

# 城市生态环境需水量的计算方法

姜翠玲, 范晓秋

(河海大学水资源环境学院, 江苏 南京 210098)

**摘要** 将城市作为一个以人为主体的典型人工生态系统, 论述了其生态环境需水量的特征. 分别从生活需水、工业需水和自然环境需水 3 个方面分析了城市生态环境需水量的计算方法.

**关键词** 城市环境; 生态环境; 需水量

**中图分类号** X21; TV211.1<sup>+</sup>1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-1980(2004)01-0014-04

水是组成城市自然生态系统的一个重要环境因素, 由于经济的快速发展、人口增多以及城市化规模的扩大, 人们对水资源的需求量不断增加, 世界上很多城市都出现了缺水现象. 同时, 对水资源不加节制地开发利用, 引起了地下水位下降、水环境严重污染、植被覆盖率降低、咸水入侵等恶果, 更加剧了供水用水的紧张局面<sup>[1]</sup>. 城市是人类消耗自然资源和产生废弃物的集中地, 我国 600 多座城市中已有 300 多座城市缺水, 110 多座城市严重缺水<sup>[2]</sup>. 大多数城市河流、湖泊受到污染, 水质达不到景观用水的标准. 人为对河道的渠道化工程及对河湖滨岸带湿地的开垦减弱了水体本身的净化功能, 加重了水污染. 因此, 研究一个城市生态环境需水量, 对城市用水的可持续发展具有非常重要的意义.

20 世纪 60 年代以来, 很多国家开展了河道基本流量的研究, 并确定了较完善的计算方法, 但早期并没有把水资源和生态环境系统联系起来. 直到 20 世纪 90 年代, 当水资源的可持续利用受到严重威胁时, 人类才逐渐认识到保证自然生态环境需水的重要性. 1995 年, Gleick 首先提出了基本生态需水量的概念<sup>[3]</sup>. 这一概念随着研究的深入进一步得到升华, 从最初的研究河道流量与鱼类生息环境的关系, 到研究生态系统与水资源的内在联系、生态水量的最优化分配及生态环境用水与经济用水的关系等<sup>[4,5]</sup>, 研究内容正逐渐展开, 并加强了国际之间的合作.

我国从 20 世纪 90 年代后期开始注重河道和流域生态需水量的研究, 虽然起步晚, 但研究进展较快, 对生态环境需水量的内涵作了进一步探讨, 提出了不同生态环境条件下生态需水量的计算方法. 但国内外对生态环境需水量的研究主要针对河道及流域范围, 针对城市的研究还处于刚刚起步的阶段<sup>[6]</sup>. 城市是不同于流域的生态系统, 受人类干扰和主观意识的影响程度非常高, 城市生态需水量的研究关系到城市发展的潜力和人类生活的质量.

## 1 城市生态环境需水量的组成

### 1.1 城市生态环境需水量的内涵

城市生态环境需水量是指在一定时间和空间范围内, 为维护城市生态环境发挥正常物质循环、能量流动和信息交换功能所需的水资源总量. 生态环境需水量由生态需水量和环境需水量两部分构成. 对自然环境而言, 生态需水量是指维持生态系统生物群落的组成和结构、维持生物栖息环境动态稳定所需的水量. 生态需水量不但与生态系统中生物群落的组成、结构有关, 还与气候、土壤、植被、地质和其他环境条件有关. 环境需水量是为满足水质改善、生态和谐与环境美化目标所需的水资源量<sup>[7]</sup>. 因此, 生态需水量与环境需水量两者有交叉和重合的部分, 但它们的内涵并不相同.

### 1.2 城市生态环境需水量的组成要素

目前已开展的城市生态环境需水量研究主要指城市自然环境系统的需水量, 包括绿地需水、河湖及地下水补水、休闲旅游用水和环境卫生用水等, 而不考虑工业、生活两个方面的社会经济用水. 但从生态系统的定

