

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.04.002

海绵城市径流污染控制指标的确定方法与管控策略

谢鹏贵

(厦门市城市规划设计研究院有限公司, 福建 厦门 361012)

摘要: 城市径流污染是城市地表水体污染的重要成因,加强城市径流污染控制对于推进城市水环境治理工作具有重要意义。基于厦门市海绵城市建设径流污染治理的实践经验,采用“正向赋值、逆向校核、循序优化”的方式,兼顾陆域地表水体水质目标的可达性和源头、末端措施的可行性,提出了规划层面各地块、各汇水分区径流污染控制指标的确定思路与方法,同时从项目建设、片区开发两个层面提出了径流污染控制指标的管控策略与流程,可为今后进一步加强海绵城市径流污染控制提供技术支撑与参考。

关键词: 海绵城市; 径流污染; 控制指标; 管控策略

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2024)04-0007-06

Determination Method and Control Strategy of Sponge City Runoff Pollution Control Index

XIE Peng-gui

(Xiamen Urban Planning & Design Institute Co. Ltd., Xiamen 361012, China)

Abstract: Urban runoff pollution is a major factor contributing to urban surface water pollution. Therefore, enhancing the control of urban runoff pollution holds immense significance in promoting urban water environment management. Based on the practical experience of runoff pollution control of sponge city construction in Xiamen, this paper proposes the ideas and methods for determining the runoff pollution control indicators of each block and catchment area at the planning level, adopting the methods of “forward assignment, reverse check and orderly optimization”, and also thoroughly considers the accessibility of surface water quality objectives and the feasibility of the measures at the source and end of the area. In addition, the control strategy and process of runoff pollution control index are proposed from the two levels of project construction and area development, which can provide technical support and reference for further strengthening the runoff pollution control of sponge city in the future.

Key words: sponge city; runoff pollution; control index; management and control strategy

对于我国大部分城市而言,城市径流污染控制是海绵城市建设的核心目标之一,与城市水环境治理、黑臭水体治理、城镇污水处理提质增效等工作密切相关。自2015年海绵城市试点建设以来,国内相关技术机构对径流污染控制进行了大量的模型模拟及监测研究。其中,毕军鹏等^[1]采用SWMM模型对宁波海绵城市建设试点区内氨氮、总

氮等进行定量分析,确定了低影响开发设施对氮污染物的控制效应;朱彤等^[2]采用监测方式进行管道、屋面、道路等径流污染定量调查,确定了“源头-中途-末端”多种综合措施集成的污染控制体系。然而,以上成果暂未融入国土空间规划编制体系,导致大部分城市径流污染控制工作仅呈现于规划理念阶段,城市径流污染未得到有效控制。基于厦门

市海绵城市径流污染控制实践经验,探索规划编制层面径流污染控制指标的确定方法与流程,提出规划实施层面指标管控的策略,以期为进一步加强城市径流污染控制提供思路和参考。

1 径流污染控制指标选择

城市径流污染是指降雨过程中雨水及其形成的径流冲刷城市地面,使溶解或固体污染物从非特定的地点汇入受纳水体引起的污染,是城市地表水体环境恶化的主要因素之一^[3-4]。径流污染控制率是径流污染控制的主要指标,一般表述为区域内自然和人工削减的径流污染量占径流污染总量的比例。由于径流污染物涵盖SS、化学需氧量(COD)、总氮(TN)、总磷(TP)、重金属等多种成分,考虑到不同径流污染物的迁移或控制均与径流量相关,目前一般采用SS作为径流污染主要控制指标,即年径流污染控制率为区域内自然和人工削减的SS量占年径流SS总量的比例。具体计算时,年径流污染控制率的取值按年径流总量控制率与低影响开发设施对SS的平均去除率相乘所得。该方法操作简单,但在城市建设开发的实质推进中,存在以下两方面的不足:

① 指标选择不够全面。SS虽然与COD、NH₃-N、TN、TP、重金属等污染物变化趋势相近,但其迁移、扩散的变化速率并无绝对的关联关系,将其表征为径流污染主要污染物的做法不够全面。

