

国家自然科学基金
金资助项目论文

水闸老化适用性评估

石庆尧

合肥工业大学土木系
一九九四年十月

目 录

一、引言

二、评价体系影响因素

- 1、闸室变形
- 2、泥沙淤积
- 3、渗漏
- 4、闸门老化
- 5、使用灵敏度
- 6、流态

三、评价指标体系

- 1、控制水位
- 2、过水能力
- 3、灵敏度

四、多因素模糊综合评判模型

- 1、单因素模糊综合评判模型
- 2、多因素模糊综合评判模型
- 3、水闸老化适用性评估的应用模型和方法
- 4、评语集和单因素评价的确定

五、结论

参考文献

水闸老化适用性评估

石庆尧

一、引言

水闸是一种低水头挡水兼泄水的水工建筑物,在防洪、灌溉、排水、航运、发电等方面发挥着十分重要的作用。水闸建成投入运行后由于各种荷载的作用和变化着的环境条件的影响,水闸建筑物的可靠度会逐渐降低——水闸老化逐渐加重。

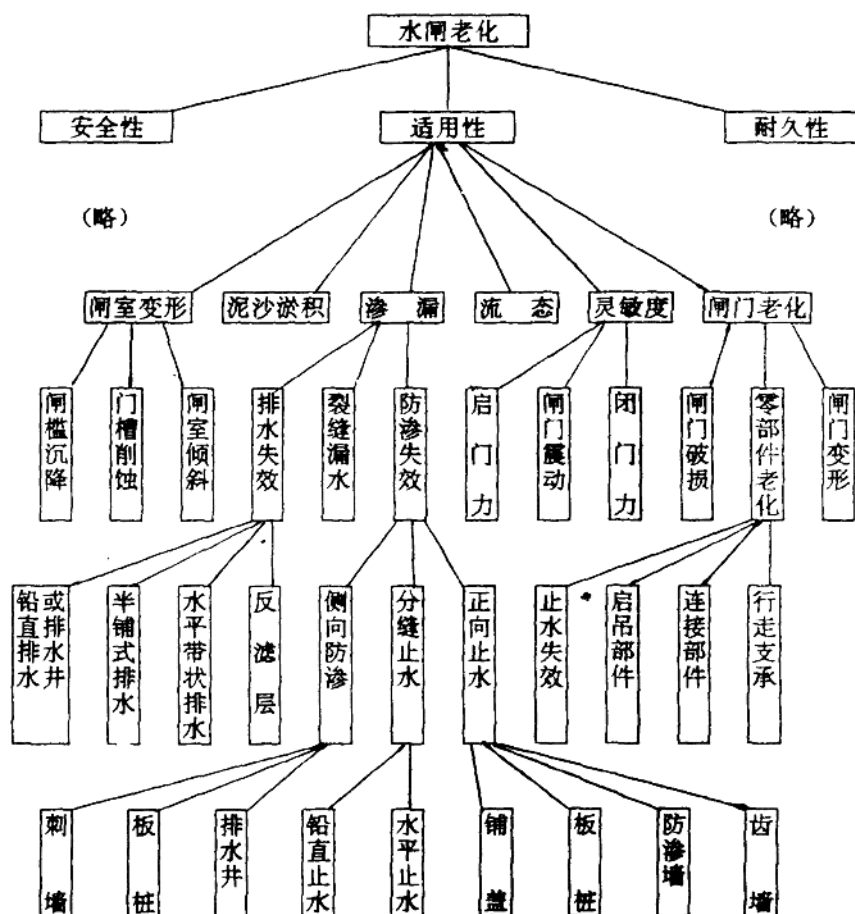


图 1

在水闸运行管理工作中,人们需要全面地掌握和了解水闸建筑物的性能和特征,以便于管理和调度。需要对水闸的整体功能进行鉴定,亦即对水闸的老化现象进行评估,便于进行有效地修补、加固、改造和更新,使有限的资源得到合理的配置。

本文首先分层次列出水闸老化适用性评估指标的影响因素,然后对诸多影响因素进行分析、归纳和综合,提出几个主要的、关键性的水闸老化适用性评估指标。为了把专家知识、工程经验和数学推理结合起来,使用了人们常用的模糊综合评判方法对水闸老化适用性进行评估,不仅使问题得到进一步简化,而且也给实际应用带来极大的方便。

