

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2011.03.003

辽河干流河道生态需水量研究

康萍萍¹,周林飞¹,李 波¹,孙佳竹²

(1.沈阳农业大学水利学院,辽宁 沈阳 110161;2.辽宁省水文水资源勘测局铁岭分局,辽宁 铁岭 112000)

摘要 :从辽河生态系统基本特征出发,将辽河干流生态需水量分为生态基流量、稀释自净需水量、输沙需水量和蒸发量 4 个部分,通过 6 个重要水文断面实现生态需水分区;生态用水过程按汛期和非汛期分别计算;生态需水整合分为类型整合与分区内整合,类型整合中的消耗型需水采用累加原则,非消耗型需水采用取大原则,分区内整合在类型整合的基础上采用分区贡献法,最终建立了辽河干流生态需水分区分期整合计算模型。计算结果表明,辽河干流生态需水量在汛期以输沙需水量为主,非汛期以生态基流量为主;干流汛期和非汛期来水量不足,需要区间补给才能满足河道生态需水量。

关键词 辽河干流;生态需水量;类型整合

中图分类号 :TV213.4 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-6933(2011)03-0011-05

Study of ecological water requirement in the main stream of Liao River of China

KANG Ping-ping¹, ZHOU Lin-fei¹, Li Bo¹, SUN Jia-zhu²

(1. College of Water Conservancy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China; 2. Tieling Branch, Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Liaoning Province, Tieling 112000, China)

Abstract :The ecological water requirement of the main stream of Liao River was classified as the ecological basic flows, the water requirement for self purification, water requirement for sediment transport and water consumption in evaporation. The subdivision of ecological water requirement was achieved by using six major hydrological sections. The ecological water utilization could be computed for flood season and non-flood season separately. The conformity of ecological water requirement of the main stream of Liao River could be classified as type conformity and conformity in region. The calculation of consumptive water requirement was followed the additive principle and non-consumptive water requirement followed the maximum principle. The contribution method was used in sub-regional conformity district. A conformity model computing ecological water requirement by regions and stages for main stream of Liao River was developed. The calculated results showed that the ecological water requirement in the main stream of Liao River was subject to water requirement for sediment transport in flood season and ecological basic flows in non-flood season. The water in flood and non-flood seasons was deficient and needed to be recharge to meet the ecological water requirement in the main stream of Liao River.

Key words :main stream of Liao River; ecological water requirement; type conformity

河流作为生态环境的一部分,具有水文、生态和景观功能,对人类的生存和发展起着至关重要的作用。但由于人类不合理的开发和利用,致使河流出现一系列的环境问题,诸如断流、淤积、水质恶化和水生物减少等。确定合理的河道生态需水量不仅能

维持河流的正常功能,还为水资源的合理规划配置提供可靠的依据。目前国内外对生态需水量还没有统一的定义,刘昌明等^[1]根据水资源开发利用与生态用水的关系,提出了“四大平衡”原理,即水分能量平衡、水盐平衡、水沙平衡与水量平衡(含水资源供

基金项目 国家自然科学基金(50879046)
作者简介 康萍萍(1985—),女(蒙古族),内蒙古锡林郭勒人,硕士研究生,研究方向为河道生态需水量。E-mail kangping19850803@sina.com
通讯作者 周林飞,副教授。E-mail zlf924@163.com

需平衡)。张丽等^[2]将生态需水概念分为2个层次,即针对降雨的广义概念和针对地表和地下水资源的狭义概念,普遍应用的定义为钱正英等^[3]提出的,即:广义的生态需水量是指维持地球生物地理生态系统水分平衡所需用的水,包括水热平衡、水沙平衡、水盐平衡等。狭义地说,生态需水量是指为维护生态系统不再恶化并逐渐改善所需要消耗的水资源总量。国外计算河流生态需水量的方法有水文学法^[4-5]、水力学法、栖息地法和综合法^[6]。水文学法操作简单,能充分反映河流的季节性变化,但精度低;水力学法要求的数据量少,但操作复杂,必须选择合适的研究断面;栖息地法考虑了选定物种各生长阶段对流量的要求,但针对性和综合性强,研究费用高;综合法是南非相关机构开发的,对大、小流量均考虑了月流量的变化。近年来,国内学者提出了生态水力学法^[7],该法将生物资料与河流流量研究相结合,考虑水力生境参数的全河段变化情况,该方法需要较少的生物资料,说服力比水文学和水力学法强。严登华等^[8]构建了我国生态需水研究的理论体系和技术框架,提出在竞争用水条件下,生态需水研究应考虑水分生态效率率;杨志峰等^[9]针对北方河流的特点提出河流生态基流量概念及生态基流量整合模型,并将其应用到海河流域。总体来说,我国关于生态需水的基础理论还不够完善,量化方法上大多利用单一的水文数据,与生态学结合较少,目前主要集中于生态需水量机理研究、与遥感和GIS技术结合的相关研究以及生态需水量耦合研究等。笔者从国内的研究现状出发,结合辽河流域的生态环境问题,对辽河干流生态需水量进行研究计算。

