DOI:10.3969/j.issn.1004-6933.2013.01.003

松花江重污染支流伊通河河道生态需水研究

谷晓林[1],汤 洁[1],李昭阳[1],李青山[2],贾 丹[1,3]

(1.吉林大学环境与资源学院,吉林 长春 130021;2.松辽委水资源保护局,吉林 长春 130012;
3. 吉林化工学院, 吉林 长春 130022)

摘要:以松花江重污染支流伊通河为研究区,在确定生态环境需水量构成的基础上,运用 Tennant 法、一维水质模型等研究方法核算了伊通河河道生态环境年需水量,分析了河道生态环境需水量的盈缺状况。结果表明,伊通河伊通站和农安站生态环境常年存在不同程度缺水,其中伊通站年均缺水量为 0.13 亿 m^3,农安站年均缺水量为 0.55 亿 m^3。研究旨在为松花江流域水资源的优化配置和生态环境功能的恢复提供依据。

关键词:生态环境需水量;自净需水量;Tennant 法;一维水质模型;伊通河

中图分类号:X143,X321 **文献标志码**:A **文章编号**:1004-6933(2013)01-0010-04

Study on eco-environmental water requirement of Yitong River channel, a heavily polluted tributary of Songhua River

GU Xiaolin[1], **TANG Jie**[1], **LI Zhaoyang**[1], **LI Qingshan**[2], **JIA Dan**[1,3]

(1. *College of Environment and Resources*, *Jilin University*, *Changchun* 130021, *China*;
2. *Songliao River Basin Water Resources Protection Bureau*, *Changchun* 130012, *China*;
3. *Jilin Institute of Chemical Technology*, *Changchun* 130022, *China*)

Abstract: The Tennant method and a one-dimensional water quality model were used to estimate the eco-environmental water requirement of the Yitong River, a heavily polluted tributary of the Songhua River, based on defining the composition of the eco-environmental water requirement in this study. The surplus/deficit analysis of the eco-environmental water requirement of the Yitong River was conducted. The results show that there existed a shortage of eco-environmental water at Yitong and Nong'an hydrological stations, and the annual shortage was 0.13×10^8 m^3 and 0.55×10^8 m^3 respectively, for Yitong and Nong'an hydrological stations. This study provides a scientific basis for optimal allocation of water resources and restoration of the ecological environment in the Songhua River Basin.

Key words: eco-environmental water requirement; water requirement for self purification; Tennant method; one-dimensional water quality model; Yitong River

伊通河是松花江流域污染最重的支流之一,其污染物排放总量占第二松花江注入的污染物总量的23%以上。作为长春市的母亲河,伊通河是流域内最重要的城市河流,由于长期接纳长春市及其下游城镇大量的生产废水和生活污水,河流污染严重,导致水生生物几乎绝迹等一系列生态环境问题。此外,伊通河上游新立城水库的截流蓄水,使得下游河道径流完全受人为控制,水体丧失了基本的自然属性。针对伊通河的环境现状和生态结构特点,对其河道生态环境需水量进行系统研究,可为伊通河生态功能的恢复和环境的综合治理提供科学依据,同时对保障松花江流域的水环境安全和实现流域水资源的优

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07207-009)

作者简介:谷晓林(1982—),女,硕士研究生,研究方向为生态环境系统工程。E-mail:xiaolin_ruby@126.com

通信作者:汤洁,教授,博士生导师。E-mail:tangjie@jlu.edu.cn

化配置具有重要的现实意义。

1 研究区概况

伊通河流域地处中纬度欧亚大陆东缘,属于北温带大陆性季风气候,四季气候变化明显,降水不均衡[1]。伊通河属第二松花江水系,是饮马河的支流,发源于伊通满族自治县的河源乡青顶子山北麓(东经125°39′,北纬43°05′),流经伊通满族自治县和长春市城区、德惠市、农安县,在新立城水库的上游纳入伊丹河,在新立城水库的下游纳入新开河,至农安县靠山屯东(东经125°41′,北纬44°46′)汇入饮马河,归入第二松花江,全长342 km,流域面积8 440 km^2,多年平均径流量5.48亿 m^3。

