

# 工程与信息融合的水电工程“三甲医院”探讨

赵志勇<sup>1,2</sup>, 廖建军<sup>2</sup>, 张礼兵<sup>2</sup>, 张 帅<sup>2</sup>

(1. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098; 2. 中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司, 云南 昆明 650051)

**摘要:**以“三甲医院”视角介绍了水电工程运行期工程安全技术服务体系,对水电工程“三甲医院”的定义、基本构成、主要特征等进行了探讨,并对“三甲医院”的健康诊断采用的关键技术的研究与应用进行了阐述,给出了从事相关业务资格评级评等的基本框架。认为以工程为对象,从“三甲医院”视角,才能更好地建立和完善水电工程安全全产业链、全生命周期服务的理论与方法体系。

**关键词:**水电工程“三甲医院”;多源数据融合;大坝安全;风险管理;分级管理体系

中图分类号:TV698.2

文献标志码:A

文章编号:1006-7647(2018)05-0076-05

**Discussion on engineering and information fusion of hydropower projects from the perspective of 3A hospitals//** ZHAO Zhiyong<sup>1,2</sup>, LIAO Jianjun<sup>2</sup>, ZHANG Libing<sup>2</sup>, ZHANG Shuai<sup>2</sup> (1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Hydrochina Kunming Engineering Corporation, Kunming 650051, China)

**Abstract:** This paper introduces the safety service system of hydropower projects during operation stage in the perspective of the 3A hospitals. The definition, basic constitution and the main features of the 3A hospital in hydropower projects are discussed. The application and research of the key technologies during the health monitoring and evaluation for hydropower projects are stated. The basic framework of professional qualification rating and grading is also discussed. It is believed that the theory and method of the whole industrial chain and life cycle service in hydropower projects can be better established and improved in the perspective of 3A hospitals.

**Key words:** 3A hospitals of hydropower project; multi-source data fusion; dam safety; risk management; hierarchical management system

正如人类生老病乃至死亡阶段需要看病就医或定期体检来评价身体状况一样,水电工程在规划设计、工程建设、运维管理、退役拆除等全生命周期过程也需要依据国家、行业等规范要求<sup>[1-2]</sup>或企业管理需求等,开展设计审查、质量监督、安全鉴定、定期检查与安全评价等工作,以便及时发现大坝设计施工缺陷及运行中病险隐患,保障工程安全运行。

针对水电工程安全评价问题,国内许多专家学者从评价模型着手,基于灰色关联度分析法、模糊云理论、支持向量机、以熵权为基础的改进物元可拓模型、云模型与证据理论、AHP(层次分析法)-信息熵理论等<sup>[3-10]</sup>,相继提出了大坝安全性态综合评价模型,并进行了典型工程应用。顾冲时等<sup>[11-12]</sup>还从混凝土坝材料性能演化、隐患病害监测与检测、施工质量控制、安全风险管理与评定等方面,论述了混凝土坝长效服役与风险评定理论、方法及其技术的研究现状。

但由于水电工程全生命周期数据信息来源多样、格式差异大,有监测、检测、施工过程等结构化数据,也有文字报告、巡视检查、专家经验、视频监控等非结构化数据。当前来说,这些信息处于不同阶段并在不同单位手中,兼之信息技术的滞后,信息相互独立的“信息孤岛”现象突出,未能有效融合更缺乏深度应用。

近年来随着GIS、BIM、大数据、云存储及人工智能算法等信息技术和建筑物智慧感知等硬件设备技术的发展,以智慧感知的信息为基础、基于GIS+BIM技术与工程全生命周期的信息融合为手段、大数据及云存储与人工智能算法的健康诊断为核心,使得打造工程与信息化融合的水电工程“三甲医院”成为可能。本文旨在从“医院”视角,以工程为对象,采用边缘性、交叉性前缘技术提供涉及水电工程全生命周期的多源异构信息获取、健康诊断、评价与整治于一体的一站式服务解决方案。

# 1 水电工程“三甲医院”概念

## 1.1 定义

水电工程“三甲医院”,是指以水电工程全生命周期安全为目标,按照“体检、诊断、手术”医院治病的思路,以大坝设计、施工过程等“出生”静态信息为基础,以运行期监测、检测、检查、管理等“成长”动态信息为核心,对大坝运行性态和安全状况进行评价,对认定的病险工程进行消缺处理、除险加固等整治措施的过程。即相当于对大坝进行监测感知、性态检测、巡视检查及运行管理为手段的“日常体检”,基于体检信息对运行性态和安全状况进行评价的“医生诊断”,评价认定的消缺处理、除险加固等“动手术”工程整治措施,实现工程全生命周期的多源信息有机融合与数据挖掘,为水电工程全生命周期安全运行提供一体化的一站式系统性服务解决方案,更加高效、高质量地保障工程安全。

