

宜兴市基于水环境容量的海绵城市建设规划

戴 忱, 陈 凌

(江苏省城市规划设计研究院, 江苏 南京 210036)

摘 要: 水环境功能区水质达标是海绵城市建设的重要目的之一,控制入河污染物总量在水环境容量允许的范围之内,是实现水质达标的重要手段。以宜兴市海绵城市建设为例,将水污染负荷削减到水环境容量之内作为基本要求,计算出各海绵城市建设管控分区面源污染削减率的目标,提高了该目标取值的科学性,避免了各分区目标趋同,以及目标与分区特征关系不紧密的问题。同时,通过点源控制、面源源头削减、末端治理三个方面的组合,结合各分区自身的特点,制定有针对性的海绵城市建设规划措施,可以实现各分区污染物减排和水质达标的目的。

关键词: 水环境容量; 海绵城市建设规划; 面源污染削减

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2018)18-0006-06

Study on Sponge City Construction Planning Based on Water Environment Capacity in Yixing

DAI Chen, CHEN Ling

(Jiangsu Institute of Urban Planning and Design, Nanjing 210036, China)

Abstract: To reach the water quality standards of environmental functional areas is one of the important objectives of sponge city construction. To control the total amount of pollutants into the river within the allowable range of water environmental capacity is an important method to achieve water quality standards. Taking sponge city construction of Yixing as an example, the water pollution load is reduced to the water environment capacity as a basic requirement. The non-point source pollution reduction rate target of the sponge city construction control sub-area is calculated. As a result, the scientific nature of the target value could be improved. The measure could also avoid the convergence of the objectives of each partition, and the loose relationship between the objective and the partition feature. At the same time, through the combination of three aspects such as point source control, non-point source reduction, end governance, the targeted sponge city construction planning measures could be developed by the characteristics of the district itself, which can achieve the purpose of each district pollutant emission reduction and water quality standards.

Key words: water environmental capacity; sponge city construction planning; non-point source pollution reduction

海绵城市建设的要求提出以来,受到了各级政府、相关企业以及民众的普遍重视,国家以及各省市

先后开展了多批次的试点工作。水环境功能区水质达标是海绵城市建设的重要目的之一,水环境质量

达标的判断因素之一是入河污染物总量在水环境容量限值以内,目前的水环境容量相关研究主要集中在测算方法方面,与城市建设以及污染物控制和减排相关性的研究较少,仅有的研究也主要是针对污水处理设施的配置^[1]和城市发展模式的确立^[2]等方面。

雨水径流总量控制和径流污染削减是海绵城市建设的两大核心内容,径流污染削减是污染物减排的重要组成部分,主要是针对城市面源污染的削减。目前的面源污染研究主要集中在流域性农业面源污染领域,而城市面源污染主要集中在特征研究和具体设施的削减能力研究方面^[3],对城市整体层面的系统性污染削减措施的研究相对较少,还停留在原则和对策阶段^[4],实际可操作的量化研究比较欠缺。

在制定径流(面源)污染削减目标时普遍存在科学性不强的问题,因为径流污染削减和径流总量控制有一定的相关关系,所以一般根据径流总量控制目标和低影响开发设施对径流污染的平均去除率得出,与是否可以保证当地水环境质量目标的关联性不强。

因此有必要从水环境容量限制的角度来探讨和研究,科学制定径流(面源)污染削减目标的方法,以及从城市整体层面系统性构建水污染物控制和减排措施,并提出可量化的方案。

1 宜兴市海绵城市建设概况

1.1 总体目标

根据《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》(建城函[2014]275号),宜兴市位于Ⅲ区($75\% \leq \alpha \leq 85\%$),确定年径流总量控制率目标不低于75%;低影响开发设施对SS的平均去除率取60%,中心城区面源污染削减率目标不低于45%。

1.2 水环境现状及存在的问题

研究区位于太湖流域上游,水环境质量优劣对区域水环境影响很大。现状水环境功能区水质达标率仅为61%,根据现场踏勘存在明显黑臭水体26段,多为支末河浜、污水截流不彻底的区域。点源污染负荷和面源污染负荷的比例为3:2,一方面中心城区还有部分区域没有实现雨污分流,部分河段污水没有实现截流,还存在不少污水直排的雨水口;另一方面面源污染未得到有效控制,所占比重越来越

