

基于河流生态类型划分的海河流域 平原河流生态需水量计算

石 维,侯思琰,崔文彦,刘德文,林 超

(水利部海河水利委员会,天津 300170)

摘 要 根据河流现有生态状况,首次将海河流域平原河流划分为干涸沙化、水质污染和生境破坏三种类型,并针对不同类型河流特点和修复目标,分别用植被需水定额法、75%保证率最枯月平均流量法、生物空间最小需求法和槽蓄法计算了生态需水量。结果表明,海河流域平原河流最小生态需水量为 18.12 亿 m^3 ,相当于流域多年平均流量的 8.4%。最后将上述四种计算方法分别与 Tennant 法进行了比较。用植被需水定额法计算的干涸沙化型河流生态需水量结果约占多年平均径流量的 2.4%~5.5%,远小于 Tennant 法的最小生态需水量;75%保证率最枯月平均流量法计算的水质污染型河流所需的生态水量占多年平均径流量的百分比为 15%左右,略高于 Tennant 法计算的最小生态需水量;用生物空间最小需求法计算的滦河生态需水量占多年平均径流量的百分比为 6%,接近于 Tennant 法计算的最小生态需水量;槽蓄法计算的生态需水量结果与河流水量修复目标密切相关。总的说来,本文所采取的计算生态需水量的方法在海河流域是可行的。

关键词 河流生态类型划分;海河流域;平原河流;生态需水量

中图分类号: X143 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2010)10-1892-08

Calculation of the Ecological Water Demand of Plain Rivers Within Haihe River Basin Based on River Ecological Type Classification

SHI Wei, HOU Si-yan, CUI Wen-yan, LIU De-wen, LIN Chao

(Haihe Water Conservancy Commission, Ministry of Water Resources, Tianjin 300170, China)

Abstract: The common ecological problems in the Haihe River basin were shortage and depletion of water, water pollution, siltation at river mouth, loss of biodiversity, and so on. In view of the current ecological status in the basin, the 21 plain rivers were classified into three groups: I water shortage or riverbed desertification, II water pollution, and III habitat deterioration. In the first group, a river dries up for not less than 300 days annually, and its riverbed desertifies seriously. Ecological restoration of these rivers was targeted at keeping enough water for growing grass at least. In the second group, the length of a river with COD concentrations of higher than $150 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (or with DO concentrations of lower than $0.4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) occupies two-thirds of its total length. Ecological restoration of these rivers was aimed at controlling discharged pollutants within the water environment capacity. Group 3 can be divided into two sub-groups depending on whether there is a dam or there are dams. Luan River is the only one without a dam. The target for the restoration of the river is to keep water depth over 0.6 m, which is the lower limit for fish. The target of ecological restoration for the second sub-group has to consider whether the river is a rural one and whether the river has to be navigable. The water depth of rural rivers was targeted at or above 0.8 m, and 1 m for urban rivers, and 1.5 m for navigable rivers. The ecological water demand was calculated by the use of four methods, they are vegetation water demand quota, mean flow in the driest month under 75% guaranteeing rate, the biological minimum space requirements and the channel storage. The result indicated that the minimum ecological water demand of plain rivers within Haihe River basin's was 1.812 billion m^3 , about 8.4% of the annual average runoff of Haihe River basin. And finally, the above four methods were compared with the method of Tennant. The ecological water demand computed by the vegetation water demand quota was about 2.4%~5.5% of annual average runoff, much less than that computed by the method of Tennant. The ecological water demand by the mean flow in the driest month under 75% guaranteeing rate was about 15% of annual average runoff, being slightly larger than that by the method of Tennant. The ecological water demand by the biological minimum space requirements was about 6% of annual average runoff, close to the result by the method of Tennant. The ecological water demand by the channel

收稿日期: 2010-06-17

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)资助项目(2006CB403408);“国家水体污染控制与治理科技重大专项”专项经费资助项目(2008ZX07209-010);水利部公益性行业科研专项经费项目(200901043)

作者简介: 石 维(1978—),女,陕西西安人,硕士,工程师,主要从事水资源保护研究工作。E-mail:shiwei@hwcc.gov.cn

storage is closely related to the restoration goals. Methods used in this study can be applied to calculate the ecological water demand in Haihe River basin.