② 指标计算不够精准。城市径流污染控制应以达到上位规划明确的地表水水质标准为目标,通过径流总量控制指标推算径流污染控制指标,忽略了地表水环境质量的达标性要求。

因此,在海绵城市、污水提质增效、水系综合治理等涉及径流污染控制规划的编制阶段,应根据不同地域地表水质污染的主要成分和控制目标,选择关键污染物作为径流污染的核心控制指标。

2 径流污染控制指标确定思路

在规划编制层面,改变采用SS作为径流污染控制评价单一指标的粗放思路,应以保障片区地表水水质达标为目的,根据不同地域地表水污染物的主要成分,合理选择污染物指标。由于径流污染控制指标具有流域差异性的特点,因此应以流域为单元,建立核心污染物与水质指标之间的响应关系,从排水流域、汇水分区、开发宗地三个层次确定径流污染控制指标,最后在具体项目建设中结合海绵城市建设要求进行指标落实。径流污染控制指标

的确定思路与流程见图1。

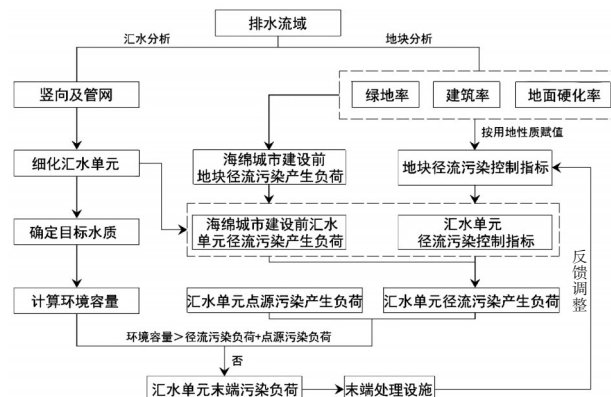


图1 以排水流域为单元的径流污染控制指标的确定思路

Fig.1 Determination method of runoff pollution control index based on drainage basin

3 实践案例

近年来,厦门市高度重视径流污染控制工作,并以海绵城市建设为契机,积极推广以流域为单元的径流污染控制工作。以厦门市下潭尾流域为例,探索径流污染控制指标的确定方法。

3.1 流域概况

下潭尾流域为厦门市二级排水流域,总面积为25.3 km²,现状以村庄、住宅类用地为主,开发强度约30%,为城市新建片区。规划用地以工业、居住为主,流域中部为内湾,流域西部为外湾,内外湾共设置8处雨水排口。综合考虑规划竖向、水系布局、用地布局、雨水管网等因素,流域划分为9个汇水单元(见图2)。由于流域内已基本完成污水管网正本清源改造,雨水排口基本不存在旱天排水现象,可基本忽略点源污染对自然水体水质的影响。

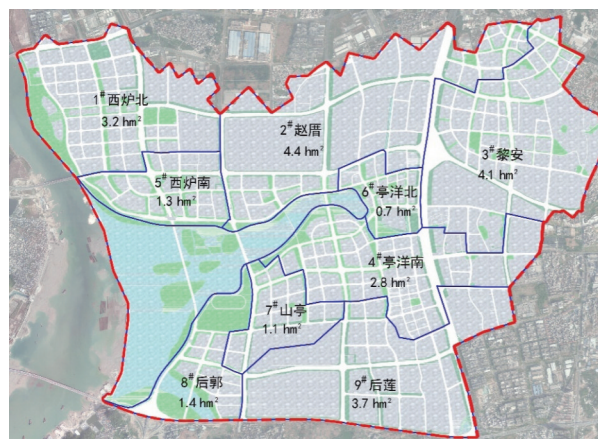


图2 排水流域内汇水单元分布

Fig.2 Distribution of catchment units in drainage basin

3.2 地表水环境容量

根据国土空间总体规划要求,下潭尾流域地表水水质目标不应低于《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅳ类标准。由于流域内基本不存在工业污染,根据水域和排口水质污染成分检测成果,选取COD和NH₃-N为核心控制污染物。按照《水域纳污能力计算规程》(GB/T 25173—2010)的计算方法,计算每个汇水单元主要污染物的水环境容量,结果见表1。

