

永定河官厅山峡生态需水量 计算及配置方案研究

顾斌杰¹ 王富世² 宋磊³ 吕红霞⁴ 曹畅¹

(1 北控水务集团 100102 2 北京市发展和改革委员会 100031
3 北京市水文总站 100089 4 北京市永定河管理处 100165)

摘要 国内外研究河流生态需水量应用最广的是水文学法和水力学法。水文学方法利用长系列的实测流量数据来计算河流流量推荐值。水力学方法是把河流流量变化与河流水力参数建立关系的一种算法。本研究通过多种方法计算永定河官厅山峡生态需水量,通过比较推荐最小生态需水量为9260万m³/a,4.25亿m³/a是较为理想的水量配置,而2.85亿m³/a可以被认为是在当前缺水条件下较为经济的生态需水量配置要求;立足本地节水,积极协调跨流域调水是近期解决永定河生态需水的必要途径。

关键词 生态需水量;水源保障;永定河

中图分类号 X171

文献标志码 A

文章编号 1673-4637(2017)02-0012-07

Calculation and configuration of ecological water requirements for Yongding river Guanting Gorge

GU Binjie¹ WANG Fushi² SONG Lei³ LV Hongxia⁴ CAO Chang¹

(1 Beijing Enterprises Water Group Limited 100102, China;

2 BeijingMunicipal Commission of Development and Reform 100031, China;

3 Beijing Hydrological Station 100089, China;

4 Beijing Yongding River Management Office 100165, China)

Abstract Hydrology and hydraulic methods are the two majority methods to calculate ecological water requirement across the world. Hydrology method uses long term observation data to simulate the recommend ecological water requirement. Hydraulic method builds equations between flow discharge and other hydraulicvariables. This paper uses several methods to calculate the ecological water requirement for Yongding river Guanting Gorge. After comparing all the result, for the Yongding river Guanting Gorge, the minimum ecological water requirement is 92.6 million m³/a, the ideal ecological water allocation is 425 million m³/a and 285 million m³/a is considered as more economical allocation of ecological water requirement under current water shortage conditions. Recently, local water saving and coordination of inter-basin water transfer are the necessary ways to solve the problem of ecological water requirement of Yongding river.

Keywords ecological water requirement; water quantity guarantee; Yongding river

20世纪以来,人类社会的高速发展有赖于对水资源的高度开发利用,一些河流水量不断减少乃至断流,河道内生物几乎绝迹,环境恶化现象触目惊心。

当前,对于生态需水的研究方兴未艾^[1-3]。对生态需水的认识一般理解为生态系统达到特定状态而需要的水量。直观理解为满足一定范围内植物、水生动植物生

收稿日期:2016-12-02;网络出版日期:2017-02-27

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5445.TV.20170227.0908.008.html>

第一作者简介:顾斌杰(1975—),男,高级工程师。

长需要的水量,侧重于自然的需要。这种水量配置是近期阶段可连续计划实现的。一个生态系统合理、安全的生态需水量应该在一定范围之内可以得到保障的^[4]。

1 永定河水资源概述

永定河是海河流域最大的一条河流,由上游山西、内蒙古的桑干河、洋河2条支流汇集而成,经河北、北京及天津至渤海。永定河流域多年降水量为360~650 mm,多年平均年径流量20.29亿m³。20世纪80年代以来,由于连年干旱,下游平原区河道常年断流,水生生物绝迹,生态环境退化严重。

永定河生态修复的首要工作是解决水源问题,保证永定河具备一定的蓄水量,并确保水质达到一定标准。河道范围内的生态环境需水应包括满足一定水文特征的生态径流、静态湖泊的环境需水,以及水生动植物、滩地植被的生长需水。

永定河官厅山峡段属峡谷型河流,水力比降在0.003左右,水流速度较大,大部分河床底部宽度在70~100 m左右,过流断面面积相对较小,而且至今尚有一定径流,具备一定的生态修复基础。

