

基于流速法的汉北河生态需水研究

闫少锋, 邓秋良, 刘 昱, 吴建学

(湖北省水利水电规划勘测设计院, 湖北 武汉 430064)

摘要: 基于汉北河 2 个典型断面(天门断面、汉北河民乐闸断面)的鱼类调查资料与长时间序列实测数据(水深、流量、断面等), 运用流速法(最小、平均、最大)进行生态需水量计算。基于生径比概念, 对流速法计算的生态需水计算结果进行评价, 结果表明, 汉北河流域目前水流量可较好地满足最小生态需水的需求, 对于适宜生态需水只能部分月份满足。

关键词: 流速法; 生态需水; 生径比

中图分类号: TV213.4 **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-7839 (2017) 11-0025-05

Study on the ecological water demand of Hanbei River based on velocity method

YAN Shaofeng, DENG Qiuliang, LIU Yu, WU Jianxue

(Hubei Provincial Water Resources and Hydropower Planning Survey and Design Institute,
Wuhan 430064, Hubei)

Abstract: Based on the fish survey data and long time series measured data (such as water depth, flow rate, section, etc.) of two typical sections (such as Tianmen section and Minyue gate section) in Hanbei River, the ecological water demand was calculated by velocity method (minimum, average, maximum). Based on the concept of ratio of eco-water demands to stream flow, the calculation results of ecological water demand calculated by velocity method were evaluated. The results showed that the current water flow in the Hanbei river basin could well satisfy the needs of the minimum ecological water demand, but could only satisfy partial months for the appropriate ecological water demand.

Key words: velocity method; ecological water demand; ratio of eco-water demands to stream flow

0 引言

水资源是人类社会生存和发展的物质基础, 而水资源短缺和水污染问题制约着全球经济和社会的发展, 并对人类的生存环境产生深刻的影响^[1]。刘昌明院士^[2]曾指出, 21 世纪的水文水资源问题正面临着巨大的挑战, 主要包括如何满足社会与经济发展对水资源日益增长的需要, 维持生态需水和控制因发展而带来的水污染, 不断改善水生态环境。近年来, 面对严峻的水环境与生态问题, 为

实现我国经济社会又好又快发展, 调整经济结构, 转变经济增长方式, 缓解我国能源、资源和环境的瓶颈制约, 国家多次强调水资源、水环境问题的重要性^[3]。随着我国国民经济的快速发展, 对河流的干扰程度大大超过了世界上同类自然条件的国家和地区, 水资源供需矛盾日益尖锐, 水污染、水生态环境恶化等河流生态环境问题愈加凸显, 水资源合理利用与生态保护日渐成为突出的水问题, 人们开始对生态需水有了更多的重视, 生态需水需求在河流生态系统中愈加重要。

收稿日期: 2017-08-25

基金项目: 湖北省水利科研项目 (HBSLKY201715)

作者简介: 闫少锋 (1983-), 男, 博士, 工程师, 主要研究方向为水文学与水资源。

关于生态需水的研究始于 20 世纪 40 年代,此后相继研究并提出了各种生态需水量计算方法^[4]。多年来,各国学者提出了众多的各不相同的河道内生态需水量计算方法,主要有水文学方法、水力学方法、生态学方法和综合法^[4]。吉利娜借鉴水力半径法与 R2-CROSS 法提出流速法,该方法选取影响鱼类生存的重要水力要素——流速作为指标来确定河道内生态需水量^[5]。流速法即以流速作为反映生物栖息地指标,来确定河道内生态需水量,该法认为满足水生生物相应的流速要求也就满足了水生生物对栖息地的相应要求,对于河流生态需水量的计算有重要的指示作用。

湖北省水资源量以及分布特征,决定了区域性缺水时有发生,加之水污染日益严重,在一些地区已经成为社会经济发展的制约因素^[6]。由于长期以来生态用水被大量挤占,汉北河流域水环境压力巨大,工业排放导致河流污染严重,甚至由于缺水还出现了断流甚至部分河段干涸等严重情况。研究汉北河生态需水量有助于流域水资源合理科学的分配,可以为生态环境的保护提供重要依据,以及为流域生态系统可持续发展提供具体可行的措施和方法,为水资源管理提出科学合理的建议,保证其不断流具有极为重要的现实意义^[7]。