辽河流域地处东经 117°00′ ~ 131°20′,北纬 38°48′ ~ 45°10′之间,辽宁省境内,大部分地区属温带半湿润半干旱季风气候,多年平均气温在 4 ~ 9℃,辽河干流降水量为 600 ~ 700 mm。目前该流域的主要生态环境问题是:沙化面积扩大、水土流失加剧、河道断流、水质恶化、水资源供需矛盾尖锐、水资源短缺、下游河床不断淤高、旱涝灾害频繁、地下水超采和地下水位下降等,这些问题严重制约着该流域的经济和社会发展。因此,以辽河为研究背景有其现实意义。图 1 为辽河干流及其主要水文站示意图。

1 生态需水量计算方法

将辽河干流生态需水量分为生态基流量、稀释自净需水量、输沙需水量和蒸发量。生态基流量、稀释自净需水量和输沙需水量属于非消耗型水量,蒸发量属于消耗型水量。



图 1 辽河干流及其主要水文站示意图

1.1 生态基流量

生态基流量是指维持河流的基本形态和水生物的正常生长与繁殖所需要的水量。对于季节性河流而言,维持河流的功能就是要保证河流在非汛期不断流,水生物正常生长,在汛期河流能为水生物的繁殖提供良好的条件。基于这种考虑,采用月年保证率法^[10]计算。

月(年)保证率设定法是根据系列水文统计资料,以不同的月(年)天然径流量百分比作为河道生态基流量的等级,分别计算不同保证率、不同等级下的月(年)生态基流,具体步骤^[10]如下:

a. 根据系列水文资料,首先对各月(年)天然径流量按照从小到大的顺序进行排列。

b. 计算月(年)不同保证率(25%、50%、75%、95%)下所对应的各月(年)天然流量,以及各月(年)的多年平均值。

c. 根据系列水文统计资料,在不同的月(年)保证率前提下,以相对应的年天然径流量百分比作为生态基流的等级,分别计算不同保证率的月(年)生态基流。具体方法是:假设将年天然径流量的 60% 作为河道内用水,则将年天然径流量的平均值的 60% 作为河道生态需水量的最高上限,只有高于年天然径流量 60% 的月份可河道外取水。这时生态基流量的确定分 2 种情况:①高于年均值 60% 的月份选取年均值计算;②低于年均值 60% 的月份选取该月的天然径流量。当月生态基流占月天然径流量的百分比小于 10% 时,应遵循月生态基流不能低于月天然径流量的 10% 的天然径流基本原则,取月天然径流量的 10% 作为生态基流量。计算公式如下:

$$W_b = \begin{cases} W_{多年平均}^i & W_j^i \geq W_{多年平均}^i \\ W_j^i & W_j^i < W_{多年平均}^i \end{cases} \quad (1)$$

式中: W_b 为生态基流量, m^3 ; W_{ij}^i 为不同等级下不同保证率的径流量, m^3 ; i 为多年平均天然径流量的百分比, $i = 10\%、30\%、60\%、100\%$; j 为保证率, $j = 25\%、50\%、75\%、95\%$ 。

