
应用
技
术

珠海城区暴雨径流污染负荷估算及其评价

卓慕宁, 王继增, 吴志峰, 万洪富, 李定强

(广东省生态环境与土壤研究所 广东省农业环境综合治理重点实验室, 广东 广州 510650)

摘要: 基于对广东珠海城区暴雨径流污染的监测, 引用 SCS 模型对城区暴雨径流污染负荷进行估算并分析评价。结果表明, 珠海城区暴雨产流年平均 1529.2 mm, 其中以交通主干道和商业区径流量最大。暴雨径流污染物浓度水平较高, T-N, T-P, COD_{Cr} 和 BOD₅ 负荷总量分别为 765.27, 74.06, 11958.94 和 1104.71 t, 其中 COD_{Cr} 负荷为工业点源污染的 72.32%, 占珠海非点源污染总负荷的 24.69%。暴雨径流在雨后短时间内会使受纳水体的水质迅速恶化。因此, 珠海城区暴雨径流对水环境的威胁较大。

关键词: 珠海; 城区暴雨径流; 污染负荷

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2003)05-0035-04

中图分类号: X52

Calculation of Pollutant Load of Urban Storm Runoff and Its Estimation in Zhuhai City

ZHUO Mu-ning, WANG Ji-zeng, WU Zhi-feng, WAN Hong-fu, LI Ding-qiang

(Guangdong Institute of Eco-environment and Soil Science, Guangdong Key Laboratory of Comprehensive Control of Agro-environment, Guangzhou 510650, Guangdong Province, China)

Abstract: Based on monitoring of pollutants in urban storm runoff in Zhuhai city, pollutant loads are calculated with the SCS hydrologic model, and the results of the calculations are considered. The results show that the annual mean value for runoff is 1529.2 mm, with of the highest values coming from traffic roads and commercial districts. The concentration of pollutants is high in the urban storm runoff. The pollutant loads for T-N, T-P, COD_{Cr} and BOD₅ are 765.27, 74.06, 11958.94 and 1104.71 t respectively. COD_{Cr} accounts for 72.32 percent of the pollutant load from industrial point sources(PS) and 24.69 percent of the load from non-point sources. Urban storm runoff makes water quality worsen rapidly within short time after rain. Consequently, urban storm runoff has a large impact on the water environment.

Keyword: Zhuhai city; urban storm runoff; pollutant load

城市地表大部分为不透水面, 降雨尤其是暴雨落到地面后迅速形成径流, 并冲刷和挟带地表污染物形成暴雨径流污染。根据文献报道^[1], 城市降雨径流中含有悬浮物、耗氧物质、富营养化物质、有毒物质、油脂类物质等多种污染物, 这些污染物随径流进入江河湖泊, 造成了水污染。美国早在 1980 年就预测得出, 城市径流带入水体的 BOD 相当于城市污水经处理后的 BOD 排放量, 129 种重点污染物中约有 50% 在城市径流中出现^[2]。随后, 美国国家环保署(EPA)把城市地表径流列为导致全美河流湖泊污染的第三大污染源^[4]。

近年来, 随着城市不断扩张与不透水地面的迅速增加, 降雨径流污染的威胁愈加突出, 引起人们的广泛重视, 并取得不少研究成果^[5-12], 但对城市径流污

染负荷的估算尚在探索之中。因此, 本文以珠海城区为对象开展研究, 具有重要的理论与实践意义。

1 监测区概况与研究方法

1.1 监测区概况

珠海市依山傍海, 地貌类型复杂多样, 有陆地、海洋, 有低山、丘陵、台地以及沉积平原, 表现出明显的层状地貌特征。陆域面积 1597.7 km², 水域占全市总面积的 22.51%。气候温暖多雨, 年平均降雨量 1700~2200 mm, 陆地集雨区多年平均降雨量 3.04×10⁹ m³, 多年平均径流量 1.80×10⁹ m³, 充沛的降雨为本区地表径流污染的发生提供了强大的动力。本文以珠海城区为研究对象, 下垫面除密集的建筑群和四通八达的交通网络等不透水面外, 还有绿地、水域及空旷