表1 汇水单元环境容量计算结果

Tab.1 Calculation result of environmental capacity of each catchment t·a⁻¹

单元编号	水环境容量 W	
	W _{COD}	W _{NH₃-N}
1	50.6	0.5
2	68.5	0.8
3	228.6	2.3
4	125.9	1.4
5	30.2	0.2
6	11.7	0.1
7	26.2	0.3
8	28.5	0.2
9	44.8	0.6

3.3 海绵城市建设前径流污染负荷

采用累积指数法计算下潭尾流域内各地块海绵城市建设前主要污染物的产生负荷,具体如下:

$$q_{i,k} = \sum_{j=1}^3 0.001 \times R \times A_{ij} \times \Psi_{ij} \times C_{j,k} \quad (1)$$

式中: $q_{i,k}$ 为海绵城市建设前第*i*个地块第*k*种污染物的产生负荷,t/a;*R*为汇水单元所在区域的年平均降水量,mm; A_{ij} 为第*i*个地块中第*j*种下垫面面积,km²;*j*为下垫面类型,一般可分为绿地、屋面和硬化地面三种; Ψ_{ij} 为第*i*个地块中第*j*种下垫面径流系数; $C_{j,k}$ 为第*j*种下垫面第*k*种污染物浓度,mg/L。

厦门地区不同下垫面的径流污染物浓度取值见表2。

表2 厦门地区不同下垫面的径流污染物浓度取值

Tab.2 Runoff pollution index values of different underlying surfaces in Xiamen mg·L⁻¹

下垫面	COD	NH ₃ -N	TN	TP	SS
绿地	35~45	0.3~0.6	2.5~3.8	0.1~0.15	105~125
屋面	41~46	1.3~1.6	9~10.5	0.1~0.2	60~80
硬化地面	110~118	0.5~1	4~4.8	0.2~0.5	110~160

采用下式计算各汇水单元海绵城市建设前的径流污染负荷,计算结果见表3。

$$q_{n,k} = \sum_{i=1}^m q_{i,k} \quad (2)$$

式中: $q_{n,k}$ 为海绵城市建设前第*n*个汇水单元第*k*种污染物产生负荷,t/a;*m*为汇水分区数量。

表3 海绵城市建设前的径流污染负荷计算结果

Tab.3 Calculation result of runoff pollution load before sponge city construction t·a⁻¹

单元编号	径流污染负荷	
	q_{COD}	$q_{\text{NH}_3\text{-N}}$
1	217.9	2.3
2	316.1	3.6
3	291.8	3.2
4	184.9	2.1
5	76.4	0.7
6	41.5	0.4
7	73.9	0.8
8	69.3	0.7
9	271.4	3.3

3.4 径流污染控制指标赋值

基于厦门市2018年—2022年海绵城市建设工程径流污染控制指标的统计数据(见表4),对各汇水单元内每个地块的污染削减指标进行赋值。地块污染控制指标的初次赋值一般与地块绿地率呈同趋势对应关系,若地块绿地率介于表4的范围区间,可采用插入法计算后再赋值。地块径流污染控制指标赋值完成后,采用面积加权平均法计算各管控单元径流污染控制指标 β_n 。从赋值计算结果上看,单元径流污染控制指标为30%~40%(见表5)。

表4 厦门市各类建设用地径流污染控制指标

Tab.4 Runoff pollution control indicators of various construction land in Xiamen %

地块性质	绿地率范围	地块污染控制指标 α_i	
		新建	改、扩建
一类/二类居住用地	25~35	50~65	45~55
三类居住用地	5~15	35~45	30~40
公共管理与公共服务设施用地	25~35	45~55	40~50
商业服务业用地	15~25	40~45	35~40
工业用地	10~30	35~45	30~40
道路用地		35~45	30~40
广场用地		50~60	45~55
物流仓储用地	15~25	35~45	30~40
市政及交通设施用地	15~25	35~45	30~40
绿地		55~65	45~55