2 官厅山峡生态需水量计算

国内外研究河流生态需水量应用最广的是水文学法和水力学法^[5-8]。水文学方法利用长系列的实测流量数据来计算河流流量推荐值。水力学方法是把河流流量变化与河流水力参数建立关系的一种算法。本研究采用多种方法对永定河官厅山峡河道进行生态径流和环境需水进行测算。

2.1 基于水文学法的测算

2.1.1 计算基础

水文学方法的代表主要有 Tennant 法(特纳法或蒙大拿法),该方法是由美国学者 Don Tennant 等于 20 世纪 70 年代对多条野外河流进行广泛调查后,根据河流不同流量对渔业的影响而提出的水量测算方法。根据水生生物的生长条件,如表 1 所示将一年分为 2 个时段设定不同的标准^[9]。

该方法依据数理统计原理,将历史流量记录作为重要参考,将一定比例的多年平均天然流量作为河流健康评价的标准。认为 10% 的流量是维持河流生物栖息生存的最小流量;30% 的流量表示可以向生物提供适宜的生态系统;60%~100% 的流量可以支撑接近河流原始未开发水平的生态系统。

Tennant 方法仅使用历史流量即可估算生态需水,

表 1 Tennant 法定义的河道流量评价标准

序号	流量评价	基流占多年平均流量百分比/%	
		10—次年3月	4—9月
1	极限或最大	200	200
2	最佳范围	60~100	60~100
3	极好	40	60
4	很好	30	50
5	良好	20	40
6	一般或较差	10	30
7	差或最小	10	10
8	极差	<10	<10

应用较为简单。尽管这种方法提出的水量并没有体现河流的天然生态径流过程和水文特征,但在我国尚缺少长期生态监测的条件下,尚可作为河流生态修复初期生态径流计算的推荐方法,也可对其他测算方法进行满足程度的评价。

永定河官厅山峡干流上的雁翅水文站观测断面处于永定河官厅山峡中游(如图 1),位于珠窝水库下游约 24.3 km。珠窝水库于 1961 年建成,引水式电站对坝址下游 21 km 河道流量造成衰减,但雁翅水文站处于该段河道下游,1963 年建站以来水文数据连续,断面基本常年过流至今(2016 年),该站多年平均流量可以代表官厅山峡的平均水平。



图 1 永定河官厅山峡水系位置图

雁翅水文站 1963—2012 年共 50 年的流量资料,体现了丰水、平水及枯水年的多种水文过程。该站多年月平均流量可以作为永定河官厅山峡段生态修复工作中、对生态径流近期恢复目标的参考。通过雁翅水文站 1963—2012 年 50 年的流量资料,计算所得多年平均流量为 18.43 m³/s,径流过程如图 2。