## 1.2 基本构成

### 1.2.1 信息获取——日常体检

BIM 信息模型是一个智能化的建筑物 3D 模型,它能够连接建筑生命期不同阶段的数据、过程和资源,是对工程对象的完整描述,可支持水电工程全阶段的信息管理。以 BIM 为手段集成设计阶段的材料物力学参数、体型、计算、科研等成果及施工过程的材料、地质、质量、进度等信息,实现“所见即所得”的一体化可追溯的基础“出生”数字信息。

在施工期和运行期,现场检查、安全监测、水下缺陷探测、材料长期性态检测等借助巡视检查、底层传感器、检测仪器设备等手段,从不同维度获取水电工程“成长”的动态信息,构成与安全分析评价有关的信息专业数据库,为实现深层次数据挖掘进而进行大坝性态健康诊断提供支撑。

### 1.2.2 安全评价——健康诊断

以“日常体检”获取的信息为基础,结合工程地质、水工与金属结构、监测与检测等基本专业知识,以辨识安全风险、发现安全隐患并及时防范为目标,基于专家知识与经验,从大坝防洪、抗震、坝基与坝体结构安全、近坝库岸和工程边坡安全、泄洪消能设施安全、金属结构设备安全等方面进行水电工程大坝安全复核或评价,对水库、挡水建筑物、泄水建筑物、水工金属结构、近坝库岸与工程边坡、监测系统的运行状况提出评价意见,综合复核成果、运行性态、后果危害性评价大坝安全等级,并对存在的主要问题与隐患提出处理建议<sup>[13]</sup>。

### 1.2.3 缺陷修复——动手术

工程健康诊断结果一旦出现诸如防洪标准不

够、泄流能力不足、坝体坝基变形与渗流破坏、闸门启闭失效等严重健康问题,应根据工程健康诊断结果的严重程度,对质量缺陷进行消缺处理,对防洪安全、结构破损等病险大坝采取除险加固,包括坝体加固(如裂缝修补,尤其水下裂缝处理)、坝面保护、坝体防渗及排水处理、泄洪设施改扩建、金属结构更换修复等工程整治措施,以继续发挥水库的正常效益。

## 1.3 主要特征

### 1.3.1 多源异构大数据

涉及水电工程安全的信息种类有工程地质、水文气象、设计资料、施工质量、安全监测、性态检测、视频信息等,这些数据有静态的、有动态的,有结构化数据、也有非结构化数据,还有相对模糊的专家经验与知识,通过多源异构数据进行存储、融合、重构,为水电工程“三甲医院”提供数据支撑。

### 1.3.2 全生命周期服务

水电工程“三甲医院”贯穿于水电工程设计、工程建造和运行维护管理全生命周期各阶段,通过工程设计、工程建造“出生”信息结合运行维护管理的智慧感知“成长”信息及基于专业知识的分析,实时评价工程的安全情况及预测变化趋势,可真正确保对水电工程的全方位把控,保障安全运行。

### 1.3.3 全产业链发展

水电工程“三甲医院”,不仅能看病,还能治病。国内设计咨询企业、水电施工建设企业、设备制造企业 and 关联产业的相关企业相互携手,从安全信息采集、安全评估、缺陷修复、智慧信息系统全产业链与全过程进行水电工程大坝安全监控、评估与修复,为客户提供全产业链集成、一体化的一站式系统性服务解决方案。

## 2 关键技术

### 2.1 监测与检测技术

#### 2.1.1 安全监测技术

安全监测是利用已埋设安装的监测传感器或安装的监测装置,基于全方位、全过程、信息化的动态理念,全面捕捉水工建筑物不同工况下的变形、渗流、应力应变及温度、降水量等效应量及环境量。依据变形、渗流、应力应变等监测仪器设备获得的实时数据与现场测试数据,进行监测设施与监测资料评价。目前监测技术总体朝着光纤传感器、非接触、自动化等方向发展。如随着 3S 技术的发展,卫星遥感、GNSS(全球导航卫星系统)变形监测、合成孔径雷达、激光三维扫描变形监测等非接触表面变形监测技术得到了广泛的应用(图 1),克服了传统表面变形监测固有的测读不方便、无法长距离及大范围

