

# 河流景观生态环境需水量计算方法研究\*

喻泽斌<sup>1,2</sup>, 龙腾锐<sup>1</sup>, 王敦球<sup>1</sup>

(1. 重庆大学 城市建设与环境工程学院, 重庆 400045; 2. 广西大学 化学化工学院, 广西南宁 530004)

**摘要:**在总结了国内外生态环境需水量研究的现状的基础上,针对水资源丰富地区景观河流的景观与生态的保持,提出了景观生态环境需水量计算方法。景观生态环境需水量是维持河流与其水文周边景观生态系统的结构和功能的完整性不受破坏所需的水量。在计算景观生态环境需水量时,首先通过研究一定时期内的河流生物相与河道湿周的关系,确定河流水域空间大小与河流生态系统的关系,再通过选取确定关键断面,查阅历史资料,确定该断面水位与下游周边景观的关系,统计计算该断面的水位与流量关系,最终确定下游景观与关键断面流量的关系。最后,采用权重——属性决策分析的方法确定适当的景观生态环境需水量。为了说明以上观点,以漓江为例,计算了漓江的景观生态环境需水量。

**关键词:**景观河流; 生态环境需水量; 计算方法

**中图分类号:** X171.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006 - 7329(2005)01 - 0071 - 05

## Study on Calculation Method of Ecological Water Demand for the Landscape

YU Ze - bin<sup>1,2</sup>, LONG Teng - rui<sup>1</sup>, WANG Dun - qiu<sup>1</sup>

(1. College of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China; 2. College of Chemistry and Chemical Technology, Guangxi University, Nanning 530004, P. R. China)

**Abstract:** In this paper, the current situation on the study of water required for ecology and environment is summarized aiming at the maintenance of the view and ecology of landscape river in the affluent water area, to bring forward the calculation method of water required for ecology and environment of landscape. The authors put forward a point of view that the water required for ecology and environment of landscape is the water to keep the integrity of structure and function of river ecology and circumjacent landscape. In calculation of the water required for ecology and environment of landscape, firstly, the relation of river creature posture and wade wet cycle during some period should be studied to ensure the relation of water area dimension and river ecology system. Secondly, a key cross section is chosen to estimate the relation of water level and downstream landscape through referring to historical data, compute the relation of water level and runoff and it can fix on the relation of downstream landscape and water level at a key cross section. Finally, the authors adopt a method of mace - attribute decision - making analysis to make sure appropriate water required for ecology and environment of landscape. For the sake of explaining above point of view, this paper gives an example of calculation of water required for ecology and environment of landscape for Lijiang River.

**Key words:** landscape river; water required for ecology and environment; calculation method

### 1 概念及定义

20 世纪 40 年代美国开始对生态环境需水量 (Water Required for Ecology and Environment) 进行理论研

\* 收稿日期: 2004 - 11 - 28

基金项目: 国家 863 课题 (2003AA601060 - 3 - 3), 广西自然科学基金项目资助 (0144027)

作者简介: 喻泽斌 (1968 - ), 男, 湖南长沙人, 博士, 主要从事水环境规划与水污染控制研究。

究,其目的是为了 避免河流生态系统退化,规定需保持河流最小生态流量,并于 20 世纪 70 年代初通过立法列入地方法案。英国、澳大利亚等国 20 世纪 80 年代起接受河流生态流量的概念,并广泛开展研究;亚洲、南美洲等国家目前逐步接受或尚未接受这一概念<sup>[1,2]</sup>。国内对生态环境需水问题是近几年刚刚得到关注并开始研究的。在《21 世纪中国可持续发展水资源战略研究》中<sup>[3]</sup>,广义生态环境用水被定义为“维持全球生物地理生态系统水分平衡所需用的水,包括水热平衡、水沙平衡、水盐平衡等,都是生态环境用水”,定义狭义的生态环境用水“为维护生态环境不再恶化并逐渐改善所需要消耗的水资源总量”。国内目前研究目标多集中在水资源供需矛盾突出以及生态环境相对脆弱和问题严重的干旱、半干旱和季节性干旱的半湿润区,且以河流生态系统的需水作为主要研究对象,如塔里木河流生态需水量等<sup>[4~7]</sup>,对于水资源丰富地区的景观河流生态环境需水量的研究,至今未见有报道。

景观生态环境需水量是维持河流与其水文周边景观生态系统的结构和功能的完整性不受破坏所需的水量,它包括了两层含义,一是维持河道内生态系统完整性的需水量,二是维持河道和周边环境组成的景观优美的需水量。它属于生态环境需水概念范畴,但又有别于一般意义上的生态环境需水。