义来看,它是在一定时间和空间范围内,由生物群落与它们的生境(水、光、土壤、空气等)通过能量流动和物质循环所组成的一个自然体.城市生态系统与流域生态系统有很大差别,它是一个典型的人工生态系统,系统中的主要生物群落是人类.人类既是生态系统的组成要素,又是城市生态系统的改造者.人类可以通过自我调控使之与环境更和谐地融为一体,但这种调控必须遵守自然规律,运用自然生态学的理论与方法,否则将引起整个系统的破坏.因此,如果只考虑城市绿化需水及保证河流湖泊的水量并达到景观要求的水质,这些方面的需水仅仅是满足环境需水量的部分,而要维持城市生态系统的组成和结构,使其发挥正常的物质循环和能量流动,这部分需水则主要指生产和生活需水,即生态需水.自然环境仅仅是城市发展的一个平台,社会经济才是城市的命脉.因此,城市生态环境需水量应包括城市生活需水量、工业需水量和自然环境需水量 3 部分的总和.生活和工业的大量用水,是城市生态环境需水量的主要组成部分.

1.3 生态环境需水和生态用水

如果将城市看做一个独立的生态系统,城市生态环境需水量的组成有输入、输出和内部循环 3 部分.城市水资源的输入主要有河流入境量、外流域引水量、降水量 3 部分,输出是河流出境量.在城市地下水位基本稳定的前提下,两者之差就是城市用水量.用水量和生态环境需水量是有差别的.生态环境需水是指为达到某种生态环境水平或者维持某种生态平衡现状所需要的水量,水量配置是合理和可持续发展的,而生态用水是生态系统所使用的水量,未必是合理和可持续的水量<sup>[4]</sup>.

如果用水量等于生态环境需水量,生态系统的功能可以得到维护,生态系统不会恶化;若用水量小于生态环境需水量,生态系统的一部分功能需水得不到满足,生态环境将恶化;若用水量大于生态环境需水量,系统的水资源过剩,需要强调节约水资源<sup>[8]</sup>.

2 城市生态环境需水量计算方法

2.1 城市生活需水量

城市生活需水包括居民家庭生活需水和市政公共需水两部分.居民家庭生活需水是指维持日常生活的家庭和个人需水,主要指饮用和洗涤等室内用水.市政公共需水包括饭店、学校、医院、商店、浴池、洗车场、公路冲洗、消防、公用厕所、污水处理厂等用水<sup>[9]</sup>,也有人将洗车场、公路冲洗、公用厕所、污水处理厂等部门的用水称为环境卫生用水.废污水处理的对象是工业生产和居民生活排放的尾水,这些尾水可以作为城市内部循环水.影响城市生活需水量的因素很多,如城市的规模、人口数量、所处的地域、住房面积、生活水平、卫生条件、市政公共设施、水资源条件等.其中最主要的影响因素是人口数量和人均综合用水定额.我国建设部于 1998 年发布的《城市给水工程规划规范》(GB50282—98)中给出了城市人均综合用水定额的法定指标.第  $i$  年的城市生活需水量可用相关法<sup>[2]</sup>进行计算和预测:

$$W_{li} = P_0(1 + R_1)^n K_i$$
 (1)

式中: $P_0$ ——基准年份人口量,人; $R_1$ ——城市人口计划增长率,%; $K_i$ ——第  $i$  水平年拟订的用水综合定额,  $m^3/(人 \cdot a)$ ;  $n$ ——从基准年到  $i$  水平年的年数.

2.2 城市工业需水量

工业需水是指工矿企业在生产过程中用于制造、加工、冷却、洗涤和其他工业生产过程中的用水.城市工业需水量的计算方法有万元产值需水量,即用现状年万元产值或预测水平年万元产值乘以工业万元产值需水量定额.此方法是通过调查工业万元产值取水量的现状和历史变化趋势,推测目前或将来为实现某一工业产值目标所需的工业用水量.由于不同行业或同一行业的不同产品、不同生产工艺之间的万元产值取水量相差很大,因此确定万元产值需水量指标非常困难<sup>[9]</sup>.另一种计算工业需水量的方法是需水增长趋势分析法.此法是根据历年工业用水增长率计算推测第  $i$  年的工业需水量,计算公式如下:

$$W_i = W_0(1 + R_2)^i$$
 (2)

式中: $W_0$ ——基准年份工业需水量,  $m^3/a$ ;  $R_2$ ——工业用水年平均增长率,%.