监测、环境影响严重等缺陷。

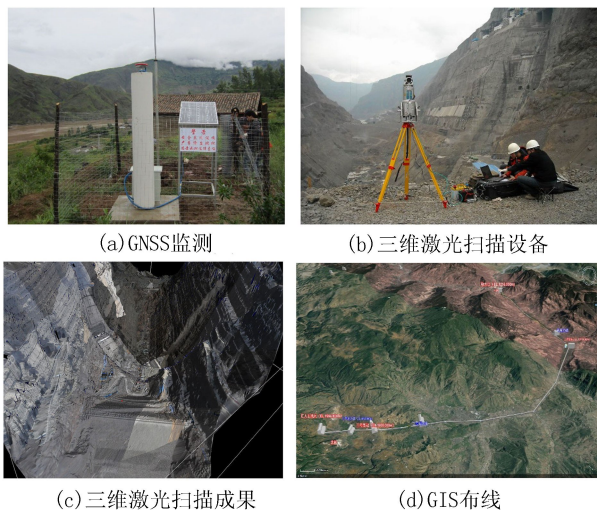


图1 先进的非接触测量技术和 GIS 应用

### 2.1.2 检测与探测技术

检测及探测是利用水、陆、空等先进的检测仪器设备(如水下声呐、浅地层剖面仪、三维激光扫描系统、无人机等),对挡水建筑物、泄洪消能建筑物、洞室建筑物、金属结构及库区的运行状况进行检测和探查。如依据多波束、水下机器人等检测设备获得的测量数据,进行混凝土缺陷、泥沙淤积、金属结构等项目探测。主要有基于红外热成像、地质雷达的面板脱空探测技术;基于多波束探测系统的水下全覆盖探查技术;基于三维激光扫描系统的库岸边坡、坝体(水上)、泄洪洞/道等部位混凝土全覆盖扫描技术;基于水下无人潜器,搭载多种外部传感器(声呐等),工程外观质量水下详查技术;基于浅地层剖面仪,水下淤积厚度与结构探查技术等,可快速直观地得到相关设施的运行状态信息(图2)。

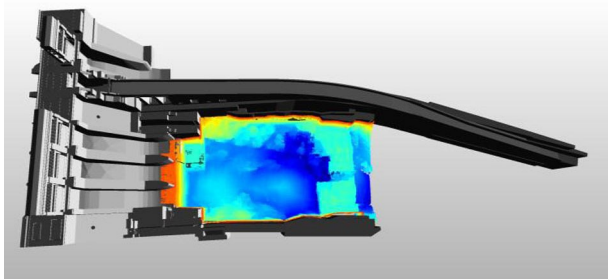


图2 水下综合探测及 BIM 技术结合的运行状态探测

### 2.2 健康诊断技术

根据水电工程安全评价项目的具体设置,结合不同工程的具体特点,建立水电工程大坝健康状态诊断的指标体系,在相关规程规范的基础上,确定大坝健康状态等级。主要有基于统计分析、数模计算、定性评价并结合设计计算成果、规范允许值等的监控指标综合拟定技术;基于监测数据的单测点阈值

评判技术;基于实测资料、模糊层析分析法的大坝安全评价技术等。

应尝试研究基于人工智能领域中的深度学习、认知与推理等学科,借助融合人工智能、传统数学物理模型与专家系统的智慧模型进行大坝安全健康诊断。

### 2.3 大坝缺陷修复技术

主要包括病险坝除险加固技术、大坝改扩建技术以及大坝维护技术,在保障工程安全运行的同时,获得最大的收益。其中,水下结构缺陷处理技术已成为大坝安全领域一项亟待研究的重要技术。常见的水下工程缺陷有:挡水坝体渗漏、结构裂缝、混凝土结构冲坑破损、水下透水事故、金属结构锈蚀老化等。与之对应的有潜水安全作业技术(图3,世界最大规模的氦氧混合气潜水作业),坝体渗漏处理技术、结构缺陷处理技术、水下透水通道封堵技术、水下防腐技术、水下焊接技术等。

