

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.06.005

# 海绵城市视角下水系生态环境需水量计算研究

毛莹, 张洪杰, 王开春, 吴连丰, 黄毅贤  
(厦门市城市规划设计研究院有限公司, 福建 厦门 361012)

**摘要:** 传统高强度的城市建设模式对水生态环境造成了严重破坏,城区内涝、内河黑臭等问题愈加严峻。保障水系生态环境需求,是实践海绵城市建设理念的重要环节。水系生态环境需水量具有时空性,单一的计算方法往往具有局限性和片面性。以厦门市翔安南部水系为例,结合水环境相关影响要素,利用多种水文学方法,构建相应计算模型,综合确定了研究区域的最低生态需水量,以满足生态、水质达标和景观最低需求,为实现水系的海绵骨架功能提供技术支持。

**关键词:** 海绵城市; 水系; 水环境; 水系生态环境需水量; 计算模型

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2024)06-0023-04

## Research on Ecological Flow for Rivers from the Perspective of Sponge City

MAO Ying, ZHANG Hong-jie, WANG Kai-chun, WU Lian-feng, HUANG Yi-xian  
(Xiamen Urban Planning & Design Institute Co. Ltd., Xiamen 361012, China)

**Abstract:** The traditional model of high-intensity urban construction has inflicted harm upon the river's ecological environment. This approach has led to persistent issues, such as urban waterlogging and black and odorous water bodies. Protecting the ecological requirements of water systems is a crucial aspect of implementing the sponge city construction concept. Water demand in river ecosystems is characterized by spatial and temporal characteristics. Relying solely on a single calculation method often proves to be limited and biased. Taking the southern water system of Xiang'an, Xiamen City as an example, this paper integrates various impact factors related to the water environment. By employing a multitude of hydrological methods and constructing the corresponding calculation models, we have comprehensively determined that the minimum ecological water demand in the study area, to meet the minimal requirements for ecology, water quality standards, and landscape aesthetics, thereby providing technical support for actualizing the sponge-like functionality of the river system.

**Key words:** sponge city; rivers; water environment; ecological flow for rivers; computing model

目前,我国城市在发展过程中面临洪涝灾害频发、水体污染严重、水质恶化等生态环境问题,导致城市水生态系统不能很好地发挥其功效,而水生态系统又是生态环境的重要组成部分。因此,加强对城市水系生态环境需水量的研究,将有利于改变传

统的城市建设理念和方式,对生态系统的可持续发展具有重要意义。目前,我国城市水系生态环境需水量研究尚存在一些问题<sup>[1-4]</sup>:一是研究内容局限于城市水体的自身生态功能,忽视了与水环境相关的其他生物、土壤和自然过程的作用;二是缺乏与

海绵城市建设的有效结合,对海绵城市建设成效造成了影响。

因此,开展基于海绵城市理念的水系生态环境需水量研究具有重要意义。在总结国内外已有研究成果的基础上,结合水环境相关影响要素,明确水系生态环境需水量的内涵,确定计算方法,构建基于海绵城市理念的水系生态环境需水量计算模型,为推进海绵城市建设提供技术支撑。

## 1 生态环境需水量计算模型

分析流域降雨量与蒸发量的差值、其他源的补水量(如再生水厂的生态补水量)与生态需水量之间的关系,构建生态补水量计算模型,具体计算公式如下:

$$W=W_{zf}+W_{sl}+\max W_{stxs} \quad (1)$$

式中: $W$ 为区域生态环境需水量, $m^3$ ;  $W_{zf}$ 为河道蒸发需水量, $m^3$ ;  $W_{sl}$ 为河道下渗需水量, $m^3$ ;  $\max W_{stxs}$ 为多种方法计算得出的河道基本生态需水量的最大值, $m^3$ 。

## 2 水系生态环境需水量计算案例

以厦门市翔安区南部水系为例,翔安南部水系主要包括张埭桥流域、鼓锣流域和港汊流域三大流域水系,其水源主要来自集水区间的降雨径流。

研究区域各水系特征见表1。

表1 研究区域各水系特征

Tab.1 Characteristics of various rivers in the research area

| 流域名称  | 主要水体                 | 汇水面积/ $km^2$ |
|-------|----------------------|--------------|
| 张埭桥流域 | 浦园溪、宋洋水库、乌石盘水库、张埭桥水库 | 8.09         |
| 鼓锣流域  | 彭厝溪、鼓锣公园水系           | 9.00         |
| 港汊流域  | 浦边溪                  | 14.50        |

