

吴中如 顾冲时 著

大坝安全综合评价 专家系统



8.2

北京科学技术出版社

大坝安全综合评价专家系统

吴中如 顾冲时 著

北京科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

大坝安全综合评价专家系统/吴中如,顾冲时著. —北京:北京科学技术出版社,1997. 12
ISBN 7-5304-2017-8

I. 大… II. ①吴… ②顾… III. 大坝—安全性—综合评价—专家系统 IV.
TV698.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 25405 号

北京科学技术出版社出版

(北京西直门南大街 16 号)

邮政编码: 100035

各地新华书店经销

河北三河市腾飞胶印厂

*

787×1092 毫米 16 开本 9.75 印张 234 千字

1997 年 12 月第一版 1997 年 12 月第二次印刷

印数 1—1000 册

定价:23.00 元

内 容 简 介

专家系统是人工智能的一个重要分支,是当代信息科学中的前沿学科,与机器人、平行计算并列为当代的三大学科前沿,正日益应用于国民经济的众多领域。本书针对大坝等水工建筑物的特点,开发适用于大坝安全分析和评价的专家系统。全书共分六章,全面系统地论述专家系统的总体结构、“一机四库”(综合推理机、知识库、方法库、工程数据库和图库)的专业内容与网络以及软硬件开发环境,最后介绍应用于龙羊峡工程的实例。本书可作为从事水利水电工程管理、设计、施工和科研技术人员的参考书,也可作为“水利水电工程建筑”、“工程力学”、“计算机工程”及其相近专业的本科生和研究生的教材或参考书。

序

中国是举世闻名的治水大国,具有悠久的筑坝历史。50年代以来,我国的坝工建设向各种现代化坝型发展,建成了大、中、小型堤坝 8.6 万余座,其中包括坝高 178 米的黄河龙羊峡重力拱坝和坝高 165 米的乌江渡拱形重力坝,以及总混凝土量达 1000 万米³ 以上的长江葛洲坝大坝工程等。这些工程的建成,不仅为我国的防洪、发电、供水、航运等方面作出了巨大贡献,也使我国的坝工技术水平,包括勘测、科研、设计、施工和管理的水平,达到了一定的高度,在不少方面已处于国际前列。

随着大坝运行时间的延长,不少工程已运行 30 年以上,工程老化问题已日益突出。大坝的安全问题,已引起普遍关注。为此,电力部成立了“水电站大坝安全监察中心”,水利部成立了“大坝安全管理中心”,组织开展了多方面的研究,取得了很大进展,积累了宝贵经验,对不少大坝作出了符合实际的判断,获得了显著的经济效益和社会效益。然而,这些综合分析和评价都是由经验丰富的专家组完成的,还缺少一套能充分反映专家知识和经验的专家系统。吴中如和顾冲时两位教授合著的《大坝安全综合评价专家系统》一书,恰好填补了这方面的空白。此书的出版必将为我国大坝的安全和改善运行管理作出贡献。

欣喜之余,写了个人感受,谨以为序。

中国科学院院士 龚国仁

1997 年 12 月

前 言

建国以来,我国修建众多的拦河大坝,这些工程在国民经济中发挥巨大的社会效益。然而,相当一部分大坝存在某些不安全因素。这将不同程度地影响工程效益的充分发挥,甚至威胁下游千百万人民的生命财产安全。与此同时,大坝的规模日趋巨大(如三峡、龙羊峡、二滩等),大坝的安全显得尤为突出。

以往通常采用分析观测资料,建立数学监控模型的方法,对大坝的工作性态进行分析和监控。作者在1990年撰写的《水工建筑物安全监控理论及其应用》专著中系统地总结了这方面的成果。在近几年来,结合实际工程和国家科研项目,作者一方面继续研究和发展大坝安全监控理论及其应用,如空间位移场模型、综合分析和安全评价理论、混沌理论在大坝安全监控中的应用、时效分量的力学模拟分析等;另一方面应用人工智能以及作者与同仁们的多年研究成果,研制和开发了“大坝安全综合评价专家系统”,并应用于龙羊峡等工程。本书重点介绍后面部分的成果。为了将本成果尽快地推广应用于实际工程,作者在北京科学技术出版社的大力支持下,出版本书。

