

基于RVA的渭河中下游生态环境需水及其满足度研究

马晓超, 粟晓玲*

(西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 维持河流生态环境系统健康的关键在于满足河流生态环境需水。变动范围法(RVA)被广泛应用于河流水文情势的变化研究。提出了基于RVA阈值的生态环境需水计算方法。将该方法应用到渭河中下游林家村、咸阳和华县三个断面, 得出三个断面的生态环境需水分别为5.295亿 m^3 、11.274亿 m^3 和23.908亿 m^3 。与三个断面以往的研究结果相比, 该方法具有一定的适用性。通过分析三个断面不同时期的生态需水满足度, 得出三个断面的生态需水满足度最小值出现时间集中于汛期的5月、6月、8月和9月。因而在进行水资源配置时, 应注意汛期的生态环境需水调度。

关键词: 生态环境需水; 变动范围法(RVA); 生态需水满足度; 渭河中下游

中图分类号: TV212.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)06-0220-05

Research on the eco-environment water requirements and it's satisfaction of the middle and downstream of Weihe River based on RVA

MA Xiao-chao, SU Xiao-ling*

(College of Water Resource and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: The key to keep healthy river eco-environment system is to meet its eco-environment water requirements. The Range of Variability Approach (RVA) is widely used to study the river hydrological change. This paper put forward the calculation method for the eco-environment water requirements based on the RVA threshold. This method has been applied to three sections as Linjiacun, Xianyang, Huaxian in the middle and downstream of Weihe River, obtained the eco-environment water requirements of these three sections was 529.5 million m^3 , 1.1274 billion m^3 and 2.3908 billion m^3 , respectively. Compared with the past research results, this method has certain applicability. By analyzing the satisfaction of ecological water requirements at different period in these three sections, obtained the minimum value of the satisfaction was occurred and focus on the flood season as May, June, August and September. As a result, when carries out the water resources allocation, the eco-environment water requirements in flood season should be more paid attention.

Keywords: eco-environment water requirements; Range of Variability Approach (RVA); satisfaction of ecological water requirement; middle and downstream of Weihe River

随着河流水资源的开发利用程度不断提高, 河流生态环境系统受到很大的影响, 引发诸如河道流量显著减少、断流现象明显增多、水污染日益严重、旱涝灾害频发等生态问题。维持健康的河流生态环境系统, 关键是要满足其生态环境需水。

目前, 国内外关于生态环境需水的估算方法很多, 如7Q10法、Tennant法(Montana法)、基础流量法

(Basic Flow Method, BFM)、湿周法、生态水力半径法等, 大致分为水文指标法、水力分级法、生物模拟法、整体分析法四类^[1-2]。尽管估算方法众多, 但是大多比较繁琐, 或是受到资料限制, 没有一种比较简便的考虑河流水文情势变化的估算方法。

Richter等提出了能够代表河流流量与生态关系的用以评估河流生态水文变化的IHA指标体系。

收稿日期: 2013-06-23

基金项目: 水利部公益性行业专项经费项目(201301016-01)

作者简介: 马晓超(1987—), 女, 河北深州人, 硕士研究生, 研究方向为水资源利用与管理。E-mail: dumeiaoxue_2006@yahoo.com.cn。

* 通信作者: 粟晓玲(1968—), 女, 四川开江县人, 教授, 博士, 主要从事水资源规划与管理方面的教学与科研工作。E-mail: suxiaoling17@

126.com。

该指标体系以日水文资料(多为流量资料)为数据支撑,以表征河流水文情势的基本特征(量、时间、频率、延时和变化率)为基础,将水文序列统计参数分为5组,33个与河流生态系统相互关联的指标^[3-7]。RVA法是基于IHA指标的用以评价大坝、水库等水利工程对天然径流水文情势影响的方法。其研究内容包括:评价人类活动影响前后各IHA的变异程度;确定RVA阈值;确定河流整体水文情势的改变程度。研究中采用IHA各指标发生机率75%和25%的值或是指标平均值加减一标准偏差作为各IHA指标的上下限(即RVA阈值)。目前,国内外普遍采用RVA法确定人类活动影响下河流生态水文特征的变化,以便深刻认识河流水文情势与生态系统、生态环境在流量、历时、频率、发生时间及变化率之间的密切关系。