大。

1.3 水环境总体治理思路

水环境改善以水质目标为导向,以水环境容量限额为基础,控制入河污染总量为手段,主要通过点源控制、面源源头削减、末端治理三个方面的措施来实现。点源污染控制新建区要求全面推行雨污分流,已建区分别针对雨污混接和合流制排水等问题,提出改造和截流等措施;面源源头削减已建地块以局部改造为主,新建地块以海绵理念全面融入整体设计为主,充分利用“渗、滞、蓄、净”的相关设施,削减面源污染;末端治理通过市政管网初期雨水弃流、大型人工湿地、大型调蓄池以及在雨水口设置净化设施,全面截留污染物。构建污染负荷与水环境容量间的相关关系,测算污染物削减量和削减率,提出相应的工程措施保障。

1.4 海绵城市建设管理分区

以行政区划为一级管理单元,二级管理单元主要以排水分区为依据,以自然地形为本底,以行洪通道形成的圩区为基础,以河流水系、铁路等为边界,参考最新的雨污水管网资料,进行调整与细化。将宜兴中心城区分为41个海绵城市建设管控分区,面积为110~1150 hm²。

2 水环境容量和面源污染负荷计算

2.1 计算方法

2.1.1 水环境容量计算方法

① 内河纳污能力(W)计算模型

纳污能力由自净容量和稀释容量两部分组成,纳污能力的计算公式为:

$$W = Q_0(C_s - C_0) + KVC_s + qC_s \quad (1)$$

式中 Q_0 ——进口断面的入流流量

C_0 ——进口断面的水质浓度

q ——旁侧入流流量

C_s ——该水体的水质标准

V ——水体体积

K ——水质降解系数

② 双向河流纳污能力计算

对于往复流地区,采用双向流计算公式,具体如下:

$$W = \frac{A}{A+B}W_{\text{正}} + \frac{B}{A+B}W_{\text{反}} \quad (2)$$

$$W_{\text{正}} = Q_{01}(C_s - C_{01}) + KVC_s \quad (3)$$

$$W_{\text{反}} = Q_{02}(C_s - C_{02}) + KVC_s \quad (4)$$

式中 A ——正向流计算时间段天数
 B ——反向流计算时间段天数
 $W_{\text{正}}$ ——正向河流的纳污能力值
 $W_{\text{反}}$ ——反向河流的纳污能力值
 Q_{01} ——正向流进口断面的入流流量
 Q_{02} ——反向流进口断面的入流流量
 C_{01} 、 C_{02} ——分别为正向流和反向流进口断面的水质浓度

2.1.2 面源污染负荷计算方法

采用输出系数模型^[5],该模型利用相对容易得到的流域土地利用类型等数据,通过多元线性相关分析,直接建立流域土地利用类型与非点源污染输出量的关系,然后通过对不同来源污染负荷求和,便得到区域污染总负荷。

流域污染物负荷计算模型如下:

$$L_j = \sum_{i=1}^n E_{ij} A_i \quad (5)$$

式中 L_j ——流域污染物 j 的总负荷,kg/a
 n ——流域中的土地利用类型种类
 E_{ij} ——流域第 i 种土地类型中污染物 j 的输出系数,kg/(km²·a)
 A_i ——第 i 种土地利用类型的面积,km²

其中,不同土地类型的输出系数采用实地调研法获取。根据相关研究成果^[6],宜兴市4种典型区域面源污染负荷如表1所示。

表1 宜兴市不同区域面源污染负荷

Tab.1 Non-point source pollution load of the different areas in Yixing t·km⁻²·a⁻¹

项 目	COD	NH ₃ -N	TN	TP
东虹路(老城区)	126.79	1.52	5.86	0.93
荆邑路(新城区)	202.20	1.48	5.40	0.43
环科园(工业区)	107.02	1.17	4.29	0.31
垃圾站(特殊类用地)	549.39	2.98	13.77	1.40

