

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2018.0104

赵然杭, 彭弢, 王好芳, 等. 基于改进年内展布计算法的河道内基本生态需水量研究[J]. 南水北调与水利科技, 2018, 16(4): 114-119. ZHAO R H, PENG T, WANG H F, et al. Study on instream basic ecological water demand based on the improved dynamic calculation method[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2018, 16(4): 114-119. (in Chinese)

基于改进年内展布计算法的河道内 基本生态需水量研究

赵然杭¹, 彭弢¹, 王好芳¹, 高峰², 齐真¹

(1. 山东大学 土建与水利学院, 济南 250061; 2. 山东省水利勘测设计院, 济南 250013)

摘要: 为了拓宽年内展布计算法的适用范围, 针对我国北方河道季节性明显的特点, 对该方法进行改进。在原方法的基础上, 将同期均值比修改为特枯年($P=90\%$)河道年径流量与多年平均径流量的比值, 结合多年月均径流量进行河道内基本生态需水量计算。以弥河谭家坊水文断面为例, 计算河道内基本生态需水量, 并与 Tennant 法标准及我国常用的水文学方法以及改进前的年内展布计算法作对比。结果表明, 在一般用水期和鱼类产卵育幼期, 改进的年内展布计算法结果都能够满足维持河道基本生态功能的要求, 更为合理, 证实该方法既继承了原方法能够体现河道年内径流总体过程 and 变化特征的特点, 又能够适用于季节性明显的河道, 适用于河道内基本生态需水量的计算。

关键词: 年内展布计算法; 改进; 基本生态需水量; 河道内; 弥河

中图分类号: TV213.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2018)04-0114-06

Study on instream basic ecological water demand based on the improved dynamic calculation method

ZHAO Ranhang¹, PENG Tao¹, WANG Haofang¹, GAO Feng², QI Zhen¹

(1. School of Civil Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China;

2. Water Resources Research Institute of Shandong Province, Jinan 250013, China)

Abstract: In order to broaden the applicability of the dynamic calculation method, we improved the method in view of the obvious seasonality of northern rivers in China. On the basis of the original method, we substituted the percent of the average flow in the same periods with the ratio of the annual runoff in extreme drought years ($P=90\%$) to the multi-year average runoff, and used the multi-year average monthly runoff for calculation of the instream basic ecological water demand. Taking the hydrological section of Tanjiafang as a case study, we calculated the basic ecological water demand in the river and compared the method with the Tennant method and other methods. The results showed that the calculation results of the improved method were reasonable and could meet the requirement of maintaining the basic ecological function of the river in the general water using period and the spawning and nursing period. This method has inherited the strengths of the original method in showing the overall runoff process and the changing characteristics of the river course during a year. It can be applied to rivers with obvious seasonality. This method is suitable for the calculation of instream basic ecological water demand.

Key words: dynamic calculation method; improvement; basic ecological water demand; instream; Mi River

收稿日期: 2017-11-01 修回日期: 2018-03-28 网络出版时间: 2018-04-08

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20180408.1513.002.html>

基金项目: “十二五” 国家科技支撑计划项目 (2015BA07B02); 山东省重大水利科研与技术推广专项资助项目 (SDSLKY201501; SDSLKY201222)

Funds: National Key Technology Research and Development Program of China during the "Twelfth Five Year Plan" Period (2015BA07B02); Special Funding Projects for Major Water Conservancy Research and Technology Promotion of Shandong Province and Shandong Water Conservancy Bureau (SDSLKY201501; SDSLKY201222)

作者简介: 赵然杭 (1969-), 男, 山东沂水人, 教授, 博士生导师, 主要从事水资源利用与管理、湿地水文与生态环境管理及工程模糊集理论与应用方面研究。E-mail: ranhangz@sdu.edu.cn