Keywords: classification of ecological rivers; Haihe River basin; plain rivers; ecological water demand

随着人口增加和经济社会的快速发展,我国北方地区,尤其是海河流域,水资源供需矛盾严重失衡,水污染形势严峻,生态环境日趋恶化。为了实现水资源的可持续利用及国民经济的可持续发展,加强生态环境保护,开展生态环境修复已经被提到一个重要的位置。流域水资源管理工作者和规划工作者越来越认识到不应只考虑经济发展需水,更应考虑生态需水,因此生态需水量研究逐渐成为热点和科学管理水资源、维持流域生态系统健康的关键^[1]。保持和维护河湖的合理生态水量和水位,成为当前实行最严格的水资源管理必须给予高度重视的内容。

生态需水量的计算涉及生态学、水文水资源学、环境学、地理学等多门学科的知识,至今没有明确统一的计算方法。不同的生态种类和不同的研究思路均会产生不同的计算方法。目前,国内外常用的生态需水量计算方法大致可分为水文学法、水力学法、整体分析法和栖息地法^[2-3]。这些方法各有优缺点。水文学法计算简单,但没有考虑生物影响且需要长系列水文数据。水力学法只需简单的现场测量,但体现不出季节性。整体分析法能体现生态整体性,但需要多学科的资料,实际工作中往往由于很难获得这些资料,不适于规划层次河流生态需水的估算^[4]。栖息地法将生物资料与河流流量相结合,具有说服力,但一般针对某一生物而非河流生态系统。现有方法不可能满足所有国家、地区的每一条河流生态需水量的计算,这些方法在被采用前都需要根据气候环境条件、生物和河流特点等诸多因素加以改进和修正,正因为如此,生态需水量研究才得以不断发展。近年来,许多学者致力于河流生态需水量研究,并取得了一些进展。阳书敏等^[5]提出了一种 BOD-DO 水质数学模型的河流生态环境需水量方法,适用于季节性缺水河流。胡波等^[6]从生态径流与需水等级系数相耦合的角度对河流生态系统生态需水量进行了最大近似模拟,提出了一系列计算模型,对澜沧江汛期与非汛期河道生态需水量进行了分析计算。刘昌明等^[7]提出了一种估算生态需水量的水力半径法。该法是水文学法和水力学法的结合,不仅考虑了鱼类对流速的要求,而且可用于其他生态问题有关的生态水流(如

泥沙和污染自净的计算等)。李梅等^[8]提出了一种同时考虑河道本身参数(湿周、糙率、水力坡度)和维持某一生态功能所需河流流量的水力学方法——生态水深-流速法。董福平等^[9]以多年的日均流量过程为基础,分析不同级别的流量出现的频率,提出了河流生态用水流量的计算方法。门宝辉等^[10]根据南水北调西线一期工程气候条件和鱼类活动规律,对 Tennant 法计算标准进行了修正。韩瑞光等^[11]采用将 50% 保证率时的河道内流量的 30% 作为最小生态流量的方法计算南水北调西线一期工程各调水坝址处的最小生态流量。高凡等^[12]应用 3S、数据仓库等技术估算了塔里木河干流天然植被的生态需水量。从以上研究可以看出近年来生态需水量的研究正在从宏观走向微观,越来越重视生物对水量的实际需求和河流需水的年内变化规律。

目前,在有关流域规划的生态需水量计算中,出于简便和数据可得性的考虑,往往采用单一计算方法,尚无基于生态类型的生态水量计算方法。本文以海河流域平原河流为例,在河流生态问题识别和生态类型划分基础上,计算河流生态需水量,以期为流域规划提供有益参考。

1 海河流域平原河流主要生态问题

海河流域平原河流面临的普遍生态问题是干涸断流、水体污染、河口淤积、生物多样性消失殆尽等,具体到每一条河流有所不同。海河流域平原河流地理位置示意图见图 1。滦河目前是海河流域平原河流中生态状况最好的,主要生态问题是生态流量得不到保障。永定河、滹沱河(黄壁庄~邵同)、漳河、潞龙河、唐河、南拒马河、白沟河等河流(段)的主要生态问题是河道常年干涸,河床沙化严重。卫运河、卫河、漳卫新河、徒骇河等四条河的主要生态问题是水质严重污染。其余河流虽然问题不是很突出,但在水量或(和)水质上或多或少也存在一定的问题。详见表 1。

