

# 渡槽结构安全性评估与维护管理策略

晁海<sup>1</sup> 杨述<sup>2</sup> 王禹迪<sup>2</sup>

1. 宁夏固海扬水管理处 宁夏 中卫 755100

2. 中国水利水电科学研究院 北京 100080

**摘要:** 渡槽不同于传统桥梁的是,这座“桥”承担着输送水资源的重任,既保障船舶的顺畅通行,又为农田灌溉及居民日常生活提供必要的水源。随着时间推移,部分渡槽的存在各种安全问题,因此需要实施科学安全性评估,根据渡槽具体存在的问题,提出针对性的加固与修复方案。综上所述,本文将结合实际案例,讨论渡槽结构安全性评估与维护管理策略。

**关键词:** 渡槽结构; 安全性评估; 维护管理

前言: 保障渡槽安全稳定地服务于农业灌溉和人们的日常生活,需要一个综合性的解决方案,涵盖技术、管理等多个层面。通过科学的安全评估,合理的资金投入,以及持续的技术革新和管理优化,可以有效提升渡槽的安全水平,为人们的生活和区域的发展提供坚实的基础。

## 1 渡槽结构安全性评估方法

### 1.1 外观调查方法

外观调查法依靠在现场对建筑结构进行实地测量,之后由专业人士根据测量结果来对结构的安全性进行等级划分。这种方法目前被广泛采用,尽管存在一定的不确定性。由于现场不同位置的测量数据可能大相径庭,该技术的应用成效往往受到工程师个人经验的强烈影响。实际上,这也意味着即便是使用同一种方法,不同的工程师可能会得出不同的评估结果。因此,尽管外观调查法为建筑安全评估提供一个实用的途径,它的准确性和可靠性仍然依赖于执行测量和评估的工程师的专业水平和经验积累。

### 1.2 AHP-熵权法

层次分析法(AHP),由美国的运筹学专家萨蒂提出,是一种结合数学与心理学的决策评估方法,主要应用于工程结构的安全性评估和决策的合理性分析等多个领域。这个方法通过将问题分解为不同的层次,包括目标层、准则层及指标层等,而每一层又含有若干子层级,每个子层级含有多个评价要素,进而对这些要素进行量化分析,实现将定性问题定量化,特别适合处理复杂问题中多变量的决策分析,因其灵活性和实用性,层次分析法能够快速导出决策。美国数学界人士Shanno将熵值引入评估体系,使用熵值定量分析信息的重要性。通过计算评价因素的熵值,可以测量其信息的准确性和

可靠性。熵值越低意味着该评价因素的准确性和可靠性越高。层次分析法与熵值相结合,能够更全面地考虑评价因素间的相互影响,减少主观判断的干扰。

层次分析法的核心在于构建层次结构,视需要评估的目标为一个系统,明确评估目的,并根据实际需求和行业标准,划分不同的评估准则和指标层级。通过深入分析每个要素的贡献度,将其分配到合适的准则层中<sup>[1]</sup>。完成层次结构的构建后,接下来的步骤是两两比较各指标的重要性,并通过专家评分来定量这些比较,常用的方法包括标度法,以此建立判断矩阵。最后,通过一致性检验来验证判断矩阵的合理性,确保所得层次权重的科学性。

### 1.3 模糊综合评价方法

模糊理论是由美国控制论专家L.A.Zadeh在20世纪60年代初期首次提出的概念,通过数十年的迭代与发展,这一理论已经跨越学术界的边界,渗透到社会生活的各个层面,成为一个在复杂问题评价中极具价值的工具。这是因为现实生活中存在大量的问题,它们往往充满不确定性和模糊性,难以用传统的黑白判断法则来进行明确界定。模糊综合评价法就是在这样的背景下被提出与应用的,它通过从定性到定量的转换,将模糊不清的评价指标具体化,从而实现定性分析与定量分析的有机结合,提升评价的全面性与可信度。在运用多层次模糊综合评价法时,首先需要将众多评价因素按其特性分组归入不同的子集中,以此构建出一个有序的层次框架。接下来,针对每个层次建立相应的评判集,方便对每个子集层面的因素进行独立评价。

应用上述方法于渡槽安全评估时,步骤首先围绕评价等级的制定展开,它要求对渡槽的状态进行细致的分类<sup>[2]</sup>。接下来,通过专家评分的方式对每项评价指标进

行赋值处理,将这些主观打分转化为具体的量化分析数据。借助隶属度矩阵和各层次权重的合理配合,进行层层深入的综合分析,最终得出对渡槽安全性的综合评价结果。这种模糊综合分析法的核心优势在于,它能够在保持评价指标本身模糊性的同时,确保评价结果的直观性和量化性。但需注意的是,基于专家打分来量化评价指标的过程,可能会因为个人主观判断的差异而带来一定程度的误差。尽管如此,归功于模糊理论的独特性,它仍然是在处理模糊环境下的问题决策中,一个不可或缺的强有力工具。

