

文章编号: 1672-3031 (2003) 02-0084-06

大坝安全监测决策支持系统的开发

张进平, 黎利兵, 卢正超, 赵春

(中国水利水电科学研究院 结构材料研究所, 北京 100038)

摘要: 本文指出了为保证大坝安全监测决策支持系统的实用性, 需要特别注意三个“面向”的问题, 即面向工程的安全问题、面向工程的实测数据以及面向用户。作者在综合分析推理子系统的开发中引入了专家系统技术实现自动化安全监测分析评价, 具体方法包括单点信息定量化、综合分析、自动化推理等。文中介绍了这些方法在实际工程中的应用。

关键词: 大坝安全监测; 实用化; 决策支持系统; 专家系统

中图分类号: TV698.1

文献标识码: A

目前, 大坝安全监测信息管理系统或决策支持系统的开发工作日益受到国内外的普遍重视^[1], 其中, 引入人工智能技术以提高系统的结构化程度是一个发展趋势。如意大利开发的 MISTRAL 系统^[2]就是一个成功的应用实例, 该系统采用专家系统技术对自动监测数据进行结构化处理以提高系统的应用水平。国内多家单位也在开展这方面的研制工作, 特别是通过近几年来几个大型系统的开发, 使该类系统的水平有了一定的提高。本文根据某一大型水电工程安全监测系统的开发工作, 就有关问题进行了讨论, 着重介绍了作者在综合分析推理中使用专家系统技术的途径、方法并给出了应用实例。

1 系统开发的实用性问题

系统开发过程中应始终注意系统的实用性问题, 特别需要注意解决好以下三个“面向”问题。

1.1 面向工程的安全问题 大坝安全监测贯穿工程的整个生命周期, 包括设计、施工、蓄水、正常运行等的全过程, 系统的开发以协助操作人员及时发现工程在各阶段的异常情况作为首要目标。为此, 需要对系统所涉及的各建筑物的主要安全问题进行比较系统全面的研究, 广泛汲取有关专家的经验, 使各应用程序的运用以及综合分析标准的拟定具有较强的针对性。

1.2 面向工程的实测数据 系统开发过程中需充分考虑到实测数据可能出现的各种情况, 主要包括以下两个方面: (1) 数据缺损。各类应用模块, 包括图形、模型、综合推理均需考虑到实测数据可能出现的缺损情况, 程序需进行相应的处理, 并根据实际情况做出相应的输出; (2) 自动化监测。自动化监测系统由于测量频次的大幅度提高, 给系统带来两方面的问题, 其一, 需要提高系统处理问题的结构化(自动化)程度, 其二, 对大批量数据需进行合理的处理, 以保证系统的正常运行。例如, 需要解决频次过高而带来的数据建模时可能出现的“过滤饱和”问题。

1.3 面向用户 系统开发过程中除去遵循“人机界面”的一般技术要求之外, 从功能设置上考虑两种极端的情况。对于有经验的分析人员, 系统应提供丰富的图形、模型模块供分析人员使用。通过合理地组织界面, 分析人员可以方便地得到数据及模型的支持, 以得到自己的结论。对于尚缺少分析经验的人员, 在及时发现结构异常这一关键问题上, 通过建立专家系统给用户提供支持, 给出具有一定确信度的判断结果。

收稿日期: 2003-04-20

作者简介: 张进平(1945-), 男, 北京人, 教授级高级工程师, 主要从事大坝安全监测资料分析和监测系统开发研究。

2 系统的基本构成

大坝安全监测决策支持系统基本部分包括四库,即数据库、方法库、模型库和知识库,以及相应的管理系统^[3]。系统为分析及决策人员提供3个方面的支持,包括数据支持、模型支持及扩展支持。扩展支持是通过知识库及推理系统提供的具有一定智能化的支持^[4]。国内大坝监测领域开发数据库、模型库(信息管理系统)的工作开展较早,相对而言较为成熟,知识库及推理系统的研发工作正处于一个发展阶段。大坝安全监测决策支持系统由多个子系统构成,一般包括综合信息管理,综合分析推理(在线、离线)等子系统。随着大坝监测自动化采集系统的发展,对各子系统的功能也提出了更高的要求,其中,综合分析推理子系统是整个系统的核心部分。