通讯作者: 王好芳 (1970-), 女, 山东新泰人, 讲师, 主要从事水资源系统规划与管理方面研究。E-mail: whf29@sdu.edu.cn

近年来,随着我国经济的快速发展,水资源开发过度,各部门用水分布不合理,生活和生产用水严重挤占了生态用水,造成了河道断流、生态系统退化等问题^[1]。为了修复和改善河道的生态系统,实现水资源的合理开发、配置,需科学合理地确定河道内基本生态需水量^[2]。

国外对河道内基本生态需水量的计算方法进行了广泛研究,当前较为常用的方法主要分为四类:水文学法、水力学法、栖息地法以及综合法^[3]。水文学法是根据河道的径流资料计算基本生态需水量,属于统计学方法^[4,6],常用方法有 Tennant 法^[7]、Texas 法^[8]、NGPRP 法^[9]等;水力学法根据河道断面形状、比降、水深等水力参数,确定基本生态需水量,代表方法有湿周法^[10]、R2CROSS 法^[11]、CASMIR 法^[12,13]等;栖息地法是在水力学法的基础上,考虑水质、水生物等因素,建立物理实验模型计算基本生态需水量,代表方法有 IFIM/PHABSIM 法^[14,15]、RCHARC 法^[16]、Basque 法^[17]等;综合法综合考虑了专家意见和生态整体功能,有南非的 BBM 法^[18]和澳大利亚的 HEA 法^[19]。我国在该领域的研究时间较晚,缺乏大量的现场观测数据,水力学法、栖息地法和综合法的应用受到很大的限制^[20],因而,当前我国主要采用水文学法计算河道内基本生态需水量,常用方法主要有 Tennant 法、最小月平均流量法^[21]、枯年天然径流估算法^[22]、7Q10 法^[23]等。2013年,潘扎荣等^[24]提出了计算河道内基本生态需水量的年内展布算法。年内展布算法的特点是计算结果能够体现河道年内径流总体过程和变化特征,弥补了传统水文学法经验性和主观性较强的缺点。但是,该方法只适用于有连续径流过程的大中型河道,对于季节性明显的河道,计算结果误差较大。鉴于此,本文在年内展布法的基础上进行改进,使其能够适用于季节性明显的河道生态基本需水量计算。

1 年内展布法改进

1.1 年内展布法及其局限性

依据文献[24],年内展布算法是根据河道长序列的天然径流资料,以年内各月最小月均径流量的年均值与多年年均径流量的比值作为同期均值比,结合多年月均径流过程进行河道基本生态需水量的计算。计算公式如下:

$$Q = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} q_i \quad (1)$$

$$q_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n q_{ij} \quad (2)$$

$$Q_{\min} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} q_{\min(i)}; q_{\min(i)} = \min(q_{ij}), j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$\eta = Q_{\min}/Q \quad (4)$$

$$Q_i = q_i \times \eta \quad (5)$$

式中: Q 为多年平均径流量(m^3/s); q_i 为第 i 个月的多年月均径流量(m^3/s); n 为统计年数; q_{ij} 为第 j 年第 i 个月的径流量(m^3/s); Q_{\min} 为最小年均径流量(m^3/s); $q_{\min(i)}$ 为第 i 个月的多年最小月径流量(m^3/s); η 为同期均值比; Q_i 为各月的河道基本生态需水量。

多年最小月径流量 $q_{\min(i)}$, 在理论上会随着河道径流量资料时间序列的增加而降低, 导致同期均值比减小, 计算结果不稳定。对于季节性明显的河道, 受极端水文事件的影响, 部分月份径流量会很小, 甚至为 0, 导致计算结果偏小, 误差较大。

1.2 改进的年内展布法

1.2.1 改进思路

河道内基本生态需水量是指维系河道基本生态功能的水资源量^[25], 能够维持河道生态系统不会恶化, 确保河道基本生态功能不严重退化。河道内基本生态需水量的目标是在一般用水期, 为水生生物提供最小的生存空间, 在水生生物产卵育幼等关键时期满足其最低需求^[7]。由于气候、水生物、下垫面以及人类活动的影响, 导致河道内基本生态需水量年内分布不同, 因此需根据年内河道不同月份的用水需求, 确定河道内基本生态月需水量。

