

渭河宝鸡段河流生态需水量估算

靳美娟

(宝鸡文理学院 地理与环境学院 陕西省灾害监测与机理模拟重点实验室, 陕西 宝鸡 721013)

摘要: 河流生态需水研究是水资源优化配置的基础性工作,也是维持和改善生态系统、实现水资源永续利用的保障。以渭河干流宝鸡段为例,基于生态基流、输沙需水和自净需水三方面考虑,最终估算出渭河宝鸡段现阶段河流生态需水量为 19.01 亿 m³。与渭河宝鸡段上游来水量相比,生态需水量缺口较大。最后从增加上游来水量、区段内的节水及控污、建立有效的管理体制等方面提出若干针对性建议。研究成果一定程度上丰富了生态环境需水理论研究,也为维护流域生态环境建设和水资源合理利用提供参考。

关键词: 生态基流;自净需水;输沙需水;生态需水;渭河

中图分类号: X143 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2014)01-0065-04

Estimation Analysis of Ecological Water Demand in Baoji Section of Weihe River

JIN Mei juan

(Shaanxi Key Laboratory of Disasters Monitoring and Mechanism Simulation, College of Geography and Environment, Baoji University of Arts and Sciences, Baoji 721013, China)

Abstract: Study on the river ecological water demand is not only the foundation of optimal allocation of water resources, but also the security to maintain and improve the ecological system and realize the sustainable utilization of water resources. In this paper, on the basis of the conception and component of ecological water demand, the ecological water demand in Baoji section of Weihe River was estimated from the perspectives of ecological base flow, water requirement for sediment transport, and water requirement for self purification, which was $19.01 \times 10^8 \text{ m}^3$. Compared with the upstream water, a big gap in ecological water demand still exists. Therefore, some feasible suggestions were proposed including the increasing of upstream water, water saving and pollution control in the section, and establishment of an effective management system. The research results not only enrich the ecological water demand theory, but also provide an important reference for the ecological environment construction and reasonable utilization of water resources.

Key words: ecological base flow; water demand for self purification; water demand for sediment transport; ecological water demand; Weihe River

水资源作为最基础的自然资源,能够维持生态系统的功能完整和良性循环,同时,它也是最重要的战略性资源,在国民经济和社会发展中发挥着举足轻重的作用。然而,在长期的水资源开发利用中,人们只考虑到生产、生活用水方面的经济效益,忽略了维护流域生态系统健康方面的需水,致使环境恶化、生态失衡、灾害频发。在这种背景下,河流生态需水问题逐渐被关注,并成为研究和讨论的热点问题之一^[1-2]。

渭河是我国北方地区缺水污染型河流的典型代表。渭河宝鸡段隶属渭河上游和中游段,全长 224 km,其中,以林

家村宝鸡峡大坝为界,以上 124 km 属上游段,宝鸡峡大坝以下至南乍村长度 100 km 属中游段,区间内有通关河、小水河、六川河、清姜河、金陵河、清水河、千河、马尾河、礆溪河、伐鱼河、石头河、霸王河、西沙河、汤峪河、东沙河等 10 多条主要支流汇入。干、支流上的主要灌区有宝鸡峡塬上灌区、宝鸡峡塬下灌区、石头河灌区、冯家山灌区。历史资料表明,自 20 世纪 70 年代宝鸡峡渠首引水工程¹建成以来,渭河宝鸡段河流径流量衰减剧烈,加之沿途城乡生产、生活污水的大量排放,自 2000 年以来林家村断面以下渭河水质污染情

收稿日期: 2013-09-15 修回日期: 2013-11-13 网络出版时间: 2013-12-17

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.3724/SP.J.1201.2014.01069.html>

基金项目: 宝鸡文理学院重点学科项目(ZK11023); 陕西省水利科技计划项目资助(陕财办农(2012)223号); 陕西省地理学重点学科资助

作者简介: 靳美娟(1978-),女,陕西临潼人,讲师,硕士,主要从事城市生态方面的研究。E-mail: jmj61@163.com.

