

# 水闸安全评估技术

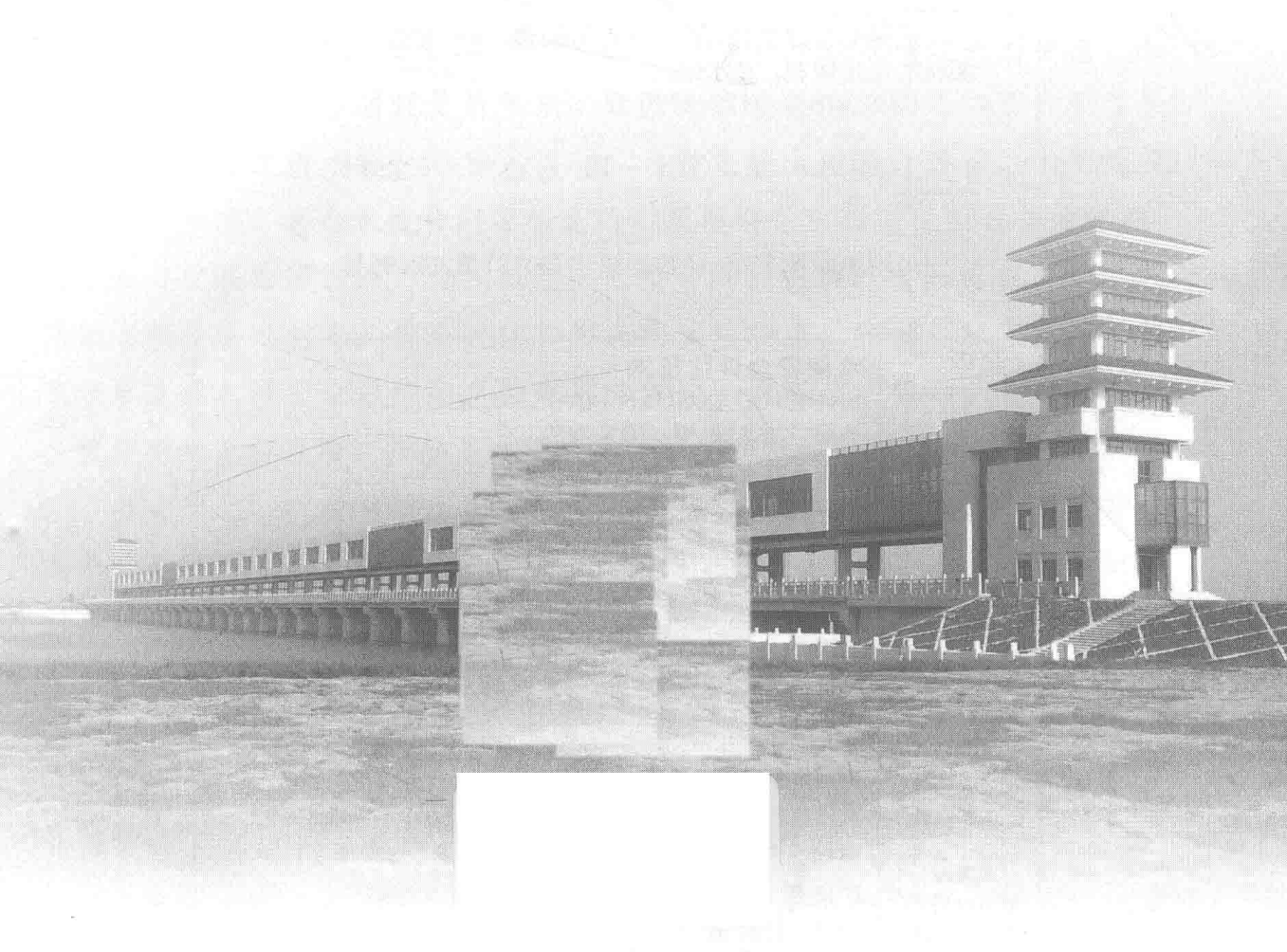
孙勇 胡兆球 等 编著



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

# 水闸安全评估技术

孙勇 胡兆球 等 编著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

## 内 容 提 要

根据水闸安全评估工作的特点和要求,在多年水闸安全评估工作实践的基础上,总结国内水闸安全评估的理论和方法,结合国家和行业标准,对水闸安全评估技术进行研究。全书内容包括病险水闸数据库建立、典型水闸病害调查统计及成因分析、水闸安全评估指标体系设计、水闸安全评估赋权方法和评估模型研究、《水闸安全评估技术指南》编制框架及内容,以及对两座水闸安全评估的工程实例。

