

水库降等与报废评估指标体系与评判方法

成荣亮^{1,2}, 杨正华^{1,3}, 王昭升^{1,3}, 张士辰^{1,3}

(1. 南京水利科学研究院大坝安全与管理研究所, 江苏 南京 210029; 2. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098
3. 水利部大坝安全管理中心, 江苏 南京 210029;)

摘要:为给水库降等与报废工作提供理论支撑和技术指导,基于水库降等与报废研究与实践现状分析,根据《水库降等与报废管理办法(试行)》、2000年调研情况及我国的水库现状,提出了水库降等与报废评估指标体系及指标的具体赋值,运用隶属函数法和模糊综合评判法,建立了水库等级模糊评价模型。模型评价实例验证结果与水库降等与报废实际评估结果相符,表明评估指标体系与评价模型是科学合理和实用可行的。

关键词:水库管理;降等;报废;评估方法;评价模型;指标体系

中图分类号:TV697

文献标志码:A

文章编号:1006-7647(2014)02-0006-05

Assessment index system and evaluation methods for reservoir degrading and removal//CHENG Rongliang^{1,2}, YANG Zhenghua^{1,3}, WANG Zhaosheng^{1,3}, ZHANG Shichen^{1,3} (1. *Dam Safety Management Department of Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China*; 2. *College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China*; 3. *Dam Safety Management Center of the Ministry of Water Resources, Nanjing 210029, China*)

Abstract: In order to provide theoretical support and technical guidance for reservoir degrading and removal practice, based on the research and practice analysis of reservoir degrading and removal, the *Management Regulations of Reservoir Degrading and Removal (Trial)* in China, investigation and research in 2000, and the present situation of reservoirs in China, an assessment index system for reservoir degrading and removal was established and the values of the indices were assigned. Using the fuzzy comprehensive evaluation method and the subordinate function, we established a fuzzy model to evaluate reservoir grades. The verification results from a model evaluation instance are consistent with the actual results of reservoir degrading and removal, indicating that the assessment index system and evaluation model are scientifically reasonable, practical, and feasible.

Key words: reservoir management; degrading; removal; assessment method; evaluation model; index system

据第一次全国水利普查结果,全国共有水库98 002座(不含港澳台,已建水库97 246座),其中小型水库93 308座(小(1)型水库17 949座,小(2)型水库75 359座),占水库总数的95.21%。据有关分析,这些水库90%以上兴建于20世纪50—70年代,受当时水文地质资料欠缺、设计标准不完善、筑坝技术水平不高、财力困难等技术经济条件限制,大多建设标准偏低,工程质量较差,加上后期投入不足,维护管理不到位,大量工程存在着各种安全隐患。目前我国病险水库虽然得到了集中治理,但仍有相当数量的小型病险水库,这些小型病险水库不仅不能正常发挥效益,而且面临很高的安全风险,严重威胁下游生命财产及基础设施安全,制约了当地

经济社会的可持续发展,因此,通过工程措施或非工程措施消除其安全隐患是十分必要和非常迫切的。

除险加固虽然是一条行之有效的途径,但其问题之一是病险水库数量较大、情况复杂,在短期内实施除险加固存在经济上和技术上的困难,且因水毁、地震等自然灾害影响,每年还会产生新的病险;问题之二是其中的有些病险水库除险加固技术难度大,技术经济合理性差,或淤积严重、功能丧失、效益萎缩,运行环境和需求发生了很大变化。随着我国经济社会的快速发展,社会和公众对水库风险认知和关注程度不断提高,对水库大坝安全的要求也越来越高。面对我国病险水库多、风险高的现实,在注重工程措施进行除险加固的同时,对符合条件的病险

水库实行降等或报废处理是消除病险水库的另一条有效途径。为此,水利部 2003 年 5 月 26 日发布了《水库降等与报废管理办法(试行)》(以下简称《办法》),规范并推进水库降等与报废工作。

为给水库降等与报废工作提供理论支撑和技术指导,对水库降等与报废评估方法和标准开展研究很有必要,完善水库降等与报废技术,确保病险水库除险加固科学决策,对提高我国水库大坝安全管理水平具有重要的现实意义。

1 水库降等与报废概况

目前全国尚无全面、准确的水库降等与报废情况统计,据不完全统计,截至 2002 年底全国降等与报废的小型水库累计达 4 846 座,其中小(1)型水库降等 366 座,报废 224 座;小(2)型水库降等 2 836 座,报废 1420 座^[1]。

