

DOI: 10.19797/j.cnki.1000-0852.20200043

清江最小和适宜生态流量的计算与评价

李千珣, 郭生练, 邓乐乐, 田 晶

(武汉大学 水资源与水电工程科学国家重点实验室, 湖北 武汉 430072)

摘要: 确定河流生态流量既是保护河流生态系统的根本举措, 又是开展梯级水库生态调度的重要依据。基于逐月最小生态流量法、RVA法、DC法和逐月频率法, 分别计算了清江水布垭和隔河岩水库坝址的生态流量过程, 并采用 Tennant 法对结果进行合理性分析。结果表明: RVA 法优于逐月最小生态流量法和 DC 法, 计算得到的最小生态流量在一般用水期和产卵育肥期的评价结果分别为“好”、“中”等级; 逐月频率法第 3 种情景计算的适宜生态流量, 其评价结果均为“最佳”等级。研究成果为清江流域保护和梯级水库生态调度提供技术参考。

关键词: 生态流量; 计算方法; 水库调度; 清江流域

中图分类号: X143 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0852(2021)02-0014-06

1 引言

伴随着经济社会的快速发展, 我国水能资源开发利用强度不断增大, 与水相关的生态环境问题日益突出。作为水资源的基本载体, 河流与人类活动息息相关, 河流及河道内生态环境与物种多样性的保护受到了国内外研究学者的高度重视。其中, 河流生态流量相关研究是修复河流生态系统的重点, 自 20 世纪 40 年代至今研究热度始终不减^[1]。根据 Tharme^[2]的统计, 约有近 50 个国家提出共计超过 200 种河流生态流量计算方法。综合而言可分为 4 类: 水文学方法、水力学方法、栖息地模拟法和整体分析法。许多学者针对上述 4 类方法的特点、适用范围和存在问题进行了探讨^[3]。由于气候变化和人类活动影响, 生态流量的研究正面临新的挑战。受制于生态-社会非动态性假定和水文稳定性假设, 传统生态流量理论将逐渐无法适用于未来变化环境^[4]。

本文采纳“为维系河流、湖泊、沼泽给定的生态环境保护目标, 需要保留在河道内的水量”来定义生态流量^[5]。我国关于生态流量的研究兴起于 20 世纪 90 年代, 倪晋仁等^[6]界定了生态环境需水的概念, 讨论了河

流生态环境用水的分类和估算方法。不少学者通过对国外适行的计算方法进行改良, 成功移用到了国内某些地区^[7-8]。另有一些学者将国外流行的方法直接用于我国部分地区, 亦取得了较好结果^[9]。结合我国流域特征, 还有部分学者提出了新的生态流量计算方法^[10-11]。众多计算方法中, 由于水文学方法以历史径流系列为基础, 所需资料较少, 简单易行, 故而在国内尤其是大中型流域得到了广泛应用^[12]。本文采用逐月最小生态流量法、RVA (Range of Variability Approach) 法、DC (Duration Curve) 法和逐月频率法共 4 种水文学方法, 选取清江水布垭和隔河岩水库为研究对象, 以多年日出库流量资料系列为依据, 分别分析计算清江的最小生态流量和适宜生态流量, 并以 Tennant 法为基准对计算结果进行检验, 研究成果以期对清江流域保护和梯级水库生态调度提供技术参考。

2 研究流域和资料

2.1 清江流域

清江是长江的一级支流, 发源于湖北恩施利川市, 自西向东流经利川、恩施、宣恩、建始、巴东、长阳和宜都 7 县市(州), 后注入长江, 全长 423km, 流域面

收稿日期: 2020-03-08

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(51539009)

作者简介: 李千珣(1995-), 女, 湖北鄂州人, 硕士研究生, 主要研究方向为水生态文明建设评价。E-mail: qianxunli@whu.edu.cn

通讯作者: 郭生练(1957-), 男, 福建龙岩人, 教授, 主要研究方向为水文学及水资源。E-mail: slguo@whu.edu.cn

积 $1.67 \times 10^4 \text{ km}^2$, 是湖北省境内长江第二大支流(仅次于汉江)。流域内基本为山区, 气候温和, 湿润多雨, 多年平均降雨量 1400 mm , 多年平均流量 $440 \text{ m}^3/\text{s}$ 。清江干流自上而下建成水布垭、隔河岩和高坝洲 3 座梯级水库电站, 多年平均设计年发电量 $72 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$, 防洪库容 $10 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

