

生态径流评价中的 Tennant 法应用

郭利丹^{1,2,*}, 夏自强^{1,2}, 林虹³, 王勇⁴

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 南京 210098; 2. 河海大学水文水资源学院, 南京 210098;

3. 福建省水文水资源勘测局, 福州 350001; 4. 陕西省铜川市水务局, 铜川 727031)

摘要: Tennant 法在生态径流研究中起着重要作用。但是, 对于保护河流生命健康与维持生物多样性来说, Tennant 法存在着某些不合理之处; 在具体应用中又有年均值比和同期均值比之别。鉴于 Tennant 法在我国应用较为广泛, 文中对该方法的合理性及应用中的不同理解进行了探讨和评价。认为: Tennant 法在生态径流评价中存在一定局限性; Tennant 法的同期均值比相对年均值比合理。

关键词: Tennant 法; 生态径流; 年均值比; 同期均值比

文章编号: 1000-0933(2009)04-1787-06 中图分类号: Q143 文献标识码: A

Researches on application of the tennant method in ecological flow evaluation

GUO Li-Dan^{1,2,*}, XIA Zi-Qiang^{1,2}, LIN Hong³, WANG Yong⁴

1 State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China

2 College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China

3 Survey Bureau of Hydrology and Water Resources in Fujian Province, Fuzhou 350001, China

4 Tongchuan Water Authority in Shanxi Province, Tongchuan 727031, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(4): 1787 ~ 1792.

Abstract: The Tennant method plays an important role in computing ecological flow. However, with river health protection and biodiversity maintenance being taken into account, the Tennant method exhibits some irrationalities. On the basis of two different understandings to the Tennant method, there are two approaches to setting ecological flow: one using the percent of the average annual flow and the other using the percents of the average flow in the same periods (the whole year being divided into several periods). Since the method is widely applied in China, the paper discusses and evaluates the applicability of the Tennant method and the two approaches for ecological flow computation preliminarily. The results show that there are some limitations of the Tennant method in ecological flow evaluation, and the second approach is more reasonable than the first one.

Key Words: the Tennant method; ecological flow; percent of the average annual flow; percents of the average flow in the same periods

任何一种方法在其产生、发展和延伸的过程中都有其两面性。在参考任何一种外来方法时, 首先应对其方法本身的合理性和地区实用性进行考究。同样, Tennant 法有其自身的来源、参数涵义和特点及应用价值, 是目前河流生态径流研究中属于水文指标法的一种常用方法。由于其应用简单、方便的特点在国内外的河流生态径流研究中得到了广泛应用。尽管该方法在我国应用历史较早, 但至今对方法尚没有一个正确的、统一的理解, 需要对其评价标准作进一步研究, 以适合我国河流研究的需求。

基金项目: 国家自然科学基金重大课题资助项目(30490235)

收稿日期: 2007-11-07; 修订日期: 2008-08-29

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: guolidan1983@sina.com

1 Tennant 法介绍

Tennant 法也叫蒙大拿 (Montana) 法^[1~4], 是 Tennant 等人 1964 ~ 1974 年对美国 3 个州的 11 条河流实施了详细的野外调查研究, 在 196 英里长的 58 个横断面上分析了 38 个不同流量下的物理、化学和生物信息对冷水和暖水渔业的影响后, 于 1976 年由 Tennant 提出来的, 属于非现场测定类型的标准设定法。

