

DOI: 10.16198/j.cnki.1009-640X.2018.05.001

何金平, 曹旭梅, 李绍文, 等. 基于安全监测的水闸健康诊断体系研究[J]. 水利水运工程学报, 2018(5): 1-7. (HE Jinping, CAO Xumei, LI Shaowen, et al. Analysis of sluice health diagnosis system based on safety monitoring[J]. Hydro-Science and Engineering, 2018(5): 1-7. (in Chinese))

基于安全监测的水闸健康诊断体系研究

何金平¹, 曹旭梅¹, 李绍文², 陈克振²

(1. 武汉大学 水利水电学院, 湖北 武汉 430072; 2. 广东省潮州供水枢纽管理处, 广东 潮州 521011)

摘要: 水闸监测资料是对水闸工作性态的直接反映, 现有的基于工程可靠性及安全鉴定规程的水闸安全评估方法存在未能充分利用安全监测资料的局限性。以水闸安全监测为基础, 结合水闸破坏机理, 研究了基于安全监测的水闸健康诊断指标设置方法, 构建了一个具有多层次和多指标特性的水闸健康诊断指标体系, 提出了正常、基本正常、异常、失常的水闸健康状态四等级划分方法, 并设计了相应的评语集及对应的隶属度区间, 从而建立了一种新的基于安全监测的水闸健康诊断框架体系, 并利用该方法对潮州供水枢纽工程东溪水闸进行了健康诊断。该诊断体系能更合理地反映水闸的实际健康状态, 可为水闸实时在线安全监控提供基础条件和技术支持。

关 键 词: 水闸; 健康诊断; 安全监测; 评价指标; 评价等级

中图分类号: TV698.2

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2018)05-0001-07

水闸是防洪兴利、资源调配的重要基础设施。根据2013年全国首次水利普查统计^[1], 我国共有过闸流量大于 $5 \text{ m}^3/\text{s}$ 的水闸97 019座, 其中大型水闸860座。定期对水闸进行安全评估, 是目前保障水闸安全的主要手段。当前水闸安全评估主要有两种途径: 一是基于工程可靠性的安全评估, 即在安全性、耐久性和适应性方面, 分别设置若干评估指标, 并依据现场调查和工程检测成果, 采用递归运算方法, 对水闸防洪标准、闸室稳定性、抗渗稳定性、消能防冲、结构老化病害等进行安全评估^[2-4]; 二是基于水闸安全鉴定的安全评估, 即以《水闸安全鉴定规定(SL 214—98)》和《水闸安全鉴定管理办法(水建管[2008]214号文)》为依据, 从现状调查、现场安全检测、工程复核计算和安全评价等4个方面, 对水闸的安全类别做出评估^[5-6]。上述水闸安全评估方法, 在实际工程中应用广泛, 但也存在较明显的局限性。主要表现在: ①缺乏时效性。水闸安全评估目前主要采用离线分析方法, 每隔一定时间(一般为5~10 a)对水闸进行一次安全评估, 未能对水闸实施实时在线健康诊断和安全监控。②未能充分利用监测资料。大中型水闸一般配置有较为齐全的安全监测项目, 所取得的监测资料是对水闸结构性态和安全状态的最直接反映, 因此, 对水闸进行安全评估和健康诊断时, 应充分利用监测资料所提供的信息。

为此, 本文拟建立一种基于安全监测的水闸健康诊断体系, 并重点对水闸健康诊断指标体系的构建和健康状态等级的划分进行研究。与已有的基于可靠性和安全鉴定的水闸安全评估体系相比, 基于安全监测的水闸健康诊断体系能更紧密地结合水闸安全监测, 能更合理地反映水闸的实际健康状态, 也能为实现水闸实时在线安全监控提供基础条件和技术支持。

收稿日期: 2017-06-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51379162); 广东省水利科技创新项目(2016-06)

