

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2016.05.013

基于改进 7Q10 法的滦河生态流量分析

徐 伟,董增川,罗晓丽,付晓花,谈娟娟

(河海大学水文水资源学院,江苏 南京 210098)

摘要: 针对传统水文学方法计算生态流量时采用受人类活动影响较大的实测径流系列而导致计算结果偏小的问题,提出了基于长系列降水径流资料分析的改进 7Q10 法,并将其应用于滦河上、中、下游代表水文站的最小生态流量的计算中。结果表明:滦河河道径流量在 1979 年后受人类活动影响较为剧烈;与传统方法相比,改进 7Q10 法计算的最小生态流量结果更符合实际。

关键词: 降水径流系列;改进 7Q10 法;最小生态流量;滦河

中图分类号: P333

文献标志码: A

文章编号: 1000-1980(2016)05-0454-04

Analysis of ecological flow in Luanhe River based on improved 7Q10 method

XU Wei, DONG Zengchuan, LUO Xiaoli, FU Xiaohua, TAN Juanjuan

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

Abstract: The ecological flow obtained from traditional hydrologic methods that adopt measured runoff series affected by human activities is lower than its actual value. In order to solve this problem, an improved 7Q10 method is proposed based on analysis of long series of rainfall and runoff data, and is used to calculate the minimum ecological flow at representative hydrological stations upstream, midstream, and downstream of the Luanhe River. The results indicate that runoff in the Luan River has been significantly affected by human activities since 1979, and the minimum ecological flow obtained from the improved 7Q10 method is more reasonable than that obtained from the traditional method.

Key words: rainfall and runoff series; improved 7Q10 method; minimum ecological flow; Luanhe River

滦河位于我国北部,是华北地区仅次于海河的一条大河,它发源于河北省丰宁县巴彦图尔古山西北麓,入内蒙,称闪电河;在内蒙古多伦附近,有上都河注入,称大滦河;经两度曲折,转回河北省,在郭家屯汇入小滦河后称滦河。此后干流呈东南向,横穿燕山和冀东平原,最后于乐亭县兜网铺入渤海^[1],全长 888 km。近年来,随着人类活动影响的日益加剧以及气候变化,滦河径流下降显著^[2],据统计,1996—2000 年滦河干流大黑汀至河口(岩山渠首以下)段共发生断流 5 次,断流长度为 158 km,合计断流天数达 1 553 d。从非生物环境看,径流的显著减少乃至出现河道脱水现象会导致河流生态系统不能维持非生物环境的基本功能,比如提供水能,调节气候,疏通河道,运送营养物质等。从生物对水分的需求角度看,根据物种的耐性定律,当流量不足或过多,超过了河流某物种的耐性限度时,会使该物种不能正常生存,甚至灭绝,进而影响其他相关物种非正常的生态演替,导致河流生态系统的恶化。因此,有必要对滦河流量尤其是最小生态流量进行分析与研究。

1 改进的 7Q10 法

根据河流生态系统的自然和社会服务功能,河流流量可以划分为环境流量和水利流量两部分^[3-4],其中环境流量中为维持河流河床基本形态、防止河道断流、保持水体自净能力和避免河流水体生物群落遭到无法恢复的破坏而保留在河道中的最小流量称为最小生态流量^[5]。目前,计算最小生态流量的方法有很多。其

收稿日期: 2015-12-09

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项(2014B34714);国家自然科学基金重大项目(2012&ZD214);水利部公益性行业科研专项(201101017)

作者简介: 徐伟(1991—),男,江苏大丰人,博士研究生,主要从事水文水资源研究。E-mail: hhxuwei@163.com

通信作者: 董增川,教授。E-mail: dongzengchuan@163.com

中使用频率最高的2种方法是Tennant法^[6]和最小月平均流量法^[5]。Tennant法是将天然情况下多年平均月径流从小到大排序,前6个月为少水期,后6个月为多水期,根据2个时期多年平均流量的百分比和河道内生态与环境状况的对应关系,直接计算维持河道一定功能的生态与环境需水量。因此,用Tennant法计算河流最小生态流量的关键在于选取合理的百分比。但由于不同河流水系其河道内生态与环境功能不同,同一河流的不同河段也有差异,所以通常使用的10%~20%仅仅是参考值,直接挪用时要深入分析某一河流或河段的实际情况,实际操作时不易操作。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的基本生态需水量^[6]。该方法虽简单易行,但由于缺水地区的实测径流量往往受人类活动影响较大,而且随着社会经济需水的增加,影响呈现扩大趋势,从而导致计算得到的最小生态流量会偏小,不利于水生态环境的维持、修复与治理^[7-8],因此最小月平均流量法不适用于人类活动对水资源剧烈影响的地区。

