

# 基于 VB 6.0 的生态基流计算软件开发与应用

李磊, 徐宗学

(北京师范大学 水科学研究院, 水沙科学教育部重点实验室, 北京 100875)

**摘要:** 针对目前河流生态基流量尚无统一的计算平台, 各种方法的计算和对比研究较为繁琐等问题, 使用 Visual Basic 6.0 作为开发工具, 开发出界面友好, 操作简单, 交互性强, 包含 12 种水文学、水力学计算方法的河流生态基流量计算软件。该软件不仅简化了生态基流量计算步骤, 而且便于不同方法之间的相互比较。使用该软件对渭河关中段进行了实例研究, 结果发现不同方法的计算结果差别较大。选择 8 种单流量计算方法的平均值  $13.7 \text{ m}^3/\text{s}$  作为渭河关中段的生态基流量, 选择与研究区流量实际变化情况较为吻合的 Texas 法计算结果作为渭河关中段月生态基流量序列。该软件的开发与应用为今后河流生态基流量动态计算奠定了基础。

**关键词:** 生态基流; Visual Basic; 软件; 渭河

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2012)03-0145-05

中图分类号: P333.9

## Development and Application of Software to Estimate Ecological Baseflow Based on Visual Basic 6.0

LI Lei, XU Zong-xue

(College of Water Sciences, and Key Laboratory of Water and Sediment Sciences of the Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract:** In order to solve the problem that there is no suitable platform to estimate ecological baseflow by using different methods, a software to estimate ecological baseflow with friendly interface, simplicity of operation, and integrated 12 hydrological and hydraulics methods is developed by using Visual Basic 6.0. It not only simplifies the estimation for ecological baseflow, but also easily makes comparison among different methods. A case study in the Weihe River basin was carried out by using this software. Results show that ecological baseflows estimated by using different methods are significantly different. Therefore, the average of various methods,  $13.7 \text{ m}^3/\text{s}$ , is selected as the ecological baseflow and the result of Texas method is regarded as the monthly ecological baseflow in the Weihe River. This software provides a great support for the development of the dynamic estimation of ecological baseflow in the future.

**Keywords:** ecological baseflow; visual basic; software; Weihe River

河流生态基流量(ecological baseflow)是指为保证河流生态服务功能,用以维持或恢复河流生态系统基本结构与功能所需的最小流量<sup>[1]</sup>。早在 19 世纪 40 年代,美国鱼类和野生动物保护协会通过对鱼类繁殖和产量与河流流量的关系研究,提出了河流最小环境(或生物)流量的概念<sup>[2]</sup>。随着工业化进程的加快,社会经济对水资源的需求不断增加,促使人们开始研究人类活动对河流水生态系统的影响,河流所需流量及相关概念得到普遍认可。90 年代后期,随着河流连续统理论的提出,河流生态环境需水理论进一步完善,新的研究方法不断涌现。

## 1 生态基流量计算方法简介

目前,有将近 50 个国家开展了河流生态基流的研究,有记载的独立研究方法高达 207 种<sup>[3]</sup>,这些方法大致可以分为 4 类:水文学方法、水力学方法、生境模拟法和整体分析法<sup>[4-7]</sup>。

### 1.1 水文学方法

水文学方法是出现最早并且应用最广泛的方法,该方法适合用于设定初级目标和国家性战略决策,是应用最为广泛的方法<sup>[8-10]</sup>。水文学方法又称作标准设定法或快速评价法,是根据简单的水文指标对河流

收稿日期:2011-07-11

修回日期:2011-09-04

资助项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项子课题“渭河关中段生态基流量保障技术研究”(2009ZX07212-002-003)

作者简介:李磊(1982—),男(汉族),河南省平顶山市人,博士研究生,研究方向为水文模型。E-mail:bnulilei@gmail.com。

通信作者:徐宗学(1962—),男(汉族),山东省淄博市人,教授,研究方向为水文学及水资源。E-mail:zx Xu@bnu.edu.cn。

流量进行设定,如平均流量的百分率或者天然流量频率曲线上的保证率,其代表方法有 7Q10 法, Tennant 法, Texas 法, NGPRP 法(Northern Great Plains resource program), 基本流量法(basic flow)等<sup>[11-15]</sup>。

### 1.2 水力学方法

水力学方法是根据河道水力参数(如宽度、水深、流速和湿周等)确定河流所需流量,所需水力参数可以实测获得,也可以采用曼宁公式计算获得,其代表方法有湿周法、R2CROSS 法等<sup>[16-17]</sup>。