2 河流生态类型划分

2.1 河流分类方法

河流分类是河流管理活动的基础,河流的分类对

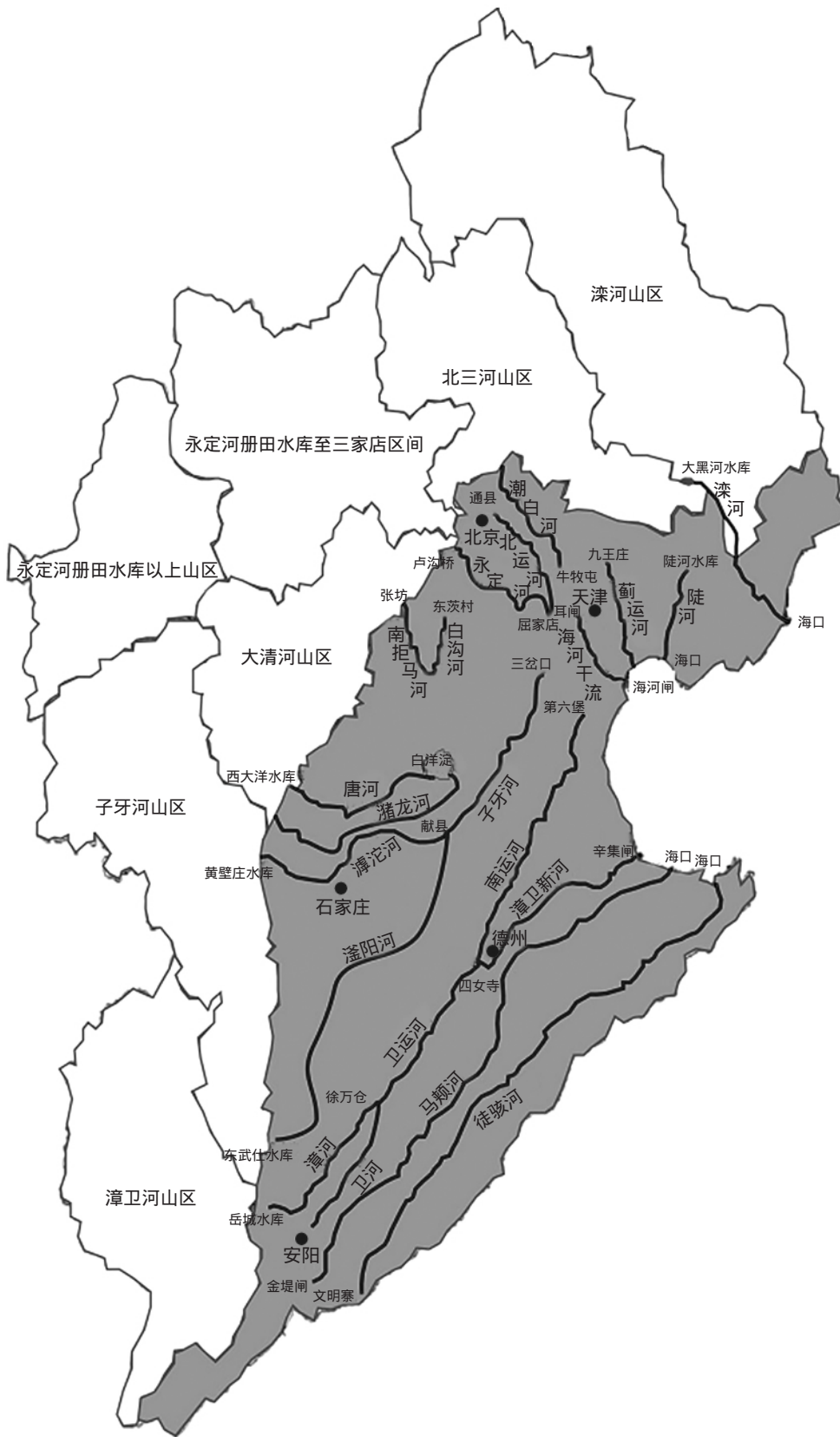


图 1 海河流域平原河流地理位置示意图

Figure 1 Location of rivers in the plain in Haihe river basin

表 1 海河流域主要平原河流生态状况表

Table 1 Ecological conditions of rivers in the plain in Haihe river basin

序号	河流	起点	终点	长度/km	生态状况
1	滦河	大黑汀水库	海口	158	28%河长干涸天数 51 d ;水质 ~ ,全部河长达标 ;河滩地植被覆盖率 80% ,鱼类种群结构完整 ,物种丰富
2	陡河	陡河水库	海口	120	59%河长干涸天数 37 d ;水质劣 类 ,全部河长不达标 ,主要污染物为氨氮 ;河滩地植被覆盖率 75% ,鱼类种群结构较完整 ,物种较丰富
3	蓟运河	九王庄	新防潮闸	189	56%河段全年干涸 ;水质劣 类 ,全部河长不达标 ,主要污染物为氨氮和高锰酸盐指数 ;河滩地植被覆盖率 85% ,鱼类种群结构较完整 ,物种较丰富
4	潮白河	河槽	牛牧屯	80	34%河长常年干涸 ;水质劣 类 ,全部河长不达标 ,主要污染物为氨氮 ;河滩地植被覆盖率 85% ,只存在一些浮游生物 ,生物物种单一
5	北运河	通县	屈家店	129	38%河长干涸天数 58 d ;水质劣 类 ,全部河长不达标 ,主要污染物为氨氮 ;河滩地植被覆盖率 100% ,鱼类种群结构完整 ,生物多样性丰富
6	永定河	卢沟桥	屈家店	120	河道常年干涸 ;河床沙化 ;河滩地植被覆盖率 57%
7	海河干流	耳闸	海河闸	73	间歇性断流 ;水质 ~劣 类 ,全部河长不达标 ,主要污染物为氨氮和高锰酸盐指数 ;河滩地植被覆盖率 60% ,存在耐污或小型鱼类 ,生物多样性一般
8	南拒马河	张坊	新盖房	84	83%河道常年干涸 ;河床沙化严重 ;河滩地植被覆盖率 100%
9	白沟河	东茨村	新盖房	54	河道常年干涸 ;河床沙化严重 ;河滩地植被覆盖率 60%
10	唐河	西大洋水库	白洋淀	132	94%河道干涸天数 327 d ;河床沙化严重 ;河滩地植被覆盖率 85%
11	猪龙河	北郭村	白洋淀	96	97%河道干涸天数 345 d ;河床沙化严重 ;河滩地植被覆盖率 60%
12	滹沱河	黄壁庄水库	邵同	59.2	89%河道干涸天数 345 d ;河床沙化严重 ;河滩地植被覆盖率 50%
		邵同	献县	130.8	季节性有水 ;水质劣 V 类 ,全部河长不达标 ,主要污染物为高锰酸盐指数 ;河滩地植被覆盖率 50% ,只存在一些浮游生物 ,生物物种单一
13	滏阳河	东武仕水库 出库口	献县	329	93%河道干涸天数 319 d ;水质劣 类 ,全部河长不达标 ,主要污染物为氨氮和挥发酚 ;河滩地植被覆盖率 60% ,只存在一些浮游生物 ,生物物种单一