## 2 渡槽结构安全性评估实际应用案例

### 2.1 项目介绍

S渡槽输水工程是一个复杂的建筑结构,全长600m,它不仅横跨两条公路,还在部分区域穿过居民区。该工程的核心设计理念旨在通过三个主要部分——槽身、排架、和桩基础,来实现高效、稳定的输水能力。槽身是输水工程设计中至关重要的部分,其由单排架支撑的筒支U形薄壳构成,每个薄壳段长达12.0m,厚度为3.5厘米。为增强结构的稳定性和耐久性,薄壳内部嵌入钢筋混凝土。此外,槽身之间的连接采用粘合式橡胶止水带,这种设计有效地防止输水过程中的漏水和渗水问题<sup>[1]</sup>。

排架作为支撑水槽身的骨架,其设计亦不容忽视。排架分为49个单元,每跨长12m,最大高度可达24m,宽度为2.8m。排架柱的尺寸为600毫米×400毫米,每4.0m高处设置有横向支撑梁,以增强结构稳定性。然而,排架表面的混凝土老化已成为一个严重问题,定期有混凝土块落下,对下方居民区的安全构成威胁。桩基础是渡槽结构中的基础组成部分,设计来承受整个结构的动荷载和静荷载。桩基础通过将荷载分散到地基持力层来保证整个输水系统的稳定性和安全性。具有双柱杯口设计的基础,底部平面尺寸5.6m×2.4m,基础下部采用埋石混凝土,并全部坐落在岩基上,确保极高的稳定性。

整个S渡槽输水工程设计流量为2m<sup>3</sup>/s,最大可通过流量为2.5m<sup>3</sup>/s,表明其有能力处理一定范围内的流量波动,保障水资源的顺畅输送。尽管如此,时间的长期流逝已经在排架等关键结构上留下痕迹,混凝土的老化问题需引起足够的关注和及时维修,以确保渡槽工程的长期稳定性和区域内居民的生活安全。

### 2.2 评估结果

在对S渡槽进行细致的科学评估过程中,通过结合AHP-熵权法与模糊综合评价法,本章节展示一种高效的评估策略。具体地,利用层次分析法,管理部门将评估

的主要目标细分为安全性、适用性以及耐久性三大类,并且对应地分类出各自的底层评价指标。通过引入熵权法,有效地降低评估过程中专家主观判断可能带来的偏差,进一步确保评估结果的客观性和准确性。此外,通过将模糊综合评价法融入到AHP-熵权法的评估框架中,本研究不仅处理评估中的模糊信息,也为S渡槽的现状提供清晰的量化评级<sup>[4]</sup>。评估结果揭示S渡槽当前的安全状态处于3s级别,这一级别指示渡槽的安全状况是令人担忧的。

## 3 渡槽结构维护加固管理措施

### 3.1 结构现存问题

在深入调查和审视S渡槽的构造及其运行状况后,发现几项关键性的问题需要紧急关注和解决。首先,观察到基础混凝土的强度未能达到现行规范所规定的最小强度C25,这一发现直接关系到整个渡槽结构的稳定性和安全性。进一步检查揭示部分排架柱的混凝土强度因碳化而降低,未能满足原设计标准。

另外,环形裂痕和局部露筋的现象在渡槽的某些区域也被观察到,这些痕迹是渡槽承受长期使用所留下的痕迹,同样引发对其稳定性和耐久性的进一步担忧。值得一提的是,一些关键的橡胶止水带出现老化和脱落,影响渡槽的防水性能。此外,进水口挡土墙的一部分遭遇墙体脱落的现象,暴露出防水结构的潜在薄弱环节。

### 3.2 加固方法

分析指出,S渡槽目前面临较为严峻的状况,为确保这一历史性建筑得到妥善的保护和传承,亟需对其进行必要的维护和加固工作。特别是槽身,作为承载着输水核心职能的关键组成部分,对其结构的完整性和安全性提出更高的要求。在考虑到加固方案的选择上,本文将着重讨论针对槽身的加固策略,并选取三种不同的方案进行详细比较和优化选择<sup>[5]</sup>。

第一种方案是应用一种名为SK刮涂聚脲的新型材料,这种材料具备出色的抗拉伸和抗变形特性,并且寿命长久,能够很好地适应各种环境条件。其施工方法涉及使用专用的界面剂及修补砂浆来进行表面处理,进而刮涂施工。第二种方案考虑使用碳纤维布,这是一种在结构加固领域中广泛应用的材料。它能有效增强构件的抗拉力和抗剪切能力,适用于多种结构的加固改造。第三种方案则是采用聚合物混凝土加固,这是一种较为传统的加固方法,主要通过清除受损的老化混凝土,然后用聚合物混凝土材料进行填补和修复。虽然施工过程简便,但其改善效果与前两种方法相比较为一般。

