

径流季节变化对清水河河道生态环境需水量的影响

李薛锋¹, 尹娟², 邱小琼³

(1.宁夏吴忠市盐池县水务局, 宁夏 盐池 751500; 2.宁夏大学

土木与水利工程学院, 宁夏 银川 750021; 3.宁夏大学 生命科学学院, 宁夏 银川 750021)

摘要: [目的] 估算清水河河道生态环境需水量, 为保证清水河发挥其正常生态功能以及流域内水资源的合理配置提供依据。[方法] 通过对清水河流域用水情况实地调查, 在分析整理多年水文统计资料的基础上, 考虑生态用水安全, 根据清水河径流随降水时间的季节性变化特点以及流域多年水文变化特征, 在空间上选取清水河干流的不同断面计算河道生态环境需水量。针对需要满足河流不同生态功能要求, 分别采用 Tennant 法、面积定额法, 90% 保证率最枯月水量法等方法计算河道基础生态需水量、蒸发需水量、输沙需水量以及水体自净需水量。[结果] 清水河河道生态环境需水量包括基础生态需水量、蒸发需水量、输沙需水量及水体自净需水量, 年需水总量上游段为 $6.29 \times 10^6 \text{ m}^3$, 中游段为 $6.57 \times 10^7 \text{ m}^3$, 下游段为 $1.65 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。[结论] 清水河河道生态环境需水量与泥沙含量和水质有直接关系。泥沙含量高是清水河河道生态环境需水量高的最主要因素。

关键词: 径流; 季节变化; 河道; 生态环境需水量; 生态功能

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2022)03-0023-06

中图分类号: Q147, X143

文献参数: 李薛锋, 尹娟, 邱小琼. 径流季节变化对清水河河道生态环境需水量的影响[J]. 水土保持通报, 2022, 42(3): 23-28. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.03.004; Li Xuefeng, Yin Juan, Qiu Xiacong. Effects of seasonal runoff change on eco-environmental water demand of Qingshui River channel [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(3): 23-28.

Effects of Seasonal Runoff Change on Eco-environmental Water Demand of Qingshui River Channel

Li Xuefeng¹, Yin Juan², Qiu Xiacong³

(1. Yanchi Water Bureau of Wuzhong City, Yanchi, Ningxia 751500, China;

2. School of Civil and Hydraulic Engineering, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia

750021, China; 3. School of Life Science, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

Abstract: [Objective] Estimation of the eco-environmental water demand of the Qingshui River channel was carried out in order to provide a basis for ensuring normal ecological functioning and rational allocation of water resources in the basin. [Methods] The eco-environmental water demand of different sections of the main stream of the Qingshui River channel was calculated based on water consumption and an analysis of multi-year hydrological statistics. The seasonal variation characteristics of runoff along with precipitation time and the multi-year hydrological characteristics were considered in the context of ecological water security. With respect to the requirements of different ecological functions of rivers, the Tennant method, area quota method and 90% guarantee rate minimum monthly water demand method were used to calculate the basic ecological water demand, evaporation water demand, sediment transport water demand, and water self-purification water demand. [Results] The eco-environmental water demand of the Qingshui River channel included basic ecological water demand, evaporation water demand, sediment transport water demand, and self-purification water demand. The total annual water demand was $6.29 \times 10^6 \text{ m}^3$ for the upper reaches of the river, $6.57 \times 10^7 \text{ m}^3$

收稿日期: 2021-11-01

修回日期: 2022-01-04

资助项目: 宁夏高等学校一流学科建设(水利工程)项目“黄河流域宁夏段水生态演化机理及人工干预机制研究”(NXYLXK2021A03)

第一作者: 李薛锋(1970—), 男(汉族), 宁夏回族自治区盐池县人, 高级工程师, 研究方向为治河工程及防洪工程。Email: qyj200299@163.com。

通信作者: 邱小琼(1971—), 男(汉族), 浙江省湖州市人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事水域生态学及水环境调控方面的研究。Email: qxc7175@126.com。

for the middle reaches, and $1.65 \times 10^8 \text{ m}^3$ for the lower reaches. [Conclusion] The eco-environmental water demand of the Qingshui River channel was directly related to sediment content and water quality, and high sediment content was the main factor for the high eco-environmental water demand of Qingshui River channel.

