第54卷第2期
2014年3月

大连理工大学学报
Journal of Dalian University of Technology

Vol. 54, No. 2
Mar. 2014

文章编号：1000-8608(2014)02-0215-07

基于水文要素变化特征的浑河干流生态需水量计算

周林飞*[1]， 赵 嶄[1]， 张玉龙[2]

（1.沈阳农业大学 水利学院，辽宁 沈阳 110866；
2.沈阳农业大学 土地与环境学院，辽宁 沈阳 110866）

摘要： 将浑河干流划分为4个区域进行生态需水量计算.根据浑河干流特点，将其生态需水分为河流基本生态需水、河流稀释自净需水、输沙需水和蒸发需水.根据浑河水文要素变化特征确定各类生态需水量的计算方法，并对各类生态需水进行类型整合.计算结果表明：北口前站全年的生态需水量为0.55×10^8 m^3，抚顺站为9.59×10^8 m^3，沈阳站为6.93×10^8 m^3，邢家窝棚站为10.55×10^8 m^3，并给出了逐月变化，以利于浑河干流水资源优化配置.结合浑河干流水文要素变化特征，对其生态需水量特征进行了分析，并提出相应建议.

关键词： 浑河干流；水文要素；生态需水量；特征

中图分类号： TV213 **文献标识码：** A **doi：** 10.7511/dllgxb201402010

0 引 言

浑河是辽河的支流，是辽宁省东部地区较大河流之一，全长368 km，发源于抚顺市东部，自东向西，最后在营口市西炮台注入辽东湾.流域面积1.14×10^4 km^2，年径流量30.52×10^8 m^3.流域内社会经济比较发达，水利设施比较完善.浑河流经沈阳、抚顺两个重要城市，维持其健康可持续发展至关重要，而河流生态需水又是保证河流健康发展的基础.河流生态需水包括河道内生态需水与河道外生态需水.河道内生态需水主要包括河流基本生态需水、河道输沙需水、自净需水、蒸发需水等，这些分项需水可以保障河流生态系统特定功能.关于河道内生态需水量，国内外进行了多年研究，已经研究出一些比较成熟的计算方法[1-2].但目前关于河流生态需水计算的文章有大部分是直接选定计算方法利用水文数据进行计算，鲜有对其水文要素变化特征进行具体分析的.每一条河流都有其各自的水文变化特征，不同的特征要选定不同的计算方法，而且生态需水在年际及年内的变化也不相同.本研究针对这一问题，首先对浑河干流的降水、径流、水面蒸发、输沙等进行分析，总结其特征，据此选择相应的计算方法.并根据水文要素变化特征，对浑河干流生态需水特征进行分析，据此提出在不同时期、不同情况下满足河道生态需水的相应措施，以期为浑河干流满足生态需水条件下的水资源配置提供依据.生态需水按月和汛期、非汛期两种方式给出，使在河道内预留一定量的生态需水具有可操作性.

1 浑河干流水文要素变化特征分析

采用线性倾向估计和Kendall秩次相关检验进行各要素的年际变化趋势分析；用变差系数C_V衡量各要素年内各月平均值的相对变化.

1.1 数据来源

数据来源于《中华人民共和国水文年鉴》；序列为1970～2006逐月数据，包括天然径流量、降水量、蒸发量和输沙率；水文站4个，分别是北口前站、抚顺站、沈阳站和邢家窝棚站.

1.2 分析方法

1.2.1 线性倾向估计 一元线性回归方程为

$$y_i = a + bx_i; i = 1,2,\cdots,n \tag{1}$$

式中：a为回归常数；b为回归系数；y_i为变量；x_i为时间序列.

1.2.2 Kendall秩次相关检验[3] 对序列x_1，

收稿日期： 2013-05-06； **修回日期：** 2014-01-20.
基金项目： 国家自然科学基金资助项目(50879046).
作者简介： 周林飞*(1971-)，女，博士，副教授，E-mail：zlf924@163.com.