收稿日期: 2003-06-20

修回日期: 2003-08-06

资助项目: 广东省百项工程(99B05801G); 广东省科技攻关项目(2002C32202, 2002C32203)

作者简介: 卓慕宁(1959-), 女(汉族), 广东五华人, 高级实验师。主要从事水土保持与非点源污染研究。电话(020)87024981, E-mail: mnzhuo@soil.gd.cn

地等,城区内排洪渠以及地下排水管网全部为雨污分流制,有多个出(排)水口。污水经处理后集中排放,雨水由市区 4 大排洪系统分别排至前山河、凤凰河和白沙河出海。

1.2 研究方法

1.2.1 雨水径流水质水量监测 在凤凰河、白沙河和前山河(拱北排洪渠)雨水径流出水(海)口分别设立径流监测断面,在雨季期间采集径流水样检测污染物。采样于降雨产流时即开始,采样时间间隔为 5 min,当降雨历时较长时,采样时间间隔适当增加为 10 min 或 30 min,每场降雨采集降雨全过程水样,并同时监测降雨量、水位、流量等。

1.2.2 水样分析方法 监测分析项目为悬浮物(SS)、总氮(T-N)、氨氮(NH₄⁺-N)、硝态氮(NO₃⁻-N)、总磷(T-P)、可溶磷(S-P)、COD_{Cr}和 BOD₅等。按国家环保局标准^[13],SS 用滤纸法,T-N 用过硫酸钾氧化-紫外分光光度法,T-P 用过硫酸钾消解-钼锑抗分光光度法,NH₄⁺-N 用纳氏试剂光度法,NO₃⁻-N 用酚二磺酸光度法,S-P 用钼锑抗分光光度法,COD_{Cr}用重铬酸钾法,BOD₅用碘量法(叠氮化钠修正法)。

2 结果与分析

2.1 城区暴雨径流污染负荷估算

2.1.1 城区暴雨径流量 美国土壤保持局提出降雨径流模型(SCS)^[14]计算径流量。根据一次降雨过程中流域的水量平衡原理和降雨与径流的基本关系,得出径流曲线数模型:

$$Q = \frac{(P - 0.2S')^2}{P + 0.8S'}, \text{其中: } S' = \frac{25400}{C_N} - 254$$

表 1 珠海城区降雨—径流模拟(SCS)计算结果

参 数	居住区	商业区	工业区	绿 地	交通主干道	水 域	空旷地与开发用地
径流曲线值 C_N	90	95	93	80	95	98	86
最大持水量 S'	28.22	13.37	19.12	63.50	13.37	5.18	41.35
径流深度 Q/mm	1526.70	1544.20	1537.40	1486.40	1544.20	1553.90	1511.60
径流系数 R	0.83170	0.84120	0.83750	0.80970	0.84120	0.84650	0.82340

表 2 珠海城区暴雨径流污染物监测结果

监测项目	T-N	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	T-P	S-P	COD _{Cr}	BOD ₅	SS
凤凰河监测断面	5.27	3.79	0.53	0.41	0.27	34.43	3.77	2238
白沙河监测断面	8.29	5.05	0.41	0.83	0.54	79.34	4.85	23.25
拱北排洪渠监测断面	4.92	3.15	0.40	0.45	0.24	93.58	8.87	32.50
平均浓度	4.96	3.53	0.43	0.48	0.28	77.51	7.16	569.34

注:各监测断面监测数据以降雨量为权重值计算加权平均值;平均浓度以各监测断面集水面积作为权重值进行加权平均计算。

式中: Q ——径流深(mm); P ——一次暴雨总量(mm); S' ——径流开始后可能的最大持水; C_N ——径流曲线数值。 C_N 是反映降雨前流域特征的一个综合参数,它与流域前期土壤湿润程度、坡度、植被、土壤类型和土壤利用现状等有关。根据上式,只要确定 C_N 值,就可由降雨量求得径流深;将径流深乘以研究区域面积,就可计算出该次暴雨的径流量。