为保护和改善清江流域水生态环境, 防治水污染, 保障饮用水安全和公众健康, 推进生态文明建设, 促进绿色发展和高质量发展, 湖北省人大常委会通过了《清江流域水生态环境保护条例》, 并于 2020 年 1 月 1 日起施行。该条例第三十八条明确指出: 省人民政府水行政主管部门应当加强清江流域水资源的统一调度, 科学确定清江流域各河道的生态流量, 保证生态用水需求, 重点保障枯水期生态基流。

2.2 数据资料

水布垭和隔河岩水库分别于 2007 年和 1997 年建成运行。根据水量平衡原理还原计算两库坝址的天然径流过程, 并通过对原有实测资料系列的延长, 得到水布垭和隔河岩水库坝址 1951~2019 年(共 69 年)日出库流量系列。

3 计算方法

河流的水文过程呈周期性变化, 因此所求生态流量是以时间为变量的过程线。本文采用逐月最小、RVA 和 DC 三种方法计算最小生态流量, 逐月频率法计算适宜生态流量。所谓最小生态流量, 是指在满足河流生态系统稳定和健康条件所允许情况下的最小流量过程。适宜生态流量是指有利于维持河道内外生态系统稳定并确保物种多样性的最宜流量过程。由此可见, 最小生态流量和适宜生态流量对水量、持续时间和水质均有要求。

3.1 最小生态流量

3.1.1 逐月最小生态流量法

逐月最小生态流量法认为最小生态流量过程和天然径流过程类似呈连续变化, 应逐月计算, 而不分丰、平、枯水期和季节性^[13]。该法取天然月均流量系列中逐月流量系列的最小值作为该月最小生态流量, 各月最小生态流量值构成年最小生态流量过程。

3.1.2 RVA 法

变异性范围(RVA)法是用来分析河流受人类活动影响前后其水文要素变化程度的一种方法。它和 IHA (Indicators of Hydrologic Alteration) 指标体系一起由

Richter 等^[14]提出, 后者包含流量大小、历时、频率、变化率等 32 个水文要素。Richter 等还将 25% 和 75% 来水频率值作为各指标的上下限, 即 RVA 阈值。RVA 阈值用以限定 IHA 指标的变化范围, 在阈值范围内, 表明河流受水利工程影响较小, 反之影响较大, 于生态不利。虽然 RVA 法最初用于评估人类活动对河川径流的影响, 但后来广泛用于计算生态流量^[15]。钟华平等^[1]认为, 对于季节性变化小的河流, 可将 RVA 阈值差的 25% 作为生态流量。张志广等^[15]建议, 对于年内流量变幅较大的河流, 可采用 RVA 阈值差的 50% 作为生态流量。根据 RVA 法计算特性可知, 在河流水文情势未受到影响时, 河流流量均值在 RVA 阈值差的 50% 左右变动为宜^[16]。考虑到清江具有明显的季节性, 年内流量变幅较大, 本文采用下式计算清江最小生态流量:

$$Q_{\text{ecology}} = (Q_{\text{上限}} - Q_{\text{下限}}) \times 50\% \quad (1)$$

式中: Q_{ecology} 为所求最小生态流; $Q_{\text{上限}}$ 、 $Q_{\text{下限}}$ 分别为 RVA 的上、下阈值。

3.1.3 DC 法

流量历时曲线(Flow Duration Curve, FDC)法, 包括总历时法、多年平均法和多年中值法, 广泛用于计算生态流量^[2]。历时曲线(DC)法是 FDC 法一种改进^[17], 综合了 FDC 三种方法的优点, 纳入了频率系数和流量中位数的概念, 在反映生态流量年内季节性变化的同时, 考虑了径流的平均年际变化并削弱了年际极端流量事件的影响。DC 法取 95% 历时点流量作为最小生态流量的计算依据。95% 频率值对应流量通常被当作极端低流量值, 即水生栖息地最小流量条件, 亦即警告水资源管理者的危险流量指标。DC 法具体计算过程如下:

(1) 根据清江流域降雨径流的季节性变化规律, 按春(2~4 月)、夏(5~7 月)、秋(8~10 月)和冬(11~次年 1 月)四季划分, 以反映径流年内变化过程。

