

·成果简介·

# 我国厂房结构可靠性评定专家系统已投入应用

秦 权

(清华大学土木系)

[摘要] 本文介绍了国家自然科学基金委员会“七五”重大项目“工程建设中的智能辅助决策系统”中关于已有厂房可靠性评估的两个专家系统。这两个专家系统已投入应用。

## 一、课题的背景

我国现有工业建筑面积已超过13亿平方米,其中使用期超过30年的占53%,超过40年的占13%。这样大比例的旧厂房存在着两个方面的问题:一是先天不足。设计所依据的规范技术落后,加之“大跃进”、困难时期和文革时期的设计质量及施工质量差,使得许多厂房刚建成就带有各种隐患;二是后天缺少养护。我国的工业建筑迄今没有严格科学的检查维修制度。房子建成后只用,不养护。还有一些非土建部门的人任意在厂房结构上增减构件,任意增加荷载,改变了厂房构件的受力状态,降低了厂房的安全性。我国的建筑荷载规范是按照30年设计基准期统计的,使用期超度30年设计基准期后,即使不计结构构件的蜕化及损坏,厂房结构的安全度也将降低。因此,我国现有的大批旧厂房的安全性是令人担忧的。加之,随着我国地震工程学的发展,对我国各地地震活动的规律已有了更深入的认识,在此基础上,建设部对部分大中城市的抗震设防烈度进行了调整,总的趋势是提高抗烈度。

另一方面,像所有发达国家一样,我国建筑业的重点由兴建新建筑物逐渐转到翻修改造已有建筑物上来。改造利用已有建筑物并非一时的权宜之计,而是一个国家的建设达到一定水平后必然采取的长期政策。

改造利用已有建筑物,首先需对其进行鉴定及诊断。这个工作要比设计一座新建筑困难得多,它不但要求工程师需熟悉老建筑规范及老施工方法,以便找出其薄弱环节,而且还需检查多年的使用对厂房造成的损坏,以便采取加固措施。这种对老旧厂房可靠性的评定工作很大程度上依靠对结构承载体系进行检查,由结构及构件的表面状况推断其内在的损伤程度,从而判断其现有实际承载能力。这类工作更多的是依靠经验进行推理和判断,当然也需要进行一些计算。因此,我们在这方面的研究工作中使用了知识工程和专家系统技术。所完成的结构物评价系统包含符号推理和数值计算两方面的内容。

自70年代知识工程及专家系统技术出现以来,已取得了显著的成就,为其它领域推广应用打下了基础。其最主要的成果就是许多符号推理系统的完成,它们能模仿人类专家解题时的思维活动。本课题就是在这一背景下立题的。我们在选题时还注意到,虽然我国具备大量的结构设计专业人员,但其中适合于进行已有厂房评定的人员很少。而且,由于缺少合适的

本文于1993年3月9日收到。

教材,在可预见的时期内不会成批地培养出合格的专业人员从事这一工作。而知识系统软件的传播要比培养人才迅速得多,这一点正适合于我国建筑业目前的需要。

本课题是国家自然科学基金委员会“七五”重大项目“工程建设中的智能辅助决策系统”的一个二级子课题,负责人是清华大学土木系刘西拉教授和秦权教授。经过5年研究,我们完成了6套可运行的软件:混凝土门式刚架可靠性评估专家系统 RAISE-1,混凝土单层厂房可靠性评估专家系统 RAISE-2,混凝土单层厂房可靠性评估与对策专家系统 RAISE-3,混凝土单层厂房破损评估专家系统 RACODE-1,单层混凝土厂房抗震评定专家系统 SASIBR,和大体积现浇混凝土结构裂缝诊断与对策专家系统 CRACK。上述系统均已通过科学技术鉴定,有些系统已经用户使用一年以上。其中 RAISE-1 是我国结构工程领域第一个专家系统,获得了1989年四川省科技进步奖。由于篇幅所限,下面仅介绍其中的两个系统,即 RAISE-3 和 SASIBR。

## 二、混凝土单层厂房可靠性评估与对策专家系统 RAISE-3

本系统可评价混凝土单层厂房的所有部件的安全性、适用性及耐久性,还可评价厂房的结构方案,整体性,以及厂房的基础和地基。评价过程包含安全度计算。此外,本系统还对破损部位进行诊断,并推荐补强加固方案。