伊通河在新立城水库以上为其上游,新开河河口以下为其下游。伊通河上游农业区的河道两岸植被生长情况较好,浅水区及库湾可见芦苇、杂草等水生植物,滩地上主要种植玉米等农作物,河水水质较好,其受纳水体——新立城水库为长春市生活饮用水水源地。而伊通河的下游,特别是长春市城区段,经过河道截流和景观治理,已变成典型的人工河,几乎没有天然的水生植物。由于接纳了长春市的大量污水,市区的伊通河下游水质急剧变化,一直保持劣Ⅴ类水质的状况,为此,国家将伊通河纳入松花江水体污染控制与治理科技专项的重要河流。

2 研究方法与研究过程

2.1 生态环境需水量的构成

根据伊通河的环境现状和生态系统结构,结合区域经济发展[2],确定伊通河河道生态环境需水量的构成为:

$$Q_0 = Q_Z + Q_L + Q_V + Q_s + Q_p \quad (1)$$

式中:Q_0 为伊通河河道生态环境需水量;Q_Z 为河道蒸发需水量;Q_L 为河道渗漏需水量;Q_V 为河道基础生态需水量;Q_s 为河道输沙需水量;Q_p 为河道自净需水量。

2.2 河道基础生态需水量

河道基础生态需水量指维护河道基本生态功能以及维持河道内水生生物生存所需的水量。依据伊通河水文统计资料,本研究选择伊通河的伊通站、新立城站、农安站3个水文断面的1998—2008年月平均实测径流量,运用Tennant法[3-5]核算河道基础生态需水量。依据表1确定伊通河各水文断面最小生态流量的选取原则为:一般用水期(10月到翌年的3月)取多年月平均流量的10%作为最小生态流量,鱼类产卵育幼期(4—9月)取多年月平均流量的30%作为最小生态流量,核算过程见表2。

表1 运用Tennant法对栖息地质量的描述

流量值及相应栖息地的定性描述	推荐的基础生态流量占平均流量的百分比/%	
	一般用水期(10月至翌年3月)	鱼类产卵育幼期(4—9月)
流量值最大	200	200
流量值最佳范围	60~100	60~100
栖息地环境极好	40	60
栖息地环境非常好	30	50
栖息地环境好	20	40
栖息地环境中	10	30
栖息地环境差	10	10
栖息地环境极差	0~10	0~10

2.3 河道自净需水量

天然河道中所需要保持的最小水量称为河道自净需水量。可利用河流水体对污染物的自净能力来保护和改善河流水质,以确保水体满足部分生态环境功能的要求。

伊通河径流量小,且下游河道径流量基本受新立城水库的控制,故研究采用一维水质数学模型对伊通河河道自净需水量进行估算。鉴于该河的点源污染贡献率很大,故将支流也视为排污口。以排污口为界限将河流概化为多个河段,自河道上游断面最近的一个排污口开始,依次计算每一个排污口(直到终止断面)处河流断面在排入污染物瞬间完全混合后,达到河流水环境功能水质要求的污染物稀释自净水量,然后再综合考虑整个计算区段河道的自净需水量[6]。计算公式如下:

$$\rho_{i-1} = \rho_{s,i-1}\exp\left[-\frac{k_{i-1}(x_i - x_{i-1})}{86\,400u_{i-1}}\right] \quad (2)$$

$$Q_{p,i} = \frac{\rho_{i-1}Q_{i-1} + q_iS_i}{\rho_{s,i}} \quad (3)$$

$$Q_{p,1} = \frac{\rho_0Q_0 + q_1S_1}{\rho_{s,1}} \quad (4)$$

表2 伊通河河道基础生态流量 m^3/s

水文站点	流量类别	流量											
		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
伊通	多年月均流量	0.14	0.13	0.81	1.01	0.72	2.19	5.71	6.87	1.12	0.58	0.36	0.19
	最小生态流量	0.01	0.01	0.08	0.30	0.22	0.66	1.71	2.06	0.34	0.06	0.04	0.02
新立城	多年月均流量	0.75	0.73	0.67	0.62	1.23	1.99	4.88	5.69	1.37	0.92	0.78	0.33
	最小生态流量	0.08	0.07	0.07	0.19	0.37	0.60	1.46	1.71	0.41	0.09	0.08	0.03
农安	多年月均流量	8.67	8.86	9.72	8.92	4.66	7.75	20.33	27.93	15.02	10.34	10.11	9.01
	最小生态流量	0.87	0.89	0.97	2.68	1.40	2.33	6.10	8.38	4.51	1.03	1.01	0.90

$$Q_p = \max\{Q_{p,1}, Q_{p,2}, \cdots, Q_{p,i}, Q_{p,i-1}, Q_{p,n}\} \quad (5)$$

