

山东省峡山水库生态水位计算

刘璐, 张书花, 周冉, 王翊人, 高华

山东省水利勘测设计院有限公司, 山东 济南

收稿日期: 2022年3月3日; 录用日期: 2022年4月6日; 发布日期: 2022年4月22日

摘要

在对国内外水库生态水位研究成果进行梳理的基础上, 采用形态分析法、预留生态库容分析法及功能法三种生态水位计算方法, 以山东省峡山水库为例进行了实例验证, 综合确定峡山水库生态水位为31.8 m。通过划定水库最低生态水位, 开展合理性验证, 可以为同类水库生态水位划定提供借鉴, 为水库日常管理、生态保护、水资源调度等提供技术支撑和决策支持。

关键词

水库, 生态水位, 形态分析法, 预留生态库容分析法, 功能法

Calculation of Ecological Water Level for Xiashan Reservoir in Shandong Province

Lu Liu, Shuhua Zhang, Ran Zhou, Yiren Wang, Hua Gao

Shandong Survey and Design Institute of Water Conservancy Co., Ltd., Ji'nan Shandong

Received: Mar. 3rd, 2022; accepted: Apr. 6th, 2022; published: Apr. 22nd, 2022

Abstract

On the basis of sorting out the research results of reservoir ecological water level at home and abroad, this study adopts three types of ecological water level calculation methods, *i.e.*, morphological analysis method, reserved ecological storage capacity analysis method and functional method. The Xiashan Reservoir is selected as case study, and the ecological water level (31.8 m) is comprehensively determined. This study delineates the minimum ecological water level of the reservoir and carries out rationality verification, which can provide reference for the delineation of the ecological water level for similar reservoirs, and provide technical and decision support for the water resources management and ecological protection.

作者简介: 刘璐(1988-), 男, 汉族, 河南许昌人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事水利工程规划设计相关工作, Email: 314674945@qq.com

Keywords

Reservoir, Ecological Water Level, Morphological Analysis Method, Reserved Ecological Storage Capacity Analysis Method, Functional Method

Copyright © 2022 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1. 研究背景

兴建水库以满足人们供水、防洪、灌溉、发电、航运、渔业及旅游等需求，对于经济发展、社会进步具有巨大推动作用，在生态建设方面也同样具有积极作用。通过调节水量丰枯，抵御洪涝灾害对生态系统的冲击干扰，改善干旱与半干旱地区生态状况以及调节生态用水等。但是，事物无不具有两重性。一些水库的兴建，在不同程度上降低了河流形态的多样性，生境的变化导致水域生物群落多样性的降低，使生态系统的健康和稳定性都受到不同程度的影响，严重时破坏河流生态系统的平衡。水库蓄水会深刻地改变河流下游的水文状况，或导致季节性断流，或改变洪水状况；水质也会有所改变；进而会导致下游河床形态、植物群落和生境的变化等。为维持河流原有生态系统状态，尽量减小水库建设的不利影响，从水量及水质上对水库生态环境需水进行探索，为水库及河流的调度管理提供理论上的依据[1]。目前水库一些特征值仅反映的是水库服务人类的功能，但未能体现服务于流域、维持河流生态健康的功能，没有生态水位概念，也就难以做到生态调水和供水管理[2]。

根据《山东省第一次全国水利普查水库工程主要指标汇总表》，山东省境内共有大中小型水库共 6423 座，其中大(1)型水库 1 座，大(2)型水库 35 座，中型水库 207 座，小(1)型水库 950 座，小(2)型水库 5230 座。水库总库容 219.18 亿 m^3 ，兴利库容 113.48 亿 m^3 ，防洪库容 52.96 亿 m^3 ，设计灌溉面积 2244.21 万亩，设计年供水量 70.73 亿 m^3 。本研究选择山东省第一大水库——峡山水库作为研究实例，进行水库生态水位的分析计算。