### 1.3 整体分析法

该方法产生于 20 世纪 90 年代中期,认为河流是一个综合的生态系统,强调从系统整体出发,根据专家意见综合研究流量、泥沙运动、河床形状与河岸带群落的关系,使推荐的河道流量同时满足生物保护、栖息地维持、泥沙沉积、污染控制和景观维护等功能。应用较多的方法有南非的 BBM (building block methodology) 法, DRIFT (downstream response to imposed flow transformation) 法以及澳大利亚的整体分析法<sup>[18-20]</sup>。

### 1.4 生境模拟法

生境模拟法是根据指示物种所需的水力条件确定河流流量,目的是为水生生物提供一个适宜的物理生境。该方法能够对生态基流量进行定量化,并且考虑生态因素,因此被认为是可信的评价方法,在美国应用最为广泛,其代表方法有 IFIM (instream flow incremental methodology) 法, CASMIR (computer aided simulation model for instream flow requirements in diverted stream) 法等<sup>[21-22]</sup>。

## 2 基于 VB 6.0 的河流生态基流量计算软件开发

虽然关于河流生态基流量的计算方法很多,但一些方法对资料要求较高,并且需要投入较大的人力、物力和财力,应用受到了一定的限制,如整体分析法。我国对河流生态基流量的研究主要集中在河流最小流量确定方面,以水文学方法为主。水文学方法提出较早,迄今已得到充分发展,该方法在我国作为区域和流域大空间尺度的宏观研究手段,具有其他方法不可替代的优点。并且水文分析是河道生态环境需水研究的一个基本手段,在生态基流量研究中仍发挥着重要作用。而水力学方法尽管目前仍以理论研究为主,实际应用较少,但作为向生境模拟法的过渡方法,其未来价值体现在为其他方法(例如整体分析方法)提供水力学依据。

因此,考虑到河流生态基流量尚无统一的计算平

台,各种方法的计算和对比研究较为繁琐等问题,本文以水文学方法和水力学方法为基础,通过编程技术开发出界面友好、操作简单、交互性强的河流生态基流量计算软件。该软件不仅简化了生态基流量计算步骤,而且便于不同方法计算结果之间的相互比较,具有较好的应用价值。

### 2.1 开发环境

本系统以 Microsoft Windows 为软件开发平台,使用面向对象、功能强大、使用普遍、具有快速开发能力的 Visual Basic 6.0 作为开发工具。

### 2.2 系统构架

系统结构设计如图 1 所示,其核心是生态基流计算部分,该部分主要由 3 个模块组成。

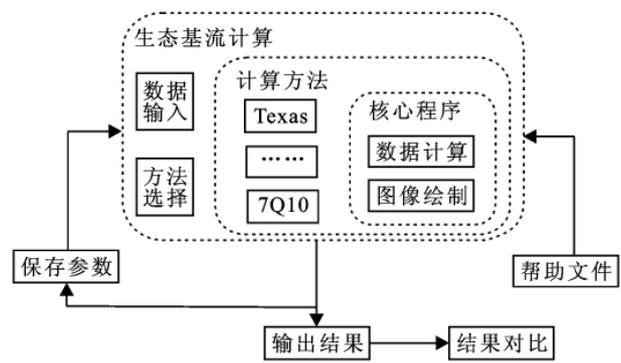


图 1 河流生态基流程序系统构架

2.2.1 数据输入输出 数据输入文件格式统一为 Microsoft Excel 格式,流量数据按照日期排序,系统采用隐调方式对文件中的数据进行读取,当计算完毕后自动关闭文件。用户可以对计算结果进行查询和输出,并可将结果以图、文、表等多种形式表达输出或以文件形式保存。同时,系统为用户提供详细的、易于理解的数据格式说明和实例操作帮助。

2.2.2 计算方法选择 该软件共集成了 12 种水文学和水力学方法,其中水文学方法有: Tennant 法, 7Q10 法, Texas 法, Hoppe 法, NGPRP 法, 基本流量法, 最枯月平均流量法, 月最枯日平均流量法, 90% 保证率最枯月平均流量法, 90% 保证率月最枯日平均流量法; 水力学方法有: 湿周法和 R2CROSS 法。

2.2.3 核心程序 系统将根据用户输入的实测流量数据,按照指定方法进行计算。对于需要进行频率分析的水文学方法,如 7Q10 法,系统首先会对流量数据进行排序求平均值,然后使用矩法估计频率曲线参数。由于矩法计算简便,事先不用选定频率曲线线型,因此被广泛使用。本程序设定  $C_s = 2C_v$ , 矩法估计的平均数和  $C_v$  的误差较小,可不作修改,用户只需根据经验对  $C_s$  进行调整或者导入先设定好的参数