Keywords: runoff; seasonal change; river channel; eco-environmental water demand; ecological function

生态环境需水量是维持河道生态系统稳定,能够正常发挥其生态功能所需水量,是水资源进行合理配置的基础性工作^[1]。河流生态环境需水根据其要求的功能不同分为两大类:河道内生态环境需水和河道外生态环境需水^[2-3]。河道内生态环境需水包括基础生态、自净、蒸发、渗漏和输沙需水量等几部分,河道外生态环境需水包括湿地、植被、城市等的生态环境需水量^[2-3]。水是维持河流系统结构并发挥正常功能的介质和动力,保证河道内有足够的水量以满足河道生态系统与环境的需要,对于水环境安全和水生态系统健康具有十分重要的意义。

清水河(东经 $105^{\circ}32'19.69''$ — $106^{\circ}10'42.80''$,北纬 $37^{\circ}29'17''$ — $36^{\circ}08'53''$)是黄河一级支流,地处宁夏回族自治区中部干旱半干旱区,发源于固原市开城乡,干流总河长 320 km,河源海拔高程 2 480 m,河口海拔高程 1 192 m,河道平均比降 1.49‰。清水河属于典型季节性河流,河道年均径流量很小,流域径流时空分布不均,多年平均降水量仅 335 mm,多年平均水面蒸发量 1 272 mm,干旱指数 3.8。清水河流域水资源问题突出,量少质差,多年平均地表水资源量不足,流域水土流失严重,年均含沙量极高,水生态环境十分脆弱^[4]。孟祥仪^[5]基于清水河沿岸污染现状,进行了水环境质量预警研究;李帅等^[6]基于 SWAT 模型对清水河的径流趋势进行模拟预测;和志国等^[4]研究了清水河下游泉眼山断面处的生态基流。然而生态环境需水量是缓解河流生态持续恶化、保证河流生态健康稳定发展的关键。目前有关清水河生态环境需水的研究很少。因此,本文对地处宁夏中部干旱半干旱区的清水河生态环境需水量进行研究,旨在深刻了解该流域的水文循环过程,并通过合理估计需水量,科学提升清水河生态环境功能,更好地为该地区水资源合理调配以及优化提供依据。

本研究根据清水河径流季节性变化特点和多年水文变化特征,在空间上选取清水河河道不同断面计算河流生态环境需水量。结合清水河干流典型水文观测站的空间位置,将其划分为 3 个断面:①开城—固原水文站为上游段;②固原—韩府湾水文站为中游段;③韩府湾—泉眼山水文站为下游段。根据流域的自然环境特点将河道生态环境需水量分为河道基础生态需水量、蒸发需水量、输沙需水量以及水体

自净需水量进行计算,最终将各部分有效值加和求得清水河河道生态环境需水总量。

1 材料与方法

1.1 水文数据来源

本次研究计算所用的径流量、降水、蒸发等水文数据资料由宁夏回族自治区水文水资源勘测局提供,根据河流水文特性,选取固原、韩府湾和泉眼山 3 处具有较长系列水文资料的水文站进行相关研究分析。

1.2 水质数据来源

在清水河河道设置 18 个水质监测断面,于 2019 年平(4 月)、丰(7 月)、枯(11 月)不同来水期采集水样。研究区域采样点见表 1,水文站分布状况如图 1 所示。

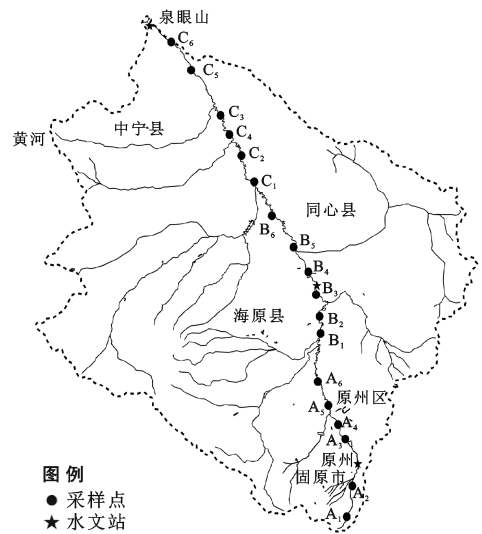


图 1 清水河水文站及采样点位置示意图

根据孟祥仪^[5]关于清水河水质预警研究,并考虑到河岸带附近工业、农业生产对水质的主要影响作用,本次研究选取氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$)、总氮(TN)、总磷(TP)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})、5 日生化需氧量(BOD_5) 5 个主要水质污染指标进行测定分析。 $\text{NH}_3\text{-N}$ 采用纳氏试剂分光光度法(HJ535-2009)测定,TN采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(HJ632-2012)测定,TP采用钼酸铵分光光度法(HJ670-2013)测定, COD_{Mn} 采用高锰酸钾法(GB11892-89)测定, BOD_5 采用稀释与接种法(HJ535-2009)测定。