表 5 汇水单元径流污染控制指标计算结果

Tab.5 Calculation results of runoff pollution control index of catchment units %

单元编号	汇水单元污染控制指标
1	33.2
2	41.6
3	36.1
4	32.5
5	39.5
6	43.3
7	35.6
8	40.7
9	36.5

3.5 海绵城市建设后径流污染负荷

按下式计算各汇水单元海绵城市建设后的主要污染物产生负荷,计算结果见表6。

$$Q_{n,k} = q_{n,k} \times (1 - \beta_n)$$

式中: $Q_{n,k}$ 为海绵城市建设后第 n 个汇水单元第 k 种污染物产生负荷,t/a; β_n 为第 n 个汇水单元的污染控制指标。

表 6 海绵城市建设后的径流污染负荷计算结果

Tab.6 Calculation results of runoff pollution load after the construction of sponge city t·a⁻¹

单元编号	径流污染负荷	
	Q_{COD}	$Q_{\text{NH}_3\text{-N}}$
1	145.6	1.6
2	184.6	2.1
3	186.5	2.0
4	124.8	1.4
5	46.2	0.4
6	23.6	0.2
7	47.6	0.5
8	41.1	0.4
9	172.4	2.1

3.6 末端污染削减负荷计算

地块径流污染及片区残余的点源污染(如污水厂排口污染等)排入河道后主要通过水体的自然净化功能进行消解,若排入河道的污染负荷大于河道自身环境容量,则需要设置人工湿地对末端污染进行削减。按下式计算各汇水单元末端污染削减负荷,具体结果见表7。

$$Q_{n,k}' = Q_{n,k} + Q_{\text{d},n,k} - W_{n,k}$$

式中: $Q_{n,k}'$ 为海绵城市建设后第 n 个汇水单元第 k 种污染物末端削减负荷,t/a; $Q_{\text{d},n,k}$ 为第 n 个汇水单元第 k 种污染物点源负荷,t/a; $W_{n,k}$ 为第 n 个汇水

单元地表水体的第 k 种污染物环境容量,t/a。

表 7 汇水单元末端需要削减的污染负荷计算结果

Tab.7 Calculation results of pollution load to be reduced at the end of catchment units t·a⁻¹

单元编号	末端污染削减负荷	
	Q_{COD}	$Q_{\text{NH}_3\text{-N}}$
1	95.0	1.1
2	116.1	1.3
3	0	0
4	0	0
5	16.0	0.2
6	11.9	0.1
7	21.4	0.2
8	12.6	0.2
9	127.6	1.5

3.7 末端污染削减设施规模计算

根据各汇水单元末端污染削减负荷,按照《人工湿地水质净化技术指南》分别计算每种污染物对应需设置的人工湿地面积,计算各汇水单元最终需设置的人工湿地面积,具体计算见下式,结果见表8。

$$M_n = \max M_{k,n}$$

式中: M_n 为第 n 个汇水单元最终湿地建设面积,m²; $M_{k,n}$ 为第 n 个汇水单元第 k 种污染物削减 $Q_{n,k}'$ 所需的人工湿地面积,m²。

表 8 汇水单元末端污染削减设施规模计算结果

Tab.8 Calculation results of the scale of pollution reduction facilities at the end of catchment units hm²

单元编号	削减末端污染所需的人工湿地面积		最终湿地建设面积
	M_{COD}	$M_{\text{NH}_3\text{-N}}$	
1	1.6	0.1	1.6
2	2.0	0.1	2.0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0.3	0	0.3
6	0.2	0	0.2
7	0.4	0	0.4
8	0.2	0	0.2
9	2.2	0.1	2.2

3.8 末端污染削减设施可行性校核

结合国土空间规划用地布局,核实各汇水单元末端污染削减设施的建设可行性,若末端污染削减设施不具备实施条件,则需进一步优化每个地块污染控制指标的赋值,并再次赋值计算,直到末端污