本系统在 AT 及更高性能的微机上运行,使用 GCLISP 语言实现。

本系统的研制单位是清华大学、四川省建筑科学研究院和四川大学。清华大学的刘西拉,四川省建筑科学研究院的曹居易和张宽权,以及四川大学的李中夫等人参加了研制工作。

RAISE-3的可靠性评估模块首先根据初始调查结果生成厂房的结构系统,然后自动生成各构件安全性及适用性因素关系图,结构耐久性评估因素关系图,和厂房单元的结构方案评价、结构整体性评价、场地与地基评价的因素关系图。RAISE-3通过进一步获取的信息,根据厂房结构系统和前面产生的各种因素关系图,再生成厂房可靠性评估因素关系图。

上述因素关系图是厂房可靠性评估推理体系的基础。因素关系图有六种类型的节点,其中四种节点对应确定性的数据,两种对应于不确定的数据。六种类型对应六种不同的推理方法。如 OR 型节点对应于  $1-y = \max(1-x_i)$ , AND 型节点对应  $1-y = \sum w_i(1-x_i)$  ( $w_i$  为权重)等。由于这个模块需要厂房各类构件的安全系数,因此 RAISE-3 中加入了计算排架柱、柱基础、屋架、屋面板、梁等构件安全系数的子程序,这些子程序都是按现行规范编制的。

破损原因诊断模块采用联想模型诊断墙体破损原因,采用模式识别诊断其它构件(如屋架、排架柱、吊车梁、屋面板等)的破损原因。模式识别是联想模型的特例。联想模型的工作原理如下:首先由单层厂房诊断专家开列出每类构件的所有可能的破损模式的清单,每个破损模式给以代号  $M_{ij}$  ( $i$  表示构件类型,  $j$  表示破损模式);再开列出所有可能的破损原因类  $K_{ik}$  ( $i$  表示构件类型,  $k$  表示破损原因类别),破损原因类的一个例子是由于地基变形引起墙体破损,而地基变形又包括多种不同的变形,引起墙体的破损模式也不同;然后再由专家开列出每个破损原因类中包括的单个破损原因  $C_{ik}$  清单。这样就形成了三个集,如果按上述次序将它们按上、中、下三层存放,各层元素之间的联系通过联想实现。这样就可由破损模式寻找破损原因,也可反过来由破损原因寻找破损模式。

一般说来,构件破损时表现出来的破损现象是若干破损模式的组合。通过上述联想模型,对表现出的各种破损模式逐个寻找破损原因,最后总能找到破损原因。RAISE-3在寻找破损原因类和破损原因时,还收入了专家提供的可能度,即 $M_{ij}$ 和 $K_{ik}$ 间联系的强度,及 $K_{ik}$ 及 $C_{il}$ 间联系的强度。通过变权方法给出不同破损原因的可能度大小,由之确定最可能破损原因。

RAISE-3的补强加固部分收入了“钢铁工业建(构)筑物可靠性鉴定规程(YBJ-88)”和“混凝土结构补强加固技术规范(送审稿)”的有关内容。它先按YBJ-88给出构件及厂房的破损等级(这里使用了四级系统),再根据评价等级和可靠性评价值推荐补强加固方案。

RAISE-3由推理机,人机界面及知识库组成。推理机包含六个独立的推理机,即:生成结构系统的推理机,生成因素关系图的推理机,可靠性评估推理机,基于模式识别的破损诊断推理机,基于联想模型的破损诊断推理机,以及补强加固方案推理机。

RAISE-3采用了菜单方式,内外存交互,随机调用,及图形交互技术。用框架表示知识。全部系统可在微机上运行。

该系统在评估成都无缝钢管厂的16万平方米现有厂房时,给出的结论与专家评估结果对比,符合程度十分满意。

### 三、单层混凝土厂房抗震评定专家系统 SASIBR

本系统首先对各类钢筋混凝土柱单层厂房进行抗震鉴定,然后对可能的震害进行预测和评定。运行结束后给出加固部位清单,并给出加固方案。

SASIBR 是根据下述实用性原则建立的

1. 知识的完整性。它包含了钢筋混凝土柱单层厂房抗震鉴定所需的全部知识,既包括构造检查方面的知识,也包括有限元动力分析及强度验算程序。

2. 知识的权威性。SASIBR 收入了“建筑抗震鉴定与加固设计规程(送审稿)”及国家规范“建筑抗震设计规范 GBJ11-89”连同它们的条文说明中有关的全部知识,以及有关章节主要编制人员的权威性解释。