年内展布算法计算结果受河道多年月均径流量和同期均值比共同影响。其中, 河道多年月均径流量能够有效削弱极端水文事件影响, 较好地反映河道径流的年内变化过程。因此, 为了科学合理地确定季节性明显的河道基本生态需水量, 需确定一个更加合理、稳定的同期均值比。

相对于年内展布算法同期均值比中的多年最小月径流量, 特定频率下的年径流量大小更为稳定。河道径流量变化具有周期性特征, 河道中水生生物已完全适应了河道径流量的变化过程。根据文献[9], 在非极端气候(90%保证率以下)情况下, 河道径流量能够维系河道基本生态功能, 满足水生生物对径流量的基本需求。因此, 可将90%保证率下(即特枯年)的河道年径流量作为河道基本生态年需水量; 把河道多年月均径流量进行标准化, 作为比例系数, 将河道基本生态年需水量进行年内分配, 作为河道基本生态月需水量。

基于以上思路, 提出改进的计算方法。

1.2.2 改进方法

(1) 多年月均径流量的确定。

根据河道内长序列径流资料, 确定多年月均径流量 q_i , 即

$$q_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n q_{ij} \quad (1)$$

(2) 90% 保证率年径流量的确定。

根据河道内长序列年径流资料, 采用 P- \hat{O} 型曲线进行配线, 计算 90% 保证率下的河道年径流量 $q_{90\%}$ 。

(3) 确定同期均值比。

90% 保证率下的年径流量 $q_{90\%}$ 与多年平均径流量的比值作为同期均值比, 计算公式如下

$$\eta = q_{90\%} / \sum_{i=1}^{12} q_i \quad (2)$$

(4) 结合多年月均径流量, 计算河道内基本生态需水量 q_i , 即

$$q_i = q_i \times \eta \quad (3)$$

式中: q_i 为第 i 月的多年月均径流量 (m^3/s); n 为统计年数; q_{ij} 为第 j 年第 i 月的径流量 (m^3/s); η 为均值比例系数; $q_{90\%}$ 为 90% 保证率下的年径流量 (m^3/s); q_i 为各月的河道基本生态需水量 (m^3/s)。

1.3 方法特点

改进的年内展布算法将河道内 90% 保证率下的年径流量与多年平均径流量的比值作为比例系数, 结合多年月均径流量, 计算河道内基本生态需水量, 继承了年内展布算法能够反映河道内的全年径流过程和变化特征的优点。在下垫面不变的情况下, 90% 保证率的年径流量不随水文资料序列的增加而发生较大变化, 计算结果较为稳定, 弥补了年内展布算法计算结果不稳定、对于季节性明显的河道误差较大的不足。

2 实例应用

弥河发源于临朐, 过青州、经寿光入渤海, 干流全长 177 km, 总流域面积 3 863 km^2 。在青州市境内, 弥河在谭坊镇入寿光处有一处水文站——谭家坊站, 具有从 1976–2010 年的长序列水文资料, 见图 1。本文以弥河谭家坊水文断面为例, 采用改进的年内展布算法计算该断面处河道内基本生态需水量。



图 1 青州市水系示意图

Fig. 1 Schematic diagram of water system in Qingzhou City

2.1 计算过程

(1) 多年月均径流量。

根据弥河谭家坊水文断面 1976–2010 年径流量资料以及公式(1), 计算该断面处多年月均径流量, 结果详见表 1 和图 2。计算该断面处年径流量, 结果详见图 3。计算多年平均径流量为 4.77 m^3/s 。

表 1 多年月均径流量

Tab. 1 Multi-year average runoff in each month

月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
多年月均径流量	3.90	3.34	2.77	1.50	1.34	1.47	5.03	11.64	11.03	6.32	4.89	4.05