$x_2,\cdots,x_n$，先确定所有对偶值$(x_i,x_j,j>i)$中的$x_i<x_j$的出现个数(设为p)．顺序的(i,j)子集是$(i=1,j=2,3,4,\cdots,n)$，$(i=2,j=3,4,5,\cdots,n)$，$\cdots$，$(i=n-1,j=n)$．此检验统计量为

$$U=\tau/\sqrt{\mathrm{var}(\tau)} \tag{2}$$

式中：$\tau=\dfrac{4p}{n(n-1)}-1$；$\mathrm{var}(\tau)=\dfrac{2(2n+5)}{9n(n-1)}$．

设显著水平为α，当$|U|<U_{\alpha/2}$时，变化趋势不显著；$|U|>U_{\alpha/2}$时，变化趋势显著．

1.3 结果分析

1.3.1 年际变化趋势

(1)降水量变化

线性分析表明4站的$b<0$．F检验表明，各站均未通过检验，接受原假设，说明4站降水量没有明显的下降趋势．根据式(2)计算4站U值，$\alpha=0.05$时，查表得$U_{\alpha/2}=1.96$．北口前站$|U|=0<1.96$，抚顺站$|U|=1.105<1.96$，沈阳站$|U|=1.439<1.96$，邢家窝棚站$|U|=|-0.759|<1.96$，降水量变化趋势均不显著．两种方法均说明降水量没有明显减少趋势，这说明近些年来北方地区的气候变暖，并没有使浑河流域降水量减少，这对用水紧张的浑河干流满足河道生态需水是有利的．

(2)径流量变化

通过线性分析得出各站的倾向率均小于0，抚顺站$b=-0.679\ 1$，为4站中$|b|$最大者．F检验表明，北口前站、沈阳站和邢家窝棚站都没有通过检验，只有抚顺站通过检验，说明抚顺站径流量有减少趋势，但减少幅度不大，另外3站减少趋势不显著．

根据式(2)计算4站U值，北口前站$U=-0.419$，抚顺站$U=-2.517$，沈阳站$U=-0.916$，邢家窝棚站$U=-0.785$，$\alpha=0.05$时，查表得$U_{\alpha/2}=1.96$．因此，抚顺站径流量有明显减少的趋势，但从U值来看减少幅度并不大．东洲河是抚顺站上游的一级支流，东洲河流域是辽宁省东部山区的暴雨中心之一，历史上洪涝灾害频繁，2002年修建了关山水库，在一定程度上降低了抚顺站的径流量．其他3站径流量与降雨量的变化趋势是一致的，都没有明显的变化，这对于满足河道内生态需水量是有利的．

(3)水面蒸发变化

线性分析表明：北口前站$b<0$；沈阳站$b=8.33$．F检验表明：北口前站未通过检验，说明没有明显下降趋势．沈阳站通过检验，说明上升趋势显著．

根据式(2)计算两站U值，北口前站$U=-1.203$，沈阳站$U=3.871$，$\alpha=0.05$时，查表得$U_{\alpha/2}=1.96$．因此，沈阳站有明显的上升趋势，北口前站无明显的下降趋势．

(4)输沙量变化

通过线性分析得出，北口前站$b>0$，其他三站$b<0$．F检验表明，各站都没有通过检验，说明4站年输沙量都没有明显的变化趋势．

根据式(2)计算4站U值，北口前站$U=1.10$，抚顺站$U=-1.70$，沈阳站$U=-1.54$，邢家窝棚站$U=-1.83$，绝对值均小于$U_{\alpha/2}=1.96$．因此，4站输沙量都没有明显的变化趋势．

1.3.2 年内变化趋势

(1)降水量变化

从表1可以看出4站降水量都集中在6～9月，而7～8月又是最集中的月份．从四季降水量来看，夏季降水量最大，其次是春季，冬季最少．四季降水变差系数C_V都比较大，说明稳定性差．4站夏季降水$C_V<0.4$，说明夏季降水量相对比较稳定．

