅲ类,总 Zn 高于《渔业用水水质标准》.

回归分析表明,各水质参数之间存在较好的线性相关关系,相关曲线如图 1 所示,回归方程为:

$$\text{COD}=0.499\text{SS}-0.7045 \quad R^2=0.8245$$
$$\text{Pb}=0.001056\text{SS}-0.1181 \quad R^2=0.9306$$
$$\text{Zn}=0.001732\text{SS}-0.1184 \quad R^2=0.9126$$
$$\text{Zn}=1.6537\text{Pb}+7.268 \quad R^2=0.9961$$

实验同时测定了混合样溶解性 COD 和 BOD 的值,结果表明溶解性 COD 为 28.4mg/L,占总 COD 的 18.6%,混合样 BOD₅ 为 30mg/L,与

COD 比值为 0.2,说明高速公路路面径流排水有机污染以非溶解性 COD 为主,且生物可降解性较差.

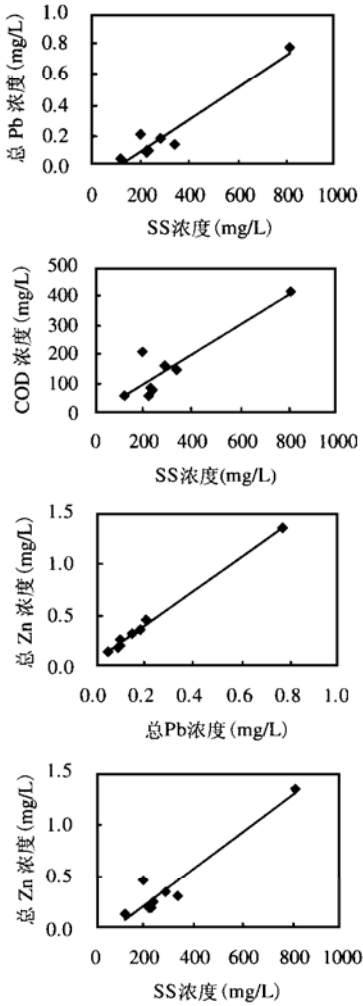


图 1 各水质指标的相关性曲线

Fig.1 Relation curves among water quality parameters

2.2 路面径流排污规律

研究地表径流对受纳水体的长期影响及环境容量的影响,一般只需了解一场降雨总的排污负荷就可以了,而对于评价受纳水体所受的短期冲击影响以及排水系统的规划设计,就需要了解地表径流的排污过程^[2,3].在以往 30 多年的研究中,对地表径流排污过程的数学模拟最常见的模型是由 Metcalf 等人^[4]提出的冲刷模型(Wash-off model),假设径流过程中不透水地表表层沉积物的冲刷速率与沉积的污染物质成正比,推导出径流过程中污染物浓度 C_t 随累积径流深度变化方程式:

$$C_t = \frac{k_2 P_0}{A} e^{-k_2 R_t} = C_0 e^{-k_2 R_t} \quad (1)$$

式中: P_0 为暴雨开始时地表污染物质(kg); A 为汇流面积(m^2); $C_0=k_2 P_0/A$ 为径流开始时雨水中污染物浓度(mg/L); k_2 为冲刷系数(经验值)(mm^{-1}); R_t 为暴雨开始 t 天后的累积径流深度(mm).

冲刷模型曾被一些研究者采用,以模拟实际径流排污过程,如: Barrett 等人^[4,5]对美国得克萨斯州奥斯汀市的 Mopac 高速公路西 35 街路段(该路段位于居住及商业混合区,交通量为 60000 辆/d)的研究,对其中一场降雨的 TSS 实测数据分析得到: $C_t=372 e^{-0.34 R_t}$. Hardee 等人^[6]对佛罗里达州 Pade 郡某住宅区地表径流中总铅的测试数据采用最小二乘法回归分析总铅浓度与累积径流深度的相关关系,得到: $C_t=2.5 e^{-0.14 R_t}$, $R^2=0.8934$ ($n=6$). Haster and James^[6]从得克萨斯州休斯敦市的 Hart Lane 流域地表径流测试数据中得到可沉固体排放浓度与累积径流深度的关系: $C_t=515 e^{-0.21 R_t}$, $R^2=0.9979$ ($n=4$).但是,也有许多研究对冲刷模型提出异议^[3,4].不难看出,冲刷模型表示了一个径流排污浓度 C_t 随累积径流量单调递减的规律,由于累积径流量随径流时间单调递增,所以, C_t 亦随径流时间单调递减,这与许多测试结果相矛盾^[3,7,8].本实验测试结果表现出污染物浓度随径流时间明显地起伏变化(图 2).尽管所测数据是一场降雨的一个中间时间段,也

足以说明其不具单调递减的趋势.