7Q10法是一种基于水文学参数,考虑水质因素(河流的自净能力)计算河道生态环境需水的方法。国外一般采用90%保证率最枯连续7d的平均水量作为河流最小流量设计值。但由于该标准要求比较高,我国在GB 3839—1983《制定地方水污染物排放标准技术原则和方法》^[9]中规定,一般河流采用最近10a最枯月平均流量或90%保证率最枯月平均流量作为最小生态流量设计值。不难发现,不管是国外还是国内方法,都与上述最小月平均流量法类似,其计算处理过程均是基于河道的实测径流系列资料进行的,而径流的实测值,尤其是近20a,受社会经济取用水、修水库、塘堰等水利工程以及水土保持等人类活动的影响改变较为剧烈,从而会导致计算的最小生态流量偏小,不能满足河流生态系统的最小需水要求。因此,虽然该方法在水文学的基础上考虑了水质因素,但该方法同样不适用于像海河流域这样人类活动对水资源剧烈影响的地区。

流量是影响河流生态系统健康的关键水文要素之一。天然的径流系列从一定程度上可以保证河流生态流量计算的准确性。因此,可以通过径流资料的还原计算对7Q10法进行改进,用还原后的径流资料计算河流的最小生态流量。径流的还原一般采用调查和分析相结合的方法,尽可能按照河系自上而下、按水文站控制断面分段逐月、逐年还原。但受人类活动调蓄和消耗的这部分流量及其年内分配的实际数据难以获取,因此通过还原径流系列的途径计算最小生态流量有一定困难,该方法不适用于社会经济用水资料严重缺乏的地区。

为了避开径流系列还原这一复杂问题,本文提出了改进的7Q10法。其主要的计算思路如下:(a)通过长系列降水径流双累积曲线划分径流变化的天然时期(人类活动影响微弱时期,近似于天然时期)和人类活动干扰时期;(b)对流域的长系列降雨资料进行P-Ⅲ曲线排频,确定频率 $P=90\%$ 来水情形的设计来水量;(c)在天然时期中寻找与设计来水量相同或相近的年份作为代表水文年;(d)将代表水文年的最枯连续7d的平均水量或最枯月平均流量作为该河的最小生态流量。

2 滦河最小生态流量计算与分析

2.1 天然时期与人类活动干扰期划分

人类活动干预水循环,目前主要影响的环节是地表径流。水资源的开发利用,包括城镇化、水土保持措施在内的土地利用或土地覆盖方式的变化等对径流变化产生了巨大的影响。双累积曲线法是目前用于水文气象要素一致性或长期演变趋势分析中最简单、最直观、最广泛的方法^[10-12]。通过流域面平均降水量与流域出口径流量(入海河流可用入海水量作为流域出口径流量)双累积曲线的拐点可以分辨人类活动作用对径流干扰的时期。

选择滦河流域及周边的多伦、丰宁、围场、密云、承德、遵化、青龙、秦皇岛、唐山、乐亭10个雨量站1957—2011年的降雨系列资料,对其进行一致性检验,通过检验后应用泰森多边形法计算滦河流域的逐年面平均降水量。通过海河流域水资源综合规划成果和河北省第二次水资源评价成果获得滦河流域1957—2011年逐年入海水量。滦河流域1957—2011年降水径流双累积曲线如图1所示。

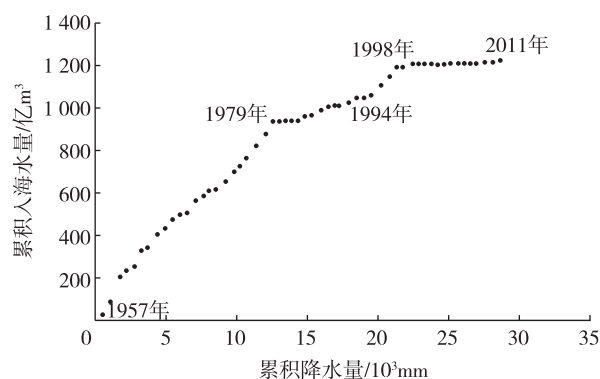


图1 滦河流域降水径流双累积曲线
Fig. 1 Rainfall-runoff double-mass curve in Luanhe River Basin

由图 1 可以看出,降水径流双累积曲线在 1979 年前大致呈直线上升趋势,1979 年后曲线明显偏离了原来的趋势,说明滦河径流从 1979 年开始受到强烈的人类活动影响。此外曲线上还存在 2 个明显的拐点,即 1994 年与 1998 年。分析滦河水系主要水利工程的建设时间(表 1)可以发现,滦河最大的水库工程潘家口水库下闸蓄水时间为 1979 年,刚好与第 1 个拐点吻合。此外桃林口水库的建成时间 1998 年刚好与第 3 个拐点吻合,可见大型水利工程的建成与运行对滦河径流的变化有很大影响。因此可以以 1979 年为分界点,将 1957—1979 年近似看作天然时期,将 1980—2011 年看作人类活动干扰时期。