文件即可。在估计出频率曲线参数后,系统自动绘制频率曲线图,用户可根据具体需要进行频率查询、频率曲线参数输出和频率曲线图像输出,便于分析研究。而对于需要进行曲线拟合的水力学方法,如湿周

法,系统直接调用 Microsoft Excel 中的曲线拟合函数,绘制拟合曲线图,并将相应的曲线公式输出,减少了中间变量计算环节,提高了程序运行速度。各算法具体要求如表 1 所示。

表 1 不同生态基流计算方法设置要求

序号	算法	输入要求	参数设定	输出
1	7Q10 法	日流量序列	$C_s, C_v$ , 频率/%	单流量数据
2	Tennant 法	日、月或年流量序列	流量百分比	月流量序列
3	Texas 法	日或月流量序列	$C_s, C_v$ , 频率/%	月流量序列
4	Hoppe 法	日流量序列	相对历时/%	单流量数据
5	NGPRP 法	日、月或年流量序列	保证率/%	单流量数据
6	基本流量法	日流量序列	对应天数	单流量数据
7	最枯月平均流量法	日或月流量序列	无	单流量数据
8	月最枯日平均流量法	日流量序列	无	月流量序列
9	90%保证率最枯月法	日或月流量序列	$C_s, C_v$ , 频率/%	单流量数据
10	90%保证率月最枯日法	日流量序列	$C_s, C_v$ , 频率/%	月流量序列
11	湿周法	河道断面资料	拟合函数及方法	单流量数据
12	R2CROSS 法	河道断面资料	参数设定	单流量数据

注: $C_s$  为偏态系数;  $C_v$  为变差系数。下同。

### 2.3 软件特点和优势

该软件具有以下特点:(1) 系统主界面采用标准 Windows 风格,便于研究人员快速入门和使用。(2) 建立规范统一的输入数据文件格式,同时用户可以导入和导出计算过程的中间参数和数值结果,对比不同计算方法的结果差异。(3) 采用模块化设计,根据各种算法编写相应模块的程序代码,最后统一集成到系统人机交互界面中。

该程序的优势在于:具有多方法选择的生态基流计算功能;具有较强的通用性和可移植性;系统模块化设计,调用过程简单;用户可自定义参数,结果表达方式多样化。生态基流的计算过程通过程序实现大大提高了效率,避免了过多的重复工作及人为的手工计算错误,为科学决策赢得了宝贵的时间。

## 3 实例研究

### 3.1 研究区域

渭河发源于甘肃省渭源县鸟鼠山北侧,全长 818 km,是黄河最大支流,其流域范围主要在陕西中部,流域面积  $1.34 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。

本研究选择渭河关中段林家村水文站进行生态基流计算,林家村水文站建于 1930 年,位于陕西省宝鸡峡口林家村,是渭河干流进入关中平原的控制站。由于 1986 年以后的渭河流域受人类活动影响较大,计算时选取 1961—1986 年的流量数据结合自主开发的河流生态基流软件计算生态基流。

### 3.2 结果与讨论

3.2.1 单流量结果 为了便于比较,将生态基流计算方法按计算结果类型分为单个流量数据、月流量序列两部分进行对比(表 2)。在 7Q10 法等 8 种计算方法中, Hoppe 法计算出的生态基流量最大,80%相对历时对应的生态基流量为  $29.98 \text{ m}^3/\text{s}$ ,基本流量法计算出的生态基流量最小,为  $5.78 \text{ m}^3/\text{s}$ ,8 种计算结果的平均值约为  $13.7 \text{ m}^3/\text{s}$ ,有 6 种计算方法得到的生态基流量都在  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  以上。其中,最枯月平均流量法、NGPRP 法和基本流量法是根据河道流量变化状况来确定生态基流量,缺乏生物学依据,计算结果偏小; Hoppe 法强调鱼类生长、产卵等需求,对水量要求较高;7Q10 法、90%保证率最枯月法、湿周法和 R2CROSS 法计算结果适中。

在应用湿周法计算生态基流量时,对数函数对湿周一流量关系曲线拟合的效果最好,拟合函数为  $y = 0.205 \ln x + 0.994$ ,  $R^2 = 0.999$ 。根据斜率 1 法和曲率最大法确定渭河林家村站生态基流量分别为 17.39,  $12.29 \text{ m}^3/\text{s}$ ,其中,斜率为 1 法确定的生态基流量大于曲率最大法确定的生态基流量,两者比值为常数 1.414。斜率 1 法的计算结果与 7Q10 法基本一致,而曲率最大法的计算结果与 R2CROSS 法和 90%保证率最枯月法的计算结果较为接近。