与生态环境需水一样,景观生态环境需水具有生态、环境和自然属性,如时空特征的动态变量,与水资源及分布特性、人类文明进步和生态环境保护的目标有关。从时空概念来讲,河流景观生态环境需水是一个动态的、不断增值的变数,因而,景观生态环境需水的多少,也就会随着它的价值的不断增高而增加。景观生态环境需水与生态环境需水量同样具有自然生态优先内涵,它必须维持自然再生产必须保障的水量和最基本的需求,不能再作为其他用途进行调控,因此,必须是在自然景观生态系统需水得到保障后,方可进行人类经济活动和社会发展用水的配置。与一般意义上的生态环境需水量的最大区别是,景观生态环境需水强调了嵌块体和廊道的需水,非常注重空间结构,它适用于水资源丰富的地区,即在不采取人工提水的情况下,大气降水完全可以满足河道外生态环境需水的要求。

从景观生态环境需水量的定义来看,在数量上,河流景观生态环境用水要大于河道内生态需水量,小于生态环境需水量。因此,在水资源的供求顺序上是生存用水、景观生态环境需水、经济发展用水。

## 2 河流景观生态环境需水量的计算方法

目前,国外计算河流生态需水量的方法较多,总的来说,可以分为水文学方法和生态学方法两大类,其中广泛应用的主要有:河道内流量增加法(IFIM 法),适配曲线法,蒙大拿法(Montana Method),径流时段曲线分析法,针对干旱区河流系统的 Tennant 方法,适用于湿润河网区的湿周法,考虑水质因素的美国 7Q10 法,以保护水生生物栖息地为目标的 R2CROSS 法等计算方法,以及 BBM 方法(The Building Block Methodology)等,国内一般采用的方法有 10 年最枯月平均流量法<sup>[2,8]</sup>。

参考生态环境需水量的计算方法,结合景观河流的特点,本文提出景观河流生态环境需水量的计算方法:

1) 河道内生态环境需水量的计算。按照水域生态系统的观点,栖息于水体中的生物之所以某些种类和各自的若干数量存在乃是长期复杂的相互作用下形成的相对稳定的状态,这就叫做生物相,河流中的生物相是与河流的水面宽度、水深密切相关的,维持一定的水域空间对于维持河流中各类生物的种群有重要意义。因此,在河床形态不发生大变化的情况下,通过研究河流生物相与一定时期内河道湿周(指水面以下河床的线性长度)的关系,可以确定河流水域空间大小与河流生态系统的关系。该方法是研究水域空间与生物量或种群变化关系入手,确定与水域空间关系最密切的指示生物,由指示生物的变化分析、判断现存或者理想生态对流域水量的需求与分配。

2) 景观需水量的计算。选取确定关键断面,查阅历史资料,确定该断面水位与上游或下游周边景观的关系,统计计算该断面的水位与流量关系,最终确定下游景观与关键断面流量的关系。其中,选取合适的断面尤为重要,要求上游或下游的取水量和回归水量相对稳定。

选取河道内生态需水量和景观需水量的最大值作为景观生态环境需水量的备选方案。

3) 采用权重——属性决策分析的方法确定最适当的景观生态环境需水量。其过程包括目标的识

别、目标体系的建立、指标权重的确定、属性的分析、方案价值的计算、灵敏度分析等。

目标的识别。一个多层次、多变量的方案决策问题,包含了大量的决策目标,可以根据有关的标准、规范和经验识别它们。对决策目标的识别要注意充分性和必要性,决策的初期,可能提出的目标比较多,随着对问题认识的深入,去粗存精,形成有代表性的决策目标。

目标体系的建立。将供决策的方案分成几个等级。根据目标的层次分析,所有目标按照一定层次对号入座,形成一个树状的目标体系。

权重的确定。权重反映一个目标在目标体系中的相对重要性,由于人们对事物的认知水平的差异,权重具有主观性。

属性分析。属性是决策目标的固有特性,反映了目标的绝对值的大小。首先是活动影响的识别。可以通过确定识别每一项活动对每一个受体的影响来进行,可以采用影响矩阵的方法来清晰表达。其次是属性分析。在识别活动的影响后,以决策目标体系为纲对这些影响进行分析。对活动影响分析结果进行量化处理,采用的方法有直接计算法、间接计算法和相对赋值法。最后是目标属性值的规范化,主要目的是统一比较标准,可以采用分等级进行评分。