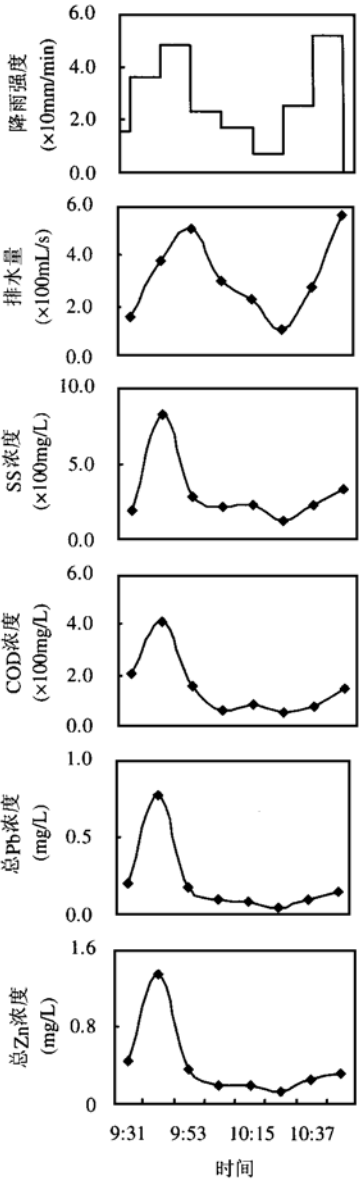


图 2 水质参数随径流时间变化曲线
Fig.2 Curves of water quality parameters vs. runoff time

采用冲刷模型对本实验结果进行指数拟合,得回归方程为: $C_t=325.97 e^{-0.1542 R_t}$, $R^2=0.0438$,可见,本实验结果不符合冲刷模型所描述的规律.作者认为,该模型仅适用于降雨强度变化不大,且降雨过程中不再有新的污染物输入到地表的场合,对于象公路路面这种在降雨过程中车辆交通污染

物输入明显的情况,径流中污染物排放过程不符合这一模型所描述的规律.其原因可能是该模型没有考虑降雨期间污染物的产生和积累问题,特别是在路面径流方面,当降雨强度较小时,降雨期间排放的污染物积累现象非常明显.

2.3 对地表河流水质的影响

路面排水对地表水体的污染属于地表径流产生的面源污染范畴.面源污染对地表水体的影响已被证明是非常严重的,1990 年美国关于水体污染的调查表明,约 30%水体的污染物超标是由面源污染造成的^[9].在我国滇池湖泊流域的大青河暴雨期悬浮物浓度比平时均值高 22 倍,宝象河暴雨期最大悬浮物浓度是非暴雨期的 106 倍^[10].可见地表径流是地表水体水质污染的主要来源之一.为说明浐河桥面径流对浐河水质的影响,将降雨期间及晴天时浐河水质参数值及执行的相关标准值列入表 2.

表 2 浐河降雨期间及晴天水质与相关标准对照
Table 2 Comparison of water quality of Chanhe River with relative standards in dry and wet weathers

水质参数	晴天	降雨期间	《地表水环境质量标准》Ⅲ类
SS (mg/L)	45	192	(灌 100)
COD (mg/L)	10	43.6	20
总 Pb (mg/L)	0.02	0.03	0.05
总 Zn (mg/L)	0.03	0.045	1.0(渔 0.1)

由表 2 可见,浐河水质在晴天时满足《地表水环境质量标准》(GHZB1-1999)Ⅲ类的要求,在本次降雨期间 SS 及 COD 的值增大到晴天时的 4 倍多,总 Pb 及总 Zn 增大到晴天时的 1.5 倍,雨天时的 SS 及 COD 值超过标准限值.比较表 1,表 2,可见桥面径流各水质指标平均值均高出降雨期间的河水水质指标值,以流量加权平均浓度作比较,桥面径流 SS 是降雨期间河水 SS 的 1.8 倍,COD 是 3.8 倍,总 Pb 是 7.7 倍,总 Zn 是 10 倍.说明桥面排水对河水水质有一定的影响,其影响程度取决于河流流量与桥面及汇集于此河流的路面径流量的相对大小.

3 结论

3.1 高速公路路面径流排水具有较高的污染强度,各水质参数之间存在较好的线性相关关系,有机污染以非溶解性 COD 为主,生物可降解性较差.

3.2 高速公路路面径流污染物排放不符合冲刷模型描述的排污规律.

3.3 高速公路路面径流对地表河流水质有一定的影响.

参考文献:

[1] James W. Current practices in modeling the management of stormwater impacts [M]. Florida: Lewis Publishers, 1994.

[2] Sansalone J J, Buchberger S G. Partitioning and first flush of metals in urban roadway stormwater [J]. J. of Envir. Engrg., ASCE, 1997, 123(2): 134-143.

[3] Deletic A B, Maksimovic C T. Evaluation of water quality factors in storm runoff from paved areas [J]. J. of Envir. Engrg, ASCE, 1998, 124(9): 869-879.

[4] Charbeneau R J, Barrett M E. Evaluation of methods for estimating stormwater pollutant loads [J]. Water Environment Research, 1998, 70(7): 1295-1302.

[5] Barrett M E, Jr Irish L B, Jr Malina J F, et al. Characteristics of highway runoff in Austin, Texas, area [J]. J. of Envir. Engrg. ASCE, 1998, 124(2): 131-137.

[6] Millar R G. Analytical determination of pollutant wash-off para-meters [J]. J. of Envir. Engrg., ASCE, 1999,125(10):989-992.

[7] Cordery I. Quality characteristics of urban storm water in Sydney, Australia [J]. Water Resources Research, 1977, 13(1): 197-202.

[8] 赵剑强,闫 敏,刘 珊,等. 城市路面径流污染的调查 [J]. 中国给水排水, 2001, 17(1): 33-35.

[9] Wu J S, Allan C J, Saunders W L, et al. Characterization and pollutant loading estimation for highway runoff [J]. J. of Envir. Engrg., ASCE, 1998, 124(7): 584-592.

[10] 扬具瑞,方 译. 湖泊暴雨径流水质模拟研究 [J]. 环境科学学报, 1999, 19 (1):37-41.

作者简介: 赵剑强(1963-),男,陕西商州人,博士,长安大学环境工程学院副教授,主要从事水污染控制技术研究及环境影响评价.承担过省自然科学基金项目“汽车对路面径流水的污染及净化特性研究”等研究工作,获省部级科技进步奖 2 项.发表论文 40 余篇.