根据统计资料与遥感数据,珠海城区下垫面可划分为 7 种类型,即居民区、商业区、工业区、城区绿地、交通道路、水域、城区空旷地与建设开发用地。依据 SCS 模型,将珠海城区下垫面类型进行水文土壤分组,并假定土壤含水为平均状态,参照 SCS 模型提供的 C_N 值查算表,查算出珠海城区 7 种下垫面类型的 C_N 值。 P 取珠海市 2000 年全年大于标准降雨强度(12.7 mm/h)的总降雨量 1560.1 mm(经对珠海市近 33 年降雨资料的统计分析,2000 年降雨量的频率为 91.9%,重现期为 1.09,可代表正常年份的降雨量),将其与 C_N 值代入上式计算,结果见表 1。

由表 1 珠海城区降雨—径流模拟(SCS)计算结果表明,珠海城区暴雨产流年平均为 1529.2 mm,不同下垫面降雨产流有明显差异,其中交通主干道和商业区产流量最大(水域除外),达 1544.2 mm,径流系数为 0.8412。说明下垫面是影响降雨径流的重要因素。利用 SCS 模型模拟计算城区降雨—径流,充分考虑了垫面的特点,如土壤水文分组、地面坡度、植被覆盖及土地利用等。

2.1.2 城区暴雨径流污染物浓度 对 2000 年雨季 5 场降雨(降雨量 16.9~81.8 mm)的地面径流污染物浓度进行监测,监测结果经加权平均计算得出珠海城区暴雨径流污染物的平均浓度,结果见表 2。

从表2可知,珠海城区暴雨径流污染物以SS、COD_{Cr}、BOD₅、T-N和NH₄⁺-N等为主,不同监测断面监测的径流污染物浓度有明显差异,在白沙河与拱北排洪渠监测断面,COD_{Cr}与BOD₅浓度比凤凰河监测断面高,而凤凰河监测断面的SS浓度则远高于白沙河与拱北排洪渠监测断面。径流污染物浓度表现出明显的随机性和波动性,COD_{Cr}和BOD₅最大值分别为194.62和74.40 mg/L,最小值分别为19.68和0.96 mg/L;同一集水区多场降雨径流中的COD_{Cr}和T-N浓度分别在50.79~165.28 mg/L和5.41~

17.50 mg/L之间变化。反映了非点源污染的随机性和复杂性。

2.1.3 城区暴雨径流污染负荷量 按照SCS模型^[14],通过城区降雨径流过程的模拟计算,得出各类型下垫面的年径流量;然后根据径流与水质的关系,利用年径流量和降雨径流污染物的平均浓度就可估算城区全年降雨径流污染负荷总量。

因此,由表1珠海城区降雨—径流模拟计算结果与表2结果估算出珠海城区暴雨径流污染负荷总量,结果见表3。

表3 珠海城区暴雨径流污染负荷估算结果

污染物	T-N	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	T-P	S-P	COD _{Cr}	BOD ₅	SS
居住区	22.98	16.36	1.99	2.22	1.30	359.18	33.18	2 638.32
商业区	129.40	92.09	11.22	12.52	7.30	2 022.08	186.79	14 852.94
工业区	49.02	34.89	4.25	4.74	2.77	766.03	70.76	5 626.79
绿地	479.64	341.35	41.58	46.42	27.08	7 195.29	692.38	55 055.75
交通主干道	43.90	31.24	3.81	4.25	2.48	686.04	63.37	5 039.23
水域	32.28	22.98	2.80	3.12	1.82	504.51	46.60	3 705.83
空旷与建设用地	8.05	5.73	0.70	0.78	0.45	125.80	11.62	924.04
合计	765.27	514.64	66.34	74.06	43.20	11 958.94	1 104.71	87 842.90

估算结果表明,2000年珠海城区暴雨径流T-N、T-P、COD_{Cr}和BOD₅负荷总量分别为765.27、74.06、11 958.94和1 104.71 t。