14	子牙河	献县	三岔口	162	96%河道干涸天数 332 d ;水质劣 类 ,全部河长不达标 ,主要污染物为高锰酸盐指数和挥发酚 ;河滩地植被覆盖率 80% ,存在耐污或小型鱼类 ,生物多样性一般
15	漳河	岳城水库	馆陶	114	89%河道干涸天数 300 d ;河床沙化严重 ;河滩地植被覆盖率 85%
16	卫河	合河	徐万仓	264	常年有水 ;水质劣 类 ,全部河长不达标 ,主要污染物为氨氮和 COD ,所有河段 COD 浓度均大于 150 mg·L ⁻¹ ,58%河段 DO 为 0 ;河滩地植被覆盖率 60% ,水中生物基本绝迹
17	卫运河	徐万仓	四女寺	157	11%河长干涸 55 d ;水质劣 类 ,全部河长不达标 ,主要污染物为 COD 和挥发酚 ,整个河段 COD 浓度为 184 mg·L ⁻¹ ;河滩地植被覆盖率 60% ,水中生物基本绝迹
18	漳卫新河	四女寺	辛集闸	165	43%河长干涸 51 d ;水质劣 类 ,全部河长不达标 ,主要污染物为氨氮和 COD ,整个河段 COD 均大于 200 mg·L ⁻¹ ,DO 为 0 ;河滩地植被覆盖率 50% ,仅存耐污型浮游生物 ,生物物种单一
19	南运河	四女寺	第六堡	306	29%河长干涸 200 d ;水质劣 类 ,全部河长不达标 ,主要污染物为挥发酚 ;河滩地植被覆盖率 85% ,存在耐污或小型鱼类 ,生物多样性一般
20	徒骇河	文明寨	入海口	418	常年有水 ;水质劣 类 ,全部河长不达标 ,主要污染物为氨氮和 COD ,大于 2/3 河段 COD 大于 150 mg·L ⁻¹ ,河滩地植被覆盖率 85% ,鱼类物种较多 ,生物多样性较丰富
21	马颊河	金堤闸	入海口	426	14%河长干涸 29 d ;水质劣 类 ,全部河长不达标 ,主要污染物为氨氮和 COD ,50%河段 COD 均大于 400 mg·L ⁻¹ ,DO 为 0 ;河滩地植被覆盖率 85% ,鱼类物种较多 ,生物多样性较丰富

注 表中水量资料为 2000—2005 年平均值 ,水质为 2005 年资料。

于河流生态恢复具有重要的科学意义和管理意义。河流分类方法众多 ,有基于地貌的、水文的、生态的、河流价值的分类体系 ,也有根据河流形态、年龄、补给条件进行分类的^[13] ,还有根据开发程度将河流分类的^[14]。分类的依据和角度不同得到的分类结果也不同。

2.2 河流生态类型划分方法

关于河流生态类型划分目前尚无统一的理论标准。河流生态系统总体上可以用水量、水质、河岸带、物理结构等要素来表达 ,这些要素相互依存 ,相互影

响 ,相互辅助完成不同的河流生态过程 ,发挥不同的功能 ,组成完整的河流生态系统^[15-16]。本文根据海河流域平原河流存在的生态问题 ,从水量、水质、生物三个方面将具有相同或相近生态问题的河流归为一类 ,并在此基础上根据水源条件制定修复目标 ,再根据修复目标分别选择适当的方法计算生态需水量。

2.3 海河流域河流生态类型划分

根据以上河流的生态状况和生态类型划分方法 ,可以将海河流域平原河流分为三大类 :