本书内容丰富、实用性强,经过工程实践验证,具有一定的参考价值,可供从事水闸设计、施工、运行管理、科研等相关专业技术人员参考,也可作为高等院校相关专业师生的参考资料和工程案例读物。

### 图书在版编目(CIP)数据

水闸安全评估技术 / 孙勇等编著. -- 北京: 中国水利水电出版社, 2018.8  
ISBN 978-7-5170-6790-0

I. ①水… II. ①孙… III. ①水闸—安全评价 IV. ①TV66

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第202190号

|      |  |
|------|--|
| 书 名  | 水闸安全评估技术<br>SHUIZHA ANQUAN PINGGU JISHU  |
| 作 者  | 孙勇 胡兆球 等 编著  |
| 出版发行 | 中国水利水电出版社<br>(北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038)<br>网址: www.waterpub.com.cn<br>E-mail: sales@waterpub.com.cn<br>电话: (010) 68367658 (营销中心) |
| 经 售  | 北京科水图书销售中心(零售)<br>电话: (010) 88383994、63202643、68545874<br>全国各地新华书店和相关出版物销售网点   |
| 排 版  | 中国水利水电出版社微机排版中心  |
| 印 刷  | 天津嘉恒印务有限公司   |
| 规 格  | 184mm×260mm 16开本 11.75印张 217千字   |
| 版 次  | 2018年8月第1版 2018年8月第1次印刷  |
| 印 数  | 0001—1200册   |
| 定 价  | <b>58.00元</b>  |

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

## 序

水闸是水利工程体系的重要组成部分，在防洪、防潮、排涝、灌溉、供水、生态等方面具有十分重要的作用，水闸的运行性态直接影响着工程所在地的水资源调配、国民经济发展和人民生命财产安全。因此，水闸的安全状态评估研究具有重要的理论意义和工程应用价值。

我国现有的水闸大部分运行已达 30~50 年，建筑物接近使用年限，金属结构和机电设备已超过使用年限，加上工程管理技术原始和维护经费不足，观测设施缺失，给水闸日常管理工作带来很大困难。目前，水闸的安全状况不乐观，有些水闸长期带病运行，既影响了工程安全和效益的发挥，又给日益发展的国民经济造成威胁。随着时间的推移，达到或超过使用年限的水闸将越来越多，安全评估和相应的除险加固工作也将越来越重。国家非常重视水闸安全评估和病险水闸的除险加固工作，先后出台了水闸安全管理的规范和办法，指导了水闸的安全评估和除险加固工作。

与此同时，广大科技工作者，借助现代数学和力学理论、人工智能技术及计算机科学，开展了大量的水闸安全评估理论的研究，取得了一批有价值的研究成果，并出版了有关的著作。但由于影响水闸安全的因素十分复杂，再加上已有的研究成果理论性又较强，给成果推广应用带来了较大困难。

《水闸安全评估技术》一书是作者在设计单位多年从事水闸安全评估工作和评估方法研究成果的总结，具有以下特点：一是内容的系统和全面，从病险水闸数据库的建立、病险分析到工程安全评估，涵盖了整个水闸安全评估工作；二是内容新颖，例如第 3 章水闸安全评估定性和定量指标的量化方法，第 4 章水闸安全变权法模糊层次评估模型，第 5 章引入可加固性概念的三类、四类水闸评定方法等，都是前沿领域中的新成果；三是具有很

强的实用性，主要的方法都列举工程实例作示范，并不是纯理论说教。因此，该书学术意义大，实际应用价值高。

当然，水闸安全评估工作涉及面广，难度大，本书对各章的叙述不可能做到全都如意的程度，有些理论和技术的实用性，能否普遍认可和推广应用，尚需实践的进一步检验，但孙勇同志和同仁们无疑已迈出了重要的一步。我深信该书的出版问世，必将对水闸安全评估和主管部门决策提供有力支持，也对相应工作的开展起到推动作用。

本人乐于见到该书的出版，并写了如上的一点个人感受，谨以为序。

顾冲时

水闸作为一种调节水位、控制流量的低水头水工建筑物，是平原地区众多水利枢纽的控制工程，具有挡水和泄（引）水双重功能，在防洪、除涝、灌溉、供水、生态等方面应用非常广泛，是重要的水利基础设施。