2.1.3 分区面源污染削减率计算方法

以水环境容量为基础,扣除点源污染占用的水环境容量后,考虑满足水环境容量的面源污染排放限额,以及面源污染负荷,确定需要削减的面源污染负荷和面源污染削减率。

面源污染削减量及削减率具体计算公式如下:

$$P_{\text{面源削减}} = P_{\text{面源负荷}} - P_{\text{容量}} \quad (6)$$

$$f = P_{\text{面源削减}} / P_{\text{面源负荷}} \quad (7)$$

式中 $P_{\text{面源削减}}$ ——各分区在满足水环境容量要求的前提下,需削减的面源污染负荷

f ——面源污染削减率

$P_{\text{面源负荷}}$ ——各分区面源污染产生量

$P_{\text{容量}}$ ——各分区扣除点源污染占用后的有效水环境容量

2.2 计算结果

2.2.1 分区水环境容量

宜兴中心城区河网水系较丰富,但地势较平缓,水体流动性较差,水环境容量以稀释容量为主,自净容量相对较小。根据相关部门提供的资料,对河道长度、断面形式、水深等数据进行整理,宜兴中心城区水质目标应不低于地表Ⅳ类水标准,污染物浓度根据相关部门监测数据分析,自净系数、流速等查阅相关文献^[7]获取。

2.2.2 点源污染负荷

① 点源污染产生量

根据《宜兴市城市总体规划》,中心城区污水量为 $27 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,污水COD浓度按照《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015)中的B级标准预测,COD产生量为49 275 t/a。

② 点源污染削减量

根据《宜兴市城市总体规划》,中心城区污水处理率为100%,根据太湖流域水污染防治要求,尾水水质需达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的一级A标准,则COD排放量为4 927.5 t/a,削减率为90%。

③ 点源污染对中心城区水环境容量的占用

根据《宜兴市城市总体规划》,污水集中处理率达到98%以上,根据污水工程规划,规划污水处理厂均位于中心城区外围,尾水排入城区下游河道,对各分区水环境容量影响不大,仅考虑2%未集中处理的污水对各分区水环境容量的占用,COD总排放量约98.5 t/a,NH₃-N为9.85 t/a。

2.2.3 面源污染负荷

根据式(5),可计算得出各分区面源污染负荷(COD和NH₃-N污染负荷)。相关研究中,各类低影响开发设施对于COD有较明确的削减率数据,而且NH₃-N的污染负荷普遍小于有效水环境容量,因此面源污染削减率以COD计算。根据式(1)~(7),计算出宜兴市中心城区COD综合削减量为12 300 t/a,削减率达到58%。

各分区面源污染物削减量和削减率具体情况如表2所示。

表 2 海绵城市管控分区面源污染削减情况
Tab. 2 Non-point source pollution reduction in sponge city control sub-area

项 目		有效水环境 容量/(t·a ⁻¹)	面源污染负 荷/(t·a ⁻¹)	需削减量/ (t·a ⁻¹)	LID 削减率/ %	末端设施 削减率/%	最终削减 率/%
宜城 片区	A 区	185.0	455.3	270.3	45	14	59
	B 区	212.5	704.3	491.8	45	25	70
	C 区	407.5	590.5	183.0	46.8	0	46.8
	D 区	342.5	571.0	228.5	46.8	0	46.8
	E 区	290.0	1 346.8	1 056.8	45.6	33.4	79
	F 区	1 342.5	858.5	—	46.8	0	46.8
	G 区	7.5	661.3	653.8	45	54	99
	H 区	347.5	983.0	635.5	45	20	65
	I 区	1 797.5	463.3	—	46.2	0	46.2
	J 区	190.0	323.8	133.8	45	0	45
	K 区	617.5	666.3	48.8	46.2	0	46.2
	L 区	177.5	296.8	119.3	46	0	46
	M 区	125.0	1 104.5	979.5	45	44	89
	N 区	425.0	707.3	282.3	46	0	46
	O 区	37.5	131.3	93.8	48	24	72
	P 区	302.5	436.8	134.3	46	0	46
	Q 区	280.0	611.8	331.8	46	8	54
	R 区	297.5	501.0	203.5	48	0	48
	S 区	595.0	862.0	267.0	49.8	0	49.8
丁蜀 片区	1 区	157.5	345.3	187.8	48	6	54
	2 区	215.0	206.5	—	45	0	45
	3 区	512.5	429.5	—	46	0	46
	4 区	420.0	183.0	—	47	0	47
	5 区	665.0	532.8	—	46	0	46
	6 区	40.0	165.3	125.3	46.8	28.2	75
	7 区	442.5	418.0	—	46.8	0	46.8
	8 区	25.0	104.5	79.5	46.8	28.2	75
	9 区	665.0	701.5	36.5	48	0	48
	10 区	227.5	277.5	50.0	46	0	46
	11 区	540.0	445.3	—	45	0	45
	12 区	30.0	97.8	67.8	45.6	22.4	68
高滕 片区	GT-1 区	885.0	1 282.8	397.8	46.8	0	46.8
	GT-2 区	62.5	425.8	363.3	46.2	38.8	85
	GT-3 区	780.0	913.5	133.5	47.4	0	47.4
屺亭 片区	JT-1 区	55.0	255.0	200.0	47	32	79
	JT-2 区	77.5	160.5	83.0	49	3	52
芳桥 片区	FQ-1 区	245.0	291.0	46.0	46	0	46
	FQ-2 区	200.0	292.8	92.8	48	0	48
新庄 片区	XZ-1 区	270.0	380.5	110.5	45	0	45
	XZ-2 区	132.5	140.8	8.3	45	0	45
新街片区	XJ 区	132.5	805.3	672.8	45.6	38.4	84