表1 降水量和径流量集中的月份

Tab.1 Concentrated months of rainfall and runoff

站点	降水量占全年比例/%		径流量占全年比例/%	
	6～9月	7～8月	6～9月	7～8月
北口前	71.25	47.53	71.61	55.46
抚顺	73.22	49.90	62.88	43.45
沈阳	72.86	47.70	64.62	45.56
邢家窝棚	76.23	52.76	67.95	49.87

(2)径流量变化

从表1可以看出，6～9月为径流量集中月份，7～8月为最集中月份；表1中的降水量与径流量的集中月份对比，表明两者年内变化一致．进入10月份后4站径流量都开始减少，到1月和2月北口前站径流量接近0．各月的C_V都较小，大部分$C_V<1$．年内C_V 4站变化都比较大，表明径流量年内变化不稳定，这与实际情况也是相符的．

6～9月是浑河汛期，7～8月是主汛期，这时期水量多，容易发生洪涝灾害，而其他季节水量比较少，易造成用水矛盾．4～6月是农业用水高峰，河道内本身流量不大，还要满足生态需水和农业灌溉用水，这就需要采取相应措施进行年内调节．调节措施可分为工程措施和生态措施．工程措施

即是水库调节；生态措施即是利用河漫滩湿地，汛期利用河漫滩湿地蓄水，非汛期河漫滩湿地地下水位高于河水，再反补给河水，保证河道在枯水期的生态需水量.

(3)水面蒸发变化

经计算，北口前站 4～9 月蒸发量占全年的 77.31%，沈阳站占 74%，因为这 6 个月气温高而且日照时间长，水面蒸发量显著高于其他月份. 水面蒸发量最大的是 5 月，排在第二位的是 4 月；5 月和 4 月合计占全年比例北口前站为 30.74%，沈阳站为 31.05%. 经计算北口前站和沈阳站蒸发降雨比率为 0.73～7.18，变化范围大，与降水数据对比分析得出，7 月和 8 月蒸发小于降雨，其他月份蒸发都大于降雨. 4 月和 5 月正是东北的春季，蒸发全年最大，降水量少，而此时农业用水量又大，就造成了用水紧张的状况. 在此情形下，如何保障河流的最小生态需水量，保证河流生态系统健康，是一个需要解决的问题.

(4)输沙变化

经计算 6～9 月北口前站、抚顺站、沈阳站和邢家窝棚站输沙量分别占全年的 95%、83%、86%和 90%，而且输沙量最大值出现在 7 月与 8 月. 与表 1 中数据对比分析，得出输沙量与径流量的年内变化趋势一致. 因此，在计算输沙需水量时，应该运用汛期水量大的优势进行输沙，这样可缓解其他月份输沙用水紧张的问题.

2　浑河干流生态需水量计算模型

2.1　生态需水量计算方法

2.1.1　基本生态需水量 W_r　浑河干流水文要素变化特征分析结果表明：汛期各站径流量占全年的 62.88%以上，非汛期所占比重较小，汛期受到洪水威胁，枯水季节用水紧张，因此，为保证河流的基本生态功能，枯水季节应优先保障基本生态需水量. 分析 1970～2006 年径流量数据，年际间变化较大，不同保证率下对应着不同的径流量，为此，计算河流基本生态需水量时，应考虑到保证率的问题. 基于以上原因，本文选择月(年)保证率法进行计算. 月(年)保证率法是在参考 Tennant 法基础上提出的一种河道基本生态需水量的计算方法，该法将年划分为两阶段：非汛期和汛期，主张非汛期少用水，汛期多用水. 此法适用于水资源利用程度大的河流[4]. 浑河干流流经抚顺、沈阳等大城市，这些城市经济发达，用水量大，因此水资源开发利用程度高，达到 40%[5] 以上，所以采用月(年)保证率法计算.