2.2 城区暴雨径流污染评价

2.2.1 城区暴雨产流及其污染物输送 珠海城区暴雨产流量大,按SCS模型估算,珠海市2000年降雨径流量约 $1.50 \times 10^8 \text{ m}^3$,如果以当年最大日暴雨量176.9 mm计,则日暴雨径流量达 $1.54 \times 10^7 \text{ t}$ 。

暴雨径流冲刷和挟带地表污染物,并将其输送到排水管道或江河水体。在不透水地面上,雨水直接汇集成径流并溶解地面上各种可溶性污染物,随着径流的流动,这些可溶性污染物不断被输送;当雨水径流达到一定流速时,一些固体污染物受到雨水径流冲刷和挟带产生移动,亦随径流被输送到水体。在透水地面上,雨水携带地表部分污染物下渗而污染土壤或地下水;当地表逐渐饱和而雨水下渗减少时,降雨亦在地面形成径流,地表污染物最终也随地表径流进入水体。据文献报道^[15], $\geq 12.7 \text{ mm/h}$ 持续1 h的标准降水可以冲刷街面90%的地表累积物。珠海市2000年全年雨强 $\geq 12.7 \text{ mm/h}$ 的降雨共有36场,降雨总量占全年总降雨量的85%。因此,珠海发生的大部分降雨都能将地表污染物输送到水体。

2.2.2 城区暴雨径流污染物浓度及其变化规律 从表2可见,珠海城区暴雨径流BOD₅、COD_{Cr}和T-N

浓度分别为7.16、77.51和4.96 mg/L,T-P仅在白沙河监测断面检出浓度较高。

根据文献报道,城市住宅区地面径流BOD₅和COD_{Cr}分别为3.6和40 mg/L;商业区地面径流BOD₅和COD_{Cr}分别为7.7和39 mg/L^[16];地表水总氮含量0.9~3.5 mg/L、总磷含量0.9~1.8 mg/L时,可造成水生生物生长旺盛^[17]。与上述研究结果比较,珠海城区暴雨径流污染物平均浓度较高,已严重影响地面水环境质量。

城区次暴雨径流污染物浓度的变化有明显的规律性(图1),一般在降雨初期浓度迅速上升,并很快达到峰值,随着降雨历时的延长,污染物浓度逐渐下降并趋于稳定。因此,城市暴雨径流对水质的初期冲击效应(The first flush effect)较明显,在雨后短时间内会使受纳水体的水质迅速恶化。在经济技术条件许可的情况下,对城市初期暴雨径流进行收集,并加以处理,将会大大改善城市暴雨径流对受纳水体污染的状况。

2.2.3 城区暴雨径流污染负荷对水污染的贡献 据广东省环保统计年鉴资料,珠海市2000年工业点源污染排放的COD_{Cr}为16 537.1 t,SS为4 549.6 t,城区包括各种下垫面暴雨径流中的COD_{Cr}总负荷为工业点源污染的72.32%。在非点源污染负荷中,城区暴雨径流污染总负荷亦占有相当的比例,1990年EAP

公布,城市雨水径流对河流污染的贡献比占 9%^[18],而据研究结果^[19],珠海非点源污染中的 COD_{Cr} 负荷总量为 48 423.2 t,珠海城区暴雨径流 COD_{Cr} 负荷量