2. 峡山水库概况

潍坊市峡山水库位于潍河中游，潍坊市东南部，控制流域面积 4210 km^2 ，总库容 14.54 亿 m^3 ，兴利库容 5.5 亿 m^3 ，死水位 31.4 m，死库容 4025 万 m^3 。峡山水库于 1958 年 11 月动工兴建，1960 年 9 月基本建成，是一座集防洪、城市及工业供水、农业灌溉、水力发电等功能为一体的综合利用大(1)型水利工程。峡山水库水域宽广，水面面积 127.1 km^2 ，由主河道上的挡水主坝，右岸凹地上的南辛、武兰、郑公挡水副坝与左岸山地合围而成，水库枢纽工程主要建筑物包括主坝、副坝、溢洪闸、溢洪道、放水洞、水电站。大坝总长 32.91 km，其中主坝长 2.75 km，最大坝高 21 m；副坝总长 30.16 km，最大坝高 14 m。溢洪闸长 268 m，15 孔，最大泄洪能力 15,853 m^3/s 。水库设计防洪标准为千年一遇，校核防洪标准为万年一遇。

随着经济社会的发展，峡山水库的主要作用由防洪、灌溉逐步转向防洪、供水，峡山水库现在是潍坊市的重要水源地，胶东半岛的国家级备用水源地。

3. 峡山水库生态水位分析确定

3.1. 计算原则

1) 生态优先原则。生态环境需水量计算是以保证水库生态环境功能为前提，以实现水库生态系统可持续发展为最终目的，为恢复和重建其生物多样性和生态完整性提供理论依据。

2) 兼容性原则。由于水资源的特殊性，各项需水量中部分类型具有兼容性，在计算时需认真区分，以免重复计算，其他各项需水量进行叠加。

3) 最大值原则。对于各项具有兼容性的需水量的计算，比较相互兼容的各项，以最大值为最终的需水量。

3.2. 生态目标分析

峡山水库生态保护目标分为两级，以便根据具体的生态、水资源、社会经济状况分阶段实施。

1) 维持天然生态系统结构稳定作为生态保护的一级目标。为实现该目标需要满足水库适宜生态需水，包括入库适宜生态需水、库区生态需水和出库生态需水。

2) 维持峡山水库基本生态功能的目标。为实现该目标需要满足水库最小生态需水，包括入库、库区和出库生态需水量。其中库区最低生态水位是重要的指标。此水位用以维持峡山水库的基本功能，维持峡山水库不至于干枯。

3.3. 生态水位分析计算

1、水库形态分析法

根据山东省水利勘测设计院 2014 年进行的峡山水库水位 - 面积 - 库容测量资料，见表 1 及图 1。计算水位与水面面积增加率关系。

Table 1. The relationship between water level, area and storage capacity of Xiashan Reservoir

表 1. 峡山水库水位 - 面积 - 库容关系

水位 Z (m)	面积 S (km ²)	库容 V (万 m ³)
24.5	0.0	0.0
25.0	0.0	0.1
25.5	0.1	3.1
26.0	0.5	18.6
26.5	0.9	54.1
27.0	1.4	111.1
27.5	2.1	197.0
28.0	3.2	329.3
28.5	4.7	526.5
29.0	6.2	799.8
29.5	8.1	1154.3
30.0	10.6	1614.8
30.5	14.9	2250.4
31.0	19.1	3098.2
31.5	29.1	4256.7
32.0	44.5	6093.8
32.5	57.7	8667.6
33.0	66.3	11,779.2
33.5	73.5	15,277.9

Continued

34.0	80.7	19,130.2
34.5	87.6	23,343.3
35.0	93.2	27,869.9
35.5	99.0	32,666.1
36.0	102.7	37,715.7
36.5	105.5	42,919.2
37.0	107.8	48,250.8
37.4	109.6	52,601.9
37.5	110.0	53,693.9
38.0	112.8	59,259.4
38.5	116.0	64,976.4
39.0	118.9	70,826.1