式中：ρ_{i-1}为第$i-1$个排污口到第 i 个排污口之间河道污染物的背景值，mg/L；$\rho_{s,i-1}$为第$i-1$个排污口与第 i 个排污口之间的地表水环境质量标准值，mg/L；k_{i-1}为污染物降解系数，1/d；x_i 为第 i 个排污口距上游起始断面的距离，m；x_{i-1}为第$i-1$个排污口距上游起始断面的距离，m；u_{i-1}为第$i-1$个排污口与第 i 个排污口之间的断面平均流速，m/s；Q_{i-1}为第$i-1$个排污口污染物混合后的河道流量，m^3/s；q_i 为第 i 个排污口排入河道中的污水流量，m^3/s；S_i 为第 i 个排污口排入河道中的污染物质量浓度，mg/L；$\rho_{s,i}$为第 i 个排污口与第 $i+1$ 个排污口之间的地表水环境质量标准值，mg/L；ρ_0 为起始断面到第 1 个排污口之间河道污染物的背景值，mg/L；Q_0 为起始断面到第 1 个排污口之间的河道流量，m^3/s；$Q_{p,i}$为第 i 个断面的河道自净需水量；$Q_{p,1}, Q_{p,2}, \cdots, Q_{p,i}, Q_{p,i-1}, Q_{p,n}$为从起始断面到终止断面的每个河段的河道自净需水量。

本研究计算的范围主要为伊通河干流河段，即从伊通水文站到靠山大桥断面处为止，其间有新立城水库大坝、四化桥和靠山大桥 3 个国控断面。将此区间划分为 4 个河段，即 1 号河段为伊通水文站—新立城水库大坝，2 号河段为新立城水库大坝—四化桥，3 号河段为四化桥—万金塔桥，4 号河段为万金塔桥—靠山大桥。经过对排污口简化处理后，该区间段共有 18 个排污口。选择 COD 为水质指标代表，根据式(2)和式(3)，从起始断面起依次对所有排污口区间段的自净需水量进行计算。根据现场实际测到的相关数据计算出 COD 降解系数，取值为 0.088/d。

计算过程中采取两套方案，即现状排污方案和达标排污方案，见表 3。伊通河上游接纳了大量无组织排放的农村生活污水，并且上游污水处理设施相对较少，因此，为了严格约束上游的排污，1 号河段和 2 号河段采取现状排污方案。近年来，长春市在不断加大城市污水处理力度的同时，采取了包括新建污水处理厂、废水资源化及中水回用等一系列污(废)水治理措施，因此，3 号河段和 4 号河段采取达标排污方案。伊通河河道自净需水量计算结果见表 4。

表 3　伊通河河道自净生态需水量计算方案及其计算参数选取原则

计算方案	计算参数选取原则			河段
	污染物排放浓度	河道污染物背景浓度	地表水环境质量标准	
现状排污	实际排放浓度	实际浓度	环境功能区划要求	1 号和 2 号
达标排污	达标排放浓度（低于标准值的以实际浓度计）	环境质量标准（低于标准值的以实际浓度计）	环境功能区划要求	3 号和 4 号

2.4　河道蒸发需水量

为维持河流系统正常的生态环境功能，当水面蒸发量大于降水量时，必须接纳河道水面系统以外的水体来补充，这部分水量称为河道蒸发需水量[7]。其计算公式为

$$Q_Z = \begin{cases} A(E-P) & E > P \\ 0 & E < P \end{cases} \quad (6)$$

式中：A 为计算时段内平均水面面积；E 为计算时段内平均蒸发量，由对 E601 水面蒸发器的测定结果进行计算而得；P 为计算时段内平均降水量。伊通河河道蒸发需水量核算结果见表 5。

