

辽河河道最小生态流量研究

苏 飞¹,陈敏建²,董增川¹,徐志侠¹

(1.河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室,江苏 南京 210098;

2.南京水利科学研究院水文水资源研究所,江苏 南京 210024)

摘要 在维持河流水体生存的临界条件和河道断面形态特性的基础上,对最小生态流量的内涵和意义、计算方法以及临界点的成因进行分析.选取辽河不同河道的控制断面,从生态需水最基本的层次即水量的角度出发,计算河道的最小生态流量百分率,并分析其特点,初步建立了辽河河道最小生态流量控制标准.

关键词 辽河 最小生态流量 河道形态 临界点

中图分类号 P333 **文献标识码** A **文章编号** 1000-1980(2006)02-0136-04

生态需水的内涵应包括时间性、地域性及水体所具有的各种服务功能性,研究对象应包括河流、湖泊、湿地等众多的水域生态系统.由于河流与人类活动的关系最为密切,因此,生态需水的研究一直主要集中在河流方面.河流生态需水的研究内容可以概括为:以河道生态环境或水生生物为保护目标,主要依托水文学或水力学方法以及专家经验,结合统计学、形态学、特定环境功能等,展开对影响河流生态系统各项因子(水力参数、水生生物、水文要素等)的研究^[1-4].我国生态需水研究领域基础薄弱,生态资料缺乏.同时,复杂的自然地理和气候条件,形成了显著的区域水生态特征,尤其是北方半湿润、半干旱地区,河流水资源利用程度高,生态破坏严重.

产生河流生态问题的主要原因是河流水量锐减和水质恶化,而水量减少是北方河流生态系统退化的关键因素.河流水体生态系统的演化或破坏是一个渐变的过程,这一过程有 2 种关键状态:(a)生态链被破坏,生物量和物种大规模减少,直至消亡;(b)水体发生劣变,河道断流.这 2 种临界状态的水分条件可以反映河流生态需水的本质和特征.

河流水生态系统生存与发展的前提是其依赖的水体必须存在.在实际应用中,对(b)状态对应的流量条件进行研究更具有现实意义^[5],尤其是北方季节性河流.河流生态需水的研究应分为 3 个层次:从水量的角度研究水体生态的基本需水规律,从水质的角度研究水体的各种功能,包括环境要求;从整体的角度研究经济价值,包括缺水的生态损失.对于河流,首先应研究相应河道的最小生态流量,即维持河流水体生存应有的最小流量(水量).本文以辽河为例,对这一临界状态下的最小生态流量进行研究.

1 计算方法

1.1 最小生态流量的形态学分析

河流等水体生存条件由 2 类基本要素决定:水体及水体所处空间的特性.水体可以用水文学因素如流量来描述;水体所处空间的特性即水域活动范围,是约束水体运动空间的条件,可以用形态学因素如各种水力参数来概括.对河流水体而言,形态学因子与水文学因子两者具有耦合关系.如果在低水状态下该关系发生突变,则意味着水体生存条件发生由正常到异常的改变,即出现水体处在濒临危险的临界状态对应的最小生态流量.

Leopold 认为,河床的形态主要取决于流量^[6-7],即

$$B = \alpha_1 Q^{\beta_1} \quad H = \alpha_2 Q^{\beta_2} \quad v = \alpha_3 Q^{\beta_3}$$

$$\alpha_1\alpha_2\alpha_3 = 1 \quad \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 = 1$$

式中： B ——河宽； H ——水深； v ——流速； Q ——流量； $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ ——河流特性系数， $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ ——河流特性指数。

为了尽量消除各种指数和系数分布不均匀产生的影响，采用量纲一的 $B/B_0, Q/Q_0$ 指标来描述。 B_0 为平均水面宽， Q_0 为多年平均流量。

由本文形态学的表达方程组和约束条件可知，各水力参数与流量之间在性质上属于凹函数， $\beta_1 < 1$ ，即

$$\frac{d^2 B}{dQ^2} = \alpha_1 \beta_1 (\beta_1 - 1) Q^{\beta_1 - 2} < 0$$

从统计学上分析，当上述关系发生突变时，突变点是变化率发生明显转变的地方，称其为临界点。在各种关系图中，与该临界点相应的水力参数和流量成为河湖生存处于劣变的临界状态。临界点以对应的最小水流条件维持河流自身的形态，临界点以下的水位或流量损失会导致大规模水面宽的损失。河流水力几何形态特征方程的水力相似性和函数特性，为河道断面形态分析和断面最小生态流量的计算提供了依据。