本书主要论述“大坝安全综合评价专家系统”(以下简称“专家系统”)的总体设计,系统中的综合推理机、知识库、工程数据库、方法库和图库(简称“一机四库”)的专业构成及网络,软硬件开发环境,以及在龙羊峡工程中的应用等。与此同时,针对专家系统的核心应有强有力的知识体,作者对知识工程(包括综合推理机和知识库)作了详细论述。

全书共分六章,第一章论述“专家系统”开发的背景以及本书的主要内容。第二章介绍专家系统的总体设计,包括专业和计算机的总体结构及网络、开发工具和功能。第三章论述推理知识(即综合推理机)和评判类知识(知识库)的知识构成、知识表示的基本理论和方法、知识的管理以及分布式平台知识网络体系等。第四章介绍大坝安全分析和评价中所应用的各类数值分析方法及其计算程序,即方法库。第五章介绍信息管理系统,包括数据库和图库的专业构成,以及分布式平台网络结构。第六章应用上述的“一机四库”,开发了龙羊峡工程等的大坝安全分析专家系统。

本书的第一、二、三章由吴中如撰写,第四章由吴中如、沈振中撰写,第五章由吴中如、胡群革撰写,第六章由顾冲时、胡群革撰写。许晓东、季建、赵斌、李季和阳武等同志也参加部分编写,全书由吴中如统校。

中国工程院副院长、中国科学院院士潘家铮教授对本系统的开发给予了极大支持。中国科学院院士窦国仁教授在百忙中为本书撰写序言,作者对此表示衷心感谢。原能源部生产司(电力部安生司)、大坝安全监察中心和青海省电力工业局等单位对本系统的开发,在多方面给予大力支持,作者对此表示十分感谢。

在本书编辑出版过程中,限于作者的水平,书中难免有不妥之处,恳切希望读者批评指正。

作 者

1997年12月

目 录

第一章 概 论	1
第一节 系统开发的背景和过程.....	1
一、系统开发的目的是意义	1
二、开发的原则	2
三、专家系统开发和应用的国内外概况	2
四、“龙羊峡水电站大坝安全分析专家系统”的要点	4
第二节 “大坝安全综合评价专家系统”概述.....	4
一、主要内容	4
二、目标	5
三、总体结构	5
四、关键技术及创新点	6
五、龙羊峡等工程中的实际应用	8
第二章 总体设计	9
第一节 大坝安全定义.....	9
一、大坝的定义	9
二、大坝安全的定义	9
三、大坝安全检查的定义.....	10
第二节 “实时分析”的结构及总体网络	11
一、系统的分析和评价过程.....	11
二、结构及网络.....	12
第三节 “综合评价”的结构及总体网络	17
一、系统的分析和评价过程.....	17
二、总体结构网络.....	17
第四节 开发工具和功能	21
一、多用户情况.....	21
二、单用户情况.....	22
三、“一机四库”的管理系统及其相互连接.....	23
四、功能.....	24
第三章 知识工程	25
第一节 知识及其应用的基本理论	25
一、知识的定义和范畴.....	25
二、知识及表示的基本理论.....	26