(1)干涸沙化型:指河道长期干涸(干涸天数 \geq 300 d),且河床沙化严重的河流或河段。包括永定河、滹沱河(黄壁庄~邵同)、漳河、潞龙河、唐河、南拒马河、白沟河。此类河流由于水源条件差,加之河床沙化渗漏严重,使之保持常年有水不太现实,即使季节性过水也较为困难。因此修复目标定为保持河床湿润,维持植被生长,实现“以绿代水”、固沙抑尘。

(2)水质污染型:指受到严重污染,2/3以上河长COD大于农灌水标准($150\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)或DO小于一般鱼类致死量($0.4\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)的河流或河段。包括卫运河、卫河、漳卫新河、徒骇河。此类河流水量尚可,突出问题是水质,即污染物总量大大超出了河流承载能力,因此修复目标定为将污染物排放量控制在河流纳污能力以内。

(3)生境破坏型:指水质、水量介于以上两类之间的河流或河段。包括北运河、滦河、陡河、海河干流、滹沱河(邵同-献县)、马颊河、南运河、潮白河、蓟运河、子牙河、滏阳河。此类型中包括的河流较多,又可以根据有无闸坝控制分为两类。对于无闸坝控制的河流,修复目标定为满足鱼类等生物最小生存空间;对于有闸坝控制的河流(段),以维持水面为主,并根据所处地理位置及水源条件制定不同的修复目标。城市河流(段)和有特殊景观要求(如通航、游泳)修复目标可适当定高些,乡村河流(段)修复目标可适当低些。

3 不同类型河流生态需水量计算方法研究

Tennant法作为一种简便的生态需水量计算方法,已在海河流域得到应用^[3,17-19]。Tennant法认为多年平均流量的10%表示可以维持河道生物栖息地生存,30%表示能维持适宜的栖息地生态系统,60%~100%表示原始天然河流的生态系统。但是,对该法的争议也比较多。有人认为Tennant法由于对河流的实际情况作了简化处理,没有直接考虑生物的需求和生物间的相互影响,只能在优先度不高的河段使用,但可以作为检验其他计算方法的一种粗略方法^[20]。为此,本文根据河流生态类型划分,提出以下计算方法。

并将计算结果与Tennant法进行了比较。

3.1 干涸沙化型河流

对于此类河流(河段)为保持河床湿润,采取绿化种草“以绿代水”修复措施,既不影响行洪,又能防风固沙,其生态需水量即绿化的植被所需水量,采用植被需水定额法计算。计算公式如下:

植被生态需水量=植被需水定额 \times 植被覆盖面积

计算植被生态需水量关键是确定植被生态需水定额。有研究表明,植被盖度大于60%,具有显著的防风固沙作用^[21]。借鉴“九五”攻关和相关研究成果,海河流域高盖度(覆盖度 $>50\%$)草地的需水定额为300 mm^[22]。计算时考虑河床面积和两岸裸露土堤面积。

3.2 水质污染型河流

我国一般采用近10 a最枯月平均流量或90%保证率最枯月平均流量计算污染型河流的自净需水量作为生态需水量^[3]。针对海河流域水资源缺乏的现实情况,标准适当降低,采用75%保证率最枯月平均流量计算^[23-24]。海河流域以此流量作为设计流量计算了河流的纳污能力,结果表明,海河流域COD和NH₃-N的纳污能力分别为29.27和1.39万t \cdot a⁻¹,而现状COD入河量133.06万t \cdot a⁻¹,NH₃-N入河量11.04万t \cdot a⁻¹,远远超过河流的纳污能力^[18]。

3.3 生境破坏型河流

此类河流中,只有滦河是没有闸坝控制的,生态需水量的计算采用生物空间最小需求法^[25],该法的关键是指示生物的选择。本研究以鱼类为指示生物,最大水深是描述鱼类生存空间的要素之一。有研究表明,中型河流鱼类所需的最大水深的下限为0.2 m乘以3等于0.6 m。再根据滦河多年流量水深关系曲线,计算所需生态水量。

其他生境破坏型河流均有闸坝控制。对于闸坝控制的河流,主要是维持河道水面。生态需水量的计算采用槽蓄法^[17]。首先根据河流所处地理位置和功能定位确定目标水深,再根据现状水量、考虑蒸发渗漏损失、换水量(假设每年换一次水)计算生态需水量。有通航要求的河道如海河干流和北运河,根据《内河通航标准》(GB 50139—2004)目标水深定为1.5 m。城市河道一般有景观娱乐和亲水要求,目标水深定为1 m,如陡河、潮白河、滏阳河、南运河。乡村河道目标水深适当降低为0.8 m,如马颊河、蓟运河、滹沱河(邵同-献县)、子牙河。