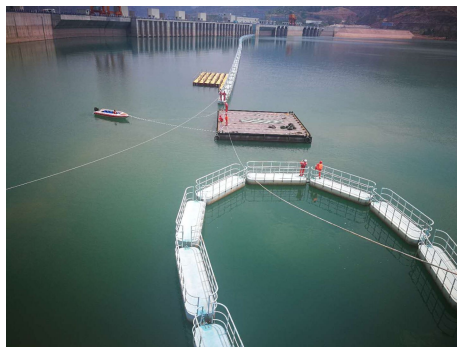


图3 某电站大坝深水缺陷治理

### 2.4 大坝安全风险管理及应急技术

影响大坝安全的风险因素主要包括工程风险因素、人为风险因素、环境风险因素三部分。结合大坝风险调查,利用数理统计方法和数据挖掘工具确立可能引起大坝失事的潜在风险源,进而对风险等级进行评估<sup>[11-12]</sup>,选择合适的风险处理方案。对于风险可接受的大坝,其暂时可不进行加固处理;对于风险可容忍的大坝,应采用“最低合理可行”原则分析判断是否采取措施降低风险;对于风险不可接受的大坝,应立即采取措施降低大坝风险。

### 2.5 基于 GIS+BIM 的管理及预警信息平台

随着社会信息化的发展,水电工程信息化已经成为水电工程现代化建设的基础和重要标志。集数字化、信息化、可视化于一体且结合工程实际的水电工程全生命周期安全信息三维可视化平台(图4),集成水情、监测、运行调度等信息化管理系统,融合结构仿真计算、健康诊断、风险分析等的辅助决策模块,能够有效提升水电工程管理的技术水平。

党的十九大报告提出,推动互联网、大数据、人工智能和实体经济深度融合。应尝试将 VR/AR、云

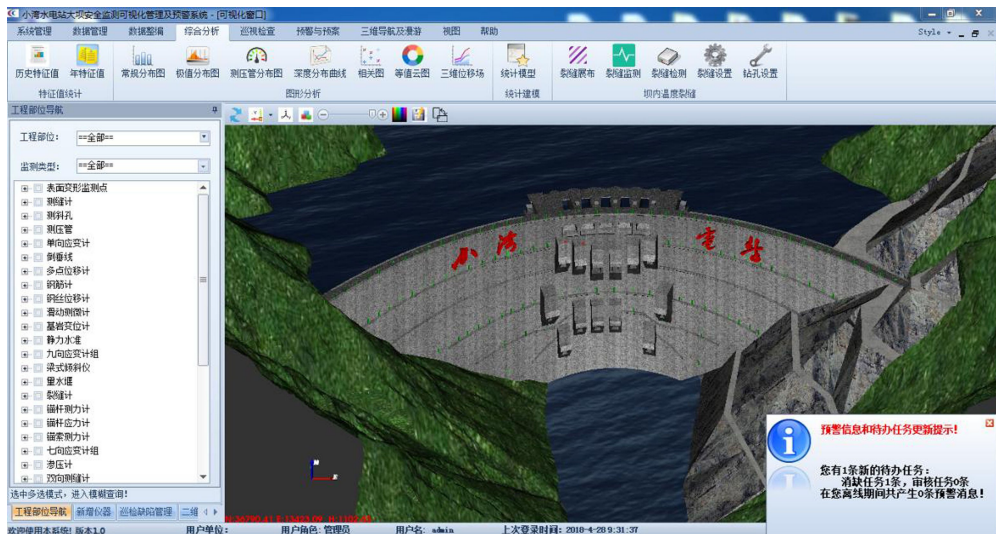


图4 水电站安全监测可视化管理及预警系统

计算、大数据、人工智能等新一代信息技术引入水电工程领域,将传统水电技术和人工智能结合,打造普适性、开放性、包容性的智慧信息平台。

### 3 分级管理体系

正如医院需要依据功能、设施、技术力量等指标,进行资质评定、分级分等一样(医院分一、二、三级,每级再划分为甲、乙、丙三等,其中三级医院增设特等),宜从企业资质、信誉和业绩、技术条件、技术装备及管理等方面对从事大坝安全服务的机构分级分等,便于开展实际工作。其中,级别跟随企业自身勘察、设计、施工或咨询资质,如综合甲级、设计甲级、乙级等,承担对应工程项目的主体工程及其配套工程的设计、施工、咨询等安全业务,而后根据企业大坝安全服务的技术人员、技术装备、相关业绩、社会评价等方面进行分一等、二等。