作者简介: 何金平(1964—), 男, 湖北罗田人, 教授, 博士, 主要从事工程安全监控与健康诊断研究。

E-mail: whuhjp@163.com

1 诊断体系研究

1.1 总体思想

基于安全监测的水闸健康诊断是一个多层次、多指标的递阶分析决策问题,其基本思路可概括为:根据水闸安全监测项目的具体设置和水闸的破坏机理,结合不同水闸的具体特点,建立水闸健康诊断指标体系,构建诊断指标集 U ;根据水闸健康诊断的特点,在相应规程规范的基础上,确定水闸健康状态等级的划分,构建诊断评语集 V ;根据水闸安全监测资料,通过定性和定量分析,建立各监测效应量对应于健康状态等级的属性矩阵 C ;根据多效应量的属性矩阵,利用现代数学、信息科学或系统工程等方法,选择合适的融合诊断途径 W ,对水闸整体健康状态进行融合诊断,将诊断指标的属性矩阵 C 融合转化为表征水闸健康状态的诊断结果 B 。水闸健康诊断基本原理可概化为式(1):

$$B = W \cdot C \quad (1)$$

式中: B 为水闸健康诊断结果,它实质上是从水闸健康诊断的指标集 U 到水闸健康状态等级的评语集 V 的状态映射; C 为水闸健康诊断指标的属性矩阵,是对诊断指标特性的定量度量; W 为融合诊断途径,是将诊断指标特性融合转化为健康状态特性的递归运算法则。

在水闸健康诊断中,诊断指标体系的构建和健康状态等级的划分是两项基础性工作。通过构建多层次的诊断指标体系,可以将复杂的水闸健康诊断问题有机地分解为若干个相对简单的子问题。通过对健康状态的等级划分,并建立诊断指标属性与状态等级评语集的映射关系,可以将难以精确表达的诊断问题模糊化。

1.2 指标体系的构建

在构建水闸健康诊断指标体系时,应紧密结合水闸安全监测布置和破坏机理,遵循科学性、相对完备性、相对独立性、层次性、简洁性和可操作性等原则。

1.2.1 基于安全监测 根据《水闸设计规范(SL 265—2016)》的规定,结合对国内部分大型水闸安全监测的调研,水闸的常规性安全监测项目主要包括变形、渗流和应力等^[7]。

(1)变形监测。水闸一般建在软基上,在自重、水压力等荷载作用下,水闸将产生较明显的变形,包括水平位移、垂直位移、不均匀沉降及接缝开合度等。其中,水平位移是对水闸结构和地基性态最直接的综合反映,垂直位移是对地基沉降性态的直接反映,不均匀沉降是评价地基变形特性的重要指标,接缝开合度是评价结构变形协调性的重要指标。

(2)渗流监测。渗流是影响水闸整体稳定性和渗透稳定性的重要因素,水闸渗流监测项目主要包括闸基扬压力、渗透坡降、渗流量、绕闸渗流及水流流态等。其中,闸基扬压力是综合评价闸室整体稳定性和闸基防渗排水状态的重要指标,渗透坡降是评价闸基渗透稳定性的重要指标,渗流量是评价闸基防渗效果的重要指标,绕闸渗流监测主要反映水闸的两岸渗流状态,水流流态监测(水力学监测)主要反映水闸的消能防冲效果。

(3)应力监测。应力监测包括地基应力和结构应力等,如反映地基承载力状态的地基反力监测,反映闸基应力分布的不均匀应力监测,反映混凝土结构受力状态的混凝土应力监测,反映侧墙墙后回填土的土压力监测等。

在上述监测项目中,水平位移、垂直位移、不均匀沉降、闸基扬压力、渗透坡降、地基反力等是最重要的监测项目。

1.2.2 基于破坏机理 水闸有两个较显著的特点:一是地基一般为软基,具有地层分布不均匀、压缩性较大、承载能力较低、抗渗性能较差等特点,这种地基条件给结构稳定性和渗透稳定性带来较大困难;二是水闸结构主要为薄壁构件组成的空间结构体系,构件受力较为复杂,结构老化病害对水闸安全影响较大。

(1)沉降。软基压缩性较大,在荷载作用下,水闸将产生较大的沉降,特别是当荷载分布和地基抗力分布不均匀时,水闸不均匀沉降将比较明显。水闸不均匀沉降是水闸的主要破坏模式之一,将导致闸室倾斜、