本研究根据雁翅水文站 1963—2012 年 50 年的流

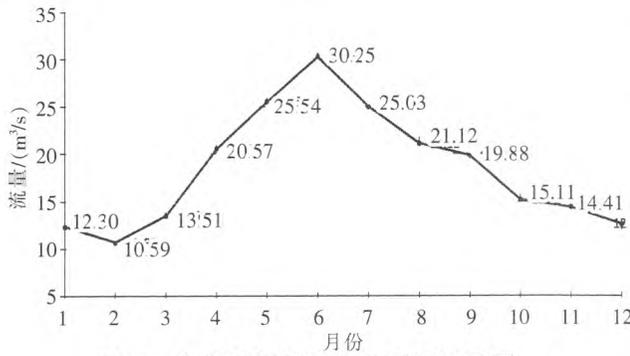


图2 永定河雁翅站多年月平均流量

量资料,通过皮尔逊-III适线法取得了不同保证率下的设计流量(如表2),这些数据是不同水文学计算方法共同需要。

表2 永定河雁翅站设计流量计算成果 m³/s

保证率/%	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
10	24.24	20.12	28.67	46.17	57.61	68.24	57.3	49.05	46.44	30.58	30.77	26.76
20	18.56	15.75	21.09	32.88	40.89	48.44	40.25	34.09	30.15	23.16	22.54	19.69
30	15.03	12.99	16.5	24.87	30.84	36.53	30.09	25.35	21.41	18.63	17.58	15.40
40	12.37	10.94	13.17	19.2	23.78	28.16	23.1	19.23	15.72	15.16	13.99	12.29
50	10.21	9.19	10.41	14.9	18.33	21.72	17.45	14.36	11.68	12.41	11.04	9.72
60	8.29	7.64	8.11	11.19	13.72	16.26	12.94	10.57	8.73	9.98	8.56	7.57
70	6.55	6.23	6.16	8.06	9.85	11.67	9.17	7.33	6.54	7.81	6.48	5.75
80	4.94	4.85	4.21	5.13	6.22	7.37	5.65	4.49	5.12	5.75	4.4	3.93
90	3.07	3.24	2.37	2.59	3.11	3.68	2.73	2.06	4.27	3.49	2.46	2.21

2.1.2 Tennant 法

永定河雁翅站 1963—2012 年的多年平均流量为 18.43 m³/s,传统的 Tennant 方法以多年年平均流量为基数乘以一定比例来获得生态流量,丰水期取 40%,枯水期取 20% 计算^[9],这个比例在年内全部评价为良好水平。本文借鉴采用国内常用的同期均值比算法^[10],即以多年月平均流量为基数,计算得到了具备水文季节变化特征的同期流量数据(表3),在此基础上算得永定河生态需水为 1.91 亿 m³,该系列数据在年内全部评价为良好水平。

2.1.3 最小流量法

最小流量法是从多年样本中,获取每月平均流量的最小值,得到最小径流水文过程^[11]。这种过程代表了实际发生的最坏的水文情况。计算的年生态需水总量为 5 077 万 m³,径流过程如表 4。

用 Tennant 法推荐的河流基流标准对最小流量法的计算成果进行评价,可见丰水期大部分月份的生态

品质为“极差”水平,枯水期为“较差”水平,这种水文条件不能支持河流生态系统的健康存在。

2.1.4 Texas 法

Texas 法是设定逐月流量保证率的计算方法^[5]。根据永定河的天然水文实际情况,按照该方法将一年分为丰(6—9月)、平(4、5、10和11月)、枯(1—3月、12月)3个时期,各时期拟定保证率如表 5。

根据雁翅站不同保证率情况下的设计流量计算成果(表 2),算得的年生态需水总量为 2.85 亿 m³,径流过程如表 6。

按照 Tennant 法推荐的河流基流标准与生态品质的关系,计算结果显示:逐月频率法计算水量相应的生态品质,丰水期接近全部月份达到了“最佳”,其他月份得到了“一般”及“良好”水平以上的评价。

新的逐月频率算法将一年的每个月份取 50% 保证率的流量(被认为是适宜生态流量),算得的年生态需水总量为 4.25 亿 m³,径流过程如表 7。

用 Tennant 法推荐的河流基流标准对新逐月频率法的计算成果进行评价,除 9 月份为“很好”水平外,全年所有月份的生态品质均为“最佳”。

2.1.5 90% 保证率法

该法将一年的每个月份取 90% 保证率的流量^[5],算得的年生态需水总量为 9 260 万 m³,径流过程如表 8。

表3 Tennant 法生态径流计算

月份	多年月平均流量/(m³/s)	同期均值比/%	Tennant 良好流量/(m³/s)	需水量/(万 m³)
1	12.30	20	2.46	659
2	10.69	20	2.14	522
3	13.51	20	2.70	724
4	20.57	40	8.23	2 133
5	25.54	40	10.22	2 736
6	30.25	40	12.10	3 137
7	25.03	40	10.01	2 682
8	21.12	40	8.45	2 263
9	19.88	40	7.95	2 061
10	15.21	20	3.04	815
11	14.41	20	2.88	747
12	12.61	20	2.52	676
备注	18.43			1 万 9 153