各类型河流特点和生态需水量计算方法见表2。

4 结果与讨论

4.1 结果

依据以上方法分别计算不同类型河流生态需水量,并按照水系进行汇总,结果表明,滦河与冀东沿海生态需水量为2.14亿m³,北四河水系生态需水量为1.15亿m³,大清河水系生态需水量为1.16亿m³,子牙河水系生态需水量为0.99亿m³,漳卫南运河水系

表 2 不同类型河流生态需水量计算方法

Table 2 The calculation methods of the ecological water demand for different type of rivers

河流类型	分类依据	修复目标	计算方法
干涸沙化型	干涸天数 ≥ 300 d, 且河床沙化严重	以绿代水、固沙抑尘	植被需水定额法
水质污染型	2/3 以上河长 COD 大于农灌水标准(150 mg·L ⁻¹)或 DO 小于一般鱼类致死量(0.4 mg·L ⁻¹)	将污染物排放量控制在河流纳污能力以内	75%保证率最枯月平均流量
生境破坏型	水质、水量介于以上两类之间	无闸坝控制	水深满足鱼类等生物最小生存空间
		有闸坝控制 城市河段	水深满足通航、游泳等景观娱乐要求
		乡村河段	水深目标较之城市河段适当降低
			生物空间最小需求法
			槽蓄法
			槽蓄法

生态需水量为 11.66 亿 m³, 徒骇马颊河水系生态需水量为 1.02 亿 m³, 海河流域平原河流总生态需水量为 18.12 亿 m³(详见表 3), 相当于流域多年平均径流量的 8.4%。

4.2 讨论

本文计算得到的海河流域平原河流总生态需水量为 18.12 亿 m³, 接近于 Tennant 法的最小生态需水量(10%)。其中, 漳卫南运河水系由于污染严重, 需水最多; 其次是大清河和北四河水系, 徒骇马颊河和子牙河水系需水较少。用植被需水定额法计算的干涸沙

化型河流生态需水量结果约占多年平均径流量的 2.4%~5.5%, 远小于 Tennant 法的最小生态需水量, 虽然两者计算方法不具可比性, 但计算结果体现了“以绿代水”修复措施的特点, 符合海河流域实际。75%保证率最枯月平均流量计算的水质污染型河流所需的生态水量占多年平均径流量的百分比为 15%左右, 略高于 Tennant 法计算的最小生态需水量。应用生物空间最小需求法计算的滦河生态需水量占多年平均径流量的百分比为 6%, 接近于 Tennant 法计算的最小生态需水量。槽蓄法计算的生态需水量结果与河流水

表 3 海河流域平原河道生态需水量(亿 m³)

Table 3 The ecological water demand of Haihe River basin rivers in plain(10⁸ m³)

河系	河名	河长/km	河段	河流类型	生态需水量	河系汇总
滦河冀东	滦河	158	大黑汀水库~海口	生境破坏	2.1	2.14
	陡河	120	陡河水库~海口	生境破坏	0.04	
北四河	蓟运河	189	九王庄~新防潮闸	生境破坏	0.14	1.15
	潮白河	80	河槽~牛牧屯	生境破坏	0.11	
	北运河	129	通县~屈家店	生境破坏	0.56	
大清河	永定河	120	卢沟桥~屈家店	干涸沙化	0.34	1.16
	海河干流	73	耳闸~海河闸	生境破坏	0.2	
	南拒马河	84	张坊~新盖房	干涸沙化	0.14	
	白沟河	54	东茨村~新盖房	干涸沙化	0.09	
	唐河	132	西大洋水库~白洋淀	干涸沙化	0.36	
	潴龙河	96	北郭村~白洋淀	干涸沙化	0.37	
子牙河	滹沱河	59.2	黄壁庄水库~邵同	干涸沙化	0.44	0.99
		130.8	邵同~献县	生境破坏	0.23	
	滏阳河	329	东武仕水库出库口~献县	生境破坏	0.21	
	子牙河	162	献县~三岔口	生境破坏	0.11	
漳卫南运河	漳河	114	岳城水库~馆陶	干涸沙化	0.73	11.66
	卫河	264	合河~徐万仓	水质污染	5.36	
	卫运河	157	徐万仓~四女寺	水质污染	4.65	
	漳卫新河	165	四女寺~辛集闸	水质污染	0.79	
	南运河	306	四女寺~第六堡	生境破坏	0.13	
徒骇马颊河	徒骇河	418	文明寨~入海口	水质污染	0.63	1.02
	马颊河	426	金堤闸~入海口	生境破坏	0.39	
流域合计					18.12	18.12

量恢复目标密切相关。南运河、潮白河、子牙河、滏阳河、蓟运河现状水量较差,生态水量目标是维持目标水深即可。用槽蓄法计算的生态需水量占多年平均流量的0.6%~2.9%,远小于Tennant法的最小水量10%。陡河、海河干流、马颊河水量状况较好,水量目标较高,最小生态需水量占多年平均流量的6.3%~9.4%,接近于Tennant法的最小水量10%。综合以上分析,总的说来本文所采取的计算生态需水量的方法在海河流域应用是可行的。但对于干涸沙化型河流和现状水量较差的河流甚至连Tennant法确定的最小生态水量都无法达到,这从另一个侧面反映出这些河流缺乏生态水量的严重问题和恢复河流生态的困难程度。