为了加强水库降等与报废工作管理,水利部选择 12 个典型省份,2000 年开展了一次水库降等与报废调研^[2],调研成果与经验总结^[3-4]基本反映了目前水库大坝降等与报废状况。此后,由于加大投入实施大规模病险水库除险加固工程建设,实施水库降等与报废的工程极少^[5]。2011 年 7 月水利部建设与管理司印发了关于报送水库降等与报废情况的函(监管[2011]4 号),结果只收到一个省份的填报,可见近年来的水库降等与报废工作总体进展不明显。

1.1 水库降等与报废原因

据调研情况,水库的降等与报废主要原因有:①建设不当。规划设计不周,水文情况不明,工程选址不当,水库建成后长期不能蓄水兴利。②工程损毁。水毁或地震等灾害致使工程严重损坏,修复重建需求和意义不大。③病险严重。工程隐患复杂,加固处理难度大,技术经济不合理。④泥沙淤积^[6]。库容远未达到设计规模,甚至兴利库容淤满,难以采取工程措施处理。⑤功能丧失。工程建设、环境变化、城市化发展等导致水库原有功能转化、替代、丧失。⑥名不副实。夸大水库规模,核实后予以降等或降为山塘。水库降等与报废的各种原因既相互独立,又有所联系,不少工程多种原因并存。

1.2 水库降等与报废程序

2003 年之前,各地水库降等与报废的程序繁简不一,随意性较大。少数地区有明确规定,需办理申请和审批手续,但实施中主要根据客观事实或相关需要作出决策,很少对降等或报废的必要性和可行性进行分析论证。也有少数未办理任何手续,自然降等或报废;还有仅作口头汇报,或以行政命令方式

予以降等或报废。申请报告有的由水库管理单位提出,有的由当地村民自发提出,有的则由地方水行政主管部门根据实际情况提出,批复大多由地方水行政主管部门批复。2003 年以后,很多地方水库管理单位依据《办法》进行降等与报废工作,工作程序不断规范和严密。

1.3 配套法规与技术标准

各地针对水库降等与报废的客观需要,因地制宜地探索制定了一些地方性管理办法。陕西省 1998 年颁布实行了《陕西省水库分级管理办法》,浙江省水利厅 2000 年发布《浙江省水库降级使用和报废管理暂行办法》,福建省水利厅 2000 年发出了开展小(2)型水库清理整顿工作的通知。这些地方性管理办法出台总体上是探索性的,还很不完善,适用范围窄,可操作性较差,还不能完全满足实际工作需要,更无法保证水库降等与报废决策的科学性。

为规范水库降等与报废工作,水利部发布了《办法》,该办法兼有法规性文件与技术标准的双重特点,共 23 条。为了进一步细化技术要求,水利部即将颁布水库降等与报废标准,以提升水库降等与报废工作的技术含量和决策科学性。

2 水库降等与报废评估指标体系

2.1 评估指标体系的建立

根据《办法》,并结合我国的水库现状,本文采取如图 1 所示的指标体系进行评估。该指标体系主要考虑了库容指标、功能指标、工程安全条件、风险指标、运行管理条件。大坝降等与报废调研资料显示,目前我国很多报废水库是淤满报废的,故将库容