用 Tennant 法推荐的河流基流标准对 90% 保证率

表4 最小流量法生态径流计算

月份	多年月平均流量/(m ³ /s)	最小生态流量/(m ³ /s)	同期均值比/%	Tennant法评价	需水量/(万 m ³)
1	12.30	1.71	14	较差	458
2	10.69	1.20	11	较差	293
3	13.51	1.31	10	最小	351
4	20.57	1.79	9	极差	464
5	25.54	1.08	4	极差	289
6	30.25	2.25	7	极差	583
7	25.03	1.90	8	极差	509
8	21.12	1.94	9	极差	520
9	19.88	1.17	6	极差	303
10	15.21	1.90	12	较差	509
11	14.41	1.50	10	最小	389
12	12.61	1.53	12	较差	410
备注	18.43				5 078

表5 逐月频率法阶段划分

月份	水情	保证率/%
1	枯水期	90
2	枯水期	90
3	枯水期	90
4	平水期	70
5	平水期	70
6	丰水期	50
7	丰水期	50
8	丰水期	50
9	丰水期	50
10	平水期	70
11	平水期	70
12	枯水期	90

表6 Texas法生态径流计算

月份	多年月平均流量/(m ³ /s)	最小生态流量/(m ³ /s)	同期均值比/%	Tennant法评价	需水量/(万 m ³)
1	12.30	3.07	25	良好	822
2	10.69	3.24	30	很好	791
3	13.51	2.37	18	一般	635
4	20.57	8.06	39	一般	2 089
5	25.54	9.85	39	一般	2 638
6	30.25	21.72	72	最佳	5 630
7	25.03	17.45	70	最佳	4 674
8	21.12	14.36	68	最佳	3 846
9	19.88	11.68	59	很好	3 027
10	15.21	7.81	51	极好	2 092
11	14.41	6.48	45	极好	1 680
12	12.61	2.21	18	一般	592
备注	18.43				2万 8 516

表7 新逐月频率法生态径流计算

月份	多年月平均流量/(m ³ /s)	适宜生态流量/(m ³ /s)	同期均值比/%	Tennant法评价	需水量/(万 m ³)
1	12.30	10.21	83	最佳	2 735
2	10.69	9.19	86	最佳	2 243
3	13.51	10.41	77	最佳	2 788
4	20.57	14.90	72	最佳	3 862
5	25.54	18.33	72	最佳	4 910
6	30.25	21.72	72	最佳	5 630
7	25.03	17.45	70	最佳	4 674
8	21.12	14.36	68	最佳	3 846
9	19.88	11.68	59	很好	3 027
10	15.21	12.41	82	最佳	3 324
11	14.41	11.04	77	最佳	2 862
12	12.61	9.72	77	最佳	2 603
备注	18.43				4万 2 504

表8 90%保证率法生态径流计算

月份	多年月平均流量/(m ³ /s)	90%保证率流量/(m ³ /s)	同期均值比/%	Tennant法评价	需水量/(万 m ³)
1	12.30	3.07	25	良好	822
2	10.69	3.24	30	很好	791
3	13.51	2.37	18	一般	635
4	20.57	2.59	13	差	671
5	25.54	3.11	12	差	833
6	30.25	3.68	12	差	954
7	25.03	2.73	11	差	731
8	21.12	2.06	10	最小	552
9	19.88	4.27	21	差	1 107
10	15.21	3.49	23	良好	935
11	14.41	2.46	17	一般	638
12	12.61	2.21	18	一般	592
备注	18.43				9 261