分析知，最小生态流量 Q_e 具有多层意义。(a)几何意义：是河流水面宽与流量关系发生转折变化的特征值，即 $d(B/B_0)/d(Q/Q_0)$ 是发生变化的临界阈值。(b)经济意义：是维持河流形态和生态环境最经济的点。利用临界阈值以下的河道水量，在经济上将为恢复或补偿这一损失付出极大的代价。(c)物理意义：当水深或水位在对应临界值以下时，水深或者水位的较小变动，均会引起河道水面宽等其他水力要素大幅度的变化，此时容易发生河道断流或干涸等危及河流自我生存功能的情况。(d)生态意义：可以维持河流的连续性，并且这一流量是有效维持河流形态的必要条件，能够使河流的某些水生生物在枯水期尽快地适应不利的生态环境。

1.2 最小生态流量的计算步骤

计算的主要资料来源于流域水文年鉴，计算步骤为：(a)从水文控制站历年实测断面成果表中获取河道断面资料，对各断面进行资料可靠性、稳定性及相应归类分析，选择河相变化相对稳定的时期；(b)对选定的各控制断面计算水力断面特性，包括水面宽、水位、平均水深和流速等，并进行量纲一处理，建立水力特性参数计算表；(c)绘制断面计算期水面宽-水位百分比关系图、流量-水位关系曲线，以其他水力参数与流量的关系曲线为检验的参照；(d)确定水面宽-水位百分比关系图中的临界点以及对应水位、水面宽和其他水力参数，从水位-流量关系图中查出对应的流量，作为最小生态流量的初步结果；(e)进行合理性和一致性分析，利用其他水力参数进行多指标检验，最终确定各控制断面最小生态流量的范围或平均值。

1.3 临界点的成因分析

河道断面形态中出现明显的转折点或临界点有以下几方面原因。(a)受地壳大地构造运动的影响，上升带与下降带交替而形成纵剖面上的不连续转折点，这种转折点的形成一般需要很长的地质年代。在研究形态时，需要加以识别。(b)河流流经河床基质及河岸岩性不同的地区时，由于对断面不同部位水力作用的强弱不同，使断面形成不同的坡降，表现为纵剖面中出现明显的转折点。(c)流域洪水对河道局部断面的冲刷和侵蚀作用。这种作用由于受气候、地质地貌、边坡土壤特性等众多因素的影响，随机性较为明显。(d)作为河流的暂时侵蚀基准面，受水利工程对河道水流的调控作用，如水库蓄水、回水顶托等也会形成较明显的转折点。(e)人工干预作用形成的转折点。由于防洪安全、农业灌溉的需要，通常在河道两岸进行护坡治理，出于施工或河道稳定的需要造成纵剖面出现转折点。

上述几种转折点中，除人工河道整治和地质构造运动作用出现的转折点外，其他都与水动力条件有关。在天然状态下，与河道断面最小生态流量对应的突变点主要是经常性的水流作用造成的，即主要是(b)类型的转折点。洪水冲刷和暂时侵蚀在一定时期可能会加速转折点的形成，或者使已有的转折点位置发生改变，需要结合流域水文条件、河道断面基质组成合理地判断。

2 辽河河道最小生态流量的计算

2.1 控制断面的选取

水文控制断面是联系河流形态因子和水文因子的载体。为了确定在天然状态下，不同河道断面对应的河道最小生态流量，即临界流量，断面的选取应该遵循典型性、稳定性、实用性的准则。本文选取辽河麦新、郑家屯(西辽河)、太平(东辽河)、朱家房、福德店(辽河干流)、邢家窝堡(浑河)、唐马寨(太子河)、东白城子(饶阳

河)、朝阳(大凌河)等 9 个主要断面进行计算和分析.

2.2 计算结果分析

依据本文的计算原则和方法,对辽河控制性断面的生态流量进行计算,对计算过程中的各种不确定性进行相应处理.计算结果见表 1.