在应用 R2CROSS 法计算生态基流量时,考虑到渭河处于北方干旱地区,水资源的供需矛盾突出等特点,生态基流量取第 2 大值。R2CROSS 法计算得到

渭河林家村站生态基流量为  $12.36 \text{ m}^3/\text{s}$ 。与湿周法的计算结果大致相同,能够满足 Tennant 方法所要求

的大多数水生生物短时间生存所推荐的最低基础流量,计算结果较为合理。

表 2 不同计算方法得到的生态基流量结果对比

序号	算法	参数设定	生态基流/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$
1	7Q10 法	$C_s=0.9625, C_v=0.4813$	17.38
2	Hoppe 法	相对历时 80%	29.98
3	NGPRP 法	保证率 90%	9.69
4	基本流量法	对应天数 96	5.78
5	最枯月平均流量法	无	6.93
6	90%保证率最枯月法	$C_s=0.8205, C_v=0.4102$	11.49
7	湿周法	对数函数拟合: $y=0.205\ln x+0.994$	斜率 1 法: 17.39, 曲率最大法: 12.29
8	R2CROSS 法	幂函数、对数函数拟合、人工选择	12.36

3.2.2 月流量结果 从图 2 可以看出,在 4 种月流量计算方法中,Tennant 法和 Texas 法呈现出相同的变化趋势,1—5 月生态基流量平缓上升,从 6 月开始迅速增大,在 9 月达到最高,随后生态基流量急剧下降至年初水平。由于 Tennant 法是根据实测流量推算得到,考虑到了水文季节变化因素,因此,这 2 种方法更好地反映出渭河流域在汛期和非汛期的生态基流量变化过程。90%保证率月最枯日平均流量法计算出的生态基流量在年内变化不明显,除 8—11 月略有波动外,基本维持在  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  左右,生态基流量较小。月最枯日平均流量法的计算结果偏大,1—8 月生态基流维持在  $30 \text{ m}^3/\text{s}$  左右,但在 9、10 月其生态基流量分别高达  $70, 80 \text{ m}^3/\text{s}$ ,在目前水资源短缺的情况下,满足这样的生态基流量是不现实的。

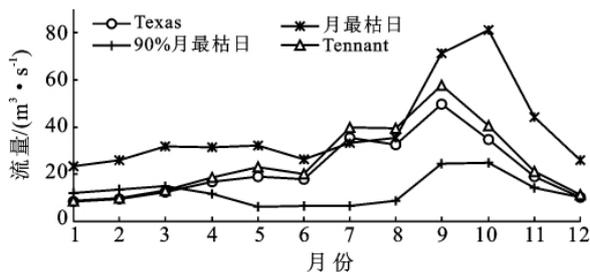


图 2 不同计算方法得到的月生态基流量序列对比

另外,月最枯日平均流量法和 90% 保证率月最枯日平均流量法计算的生态基流量峰值存在滞后现象。根据渭河流域的气候特征,其降雨主要集中在 7、8、9 月,因而其最大流量也应出现在这一时期,但用这 2 种方法计算的生态基流量均出现在 10 月,而 7、8 月生态基流量较小,这与实际情况存在一定的偏差。综合考虑,本文选择 8 种计算方法的平均值  $13.7 \text{ m}^3/\text{s}$  作为渭河关中段的生态基流量,而月生态基流量序列则选择与流量实际变化情况较为吻合的

Texas 法计算结果。

根据渭河综合治理规划的要求,林家村生态流量为  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ ,本文计算出的生态基流量与其相比稍大,主要原因是本研究流量数据采用的年份为 1961—1986 年,当时河流受人类活动影响较小。而目前,林家村受到宝鸡峡水利枢纽控制,实际下泄流量较小,所以,渭河生态基流量还应考虑人类活动的影响,并进行相应调整。

## 4 结论

本研究针对我国目前尚无统一的河流生态基流量计算平台,开发出界面友好,操作简单,交互性强,结合 12 种水文学方法和水力学方法的河流生态基流量计算软件。该软件不仅简化了生态基流量计算步骤,而且便于不同方法计算结果之间的相互比较,具有较好的应用价值。

使用自主开发的生态基流量计算软件对渭河关中段进行了实例研究,结果发现不同方法的计算结果差别较大。综合考虑,本文选择 8 种计算方法的平均值  $13.7 \text{ m}^3/\text{s}$  作为渭河关中段的生态基流量,选择与流量实际变化情况较为吻合的 Texas 法计算结果作为渭河关中段月生态基流量序列。