三、模糊识别的基本理论·····	30
第二节 “实时分析”的知识构成及网络·····	36
一、知识库的知识·····	36
二、推理机的知识·····	43
三、“实时分析”的知识网络·····	49
第三节 “综合评价”的知识构成及网络·····	49
一、知识库的知识·····	49
二、推理机的知识·····	57
三、“综合评价”的知识网络·····	60
第四节 知识的表示及管理·····	60
一、知识表示的一般方法·····	60
二、本系统的知识表示·····	62
三、知识管理·····	65
第四章 数值分析 ·····	67
第一节 结构和渗流分析软件包·····	67
一、结构分析软件包(SF)·····	67
二、渗流分析软件包(FEMU)·····	80
第二节 原型观测资料分析和反分析软件包·····	83
一、原型观测资料的预处理(MDDE)·····	83
二、原型观测资料分析(MDA)·····	85
三、反分析程序(MDB)·····	91
第三节 综合评价及洪水计算程序·····	98
一、综合评价(SM)·····	99
二、洪水及调节计算程序(QW)·····	99
第四节 方法库管理设计·····	101
一、方法库中的程序构成·····	101
二、方法库中的开发工具·····	102
三、程序的组织和调用·····	103
第五章 信息管理系统 ·····	104
第一节 工程数据库系统·····	104
一、专业构成·····	104
二、原始数据库·····	104
三、生成数据库·····	107
四、数据库管理系统的选择·····	109
五、Sybase 数据库管理系统的建立·····	110

六、Oracle 数据库管理系统的建立	118
七、数据库的管理	119
第二节 图库系统	120
一、主要图形	120
二、图库管理	122
第六章 龙羊峡大坝安全分析专家系统	124
第一节 工程和安全概况	124
一、工程概况	124
二、工程地质的关键问题	124
三、监测系统	125
第二节 信息分析系统	127
一、资料的收集和管理	127
二、方法库的调用	127
第三节 评判和推理知识的收集和管理	135
一、知识的收集	135
二、评判和推理网络及准则	135
三、知识的管理	135
第四节 龙羊峡大坝的安全分析和评价	139
一、运行性态的评判	139
二、龙羊峡大坝工作状态的综合评价	142
第五节 结语	143
参考文献	144

第一章 概 论

第一节 系统开发的背景和过程

一、系统开发的目的和意义

建国以来,我国共修建 8.6 万多座堤坝,其中 15m 以上大坝有 1.8 万多座,30m 以上大坝有近 3000 座。这些工程在国民经济中发挥了巨大的作用。然而,相当一部分大坝存在着某些不安全因素,有的已运行 30 多年甚至更长,坝体材料逐渐老化;有些大坝出现危及大坝安全的裂缝和病变;有些大坝的坝址地质条件复杂,导致大坝安全度偏低;还有些大坝的防洪标准较低等。这些因素不同程度地影响工程效益的发挥,甚至威胁着下游千百万人民的生命财产安全。与此同时,大坝的规模日趋巨大(如三峡、龙羊峡、二滩、小浪底等),所以大坝的安全显得更为突出。

以往通常采用分析观测资料、建立数学监控模型的方法对大坝的工作性态进行分析和监控。然而,由于大坝工作条件复杂,特别像龙羊峡水电站大坝等高坝大库,仅仅采用上述方法监测还有其局限性,最终的综合分析仍需由经验丰富的专家或专家小组来完成;特别是汛期出现险情时,各级领导亲临现场,组织专家小组进行监测,决策应急措施。

与此同时,大坝的观测资料很多,处理和分析工作量很大,由于各种条件限制,水电站和水库管理单位的技术人员很难进行及时处理,一般要委托有关单位用 1~2 年时间来完成,从而不能将分析成果及时用于监控大坝的安全运行,也就不能及时发现隐患,以至延误时机,造成不必要的损失。另外,为了大坝安全进行定期检查,上级主管部门和水电站或水库管理单位需要花费大量的人力、财力和时间。

“大坝安全综合评价专家系统”(以下简称“专家系统”)通过访问专家,并依据有关大坝安全法规、设计规范和专家知识等,归纳整理成知识库和推理知识库;综合应用国内外在这一领域中的先进科研成果,建立具有多功能的方法库;结合具体工程,及时整理和分析有关资料,建立数据库和图库;然后应用模式识别或模糊评判,通过综合推理求解方式对四库进行综合调用,将定量分析和定性分析结合起来,对大坝安全状况进行综合评价和辅助决策,实现实时分析大坝安全状态、综合评价大坝安全状况等目标。因此,本系统对确保大坝安全,改善运行管理水平等都将起到重大作用。同时,专家知识和实践经验是宝贵的财富,通过建立专家系统将专家的知识整理成知识库,使其体系化、完整化并发挥更大的作用,从而避免由于专家年龄老化导致这些知识的消失。因此,建立专家系统又具有重大的实际意义和科学价值。