根据 2012 年年底国家发展改革委和水利部发布的《全国大中型病险水闸除险加固总体方案》统计，我国有小(1)型以上水闸 40997 座，其中大型水闸 1062 座，中型水闸 6719 座，小(1)型水闸 33216 座。水闸数量分布最多的区域是中部地区，其次是东部地区，最少的是西部地区。这些水闸在防洪除涝、蓄水灌溉、拦潮蓄淡、城乡供水、景观旅游方面发挥了重要的作用，具有很强的公益性，促进了当地水资源的合理开发利用、国民经济的发展和生态环境的改善。

我国现有水闸大部分建于 20 世纪 50—70 年代，建筑物大多接近使用年限，经长期运行，工程老化严重，其安全性及使用功能日益衰退。加上工程管理手段落后，许多水闸的管理经费不足，观测设施缺失，给水闸日常工作带来很大困难。这些病险水闸的存在，既影响了防洪安全和兴利效益的发挥，又给国民经济发展造成不可忽视的制约和威胁。

国家非常重视水闸安全与病险水闸的除险加固工作，水利部于 1998 年发布了《水闸安全鉴定规定》，2008 年发布了《水闸安全鉴定管理办法》，2015 年发布了《水闸安全评价导则》。由于我国水闸量大面广、形式多样、病害复杂，水闸除险加固工作非常艰巨。有鉴于此，若能快速准确地对水闸进行安全评估（尤其是三类、四类水闸的划分），为水闸运行管理部门和主管部门提供决策依据，就可使主管部门得以按轻重缓急合理的水闸除险加固计划，从而防止事故的发生，避免资金的盲目投入。因此，开展水闸安全评估技术研究具有重要的工程应用价值和深远的社会意义。

作者在前人研究成果、工作经验的基础上，结合多年从事水闸安全评

估工作的经验和体会编著了本书，力求具有针对性、体现通俗性、突出实用性，主要内容包括病险水闸数据库建立、典型水闸病害调查统计及成因分析、水闸安全评估指标体系设计、水闸安全评估赋权方法和评估模型研究、《水闸安全评估技术指南》编制框架及内容，以及对两座水闸安全评估的工程实例。

本书由孙勇、胡兆球主笔，具体分工为：第1章和第7章由孙勇、胡兆球编写，第2章和第4~第6章由孙勇、王东栋、查松山、尚俊伟编写，第3章由王东栋、查松山、尚俊伟编写，全书由孙勇、胡兆球、王东栋统稿审定。

在本书编写过程中，水利部淮河水利委员会、河海大学、南京水利科学研究院、武汉大学等单位给予了技术支持和无私帮助，施念成研究生在资料的整理和校对方面做了工作，郑东健教授、陈灿明教高、陈明祥教授、赵德建高工、杨中教高提出了许多宝贵建议，本书参考引用了一些相关书籍、论文、工程报告等，在此谨一并致以衷心的感谢。

本书内容丰富，理论结合实践，实用性强。希望本书的编写出版对相关从业人员有所启发和帮助。

由于作者的水平有限，书中的不当和错误之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

作者

2018年3月

序

前言

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 第 1 章 绪论 .....              | 1  |
| 1.1 概述 .....                | 1  |
| 1.2 水闸安全评估工作现状 .....        | 2  |
| 1.3 需要解决的问题 .....           | 7  |
| 1.4 本书主要内容 .....            | 8  |
| 第 2 章 水闸安全影响因素分析 .....      | 10 |
| 2.1 概述 .....                | 10 |
| 2.2 水闸病害的定义和分类 .....        | 10 |
| 2.3 水闸病害调查统计及成因分析 .....     | 11 |
| 2.4 水闸安全影响因素的分析和提取 .....    | 30 |
| 2.5 本章小结 .....              | 34 |
| 第 3 章 水闸安全评估指标体系 .....      | 36 |
| 3.1 概述 .....                | 36 |
| 3.2 水闸安全评估指标体系构建原则和方法 ..... | 36 |
| 3.3 水闸安全评估指标体系设计 .....      | 39 |
| 3.4 水闸安全评估集设计 .....         | 42 |
| 3.5 水闸安全评估指标参数的获取及处理 .....  | 42 |
| 3.6 水闸安全评估指标的量化 .....       | 50 |
| 3.7 本章小结 .....              | 60 |
| 第 4 章 水闸安全评估赋权方法和评估模型 ..... | 61 |
| 4.1 概述 .....                | 61 |
| 4.2 水闸安全评估指标权重的特点 .....     | 62 |
| 4.3 水闸安全评估指标赋权方法 .....      | 62 |
| 4.4 水闸安全评估指标权重的融合 .....     | 73 |