二、评价体系影响因素

水闸老化评估分层次影响因素见图1。

水闸老化评估划分为安全性评估、适用性评估和耐久性评估三个项目,前者和后者有另文论述,这里不再提及。下面仅就水闸老化适用性评估影响因素作进一步分析和讨论。

水闸老化适用性可分为闸室变形、泥沙淤积、使用灵敏度、渗漏、流态和闸门老化六个主要影响因素。

1 闸室变形

闸室变形可以从闸槛沉降,闸室倾斜和门槽削蚀来考虑。这里的闸槛沉降包括闸槛的上升和下降值,其成因可以是不均匀荷载的作用和温度变化所致。门槽削蚀包括水流空蚀和过闸物体碰撞等因素。闸室倾斜主要以闸槽的倾斜为基准。

2 泥沙淤积

泥沙淤积不论发生在水闸的上游还是在水闸的下游,都会影响水闸的过水能力。

3 渗漏

影响渗漏的因素很多,这里只从防渗设备、裂缝和排水设施三个方面进行考虑。

3.1 防渗设备

防渗设备除分缝止水外,按顺水流方向和垂直水流方向分为正向防渗和侧向防渗。

3.1.1 分缝止水

分缝止水按照止水设备的方向又分为铅直止水和水平止水两部分。铅直止水有:设于闸墩中的、边墩与岸墙之间的、岸墙与翼墙之间的接缝以及翼墙的分段止水等;水平止水有:设于闸前铺盖与底板之间的、铺盖与两侧翼墙之间的、底板与底板之间的、闸后护坦与底板之间的、护坦与翼墙之间的以及铺盖和护坦的分块接缝止水等。

