

地基处理智能辅助设计系统

宋应文

(中国航空工业勘察设计研究院, 北京, 100086)

文 摘 《地基处理智能辅助设计系统》(IDSGI) 为岩土工程师提供了一个快速、准确的集地基识别、方案选择、方案设计和具有绘图功能的软件包。本文讨论了 IDSGI 的建造原理及过程, 并着重阐述了 ①知识库; ②推理机; ③设计模块; ④图形模块; ⑤其它模块。

关键词 地基处理, 智能, 设计系统

1 前 言

计算机科学近 30 年来对工程设计的影响十分巨大, 手工设计正逐渐被自动化、智能化所代替。专家系统是计算机应用中具有吸引力的领域之一^[1], 目前在岩土工程中建成的系统主要有: 挡土墙设计专家系统^[2]、独立基础设计专家系统^[3]、桩基方法选择系统、隧道开挖面评价系统、斜坡稳定施工方法选择系统、地下连续墙钻孔用稳定液的管理系统、地基液化判定系统、基岩分类系统、砂桩加固地基施工的自动化系统^[4]及智能型基础工程计算机辅助设计系统^[5]等。

建立地基处理智能辅助设计系统有着重要意义^[6]。地基处理方法的选择涉及因素众多, 往往要结合上部结构、工程地质、水文地质、处理的技术指标及范围、施工条件及环境因素, 考虑以往的经验, 进行经济合理、技术可行、材料来源和有无障碍物等情况的分析和调查研究, 从而选择合理的地基处理方案, 这对工程经验不丰富的工程师来说是一个十分困难的问题。如果选择不合理的方案, 就会造成经济上的巨大浪费, 甚至发生工程事故。为此, 笔者建立了《地基处理智能辅助设计系统》(IDSGI)。

IDSGI 是一个集地基判别、方案选择、方案设计及绘图功能的软件包, 由知识库、设计程序库、推理机、学习模块、打印模块及 CAD 等部分组成。它能够帮助我们以最小的代价解决复杂的工程问题, 同时有利于保存工程资料。其基本结构见图 1。

知识库是存储地基判别知识、地基特性知识及方案选择知识的静态数据库。事例库是为了进行事例推理而保存已有设计文件的文件库。

推理机是解决地基判别和方案选择的策略。该系统通过正向推理机查询地基特性知识及通过反向推理机判定地基类别和选择方案。事例推理则通过现有问题条件与所存数据文件的条件进行比较, 是在满足一定阈值下直接调用事例文件作为设计文件的一种方法。

设计程序库是用于地基处理方案设计的软件库, 可以设计《建筑地基处理技术规范》中的 10 种方法。CAD 是将设计好的地基处理方案图形化的软件包。打印模块和学习模块分别

用于文件打印和事例学习。

2 知识库系统

知识库是存储专家知识的静态数据库^[7,8],它是智能设计系统的关键。而知识表达与推理策略则是知识应用的机制。IDSGI 包含有 4 类知识:地基判别知识、地基特性知识、方案选择知识和事例知识。

地基判别知识由框架模式作为知识表达结构。例如,对于淤泥,其特征描述为: $e > 1.5$; $W > W_l$; $a_{1-2} > 0.5$ (MPa^{-1}); $c_u < 30$ (MPa); 且具有触变性。

知识库中有关于淤泥、淤泥质土、湿陷性黄土、素填土、杂填土、暗沟、暗塘、冲填土、碎石土、砂土、粘土、人工填土等地基类型的描述^[9,10]。

为了帮助用户了解地基工程性质, IDSGI 提供了地基特性知识。这类知识的结构和表达方法与地基判别知识相同,例如,对于粉土的工程性质描述为:① 结构性差。在取土、运土过程