5 结论与建议

根据河流生态现状,海河流域平原河流可分为三种类型:干涸沙化型、水质污染型和生境破坏型。并分别用植被需水定额法,75%保证率最枯月平均流量法,生物空间最小需求法和槽蓄法计算了生态需水量。海河流域平原河流最小生态需水量为18.12亿 m^3 ,相当于流域多年平均流量的8.4%。最后将上述四种计算方法分别与Tennant法进行了比较。其中植被需水定额法的计算结果远小于Tennant法计算的最小生态需水量,75%保证率最枯月平均流量的计算结果略高于Tennant法计算结果,生物空间最小需求法计算结果接近于Tennant法计算结果,槽蓄法的计算结果与河流水量恢复目标密切相关,乡村河段由于修复目标较低,所需水量远小于Tennant法的最小水量10%,城市河段修复目标较高,所需水量接近于Tennant法的最小水量10%。Tennant法具有宏观指导意义,适用于流域规划,而本文根据河流生态类型划分所采取的计算生态需水量的方法更具有针对性。

本文将具有同类生态问题的河流划为一类,强调了河流共性的东西,而弱化了河流的个性特点,并且没有考虑河流年内需水变化,为使生态需水量的计算更符合河流实际,这些是下一步值得深入研究的问题。

参考文献:

[1] 刘静玲,杨志峰,林超,等.流域生态需水规律研究[J].中国水利,2006,13:18-21.
LIU Jing-ling, YANG Zhi-feng, LIN Chao, et al. Research on the rule of river basin eco-system demand[J]. *China Water*, 2006,13:18-21.

[2] 钟华平,刘恒,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, et al. Review of assessment methods for instream ecological flow requirements [J]. *Advanced in Water Science*, 2006, 17(3): 430-434.

[3] 林超,何杉.海河流域生态现状用水量调查和生态需水量计算方法[J].水利规划与设计,2003(2):11-18.
LIN Chao, HE Shan. The investigation of water ecological status and calculation of ecological water demands of Haihe River Basin[J]. *Water Planning and Design*, 2003(2):11-18.

[4] Mazvimavi D, Madamombe E, Makurira H. Assessment of environmental flow requirements for river basin planning in Zimbabwe [J]. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2007, 32: 995-1006.

[5] 阳书敏,邵东国,沈新平.南方季节性缺水河流生态环境需水量计算方法[J].水利学报,2005,36(11):1341-1346.
YANG Shu-min, SHAO Dong-guo, SHEN Xin-ping. Quantitative approach for calculating ecological water requirement of seasonal water-deficient rivers[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2005, 36(11): 1341-1346.

[6] 刘昌明,门宝辉,宋进喜.河道内生态需水量估算的生态水力半径法[J].自然科学进展,2007,17(1):42-48.
LIU Chang-ming, MEN Bao-hui, SONG Jin-xi. Study on estimation of river ecological water demand by using the method of ecological hydraulic radius[J]. *Advances in Nature Science*, 2007, 17(1):42-48.

[7] 胡波,崔保山,杨志峰,等.澜沧江(云南段)河道生态需水量计算[J].生态学报,2006,26(1):163-173.
HU Bo, CUI Bao-shan, YANG Zhi-feng, et al. Calculation of ecological water requirements for instream in the Lancang River, Yunnan Province, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(1):163-173.

[8] 李梅,黄强,张洪波,等.基于生态水深-流速法的河段生态需水量计算方法[J].水利学报,2007,38(6):738-742.
LI Mei, HUANG Qiang, ZHANG Hong-bo, et al. Determination of ecological water demand based on necessary flow depth and velocity for specific ecological function[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2007, 38(6):738-742.

[9] 董福平,管仪庆,周黔生,等.河流生态用水流量确定新方法研究[J].水利学报,2007(增刊):547-551.
DONG Fu-ping, GUAN Yi-qing, ZHOU Qian-sheng, et al. Study on the calculation method of river eco-environmental flow [J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2007(Suppl): 547-551.

[10] 门宝辉,刘昌明. Tennant法计算标准的修正及其应用[J].哈尔滨工业大学学报,2008,40(3):479-482.
MEN Bao-hui, LIU Chang-ming. Modified calculative criterion of Tennant and its application[J]. *Journal of Harbin Institute of Technology*, 2008,40(3):479-482.

[11] 韩瑞光,丁志宏.南水北调西线一期工程河道内最小生态环境需水量的研究[J].水利发展研究,2009(1):31-33.
HAN Rui-guang, DING Zhi-hong. Study on minimum river eco-environmental water demand in the first stage of western route project of south-to-north water transfer scheme[J]. *Water Resources Development Research*, 2009(1):31-33.

