

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2017.06.05

基于干旱河道生态修复的岳城水库生态调度

王立明,徐宁,高金强

(水利部海河水利委员会水资源保护科学研究所,天津 300170)

摘要:根据干旱风沙河道生态修复目标,结合水库的防洪、兴利、生态调度,建立了多目标水库生态调度模型,研究漳河岳城水库的生态调度。结果表明:枯水年岳城水库向下游河道生态供水 $0.277 \times 10^8 \text{ m}^3$,平水年岳城水库向下游河道生态供水 $0.327 \times 10^8 \text{ m}^3$,丰水年可以满足下游生态需水量 $2.66 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

关键词:岳城水库;生态修复;生态调度

中图分类号:TV213.4

文献标志码:A

文章编号:1004-6933(2017)06-0032-06

Ecological operation of Yuecheng Reservoir based on ecological restoration of arid river

WANG Liming, XU Ning, GAO Jinqiang

(Scientific Research Institute of Water Resources Protection, Haihe River Water Conservancy Commission, MWR, Tianjing 300170, China)

Abstract: According to the ecological restoration goal of arid aeolian sand channel, combined with the flood control, benefit and ecological regulation of reservoir, a multi-objective reservoir ecological operation model was established for studying the ecological operation of Yuecheng Reservoir. The study results show that Yuecheng Reservoir provides ecological water supply of $0.277 \times 10^8 \text{ m}^3$ to downstream rivers in the low flow year, $0.327 \times 10^8 \text{ m}^3$ in the normal year and $2.66 \times 10^8 \text{ m}^3$ in the high flow year.

Key words: Yuecheng Reservoir; ecological restoration; ecological regulation

海河流域是我国水资源严重短缺的地区之一。海河流域山前水群带建成运行之前10年(1952—1961年)的年平均径流为 $132.7 \times 10^8 \text{ m}^3$,水库群运行后,平均年径流减少至 $2.3 \times 10^8 \text{ m}^3$,径流减少了98.3%。2000年以后,海河流域平原区的23条主要河流平均断流216 d,年均断流天数大于300 d的河流(河段)有11条,年均干涸长度1721 km,占主要河流总河长度的44%^[1]。长期的干涸引发了山前平原地区河流逐步沙化,2000年以后沙化面积不断扩大,从冀西地区发展到冀南衡水—邢台一带,并向京津地区逐步扩展,永定河、大清河、子牙河、滏阳河及漳河在山前平原河段沙化趋势明显,河漫滩部

分被开垦,草地遭到严重破坏,林草地明显减少。20世纪80年代后,随着城市建设的发展,对砂石料的需求量不断增大,采砂点开始遍布永定河、潮白河、滹沱河、南拒马河、漳河等河流山前平原河段。人为采砂活动对河床的扰动致使河漫滩植被破坏,进一步加剧了河道沙化。

生态修复是在一定的区域背景条件下,为解决生态系统退化和生态环境破坏的问题,对受损的生态系统进行修复,使生态系统逐步恢复到健康状态并保持长期稳定的过程^[2-3]。近年来,针对海河流域干旱风沙河道的生态修复进行了大量的研究与实践,这些研究在分析海河流域特点和河流生态现状

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2014ZX07203008)

作者简介:王立明(1973—),男,高级工程师,主要从事水资源保护规划研究。E-mail:wangliming@hwcc.gov.cn

的基础上,基于河流水体连通、水质净化、景观环境、生境维持等生态功能,提出生态供水、水质改善、生境修复等生态修复基本模式,并依据河流生态功能,计算了河流生态需水量,提出了河道植物景观营造方案^[4-8]。笔者试图研究漳河岳城水库下游河道生态需水量,构建岳城水库生态调度优化模型,改进水库调度方式,保证漳河岳城水库下游河道的生态安全。

1 研究区概况

漳河是海河流域漳卫南运河系的重要支流之一,发源于太行山南部山西省境内,流经山西、河南和河北 3 个省,河道全长 460 km,流域总面积 19 537 km²。漳河在河北省磁县与河南省安阳县交界处入岳城水库,在岳城水库以下进入平原区,流经河北省磁县、临漳等县,于馆陶县徐万仓村汇入卫运河。漳河岳城水库以下平原河道长 119 km,为沙质河床,以“擅淤、擅决”而闻名,属于游荡性河道。图 1 为漳卫南河系示意图。