表1 清水河各采样点编号及位置

样点编号	流域位置	样点编号	流域位置
A ₁	清水河开城(上游)	B ₁	清水河羊路(中游)
A ₂	清水河东郊(上游)	B ₅	清水河李旺(中下游)
A ₃	沈家河水库(上游)	B ₆	清水河王团(中下游)
A ₄	清水河头营(上游)	C ₁	清水河折死沟交汇(下游)
A ₅	清水河杨郎(中上游)	C ₂	清水河同心(下游)
A ₆	清水河三营(中上游)	C ₃	清水河丁家塘(下游)
B ₁	清水河黑城(中游)	C ₄	清水河西河(下游)
B ₂	清水河七营(中游)	C ₅	清水河长山头(下游)
B ₃	清水河双井河交汇(中游)	C ₆	泉眼山入黄口(下游)

1.3 清水河河道生态环境需水量的构成

清水河流域地处宁夏干旱半干旱区,多年平均地表水资源量不足,量少质差,流域水土流失严重,年均含沙量极高,因而清水河有输沙、排沙功能要求,故应考虑其河道输沙需水量的计算。基于清水河生态现状以及其排水、输沙、生态、水土保持的功能特点,本文主要估算清水河河道需水量。综上所述,清水河河道生态需水量应包括河道基础生态需水量、蒸发需水量、输沙需水量以及水体自净需水量,计算模型构成如下:

$$Q_R = \max[Q_V + Q_J] + Q_Z + Q_S \quad (1)$$

式中: Q_R 为河道生态环境需水量(m^3); Q_V 为河道基础生态需水量(m^3); Q_J 为水体自净需水量(m^3); Q_Z 为蒸发需水量(m^3); Q_S 为输沙需水量(m^3)。

1.3.1 河道基础生态需水量 Montana(Tennant)法^[7]是根据河道目标生态功能和时期不同,以其相对天然径流量的推荐百分比为基础计算水量。该方法可分为8个等级,推荐流量的百分比依据丰水期、枯水期以及目标不同进行选定。根据杨志峰等^[8]生态需水理论,一般枯水期(即10月至翌年3月)最小的河道基础生态需水计算取多年月平均径流量的10%,丰水期(即4—9月)则取多年月平均径流量的30%进行计算。清水河是典型季节性河流,丰水期和枯水期要求显然不同,Tennant法适合清水河需水量研究计算。根据水文站提供的实测数据资料分析,选择代表性较好,水文资料较完整的2005—2018年13 a实测月平均径流作为需水量计算推荐值。

1.3.2 蒸发需水量 蒸发需水量^[9]是指补充河道用于蒸发损失水量。一般认为当水面蒸发强度大于降雨强度时,需要进行补充河道用于蒸发的水量,补充的水量是水面蒸发需水。一般考虑情况如下^[10]:

$$\begin{aligned} E > P \text{ 时 } Q_Z &= A \times (E - P) \\ E < P \text{ 时 } Q_Z &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

式中: Q_Z 为蒸发需水量(m^3); A 为平均水面面积

(km^2); E 为平均蒸发量(mm); P 为平均降雨量(mm)。

1.3.3 水体输沙需水量 水体输沙需水量^[11]是为满足河流的输沙、排沙功能要求,并维持一定的水沙平衡所需的水量。计算公式如下:

$$Q_S = \frac{S}{C_{\max}} \quad (3)$$

$$C_{\max} = \frac{1}{n} \sum_i^n \max(C_{ij}) \quad (4)$$

式中: Q_S 为水体输沙需水量(m^3); S 为年平均输沙量(t); C_{\max} 为年最大月含沙量的平均值(kg/m^3)。

1.3.4 水体自净需水量 水体自净需水量^[12]是河道水质受到污染为维持其生态环境功能需要对其进行稀释所需的水量。经过对《2019年宁夏统计年鉴》资料查阅工厂沿河附近位置和实地考察,主要的污水排放口在清水河上游固原段原州区沿岸处,其他较小的主要分布在清水河中游同心县处,下游段污染排放相对较轻。考虑清水河的水环境污染主要是流经城市段的污水排放,本文采用王顺久等^[13]针对城市河流污染稀释净化需水量计算方法,通过绘制月最枯河道流量 Q 与累计频率 p 的 $Q-P$ 关系曲线,找到 $p=90\%$ 时曲线对应月的河道内流量,以此作为水体自净需水量估计值的基础流量。

$$Q_J = \frac{C_i}{C_{oi}} \times Q_I \quad (5)$$

式中: Q_J 为水体自净需水量(m^3); C_{oi} 为达到地方水质标准规定的第 i 种污染指标浓度(mg/L); C_i 为实测河流的第 i 种污染指标浓度(mg/L); Q_I 为90%保证率最枯月平均流量; $\frac{C_i}{C_{oi}}$ 为污染指数,(取各项污染物中污染指数最大值)。

