

# 基于人工智能的水工金属结构安全评估系统初步设计

杨光明

(河海大学水利水电工程学院,江苏 南京 210098)

**摘要** 将水工金属结构可靠性作为评估总目标,以主要影响因素构成主框架,建立水工金属结构安全综合评估体系结构,运用人工智能技术初步设计与构建水工金属结构安全评估系统框架结构.从水工金属结构领域知识的构成出发,对知识库系统的框架结构等进行了设计与论述,运用该系统实现了对具体工程的水工金属结构安全评估.

**关键词** 水工金属结构;安全评估;人工智能;知识工程

**中图分类号** TV34;TP18 **文献标识码** A **文章编号** 1000-1980(2006)06-0645-05

20 世纪 80 年代末,我国逐步开展对水利水电工程金属结构的安全评估工作<sup>[1-2]</sup>.水工金属结构安全评估系统是基于人工智能技术的综合评估体系.一方面借用专家系统<sup>[3-4]</sup>的成功经验,进行某些评估对象的定性判定;另一方面结合现有的计算机软件包,进行某些评估对象的定量判定.

本文将水工金属结构可靠性作为评估总目标,建立水工金属结构安全综合评估体系,为水利水电工程金属结构进行快速有效的评估提供一种实用、有力的平台.

## 1 评估指标体系的确定

通过对水工金属结构失事原因进行剖析可知,影响水工金属结构安全的主要因素包括枢纽布置、设计、水力学、制造安装质量、材质、运行管理等,这些因素往往共同起作用.

安全评估是以对象的可靠性为评估总目标,总目标由安全性和耐久性两项子目标组成,再分为一级指标、二级指标两个层次.根据安全评估指标体系,列出评估项目等级指标,并根据评估项目对金属结构可靠性的影响程度,分析和确定子目标、一级指标和二级指标的权系数.本文的安全评估指标体系和评估等级指标见文献[5].

经综合评估得到评估对象的安全级别.Ⅰ级:设备为可安全运行等级(安全);Ⅱ级:设备为病级(基本安全);应针对存在的不安全因素,做加固、维修处理后,可继续运行;Ⅲ级:设备为危险级(不安全),应采取更新改造等措施.

## 2 系统设计

### 2.1 系统框架结构

运用人工智能技术<sup>[6-12]</sup>,采用类似专家系统的方法进行定性项目的等级判断.

运用数据库技术<sup>[13]</sup>,以数据库应用程序的形式进行定量项目的计算分析以及等级判断.本文的安全评估系统在数据库中主要存储了两类数据:一类是各种金属结构(如闸门、启闭机)的技术参数,以及构件尺寸、荷载情况等;另一类是各种检测具体数据,如零部件、闸门蚀余厚度检测结果以及相关的等级指标等.

随着安全评估经验的积累,专家可能会更新经验知识,包括修正现有知识的错误、发现新知识等.同时,随着数据库中检测数据的大量积累,通过运用数据挖掘等技术,评估系统能够部分地代替专家来发现新知识.在评估系统当前的框架结构中,知识发现模块被设计成一种扩展功能,评估系统的建立将为这一功能提供基础支持.

为实现系统的目标和各项功能,在分析国内外各领域专家系统特点的基础上,结合本领域的实际情况,提出了“一机三库系统”的设计思想,即综合智能推理机、知识库系统、数据库系统和方法库系统。

将有关的安全法规、规程、规范以及专家经验知识归纳整理成知识库,将专家的推理分析与综合评价经验整理成综合推理机,并将知识库、数据库、方法库和综合推理机相结合,从而构成“一机三库”的完整评估系统。水工金属结构安全评估系统框架结构如图1所示。

三库管理系统是执行三库的管理操作功能,因此,可将三库管理系统与其对应的库结合起来,称为三库系统。用户通过各库管理子系统可以完成数据的插入、更新、查询等任务。

整个系统是一个三层体系结构。三库系统是系统的底层结构,用于知识、数据和方法的存储及管理。综合推理机与评估子系统是系统的第二层结构。综合推理机通过三库管理系统实现对三库的调用,完成其推理功能。评估子系统主要是用以构建系统的安全评估体系、评估模型以及综合分析评价模块等,实现金属结构安全评估等级的判定。最上层是系统的总控层,实现系统各模块的控制调用,提供系统操作的人机界面。