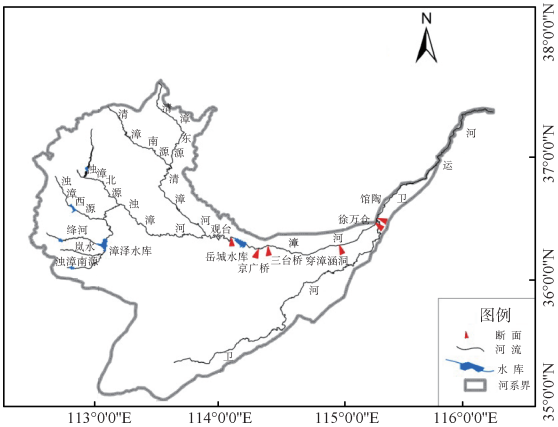


图 1 漳卫南河系示意图

岳城水库兴建于 1958 年 8 月,控制流域面积 18 100 km²,总库容 13.0 × 10⁸ m³,兴利库容 6.8 × 10⁸ m³,是一个以防洪为主、兼顾城市生活和农业灌溉供水等的水库。岳城水库于 1962 年开始向下游民有渠、漳南渠两大灌区供水,民有渠灌区引漳灌溉面积 8.47 × 10⁴ hm²,漳南渠灌区引漳灌溉面积 4.27 × 10⁴ hm²。1981 年和 1985 年,分别通过民有渠、漳南渠向河北省邯郸市和河南省安阳市提供城市居民用水和工业用水。至 2010 年,岳城水库累计供水量达 179.52 × 10⁸ m³,其中向河北供水 124.36 × 10⁸ m³,年均供水量 2.61 × 10⁸ m³;向河南供水 54.97 × 10⁸ m³,年均供水量 1.19 × 10⁸ m³。1981—2010 年岳城水库向邯郸市和安阳市实际供水 48.63 × 10⁸ m³,年均供水水量为 1.62 × 10⁸ m³^[9-11]。

2 漳河下游生态需水量确定

漳河岳城水库以下河道 1990 年以后处于断流或干涸状态,加之人类活动影响,河床沙化严重,部分河段演变成两岸的风沙源。根据卫星遥感数据对比分析,下游平原河道 1990 年的水面面积为 7 414 hm²,2010 年减少至 4 068 hm²,减少了约 45%;1990 年的植被面积为 3 772 hm²,2010 年减少至 2 564 hm²,减少了约 32%。针对漳河的水资源条件和河道生态现状,《海河流域综合规划(2012—2030 年)》制定了“湿润漳河,绿色漳河”的生态修复目标,提出“以绿代水”的生态修复模式^[12]。湿润漳河,是指通过岳城水库生态调度,达到促进河道植被生长、改善河道生态环境的目的。漳河“以绿代水”的修复模式是指采取人工干预措施恢复河道滩地植被,增加植被覆盖率,利用植被的根系稳定河床、防治风沙。

2.1 漳河岳城水库下游河道生态需水量

利用漳河观台水文站 1981—2010 年逐月水文数据,采用 Tennant 方法计算漳河岳城水库下游河道的生态需水量,取各月水量的 10% 作为最小基流,确定漳河下游年生态最小基流量为 1.32 × 10⁸ m³。除了考虑生态基流外,还考虑河道生态水量的蒸发渗漏损失,根据漳河蔡小庄水文站多年实测资料分析,确定漳河下游河道年蒸发损失 0.38 × 10⁸ m³,年渗漏损失 0.98 × 10⁸ m³。由此得到漳河岳城水库下游生态需水量为 2.66 × 10⁸ m³,见表 1。