2.1.2　河流稀释自净需水量　目前比较常用的方法是 7Q10 法[6]，鉴于我国南北方水资源状况差别较大，在具体应用时，对 7Q10 法进行了修改，使其更适合我国的实际情况[7]，即近 10 a 最小月平均流量法. 计算公式为

$$W_d = \min\{W_{ij}\} \tag{3}$$

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

2.1.3　输沙需水量　从以上对输沙量与径流量年内变化分析来看，两者变化趋势一致，都是集中在 6～9 月，最集中的是 7～8 月，根据这一特点，浑河干流的输沙功能可在汛期基本完成. 因此，为缓解其他时间用水紧张的问题，仅考虑汛期的输沙需水量，计算公式如式(4)和(5). 式中 γ_s 一般取 2.65 t/m^3.

$$W_s = \eta^{\alpha} \cdot W_w \tag{4}$$

$$W_w = W - S/\gamma_s \tag{5}$$

式中：W_s 为输沙需水量，m^3；η 为输沙效率(进出口输沙量的比值)；α 为指数($\eta<1$ 时，取 $\alpha=1$；$\eta>1$ 时，取 $\alpha=0$)；W_w 为净水量，m^3；W 为径流量，m^3；S 为输沙量，t；γ_s 为泥沙容重，t/m^3.

2.1.4　水面蒸发需水量　水面蒸发需水量指水面蒸发消耗的水量. 水面蒸发量小于降雨量时，河流蒸发需水量为 0；水面蒸发量大于降水量时，需从河道外补水，以维持河流正常生态功能[8-10]. 计算公式如下式：

$$\begin{aligned} W_e &= A(E-P)\times 10^{-3}; \quad E>P \\ W_e &= 0 \qquad\qquad\qquad\quad E<P \end{aligned} \tag{6}$$

式中：W_e 为水面蒸发需水量，m^3；A 为计算时段内水体平均水面面积，m^2；E 为计算时段内水体蒸发量，mm；P 为计算时段内降水量，mm.

2.2　生态需水量计算方法整合

浑河干流生态需水按功能分为两类：消耗型需水和非消耗型需水. 非消耗型需水即是指河道内预留和存在的水量，主要包括河道基本生态需水、河流稀释自净需水和输沙需水；消耗型需水主要是指水面蒸发需水. 非消耗型需水整合采用取大原则；消耗型需水整合时进行累加；非消耗型需水和消耗型需水整合时采用累加原则[11-12]. 计算公式如下式：

$$W = \max(W_r + W_d + W_s) + W_e \tag{7}$$

3 浑河干流生态需水量计算

3.1 基础资料

数据来源于《中华人民共和国水文年鉴》;序列为1970～2006逐月数据,包括天然径流量、降水量、蒸发量和输沙率.以北口前站、抚顺站、沈阳站和邢家窝棚站4个水文站进行分区,以4个水文站的断面进行各项生态需水量的计算.6～9月为汛期,7～8月为主汛期,其余月份为非汛期.

3.2 非消耗型需水量

3.2.1 河流基本生态需水量 运用月(年)保证率法计算河流基本生态需水量.浑河干流水资源开发利用程度高,采用天然径流量的10%的等级作为基本生态需水量,浑河干流的逐月基本生态需水量见表2.

表2 浑河干流月最小基本生态需水量

Tab.2 The monthly minimum basic ecological water demand in main stream of Hunhe River

站点	基本生态需水量/10^8 m^3														
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	非汛期	汛期	全年
北口前	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.34	0.17	0.51
抚顺	0.11	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.85	0.43	1.28
沈阳	0.12	0.11	0.12	0.11	0.12	0.11	0.12	0.12	0.11	0.12	0.11	0.12	0.91	0.46	1.37
邢家窝棚	0.14	0.12	0.14	0.13	0.14	0.13	0.14	0.14	0.13	0.14	0.13	0.14	1.07	0.54	1.60

3.2.2 河流稀释自净需水量 将计算时段分为4个,如表3所示,利用式(3)分别计算各段的稀释自净需水量,求其平均值作为稀释自净需水量,结果见表3.将流速换算成流量,计算得出月、非汛期、汛期和全年的稀释自净需水量,如表4所示.

