

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2010.01.013

综合多指标因素的钢闸门构件腐蚀评估

郭建斌,肖 剑,闻源长

(河海大学水利水电工程学院,江苏 南京 210098)

摘要:腐蚀是钢闸门在役安全运行的主要影响因素,准确评估钢闸门的腐蚀性状对确保其安全可靠运行具有重要意义.通过引入灾度模糊评估等级识别技术,使用降半梯形分布函数进行腐蚀性状识别,有效综合了各种复杂的确定或不确定影响因素,并按照最大隶属度原则对钢闸门腐蚀性状进行了等级量化评估.工程应用结果表明,等级量化识别方法可以较好地解决腐蚀评估过程的模糊性和不确定问题,确保钢闸门的安全可靠运行.

关键词:钢闸门;等级识别;最大隶属度;腐蚀评估;安全

中图分类号:TV663 文献标识码:A 文章编号:1000-1980(2010)01-0064-04

受运行环境影响,水工钢闸门常会出现腐蚀问题.目前水利、电力等行业一直按 SL 105—1995《水工金属结构防腐蚀规范》和 GB 8923—1988《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》等规程规范进行钢闸门腐蚀检测与等级评估.这种评估方法考虑的因素比较单一,虽然一定程度上能满足腐蚀检测与安全评估的需要,但总体效果不太理想.因为水工钢闸门的腐蚀性状属于模糊评估与定量化识别的范畴,所以对其进行评估时必须考虑多种因素的影响.

近年来,马宗晋等^[1-3]基于模糊识别理论,提出了关于自然灾害影响程度的灾度概念及其灾度等级识别的方法,通过灾度等级识别技术,实现了各种工程灾度影响程度的定量化和准确性识别.工程应用结果^[4-6]表明,这一方法可以有效地综合各种复杂的确定或不确定影响因素,较好地满足工程评估定量化和准确性的需要.本文通过引入灾度模糊评估等级识别技术,构建钢闸门腐蚀性状灾度等级的隶属度函数,并按照最大隶属度原则对水工钢闸门腐蚀性状进行了模糊评估和定量化度量.

1 金属结构腐蚀性状的灾度等级识别方法

1.1 灾度等级识别方法

灾度等级识别方法首先按单一因素进行分项评判,通过隶属度函数综合所有因素的相关性影响后求得各分项隶属度,并按最大隶属度原则确定最大隶属度以及所属等级,最终实现工程受灾程度的等级评判与识别.其数学过程表述为:对于所研究的评判论域 X (内有评判分类元素 x_i),通过 m 项评判指标 $u_1, u_2, \dots, u_m$,按隶属度函数可以确定分项评判的隶属度模式 $A_1, A_2, \dots, A_n$,从而形成模糊评价集 $\{A_1, A_2, \dots, A_n \in F(u_1, u_2, \dots, u_m)\}$,然后得到各项评判分类元素的隶属度,最终可以按最大隶属度原则确定 $x_i \in X$ 的等级评判分类.其中最大隶属度

$$\mu_{A_S}(x_i) = \max\{\mu_{A_1}(x_i), \mu_{A_2}(x_i), \dots, \mu_{A_n}(x_i)\} \quad (1)$$

式中: $\mu_{A_S}(x_i)$ —— x_i 的 n 个隶属度模式的最大隶属度; $\mu_{A_i}(x_i)$ —— x_i 的 A_i 隶属度模式的隶属度; A_S ——按最大隶属度原则确定的 x_i 的隶属度模式.

1.2 隶属度函数的建立

金属结构的腐蚀评估是多因素的综合性评估,识别方法中的隶属度函数必须能够正确反映现行等级评估水准和应用方便的原则.基于这一原则,离散型影响因素的隶属度函数采用专家评定法直接确定,连续型

影响因素的隶属度函数采用正态型、戒上型、戒下型和降半型等公式法确定. 结合工程中腐蚀影响因素的数据分布特征, 腐蚀连续型影响因素的隶属度函数选用降半梯形分布类型, 如式(2)~(4)所示.

