

计算河道内生态需水量的 DESKTOP RESERVE 模型及其应用

陈 星, 崔广柏, 刘 凌, 樊彦芳, 周 力

(河海大学水资源环境学院, 江苏 南京 210098)

摘要 :DESKTOP RESERVE 模型源于构造块方法, 计算时只需要历史流量资料, 通过河道水情特征来反映河流生态功能。模型分别对平水年基流量、枯水年基流量、平水年高流量与枯水年高流量四个模块进行年值模拟, 再分配至月值, 模型最终输出为各月不同保证率下的生态需水量序列, 用于水资源管理。但由于模型的噪音项包含的不确定性较构造块方法更多, 因此模型适用于对河道内生态需水量进行初步快速的预测。

关键词 :DESKTOP RESERVE 模型; 河道; 生态需水量; 构造块方法; 水情特征

中图分类号 :X32 文献标识码 :A 文章编号 :1004-693X(2007)01-0039-04

DESKTOP RESERVE model for ecological instream flow requirements of rivers and its applications

CHEN Xing, CUI Guang-bo, LIU Ling, FAN Yan-fang, ZHOU Li

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

Abstract :The DESKTOP RESERVE model comes from the basic conception of building block methodology (BBM). The ecological function of rivers can be found out by flow regime characteristics based on historical streamflow records. Four blocks were simulated, including annual base flow in normal flow year, annual base flow in low flow year, annual high flow in normal flow year and annual high flow in low flow year, and flows in each month were calculated. The output of the model is the flow series of each month with a range of percentage assurances, which could be used in water resources management. Because the noise term of the model includes more uncertainties than that of BBM, the model can provide fast and preliminary estimations on ecological instream flow requirements.

Key words :DESKTOP RESERVE model; ecological instream flow requirement; building block methodology; flow regime characteristic

随着我国社会经济的发展 and 人口的增长, 人类活动对生态环境的影响越来越大, 由此引发的生态环境问题也日益突出。导致生态环境质量下降的主要原因之一即为生态环境缺水。在水资源的开发利用中, 不仅要注重经济效益, 更要保证河流的生态功能, 这已经成为各界的共识, 与此同时寻求适合我国国情且具有一定可信度的生态需水量计算方法也成为研究热点。由于我国的河流大多数有历史流量数据, 而很少有生态方面的相关信息, 所以本文探讨了只需使用历史流量资料的 DESKTOP RESERVE 模

型, 计算河道内生态需水量, 为水资源规划管理及可持续发展提供借鉴。

1 DESKTOP RESERVE 模型的来源

DESKTOP RESERVE 模型的设计思路来源于构造块方法 (BBM)。构造块方法^[1-2]是根据一些动植物专家 (鱼类专家、无脊椎动物专家、滨岸植物学家) 和地貌学专家的相关知识, 通过栖息地需求和河流水力特征来确定河道内生态需水量的方法。其四个模块分别为: 平水年基流量、枯水年基流量、平水年

高流量与枯水年高流量,模型的输出结果为一年中每个月不同保证率下的生态需水量序列。

构造块方法的公式可以简单表示为

河道内生态需水量 = 水情特性项 + 特定生态功能项 (A ~ D) + 流量 ~ 栖息地关系项 + 噪音项

其中特定生态功能这一项的生态保持类选择规则为:若某河流基本上处于自然状态,则认为生态保持类为 A;若与自然状态相差甚远,大量的天然栖息地、生物群以及基本生态功能已遭到破坏,则生态保持类为 D;A类与D类之间存在的状态有 A~B、B、B~C、C和C~D类。对于某一河流来说,其总需水量将随着生态保持类由A到D而递减。噪音项指的是专家们还未认识到的方面。

从上述公式可见,构造块方法需要的生态资料较多,且需花费大量的时间调研。DESKTOP RESERVE模型虽然采用了构造块方法的概念,但是将构造块模型简化到如下形式:

河道内生态需水量 = 水情特性项 + 噪音项

很明显,这个公式不再需要河流的生态资料,但是噪音项比构造块方法的噪音项包含了更多的不确定性因素。

2 DESKTOP RESERVE 模型简介^[3-4]

因为河流的水情特征与生态功能之间存在紧密的联系,DESKTOP RESERVE模型主要根据河流的水情特征来反映河流的生态功能。计算思路为:根据选择的水情特征指数,首先得到各构造块的年值,即平水年基流量、枯水年基流量、平水年高流量与枯水年高流量,再将各构造块的年值分配至各月,最后根据保证率转化原则,得到各月连续保证率下的需水量序列。

