

计算生态需水的 RVA 法及其应用

陈启慧 夏自强 郝振纯 李琼芳

(河海大学水资源环境学院 ,江苏 南京 210098)

摘要 :RVA 法以水体天然状况为恢复目标 ,使用历史流量资料 ,从水文值大小、发生时间、发生频率、持续时间和变化率 5 个方面刻画人类活动干扰前后水体的水文特征值 ,据此建立河流流量管理模式 ,并可根据最新生态监测和研究结果对该模式进行适时调整。
关键词 :生态需水 水文学方法 水文特征值
中图分类号 :P333.9 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-693X(2005)03-0004-02

RVA method for the computation of ecological water requirement and its application

CHEN Qi-hui , XIA Zi-qiang , HAO Zhen-chun , LI Qiong-fang
(College of Water Resources and Environment , Hohai University , Nanjing 210098 , China)

Abstract :The Range of Variability Approach(RVA)method aims at restoring natural hydrologic regimes of water bodies. Hydrologic parameters of water bodies before human disturbance are described from five aspects , which are magnitude , time , frequency , duration and variance ration ,based on historical stream flow records. A stream flow management system is developed , which can be revised according to new ecological monitoring and research information.
Key words :ecological water requirement ; hydrological methodologies ; Range of Variability Approach

与生态需水有关的研究最早开始于美国 19 世纪 40 年代 ,至今已提出 200 多种生态需水量计算方法^[1] , 可分为水文学方法 (Hydrological methodologies)、水力学评价法 (Hydraulic rating methodologies)、生境模拟法 (Habitat simulation methodologies)和综合法 (Holistic methodologies)等。在现阶段 ,由于我国生态资料较少 ,生境模拟法和综合法都难于在我国应用 ,而水力学评价法需要现场数据 ,需要较长的时间和较大的人力和物力 ,应用也较为困难。

水文学方法是根据水文特征值对河流流量进行设定 ,例如平均流量的百分率或者天然流量频率曲线上的保证率 ,目前国内报道的较多的代表方法有 7Q10 法、Tennant 法、Texas 法、NGPRP 法、基本流量法 (Basic Flow)等^[2]。Richter 等^[3,4]于 1997 年提出 RVA (Range of Variability Approach)法建立河流流量

管理模式 ,该法自面世即受到广泛关注 ,在美国、加拿大、南非、澳大利亚等国家的 30 多项研究中得到应用 ,但至今国内鲜有报道。RVA 法不同于一般的水文学方法 ,它使用流量大小、发生时间、频率、持续时间和变化率 5 个方面的水文特征值对水体进行描述。RVA 法使用已有的历史流量数据推导河流生态流量 ,在具有较长的历史流量资料的地区即具备使用该类方法的条件。

1 RVA 法

RVA 法建立在 IHA (Indicators of Hydrologic Alteration)法^[4]的基础上。IHA 法根据河流的日水文资料 ,计算具有生态意义的关键水文特征值 (表 1) ,并计算它们年际的集中量数 (例如中位数 ,平均值)和离散量数 (例如范围 ,标准偏差 ,变异系数) ,以对人类活动干扰前 (资料系列长度大于 20 a ,选用资料

时需考虑能反映河流的天然状况 ,未受到人类活动干扰)和干扰后的河流水流模式进行描述。32 个水文特征值分为 5 组 ,分别反映流量大小、发生时间、频率、持续时间和变化率等水文特征。水文值的大小可以定义生境特征值如湿周等 ,特殊水文事件的发生时间与特定生物的生命过程需求是否得到满足有关 ,特殊水文事件的发生频率与生物繁殖或死亡事件有关 ,并进而影响种群动态变化 ,特定水文事件的持续时间可决定某特殊生命循环是否能完成 ,水文值的变化率与生物承受变化的能力有关。

表 1 IHA 法的水文参数及其特征

水文参数	特征	参数个数
月平均值	数量、时间	12
年最小 1 d、3 d、7 d、30 d、90 d 平均值	数量、持续时间	10
年最大 1 d、3 d、7 d、30 d、90 d 平均值		
年最大 1 天发生日期	时间	2
年最小 1 天发生日期		
每年高流量脉冲、低流量脉冲次数和平均持续时间	数量、频率和持续时间	4
涨幅年平均值	频率、变化率	4
降幅年平均值		
上涨次数		
下降次数		