本文依据渭河中下游林家村站(1950—2010年)、咸阳站(1950—2010年)和华县站(1951—2010年)的日流量数据,采用RVA法,计算了林家村、咸阳和华县三个断面的生态环境需水,并对三个断面的生态需水满足度进行了分析计算。

1 研究区概况

渭河是黄河第一大支流,发源于甘肃省渭源县的鸟鼠山,流域涉及甘肃、宁夏、陕西三省(区),在陕西省的潼关县港口镇流入黄河。流域面积13.5万km²。干流全长818 km。宝鸡峡以上为上游,河长430 km;宝鸡峡至咸阳为中游,河长177 km;咸阳至入黄口为下游,河长211 km。渭河水资源开发利用程度较高,河道径流量显著减少,导致渭河中下游流域生态环境用水受到挤占,使得生态基流得不到满足,中下游流域生态环境急剧恶化,生态系统遭到胁迫,对区域社会经济发展及人类生活将产生影响,因而对渭河中下游的生态环境需水研究十分必要。

近年来也有学者做过渭河中下游河段生态环境需水方面的研究,但大都研究生态基流量或是河道输沙等某一方面的内容,整体对渭河中下游河流生态环境需水的研究较少^[8-13]。

2 研究方法

2.1 生态环境需水

本文采用IHA软件统计林家村、咸阳和华县三个断面的IHA指标,将指标发生机率75%和25%的值作为RVA阈值^[4]。

有报告指出,可将RVA阈值差值的1/4作为生态需水流量^[14]。舒畅等^[15]认为河流流量均值的变

化范围应该等于或低于RVA阈值的差值。综合考虑RVA的运算算法,即河流水文情势未受到影响时,在RVA阈值差值的50%左右变动的河流流量才能维持河流生态系统的健康,因此本文提出了生态环境需水的RVA计算方法:

$$E_k = 50\% \times (RVA_{k上} - RVA_{k下}) \quad (1)$$

式中, E_k 表示第 k 月的生态环境需水($m^3 \cdot s^{-1}$); $RVA_{k上}$ 表示第 k 月的RVA阈值上限,即该月逐日流量发生几率为75%的值($m^3 \cdot s^{-1}$); $RVA_{k下}$ 表示第 k 月的RVA阈值下限,即该月逐日流量发生几率为25%的值($m^3 \cdot s^{-1}$)。

2.2 生态需水满足度

生态需水满足度即计算时段内,河流流量能够满足生态环境需水的天数与总天数的比值。该值越大,表明该时段流量能够满足河流的生态环境需水要求,生态满足度越高,河流生态系统越健康。

生态需水满足度的公式为:

$$\alpha_{ij} = \frac{D_{ij}}{D} = \frac{\sum \text{sgn}(Q_{ijk} - Q_j)}{D} \quad (2)$$

式中, α_{ij} 表示第 i 年第 j 月的生态需水满足度; D_{ij} 表示第 i 年第 j 月生态环境需水的满足天数(d); D 表示第 i 年第 j 月的总天数(d)。

其中:

$$\text{sgn}(Q_{ijk} - Q_j) = \begin{cases} 1 & Q_{ijk} > Q_j \\ 0 & Q_{ijk} < Q_j \end{cases} \quad (3)$$

式中, Q_{ijk} 表示第 i 年第 j 月第 k 日的河道流量($m^3 \cdot s^{-1}$); Q_j 表示第 i 年第 j 月的生态环境流量($m^3 \cdot s^{-1}$)。