占珠海非点源污染总负荷的 24.69%,比 EAP 公布的数字提高了 15.69%。可见,珠海城区暴雨径流污染负荷对地面水环境的潜在威胁较大。

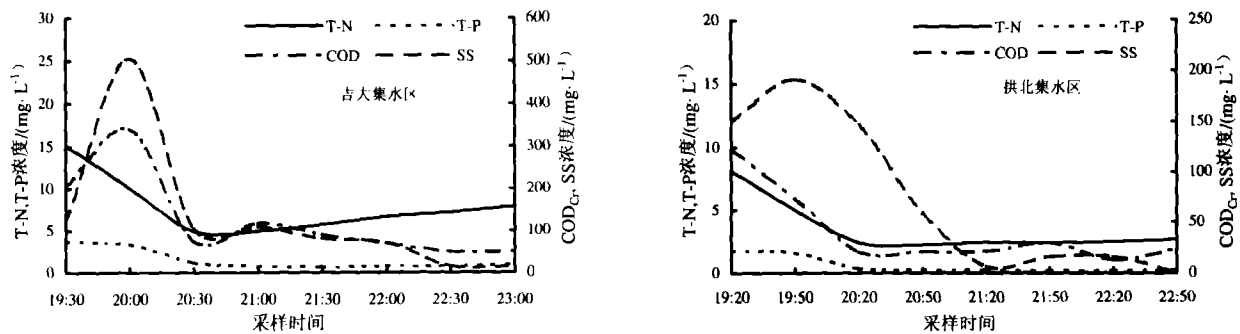


图 1 暴雨径流污染负荷浓度变化过程

3 小结

珠海城区暴雨产流量年平均为 1 529.2 mm,其中以交通主干道和商业区径流量最大。暴雨径流污染物浓度水平较高,其中 SS, COD_{Cr}, BOD₅, T-N 和 NH₄⁺-N 的平均浓度分别为 569.34, 77.51, 7.16, 4.96 和 3.53 mg/L; T-N, T-P, COD_{Cr} 和 BOD₅ 负荷总量分别为 765.27, 74.06, 11 958.94 和 1 104.71 t,其中 COD_{Cr} 负荷为工业点源污染的 72.32%,占珠海非点源污染总负荷的 24.69%。珠海发生的大部分降雨都能将地表污染物输送到水体,并在雨后短时间内会使受纳水体的水质迅速恶化。因此,珠海城区暴雨径流污染对地面水体污染的潜在威胁较大。

[参 考 文 献]

- [1] 李养龙,金林.城市降雨径流水质污染分析[J].城市环境与城市生态,1996,9(1):55-58.
- [2] 袁铭道.美国水污染控制和发展概况[M].北京:中国环境科学出版社,1986.
- [3] 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.
- [4] US EPA. National water quality inventory[J]. Report to Congress Executive Summary. Washington DC: USEPA. 1995. 497.
- [5] 万洪富,王继增,卓慕宁,等.珠海市非点源污染负荷研究方法初探[J].土壤与环境,2002,11(4):401-404.
- [6] 卓慕宁,吴志峰,王继增,等.珠海非点源污染控制区划[J].城市环境与城市生态,2003,16(1):28-30.
- [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] 施为光.成都市径流污染的概念性模型[J].四川环境,1994,13(2):65-70.
- [9] 岑国平,沈晋,范荣生.城市暴雨径流计算模型的建立和检验[J].西安理工大学学报,1996,12(3):184-225.
- [10] 上海城市降水径流营养盐氮负荷及其空间分布[J].城市环境与城市生态,2002,15(1):15-17.
- [11] 李适宜.城市非点源污染水污染负荷流出特性[J].中山大学学报(自然科学版),1996,35(增刊):265-268.
- [12] 方红远,陈志春.城市降雨径流负荷计算的统计分析法[J].环境科学与技术,2002,25(1):13-18.
- [13] 国家环境保护局编.水和废水监测分析方法[M].北京:中国环境科学出版社,1998.
- [14] 袁作新主编.流域水文模型[M].北京:水利水电出版社,1990.
- [15] 施为光.城市降雨径流长期污染负荷模型[J].城市环境与城市生态,1993,2(6):6-10.
- [16] 吴寿昌.城市暴雨径流污染[J].甘肃环境研究与监测,1997,10(3):43-44.
- [17] 杨苏树,倪喜云.大理州洱海流域农业非点源污染现状[J].农业环境与发展,1999,60(2):43-44.
- [18] EPA. USA. Meeting the environmental challenge [Z]. USA: EPA, 1990. 46.
- [19] 广东省生态环境与土壤研究所.珠海非点源及其控制研究[R]. 2002.