

doi: 10.3724/SP.J.1201.2013.03189

黄河下游水闸系统可靠性评价模型 在赵口引黄闸工程中的应用

常芳芳^{1,2}, 何鲜峰²

(1. 华北水利水电学院, 郑州 450011; 2. 黄河水利科学研究院, 郑州 450003)

摘要: 黄河下游水闸系统可靠性评价模型从安全性、适用性、耐久性三个方面综合考虑了影响水闸系统可靠性的各种评价指标, 并且规定了相关指标的评分准则和取值标准。该模型最终评判类别的划分与水闸安全鉴定规定中对水闸安全类别评定标准的规定相统一。在现场安全检测和复核计算工作基础上, 采用该模型对黄河下游赵口引黄闸进行了可靠性评价。评价结果与赵口引黄闸安全鉴定结论一致, 可以为水闸工程维修、加固、改建或重建提供依据。

关键词: 可靠性; 评价模型; 评价指标体系; 评判类别; 水闸

中图分类号: TV66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)03-0189-04

Application of Reliability Evaluation Model of Sluice System in the Zhaokou Project of the Lower Yellow River

CHANG Fangfang^{1,2}, HE Xianfeng²

(1. North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Zhengzhou 450011, China;

2. Yellow River Institute of Hydraulic Research, Zhengzhou 450003, China)

Abstract: The reliability evaluation model of the sluice system of the Lower Yellow River was used to assess the evaluation indexes affecting the sluice reliability from three aspects of safety, applicability, and durability, and it provided the scoring criteria and value standards of the relevant indexes. The classification of final judging categories of this model was in line with the provisions of evaluation standard of the sluice security category in sluice safety appraisal. In this paper, the reliability evaluation model of sluice system of the Lower Yellow River was applied to analyze the reliability of the sluice for diverting water from the lower Yellow River at Zhaokou based on the in situ safety testing and calculation recheck. The results were consistent with the safety appraisal conclusions of the sluice; therefore this model can provide the technical support for the maintenance, strengthening, reconstruction, and redevelopment of the sluice projects.

Key words: reliability; evaluation model; evaluation index system; judging category; sluice

近年来, 基于可靠性理论的水闸安全评价得到了应用和发展。Therese P. McAllister 等^[1] 对水闸的裂缝发展进行了研究, 建立了一种裂缝发展模型; 日本土木工程师协会(JSCE) 采用可靠性理论对水闸的结构风险寿命评估进行了研究^[2]; 崔得密、张志俊等人^[3,7] 对水闸老化病害评估中的病害指标分级、评估指标体系及评估方法进行了研究; 朱炳喜^[8] 提出了一种关于水闸水上钢筋混凝土构件耐久性评估的模糊评估模型; 许萍、张文渊、申向东、周革新等人^[9-12] 对水闸闸室抗滑稳定校核方法和影响因素提出了不同见解; 相关领域的技术人员对水闸的检测方法也进行了有益的探

索^[13,14]。

黄河上的水闸作为黄河堤防的重要组成部分, 担负着防洪、供水、灌溉的重要任务。然而黄河上的水闸大多已运行20~30年甚至更长, 随着龄期的增长, 几乎都出现了不同程度的老化和病害, 再加上黄河泥沙淤积, 河床逐年抬高, 黄河大堤设防标准也不断提高, 水闸的安全形势就变得尤为严峻, 许多不确定性因素都有可能出现。因此, 本文将黄河下游水闸系统可靠性评价模型应用于黄河下游赵口引黄闸工程的可靠性分析中, 在现场安全检测和工程复核计算的基础