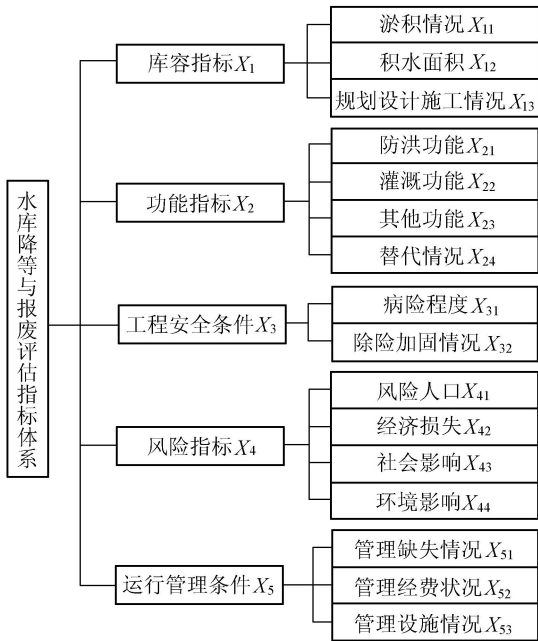


图 1 水库降等与报废评估指标体系

指标作为第一个指标,包括淤积情况、积水面积和规划设计施工情况。水库发挥的效益主要有防洪、灌溉等效益,水库降等与报废还需考虑的重要因素是水库能否正常发挥效益,以及发挥效益的大小,所以将功能作为一个重要指标。导致水库降等与报废的另一个重要的原因是水库工程安全条件,即病险情况和除险加固情况。水库如果失事其影响是巨大的,风险指标也是决定降等与报废的原因之一,本文主要考虑的是水库大坝风险。受长期重建轻管的影响,目前一些水库运行管理情况不是太好,降等与报废评价时也将运行管理情况作为一个指标。

2.2 指标的量化

根据图 1,评价指标分为 3 层,第 1 层为总指标层;第 2 层包括库容指标、功能指标、工程安全条件、风险指标、运行管理条件等 5 个指标;第 3 层包括 16 个指标。

以下根据工程专业特征分析第 3 层指标的赋值。对于病险程度、风险人口、经济损失、社会影响、环境影响等指标,赋值方法已有相关研究成果,本文直接引用,具体见表 1 和表 2;其他指标赋值见表 3。为了方便计算,各指标取所属区间中间值进行计算。

3 模糊评价模型

3.1 确定指标集和评价集

指标集具体分为 2 个层次:第 1 层为总评价指

表 1 病险程度指标等级标准分值^[7]

病险程度	指标赋值	特征描述
无病险	(0,0.2]	实际抗御洪水标准达到 GB 50201—1994《防洪标准》规定,大坝工作状态正常;工程无重大质量问题,能按设计要求正常运行
轻 微	(0.2,0.4]	实际抗御洪水标准不低于部颁水利枢纽工程除险加固近期非常运用洪水标准,但达不到 GB 50201—1994《防洪标准》规定;大坝工作状态基本正常;在一定控制运用条件下能安全运行
较严重	(0.4,0.6]	实际抗御洪水标准略低于部颁水利枢纽工程除险加固近期非常运用洪水标准,或者工程存在较严重安全隐患,不能按设计要求正常运行
严 重	(0.6,0.8]	实际抗御洪水标准低于部颁水利枢纽工程除险加固近期非常运用洪水标准,或者工程存在较严重安全隐患,不能按设计要求正常运行
极其严重	(0.8,1]	实际抗御洪水标准远低于部颁水利枢纽工程除险加固近期非常运用洪水标准,或者工程存在极其严重安全隐患,不能按设计要求正常运行

表 2 风险指标等级标准分值^[8]

风险程度	指标赋值	风险人口/人	经济损失/亿元	社会影响	环境影响
一般	(0,0.25]	1~3	0.001~0.1	1~3	1~3
较大	(0.25,0.5]	3~10	0.1~0.5	3~12	3~8
重大	(0.5,0.75]	10~30	0.5~1	12~40	8~25
特别重大	(0.75,1]	30~10 万	1~100	40~100	25~100