表 1 漳河岳城水库下游河道各月生态需水量 10⁸ m³

月份	蒸发损失	渗漏损失	生态基流	生态需水量
1	0.02	0.03	0.06	0.11
2	0.02	0.03	0.06	0.11
3	0.01	0.04	0.07	0.12
4	0.01	0.02	0.05	0.08
5	0.02	0.01	0.06	0.08
6	0.02	0.04	0.07	0.12
7	0.03	0.18	0.17	0.38
8	0.09	0.30	0.33	0.72
9	0.06	0.15	0.17	0.38
10	0.04	0.08	0.12	0.24
11	0.03	0.06	0.09	0.18
12	0.03	0.04	0.07	0.14
合计	0.38	0.98	1.32	2.66

2.2 漳河平原河段湿润状态时最小生态需水量

在漳河现有的水资源条件下,为保障经济社会正常发展,难以通过大量削减生活用水、生产用水来满足漳河下游生态需水量。根据“湿润漳河,绿色漳河”的生态修复目标,本文采用岳城水库 2008 年

6 月和 7 月向下游河道输水实测数据,分析漳河平原河段处于湿润状态时的最小生态需水量。

2008 年 6 月,岳城水库向下游河道放水,出库流量 $53 \text{ m}^3/\text{s}$,水头至漳河穿漳涵洞断面历时 82.5 h,水库出库水量为 $1574.1 \times 10^4 \text{ m}^3$;水头至漳河和卫河交汇口的徐万仓断面历时 114 h,水库出库水量为 $2175.1 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。同年 7 月,岳城水库再次向下游河道放水,水头至漳河穿漳涵洞断面时,水库出库水量为 $652.5 \times 10^4 \text{ m}^3$,至徐万仓断面时,水库出库水量为 $1068.3 \times 10^4 \text{ m}^3$ [13]。根据河道管理部门实际观测,9 月 1 日前岳城水库以下河道水面基本呈连续状态;9 月 10 日以后,岳城水库至京广桥断面之间河道水面基本呈现连续状态,京广桥到三台桥断面之间有 3 个面积较大的水面,三台桥断面以下河道仅在部分低洼地段尚存部分余水。根据这两次河道过水过程判断,漳河岳城水库平原河道过水后,河道内积水使河道保持湿润时间约为 2 个月。分析岳城水库出库水量、河道过水过程及水面维持时间可知,岳城水库向下游河道进行生态供水,河道处于干旱状态时至穿漳涵洞断面每次需水 $1500 \times 10^4 \text{ m}^3$,河道处于湿润状态时至穿漳涵洞断面需水 $650 \times 10^4 \text{ m}^3$,河道水面通过蒸发渗漏损失可自然维持时间约 2 个月。

3 岳城水库生态调度研究

水库生态调度是在水量调度过程中兼顾下游河道生态环境用水,在生态环境用水与社会经济用水之间寻求平衡点,从而形成促进下游河流生态恢复和改善的水库生态调度规则和方式 [14]。水库多目标生态调度是当前国内外河流生态修复的一项重要举措,许多学者开展了大量的相关研究 [15-16]。美国在康涅狄格河流域水库调度过程中,综合考虑了水库的防洪、供水、发电、娱乐、河流生态流量等目标,构建了水库生态调度优化模型,通过改进水库调度方式,保证了防洪和下游生态安全。

3.1 生态调度模型和约束条件

3.1.1 模型

根据水库生态调度基本理论,笔者考虑岳城水库防洪、供水功能的同时,根据下游河道年内不同时期生态需水情况,采用多目标优化技术,构建了岳城水库多目标生态调度模型:

$$\min(a \cdot f(x_1, x_2, \dots, x_m) + b \cdot g(y_1, y_2, \dots, y_m)) \quad (1)$$

$$\begin{aligned} f(x_1, x_2, \dots, x_m) &= \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_i - w_i)^2} \\ g(y_1, y_2, \dots, y_m) &= \sqrt{\sum_{i=1}^m (y_i - s_i)^2} \end{aligned}$$