IHA 法可以反映人类活动对 32 个水文特征值的影响。RVA 法以 IHA 法为基础计算河流生态需水 ,有 6 个基本步骤。①根据 IHA 法 ,给出天然状况下河流水流的 32 个水文特征值 ;②根据河流天然状况下的 32 个水文参数值 ,并参考有关生态资料 ,设定 32 个河流流量管理目标 ,即使未来 32 个水文参数目标值落在其自然变化范围内 ,例如落在平均值 $\pm 1SD$ (标准偏差)的范围内 ;③根据 32 个水文参数目标值 ,设计满足生态要求的新河流流量管理模式 ,并按设计指标进行实际操作 ;④对新流量模式下的生态因子(如鱼类种群、植物、水质、地貌过程和物种生境)进行监测 ,并评价新流量模式下的生态响应 ;⑤在每年年末 ,仍使用 32 个水文参数描述该年实际水流变化特征 ,并将这些参数值与目标值进行比较 ;⑥根据生态监测和评价结果 ,重新设定流量管理目标和流量管理模式 ,即重复② ~ ⑥。

RVA 法具有可操作性 ,并可根据最新研究结果及时更新改进河流流量模式 ,因此可满足河流管理部门的需要。

2 RVA 法在国外的应用

2.1 Roanoke 河水坝的生态运行

Brian D. Richter 等根据 IHA 法计算了水坝对 Roanoke 河水文情势的影响。在 1950 ~ 1955 年期

间 ,Roanoke 河的干支流上共修建了 4 个水坝 ,以 1913 ~ 1949 年期间的资料代表修坝前的状况 ,1956 ~ 1991 年期间的资料代表建坝后的状况。通过计算 ,发现水坝对该河水文情势变化的影响主要表现在以下几个方面 :①洪水次数减少 ,建坝前年年发生流速大于 85 m/s 的洪水事件 ,建坝后仅发生 5 次 ;②建坝后 ,高流量脉冲事件和低流量脉冲事件发生频率显著增加 ,但持续时间变短 ,水文过程曲线上涨和下降的次数增加 ;③年流速最小值变小 ,发生时间从秋季转移到冬季。

综合学者们的研究工作 :由于修建水坝导致 Roanoke 河水文情势的改变产生的生态影响包括 :①该河鲈鱼数量急剧下降 ,分析可能原因 ,一是受水坝影响 ,春季(5、6 月份)的平均流量增加 ,导致鲈鱼产卵成功率下降 ;二是由于水文过程曲线脉冲频率显著增加 ,栖息在岸缘的无脊椎动物因无法适应快速的干湿交替 ,使鲈鱼食饵数量减少。②由于洪水变小 ,持续时间变短 ,使洪泛区森林物种多样性降低。而且森林的改变对迁徙的鸟类也产生影响。

通过比较建坝前后的河流水文特征值 ,Brian D. Richter 等认为 ,原来以发电、防洪为主的水坝运行方式应作调整 ,新的生态运行方式应实现 4 个目标 :①恢复洪水 ;②恢复年最大流量和年最小流量的自然发生时间 ;③减少水流过程脉冲事件的频率和延长脉冲事件的持续时间 ;④降低水文值的变化率。并要求对调整后水坝运行方式的生态响应进行监测 ,如底栖大型无脊椎动物、本地鱼类和洪泛平原的植物群落等。

从 1989 年开始 ,Roanoke 河流量管理委员会对原水坝运行方式进行了部分调整 ,在每年 4 月 1 日至 6 月 15 日的鲈鱼产卵期内 ,将流量控制在建坝前日流量的第 25 百分位数和第 75 百分位数之间 ,并且使流量的变化率小于 $42\text{ m}^3/(\text{s}\cdot\text{h})$,结果发现鲈鱼的数量明显增加。此次对 Roanoke 河水坝进行运行调整仅恢复了 RVA 法中部分水文参数 ,生态效益就很明显 ,这说明使用 RVA 法时可采用循序渐进的方式。

2.2 Colorado 河恢复洪水

洪水是存在了千万年的自然现象 ,河流生态系统的主要生物过程包括生产、分解和消费均由洪泛平原驱动。但是 ,人类的水资源活动严重影响洪水过程 ,例如建坝对洪泛平原的影响最大 ,使得洪泛平原淹没消失 ,河道和洪泛平原的联系切断 ,洪泛平原不再能为河流鱼类提供有机物质。

1996 年 3 月 22 日至 1996 年 4 月 7 日 ,为了恢复 Colorado 河 Hoover 大坝放水 ,在开始的(下转第 11 页)

和谐,即系统 S 的生存条件是由环境 E_S 提供的,也就是说由输入 I 和输出 O 提供的。所以系统 S 稳定的充分必要条件就是:输入的生存条件包含在系统的输入中,并且输出的生存条件包含在系统的输出中。我们将这一条件称为系统与环境和谐条件。