1.2 稀释自净需水量

自净需水量采用近 10 年最枯月平均流量法计算,是在 7Q10 法基础上修改而成的,我国在 GB 3839—83《制定地方水污染排放标准的技术原则和方法》中规定:一般河流自净需水量采用近 10 年最小月平均流量或者 90% 保证率最小月平均流量。计算公式如下:

$$W_d = \min\{W_{ij}\} \tag{2}$$

式中: W_d 为河流稀释自净水量, m^3 ; $\min\{W_{ij}\}$ 为近 10 年最小月平均流量, m^3 。

1.3 输沙需水量

一般河流汛期的输沙量约占全年输沙总量的 80% 以上,即河流的输沙功能主要在汛期完成。因此,忽略非汛期较小的输沙水量。通过人工调水调沙手段,利用汛期较大的洪水量来完成输沙要求,这也有利于最大限度地开发利用水资源。河流输沙需水量计算公式^[11]为:

$$W_s = \eta^\alpha \times W_w \tag{3}$$

$$W_w = W - \frac{W'_s}{\gamma_s} \tag{4}$$

$$\eta = \frac{W_{s\text{进}}}{W_{s\text{出}}} \tag{5}$$

式中: W_s 为输沙水量, m^3 ; η 为输沙效率; α 为指数(其值由输沙效率 η 确定); W_w 为净水量, m^3 ; W 为径流量, m^3 ; W'_s 为输沙量, 亿 t; γ_s 为泥沙密度, 通常取 2.65 t/m^3 ; $W_{s\text{进}}$ 和 $W_{s\text{出}}$ 分别为进、出口站输沙量, t 。当 $\eta < 1$ 时,进口站输沙量 $W_{s\text{进}}$ 小于出口站输沙量 $W_{s\text{出}}$,河段冲刷,取 $\alpha = 1$; 当 $\eta \geq 1$ 时,进口站输沙量 $W_{s\text{进}}$ 大于或等于出口站输沙量 $W_{s\text{出}}$,河段淤积或冲淤平衡,取 $\alpha = 0$ 。

1.4 蒸发量

蒸发量主要指水面蒸发消耗水量(W_e)。河流水面蒸发一般用单位面积水体上的蒸发深度表示蒸发能力。蒸发消耗需水计算公式为

$$W_e = (E_w - P)HL \tag{6}$$

式中: W_e 为水面蒸发量, m^3 ; E_w 为实测水面蒸发量, mm ; P 为河道上的平均降雨量, mm ; H 为河流断面平均水面宽, m ; L 为河长, m 。

1.5 河道生态需水整合

河道生态需水整合包括类型整合和分区整合。

1.5.1 类型整合

类型整合主要是对消耗需水和非消耗需水进行

整合。消耗型需水采用累加原则;非消耗型需水采用最大值原则。公式如下:

$$W_R = \max(W_b + W_d + W_s) + W_e \tag{7}$$

1.5.2 分区整合

分区整合包括分区间整合和分区内整合。分区间整合指不同河流(干流与支流、支流与支流)之间进行整合。整合方法根据具体的河流连接特点而定^[12]。分区内整合计算采用分区贡献法^[11],具体采用上下断面控制法(图 1)计算各分区的生态需水分区贡献量,从而计算区间总的生态需水量。

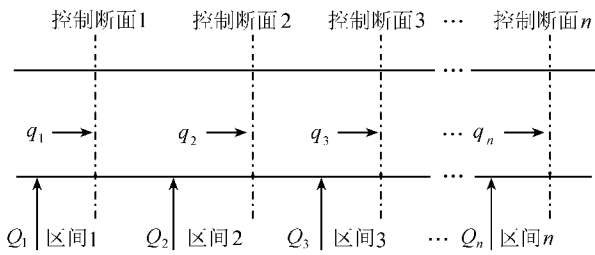


图 2 上下断面控制法示意图

$q_1、q_2、q_3、\dots、q_n$ 为各控制断面的生态需水量,以区间 2 为例,当 $q_1 > q_2$ 时,上断面的生态需水量满足下断面的流量要求,可以用于其他用水;当 $q_1 < q_2$ 时,上断面的生态需水量不能满足下断面的流量要求,需要补给才能满足区间 2 的生态需水量,补给量为 $Q_2 = q_2 - q_1$ 。对于整个河道而言,其生态需水量等于各区间的生态需水分区贡献量之和,如式(8)为

$$Q = (q_n - q_{n-1}) + (q_{n-1} - q_{n-2}) + \dots + (q_1 - 0) = q_n \tag{8}$$

式中: q_n 是河道出口断面的生态需水量。

2 计算结果与分析

2.1 数据来源与处理

所用的数据主要是辽河干流福德店、通江口、铁岭、马虎山、巨流河和辽中等 6 个主要水文站的月年径流量、输沙率、降水量、蒸发量、平均水面宽度和河段长度资料,来源于我国 1956—2006 年的水文年鉴。对于缺乏资料的年限,采用相关分析法进行插补延长。