1 研究区域与数据资料

1.1 研究区域

本文以汉北平原的汉北河流域为研究对象。汉北河始于天门市,终于新沟闸入汉江河口。汉北河濒临汉江、天门河、府袁河,水土资源丰富,自然条件优越,农业生产十分发达。本流域范围内,多年平均降水量 950 ~ 1200 mm,降水年际变化大,年内分配不均,汛期 5 ~ 9 月降水量占全年的

70% 左右。

1.2 数据资料

依据稳定性、代表性、可靠性和连续性原则^[5],在汉北河上选取天门和汉北河民乐闸 2 个断面。收集 2 个断面 1997 ~ 2015 年的实测数据(水深、流量、断面等),并根据研究文献查询本河流的典型鱼类信息。

2 研究方法

河道内基本生态需水是指为了维持大多数水生生物的正常生长发育、维持水生生态系统的基本动态平衡的水资源量。一般情况下,鱼类是水生态系统中的顶级群落,鱼类种群的稳定性是水生态系统稳定的标志,因此鱼类可作为河流生态系统稳定的指示物。鱼类需要在具有一定流速等生态条件的水域中繁殖,并且河道流速处在水生物适宜的范围时,也能保证水量和水深处于良好的范围^[5]。其原理是根据断面关键指示性物种确定生态流速,再依据断面($v-Q$)关系得到断面生态流量^[8]。

$$Q=v \times A \quad (1)$$

式中:

Q —河流断面径流量, m^3/s ;

v —河流流速, m/s ;

A —河流断面面积, m^2 。

由式(1)可知,流速和流量为正相关关系,流量随着流速的增大而增大。所以从理论上来讲,适宜的流速就能保证流量处在较好范围。

基于文献^[6-9]以及相关调查,汉北河流域主要鱼类有鲤鱼、鲫鱼、青鱼、草鱼、鲢鱼、鳙鱼等,以上鱼类的喜爱流速与极限流速如表 1 所示。

综上所述,汉北河流域的鱼类产卵期大致为

表 1 汉北河鱼类的喜爱流速与极限流速

种类	产卵期 (m)	卵类型	感觉流速 (m/s)	喜爱流速 (m/s)	极限流速 (m/s)
鲤鱼	2~5	粘性	0.2	0.3~0.8	1.1
鲫鱼	4~7	粘性	0.2	0.3~0.6	0.8
青鱼	4~7	漂流性	0.2	0.3~0.6	0.8
草鱼	3~6	漂流性	0.2	0.3~0.6	0.8
鲢鱼	4~7	漂流性	0.2	0.3~0.6	0.9
鳙鱼	4~7	漂流性	0.2	0.3~0.6	0.8

2 ~ 7 月, 各种鱼类的感觉流速为 0.2 m/s, 喜欢流速范围为 0.3 ~ 0.8 m/s。

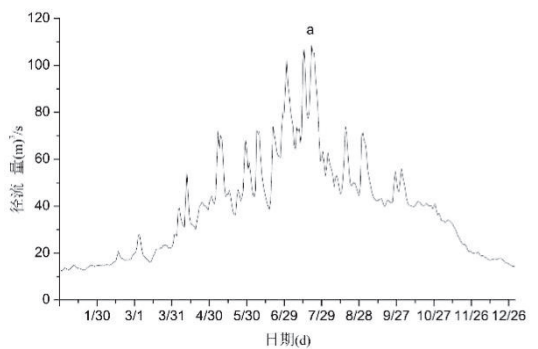
研究^[9-10]发现, 由于当非产卵期流速为 0.1 m/s 时, 鱼类游动缓慢且仅在特定区域作小幅运动, 故本文取 0.1 m/s 为非产卵期最小生态流速, 以感觉流速为产卵期最小生态流速。喜爱流速的上限和下限则分别作为产卵期和非产卵期适宜生态流速^[11], 如表 2 所示。