4 水安全系统的演化

4.1 系统的稳定状态

把水安全系统的稳定状态定义为:使社会物质产品的生产和消费获得持续性成长的系统状态,这是以人为中心,确定人与自然相互作用关系和谐的标准。当系统在失稳情况下,受趋稳原理支配,系统的组成部分发生相应的变化,以完成系统模式与结构的转变,寻求新的稳定。如果这种转变成功,则系统作安全进化,或者说这是一个良好的水安全系统。

水安全系统的稳态条件是:①人类活动对水的作用必须限制在其承载力之内;②水资源的使用强度应限制在其最大可再生量之内;③废物的排放强度不应超过水系统的净化能力和人类的生理忍受界限^[4]。这3项条件既能确保社会经济的持久存在,又能确保水系统的持续的良性运转,是水安全系统稳定状态的充分和必要条件。

4.2 突破性变化与适应性变化

a. 突破性变化。决定水安全系统中的水系统稳定和应变能力有3个要素:承载力、缓冲力、恢复力。处于经济发达工业地区的区域相对于经济不发达的农业地区的区域,前者对于洪水侵害的承载力和缓冲力较高而且恢复力强。有的区域承载力和缓冲力低,而恢复力也低。对于承载力和缓冲力低且恢复力高的地区,需要进行很好的规划管理。还有的区域具有较高的承载力、缓冲力和较低的恢复力。上述几种情况列于表1。

表 1 区域承载力、缓冲力和恢复力对环境的影响		
恢复力	承载力和缓冲力	
	高	低
高	只有在很差的管理之下,生存环境才能恶化	生存环境易恶化,在好的管理下易恢复
低	有一定的抵御能力,但超过阈值后难以恢复	易恶化,环境管理措施无效,人类不宜干预

从表1分析可知,恢复力高的水安全系统具有负反馈的特性,在受到外界干扰后,能较快地恢复原状,恢复力低的系统具有正反馈的机制,受到外界干扰后,常常偏离原状态而难以恢复,从而对人类或环境造成较大的影响,并且这种影响变异被继承,在时间维上不断累积,可能造成水安全系统发生突破性变化。

b. 适应性变化。当出现突破性变化使水安全系统进入失稳状态后,受系统的趋稳原理和协同进化原理支配,适应性变化开始产生,经过一段时间的反馈调适,系统又重新达到稳定状态。但是,适应性变化的能力是有限的,即不能超出系统的承载力和缓冲力,超过一定的限度,负反馈机制就不起作用,系统的结构和功能就会遭到破坏,甚至导致系统的崩溃。适应性变化的方向应是有利于建立新的平衡,促进人与自然关系的和谐。

参考文献:

[1] 陈绍金. 流域管理方略研究 [M]. 长沙: 湖南人民出版社, 2003. 8 ~ 10.

[2] 冯尚友. 水持续利用与管理导论 [M]. 北京: 科学出版社, 2000. 36 ~ 38.

[3] 王慧敏. 流域可持续发展系统理论与方法 [M]. 南京: 河海大学出版社, 2000. 41 ~ 44.

[4] 冯尚友, 刘国全. 水资源生态经济复合系统及其持续发展 [J]. 武汉水利电力大学学报, 1995, 28(6): 62 ~ 64.

(收稿日期 2004-05-10 编辑 舒建)

(上接第5页)前4d,流量为226.4m³/s,到3月26日,流量每小时增加113.2 m³/s,27日达636.75 m³/s,并在以后7d保持该流量。4月2日至7日,为有利于泥沙最大程度地沉积,分3步使流量下降。此次水文试验对洪水过程及其对河流生态系统的影响进行了跟踪监测:①至少在大峡谷形成55个大的新沙滩;②超过半数的已有沙滩面积增大;③为驼背白鲑等濒危鱼类提供了栖息地;④清洗了死水地区的有机碎屑(主要是在近岸生长的非本地植物种类)。Colorado河的洪水恢复试验说明,如果人类顺应洪水,依托洪水,洪水就是可利用资源。

参考文献:

[1] Tharme R E. A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for river[J]. River Research and Applications, 2003, 19(4): 397 ~ 441.

[2] 杨志峰, 张远. 河道生态环境需水研究方法比较 [J]. 水动力学研究与进展, 2003, 18(3): 294 ~ 301.

[3] Richter B D. How much water does a river need? [J]. Freshwater Biology, 1997, 37(2): 231 ~ 249.

[4] Richter B D, Baumgartner J V, Powell J, et al. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems [J]. Conservation Biology, 1996, 10(4): 1163 ~ 1174.

(收稿日期 2004-10-14 编辑 舒建)