2.2 计算分区与用水过程

以这 6 个水文站为断面将辽河干流分为 6 段进行研究计算。

辽河干流属于季节性河流,6—9 月为汛期,10 月—翌年 5 月为非汛期,汛期水量过剩,给两岸防洪造成很大压力;非汛期水量不足,经常出现断流现象,因此将辽河干流的用水过程分为汛期和非汛期,分别计算其生态需水量。

表 1 辽河干流生态基流量计算结果

亿 m³

站名	95%			75%			50%			25%		
	全年	汛期	非汛期	全年	汛期	非汛期	全年	汛期	非汛期	全年	汛期	非汛期
福德店	0.21	0.07	0.14	0.37	0.12	0.25	0.69	0.23	0.45	1.26	0.42	0.84
通江口	0.24	0.08	0.16	0.69	0.23	0.46	1.22	0.41	0.81	2.00	0.67	1.33
铁 岭	0.56	0.19	0.37	1.40	0.47	0.93	2.36	0.79	1.57	3.70	1.24	2.46
马虎山	1.02	0.34	0.68	1.77	0.59	1.18	2.72	0.91	1.81	4.07	1.36	2.71
巨流河	0.69	0.23	0.46	1.71	0.57	1.14	2.87	0.96	1.91	4.45	1.49	2.96
辽 中	0.66	0.22	0.44	1.62	0.54	1.08	2.71	0.91	1.80	4.21	1.41	2.80

2.3 生态基流量

采用 1957—2006 年辽河干流天然径流量资料 , 分别计算 95%、75%、50%、25% 和多年平均条件下的径流量 ,以相应年天然径流量的 10% 作为河道生态基流量 ,利用式(1)计算 ,结果见表 1 和表 2。

表 2 辽河干流生态基流量计算结果(多年平均) 亿 m³

站名	全年	汛期	非汛期
福德店	0.96	0.32	0.64
通江口	1.47	0.49	0.98
铁 岭	2.76	0.92	1.84
马虎山	3.17	1.06	2.11
巨流河	3.34	1.12	2.22
辽 中	3.15	1.05	2.10

结果表明 :在多年平均条件下辽河干流的生态基流量介于 25% 和 50% 保证率条件下对应的生态基流量之间。95%和 75% 保证率下 ,马虎山的生态基流量最大 ,全年分别为 1.02 亿 m³ 和 1.77 亿 m³ ; 50%、25% 保证率和多年平均条件下 ,巨流河的生态基流量最大 ,全年分别为 2.87 亿 m³、4.45 亿 m³ 和 3.34 亿 m³。总的来看 ,马虎山和巨流河的生态基流量较大 ,福德店的生态基流量最小。

2.4 稀释自净需水量

采用近十年最小月平均流量法确定自净需水量。对辽河干流分 5 个时段分别计算每段的自净需水量 ,将其平均值作为河道自净需水量 ,利用式(2)计算 ,结果见表 3。将流速换算成流量 ,结果见表 4。计算结果表明 ,随着河流向下游延伸 ,河流稀释自净需水量逐渐增加 ,这主要是因为随着支流的汇入 ,支流中的污染物及杂质进入干流 ,两岸污水排放量增多 ,从而增加了自净需水量。

2.5 输沙需水量

根据辽河干流雨季的出现情况 ,利用汛期 6—9 月的水量进行输沙。利用式(3)~(5)进行计算 ,结果见表 5。由表 5 可见 ,与生态基流量和自净需水量相比 ,辽河干流的汛期输沙需水量很大 ,汛期内 8 月份的输沙需水量最大。从各个断面来看 ,铁岭和马虎山的输沙需水量最大 ,分别为 19.79 亿 m³ 和 25.97 亿 m³。