2 结果与分析

2.1 基础生态需水量估算

根据表2典型水文站多年实测月流量情况,清水河上、中、下游的河道径流量受降雨影响,季节性变化很明显。本文以固原、韩府湾、泉眼山3个典型水文站进行断面划分,依据蒙大拿法(Tennant),按照枯水期和丰水期的不同基流的百分比,计算得出清水河年均月河道基本生态环境需水量并估计全年平均需水量。从表2可以看出,清水河上游段全年需水相对中上游段需水量较小,仅 $2.27 \times 10^5 m^3$,其中8月多年平均月需水量最高,为 $2.61 \times 10^5 m^3$;下游段河道需水量无论按月或者按年均都是最大,且需水量明显超过中上游,多年平均月需水量最高达到 $1.35 \times 10^7 m^3$ 。

根据清水河水系构成,造成下游的需水量偏高的原因主要是中下游的支流汇入干流,流量增大,依据

Tennant法计算的需水量认为与流量存在正相关关系,故河道基础生态需水量也会增加。

表 2 清水河河道基础生态需水量

月份	上游			中游			下游		
	月流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	月径流量/ 10^4 m^3	基础生态需水 量/ 10^4 m^3	月流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	月径流量/ 10^4 m^3	基础生态需水 量/ 10^4 m^3	月流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	月径流量/ 10^4 m^3	基础生态需水 量/ 10^4 m^3
1	0.07	19.55	1.96	0.36	96.15	9.62	1.16	311.49	31.15
2	0.08	19.11	1.91	0.34	82.98	8.30	1.45	349.81	34.98
3	0.09	24.11	2.41	0.37	100.17	10.02	1.94	518.27	51.83
4	0.08	19.69	5.91	0.49	127.01	38.10	1.61	417.32	125.19
5	0.10	26.78	8.04	0.56	149.99	44.00	1.93	516.40	154.92
6	0.12	29.80	8.94	2.01	520.21	156.06	4.86	1 260.23	378.07
7	0.14	36.43	10.93	7.84	2 099.33	629.80	15.30	4 098.76	1 229.62
8	0.34	87.05	26.11	8.44	2 261.11	678.33	16.79	4 497.03	1 349.11
9	0.26	67.13	20.14	0.89	229.13	68.74	3.45	893.46	268.04
10	0.17	46.07	4.61	0.59	157.76	15.78	2.05	548.54	54.85
11	0.14	37.06	3.71	0.44	114.31	11.43	1.69	437.27	43.72
12	0.09	22.77	2.28	0.33	87.05	8.70	1.41	377.65	37.77
合计	1.65	435.57	96.94	22.65	6 025.20	1 679.88	53.63	14 226.24	3 759.26

注:表中月流量和月径流量皆为多年平均值。

2.2 蒸发需水量估算

清水河流域地处宁夏中部干旱半干旱区,降雨量远远小于蒸发量,属于典型干旱半干旱区水文特征流域。根据清水河流域水文站多年实测降雨蒸发资料分析计算出清水河上游段实际水面年均蒸发

量为945.7mm,中游段为 1 285.5 mm,下游段为 1 328 mm。清水河干流水面面积依据谷歌地图获得,上游段水面面积为 2.72 km^2 ,中游段为 4.21 km^2 ,下游段 7.46 km^2 。将蒸发量代入公式(2),蒸发需水量计算结果见表 3。

表 3 清水河河道蒸发需水量

月份	上游		中游		下游	
	$E-P/\text{mm}$	蒸发需水量/ 10^4 m^3	$E-P/\text{mm}$	蒸发需水量/ 10^4 m^3	$E-P/\text{mm}$	蒸发需水量/ 10^4 m^3
1	20.2	5.49	29.5	12.42	31.1	23.20
2	35.6	9.68	41.2	17.35	43.6	32.53
3	60.5	16.46	82.5	34.73	79.6	59.38
4	100.6	27.36	140.4	59.11	150.8	112.50
5	120.3	32.72	180.6	76.03	190.5	142.11
6	130.4	35.47	173.4	73.00	160.4	119.66
7	126.3	34.35	175.8	74.01	180.3	134.50
8	130.5	35.50	189.2	79.65	170.5	127.19
9	100.6	27.36	131.3	55.28	150.2	112.05
10	80.6	21.92	90.1	37.93	110.6	82.51
11	40.1	10.91	51.5	21.68	60.4	45.06
12	26.5	7.21	33.1	13.94	42.2	31.48
合计	945.7	257.23	1 285.5	541.20	1 328.0	990.69