表 1 滦河主要水利工程情况

Table 1 Major water conservancy projects in Luanhe River

水库名	所属河流	所在地	控制面积/km ²	总库容/亿 m ³	兴利库容/亿 m ³	建成年
闪电河	闪电河	沽源县	890.0	0.4260	0.14700	1958
窟窿山	牐牛河	滦平县	130.0	0.1240	0.06400	1958
庙 宫	伊逊河	围场县	2400.0	1.8300	0.44000	1959
钓鱼台	不澄河	围场县	160.0	0.1320	0.05830	1969
水胡同	青龙河	青龙县	100.0	0.4042	0.21290	1969
大 庆	瀑 河	平泉县	82.0	0.1350	0.06620	1975
房管营	朱家河	迁西县	25.0	0.1054	0.05840	1978
黄土梁	兴洲河	丰宁县	324.0	0.2830	0.14400	1979
潘家口	滦河干流	迁西县	33700.0	29.3000	19.50000	1979
老虎沟	横 河	兴隆县	338.0	0.1220	0.05860	1980
三旗杆	青龙河	宽城县	47.8	0.1087	0.04907	1980
大黑汀	滦河干流	迁西县	35100.0	3.3700	2.01000	1986
大河口	滦河干流	多伦县	8329.0	0.2600	0.16000	1996
西山湾	滦河干流	多伦县	8999.0	0.9940	0.56000	1997
桃林口	青龙河	青龙县	5060.0	8.5900	7.06000	1998

2.2 确定 P=90%年型来水量

由于滦河径流系列在 1979 年之后受人类活动影响较大,因此对实测的径流系列进行频率分析意义不大。降水受人类活动影响较小,因此通过对滦河流域的长系列降水资料进行 P-Ⅲ 分布适线法排频分析确定滦河流域 P=90%情形时的设计来水量。滦河流域 P=90%情形时的设计降雨量为 414 mm。

2.3 确定 P=90%年型代表年

在天然时期中寻找与设计来水量相同的或相近的年份作为代表水文年。按照此方法,选取 1972 年作为滦河 P=90%代表水文年。根据相关史志文献记载,1972 年未发生较大的水生态事件,因此选择 1972 年作为典型代表年是合理的。

2.4 最小生态流量计算

分别选取位于滦河上、中、下游区域的大河口站、三道河子站和滦县站 3 个水文测站进行计算分析。将代表水文年 1972 年的各站的最枯连续 7 d 的平均流量作为该站的最小生态流量,计算结果见表 2。同时将未改进的传统方法(我国标准中提出的最近 10 a 的最枯月平均流量)的计算结果、其他已有研究成果与本文计算结果进行比较。由表 2 可以发现,传统方法的计算结果明显偏小。与传统方法相比,改进的 7Q10 法计算最小生态流量更符合河流的实际生态需水要求。

表 2 滦河最小生态流量计算结果比较

Table 2 Comparison of calculated minimum ecological flows in Luanhe River

水文站点	站点位置	最小生态流量/(m ³ ·s ⁻¹)		
		传统方法	改进方法	其他成果
大河口	上游	0.132	0.720	0.340 ^[13]
三道河子	中游	0.274	2.830	4.260 ^[14]
滦 县	下游	2.820	9.190	11.200 ^[15]

注:文献[13-15]分别采用 Tennant 法、湿周法、基于河道形态法计算最小生态流量。

3 结 语

对计算最小生态流量的传统水文学方法进行了分析,指出了各方法在应用中的不足,并对传统的 7Q10

法进行了改进。改进方法为:先通过长系列降水径流双累积曲线划分径流变化的天然时期和人类活动干扰期;对降雨系列进行P-Ⅲ曲线排频,并在天然时期中确定 $P=90\%$ 的代表水文年;最后将代表水文年的最枯连续7d的平均水量或最枯月平均流量作为该河的最小生态流量。将改进的7Q10法应用于滦河流域,通过与其他研究成果比较,认为改进的7Q10法计算最小生态流量更符合河流的实际。该研究结果可为滦河流域生态演化机理分析、流域水资源科学合理配置提供参考。