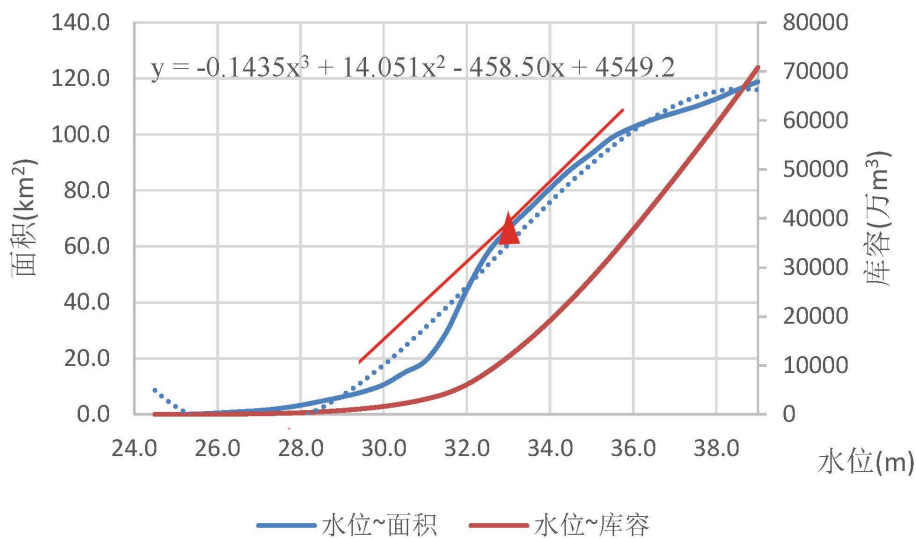


Figure 1. The relationship between water level-area and water level-storage capacity of Xiaoshan Reservoir

图 1. 峡山水库水位 - 面积、水位 - 库容关系图

最低生态水位用下式表达:

$$F = f(H), \frac{\partial^2 F}{\partial H^2} = 0 \quad (H_{\min} - a) \leq H \leq (H_{\min} + b) \quad (1)$$

式中: F 为水库水面面积(m^2); H 为水库水位(m); H_{\min} 为水库自然状况下多年最低水位(m); a 和 b 分别为和水库水位变幅相比较小的一个正数(m)。

对水位 - 面积关系曲线图的趋势函数进行求导, 计算得到峡山水库水面面积增加率最大值对应水位为 32.14 m, 由于水位和面积数据的水位级差为 0.5 m, 由此导致的误差范围为 -0.25~0.25 m。因此, 峡山水库最低生态水位为 31.89~32.39 m。

2、生态限制库容法

该方法借鉴 Tennant 法, 依据观测资料建立的流量和河流生态环境状况之间的经验关系, 用历史流量资料确定年内不同时段的环境需水量, 多用于水量较大的常年性河道。根据目前水库调算惯例, 共有两种生态限制库容确定方法[3]: ① 根据水库入流情况, 按水库坝址断面以上各月多年平均径流量的 10%加上水库死库容作为水库生态限制库容; ② 按照水库坝址断面以上断面多年平均径流量的 10%平均分配到各月加上水库死库容作为水库生态限制库容。

峡山水库现状工程条件多年平均径流量为 53,862 万 m^3 , 则河道内生态年需水量为 5386 万 m^3 。分别求出两种方法各月生态需水量及生态库容, 见表 2。

Table 2. Calculation of ecological limit storage capacity of Xiashan Reservoir

表 2. 峡山水库生态限制库容计算表

月份	多年平均径流量(万 m^3)	生态需水量 1 (万 m^3)	生态库容 1 (万 m^3)	生态需水量 2 (万 m^3)	生态库容 2 (万 m^3)
1 月	1062.8	106.3	4131.3	448.9	4473.9
2 月	1217.8	121.8	4146.8	448.9	4473.9
3 月	1522.3	152.2	4177.2	448.9	4473.9
4 月	1686.5	168.7	4193.7	448.9	4473.9
5 月	1706.7	170.7	4195.7	448.9	4473.9
6 月	2236.1	223.6	4248.6	448.9	4473.9
7 月	12,204.9	1220.5	5245.5	448.9	4473.9
8 月	17,151.5	1715.2	5740.2	448.9	4473.9
9 月	8051.9	805.2	4830.2	448.9	4473.9
10 月	3501.7	350.2	4375.2	448.9	4473.9
11 月	1960.5	196.1	4221.1	448.9	4473.9
12 月	1559.7	156.0	4181.0	448.9	4473.9
10 月~次年 5 月均值	1777.2	177.7	4202.7	448.9	4473.9

两种方法求得的峡山水库非汛期生态限制库容分别为 4202.7 万 m^3 、4473.9 万 m^3 , 根据水位 - 库容关系得到对应的水位分别为 31.5 m、31.6 m。山东省为人均水资源量不足 500 m^3 的严重缺水省份, 方法 1 根据各月来水情况来确定水库生态限制库容更符合山东实际, 且两种方案分析成果相差不大, 最终采用方法 1 计算成果。