|            |                   |            |
|------------|-------------------|------------|
| 4.5        | 评估理论和方法           | 75         |
| 4.6        | 水闸安全评估模型          | 81         |
| 4.7        | 本章小结              | 89         |
| <b>第5章</b> | <b>水闸安全评估技术指南</b> | <b>90</b>  |
| 5.1        | 概述                | 90         |
| 5.2        | 编制框架              | 91         |
| 5.3        | 《水闸安全评估技术指南》条文    | 93         |
| 5.4        | 《水闸安全评估技术指南》编制说明  | 106        |
| 5.5        | 本章小结              | 119        |
| <b>第6章</b> | <b>水闸安全评估工程实践</b> | <b>120</b> |
| 6.1        | A 水闸安全评估          | 120        |
| 6.2        | B 水闸安全评估          | 147        |
| 6.3        | 本章小结              | 172        |
| <b>第7章</b> | <b>结语</b>         | <b>173</b> |
| 7.1        | 总结                | 173        |
| 7.2        | 后续工作              | 174        |
|            | <b>参考文献</b>       | <b>175</b> |

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 概述

水闸是一种调节水位、控制流量的低水头水工建筑物，是平原地区众多水利枢纽的控制工程，具有挡水和泄（引）水双重功能。水闸在防洪、除涝、灌溉、供水、生态等方面应用十分广泛，是重要的水利基础设施。根据 2012 年底国家发展改革委和水利部发布的《全国大中型病险水闸除险加固总体方案》统计，我国有小（1）型以上水闸 40997 座。其中，大型水闸 1062 座，中型水闸 6719 座，小（1）型水闸 33216 座。水闸数量分布最多的区域是中部地区，其次是东部地区，最少的是西部地区。这些水闸在防洪除涝、蓄水灌溉、拦潮蓄淡、城乡供水、景观旅游方面发挥了重要的作用，具有很强的公益性，促进了当地水资源的合理开发利用、国民经济的发展和生态环境的改善。

现有的水闸大部分运行已达 30~50 年，建筑物接近使用年限，水闸在运行过程中逐渐产生老化病害，导致建筑物的安全性、适用性和耐久性下降，功能得不到正常发挥，逐步产生安全隐患。列入《全国大中型病险水闸除险加固总体方案》的病险水闸共 2622 座，其中大型病险水闸 378 座，占病险水闸的 14%，占全国大型水闸的 36%；中型病险水闸 2244 座，占病险水闸的 86%，占全国中型水闸的 33%。水闸是防洪工程体系的重要组成部分，一旦发生险情或发生事故，将对防洪安全体系造成巨大影响，对社会稳定构成严重威胁。水闸在水资源优化配置中的功能越来越重要，由于病险水闸无法正常调蓄水资源，严重影响水闸兴利效益的发挥，给农村、城市、工矿企业的生产生活和生态环境带来不利影响，制约经济社会的发展。水闸是农业基础设施的重要组成部分，大多直接为“三农”服务，是农业生产、农田灌溉、农村供水的重要基础保障。病险水闸严重影响了农业供水排水、抗灾减灾及综合生产能力的提高。

综上所述，水闸数量多、分布广、形式多样、地位重要，发挥着巨大的社会效益和经济效益。与此同时，工程安全隐患严重，既影响了防洪安全和兴利效益的发挥，又给所在地区日益发展的国民经济造成不可忽视的制约和威胁。



深入研究水闸的安全评估技术,快速准确地对水闸进行安全评估,为水闸运行管理部门和主管部门提供决策依据,可使主管部门得以按轻重缓急合理的水闸除险加固计划,从而防止事故的发生,避免资金的盲目投入。因此,开展水闸安全评估技术研究具有重要的工程应用价值和深远的社会意义。