根据不同年份的各月生态需水满足度计算结果,统计不同年代各月的生态需水满足度。

3 结果分析

3.1 生态环境需水计算结果

林家村、咸阳和华县三个断面的河流生态环境需水计算结果如表1所示。

由计算结果可知,渭河中下游林家村、咸阳和华县三个断面的生态环境需水分别为 $5.295 \times 10^8 m^3$ 、 $11.274 \times 10^8 m^3$ 和 $23.908 \times 10^8 m^3$ 。

3.2 生态环境需水评估

3.2.1 生态环境需水对比分析 渭河作为陕西省的母亲河,随着其生态环境问题的逐渐增多,不少专家学者对渭河流域陕西段的生态环境流量进行了分析研究^[8-13],研究结果见表2。采用Tennant法对林家村断面进行生态环境需水的研究中,吴喜军等^[10]采用的是1944—2008年林家村水文站的逐日流量

观测资料,辛琛等^[13]采用的是 1960—2006 年林家村断面的流量观测资料,本文选取的是 1950—2010 年林家村断面的逐日流量观测资料,在资料选取方面

与辛琛等比较一致。综合考虑,可认为本文的计算结果可以满足渭河中下游的河道生态环境需水,提出的 RVA 法具有一定的适用性。

表 1 渭河中下游生态环境需水计算表

Table 1 Calculation of eco-environment water requirements in middle and downstream of Weihe River

项目 Item	月份 Month												合计 Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
RVA 下限 Lower limit of RVA	19.62	21.93	29.3	35.71	28.14	28.3	59.38	56.58	62.02	61.84	48.49	21.19	
RVA 上限 Upper limit of RVA	30.65	32.27	43.73	52.56	85.36	64.37	101.7	112.9	118.5	114	74.48	42.71	
林家村 Linjiacun													
生态环境流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) Eco-environment water flow	5.515	5.17	7.215	8.425	28.61	18.035	21.16	28.16	28.24	26.08	12.995	10.76	16.789
生态环境需水/ 10^8m^3 Eco-environment water demand	0.148	0.125	0.193	0.218	0.766	0.467	0.567	0.754	0.732	0.699	0.337	0.288	5.295
RVA 下限 Lower limit of RVA	50.38	52.58	64.1	76.94	79.25	50.13	92.38	74.78	152.8	145.5	114.5	53.13	
RVA 上限 Upper limit of RVA	73.45	78.31	86.75	129.6	183.8	102.9	220.8	145.3	339.5	256.5	161.9	82.93	
咸阳 Xianyang													
生态环境流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) Eco-environment water flow	11.535	12.865	11.325	26.33	52.275	26.385	64.21	35.26	93.35	55.5	23.7	14.9	35.749
生态环境需水/ 10^8m^3 Eco-environment water demand	0.309	0.311	0.303	0.682	1.4	0.684	1.72	0.944	2.42	1.487	0.614	0.399	11.274
RVA 下限 Lower limit of RVA	75.47	84.39	109.4	110.9	114.9	72.02	185.1	139.3	241	224.2	177.4	72.68	
RVA 上限 Upper limit of RVA	98.35	110.4	147.6	217.5	323.9	155.1	474.4	389.3	644.5	451.7	252	151.3	
华县 Huaxian													
生态环境流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) Eco-environment water flow	11.44	13.005	19.1	53.3	104.5	41.54	144.65	125	201.75	113.75	37.3	39.31	75.811
生态环境需水/ 10^8m^3 Eco-environment water demand	0.306	0.315	0.512	1.382	2.799	1.077	3.874	3.348	5.229	3.047	0.967	1.053	23.908

3.2.2 生态需水满足度分析 林家村、咸阳和华县三个断面不同时期的生态需水满足度分析结果如图 1~图 3 所示。

林家村断面不同时期的生态需水满足度最小值均出现在 5 月份,不同时期 5—10 月的变化较复杂,1、2 月份的生态需水满足度比较稳定(见图 1)。生态需水满足度在 20 世纪 80 年代以前基本上维持在 0.7 以上,满足度较高。2000 年以后生态需水满足度整体呈现出先减少后增加的趋势,9 月份以后高于 20 世纪 90 年代同时期生态需水满足度。