表 2 鱼类生态流速

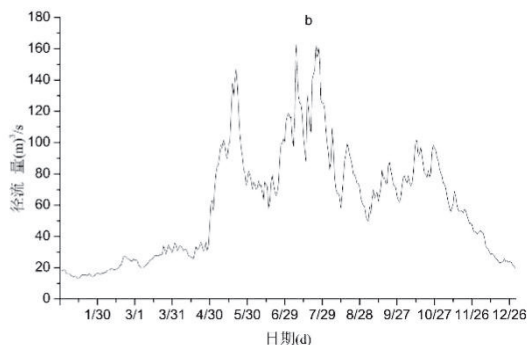
流速等级	产卵期	非产卵期
最小生态流速	感觉流速	0.1 m/s
适宜生态流速	喜爱流速上限	喜爱流速下限

3 结果与分析

根据图 1 径流统计资料分析发现, 汉北河径流年内分布不均衡, 4 ~ 8 月流量最大, 9 ~ 10 月次之, 1 ~ 3 月和 11 ~ 12 月最小。这反映出鱼类从产卵期(4 ~ 8 月)、育幼期(9 ~ 10 月)到成长期(1 ~ 3 月和 11 ~ 12 月)对流速的喜爱程度具有不同的偏爱^[12]。



(a) 天门断面

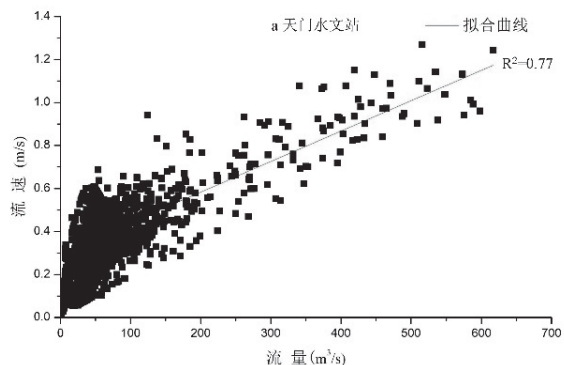


(b) 汉北河民乐闸断面

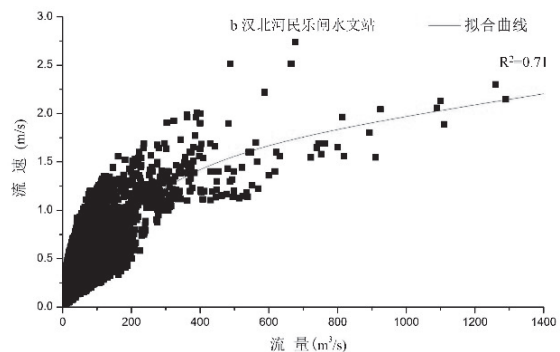
图 1 汉北河河流断面多年年内平均流量

3.1 流量与流速关系建立

利用天门和汉北河民乐闸断面流量、流速与断面数据, 根据式(1)对断面多年日径流量与流速数据进行拟合, 得到流量与流速的关系, 从而根据鱼类所需的生态流速来确定对应的流量, 最终确定生态需水量。汉北河 2 个断面流量与流速关系如图 2 所示。



(a) 天门断面



(b) 汉北河民乐闸断面

图 2 汉北河河流断面流量与流速关系

构建模型计算汉北河生态流速的最小值、平均值以及最大值如下:

$$v_{ei} = \min(v_{ei,j}) \quad (2)$$

$$v_{ei} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n v_{ei,j} \quad (3)$$

$$v_{ei} = \max(v_{ei,j}) \quad (4)$$

式中:

v_{ei} —第 i 月生态流速, $i=1 \sim 12$;

$v_{ei,j}$ —第 j 种鱼类、第 i 月的生态流速, $j=1 \sim n$;

N —该断面鱼的总类数。

综合最小和适宜生态流速及上述 3 种模型, 得

出生态需水等级如表 3 所示。

表 3 生态需水等级

等级	方案一(小)	方案二(中)	方案三(大)
最小生态需水	I	II	III
适宜生态需水	IV	V	VI

3.2 生态流量

本文以汉北河调查鱼类为保护性物种,并依据上文鱼类生态流速的确定方法确定最小和适宜生态流速,见表 4。根据流速—流量关系得年内各月满足鱼类流速要求的最小生态需水与适宜生态需水,见表 5。