(2) 以每个季节内各月 95% 频率值与季节月平均值的比作为量化标准, 定义为频率系数, 见公式(2)~(4)。

$$\overline{Q}_{95} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \overline{q}_{95} \quad (2)$$

$$\overline{Q} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \overline{q}_i \quad (3)$$

$$k = \overline{Q}_{95} / \overline{Q} \quad (4)$$

式中: \overline{Q}_{95} 为季节内各月份 95% 频率值的平均流量; \overline{q}_{95}

为各月 95% 频率的流量; \bar{Q} 为季节多年平均流量; \bar{q}_i 为各月平均流量; k 为频率系数。

(3) 计算年内最小生态流量过程。

$$Q_i = q \times k \quad (5)$$

式中: Q_i 为生态流量; q 为流量中位数。

3.2 适宜生态流量

最小生态流量过程是保证河流生态系统中各物种生存的最低条件,在这种状态下,河流生态系统一旦遭受破坏将无法通过自身恢复力调节到健康水平,它是天然状态下河流生态系统不至退化或水生生物所能忍受的生存条件之极限。如果河流长期处于最小生态流量,则不利于河流生命健康与生态系统的稳定。

采用逐月频率法推求清江适宜生态流量过程。该法以天然径流长序列为基础,先将径流年内过程划分不同时期,后计算不同频率下的生态流量过程。根据研究区域和年代的不同,时期的划分和频率的选取方式也有所不同。结合前人的研究成果,为比选出适用于清江的最佳方案,本文进行综合考虑,分别计算了 3 种不

同分期和不同频率情景下的清江适宜生态流量过程:

- (1) 丰水期频率取 90%、平水期取 70%、枯水期取 50%;
- (2) 春秋季节频率取 75%、夏季取 50% 和冬季取 80% (四季划分与 DC 法中相同);
- (3) 各月频率均取 50%。以上 3 种情景设置的合理性均已得到检验,并在国内具有较为广泛的应用基础^[12-13]。

根据水布垭和隔河岩水库坝址多年平均径流过程,结合枯水期的定义,取月平均流量小于年平均流量 5% 所对应的时段为枯水期。所以清江年内丰、平、枯水期的划分如下: 5~7 月为丰水期, 4 月、8~10 月为平水期, 1~3 月、11~12 月为枯水期。

4 结果分析与比较

4.1 计算结果分析

通过逐月最小生态流量法、RVA 法和 DC 法 3 种最小生态流量计算方法,绘制得清江最小生态径流过程如图 1 所示;通过逐月频率法计算得到 3 种情景下的清江适宜生态径流过程如图 2 所示。

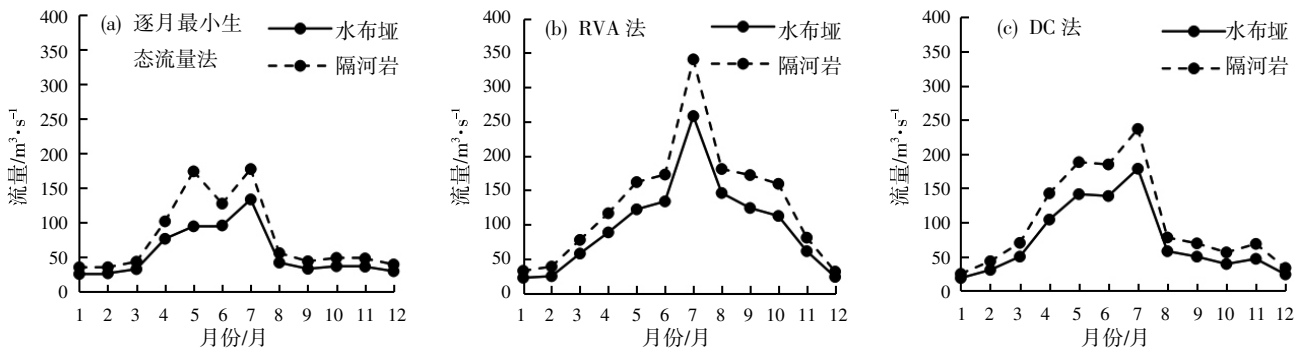


图 1 三种方法计算的清江最小生态流量过程
Fig.1 The calculated minimum ecological flow processes of Qingjiang River