## 1.2 水闸安全评估工作现状

我国水利工程安全评估的研究工作始于大坝安全综合评估研究。20世纪70年代以来,结合数十座大坝的安全分析和监控等科研项目,在数学监控模型、参数和边界条件反分析、变形监控指标和大坝安全综合评估专家系统等方面取得了一大批成果,建立了完整的大坝安全监控和评估理论体系。目前,鉴于大坝的工作条件十分复杂,其安全分析和评估已从单因素发展到多因素,从单项分析发展到多项综合分析和综合安全评估。

“八五”期间,国家自然科学基金重点项目“水工混凝土建筑物老化病害的防治及评估的研究”,主要研究中、小型水利水电工程中的水闸、溢洪道和灌区建筑物的老化病害的防治与评估。通过对大量的有代表性的水利水电工程的实地调查研究工作,以及对大量文献资料的分析总结,详细研究了水工混凝土建筑物的老化病害机理和评估的准则,提出了修补水工混凝土建筑物的原则和方法,是一项很有开拓性的工作,提高了我国水利工程安全评估的理论水平。此后,水闸安全评估方法迅速发展。

水利部对水闸的安全评估工作十分重视。自20世纪90年代起陆续发布了一系列部门规章和技术标准,主要包括SL 170—96《水闸工程管理设计规范》(已失效)、SL 214—98《水闸安全鉴定规定》(已被替代)、SL 226—98《水利水电工程金属结构报废标准》、SL 240—1999《水利水电工程闸门及启闭机、升船机设备管理等级评定标准》、SL 105—2007《水工金属结构防腐蚀规范》、SL 75—2014《水闸技术管理规程》、SL 101—2014《水工钢闸门和启闭机安全检测技术规程》、SL 214—2015《水闸安全评价导则》、SL 265—2016《水闸设计规范》等。

### 1.2.1 水闸安全评估方法

我国的水利专家从20世纪70年代开始研究水闸安全评估问题,进行了一系列的工作,取得了一定的成果。水闸安全评估常用的理论和方法如下:

(1) 层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP)。该方法是美国匹兹堡



大学著名数学家 Thomas. L. Saaty 在 20 世纪 70 年代提出的,是多指标综合评估的一种简单而又实用的多准则评估和决策定量方法。它能把定性因素定量化,并能在一定程度上减少主观影响,使评估更科学。其基本原理是将待评定的各因素两两比较其相对重要性,然后进行排序。层次分析法十分适用于具有定性的或定性定量兼有的决策分析,其核心功能是对方案进行选取。可使决策不受个别因素左右,使方案排序更加全面、科学、公正、准确。

(2) 整体评估方法。该方法也称指标分级综合评估法或加权递阶评估法,是由合肥工业大学张志俊等提出的一种水闸安全等级评估方法,其特点是以实际检测资料和长期观测成果为依据,根据突出主要因素、兼顾次要因素的原则,分层推理综合,最后得出整个水闸的安全评估结论。

(3) 灰色评估方法。灰色系统理论是华中理工大学邓聚龙于 1982 年首先提出的,用于客观系统的量化、建模、分析、预测、决策和控制,在科学上有很大的突破,在国内外得到高度评价和广泛应用。该方法用于研究信息部分清楚、部分不清楚并带有不确定性现象,为一些内部信息部分确知、部分信息不确知的系统提供了研究手段和方法。信息完全明确的称为白色系统,信息不完全明确的称为灰色系统。合肥工业大学张志俊等认为在水闸安全评估中,勘测、设计、施工资料散失、水下结构检测困难、运行管理记录不全等原因造成了部分信息不完全,水闸病害和老化状态部分明白、部分不明白,状态类似灰色系统理论中的灰色状态,因此可用于水闸安全评估。

(4) 结构可靠度理论评估方法。由于未来荷载的不定性,材料老化的不定性,构件截面尺寸损失的不定性,以及计算模式的不定性等,对于未来预计使用期内水闸的可靠性,只能给出一个概率性质的评估。对于具有上述情况的水闸,可以用结构可靠度理论对现有水闸的可靠性进行定量分析计算。1999 年,合肥工业大学张志俊等提出了该方法,把水闸荷载和荷载效应、水闸结构抗力作为随机变量,构件失效概率采用条件概率法计算。水闸结构体系可靠度分析方法可用近似值分析法计算结构体系的失效概率。根据各个部件之间的连接关系确定可靠性的逻辑关系,看其是属于串联系统还是并联系统:串联系统的失效概率等于各个部件失效概率的乘积;并联系统的失效概率等于各个部件的失效概率之和。根据各个水闸的不同结构布置形式,应用上述逻辑综合方法,推出整个水闸的失效概率。