3.3 生态需水生径比评价

生径比是指一定时空范围内生态系统为维持

某一生态目标状态所需的生态需水量和其天然径流量之比^[13]。生径比可以反映生态需水量的动态变化特征及与天然径流之间的吻合情况。本文利用生径比对流速法求得的汉北河生态需水进行评价。

图 3(a)所示为天门断面最小生态需水条件下的生径比比值,图中可见 2、3 月份方案三的生径比比值较高,且 2 月份生径比比值略大于 1(生态需水量计算值超过实际径流量的值),其余月份 3 个方案的生径比比值均低于 0.5,平均值为 0.17,属于正常可满足范围。图 3(b)为天门断面适宜生态需水条件下的生径比比值,图中可见,7~9 月份 3 个方案中、5、6 月份的方案一的生径比比值均在 0~1 范围内,平均比值为 0.63,河流实际

表 4 鱼类最小与适宜生态流速计算结果

生态 流速	最小生态流速（m/s）												适宜生态流速（m/s）												
	月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
鲤鱼		0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.8	0.8	0.8	0.8	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
鲫鱼		0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.6	0.6	0.6	0.6	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
青鱼		0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.6	0.6	0.6	0.6	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
草鱼		0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.6	0.6	0.6	0.6	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
鲢鱼		0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.6	0.6	0.6	0.6	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
鳊鱼		0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.6	0.6	0.6	0.6	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
方案一		0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.6	0.6	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
方案二		0.1	0.12	0.13	0.2	0.2	0.18	0.17	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.38	0.43	0.63	0.63	0.55	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
方案三		0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.8	0.8	0.8	0.8	0.6	0.6	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

表 5 鱼类最小与适宜生态需水计算结果

最小生态需水（m³/s）														适宜生态需水（m³/s）											
方案	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
天门	一	2.5	2.5	2.5	17.1	17.1	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	35.5	35.5	35.5	125.2	125.2	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	
	二	2.5	5.2	6.5	17.1	17.1	13.9	12.3	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	35.5	53.6	66.8	138.1	138.1	105.6	88.1	35.5	35.5	35.5	35.5	
	三	2.5	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	35.5	231.3	231.3	231.3	231.3	125.2	125.2	35.5	35.5	35.5	35.5	
汉北 河民 乐闸	一	15.6	15.6	15.6	27.0	27.0	15.6	15.6	15.6	15.6	15.6	15.6	15.6	39.5	39.5	39.5	84.9	84.9	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	
	二	15.6	17.8	18.9	27.0	27.0	24.6	23.5	15.6	15.6	15.6	15.6	15.6	39.5	50.4	57.7	90.2	90.2	76.4	68.4	39.5	39.5	39.5	39.5	
	三	15.6	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	15.6	15.6	15.6	15.6	15.6	39.5	123.0	123.0	123.0	123.0	84.9	84.9	39.5	39.5	39.5	39.5	

径流量可满足生态需水量, 而其他月份的计算结果均大于 1, 河流径流量不足以支撑适宜生态需水量。图 3(c) 为民乐闸断面最小生态需水条件下的生径比比值, 1 月份 3 个方案以及 2、3 月份的方案三的生径比比值大于 1, 其余月份生径比比值均小于 1, 平均比值为 0.52, 处于实际径流可以满足生态需水量的范围。图 3(d) 为民乐闸断面适宜生态需水条件下的生径比比值, 7 ~ 11 月份 3 个方案中、5、6 月份的方案一、二的生径比比值均在 0 ~ 1

2、3 月), 天门和民乐闸断面径流量均能满足其最小生态需水; 而对于适宜生态需水来说, 只有径流量较大的月份 (5 ~ 9 月) 才可以满足生态需水量, 但是这些月份的生径比比值较高, 如要完全满足生态需水的要求, 则容易影响其他方面的用水需求。