在 Tennant 法中, 以预先确定的多年平均流量百分数为基础, 将保护水生态和水环境的河流流量推荐值分为最大允许极限值、最佳范围值、极好状态值、很好状态值、良好状态值、一般或较差状态值、差或最小状态值和极差状态值等 1 个高限标准、1 个最佳范围标准和 6 个低限标准。在上述 6 个低限标准中, 又依据水生生物对环境的季节性要求不同, 分为 4 ~ 9 月份鱼类产卵育肥期和 10 月 ~ 翌年 3 月份一般用水期。对一般河流而言, 河道内流量占多年平均流量的 100% ~ 60% 时, 河宽、水深及流速将为水生生物提供优良的生长环境, 大部分河道的急流与浅滩将被淹没, 只有少数卵石、沙坝露出水面, 岸边滩地将成为鱼类能够游及的地带, 岸边植物将有充足的水量, 无脊椎动物种类繁多、数量丰富, 可以满足捕鱼、划船及大游艇航行的要求; 河道内流量占多年平均流量的 60% ~ 30% 以上时, 河宽、水深及流速一般是令人满意的, 除极宽的浅滩外, 大部分浅滩能被淹没, 大部分边槽将有水流, 许多河岸能够成为鱼类的活动区, 无脊椎动物有所减少, 但对鱼类觅食影响不大, 可以满足捕鱼、划船和一般旅游的要求, 河流及天然景色还是令人满意的; 河道内流量占多年平均流量的 10% ~ 5% 以上时, 对于大江大河仍然有一定的河宽、水深和流速, 可以满足鱼类洄游、生存和旅游、景观的一般要求, 是保持绝大多数水生生物短时间生存所必需的瞬时最低流量。该方法中建立的水生生物、河流景观、娱乐和河流流量之间的关系标准, 见表 1。

表 1 保护鱼类、野生动物、娱乐和相关环境资源的河流流量状况

Table 1 Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources

流量的叙述性描述 Narrative description of flow	推荐的基流标准 (多年平均流量百分数) (%) Recommended base flow regimens (Percentages of Average Annual Flow)	
	10 ~ 3 月份 Oct. -Mar.	4 ~ 9 月份 Apr. -Sep.
极限或最大 Flushing or Maximum	200	200
最佳范围 Optimal Range	60 ~ 100	60 ~ 100
极好 Outstanding	40	60
很好 Excellent	30	50
良好 Good	20	40
一般或较差 Fair or Degrading	10	30
差或最小 Poor or Minimum	10	10
极差 Severe Degradation	0 ~ 10	0 ~ 10

Tennant 法在美国 16 个州使用, 通常在研究优先度不高的河段中作为河流流量推荐值使用或作为其他方法的一种检验。不仅适用于有水文站点的河流 (通过水文监测资料获得年平均流量, 并通过水文、气象资料了解汛期和非汛期的月份), 还适用于没有水文站点的河流 (通过水文计算来获得)。由于其仅仅使用历史流量资料就可以评价或估算生态需水量, 应用简单方便, 容易将计算结果和水资源规划相结合, 具有宏观指导意义。鉴于我国缺乏足够生态资料的现状, 使其可能成为我国河流生态径流研究中的一种常用方法。

2 Tennant 法在生态径流研究中的应用

2.1 Tennant 法的合理性分析

Tennant 法建立在干旱半干旱地区永久性河流的基础上, 将判别栖息地环境优劣的推荐基流标准设定在平均流量的 10% ~ 200% 范围内, 因而不适合干旱地区的季节性河流 (有零流量); 又由于它没有考虑河流的几何形态对流量的影响, 也未考虑流量变化大的河流, 在实际应用中, 应根据地区实际情况对其基流标准进行适当改进^[2]。此外, 根据河流生态径流理论^[5,6], Tennant 法不但不能保证河流天然的生态径流变化过程, 也不能保护河流的水文特征, 因而对河流生态系统的健康和稳定来说就存在很大缺陷。

徐志侠等^[3]曾专门对蒙大拿法(即 Tennant 法)进行过评述,他指出 Tennant 法中的年平均流量应为多年条件下、天然情况下的年平均流量。本文将这种以多年条件下的年平均流量百分比作为 Tennant 法评价或计算基准的理解称为 Tennant 法的年均值比(下同)。张枚^[8]、赵琪^[9]等很多学者在应用 Tennant 法时亦采用了年均值比的思想。

Tennant 法在其提出时,根据鱼类的繁殖规律将研究分期分为 10~3 月份和 4~9 月份两个时段,这固然有其合理性。但是在实际应用中,很多学者如崔树彬^[4]、张玫^[8]、门宝辉^[10]等根据实际需要不断地对 Tennant 法进行了改进。比如,张玫^[8]在分析南水北调西线一期工程调水地区河道生态环境需水时,就根据西线一期工程所在地区的特征分非汛期(11~5 月份)和汛期(6~10 月份)进行分析。