表3 浑河干流10 a最小月平均流速

Tab.3 The minimum monthly-average flow rate in 10 a in main stream of Hunhe River

站点	平均流速/(m^3·s^{-1})				平均值
	1970～1979	1980～1989	1990～1999	2000～2006	
北口前	0.698	0.607	0.823	0.755	0.721
抚顺	6.791	4.093	2.669	5.984	4.884
沈阳	6.039	6.015	8.575	5.570	6.550
邢家窝棚	10.657	8.164	11.332	13.563	10.929

表4 浑河干流不同阶段稀释自净需水量

Tab.4 Diluted self-purification water demand in main stream of Hunhe River in different periods

站点	自净需水量/10^8 m^3			
	月	非汛期	汛期	全年
北口前	0.019	0.152	0.076	0.227
抚顺	0.128	1.027	0.513	1.540
沈阳	0.172	1.377	0.689	2.066
邢家窝棚	0.287	2.298	1.149	3.447

浑河干流自上而下流经抚顺和沈阳,两城市经济发达,人口多,排污量大,进入河道的污染物质多,所以从上往下稀释自净需水应逐渐增多.表4中的计算结果表明,从北口前站至邢家窝棚站4站的稀释自净需水量是依次增加的,这与实际情况是相符的,是满足实际需求的.

3.2.3 输沙需水量 利用汛期(6～9月)的水量进行输沙.将数据代入式(4)和(5)进行计算,得到浑河干流各站输沙需水量,见表5.分析表5、2和4中数据可以看出:3站(除北口前站外)输沙需水量均大于基本生态需水量和稀释自净需水量;比较各月输沙需水量发现8月最大;4站比较,输沙需水量最大的为抚顺站8.56×10^8 m^3,其次为邢家窝棚站8.26×10^8 m^3.

表5 浑河干流汛期输沙需水量

Tab.5 Sediment water demand in flood season in main stream of Hunhe River

站点	输沙需水量/10^8 m^3				
	6月	7月	8月	9月	总量
北口前	0.01	0.02	0.04	0.01	0.08
抚顺	1.85	2.70	3.27	0.74	8.56
沈阳	1.00	1.67	2.25	0.59	5.51
邢家窝棚	0.72	2.17	3.94	1.42	8.26

3.3 消耗型需水量

消耗型需水量指水面蒸发量.水面蒸发量数据是利用20 cm口径蒸发皿测得,需折算成E601型蒸发器蒸发值,以近似代表大水体的蒸发量,折算系数来自《辽宁省水面蒸发量折算系数表》.以沈阳站和抚顺站为分界点,将浑河干流分为两个区域进行计算.利用式(6)计算得出,浑河干流全

年的水面蒸发量为 0.08×10^8 m^3，非汛期为 0.06×10^8 m^3，汛期为 0.02×10^8 m^3.

3.4　生态需水量整合

利用式(7)对各项生态需水量进行整合. 基本生态需水量、输沙需水量和稀释自净需水量取大，再与水面蒸发需水量相加，结果见表 6.

3.5　浑河干流生态需水量特征分析

3.5.1　生态需水量满足状况分析　表 7 中数据为各站多年月平均径流量与逐月生态需水量，对其进行对比分析可以看出，抚顺站、沈阳站和邢家窝棚站在多年月平均径流条件下，均能满足河道生态需水量；而且在汛期除抚顺站外，满足生态需水量后剩余水量较多，能够作为河道外引水. 北口前站除 1～2 月不能满足河道生态需水外，其他月份均能满足，而且 4～10 月剩余水量较多，可作为河道外引水.