法的计算成果进行评价, 丰水期大部分月份的生态品质为“差”或“一般”水平, 只有枯水期的个别月份达到了“良好”或“很好”水平。

2.2 基于水力学法的测算

水力学法是根据生物栖息地对水力学参数(水深、水面宽、湿周、流速及过流面积等)的要求确定相应所需流量。在河流生态修复中可能针对其中一个或几个参数设计生态保护目标, 即可在此基础上进行水力学计算求得生态需水量。

2.2.1 湿周法

永定河官厅山峡的河道断面一般不是规整的矩形断面, 大多数河段接近抛物线形态, 在计算中将河流

断面概化成抛物线断面, 经过推导, 水深 h 与湿周 P 的关系如下

$$P = \frac{1}{2} \sqrt{(16h + b_1^2)} h + \frac{1}{8} b_1^2 \ln \left(\frac{4\sqrt{h}}{b_1} + \sqrt{1 + \frac{16}{b_1^2}} \right) \quad (1)$$

b_1 为水深为 1 m 时的水面宽度, 根据永定河雁翅河段断面几何参数的实测, 该地区的 b_1 值约为 76.5 m。

将永定河官厅山峡雁翅水文站的实测水深 h 与流量 Q 的组成数组, 将水深 h 按上式换算后, 得到湿周 P -流量 Q 的数组, 然后进行了函数拟合, 结果如图 3。

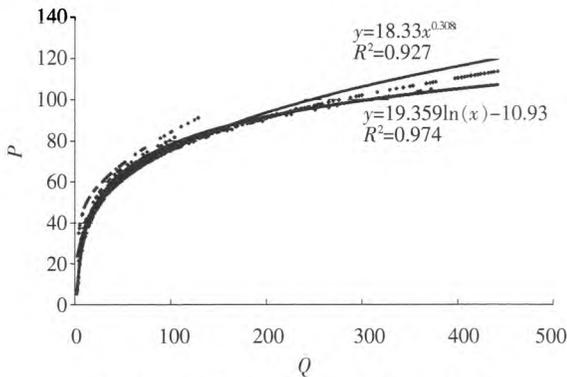


图 3 湿周 P -流量 Q 函数拟合图

可见, 相关系数较高(相关系数 $R^2=0.9742$)的函数为对数函数。

$$y = 19.359 \ln x - 10.93 \quad (2)$$

式中 y 代表湿周 P , x 代表流量 Q 。

对于对数函数 $y = a \ln x + b$ 的斜率和曲率特征值计算, 概化如下:

斜率等于 1 时, $x = a$;

最大曲率一阶导数为 0 时, 相应 $x = a\sqrt{0.5}$ 。

由此, 斜率法计算结果 $Q = 19.36 \text{ m}^3/\text{s}$; 曲率法计算结果 $Q = 13.69 \text{ m}^3/\text{s}$ 。按此流量, 不考虑年内季节变化, 斜率法和曲率法所得生态需水量分别为 6.11 亿 m^3/a 和 4.32 亿 m^3/a 。

斜率法所得的最小生态径流超出了 Tennant 评价标准的最佳范围, 而曲率法的计算结果处于 Tennant 评价标准的最佳范围之内, 相应 $Q = 13.69 \text{ m}^3/\text{s}$, 生态需水量为 4.32 亿 m^3/a 。与前述水文学方法的新逐月频率法所得适宜生态水量结果 4.25 亿 m^3/a 高度接近。

湿周法获得的特征流量, 一般被认为是满足河流内鱼类生物在产卵期(4月)进行洄游或鱼卵在一定流速中漂浮而必要之需, 而并不代表年内其他时段生态需水的刚需。本研究尝试将多年月平均流量系列中各