崔树彬^[4]曾在“三门峡以下水环境保护研究”中,根据黄河水系生态环境需水的季节性需求,划分 4~6 月份、7~10 月份和 11~3 月份 3 个时段来计算河流的生态环境需水量,并认为各时段生态环境最小需水量的底限标准应以河流同期的多年平均径流量为基准,同时给出了设定标准,即以各水期流量平均值的 100%~60% 为最佳状态、60%~30% 以上为上好状态、30%~20% 为尚可状态,并将 10% 和 5% 的平均流量定义为可忍受的最小流量和极端最小流量。本文将这种以多年条件下的同期平均流量百分比作为 Tennant 法评价或计算基准的理解称为 Tennant 法的同期均值比(下同)。夏自强^[5,6]、李捷^[7]、汤洁^[11]等在参照应用 Tennant 法时也采用了同期均值比的思想。门宝辉^[10]在利用 Tennant 法对南水北调西线一期工程的河道最小生态径流进行评价时,亦是依据逐月最小生态径流量占多年月平均流量的百分比进行的,可用计算式表示为:

$$W_R = 24 \times 3600 \times \sum_{i=1}^{12} M_i \times Q_i \times P_i \quad (1)$$

式(1)中, W_R 为河道生态环境需水量(m^3), M_i 为第 i 月的天数, Q_i 为第 i 月的多年平均流量(m^3/s), P_i 为对应第 i 月的推荐基流百分比(%)。

2.2 Tennant 法的年均值比与同期均值比的比较

洛河流域地处暖温带半干旱大陆性气候区,流域多年平均降雨量为 696.9mm,洛河能够保持常年的河川径流,因而在河流生态径流量的评价和粗略计算中可以参照 Tennant 法。

选取洛阳市境内洛河上游的长水站、下游的白马寺站和与伊河交汇处的黑石关站(以下简称洛河三站)1956~1980 年的逐月实测流量资料;采用新逐月频率计算法^[7]计算洛河三站的适宜生态径流量,即首先对尽可能长的天然月径流系列进行频率计算,取各月径流系列 50% 保证率对应的流量值作为该月的适宜生态径流量,年内各月的适宜生态径流量组成年内的适宜生态径流过程;然后分别采用 Tennant 法的年均值比和同期均值比对洛河的适宜生态径流量进行评价对比,结果见表 2。理论上,进行河流生态径流计算时应采用天然流量资料,但因缺乏洛河流域同时期的用水资料而无法进行还原,因此采用流域上人类活动对河川径流影响程度较小时期的实测流量资料代替天然流量资料进行计算,所得结果为现代下垫面条件下的河流生态径流量。

由表 2 可以看出,在保持河流适宜生态径流过程的条件下,洛河在各站址处的栖息地状态评价结果为:在丰水期(7~10 月份),同期均值比小于年均值比,同期均值比评价结果为良好~极好,年均值比评价结果为最佳~极限,特别是在洪水期年均值比很容易达到最大极限状态;在平水期(4~6 月、11 月份),同期均值比大于年均值比,同期均值比评价结果为良好~最佳,年均值比评价结果为差~最佳;在枯水期(12~3 月份),同期均值比亦大于年均值比,同期均值比评价结果均为最佳,年均值比评价结果为很好~极好。即在丰水期,年均值比极易超出最佳范围;在枯水期和平水期,同期均值比评价结果优于年均值比。

3 河流的适宜生态径流过程分析

河流的水文过程具有周期性变化规律,其量的大小在一定范围内随机变化,河流中所有生物的生命过程及种群结构特征已经完全适应了河流的水文特征。天然条件下,随机变化的水文过程不会对河流的物种和种群结构产生根本性影响,影响的只是生物量及物种种群大小的变化。可以说,在天然条件下的任何一种径流