综合现场勘查和技术分析后,将通过层次分析法细致评估这三种加固方案的适用性和效果,力求为S渡槽提供一种最优的保护和加固解决方案。

### 3.3 具体措施

#### 3.3.1 槽身

在对槽身进行加固工作展开之前,首要任务是彻底处理原有的钢筋混凝土结构中的各种问题。这包括对那些出现风化、剥落或是蜂窝等缺损的混凝土进行全面的剔除和清理,直到露出新鲜的骨料表面。同时,所有裸露的钢筋都应通过去锈和打磨,恢复其金属本色的光泽,确保其稳固性和耐久性。对于存在缺陷的部分,则应采用改性环氧树脂砂浆进行细致修补;若有裂缝,则通过改性环氧树脂注浆来修复。加固过程中还包括在槽身内部环向地贴合碳纤维布,以此来增强其整体的结构强度。完成这些预备工作后,应利用清水对原槽身进行一次彻底的冲洗,保证修补材料能与槽身表面紧密结合。待槽身自然干燥后,再在表面涂上一层修复砂浆,以改进其表面质量和防护能力。在槽身的端肋段内侧和翼梁及拉杆上,还需粘贴纤维复合材料和钢板,增加其稳定性。

随后,需对原有的橡胶止水条进行替换,并重新施做防水处理,以确保槽身的防渗漏性。特别地,通过每隔60m设置雨水管来组织排水,并在伸缩缝处安装排水支管,确保雨水能够顺畅排出,避免积水和泥浆的形成。此外,在加固后的槽身内侧涂上防水涂料,以提供额外的防潮效果。对于因地形低洼而容易积水的出水口区域,应定期进行清理,以消除植被和青苔的生长。在遭遇长期的极端低温和大雪天气时,还需安排人员及时清除冰雪或撒盐,以防槽内结冰。如遇进水口处混凝土严重老化,则可以通过施加混凝土面层来进行加固和保护,从而延长其使用寿命,并保障槽身的稳定运行。

#### 3.3.2 排架柱

对排架柱的加固策略包括使用包裹方式进行加强,在柱的四角处加贴角钢。这种方法的显著优点在于,虽然对构件的截面尺寸增加较少,却能显著提升其承载力。此外,还计划增设柱间支撑以增强结构的稳定性。具体做法是,在几个跨度间隔的位置,在相邻的排架立

柱之间添加新的支撑,用以抵抗侧向的水平力。这些支撑由单个角钢构成,并将其与已加固的柱上的角钢焊接,形成稳固的整体。对于槽身在轴线方向偏移较大的地方,则在排架梁的顶部设置限位装置,以确保整个槽体的对齐和稳定,避免由于偏移引发的潜在安全问题。

#### 3.3.3 基础

针对露天水工建筑物,根据《水工混凝土结构设计规范》(SL191-2008)的规定,这些建筑物的混凝土最低强度等级应为C25。若现有的基础混凝土强度未达到规范要求,则有多种途径可以加以改进。一种方法是在原有基础表面附加一层新的混凝土层,或者在支撑结构的两侧添加混凝土层以增强其稳定性。

### 结语

本研究通过运用有限元数值模拟技术,对渡槽的槽身部分进行静态结构受力分析,分析结果与实际的现场检测数据高度一致。这表明槽身的混凝土结构已经无法满足正常使用的条件,虽然钢筋的承载力仍旧符合要求。此外,采用AHP-模糊综合分析法对渡槽的整体健康状况进行评估,其结论也与有限元模拟和现场实际情况保持一致性。同时,关于混凝土碳化的可靠性模型结果,也与检测数据相吻合。因此,本文的研究成果不仅具有合理性和实用性,而且对于类似渡槽的安全评估提供重要的理论依据和实践指导。

### 参考文献

- [1]黄晓洪,俞汇,汪云飞,杨安玉,王海军.砂浆流失下长期服役砌石渡槽稳定性规律研究[J].水利水电技术(中英文),2024,55(S1):103-108.
- [2]尚海龙,田苡菲,王天艺,罗智,朱新民.洺河渡槽的结构安全状态仿真分析研究[J].水利规划与设计,2023,(11):84-89+95.
- [3]杨霖,李宗利,尚洪彬.矩形渡槽槽身结构时变可靠度分析[J].水利水电科技进展,2023,43(04):105-110.
- [4]屈春来,吴照正,程方.太阳辐射下矩形渡槽热力耦合特性分析[J].水电能源科学,2022,40(07):159-162+145.
- [5]李密,吕锋,曾祥磊,田均兵.基于ANSYS仿真计算的渡槽结构静动力特征分析研究[J].水利科技与经济,2022,28(05):37-40+54.