$$U_{v_1} = \begin{cases} 1 & (x < x_1) \\ \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} & (x_1 < x < x_2) \\ 0 & (x_2 < x) \end{cases} \tag{2}$$

$$U_{v_5} = \begin{cases} 0 & (x < x_3) \\ \frac{x - x_3}{x_4 - x_3} & (x_3 < x < x_4) \\ 1 & (x > x_4) \end{cases} \tag{3}$$

$$U_{v_{i+1}} \mid i = 1, 2, 3 = \begin{cases} 0 & (x < x_i, x > x_{i+3}) \\ \frac{x - x_i}{x_{i+1} - x_i} & (x_i < x < x_{i+1}) \\ 1 & (x_{i+1} < x < x_{i+2}) \\ \frac{x_{i+3} - x}{x_{i+3} - x_{i+2}} & (x_{i+2} < x < x_{i+3}) \end{cases} \tag{4}$$

1.3 腐蚀性状的灾度等级

1.3.1 腐蚀主要评估指标

考虑到钢闸门腐蚀特点^[7]和相关数据获取难易程度,并兼顾行业规范^[8-9],以结构安全影响为主要衡量标准,将腐蚀率、腐蚀外观、腐蚀速率、腐蚀分布和防腐涂层受蚀率 5 类指标作为腐蚀评估的主要指标(表 1).这 5 类指标主要从结构受力构件的损害程度、管理水平、时变影响、应力集中影响和潜在危害等方面,表征腐蚀病害对构件抗力的影响.

表 1 主要评估指标的定义和表征内容

Table 1 Definition and depiction of main assessment indices

指标	u_1 (腐蚀率)	u_2 (腐蚀外观)	u_3 (腐蚀速率)	u_4 (腐蚀分布)	u_5 (防腐涂层受蚀率)
定 义	构件截面受蚀减少部分占原面积的比例	构件受蚀呈现的外观状况	多年腐蚀量的年平均腐蚀量	构件蚀坑面积占总面积的比例	防腐涂层受蚀厚度与国家标准要求的涂层厚度之比
表征内容	构件当前仍然具备的承载能力	闸门管理、保养水平	闸门受蚀发展的时变趋势	构件受蚀引起的应力集中状况	构件腐蚀潜在的危害程度

1.3.2 腐蚀性状的分级标准

将钢闸门的腐蚀性状划分为 5 个等级(Ⅰ级~Ⅴ级),以实现评估目标的定量化模式识别^[9].

结合工程中腐蚀病害呈现的统计特性^[10],对各单一评估指标分别给出与 5 个等级相对应的划分标准,见表 2.表 2 中腐蚀外观(u_2)指标是模糊评价内容,主要通过目测评估确定.若构件局部出现少量锈斑或锈迹,则 u_2 赋值为 1;若构件涂层少量剥落,出现少量离散的较深锈坑,则 u_2 赋值为 2;若构件涂层大面积剥落,出现密集成片的锈坑群,则 u_2 赋值为 3;若构件较深锈坑密集成片,局部出现很深锈坑,则 u_2 赋值为 4;若构件深锈坑密布,锈皮成片泛起,则 u_2 赋值为 5.

1.3.3 灾度等级的评估与识别

腐蚀性状等级量化结果作为金属结构腐蚀性状评估的目标模糊集合{Ⅰ级,Ⅱ级,Ⅲ级,Ⅳ级,Ⅴ级}.对金属结构腐蚀性状的单一指标按等级划分评估标准,是为了建立灾害损失等级模糊集隶属度函数,并使金属结构腐蚀性状等级的评价标准归一化.可以按最大隶属度原则通过模糊综合评估,实现对金属结构腐蚀性状

表 2 单一评估指标划分标准

Table 2 Standards of single assessment factor

$u_1/\%$	u_2	$u_3/(\text{mm}\cdot\text{a}^{-1})$	$u_4/\%$	$u_5/\%$	腐蚀病害等级
≤ 2	1	≤ 0.01	≤ 10	0.2	Ⅰ 轻微腐蚀
2~6.5	2	0.01~0.03	10~30	0.2~11	Ⅱ 一般腐蚀
6.5~12	3	0.03~0.05	30~70	11~66	Ⅲ 较重腐蚀
12~20	4	0.05~0.06	70~95	66~95	Ⅳ 严重腐蚀
> 20	5	> 0.06	> 95	> 95	Ⅴ 锈损

的模糊量化评估和识别.