表 5　伊通河河道蒸发需水量

水文站点	年降水量/mm	年蒸发量/mm	河段长/km	河段宽/m	年蒸发需水量/亿 m^3
伊　通	510.0	785.0	41.1	15.9	0.05
新立城	595.3	935.2	39.2	20.0	0.26
农　安	517.6	938.6	80.6	28.8	0.30

2.5　河道渗漏需水量

河道渗漏需水量指河水补给与地下水的矢量和。当两侧河岸地势相对较高时，一般为地下水补给河水。但是，由于伊通河经常出现断流，当断流重新蓄水后，河床含水率不饱和时会发生一定量的河流渗漏水来补给地下水。渗漏需水量一般采用传统的达西定律[8]计算，伊通河属小河，故河道渗漏需水量按照渗漏率 0.15 核算，即河道渗漏需水量为河道基础生态需水量的 15%，计算结果见表 6。

2.6　河道输沙需水量

输水和输沙是河流的输运功能，对河流起着泄洪排沙、维持河道正常演变的作用。河流输沙需水量主要指河流为了输沙排沙，维持水沙的冲刷与侵蚀动态平衡所需要的水量[9]。计算公式为

表 4　伊通河河道自净生态流量　　m^3/s

河段/水质目标	生态流量											
	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
1 号/Ⅲ类	0.41	0.40	1.05	1.24	0.97	2.38	5.87	7.03	1.35	0.83	0.62	0.46
2 号/Ⅲ类	0.93	0.79	1.08	0.79	1.67	2.03	4.49	7.36	1.53	1.11	0.99	1.25
3 号/Ⅴ类	8.23	8.21	8.16	8.11	8.67	9.37	10.46	12.72	8.81	8.14	8.10	7.87
4 号/Ⅳ类	10.97	10.94	10.88	10.81	11.56	12.49	13.91	16.96	11.75	11.20	11.03	10.49

$$Q_s = \frac{S_t}{C_{max}} \quad (7)$$

$$C_{max} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \max C_{ij} \quad (8)$$

式中:S_t 为多年平均输沙量;C_{max}为多年最大月平均含沙量;C_{ij}为第 i 年 j 月的月平均含沙量;n 为统计年数。伊通河河道输沙需水量核算结果见表7。

表6　伊通河河道年生态环境需水量　亿 m^3/a

水文站点	河道基础需水量	河道自净需水量	河道蒸发需水量	河道输沙需水量	河道渗漏需水量	河道生态环境需水量
伊　通	0.14	0.59	0.05	0.31	0.02	0.97
新立城	0.13	0.62	0.26	0.11	0.02	1.01
农　安	0.80	1.83	0.3	0.18	0.12	2.43

注:河道生态环境需水量未包括河道基础需水量。

表7　伊通河河道输沙需水量

水文站点	多年平均输沙量/万 t	最大月均含沙量/($kg \cdot m^{-3}$)	输沙需水量/(亿 $m^3 \cdot a^{-1}$)
伊　通	31.7	10.2	0.31
新立城	22.1	20.0	0.11
农　安	36.74	20.0	0.18

3　结果与讨论

将以上各项生态环境需水核算结果进行汇总分析,结果见表6。为反映伊通河河道生态环境需水量的盈缺状况,将各断面河道自净需水量和河道基础生态需水量之和与径流量进行比较,可得出各断面生态环境需水量缺水情况,具体用生态环境缺水量表示。月缺水量等于月需水量减去月径流量。年缺水量等于月缺水量之和。由于自净需水量在一定程度上包含了河道基础生态需水量,因此,河道生态环境需水量仅将自净需水量纳入其中,结果见表6和图1。