(5) 多层次模糊综合评判。模糊数学是研究现实中许多界限不分明的问题的一种数学工具,其基本概念之一是模糊集合。利用模糊数学和模糊逻辑,能很好地处理各种模糊问题。1965 年,美国控制论专家、数学家查德发表了论文《模糊集合》,

标志着模糊数学这门学科的诞生。该理论已初步应用于模糊控制、模糊识别、模糊聚类分析、模糊决策、模糊评判、系统理论、决策科学等各个方面。1994年,纪清岩等将该方法引入渠系建筑物老化评判工作中;2004年,王珊红、刘丽将其应用到水闸老化评估中。该方法认为,水闸老化分级的主要目的是评定该建筑物的使用性能,按照老化对水闸建筑物使用性能的影响程度来分级。以实际检测资料和长期观测成果为基本数据,根据模糊变换原理和最大隶属变换原则,考虑与被评估事物相关的各个因素,对主要因素应给予较大的权重值,对次要因素可取较小的权重值,建立因素权重集。采用二级模糊评判,运用模糊数学建立计算模型,分别采用两种合成算子进行分层推理综合。2005年,朱琳等提出了一种基于群决策和变权赋权法的水闸老化模糊综合评判方法。该方法在模糊聚类综合评判方法、指标分级综合评判方法、综合隶属度评判方法和灰色评估方法等基础上,改变固定权重,对建筑物老化病害的评估按功能分解,以建筑物的可靠性为总目标,以安全性、适用性、耐久性基本功能为子目标,以对目标的影响因素为评估指标,建立全面反映系统目标的指标体系。

(6) BP神经网络评估方法。随着20世纪80年代末神经网络研究热潮的兴起,人工神经网络研究在人工智能领域飞速发展。人工神经网络具有较强的多维非线性映射能力,一个三层网络就能以任意精度逼近任意给定的连续函数;而且因为它还具有强大的容错性、鲁棒性及泛化能力,在结构分析与初步设计、结构优化设计、结构损伤检测与评估、结构控制、科学决策、施工工程与管理、岩土及交通工程等诸多方面得到越来越广泛的应用。BP反馈型神经网络是神经网络中最常见的一类网络形式,是目前应用最为成熟的神经网络系统。在水闸安全评估中,由于影响水闸安全的因素复杂,且具有模糊性、不确定性的特点,因而指标权重的选取往往受到主观因素的影响,是导致水闸评估识别结果缺乏一致性和客观性的主要原因。与其他方法相比,神经网络方法在处理具有交叉性指标问题及划分结果的客观性上具有明显的优越性。2004年,秦益平等提出采用BP神经网络评估法分析水闸混凝土工程质量。2005年,何鲜峰等应用BP神经网络开展水闸建筑物的安全等级评估。

(7) 专家系统评估方法。专家系统是人工智能的重要应用领域,诞生于20世纪60年代中期,经过70年代和80年代的较快发展,现在已广泛应用于医疗诊断、地质探矿、资源配置、金融服务和军事指挥等领域。专家系统是一种能像某一领域专家那样向用户提供解决问题方法的计算机应用系统。这种系统主要用软件实现,能根据形式和先验的知识推导出结论,并具有综合整理、保存、再现与传播专家知识和经验的功能。20世纪90年代以来,专家系统在水利行业逐步得到应用和发展。



水闸安全评估的专家系统是合肥工业大学张志俊提出的一种水闸老化状态评估方法。该方法具有透明性，能够解析本身的推理过程，回答用户提出的问题，增加用户对系统所给结论的可接受性，同时具有灵活性，系统能不断修改原有知识，提高性能。

### 1.2.2 相关行业安全评估标准、规范和规程

从我国基本建设投资来看，随着国家经济和社会的全面进步，用于维修改造的投资会逐步增加，以致超过新工程的投资比重（发达国家有的维修改造比重达70%），因而对建筑物的诊断将面临艰巨的任务，对检测方法和评估准则的研究和规范刻不容缓。在国外，如日本、美国、苏联、德国等十分重视这项工作，并设立专门机构，广泛组织力量进行理论研究和技术开发。我国这项工作起步较晚，20世纪50年代，建工部门曾翻译出版了苏联的《建筑物缺陷和对策》，铁道部出版了《铁路维修工作》等书，但直到80年代初，国家强调工业技术改造是工业发展的重要任务后，建筑物诊断问题才开始受到普遍关注。我国建筑物安全评估的主要标准、规范和规程有以下几个：