表 6　浑河干流生态需水量

Tab. 6　The ecological water demand in main stream of Hunhe River

站点	生态需水量/10^8 m^3														
	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	非汛期	汛期	全年
北口前	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04	0.37	0.18	0.55
抚顺	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	1.85	2.70	3.27	0.74	0.13	0.13	0.13	1.03	8.56	9.59
沈阳	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	1.01	1.67	2.25	0.59	0.18	0.17	0.17	1.41	5.52	6.93
邢家窝棚	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.72	2.17	3.94	1.42	0.29	0.29	0.29	2.30	8.26	10.55

表 7　多年月平均径流量与河道逐月生态需水量的关系表

Tab. 7　The relationship of years average monthly runoff and the ecological water demand

月	多年月平均径流量/10^8 m^3				生态需水量/10^8 m^3			
	北口前站	抚顺站	沈阳站	邢家窝棚站	北口前站	抚顺站	沈阳站	邢家窝棚站
1	0.02	0.18	0.23	0.46	0.04	0.13	0.17	0.29
2	0.02	0.15	0.20	0.42	0.04	0.13	0.17	0.29
3	0.18	0.26	0.34	0.60	0.04	0.13	0.17	0.29
4	0.36	0.49	0.45	0.62	0.05	0.13	0.18	0.29
5	0.34	3.08	2.34	0.85	0.05	0.13	0.18	0.29
6	0.37	1.85	1.62	1.06	0.04	1.85	1.01	0.72
7	1.14	2.70	2.71	3.19	0.04	2.70	1.67	2.17
8	1.69	3.27	3.64	5.79	0.04	3.27	2.25	3.94
9	0.43	0.74	0.95	2.09	0.05	0.74	0.59	1.42
10	0.28	0.40	0.60	1.26	0.05	0.13	0.18	0.29
11	0.17	0.29	0.42	0.87	0.04	0.13	0.17	0.29
12	0.06	0.21	0.29	0.59	0.04	0.13	0.17	0.29

3.5.2　生态需水量年内、年际均衡关系分析　年内生态需水均衡：浑河干流汛期与非汛期径流量差距明显，从 4 站径流量的分析来看，汛期径流量均达到全年的 62.88% 以上. 这也是东北河流的共同特点，汛期水量大，如果不充分利用，容易造成洪涝灾害，而且在枯水季节又无水可用. 因此，应该充分利用干流上现有的水库在汛期蓄水，在枯水季节放出一定的流量，来保障河流的生态需水量，维持河流生态系统的基本功能.

年际生态需水均衡：分析各年生态需水量的满足情况，可以看出部分枯水年的非汛期的河道生态需水不能得到满足，解决办法是采用浑河干流上的水库在丰水年充分蓄水，其目的是以丰水年补枯水年，确保枯水年的河流生态需水量.

3.5.3　生态需水量与水文要素年际变化关系　对 4 站的各水文要素分析结果表明：降水量都没有明显的减少趋势；抚顺站径流量有减少趋势，但减少的幅度不大，另外 3 站径流量都没有减少趋势；降水量与径流量的变化趋势基本一致. 降水量和径流量都没有减少的趋势，这说明天然来水量没有减少，这对工农业生活用水等是有利的，尤其对河流生态需水量的满足是有利的，可以缓解水资源供需不平衡的矛盾.

3.5.4　河岸带生态建设与生态需水量　近些年来，由于经济的发展、人口的增长，河岸带不断地被占用，如开垦为农田，用作城市用地等. 河岸带

是河流的重要组成部分,在保持河流健康中发挥着重要的作用.因此,应该在浑河两岸进行退耕还湿,退建设用地为河岸带,使河流两岸保持一定宽度的植被缓冲带.城市段河流建设生态护岸等,使河岸带可以沟通地表水与地下水,使汛期、丰水年河水可补给地下水,非汛期、枯水年地下水可补给河水,结果是河流生态需水得到补给.河岸带的存在可以形成植被缓冲带,它可以降低水流的速度,拦截泥沙以及污染物质,起到净化河水的作用,可减少稀释自净需水量.