综上所述, 汉北河现有条件下的径流量可以满足鱼类基本生存、产卵等需求, 而如果要达到鱼类的喜爱流速, 还需要进一步补充流量。

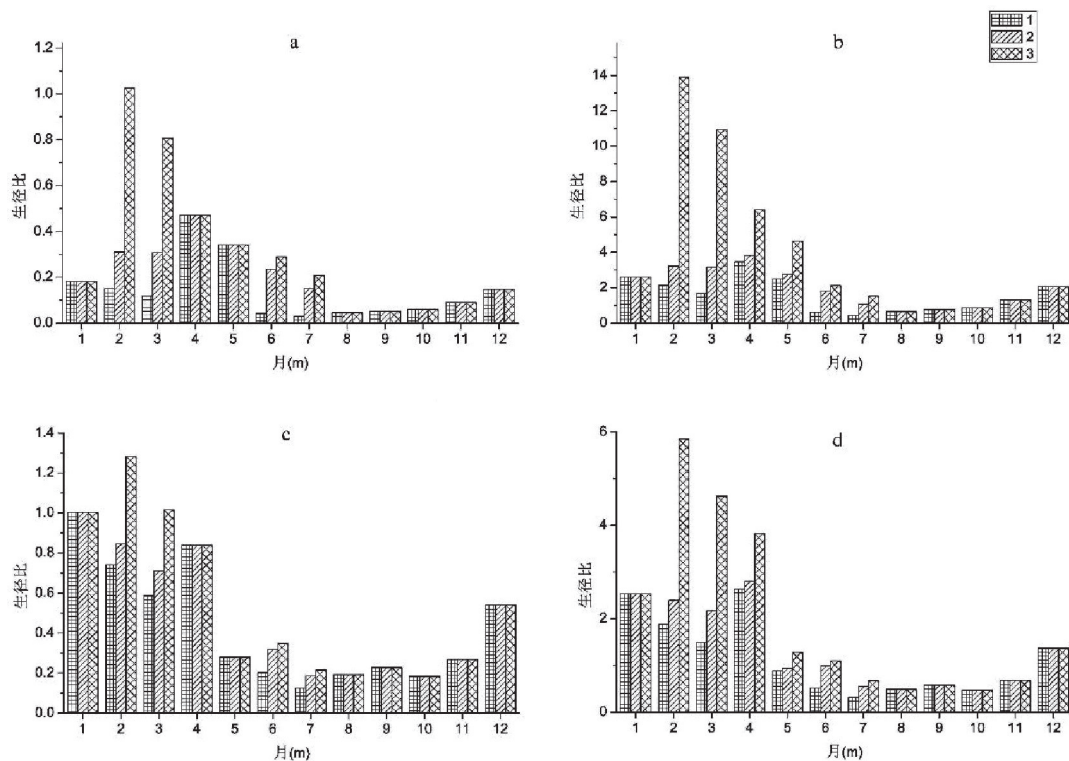


图 3 不同月份生态需水生径比计算示意图

范围内, 平均值为 0.69, 河流实际径流量可满足生态需水量, 而其他月份的计算结果均大于 1, 河流径流量不足以支撑适宜生态需水量。

4 结论

基于汉北河天门和民乐闸断面, 利用流速法计算河流生态需水, 结果发现:

(1) 受断面的影响, 天门与民乐闸断面的生态需水量差别较大, 天门断面 3 个方案的最小生态需水量均小于民乐闸断面; 对于适宜生态需水量, 2 个断面在不同月份有不同表现。

(2) 通过生径比计算发现, 除个别月份外 (1、

参考文献:

- [1] 刘昌明, 王红瑞. 浅析水资源与人口、经济和社会环境的关系 [J]. 自然资源学报, 2003, 18 (5): 635-644.
- [2] 刘昌明. 关于生态需水量的概念和重要性 [J]. 科学对社会的影响, 2002 (2): 25-29.
- [3] 李瑞清. 江汉平原水安全战略研究 [J]. 中国水利, 2016 (5): 12-18.
- [4] 万东辉, 夏军, 刘苏峡, 等. 南水北调西线工程雅砻江生态需水与可调水量研究 [C]. 山东: 第三届黄河国际论坛, 2007.
- [5] 吉利娜. 水力学方法估算河道内基本生态需水量研究 [D].

(下转第 33 页)

(3) :400–411 .

- (责任编辑:徐丽娜)