

DOI:10. 3969/j. issn. 1004 -6933. 2012. 05. 019

皂市水库生态友好型优化调度

张 寒^{1,2},陈启慧^{1,2},陈 敏²,王银丽¹

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室,江苏 南京 210098;
2. 河海大学水文水资源学院,江苏 南京 210098)

摘要:以水电站年发电量最大为优化目标,以满足由逐月频率法计算的水库下游适宜生态流量下限为约束条件,构建皂市水库生态友好型优化调度模型,并利用该模型选取典型年,采用动态规划法进行皂市水库常规调度与优化调度的发电效益对比以及优化调度与生态优化调度的发电效益对比研究。结果表明,总体平均而言,皂市水库优化调度比常规调度年发电量可增加 1.8%,基于保障下游河段生态径流过程的皂市水库生态优化调度比优化调度年发电量减少 0.95%。
关键词:生态流量;生态调度;皂市水库
中图分类号:X171 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-6933(2012)05-0087-03

Eco-friendly optimal operation of Zaoshi Reservoir

ZHANG Han^{1,2},CHEN Qi-hui^{1,2},CHEN Min²,WANG Yin-li¹

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering,
Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. College of Water Resources and Hydrology, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: An eco-friendly optimal operation model, which maximizes the annual electricity production and satisfies optimal ecological flow downstream of the Zaoshi Reservoir calculated by the monthly frequency computation method, was established. Based on this model, the annual electricity production in typical years produced by the routine operation mode, optimal operation mode, and ecologically optimal operation mode were compared using the dynamic programming method. The results show that in general the annual electricity amount produced by optimal operation is 1.8% greater than that produced by routine operation, and the annual electricity amount produced by ecologically optimal operation is 0.95% lower than that produced by optimal operation.
Key words: ecological flow; ecological operation; Zaoshi Reservoir

大坝工程建设在防洪、发电、灌溉、供水、航运等方面起着重要作用,推动着人类社会进步,然而同时也可对河流生态系统健康造成不利影响^[1]。水库生态调度作为一种对筑坝河流的生态补偿方式,已经成为当前国际上恢复河流生态系统健康的重要举措之一^[2-4]。笔者通过建立水库生态调度模型,并利用该模型采用动态规划法对皂市水库进行生态调度计算,成果可为综合协调皂市水库的社会效益、经济效益与生态效益,加强皂市水库的科学调度提供依据。

1 工程概况及对下游河道水生生物的影响

皂市水利枢纽位于湖南省石门县皂市镇上游约

2 km 的渚水上,下游距石门县城 19 km,控制流域面积 3 000 km²,占渚水流域面积的 93.7%。工程开发的主要任务是防洪,同时兼顾发电、灌溉、航运等其他综合利用要求。皂市水库总库容 14.39 亿 m³,防洪库容 7.83 亿 m³,正常蓄水位 140 m,相应库容 12 亿 m³,死水位 112 m,死库容 2.71 亿 m³,有效库容 11.68 亿 m³,库容系数 0.3,为年调节水库。
根据相关调查结果,水库对下游河道水生生物的影响主要表现在:建库后,由于下游河道流速、水位改变较频繁,对浮游生物生长繁殖不利,坝下江段浮游生物主要依靠库区补给;在电站发电期间,水位的快速变化形成不稳定环境,还导致坝下附近江段

基金项目:水利部公益性行业科研专项(200901075);河海大学中央高校基本科研业务经费资助项目(2009B05814)
作者简介:张寒(1988—),女,硕士研究生,研究方向为生态水文及水环境保护。E-mail:mandy3300@foxmail.com
通讯作者:陈启慧,副教授。E-mail:chenqh@hhu.edu.cn

内一些底栖生物搁浅或突然遭受急流冲击,影响底栖动物的丰度和组成,并导致生物量减少;对鱼类资源的影响主要表现为由于皂市水库水温呈稳定分层结构,春夏期间下泄水温比天然河道水温低,升温期下泄水温降低对坝下游鱼类产卵的影响较为显著。