表 1 辽河河道最小生态流量计算结果

Table 1 Calculated results of minimum ecological discharge of Liaohe River

水系	断面名称	流量/(m ³ ·s ⁻¹)	水面宽/m	水位/m	水深/m	流速/(m·s ⁻¹)	流量比/%	水面宽比/%	流量范围/%
西辽河	麦 新	4.09	136.0	280.48	0.33	0.24	9.5	58.3	7 ~ 10
	郑家屯	4.05	36.8	115.37	0.43	0.26	7.7	35.7	
东辽河	太 平	2.78	35.6	7.01	0.33	0.20	11.1	70.3	11
辽河干流	福德店	7.33	48.4	97.70	0.66	0.22	8.4	35.6	5 ~ 9
	朱家房	8.89	200.0	8.16	0.27	0.28	5.3	22.3	
饶阳河	东白城子	0.73	20.7	69.84	0.28	0.26	16.5	49.9	17
大凌河	朝 阳	4.31	37.1	97.96	0.65	0.22	16.9	31.8	17
浑 河	邢家窝堡	11.40	86.2	3.87	1.29	0.19	13.9	73.8	14
太子河	唐马寨	11.80	99.3	3.01	2.33	0.15	12.7	73.5	13

从各控制断面的流量来看,流域面积与流量呈正相关关系,东辽河太平流量最小,辽河干流朱家房流量最大,即天然状况下,满足整体流域一致性的要求;从流域径流条件来看,东辽河流域太平的产流条件最好,其次为辽河干流的朱家房,西辽河郑家屯最差,符合流域‘东水西沙’的自身特点.在水深和流速等水力参数上,变化不大,在防止河道断流和河相相对平衡的较为合理的范围之内.

a. 流域集水面积和降水条件对最小生态流量和水面宽率的影响较大.集水面积较小而降水量较大的地区,能够以较小的流量百分率维持较大的河道水面宽率.如相对湿润的东辽河太平(集水面积 1.04 万 km²,降水量 557.2 mm),浑河邢家窝堡(集水面积 1.10 万 km²,降水量 655.4 mm)和太子河唐马寨(集水面积 1.12 万 km²,降水量 681.8 mm)降水相对较丰,维持的河道水面宽率在 70% 以上.辽河干流朱家房流域面积为 17.7 万 km²,降水量为 587.9 mm,最小水面宽率较小,综合了东、西辽河河流特性.

b. 西辽河及辽河干流的最小生态流量百分率随流域面积的增大而减小,即上游的流量百分率高于下游,符合外流河流域的特点.饶阳河东白城子(集水面积 0.21 万 km²,降水量 513.6 mm)、大凌河朝阳(集水面积 1.02 万 km²,降水量 482 mm)等河流位于沿渤海地区,河流独立入海,流量百分率较高,与东、西辽河及辽河干流均不同.

c. 最小生态流量百分率和相应的最小水面宽百分率在辽河的主干河道上变化呈现出一致性的特点,包括麦新、郑家屯、太平、朱家房、福德店控制断面,见图 1.浑河、太子河和大凌河、朝阳河表现出不同的变化趋势:浑河、太子河由于河道窄深,河相相对稳定,与辽河主干河道有天然的水力联系,具有与主干河道相似的变化特征;大凌河、朝阳河由于河道不稳定,水土流失严重,过水条件和调蓄能力差,与浑太河冲积性不同.

2.3 结论与检验

a. 西辽河区 西辽河流域降水量较少,相应的自身产水量也较少.虽然控制面积较大,但水资源相对不足,河流生态系统比较脆弱,对人类活动的影响比较敏感.计算的最小生态流量在 7% ~ 10%.从整个辽河流域来说,建议采用较大的流量百分比.

b. 东辽河区 东辽河流域较湿润,但近年来水资源开发强度大,地下水超采,生态系统服务功能显著降低.因此确定最小生态流量在 11% 左右,这一流量百分比与在河流类型相似条件下国外 Tennant 等方法^[8]统计的最小推荐流量百分比 10% 接近,有助于遏制东辽河流域生态功能的恶化.