注:风险人口指发生风险时的人员伤亡情况;社会影响采用综合影响系数来拟定;环境影响难以用货币定量计算,采用指数表示。

标集 $X = \{X_1, X_2, \cdots, X_5\}$;第 2 层为子评价指标集,具体见图 1。

表 3 其他评价指标等级标准分值

评价指标	等级特征描述		
	A 级(指标赋值(0,0.3])	B 级(指标赋值(0.3,0.7])	C 级(指标赋值(0.7,1])
淤积情况	淤积较轻,且现有总库容达到原设计规模	淤积严重,现有总库容已达不到原设计规模	淤积严重,有效库容已淤满或基本淤满
积水面积	集水面积未受影响,总库容达到原设计规模	因其他工程建设分割集水面积,致使来水量减少,总库容达不到原设计规模	引水水库失去水源,无水可蓄
规划设计施工情况	规划、设计、施工情况很好,水库建成后总库容达到原设计规模	因规划、设计等原因,水库建成后总库容达不到原设计规模,但仍按原设计规模进行注册登记和管理	因规划、设计、施工等原因,水库从未蓄水运用,且无利用价值
防洪功能	有防洪要求,且实际抗御洪水标准达到 GB 50201—1994《防洪标准》规定	有防洪要求,且实际抗御洪水标准不低于部颁水利枢纽工程除险加固近期非常运用洪水标准,但达不到 GB 50201—1994《防洪标准》规定	无防洪要求,或实际抗御洪水标准低于部颁水利枢纽工程除险加固近期非常运用洪水标准
灌溉功能	库区有灌溉需求,且灌溉功能满足需求,或库区无灌溉需求	库区有灌溉需求,但不足以满足灌溉需求	灌溉功能根本无法满足需求,且需求缺口大
其他功能	水库其他功能基本能达到设计要求	水库其他功能有一部分能达到设计要求	水库其他功能基本达不到设计要求
替代情况	设计的防洪、灌溉、供水、发电等需求无法被其他工程替代	设计功能部分被替代,实际功能指标达不到水库设计规模	设计功能因其他工程兴建被完全替代
除险加固情况	除险加固经济上合理、技术上可行,且有足够资金进行除险加固	除险加固经济上合理、技术上可行,但缺乏资金难以限期进行除险加固	除险加固经济上不合理、技术上不可行,且缺乏资金难以限期进行除险加固
管理缺失情况	管理良好,工程维修及时,能安全运行	管理严重缺失,工程老化失修,不能安全运行	管理缺失,工程老化失修严重
管理经费状况	水库有足够经费用于管理	水库运行管理经费不足	水库基本无运行管理经费
管理设施情况	有防汛交通道路与通信等设施,出险后能及时组织人力、物力进行抢修	有防汛交通道路与通信等设施,但质量差,出险后难以组织人力、物力进行抢险	无防汛交通道路与通信等设施,出险后无法组织人力物力进行抢险

水库等级评价集 $V = \{V_1, V_2, V_3, V_4\} = \{\text{正常运行, 除险加固, 降等, 报废}\}$ 。正常运行指水库各项指标都符合要求, 能够正常安全地运行; 除险加固指水库长期运行, 工程存在老化、人为破坏、自然侵蚀等现象, 为了水库的继续安全运行, 需要对水库存的问题及隐患进行排查、修补、加固; 降等指因水库规模减小或者功能萎缩, 将原设计等别降低一个或者一个以上等别运行管理, 以保证工程安全和发挥相应效益的措施; 报废指对病险严重且除险加固技术上不可行或者经济上不合理的水库以及功能基本丧失的水库所采取的处置措施。

3.2 指标权重

在进行模糊综合评价水库等级时, 权重对最终的评价结果会产生很大的影响, 不同的权重有时会得到不同的结论。因此, 权重选择的合适与否直接关系到模型的成败。权重向量是 X 上的一个模糊向量, 记为 A 。确定权重的方法很多, 如 Delphi 法、加权平均法、众人评估法、信息熵法等, 本评价系统采用专家估计法来确定权重。在综合有关专家意见的基础上, 最终的权重结果确定如下:

$$A = (0.212, 0.412, 0.212, 0.114, 0.050)$$

$$A_1 = (0.5, 0.3, 0.2)$$

$$A_2 = (0.4, 0.2, 0.1, 0.3)$$

$$A_3 = (0.6, 0.4)$$

$$A_4 = (0.3, 0.3, 0.2, 0.2)$$

$$A_5 = (0.5, 0.3, 0.2)$$

3.3 评价关系矩阵

水库降等与报废评价关系矩阵 R 表达式为

$$R = (r_{ij}) \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, 3, 4)$$

式中: r_{ij} 为指标 i 对 $V_j (j = 1, 2, 3, 4)$ 等级模糊子集的隶属度; n 为指标数。因此确定评价矩阵之前必须确定指标 i 赋值 z 的隶属度函数。

经过简单的分析可知水库等级模糊评价指标值为 $(0, 1]$, 若将区间 $(0, 1]$ 等分为 4 个评价集 $V_j (j = 1, 2, 3, 4)$, 则相应的 4 个区间为 $(0, 0.25]$, $(0.25, 0.5]$, $(0.5, 0.75]$ 和 $(0.75, 1]$, 会造成两个区间边缘数值相差不大, 而评语却相差一个级别的不合理现象。为了消除这种不合理现象, 进行模糊化处理, 即将区间中间点 (靠近区间中点附近的某个数值) 隶属函数赋值为 1 (最大值), 并使相邻两区间相互交叉, 这样, 对某个指标的具体数值, 将以不同的隶属度分属于不同的模糊集合 V_j 和 $V_{j+1} (j = 1, 2, 3)$ 。根据各指标的特性, 拟定各隶属函数为线性函数, 且满足: 若 $r_{ij}(z) = 1$, 则 $r_{i(j-1)}(z) = r_{i(j+1)}(z) = 0^{[9]}$ 。