月流量相比 4 月份流量的比值, 乘以湿周法获得的特征流量, 来获得年内其他月份的生态径流, 所得结果如表 9。

表 9 湿周法径流过程及生态需水计算表

月份	多年月平均流量/(m^3/s)	占 4 月份流量百分比/%	湿周法月均流量/(m^3/s)	Tennant 法评价	生态需水量/(万 m^3)
1	12.30	59.8	8.18	最佳	2 192
2	10.69	52.0	7.11	最佳	1 736
3	13.51	65.7	8.99	最佳	2 408
4	20.57	100.0	13.69	最佳	3 548
5	25.54	124.2	17.00	最佳	4 553
6	30.25	147.1	20.14	最佳	5 219
7	25.03	121.7	16.66	最佳	4 462
8	21.12	102.7	14.06	最佳	3 766
9	19.88	96.6	13.23	最佳	3 429
10	15.21	73.9	10.12	最佳	2 711
11	14.41	70.1	9.59	最佳	2 486
12	12.61	61.3	8.39	最佳	2 248
合计					3 万 8 758

按比测算后, 获得的年生态需水量为 3.8759 亿 m^3 。虽然, 计算结果相比湿周法直接获得的数据相差不大, 但是按比测算后的流量, 具备了跟随季节变化的水文特征, 对于具体实践具有指导意义。

2.2.2 水力半径法

水力半径法也是利用水力学公式来获得生态流量, 也需要假设断面水流是恒定均匀流。

生态流速 $V_{\text{生态}}$ 的假定是本方法应用的关键, 经查阅文献, 一般取值 0.12 ~ 0.70 m/s, 官厅山峡地区永定河河道内淡水鱼类以鲤鱼、鲫鱼、鲢鱼、草鱼及青鱼等鱼为主, 它们繁殖期洄游及鱼卵漂浮需要的水流速度约为 0.60 m/s, 这个流速即是本方法需要采用的生态流速 $V_{\text{生态}}^{[12]}$ 。

在时间上选择代表性鱼类生物繁殖期对水量的需求作为生态修复目标。鱼类繁殖期为每年 4—6 月。另外, 在这个时期社会工农业生产用水量也是处于年内高峰阶段。所以, 选择 4 月这个时间点作为生态用水的重点保障时期具有代表意义。

在上述将河流断面概化成抛物线断面获得数据的基础上, 可以拟合出流量 Q 与水力半径 R 的函数, 进而求解生态流量 $Q_{\text{生态}}$ 。由于在上述湿周法计算过程中已经获得了这些数据, 本文直接利用上述计算成果。在湿周法对概化断面的水力计算中, 得到的流量 Q -水

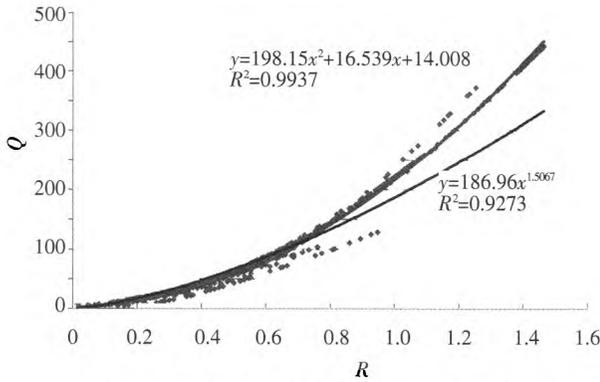


图4 流量 Q ~水力半径 R 函数拟合图

力半径 R 的函数关系如图4。

可见，相关系数较高(相关系数 $R^2=0.9937$)的函数为幂函数。

$$y=198.15x^2 + 16.539x+14.008。 \quad (3)$$

式中 y 代表流量 Q ， x 代表水力半径 R 。

永定河官厅山峡地区天然河道比降 J 在取值为0.003，河流断面的糙率 n 取0.031，在生态流速0.6 m/s条件下，通过曼宁公式及拟合函数计算得到所需流量 Q_{min} 为12.43 m³/s，占多年平均流量的67%，处于Tennant评价标准的最佳范围之内。

