

文章编号: 1000-7598-(2000)03-0278-03

基坑工程设计中的专家系统

王曙光¹, 陆培毅², 顾晓鲁²

(1. 中国建筑科学研究院 北京 100031; 2. 天津大学 土木工程系, 天津 300072)

摘要: 介绍了基坑工程及专家系统技术, 提出用专家系统解决基坑工程中的问题的观点, 并介绍了一个实例, 证明了专家系统作为基坑工程设计的计算机辅助手段是切实可行的。

关键词: 基坑工程; 专家系统; 计算机辅助设计

中图分类号: TP 311 **文献标识码:** A

作者简介: 王曙光, 男, 28岁, 博士生, 主要从事深基坑支护工程和地基基础工程研究。

Expert system in excavation engineering design

WANG Shu-guang¹, LU Pei-yi², GU Xiao-lu²

(1. China Academy of Building Research, Beijing 100013, China)

(2. Department of Civil Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract The paper introduces excavation engineering and expert system technique, brings forward the method of using expert system to solve problems in excavation engineering, and illustrates an example that it is feasible to use expert systems as a computer-aided means in excavation engineering.

Key Words excavation engineering; expert system; computer-aided design

1 基坑工程的发展及特征

近十年来, 高层建筑和地下空间的开发利用促进了基坑工程的发展。基坑工程通常位于城市中房屋和生命线工程的密集地区, 基坑开挖卸荷带来土体的位移会对周围环境、构筑物、道路、管线及地下设施产生影响, 因此基坑工程设计非常重要。

基坑开挖是一个古老的、综合的岩土工程难题, 包含了土力学中典型的强度、稳定、变形和土体与结构的共同作用等问题。基坑工程有以下几个特点^[1]:

- (1) 与自然地质及环境条件密切相关。
- (2) 主体结地下室的施工密切相关。
- (3) 技术综合性强。

从事基坑工程的设计人员需要具备及综合应用: 岩土工程知识和经验、建筑结构和力学知识、施工经验、工程所在地的施工条件和经验。由此可知, 基坑工程设计是很复杂的, 它涉及的因素很多, 而这些因设计主要依赖基坑工程师的经验和判断, 而不是通过简单的计算就可以实现的。在计算机科学中, 这种不能用纯数学方法解决的问题称为不良结构问题, 基坑工程设计主属于不良结构问题。

计算机在工程设计中的应用越来越广, 它使得手工劳动自动化、智能化, 但计算机在基坑工程设计中的

应用仅限于数值计算和图形处理。而基坑工程设计中遇到的问题是不良结构问题, 不是纯数学方法能够处理的, 基于知识的专家系统(KBES)提供了一个用计算机处理这些不良结构问题的方法^[2]。

2 专家系统技术简介

专家系统是人工智能(AI)学科领域的一个重要分支, 它是基于启发式思维并结合判断、直觉和专业知识对不同的问题提供有见地的建议的交互式计算机程序^[3], 而这些问题通常是由那些在该领域内经过长期实践而得到大量专业知识的专家们来解决的。专家系统利用领域知识解决领域内的问题, 所以又叫做基于知识的专家系统。专家系统通过知识和推理来解决问题。六十年代以来, 专家系统技术得到研究、开发和利用, 并取得重大进展。随着计算机的广泛应用, 专家系统技术已经在许多领域内得到应用, 为求解各种知识信息处理问题开辟了新的途径。

专家系统和工程设计相结合产生了工程设计专家系统。它集人工智能、工程设计方法学和计算机图形学于一体, 是一门理论性和实用性很强的交叉学科。工程设计专家系统通常由以下部分组成: 知识库、全局

收稿日期: 1999-07-19。

数据库、推理机、知识获取机制、解释机制、人机接口, 以及工程设计专家系统所特有的支撑软件库和图形处理机制。系统的各部分之间的关系如图1所示。

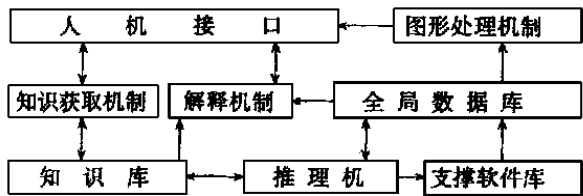


图1 工程设计专家系统结构示意图

Fig. 1 Structure of an expert system for engineering design

3 实 例

天津地区基坑支护结构选型专家系统是一个基坑工程的辅助设计系统^[4]。由于地质条件、基坑工程设计和施工经验等都具有区域性, 而系统的知识库是根据天津地区基坑设计和施工经验知识建立的, 所以该系统可以作为天津地区基坑支护结构选型的辅助手段。