注: E 为平均蒸发量(mm); P 为平均降雨量(mm)。

2.3 输沙需水量估算

宁夏干旱少雨,植被稀少,水土保持功能较差,大多数河流水土流失现象较重,致使泥沙淤积。清水河是黄河宁夏段的第一大支流,含沙量极高。根据1998—2011年的水文资料分析,清水河流域输沙量年内分配极不均匀,其中绝大部分集中在汛期7,8,9月,输沙量占全年的80%以上,这种高含沙水流与汛期暴雨洪水有直接关系,非汛期枯水期11月至次年3月含沙量很小。通过计算得出清水河固原水文站上

游段的年最大月含沙量为 33.66 kg/m^3 ,输沙总量为 $4.90 \times 10^4 \text{ t}$;韩府湾水文站中游段的年最大月含沙量为 221.6 kg/m^3 ,输沙总量为 $9.63 \times 10^6 \text{ t}$;泉眼山水文站下游段的年最大月含沙量为 217.9 kg/m^3 ,年均输沙总量为 $2 452 \times 10^7 \text{ t}$ 。依据公式(3)—(4)计算河流输沙需水量。清水河输沙需水量计算结果见表 4。

从输沙需水计算结果可以看出,输沙需水量与年均输沙总量成正相关关系,且中下游明显大于上游段。这种情况是合理的,由于清水河从源头到入黄口

沿程支流较多,其中8条为二级支流,支流携带大量泥沙汇入干流,清水河中下游流量随之增加的同时含沙量也增加,因此需要更多的水量来满足河流的输沙功能,减少淤积。

表4 清水河河道输沙需水量

河段	年均输沙总量/ 10 ⁴ t	年最大月含沙量/ (kg·m ⁻³)	输沙需水量/ 10 ⁴ m ³
上游	4.90	33.66	145.57
中游	963.00	221.60	4 345.56
下游	2 452.00	217.90	11 225.67

2.4 水体自净需水量估算

经过对《2019年宁夏统计年鉴》资料查阅和实地考察,主要的污水排放口有两个在清水河上游固原段原州区沿岸处,其他的主要分布在清水河中游同心县处,下游段污染排放较少。根据研究中布设的上、中、下游各个断面水质监测点测得各断面水质评价指标的浓度,对清水河的丰、平、枯3个不同的年内水期实

测水质指标通过主成分分析后进行因子荷载矩阵旋转,确定出各个主成分的对水体污染影响较大的因子(见表5)。依据清水河水质标准,本文以水质控制目标为《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)规定的Ⅳ类,通过公式(5)计算出污染指数。为保证稀释后水环境达到水质标准,本文选择指数最大的指标,依据公式3计算水体自净需水量,其中各断面90%保证率最枯月均流量由频率分布曲线确定,上游段各断面90%保证率最枯月均流量为0.042 m³/s,中游段各断面90%保证率最枯月均流量为0.09 m³/s,下游段各断面90%保证率最枯月均流量为0.74 m³/s。通过实测水质资料分析,上游主要是由于固原段发电厂生产排放废水中的总氮(TN)、氨氮(NH₃-N)、总磷(TP)含量较高,中下游主要是由于水中氟化物(以F⁻离子计)和5日生化耗氧量BOD₅的浓度过高导致水质较差。分别计算污染指数并排序,最后根据公式(5)计算出清水河河道水体自净需水量,结果见表5。

表5 清水河河道水体自净需水量

项目	清水河上游			清水河中游			清水河下游		
	丰水期	平水期	枯水期	丰水期	平水期	枯水期	丰水期	平水期	枯水期
主成分个数	2	3	2	2	3	2	2	3	2
累计方差贡献率/%	80.45	86.14	85.77	87.35	95.3	89.52	91.35	98.23	91.55
第一主成分贡献率/%	56.65	43.77	45.87	52.93	50.56	47.11	46.59	52.32	58.84
第一主成分主要因子	TP	TP	TP	TN	NH ₃ -N	NH ₃ -N	NH ₃ -N	F ⁻	NH ₃ -N
	TN	COD _{Mn}	TN	COD _{Mn}	COD _{Mn}	TP	TN	BOD ₅	TP
	NH ₃ -N	F ⁻	NH ₃ -N	BOD ₅	TP	COD _{Mn}	TP	COD _{Mn}	F ⁻
最大污染指数	1.82	1.30	2.07	3.46	1.45	0.94	3.03	1.37	1.16
水体自净需水量/10 ⁴ m ³	79.25	56.61	89.99	323.23	134.99	87.71	2 322.16	1 052.39	889.98