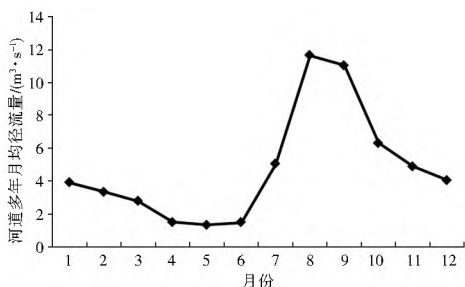


图 2 多年月均径流量

Fig. 2 Multi-year average runoff in each month

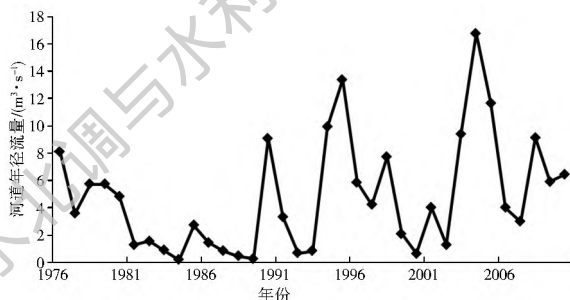


图 3 年径流量

Fig. 3 Annual runoff

(2) 90% 保证率下年径流量。

根据弥河谭家坊水文断面 1976- 2010 年径流量资料, 采用 P- Ó 型曲线进行配线, 见图 4。

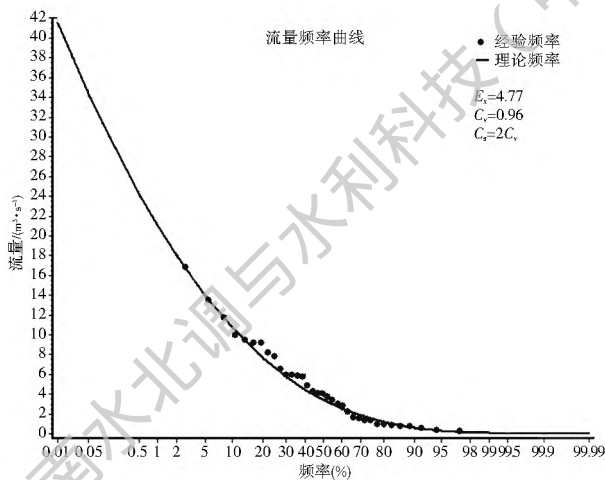


图 4 流量- 频率曲线
Fig. 4 Flow-frequency curve

确定弥河谭家坊水文断面径流量均值、 C_v 、 C_s/C_v 以及 90% 保证率下的年径流量, 详见表 2。

表 2 配线成果
Tab.2 Fitting results

均值/($m^3 \cdot s^{-1}$)	C_v	C_s/C_v	90% 年径流量/($m^3 \cdot s^{-1}$)
4.77	0.96	2.0	0.58

弥河谭家坊水文断面径流量 C_v 值达到 0.96, 表明该处径流量年际变化很大, 季节性明显。

(3) 计算同期均值比。

根据公式 (2), 计算同期均值比 η 为 12.1%。

(4) 根据公式 (3) 和表 1、表 2, 计算弥河谭家坊水文断面基本生态需水量, 计算结果详见表 3。

表 3 改进的年内展布计算法成果

Tab.3 Results of the improved dynamic calculation method

月份	多年月均径流量/($m^3 \cdot s^{-1}$)	河道内基本生态需水量/($m^3 \cdot s^{-1}$)	年均值比 (%)
1	3.90	0.47	10.0
2	3.34	0.41	8.5
3	2.77	0.34	7.1
4	1.50	0.18	3.8
5	1.34	0.16	3.4
6	1.47	0.18	3.7
7	5.03	0.61	12.8
8	11.64	1.42	29.7
9	11.03	1.34	28.1
10	6.32	0.77	16.1
11	4.89	0.59	12.5
12	4.05	0.49	10.3
年均值	4.77	0.58	12.0