3 分区面源污染削减措施

① 源头削减:在雨水径流进入排水管网前对其进行削减和处理,具体措施包括绿色屋顶、雨水罐、透水铺装、植被过滤带、植草沟、入渗沟、砂滤池

和生物滞留池等,在地块设计中结合不同下垫面用地类型进行配置。通过合理配置源头削减措施,可以有效削减面源污染(以 COD 计)9 800 t/a,削减率达到 46%。41 个海绵城市建设管控分区中有 25 个

通过低影响开发源头削减,可以将入河面源污染控制在环境容量允许限值以内,占管控分区总数的61%。

② 末端处理:为实现水环境水质目标,保证入河面源污染不超过水环境容量限值,除低影响开发

削减外,还需削减面源污染(以COD计)2 500 t/a(削减率约12%),主要通过市政初雨弃流、人工湿地、雨水口污染物去除装置、大型调蓄池等设施实现。宜兴市海绵城市管控分区末端削减措施如表3所示。

表3 海绵城市管控分区末端削减措施

Tab.3 End reduction measures for sponge city control sub-area

项 目		末端设施削减率/%	需末端削减量/(t·a ⁻¹)	存在的主要问题	采取的措施
宜城片区	A区	14	63.7	新建区,以工业用地为主,建设范围内水面率较低,需末端削减量较小,现状分区边缘有较多坑塘洼地	人工湿地(4.5 hm ²)
	B区	25	176.1	建成区,被行洪河道包围,区内水面率极低,需末端削减量较小,有较多农林用地	人工湿地(12.0 hm ²)
	E区	33.4	449.8	建成区,以工业用地为主,被行洪河道包围,区内水面率极低,需末端削减量较大,非建设用地较少	市政管网初期雨水弃流(河段长12 200 m)+大型调蓄池(2×10 ⁴ m ³)
	G区	54	357.1	建成区,以工业用地为主,被行洪河道包围,区内水面率极低,需末端削减量较大,非建设用地较少	大型调蓄池(24×10 ⁴ m ³)
	H区	20	196.6	现状建成区,需末端削减量较小,存在黑臭水体,水环境容量有限	截污、清淤、综合整治增加河道水环境容量+市政管网初雨弃流(河段长13 000 m)+人工湿地(9 hm ²)
	M区	44	486.0	基本建成区,工业用地为主,区内水面率较低,需末端削减量较大	市政管网初期雨水弃流(河段长5 700 m)+大型调蓄池(2.8×10 ⁴ m ³)+人工湿地(6 hm ²)
	O区	24	31.5	新建区,水面率较低,需末端削减量较小,非建设用地较少	市政管网初期雨水弃流(河段长2 900 m)
	Q区	8	48.9	建成区,水面率较低,需末端削减量较小,非建设用地较少	市政管网初期雨水弃流(河段长7 700 m)
丁蜀片区	1区	6	20.7	新建区,水面率较低,需末端削减量较小,非建设用地较少	市政管网初期雨水弃流(河段长6 800 m)
	6区	28.2	46.6	新建区,水面率较低,需末端削减量较小,非建设用地较少	市政管网初期雨水弃流(河段长2 000 m)
	8区	28.2	29.5	新建区,被行洪河道包围,水面率较低,需末端削减量较小,非建设用地较少	市政管网初期雨水弃流(河段长500 m)
	12区	22.4	21.9	新建区,被行洪河道包围,水面率较低,需末端削减量较小,非建设用地较少	市政管网初期雨水弃流(河段长700 m)
高塍片区	GT-2区	38.8	165.2	新建区,工业用地为主,被行洪河道包围,区内水面率较低,需末端削减量较小,非建设用地较少	市政管网初期雨水弃流(河段长2 800 m)+大型调蓄池(2×10 ⁴ m ³)
圻亭片区	JT-1区	32	81.6	基本为建成区,区内水面率较低,需末端削减量较小,非建设用地较多	人工湿地(5.5 hm ²)
	JT-2区	3	4.8	基本为建成区,区内水面率较低,需末端削减量较小,非建设用地较少	雨水口污染物去除装置(河段长2 200 m)
新街片区	XJ区	38.4	309.2	工业用地为主,区内水面率较低,需末端削减量较大,紧邻西洩湿地	人工湿地(21 hm ²)
注: 市政管网初雨弃流和雨水口污染物去除装置均以河段长计。					