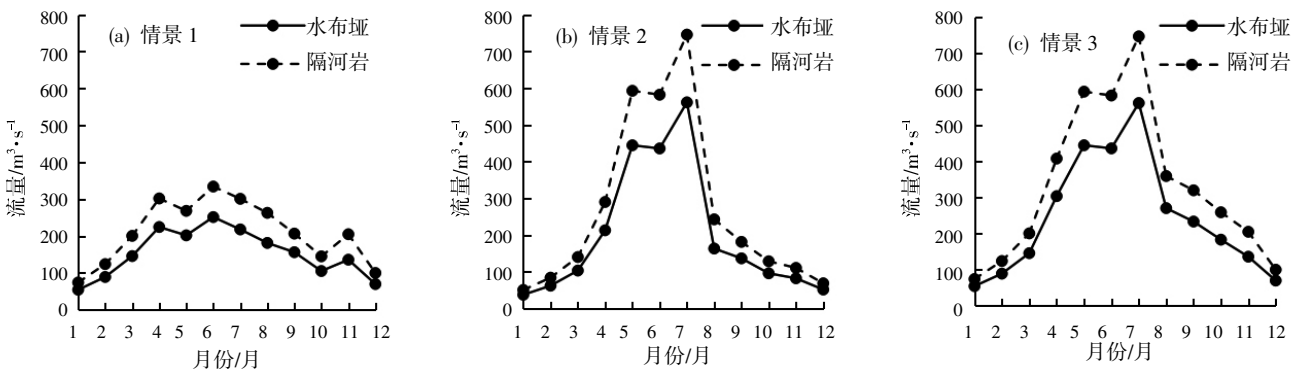


图 2 三种情景下清江适宜生态流量过程
Fig.2 The suitable ecological flow process under three scenarios of Qingjiang River

根据《河湖生态环境需水计算规范》对计算结果的合理性进行分析检验。由图 1 可知,三种方法计算得到的最小生态流量在量级上基本一致,其中逐月最小生态流量法与 DC 法的计算结果较为接近,RVA 法较两者偏大;由图 2 可知,计算所得情景 2 和情景 3 的适宜生态流量无论量级大小还是变化趋势都具有较高的一致性,而情景 1 较两者偏小。所得生态流量均小于多年平均流量,计算结果基本合理可靠。

结合 Tennant 法对计算结果作进一步比较分析^[6]。Tennant 法将河流流量推荐值分为 1 个高限标准、1 个最佳范围标准和 6 个低限标准,又依据水生生物对环境的季节性要求分为不同的用水期^[18](见表 1)。

根据清江 4 种特色鱼类(长吻鮠、银鱼、丁桂鱼、白甲鱼)和 6 种主要经济鱼类(黄颡鱼、中华倒刺鲃、杂交鲟、大嘴鲶、鳊鱼、鲤鱼)的产卵育肥期这一重要生命阶段,检验 Tennant 法在清江的适用性。上述 10 种鱼类中,除银鱼在枯水期产卵外,其他鱼类的产卵期大致可分为两个时段:4~6 月(长吻鮠、白甲鱼、中华倒刺鲃、大嘴鲶、鲤鱼)和 5~7 月(丁桂鱼、黄颡鱼、杂交鲟、鳊鱼);考虑到长吻鮠等鱼类的洄游特性,其自 8 月份下退后将索饵育肥。Tennant 法用水期的划分与清江基本一致,从生态保护目标上判断该法适用于清江。基

于 Tennant 法的评价结果分别见表 2 和表 3。

由表 2 知,最小生态流量的三种计算方法中,RVA 法的评价结果优于逐月最小生态流量法和 DC 法。在产卵育肥期,逐月最小生态流量法和 DC 法的评价结果均为差,结合流量百分比所对应的生态学意义来看,两者的计算结果是能够保持绝大多数水生生物在短时间内生存所必需的最小瞬时流量,这符合最小生态流量的界定。然而,考虑到产卵育肥期对于清江生态保护目标的重要性,以及清江银鱼生活习性的特殊性,即使一般用水期的生态流量占比也以接近多年平均流量的 30%左右为佳,此时,虽然无脊椎动物数量有所减少,但仍不影响鱼类的觅食。因此,建议使用 RVA 法进行清江最小生态流量的计算。