式中: $f(x_1, x_2, \dots, x_m)$ 为岳城水库供水目标,表示年内不同时段供水不足对经济社会用水的影响程度; $g(y_1, y_2, \dots, y_m)$ 为岳城水库下游河道生态需水目标,表示年内不同时段生态供水不足对河流生态的影响程度; x_i 为岳城水库不同时段河道外供水水量, 10^8 m^3 ; $m = 18$,表示年内供水时段数,每年汛期 7 月至 9 月按旬计算,非汛期按月计算,即 x_1 为 7 月上旬供水量, x_2 为 7 月中旬供水量,依此类推; w_i 为第 i 个时段河道外需水量, 10^8 m^3 ; y_i 为岳城水库不同时段向下游河道出库水量, 10^8 m^3 (y_1 为 7 月上旬水库向河道生态供水量, y_2 为 7 月中旬水库向河道生态供水量,依此类推); s_i 为第 i 个时段的下河道生态需水, 10^8 m^3 ,当 $y_i > s_i$, 计算取 $y_i = s_i$; a, b 分别为不同供水目标权重, $a + b = 1$, 当 $a = b = 0.5$ 时,表示供水目标权重相等。

3.1.2 约束条件

a. 水位约束

$$Z_{\min,i} \leq Z_i \leq Z_{\max,i} \quad (2)$$

式中: Z_i 为年内不同时段岳城水库水位, m; $Z_{\min,i}$ 为水库死水位(或最低供水位), m; $Z_{\max,i}$ 为水库汛限水位(或正常蓄水位), m。

b. 水量约束

$$0 \leq x_i \leq w_i \quad (3)$$

$$0 \leq y_i \leq q_{\max}$$

式中, $q_{\max}$ 为不同时段水库最大可下泄水量,汛期根据水库防洪运行安全泄量(或水库泄流能力)确定,非汛期根据下游河道生态需水量确定, 10^8 m^3 。

c. 水量平衡约束

$$V_{t+1} - V_t = (\bar{Q}_t - \bar{q}_t) \Delta t \quad (4)$$

式中: V_{t+1}, V_t 分别为 t 时段末和时段初岳城水库蓄水量, 10^8 m^3 ; $\bar{Q}_t$ 为该时段的岳城水库入库平均流量, m^3/s ; $\bar{q}_t$ 为该时段水库出库平均流量,为水库向河道外供水、下游河道生态供水之和, m^3/s ; Δt 为时段时间。岳城水库属于峡谷水库不考虑蒸发渗漏损失。

d. 调度约束

调度约束指岳城水库汛期的运行调度规则。根据 1981—2010 年岳城水库运行调度情况 [17], 在求解过程中,将岳城水库全年调度过程分成汛期和非汛期两大部分。汛期按照水库调度原则进行水量调度,汛期末的水库蓄水水位作为非汛期水量调度的初始条件。非汛期水量调度采用粒子群算法进行优化调度,变量的维数为 18 维,前 1 至 9 维为 10 月至翌年 6 月的河道生态供水量,10 至 18 维为 10 月至翌年 6 月的河道外生活生产供水。

3.2 入库水量与水量调度

3.2.1 不同保证率下的入库水量

根据岳城水库入库控制站观台水文站多年观测资料统计,岳城水库最大入库水量为 1963 年 $48.20 \times 10^8 \text{ m}^3$,最小入库水量为 1999 年 $0.33 \times 10^8 \text{ m}^3$,多年平均入库水量为 $7.60 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中 1962—1970 年入库水量为 $18.27 \times 10^8 \text{ m}^3$,1971—1980 年入库水量为 $8.82 \times 10^8 \text{ m}^3$,1981—1990 年入库水量为 $4.21 \times 10^8 \text{ m}^3$,1991—2000 年入库水量为 $3.15 \times 10^8 \text{ m}^3$,2000—2010 年入库水量为 $3.36 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。本文根据观台水文站 1981—2010 年水文资料分析不同保证率下岳城水库各月入库水量见表 2。枯水年、平水年、丰水年分别取 1998 年 7 月—1999 年 6 月(75% 频率),2007 年 7 月—2008 年 6 月(50% 频率),2010 年 7 月—2011 年 6 月(25% 频率)。