1.3.3.1 模糊隶属度矩阵

对于一个确定的识别样本,按表2确定样本的各评判因子,并结合式(2)~(4)分别代入相应的等级隶属度函数进行计算,可获得该样本的模糊评估矩阵 $R_{m \times n}$,见式(5).所得计算值即为该等级下隶属度矩阵中该单一指标的对应值;同一等级对应矩阵中的各列.

$$R_{m \times n} = \begin{bmatrix} & v_1 & \cdots & v_n \\ u_1 & \mu_{11} & \cdots & \mu_{1n} \\ & & & \\ u_m & \mu_{m1} & \cdots & \mu_{mn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中: $u_1, u_2, \dots, u_m$ ——单一样本中的各评估指标,这里取 $m=5$; $v_1, v_2, \dots, v_n$ ——腐蚀病害的等级,这里取 $n=5$.

1.3.3.2 权重系数的确定

权重系数反映了各单一评估指标对隶属度的影响权重,计算方法很多,有AHP法、专家经验判断法和综合赋权法等,一般按影响指标的数量取平均值作为等权重^[11].考虑到相关因素对腐蚀性状的影响及其统计特性,本文采用专家经验判断法来确定权重系数,但去除了专家判断的离异值,最终确定的评估指标权向量 $W=(0.3 \ 0.1 \ 0.3 \ 0.2 \ 0.1)$.

1.3.3.3 腐蚀性状的等级识别

利用式(6)识别金属结构的腐蚀性状,得到腐蚀病害等级的识别矩阵 B ,并根据最大隶属度原则按式(1)求得所属目标评估模式等级,从而确定出金属结构腐蚀等级,以明确其安全性状.

$$B = W \times R = [\mu_{A_i}]_{1 \times 5} = \left[\sum_{i=1}^m w_i \mu_{i,j} \right]_{1 \times 5} \quad (6)$$

2 工程应用

南京某节制闸门,尽管采取了相关防腐措施,但闸门主横梁等主要受力构件经过长期运行仍存在较严重的腐蚀问题.按照表2的评估标准,通过现场腐蚀检测进行了单一影响指标的评估,获得了相关检测结果: $u_1=6\%$, $u_2=3$, $u_3=0.024 \text{ mm/a}$, $u_4=70\%$, $u_5=30\%$.

按式(5)建立模糊评估指标矩阵 $R_{\text{主横梁}}$,即

$$R_{\text{主横梁}} = \begin{bmatrix} 0.11 & 1 & 0.89 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 1 & 0.5 & 0 \\ 0.3 & 1 & 0.7 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0.65 & 1 & 0.35 & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

按式(6)计算获得腐蚀病害等级的识别矩阵,即

$$B = W \times R_{\text{主横梁}} = (0.12 \ 0.72 \ 0.88 \ 0.29 \ 0) \quad (8)$$

由此可知,综合多因素的该闸门主横梁腐蚀性状的最大隶属度指数为0.88,根据最大隶属度原则可以确定,主横梁呈现Ⅲ级腐蚀性状.

结构构件受腐蚀影响主要表现为有效承载截面减薄和受载应力集中.文献[12]钢闸门常规力学试验数据表明,结构构件抗力受腐蚀性状影响呈现二次抛物线下降的特点,其中Ⅲ级腐蚀性状造成的抗力折减20%.若考虑主横梁对结构的安全影响以及该工程的重要程度,应对该闸门重新进行安全复核,以明确其安全性状,必要时应对主横梁等受力构件采取补强加固措施,才能有效确保工程安全可靠地运行.

3 结 语

a. 本文引入灾度识别的模糊评估思想,以最大隶属度为原则,按降半梯形分布构建腐蚀等级隶属度函数,并根据隶属度大小识别钢闸门结构腐蚀性状的等级归属.这为钢闸门腐蚀性状的量化评估提供了有效的识别方法,可以较好地解决评估过程的模糊性和不确定问题,避免腐蚀等级评定过程的绝对性和片面性,

确保钢闸门腐蚀评估的客观性.

b. 腐蚀问题是影响钢闸门结构承载能力的重要影响因素之一,通过腐蚀性状的模糊定量评估与识别,可以明确和预警水工钢闸门的在役安全性状.工程应用结果表明,模糊综合评估克服了描述性评估含糊不清的缺陷,为钢闸门安全复核等研究提供了重要的基础性数据,较好地满足了工程安全评估的定量化要求.