注:TN为总氮;NH₃-N为氨氮;TP为总磷;COD_{Mn}为高锰酸盐指数;BOD₅为5日生化需氧量;F⁻为氟化物。

2.5 河道生态环境需水总量计算

根据公式(1)采用耦合的计算方法计算生态环境需水总量,结果见表6。清水河河道年需水总量为2.25×10⁸ m³,其中上游年需水总量为6.29×10⁶ m³,其组成为蒸发需水量、输沙需水量和水体自净需水

量,水体自净需水量高于基础生态需水量,二者取其最大值。蒸发需水量2.57×10⁶ m³,占总需水量的40.92%,输沙需水量1.46×10⁶ m³,占总需水量的23.15%,水体自净需水量2.26×10⁶ m³,占总需水量的35.93%。

表6 清水河河道生态环境需水总量

项目	基础生态需水量	蒸发需水量	输沙需水量	水体自净需水量	河道需水总量
上游/10 ⁴ m ³	96.94	257.23	145.57	225.85	628.65
比例/%		40.92	23.15	35.93	100
中游/10 ⁴ m ³	1 679.88	541.20	4 345.56	545.93	6 566.64
比例/%	25.58	8.24	66.18		100
下游/10 ⁴ m ³	3 759.26	990.69	11 225.67	4 264.53	16 480.89
比例/%		6.01	68.11	25.88	100
合计/10 ⁴ m ³	5 536.08	1 789.12	15 716.80	5 036.31	22 542.23

在总需水量中蒸发需水量和水体自净需水量占比较高。中游年需水总量为6.57×10⁷ m³,其组成为

基础生态需水量1.68×10⁷ m³,占总需水量的25.58%,蒸发需水量5.41×10⁶ m³,占总需水量的

8.24%，输沙需水量 $4.35 \times 10^7 \text{ m}^3$ ，占总需水量的 66.18%。中游水质较好，水体自净需水量较少，不能满足基础生态需水量，因此需水总量组成为基础生态需水量、蒸发需水量和输沙需水量。中游段河水含沙量大大增加，输沙需水量在总需水量中比例很高，达到了 66.18%。下游年需水总量为 $1.65 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，其组成为蒸发需水量、输沙需水量和水体自净需水量，水体自净需水量高于基础生态需水量，二者取其最大值。蒸发需水量 $9.91 \times 10^6 \text{ m}^3$ ，占总需水量的 6.01%，输沙需水量 $1.12 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，占总需水量的 68.11%，水体自净需水量 $4.26 \times 10^7 \text{ m}^3$ ，占总需水量的 25.88%。下游水质较差，且含沙量高，因此输沙需水量和水体自净需水量占总需水量的绝大部分。

3 讨论

对于干旱半干旱区河流的生态环境需水研究，李俊峰等^[14]确定了玛纳斯河流域不同区段的生态与环境需水量，包括下游、中游、上游区段的需水量。胡顺军等^[15]确定了塔里木河干流流域防治耕地盐碱化的生态需水量定额。张永明等^[16]建立了河道自净需水量模型并计算了塔里木河河道新渠满水文站断面的自净需水量。叶朝霞等^[17]选择湿周法中的曲率法估算了塔里木河下游断流河道最小生态流量。蓝利^[18]在考虑输沙需水和自净需水情况下计算了叶尔羌河干流段河道内全年河道内生态需水量。河流生态环境需水指维持一定生态系统功能和水质目标下客观需求的水量，由于所研究区域的具体情况不同，生态环境需水研究的具体对象也应该有所不同。干旱半干旱区河流生态环境需水应该包括维持水生生物生存所需水量、河道水面蒸发量、河岸植被需水量、输沙需水量、水体自净需水量、恢复和维持植被适宜地下水水位所需水量等。生态环境需水研究必须基于一定区域的具体生态系统组成、生态水资源的结构、水质现状以及区域生态环境保护的水资源利用途径，需要与研究区的社会、经济及生态环境条件相一致，并与可持续发展目标相协调^[19]。