染削减设施具备可实施性。不同地块年径流污染控制率赋值结果见图 3。

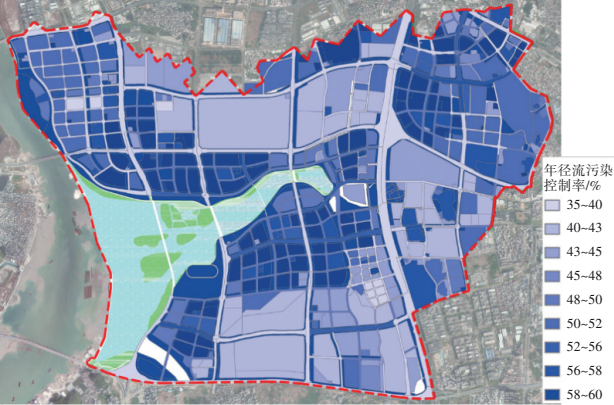


图 3 宗地年径流污染控制率赋值结果

Fig.3 Calculation results of annual runoff pollution control rate for each plot

4 径流污染控制指标管控策略

城市径流污染控制是厦门市海绵城市建设的核心任务,同时也是一项系统性、社会性的工作,需要从项目层面和流域单元层面进行综合管控。在海绵城市建设项目管控和达标面积核算工作的基础上,融入径流污染控制指标管控要求,进一步提高海绵城市建设效益。

4.1 项目审批管控

建设项目径流污染控制指标全过程管控流程见图 4。

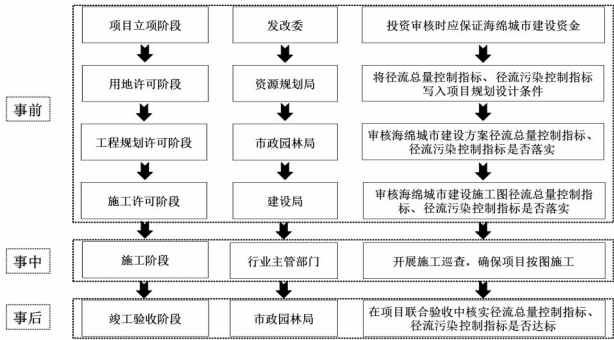


图 4 建设项目径流污染控制指标全过程管控流程

Fig.4 Whole process control process of runoff pollution control index for construction project

在项目建设层面,厦门市已结合“多规合一”行政审批制度的改革,在项目建设各个审批环节嵌入径流总量控制要求,实现了径流总量控制指标的常态化管控^[5]。径流污染控制指标与径流总量控制指标属于同一类指标,有条件且应该进行同步管控。

以厦门市既有海绵城市建设全过程管控机制为基础,在项目立项、用地许可、规划许可、施工许可、施工过程、竣工验收 6 个阶段融入径流污染控制要求,构建形成“事前审查、事中抽查、事后核查”三个环节紧密衔接、径流总量与径流污染双指标融合的海绵城市全过程管控机制。

4.2 单元达标认定

汇水单元径流污染控制达标认定流程如图 5 所示。

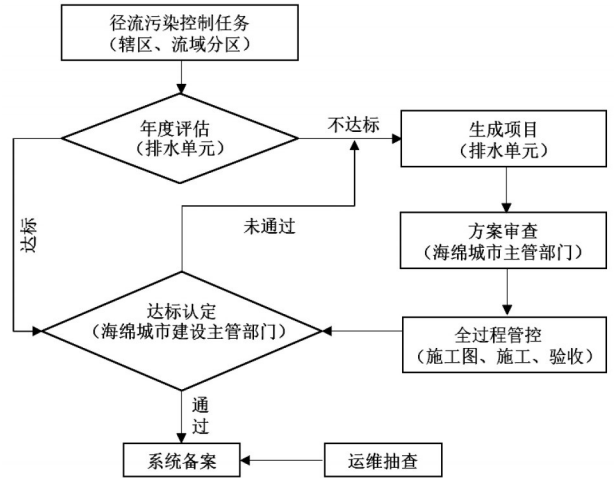


图 5 汇水单元径流污染控制达标认定流程

Fig.5 Process for standard identification of runoff pollution control in catchment units