2.1.1 评估子系统

评估子系统主要是用以构建系统的安全评估体系、评估模型以及综合分析评价模块等,实现金属结构安全评估等级的判定并根据判定结果给出相关的建议。

2.1.2 推理子系统

推理机制是系统的核心部分。推理子系统的主要任务是模拟领域专家的思维过程,控制并执行对问题的求解,根据数据库中的事实数据,利用知识库中的知识,按一定的搜索方法和控制策略进行推理分析,推导出所要求解问题的结论,并对推理过程与结论进行解释。

系统进行综合推理时,可通过三库管理子系统实现对三库的调用,并将推理过程中产生的结果返回三库。综合推理机和三库管理子系统的综合调用由系统总控实现。推理的机制与方法决定了系统推理机功能的发挥,目前,推理机制主要有正向推理、反向推理、混合推理以及元控制等。综合推理机主要是对评估体系的定性指标进行分析评判。

2.1.3 知识库系统

知识库系统的基本部件是知识库,知识库是用来存储不能用一般数据库和模型库存放的更为复杂的知识类型,包括各类规程、规范类知识以及专家经验的启发性知识,以构成各类评判准则和规则。知识库是问题求解所需要的领域知识的集合,已经有许多不同的知识表示技术,包括规则、语义网络、框架、脚本、知识表示语言如 KL-ONE<sup>[4,14]</sup>,以及最近用于表示 Web 知识的 RDF 和 OWL 本体描述语言。本系统采用了基于规则的产生式表示。

除了等级判断规则,本系统还设计了一些约束规则以及建议规则。等级判断规则按照各评估指标项分类组织,主要用于判断各指标项的等级;评估约束规则不仅包括同一指标项中的各种约束,还包括不同指标项之间的相互制约与联系,主要用来提高评估结论的准确程度;评估建议规则给出了各种等级相应的整改建议。如:

评估约束规则:

评估建议规则:

CR1 :IF 轨道严重磨损 THEN not 轮子无磨损

SR1 :IF 轮子严重磨损 THEN 修复磨损的轮子

CR2 :IF 轮子严重磨损 THEN not 轨道无磨损

SR2 :IF 轮子丢失不全 THEN 补齐丢失的轮子

知识的管理由知识库管理子系统完成,可实现知识的输入、编辑、调用、查询,可通过机器的学习系统实现知识的不断获取与更新。在用户更新知识库时,系统将检测可能存在的等价、冗余、矛盾规则等,以保持知识的一致性。

2.1.4 数据库系统

数据库的设计首先应进行需求分析,再进行概念数据库和逻辑数据库的设计,形成特定的数据模式,最后进行物理数据库设计,优化数据库的存储结构。需求分析和概念设计可以独立于任何数据库管理系统,逻

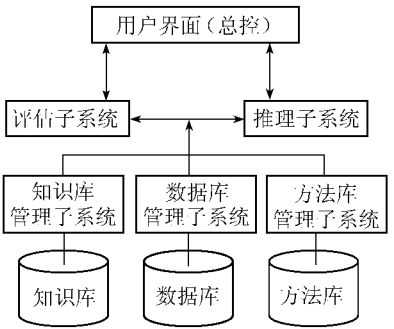


图1 系统框架结构  
Fig.1 Framework of evaluation system

辑设计与物理设计和数据库管理系统密切相关。

数据库是系统进行综合分析评价的定量依据,其管理由数据库管理子系统来完成,可实现数据的输入、存储、修改、更新、删除与查询,提供有关分析报告、评估报表。

2.1.5 方法库系统

方法库及其管理子系统是用于方法信息的存储和调用管理的计算机软件系统,存储与工程安全监测及评估有关的计算分析程序。本系统的方法库主要包括:检测数据预处理及检验模块、检测数据统计分析模块、结构分析计算程序、启闭力分析计算程序、综合分析评估模块和辅助决策模块等,用以定量分析评判水工金属结构的安全状况。