再由表 3 可知,三种情景下的清江适宜生态流量评价结果都在良好及以上等级,并且其中大部分结果都落在最佳区间内,说明逐月频率法在清江的适用性好。就评价结果而言,理应选择情景 3 作为清江适宜生态流量计算的最适情景,但该情景不够经济,实际问题中需要就清江发电、防洪、旅游、养殖等综合效益进行考量,不一定能够保障如情景 3 中偏高的生态用水。反观情景 1 的生态用水远低于情景 2 和情景 3,却仍能保证全年维持在良好和最佳水平,是综合效益最高的选择。鉴于此,本文建议在偏丰年份可以按照情景 3 的计算结果进行清江生态调度,一般年份则参考情景 1。

在具体方法比选过程中,普遍认为偏丰年份的用水不应使河流生态流量小于适宜生态流量过程,而偏枯年份的用水不应使河流生态流量小于最小生态流量过程。以情景 1 的计算结果作为一般年份的生态调

表1 Tennant法生态流量标准

Table1 Ecological flow standard of Tennant method

| 流量状况/% | 最大 | 最佳 | 极好 | 好 | 良好 | 中 | 差 | 极差 |
|------------------|-----|--------|----|----|----|----|----|------|
| 一般用水期 (10~3月) | 200 | 60~100 | 40 | 30 | 20 | 10 | 10 | 0~10 |
| 产卵育肥期 (4~9月) | 200 | 60~100 | 60 | 50 | 40 | 30 | 10 | 0~10 |

表2 清江最小生态流量评价

Table2 Evaluation of minimum ecological flow of Qingjiang River

| 断面名称 | 计算方法 | 一般用水期 | | 产卵育肥期 | |
|------|-----------|------------|---------------|------------|---------------|
| | | 占多年平均流量比/% | Tennant 法评价结果 | 占多年平均流量比/% | Tennant 法评价结果 |
| 水布垭 | 逐月最小生态流量法 | 23.09 | 良好 | 18.69 | 差 |
| | RVA 法 | 37.06 | 好 | 34.30 | 中 |
| | DC 法 | 25.78 | 良好 | 26.40 | 差 |
| 隔河岩 | 逐月最小生态流量法 | 22.46 | 良好 | 19.92 | 差 |
| | RVA 法 | 37.61 | 好 | 33.53 | 中 |
| | DC 法 | 26.60 | 良好 | 26.37 | 差 |

表3 清江适宜生态流量评价

Table3 Evaluation of suitable ecological flow of Qingjiang River

| 断面名称 | 计算情景 | 一般用水期 | | 产卵育肥期 | |
|------|------|------------|---------------|-------------|---------------|
| | | 占多年平均流量比/% | Tennant 法评价结果 | 占多年平均流量比例/% | Tennant 法评价结果 |
| 水布垭 | 情景 1 | 73.92 | 最佳 | 48.56 | 良好 |
| | 情景 2 | 53.18 | 很好 | 76.93 | 最佳 |
| | 情景 3 | 83.51 | 最佳 | 88.53 | 最佳 |
| 隔河岩 | 情景 1 | 76.08 | 最佳 | 49.11 | 良好 |
| | 情景 2 | 52.18 | 很好 | 77.27 | 最佳 |
| | 情景 3 | 86.29 | 最佳 | 88.19 | 最佳 |

度依据,遇偏丰年份可将产卵育肥期的调度上限在原有基础上上调40%;遇偏枯年份可将一般用水期的调度下限在原有基础上下调50%,产卵育肥期则对应下调20%。

4.2 方法比较和讨论

计算最小生态流量的3种方法中,逐月最小生态径流法原理简单,计算量小,基本能够反映河川径流的年内变化规律,但易受年际极端值的影响。RVA法虽被用于河流生态流量的计算业已多年,但至今仍未形成主流的计算公式,且有关公式的物理依据尚不够充分。DC法是基于FDC法的改进版,其认可度还有待提高。采用逐月频率法计算适宜生态流量,其计算结果很大程度上依赖于频率的选取。该法的优点在于既能反映径流过程的年内变化,又具有较好的空间移植性,已经广泛应用于不同的研究区域。然而,所取频率是否为清江的最适频率,相关时段划分是否合理等问题还有待进一步研究。

各种方法优缺点比较详见表4。除上述所列优缺点外,这4种水文学方法都要求研究对象具备较长的数据资料(至少20年),因此不适用于计算资料缺乏地区或存在断流情况的河流,并且这些方法均只讨论了水量和时间的关系,未就水质做进一步探讨。