清水河地处宁夏干旱半干旱区，年蒸发量远远高于降水量，蒸发需水量是清水河河道生态环境需水量的重要组成部分，尤其是上游，占到总需水量的 40.92%。水体自净需水量在清水河生态环境需水量中所占比例也较大，上游比例为 35.93%，下游比例为 25.88%，河水污染物超标正在成为清水河水质的基本制约因素，污染物量较多需要净化是造成总需水量大的主要原因。输沙需水量在清水河河道生态环境需水量中所占比例最大，上游为 23.15%，而中、下游

则均超过 60%，泥沙含量高是清水河需水量高的最主要因素。对清水河而言，其河道生态环境需水量与泥沙含量和水质有着直接的关系，泥沙含量高，河水污染物超标，生态环境需水量在一段时间内将很难得到满足。

4 结论

本文结合干旱半干旱地区的水文生态特征，提出了地处宁夏干旱半干旱区的清水河河道生态环境需水的内涵，分析得出适用于干旱半干旱区生态环境需水量的估算方法，对于宁夏其他河流生态环境需水的研究具有重要参考价值，也可为其他相似研究提供借鉴。

(1) 清水河河道生态环境需水量包括河道基础生态流量、蒸发需水量、输沙需水量及水体自净需水量，考虑到基础生态流量与水体自净需水量存在重复部分，故取其中最大值。最终得出清水河河道上游段的年需水总量为 $6.29 \times 10^6 \text{ m}^3$ ，中游段的年需水总量为 $6.57 \times 10^7 \text{ m}^3$ ，下游段的年需水总量为 $1.65 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

(2) 蒸发需水量是清水河河道生态环境需水量的重要组成部分，水体自净需水量在清水河河道生态环境需水量中所占比例也较大，河水污染物超标正在成为清水河水质的基本制约因素，污染物量较多需要净化是造成总需水量大的主要原因。输沙需水量在清水河河道生态环境需水量中所占比例最大，泥沙含量高是清水河需水量高的最主要因素。清水河河道生态环境需水量与泥沙含量和水质有着直接的关系，减少污染物排放，降沙控沙，同时构建和恢复健康的水生生态系统，提高水体的自净能力，是提高清水河的生态环境功能和保证河流系统内充足生态环境需水量的主要措施。

[参 考 文 献]

- [1] 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.
- [2] 邱小琮, 赵红雪, 尹娟. 爱伊河生态环境需水量研究[J]. 节水灌溉, 2015(8): 63-66.
- [3] 谷晓林. 松花江流域重点支流—伊通河生态环境需水及生态补水研究[D]. 吉林 长春: 吉林大学, 2011.
- [4] 和志国, 张华, 暴路敏, 等. 宁夏清水河流域生态水量确定及保障措施浅析[J]. 中国水利, 2019(3): 25-27.
- [5] 孟祥仪. 基于 WASP 模型的宁夏清水河水质预警研究[D]. 陕西 西安: 长安大学, 2017.
- [6] 李帅, 魏虹, 刘媛, 等. 气候与土地利用变化下宁夏清水河流域径流模拟[J]. 生态学报, 2017, 37(4): 1252-1260.

4.2 发展对策与建议

淤地坝是黄土高原水土流失地区防洪减灾,解决干旱缺水,优化土地利用结构,促进农村经济发展等重要措施^[13-14]。特别是在天水、平凉、庆阳市的大部分建坝区域,水质良好,通过死库容蓄水利用,在当地抗旱应急、乡村振兴与高质量发展、群众生产生活用水中发挥了重要作用,具有广泛而且巨大的社会需求。如何科学合理利用大中型坝剩余拦泥库容,蓄水兴利,解决干旱、半干旱黄土区水资源短缺这个刚性需求,对巩固脱贫攻坚成果,推进脱贫地区乡村振兴具有重要的意义。针对制约淤地坝水资源利用方面存在的瓶颈问题,本研究提出以下发展对策与建议。

(1) 从源头抓起,提高新坝的设计建设标准,建设可长期蓄水用水的高标准淤地坝。按照《淤地坝技术规范》(SL/T 804-2020),借鉴水库坝体防渗设计(如设计防渗心墙等)、结合淤地坝特点,增强坝体迎水坡防渗和坝体排水体设计,增加淤地坝蓄水数量和时间,为淤地坝蓄水用水,提高水资源利用率提供基础条件。

(2) 对具有蓄水用水需求的大中型淤地坝,通过旧坝坝肩及迎水面防渗加固、溢洪道配置闸阀、配套引提灌等措施进行提质改造,保证淤地坝坝体安全、防洪安全及水资源利用的安全性。