本研究主要考虑为满足河道基本生态流量和保证环境质量达标的需水量,即稀释污染物入河量达到地表Ⅴ类水所需水量,以及满足景观要求所需要补充的最低水量,即为最低生态需水量。

### 2.1 河道耗水量确定

① 蒸发需水量。翔安区南部年蒸发量为1 800 mm,基于各流域水面面积计算各流域蒸发损失量。经计算,张埭桥流域、鼓锣流域和港汊流域蒸发需水量分别为2 000、700和1 200  $m^3/d$ ,合计3 900  $m^3/d$ 。

② 下渗需水量。当流域水位升高、水压增大,而地下水位较低时,会产生渗漏,通常采用经验

公式来计算流域下渗需水量 $W_{sl}$ ,计算公式如下:

$$W_{sl}=k \cdot A \quad (2)$$

式中: $k$ 为流域渗漏强度,取7.5 mm/d;  $A$ 为水面面积, $m^2$ 。

根据各流域水面面积,分别计算各流域下渗需水量。经计算,张埭桥流域、鼓锣流域和港汊流域渗漏损失量分别为3 100、1 100和1 800  $m^3/d$ ,合计6 000  $m^3/d$ 。

## 2.2 流域基本生态需水量确定

### 2.2.1 Tennant法

Tennant法,又称蒙大拿法,是目前应用最广泛的生态环境需水量计算方法,其根据评价区域各保证率下的降雨量,测算各典型年的地表径流量,扣除各流域河道的蒸发量、渗漏量以及周围灌溉用水量后,分析各流域河道是否满足生态基流需求。其特点是以河流为对象,将水动力学、水生生物多样性和河流生态学等多学科的理论与方法应用于河流生态系统的分析,使研究工作更加深入,计算结果更接近实际情况。应用Tennant法计算基本生态需水量 $W_{stxs}$ 的公式如下:

$$W_{stxs}=M \cdot N \quad (3)$$

式中: $W_{stxs}$ 为河道基本生态需水量; $M$ 为多年平均径流量; $N$ 为推荐基流占比。

参考国内其他河道生态需水量计算案例,结合翔安区南部水系特征,选取生态需水量占多年平均径流量的比例为30%。根据研究区域各个保证率典型年下的降雨量,测算各典型年的地表径流量,扣除各个流域河道的蒸发量、渗漏量等,得到各个月份河道的实际流量,结果见表2。

① 三大流域在三种保证率下典型年全年平均流量基本能达到多年平均的30%,但是由于年内降雨量分布不均等,年内各个季节的最低生态流量需求满足情况不一,如春季和夏季相对于秋季和冬季满足生态基流需求情况较好。

② 三大流域各个季节的流量差异较大,总体来看,汛期(夏季5月—9月)由于降雨量较大,径流量大,虽然蒸发量为全年最高,但各流域均能满足最低生态流量需求(多年平均流量的30%);非汛期(春季3月—4月,秋季10月—11月,冬季12月—2月)满足生态基流需求的情况较差,特别是冬季(12月—2月)由于降雨较少,各流域均处于缺水状态。根据各季节流量情况,计算得到各流域在满足多年

平均流量的 30% 时各季节补水量:张埭桥流域在 75% 保证率下春季补水量为 2 100 m<sup>3</sup>/d, 90% 保证率下秋季补水量为 2 200 m<sup>3</sup>/d, 90%、75%、50% 保证率下冬季补水量分别为 4 600、5 000、4 100 m<sup>3</sup>/d;

鼓锣流域 90%、75%、50% 保证率下冬季补水量分别为 2 000、2 300、1 400 m<sup>3</sup>/d; 港汊流域 90%、75%、50% 保证率下冬季补水量分别为 3 100、3 700、2 200 m<sup>3</sup>/d。