方案价值的计算。方案的总价值可以用下列公式计算:

$$V_i = \sum_{j=1}^m w_j S_{ij} \quad (1)$$

式中: $V$  为方案的总价值; $i$  为方案编号; $j$  为目标体系中底层目标的编号; $m$  为目标体系中底层目标的数目; $w$  为目标的权重; $S$  为目标的属性值。

灵敏度分析。系统输出相对于系统输入的相对变化的响应称为灵敏度。灵敏度分析是考察各种不确定因素的抗干扰能力。

### 3 漓江景观生态环境需水量的确定

漓江是中国著名的风景区,水文景观是其主导性的资源,其风景水路游程之长雄踞中国风景名胜之首,饮誉海内外。漓江之美,在于由蜿蜒曲折,清澈见底的漓江与两岸峰林地貌组成的生态景观,漓江的特殊功能和特殊地位决定了漓江水资源的特殊功能。遗憾的是,尽管漓江属于水资源丰富地区,人均水资源超过  $5\,000\text{ m}^3$ ,但是由于漓江是山区雨源型河流,降雨年际年内的分配不均,枯水季节景观和生态缺水的问题日见突出,因此,确定合理的景观生态环境需水量对于保持漓江优美的生态景观有举足轻重的意义。

1) 河道内生态环境需水量的确定。根据 1979~1982 年开展的漓江水生动植物研究,漓江共有鱼类 141 种,数量较多的有鲤、鲫、光倒刺和大眼华鳊等;底栖生物 79 种,分属于昆虫、甲壳、蛭和蛛形纲的 13 个目;浮游动物 113 种,其中原生动物 22 种,轮虫 23 种,枝角类 39 种,桡足类 29 种;水生维管束植物有苦草、轮叶黑藻、马来眼子菜、金鱼藻等共 10 种,分属 8 属 7 科,总生物量为  $2.54\text{ kg/m}^3$ 。

在所有水生动植物之中,漓江枯水季节水域空间的大小与鱼类的生存空间和生长、繁殖关系最为密切。根据观察,鲤、鲫、大眼华鳊等每年春节以后(枯水季节),都要溯江而上,选择干流、支流的静水缓流水的区域产卵,一直到夏至以后逐步退回。因此,鱼类与水域空间大小关系对枯水期生态环境需水起决定作用。从历年来鱼类资源调查结果来看,当桂林水文站的最枯月平均流量低于  $10\text{ m}^3/\text{s}$ ,当年鱼类资源的产量明显下降,说明此流量是保证河流生态系统的完整性不受破坏的最低流量。

2) 确定景观需水量。选取桂林水文站为关键断面,其下游(桂林城区——阳朔段)的取水量和回归水量相对稳定。根据桂林水文站的多年观测结果,桂林地点的水位与流量存在以下关系:

当  $Q < 250\text{ m}^3/\text{s}$  时,  $WL = 140 + (0.016\,147Q + 0.454\,01)^{0.5}$

当  $250 < Q < 1\,000\text{ m}^3/\text{s}$  时,  $WL = 140 + (0.010\,796Q + 1.468\,63)^{0.5}$

当  $Q > 250\text{ m}^3/\text{s}$  时,  $WL = 140 + (0.010\,257Q + 2.125\,58)^{0.5}$

式中: $Q$  为桂林水文观测站流量; $WL$  为桂林水文观测站水位。

桂林漓江风景名胜区的总体规划和航道管理部门的多年实测资料表明,当桂林水文站的水位为 140.784 m,也就是该断面的流量为  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  时,桂林城区——磨盘山段将出现大面积河床裸露;在流量  $Q$  达到  $30 \text{ m}^3/\text{s}$  时,桂林水文站的水位为 140.969 m,漓江的最核心景观兴坪段在枯水期出现倒影;当流量  $Q$  达到  $45 \text{ m}^3/\text{s}$  时,桂林水文站的水位为 141.086 m,漓江出现宽浅平静的水面,景观特色比较明显;当流量达到  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  时,桂林地点的水位为 141.123 m,漓江桂林城区——阳朔段的大多数景观出现倒影;当流量达到  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  时,水位为 141.321 m,漓江桂林城区——阳朔段的景观常年出现倒影。

综上,根据漓江水位与河流生态系统的关系、流量与漓江水位的关系,以及未来一定时期内人们对漓江优美水文景观生态的追求,漓江水资源时空分布差异带来的补水成本,可以将漓江的景观需水量划分为 5 种类型:

方案 :桂林水文站的最小流量在  $80 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

方案 :桂林水文站的最小流量在  $70 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

方案 :桂林水文站的最小流量在  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

方案 :桂林水文站的最小流量在  $45 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

方案 :桂林水文站的最小流量在  $30 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

### 3) 根据水资源的实际情况验证各种方案的可能性

选用桂林水文站径流设计代表段(1958 年 3 月~1985 年 2 月)逐日实测流量资料,将流域内补水工程拦截了原来进入漓江的径流,水量平衡时在下泄流量中将天然流量扣除,统计出日平均流量不足目标流量的天数、补足目标流量的需补水量(见表 1)。

表 1 不同目标流量条件下多年平均需补水量及需补水天数统计表

| 断面    | 目标流量/ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ | 需补水量/ $10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ | 需补水天数/ $\text{d} \cdot \text{a}^{-1}$ |
|-------|----------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------|
| 桂林水文站 | 30(方案 )                                | 10 099                                       | 93                                    |
| 桂林水文站 | 45(方案 )                                | 24 851                                       | 144                                   |
| 桂林水文站 | 55(方案 )                                | 34 174                                       | 172                                   |
| 桂林水文站 | 70(方案 )                                | 58 664                                       | 203                                   |
| 桂林水文站 | 80(方案 )                                | 76 348                                       | 219                                   |

从水资源的总量来说,桂林水文站以上水资源全年为 41 亿  $\text{m}^3$ ,桂林地点以上 2000 年国民经济用水量为 14.40 亿  $\text{m}^3$ ,而保持桂林水文站平均  $80 \text{ m}^3/\text{s}$ ,也只需不到 25 亿  $\text{m}^3$ ,即便是不考虑用水的回归,满足最高的景观用水的要求也是不成问题的。但是,从水资源的全年分布情况来说,即便是达到方案 的要求,保持最低层次要求的景观需水量,也要补水 10 099 万  $\text{m}^3$ ,满足欠充分的景观需水量,需补水 24 851 万  $\text{m}^3$ ,满足较充分的景观需水量,需补水 34 174 万  $\text{m}^3$ ,满足充分的景观需水量,需补水 76 348 万  $\text{m}^3$ 。

### 4) 采用权重——属性分析决策的方法确定适当的方案

问题简化:景观生态环境需水量问题可以简化为:确定合适的景观生态环境需水量

候选方案: 、 、 、 、 ;

决策目标:从备选的 5 种方案寻求最满意的方案;

约束条件:水资源有此承载力;满足景观生态要求;满足经济技术可行性要求;有实施工程措施的成熟条件。

确定决策目标体系:共 5 层 48 个指标<sup>[8]</sup>。第一层目标为总目标,第二层目标景观生态、经济、社会效益和工程技术 4 个指标;第三层目标为水环境质量、景观的优美、旅游业投入产出比、旅游业对其它产业的带动等,依次类推。

权重分析。权重分析采用书面调查的形式,调查表采用全量比较的方法,即将同一父目标下的子目标列在同一栏内,由被调查者给出他们相对于父目标的重要性,用 1、3、5、7、9 作为相对重要性的标度。

属性分析。属性分析的目的是确定目标的决定价值,并对决定价值进行规范处理。经济收益指标属性可以直接计算,但是工程的可行性、社会效益以及景观生态很难直接计算,即便是间接计算也难度较大,他们的属性可以通过相对赋值法获得。通过各种方法获得的属性值还必须进行规范化处理。

方案的总价值与排序。按公式(1)计算总价值的大小,见表 2。  
灵敏度分析。对指标的权重做正、负 20 %的扰动时,得到方案的得分,见表 3。

表 2 方案的总价值与主要目标得分

| 方案价值  | 权 重     | 方案编号 |      |      |      |      | 理想方案值 | 差别/ % |
|-------|---------|------|------|------|------|------|-------|-------|
|       |         | 74.3 | 77.2 | 78.6 | 84.7 | 73.7 |       |       |
| 方案总价值 |         | 74.3 | 77.2 | 78.6 | 84.7 | 73.7 | 100   | 5.3   |
| 景观生态  | 0.3274  | 89.0 | 87.9 | 87.1 | 87.0 | 68.0 | 100   | 11.0  |
| 经济收益  | 0.289 5 | 61.2 | 66.3 | 69.3 | 78.2 | 79.0 | 100   | 21.0  |
| 社会需求  | 0.207 4 | 65.4 | 66.3 | 69.1 | 86.2 | 62.1 | 100   | 13.6  |
| 工程技术  | 0.175 7 | 79.2 | 88.3 | 88.6 | 89.1 | 89.2 | 100   | 9.1   |