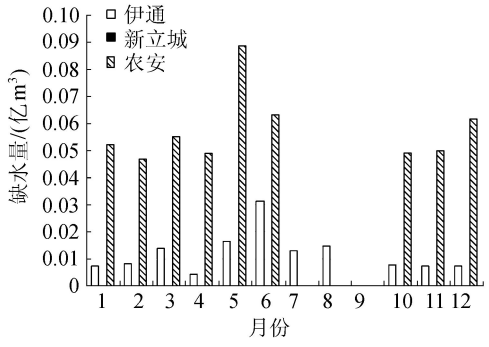

图1　伊通河各断面生态环境缺水量月过程

从图1可看出:①由于新立城水库总库容为5.92亿 m^3,兴利库容为2.75亿 m^3,故新立城站生态环境常年表现为不缺水。②伊通站和农安站生态环境常年存在不同程度缺水。其中,伊通站5月和6月缺水较为突出,分析其原因可能与伊通站上游5月、6月农业面源污染相对严重从而致使水体自净能力下降有关;农安站常年均存在缺水现象,且大部分时间缺水较为严重。③伊通河各水文站河道生态环境年均缺水量分别为:伊通站年均缺水量为0.13亿 m^3;农安站年均缺水量为0.55亿 m^3。伊通站河道生态环境属轻度缺水,农安站河道生态环境缺水相对严重,主要应归因于新立城水库的截流控制导致下游河道流量较少和靠山大桥断面常年COD浓度超标,水体污染负荷严重。

4　结　语

从研究区生态系统特点和环境现状出发,以恢复生态系统功能和改善环境质量为目的,较系统地研究伊通河河道生态环境需水情况,旨在为实现伊通河水资源的优化配置以及河流水环境的综合治理提供科学依据。生态环境需水量是一个动态值,随着生态保护目标的提高、社会经济的发展以及有关环保措施的落实,生态环境需水量也会发生相应的变化。

由于新立城水库的截流控制,伊通河下游河道径流量较少,生态环境缺水严重,笔者提出如下建议:首先,在新立城水库现有运行方式下,水库调度应考虑下游河道的生态环境水量需求,设计合理可行的生态调度方式,实现水库兴利与生态维护的联合调度机制;其次,可有步骤地在长春市城区段实施生态环境修复工程或其他补水工程,以缓解伊通河下游河段的生态环境缺水现状,尽快恢复河流生态系统的正常功能;同时,针对伊通河下游河道排污严重导致污染长期累积效应明显的状况,应对沿岸排污进行严格的分量控制和总量控制,对流域各排污口进行全面整治。

参考文献:

[1] 朱道清. 中国水系辞典[M]. 修订版. 青岛:青岛出版社,2007.

[2] 汤洁,麻素挺,林年丰,等. 吉林西部植被生态环境需水量供需平衡研究[J]. 环境科学研究,2005,18(1):5-8. (TANG Jie, MA Suting, LIN Nianfeng, et al. A study on ecological environment water requirement of vegetations and water balance in the west of Jilin Province[J]. Research of Environmental Sciences, 2005, 18(1): 5-8. (in Chinese))

[3] TENNANT D L. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources [J]. Fisheries, 1976, 14:6-10.

[4] ORTH D J, MAUGHAN O E. Evaluation of the "Montana Method" for recommending instream flows in Oklahoma streams[J]. Proc Okla Acad Sci, 1981, 61:62-66.

(下转第31页)

entropy in optimizing sampling sites for groundwater quality monitoring [J]. Journal of Fujian Normal University: Natural Science Edition, 2010, 26(1): 109-111. (in Chinese))

[4] 郭树宏,王菲凤,张江山,等. 基于PSR模型的福建山仔水库生态安全评价[J]. 湖泊科学,2008,20(6):814-818. (GUO Shuhong, WANG Feifeng, ZHANG Jiangshan, et al. Ecological security evaluation based on PSR Model for Shanzi Reservoir, Fujian Province [J]. Journal of Lake Sciences, 2008, 20(6): 814-818. (in Chinese))

[5] 余立斌,张江山,王菲凤. 熵权物元分析模型在海水水质评价中的应用[J]. 黑龙江水专学报,2008,35(2):71-74. (YU Libin, ZHANG Jiangshan, WANG Feifeng. Application of matter element model based on entropy weight to evaluation of seawater quality [J]. Journal of Heilongjiang Hydraulic Engineering, 2008, 35(2): 71-74. (in Chinese))

[6] 韩智霞,张江山. 基于熵权的模糊物元法对福建省大气环境质量的综合评价[J]. 安全与环境工程,2009,16(5): 30-32. (HAN Zhixia, ZHANG Jiangshan. Fuzzy matter-element model based on entropy coefficients and its applications to the comprehensive evaluation of fujian s atmospheric environment quality [J]. Safety and Environmental Engineering, 2009, 16(5): 30-32. (in Chinese))

[7] CHEN Guanghua, WANG Zhengqun. Feng, et al. Multi-variable decision tree construction and research [J]. Computer Engineering and Applications, 2010, 46(25): 217-219.