结构开裂等一系列安全问题^[8]。

(2) 渗透破坏。软基抗渗性能较差,一旦渗流控制不当,将产生管涌、流土等渗透破坏,并导致闸基扬压力增加,直接影响闸室整体稳定。渗透破坏是水闸最主要的破坏模式。

(3) 结构老化病害。老化病害对薄壁混凝土结构的影响远大于大体积混凝土结构,水闸最常见的老化病害主要有混凝土开裂、钢筋锈蚀、冲磨空蚀等。混凝土开裂将破坏结构的整体性和稳定性以及构件的承载能力,钢筋锈蚀将降低水闸混凝土的结构强度,冲磨空蚀将对混凝土面产生明显破坏。

(4) 不良流态。在高速水流作用下,一旦下泄水流消能不充分,将在下游产生折冲水流、波状水跃、远驱水跃等不良流态,造成下游河道及两岸的严重冲刷和消能防冲结构的严重破坏。

1.2.3 指标体系 水闸健康诊断具有多层次特性。水闸由闸室段、上游连接段和下游连接段3部分组成,这是结构上的多层次;监测项目一般分为变形、渗流和应力三大类,各大类监测项目又包括多种具体的监测项目,而每一种具体监测项目又具有多种监测方法,这是监测上的多层次。

水闸健康诊断又具有多指标特性。水闸一般布置有多种具体的监测项目,这些具体的监测项目构成了水闸健康诊断的基本诊断指标。

在基于安全监测的水闸多层次、多指标健康诊断体系中,最终诊断目标为水闸健康状态,位于最顶层;基本诊断指标为具体的监测项目,位于最底层,基本诊断指标的属性由所属监测点的监测资料来确定;该体系呈现递阶分析层次结构,上、下层之间具有关联隶属关系,每层指标既是上一层的诊断指标,也是下一层的诊断目标。

图1为普遍意义上的水闸健康诊断指标体系。该体系以水闸安全监测为基础,综合考虑了水闸破坏机理、水闸设计规范、水闸安全监测工程实践等多方面因素。不过需要特别强调的是,水闸健康诊断是一个内涵丰富、过程复杂的问题,不同水闸的结构特点和地质条件不同,安全监测布置及侧重点也不尽相同,因此其健康诊断指标体系也不尽相同,在具体工程实践中,需要在图1所示的普遍意义上的水闸诊断指标体系基础上,结合具体工程实际情况,对指标体系进行适当调整。比如,闸门作为水闸的重要组成部分,对水闸安全也十分重要,当闸门具有较完整的监测资料时,应考虑将闸门特性纳入到水闸健康诊断指标体系之中。

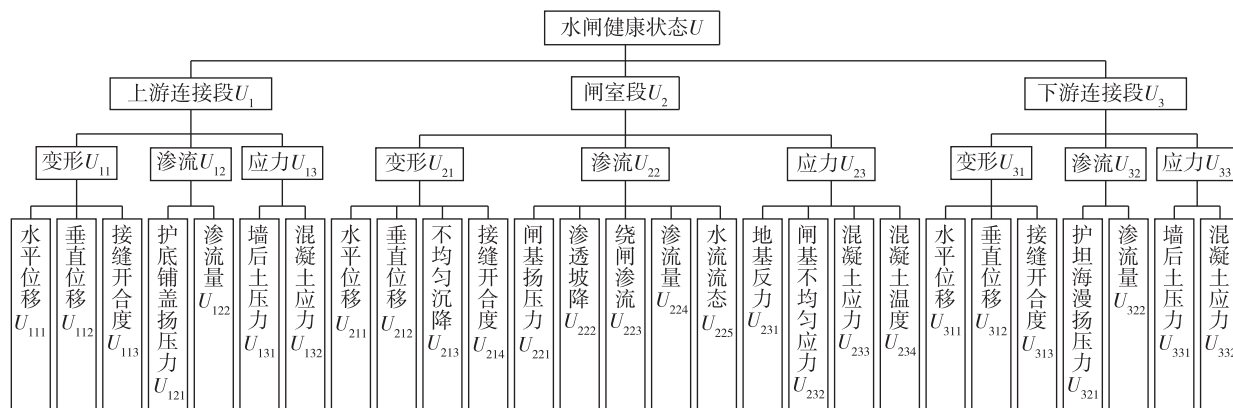


图1 普遍意义上的基于安全监测的水闸健康诊断指标体系

Fig. 1 A sluice health diagnosis index system in general based on safety monitoring