3.5.5 *污染治理与稀释自净需水量* 由于浑河干流流经的抚顺、沈阳等城市用水量大,水资源开发利用率高,在计算河流稀释自净需水量时,不用对实际污染物的含量进行计算,而是采用近10 a最枯(小)月平均流量计算,这样可以减少河流稀释自净需水量.但作者曾经对浑河干流水质进行评价,从评价结果来看,并不是所有断面的水质等级都能达到水质目标[13].水质目标的达到并不能单纯依靠增加稀释自净需水量来实现,应该加强流域内的污染治理.首先控制点源污染,保证各企业达标排放.其次是控制面源污染,措施如下:①流域内合理使用化肥;②提高流域内林草覆盖率;③恢复河流两岸植被缓冲带.

4 结 语

本文根据浑河水文要素变化特征确定其生态需水量的计算方法,河流基本生态需水量采用月(年)保证率法进行计算;河流稀释自净需水量采用近10 a最枯(小)月平均流量法进行计算;输沙需水量采用多年平均输沙量法进行计算;蒸发需水量采用蒸发量扣除降雨量计算.在对浑河干流水文要素变化特征分析的基础上,计算其生态需水量,可充分考虑浑河干流具体情况.结果表明:北口前站全年的生态需水量为$0.55\times10^8\,m^3$,抚顺站为$9.59\times10^8\,m^3$,沈阳站为$6.93\times10^8\,m^3$,邢家窝棚站为$10.55\times10^8\,m^3$,并给出了逐月变化,使生态需水在水资源优化配置中具有可操作性.

浑河干流生态需水特征分析表明:除北口前站1~2月生态需水不能满足外,另外3站都可以满足;4站汛期径流量均占到全年的62.88%以上,应利用干流上现有水库进行年际及年内调节,使生态需水在年际及年内之间达到均衡;4站降水量与径流量都没有减少趋势,这有利于生态需水量的满足;恢复河岸带,沟通地表水与地下水之间的联系,使枯水季节河道生态需水可以得到地下水的补给;控制流域内各种污染,提高河流稀释自净能力,减少稀释自净需水量均是减少生态需水量的有力措施.

参考文献:

[1] 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 Ying, ZHANG Qiang, CHEN Xiao-hong, *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)

[2] 钟华平,刘 恒,耿雷华,等.河道内生态需水估算方法及其评述[J].水科学进展,2006,**17**(3):430-434.
ZHONG Hua-ping, LIU Heng, GENG Lei-hua, *et al*. Review of assessment methods for in stream ecological flow requirements [J]. **Advances in Water Science**, 2006, **17**(3):430-434. (in Chinese)

[3] 丁 晶,邓育仁.随机水文学[M].成都:成都科技大学出版社,1988.
DING Jing, DENG Yu-ren. **Stochastic Hydrology** [M]. Chengdu: Press of Chengdu University of Science and Technology, 1988. (in Chinese)

[4] 杨志峰,崔保山,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,2003:36-49.
YANG Zhi-feng, CUI Bao-shan, LIU Jing-ling, *et al*. **The Theory and Practice, Methods of Eco-environmental Water Requirement** [M]. Beijing: Science Press, 2003:36-49. (in Chinese)

[5] 周林飞,左建军,陈发先.基于模糊模式识别的城市河流生态系统健康评价研究[J].中国农村水利水电,2011(4):41-44.
ZHOU Lin-fei, ZUO Jian-jun, CHEN Fa-xian. An assessment of urban river ecosystem health based on fuzzy pattern recognition [J]. **China Rural Water and Hydropower**, 2011(4):41-44. (in Chinese)

[6] 于芷婧,袁晓龙.生态需水的研究综述[J].云南水力发电,2012,**28**(2):3-6.
YU Zhi-jing, YUAN Xiao-long. A review on ecological water requirements [J]. **Yunnan Water Power**, 2012, **28**(2):3-6. (in Chinese)

[7] 王西琴,张 远,刘昌明.辽河流域生态需水估算[J].地理研究,2007,**26**(1):22-28.
WANG Xi-qin, ZHANG Yuan, LIU Chang-ming.