中易扰动失水,使空隙比减小;② 受振后发生水析。在地震作用下液化、喷砂冒水时间比较长;③ 水头作用下发生流砂。在基坑开挖、排水时应注意其水稳性差的特点;④ 用 SPT 测粉土的比贯入阻力,往往很高。如用粘性土中求得的经验公式来预估粉土的工程性质,则容易误判,甚至会过高地估计粉土的承载力或模量,且沉桩时不易穿过,应避免采用压桩方法;⑤ 压实性差。最好配置粘性土以改善级配,原因是含众多的云母片以弹性变形消耗能量的缘故;⑥ 不能用石灰加固粉土。用相同量石灰加固的粉土强度及模量均明显小于粘性土的加固效果;⑦ 粉土层中毛细水上升很高。易使道路冻胀、翻浆;⑧ 粉土有假塑性。无法按试验规程作试验,塑性、液性、塑性指数都不能用作粉土的评价指标。

IDSGI 中含有前述土类的工程特性描述。

地基处理方案选择是一个十分重要的环节,涉及到众多的因素,通常应考虑有:土的类别、结构条件、施工条件、环境条件等^[1]。地基处理方案选择知识用框架结构表示。

IDSGI 可以存储 5 个事例,其文件结构为:① 地基类型;② 可行性处理方案;③ 最佳处理方案;④ 设计结论;⑤ 施工指导;⑥ 测试指导。

对于高频事例,系统可将其调整到前端,以便进行搜索。

当知识库建成以后,既要保持知识的相对稳定,又要便于知识的扩充和管理。建立合理

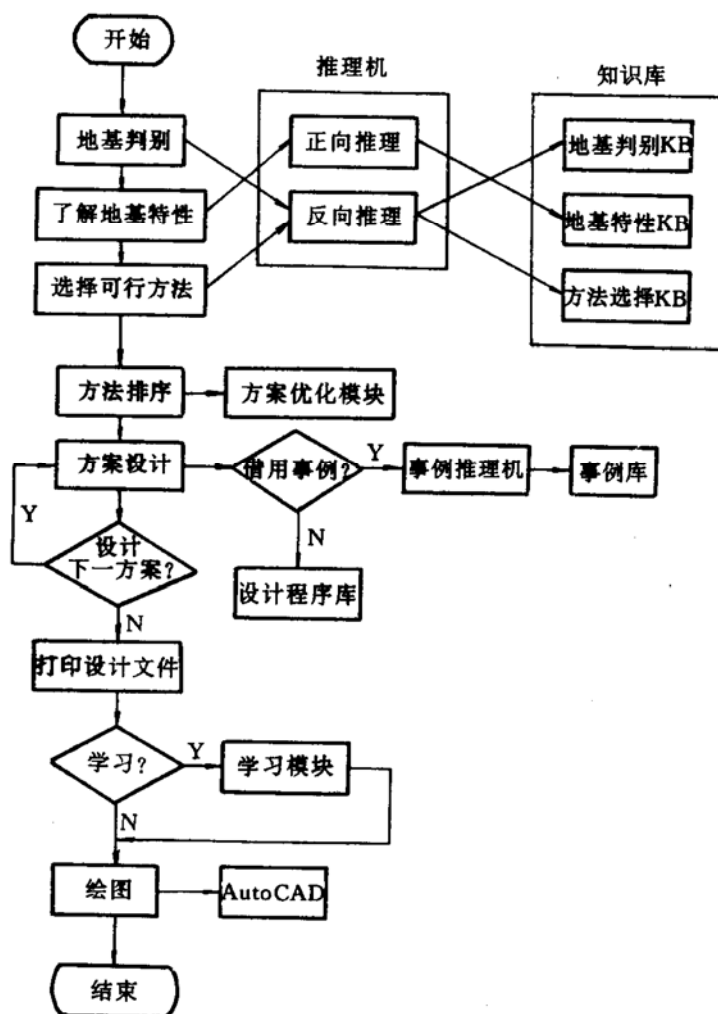


图1 IDSGI 系统框图

的知识库管理系统,可以保证知识的共享及知识的完整性和独立性。在 IDSGI 中采用了全屏编辑软件来对知识进行增、删、查、改。

3 推理机及方案优化

推理机是解决问题的策略,是知识应用的机制。常见的有三段论推理、归结反演系统、基于规则的演绎系统、归纳推理与不精确推理^[7,8]。IDSGI 根据不同的知识特点采用了反向推理、正向推理及事例推理。方案优化主要采用专家评分法。