表 3 辽河干流水文站的 10 年最枯月平均流量 m³/s

站名	1957— 1966 年	1967— 1976 年	1977— 1986 年	1987— 1996 年	1997— 2006 年	平均值
福德店	—	0.37	0.48	2.52	0.31	0.92
通江口	1.69	0.70	0.63	4.31	0.92	1.65
铁 岭	4.91	3.31	2.96	9.02	4.04	4.85
马虎山	5.28	4.72	3.47	11.88	4.42	5.95
巨流河	5.44	5.12	3.83	12.19	6.62	6.64
辽 中	5.29	4.11	1.86	9.16	4.97	5.08

表 4 辽河干流非汛期、汛期和年自净需水量 亿 m³

站名	非汛期	汛期	全年
福德店	0.19	0.10	0.29
通江口	0.35	0.17	0.52
铁 岭	1.02	0.51	1.53
马虎山	1.25	0.63	1.88
巨流河	1.40	0.70	2.10
辽 中	1.07	0.53	1.60

表 5 辽河干流汛期输沙需水量 亿 m³

站名	汛期各月输沙需水量				汛期 总量
	六月	七月	八月	九月	
福德店	0.81	2.50	4.22	2.00	9.53
通江口	2.06	4.56	8.54	3.90	19.05
铁 岭	2.06	4.98	8.06	4.68	19.79
马虎山	2.32	5.36	12.15	6.14	25.97
巨流河	2.24	4.19	5.99	3.81	16.24
辽 中	1.95	4.92	6.59	2.89	16.34

表 1、表 2 和表 4 显示 ,辽河干流生态基流量、稀释自净需水量的非汛期值分别大于各自汛期值 ,这主要是因为非汛期水量主要用于维持河流的基本形态 ,为水生物提供良好的生境和维持水体的自净能力。汛期生态需水量主要以输沙需水量为主 ,这是由于辽河干流来沙量大 ,而且集中于汛期。

2.6 蒸发量

根据式(6)计算辽河干流的蒸发量。辽河干流的蒸发量是通过 20 cm 口径蒸发器测得的陆面蒸发量 ,将其乘以水面蒸发量折算系数换算为水面蒸发量 ,水面蒸发量折算系数来源于辽宁省水面蒸发量折算系数表。具体计算方法是 :将各个断面之间的河段平均分成 2 小段 ,分别计算每小段的月蒸发量 ,

每小段的蒸发量、降雨量和水面宽度采用邻近水文站的数据。计算结果为汛期蒸发量为 0.03 亿 m³ ,非汛期为 0.10 亿 m³ ,全年为 0.13 亿 m³。由计算结果看 ,汛期蒸发量很小 ,主要是由于降水量集中在 6-9 月份 ,补充了这个时期的蒸发量。

2.7 河道生态需水整合

2.7.1 类型整合

利用式(7)对辽河干流生态需水量进行类型整合 ,为了保持一致 ,采用多年平均条件下的生态基流量与其他类型生态需水量进行整合计算。生态基流量、稀释自净需水量和输沙需水量三者取其中最大值。整合结果见表 6。由表 6 可见 ,整合后 ,马虎山的生态需水量最大 ,这是由于在马虎山断面以下有柳河汇入 ,柳河的含沙量很大 ,是辽河干流泥沙的主要来源 ,从而增加了马虎山的生态需水量。因此整合结果是比较合理的。

表 6 整合后辽河干流生态需水量 亿 m ³			
站点	汛期	非汛期	全年
福德店	9.54	0.67	10.21
通江口	19.05	0.98	20.03
铁 岭	19.80	1.87	21.67
马虎山	25.97	2.11	28.08
巨流河	16.25	2.26	18.51
辽 中	16.34	2.10	18.44

2.7.2 分区内整合

笔者仅研究辽河干流的生态需水量 ,所以不需要进行分区间整合 ,只计算分区内整合。根据式(8) ,计算辽河干流的汛期、非汛期及全年的分区贡献量 ,计算结果见表 7。结果表明 :辽河干流汛期和非汛期分区贡献量均不能满足生态需水量。汛期补给量为 6.80 亿 m³ ,非汛期补给量为 1.43 亿 m³。汛期来沙量大 ,输沙需水量也大 ;而非汛期径流量小 ,不能满足河道生态需水量。