2.1 水情特征指数

DESKTOP RESERVE模型选择的两个水情特征指数为变差系数与基流指数。

变差系数表征河流在枯水期与洪水期中水量的长期变化效应。枯水期的特征值为枯水期三个主要月份 C_v 值取平均,丰水期的特征值为丰水期三个主要月份的 C_v 值取平均。最终的年特征值为以上两个特征值的和。

基流指数 BFI 是指基流占总流量的比例,反映了河流水情的短期变化效应。 BFI 值较大则河流的水情变化度较小。计算公式如下:

$$q_i = \alpha q_{i-1} + \beta (1 + \alpha) (Q_i - Q_{i-1}) \quad (1)$$

$$Q_{b_i} = Q_i - q_i \quad (2)$$

$$BFI = \frac{\sum_{i=1}^{12} Q_{b_i}}{\sum_{i=1}^{12} Q_i} \quad (3)$$

式中: Q_i 为第 i 月流量; q_i 为第 i 月高流量; Q_{b_i} 为第 i 月基流量; α 、 β 为分割参数。

这里的基流指的是低振幅、高频率的响应,它是与高振幅、低频率的高流量响应相对而言的。

将年特征变差系数与基流指数相除,得到一个总指数 CVB 。对于水情变化较小的河流, CVB 接近 1;对于水情变化很大的河流, CVB 会超过 50。

2.2 各构造块的年值估算

平水年基流量的计算公式为

$$M_l = P_4 + (P_1 \times P_2) (CVB^{P_3})^{1-P_1} \quad (4)$$

式中: M_l 为平水年基流需求量(用占年平均径流量的百分比表示); P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 为根据生态保持类 (A ~ D) 确定的相应参数。

公式(4)只能应用于 CVB 值大于等于 1 的情况。图 1 所示为 M_l 与 CVB 的关系。可以看出,当 CVB 增大, M_l 将减小,也就是说河流水情变化度增大,即河流的大部分径流量作为短期内的、离散的高流量发生时,生态基流量的比例将减小。

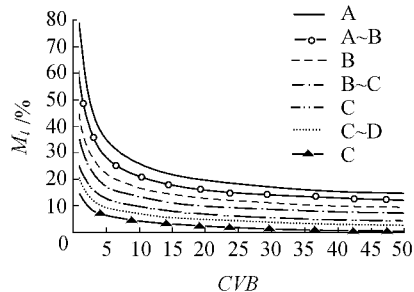


图 1 M_l 与 CVB 关系曲线

对于枯水年基流量,可以认为河流保持最低生态功能,与生态保持类 D 的平水年基流量相等。

对于高流量需求,可以认为随着河流流量变化度的增大,即 CVB 值增大时,径流量中的高流量比例需要增大,以满足生态功能的需求。为了表现这一趋势,先采用 Box-Cox 变换^[5]得到自变量,再由这个自变量对应得到正态累积密度函数下的面积。Box-Cox 变换的公式为

$$y = (x^{H_{P_1}} - 1) / H_{P_1} \quad (5)$$

式中: $x = \ln(CVB) / \ln(100)$; H_{P_1} 为需要量化的参数; CVB 在 1 ~ 100 之间(小于 1 时设为 1,大于 100 时设为 100)。

再由此 y 值得到正态累积密度函数下的面积 γ ,则平水年高流量(用占年均径流量百分数表示)为:

$$M_h = \begin{cases} \gamma \times H_{P_2} + H_{P_3} & CVB \leq 15 \\ (\gamma \times H_{P_2} + H_{P_3}) + (CVB - 15) \times H_{P_4} & CVB > 15 \end{cases} \quad (6)$$

式中: M_h 为平水年高流量; H_{P_2} 、 H_{P_3} 和 H_{P_4} 为需要定

量化的参数。

枯水年高流量相对于其他三部分需水量来说非常小,因此将这部分需水量并入保证率规则考虑。图2所示为平水年总需水量 M_l 与 CVB 的关系,虚线所示为平水年低流量需求。

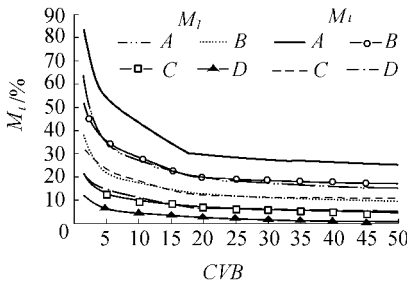


图2 M_l 与 CVB 关系曲线

2.3 需水量的月分布

模型使用基流量时间序列确定平水年基流量的月分布,先计算中间值 Q'_i :

$$Q'_i = Q_{b_{\min}} + (Q_{b_i} - Q_{b_{\min}}) \times \varphi \quad (i = 1, 2, \dots, 12) \quad (7)$$