3.2.2 枯水年水量调度

根据岳城水库运行调度规则,每年 7 月 1 日—8 月 10 日以汛限水位 134 m 作为起调水位,8 月 11—20 日汛限水位逐步抬蓄至 141 m,8 月 21 日至 9 月 30 日汛限水位为 145 m,汛期以水库汛限水位作为生态调度的最低控制水位。河道外供水目标权重取 0.9,下游河道生态需水目标权重取 0.1。枯水年岳城水库水量调度曲线见图 2。

根据岳城水库入库站 1981—2010 年水文资料,枯水年(75% 频率)入库水量为 $1.02 \times 10^8 \text{ m}^3$,水库供水总量为 $1.62 \times 10^8 \text{ m}^3$,库区蒸发渗漏损失水量为 $0.23 \times 10^8 \text{ m}^3$,为保障生活生产用水量,岳城水库需要利用原有蓄水 $0.83 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。岳城水库在 9 月底达到年最大需水量 $2.06 \times 10^8 \text{ m}^3$,对应水位 134.4 m,随后数月水位逐步下降,翌年 6 月底水位降至 129.8 m。根据上游来水情况和水库调度规则,7 月 1 日至 8 月 10 日,水库向下游漳河生态供水 $0.277 \times 10^8 \text{ m}^3$,不能满足下游对应时段生态需水量要求,但可以满足下游风沙河段漳河铁路桥至穿漳涵洞的湿润用水。

3.2.3 平水年水量调度

平水年(50% 频率)岳城水库入库水量为 $2.18 \times 10^8 \text{ m}^3$,年供水总量为 $1.62 \times 10^8 \text{ m}^3$,可以保障全年生活生产用水。平水年岳城水库水量调度曲线见

图 3。

由于汛期 7 月来水量较少,为保障生活生产用水,岳城水库需要利用原有蓄水 $0.076 \times 10^8 \text{ m}^3$,7 月底水库水位降至 133.67 m,低于汛限水位。8 月上旬,水库上游来水量增大,满足生活供水的同时,水库水位升高至 134 m 后,水库可向下游漳河生态供水 $0.073 \times 10^8 \text{ m}^3$,这不能满足下游风沙河段河道保持湿润的用水量。8 月中旬至 9 月下旬,水库上游来水量 $0.72 \times 10^8 \text{ m}^3$,满足生活供水要求。由于水库汛限水位抬高至 141 m(蓄水量 $4.0 \times 10^8 \text{ m}^3$)和 145 m(蓄水量 $5.3 \times 10^8 \text{ m}^3$),水库不能向下游漳河生态供水,9 月底水库蓄水量 $2.68 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。10 月份至翌年 6 月,岳城水库进入兴利蓄水期,水库控制蓄水位 148.5 m,对应蓄水量 $6.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。根据预测,10 月份至翌年 6 月岳城水库生活生产供水量 $1.38 \times 10^8 \text{ m}^3$,上游来水量 $1.23 \times 10^8 \text{ m}^3$,扣除水库年蒸发渗漏损失水量,在 6 月底水库降至汛限水位 134 m 前,可向下游漳河生态供水 $0.327 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。根据湿润漳河生态需水量的计算结果和当地气候特点,选择在 11 月份向下游生态供水 $0.15 \times 10^8 \text{ m}^3$,有效抑制下游河道风沙。在翌年 3 月份向下游生态供水 $0.177 \times 10^8 \text{ m}^3$,抑制下游河道风沙的同时,保持河道湿润,促进下游植被萌发,进行以绿代水生态修复。

3.2.4 丰水年水量调度

丰水年(25% 频率)岳城水库年来水总量为 $4.66 \times 10^8 \text{ m}^3$,年供水总量为 $1.62 \times 10^8 \text{ m}^3$,来水量可以保障全年生活生产用水。丰水年岳城水库水量调度曲线见图 4。

由于汛期 7 月来水量较少,为保障生活生产用水,岳城水库需要利用原有蓄水 $0.812 \times 10^8 \text{ m}^3$,7 月底水库水位降至 133 m,低于汛限水位。8 月上旬至 9 中旬,水库上游来水量 $1.58 \times 10^8 \text{ m}^3$,水库蓄水量 $3.40 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。根据预测至翌年 6 月底水库降至汛限水位 134 m 前,扣除水库年蒸发渗漏损失水量,可以满足生活生产供水要求。同期来水可向下游进行生态供水,在 6 月底水库降至汛限水位 134 m 前,可向下游漳河生态供水 $2.81 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