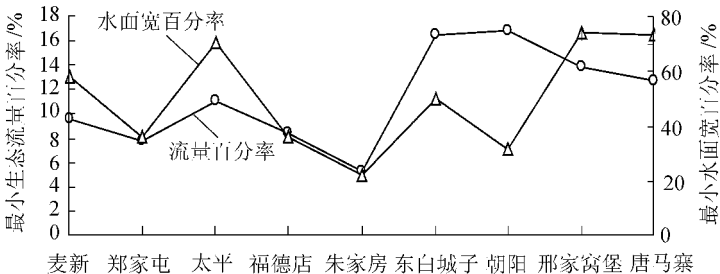


图 1 辽河控制断面最小生态流量百分率和最小水面宽百分率关系

Fig.1 Relationship between rate of minimum ecological discharge and wetted perimeter for control sections of Liaohe River

c. 辽河干流区 干流控制断面的计算说明辽河干流下游的最小生态流量比上游大,但流量百分比为 5%~9%,表现出比上游小的特点,与内陆河生态需水不同,反映了外流型河流生态需水的基本特点.

d. 东北沿海诸河区 浑河、太子河、大凌河、饶阳河等独立入海河流的最小生态流量百分率较为稳定,为 13%~17%. 一些控制面积较小的断面(东白城子站),由于河流自然调蓄能力差,生态相对脆弱,要求相对较高的流量百分比来维持河流的基本功能.

利用最小生态流量作为评价标准,采用 15,30,45,60,90,120,150 d 枯水期平均最小流量和实测年平均流量,对流域现状河道用水进行分析.限于资料,评价断面为西辽河麦新和郑家屯,辽河干流福德店,评价年份为 2000 年、2001 年、2002 年.结果表明,福德店和郑家屯断面平均最小流量均低于最小生态流量,即多处于断流状态.

2000 年、2001 年麦新断面 45 d 以下枯水平均最小流量低于最小生态流量,90 d 以上枯水平均最小流量则高于最小生态流量.在 2002 年只有 15 d 平均最小流量处于断流状态,其余流量均接近于最小生态流量.总体上,麦新断面的断流情况逐渐好转.断面评价结果与流域断流调查报告结果一致,表明本文最小生态流量计算的合理性和可行性.

3 结 语

针对辽河断流及生态用水问题,以河流形态特性为基础,对不同的河道采用不同的流量百分比.同时结合流域自身的特性,如内陆河区和外流区、北方季节性河流和南方河流最基本的生态功能等,在水文观测资料系列基础上,对河流最小生态需水量进行了研究.

参考文献：

[1] JOWETT I G. Instream flow methods :a comparison of approaches[J] . Regulated Rivers :Research and Management,1997,3(13) :115-127.

[2] MATTHEWS R C,BAO Y.The Texas method of preliminary instream flow determination[J] . Rivers,1991,2(4) :295-310.

[3] 丰华丽,王超,李剑超.河流生态与环境用水研究进展[J] .河海大学学报:自然科学版,2002,30(3) :19-23.

[4] NAOKI S, NOBUYUKI T. Use of economic measures for establishing environmental flow in upstream river[J] . Basins Intl J River Basin Management,2003,1(1) :15-19.

[5] 刘昌明. 中国 21 世纪水供需分析 生态水利研究[J] .中国水利,1999(10) :18-20.

[6] 张书农,华国祥. 河流动力学[M] .北京 水利电力出版社,1988 :183-185.

[7] 钱宁,张仁,周志德. 河床演变学[M] .北京 科学出版社,1987 :331-336.

[8] TENNANT D L. Instream flow regimes for fish,wildlife,recreation and related environmental resources[J] . Fisheries,1976,1(4) :6-10.

Minimum ecological discharge of Liaohe River

SU Fei¹, CHEN Min-jian², DONG Zeng-chuan¹, XU Zhi-xia¹

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources
and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China ;

2. Department of Hydrology and Water Resources, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210024, China)

Abstract Based on the viewpoint of maintenance of the critical survival condition of river water and characteristics of geomorphology of river sections, the connotation and computational approach for the minimum ecological discharge and cause of critical points were analyzed. With control sections of different channels of the Liaohe River as examples, the rates of minimum ecological discharge of the river channels were calculated and their characteristics were analyzed from the aspect of water quantity, which is the most fundamental factor of ecological water demand. As a result, the control criterion for minimum discharge of the Liaohe River was deduced.

Key words Liaohe River ; minimum ecological discharge ; geomorphology of river channel ; critical point