5 结论

基于四种水文学方法计算了清江水布垭和隔河岩水库坝址的年最小生态流量和年适宜生态流量过程。通过《河湖生态环境需水计算规范》检验和Tennant法评价,得到以下结论:

(1)RVA法和逐月频率法均适用于计算清江生态流量。RVA法计算的最小生态流量可使清江栖息地质量全年保持在中等及良好水平;逐月频率法计算的适宜生态流量其评价结果均在良好及以上水平,其中,情景3(各月频率均取50%)的生态效益最优,情景1(丰水期频率取90%、平水期取70%、枯水期取50%)的综合效益最优。

(2)推荐逐月频率法的情景1(丰水期频率取90%、平水期取70%、枯水期取50%)作为一般年份清江水库的生态调度基准。如遇偏丰年份,可以参考情景3(各月频率均取50%)的计算结果进行水库生态调度;如遇偏枯年份,则建议按照RVA法的计算结果进行生态调度。

参考文献:

- [1] 徐宗学, 武玮, 于松延. 生态基流研究进展与挑战[J]. 水力发电学报, 2016,35(4):1-11. (XU Zongxue, WU Wei, YU Songyan. Ecological baseflow: Progress and challenge [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2016,35(4):1-11. (in Chinese))
- [2] Tharme R E. A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers [J]. River Research and Applications, 2003,19:397-441.
- [3] 钟华平, 刘恒, 耿雷华, 等. 河道内生态需水估算方法及其评述[J]. 水科学进展, 2006,5(3):430-435. (ZHONG Huaping, LIU Heng, GENG Leihua, et al. Review of assessment methods for instream ecological flow requirements [J]. Advances in Water Science, 2006,5(3):430-435. (in Chinese))
- [4] Shenton W, Bond N R, Yen J D L, et al. Putting the 'ecology' into environmental flows: ecological dynamics and demographic modeling [J]. Environmental Management, 2012,50(1):1-10.
- [5] SL/Z 712—2014, 河湖生态环境需水计算规范[S]. (SL/Z 712—2014, Specification for Calculation of Environmental Flow in Rivers and Lakes [S]. (in Chinese))
- [6] 倪晋仁, 崔树彬, 李天宏, 等. 论河流生态环境需水[J]. 水利学报, 2002,(9):14-26. (NI Jinren, CUI Shubin, LI Tianhong, et al. On water demand of river ecosystem [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2002,(9):14-26. (in Chinese))
- [7] 赵长森, 刘昌明, 夏军, 等. 闸坝河流河道内生态需水研究—以淮河为例[J]. 自然资源学报, 2008,23(3):400-411. (ZHAO Changsen, LIU Changming, XIA Jun, et al. Instream ecological flow of dammed river: a case study of Huaihe River [J]. Journal of Natural Resources, 2008,23(3):400-411. (in Chinese))
- [8] 郑志宏, 张泽中, 黄强, 等. 生态需水量计算Tennant法的改进及应用[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2010,42(2):34-57. (ZHENG Zhihong, ZHANG Zezhong, HUANG Qiang, et al. Improvement and application on ecological water requirement Tennant method [J]. Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition),

表4 四种水文学方法优缺点
Table4 Advantages and disadvantages of the four hydrological methods

| 方法 | 优点 | 缺点 |
|-----------|-----------------------------|---------------------|
| 逐月最小生态流量法 | 原理简单,计算量小,反映径流过程年内变化 | 易受年际极端值影响 |
| RVA法 | 反映径流过程年内丰枯变化,避免极端水文事件 | 公式物理依据不充分 |
| DC法 | 反映径流过程年内季节性变化,避免极端水文事件 | 方法待推广,认可度待提高 |
| 逐月频率法 | 反映径流过程的年内变化,避免极端水文事件,空间移植性好 | 高度依赖经验,需讨论多种情景,反复论证 |

