

计算机在工程地质中的应用

周 东 王业田

(桂林工学院建设工程系 541004)

摘 要 回顾了计算机在工程地质领域中的应用历程, 分析了当前计算机的应用现状, 今后硬件将以高档微机和工作站、服务器为主, 软件上将以 GIS 的研制、开发和各种工程地质分析模型的建立、简化为研究热点。

关键词 工程地质; 计算机应用; 制图; 专家系统

分类号 TP39; P642

1 历史的回顾

计算机在工程地质中的应用是随着计算机技术与数学、力学理论而逐渐发展起来的。采用计算机来解决工程地质实际问题已有了近 30 年的历史, 早在 70 年代后期, 成都地质学院就在 BD-69125 机上进行了线弹性有限单元程序的开发, 并将其应用于区域地质稳定性评价和斜坡稳定性分析, 在当时计算机应用多限于数值计算及数理统计, 如有限差分法、有限单元法、边界单元法、离散单元法, 为处理复杂的工程地质问题提供了很好的途径。然而自 80 年代中期微型机的广泛使用以来, 许多过去只能在大中型计算机上开发运行的计算机软件得以在微机上实现, 如进行弹性、弹塑性、粘弹塑性分析及动力反应分析的大、中型有限元计算机程序, 并开始向着系统化、软件包化、商品化方向发展。同时数据库技术、CAD、专家系统等也开始起步并得到一定的应用, 进入九十年代以来, 尤其是近几年, 计算机软硬件飞速发展, 为计算机在工程地质中的应用增添了活力, 逐渐确立了界面友好、易于操作、图形图像完美、功能模块丰富的软件设计思想, 并开发了一批计算机应用软件, 如苗放、黄润秋开发的《工程地质数据处理及成图成像软件包》, 秦四清、黄润秋研制的《滑坡灾害预报系统》, 吴恒完成的《有色金属矿山水文地质工程地质评价专家系统》等等, 这一阶段, 地理信息系统的开发也有所发展, 计算机已深入到工程地质工作的各个环节。

2 应用现状

2.1 数据统计分析及处理

2.1.1 单变量统计分析 工程地质参数的概率分布计算; 参数取值的保证率及可靠度分析; 样品归类的方差分析; 单因素的一元线性、非线性回归分析等。

2.1.2 多变量统计分析 物理力学性质指标的多元线性、非线性回归分析; 岩体应力场组成的多元回归分析; 土体分类、岩体质量分级、地基类型划分等的聚类分析; 结构面

1996年3月12日收稿, 4月10日改回。

第一作者简介: 周 东, 男, 1963年出生, 讲师, 岩土工程专业。

起伏规律的谐趋势分析; 围岩稳定性分级、岩体质量分级、工程地质环境质量、沙土液化可能性、场地稳定性等综合评判; 物理力学参数影响因素的因子分析等。

2. 1. 3 预测分析 斜坡稳定性空间分布的逻辑信息法预测分析; 位移随时间变化及滑坡发生时间的灰色预测分析等等。

2. 1. 4 随机过程与随机模拟 岩体变形预测的时间序列分析; 岩体稳定性变化的马尔柯夫过程分析; 工程地质参数分布的 Monte—Carlo 随机模拟; 结构面起伏延伸的随机模拟等。

这类软件涉及的面较广, 内容较多, 大多是各个单位根据自己的使用情况组织开发的, 基本都是常规的、实际生产中频繁使用的部分。但也有一部分单位形成了较为完整的系列, 如中国兵器勘察研究院的智能型工程地质软件包。

2. 2 数值分析及数值模拟

与一般的材料科学不同, 土力学和岩体力学所研究的对象——岩土体往往具有复杂的边界条件和漫长的受力和变形历史, 对于这种非均质、非连续、非线性、几何边界复杂并受众多的其它地质因素影响的地质体, 其解析解几乎是不可能求得的, 即便求得, 也不可能是真实的。为此, 人们往往借助于数值方法, 利用计算机来解决复杂的问题。