3、功能法

1) 计算时段

计算时段可以周、旬、月、季及丰平枯期等天数来确定, 并作为确定数据。从维护水库生态不退化的角度考虑, 本文以非汛期 10 月~次年 5 月为计算时段, 分析计算峡山水库非汛期生态需水量, 即水库最低生态需水量, 以确保水库最低生态水位。

2) 需水量计算

① 蒸散发水量计算。峡山水库流域内峡山水库站具有 1963~2015 年实测蒸发资料, 墙夼水库站自 1986 年开始观测蒸发资料, 九台水文站具有 1951~1966 年实测蒸发资料。根据九台水文站和峡山水库站实测蒸发深资料, 组成 1951~2015 年连续实测蒸发系列, 并根据《水利水电工程水文计算规范》(SL/T 278-2020)有关规定, 将实测蒸发资料换算为 20 m^2 蒸发池蒸发深, 即为水面蒸发深。经统计分析, 峡山水库 1951~2015 年多年平均水面蒸发深为 1044 mm。图 2 为峡山水库多年平均降雨量与蒸发量对比图。

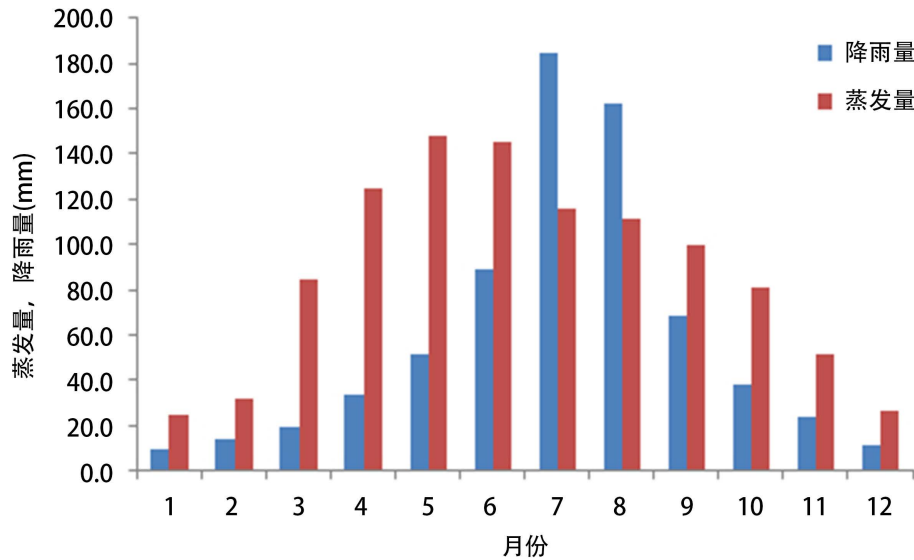


Figure 2. Comparison of annual average rainfall and evaporation in Xiashan Reservoir
图 2. 峡山水库多年平均降雨量与蒸发量对比图

统计峡山水库站 1951~2015 年历年逐月降雨资料及峡山水库历年逐月水位观测资料, 根据水库水位 - 面积关系曲线计算出历年逐月水库平均面积, 按照以下公式计算:

$$\begin{cases} Q_{E_1} = KA_1E_1 - P & E_1 > P \\ Q_{E_1} = 0 & E_1 \leq P \end{cases} \quad (2)$$

式中: Q_{E_1} 为计算时段内水面蒸发量(m^3); A_1 为计算时段内平均水面面积(m^2); E_1 为计算时段内水面平均蒸发量(mm); P 为计算时段内平均降水量(mm); K 为单位换算系数。

峡山水库全年不同时段蒸散发需水量成果见表 3。

Table 3. Calculation of evapotranspiration water demand in Xiashan Reservoir

表 3. 峡山水库蒸散发需水量计算成果表

时段	12~5 月	6~9 月	全年
蒸散发需水量(万 m^3)	2856.4	910.1	3766.5

② 渗漏需水量计算。统计峡山水库历年逐月水位资料, 参考水库提供峡山水库月渗漏损失率, 计算得到峡山水库不同时段渗漏需水量成果, 见表 4。

Table 4. Calculation of seepage water demand in Xiashan Reservoir

表 4. 峡山水库渗漏需水量计算成果表

时段	10~5 月	6~9 月	全年
渗漏需水量(万 m^3)	1756.0	700.3	2456.3

③ 输沙需水量计算。水库输沙需水量是指为维持水库流量稳定, 实现冲刷与淤积的动态平衡所需的库内水量。一般水库输沙需水量的计算公式如下:

$$Q_s = \frac{S_t}{C_{\max}} \quad (3)$$

式中: Q_s 为输沙需水量(m^3); S_t 为多年平均输沙量(t); C_{\max} 为多年最大月平均含沙量(kg/m^3)。

根据峡山水库流域内水文站实测资料情况,仅九台站具有 1952~1998 年长系列连续实测泥沙资料。经统计分析,其多年平均含沙量为 0.44 kg/m^3 ,多年平均输沙率为 21.95 kg/s 。年平均含沙量变化在 $0.12\sim 1.93 \text{ kg/m}^3$,多年最大月均含沙量 30.8 kg/m^3 。经计算得出,峡山水库输沙需水量为 1231.5 万 m^3 。

④ 库区及下游水生生物栖息地需水量。峡山水库是潍坊市重要的一级水源地,也是胶东半岛国家级备用水源地,峡山水库常年保持地面饮用水 II 类标准的要求,上游河道入库水质应执行《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) II 类标准。

根据国内外河道生态需水量计算模型的特点和峡山水库下游生态系统现状特点,以及库区水文资料情况采用标准流量法中的 Tennant 法。

它将年平均流量的百分比作为生态流量,适用于北温带河流生态系统及常年性河流,根据 Tennant 法在美国的应用经验,在一般用水期(10 月~次年 3 月),年平均流量的 10% 的流量是开始退化的或贫瘠的栖息地条件,年平均流量 20% 的流量提供了保护水生栖息地的适当标准;在小河流中,年平均流量 30% 的流量接近最佳栖息地标准。在鱼类产卵期(4 月~9 月),年平均流量的 30% 的流量是开始退化的或贫瘠的栖息地条件,年平均流量 40% 的流量是好的或保护水生栖息地的条件[4]。

依据 Tennant 法分析计算,在一般用水期(10 月~次年 3 月),峡山水库下游的生态需水量应不小于年平均流量的 10%,即 $1.71 \text{ m}^3/\text{s}$;在鱼类产卵期(4 月~9 月),水库下游的生态需水量应不小于年平均流量的 20%,即 $3.42 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

通过以上分析可以计算得到峡山水库非汛期 10 月~次年 5 月库区及下游水生生物栖息地需水量为 4432.32 万 m^3 。

⑤ 环境稀释需水量。峡山水库是国家一级水源地保护区,是潍坊市重要的地表水水源地,是胶东半岛的国家级备用水源地,峡山水库水质的好坏直接影响潍坊市的供水安全。根据《饮用水水源保护区划分技术规范》,一级水源地保护区水质应满足地表饮用水 II 类标准。

根据峡山水库历年监测统计数据,在参加评价的 20 个水质参数中,除化学需氧量、氨氮两项指标符合《地表水环境质量标准》的 III 类标准,其它参数均符合 II 类以上标准。

根据水质污染模型,水库水质与水库蓄水量、入库流量和污染物排放量有关,水库水体环境容量是水库水体的稀释容量、自净容量和迁移容量之和[5]。因此,满足水库稀释自净能力所需的最小需水量即为环境稀释需水量,公式如下:

$$Q_c = \frac{\Delta T [W_c - (C_s - C_0) Q_{out}]}{(C_s - C_0) + K C_s \Delta T} \quad (4)$$

式中: Q_c 为环境稀释需水量(m^3); ΔT 为计算时段(d); C_0 为背景值浓度(mg/L); C_s 为水污染控制目标浓度(水质标准, mg/L); W_c 为现状排放量(mg 等); K 为水体污染物的自然衰减指数; Q_{out} 为从水库中排泄出的流量(m^3/s)。

选择 2013 年化学需氧量、氨氮两项监测数据,估算峡山水库环境稀释需水量,结果见表 5。

Table 5. Calculation results of environmental dilution water demand of Xiashan Reservoir

表 5. 峡山水库环境稀释需水量计算成果表

水质项目	背景值(mg/L)	标准值(mg/L)	年均值(mg/L)	需水量(万 m^3)
化学需氧量	13.8	15	17.7	1203.2
氨氮	0.46	0.5	0.52	906.3