2 皂市水库生态调度目标

2.1 生态调度目标的确定

目前国内外水利管理部门及研究人员愈来愈重视关于水库生态调度的实践及研究工作^[5],随着相关工作的深入开展,水库生态调度目标也呈多元化趋势,包括满足水库中下游综合性生态流量需求、指示性水生生物保护需求、库区水环境保护需求等^[6]。由于目前研究收集的生物资料有限,皂市水库的生态调度设定为以维持水库下游河道生态径流过程为目标。生态径流过程的计算采用夏自强等^[7]提出的逐月频率计算法,该方法属于水文学方法范畴,以恢复河流天然径流过程特征为目标,具有综合考虑包括河流两岸在内的整个河流生态系统的特点,可以避免运用水文-生物分析法、生境模拟法等其他河流生态流量计算方法时需要量化生物资料,且仅将其重点放在一二种河流生物物种的保护上等的缺点^[8]。

2.2 漂水生态流量过程

采用夏自强等^[7]提出的逐月频率计算法对最小生态流量和适宜生态流量进行计算,并采用 Tennant 法^[9]对计算结果进行评价。

利用皂市水库建库前皂市站 1964—2003 年(缺 1977 年)的日平均流量资料,采用逐月频率法计算皂市水库下游河道内生态径流过程。笔者取逐月频率 $P=90\%$ 为推荐最小生态流量; $P=75\% \sim 25\%$ 为推荐适宜生态流量,计算结果见表 1。对最小生态流量和适宜生态流量用 Tennant 方法评价得到结论:适宜生态流量的下限最为理想,因此选择适宜生态流量下限作为水库调度下泄流量的生态约束条件。

表 1 皂市站河道内生态流量计算结果 m^3/s

月份	最小生态流量	适宜生态流量		月份	最小生态流量	适宜生态流量	
		下限	上限			下限	上限
1	8.04	9.35	23.70	8	27.48	43.79	166.11
2	9.36	17.40	49.91	9	12.69	28.33	116.77
3	16.74	33.39	85.44	10	14.67	26.07	87.18
4	36.73	63.02	147.47	11	10.03	18.70	66.25
5	70.76	102.54	200.99	12	8.12	11.32	29.57
6	64.91	117.44	259.04	年均	29.86	30.19	82.48
7	35.95	79.86	288.72				

3 生态优化调度模型

以皂市水电站年发电量最大为优化目标,以满

足水库下游生态流量为约束,构建皂市水库生态友好型优化调度模型。

3.1 目标函数

选择水库在整个调度期内总发电量最大作为目标函数,其表达式如下:

$$\max f = \max \sum_{t=1}^T KQ_t H_t \Delta t \tag{1}$$

式中: f 为整个调度期内的总发电量; T 为总调度期时长,取 $T=12$; K 为皂市电站发电综合系数,取 $K=8.75$; Q_t 为 t 时段皂市电站发电流量; H_t 为 t 时段皂市电站发电净水头; Δt 为计算时间长度,以月为计算时段。

3.2 约束条件

a. 皂市水库水量平衡方程:

$$V_{t+1} = V_t + (I_t - Q_t - S_t) \Delta t \tag{2}$$

式中: V_{t+1} 、 V_t 分别为皂市水库 t 时段末和时段始的库容; I_t 为 t 时段皂市水库平均天然入库流量; S_t 为 t 时段皂市水库弃水流量。

b. 皂市水库蓄水位约束:

$$Z_{\min} \leq Z_t \leq Z_{\max} \tag{3}$$

式中: Z_t 为皂市水库 t 时段的水位; $Z_{\min}$ 和 $Z_{\max}$ 分别为皂市水库 t 时段的允许最低水位和最高水位,其中汛期(4—7月)允许最高水位为防洪限制水位 125 m,非汛期(8月至翌年 3月)允许最高水位为正常蓄水位 140 m,最低水位为死水位 112 m。

c. 皂市水库下泄流量约束:

$$q_{\min} \leq q_t \leq q_{\max} \tag{4}$$

式中: q_t 为皂市水库 t 时段的下泄流量; $q_{\min}$ 和 $q_{\max}$ 分别为皂市水库 t 时段的最小下泄流量和最大下泄流量,分别为 $30 \text{ m}^3/\text{s}$ 和 $12\,526 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

d. 皂市发电流量限制:

$$Q_t \leq Q_{\max} \tag{5}$$

式中, $Q_{\max}$ 为皂市水库两台机组的 t 时段的最大引用流量,为 $273.6 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

e. 皂市电站出力限制:

$$N_{\min} \leq N_t \leq N_{\max} \tag{6}$$

式中: N_t 为皂市电站 t 时段的发电出力; $N_{\min}$ 和 $N_{\max}$ 分别为皂市电站 t 时段的最小发电出力和最大发电出力,也即保证出力 18.3 MW 和装机容量 120 MW。

f. 生态约束。要求水库下泄流量满足下游河道适宜生态流量下限的要求。

3.3 模型求解方法

皂市水库优化调度模型采用动态规划法逐段递推求解。对水库蓄水量进行离散作为状态变量,把放水量作为决策变量,把水库水量平衡方程作为模型的状态转移方程。每一时段的放水量使整个周期内的目标函数值达到最大为最优调度方案。

4 皂市水库生态优化调度结果分析

考虑3种水库调度运行方式:①按水库调度图进行的常规调度;②不考虑生态流量的优化调度;③考虑适宜生态流量约束的生态优化调度。由于皂市水库运行年限较短,入库径流资料长度不足,选择皂市水库蓄水前皂市站流量资料作为皂市水库入库流量进行分析。对1964—2003年(缺1977年数据)皂市站年平均流量进行频率计算,选择丰、平、枯典型年进行分析,其中丰水年选取1980年($P=5\%$)、平水年选取1988年($P=50\%$),枯水年选取1978年($P=95\%$)。对选取的丰、平、枯3个典型年按上述方案进行调度,常规调度与生态优化调度的下泄流量结果如图1所示,不同调度方式对水库发电量影响的统计结果如表2所示。

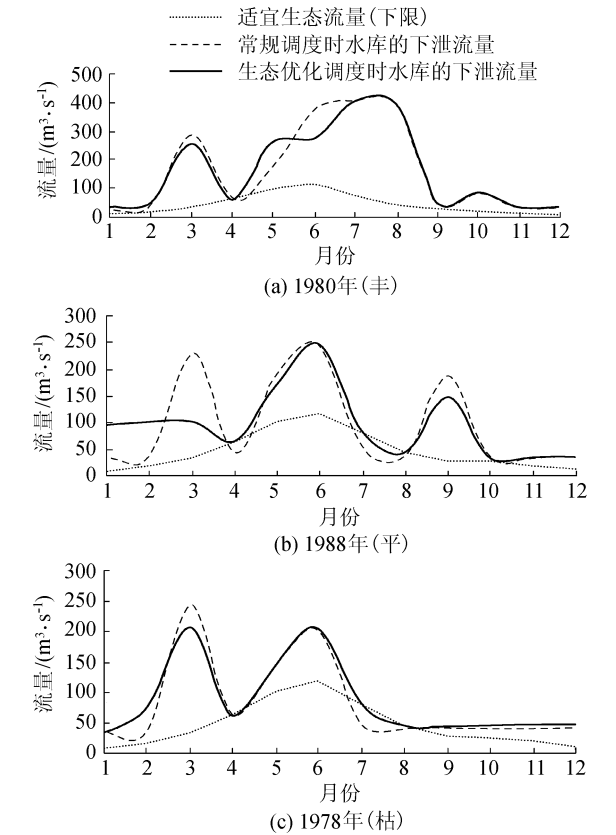


图1 不同调度方式典型代表年水库下泄流量逐月变化

表2 典型代表年不同调度方式的年发电量影响

典型年	调度方式	年发电量/(亿kW·h)	增加发电量/%	调度方式	年发电量/(亿kW·h)	减少发电量/%
丰水年	常规	5.16	4.1	优化2	5.37	0.19
	优化1	5.37		生态优化	5.36	
平水年	常规	3.92	0	优化2	3.92	1.50
	优化1	3.92		生态优化	3.86	
枯水年	常规	3.20	0.3	优化2	3.36	1.50
	优化1	3.21		生态优化	3.31	