目前, 在工程地质领域中, 主要使用了有限差分法 (FDM)、有限单元法 (FEM)、边界单元法 (BEM)、离散单元法 (DEM)、半解析元法 (HEAM)、有限分析法 (FAM)、不连续变形分析法 (DAA) 等, 但其使用还不是十分普及, 有限差分法已很少使用, 使用最为广泛的是有限单元法, 不仅理论发展迅速, 而且方法比较成熟, 已编制了大量实用的计算机程序, 既有专用软件, 也有大型通用软件包, 如 ADINA, NASTAAN, ASKA, MARC, SAP5 等, 而另一种数值处理方法——边界元法也以其降低问题的维数的优点, 获得了迅速发展, 特别是它与其它数值方法的结合, 形成了不少实用的软件包。离散单元法具有分析块体不连续变形的优点, 因而特别适合于一些工程地质问题的求解, 目前主要用于边坡稳定性问题的分析, 而半解析法、有限分析法等在工程地质中的应用尚不多见。从今后的发展来看, 多种分析方法的耦合将是数值分析研究的重点, 如有限元—边界元耦合、离散元—边界元耦合等等, 并且, 这些数值分析方法还与数据库、专家系统、灰色理论等进行耦合, 形成一些功能强大的数值分析软件包。

数值模拟则是根据现有资料, 借助于数值分析方法, 通过对岩土体的特征进行空间和时间的延拓, 从而获得满足于现有资料或现状特征的整个岩土体特征的时、空变化规律。最常见的是对过程或现象的模拟, 主要包括: 在边界条件比较清楚、主导因素明确情况下的模拟再现问题, 即拟合现有的现象和地质特征, 再现岩土体的应力和应变发展演化过程, 评价岩土体的稳定性, 并预测其未来的发展变化趋势或“失稳”破坏方式; 在边界条件和主导因素不甚明确的情况下的模拟验证问题, 即以不同的边界条件或主导因素建立模型, 并借助于数值分析方法, 确定出与岩土体的性状或变形破坏特征拟合得最好的模型, 从而确定岩土体的边界条件和主导因素, 进而分析其机制。过程或现象的模拟是一个过程的动态数值模拟问题, 也是一个从量变到质变的过程, 量变是小变形过程, 而质变则是大变形过程。这两个过程目前尚无统一的数学力学模型来表达, 对小变形的描述多采用基于弹性或粘弹塑性理论的本构方程, 用有限单元法 (FEM) 等数值法求解; 而大变形的描述多采用准刚性块体模型或不连续变形模型, 利用离散单元法 (DEM) 或不连续变形分析法

(DAA) 求解。这方面的软件主要有：由成都理工学院黄润秋等研制的“数值模拟软件包”、同济大学朱合华等开发的“BAP—EV23 边界元法反演分析计算程序”等，而前者不仅功能比较完善、计算能力较强，而且具有彩色图形动态显示功能，从而方便了计算成果的分析 and 应用。

数值分析和数值模拟在地基、基础和上部结构共同作用分析中也得到了充分应用。CSSBISL 软件包即是这类软件的一种，它可以充分考虑土的非线性特性、地基的不均匀性、荷载的差异及施工进度和结构刚度的调整作用影响等因素，为优化地基方案、降低工程造价提供了有效手段。

2.3 工程地质分析与专家系统

专家系统是一个具有大量专门知识与经验的程序系统，它能模拟人类的解题策略，以专家的水平来解决专门的、复杂的专业问题，因此，专家系统适合于解决需要专家特有知识、经验才能解决的复杂、疑难问题。工程地质学是一门经验性很强的应用学科，各种工程地质问题的解决很大程度是依靠有经验的专家根据观察到的各种地质现象来作出判断。因此，系统地收集、整理专家的知识 and 经验建立各种专家系统则是非常必要的。工程地质领域已开发的部分专家系统有：①岩质边坡工程地质分析专家系统（南京大学）；②地下工程岩体稳定性分析专家系统（中科院地质所）；③有色金属矿山水文地质评价专家系统（桂林工学院）；④膨胀土地区工程建设专家系统（桂林工学院）；⑤城市土地利用专家系统（桂林工学院）；⑥重大工程区域稳定性评价专家系统（地矿部环境地质研究所）；⑦围岩分析及支护设计专家系统（东北工学院）；⑧新构造找水专家系统（南京大学）。目前，专家系统的研制手段主要有以下 3 类：