⑥ 峡山水库生态需水量。上述各水库生态需水量部分具有一定程度的重叠,比如水生生物栖息地需水也可以发挥净化污染物的作用,排沙需水量也发挥着维持下游河段的生态的作用等,所以须将水生生物栖息地需水

量和净化污染物需水量二者进行比较,取较大值[6]。

综合水库蒸发、渗漏、输沙、库区及下游水生生物栖息地及环境稀释需水量,扣除水生生物栖息地需水量和净化污染物需水量之间重叠水量,计算得到峡山水库非汛期10月~次年5月生态需水总量为6712.8万 m^3 ,非汛期月均生态需水量为1233.2万 m^3 ,对应生态水位为31.8 m。

3.4. 峡山水库生态水位合理性验证

由前述三种分析计算方法得到的峡山水库生态水位成果见表6。

Table 6. Calculation results of ecological water level of Xiashan Reservoir

表 6. 峡山水库生态水位计算成果表

计算方法	水库形态分析法	生态限制库容法	功能法
生态水位(m)	31.89~32.39	31.5~31.6	31.8

峡山水库死水位为31.4 m,汛限水位及兴利水位皆为37.4 m,本次研究三种方法计算成果都介于死水位与汛限水位之间,略高于死水位,远低于汛限水位。其中水库形态分析法及功能法计算成果较接近,生态限制库容法计算成果略小。考虑到水库形态分析法仅以水库形态出发,以水位与面积的变化情况来折射生态水位,方法存在一定局限性;生态限制库容法多用于水库兴利调算,对水库生态需水方面考虑略显不足[7];功能法综合考虑了水库各项功能的需水量,成果更为合理。所以最终选取31.8 m作为峡山水库生态水位。目前淮河尚未明确生态流量,本文生态水位分析过程中已考虑下游河道生态需水,且选取的生态水位31.8 m仅略高于死水位31.4 m,对水库正常运用及下游河道生态环境影响较小,成果较为合理。

4. 结语

开展水库生态水位研究是落实湖长制相关工作的必然要求,对维护水库健康具有重要的指导意义和推动作用。本研究以山东省第一大水库峡山水库为例进行了实例验证,提出了3种水库生态水位计算方法,3种方法各有侧重性,最终推荐第三种方法即功能法进行水库生态水位的分析计算,综合确定峡山水库生态水位为31.8 m。本研究对水库生态水位的基本内涵进行了进一步解读和阐释,阐明了生态水位的基本特征,对其它水库生态水位的分析确定有一定的参考意义。

参考文献

- [1] 任江红. 水库生态环境需水理论研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2007.
REN Jianghong. Theoretical research on water requirement of reservoir ecological environment. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2007. (in Chinese)
- [2] 杨军. 水库生态需水的应用研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2008.
YANG Jun. Research and application of reservoir ecological water demand. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2008. (in Chinese)
- [3] 肖华, 邵东国, 张湘隆. 一种水库生态与环境需水量的计算与调控方法[J]. 人民长江, 2011, 42(23): 43-46.
XIAO Hua, SHAO Dongguo and ZHANG Xianglong. A calculation and regulation method of reservoir ecological and environmental water demand. People's Yangtze River, 2011, 42(23): 43-46. (in Chinese)
- [4] 艾学山, 范文涛. 水库生态调度模型及算法研究[J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(3): 451-455.
AI Xueshan, FAN Wentao. Reservoir ecological dispatching model and algorithm research. Yangtze River Basin Resources and Environment, 2008, 17(3): 451-455. (in Chinese)
- [5] 史艳华. 基于河流健康的水库调度方式研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京水利科学研究院, 2008.
SHI Yanhua. Research on reservoir scheduling based on river health. Nanjing: Nanjing Institute of Water Resources, 2008. (in Chinese)
- [6] 康玲, 黄云燕, 杨正祥, 等. 水库生态调度模型及其应用[J]. 水利学报, 2010, 41(2): 134-141.

KANG Ling, HUANG Yunyan, YANG Zhengxiang, et al. Reservoir ecological dispatch model and its application. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2010, 41(2): 134-141. (in Chinese)

- [7] 宋美华. 山东省代表水库水生态综合评价研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2016.
SONG Meihua. Research on comprehensive evaluation of water ecology of representative reservoirs in Shandong Province. Jinan: Shandong University, 2016. (in Chinese)