咸阳断面不同时期的生态需水满足度最小值出现时间各有不同,主要集中在汛期的 5 月、6 月、8 月和 9 月(见图 2)。该断面的生态需水满足度值存在反复的波动状态,比较复杂。2000 年以后的 4—7 月份的生态需水满足度较低。

华县断面不同时期生态需水满足度最小值出现时间各有不同(见图 3),与咸阳断面类似,主要集中在汛期的 5 月、6 月、8 月和 9 月,且不同时期的生态需水满足度值变化比较复杂,1960 年以后的生态需水满足度均低于 0.8。

总体来说,对于林家村、咸阳和华县断面,汛期生态需水满足度值较小且波动较为复杂。研究表

明,宝鸡峡渠首多年平均引水占河道径流量比值为 43.78%。考虑到汛期为农作物生长期,饮水会相应增加,加之汛期蒸发增大且生态环境需水增加,虽然降水比较多,但仍会有生态环境需水不满足,因而汛期是保障生态环境需水的重要时段。

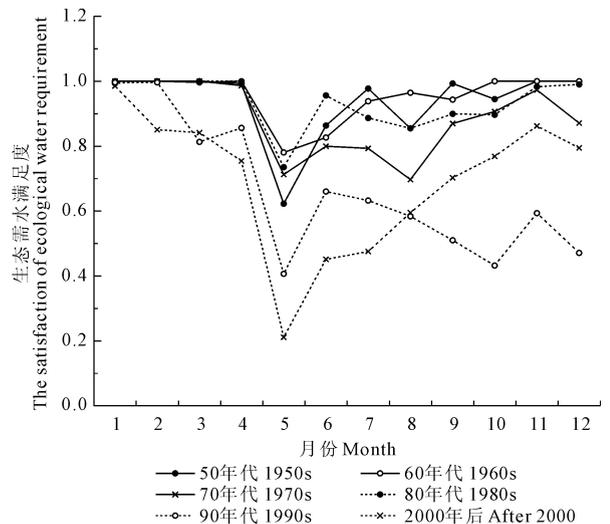


图 1 林家村断面生态需水满足度分布图

Fig.1 Distribution of ecological water requirement satisfaction in Linjiacun Section

表2 渭河流域陕西段生态环境流量研究成果表($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

Table 2 Research results of eco-environment water flow of Weihe River in Shaanxi Section

序号 Number	作者 Author	方法 Method	林家村 Linjiacun	咸阳 Xianyang	华县 Huaxian
1	李磊, 徐学宗 Li Lei, Xu Xuezhong	7Q ₁₀ 法 7Q ₁₀ method	17.38		
		Hoppe 法 Hoppe method	29.98		
		NGPRP 法 NGPRP method	9.69		
		基本流量法 Basic flow method	5.78		
		最枯月平均流量法 The dry month average flow method	6.93		
		90%保证率最枯月法 Minimum mean monthly flow method under 90% reliability	11.49		
		湿周法 Wetted perimeter method	14.84		
		R ₂ CROSS 法 R ₂ CROSS method	12.36		
2	张新华, 李红霞, 肖玉成, 等 Zhang Xinhua, Li Hongxia, Xiao Yucheng, et al	改进湿周法 Improved wetted perimeter method	10.6	23.2	52.6
		湿周法与 R ₂ CROSS 综合法 integrated method for wetted perimeter method and R ₂ CROSS method	12.4	23.3	30.1
3	吴喜军, 李怀恩, 董颖, 等 Wu Xijun, Li Huaen, Dong Ying, et al	基流比例法 Basic flow ratio method	5.02 ~ 36.73		
		只考虑枯水期的基流比例法 Basic flow ratio method for drought period	3.84 ~ 8.83		
		Tennant 法 Tennant method	6.6		
		最小月平均流量法 Minimum mean monthly flow method	17.9		
		90%保证率最小月平均流量法 Minimum mean monthly flow method under 90% reliability	5.25		
		Texas 法 Texas method	12.45		
4	王雁林, 王文科, 杨泽元 Wang Yanlin, Wang Wenke, Yang Zeyuan	最小月平均流量的多年均值 Average minimum monthly flow	12.75	31.22	34
5	粟晓玲, 康绍忠 Su Xiaoling, Kang Shaozhong	分项计算法 Partial calculation method		25.32*	39.8*
6	辛琛, 赵婉玲 Xin Chen, Zhao Wanling	Tennant 法 Tennant method	15.44	36.15	61.77
		最枯月实测径流量的多年平均值 Minimum monthly discharge method	11.98	41.03	61.8
	本文研究 Article research	RVA 法 RVA method	16.789 5.295*	36.745 11.588*	75.811 23.908*