该方法所得结果与湿周法一样，没有年内季节变化特征，对于指导实际操作存在困难。同样，可以将多年月平均流量系列中各月流量相比4月份流量的比值，乘以已经获得的基于一定生态流速下的特征流量，来获得年内其他月份的生态径流，所得结果如表10。

表10 水力半径法径流过程及生态需水计算表

月份	多年月平均流量/(m ³ /s)	占4月份流量百分比/%	水力半径法月均流量/(m ³ /s)	Tennant法评价	生态需水量/万m ³
1	12.30	59.8	7.43	最佳	1 990
2	10.69	52.0	6.46	最佳	1 576
3	13.51	65.7	8.16	最佳	2 187
4	20.57	100.0	12.43	最佳	3 222
5	25.54	124.2	15.44	最佳	4 134
6	30.25	147.1	18.28	最佳	4 739
7	25.03	121.7	15.13	最佳	4 052
8	21.12	102.7	12.76	最佳	3 419
9	19.88	96.6	12.01	最佳	3 113
10	15.21	73.9	9.19	最佳	2 461
11	14.41	70.1	8.71	最佳	2 257
12	12.61	61.3	7.62	最佳	2 041
合计					3万5 191

等比测算后，获得的年生态需水量为3.5191亿m³。虽然，计算结果相比生态流速直接获得的数据相差不大，但是水力半径法参考了与生物生境密切相关的水流速度、河流水力比降及河流断面糙率等因素，结果更具生态指导意义。

3 综合对比与选取

在对官厅山峡生态径流计算的过程中，采用水文学与水力学两类方法共计7个算法的年生态需水总量如表11。

表11 官厅山峡生态需水量计算结果 亿m³/a

计算方法	最小流量法	90%保证率法	Tennant法	Texas法	水力半径法	湿周法	适宜生态流量
年需水量	0.51	0.93	1.92	2.85	3.52	3.88	4.25

从小到大排序依次为最小流量法、90%保证率法、Tennant法、Texas法、水力半径法、湿周法和新逐月频率法(适宜生态流量)。其中，Tennant法、Texas法、水力半径法、湿周法及新逐月频率法等5个数据虽然数值有所差异，但基本处于同一数量级，除Tennant法评价为良好水平，其余各种方法均代表了河流生态系统获得最佳水平的生态需水量，其中，最佳水平的低限为2.85亿m³/a，适宜生态流量为4.25亿m³/a。

从Tennant标准对2种逐月频率算法所得结果的评价来看，2种水文条件均属自然条件下“良好”以上的生态品质。相比而言，分阶段拟定不同保证率的频率算法(Texas法)精细考虑了水文系统的年内季节变化，所得生态水量(2.85亿m³)及水文过程是一种比较经济的配水方案；而将不同季节划定在同一保障率的算法所得生态水量(适宜生态径流，4.25亿m³)及水文过程，是在水资源较为充沛条件下的理想配水方案，对河流生态的积极影响将遍及河流周边生物栖息地的保护，可作为区域生态修复的中远期目标。

最小流量法和90%保证率法算得的年生态需水总量分别为5 077万m³和9 260万m³。相比而言，最小流量法计算结果代表了自90年代进入枯水水文周期以来的“极差”水文状态，可以看出永定河的生态系统已受到了严重的破坏，部分生态特征消失殆尽；而90%保证率法的计算结果代表了大水文周期

内生态系统可短时适应的、生态濒临系统性破坏的临界状态,可认为是在枯水年可以接受的最小生态径流过程。

以上分析可见,用水文学方法确定河流的适宜生态径流,流量保证率的确定是关键;通过天然径流系列保证率来确定的生态径流过程考虑了河流的丰、平和枯3种天然水文过程,显然要比通过多年平均流量百分比确定的生态需水量更具科学性。