3.1.2 正向防渗

正向防渗设备主要包括防渗铺盖、齿墙、防渗板桩和防渗墙。

3.1.3 侧向防渗

侧向防渗设备主要包括刺墙、侧向防渗板桩和排水井等。

3.2 裂缝

只考虑裂缝产生漏水这一现象,不考虑裂缝的分布状况、数量、严重程度以及温度变化的影响。

3.3 排水设施

排水设施分成铅直排水(包括排水井)、平铺式排水、水平带状排水以及防止地基产生渗透变形的反滤层等。

4 闸门老化

闸门老化的影响因素很多,这里主要考虑闸门门体破损、门体变形、闸门止水和零部件老化四个方面。

4.1 闸门破损

闸门破损包括砼闸门门体的砼老化、脱落,钢闸门门体的锈蚀、焊缝脱落等因素。

4.2 闸门变形

指闸门受到水压力、启闭力和温度应力等的作用使门体产生的变形。

4.3 闸门零部件老化

闸门零部件老化分为启吊部件、止水设备、连接部件和行走支承等因素。

4.3.1 启吊部件

主要指吊耳、吊杆、锁锭的变形和锈蚀以及钢丝绳磨损等因素。

4.3.2 止水设备

闸门止水包括顶止水、侧止水、底止水和中间止水(安设在门体中间位置,如分段和送梁的连接处)。

4.3.3 连接部件

主要指连接螺栓和连接焊缝的锈蚀和脱落。

4.3.4 行走支承

主要指行走支承、支承轮和铰支承的变形和锈蚀等因素。

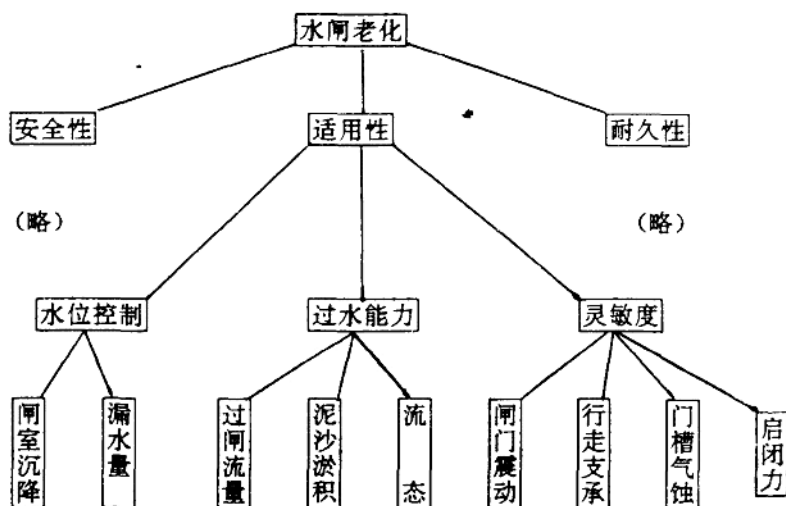


图 2

5 使用灵敏度

影响闸门使用灵活性的因素很多,有闸室和闸门门体的变形、闸体零部件的老化等多种因素,但最终都影响闸门的启闭力。

闸门震动是可以通过控制闸门开启方式来避免,一旦闸门运用要求的开启高度正好使闸门处于震动位置时,就会影响水闸的使用功能。

6 流态

上下游水流状态不仅影响引用流量的大小,同时对上下游的冲刷,渠道、翼墙及岸坡的稳定都有不同程度的影响。

三、评价指标体系

由上节可知,影响水闸老化适用性评估的因素很多,错综复杂。不仅各因素的等级标准难以确定,计算工作量大,不便于实际应用。

如前所述,水闸的作用是控制水位和调节流量。能否迅速准确地达到此目的,还要取决于闸门开启的灵活程度。为此,我们把影响水闸老化适用性问题分为控制水位、过流能力和灵敏度三个因素来考虑。如图3所示。

1 控制水位

水位控制主要体现水闸的挡水能力,可以分为闸室沉降和渗漏量两项来考虑。

1.1 闸室沉降

闸室沉降用闸槛实际高度与闸槛设计高程的比值来表示。

1.2 漏水量

这里的漏水量既包括裂缝漏水,防渗设备、排水设施失效漏水,也包括闸门破损、止水失效等因素形成的渗漏水量。漏水量的评价指标以总渗漏量与设计流量的比值来表示。

2 过水能力

影响过水能力的因素很多,既有闸室变形、泥沙淤积、水流状态的因素,也有上下游渠道变化的影响。过水能力可以分为过闸流量、水流状态和泥沙淤积三部分来反映。

2.1 过闸流量

过闸流量的评价指标用正常蓄水位时水闸实际能通过的流量与设计引用流量的比值来反映。

2.2 流态

流态评价指标用上下游水流状态对处于运用条件时对过闸水流的影响程度来表示。

2.3 泥沙淤积指标用上下游渠道的淤积造成阻水的严重程度来反映。

3 灵敏度

影响闸门灵敏度的因素很多,主要有闸门零部件老化、闸门变形、行走支承老化、闸室倾斜、基础变位等因素,但最终都反映在启闭力上。而闭门力一般都容易满足,不予考虑。为此将闸门灵敏项目分成启门力、闸门震动、行走支承和门槽气蚀四个方面来考虑。

3.1 启门力

闸门启门力评价指标用闸门启门力试验值与设计允许值的比值来表示。

3.2 闸门震动

闸门震动指标用闸门处于运用要求的开启高度时发生异常震动的严重程度来反映。

3.3 行走支承

行走支承指标用行走支承的锈蚀和磨损状况来描述。

3.4 门槽气蚀

门槽气蚀指标是指门槽受水流气蚀和过闸物体碰撞等因素造成的损坏,用门槽的损坏对闸门使用的影响程度来反映。

四、多因素模糊综合评判模型

1、单因素模糊综合评判模型

已知单因素集 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 与评价集 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ 。又设对各因素的权重分配为 U 上的模糊子集 A , 记为: $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ 。

其中, a_i 为第 i 因素 u_i 所对应的权, 且一般均规定:

$$\sum_{i=1}^n a_i = 1.$$

对第 i 个因素的单因素评判向量为 V 上的模糊子集

$$R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im}).$$

于是单因素评判矩阵 R 为

$$B = A \circ R.$$

式中, “ $\circ$ ” 为某种合成运算。

2 多因素模糊综合评判模型

设多因素集 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$, 评价集 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ 先根据因素集中因素间的关系将 U 分为 b 级(层), 第 L ($L=1, 2, \dots, b$) 级(层)的第 s ($s=1, 2, \dots, d^{(L)}$) 项分为 p 份, 设为 $U_s^{(L)}, i=1, 2, \dots, p$, 则第一级(最后一层)因素总和为:

$$\sum_{i=1}^p \sum_{s=1}^{d^{(1)}} U_s^{(1)} = U_s^{(1)} = U^{(1)}$$

对第 2 级(层)的第 s 项的每个 $U_s^{(L)} (i=1, 2, \dots, p)$ 按单因素(相当于 $L=1$ 级)模糊综合评判的数学模型进行综合评判, 得

$$B_s^{(1)} = A_s^{(1)} \circ R_s^{(1)}, i=1, 2, \dots, p$$

式中 $A_s^{(1)}$ 是 $U_s^{(1)}$ 上的权向量, $R_s^{(1)}$ 为对 $U_s^{(1)}$ 的单因素评判矩阵。

这时有

$$R_s^{(2)} = \begin{bmatrix} B_{s1}^{(1)} \\ B_{s2}^{(1)} \\ \vdots \\ B_{sj}^{(1)} \end{bmatrix}$$

并设关于 $U_s^{(2)}, U_s^{(2)}, \dots, U_s^{(2)}$ 的权重分配为 $A_s^{(2)} = (a_1, a_2, \dots, a_p)$, 则得关于 $U_s^{(2)}$ 的 2 级模糊综合评判结果为

$$B_s^{(2)} = A_s^{(2)} \circ R_s^{(2)}$$

按照上述方法逐一求出第2级中 $s=1, 2, \dots, d^{(2)}$ 各项中的 $R_1^{(2)}, R_2^{(2)}, \dots, R_d^{(2)}$, 从而得到第2级评判矩阵

$$R^{(2)} = (R_1^{(2)}, R_2^{(2)}, \dots, R_d^{(2)}) = \begin{bmatrix} B_{11}^{(1)} & B_{12}^{(1)} & \dots & B_{1d}^{(1)} \\ B_{21}^{(1)} & B_{22}^{(1)} & \dots & B_{2d}^{(1)} \\ B_{31}^{(1)} & B_{32}^{(1)} & \dots & B_{3d}^{(1)} \end{bmatrix}$$

现设关于 $U_1^{(2)}, U_2^{(2)}, \dots, U_d^{(2)}$ 的权重分配为 $A^{(2)} = (a_1, a_2, \dots, a_d^{(2)})$, 则得关于 $U^{(2)}$ 的2级模糊综合评判结果为

$$B^{(2)} = A^{(2)} \circ R^{(2)}$$

同理, 可求出第3级的第 $s (s=1, 2, \dots, d^{(3)})$ 项的评判矩阵 $R_s^{(3)} (s=1, 2, \dots, d^{(3)})$, 得到第3级评判矩阵 $R^{(3)}$ 。如设关于 $U_1^{(3)}, U_2^{(3)}, \dots, U_d^{(3)}$ 的权重分配为 $A^{(3)} = (a_1, a_2, \dots, a_d^{(3)})$, 则得关于 $U^{(3)}$ 的3级模糊综合评判结果为

$$B^{(3)} = A^{(3)} \circ R^{(3)}$$

仿此可以求出第4级、第5级……第 b 级的模糊综合评判结果, 以致使问题得到完满的解决。多因素模糊综合评判的最终结果为

$$B^{(b)} = A^{(b)} \circ R^{(b)}$$

3 水闸老化适用性评估的应用模型及方法

3.1 指标体系下的应用模型结构

根据上面给出的多因素模糊综合评判模型, 可知图3为三级模型结构, 亦即 $L=3$ 。第三级为

$$U^{(3)} = \{\text{安全性 } u_1^{(3)}, \text{适用性 } u_2^{(3)}, \text{耐久性 } u_3^{(3)}\}, s^{(3)} \approx 3$$

第二级适用性项的模型结构为

$$U^{(2)} = \{\text{过水能力 } u_1^{(2)}, \text{水位控制 } u_2^{(2)}, \text{流态 } u_3^{(2)}\}, s^{(2)} = 3$$