收稿日期: 2013-03-11 修回日期: 2013-04-19 网络出版时间: 2013-05-18

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20130518.1744.040.html>

基金项目: Dcoter 冲击回波系统探测素混凝土内部缺陷的应用研究

作者简介: 常芳芳(1986-), 女, 河北阜城人, 研究生, 主要从事安全评价、工程检测等方面的工作。E-mail: srsf557@qq.com

上,从安全性、适用性和耐久性三个方面对该水闸进行了可靠性评价,为相关部门科学决策提供了重要依据。

1 黄河下游水闸系统可靠性评价模型的建立

1.1 水闸系统可靠性评估指标体系的划分

水闸系统可靠性评估的目标是其整个系统的可靠性,而水闸系统的可靠性又由其安全性、适用性和耐久性组成。综合考虑各影响因素,水闸系统可靠性评估指标体系见图 1。

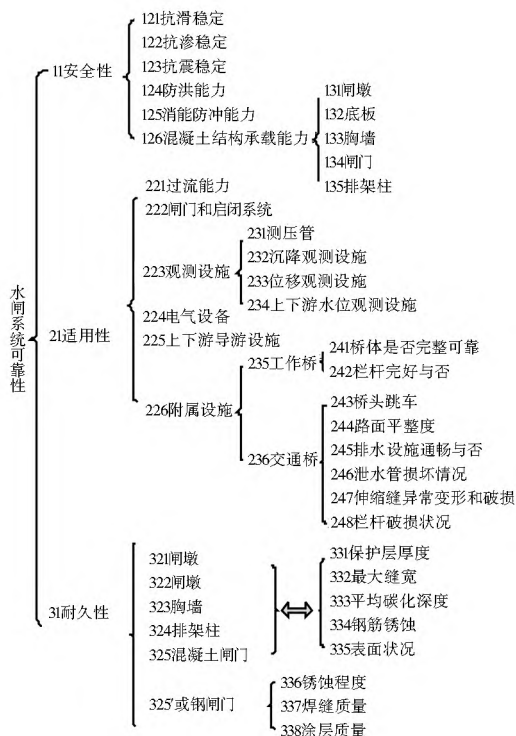


图 1 水闸系统可靠性评估指标体系

Fig. 1 The reliability evaluation index system of the sluice

1.2 评估体系的评估准则

本模型将评估指标分为 a、b、c、d 四个等级,并将最终评估得到的水闸系统可靠性分为 A、B、C、D 四个等级,用模糊语言表示即为良好、一般、差、较差,相当于《水闸安全鉴定规定》(SL 214 98)中的一、二、三、四类闸。

1.3 评价指标的评分方法

为了使各评价指标具有可比性,本模型将各评估指标评分值统一量化为 [0, 1] 区间内的值,并且规定:当评分值为 1.0 时,意味着这项指标所反映的性能完好无损;评分值越低,其损伤就越严重;当评分值为 0 时,表示此项指标已处于破坏状态。在具体评估时,指标的评分方式可按照指标的性质不同采用不同的方法,如专家评分法、规范验算法等。考虑到黄河下游水闸的安全意义重大,在本指标体系建立时将评估值小于 0.6 划分为危险等级,即必须立刻采取措施来确保水闸安全。

1.4 评价模型各级因素权重的划分

利用层次分析法评分后得到的判断矩阵,经迭代计算求出水闸系统可靠性的综合评判模型中各级因素的权重。实际应用中,若某个因素因某种原因不需要时可用剩余因素的权值除以它们的累加和作为新的权值。

1.5 水闸安全评判等级

综合各级指标权重,水闸安全等级可分为四级: A 级 (0.9~1.0); B 级 (0.75~0.90); C 级 (0.6~0.75); D 级 (≤ 0.6)。其中:当一级指标中有两项评分为 B 级时,水闸最终评判等级不应优于 B 级;当一级指标中有一项评分为 C 级(或 D 级)时,水闸最终评判等级不应优于 C 级(或 D 级)。

2 可靠性评价模型在赵口引黄闸工程中的应用

赵口引黄闸位于河南省中牟县境内,黄河南岸大堤公里桩号 42+675 处,为黄河下游引黄 1 级水工建筑物。该闸为 16 孔箱涵式水闸,共分三联,边联各 5 孔,中联 6 孔。设计流量 210 m³/s,设计灌溉引水位 86.80 m;设计防洪水位 92.50 m,校核防洪水位 93.50 m。建筑物总长 144.10 m,其中闸室和洞身段共长 68.57 m,闸身宽度为 55.00 m。西边分出三孔入三刘寨灌溉区,供中牟的万滩、大孟两个乡灌溉用水;东边一孔供中牟的东漳、狼城岗两个乡灌溉用水;中间 12 孔供开封灌溉放淤改土用水。