参考文献:

- [1] 马宗晋,高庆华,张业成,等.地质灾害对区域可持续发展影响指标体系与评价方法的初步探索[J].自然灾害学报,1999,8(2):8-13.(MA Zong-jin,GAO Qing-hua,ZHANG Ye-cheng,et al.A preliminary study on the index system and assessment method of the influence of geo-hazards on the regional sustainable development[J].Journal of Natural Disasters,1999,8(2):8-13.(in Chinese))
- [2] 孙绍骋.灾害评估研究内容与方法探讨[J].地理科学进展,2001,20(2):122-130.(SUN Shao-cheng.A study on the contents and methods of disaster assessment[J].Progress In Geography,2001,20(2):122-130.(in Chinese))
- [3] RIVAS V,RIX K,FRANCES E,et al.Geomorphological indicators for environmental impact assessment:consumable and non-consumable geomorphological resources[J].Geomorphology,1997,18(3/4):169-182.
- [4] 冯利华,赵浩兴,瞿有甜.灾害等级的综合评价[J].灾害学,2002,17(4):16-20.(FENG Li-hua,ZHAO Hao-xing,QU You-tian.Comprehensive evaluation of the disaster grade[J].Journal of Catastrophology,2002,17(4):16-20.(in Chinese))
- [5] DHAKL A S,AMADA T,ANIYA M.Landslide hazard mapping and the application of GIS in the Kulekhani watershed,Nepal[J].Mountain Research and Development,1999,19(1):3-16.
- [6] 段绍伟,沈蒲生.模糊综合评价与数据包络分析在工程方案设计选择中的应用[J].水利学报,2004,14(5):116-123.(DUAN Shao-wei,SHEN Pu-sheng.Application of fuzzy comprehensive evaluation and data envelopment analysis in selection of engineering scheme[J].Journal of Hydraulic Engineering,2004,14(5):116-123.(in Chinese))
- [7] 张文渊.淡水环境中水工钢闸门的腐蚀与防护[J].腐蚀与防护,2001,22(6):258-259.(ZHANG Wen-yuan.Corrision and protection of hydraulic steel water gate in fresh water enviormen[J].Corrosion & Protection,2001,22(6):258-259.(in Chinese))
- [8] SL101—94,水工钢闸门和启闭机安全检测技术规程[S].
- [9] DL/T835——2003,水电站金属结构安全检测技术规程[S].
- [10] 张玉英.水工钢闸门的腐蚀与防护[J].东北水利水电,2007,25(7):50-51.(ZHANG Yu-ying.Corrision and protection of hydraulic steel water gate[J].Water Resources & Hydropower of Northeast China,2007,25(7):50-51.(in Chinese))
- [11] 徐东胜,李小明.加权平均量的自收敛性与权的确定[J].西华大学学报:自然科学版,2006,25(5):72-73.(XU Dong-sheng,LI Xiao-ming.Self-convergence of weighted average value and determination of weight distributor[J].Journal of Xihua University:Natural Science Edition,2006,25(5):72-73.(in Chinese))
- [12] 郭建斌,郑圣义.钢闸门腐蚀安全研究[J].腐蚀科学与防护技术,2006,18(1):73-76.(GUO Jian-bin,ZHENG Sheng-yi.Research on corrosion of hydraulic steel gates[J].Corrosion Science and Protection Technology,2006,18(1):73-76.(in Chinese))

Corrosion assessment of components of steel gates with multiple factors

GUO Jian-bin, XIAO Jian, WEN Yuan-chang

(College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Corrosion is the main factor in the safe operation of steel gates. Accurate evaluation of the corrosion behavior of steel gates is of great significance to their safe and reliable operation. The hierarchical identification technology for fuzzy assessment of disaster degree is introduced. An identification model for corrosion characteristics was established based on the degraded semi-trapezoid distribution function. Various identified or uncertain factors were effectively integrated. The corrosion grade of the steel gates was quantitatively assessed according to the principles of the maximum membership degree. The results of engineering cases show that the hierarchical quantitative identification of the corrosion grade of steel gates can satisfactorily solve fuzzy and uncertain problems during the assessment process so as to ensure their safe and reliable operation.

Key words: steel gate; grade identification; maximum membership degree; corrosion assessment; safety