过程,丰水年、平水年和枯水年的径流过程及其交替变化的水文特征,以及河流流量过程在年内分配上的丰水期、平水期和枯水期的变化特征(图1)等都具有相应的生态响应和特定的生态作用,河流生态系统处于一种自我调节和自我控制的健康生命环境中。正是河流的这种变化的水文特征决定了河流的生物多样性和物种种群结构特征。

表2 洛河三站适宜生态径流量的 Tennant 法评价

Table 2 Evaluation of optimum ecological flows of Luohe River at the three stations by the Tennant method

(a) 长水站 Changshui station												
项目 Item	1 月 Jan.	2 月 Feb.	3 月 Mar.	4 月 Apr.	5 月 May	6 月 Jun.	7 月 Jul.	8 月 Aug.	9 月 Sept.	10 月 Oct.	11 月 Nov.	12 月 Dec.
平均流量(m^3/s)	15.32	14.45	17.74	30.15	38.24	30.97	99.79	64.21	67.72	56.55	35.24	20.28
适宜生态径流(m^3/s)	13.52	12.75	15.33	25.18	21.16	19.30	47.21	36.73	30.25	27.65	25.41	18.02
同期均值比	88	88	86	84	55	62	47	57	45	49	72	89
评价结果	最佳	最佳	最佳	最佳	很好	最佳	良好	很好	良好	极好	最佳	最佳
年均值比(%)	33	31	37	62	52	47	115	90	74	68	62	44
评价结果	很好	很好	很好	最佳	很好	良好	极限	最佳	最佳	最佳	最佳	极好
(b) 白马寺站 Baimasi station												
项目 Item	1 月 Jan.	2 月 Feb.	3 月 Mar.	4 月 Apr.	5 月 May	6 月 Jun.	7 月 Jul.	8 月 Aug.	9 月 Sept.	10 月 Oct.	11 月 Nov.	12 月 Dec.
平均流量(m^3/s)	26.47	24.19	26.93	42.10	48.75	33.50	138.66	91.37	98.41	83.21	54.79	28.82
适宜生态径流(m^3/s)	23.16	21.05	23.24	33.75	22.40	16.56	61.29	49.23	56.90	39.87	41.16	24.94
同期均值比	87	87	86	80	46	49	44	54	58	48	75	87
评价结果	最佳	最佳	最佳	最佳	良好	良好	良好	很好	很好	极好	最佳	最佳
年均值比(%)	40	36	40	58	39	28	105	85	98	69	71	43
评价结果	极好	很好	极好	很好	一般	差	极限	最佳	最佳	最佳	最佳	极好
(c) 黑石关站 Heishiguan station												
项目 Item	1 月 Jan.	2 月 Feb.	3 月 Mar.	4 月 Apr.	5 月 May	6 月 Jun.	7 月 Jul.	8 月 Aug.	9 月 Sept.	10 月 Oct.	11 月 Nov.	12 月 Dec.
平均流量(m^3/s)	44.29	40.02	44.31	68.24	80.82	60.37	217.95	165.23	149.12	134.03	93.28	54.99
适宜生态径流(m^3/s)	39.12	34.93	39.90	51.86	39.29	32.80	97.02	82.29	76.34	69.90	62.23	38.48
同期均值比	88	87	90	76	49	54	45	50	51	52	67	70
评价结果	最佳	最佳	最佳	最佳	良好	很好	良好	很好	很好	极好	最佳	最佳
年均值比(%)	41	36	42	54	41	34	101	86	79	73	65	40
评价结果	极好	很好	极好	很好	良好	一般	极限	最佳	最佳	最佳	最佳	极好

表中各项为 all items in the table indicate; 平均流量 average flow, 适宜生态径流 optimum ecological flow; 同期均值比 percents of the average flow in the same periods, 年均值比 percent of the average annual flow, 评价结果 evaluation result; 极限 flushing flow, 最佳 optimal, 极好 outstanding, 很好 excellent, 良好 good, 一般 fair, 差 poor