城市需水量受城市经济发展水平、城市规模、工业结构、水资源重复利用率等多种因素的影响,各影响因素有一定的变化规律和趋向性,能在历年工业用水增长率中反映出来,这是增长趋势分析法的优点.这一方法要求有系列历史资料,计算的准确性取决于资料系列的长短和代表性.

2.3 城市环境需水量

城市环境需水量  $W_c$  (  $m^3/a$  )包括绿地需水、河湖补水、休闲旅游用水等.

2.3.1 绿地需水量

绿地需水量包括绿地植被蒸散需水量、植被生长需水量、维持植被生长的最小土壤含水量.城市绿地有园林、道路绿化带、河岸生态林、风景区林地等.

a. 绿地植被蒸散需水量

$$W_E = AE_P \tag{3}$$

式中 : $A$ ——城市绿地面积  $hm^2$  ; $E_P$ ——植被蒸散量  $mm/a$ .

由于不同植被的蒸散量不同,精确计算时可根据城市主要绿化植被类型所占面积及蒸散量分别求需水量后,再求总和.

b. 植被生长需水量

$$W_P = W_E/99 \tag{4}$$

植物在生长过程中所吸收的水分,大部分用于蒸散发,只有很小的一部分作为植株体存在所必需的水分.植被自身的含水量和植被蒸散量的比例大约为  $1:99^{[4]}$ .

c. 维持植被生长的最小土壤含水量

$$W_S = Ah\rho\xi \tag{5}$$

式中 : $h$ ——土壤深度  $m$  ; $\rho$ ——土壤密度  $g/cm^3$  ; $\xi$ ——土壤含水量系数  $\%$ .

据许有鹏<sup>[2]</sup>推荐,城市绿地用水可简单地采用每平方米绿地面积每月用水  $1\sim 2L$  来估算.

2.3.2 河湖生态环境需水量

此处所指的河湖是城内河流和湖泊,其需水量是指维持城内河流基流和湖泊一定水面面积、满足景观条件及水上航运、保护生物多样性所需的水量.河湖生态环境需水量有水面蒸发需水、渗漏需水、基流需水、污染物稀释净化需水等<sup>[10]</sup>.

a. 水面蒸发需水量

$$W_e = A_1 E_e \tag{6}$$

式中 : $A_1$ ——河湖水面面积  $hm^2$  ; $E_e$ ——河湖水面蒸发量  $mm/a$ .

b. 河湖渗漏需水量是当河湖水位高于地下水位时,通过河湖底部渗漏和岸边侧渗将向地下水补充的水量,其计算公式为

$$W_l = KITW \tag{7}$$

式中 : $K$ ——含水层平均渗透系数  $mm/d$  ; $I$ ——水力坡度 ; $W$ ——过水断面面积  $m^2$  ; $T$ ——补给时间  $d$ .

也可根据杨志峰等<sup>[4]</sup>的经验公式计算 :

$$W_l = K_1 A_1$$

式中 : $K_1$ ——系数,按经验取值.

水面蒸发需水量  $W_e$  和渗漏需水量  $W_l$  都是河湖耗费的水量,必须通过补水才能保证一定的水面面积、水深和流量.

c. 河道基流需水量是保持河流一定流速和流量所需的水量,计算公式为

$$W_R = A_2 v \tag{8}$$

式中 : $A_2$ ——河道平均断面面积  $m^2$  ; $v$ ——流速  $m/s$ .

d. 维持湖泊水面需水量是维持湖体正常存在及发挥功能的蓄水量,计算公式为

$$W_L = A_1 H \tag{9}$$

式中 : $H$ ——湖泊平均水深  $m$ .

河道基流及维持湖泊水面需水量可满足景观、旅游、航运、水生生物生存所需的水量.

e. 污染物稀释净化需水量

$$Q = (C_i/C_{oi})Q_i \tag{10}$$

式中 : $Q$ ——污染物稀释净化需水量  $m^3/a$  ; $C_{oi}$ ——达到用水水质标准规定的第  $i$  种污染物浓度  $mg/L$  ;

$C_i$ ——实测河流第  $i$  种污染物浓度,mg/L; $Q_i$ ——90% 保证率最枯月平均流量,  $m^3/s$ ; $C_i/C_{oi}$ ——污染指数(计算  $Q$  时,取污染指数最高的污染物进行计算)。