- 2010,42(2):34-57. (in Chinese))
- [9] 宋兰兰, 陆桂华, 刘凌. 水文指数法确定河流生态需水[J]. 水利学报, 2006,37(11):1336-1341. (SONG Lanlan, LU Guihua, LIU Ling. Estimation of instream flow based on hydrological indexes [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2006,37(11):1336-1341. (in Chinese))
- [10] 李捷, 夏自强, 马广慧, 等. 河流生态径流计算的逐月频率计算法[J]. 生态学报, 2007,27(7):2916-2921. (LI Jie, XIA Ziqiang, MA Guanghui, et al. A new monthly frequency computation method for instream ecological flow [J]. Acta Ecologica Sinica, 2007,27(7):2916-2921. (in Chinese))
- [11] 李嘉, 王余蓉, 李克锋, 等. 计算河段最小生态需水的生态水力学法[J]. 水利学报, 2006,37(10):1169-1174. (LI Jia, WANG Yurong, LI Kefeng, et al. Eco-hydraulics method of calculating the lowest ecological water demand in river channels [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2006,37(10):1169-1174. (in Chinese))
- [12] 张强, 崔瑛, 陈永勤. 基于水文学方法的珠江流域生态流量研究[J]. 生态环境学报, 2010,19(8):1828-1837. (ZHANG Qiang, CUI Ying, CHEN Yongqin. Evaluation of ecological instream flow of the Pearl River basin, south China [J]. Ecology and Environmental Science, 2010,19(8):1828-1837. (in Chinese))
- [13] 于龙娟, 夏自强, 杜晓舜. 最小生态径流的内涵及计算方法研究[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2004,32(1):18-22. (YU Longjuan, XIA Ziqiang, DU Xiaoshun. Connotation of minimum ecological runoff and its calculation method [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2004,32(1):18-22. (in Chinese))
- [14] Richter B D. How much water does a river need? [J]. Freshwater Biology, 1997,32(2):231-2496.
- [15] 张志广, 金弈, 李克峰, 等. 基于RVA法的河流生态基流过程研究[J]. 水利水电技术, 2017,48(9):155-160. (ZHANG Zhiguang, JIN Yi, LI Kefeng, et al. RVA method-based study on river ecological baseflow hydrograph [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2017,48(9):155-160. (in Chinese))
- [16] 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. (SHU Chang, LIU Suxia, MO Xingguo, et al. Estimation of instream ecological flow based on RVA [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2010,19(5):1151-1155. (in Chinese))
- [17] 门宝辉, 林春坤, 李智飞, 等. 永定河官厅山峡河道内最小生态需水量的历时曲线法[J]. 南水北调与水利科技, 2012,10(2):52-56+92. (MEN Baohui, LIN Chunkun, LI Zhifei, et al. Application of flow duration curve method in calculating instream minimum ecological water demand in Guanting Gorge of Yongding River [J]. South-to-North Water Diversion and Water Science & Technology, 2012,10(2):52-56+92. (in Chinese))
- [18] Tennant D L. Instream flow regimes for fish, wildlife, recreation and related environmental resources [J]. Fisheries, 1976,1(4):6-10.

Calculation and Evaluation of Minimum and Suitable Ecological Flows of Qingjiang River

LI Qianxun, GUO Shenglian, DENG Lele, TIAN Jing

(State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: The determination of river ecological flow is not only a fundamental measure of river ecosystem protection, but also an important basis of ecological operation of cascade reservoirs. Four hydrologic methods (monthly minimum ecological flow, Range of Variability Approach (RVA), Duration Curve (DC), and monthly frequency methods) were used to calculate the ecological flow processes at Shuibuya and Geheyan reservoir dam sites in the Qingjiang River, and the Tennant method was used to analyze the rationality of these results. Application results show that RVA method is superior to DC and monthly minimum ecological flow methods, the evaluation results of calculating minimum ecological flow are ‘good’ in cold water period and ‘fair or degrading’ in warm water period; the third scenarios of the monthly frequency method could be used to calculate the suitable ecological flow, in which the evaluation results are ‘optimum range’. The research results could provide technical references for the protection of Qingjiang River basin and the ecological operation of cascade reservoirs.

Key words: ecological flow; calculation method; reservoir operation; Qingjiang River basin

《水文》杂志再次入选“中文核心期刊”和“中国科技核心期刊”

本刊讯 经“《中文核心期刊要目总览》编委会”和“中国科学技术信息研究所”评选,本刊再次入编《中文核心期刊要目总览》2020年版(即第9版),被《中国科技核心期刊》收录。本刊自“中文核心期刊”及“中国科技核心期刊”评选以来一直入选。