丰水年岳城水库向漳河下游生态供水 $2.81 \times 10^8 \text{ m}^3$,理论上完全可以满足下游年最小生态需水量

表 2 岳城水库不同保证率下各月入库水量

保证率/%	入库水量/ 10^8 m^3											
	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
25	0.20	0.15	0.27	0.28	0.07	0	0.06	0.71	1.31	0.54	0.64	0.43
50	0.09	0.05	0.03	0.03	0.05	0.06	0.07	0.49	0.39	0.63	0.22	0.08
75	0.17	0.11	0	0	0.07	0.06	0.41	0.07	0.12	0	0	0

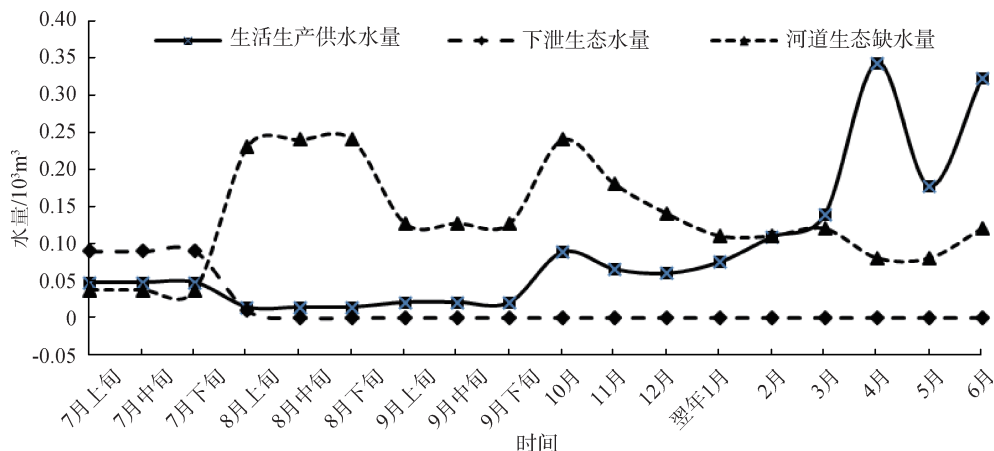


图2 枯水年岳城水库水量调度曲线

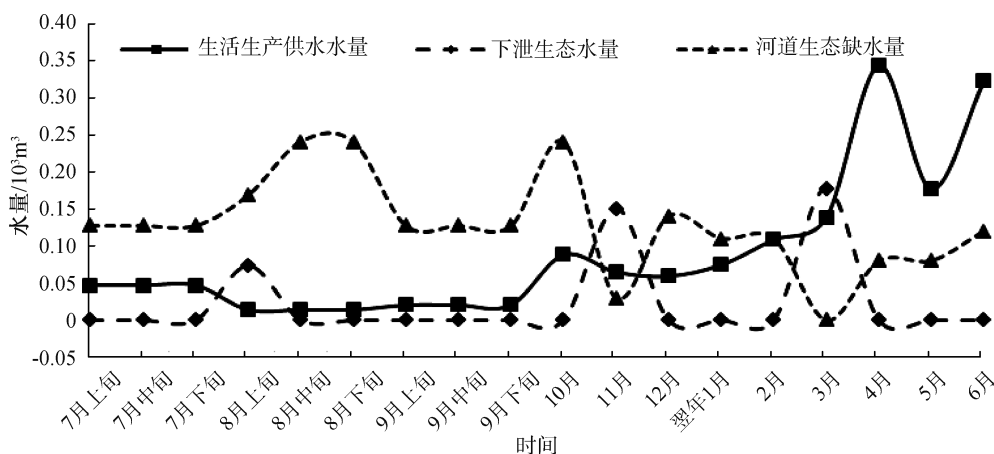


图3 平水年岳城水库水量调度曲线

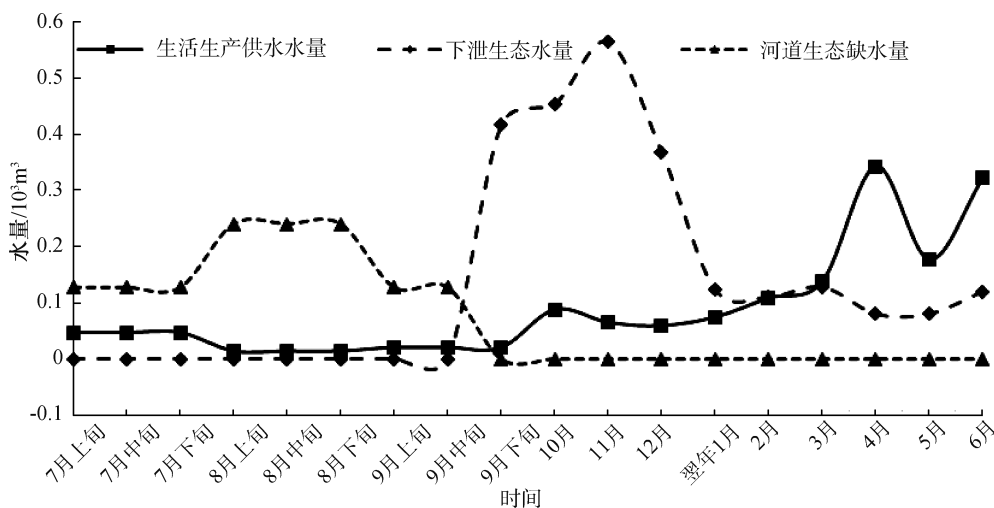


图4 丰水年岳城水库水量调度曲线

$2.66 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的需求,但是,由于岳城水库上游流域全年水资源量 60% 以上集中在汛期,汛期 80% 的水量集中在一次或几次降雨过程,暴涨暴落是漳河洪水的显著特点之一,受流域内水资源特点和降雨预测困难的限制,岳城水库生态调度预测过程中很难控制 7 月上旬至 9 月中旬的下游生态用水调配,这是今后海河流域洪水资源化研究的难点和重点。因

此,建议适当抬高岳城水库 7 月上旬至 8 月上旬的汛限水位至 136 m,目的是丰水年后可以保障翌年该时间段下游生态用水。

4 结 语

漳河下游河道长期干涸断流,生态系统严重退化,如何进一步优化流域水资源配置,建立长期有效