确定合理可行的河流生态径流,对于保证取水断面以下水生态系统的稳定,保持河道及通江湖泊和湿地生态环境的健康至关重要。河流开发利用对水文过程和特征的影响将破坏河流生态系统的稳定性和物种的多样性,同时也会影响生物的资源量。因此,按照河流生态径流理论^[5,6],对生态径流的保护不但应该保护生态径流的过程,而且还必须保护其水文特征。

在径流破坏期,河流中的流量过程小于河流在自然条件下的最小生态径流过程时,河流的水文条件超过了生态系统和一些物种的耐受能力,将会导致物种消失、种群结构发生变化,生态系统可能遭受不可恢复的破坏;但河流中的流量也并非越大越好,在发生小概率的破坏性极大的洪水灾害时,河流生态系统的空间结构亦会发生重大变化。因而需要同时考虑河流生态系统对水量的需求以及在不同时期的不同需求,河流的生态径

流过程应是一个适宜的变化过程,即与天然径流相适应的、有丰有枯的年内变化过程。

一般认为,只要保持河流正常情况下的多年平均流量,就可以满足河流所需的适宜生态状况。然而,由于人类活动取用水等影响,河流的平均流量状态不易保持。因而,根据河流的水文特征(图1),从河流的生态系统需求、河流生物物种和生物群落多样性等方面来考虑,推荐采用新逐月频率算法^[7]计算河流的适宜生态径流过程;根据有利于生态系统稳定和物种生存繁衍的原则,认为新逐月频率算法所得的适宜生态径流过程是与河流的多年平均流量状态及其丰枯变化特征最

为吻合的一种生态径流过程,具有相应的丰枯变化特征,理论上应该能够保证河流的生态健康状况。因而采用新逐月频率算法得到的洛河三站的适宜生态径流量,符合其天然径流水文情势,并能够满足河流的生态适宜状况,从而能够保持河流自身的生态健康,利于河流周围生态栖息地保护^[7],而不会出现“一般”甚至“差”的状态。

河流生态径流计算的目的主要就是保证河道内流量过程能够满足水生生物的正常生活规律。由表2可以看出,根据同期均值比评价结果,洛河在丰水期已经能够保证河流适宜的生态状况,而采用年均值比评价时就超出了最佳范围达到极限状态,这一点不符合洛河的实际水文特征;在平水期,5~6月份的年均值比评价结果还出现了“一般”和“差”的状态,而对于采用新逐月频率算法得到河流适宜生态径流过程来说,这是不可能出现的。因此,在采用Tennant法计算或评价河流的某一流量过程时,根据河流生态系统随河流径流水文情势条件改变而改变的关系特征,分别将丰、平、枯水期的多年平均流量(即多年条件下的同期平均流量)作为各分期的计算基准,符合河川径流的丰枯变化特征,较年均值比相对有利于保持河流的生态健康状况。

4 结论

Tennant法,作为一种设定标准,它不能反映河流的水文过程、不足以反映河流的水文变化特征,其设定标准也不完全符合河流天然径流情势的变化特征,因而在作为其他方法的检验或者粗略计算河流的生态径流量时,都存在一定的局限性。根据河流生态径流理论,为了保护河流生态系统的稳定和健康,推荐采用逐月频率计算法的计算结果为河流的适宜生态径流过程。至于河流生态状况的评价标准,可以根据河流流量偏离河流适宜生态径流过程的程度来确定,这一点尚有待继续深入研究。

就Tennant法目前在河流生态径流研究中的应用而言,通过在洛河流域的实例验证,认为:Tennant法的同期均值比相对年均值比合理,即应以多年条件下的同期平均流量为基准计算河流各分期的流量推荐值或评价河流在某一径流过程时的栖息地生态状况;计算或评价的分期应该根据具体河流所处的具体地理位置、气候条件以及生态保护目标等适时划分,而不必拘泥于其原来确定的分期,一般可根据需要划分为丰、平、枯水期或者汛期和非汛期乃至逐月等。

References:

- [1] Tennant D L. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation, and related environmental resources, In: Orsborn J. F. and Allman C. H. eds. Proceedings of Symposium and Speciality Conference on Instream Flow Needs II. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, 1976. 359—373.
- [2] Zhong H P, Liu H, Huo L H. Review of assessment methods for instream ecological flow requirements. Advances in Water Science, 2006,17(3): 430—434.
- [3] Xu Z X, Dong Z C, Zhou J K. Montana method and its application in calculation of ecological water requirement, Water Resources and Hydropower Engineering, 2003,34(11):15—17.