指标赋值 z 的隶属函数的表达式为

$$\begin{aligned} r_{i1}(z) &= \begin{cases} (0.4 - z)/0.2 & z \in (0.2, 0.4] \\ 1 & z \in (0, 0.2] \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \\ r_{i2}(z) &= \begin{cases} (z - 0.2)/0.2 & z \in (0.2, 0.4] \\ (0.6 - z)/0.2 & z \in (0.4, 0.6] \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \\ r_{i3}(z) &= \begin{cases} (z - 0.4)/0.2 & z \in (0.4, 0.6] \\ (0.8 - z)/0.2 & z \in (0.6, 0.8] \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \\ r_{i4}(z) &= \begin{cases} (z - 0.6)/1.2 & z \in (0.6, 0.8] \\ 1 & z \in (0.8, 1] \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \end{aligned}$$

3.4 模糊综合评价

评价关系矩阵 R 中不同的行反映了某个被评价事物从不同的指标对各评价子集的隶属程度。用权向量 A 将不同的行综合, 得到该被评事物从总体上对各评价子集的隶属程度, 即模糊综合评价结果向量 B 。

用数学语言表达三者之间的关系为 $B = A \cdot R$, 称之为模糊变换, $\cdot$ 为算子符号。给予不同的模糊算子, 就有不同的评价模型。加权平均模型对所有因素依权重大小均衡兼顾, 适用于考虑各因素起作用的情形, 本文采用此模型确定评价等级。模糊综合评价结果向量为

$$B = A \cdot R = (b_1, b_2, b_3, b_4)$$

$$\text{其中} \quad b_j = \sum_{i=1}^n a_i r_{ij} \quad (j = 1, 2, 3, 4)$$

式中: b_j 为模糊综合评价结果向量 B 的元素; a_i 为指标 i 的权重; r_{ij} 为评价矩阵 R 的元素^[10]。

对于最后得到的综合评价结果向量 B , 根据最大隶属度原则, 确定水库评价等级。具体确定方法为: 若 $\max\{b_1, b_2, b_3, b_4\} = b_j (j = 1, 2, 3, 4)$, 则等级为 $V_j (j = 1, 2, 3, 4)$ 。

4 实例验证

4.1 水库基本情况

沙柳河四队水库位于青海省都兰县, 是一座以灌溉为主的小(2)型注入式水库, 总库容 60 万 m^3 。水库由大坝、放水涵洞、引水渠组成。大坝为均质土坝, 最大坝高 5 m, 坝顶长 500 m。水库 1958 年开工建设, 1960 年竣工投运。

2009 年 2 月青海省水利厅组织对该水库进行现场安全检查, 发现水库主要问题为: ①水库库区淤积严重 (图 2), 库区土地已被农民作为耕地; ②放水涵洞及其所在转折坝段已水毁 (图 3); ③引水渠损坏严重; ④无大坝安全监测设施和通信设施, 管理设

施陈旧落后;⑤因缺乏维修改造资金,处于无人管理的废弃状态,已无法蓄水运行,对灌区灌溉造成了很大影响。2009 年 2 月 27 日,经青海省水利厅鉴定该水库为病险水库,属“三类坝”^[11]。



图2 水库库区淤积严重



图3 已水毁的放水涵洞洞体断裂

4.2 水库报废理由

在现场检查、地质勘查、大坝安全评价与鉴定、除险加固初步设计方案经济合理性分析等工作的基础上,最终得出对该水库实施报废处理,理由为:①水库淤积严重(占总库容 83%),目前实际有效库容仅 10 万 m³;②经计算分析,水库蓄水后的渗透稳定性不满足规范要求;③水库功能已丧失,无进一步开发利用价值;④水库病险严重,除险加固工程投资约 624.36 万元,实施除险加固工程后有效库容可恢复到 40 万 m³^[12],但单位库容的加固费用极高,相对于该工程发挥的经济效益、生态效益、社会效益,除险加固工程投资经济合理性差;⑤在该水库所在河流上拟新建一水库作为替代工程,以解决当地对水的需求;⑥该水库报废处理过程中,不存在人员和管理设施处置任务。