针对缺陷检测、水下修复等水电工程大坝安全业务,还需要相关行业或协会专项资质,在分级分等时亦需考虑。如水下检测时,技术人员需持有水下工程检测员证、潜水员证等<sup>[14]</sup>,实施机构需具备对应水下工程检测机构能力等级;进行信息系统集成开发时,机构需具备相应计算机系统集成资质。

已获得级别、等别的服务机构,对满足条件的可申请高一等级的评估。级别跟随企业资质晋升,根据申报等级相符的技术人员、技术装备、相关业绩、社会评价等进行晋等评估。

### 4 结语

水电工程作为支撑全球可持续发展的重要基础设施,其安全事关工程效益、事关下游人民群众生命财产安全和当地社会公共安全,如何进一步做好安全管理工作,尤为重要。工程与信息融合的水电工

程“三甲医院”,基于“体检-开方-动手术”的思路,综合利用监测检测技术、健康诊断技术、缺陷修复技术、风险管理与应急处置等,对水电工程进行实时监控、定期检查、安全评价、除险加固与综合整治,并借助数字化、信息化、可视化于一体且结合工程实际的三维可视化平台,系统性、全方位、全过程提供安全服务,保障工程安全运行。

应当指出,在水电工程“三甲医院”建立及运营中,仍会面临诸多问题,如应急处置体系、分级体系指标量化、安全信息智慧平台,需要人们不断研究并推广。

### 参考文献:

[1] 中华人民共和国水利部. 水库大坝安全鉴定办法: 水建管(2003) 271号 [EB/OL]. (2003-07-02) [2018-05-07]. [http://www.china.com.cn/policy/txt/2003-07/02/content\\_5358140.htm](http://www.china.com.cn/policy/txt/2003-07/02/content_5358140.htm).

[2] 中华人民共和国国家能源局. 水电站大坝安全定期检查监督管理办法: 国能安全(2015) 145号 [EB/OL]. (2015-05-06) [2018-05-07]. [http://zfxgk.nea.gov.cn/auto93/201505/t20150519\\_1926.htm](http://zfxgk.nea.gov.cn/auto93/201505/t20150519_1926.htm).

[3] 成荣亮, 杨正华, 王昭升, 等. 水库降等与报废评估指标体系与评判方法[J]. 水利水电科技进展, 2014, 34(2): 6-10. (CHENG Rongliang, YANG Zhenghua, WANG Zhaosheng, et al. Assessment index system and Evaluation methods for reservoir degrading and removal [J]. Advances in Science & Technology of Water Resources, 2014, 34(2): 6-10. (in Chinese))

[4] 黎良辉, 杨斌, 魏博文, 等. 基于改进层次分析法的大坝性态安全诊断云模型[J]. 水资源与水工程学报, 2018, 29(1): 209-214. (LI Lianghui, YANG Bin, WEI Bowen, et al. Cloud model of dam behavior safety diagnosis based on improved analytic hierarchy process [J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2018, 29(1): 209-214. (in Chinese))