表 2 各流域不同保证率下满足生态基流情况分析

Tab.2 Analysis of ecological base flow under different guarantee rate in each basin

| 项目    |    | 径流量/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> ) |         |         | 耗水量/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> ) |      | 剩余量/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> ) |         |         | 剩余流量占多年平均流量的比例/% |         |         |
|-------|----|--|---------|---------|--|------|--|---------|---------|------------------|---------|---------|
|       |    | 90% 保证率  | 75% 保证率 | 50% 保证率 | 渗漏量  | 蒸发量  | 90% 保证率  | 75% 保证率 | 50% 保证率 | 90% 保证率          | 75% 保证率 | 50% 保证率 |
| 张埭桥流域 | 春季 | 1.4  | 0.5     | 1.0     | 0.31   | 0.12 | 0.97   | 0.07    | 0.57    | 91.9             | 10.4    | 58.4    |
|       | 夏季 | 1.3  | 1.7     | 2.2     | 0.31   | 0.33 | 0.66   | 1.06    | 1.56    | 31.7             | 55.7    | 76.7    |
|       | 秋季 | 0.4  | 1.2     | 1.0     | 0.31   | 0.12 | -0.03  | 0.77    | 0.57    | -2.2             | 108.7   | 84.5    |
|       | 冬季 | 0.2  | 0.1     | 0.2     | 0.31   | 0.12 | -0.23  | -0.33   | -0.23   | -34.8            | -39.3   | -27.6   |
|       | 年均 | 0.83   | 1.17    | 1.1     | 0.31   | 0.20 | 0.39   | 0.49    | 0.79    | 27.5             | 40.6    | 60.1    |
| 鼓锣流域  | 春季 | 1.6  | 0.6     | 1.2     | 0.11   | 0.04 | 1.45   | 0.45    | 1.05    | 118.8            | 37.4    | 85.4    |
|       | 夏季 | 1.4  | 1.9     | 2.4     | 0.11   | 0.12 | 1.17   | 1.67    | 2.17    | 53.4             | 77.3    | 98.3    |
|       | 秋季 | 0.5  | 1.3     | 1.1     | 0.11   | 0.04 | 0.35   | 1.15    | 0.95    | 40.8             | 151.7   | 127.4   |
|       | 冬季 | 0.2  | 0.2     | 0.3     | 0.11   | 0.04 | 0.05   | 0.05    | 0.15    | 5.4              | 0.9     | 12.6    |
|       | 年均 | 0.93   | 1.0     | 1.25    | 0.11   | 0.07 | 0.82   | 0.92    | 1.22    | 54.5             | 67.6    | 87.1    |
| 港汊流域  | 春季 | 2.5  | 1.0     | 1.9     | 0.18   | 0.07 | 2.25   | 0.75    | 1.65    | 119.1            | 37.7    | 85.6    |
|       | 夏季 | 2.3  | 3.1     | 3.9     | 0.18   | 0.19 | 1.93   | 2.73    | 3.53    | 53.6             | 77.5    | 98.5    |
|       | 秋季 | 0.7  | 2.1     | 1.8     | 0.18   | 0.07 | 0.45   | 1.85    | 1.55    | 41.2             | 152.1   | 127.9   |
|       | 冬季 | 0.3  | 0.3     | 0.4     | 0.18   | 0.07 | 0.05   | 0.05    | 0.15    | 5.8              | 1.3     | 12.9    |
|       | 年均 | 1.5  | 1.8     | 2.3     | 0.18   | 0.12 | 1.20   | 1.50    | 2.00    | 54.8             | 67.9    | 87.4    |

2.2.2 水量平衡法

根据流域污染物入河量以及补水的水质情况,采用零维混合模型,考虑污染物仅稀释不降解的情况,取基于不同水质因子计算得到的稀释需水量中的最大值,作为控制断面达到水功能区水质目标时所需水量,即为满足水环境质量达标的生态需水量。经计算,张埭桥流域、鼓锣流域和港汊流域满足环境达标的生态需水量分别为 15 200、6 900 和 4 200 m<sup>3</sup>/d,合计 2.63×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d。

2.2.3 景观需水法

根据研究区域周边城镇的分布情况,考虑景观需求以及水体换水周期等因素,利用水闸和滚水坝等设施进行调度,以满足景观水体的水深要求。基于景观需求的流域需水量计算结果见表 3。

表 3 基于景观需求的流域需水量计算

Tab.3 Watershed water requirement calculation results based on landscape demand

| 项目    | 水面率/% | 需水量/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> ) |
|-------|-------|--|
| 张埭桥流域 | 8.46  | 2.0  |
| 鼓锣流域  | 1.64  | 0.7  |
| 港汊流域  | 1.61  | 1.5  |
| 合计    | 11.71 | 4.2  |

2.3 生态需水量计算结果

分析不同保证率下满足多年平均径流 30% 的最大补水量、满足环境质量达标补水量以及景观需水法计算结果,采用计算结果中的最大值,再叠加蒸发量、渗漏量作为最低生态需水量,可同时满足生态、环境以及景观需求。各流域基本生态需水量计算结果分析见表 4。