2.2 系统总控设计

系统总控(人机界面)建立系统各部分之间的联系,提供系统主菜单及选单功能,保障各库和各子系统的协调运行,并提供系统的安全保密机制。

系统总控主要由系统操作主菜单、评估子系统、数据输入管理、综合信息管理(MIS)、综合评价分析、系统安全和系统参数管理、系统环境与设备管理以及联机帮助管理等功能模块组成,其控制菜单如图 2 所示。

2.3 评估系统软件结构流程

系统软件采用可视化程序设计语言 Visual Basic 进行编程,用户界面设计采用一些控制组件进行参数的选择与输入以实现人机对话,并利用梯形分层设计的方法使每一层的评估结果都能得以显示出来。评估软件主程序结构流程是调用评估子系统内的评估模型,参数的输入与修改,各项目的等级指标分值计算或级别的确定,并对各层次的子指标进行权系数分配,再从方法库中调用评估矩阵自下而上计算各子指标及总目标的评估值,系统自动进行综合评估,并显示各层次的评估结果、安全等级以及相应的处理意见等。系统评估流程见图 3。

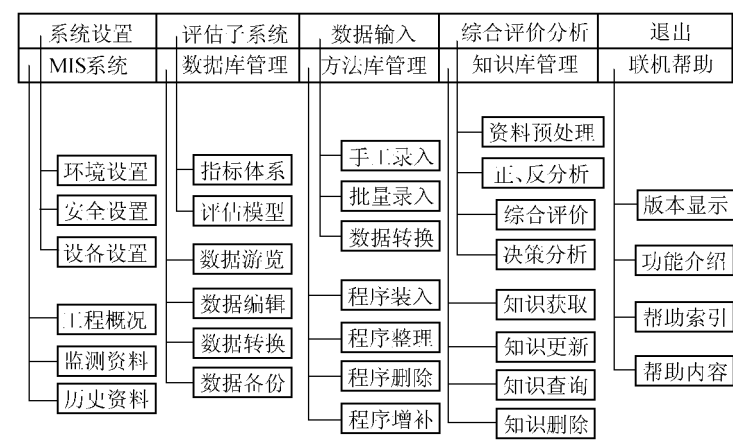


图 2 系统总控结构

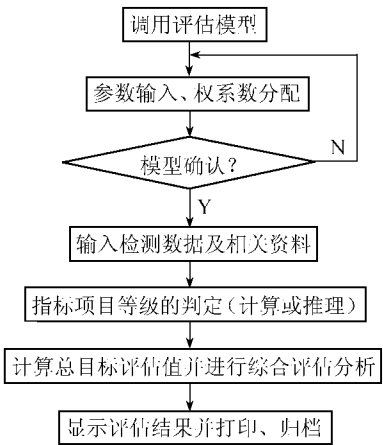


图 3 系统评估流程

Fig.2 General control structure of evaluation system

Fig.3 Flow chart of evaluation system

3 系统实现与分析

3.1 评估系统实现

某大型工程水闸,设有 16 扇 12.0m×7.5m-7.5m(宽×高-设计水头)平面钢闸门,启闭设备为固定卷扬式启闭机,其额定容量为 2×350kN。对该闸进行安全评估时,现场进行了闸门外观检测、锈蚀量检测、焊缝探伤、材料检测、结构应力检测,启闭机运行状况和启闭力检测等。利用本系统对其进行安全评估。

3.1.1 选择评估模型与评估指标

调用评估子系统内的评估模型进行系统评估。本系统目前只包含一个综合评估模型。选出一级和二级评估指标,根据提示输入相关参数,并分别给出各指标项的权系数。本评估项目由用户确定的二级评估指标项为  $t_1, t_2, \dots, t_{23}$  共 23 项。

3.1.2 模型确认

根据系统提示选择或输入参数完成后,系统显示用户所建立的模型,并由用户进行确定。若用户还需要进行修改,则系统将返回上一层进行修改,直到用户确认为止。

3.1.3 检测数据、资料的输入与检验

输入检测数据、资料后,系统将对用户所输入的各种数据、资料进行正确与合理性的检验.当数据资料出现异常时,系统将错误信息反馈给用户,由用户进行检查、分析处理.