3 综合分析推理子系统

综合分析推理子系统在系统开发工作中居于核心地位。这一子系统目前按照决策支持系统(DSS)的模式进行开发。综合分析推理子系统以发现结构异常、确定异常程度为主要目标。从大坝安全监测的实践来看,目前这部分工作尚属半结构化或非结构化问题。而从DSS系统的发展趋势来看,对于问题比较窄的DSS,有可能采用专家系统(ES)技术,模拟决策者的思维过程自动得到问题的解答。目前综合分析推理子系统的开发就是按照这一思路进行的。具体的技术路线如下:(1)单个测点的分析是综合分析的基础,首先需对单测点测值提供的信息进行最大限度的定量化,以满足下一步综合推理的需要;(2)利用专家系统技术使综合推理部分结构化;(3)考虑到专家系统的实际效果需要一定的检验评价阶段,此外有经验的分析人员并不一定依赖系统的推理结论,而更多的是需要系统的支持由自己做出分析判断,因此在利用专家系统技术完成在线综合推理的同时,为分析人员提供了良好的进行离线综合分析的界面,并提供了充分有效的数据及模型支持。以下分几个部分对综合分析推理子系统进行简要介绍。

3.1 单测点测值序列的检查分析

3.1.1 单测点信息定量化 每次对单测点进行检查分析时,调用单点统计模型对包括当前测值的测值序列进行计算分析,以确定如下属性:模型是否超界、超界次数及类型、趋势性(时效)类型。同时调用测值控制标准(设计、监控、重症等)及速率标准(速率、加速度)进行检查。此外还生成各种有关测点性态的信息,如最大测值、最小测值、最大速率、最小速率及相应的出现日期,模型参数及各分量变幅等。

计算出的属性及量值一方面为进一步的在线推理判断提供条件,另一方面也可以在离线分析时调用,为分析人员提供支持。各类属性中,测点趋势性(时效)的判断是一个重要的环节。为了提高对时效分量的拟合及预报精度,采用了分段多项式因子。该类因子比传统的多条对数或折线型时效因子有更好的适用性。从图1中可以看到趋势性类型的划分标准,其中共有8种情况。其它属性同样也用数字表示,一般绝对值越大者对应越不利的情况。

3.1.2 单点在线监控 系统对异常情况的自动报警分两个级别,第1个级别是对单个测点,第2个级别为经过综合分析之后对结构异常情况的报警。从目前分析技术的水平来看,第1个级别的异常报警相对较为成熟。

系统采用3种标准作为单个测点的检查标准:①模型标准,以统计模型为主;②速率(包括加速度)标准;③监控标准,包括设计标准、监控标准及重症标准,该类标准可以空缺。对其它有人称为“时空标准”、“力学规律标准”等的标准,有条件时均可以采用分布模型进行检查,而且更为有效及合理。系统开发过程中,根据建筑物及监测项目的具体情况对所采用的3种标准进行初步设定。系统提供了对单个测点种类控制参数进行修改的模块,限于篇幅,对此不再进一步说明。上述处理的目的是提供有效的工具,使每一个测点的发展变化情况都在管理人员的严密控制之下。测值超过上述3个