表 4 各流域基本生态需水量计算结果分析

Tab.4 Analysis of calculation results of ecological base flow for rivers 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup>

| 流域名称  | 景观需水量 | 满足多年平均径流 30% 的最大补水量 |         |         | 满足环境质量达标补水量 | 最大值 |
|-------|-------|---------------------|---------|---------|-------------|-----|
|       |       | 90% 保证率             | 75% 保证率 | 50% 保证率 |             |     |
| 张埭桥流域 | 2.0   | 0.5                 | 0.5     | 0.4     | 1.5         | 2.0 |
| 鼓锣流域  | 0.7   | 0.2                 | 0.2     | 0.1     | 0.7         | 0.7 |
| 港汊流域  | 1.5   | 0.3                 | 0.4     | 0.2     | 0.4         | 1.5 |

对多种方法的计算结果进行分析,并计算得出研究区域的生态需水量,结果见表 5。可知,研究区域最低生态需水量为 4.2×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,其中张埭桥流域、鼓锣流域和港汊流域分别为 2.0×10<sup>4</sup>、0.7×10<sup>4</sup> 和 1.5×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,能满足生态、水质达标和景观最低

需求。

表5 研究区域生态需水量计算结果

Tab.5 Calculation results of ecological flow for rivers in the research area  $10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$

| 项目    | 最大值 | 渗漏量  | 蒸发量  | 最低生态需水量 |
|-------|-----|------|------|---------|
| 张埭桥流域 | 2.0 | 0.31 | 0.20 | 2.51    |
| 鼓锣流域  | 0.7 | 0.11 | 0.07 | 0.88    |
| 港汊流域  | 1.5 | 0.18 | 0.12 | 1.80    |
| 合计    | 4.2 | 0.60 | 0.39 | 5.19    |

### 3 实施保障

#### 3.1 水质达标分析

研究区域周边污水厂尾水执行《厦门市水污染物排放标准》(DB 35/322—2018)A级排放限值,其用于水系生态补水时,各项水质指标符合《厦门市再生水利用 景观环境、河道用水技术指南(试行)》《厦门市水污染物排放标准》(DB 35/322—2018)及《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的规定。

#### 3.2 水量达标分析

经计算,研究区域周边污水厂近期预测污水量为  $7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,远期预测污水量为  $50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,可满足研究区域生态需水量要求。

### 4 结论

水系生态环境需水量具有时空性,单一的计算方法具有局限性和片面性,需通过构建水文模型、数学模型来计算河流和湖泊等水系生态系统稳定运行的最低需水量。在海绵城市建设视角下,对水系生态环境需水量进行研究,可为海绵城市的建设提供技术支撑,同时有助于推动水系生态环境需水量的确定。

### 参考文献:

- [1] 杜龙飞,侯泽林,李彦彬,等. 城市河流生态需水量计算方法研究[J]. 人民黄河,2020,42(2):34-37,47.  
DU Longfei, HOU Zelin, LI Yanbin, *et al.* Study on calculation method of ecological water demand of urban river [J]. Yellow River, 2020, 42(2): 34-37, 47 (in Chinese).
- [2] 谢鹏贵,缪沁园. 厦门市全域推进海绵城市建设的策略研究[J]. 福建建筑,2022(8):21-25.  
XIE Penggui, MIAO Qinyuan. Research on the strategy of promoting the construction of sponge city in Xiamen [J]. Fujian Architecture & Construction, 2022(8): 21-25 (in Chinese).
- [3] 盛子涵,蒋晓红,龚志浩,等. 基于海绵城市建设理念的圩垸地区城市排涝主要设计参数优化方法[J]. 水资源与水工程学报,2020,31(5):164-170.  
SHENG Zihan, JIANG Xiaohong, GONG Zhihao, *et al.* Design parameters of urban drainage in polder areas based on sponge city construction concept [J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2020, 31(5): 164-170 (in Chinese).
- [4] 焦瑾玲. 城市生态环境需水量计算方法研究[D]. 济南:山东大学,2006.  
JIAO Cuiling. Research on the Calculation Method of Water Demand of Urban Ecological Environment [D]. Jinan: Shandong University, 2006 (in Chinese).

作者简介:毛莹(1984—),女,江西吉安人,本科,高级工程师,注册城乡规划师,主要从事市政给排水规划和设计工作。

E-mail:85466248@qq.com

收稿日期:2023-12-06

修回日期:2023-12-22

(编辑:丁彩娟)

治理水土流失 建设美丽中国