- [12] 高凡, 黄强, 闫正龙. 基于3S的塔里木河干流生态水平动态监测及生态需水研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2010, 38(1): 188-194.
GAO Fan, HUANG Qiang, YAN Zheng-long. Study on dynamic monitor of ecological level and ecological water requirement in the main stream of Tarim River based on 3S technology[J]. *Journal of Northwest A&F University*(Nat. Sci. Ed.), 2010, 38(1): 188-194.
- [13] 何萍, 史培军, 刘树坤, 等. 河流分类体系研究综述[J]. 水科学进展, 2008(3): 434-442.
HE Ping, SHI Pei-jun, LIU Shu-kun, et al. Classification of rivers systems[J]. *Advanced in Water Science*, 2008(3): 434-442.
- [14] 钱正英, 陈家琦, 冯杰. 人与河流和谐发展[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2006(1): 1-5.
QIAN Zheng-ying, CHEN Jia-qi, FENG Jie. Harmonious development of humanity and river[J]. *Journal of Hehai University*(Natural Sciences), 2006(1): 1-5.
- [15] 殷会娟, 冯耀龙. 河流生态环境健康评价方法研究[J]. 中国农村水利水电, 2006(4): 55-57.
YIN Hui-juan, FENG Yao-long. Studies on the River Ecosystem Health Assessment Method[J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2006(4): 55-57.
- [16] 赵彦伟, 杨志峰. 城市河流生态系统健康评价初探[J]. 水科学进展, 2006, 16(3): 349-355.
ZHAO Yan-wei, YANG Zhi-fen. Preliminary study on assessment of urban river ecosystem health[J]. *Advanced in Water Science*, 2006, 16(3): 349-355.
- [17] 杨艳霞. 海河流域生态修复需水量的思考[J]. 水利规划与设计, 2005(2): 40-43.
YANG Yan-xia. Thoughts about water demand for ecological restoration in Haihe River Basin[J]. *Water Planning and Design*, 2005(2): 40-43.
- [18] 高鹏杰. Tennant法用于拒马河生态基流量计算研究. 中国水利学会2008学术年会论文集(上册)[C], 2008: 752-758.
GAO Peng-jie. Study on calculation of ecological base flow of Juma River by using Tennant method. Annual Meeting collected works of China Water Conservancy Society in 2008 (part 1)[C], 2008: 752-758.
- [19] 水利部海河水利委员会. 海河流域生态环境恢复水资源保障规划[R]. 天津, 2004: 66-67.
Haihe Water Conservancy Commission, Ministry of Water Resources. Water Resources Protection Plan to Restore the Ecological Environment in Haihe River Basin[R]. Tianjin, 2004: 66-67.
- [20] 徐志侠, 董增川, 周健康, 等. 生态需水计算的蒙大拿法及其应用[J]. 水利水电技术, 2003, 34(11): 15-17.
XU Zhi-xia, DONG Zeng-chuan, ZHOU Jian-kang, et al. Montana calculation of ecological water demand and its application [J]. *Water Resources and Hydropower Technology*, 2003, 34(11): 15-17.
- [21] 董治宝, 陈渭南, 董光荣, 等. 植被对风沙土风蚀作用的影响[J]. 环境科学学报, 1996, 16(4): 437-443.
Dong Zhi-bao, Chen Wei-nan, Dong Guang-rong, et al. Influences of vegetation cover on the wind erosion of sandy soil[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 1996, 16(4): 437-443.
- [22] 李丽娟, 李海滨, 王娟. 海河流域河道外生态需水研究[J]. 海河水利, 2002(4): 9-11.
LI Li-juan, LI Hai-bin, WANG Juan. Study on ecological water demands outside riverways in Haihe River basin[J]. *Haihe River Water Resources*, 2002(4): 9-11.
- [23] 郭丽峰, 林超, 刘德文, 等. 水环境承载能力分析[J]. 南水北调与水利科技, 2008, 6(6): 105-108.
GUO Li-feng, LIN Chao, LIU De-wen, et al. Analysis on carrying capacity of water environment: Taking Zhangjiakou City as an example[J]. *South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology*, 2008, 6(6): 105-108.
- [24] 刘德文, 于卉, 王立明. 海河流域纳污能力与限制排污总量分析[J]. 海河水利, 2006(6): 4-6.
LIU De-wen, YU Hui, WANG Li-ming. The analysis of pollutant carrying capacity and limitations of sewage of Haihe River Basin[J]. *Haihe River Water Resources*, 海河水利, 2006(6): 4-6.
- [25] 徐志侠. 河道与湖泊生态需水研究[D]. 南京: 河海大学, 2005.
XU Zhi-xia. Research on ecological water demands of river and lake [D]. Nanjing: Hehai University, 2005.