合理的基坑工程设计应有三个特征: 它既要保证基坑本身的安全; 又要保证毗邻的建筑物、构筑物、地下管线、道路等设施的安全; 同时需要做到经济、技术上可行。在该系统知识库建立和推理机的实现的过程中考虑到了这三个特征。

3.1 知识库的建立

知识库是专家系统的基础。这些知识包括一般的事实、规则和启发性知识。正是因为有了这些知识才使得专家系统能够高速度高质量地解决领域内的问题。

要建立知识库, 首先要获取知识。由于该领域内成熟的共性知识很少, 所以知识的获取主要是经验知识的搜集, 即广泛搜集专家经验以及已有工程实例, 从中总结归纳出各种支护形式(包括支撑形式)及其适用条件(即支护结构选型的影响因素), 这种方法得到的知识才能保证推理出的结果在技术上是可行的, 且符合当地的经验。在天津地区广泛使用的支护形式主要有水泥土搅拦桩、密排灌注桩(悬臂或加支撑)、地下连续墙(包括逆作法施工)等。影响支护结构选型的因素很多, 在天津地区主要因素有三个, 它们是基坑深度、周围环境和场地的工程地质条件。例如其中一条规则为:

IF 基坑深度 ≤ 6 m;
AND 周围环境不是很差;
AND 地质条件好;

THEN 支护结构可以采用水泥土搅拦桩支护。

应用专家知识又可以对这三个因素作出进一步的评价, 例如: 根据专家经验, 基坑周围环境条件的好坏可以用坑边净距(坑边与周围建筑、道路管线、地下设施等的最小距离)来衡量, 若坑边净距大于整体稳定滑动面的范围, 则认为该基坑的环境条件很好; 若坑边净距小于主动区范围, 则认为环境条件很差; 否则, 为一般。

有了知识, 还需要选择适当的知识表示方法。知识的表示方法有多种, 例如产生式规则、框架、语义网络表示法等。选取适当的表示方法可以实现知识的方便、有效管理和使用。因为本领域没有精确统一的理论, 适合采用产生式规则作为知识表示方法。另一方面, 影响基坑支护结构选型的因素主要有三个, 所以也适合采用框架表示法。因此该系统采用产生式和框架相结合的知识表示方法。

3.2 推理机的实现

推理是指人已有事实推出新的事实的过程。在专家系统中, 推理以知识库中的已有知识基础, 因此又叫基于知识的推理。所谓基于知识的推理, 是指在计算机或智能机中, 在知识表达的基础上, 进行机器思维, 求解问题, 实现知识推理的智能操作过程。知识的选择称为控制策略, 它是控制推理过程如何进行下去以及在何种情况下采用何种推理方式的一套控制方法, 包括正向推理、反向推理以及混合推理等。

工程设计中既涉及到符号推理也涉及到数值计算, 所以工程设计专家系统中的推理应包括符号推理和计算推理。该系统的推理流程如图2所示。

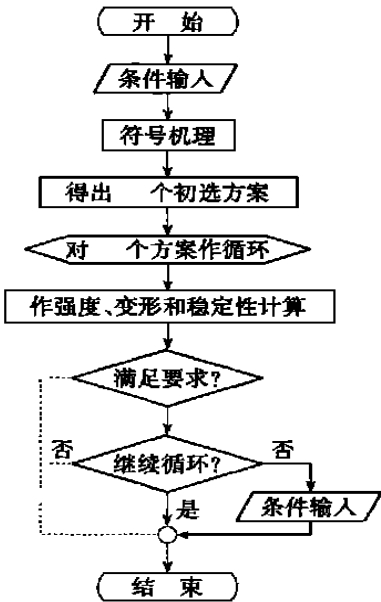


图2 系统的推理流程图

Fig. 2 Reasoning flow chart of the system

该系统的符号推理采用正向推理方法, 根据用户输入到全局数据库中的原始数据, 应用知识库中的知识推理出支护形式的初选方案, 并初步按经济指标排序, 这实际上是推理机遍历知识库并进行匹配的过程。