¹ 宝鸡峡渠首工程具体引水口位置在宝鸡峡大坝出水口左侧。林家村水文站位于宝鸡峡枢纽工程以下 2 km 的林家村,属国家级水文站,监测项目齐全。文中所用林家村断面水文数据为宝鸡峡渠首引水后的监测数据。

况明显加重,潼关吊桥断面(渭河陕西省出省断面) COD、NH₃-N 的监测浓度均不能满足地表水环境质量标准 GB 3838 2002V 类标准限值要求^[3]。为此,本文基于河流生态需水的构成,从生态基流、输沙需水和自净需水三方面分别考虑,利用渠段内林家村和魏家堡两个水文站 1960 年-2006 年的经流数据,估算出现阶段渭河宝鸡段河流生态需水量,并结合渭河宝鸡段上游来水分配特征,提出保障生态需水量的若干措施,以期为维护流域生态环境建设和水资源合理利用提供参考。

1 河流生态需水的概念及组成

生态需水量概念目前尚无统一的定义。综合国内外相关研究成果,考虑到渭河宝鸡段缺水、多泥沙和重污染的特点,本文所界定的河流生态需水,是指一定时期内保障河道有足够流动的水以确保河流基本的生态环境功能不丧失的最低河流径流量,由生态基流、自净需水和输沙需水三部分组成。其中,生态基流是指维持河流生态系统运转的基本流量;自净需水是发挥河流对污染物质的自净作用所需要增加的河道最小水量;输沙需水是为维持河道内冲淤动态平衡所需要的河道流量。在输沙总量一定的情况下,输沙需水量主要取决于水流含沙量的大小。

2 研究方法选取

据统计,全球河道生态需水量的估算方法超过 200 种^[4],这些方法大致分为历史流量法、水力定额法、栖息地法和整体分析法四大类。每大类中都包含一些具体方法,而每种具体方法又各有特点和适用范围,在实际应用中,需要根据占有资料和研究目的,从众多的方法中选出一种或几种简单易行且满足河流生态系统保护要求的合适方法。

2.1 生态基流计算

生态基流的计算方法包括 Tennant 法、90% 保证率最枯月平均流量法、Texas 法、Hoopes 法、NGPRP 法、基流比例法^[5]等,其中, Tennant 法表现相对较优^[6],目前在国内外应用较为广泛^[7-10]。Tennant 法将年平均流量的百分比作为基流量,具有宏观、定性的指导意义。Tennant 等人通过分析美国 11 条河流的断面数据,建立了河宽、水深和流速等栖息地参数和流量的关系。研究表明,多年平均径流量的 10% 是保持河流生态系统健康的最低流量,多年平均径流量的 30% 能为大多数水生生物提供较好的栖息条件^[11]。本文选择此方法估算生态基流量。

2.2 自净需水量计算

理论上讲,由于河流本身具有一定的自净能力,只要保持河流最基本的生态基流量,一般可满足河流本身的自净功能。渭河作为宝鸡市主要的纳污通道,近年来由于两岸工农业生产、生活污水的大量排放,已经远远超过河流本身的自净能力,为此在生态基流的基础上需要增加水量以稀释污水浓度,所要增加的水量即为自净需水量。我国学者提出通过最小月平均流量法来计算自净需水量^[12]。最小月平均流量法是以河流最小月平均实测径流量的多年平均值作为河流自净需水量,该方法采用实测径流量作为计算依据。其具

体计算公式为:

$$W_b = \frac{T}{n} \sum_{i=1}^n \min(Q_j) \times 10^{-8} \quad (1)$$

式中: W_b 为自净需水量(亿 m³); Q_j 为第 i 年第 j 个月的月平均流量(m³/s); n 为统计年数; T 为换算系数,基值为 3 153.6 万 s。本文计算时以保证境内林家村断面一定径流量为前提,以魏家堡断面不发生断流为基本点,两个断面均采用 1960 年-2006 年的实测资料。

2.3 输沙需水量计算

输沙需水量是河道治理和水资源配置过程中,减轻河道淤积、维持河道稳定与提高河道输沙能力的重要的控制指标^[3]。一般情况下,根据来水和来沙条件,可将河道输沙需水分成汛期输沙需水和非汛期输沙需水。对于多泥沙的渭河而言,汛期(7 月-9 月)输沙量约占全年输沙总量的 90%^[14],故在本研究中忽略非汛期较小的输沙水量,认为完全可以通过实施人工调水调沙手段,充分利用汛期洪水较强的输沙能力完成输沙过程,维持河流形态的动态平衡^[15]。

根据上述原理,结合渭河干流的河床演变特点,渭河河道汛期最小输沙量可按下式计算:

$$W_s = S_i / C_{\max} \quad (2)$$

$$C_{\max} = \frac{1}{n} \sum_i \max(C_{ij}) \quad (3)$$

式中: W_s 为输沙需水量(亿 m³); S_i 为多年平均输沙量(t); C_{\max} 为多年最大月平均含沙量的平均值(t/m³); C_{ij} 为第 i 年 j 月的月平均含沙量(t/m³); n 为统计年数。为防止渭河中游淤积加剧,必须保证林家村至魏家堡两断面间有足够的输沙水量以保持冲淤平衡。