3.1.4 评估指标项的等级判断

评估子系统依次判断指标项  $t_1, t_2, \dots, t_{23}$  的指标等级.  
如果  $t_i$  由计算得出,评估子系统调用方法库管理模块,方法库管理模块又调用数据库管理模块来获取计算参数,并激活相应的计算组件,计算出评估指标  $t_i$  的等级.  
如果  $t_i$  由推理得出,评估子系统调用知识库管理模块,知识库管理模块调用推理机来判断出相应的等级.在推理过程中,如果输入的数据不满足相应约束规则,可以通过与用户进行适当的交互来修正原先的事实,直到满足约束规则为止.

定性指标项的等级判断过程(图 4)如下 (a)根据评估约束规则,推理机检测用户输入的事实表是否合理 (b)根据所要判断的指标项,由相应等级判断规则推出指标的等级 (c)再次检查该指标的等级是否满足评估约束规则; (d)由判定的等级以及事实表给出评估意见.

3.1.5 计算目标评估值

根据指标项  $t_1, t_2, \dots, t_{23}$  的指标等级,评估子系统调用评估矩阵分别计算出各子目标以及总目标的评估值.评估计算结果为:一号子目标的评估值  $q_1 = 1.904$ ;二号子目标的评估值  $q_2 = 0.756$ .总目标的评估值  $P = 2.66 < 2.7$ .

3.1.6 综合评估分析

系统根据总目标的评估值  $P$ ,调用知识库管理模块,确定评估对象安全等级,并运用知识库中的评估建议规则给出相应的评估建议.系统显示最终的综合评估与决策分析结果.

评估结论:该闸水工金属结构设备被评定为Ⅲ级设备(危险级),应进行报废更新处理.  
评估建议 (a)闸门及启闭机在更新前应控制水位运行 (b)闸门及启闭机更新设计时,应充分考虑运行管理中存在的问题,以及运行管理所必需的设施.为管理单位创造良好的运行管理条件.

某水闸工程,闸门为平面定轮钢闸门,板梁结构.运行超过了 30 a,设计上存在缺陷较多.对该闸的金属结构已进行了一般性的安全检测与评估,其评估结论为:闸门为Ⅱ级(病级)设备,针对存在的问题局部应进行加固、更新处理,如对支承轮进行大修、更换闸门边梁和止水、对设计缺陷应尽量进行补救、管理上要加强软件建设等.

利用已有的检测数据和资料,采用本系统对其进行人工智能评估(二级评估指标项共 13 项),子目标以及总目标的评估值如下:一号子目标评估值  $q_1 = 2.17$ ;二号子目标评估值  $q_2 = 0.67$ .总目标评估值  $P = 2.84 > 2.7$ .

由本系统得出的综合评估结论(Ⅱ级设备)以及评估建议与上述一般性的人工评估结论基本相吻合.由此可见,本系统的评估结果是可信的.

3.2 评估系统分析

水工金属结构安全评估指标既有定量分析判断指标,又有定性分析判断指标.以往一般性的评估工作都是依靠人工根据规范、标准及专家经验知识来进行的,不但计算、分析工作量大,而且往往会受到人为因素的影响.其中,对于一些定性分析判断指标,如零部件、气蚀等指标,受检测与评估人员的经验、专业水平和知识层次不同的因素影响较大,可能由不同人员对同一项指标进行检测而得到完全不同的评估结果.而专家系统则能较好地解决这个问题,专家系统(ES)是人工智能和数据库结合的产物,是一个在某一特定领域内能运用人类专家的丰富知识进行推理求解的计算机程序系统,能够模拟人类专家在解决专门问题时,根据事实和科学原理,应用经验知识作出符合客观规律的推理思维过程<sup>[15]</sup>.专家系统是基于知识的智能系统,常用于那些没有合适算法、无算法,而推理是唯一可行的情形,主要处理的是非数值因素和不确定因素.

评估系统采用计算机技术实现应用知识的推理过程,使得一些问题能够得到较满意的解答,具有人工智能的特点.例如:对前例工程评估中的制造、安装评级以及性能等评估指标,由于各种原因使得质量合格证或验收合格证等相关资料缺乏,一般检测与评估人员是很难对其指标等级作出评判的.而通过本系统利用专家

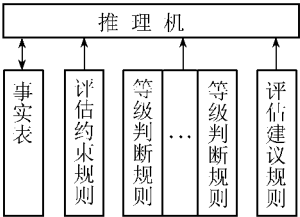


图 4 定性指标推理评判过程  
Fig.4 Inference process of qualitative evaluation index

丰富的经验知识 ,运用推理技术进行推理评判 ,可使该问题得到较满意的解决 ,从而使得安全评估结论更合理、更接近于实际情况 .