4.3 水库报废方案

①对于库区淤积泥沙不进行工程处置,由库区及坝址土地资源所有人经过适当改造后成为可耕种的农田,并对其进行适合当地环境、气候条件的绿化生态补偿工作,使其符合水土保持和环境绿化要求。②保留现有残存坝体,对失修、损坏严重的原引水渠进行必要的维修加固处理,解决引水渠渠道的渗漏和塌坡问题。③沙柳河上正在修建的沙柳河水库将取代沙柳河四队水库,从而从根本上解决原水库受

益区的生产、生活用水需求。

4.4 模型验证

首先,结合青海省沙柳河四队水库工程的设计施工情况,以及水库降等与报废报告^[13],得出各指标的赋值如表 4 所示;其次,依据赋值计算模糊评价关系矩阵;最后利经模糊综合评价模型计算得到模糊综合评价结果向量为 $B = (0.040, 0.256, 0.217, 0.487)$,根据最大隶属度原则,该水库属于报废级。该评价结果与该水库的降等与报废论证结果相符,说明本文指标体系与计算模型是科学且可行的。

表 4 沙柳河四队水库指标赋值

指 标	赋值	指 标	赋值
淤积情况	0.85	除险加固情况	0.5
积水面积	0.85	风险人口	0.825
规划设计施工情况	0.85	经济损失	0.125
防洪功能	0.85	社会影响	0.375
灌溉功能	0.5	环境影响	0.375
其他功能	0.85	管理缺失情况	0.85
替代情况	0.5	管理经费状况	0.85
病险程度	0.5	管理设施情况	0.5

5 结 语

本文对水库降等与报废评估指标体系和模型做了探讨,对于今后水库降等与报废工作有一定的借鉴意义,但还需要进一步的补充和完善。本文所建立的评估指标体系,主要依据《办法》制定,选取的指标具有一定的代表性,但是指标间存在一定的关联性,指标体系只是初步的建立,还需要大量的论证和测试工作来改善此体系。虽然青海省一座已经报废的水库评价结果与报废论证结果相符,但对于其他水库是否适合并未得到验证,在以后的研究中需进一步搜集国内外降等与报废水库资料,结合降等与报废的特点进行分析,补充完善现有研究成果。

参考文献:

[1] 刘宁. 21 世纪中国水坝安全管理、退役与建设的若干问题[J]. 中国水利,2004(23):27-30. (LIU Ning. The 21st century Chinese dam safety management, retirement and construction problems [J]. China Water Resources, 2004 (23):27-30. (in Chinese))

[2] 盛金保.《水库降等使用和报废管理办法》及《水库降等使用和报废标准》调研报告[R]. 南京:水利部大坝安全管理中心,2000.

[3] 傅琼华,杨正华. 浅谈水库的降等与报废管理[J]. 江西水利科技,2005,31(增刊 1):42-44. (FU Qionghua, YANG Zhenhua. Discussion of the demotion and scraping management of reservoirs [J]. Jiangxi Hydraulic Science & Technology, 2005,31(Sup1):42-44. (in Chinese))

(下转第 15 页)

[2] 曲红玲, 窦希萍, 赵晓冬, 等. 不同类型建闸河口闸下淤积模拟计算[J]. 海洋工程, 2011 (2): 59-67. (QU Hongling, DOU Xiping, ZHAO Xiaodong, et al. Simulation of siltation downstream of floodgate in estuaries[J]. The Ocean Engineering, 2011 (2): 59-67. (in Chinese))

[3] 徐雪松, 窦希萍, 陈星, 等. 建闸河口闸下淤积问题研究综述[J]. 水运工程, 2012 (1): 116-121. (XU Xuesong, DOU Xiping, ZHANG Xinzhou, et al. Overview of siltation downstream estuarine floodgates [J]. Port & Waterway Engineering, 2012 (1): 116-121. (in Chinese))

[4] 汪朗峰. 大沙河河口水闸工程方案设计[J]. 中国农村水利水电, 2007 (6): 110-111. (WANG Langfeng. The design of Dasha River Estuarine Sluice [J]. China Rural Water and Hydropower, 2007 (6): 110-111. (in Chinese))