(1) GB 50144—2008《工业建筑可靠性鉴定标准》。对工业厂房可靠性的评级划分为4个等级。在进行适用条件的调查、结构的鉴定评级、围护结构系统的鉴定评级基础上，采用传力树法（层次分析法）建立工业厂房的综合鉴定评级体系。

(2) JTJ 302—2006《港口水工建筑物检测与评估技术规范》。给出了港口水工建筑物的安全评估分级标准，并将港口水工建筑物的安全等级划分为A、B、C、D四级，采用层次分析法建立综合评估体系。将建筑物的结构构件划分为主要构件与一般构件，通过承载能力极限状态验算，根据结构抗力与作用效应的比值，建立不同的安全等级划分标准。

(3) JTG/T J21—2011《公路桥梁承载能力检测评定规程》，给出了混凝土及配筋混凝土上部结构表观缺损状况评定标准、钢结构表观缺损状况评定标准，并详细列出了桥梁承载能力评定前需要进行详细检测与一般检测的项目。将承重构件实测强度状况评定标准、氯离子含量对钢筋锈蚀影响程度的评定标准等均划分为5级。结合结构验算分析、荷载实验等，建立了桥梁承载能力综合评定的方法与体系。

(4) GB/T 50438—2007《地铁运营安全评价标准》。将地铁运营安全评估体系划分为基础安全评估和事故风险水平评估两类，其中基础安全评估又划分为安全管理评估、运营组织与管理评估等14个评估单元，由赋予主客观权重的各评估单元

构成地铁运营安全综合评估体系。各评估单元的安全评估采用专家组打分的方式进行。

(5) TB/T 2820.2—1997《铁路桥隧建筑物劣化评定标准 隧道》。将劣化评定划分为4个等级,其中A级又细化为AA与A1两级;将隧道的劣化评定内容划分为隧道衬砌裂损劣化评定、隧道结构渗漏水劣化评定、隧道冻害劣化评定、隧道衬砌材料劣化评定4个方面。

(6) JGJ/T 189—2009《建筑起重机械安全评估技术规程》。将建筑起重机械安全等级划分为合格与不合格两个等级,安全评估内容包括重要结构构件、主要零部件、电气系统、安全装置、防护设施等。该规程给出了钢结构裂缝、变形、锈蚀等具体的检测方法,并给出了裂缝、变形、锈蚀检查评级的量化指标。该规程在进行起重机械整机安全评估时同样将评估内容划分为重要项目与一般项目。

(7) GB 50292—2015《民用建筑可靠性鉴定标准》。其对安全性的鉴定评级,是将建筑物划分为鉴定单元、子单元、构件、检查项目4个层次,每个层次划分为4个等级,采用传力树法建立了建筑物安全综合评估体系。

(8) DB 50/273—2008《城市桥梁安全性评估规程》。重庆市地方标准,该标准根据桥梁的重要性和桥梁完好状况,将城市桥梁的安全评估分为三个等级,安全评估等级分“合格”“基本合格”及“不合格”三等。

### 1.2.3 水闸安全评估工作内容

现状水闸安全评估工作主要包括现状调查、安全检测、安全复核和安全评估四部分内容。

#### 1.2.3.1 现状调查

现状调查是安全评估的基础工作,由水闸安全鉴定组织单位按照《水闸安全鉴定管理办法》(水建管〔2008〕214号),组成经验丰富、专业齐备的专家组开展现状调研,并对安全评估工作提出指导性建议。

水闸工程现状调查包括工程技术资料收集、现场检查 and 现状调查分析。收集的工程技术资料应全面、真实、完整,满足安全评估的要求。现场检查应全面,重点检查工程的薄弱部位和隐蔽部位。对检查中发现的问题、缺陷或不足,初步分析其成因和对工程安全运用的影响。现状调查完成后应编制工程现状调查分析报告,报告应明确说明所发现的工程安全问题、隐患和疑点,提出需要进一步检测和复核的内容与要求。