[5] 司春棣, 练继建, 郑杨. 基于支持向量机的土石坝安全监测

- 预报模型研究[J]. 水利水电技术,2007,38(9):75-77. (SI Chundi, LIAN Jijian, ZHENG Yang. A study on safety monitoring model for earth-rockfill dam based on support vector machine [J]. Water Resources and Hydropower Engineering,2007,38(9):75-77. (in Chinese))
- [6] 李浩平,贾志营,黄耀英,等. 基于重要贡献度的中小型土石坝安全评价指标体系研究[J]. 水利水电技术,2018,49(5):103-108. (LI Haoping, JIA Zhiying, HUANG Yaoying, et al. Important contribution degree-based study on safety evaluation index system of small and medium-sized earth rockfill dam [J]. Water Resources and Hydropower Engineering,2018,49(5):103-108. (in Chinese))
- [7] 李宏恩,李铮,何勇军. 水库工程病险成因典型实例分析[J]. 水利水电科技进展,2014,34(6),66-69. (LI Hongen, LI Zheng, HE Yongjun. Typical case study on danger cause of reservoir engineering [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2014, 34(6), 66-69. (in Chinese))
- [8] 郭芝韵,苏怀智,刘炳锐,等. 基于云模型与证据理论的大坝安全综合评估方法[J]. 水利水电技术,2017,48(3):99-103. (GUO Zhiyun, SU Huaizhi, LIU Bingrui, et al. Cloud model and evidence theory based method for comprehensive assessment on dam safety [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2017, 48(3): 99-103. (in Chinese))
- [9] 陈志强,高成城. 大坝安全性状综合评价方法[J]. 人民黄河,2017,39(6):118-120. (CHEN Zhiqiang, GAO Chengcheng. Comprehensive evaluation of dam safety characters [J]. Yellow River,2017,39(6):118-120. (in Chinese))
- [10] 张帅,苏怀智,崔书生. 基于AHP-信息熵的大坝安全性态模糊综合评价[J]. 水电能源科学,2012,30(2):69-72. (ZHANG Shuai, SU Huaizhi, CUI Shusheng. Fuzzy comprehensive evaluation of dam safety state based on AHP and information entropy method [J]. Water Resources and Power, 2012, 30(2): 69-72. (in Chinese))
- [11] 顾冲时,苏怀智. 混凝土坝工程长效服役与风险评定研究述评[J]. 水利水电科技进展,2015,35(5):1-12. (GU Chongshi, SU Huaizhi. Current status and prospects of long-term service and risk assessment of concrete dams [J]. Advances in Science & Technology of Water Resources, 2015,35(5):1-12. (in Chinese))
- [12] 顾冲时,苏怀智,刘何稚. 大坝服役风险分析与管理研究述评[J]. 水利学报,2018,49(1):26-35. (GU Chongshi, SU Huaizhi, LIU Hezhi. Review on service risk analysis of dam engineering [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2018, 49(1):26-35. (in Chinese))
- [13] 中华人民共和国国家能源局. 水电站大坝运行安全评价导则:DL/T 5313—2014[S]. 北京:中国电力出版社,2014.
- [14] 中华人民共和国国家能源局. 水工混凝土建筑物缺陷检测和评估技术规程:DL/T 5251—2010[S]. 北京:中国电力出版社,2010.

(收稿日期:2018-05-07 编辑:郑孝宇)

(上接第14页)

- [11] 王宁. 土石坝除险加固效果评价方法及其应用[D]. 南京:河海大学,2014.
- [12] 王娟,范九伦. 理想点法和模糊优选法的等价性[J]. 济南大学学报(自然科学版),2013(4):406-409. (WANG Juan, FAN Jiulun. The equivalence of TOPSIS and fuzzy optimization methods [J]. Journal of University of Jinan (Natural Science Edition), 2013(4):406-409. (in Chinese))
- [13] 梁樑,熊立,王国华. 一种群决策中专家客观权重的确定方法[J]. 系统工程与电子技术,2005(4):652-655. (LIANG Liang, XIONG Li, WANG Guohua. New method for determining the objective weight of decision makers in group decision [J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2005(4):652-655. (in Chinese))
- [14] ARAGONÉS B P, CHAPARRO G F, PASTOR F J, et al. An AHP (analytic hierarchy process)/ANP (analytic network process)-based multi-criteria decision approach for the selection of solar-thermal power plant investment projects [J]. Energy, 2014, 66: 222-238.
- [15] 黄曼丽,朱凌,尹华,等. 基于熵权的多目标综合评价方法在水利工程中的应用[J]. 中国农村水利水电,2008(12):99-102. (HUANG Manli, ZHU Ling, YIN Hua, et al. Application of the multi-objective comprehensive evaluation method based on entropy weight to hydroelectric projects [J]. China Rural Water and Hydropower, 2008(12):99-102. (in Chinese))
- [16] 李聪,申思然,刘江,等. 基于动态权重的土质岸坡稳定性模糊评价方法[J]. 长江科学院院报,2013(1):15-20. (LI Cong, SHEN Siran, LIU Jiang, et al. Method of evaluating reservoir bank stability by multi-level variable fuzzy sets based on dynamic weight [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2013(1): 15-20. (in Chinese))
- [17] 王宁,沈振中,徐力群,等. 基于模拟退火层次分析法的病险水库除险加固效果评价[J]. 水电能源科学,2013(9):65-67. (Reinforcement effect evaluation of dangerous reservoir based on simulated annealing-analytic hierarchy process [J]. Water Resources and Power, 2013(9):65-67. (in Chinese))
- [18] 欧阳海滨,高立群,邹德旋,等. 和声搜索算法探索能力研究及其修正[J]. 控制理论与应用,2014(1):57-65. (OUYANG Haibin, GAO Liqun, ZOU Dexuan, et al. Exploration ability study of harmony search algorithm and its modification [J]. Control Theory and Applications, 2014(1):57-65. (in Chinese))

(收稿日期:2017-05-02 编辑:骆超)