2.4 河流生态需水总量

综上,渭河宝鸡段河流生态需水总量为:

$$W = W_{\text{基}} + W_b + W_s \quad (4)$$

式中: W 为河流生态需水总量(亿 m³); $W_{\text{基}}$ 为生态基流量(亿 m³)。其余符号含义同上。

3 结果与分析

3.1 河道生态基流

选取 Tennant 法中的多年平均实测径流量的 10% 作为渭河河道生态基流量。通过对不同时期渭河各断面年平均流量的分析,生态基流量的估算结果见表 1。

表 1 渭河河道生态基流估算结果

亿 m ³		
年份	林家村	魏家堡
1960-1969	3.12	4.98
1970-1979	1.72	2.76
1980-1989	1.71	3.29
1990-1999	0.83	1.66
2000-2006	0.74	1.91
1960-2006	1.62	2.92

由表 1 可知,从 1960 年-2006 年渭河林家村、魏家堡两个断面的年生态基流总量分别为 1.62 亿 m³ 和 2.92 亿 m³,即维持渭河河道基本生态功能的最小流量分别为 5.14 m³/s、

9.26 m³/s。比较各时段内林家村、魏家堡两个断面的生态基流,发现:(1)在同一时段内,渭河生态基流量自上游到下游具有相对递增的趋势,比如在1960年-2006年林家村断面生态基流量为1.62亿m³,至魏家堡增加为2.92亿m³,其它时段变化亦如此。不难发现这是由于该区段沿途用水量增加所致;(2)从1960年至2006年的不同时段来看,两个断面的生态基流量总体递减,如林家村断面生态基流从1960年-1969年的3.12亿m³递减为2000年-2006年的0.74亿m³,魏家堡亦有同样变化,其根本原因在于实际径流量的剧减。进一步分析还发现,减幅较大的时段主要集中在20世纪70年代和90年代前后。这是由于1972年修建宝鸡峡渠首引水工程时,计划将上游河道水量的44%引水上塬进行农田灌溉,截止目前已超过90%,另外90年代以前渭河河道以自然因素影响为主,90年代以后,由于国民经济耗水量的不断增加,加之上游降雨量偏少,河道径流量大幅度衰减,渭河基本变成了季节河。

3.2 自净需水量

根据渭河流域水资源短缺和水质污染状况,采用渭河1960年-2006年47年的流量资料,利用最小月平均流量法式(1)计算林家村、魏家堡两个断面的年自净需水量,分别是

表2 渭河宝鸡段汛期各断面输沙需水量

Table 2 Water demand for sediment transport in Baoji section of Weihe River during the flood season

断面	输沙量		含沙量		输沙需水量 /亿m ³
	统计年份	多年平均输沙量/亿m ³	统计年份	多年平均最大月含沙量/(kg·m ³)	
林家村	1935-2000	1.25	1934-2000	198.82	6.26
魏家堡	1952-2000	1.24	1944-2000	131.38	9.40

3.4 渭河河流生态需水总量

综上,渭河宝鸡段河流生态需水量即为各断面对应的生态基流与自净需水量及汛期输沙需水量之和。根据公式(4)计算得出,林家村和魏家堡两个断面年生态需水总量分别为11.66亿m³、19.01亿m³。为了更好地保护渭河的生态环境,这里采取最大化原则,最终取魏家堡断面的年生态需水总量19.01亿m³作为维持渭河宝鸡段河流生态需水总量。

4 生态需水保障措施

栗晓玲等(2003)^[17]曾经分时段、分河段地利用降水量、蒸发量、径流量以及污水排放量等水文水质数据,计算出的魏家堡断面生态需水总量为16.91亿m³。这一结果与本文计算的结果相似。但是,近期(2000年-2007年)林家村站年平均来水量仅为10.71亿m³^[18],与此相比,渭河生态需水量缺口非常大。加上宝鸡峡引渭工程建成通水(1971年7月15日)后,年平均引水量占渭河来水量的31.6%,因此水资源调控势在必行。依据宝鸡市国民经济发展需求,同时结合渭河宝鸡上游实际来水量分配情况,建议采取以下措施来保障渭河河道生态需水量。