式中: $Q_{b_{\min}}$ 为月基流量最小值; φ 为比例参数(通常小于1)。

平水年月生态基流量为

$$Q_{m_i} = Q'_i \times M_l / \sum_{i=1}^{12} Q'_i \quad (8)$$

枯水年月基流量值的计算与上面相同,但是比例参数 φ 值要低一些。

因为高流量在模型中被定义为离散事件,其月分配比低流量的月分配要复杂得多,对每个月需要指定一个分布参数 H_{s_i} ($i = 1, 2, \dots, 12$)。高流量较大的几个月, H_{s_i} 定义为标志性的、对计算无影响的数值,可以定义为 -9,对其他月份可以定义在 0.5 ~ 2 之间,小的数值代表高流量需求较小。各月的自然高流量按式(9)计算:

$$H_i = (Q_i - Q_{b_i}) \times 100 / \sum_{i=1}^{12} (Q_i - Q_{b_i}) \quad (9)$$

高流量的无量纲化参数 H_{n_i} ($i = 1, 2, \dots, 12$) 以及分配剩余量 R 如下:

$$H_{n_i} = H_{s_i} \times H_i \quad H_{s_i} \neq -9 \quad (10)$$

$$R = 100 - \sum H_{n_i} \quad (11)$$

对于 H_i 值最大的月份:

$$H_{n_i} = R \times \sqrt{\max(H_i) / \sum_{i=1}^{12} H_i} \quad (12)$$

对于其余 H_{s_i} 为 -9 的月, H_{n_i} 可以通过平衡来估算。因此,高流量月需求为

$$H_{m_i} = H_{n_i} \times M_h / 100 \quad (13)$$

2.4 结果输出

DESKTOP RESERVE 模型的输出为每个月在连续保证率下的需水量序列。曲线的无量纲化形状由四个基本参数来定义,分别为形状因子、低保证率平移参数、高保证率平移参数与低流量最大值。低流量保证曲线最终使用维持低流量需求定量化,干旱低流量需求代表最低流量,总流量规则曲线通过在低流量规则曲线中加入高流量曲线来定量化。

3 DESKTOP RESERVE 模型在中国的应用

选取位于广东省的韩江流域某河段为算例。广东省属热带和亚热带季风气候区,夏秋季多台风,每年的4~9月为雨季,年均降水量达1500~2000mm。选用该河段1947~2002年共56a的流量资料。在此只列出计算结果,具体计算过程在第二部分中已作了详述,在此不再赘述。

该河段枯水期三个主要月份为12月、翌年1月和2月,平均 C_v 值为0.537;丰水期三个主要月份为5月、6月、7月,平均 C_v 值为0.457。因此年特征 C_v 值为0.994。由式(1)~(3)计算得到该河段的 BFI 值为0.58,图3为划分后的生态基流过程线与流量过程线的对比。由此得到 CVB 指数为1.71。

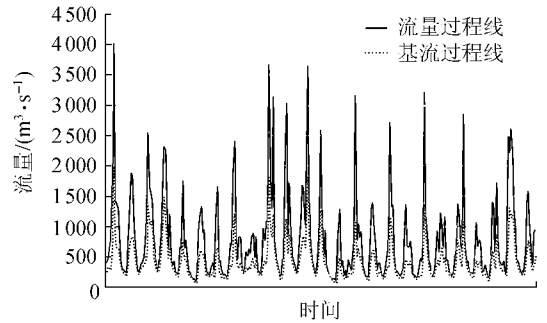


图3 计算得到的生态基流过程线与流量过程线对比

表1为各生态保持类所需的平水年基流量与平水年高流量计算结果,单位为占年平均径流量的百分比,其中枯水年基流量即为D类下的平水年基流量,故没有单独列出。根据评价^[6],计算河段所属的现状生态保持类为B~C,图4为研究河段在现状生态保持类下所需要的平水年月基流量、枯水年月基流量与平水年月高流量的分配图。图5、图6为以1月与7月为例的模型输出结果。

表1 平水年基流量与平水年高流量计算结果 %

生态类别	M_l	M_h	生态类别	M_l	M_h
A	59.53	19.7	C	20.43	10.9
A~B	46.87	16.92	C~D	15.97	9.7
B	35.64	14.22	D	11.36	9.0
B~C	28.23	12.35			