二、开发的原则

“大坝安全综合评价专家系统”由中国工程院副院长、中国科学院院士、原能源部总工程师潘家铮教授批准,在原能源部电力司(现为电力部安生司)、大坝安全监察中心、青海省电力工业局等单位的资助下,经过几年的开发,业已完成。其开发过程和原则如下:

1991年12月完成“大坝安全综合评价专家系统”总体设计大纲。并于同年12月29日组织以原水利水电规划设计总院马君寿总工程师为首的设计、施工、监测和计算机等领域的有关专家对大纲进行了认真的评议。一致认为:开发此系统是十分必要的,充分肯定了它的现实意义与社会经济效益;认为大纲中提出的开发目标、总体设计构思和技术路线等各项内容,基本上概括了80年代我国在大坝安全监控方面的科研成果,并提出了90年代继续研究的目标;以龙羊峡工程为对象,有针对性地开发此系统的研究是必要和适宜的。与此同时,与会专家还特别强调了由于此系统的开发具有规模大、覆盖面广、难度高等特点,因此必须遵循统一规划、分期实施的原则,先急后缓、先易后难、先简后繁,以在3年内初步建成可实际应用的基本系统,同时应尽快投入试运行,在运行中逐步完善提高;应充分利用现有成熟的软件技术和常规分析方法,稳妥地开发急需的特殊分析方法;在专家知识采集方面,应首先抓住评判大坝安全的最关键、直观的项目予以实现和逐步扩展。鉴于此系统是一个大型的系统工程,必须由有关方面的密切配合、协同工作,才能顺利完成。

根据专家的评议意见,依据大坝安全管理的实际需要,原能源部电力司和青海省电力局的有关方面领导指示,重点开发“实时分析大坝安全状况”、“综合评价大坝安全状况”这两个目标的子系统。

三、专家系统开发和应用的国内外概况

在开发过程中,我们全面检索了国内外有关专家系统的开发成果,从中吸取有关经验。根据国内外大坝安全监测领域状况分析,信息工程大致分4个层次:信息管理系统、信息分析系统、专家决策支持系统和综合评价专家系统,见图1-1。从图1-1中看出:信息管理系统是以工程数据库为主体,配以有关图表,实现对监测数据的整编和处理。信息分析系统是在上述系统中,加上用以建立分析模型及其有关程序的方法库,用于定量分析大坝安全状况的系统。专家决策支持系统是在信息分析系统基础上,加上知识库(主要是专家的评判类知识),以识别大坝运行中的疑点,并初步分析疑点的成因,对不安全因素,初步提出建议,为专家决策提供依据的系统。专家系统是在决策支持系统基础上,加上综合推理机,形成“一机四库”(综合推理机、知识库、工程数据库、方法库和图库)的完整体系,并着重应用人类专家(坝工专家和监测专家等)的启发性知识,用计算机模拟专家对大坝安全进行综合评价(包括分析、解释、评判和决策等)的推理过程。

从上面论述看出,专家系统与传统程序相比,专家系统有下列特点:

(1) 着重应用领域内专家的经验性知识,并经知识工程师的整理归纳和编译,使专家系

统具有启发性。

(2)知识库(目标级知识的集合)与推理机(应用目标知识,并推导出新知识)分离或推理机内嵌在知识库中,并主要采用符号推理形式实现问题的求解过程。因而,使推理机可对知识库进行知识的补充修正,所以专家系统具有一定的灵活性。