(1)增加上游来水量。首先,可以借鉴黑河流域生态调水的成功实例,渭河宝鸡段来水也可采取上游地区“分段轮关(引水口)轮灌(水)”^[19]、定期限制上游各引水口引水、全线闭口,集中下泄“行动”等措施,保证渭河宝鸡段具有充足水源;其次,将上游山区地段雨季的降水和洪水有效地存储

起来待到枯水期启用;最后,从周边临近丰水区跨区域调水,补给渭河干流不同区段,如引红济石、引汉济渭。

(2)区段内的节水及控污。现状水量的有限性要求合理用水。渭河宝鸡段水体除满足景观功能需求外,沿途农业灌溉是用水大户,因此积极开展节水灌溉方式和灌水技术的研究势在必行,如非充分灌溉、调亏灌溉技术和方法等,提高水资源的利用率。另外,渭河也是宝鸡城乡主要的排污通道,结合各段水域功能要求,核定水域纳污能力,划定入河污染限制红线,从经济、立法上采取严格的分段控制措施。

3.3 输沙需水量

渭河是多泥沙河流,其泥沙主要来源有两个方面,一是宝鸡峡枢纽以上流域产生、经宝鸡峡枢纽拦截后下泄的渭河泥沙;二是区间较大支流如清姜河、金陵河等带来的泥沙。输沙工作主要在汛期7月-9月份来完成,因此在河流生态需水研究中需考虑汛期输沙需水量。林家村采用1934年-2000年的数据,魏家堡采用1944年-2000年数据,根据式(2)、式(3)计算出林家村和魏家堡各断面的输沙需水量分别为6.26亿m³和9.40亿m³。具体见表2。7月-9月份汛期为维持泥沙的冲淤平衡,该区段已建成并投入使用的若干拦河闸将开闸泄水,以维持河段的天然状态。下游泥沙搬运量增加,所以输沙需水量也增加。

(3)建立有效的管理体制。包括:对耗水量大的企业实时动态监控,尤其是污水排放的实时监测;积极推行“谁投资,谁受益”和“谁用水,谁出资”的机制,通过股份制形式明确工程建设中的责、权、利关系;实行主要产品用水限额制,推行阶梯水价;建立高耗水设备及产品的淘汰替换机制;建立水体污染群众举报奖励监督机制。

参考文献(References):

- [1] 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. (LIU Chang-ming. Analysis on Water Supply and Demand in China in Twenty-first Century: Study on Ecological Water Conservancy [J]. China Water Resources, 1999, (10): 18-20. (in Chinese))
- [2] 夏军, 丰华丽. 生态水文学的发展与面临的挑战[A]. 水问题研究与进展[C]. 武汉: 湖北科技出版社, 2003. (XIA Jun, FENG Huali. Ecological Hydrology Development and Challenge [A].