表 3 主要权重指标扰动 ±20 %方案的得分

| 项 目         | 主要指标    |         |         |         | 方案得分 |      |      |      |      |
|-------------|---------|---------|---------|---------|------|------|------|------|------|
|             | 景观生态    | 经济收益    | 社会需求    | 工程技术    | 74.3 | 77.2 | 78.5 | 84.7 | 73.7 |
| 初始权重        | 0.327 4 | 0.289 5 | 0.207 4 | 0.175 7 | 74.3 | 77.2 | 78.5 | 84.7 | 73.7 |
| 景观生态 + 20 % | 0.392 7 | 0.318 4 | 0.228 1 | 0.193 2 | 84.7 | 90.5 | 89.1 | 95.9 | 83.3 |
| 景观生态 - 20 % | 0.261 9 | 0.260 7 | 0.186 7 | 0.158 1 | 64.0 | 66.6 | 67.8 | 73.4 | 64.1 |
| 经济收益 + 20 % | 0.354 1 | 0.347 4 | 0.224 3 | 0.190 0 | 82.5 | 85.8 | 87.3 | 94.2 | 82.4 |
| 经济收益 - 20 % | 0.300 7 | 0.231 6 | 0.190 5 | 0.161 3 | 66.2 | 68.7 | 69.7 | 75.1 | 65.0 |
| 社会需求 + 20 % | 0.344 5 | 0.304 7 | 0.248 9 | 0.184 8 | 80.2 | 83.3 | 84.7 | 91.7 | 79.4 |
| 社会需求 - 20 % | 0.310 3 | 0.274 3 | 0.165 9 | 0.166 5 | 68.4 | 71.2 | 72.3 | 77.6 | 67.9 |
| 工程技术 + 20 % | 0.374 1 | 0.301 8 | 0.216 2 | 0.210 8 | 82.6 | 85.8 | 87.1 | 93.6 | 81.5 |
| 工程技术 - 20 % | 0.313 5 | 0.277 2 | 0.198 6 | 0.140 6 | 69.0 | 71.5 | 72.7 | 78.6 | 68.1 |

从灵敏度分析可以看出,当权重发生扰动时,方案 始终表现出较大的优势,方案 的总价值始终占据首位。

综上,确定桂林水文站流量为 45 m<sup>3</sup>/s 时为最合适的漓江景观生态环境需水量。

4 结论

1) 景观生态环境需水显然是包含了水量和水质的要求,本文在确定景观河流的生态环境需水量时,是在考虑到景观河流必须是具备了一定的水质,即水质符合景观用水的标准的前提下进行的,因此,本文所关注的是水量的问题。

2) 对河道内生态环境需水量的研究采用的方法是以研究水域空间与生物量或种群变化关系入手,确定与水域空间关系最密切的指示生物,由指示生物的变化分析、判断现存或者理想生态对流域水量的需求与分配;对景观需水量的研究是利用历史资料确定的水位与流量的关系来确定计算景观环境需水量,最后采用权重——属性决策分析的方法确定最适当的景观生态环境需水量,方法简单可行。

参考文献:

[1] 夏军. 可持续水资源系统管理研究与展望 [J]. 水科学进展, 1998, 4(3): 14 - 17.  
[2] 倪晋仁, 崔树彬. 论河流生态环境需水 [J]. 水利学报, 2002, (9): 14 - 19.  
[3] 钱正英. 中国可持续发展水资源战略研究综合报告 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.  
[4] 夏军. 可持续水资源管理研究与实践 [M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 1999.  
[5] 朱一中, 夏军, 谈戈. 关于水资源承载力理论与方法的研究 [J]. 地理科学进展, 2002, 21(2): 31 - 35.  
[6] 李丽娟. 海滦河流域河流系统生态环境需水量研究 [J]. 地理学报, 2000, (4): 18 - 24.  
[7] 李宗礼. 干旱内陆河流域下游地区生态用水量及水资源承载能力分析 [A]. 环境水利论文选编(第八集) [C]. 北京: 中国水利出版社, 1995.  
[8] 杨志峰, 张远. 河流生态环境需水量的研究方法评述 [J]. 水动力学研究与进展, 2003, 18(2): 24 - 28.