2.2 讨论与分析

2.2.1 与 Tennant 法标准对比

Tennant 法是将河道多年平均年径流量的百分比流量作为河道生态需水量^[7]。在实际应用过程中, 需结合河道所在地气候特征、水生生物组成等, 对 Tennant 法在本地区的适用性进行检验。本文根据弥河河道内主要鱼类(鲫鱼、鲤鱼、白条鱼等)的产卵育幼期, 对 Tennant 法的标准进行修正, 鱼类产卵育幼期修正为 7 月- 9 月, 一般用水期修正为 10 月- 翌年 6 月, 详见表 4。

表 4 Tennant 法对栖息地质量和流量关系的描述

Tab.4 A description of the relationship between habitat quality and flow by Tennant

流量及相应栖息地的定性描述	推荐的流量与平均流量百分比 (%)	
	一般用水期 (10 月- 翌年 6 月)	鱼类产卵育幼期 (7 月- 9 月)
最大	200	200
最佳范围	60~ 100	60~ 100
极好	40	60
非常	30	50
好	20	40
中	10	30
差	10	10
很差	< 10	< 10

根据表 3 和表 4, 将弥河谭家坊水文断面的基本生态需水量与 Tennant 法的评价标准进行对比分析, 详见表 5。结果表明, 在一般用水期(10 月- 翌年 6 月), 各月生态需水量占年径流量的 3.4% ~ 16.1%, 根据 Tennant 法对流量标准的描述^[7], 河

表 5 改进的年内展布计算法与 Tennant 法对比成果

Tab.5 Comparison of results between the improved dynamic calculation method and Tennant method

时期	月份	年均值比 (%)	与 Tennant 法比较
一般用水期	1 月	10.0	差中之间
	2 月	8.5	很差
	3 月	7.1	很差
	4 月	3.8	很差
	5 月	3.4	很差
	6 月	3.7	很差
鱼类产卵育幼期	7 月	12.8	差中之间
	8 月	29.7	差中之间
	9 月	28.1	差中之间
	10 月	16.1	中好之间
	11 月	12.5	中好之间
	12 月	10.3	中好之间
年均值		12.0	差中之间

道径流能够维持一定的宽度、深度和流速,为水生物提供基本生存空间,满足鱼类洄游、景观等一般要求。在鱼类的产卵育幼期(7月-9月),各月生态需水量占年径流量的12.8%~28.1%,处于差中(10%~30%)之间,河道径流的河宽、水深和流速令人满意,能够满足鱼类产卵育幼的最低需求。Tennant法的流量标准考虑了当地气候和水生生物的生活习性,符合当地实际条件,因此,改进的年内展布计算法结果能够满足维持河道基本生态功能的要求,结果较为合理。

表6 不同方法计算的河道内基本生态需水量成果

Tab. 6 Results of instream basic ecological water demand by different methods

方法	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年均值
改进的年内展布计算法	0.47	0.41	0.34	0.18	0.16	0.18	0.61	1.42	1.34	0.77	0.59	0.49	0.58
最小月平均流量法	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.64
枯年天然径流估算法	0.52	1.17	0.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0.53	0.2
7Q10法	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
年内展布计算法	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表6计算成果表明,最小月平均流量法虽与改进的年内展布计算法计算的年均值较为接近,但无法计算各月河道内基本生态需水量;枯年天然径流估算法计算结果偏小,且受到特殊水文事件影响,4月-11月径流量均为0,径流过程不能有效反映河道历史径流过程和总体特征;7Q10法和年内展布计算法计算结果均为0,不符合弥河的实际情况,结果不合理。因此,改进的年内展布计算法相较于其他水文学方法,计算结果更为合理。

3 结论

对年内展布计算法进行的改进,既继承了该方法能够体现河道年内径流总体过程和变化特征的特点,又能够适用于季节性明显的河道,拓宽了该方法的适用范围。

对弥河谭家坊水文断面进行验证计算,与Tennant法标准对比,计算结果在一般用水期和鱼类产卵育幼期都能够满足维持河道基本生态功能的要求;与其他水文学法相对比,改进的年内展布计算法计算结果较为合理,与实际情况更加相符。