### 1.2.3.2 安全检测

安全检测包括现场检测和检测结果评价。

水闸安全检测项目是在现状调查的基础上，结合工程运行情况及影响因素综合研究确定，主要包括地基土、回填土的工程性质，防渗、导渗与消能防冲设施的完整性和有效性，砌体结构的完整性和安全性，混凝土与钢筋混凝土结构的耐久性，金属结构的安全性，机电设备的可靠性，监测设施的有效性以及有关设施专项测试。

检测结果评价应根据现状调查、安全检测结果，结合工程质量检查、勘察和运行观测等资料，对照相应的设计和施工标准综合分析后进行评估。检测结果评价主要包括：评估工程地质和水文地质条件；评估工程质量是否符合有关标准的规定，并满足工程运行要求；为安全复核和评估提供符合工程实际的参数；为工程维修养护或除险加固等提供指导性意见。

### 1.2.3.3 安全复核

水闸安全复核包括防洪标准、渗流安全、结构安全、抗震安全、金属结构安全、机电设备安全等。防洪标准复核包括洪（潮）水标准、闸顶与堤顶高程、过流能力复核。渗流安全复核包括基底渗流稳定、侧向渗流稳定复核。结构安全复核包括闸室、岸墙的稳定与结构应力复核，以及消能防冲复核。抗震安全复核包括抗震稳定和结构强度计算复核。金属结构安全复核指闸门与启闭机安全复核。机电设备安全复核应评价机电设备能否满足安全运行需求。

安全复核应根据上述各项安全复核结果，分别进行安全性分析，并编制安全复核报告。

### 1.2.3.4 安全评估

水闸安全评估在现状调查、安全检测和安全复核的基础上进行。

水闸安全类别应主要根据安全检测评估的工程质量和安全复核分析的安全性分级结果综合确定。对被评为二类、三类、四类的水闸，要提出处理建议与处理前的应急措施，避免工程老化加剧，避免出现严重险情。

## 1.3 需要解决的问题

随着水闸建设管理的发展，尽管对水闸安全评估的研究已取得了一定的成果，



但由于我国水闸量大面广、形式多样、病害复杂，水闸安全评估工作仍存在一定的滞后，尚有一些问题需要进一步研究和解决。

(1) 病险水闸样本数量及类型。目前的研究成果大多是通过某座闸或某几座闸进行深入研究得出的。对研究对象而言，工程应用效果较好，但样本数量及类型不足，代表性稍差。

(2) 评估指标体系及指标权重。评估指标体系及指标的权重直接影响着评估结果，已有的研究多针对某个具体工程部位，对水闸的整体性安全考虑不充分，存在代表整体性病害的指标和代表细部病害的指标在层次划分上不合理、权重分配上区分不明显的问题。

(3) 水闸安全等级。目前的研究对水闸安全等级的划分，多参照 SL 214—2015《水闸安全评价导则》，分为四类，没有从工程实践角度明确提出可操作性强的划分三类、四类闸的标准；SL 214 中对三类、四类水闸的划分，原则性较强，量化指标相对缺乏，未形成完整的量化评估过程，易造成病险水闸评估结果不准确。

(4) 技术性和经济性。已有的研究多集中在病险水闸当前状态的评估上，对病险水闸的除险加固方案、可加固性、加固后的寿命、除险加固的费用及维修养护费用等因素考虑较少。

## 1.4 本书主要内容

作者在前人研究成果、工作经验的基础上，结合多年从事水闸安全评估工作的经验和体会编著了本书，主要内容如下：

(1) 针对以往水闸安全评估研究对象仅为某座闸或某几座闸，代表性不足的问题，从淮河流域 2008 年开展的大中型病险水闸除险加固专项规划工作中列入规划的 598 座大中型水闸中选取了具有代表性的 58 座水闸工程作为样本，包含节制闸、挡潮闸、分洪闸、排水闸、进水闸和防洪闸 6 个类型的水闸。通过收集相关资料，并进行现场调研和补充检测，对水闸的病害及其表现形式进行了统计分析。在此基础上，建立水闸病害样本库，为后续工作提供基础支持和数据支撑。

(2) 在病险水闸调研统计分析的基础上，定义水闸病害；从规划设计、建设管理与工程施工、环境与荷载、运行管理 4 个方面分析病害的成因；按安全评估要素将病害归纳为 6 个类别：防洪能力、结构安全、渗流安全、工程质量、金属结构及电气设备、运行管理。

(3) 采用故障树分析法对水闸工程的不安全因素进行分析，建立了水闸工程不