根据黄河水利科学研究院对赵口引黄闸的安全鉴定结果^[9],赵口引黄闸目前工作状态见表 1。

表 1 赵口引黄闸目前工作状态鉴定结果

Table 1 The current working conditions of the Zhaokou sluice of the Yellow River

评价指标	检测或复核值	设计或容许值	
121 抗滑稳定	设计水位: 2.25 校核水位: 2.03	> 1.35 > 1.20	
122 抗渗稳定	水平段: 0.12 出口段: 0.39	0.13~0.17 0.46~0.52	
11 安全性	123 抗震稳定	设计+地震: 1.87	> 1.10
	124 防洪能力	防洪水位: 90.99	设计防洪水位 92.50
	125 消能防冲能力	渗径长度满足要求	
	126 混凝土承载力	131 闸墩	满足要求
		132 底板	满足要求
		134 闸门	不满足要求
		135 排架柱	不满足要求

评价指标	检测或复核值	设计或容许值	
221 过流能力	289.3	21.00	
222 闸门和启闭系统	16 孔启闭机机箱都存在漏油现象,且已超过标准使用年限,第 13、15、16 孔启闭机机箱断裂。		
223 观测计施	现有的 24 个(早期共有 42 个测压孔)测压管中,灵敏度较好的,即能继续进行使用的有 17 个,灵敏度较差的有 4 个。		
224 电气设备	电气控制系统和设备陈旧老化,操纵失灵。供电线路多次发生短路起火,造成设备损坏,不能正常运行。电机属国家早已明令淘汰的 JZ 系列电动机,耗能高,效率低,性能差,电气元件陈旧。		
225 上下游导流设备	第 16 孔出口处浆砌石翼墙存在多处渗漏的现象;消力池和消力坎上有大量裂缝,且冒水严重。		
226 附属设备	上、下游混凝土护栏均有混凝土脱落、裂缝、露筋且严重锈蚀的现象。下游左边孔出口盖板底面混凝土脱落、露筋且严重锈蚀。		
321 闸墩	331 保护层厚度	57.0	50.0
	332 最大缝宽	无明显裂缝。	
	333 平均碳化深度	1.3	
	334 钢筋锈蚀	无明显露筋,钢筋锈蚀现象。	
	335 表面状况	闸墩与洞身段第一节的伸缩缝处局部沥青衫板脱落,未脱落沥青衫板也已老化,部分钢板弯曲变形、固定螺丝脱落,金属埋件锈蚀严重。	
322 底板	331 保护层厚度	100	50
	332 最大缝宽	0.30	
	333 平均碳化深度	0.6	
	334 钢筋锈蚀	无明显露筋、钢筋锈蚀现象。	
	335 表面状况	现场检查闸底板与洞身段第一节的伸缩缝处局部沥青衫板脱落,未脱落沥青衫板也已老化,部分钢板弯曲变形、固定螺丝脱落,金属埋件锈蚀严重。	
323 顶板	331 保护层厚度	54	50
	332 最大缝宽	无明显裂缝。	
	333 平均碳化深度	1.3	
	334 钢筋锈蚀	无明显露筋、钢筋锈蚀现象。	
	335 表面状况	与洞身段连接处沥青衫板均有不同的龟裂、老化。	
324 闸门	331 保护层厚度	26.4	50.0
	332 最大缝宽	无明显裂缝。	
	333 平均碳化深度	1.2	
	334 钢筋锈蚀	无明显露筋、钢筋锈蚀现象。	
	335 表面状况	无明显外观缺陷。	
325 胸墙	331 保护层厚度	48.5	50.0
	332 最大缝宽	无明显裂缝。	
	333 平均碳化深度	1.6	
	334 钢筋锈蚀	无明显露筋、钢筋锈蚀现象。	
	335 表面状况	无明显外观缺陷。	