[5] 吴卫, 季永兴, 王瑟澜, 等. 苏州河河口水闸平面二维水流数值模拟[J]. 水利水电科技进展, 2007, 27 (增刊 1): 52-55. (WU Wei, JI Yongxing, WANG Selan, et al. A two-dimensional numerical simulation of Suzhou River Estuarine Lock Project [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2007, 27 (Sup1): 52-55. (in Chinese))

[6] 王珍, 邱静, 王丽雯, 等. 弯曲河道水力特性对枢纽运行的影响及改善措施的试验研究[J]. 广东水利电力职业技术学院学报, 2010 (2): 1-5. (WANG Zhen, QIU Jing,

WANG Liwen, et al. Experimental research on the impact of bend channel hydraulic characteristics on the operation of hydro-junction and the improve measures[J]. Journal of Guangdong Technical College of Water Resources and Electric Engineering, 2010 (2): 1-5. (in Chinese))

[7] 张瑞瑾, 谢鉴衡, 陈文彪. 河流动力学[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2007: 154-168.

[8] 胡孜军, 王玲玲, 成高峰, 等. 三河闸泄流流态与进流纠偏数值研究[J]. 水利学报, 2011, 42 (11): 1349-1354. (HU Zijun, WANG Lingling, CHENG Gaofeng, et al. Numerical study on the inflow and rectification measures of the Sanhe Sluice [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2011, 42 (11): 1349-1354. (in Chinese))

[9] 黄章羽, 马晓忠, 王玲玲, 等. 复杂嵌套网格模型及其在三河闸大修工况泄流流态模拟中的应用[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2012, 40 (6): 61-66. (HUANG Zhangyu, MA Xiaozhong, WANG Lingling, et al. Application of a nested grid hydrodynamic model to discharge pattern simulation overhaul conditions of Sanhe Sluice [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2012, 40 (6): 61-66. (in Chinese))

[10] 河海大学水利水电学院. 南京秦淮河三汊河闸工程(移位方案) 水工模型试验研究报告[R]. 南京: 河海大学, 2004.

(收稿日期: 2013 - 04 - 02 编辑: 熊水斌)

(上接第 10 页)

[4] 王辛石. 陕西省病险水库降等与报废工作纪实[J]. 中国水利, 2003 (19): 36-37. (WANG Xinshi. The scrap and deduction documentary work of Shaanxi dilapidated reservoirs[J]. China Water Resources, 2003 (19): 36-37. (in Chinese))

[5] 李雷, 盛金保. 中国小型水库安全现状调查及对策研究报告[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2002.

[6] 韩其为, 杨小庆. 我国水库泥沙淤积研究综述[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2003, 1 (3): 169-178. (HAN Qiwei, YANG Xiaoqin. A review of the research work of reservoir sedimentation in China [J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2003, 1 (3): 169-178. (in Chinese))

[7] 蔡守华. 小型水库科学管理理论及应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.

[8] 李雷, 王仁钟, 盛金保, 等. 大坝风险评价与风险管理[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.

[9] 王志涛, 江超, 姜晓琳, 等. 基于模糊理论的土石坝风险综合评价方法[J]. 水利与建筑工程学报, 2011, 9 (2): 27-30. (WANG Zhitao, JIANG Chao, JIANG Xiaolin, et al. Research on comprehensive evaluation method for risk of earth-rock dam based on fuzzy [J]. Logic Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 2011, 9

(2): 27-30. (in Chinese))

[10] 王艳艳, 李欣, 刘祥锋, 等. 基于模糊数学的小水电站状态评估[J]. 水力发电, 2008, 34 (1): 95-97. (WANG Yanyan, LI Xin, LIU Xiangfeng, et al. Condition assessment of small hydropower station based on fuzzy mathematics[J]. Water Power, 2008, 34 (1): 95-97. (in Chinese))

[11] 青海省都兰县沙柳河四队水库大坝安全鉴定评价报告[R]. 西宁: 青海禹兴水利水电设计有限公司, 2009.

[12] 都兰县沙柳河四队水库除险加固工程初步设计报告[R]. 西宁: 青海禹兴水利水电设计有限公司, 2010.

[13] 青海省都兰县沙柳河四队水库报废论证报告[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2012.

(收稿日期: 2013 - 04 - 03 编辑: 熊水斌)