注: 数字后加*号的单位为 10^8 m^3 , 指生态环境需水量; 其余单位均为 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 。

Note: All the numbers add an asterisk it is measured in 10^8 m^3 , refers to the ecological and environmental water requirement, the remaining units are $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

4 结论

1) 本文提出的 RVA 生态环境需水计算方法立足于河流生态水文特征的变化, 更能反映河流生态环境需水的要求, 且 20 年以上的逐日流量资料比较容易获得, 方法比较简便。

2) 将 RVA 法应用于渭河中下游林家村、咸阳和华县断面生态环境需水计算, 得到三个断面的生态环境需水分别为 $5.295 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $11.274 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $23.908 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。这与已有的研究成果基本上一致, 更接近于采用 Tennant 法的计算结果, 表明该方

法在渭河中下游具有一定的适用性。

3) 分析三个断面不同时期的生态需水满足度, 其最小值出现时间集中于汛期的 5 月、6 月、8 月和 9 月; 三个断面的生态需水满足度波动较为复杂, 汛期尤为明显。

4) 以上研究可以为渭河中下游流域水资源合理配置及河流生态调度提供一定的参考。但由于河流生态环境系统的复杂性, 本文提出的方法能否广泛应用于半干旱地区的河流生态环境需水研究还有待更进一步的研究。

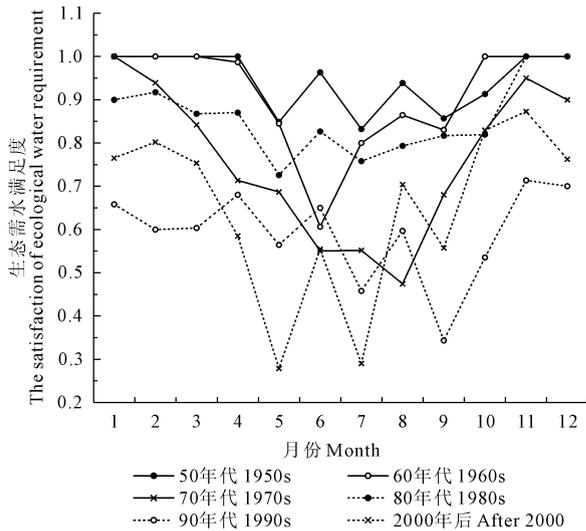


图 2 咸阳断面生态需水满足度分布图

Fig.2 Distribution of ecological water requirement satisfaction in Xianyang Section

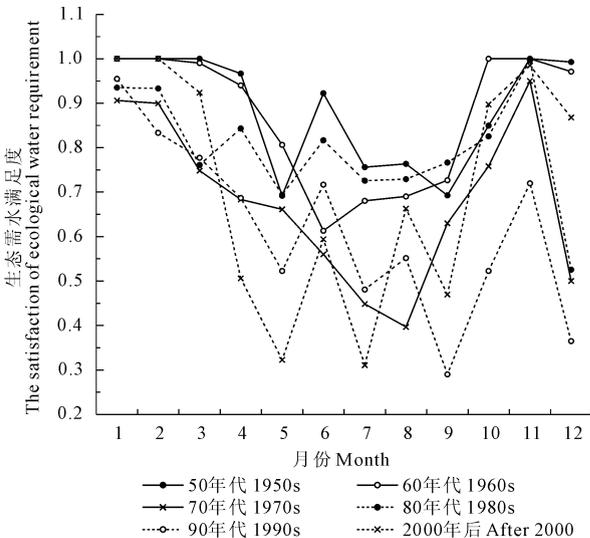


图 3 华县断面生态需水满足度分布图

Fig.3 Distribution of ecological water requirement satisfaction in Huaxian Section