水力学方法估算的湿周法与水力半径法按多年月平均流量等比获得的径流过程都在 Tennant 良好水平线与多年平均线之间,径流过程具备参考价值。

生态需水量计算理想的方法需要量化所有的参数,并且能够体现参数互相之间的影响。自然环境、生物的相似性对于方法应用的成功与否十分重要,即使是两个紧邻的、并且地质条件和流域自然情况非常相似的集水区,它们对于枯水的敏感性反应也有着显著不同。所以,应用任何一种方法进行河流生态需水计算时,均需要对已知方法进行适用性评价,充分认识方法的适用条件。

4 永定河生态需水配置研究

相比于官厅山峡以保障一定水文或水力条件目标而得到的生态需水,在永定河水资源紧缺的背景下,永定河平原区生态需水是指地下水埋深较深情况下,维持防渗减漏、景观用水及绿化取水,还包括为逐步提高改善水体质量及定期更换的新水体量。

平原段的生态环境需水的配给主要是满足营造一定水面的蒸发渗漏,以及河道内植被的灌溉、消耗和蒸腾。现阶段在上游官厅山峡获得良好水平生态流量之前,平原段按照水文或水力计算形成连续基流的生态需水量的满足,存在很大的困难。通过跨流域、跨行政区域的规模调水,形成一定程度的沼泽湿地是河道回归郊野河道的近期目标。

目前,无论是官厅山峡段还是平原段,永定河的生态需水保障严重不足。在京津冀协同发展新的形势下,水源保障应遵循以下原则:先节水后调水,打通水系连通通道,保障永定河生态用水。国务院及沿线地方政府提出了多种水源配置渠道,研究认为黄河万家寨引水将自上而下保障全流域生态用水,是全流域水资源调度的优选方案。

5 结论

水源保障是城市河流生态修复取得成功的关键。永定河官厅山峡段生态需水应以保障一定流量的生态基流为要求,最小生态需水量为9 260万 m^3/a ,适宜生态水量为4.25亿 m^3/a ,而逐月频率法所得生态流量2.85亿 m^3/a 可以被认为是当前缺水条件下较为经济的生态需水量配置要求。

本着调水与节水相结合、节水循环利用优先的思路,大力推进再生水利用、加强雨洪水优化调度和增加南水北调等外调水是近期解决永定河生态用水的必要途径。

参考文献

- [1] 刘昌明. 关于生态需水量的概念和重要性[J]. 科学对社会的影响, 2002(2):25-29.
- [2] 刘静玲, 杨志峰, 肖芳, 等. 河流生态基流量整合计算模型[J]. 环境科学学报, 2005(4):436-441.
- [3] 张辉. 河流生态需水理论研究与进展[J]. 天津科技, 2014,41(8):86-88.
- [4] 许新宜, 杨志峰. 试论生态环境需水量[J]. 中国水利, 2003(5):12-15.
- [5] 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(3):430-434.
- [6] 卞戈亚, 周明耀, 朱春龙. 生态需水量计算方法研究现状及展望[J]. 水资源保护, 2003(6):46-49.
- [7] MOSELY M P. The effect of changing discharge on channel morphology and instream uses and in a braided river, Ohau River, New Zealand[J]. Water Resources Researches, 1982(18):800-812.
- [8] ARMSTRONG J D, KEMP P S, KENNEDY G J A. Habitat requirements of Atlantic salmon and brown trout in river and streams[J]. Fisheries Research, 2003(62):143-170.
- [9] 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[J]. 水利水电技术, 2003(11):15-17.
- [10] 郭利丹, 夏自强, 林虹, 等. 生态径流评价中的 Tennant 法应用[J]. 生态学报, 2009(4):1787-1792.
- [11] 李捷, 夏自强, 马广慧, 等. 河流生态径流计算的逐月频率算法[J]. 生态学报, 2007(7):2916-2921.
- [12] 孙涛, 杨志峰. 基于生态目标的河道生态环境需水量计算[J]. 环境科学, 2005(5):43-48.

(责任编辑:林跃朝)