标准之一且出现同方向的异常趋势性变化(如图1中时效分量属性为 ± 4)时,作为单个测点最高等级的异常情况。

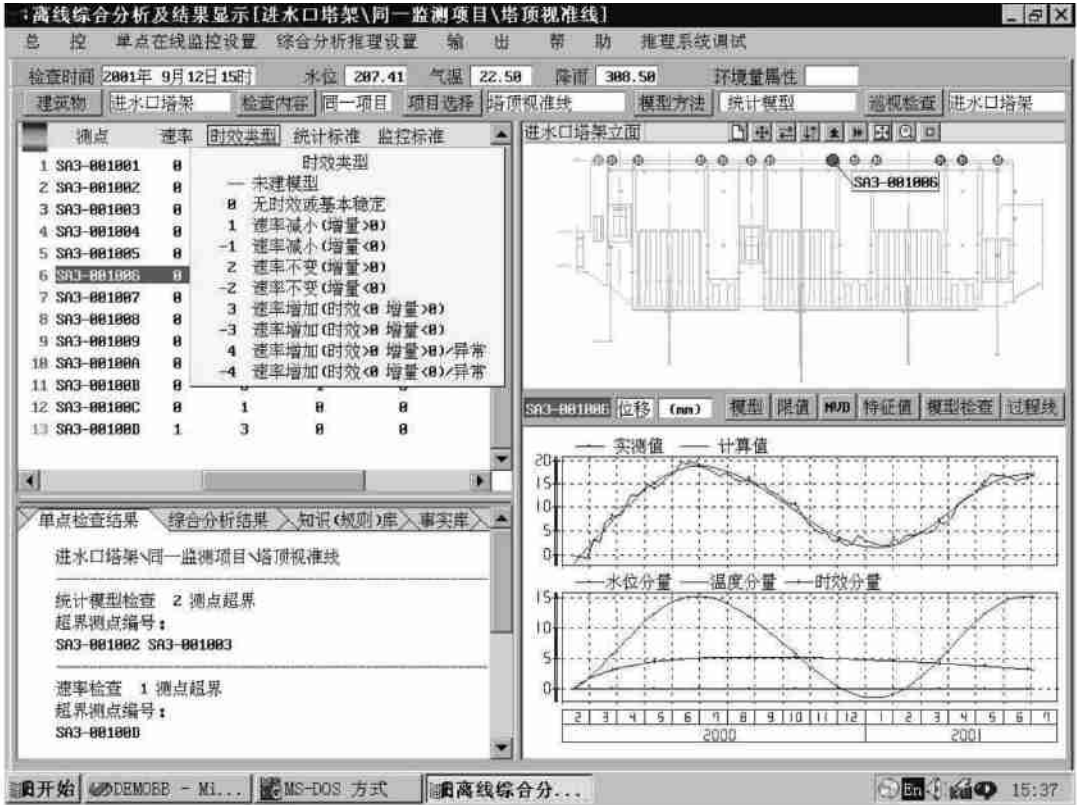


图1 单个测点测值各类属性的确定

3.2 离线综合分析系统 该系统主要目的是为分析人员提供综合分析的集合环境以及有效的支持,主要功能如下。

(1) 测值及有关信息的合理组织。系统根据各建筑物的监测布置以及工程特性,按以下3种形式对观测值及有关信息(如现场检查结果)进行综合:①同一监测项目;②同一工程部位;③同一物理过程。其中同一物理过程的含义较为广泛,可为某一结构的转异过程,可为某一重点监测的物理过程,如库水降低过程中边坡的稳定情况。除去有关结构的变化之外,也可针对某一测量过程组织测点及数据,如把同一测读仪器对不同测点的测值组织在一起以检查可能出现的读数系统误差,等等。通过系统的设置,用户可通过菜单选择,很方便地进入对某一具体对象的分析,并得到相应的全部监测数据及有关信息。

(2) 数据及模型支持。通过人机界面的开发,充分利用可视化技术,为用户提供有效的数据及模型支持是本系统开发的目的之一。离线综合分析模块设置了4个窗口,各窗口的主要功能如下:①单个测点评价窗口。显示单个测点测值(包括当前测值)的各类属性及评价结果;②测点布置图形窗口。显示测点位置及当前所分析的建筑物剖面、立面;③单点数据窗口。显示测点的各类图形及特性值;④综合评价窗口。显示单点及综合推理的结果及相关内容。

前3个窗口中的内容自动相互对应,通过选择用户可以方便得到如下支持:(1)数据支持。单个测点的全部可能抽象的信息,如趋势性类型,当前测值的各类标准检查结果;单个测点的详尽的数据信息,如各类统计值、包括当前速率及加速度值、模型分量值及各类监控标准等;单个测点的各类过程线,如各模型分量、时效分量加残差等;多个测点的全部过程线(以相关测点全部测值过程线为背景,显示当前测点过程线)。此外,单点评价窗口还可以显示与当前分析对象相关的现场检查信息;(2)模型支持。除上述显示有关单个测点的统计模型有关参数及图形之外,还可方便地对当前测点的模型进行修改或调整(包括误差处理),返回主界面后将生成新的评价结果。此外,根据实际情况,

单点数据窗口可以显示调用其它各类模型,例如分布模型等;(3)扩展支持。离线综合分析系统中除去提供用户充分的数据及模型支持之外,还提供对某一分析对象(项目、部位、过程)的自动推理结果。条件相同时,这一结果与在线综合分析推理的结果相同。用户可以查看对应的知识(规则)库、事实库、推理键及其它相关内容。知识库可以作为用户自己分析时的参考。