注:优化1与常规调度年末库水位相同,优化2与生态优化调度年末库水位相同。

在优先考虑防洪任务,满足防洪限制水位并保

证出力的条件下,生态优化调度的结果表明典型丰水年(1980年)、平水年(1988年)、枯水年(1978年)均能满足适宜生态流量下限的要求,比常规调度有很大的改善。但是为满足生态流量的要求,在平水年生态优化调度的年末水位比常规调度降低0.02m,枯水年降低了0.63m。

鉴于在平水年与枯水年生态优化调度与常规调度年末消落水位不同,在比较不同调度方式对发电效益的影响时,常规调度与生态优化调度分别和与之降至相同水位的优化调度相比较。通过比较常规调度和与之降至相同水位的优化调度(优化1)发现在丰水年由于弃水的存在,优化调度提高的发电效益较大;而在平水年与枯水年较小。通过比较生态优化调度和与之降至相同水位的优化调度(优化2)的发电效益可知,生态约束会对水库的发电效益产生影响。在丰水年1980年,由于来水充足,缓解了生态约束与发电的冲突,考虑下游生态流量的生态优化调度对发电的影响非常小;平水年(1988年)和枯水年(1978年),由于来水较少,生态需水与发电效益的矛盾会凸显,考虑下游生态流量的生态优化调度对发电的影响较大。总体平均而言,皂市水库优化调度比常规调度年发电量可增加1.8%,基于保障下游河段生态径流过程的皂市水库生态优化调度比优化调度年发电量减少0.95%。

5 结 语

通过构建皂市水库生态友好型优化调度模型,选取丰、平、枯3个典型水平年,并采用动态规划法对皂市水库进行常规调度与优化调度的发电效益对比以及优化调度与生态优化调度的发电效益对比研究。总体平均而言,皂市水库优化调度比常规调度年发电量可增加1.8%,基于保障下游河段生态径流过程的皂市水库生态优化调度比优化调度年发电量减少0.95%。成果可为综合协调皂市水库的社会效益、经济效益与生态效益,加强皂市水库的科学调度提供依据。

参考文献:

[1] PETTS G E. Impounded rivers: perspective for ecological management[M]. Chichester(UK): John Wiley & Sons, 1984.

[2] 吕新华.大型水利工程的生态调度[J].科技进步与对策,2006(7):129-131.

[3] 胡和平,刘登峰,田富强,等.基于生态流量过程线的水库生态调度方法研究[J].水科学进展,2008,19(3):325-332.

(下转第94页)

控制目标的比较,分析阳澄淀泖区各水文站最低水位目标的可达性。得出结论为:现状水资源调度还不能保证各区在不同年型下水资源量得到满足,因此阳澄淀泖区水资源调度方案仍有优化空间,以满足水资源量的需求及改善水环境。

d. 目前由于各地区尚未形成合理的水资源调度方案,水资源、水环境调度缺少量化的控制性指标,包括调度参照指标和调度所需达到的目标,水位指标不确定,水质指标更是很薄弱。由于水质资料较缺乏,本研究仅对水位指标进行了深入研究,但对于水质型、资源型缺水的阳澄淀泖区,将水质指标作为水资源调度的判别指标显得尤为重要,只有水质得到改善的水资源调度模式,才能从根本上解决水质型缺水。

参考文献:

[1] 水利部太湖流域管理局. 太湖流域防洪规划[R]. 上
(上接第 89 页)
[4] 梅亚东,杨娜,瞿丽妮. 雅砻江下游梯级水库生态友好型
优化调度[J]. 水科学进展,2009,20 (5):721-725.
[5] 张九红,李汉娥,陈绪强,等. 三峡水库调度对长江水质
的影响研究[J]. 水资源保护,1997(2):1-5.
[6] 袁超,陈永柏. 三峡水库生态调度的适应性管理研究
[J]. 长江流域资源与环境,2011,20(3):269-275.
[7] 夏自强,李琼芳,姜翠玲,等. 河流自然功能的利用及保
护研究[C]//水利部国际合作与科技司. 河流生态修复

海:水利部太湖流域管理局,2007.
[2] 苏州市水利局. 2007 年苏州市水资源公报[R]. 苏州:
苏州市水利局,2008.
[3] 《中国河湖大典》编纂委员会. 中国河湖大典[M]. 北
京:中国水利水电出版社,2010.
[4] 苏州市航道管理处. 苏州市内河航道技术等级文件汇编
[G]. 苏州:苏州市航道管理处,1995.
[5] 王学雷,宁龙梅,肖锐. 洪湖湿地恢复中的生态水位控制
与江湖联系研究[J]. 湿地科学,2008,6(2):316-320.
[6] 赵翔,崔保山,杨志峰. 白洋淀最低生态水位研究[J]. 生
态学报,2005,25(5):1033-1040.
[7] 盖美,耿雅冬,张鑫. 海河流域地下水生态水位研究[J].
地域研究与开发,2005,24(1):119-124.
[8] 徐志侠,陈敏建,董增川. 湖泊最低生态水位计算方法
[J]. 生态学报,2004,24(10):2324-2328.
[9] 程文辉,王船海,朱琰. 太湖流域模型[M]. 南京:河海大
学出版社,2006.

(收稿日期:2012-02-27 编辑:高渭文)

技术研讨会论文集. 北京:中国水利水电出版社,2005:
52-59.
[8] 杨志峰,张远. 河道生态环境需水研究方法比较[J]. 水
动力学研究与进展,2003,18(3):294-301.
[9] TENNANT D L. Instream flow regimens for fish, wildlife,
recreation and related environmental resources [J].
Fisheries,1976,1(4):6-10.

(收稿日期:2012-01-11 编辑:徐 娟)

《河海大学学报(自然科学版)》征订启事

(邮发代号 28-63,CN32-1117/TV,ISSN1000-1980,双月刊)

《河海大学学报(自然科学版)》是以水资源开发、利用与保护为重点的综合性学术期刊,主要刊登河海大学在水资源、水文、地质、测量、水利工程、水电工程、水运工程、海洋及海岸工程、水工结构、工程力学、水力学及河流动力学、岩土工程、电力工程、电子技术及自动化工程、工业与民用建筑、环境工程、机械工程等学科方面的科研成果、学术论文、学术讨论、研究动态等学术性文章,可供上述有关专业的科技工作者及大专院校师生阅读和参考。

《河海大学学报(自然科学版)》创办于 1957 年,是全国中文核心期刊、中国科技核心期刊,在国内工程技术界和学术界有较大影响。刊载的文章中,绝大部分为国家科技攻关(重点)项目和各种科学基金资助项目的研究成果,部分达到了国内领先和国际先进水平,为我国水利、水电、水运工程及其他有关工程建设的规划、设计、施工和管理提供了科学理论、方法和具体建议,发挥了较大的社会效益和经济效益,深受工程界和科技界赞许,并获得中国高校精品科技期刊奖以及中国期刊方阵“双效期刊”、江苏省优秀期刊、全国水利系统优秀期刊称号。

《河海大学学报(自然科学版)》每逢单月出版,国内外公开发行,2013 年每期定价 15.00 元,全年 6 期共 90.00 元。欢迎广大读者通过全国各地邮政局订阅或直接与编辑部联系。

编辑部地址:210098 南京市西康路 1 号 《河海大学学报(自然科学版)》编辑部

电话/传真:025-83786343;E-mail:xb@hhu.edu.cn http://kkb.hhu.edu.cn/web/indexxb.asp? d_id=53