(3)能够向用户说明问题求解过程或所运用的知识,这就使专家系统具有一定的透明度。

综上所述,专家系统与传统程序及上述三个系统相比有其本质区别,它采用了计算机技术实现应用知识的推理过程,使某些问题得到较满意的解答,具有人工智能的特点。

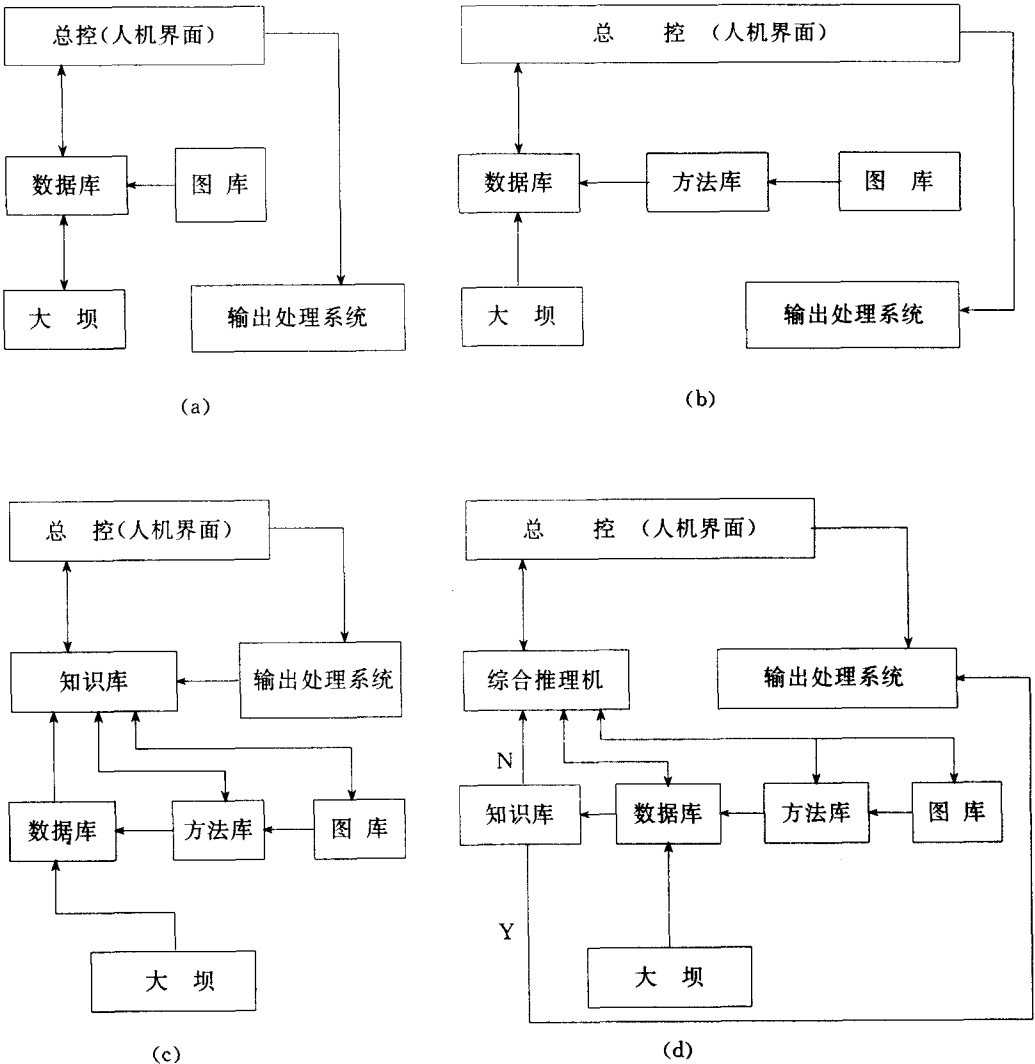


图1-1 信息工程的四个层次示意图

(a)信息管理系统; (b)信息分析系统; (c)专家决策支持系统; (d)专家系统

从 1966 年美国斯坦福大学(Stanford University)的佛奇巴姆(Feigenbaum)等专家,开发分析质谱图、核磁共振和其它数据判断化合物结构的专家系统(DENDRAL)以来,专家系