Estimation of eco-water requirement in the Liaohe River Basin [J]. **Geographical Research**, 2007, **26**(1):22-28. (in Chinese)

[8] 王　伟，杨晓华，王银堂. 滦河下游河道生态需水量[J]. 水科学进展，2009，**20**(4):560-565.
WANG Wei, YANG Xiao-hua, WANG Yin-tang. Ecological water requirements in the lower reaches of Luanhe Basin [J]. **Advances in Water Science**, 2009, **20**(4):560-565. (in Chinese)

[9] 赵长森，刘昌明，夏　军，等. 闸坝河流河道内生态需水研究——以淮河为例[J]. 自然资源学报，2008，**23**(3):400-411.
ZHAO Chang-sen, LIU Chang-ming, XIA Jun, *et al*. Instream ecological flow of dammed river-A case study of Huaihe River [J]. **Journal of Natural Resources**, 2008, **23**(3):400-411. (in Chinese)

[10] 王高旭，陈敏建，丰华丽，等. 黄河中下游河道生态需水研究[J]. 中山大学学报：自然科学版，2009，**48**(5):125-130.
WANG Gao-xu, CHEN Min-jian, FENG Hua-li, *et al*. Ecological flow regime in middle and lower reaches of the Yellow River [J]. **Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni**, 2009, **48**(5):125-130. (in Chinese)

[11] 陈敏建，王　浩. 中国分区域生态需水研究[J]. 中国水利，2007(9):31-37.
CHEN Min-jian, WANG Hao. The divisional standard of ecological water use in China [J]. **China Water Resources**, 2007(9):31-37. (in Chinese)

[12] 冯夏清，章光新，尹雄锐. 基于生态保护目标的太子河下游河道生态需水量计算[J]. 环境科学学报，2010，**30**(7):1466-1471.
FENG Xia-qing, ZHANG Guang-xin, YIN Xiong-rui. Calculation of ecological water requirements in the lower reaches of the Taizi River based on ecological protection objectives [J]. **Acta Scientiae Circumstantiae**, 2010, **30**(7): 1466-1471. (in Chinese)

[13] 周林飞，赵　崭. 基于模糊模式识别的浑河水质评价研究[J]. 水土保持研究，2012，**19**(5):163-167.
ZHOU Lin-fei, ZHAO Zhan. Assessment on water quality of Hun River based on fuzzy pattern recognition [J]. **Research of Soil and Water Conservation**, 2012, **19**(5):163-167. (in Chinese)

Ecological water demand calculation of main stream of Hunhe River based on change characteristics of hydrological factors

ZHOU Lin-fei[*1], ZHAO Zhan[1], ZHANG Yu-long[2]

(1. College of Water Conservancy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China;
2. College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: Main stream of Hunhe River is divided into four regions in order to calculate the ecological water demand. According to the characteristics of main stream of Hunhe River, ecological water demands are classified into river basic ecological water demand, river diluted self-purification water demand, sediment water demand and evaporation water demand. According to the hydrological variation of Hunhe River, the calculation methods of various types of ecological water demand are chosen, and the types are integrated. The results show that: the ecological water demand of Beikouqian station is $0.55\times10^8 m^3/a$, that of Fushun station is $9.59\times10^8 m^3/a$, that of Shenyang station is $6.93\times10^8 m^3/a$, and that of Xingjiawopeng station is $10.55\times10^8 m^3/a$. The monthly change of water demand is given to optimize the allocation of water resources. Combined with the characteristics of main stream of Hunhe River in hydrological factors, ecological water demand features are analyzed and some suggestions are put forward.

Key words: main stream of Hunhe River; hydrological factors; ecological water demand; characteristics