参考文献:

- [1] 王西琴,刘 斌,张 远.环境流量界定与管理[M].北京:中国水利水电出版社,2010,33:84-110.
- [2] 钟华平,刘 恒,耿雷华.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.
- [3] 杨 涛,陈永勤,陈 喜,等.复杂环境下华南东江中上游流域筑坝导致的水文变异[J].湖泊科学,2009,21(1):135-142.
- [4] Ruth Mathews, Richter B D. Application of the indicators of hydrologic alteration software in environmental flow setting[J]. American Water Resources Association, 2007,43(6):1400-1413.
- [5] Richter B D, Baumgartner J V, Braun D P, et al. A Spatial assessment of hydrologic alteration within a river network[J]. Regulated Rivers: Research & Management, 1998,14:329-340.
- [6] 张洪波,辛 琛,王义民,等.宝鸡峡引水对渭河水文规律及生态系统的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2010,38(4):226-234.
- [7] Richter B D, Baumgartner J V, Powl J, et al. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystem[J]. Conservation Biology, 1996,10:1163-1174.
- [8] 张新华,李红霞,肖玉成,等.河流最小生态基础流量计算方法研究[J].中国水利水电科学研究院学报,2011,9(1):66-73.
- [9] 李 磊,徐宗学.基于 VB 6.0 的生态基流计算软件开发与应用[J].水土保持通报,2012,32(3):145-149.
- [10] 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.
- [11] 王雁林,王文科,杨泽元.陕西省渭河流域生态环境需水探讨[J].自然资源学报,2004,19(1):69-78.
- [12] 栗晓玲,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.
- [13] 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):90-92,97.
- [14] Ipswich River Fisheries Restoration Task Group. Ipswich River Fisheries Current Status and Restoration Approach[EB/OL]. <http://www.ipswich-river.org/Fish Rest Report.pdf>,2002.
- [15] 舒 畅,刘苏峡,莫兴国,等.基于变异性范围法(RVA)的河流生态流量估算[J].生态环境学报,2010,19(5):1151-1155.

(上接第 207 页)

- [19] Lee C S, Li X, Shi W, et al. Metal contamination in urban, suburban, and country park soils of Hong Kong: A study based on GIS and multivariate statistics[J]. Science of the Total Environment, 2006, 356(1-3):45-61.
- [20] Beckerman B, Jerrett M, Brook J R, et al. Correlation of nitrogen dioxide with other traffic pollutants near a major expressway[J]. Atmospheric Environment, 2008,42(2):275-290.
- [21] 邵 莉,肖化云.公路两侧大气颗粒物中的重金属污染特征及其影响因素[J].环境化学,2012,31(3):315-323.
- [22] 李仰征,马建华.高速公路旁土壤重金属污染及不同林带防护

- 效应比较[J].水土保持学报,2011,25(1):105-109.
- [23] 李 波,林玉锁,栾孝飞,等.宁连高速公路两侧土壤和农产品中重金属污染的研究[J].农业环境科学学报,2005,24(2):266-269.
- [24] 刘世梁,崔保山,温敏霞,等.路域土壤重金属含量空间变异的影响因子[J].环境科学学报,2008,28(2):253-260.
- [25] 杨宝玲,郑阿宝,阮宏华.沪宁高速公路绿色通道建设对土壤重金属污染的影响[J].南京林业大学学报(自然科学版),2012,36(1):149-151.