改进的年内展布计算法是一种计算河道内基本生态需水量的较为简单准确的水文学方法,具有较强的实用性,可对我国水资源高效利用与管理提供参考与借鉴。

参考文献(References):

[1] 马育军,李小雁,张思毅,等.基于改进月保证率设定法的青海

2.2.2 与其他水文学方法对比

本文将改进的年内展布计算法与我国常用的水文学方法——最小月平均流量法、枯年天然径流估算法、7Q10法以及改进前的年内展布计算法计算结果作对比,详见表6。其中,最小月平均流量法采用河道最小月均径流量的多年平均值作为河道内基本生态需水量;枯年天然径流估算法采用最枯年的天然径流量作为河道内基本生态需水量;7Q10法采用近10年最小月平均径流量或90%保证率最小月平均径流量作为河道内基本生态需水量。

湖流域河流生态需水研究[J].资源科学,2011,33(2):265-272. (MA Y J, LI X Y, ZHANG S Y, et al. Environmental flow requirements of rivers in the Qinghai Lake watershed based on the improved monthly guaranteed frequency method[J]. Resources Science, 2011, 33(2): 265-272. (in Chinese))

[2] 崔瑛,张强,陈晓宏,等.生态需水理论与方法研究进展[J].湖泊科学,2010,22(4):465-480. (CUI Y ZHANG Q, CHEN X H, et al. Advances in the theories and calculation methods of ecological water requirement [J]. Journal of Lake Sciences, 2010, 22(4): 465-480. (in Chinese))

[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: 397-441.

[4] PETTS G E. Instream flow science for sustainable river management[J]. Journal of the American Water Resources Association, 2009, 45(5): 1071-1085.

[5] 张代青,高军省.河道内生态需水量计算方法的研究现状及其改进探讨[J].水资源与水工程学报,2006,17(4):68-73. (ZHANG D Q, GAO J S. Discuss on the research situation of estimating methods of eco-environmental water requirements in river course and its modification [J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2006, 17(4): 68-73. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1672-643X.2006.04.018.

[6] 苏飞,陈敏建,董增川.河流生态需水观点及计算方法评述.浙江水利科技,2009(4):1-3. (SU F, CHEN M J, DONG Z C. Comment on viewpoints and computation methods for ecological water requirements in a river[J]. Zhejiang Hydrotechnics, 2009(4): 1-3. (in Chinese)) DOI: 10.13641/j.cnki.33-1162/tv.2009.04.006.