由于目前城镇河湖污染严重,大多数情况下达不到景观用水的标准,因此,为提高河湖稀释净化污染物的能力,使水质达到用水的最高标准,需人工补充清洁水。将污染物稀释净化需水量计算在内,可显著增大城市生态环境需水量<sup>[11][12]</sup>。

城市环境需水量

$$W_c = W_E + W_p + W_s + W_e + W_l + W_R + W_L + Q$$

( 11 )

2.4 城市生态环境需水量

城市第  $i$  年的生态环境需水量是生活需水量、工业需水量和自然环境需水量各项的总和,即

$$W = W_{li} + W_i + W_c = W_{li} + W_i + W_E + W_p + W_s + W_e + W_l + W_R + W_L + Q$$

( 12 )

生态系统是一个在一定时间和空间范围内相对稳定的自然体,其总的变化趋势是发展、演替的。城市是一个人工生态系统,由于主体人类追求越来越舒适的生活,它的发展变化速度很快。城市生态环境需水量也随人口增加、工业增长、绿化面积扩大等因素不断上升。计算城市生态环境需水量既要以历史和当前需水、用水状况为基础,以经济发展、人口增长、环境改善的规划目标为依据,也要考虑生活水平迅速提高、市政设施更加完善、生产工艺不断革新以后,水资源的重利用率将大幅度上升。随着人类节约资源、保护环境意识的增强,城市人均耗水量将降低。预测一定时期的生态环境需水量能及时地为决策部门开发利用、保护水资源提供理论依据。

参考文献：

[ 1 ] 李刚,万绪才,刘小钊.南京城市生态系统可持续发展指标体系与评价[ J ].南京林业大学学报,2002,26( 1 ) :23—26.

[ 2 ] 许有鹏.城市水资源与水环境[ M ].贵阳:贵州人民出版社,2003.79—91.

[ 3 ] GLEICK P H. Water in Crisis :Paths to sustainable water use[ J ]. Ecological Applications, 1998, ( 8 ) :571—579.

[ 4 ] 杨志峰,崔保山,刘静玲,等.生态环境需水量理论、方法与实践[ M ].北京:科学出版社,2003.22—103.

[ 5 ] 张鑫,蔡焕杰.区域生态需水量与水资源调控模式研究综述[ J ].西北农林科技大学学报,2001,29( 增刊 ) :84—88.

[ 6 ] 田英,杨志峰,刘静玲,等.城市生态环境需水量研究[ J ].环境科学学报,2003,23( 1 ) :100—106.

[ 7 ] 倪晋仁,崔树彬,李天宏,等.论河流生态环境需水[ J ].水利学报,2002( 9 ) :14—19,26.

[ 8 ] 郑冬燕,夏军,黄友波.生态需水量估算问题的初步探讨[ J ].水电能源科学,2002,20( 3 ) :3—6.

[ 9 ] 钱易,刘昌明,邵益生.中国城市水资源可持续开发利用[ M ].北京:中国水利水电出版社,2002.90—119.

[ 10 ] 李丽娟,郑红星.海滦河流域河流系统生态环境需水量计算[ J ].地理学报,2000,55( 4 ) :495—500.

[ 11 ] BIGGS B J F. The effects of low flow regulation on the biology and water quality of rivers with particular reference to a impoundment regulated flow[ A ]. In :New Zealand Ministry of Works and Development Water and Soil. River Low Flows :Conflicts and Water Use [ C ]. Wellington :Miscellaneous Publication, 1982, 47 :28—42.

[ 12 ] NOVOTNY V. Water quality :prevention, identification, and management of diffuse pollution[ M ]. New York :Van Nostrand Reinhold Press, 1994.10—36.

Calculation method for urban eco-environment water demand

JIANG Cui-ling, FAN Xiao-qi

( College of Water Resources and Environment, Hohai Univ., Nanjing 210098, China )

**Abstract :** A city is taken as a typical artificial ecosystem with human beings acting as its main body. The characteristics of the water demand by urban eco-environment are discussed, and the calculation method is analyzed from the aspects of domestic water demand, industrial water demand, natural environment water demand.

**Key words :** urban environment ; eco-environment ; water demand