第一级适用性子项的模型结构为

$$U_1^{(1)} = \{\text{过闸流量 } u_{11}^{(1)}, \text{泥沙淤积 } u_{12}^{(1)}, \text{流态 } u_{13}^{(1)}\}, i \approx 3^*$$

$$U_2^{(1)} = \{\text{漏水量 } u_{21}^{(1)}, \text{闸室沉降 } u_{22}^{(1)}\}, i=2$$

$$U_3^{(1)} = \{\text{行走支承 } u_{31}^{(1)}, \text{门槽气蚀 } u_{32}^{(1)}, \text{闸门震动 } u_{33}^{(1)}, \text{启闭力 } u_{34}^{(1)}\}, i \approx 4$$

3.2 权重选择

我们组织了部分专家就图2中各因素进行了讨论, 按照美国萨蒂的1~9标度方法(表1), 来确定各因素的相对重要性, 并经一致性检验, 得到各因素的判断矩阵如表2~5所示。

表 1

1~9 标度及其含义

标 度	含 义
1	表示两个因素相比,具有同样重要性。
3	表示两个因素相比,一个因素比另一个因素稍微重要。
5	表示两个因素相比,一个因素比另一个因素明显重要。
7	表示两个因素相比,一个因素比另一个因素特别重要。
9	表示两个因素相比,一个因素比另一个因素极端重要。
2,4,6,8	上述两相邻判断的中值。
倒数	因素 i 与 j 比较得判断 b_{ij} , 则因素 j 与 i 比较的判断 $b_{ji}=1/b_{ij}$ 。

表 2

适用性	过水能力	水位控制	灵敏度
过水能力	1	1/2	1/3
水位控制	2	1	1/3
灵敏度	3	3	1

表 3

过水能力	过闸流量	泥沙淤积	流 态
过闸流量	1	1/5	1/3
泥沙淤积	5	1	3
流 态	1	1/3	1

表 4

水位控制	漏水量	闸室沉降
漏水量	1	1/5
闸室沉降	5	1

表 5

灵敏度	行走支承	门槽气蚀	闸门震动	启闭力
行走支承	1	1	1/3	1/5
门槽气蚀	1	1	1/5	1/5
闸门震动	3	5	1	1/2
启闭力	5	5	2	1

经计算得出适用性、过水能力、水位控制和灵敏度的判断矩阵相对应的特征向量分别为 $[0.3356, 0.2450, 0.5984]^T$, $[0.1047, 0.6370, 0.2583]^T$, $[0.1667, 0.8333]^T$ 和 $[0.0989, 0.0989, 0.2839, 0.5183]^T$ 。

4 评语集和单因素评价的确定

水闸老化指标的评语值可分为 4 个等级, 表示为

$$V = \{\text{轻度, 一般, 严重, 级端}\}$$

将其量化为 $V = (1, 3, 5, 7)$

V 即称为评语集。

单因素评价 r_{ij} 的获取方法可以采用经验判定法和平均指数法予以确定。限于篇幅这里不再一一叙述了。

通过上述算法所得到的综合评价结果 $B^{(4)}$ 已用做结论的判据, 但为了使综合评价结果的严重程度更直观, 用下式表示最终评价结果:

$$W=B^{(n)}V^T$$

这样最终结果 W 就与评语集 $V=\{\text{轻度, 一般, 严重, 级端}\}$ 密切相符了。

五、结语

本文通过对影响水闸老化适用性评估指标的诸多因素分析,提出了简便实用的水闸老化适用性评估体系及有关评估指标。并建立了水闸老化适用性模糊综合评判模型。只要确定了适当的水闸老化适用性各因素的评估指标,就可用于工程实践。

参 考 文 献

- [1] 邹开其、徐扬 模糊系统及专家系统,西安交通大学出版社,1989年6月。
- [2] 谈松羲 《水闸设计》,水利电力出版社,1986年2月。
- [3] 水利水电工程钢闸门设计规范(SDJ13—78)(试行),水利电力出版社,1978年。
- [4] 水闸设计规范(SD133—84),水利电力出版社,1984年。
- [5] 水闸施工规范(SL27—91),水利电力出版社,1991年。
- [6] 张宽权 某某钢筋砼烟囱可靠性诊断,建筑物鉴定与加固第二届全国学术讨论会论文集,1993年11月。
- [7] 蔡正坤、瞿尔仁 《闸门启闭机》(第二版),水利电力出版社,1988年9月。
- [8] 张世儒、高逸士、夏维城 《水闸》,水利出版社,19803月。