由于土质的变化和不确定因素较多, IDSGI 采用反向推理模式来作为地基判别和方案选择的推理机制。

正向推理机是肯定前提的条件下在知识库中搜索满足前提要求的结论,在地基特性判定中采用了这种机制。并在搜索解的过程中,采用了深度优先法,这是由于在地基特性判定中树不深,可以达到高效的缘故。

所谓事例推理机是进行事例推理的机制,通过输入基本工程参数与计算机内事例库进行比较,按最小距离拟合,从而得出设计方案的推理方法。

为了弥补专家知识的不精确和不完善,采用了系统工程的有关理论和方法来对可行性方案进行排序优化。在系统中有专家评分法、模糊评判法和 AHP 法^[1],后两者仅作备用。

就结构因素、施工因素、环保因素而言, IDSGI 中给定了 10 多项指标,用户可以根据实际情况对系统中的各项指标评分,也可以自己设立指标体系。

4 设计程序库

地基处理方法设计程序库是各种地基处理方法设计程序的集合。该库的建立是使手工劳动用自动化、智能化代替的关键。在 IDSGI 中包含有换土垫层法、堆载预压法、真空预压法、强夯法、振冲密实法、振冲置换法、灰土桩法、砂石桩法、深层搅拌和高压喷射注浆法^[9,10,12,13]。其基本结构如图 2 所示。

IDSGI 中虽然已有 10 种设计方法,但还有待进一步扩充和完善。

5 图形处理系统

IDSGI 绘图系统是将设计文件转换成图形交换文件,再经过调用 Auto CAD 形成图形文件的。Auto CAD 具有广泛的功能,它不仅可以绘制各种不同的线、圆、弧、网格、切线,而且可以提供各式文本^[14]。在 Auto CAD 中成图时,文件转换办法为

$$\begin{array}{ccc} \text{图形文件} & \xrightarrow{\text{DXFOUT 命令}} & \text{图形交换文件} \\ (\text{DWG 型}) & \xrightarrow{\text{DXFIN 命令}} & (\text{DXF 型}) \end{array}$$

其中 DXFOUT 的命令格式为

Command: DXFOUT

File name: 输入要转换的文件名为 Enter decimal places of accuracy (0~16)

DXFIN 命令的格式为

Command: DXFIN

File name: 文件名

DXFIN 必须是进入 Command 状态后键入的第一个命令。DXFIN 文件具有共同的格式与结构, 可分为 5 段, 即标题段、表格段、块段、实体段和结束段。

标题段: 标题段的变量具有一定的值或状态, 用于确定作图的各种状态参数。

表格段: 表格段有 4 种表, 用来进一步确定作图状态。它们是①线型表: 指出图中所用的各种线型; ②层次表: 列出所设的层名、颜色及线型; ③字体表: 列出图中所用字体名、比例因子、倾角、字高、字体文件名; ④视图表: 列出各种视图名及其范围。

块段: 图中各定义块的参数描述, 如块名所在层、插入点、组成块的各图之说明。

实体段: 图中所有图元的说明, 如图: 园心、半径、层次; 直线: 层次、起终点; 块、层、块名、插入点、比例等。

结束段: 最后两行, 即

O
EOF

6 其它辅助模块

地基处理智能辅助设计系统还涉及到许多界面模块, 采用了流行的窗口和菜单作为界面, 使对话方便、简捷、迅速。主菜单见图 3。

另外, 一个完善的智能设计系统应该具备学习功能^[8], 对典型事例进行分析与记忆。通常采用的学习方式有机械学习、指导学习、实例学习、类推学习。由于土质千变万化, 工程概况各不相同, 施工企业队伍素质亦不尽相同, IDSGI 采用了类推学习模型。其原理为

新旧问题动态差别 $DO(SI, 1, SI, 2)$;

新旧问题终态差别 $DO(SF, 1, SF, 2)$;

新旧问题路径限制差别 $DP(PC1, PC2)$;

新旧方法可应用度的差别 $DA(SOL1, SOL2)$ 。

据此, 计算出新的差别度 DT 为

$DT = \langle DO(SI, 1, SI, 2), DO(SF, 1, SF, 2), DP(PC1, PC2), DA(SOL1, SOL2) \rangle$