的生态用水保障机制,是流域生态修复的关键。本研究结合河流生态修复的目标,根据漳河岳城水库1981—2010年来水和供水情况,在考虑水库防洪、供水的同时,对有限的水量进行了优化配置,但尚未考虑上游地区水库的联合调度,这在今后工作中有待进一步深入。此外,如何合理调整岳城水库汛限水位的问题有待进一步研究。

参考文献:

[1] 户作亮,张胜红,林超,等.海河流域平原河流生态保护与修复模式研究[M].北京:中国水利水电出版社,2010.

[2] 吕一河,傅伯杰,陈利顶.生态建设的理论分析[J].生态学报,2006,26(11):3891-3897. (LYU Yihe, FU Bojie, CHEN Liding. Ecological rehabilitation:a theoretical analysis[J]. Acta Ecologica Sinica,2006,26(11):3891-3897. (in Chinese))

[3] 彭少麟,陆宏芳.恢复生态学焦点问题[J].生态学报,2003,23(7):1249-1257. (PENG Shaolin, LU Hongfang. Some key points of restoration ecology[J]. Acta Ecologica Sinica,2003,23(7):1249-1257. (in Chinese))

[4] 汪雯,黄岁樑,张胜红,等.海河流域平原河流生态修复模式研究 I-修复模式[J].水利水电技术,2009,40(4):14-19. (WANG Wen, HUANG Suiliang, ZHANG Shenghong, et al. Study on eco-restoration modes for plain rivers in Haihe River Basin asin oration modes for pl[J]. Water Resources and Hydropower Engineering,2009,40(4):14-19. (in Chinese))