统从产生、发展到逐渐走向成熟,并在众多的领域内得到应用,取得了实效。

在大坝安全监测领域内,专家系统尚属起步阶段,如意大利的法那林(Fanali)等,探讨了应用 AI 于大坝安全监测的可能和前景;俄罗斯的拉特凯维奇(Radkevich)等初步开发了高土石坝的专家诊断系统。目前我国这方面还是空白。

四、“龙羊峡水电站大坝安全分析专家系统”的要点

在吸收国内外有关专家系统成果的基础上,并主要结合龙羊峡工程,针对该工程的特点,将大坝有关的安全法规、规范以及专家知识归纳整理成知识库,将专家的推理分析和综合评价经验整理成综合推理机。并将知识库、推理机与数值计算程序(即方法库)、数据库和图库相结合,从而形成“一机四库”的完整系统。在推理分析过程中,提出“以事实为依据,以各类规范和准确的专家知识为准绳,对大坝的实时安全状况和安全级别作出综合分析和评价”的新思路,以减少用相似度、置信度等分析和评价的人为因素干扰。并将开发的成果,应用于龙羊峡实际工程。与此同时,此系统的“实时分析”系统还应用于丹江口、古田溪三级大坝的安全分析,经 1 年多的运行,在监控大坝安全运行方面取得了实效。

第二节 《大坝安全综合评价专家系统》概述

在全面介绍本书的成果以前,为了对此有一个概括性的了解,我们首先综合介绍该系统的概况。

一、主要内容

依据专家的评议和有关领导的指示精神,在吸收国内外有关专家系统成果的基础上,重点结合龙羊峡工程,并充分考虑其通用性和可移植性,即推广应用于其它水电站大坝的安全评价。根据上述原则,经 3 年的开发,总体上完成了开发任务,并将此系统于 1995 年 6 月在青海省电力局的计算机上组装,并逐渐完善。现将成果概述如下。

本书共分六章。第一章概论,主要论述此项目的意义、开发背景、目标,主要开发内容及其关键技术与创造点。第二章总体设计,论述大坝及安全的定义,“实时分析大坝安全状况”(以下简称“实时分析”)、“综合评价大坝安全状况”(以下简称“综合评价”)子系统的总体设计(包括结构及网络)、开发工具和功能。第三章知识工程,论述知识及应用的基本理论,知识库和推理机的知识内容、表达方式和实施技术等。第四章数值分析方法,论述方法库中各类程序的计算基本原理、计算流程图。第五章信息管理系统,论述数据库和图库的专业内容、结构及其管理。第六章龙羊峡大坝实时分析专家系统,应用上述系统对龙羊峡的安全状况作出实时分析。

二、目 标

根据水电站大坝安全管理的需要,此系统有下列目标。

1. “实时分析”

根据各监测量的测值和日常巡视结果,依据各类规范和专家的经验,实时分析和评价各测值的性质,及时发现运行中的疑点,并对此作出物理成因分析和解释。然后,重点针对具体工程的关键问题,综合分析大坝的安全状况。

2. “综合评价”

根据《水电站大坝安全管理暂行办法》(水利电力部,1987年9月)和《水电站大坝安全检查施行细则》(能源部,1988年8月)的精神,为大坝定期检查提供依据。因此,此目标是根据大坝安全定检的内容,依据工程等级、设计标准(包括洪水标准、安全超高和抗震设防)、强度、稳定、施工质量、运行、大坝原型工作状态(长期观测资料分析)和近坝库区滑坡等准则,对大坝的安全级别作出综合评价。

实现上述目标时,此系统主要采用以事实(包括实测数据分析、各类设计、施工和运行资料)为依据,以各类规范和准确的专家知识为准绳,对大坝的安全状况和安全级别作出综合分析和评价,以提高安全评价的可信度。