在区域流域层面,以海绵城市建设、污水提质增效等工作为契机,压实属地建设责任,坚持以评促建、以评促管的原则,将径流污染控制指标纳入海绵城市建设达标面积评定的强制性要求,同步建构一套以排水分区为单元的径流污染控制达标认定工作流程,科学、有序地推进径流污染治理工作。市级海绵城市建设主管部门于每年年初向区政府下达径流污染控制达标面积指标,区政府组织第三方技术力量按排水单元对径流污染控制情况进行评价,对于满足上位规划要求的排水单元,报市级海绵城市建设主管部门进行达标认定。对于认定通过的排水单元,市级海绵城市建设主管部予以备案并纳入常态化运维管控;对于认定不通过的排水单元,区政府应提出具体整改计划,形成年度建设项目,并纳入海绵城市建设全过程管控。通过久久为功、循序渐进的径流污染治理工作,全面提升城市水体环境质量。

5 结语

随着城市化进程的高速推进,城市径流污染的治理形势日趋严峻,尤其在南方多雨地区,已成为城市地表水体的主要污染源,进一步重视并加强城市径流污染控制刻不容缓。本研究提出的规划层面径流污染控制指标的确定方法,梳理出的径流控制指标的管控要求与管控流程,已运用于厦门市多个排水流域海绵城市径流污染控制,同时对于进一步完善厦门市海绵城市规划建设推进机制具有重要借鉴意义。下一阶段可将厦门市海绵城市径流污染监测与模型研究成果合理融入径流污染规划管控体系,以进一步提高城市径流污染控制的准确性。

参考文献:

- [1] 毕军鹏,程军蕊,王侃,等. 城市低影响开发对雨水径流氮污染物的控制效应——以宁波海绵城市试点区域为例[J]. 宁波大学学报(理工版),2020,33(6):70-78.
- BI Junpeng, CHENG Junrui, WANG Kan, *et al.* Control effects of low impact development in urban area on rainwater nitrogen pollution: case study of the pilot area of sponge city construction in Ningbo[J]. Journal of Ningbo University (Natural Science & Engineering Edition),2020,33(6):70-78 (in Chinese).
- [2] 朱彤,赵杨,车伍,等. 杭州市雨水径流污染分析及控制对策[J]. 中国给水排水,2015,31(17):119-123.
- ZHU Tong, ZHAO Yang, CHE Wu, *et al.* Analysis of stormwater runoff pollution in Hangzhou City and its control measures[J]. China Water & Wastewater,2015,31(17):119-123 (in Chinese).
- [3] 柯杭,陈嫣,王盼,等. 苏州市新建城区地表径流污染分析[J]. 净水技术,2020,39(7):59-64.
- KE Hang, CHEN Yan, WANG Pan, *et al.* Analysis of surface runoff pollution in newly built urban area of Suzhou City [J]. Water Purification Technology, 2020, 39(7):59-64 (in Chinese).
- [4] 谢鹏贵,吴连丰,黄黛诗. 厦门市海绵城市建设径流控制指标的探索与实践[J]. 给水排水,2019,45(8):36-41.
- XIE Penggui, WU Lianfeng, HUANG Daishi. Exploration and practice of target index of runoff control in sponge city construction of Xiamen City[J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 45(8):36-41 (in Chinese).
- [5] 关天胜. 厦门市海绵城市建设全过程管控机制探讨[J]. 给水排水,2019,45(12):43-46.
- GUAN Tiansheng. Discussion on the control mechanism of the whole process of sponge city construction in Xiamen [J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 45(12):43-46 (in Chinese).

作者简介:谢鹏贵(1988—),男,福建三明人,硕士,高级工程师,主要研究方向为海绵城市建设、水环境综合治理、市政给排水设计。

E-mail:649048249@qq.com

收稿日期:2023-12-19

修回日期:2023-12-28

(编辑:丁彩娟)

贯彻执行《中华人民共和国防洪法》