## 4 结 语

水工金属结构安全评估智能系统是一个以人工智能技术和数据库技术为基础的 ,集现代计算机技术、软件工程技术、水工金属结构安全监测与评估技术等为一体的高科技集成系统 ,为水利水电工程金属结构进行快速有效的评估提供了一种先进、实用、有力的平台 .水工金属结构安全评估智能系统的建立与实现运用是今后水利水电工程安全监控发展的必然趋势 ,本文仅对评估系统进行了初步的分析研究与设计 ,有些方面还不太完善或需要进行进一步研究 .随着各相关学科技术的不断完善与发展 ,以及本系统各组成部分功能的不断完善和扩展 ,如评估模型的扩展、运用数据挖掘等知识发现技术设计扩展知识发现模块、在规则中增加可信度以及增加网络计算功能等 ,该评估系统的功能将更加完善 ,系统将更加成熟 ,评估结果将更加合理、可靠 ,更接近于实际 .

### 参考文献 :

[ 1 ] 汪滨 李军 .水电工程钢结构评估软件开发 [ J ]. 水利水电技术 ,2003 ,34( 3 ) 5-8 .  
[ 2 ] 张志俊 吴太平 闪黎 .水闸老化的模糊集合论评估方法 [ J ]. 水利水运科学研究 ,1998( 3 ) 249-254 .  
[ 3 ] 吴中如 顾冲时 .大坝安全综合评价专家系统 [ M ]. 北京 :科学技术出版社 ,1997 :1-144 .  
[ 4 ] JOSEPH G ,GRAY R .Expert systems principles and programming [ M ]. 北京 :机械工业出版社 ,2000 :1-420 .  
[ 5 ] 杨光明 .水工金属结构安全评估系统设计与研究 [ D ]. 南京 :河海大学 ,2005 .  
[ 6 ] 王文杰 叶世伟 .人工智能原理与应用 [ M ]. 北京 :人民邮电出版社 ,2004 :1-271 .  
[ 7 ] 杨叔子 郑晓军 .人工智能与诊断专家系统 [ M ]. 西安 :西安交通大学出版社 ,1990 :1-155 .  
[ 8 ] HAYES-ROTH F .The knowledge based expert system [ J ]. A Tutorial ,IEEE Computer ,1984 ,17( 9 ) :11-28 .  
[ 9 ] AVRON B ,EDWARD A F .The handbook of artificial intelligence [ M ]. Stanford :HeurisTech Press ,1981 .  
[ 10 ] WATERMAN D A .A guide to expert systems [ M ]. New York :Addison-Wesley ,1985 :1-419 .  
[ 11 ] HAYES-ROTH F ,WATERMAN D A ,LENAT D B .Building expert systems [ M ]. New York :Addison-Wesley ,1985 :1-265 .  
[ 12 ] 林尧瑞 张钹 石纯一 .专家系统原理与实践 [ M ]. 北京 :清华大学出版社 ,1998 :1-265 .  
[ 13 ] 王能斌 .数据库系统原理 [ M ]. 北京 :电子工业出版社 ,2000 :1-456 .  
[ 14 ] STUART R ,PETER N .Artificial intelligence :a modern approach [ M ]. New York :Prentice-Hall ,1995 :1-217 .  
[ 15 ] 张全涛 周建峰 .专家系统建造原理及方法 [ M ]. 北京 :中国铁道出版社 ,1992 :1-455 .

## Design of safety evaluation system of hydraulic metal structures based on artificial intelligence

YANG Guang-ming

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

**Abstract** :A comprehensive safety evaluation system was developed to evaluate the reliability of hydraulic metal structures based on artificial intelligence with main influencing factors taken into account , and the structural framework for the system was also constructed . Moreover , a framework of knowledge base system of hydraulic metal structures was designed and introduced , and the safety evaluation of a hydraulic metal structure for a practical project was made by use of the present system .

**Key words** :hydraulic metal structure ; safety evaluation ; artificial intelligence ; knowledge engineering