三、总体结构

为了实现上述目标,此系统总体结构由“一机四库”组成,见图1-2。

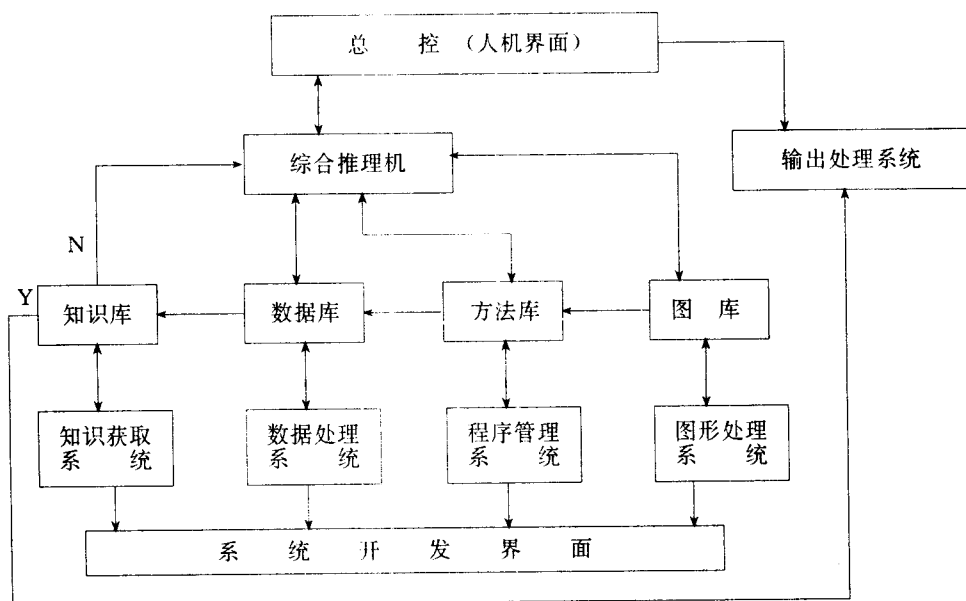


图1-2 专家系统的总体结构

N——疑点或病险坝； Y——正常或正常坝

专家系统的各个组成部分内容和功能简述如下。

1. 知识库

主要包括各类规范知识和专家经验的启发性知识,以构成各类评判准则,应用模式识别的映射理论,评价大坝的安全状况。

2. 推理机

主要包括当用上述准则识别测值为疑点或病险坝时,应用推理链对其作出成因分析,若判别疑点是大坝及基础的结构性态引起的不安全因素,则对此作出物理成因解释。当推理链不能作出成因解释或者在评价大坝安全级别,并对异常或病险坝作出辅助决策时,由专家应用模糊评判原理,对此进行综合分析和评价。因此,推理机有应用上述知识而推理求解出新知识的功能。为了安全分析和综合评价的连续性,此系统使用内嵌推理机高级语言(C语言)来实现。

3. 工程数据库

为了实现“以事实为依据,以各类规范为准绳,对大坝的安全状况和安全级别作出评价”的目标,工程数据库是此系统必不可少的重要组成部分。

此系统的工程数据库包括设计、施工、运行、管理和监测的各类资料和数据,以及资料分析和反分析的成果等。为了保证安全分析的需要,数据库必须有优良的数据查询和输入输出等功能。

4. 方法库

主要用来建立各类监控模型和监控指标,复核设计标准、强度、稳定,综合分析和评价等各类程序;用以定量分析大坝的安全状况。

5. 图库

用于安全分析和评价的各类图形需求。

四、关键技术及创新点

由于大坝及基础的工作条件十分复杂,影响因素众多,这就增加了开发专家系统的难度。在吸收国内外现有专家系统成果的基础上,此系统采用下列关键技术及创新点。

1. 知识的广度和深度

专家系统的核心是必须具备大量有关大坝安全分析和评价的高质量知识,即知识的广度和深度。

(1)知识的广度

即知识的全面性。此系统的知识既包含有规范和法规类的知识,也包含有大量的专门知识,如龙羊峡水电站大坝的“七·五”、“八·五”国家科技攻关成果和其它有关研究成果等,这就使此系统具有大量丰富的知识源。