选择使 DT 极小的方法作为解决新问题的基础。IDSGI 可以记录学习达 65 个事例。

打印模块可自动将设计文件打印出来, 帮助项可为用户提供使用说明。

7 应用实例——某砂土地基处理

某单层厂房地基 $54m \times 40m$, 以砂土为主要层, 其地质条件为

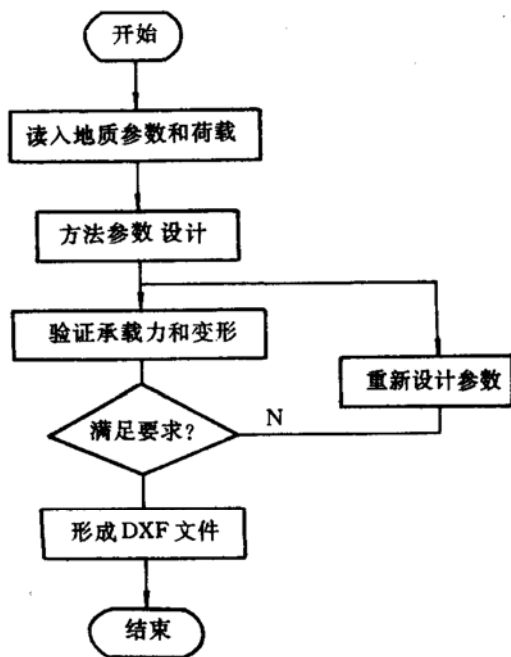


图 2 地基处理方案设计框图

第一层：杂填土，厚 1.5~3.0m，含褐色粉土和粉质粘土。

第二层：砂土，厚 2.0~4.0m，由细砂、中砂组成。

第三层：粘性土，厚 1.0~3.0m，可塑状态。

第四层：砂土，厚 2.0~5.0m，由粉细砂、中砂组成。

用 IDSGI 进行分析设计的结果文件为

地基类别：砂土地基

工程特性：①砂土在地震作用下易发生液化，②设计处理方案时宜对其抗液化能力、相对密度、SPT 值进行综合分析。

可行性处理方法：强夯法、振冲密实法、砂石桩法。

方法排序结果：强夯法、砂石桩法、振冲密实法。

最佳方法：强夯法。

设计结论：单点夯击次数为 12；夯击遍数为 2；两遍夯击间隔为 18d；夯击面积为 44.5m×58.5m；夯锤半径为 1.5m；单位夯击能为 3000kN·m；影响深度为 7.5m；夯点间距为 6.0m；夯点布置为等边三角形。

施工指导：①采用 10~25t 园形带气孔的夯锤；②锤底静压力为 25~40kPa；③可用履带式起重机起吊夯锤；④施工时应检查是否有地下结构物或管线；⑤施工产生的振动不能影响邻近建筑物；⑥其它参见《建筑地基处理技术规范》(JGJ79-91) 及《地基处理手册》。

检测指导：①检查每天的施工记录；②两周后方可对地基处理效果作评价性检测；③检查方法：室内常规土工试验、SPT 和静载试验；④检验点：不少于 4 处。

在设计过程中，IDSGI 已生成 HEAVTMP、DXF，进入图形处理系统即生成施工图，施工图从略。

8 结 论

我国岩土工程界在地基处理方面已积累了丰富的知识和经验，科学地学习和利用这些经验会创造出良好的经济效益和社会效益。地基处理智能设计系统的建造是实现这一目标的有效途径。

地基处理智能辅助设计系统是辅助岩土工程师进行地基识别、选择和设计地基处理方案的智能系统。它包含有换土势层法、堆载预压法、真空预压法、灰土桩法、振冲密实法、振冲置换法、强夯法、深层搅拌法和高压喷射注浆法等设计模块、地基判别知识库、地基特性知识库、方案选择知识库及事例库和图形处理系统。在问题求解过程中采用了正向推理机、反向推理机及类比推理机。在地基判别过程中系统还可以对用户的提问进行解释，具有方便的用户界面。其主要特点为：交互性、集成性、智能性、图形自动生成。但目前其自检功能仍有待提高，知识库和设计程序库仍需进一步扩充和改善。