[7] TENNANT D L. Instream flow regimes for fish, wildlife, rec

- reation and related environmental resources [J]. Fisheries, 1976, 1(4): 6-10.
- [8] MATTHEWS R C, BAO Y. The Texas method of preliminary instream flow determination[J]. Rivers, 1991, 2(4): 295-310.
- [9] DUNBAR M J A, GUSTARD M C, ACREMAN C, et al. Overseas approaches to setting river flow objectives. R and D technical Report W[J]. Environmental Agency and NERC, 1998: 6-161.
- [10] GIPPEL G J, STEWARDSON M J. Use of wetted perimeter in defining minimum environmental flows[J]. Regulated Rivers: Research and Management, 1998, 14(1): 53-67.
- [11] 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: 36-37. (YANG Z F, CUI B S, LIU J L, et al. Theory, method and practice of environmental water requirement [M]. Beijing: Science Press, 2003: 36-37. (in Chinese))
- [12] GIESECKE J, JORDE K. Ansätze zur Optimierung von instablen Flüssen in Ausleitungsstrecken[J]. Wasserwirtschaft, 1997, 87: 232-237.
- [13] STATZNER B, MULLER R. Standard hemispheres as indicators of flow characteristics in groben[J]. Freshwater Biology, 1989, 21(3): 445-459.
- [14] BOVEE K D, LAMB B L, BARTHLOW J M, et al. Stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology[R]. U. S. Geological Survey, Biological Resources Division Information and Technology Report USGS / BRD, 1998.
- [15] 冯宝平, 张展羽, 陈守伦, 等. 生态环境需水量计算方法研究现状[J]. 水利水电科技进展, 2004, 24(6): 59-62. (FENG B P, ZHANG Zh Y, CHEN S L, et al. Review of calculation method for water demand of ecological environment[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2004, 24(6): 59-62. (in Chinese)). DOI: 10.3880/j.issn.1006-7647.2004.06.018.
- [16] NESTLER J M, SCHNEIDER L T, LATKA D, et al. Impact analysis and restoration planning using the riverine community habitat assessment and restoration concept (RCHARC) [M]. In: Leclerc M et al. eds. Ecohydraulics 2000, 2nd international symposium on habitat hydraulics. Quebec City, 1996.
- [17] DOCAMPO L, BIKUNA B G. The basque method for determining instream flows in Northern Spain[J]. Rivers, 1995, 6(4): 292-311.
- [18] KING J M, THARME R E, VILLIERS M S. Environment flow assessments for rivers: manual for the building block methodology (Updated Edition) [R]. Water Research Commission Report No TT 354/08, Pretoria, South Africa, 2008.
- [19] 王西琴. 河流生态需水理论? 方法与应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007: 4-12. (WANG X Q. Theory, method and application of river ecological water requirement [M]. Beijing: China Water & Power Press, 2007: 4-12. (in Chinese))
- [20] 陈菡, 邵东国, 吴俊校, 等. 广东省河道生态流量定量分析研究[J]. 南水北调与水利科技, 2011, 9(1): 92-95. (CHEN H, SHAO D G, WU J X, et al. Research on the quantitative analysis of ecological base flow in Typical River sections of Guangdong Province [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2011, 9(1): 92-95 (in Chinese)) DOI: 10.3724/SP.J.1201.2011.01092.
- [21] 王西琴, 刘昌明, 杨志峰. 生态及环境需水量研究进展与前瞻[J]. 水科学进展, 2002, 13(4): 507-512. (WANG X Q, LIU C M, YANG Z F. Research advance in ecological water demand and environmental water demand [J]. Advances in Water Science, 2002, 13(4): 507-512. (in Chinese)). DOI: 10.3321/j.issn:1001-6791.2002.04.020.
- [22] 徐志侠, 陈敏建, 董增川. 河流生态需水计算方法评述[J]. 淮海大学学报(自然科学版), 2004, 32(1): 6-7. (XU Z X, CHEN M J, DONG Z C. Comments on calculation methods for river ecological water demand [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2004, 32(1): 6-7. (in Chinese)). DOI: 10.3321/j.issn:1000-1980.2004.01.002.
- [23] 倪晋仁. 论河流生态环境需水[J]. 水利学报, 2002(9): 14-19. (NI J R. On water demand of river ecosystem [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2002(9): 14-19. (in Chinese)). DOI: 10.3321/j.issn:0559-9350.2002.09.003.
- [24] 潘扎荣, 阮晓红, 徐静. 河道基本生态需水的年内展布计算法[J]. 水利学报, 2013(1): 119-126. (PAN Z R, RUAN X H, XU J. A new calculation method of instream basic ecological water demand [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2013(1): 119-126. (in Chinese)) DOI: 10.13243/j.cnki.slxb.2013.01.005.
- [25] 陈亚宁, 张宏锋, 李卫红, 等. 新疆塔里木河下游物种多样性变化与地下水位的的关系[J]. 地球科学进展, 2005, 20(2): 158-165. (CHEN Y N, ZHANG H F, LI W H, et al. Study on species diversity and the change of groundwater level in the lower reaches of Tarim River, Xinjiang, China (in Chinese)). DOI: 10.3321/j.issn:1001-8166.2005.02.004.