(3) 加大对老旧坝坝体稳定性、防汛安全性的研究,对有蓄水用水需求的淤地坝逐坝进行坝体稳定性、防汛安全性的精准评价,建立淤地坝风险管控预警机制,加强淤地坝管护意识、保证淤地坝运用过程中的工程安全、水文安全、管理安全和运行安全,有效化解缺水地区淤地坝蓄水用水与防汛管理矛盾。

[参 考 文 献]

- [1] 徐建华,吕光圻,张胜利,等.黄河中游多沙粗沙区区域界定及产沙输沙规律研究[M].河南 郑州:黄河水利出版社,2000.
- [2] 朱芷,周波,张富,等.黄土丘陵区淤地坝系田园综合体的构建模式[J].水土保持通报,2021,41(4):145-150.
- [3] 穆兴民,赵广举,高鹏,等.黄河未来输沙量态势及其适用性对策[J].水土保持通报,2020,40(5):328-332.
- [4] 温丽娜,周波,王立,等.淤地坝沟道植被覆盖/土地利用和土壤水分的分析[J].草原与草坪,2021,41(3):41-47.
- [5] 鞠琴,王尧,王哲,等.淤地坝和植被变化对渭河流域水沙情势的影响[J].水力发电,2021,47(6):18-24.
- [6] 郭晖,钟凌,郭利霞,等.淤地坝对流域水沙影响模拟研究[J].水资源与水工程学报,2021,32(2):124-134.
- [7] 穆兴民,赵广举,高鹏.黄土高原水沙变化新格局[M].北京:科学出版社,2019.
- [8] 马瑞,张富,周波,等.甘肃省淤地坝工程的溃坝风险评价模型[J].水土保持通报,2021,41(4):139-144.
- [9] 杨奇奇,靳峰,张富,等.甘肃黄河流域生态环境现状及防治对策[J].中国水土保持,2021(4):26-30.
- [10] 靳峰,张富,胡彦婷,等.半干旱区降水—土地利用变化与水沙响应关系[J].水土保持研究,2020,27(3):63-69.
- [11] 张富,姚进忠,雷升文.甘肃省水土保持综合治理效益研究[M].郑州:黄河水利出版社,2014.
- [12] 黄河上中游管理局.黄土高原淤地坝安全运用管理探讨[J].中国水土保持,2020(10):27-29.
- [13] 惠波,惠露,郭玉梅.黄土高原地区淤地坝“淤满”情况及防治策略[J].人民黄河,2020,42(5):108-111.
- [14] 王亮,聂兴山,郝瑞霞.淤地坝蓄水加固改造方案的渗流和稳定性分析[J].人民黄河,2021,43(4):137-141.
- [7] Tennant D L. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation, and related environmental resource [C] // Orsborn J F, Allman C H. Proceedings of Symposium and Speciality Conference on Instream Flow Needs (II); American Fisheries Society. Bethesda, Maryland, 1976, 359-373.
- [8] 杨志峰,崔宝山,刘静玲,等.生态环境需水量理论与方法与实践[M].北京:科学出版社,2003:22-32.
- [9] 李丽娟,郑红星.海滦河流域河流系统生态环境需水量计算[J].地理学报,2000,55(4):495-500.
- [10] 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.
- [11] 崔起,于颖.河道生态需水量计算方法综述[J].东北水利水电,2008,26(1):44-47.
- [12] 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):3310-3316.
- [13] 王顺久,张欣莉,倪长键.水资源优化配置原理及方法[M].北京:中国水利水电出版社,2007:84-96.
- [14] 李俊峰,叶茂,范文波,等.玛纳斯河流域生态与环境需水研究[J].干旱区资源与环境,2006,20(6):89-93.
- [15] 胡顺军,顾桂梅,李岳坦,等.塔里木河干流流域防治耕地盐碱化的生态需水量[J].干旱区资源与环境,2007,21(1):145-149.
- [16] 张永明,胡顺军,翟禄新,等.塔里木河河道自净需水量[J].兰州大学学报(自然科学版),2008,44(2):22-27.
- [17] 叶朝霞,陈亚宁,李卫红,等.塔里木河下游断流河道最小生态流量研究[J].自然科学进展,2008,18(5):531-537.
- [18] 蓝利.干旱内陆河流健康评价及需水研究:以叶尔羌河干流段为例[D].新疆 乌鲁木齐:新疆农业大学,2018.
- [19] 曹建军,刘永娟,沈琪.我国干旱半干旱地区生态需水研究进展[J].安徽农业科学,2010,38(25):13966-13969.

(上接第28页)