(1) 传统的程序设计语言：根据专家在解决问题时所采用的具体步骤来进行设计。由于传统的程序设计语言如 BASIC, C, FORTRAN 等本身不能进行推理，因此，用它们设计的专家系统程序很长，通常比用人工智能语言编写的专家系统要大 5~10 倍，因此，其性能不可能很好。

(2) 人工智能语言：人工智能语言主要有 LISP 和 PROLOG 两种，它们都具有很强的文字处理能力，是进行专家系统开发的重要工具，大多数专家系统都是用 LISP 和 PROLOG 语言来编写的。

(3) 专家系统开发工具：它是一种能用来生成专家系统的专家系统，由开发机和推理机组成，利用其开发机建立知识库，纳入到推理机中即可形成用户开发的专家系统。这些工具主要有 ART、LOOPS、REVEAL 等

在专家系统的构造上，广西大学吴恒教授等人提出了两类专家系统的概念。第一类专家系统是基于某个或某几个专家的知识、经验进行构造，以专家的丰富知识、经验为系统的主要内容，由计算机再现专家的思维过程和解决问题的水平，这类专家系统犹如专家大脑的复制。如肖楠教授研制的新构造找水专家系统即属此类。第二类专家系统是基于问题的起源、变化与发展构造，其知识的获取不限于某个专家或某几个专家，而是许多专家，并包括与问题有关的研究成果、工程实例及理论分析等。这类专家系统必须具有明显的物理模型、知识模型和分析层次，与第一类专家系统相比，第二类专家系统既有专家经验，又有大量的工程实例和理论分析，三者相互取长补短，充分体现了工程地质的分析原理和类比分析方法。吴恒教授研制的“有色金属矿山水文地质评价专家系统”即属此类。

2.4 工程地质制图

在工程地质成果报告中, 图件是内业工作中最为费时费力的部分, 也是计算机应用的重要内容。很多大、中型勘察研究单位在计算机成图上付出了相当的努力, 自行开发或引进现有软件并投入使用, 常规勘察的各种图件基本上都可由计算机来完成, 如各种工程地质综合图、平面图、剖面图、立体图、等值线图、统计分析图、数值计算成果图等基本上都已实现计算机化, 它们大多是采用 Auto CAD 来实现的。然而, 由于这类软件限于开发者自身条件及开发时的需要, 一般只能满足一定的使用需要(如特定的行业标准和开发单位的习惯格式与内容等), 通用程度不高, 与数值分析、数据处理等功能的集成程度很低。各项工程的数据资料不能形成信息资源而用于其它目的。近年来国际上地理信息系统(GIS)技术的日臻成熟为解决这方面的问题开辟了新的方向。

地理信息系统是指以地理信息处理技术为基础, 以现代系统理论、制图科学和计算机技术为支撑, 并以地理信息为资源, 用来搜集、存储、检索、分析和显示与地理分布有关的数据资料的计算机信息系统。目前, GIS 技术的应用在国际上正处于热门上升阶段, 欧美各国推出了许多成熟的地理信息系统商品化软件, 如 MAPINFO、ARCINFO、ATLAS 等, 美国、英国、日本等发达国家相继应用 GIS 技术开发了工程地质信息系统, 取得了显著的效益, 如意大利学者 F. Brunroi 和 S. Moretti 将 GIS 应用于意大利亚德里亚海边地区的侵蚀灾害图的编制, 不仅提高了图的精度和绘图速度, 也使图件更符合于使用者的需要和图件的存储、更新、复制。我国的 GIS 开发利用较晚, 目前仅北京、深圳等少数城市建立了地理信息系统, 部分工程地质信息系统正在研制建立之中。“北京工程地质信息系统”建立以来已在许多工程勘察(如国家重点项目北京火车西客站等)和《北京地区建筑地基基础勘察设计规范》(DBJ01-501-92)的编制以及北京市地下水动态分布研究等项目中取得了良好的应用效果。目前我国应用的 GIS 软件产品主要有: 美国环境系统研究所(ESRI)产品 ARCINFO、美国 Intergraph 公司的 MICRO-STATION、美国 MAPINFO 公司的 MAPINFO、德国西门子的 SICAD、北京大学遥感所的 CITYSTAR、武汉测绘大学的 GEDSAR 吉奥之星、中国地质大学的 MAP/GIS 及北京大学计算机科学系和中国国家遥感中心合作开发的 GEO-UNIN。