参考文献:

- [1] 王日升,张学明,王喜诚. 滦河流域水文特性分析[J]. 水文, 1990, 10(3): 51-54. (WANG Risheng, ZHANG Xueming, WANG Xicheng. Analysis of hydrological characteristics of Luanhe River Basin[J]. Journal of China Hydrology, 1990, 10(3): 51-54. (in Chinese))
- [2] 山成菊,董增川,付晓花,等. 近50年来滦河流域径流演变规律研究[J]. 南水北调与水利科技, 2013, 11(4): 93-97. (SHAN Chengju, DONG Zengchuan, FU Xiaohua, et al. Rules of runoff variation in Luanhe River Basin in recent 50 years [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2013, 11(4): 93-97. (in Chinese))
- [3] 徐伟,董增川,付晓花,等. 基于BP人工神经网络的河流生态健康预警[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2015, 43(1): 54-59. (XU Wei, DONG Zengchuan, FU Xiaohua, et al. Early warning of river ecosystem health based on BP artificial neural networks [J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2015, 43(1): 54-59. (in Chinese))
- [4] 张代青,梅亚东,高军省,等. 基于二元水循环的河流环境流量预警[J]. 水利学报, 2011, 42(3): 344-350. (ZHANG Daiqing, MEI Yadong, GAO Junsheng, et al. Early warning of river environmental flow based on dualistic water cycle [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2011, 42(3): 344-350. (in Chinese))
- [5] 董增川. 水资源规划与管理[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2008.
- [6] TENNANT D L. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources [J]. Fisheries Management & Ecology, 1976, 1(4): 6-10.
- [7] 张巍,陆宝宏. 蒙江流域生态径流量的定量计算[J]. 中国农村水利水电, 2013(4): 36-39. (ZHANG Wei, LU Baohong. Quantitative calculation of the ecological runoff in Meng River[J]. China Rural Water and Hydropower, 2013(4): 36-39. (in Chinese))
- [8] 董福平,管仪庆,周黔生,等. 河流生态用水流量确定新方法研究[J]. 水利学报, 2007, 38(增刊1): 547-551. (DONG Fuping, GUAN Yiqing, ZHOU Qiansheng, et al. Study on the calculation method of river eco-environmental flow [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007, 38(Sup1): 547-551. (in Chinese))
- [9] 中华人民共和国水利电力部. GB 3839—1983 制定地方水污染物排放标准技术原则和方法[S]. 北京:中华人民共和国城乡建设环境保护部, 1983.
- [10] LEMKE P, REN J, ALLEY R B, et al. Contribution of Working Groups I, II & III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [11] 侯钦磊,白红英,任园园,等. 50年来渭河干流径流变化及其驱动力分析[J]. 资源科学, 2011, 33(8): 1505-1512. (HOU Qinlei, BAI Hongying, REN Yuanyuan, et al. Analysis of variation in runoff of main stream of the Weihe River and related driving forces over the last 50 years[J]. Resources Sciences, 2011, 33(8): 1505-1512. (in Chinese))
- [12] 付晓花,董增川,刘晨,等. 滦河流域径流变化及其驱动力分析[J]. 南水北调与水利科技, 2013, 11(5): 6-10. (FU Xiaohua, DONG Zengchuan, LIU Chen, et al. Analysis of runoff variation and its related driving forces in the Luanhe River Basin[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2013, 11(5): 6-10. (in Chinese))
- [13] 徐伟,董增川,付晓花,等. 滦河流域生态流量保证程度分析[J]. 人民长江, 2015, 46(24): 13-16. (XU Wei, DONG Zengchuan, FU Xiaohua, et al. Analysis of guarantee degree of ecological flow in Luanhe River [J]. Yangtze River, 2015, 46(24): 13-16. (in Chinese))
- [14] 吉丽娜,刘苏峡,王新春. 湿周法估算河道内最小生态需水量:以滦河水系为例[J]. 地理科学进展, 2010, 29(3): 287-291. (JI Lina, LIU Suxia, WANG Xinchun. Wetted perimeter approach to estimate instream flow requirements: a case study in Luanhe water system [J]. Progress in Geography, 2010, 29(3): 287-291. (in Chinese))
- [15] 郑建平,陈敏建,徐志侠,等. 海河流域最小生态流量研究[J]. 水利水电科技进展, 2005, 25(5): 13-15, 63. (ZHENG Jianping, CHEN Minjian, XU Zhixia, et al. Calculation of minimum ecological flux of rivers for Haihe River Basin[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2005, 25(5): 13-15, 63. (in Chinese))