3.3 在线综合分析推理子系统 在线综合分析推理子系统是采用专家系统的模式进行开发的,推理目标为结构异常及程度。目的是通过提高系统的结构化(自动化)程度以提高整个系统的实用性及应用水平。

(1) 单点信息的定量化。充分掌握单点信息是综合分析推理的基础,系统对现场检查信息进行了组织及处理,使其适用于综合推理过程。

(2) 综合分析推理的对象。在线综合分析推理的对象与离线分析相同,即按监测项目、工程部位以及物理过程组织测点及有关信息。知识库对某一具体对象而专门开发,相同的分析对象可共用同一知识库或部分相同规则。

(3) 推理系统的构成。推理系统采用产生式专家系统(规则系统),推理为正向推理。规则的一般形式为 IF A THEN B,其中 A 为条件部分, B 根据综合推理的需要分为两种形式,其一为结论部分,即出现 A 的情况可以得 B 的结论,其二为动作(ACTION)部分。动作为一结构化或程序化过程,其涉及到综合分析中各种信息的调用环节。例如,IF“视准线测值正向超界”THEN“查看相关引张线测点超界情况”。定义“查看……情况”为一种动作,系统共设置二十几种动作(ACTION),可以满足知识库开发的需要,图2为部分ACTION的内容。

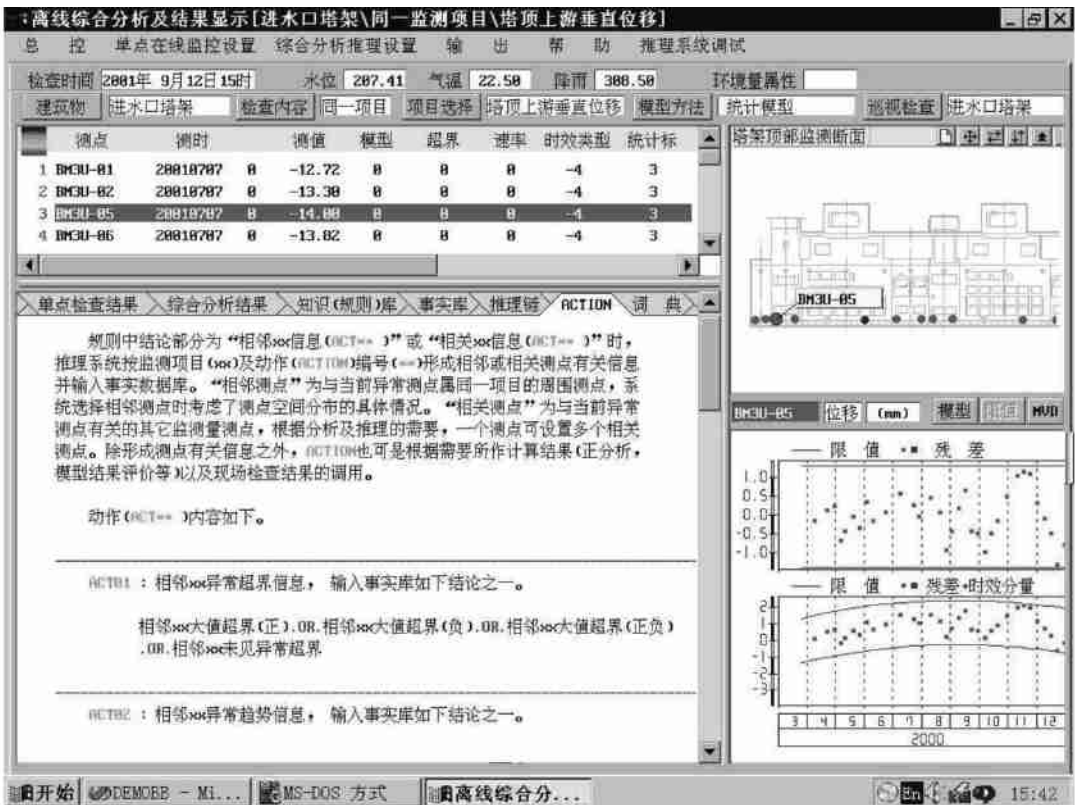


图2 知识库中 ACTION 的说明显示

(4) 知识库(规则)的开发。知识库是针对某一具体的分析对象开发的。在所开发的某一大型工程的系统中,在较为广泛的收集有关专家意见的基础上,根据各建筑物可能出现的不安全问题,例如,上游边坡水位降低过程中的稳定问题,下游边坡在渗压异常情况下的稳定问题,塔架基础部位的稳定问题等等,确定分析对象(部位,过程)并开发相应的知识库。除这些重点部位或过程之外,考