符号推理得出的结果非常笼统, 还需要进行计算推理, 将支护形式的具体参数量化。推理机需读取全局数据库中的数据并形成计算程序所需的数据文件, 通过调用支撑软件库中的计算程序进行计算, 推理机读取计算结果数据, 并对其进行判断, 以决定下一步推理。推理机对强度、变形和稳定性计算结果进行控制就既保证了基坑本身的安全, 又保证了毗邻的建筑物、构筑物、地下管线、道路等设施的安全。另外, 数据推理过程中也考虑了经济因素, 例如在灌注桩桩径和桩长的选择过程中, 推是机控制计算程序对一定范围内的桩径和桩长进行试算, 找出满足强度、变形和稳定性要求的最优值。

3.3 支撑软件库

支撑软件库是在计算推理中要用到的一组计算程序的集合。在工程设计中, 推理通常是以数据为基础的, 这些数据包括原始数据和通过程序计算所得到的结果数据。所以支撑软件是工程设计专家系统的必要部分。

该系统支撑软件库中的计算程序包括水泥土搅拌桩的分析程序、支护桩的有限元法分析程序、整体稳定计算程序和抗隆起稳定计算程序。其中水泥土搅拌桩的分析程序用于分析由水泥土搅拌桩组成的重力式支护结构的强度和稳定性计算; 有限元法分析程序用于灌注桩和地下连续墙等柔性支护结构的强度和变形计算; 整体稳定计算程序和抗隆起稳定计算程序用于基坑稳定性的计算。这些程序都是根据工程设计中的典型的计算方法编制的, 它们独立于系统, 通过数据文件与系统之间传递数据。在不改变这些数据文件的格式的情况下, 这些程序可以独立地完善和维护。

3.4 图形处理机制

工程设计涉及到图形处理, 包括将计算结果可视化以及画施工图等。所以工程设计专家系统通常需要很强的图形处理功能。图形所需的数据从全局数据库中得到。

该系统的图形处理机制主要用来把计算结果可视化, 包括支护结构的位移、弯矩等。图形所需的数据由内力计算程序得到, 并存于全局数据库中, 其内容是一些控制点的坐标和相关计算结果。

3.5 解释机制

本系统属于基于规则的产生式系统。在基于规则的产生式系统中, 产生式的苑配是系统求解过程的最基本操作, 由这些基础操作组成对目标树的搜索。通过显示推理路径和有关的道理生式匹配情况, 就产生了系统问题求解过程的解释。选择产生式规则作为解释的基本层次是较为合适的, 因为每条产生式规则是一个独立的数据结构单元, 它具有明确的意义。在这个层次上进行解释既不会过于抽象也不至于过于具体。因为一条产生式规则有一个具体的意义, 能够被用户所理解。

在进行推理时, 系统记录下初步推理中所使用的规则以及计算推理中所得到的计算结果(包括支护结构的尺寸和一些稳定安全系数), 在用户要求解释时, 系统把所作的记录翻译成用户易于理解的形式显示出来。

4 结 语

(1) 基坑工程中专家系统的研究是必要的, 也是可行的。基坑工程中的问题通常需要经验丰富的专家来解决。专家系统可以把专家的宝贵经验存储起来, 所以它能够快速高效地解决复杂的工程问题。因此专家系统可以创造出良好的经济效益和社会效益。既在专家系统可以用来解决不良结构问题, 集信息处理和数值计算于一体的工程设计专家系统可以用来高效解决复杂的工程设计问题。

(2) 工程设计专家系统的研制难度很大, 研究工作应该循序渐进, 系统在完成后还需长时间的维护和完善。

参 考 文 献

- [1] 刘建航, 侯学渊. 基坑工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997. 7~16.
- [2] Srinam D, Maher M L, Fenves S J. Knowledge-Based Expert Systems in Structural Design[J]. **Computers & Structures** 1985, 20(1-3): 1~9.
- [3] Reddy R R, Gupta A, Singh R P. Heuristic, Symbolic Logic and Knowledge-Based Approach to the Design and Constructure of Building[J]. **Computers & Structures** 1992 43(6): 1191~1197.
- [4] 王曙光. 基坑支护选型专家系统[D]. 天津大学, 1998.