1.3 健康状态等级的划分与评语集设计

水闸健康状态是一个抽象的具有模糊特性的概念,可采用模糊数学来描述。其基本思路为:依据相关规程规范、工程实践经验和人类心理活动规律等因素,将水闸健康状态划分为若干个模糊子集,构成评语集 V ;然后利用隶属度概念,建立评语集 V 与 $[0, 1.00]$ 范围内隶属度的分区映射关系,为水闸健康诊断提供诊断标准。

目前,《水闸安全鉴定规定(SL 214—98)》、《水闸安全鉴定管理办法(水建管[2008]214号文)》和《水闸

安全评价导则(SL 214—2015)》都将水闸安全等级划分为一类闸、二类闸、三类闸和四类闸等 4 个类别。其中,一类闸的评价标准为:运用指标能达到设计标准,无影响正常运行的缺陷,按常规维修养护即可保证正常运行;二类闸的评价标准为:运用指标基本达到设计标准,工程存在一定损坏,经大修后,可达到正常运行;三类闸的评价标准为:运用指标达不到设计标准,工程存在严重损坏,经除险加固后,才能达到正常运行;四类闸的评价标准为:运用指标无法达到设计标准,工程存在严重安全问题,需降低标准运用或报废重建。

基于以上分析,为与当前水闸安全评价规程规范中水闸安全等级的划分一致,将水闸健康状态划分为 4 个等级,其评语集可表示为:

$$V = \{ \text{正常, 基本正常, 异常, 失常} \} \quad (2)$$

在建立评语集 V 与 $[0, 1.00]$ 范围内隶属度的分区映射关系时,既要考虑水闸健康概念的客观内涵,也要考虑人类思维活动方式的主观属性。在客观内涵上,从偏重于工程安全的角度,对“正常”等级对应的隶属度区间应从严,对“失常”等级对应的隶属度区间宜从宽;在主观属性上,可将人类思维中的“及格”作为区分“正常/基本正常”与“异常/失常”的分界点,将“优秀”作为“正常”的分界点。因此,水闸健康诊断中评语集与隶属度的对应区间可确定为:

$$V = \{ \text{正常, 基本正常, 异常, 失常} \} = \{ [1.00, 0.85], (0.85, 0.60], (0.60, 0.40], (0.40, 0] \} \quad (3)$$

2 实例分析

2.1 工程概况

潮州供水枢纽工程的东溪和西溪各布置有 16 孔拦河闸,总宽度约 524 m,采用钢筋混凝土结构,两孔连成整体,为一闸段。正常蓄水位 10.50 m,设计洪水位 12.93 m ($P=2\%$),校核洪水位 14.63 m ($P=0.5\%$),闸顶高程 16.20 m。东溪水闸和西溪水闸均坐落在深厚的第四系冲积层上,地基主要为黏土、淤泥或淤泥质土、淤质粉细砂、中粗砂、砂卵砾石,总厚度 80~100 m。

以东溪水闸的健康诊断为例,该水闸布置的安全监测项目见表 1。

表 1 东溪水闸安全监测项目布置

Tab. 1 Safety monitoring project layout of Dongxi sluice

监测项目	监测方法	测点数量	正常测点数量	仪器设备型号
垂直位移	几何水准	48 (点)	48 (点)	ZEISS DiNi-12 电子水准仪
水平位移	测斜仪	2 (套)	2 (套)	RST 伺服加速计式测斜仪
	极坐标法	24 (点)	24 (点)	TCA2003 型全站仪
接缝开合度	测缝计	6 (支)	4 (支)	GK-4420 弦式测缝计
闸基扬压力	渗压计	11 (支)	7 (支)	GK-4500S 弦式渗压计
地基反力	地基反力计	13 (支)	9 (支)	GK-4800 弦式地基反力计

2.2 指标体系

根据图 1 所示的普遍意义上的水闸健康诊断指标体系,结合东溪水闸安全监测布置的具体情况,构建东溪水闸健康诊断指标体系,如图 2 所示。

在图 2 的诊断指标体系中,由于东溪水闸上、下游连接段未布置监测设施,因此,在水闸结构的层次性上,本次仅以闸室段健康状态为最终诊断目标;根据监测大类的层次性,在闸室段健康状态诊断目标下设置变形 U_1 、渗流 U_2 和应力 U_3 等 3 个中间诊断指标;根据监测项目的层次性,在变形 U_1 下设置水平位移 U_{11} 、垂直位移 U_{12} 、地基不均匀沉降 U_{13} 、接缝裂缝开合