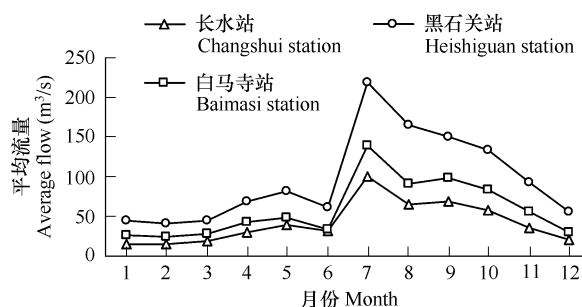


图1 洛河三站多年平均流量过程的年内分配

Fig. 1 Distribution of average annual flow at the there stations of Luohe River

- [4] Cui S B, Song S X. "Study on the Environmental Protection of yellow river below Sanmenxia". Water Resources Protection Bureau of Yellow River Basin. [2002-04-23]. Water information net at <http://www.hwcc.com.cn>.
- [5] Xia Z Q, Li Q F, Guo L D, *et al.* Computation of minimum and optimal instream ecological flow for the YiLuoHe River. Proceedings of Symposium HS3006 at IUGG2007, Perugia, 2007. 142 — 148.
- [6] Xia Z Q, Li Q F, Chen Z Q. Theory and computation method of ecological flow. IAHS-AISH Publication, n 311, Methodology in Hydrology, 2007, 331 — 336.
- [7] Li J, Xia Z Q, Ma G H. A new monthly frequency computation method for instream ecological flow. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(7): 2916 — 2921.
- [8] Zhang M, Jia X P, Wei H T. Ecological and environmental water demand in river channels of the first stage water diversion areas from the South to North via the Western Course. Resources Science, 2005, 27(4): 180 — 184.
- [9] Zhao Q, Liu J J, Wang J. Calculation of minimum ecological runoff in manas river. Arid Land Geography, 2005, 28(3): 292 — 294.
- [10] Men B H, Liu C M, Xia J. Estimating and evaluating on minimum ecological flow of western route project of China's South-to-North water transfer scheme for water exporting rivers. Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19(5): 135 — 138.
- [11] Tang J, She X Y, Lin N F. Advances in researches on the theories and methods of eco-environmental Water Demand. Science Geographica Sinica, 2005, 25(3): 367 — 373.

参考文献:

- [2] 钟华平, 刘恒, 耿雷华, 等. 河道内生态需水估算方法及其评述. 水科学进展, 2006, 17(3): 430 ~ 434.
- [3] 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. 水利水电技术, 2003, 34(11): 15 ~ 17.
- [4] 崔树彬, 宋世霞. "三门峡以下水环境保护研究". 黄河流域水资源保护局[2002-04-23]. 水信息网 <http://www.hwcc.com.cn>.
- [7] 李捷, 夏自强, 马广慧, 等. 河流生态径流计算的逐月频率算法. 生态学报, 2007, 27(7): 2916 ~ 2921.
- [8] 张玫, 贾新平, 魏洪涛. 南水北调西线一期工程调水地区河道生态环境需水的分析与计量. 资源科学, 2005, 27(4): 180 ~ 184.
- [9] 赵琪, 刘建江, 王均, 等. 玛纳斯河最小生态径流计算. 干旱区地理, 2005, 28(3): 292 ~ 294.
- [10] 门宝辉, 刘昌明, 夏军, 等. 南水北调西线一期工程河道最小生态径流的估算与评价. 水土保持学报, 2005, 19(5): 135 ~ 138.
- [11] 汤洁, 余孝云, 林年丰, 等. 生态环境需水的理论和方法研究进展. 地理科学, 2005, 25(3): 367 ~ 373.