[5] 黄显峰,郑延科,方国华,等.平原河网地区河流生态修复技术研究与实践[J].水资源保护,2017,33(5):170-176. (HUANG Xianfeng, ZHENG Yanke, FANG Guohua, et al. Research and practices of river ecological restoration technology applied in plain river network area[J]. Water Resources Protection,2017,33(5):170-176 (in Chinese))

[6] 戚蓝,彭晶,林超,等.漳河下游河道生态修复模式研究[J].水利水电技术,2012,43(9):20-22. (QI Lan, PENG Jing, LIN Chao, et al. Study on eco-restoration mode for lower course of Zhanghe River[J]. Water Resources and Hydropower Engineering,2012,43(9):20-22. (in Chinese))

[7] 徐伟,董增川,罗晓丽,等.基于改进7Q10法的滦河生态流量分析[J].河海大学学报(自然科学版),2016,44(5):454-457. (XU Wei, DONG Zengchuan, LUO Xiaoli, et al. Analysis of ecological flow in Luanhe River based on improved 7Q10 method[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences),2016,44(5):454-457. (in Chinese))

[8] 邹明哲,张华新.基于生态修复的永定河北京段干涸河道植物景观营造方案研究[J].现代园艺,2017(2):80-

82. (ZOU Mingzhe, ZHANG Huaxin. Study on the plant landscape construction of dry river in Beijing section of Yongding River based on ecological restoration [J]. Modern Horticulture,2017(2):80-82. (in Chinese))

[9] 梁全民,樊建军.岳城水库供水调度分析[J].水利科技与经济,2010,16(11):1206-1207. (LIANG Quanmin, FAN Jianjun. Analysis on water supply dispatching of Yuecheng Reservoir[J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy,2010,16(11):1206-1207. (in Chinese))

[10] 孙雅菊,朱志强,王磊.岳城水库旱限水位的确定[J].海河水利,2012(10):28-30. (SUN Yaju, ZHU Zhiqiang, WANG Lei. Determination of dry limit water level in Yuecheng Reservoir [J]. Haihe Water Resources,2012(10):28-30. (in Chinese))

[11] 王艳红.岳城水库供水管理中存在的问题与对策[J].水利经济,2016,34(2):60-63. (WANG Yanhong. Problems and countermeasures of water supply management in Yuecheng Reservoir [J]. Journal of Economic of Water Resource,2016,34(2):60-63. (in Chinese))

[12] 水利部海河水利委员会.海河流域综合规划(2012-2030年)[R].天津:水利部海河水利委员会,2012.

[13] 刘恩杰.建立湿润漳河探析[J].海河水利,2010(5):16-18. (LIU Enjie. Analysis on the establishment of moist Zhanghe[J]. Haihe Water Resources,2010(5):16-18. (in Chinese))

[14] 王丽,朱远生,杨晓灵,等.大藤峡水利枢纽工程设计中的水生态优化措施[J].水资源保护,2016,32(3):74-78. (WANG Li, ZHU Yuansheng, YANG Xiaoling, et al. Measures for aquatic ecological optimization in design of Datengxia Water Project[J]. Water Resources Protection,2016,32(3):74-78. (in Chinese))

[15] 张寒,陈启慧,陈敏,等.皂市水库生态友好型优化调度[J].水资源保护,2012,28(5):87-89. (ZHANG Han, CHEN Qihui, CHEN Min, et al. Eco-friendly optimal operation of Zaoshi Reservoir [J]. Water Resources Protection,2012,28(5):87-89. (in Chinese))

[16] 涂晶晶,陈森林,艾学山,等.河流生态流量特征图及生态流量评价方法[J].水资源保护,2015,31(1):99-105. (TU Jinjin, CHEN Senlin, AI Xueshan, et al. Diagram of river ecological flow characteristics and evaluation method of ecological flow [J]. Water Resources Protection,2015,31(1):99-105. (in Chinese))

[17] 李增强,尹璞.从岳城水库调度运用浅议河道生态调度[J].海河水利,2014(6):1-3. (LI Zengqiang, YIN Pu. Discussion on ecological regulation of river channel from the application of Yuecheng Reservoir[J]. Haihe Water Resources,2014(6):1-3. (in Chinese))