虑到运行管理的需要, 对其它监测部位、项目或过程也开发了相应的知识库。知识库的开发参考了用于大坝监测的“因果关系模型”和“物理过程模型”知识库的构成方法, 并对大坝监测资料综合分析的经验方法进行了模拟。在综合分析中, 测值可靠性的检查放到了重要的位置上。知识库的开发涉及到解决规则冲突以及不确定推理等问题。图3为边坡水位降低过程的知识库显示。

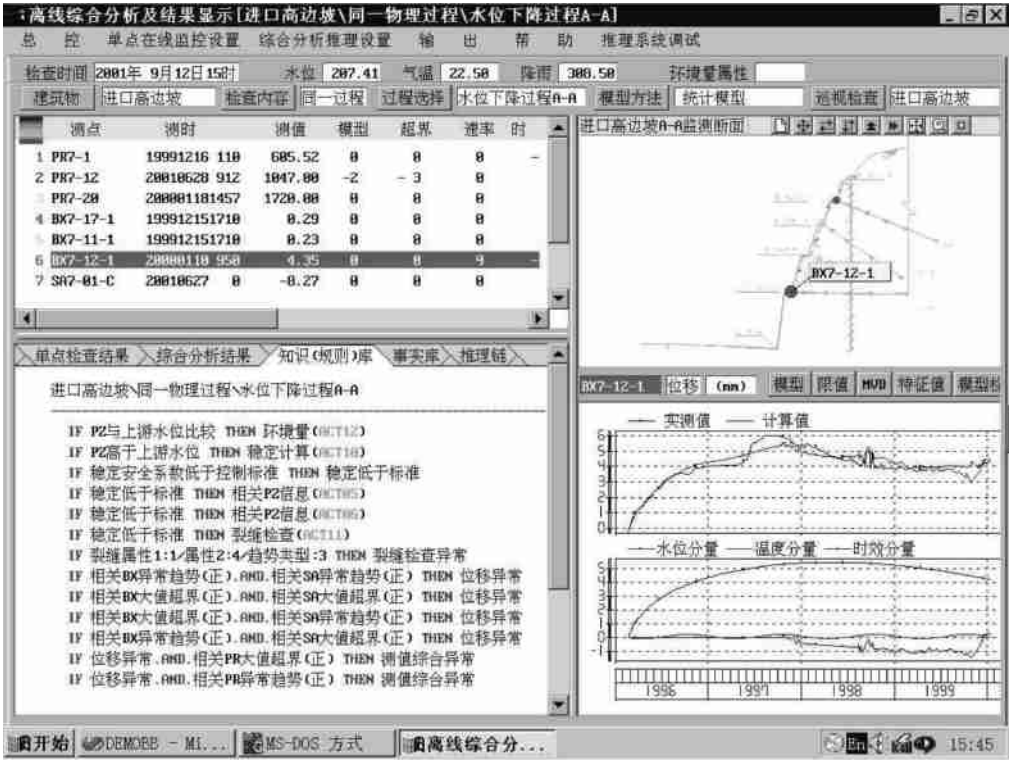


图3 某一综合推理对象的知识库显示

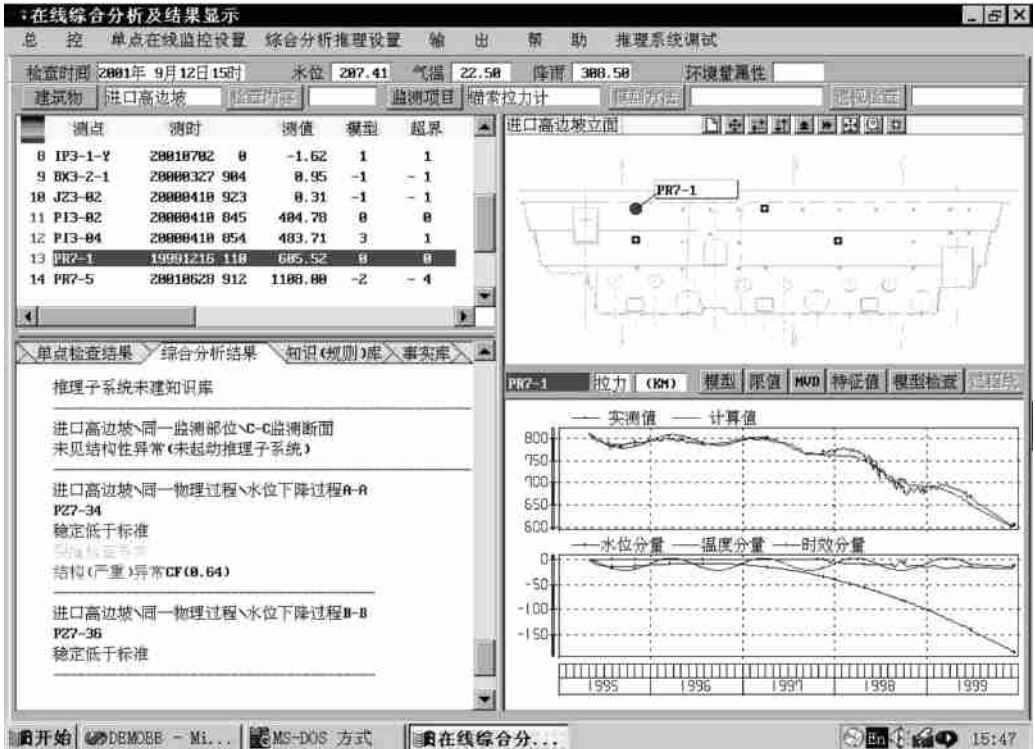


图4 在线综合分析推理结果显示界面

(5) 在线综合分析标准子系统的运行。每次完成新的观测之后(自动、人工)自动调用该子系统。在检查过测值的有效性(缺损以及各测点之间测时的相异等问题)后,系统自动输出两类检查信息。一类为单个测点逐点检查结果。建筑物所属全部观测项目中的异常测点汇总在一起;另一类为按分析对象进行综合推理所得的结果,其中对结构性异常及程度进行了标识。综合分析推理的起动机机制分为两种情况。一种是某一分析对象(项目、部位或过程)所涉及的测点出现异常时(根据单点检查结果确定),另一种是某一监测量超过某一标准时,例如,对“上游边坡库水位降低过程”,当渗压测点的测值水头高于上游库水位时便起动综合分析推理程序。在上述两类信息输出的基础上,根据管理的需要可进一步确定报警级别及方式。用户可以通过在线综合分析推理结果显示界面,了解在线检查结果(见图4),并可进入离线分析系统查看知识库及推理链,进一步了解在线综合推理的过程。

4 结语

本文着重介绍了作者在大坝安全评价的综合分析推理子系统中采用专家系统技术的具体方法,其中包括3个关键环节:(1)单测点信息的定量化;(2)ACTION的设置;(3)综合分析推理对象的组织。解决了上述3个问题之后,针对分析对象的具体情况(工程问题、实际监测布置等),采用产生式专家系统进行定性综合分析推理,发现结构异常情况,对异常程度进行评价,从而提高了分析过程的结构化水平,使系统更适应于大坝自动化监测的需要。目前系统已经具备了实际应用的条件,但需要一个实际应用与评价的过程,知识库也需要根据实际应用情况进一步完善。

参 考 文 献:

- [1] ICOLD Bulletin 118. Automated dam monitoring systems guidelines and case histories [M]. Paris: ICOLD Publications, 2000.
- [2] Lazzari M, Salvaneschi P. MISTRAL- an expert system for the management of warnings from automatic monitoring systems of dams [R]. ISMES, Bergamo, 1992.
- [3] 高洪深. 决策支持系统(DSS) - 理论·方法·案例 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1996.
- [4] 陈文伟. 智能决策技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 1998.

Development of decision-making support system for dam safety monitoring

ZHANG Jin-ping, LI Li-bing, LU Zheng-chao, ZHAO Chun

(Dept. of Structures and Materials, IWHR, Beijing 100038, China)

Abstract: The authors pointed out that the decision support system for dam safety monitoring with high practicality should be oriented to the project safety issues, the imperfect observational data and the different requirements of potential users such as analysts, operators and safety officials. The procedures about how to complete automatically the dam safety evaluation by using the expert system techniques, including the point-wise quantification of the observational data, integrated analysis and automatic reasoning, were presented along demonstrations demos of their application in a large scale project.

Key words: dam safety monitoring; practicality; decision support system; expert system

(责任编辑: 王冰伟)