采用评价模型对赵口引黄闸系统的可靠性的评判得分为 0.61(见表 2),根据文中所给出的评判等级,该闸为 C 级水闸。

3 结论

该模型考虑因素全面,可操作性强,所得结论科学可靠,符合工程实际,具有较高的实用价值。文章采用该模型对赵口引黄闸工程进行了可靠性评价,所得结果为 C 级,即水闸安全鉴定

规定中的三类闸,这与该水闸安全鉴定验收结论是一致的。

模型中规定,在最终评判水闸等级时,如果安全性、适用性和耐久性三个评价指标中有两项评分为低级别,则水闸最终的评级不应优于该低级别。这一规定客观真实地反映了水闸各部分、各系统之间的关系,使得评价结果更为合理。

水闸系统可靠性评价工作涵盖结构工程、岩土工程、机械电气等多个领域,影响水闸可靠性的相关因素的分布规律

表 2 赵口引黄闸工作性能综合评价汇总

Table 2 The comprehensive evaluation for the performance of the Zhaokou sluice of the Yellow River

评价指标	评分	权重	评价指标	评分	权重
11 安全性	0.88	0.586	322 底板	0.82	0.269
121 抗滑稳定	1.00	0.292	331 保护层厚度	1.00	0.230
122 抗渗稳定	0.87	0.194	332 最大缝宽	0.70	0.240
123 抗震稳定	0.95	0.072	333 平均碳化深度	1.00	0.109
124 防洪能力	0.83	0.228	334 钢筋锈蚀	0.90	0.289
125 消能防冲能力	0.80	0.104	335 表面状况	0.40	0.132
126 混凝土承载力	0.70	0.110	323 顶板	0.92	0.169
131 闸墩	0.90	0.310	331 保护层厚度	1.00	0.230
132 底板	0.90	0.296	332 最大缝宽	0.90	0.240
134 闸门	0.40	0.226	333 平均碳化深度	1.00	0.109
135 排架柱	0.40	0.168	334 钢筋锈蚀	0.90	0.289
21 适用性	0.61	0.225	335 表面状况	0.80	0.132
221 过流能力	1.00	0.266	324 闸门	0.81	0.128
222 闸门和启闭系统	0.33	0.242	331 保护层厚度	0.45	0.230
223 观测实施	0.60	0.114	332 最大缝宽	0.90	0.240
224 电气设备	0.43	0.149	333 平均碳化深度	1.00	0.109
225 上下游导流设备	0.60	0.120	334 钢筋锈蚀	0.90	0.289
226 附属设备	0.50	0.112	335 表面状况	0.90	0.132
31 耐久性	0.87	0.189	325 胸墙	0.90	0.186
321 闸墩	0.87	0.261	331 保护层厚度	0.84	0.230
331 保护层厚度	1.00	0.230	332 最大缝宽	0.90	0.240
332 最大缝宽	0.90	0.240	333 平均碳化深度	1.00	0.109
333 平均碳化深度	1.00	0.109	334 钢筋锈蚀	0.90	0.289
334 钢筋锈蚀	0.90	0.289	335 表面状况	0.90	0.132
335 表面状况	0.40	0.132	0 水闸评判级别	C 级	

及其参数仍需要进一步丰富、将不同因素的评价指标进行统一量化整合是一个长期的过程、模型的评分准则也应在工程实际应用中不断细化,水闸系统的可靠性评价模型还应结合工程实际情况,在今后应用中继续优化和完善。

参考文献(References):

- [1] Therese P. McAllister, Bruce R. Ellingwood. Evaluation of Crack Growth in Miter Gate Weldments Using Stochastic Fracture Mechanics[J]. Structure Safety. 2001, 23(4): 445-465.
- [2] Hitoshi Furuta. Bridge Reliability Experiences in Japan[J]. Engineering Structures. 1998, 11(20): 972-978
- [3] 张志俊,唐新军.水闸老化病害状态的结构可靠性理论评估方法[J].新疆农业大学学报,1999,22(3): 224-228.(ZHANG Zhi jun, TANG Xin jun. The Evaluation Method of Structural Reliability Theory for a Sluice's Deterioration State[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 1999, 22(3): 224-228. (in Chinese))