表 7 辽河干流生态需水分区贡献量 亿 m ³			
区间	汛期	非汛期	全年
福德店—通江口	9.51	0.31	9.82
通江口—铁 岭	0.75	0.89	1.64
铁 岭—马虎山	6.17	0.24	6.41
马虎山—巨流河	-9.72	0.15	-9.57
巨流河—辽 中	0.09	-0.16	-0.07
合 计	6.80	1.43	8.23

注 : - 表示上断面生态需水大于下断面生态需水。

3 结论与建议

3.1 结论

将辽河干流生态需水量分为生态基流量、稀释自净需水量、输沙需水量和蒸发量。对于各类型的生态需水量 ,采用相应的方法进行计算整合 ,辽河干

流河道 6 个水文断面的生态需水量分别为 :福德店 10.21 亿 m³ ,通江口 20.03 亿 m³ ,铁岭 21.67 亿 m³ ,马虎山 28.08 亿 m³ ,巨流河 18.51 亿 m³ ,辽中 18.44 亿 m³。

辽河干流生态需水分区贡献量的计算结果表明 ,在非汛期 ,河流来水量很少 ,不能维持河流的水文生态功能 ,需要进行水量补给才能满足河道生态需水量。造成辽河干流非汛期水量少的原因主要是降雨量少 ,上游近百座水库的截流 ,辽河流域植被的破坏等 ;汛期水量虽然较大 ,但含沙量大 ,来水量依然不能满足河道生态需水量要求。

3.2 建议

辽河干流在非汛期来水量少 ,汛期来水量大。进行水资源规划时 ,非汛期应首先保证河道的生态基流量 ,减少河道外取水 ;汛期虽然来水量大 ,但是泥沙量也大 ,若过分开发水资源 ,会导致泥沙淤积 ,河床增高。因此在汛期应合理进行用水部门的水量分配。此外非汛期河流的稀释纳污能力较弱 ,应控制两岸的污水排放量 ,逐步改善河流的生态环境。

参考文献 :

[1] 刘昌明 ,何希吾 .我国 21 世纪上半叶水资源供给分析 [J]. 中国水利 200X(2) 34-35.

[2] 张丽 ,李丽娟 ,梁丽乔 ,等 .流域生态需水的理论及研究进展 [J]. 农业工程学报 2004 24(7) 308.

[3] 钱正英 ,陈家琦 .人与河流和谐发展 [J]. 河海大学学报 :自然科学版 2006 34(1) 1-5.

[4] Ipswich River Fisheries Restoration Task Group. Ipswich River Fisheries Current Status and Restoration Approach[EB/OL]. [2009-03-10]. http://www.mass.gov/dfwele/der/riverways/programs/rifls/lf_ipswich.htm.

[5] EDGE C E I. Water wars heat up[EB/OL].[2003-05-21]. <http://ceiengineers.com/publications/EE1203>.

[6] DFID of the UK. Handbook for the assessment of catchment water demand and use[M]. Oxon :HR Wallingford 2003.

[7] 王玉蓉 ,李嘉 .生态水力学法在河段最小生态需水量计算中的应用 [J]. 四川大学学报 :工学版 2007 39(5) 2.

[8] 严登华 ,王浩 ,王芳 ,等 .我国生态需水研究体系及关键研究命题初探 [J]. 水利学报 2007 38(3) 267.

[9] 杨志峰 ,刘静玲 ,肖芳 ,等 .海河流域河流生态基流量整合计算 [J]. 环境科学学报 2005 25(4) 442-448.

[10] 杨志峰 ,刘静玲 ,孙涛 ,等 .流域生态需水规律 [M]. 北京 :科学出版社 2006 81-82 ,194-198.

[11] 严军 ,胡春宏 .黄河下游河道输水量的计算方法及应用 [J]. 泥沙研究 2004(4) 26-27.

[12] 刘静玲 ,杨志峰 ,肖芳 ,等 .河流生态基流量整合模型 [J]. 环境科学学报 2005 25(4) 439.

(收稿日期 2010-09-15 编辑 :徐 娟)