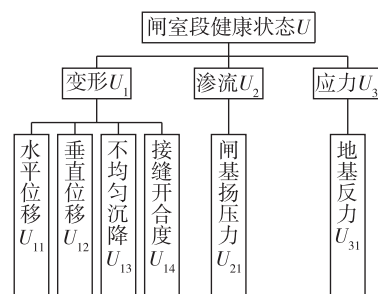


图 2 东溪水闸闸室段健康诊断指标体系
Fig. 2 Health diagnosis index system for Dongxi sluice chamber section

度 U_{14} 等 4 个底层诊断指标,在渗流 U_2 和应力 U_3 下各设置 1 个底层诊断指标,分别为闸底扬压力 U_{21} 和地基反力 U_{31} 。

2.3 健康诊断

根据各监测点的实测资料,从数值表现和趋势性表现两个角度,对监测资料进行定性和定量分析,并结合专家知识和工程经验,在 $[0,1]$ 数值范围内对各底层诊断指标进行量化评分,最终得到各底层指标的隶属度,如表 2 所示。

表 2 东溪水闸闸室段底层诊断指标隶属度

Tab. 2 Membership of Dongxi sluice chamber section bottom diagnosis indexes

项目	变形 U_1				渗流 U_2	应力 U_3
	水平位移 U_{11}	垂直位移 U_{12}	不均匀沉降 U_{13}	接缝开合度 U_{14}	闸基扬压力 U_{21}	地基反力 U_{31}
评分	0.80	0.80	0.75	0.90	0.85	0.85

对表 2,采用式(4)所示的普通加乘运算模型 M ,对各诊断指标进行递归运算。

$$\mu(U_j) = \sum_{i=1}^p (\omega_{ij} \times \mu(U_{ij})) \quad (4)$$

式中: $\mu(U_{ij})$ 为诊断指标 U_{ij} 对评语集 V 的隶属度; ω_{ij} 为诊断指标 U_{ij} 的权重, $\mu(U_j)$ 为诊断目标的诊断结果。

由于渗流 U_2 和应力 U_3 均只有 1 个底层诊断指标,因此无需进行递归运算。对变形 U_1 的 4 个底层诊断指标 $U_{11}, U_{12}, U_{13}, U_{14}$, 水平位移 U_{11} 是对水闸变形性态的综合反映,也是对水闸健康状态的最直接描述,因此应赋予 U_{11} 较大的权重;水闸一般建在软基上,不均匀沉降 U_{13} 对水闸整体稳定性和构件安全性影响较大,因此也应赋予较大的权重;垂直位移 U_{12} 虽然也很重要,但垂直位移 U_{12} 与不均匀沉降 U_{13} 之间存在一定关联性,在 U_{13} 已赋予较大权重的前提下, U_{12} 可赋予相对较小的权重;接缝开合度 U_{14} 反映了不同结构部位之间的运行协调性,其重要性相对于水平位移 U_{11} 和不均匀沉降 U_{13} 略低。因此,基于以上分析,确定 $U_{11}, U_{12}, U_{13}, U_{14}$ 的权重分别为 0.35, 0.15, 0.30, 0.20。则变形 U_1 的实测性态诊断值为:

$$\mu(U) = \{0.80, 0.80, 0.75, 0.90\} \{0.35, 0.15, 0.30, 0.20\}^T = 0.805$$

对最终诊断目标——闸室段健康状态 U , 根据水利部 1999 年对全国水闸安全状态的普查结果^[10], 以渗流病害为主要表现特征的病险水闸占病险水闸总数的 50% 以上, 渗透破坏是水闸最主要的破坏模式, 因此, 应赋予渗流 U_2 较大的权重; 同时, 过大变形导致水闸失稳或结构破坏也是病险水闸的主要病害表现形式, 因此, 对变形 U_1 也应赋予较大的权重。基于以上分析, 最终诊断目标——闸室段健康状态 U 的诊断指标变形 U_1 、渗流 U_2 、应力 U_3 的权重分别为 0.35, 0.40, 0.25, 则闸室段健康状态的诊断值为:

$$\mu(U) = \{0.805, 0.85, 0.85\} \{0.35, 0.40, 0.25\}^T = 0.834$$

对照式(3)所示的评语集, $\mu(U)$ 处于 $(0.85, 0.60]$ 区间, 且接近于 0.85, 因此可确定东溪水闸闸室段健康状态的诊断结果为健康状态基本正常, 且偏于正常。