- Guo Sheng lian. Research and Development of Water Problems [C]. Wuhan: Hubei Science and Technology Press, 2003. (in Chinese)
- [3] 郭巍. 渭河陕西段主要监控断面水质变化趋势分析[J]. 安全与环境工程, 2010, 17(5): 47-50. (GUO Wei. Water Quality Trend Analysis of the Main Control Sections of Wei River Reaches in Shaanxi Province[J]. Safety and Environmental Engineering, 2010, 17(5): 47-50. (in Chinese))
- [4] Tharme RE. A Global Perspective on Environmental Flow Assessment: Emerging Trends in the Development and Application of Environmental Flow Methodologies for Rivers[J]. River Resappl, 2003, 19(4): 397-441.
- [5] 吴喜军, 李怀恩, 董颖, 等. 基于基流比例法的渭河生态基流计算[J]. 农业工程学报, 2011, 27(10): 154-159. (WU Xi jun, LI Hua en, DONG Ying, et al. Calculation of Ecological Basic Flow of Weihe River Based on Basic Flow Ratio Method[J]. Transactions of the Case, 2011, 27(10): 154-159. (in Chinese))
- [6] 于松延, 徐宗学, 武玮. 基于多种水文学方法估算渭河关中段生态基流[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2013, 49(2/3): 175-179. (YU Song-yan, XU Zong-xue, WU Wei. Ecological Baseflow in the Guanzhong Reach of the Wei River Estimated by Using Different Hydrological Methods[J]. Journal of Beijing Normal University(Natural Science), 2013, 49(2/3): 175-179. (in Chinese))
- [7] 尚小英. 渭河宝鸡市区段生态基流调控研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2010. (SHANG Xiaoying. Study on Regulation of Ecological Basic Flow in Baoji City Segment of Weihe River[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2010. (in Chinese))
- [8] 杨涛, 李怀恩, 张亚平, 等. 渭河宝鸡市区段河道生态基流量初步研究[J]. 水资源与水工程学报, 2007, 18(5): 17-22. (YANG Tao, LI Hua en, ZHANG Ya ping, et al. Study on the Ecological Basic Flow in Baoji City Reach of Weihe River[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2007, 18(5): 17-22. (in Chinese))
- [9] 辛琛, 赵婉玲. 渭河中下游生态基流量计算分析[J]. 水资源与水工程学报, 2008, 19(3): 90-97. (XIN Chen, ZHAO Wan ling. Calculation of Ecological Base Flow in the Middle and Lower Reaches of the Weihe River[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2008, 19(3): 90-97. (in Chinese))
- [10] 武玮, 徐宗学, 左德鹏. 渭河关中段生态基流量估算研究[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(10): 68-74. (WU Wei, XU Zong-xue, ZUO De peng. Ecological Baseflow in the Guanzhong Reach of the Wei River[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2011, 25(10): 68-74. (in Chinese))
- [11] Tennant D L. Instream Flow Regimes for Fish, Wildlife, Recreation and Related Environmental Resources[J]. Fisheries, 1976, 1(4): 6-10.
- [12] 宋进喜, 李怀恩. 渭河生态环境需水量研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004. (SONG Jir xi, LI Hua en. Research on Water Demand of Ecological Environment of Weihe River [M]. Beijing: China Water Conservancy and Hydropower Press, 2004. (in Chinese))
- [13] 张燕菁, 胡春宏, 王延贵, 等. 辽河干流河道演变与维持河道稳定的输沙水量研究[J]. 水利学报, 2007, 38(2): 176-181. (ZHANG Yan-jing, HU Chun-hong, WANG Yan-gui, et al. Evolution of Trunk Stream Channel of Liaohe River and the Runoff for Sediment Transport to Maintain the Stability of the River Channel[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007, 38(2): 176-181. (in Chinese))
- [14] 张翠萍, 张原锋, 高际萍. 渭河下游近期水沙特性及冲淤规律[J]. 泥沙研究, 1999, (3): 17-25. (ZHANG Cui-ping, ZHANG Yuan-feng, GAO Ji-ping. Characteristics of Runoff, Sediment and Fluvial Processes in the Lower Weihe River in Recent Years [J]. Journal of Sediment Research, 1999, (3): 17-25. (in Chinese))
- [15] 王雁林, 王文科, 杨泽元. 陕西省渭河流域生态环境需水量探讨[J]. 自然资源学报, 2004, 19(1): 69-78. (WAN Yan-lin, WANG Wen-ke, YANG Ze-yuan. Discussion on environmental water demande in Weihe river basin of Shaanxi Province[J]. Journal of Natural Resources, 2004, 19(1): 69-78. (in Chinese))
- [16] 董卫民, 张晓俊, 张耀宽. 渭河宝鸡段水污染控制对策与建议[A]. 中国环境科学学会 2006 年学术年会优秀论文集(中卷)[C]. 2006: 2093-2095. (DONG Wei-min, ZHANG Xiao-jun, ZHANG Yao-kuan. Countermeasures and Suggestions of Water Pollution Control in Baoji Section of Weihe River[A]. Outstanding Academic Conference Proceedings in 2006 China Environmental Science Society (volume) [C]. 2006: 2093-2095. (in Chinese))
- [17] 粟晓玲, 康绍忠. 生态需水的概念及其计算方法[J]. 水科学进展, 2003, 14(6): 740-744. (SU Xiao-ling, KANG Shao-zhong. Concept of Ecological Water Requirement and Its Estimation Method[J]. Advances in Water Science, 2003, 14(6): 740-744. (in Chinese))
- [18] 薛亚莉. 跨流域调水工程对渭河径流的影响[J]. 人民黄河, 2012, 34(7): 30-32. (XUE Ya-li. Influence of Inter Basin Diversion Projects to the Weihe River Runoff[J]. Yellow River, 2012, 34(7): 30-32. (in Chinese))
- [19] 陈学林. 2000-2004 年黑河流域生态调水[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(2): 104-108. (CHEN Xue-lin. The Ecological Water Dispatching in the Heihe River from 2000 to 2004[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2006, 20(2): 104-108. (in Chinese))