[8] 李瑞,魏现梅,黄明,等. 一种改进的决策树学习算法[J]. 科学技术与工程,2009,9(20):6038-6040. (LI Rui, WEI Xianmei, HUANG Ming, et al. An improved decision tree learning algorithm [J]. Science Technology and Engineering, 2009, 9(20): 6038-6040. (in Chinese))

[9] U S EPA. Guidelines for Exposure Assessment [R]. Washington D C: Office of Health and Environmental Assessment, U S EPA, 1992: 186.

[10] 郭亚军,马凤妹,董庆兴. 无量纲化方法对拉开档次法的影响分析[J]. 管理科学学报,2011,14(5):21-24. (GUO Yajun, MA Fengmei, DONG Qingxing. Analysis of influence of dimensionless methods on deviation maximization method [J]. Journal of Management Sciences in China, 2011, 14(5): 21-24. (in Chinese))

[11] 王燕. 应用时间序列分析[M]. 北京:中国人民大学出版社,2005.

[12] 梁爽,李维青. 乌鲁木齐市饮用水源地水环境健康风险评价[J]. 新疆农业科学,2010,47(8):1660-1664. (LIANG Shuang, LI Weiqing. Assessment on water environmental health risk for water supply sources in Urumqi City [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2010, 47(8): 1660-1664. (in Chinese))

[13] GAO Jijun, ZHANG Liping, HUANG Shengbiao, et al. Preliminary health risk assessment of heavy metals in drinking waters in Beijing [J]. Chinese Journal of Environmental Science, 2004, 25(2): 472-501.

[14] U S EPA. Exposure factors hand book [R]. Washington D C: U S EPA, 1997.

[15] ZHU Huina, YUAN Xingzhong, ZENG Guangming, et al. An integrated fuzzy model based on interval numbers for assessment of environmental health risks of water sources [J]. Acta Scientiae Circumstantia, 2009, 29(7): 1527-1533.

(收稿日期:2012-05-28 编辑:徐 娟)

(上接第13页)

[5] 汤洁,余孝云,林年丰,等. 生态环境需水的理论和方法研究进展[J]. 地理科学,2005,25(3):367-373. (TANG Jie, SHE Xiaoyun, LIN Nianfeng, et al. Advances in researches on the theories and methods of eco-environmental water demand [J]. Scientia Geographica Sinica, 2005, 25(3): 367-373. (in Chinese))

[6] 宋进喜,曹明明,李怀恩,等. 渭河(陕西段)河道自净需水量研究[J]. 地理科学,2005, 25(3): 310-312. (SONG Jinxi, CAO Mingming, LI Huaien, et al. Water requirements of the stream's self purification of the Weihe River in Shaanxi Province [J]. Scientia Geographica Sinica, 2005, 25(3): 310-312. (in Chinese))

[7] 严登华,何岩,邓伟,等. 东辽河流域河流系统生态需水研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(1): 46-49. (YAN Denghua, HE Yan, DENG Wei, et al. Ecological water demand by river system in East Liaohe River Basin [J]. Journal of Soil Water Conservation, 2001, 15(1): 46-49. (in Chinese))

[8] 倪深海,崔广柏. 河道生态环境需水量计算[J]. 人民黄河, 2002, 24(9): 40-41. (NI Shenhai, CUI Guangbo. Calculation to eco-environmental water demand of river [J]. Yellow River, 2002, 24(9): 40-41. (in Chinese))

[9] 姜德娟,王会肖,李丽娟. 生态环境需水量分类及计算方法综述[J]. 地理科学进展,2003,22(4):373. (JIANG Dejuan, WANG Huixiao, LI Lijuan. A review on the classification and calculating methods of ecological and environmental water requirements [J]. Progress in Geography, 2003, 22(4): 373. (in Chinese))

(收稿日期:2011-12-08 编辑:彭桃英)