水闸健康诊断指标既相互联系, 又具有相对独立性。水闸健康状态的恶化, 有可能首先在某一种诊断指标中得到反映。在这种情况下, 如果仍按常规的权重来诊断水闸的健康状态, 则有可能掩盖水闸的真实健康状态, 甚至遗漏水闸存在的严重安全隐患。此时, 应对那些反映水闸健康状态恶化的诊断指标赋予更大的权重^[11], 甚至赋予“一票否决”的权限。

2.4 对比分析

潮州供水枢纽管理处 2014 年委托广东省水利水电科学研究院对潮州供水枢纽工程安全监测资料进行了系统分析, 分析表明^[12]: 东溪水闸水平位移、垂直位移变化规律基本合理, 测值在合理的变化范围内; 接缝变形未出现明显异常; 水闸存在不均匀沉降, 但尚不会对水闸安全产生明显影响; 闸基扬压力、地基承载力和应力不均匀系数均在设计允许范围内; 东溪水闸实测性态基本正常。本文的健康诊断结论与上述监测资料

分析结论一致。

3 结 语

(1)以水闸安全监测为核心,结合水闸的破坏机理,建立了一种基于安全监测的水闸健康诊断体系,并构建了一个普遍意义上的水闸健康诊断指标体系,提出了水闸健康状态的四等级划分方法,设计了相应的评语集。与基于可靠性和安全鉴定的水闸安全评估体系相比,基于安全监测的水闸健康诊断体系由于能更充分地利用监测资料,因而能更合理地反映水闸的实际健康状态,也能为实现水闸实时在线安全监控提供基础条件和技术支持。

(2)图 1 给出的只是一个普遍意义上的水闸健康诊断指标体系,可为具体水闸的健康诊断提供一个参考性的指标体系框架。该指标体系一方面需要结合具体水闸的结构特点和监测布置情况进行适当的调整,另一方面也需要在水闸健康诊断的实践中不断进行完善。此外,安全监测既包括仪器监测,也包括巡视检查,因此,在指标体系建立时,对未布置监测设施的诊断指标,应尽可能地利用巡视检查成果来确定其隶属度,以保证诊断指标的完整性。

(3)基于安全监测的水闸健康诊断是一个多层次、多指标的复杂问题,本文主要目的在于构建一个基本框架体系。而其他技术问题,诸如:如何利用监测资料更合理地确定诊断指标的隶属度,如何更合理地确定各诊断指标的权重,在诊断过程中如何考虑诊断的不确定性等,则有待今后继续深入研究。

参 考 文 献:

- [1] 中华人民共和国水利部,中华人民共和国国家统计局. 第一次全国水利普查公报[R]. 北京:中国水利水电出版社, 2013. (Ministry of Water Resources of the PRC, National Bureau of Statistics of the PRC. Bulletin of first national census for water[R]. Beijing: China Water Power Press, 2013. (in Chinese))
- [2] 闫滨,孙友良,闫胜利,等. 一种新型的组合赋权方法及其在水闸安全评价中的应用[J]. 长江科学院院报, 2014, 31(10): 108-113. (YAN Bin, SUN Youliang, YAN Shengli, et al. A novel combination weighing method and its application in sluice safety evaluation[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2014, 31(10): 108-113. (in Chinese))
- [3] PREM PRIYA S, KARUNAKARAN K. Assessment of performance of sluices[C]//Thirteenth International Water Technology Conference (IWTC 13), Hurghada, Egypt. 2009: 1673-1688.
- [4] 戚国强,李凯. 基于改进层次模糊综合评价的水闸工程安全评价[J]. 东北农业大学学报, 2013, 44(5): 111-114. (QI Guoqiang, LI Kai. Safety evaluation of sluice gate based on modified fuzzy comprehensive evaluation theory[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2013, 44(5): 111-114. (in Chinese))
- [5] 金初阳,李寿星,柯敏勇. 朱家站水闸安全检测与评估分析[J]. 水利水运工程学报, 2003(4): 31-36. (JIN Chuyang, LI Shouxing, KE Minyong. Safety inspection and appraisal analysis of Zhujiashan sluice[J]. Hydro-Science and Engineering, 2003(4): 31-36. (in Chinese))
- [6] 崔德密. 水闸老化病害检测、评估及应用[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 1996(3): 74-79. (CUI Demi. The monitoring and comprehensive evaluation of aging disease of the sluices and its application[J]. Journal of Hefei University of Technology(Natural Science), 1996(3): 74-79. (in Chinese))
- [7] 于文蓬,张超,兰昊. 大型水闸工程安全监测设计研究[J]. 水利建设与管理, 2013(8): 50-52. (YU Wenpeng, ZHANG Chao, LAN Hao. Study on large sluice project safety monitoring design[J]. Water Conservancy Construction and Management, 2013(8): 50-52. (in Chinese))
- [8] 罗少彤. 广东省现有大中型水闸工程安全问题剖析[J]. 广东水利水电, 1997(1): 4-7. (LUO Shaotong. Analysis of the existing large and medium-sized sluice safety problems in Guangdong Province[J]. Guangdong Water Resources and Hydropower, 1997(1): 4-7. (in Chinese))
- [9] 何金平,李珍照,施玉群. 大坝结构实测性态综合评价方法研究[J]. 水力发电学报, 2001(2): 36-43. (HE Jinping, LI Zhenzhao, SHI Yuqun. A study on comprehensive assessment method of dam structure monitoring behavior[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2001(2): 36-43. (in Chinese))
- [10] 洪晓林,柯敏勇,金初阳. 水闸安全检测与评估分析[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2007. (HONG Xiaolin, KE

- Minyong, JIN Chuyang. Safety testing and evaluation analysis of sluice[M]. Beijing: China Water and Power Press, 2007. (in Chinese))
- [11] 何金平, 李珍照, 施玉群. 大坝结构实测性态综合评价中的权重问题[J]. 武汉大学学报(工学版), 2001, 34(3): 13-17. (HE Jinping, LI Zhenzhao, SHI Yuqun. Weight question about comprehensive evaluating dam safety monitoring behavior [J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2001, 34(3): 13-17. (in Chinese))
- [12] 廖文来, 张君禄, 付传雄. 潮州供水枢纽拦河闸变形分析[J]. 广东水利水电, 2015(7): 48-51. (LIAO Wenlai, ZHANG Junlu, FU Chuanxiong. Deformation analysis of sluice of Chaozhou water supply project[J]. Guangdong Water Resources and Hydropower, 2015(7): 48-51. (in Chinese))

Analysis of sluice health diagnosis system based on safety monitoring

HE Jinping¹, CAO Xumei¹, LI Shaowen², CHEN Kezhen²

(1. School of Water Resources and Hydropower Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China;
2. Chaozhou Water Supply Project Management Office in Guangdong Province, Chaozhou 521011, China)

Abstract: The monitoring data is a direct response of the working condition of the sluices. However, the current sluice safety evaluation methods based on engineering reliability and safety appraisal specifications have the limitation of not making full use of the safety monitoring data. The development of the sluice health diagnosis system based on the safety monitoring is thus of great practical importance. On the basis of the sluice safety monitoring and the analysis of the sluice failure mechanism, the research on setting of the sluice health diagnosis indexes based on the safety monitoring is carried out in this study. And then, a general multi-level and multi-index health diagnosis index system for sluices is developed; and a four-grade (normal, basically normal, abnormal, and severely abnormal) classification scheme, and the corresponding evaluation set and membership degree range have been designed. Thus, a novel health diagnosis system for the sluices is established based on the safety monitoring. A practical engineering example, the Dongxi sluice of the Chaozhou water supply works, is analyzed by the proposed method. The research and analysis results show that the sluice health diagnosis system given by this paper based on the safety monitoring can accurately reflect the actual health status of the sluice, which can provide a basic condition and technical support for the real-time online safety monitoring of the sluices.

Key words: sluice; health diagnosis; safety monitoring; evaluation index; evaluation grade