3. 对运行环境要求低。SASIBR 能在 AT 兼容机及 DOS 操作系统下运行,有汉字库或汉卡就可工作。

4. 便于使用。SASIBR 完全以汉字标准术语交互,有多种图形功能,尽可能减轻用户的输入数据工作,能按实际鉴定工作要求分阶段运行,可随时停机,再启动后由间断点继续运行,而不丢失数据。

5. 运行迅速。能在少得多的时间内给出符合要求的鉴定报告。

SASIBR 经五年研制,并经某设计院试用后进一步改进,随后通过了冶金部组织的科技成果鉴定,目前已经实用。它对厂房逐单元、逐跨、逐部位进行检查判断,需要抗震强度验算时,自动启动内设的计算程序计算出有关构件的安全度,并将结果返回知识库继续推理,然后打出鉴定报告,其中包括不合格部位清单。最后给出总体评价。目前知识库中共有400余个事实及600条规则。连同其中的有限元程序,整个系统共有1.8万行语句。以5张5.25"双密度软盘提供,并附有7.7万字的使用手册。

SASIBR 知识库中包含了195个市县的设防烈度,包含影响厂房抗震性能的整体因素(如厂房的重要性等级、地形及地基异常、环境影响(指次生灾害)及厂房纵横向的不规则性),

还包括了单层厂房5种主要部件(天窗、屋盖系统及连接、墙体、柱间支撑及排架柱)的抗震鉴定知识。这五大部件的知识分成五个子库,每个子库中收入了该部件所有构件及连接的抗震鉴定要求,是SASIBR的知识库的主要内容。此外,还有一个子知识库收入了综合评价知识。

SASIBR还备有5个外部程序,即:(1)读入数据程序PR,它读入只由抗震强度验算所需,而知识库不需要的数据。(2)前处理程序PG,可对多达六跨的不等高厂房建立计算简图,自动编节点号及单元号,处理双肢柱及腹板有大孔的工形柱,自动将墙体质量向节点集中,自动产生柱牛腿上的吊车荷载,并能规定与恒载、活载、雪载、灰载及吊车桥架荷载的12种荷载组合。(3)平面杆系弹性有限元动力通用分析程序PS,它既可与知识库接通,也可以独立使用。(4)钢构件及混凝土构件强度验算程序PSA,其内容完全按1992年7月起在全国正式启用的“混凝土结构设计规范GBJ10-89”和“钢结构设计规范GBJ7-88”编制。(5)图形程序PP,与上述四个程序均有接口,可显示排架计算简图、荷载、自振振形、材料类型、位移、内力(包括轴力、弯矩及剪力)及安全度等图形。它备有菜单,可由用户控制图面比例、图面内容及字符尺寸。

SASIBR采用黑板结构,不同子知识库之间,知识库和外部程序之间通过黑板共享信息。它用产生式规则表示知识,以向前链接进行推理,采用深度优先的搜索方式。为处理抗震验算所需的大量数据,SASIBR有一个专门设计的数据库管理系统。

SASIBR采用以下5种方式减轻用户输入数据的工作量:(1)自动生成输入数据调查表,用户不必为抗震鉴定应输入哪些数据而花费许多时间。(2)文件输入与屏幕输入自动交替进行,成组数据宜由数据文件输入,当漏掉数据或需修改数据时可由屏幕输入。(3)把习惯做法变成默认值存入调查表,此时只要打回车键即完成了输入。(4)立即数检功能,当数据类型错或过大过小时,立即提示出错信息。(5)运行过程可随时中断甚至停机,以便修改数据或外出获取新的数据。修改后再执行时,SASIBR自动由间断点继续运行。

由于SASIBR将推理与有限元计算包含在一个软件中,所以大大加快了鉴定的进度。

用户用SASIBR对两座经加固设计及抗震鉴定的厂房及两座新设计的厂房(分别为单跨厂房,双跨不等高厂房和四跨不等高厂房)进行鉴定,所得结论与专家所做的抗震鉴定结论一致,而且SASIBR给出的鉴定报告内容完整,结论正确,与有关规范、规程要求一致。用户还认为:由于SASIBR完全汉字交互,因此易学易用,操作方便。

## EXPERT SYSTEMS BEING PRACTICALLY APPLIED IN EVALUATING RELIABILITY OF RC INDUSTRIAL BUILDINGS

Qin Quan

(Department of Civil Engineering, Tsinghua University)

### Abstract

The paper describes 2 expert systems evaluating reliability of RC industrial buildings. The concerned knowledge representation, architecture of knowledge bases and implementation of the 2 systems are discussed.