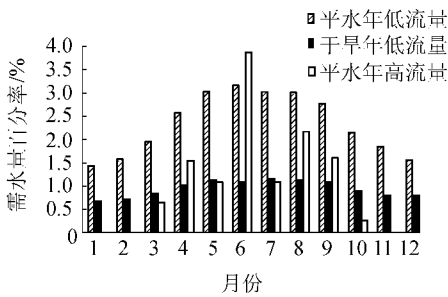


图4 需水量月分配结果

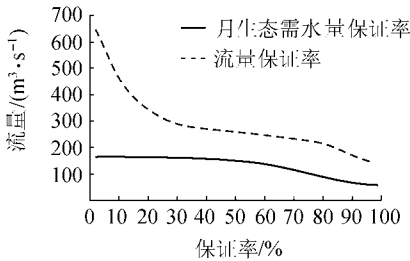


图5 1月流量保证率曲线及生态需水量保证率曲线

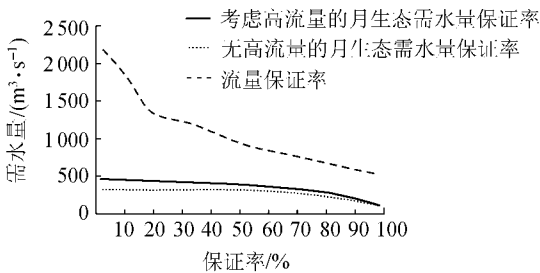


图6 7月流量保证率曲线及生态需水量保证率曲线

4 结 语

DESKTOP RESERVE 模型是建立在对河流水情

(上接第 38 页)

中难降解的重金属元素与人工合成的有机毒物的含量,正确选择浇灌作物的种类,适当控制灌水方式与数量,就完全可以达到既可进行农业灌溉,发展生产,又能处理污水,保护白洋淀水质这个双重目的。

5.2 建设湿地利用与污水净化工程

白洋淀是一个湿地系统,对白洋淀区的水陆交错带中不同微景观斑块、不同形态的营养物与耗氧有机物定位观测所得的结果表明:湿生植物群落及其水沟对营养物的截留、去除作用是很强的。特别是在苇田根区的土壤,对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 的截留率均可达到 90% 以上,在苇田密布的水沟中对 N、P 的截留量也可达到 70% 左右。因此利用白洋淀上方的藻杂淀芦苇地对 N、P 等营养元素的吸收、截留与过滤作用来净化城市污水,便成为控制白洋淀污染的一

与生态功能关系分析的基础上的,应用简单方便,仅需要历史流量资料,且输出的结果为各个月保证率对应的生态需水量时间序列,便于水资源的管理。但是由于模型将构造块方法中的另两项均归于噪音项,相对于构造块方法,影响了 DESKTOP RESERVE 模型的可靠性,所以在使用时,尤其是在计算高流量时,要注意地区性参数的选择。

参考文献:

- [1] 杨志峰,崔宝山,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.
- [2] KING J, LOUW D. Instream flow assessments for regulated rivers in South Africa using the building block methodology[J]. Aquatic Ecosystem Health and Management, 1998, 1: 109-124.
- [3] HUGHES D A, HANNART P A, WATKINS D. Continuous baseflow separation from time series of daily and monthly stream flow data[J]. Water SA, 2003, 29(1): 43-48.
- [4] HUGHES D A, HANNART P A. A desktop model used to provide an initial estimate of the ecological instream flow requirements of rivers in South Africa[J]. Journal of Hydrology, 2003, 270(3): 167-181.
- [5] BOX G E P, COX D R. An analysis of transformations[J]. Journal of the Royal Statistical Society, 1964, 26(2): 211-252.
- [6] HUGHES D A. Towards the incorporation of magnitude-frequency concepts into the building block methodology used for quantifying ecological flow requirements of South African rivers[J]. Water SA, 1999, 25(3): 279-284.

(收稿日期:2005-07-18 编辑:徐娟)

个重要措施。

5.3 采取合理的水产养殖与水质控制技术措施

近年来白洋淀区利用网箱、围栏养殖,水产发展很快。但这种高密度、高投入、高产出的养殖模式,很可能由于在养殖过程中剩余饵料及鱼类排泄物等因素而造成局部水体的富营养化过程,使湖底沉积加重,加促湖泊老化。应采取可行的水质控制管理措施,解决水产养殖发展过程中所产生的污染问题。

参考文献:

- [1] 廖文根,彭静,刘树坤.海河流域河道与湿地水生态环境修复与管理之关键[C]//黄真理,廖文根.中国环境水力学 2004.北京:中国水利水电出版社,2004:102-105.
- [2] 徐祖信.河流污染治理技术与实践[M].北京:中国水利水电出版社,2003.

(收稿日期:2005-05-19 编辑:徐娟)