a. 人工湿地:按照雨水湿地水力负荷为 $0.2 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 、COD 削减负荷为 $4 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 进行复核。

b. 市政初雨弃流:在有条件的出水口安装初雨弃流装置,截流进入市政污水管道。降雨初期自动从排污口排出初期雨水进入污水管网,达到设定降雨流量时排污口自动关闭,对雨水进行过滤后从出水口排至管网。

c. 大型调蓄池:在水系相对较少的大型工业区,调蓄污染物浓度较高的雨水,晴天时送污水厂处理。

d. 雨水口污染物去除装置:在没有条件进行初雨弃流改造的情况下,在雨水口设置专用处理设施,通过过滤、沉淀和净化处理后的雨水能达到地表水 IV 类水质。主要采用雨水高效生态絮凝沉淀处理系统、超磁分离水体净化等技术。

4 结语

水环境功能区水质目标的实现是海绵城市建设的重要目的之一,控制入河污染物总量在水环境容量允许的范围之内,是实现水质达标的重要手段。水环境污染物可分为点源和面源两类,将污染负荷削减到水环境容量之内作为基本要求,可以计算出各海绵城市建设管控分区面源污染削减率的目标,提高了该目标取值的科学性。同时,通过点源控制、面源源头削减、末端治理三个方面的组合可形成水污染控制系统,结合各分区自身的特点,制定有针对性的海绵城市建设规划措施,可以实现各分区污染物减排和水质达标的目的。

参考文献:

- [1] 王经盛,陶涛. 水环境容量计算在污水系统规划中的应用[J]. 中国给水排水,2012,28(3):82-85.
Wang Jingsheng, Tao Tao. Application of water environmental capacity calculation to sewage system planning [J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(3): 82-85 (in Chinese).
- [2] 陈金毅,李念,李宛怡,等. 水环境容量核算在城市发展模式比选中的应用[J]. 环境科学与技术,2011,34(8):147-149,163.
Chen Jinyi, Li Nian, Li Wanyi, et al. Application of water environment capacity accounting in comparison and selection of urban development model [J]. Environmental Science & Technology, 2011, 34(8): 147-149, 163 (in Chinese).

- [3] 李平,王晟. 生物滞留技术控制城市面源污染的作用与机理[J]. 环境工程,2013,32(3):75-79.
Li Ping, Wang Sheng. Effect and mechanism of bioretention technology for urban non-point source pollutions control [J]. Environmental Engineering, 2013, 32(3): 75-79 (in Chinese).
- [4] 龙剑波,何强,司马卫平,等. 城市规划与城市面源污染调控协同研究[J]. 中国给水排水,2013,29(14):21-24.
Long Jianbo, He Qiang, Sima Weiping, et al. Coordination between urban planning and urban non-point source pollution control [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(14): 21-24 (in Chinese).
- [5] 薛利红,杨林章. 面源污染物输出系数模型的研究进展[J]. 生态学杂志,2009,28(4):755-761.
Xue Lihong, Yang Linzhang. Research advances of export coefficient model for non-point source pollution [J]. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28(4): 755-761 (in Chinese).
- [6] 陈双. 宜兴市城市雨水径流污染特性的研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2016.
Chen Shuang. Study on Characteristics of Urban Storm Runoff in Yixing City [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2016 (in Chinese).
- [7] 范文雪. 宜兴市水环境容量及污染治理研究[D]. 南京:河海大学,2008.
Fan Wenxue. Research on Water Environmental Capacity and Pollution Control in Yixing City [D]. Nanjing: Hohai University, 2008 (in Chinese).



作者简介:戴忱(1982-),男,江苏镇江人,硕士,高级城市规划师,多年从事城市生态环境、市政工程、海绵城市相关规划研究工作。

E-mail: jsup_daichen@126.com

收稿日期:2018-03-17