将人工智能应用于岩土工程是使工程设计劳动量减少，精度提高的有效方法，应该在岩

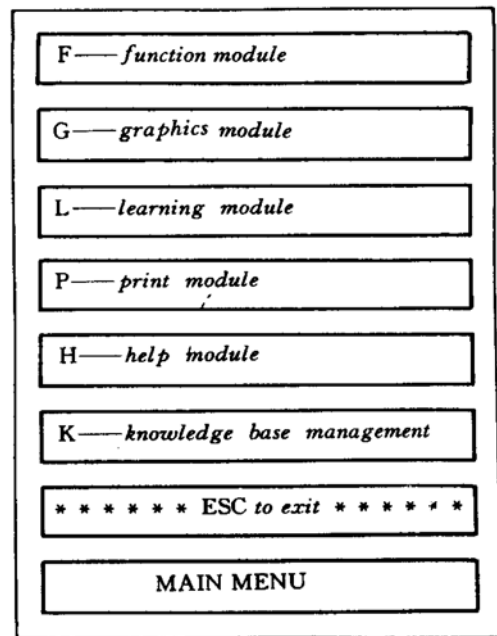


图 3 IDSGI 主菜单

土工程界受到高度重视。地基处理智能辅助设计系统为其作了一个开端, 随着它的进一步完善, 一定会产生很好的经济效益和社会效益。

该系统的建造是在北方交通大学唐业清教授指导下完成的, 并得益于冶金部建筑研究总院周国钧高工指点, 在此一并表示谢意。

参 考 文 献

- 1 宋应文, 赵文东. 土木工程中的专家系统. 工业建筑, 1993, (7): 21~23.
- 2 Michel A Rosenman, John S Gero et al. Expert System Application in Computer Aided Design. Computer-aided Design, 1985, 30 (3).
- 3 Nabil A B Yehia et al. A Knowledge Base Approach for the Design of Spread Footing. Computer and Structure. 1988, 30 (3).
- 4 姚国华. 日本建筑企业应用计算机概况. 施工技术, 1993, (7).
- 5 陈先稻, 罗 唏. 智能型基础工程计算机辅助设计系统 (FECAD). 见: 全国高校第四届土力学基础工程学术研讨会论文集, 1994: 257~263.
- 6 宋应文. 地基处理智能辅助设计系统的研制 [硕士学位论文]. 北方交通大学, 1993.
- 7 史中植. 知识工程. 清华大学出版社, 1988.
- 8 傅京孙, 蔡自兴. 人工智能及其应用. 清华大学出版社, 1987.
- 9 《地基处理手册》编写组. 地基处理手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988.
- 10 《建筑地基处理技术规范》编写组. 建筑地基处理技术规范 (JGJ79-91). 北京: 中国计划出版社, 1992.
- 11 宋应文, 唐业清. 地基处理方案决策法. 地基基础工程, 1993 (1): 7~11.
- 12 《建筑地基基础设计规范》编写组. 建筑地基基础设计规范 (GBJ7-89). 北京: 中国建筑工业出版社, 1989.
- 13 Song Yingwen, Tang Yeqing. The Calculation of Degree of Consolidation. Proceedings of the International Conference on Soft Soil Engineering, Science Press, Beijing, China, 1993.
- 14 吕凤翥, 蔡速新. 微机绘图软件 Auto CAD. 清华大学出版社, 1987.

Intelligent Desing System on Ground Improvement

Song Ying-wen

(China Aviation Industry Institute of Geotechnical Investigation Survey & Design, Beijing)

Abstract Intelligent Design System on Ground Improvement (IDSGI) provides geotechnical engineers a fast, correct tool for the choice, design and drawing of ground improvement. This paper presents the establishment of IDSGI. The following topics are discussed in detail in this paper: ① Knowledge base; ② Inference mechanism; ③ Design model; ④ Graphics model; ⑤ The others.

Key words ground improvement, intelligent, design system.