- [4] 崔得密,乔润德.水闸老化病害指标分级综合评估法及应用[J].人民长江,2001,32(5): 39-42. (CUI De mi, QIAO Run de. The Disease Indicators Grading Comprehensive Evaluation Method and Application of Sluice Aging[J]. Yangtze River, 2001, 32(5): 39-42. (in Chinese))
- [5] 崔得密.水闸老化病害检测、评估及应用[J].合肥工业大学学报,1996,19(3): 74-79. (CUI De mi. The Monitoring and Comprehensive Evaluation of Aging of the Sluices and Its Application[J]. Journal of Hefei University of Technology. 1996, 19(3): 74-79. (in Chinese))
- [6] 张志俊,吴太平,閃黎.水闸老化的模糊集合论评估方法[J].水利水运工程学报,1998,9(3): 249-254. (ZHANG Zhi jun, WU Tai pin, SHAN Li. A method of Rating Deterioration with Fuzzy Sets Theory for Sluice[J]. Hydro Science and Engineering, 1998, 9(3): 249-254. (in Chinese))
- [7] 张志俊.水闸老化状态的整体评估方法[J].中国农村水利水电,1998,(4): 34-37. (ZHANG Zhi jun. Integral Evaluation Method for Ageing Situation of Sluices[J]. China Rural Water and Hydropower, 1998, (4): 34-37. (in Chinese))
- [8] 朱炳喜.涵闸水上钢筋混凝土构件耐久性等级的模糊评估[J].水利水电技术,2000,31(7): 29-32. (ZHU Bing xi. The Fuzzy Evaluation of Sluices Water Reinforced Concrete Members and Durability Grade[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2000, 31(7): 29-32. (in Chinese))
- [9] 许萍,夏友明.水闸闸室抗滑稳定可靠度校核方法探讨[J].工程力学,1998,15(2): 123-129. (XU Ping, XIA You ming. Reliability Checking Method of Gate Chambers Stability Against Sliding[J]. Engineering Mechanics, 1998, 15(2): 123-129. (in Chinese))
- [10] 张文渊.小孔径单孔水闸运行稳定计算分析[J].海岸工程,1998,17(4): 29-33. (ZHANG Wen yuan. Stability Calculating Analysis of Small Aperture Single Arch Sluice Operation[J]. Coastal Engineering, 1998, 17(4): 29-33. (in Chinese))
- [11] 申向东,赵占彪.单孔水闸抗滑稳定可靠性分析[J].排灌机械,2000,18(1): 24-26. (SHEN Xiang dong, ZHAO Zhan biao. Stability Against of Single Arch Sluice Sliding Reliability Analysis[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2000, 18(1): 24-26. (in Chinese))
- [12] 周革新,徐雪良.侧向土压力对单孔水闸运行性的影响分析[J].灌溉排水,1998,17(3): 55-58. (ZHOU Ge xin, XU Xue liang. Analysis of Lateral Earth Pressure on the Single Arch Sluice Operation[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 1998, 17(3): 55-58. (in Chinese))
- [13] 鲁一辉,李金玉.三家店水闸混凝土结构的质量检测与安全评估[J].水力发电,1998,(2): 54-58. (LU Yi hui, LI Jin yu. Quality Testing and Safety Assessment of Sanjiadian Sluice Concrete Structures[J]. Water Power, 1998, (2): 54-58. (in Chinese))
- [14] 兰芙蓉,赵启.老虎坝水闸工程安全检测分析[J].湖南水利水电,2003,(1): 13-14. 16. (LAN Fu rong, ZHAO Qi. Analysis of Security Detection in Tiger dam Sluice[J]. Hunan Hydro & Power, 2003, (1): 13-14. 16. (in Chinese))
- [15] 耿焯,乔瑞社.赵口引黄闸安全检测和复核计算报告[R].郑州:黄河水利科学研究院,2011. (GENG Ye, QIAO Rui she. The In situ Safety and Project Checked Report of Zhao Kou Project of the Lower Yellow River[R]. Zhengzhou: Yellow River Institute of Hydraulic Research, YRCC, 2011. (in Chinese))