该软件只是对河流生态基流计算方法的整合和应用,其功能还有待不断完善,随着 3S 技术、网络和数据库等技术及理论不断发展,其他如水资源量计算、水量调度、决策支持系统和专家数据库等相应功能还有待继续开发,使其成为动态的二维生态需水计算平台。

### [参 考 文 献]

- [1] 刘静玲,杨志峰,肖芳,等. 河流生态基流量整合计算模型[J]. 环境科学学报, 2005, 25(4): 436-437.
- [2] 徐志侠,王浩,董增川,等. 河道与湖泊生态需水理论与

- 实践[M].北京:中国水利水电出版社,2006:6-7.
- [3] Tharme R E. A global perspective on environmental flow assessment; Emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers [J]. *River Research and Applications*, 2003,19(5/6):397-441.
- [4] Liu C M, Zhao C S, Xia J, et al. An instream ecological flow method for data-scarce regulated rivers [J]. *Journal of Hydrology*, 2011,398(1/2):17-25.
- [5] Acreman M, Dunbar M J. Defining environmental river flow requirements: a review [J]. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2004,8(5):861-876.
- [6] Jowett I G. Instream flow methods: a comparison of approaches [J]. *Regulated Rivers: Research & Management*, 1997,13(2):115-127.
- [7] 桑连海,陈西庆,黄薇. 河流环境流量法研究进展[J]. *水科学进展*, 2006,17(5):754-760.
- [8] Scatena F N. A survey of methods for setting minimum instream flow standards in the Caribbean basin[J]. *River Research and Applications*, 2004,20(2):127-135.
- [9] 徐志侠,陈敏建,董增川. 基于生态系统分析的河道最小生态需水计算方法研究(I)[J]. *水利水电技术*, 2004,35(12):15-18.
- [10] Yang Z F, Cui B S, Liu J L, et al. Methodologies of assessing ecological and environmental water requirements and its applications [J]. *Science in China: D*, 2004,34(11):1072-1082.
- [11] Tennat D L. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation, and related environmental resources[C] // Orshorn J F, Allman C H. *Proceedings of Symposium and Specility Conference on Instream Flow Needs II*. Bethesda: American Fisheries Society, Maryland, 1976: 359-373.
- [12] Boner M C, Furland L P. Seasonal treatment and variable effluent quality based on assimilative capacity[J]. *Journal Water Pollution Control Filed*, 1982,54(10): 1408-1416.
- [13] Matthews R C, Bao Y. The texas method of preliminary instream flow determination[J]. *Rivers*, 1991,2(4): 295-310.
- [14] Dunbar M J A, Gustard M C, Acreman C, et al. Overseas approaches to setting river flow objectives[R]. R and D technical Report W6-161. Environmental Agency and NERC, 1998.
- [15] Palau A, Alcazar J. The basic flow: an alternative approach to calculate minimum environmental instream flows[C] // Leclerc M. et al. *Ecohydraulics 2000, 2nd international symposium on habitat hydraulics*. Quebec City, 1996.
- [16] Bartschi D K. A habitat-discharge method of determining instream flows for aquatic habitat[C] // Orsborn J F and Allman C H. *Proceedings of Symposium and Specility Conference on Instream Flow Needs II*. Bethesda: American Fisheries Society. Maryland, 1976: 285-294.
- [17] Mosely M P. The effect of changing discharge on channel morphology and instream uses in a braide river, Ohau River, New Zealand [J]. *Water Resources Research*, 1982,18(4):800-812.
- [18] King J M, Low D. Instream flow assessment for regulated rivers in South Africa using the building block methodology[J]. *Aquat Ecosyst Health Manag*, 1998, 1(2):109-124.
- [19] Arthington A H, King J M, O'keffe J H, et al. Development of a holistic approach for assessing Environmental flow requirements of river ecosystem [C] // Pigram J J, Hooper B P. *Water Allocation for the Environment*. Armindale: The Centre for Policy Research, University of New England, 1992:69-76.
- [20] Arthington A H, Rall J L, Kennard M J, et al. Environmental flow requirements of fish in Lesotho Rivers using the drift methodology [J]. *River Res. Applic.*, 2003,19(5/6):641-666.
- [21] Nestler J M, Milhous R T, Layzer J B. Instream habitat modeling technique[C] // Gore J A, Petts G E. *Alternatives in Regulative River Management*. Boca Raton: CRC Press, 1989:295-315.
- [22] Jode K. Ecological evaluation of instream flow regulation based on temporal and spatial variability of bottom shear stress and hydraulic habitat quality[C] // Leclerc M, et al. *Ecohydraulics 2000, 2nd International Symposium on Habitat Hydraulics*. Quebec City, 1996.