(2)知识的深度

即包含有物理成因分析的知识。此系统评价过程中,当发现疑点时,应用推理链(正向链

和反向链),分析疑点的成因。当推理链不能实现时,即进入灰色推理系统,应用模糊权进行推理分析。

(3)知识的修正和更新

即知识的不断完善和更新。由于大坝的工作条件十分复杂,当大坝运行一段时间后出现新的情况,这就要不断补充知识,对原有知识进行修正和更新,使其评价知识和推理知识不断完善和更新。

2. 知识的采集和组织

为了保证此系统具备大量大坝安全分析和评价的高质量知识,研究知识的采集和组织是十分重要的。

(1)知识的采集

规范和法规类知识的获取是相对较容易的,但专门知识(尤其是启发性知识)的获取难度较大。我们采取访问有关专家,应用现场观察,问题提出、讨论、描述、分析、系统精化、检查和验证等技术,对专家知识进行“反编译”,实现专家知识的实际启发式推理和操作过程。

(2)知识的组织

知识的组织通过知识库和推理机来实现,其中知识库侧重于评价类知识的集合,而求解问题的推理知识由推理机来实现。

3. 开放式平台网络控制

为了保证大坝安全分析和评价的实时性和正确性,鉴于水电站大坝和基础一般有较完整的监测系统,有大量的观测资料和设计、施工、运行的资料。因此,保证此系统主要采用“以事实为依据,以规范和专家知识为准绳”的准则,对大坝进行安全分析和评价是可行的。这就要有大量的数据和知识为后盾。基于以上认识,此系统将知识库、推理机与数据库、方法库和图库有机地连接成一个整体,并分层次形成开放式平台网络。这也是此系统的特色和创造点。

(1)知识库、推理机与数据库的连接

所有资料和数据(包括每次观测的资料和数据)都储存在数据库内,采用关系数据库 Sybase 或者 Oracle 管理,并应用开放式平台设计技术,分原始数据库和生成数据库等层次平台,并有及时修正和补充功能。而知识库、推理机与数据库的连接,则采用窗口设计技术来实现。

(2)知识库、推理机、数据库与方法库的连接

方法库有观测资料分析、反分析,结构的规范法、多类有限元的结构和渗流分析,模糊综合分析评判,洪水复核和调洪演算或反调节计算等 4 大类程序。其中前两类程序通过与数据库的窗口连接,建立各类监控模型、监控指标以及设计复核等,将这些成果放入生成数据库中,以供“实时分析”和“综合评价”应用。与此同时,当发现不安全因素时,调用数据库的有关数据,应用有关程序,可以进行强度、稳定和位移的敏感性反分析,以定量分析不安全因素的原因。

(3) 知识库、推理机、数据库、方法库与图库的连接

为了将推理、评判、资料正反分析和有限元分析等过程以及工程和观测概况等,用图表进行形象显示,可把图库与知识库、推理机、数据库和方法库用窗口接口连接,以及时调用有关图表。

五、龙羊峡等工程中的实际应用

此系统主要联系龙羊峡工程进行开发,同时考虑系统的通用性。结合该工程的实际情况,尤其是关键问题,建立了“一机四库”的体系,总体上实现了“实时分析”的目标。自 1995 年 6 月在青海省电力局安装以来,推理分析了运行中出现的疑点,并进行改进和完善。然而,龙羊峡大坝尚属运行初期,最高库水位为 2577.59m,尚未达到设计工况的荷载,尚未进行工程验收和定期检查,今后随库水位的提高,并随着观测资料的积累,可能会出现新情况,有待进一步完善和补充知识库和推理机的知识。另外,随着龙羊峡监测系统的完善与自动化,此系统将进一步发挥更大的作用,与此同时,此系统的“实时分析”还应用于丹江口、古田溪三级大坝的安全分析。此系统经多年的应用,在监控大坝的运行方面取得了显著实效。对其它水电站大坝要结合其本身的特点,特别是关键问题,可以应用此系统开发。