2.5 室内及原位测试数据的采集处理

随着电子技术的飞速发展, 岩土工程分析研究的第一手资料——室内外测试数据的电子化采集与存储和成果图表的输出, 目前已在一些大、中型勘察单位得以不同程度的实现, 部分单位建成了自动化程度相当高的土工试验室。自 70 年代开始的应用研究至今, 测试数据的采集从单片机、PC-1500 发展到 PC 机平台, 并随着数据库技术的成熟得到了很好的应用效益。如中国兵器工业部勘察研究院的旁压仪数据采集与成图系统, 从野外数据的实时自动采集到最终成果图件的绘制均可在计算机的控制下自动完成; 北京市勘察院的电子称重—固结试验数据采集与报表输出系统、动三轴数据采集处理系统和静探数据采集与曲线输出系统等等, 这些系统基本上反映了计算机在勘察测试中应用的现状。

3 存在问题及对策

虽然在工程分析计算、岩土测试和报告图表的生成、绘制方面的计算机应用已经取得

了显著的进展,但总的说来上述几方面工作由于发展阶段和开发应用条件与水平的不同而基本上是相互独立或分离的,即使有一部分相关功能的扩充和组合,其技术标准和硬件环境也存在着相当程度的差异,它们所用和形成的数据结构多以不同的格式或形式存于文件或数据库中,不仅存在相当的冗余,而且不能形成可以共享和开发利用的信息资源,使之在一定程度上成为新的浪费,无法突破单位间、行业间的限制,在城建规划、勘察生产经营和科学分析研究中发挥出潜在的效益。因此,这些软件的使用仍有较大的局限性,今后软件开发利用应朝着以数据库为基础,配以丰富实用功能的集成化信息系统即GIS方向发展。为了推进GIS系统的开发应用,应做好以下几方面的工作:

(1) 建立一个完整适用的信息系统存在较多的困难,既包括工程地质与岩土工程专业本身和计算机专业方面多学科、多分支的协调,也包括单位、部门间的协调,而在目前阶段,最首要和关键的因素是对这一方向性工作的认识和领导;

(2) 国内各系统单位应在统一技术标准、分工开发、系统推广方面采取措施,加强合作,有组织、系统地、高层次地开发,以避免重复研制和格式不统一所带来的难以推广使用,提高专业应用软件开发的规范化;

(3) 软件开发环境应以高档微机(486、586)及工作站、服务器为主,同时开发野外用高档便携式微机及微型数据采集器的软、硬件接口,既便于数据资料的资源共享,也适合目前各工程勘察部门的实际情况,同时还实现了野外试验数据的采集自动化;

(4) 目前GIS系统的智能化水平不高,许多问题的分析模型还没有或难于建立起来,其综合分析能力还受到问题的分析模型的制约,故必须重视分析模型和专家系统的建立。

工程地质分析模型是进行计算机应用的前提,而工程岩土体是十分复杂的,如对工程的实际地质情况不加任何简化,那就无法建立各种分析模型,相应的各种计算机应用(如数值分析方法、物理模拟、经验类比等)也就无从谈起,因此,建立分析模型并合理简化是运用计算机进行各种评价和预测可靠性的重要基础。模型的建立和简化是主观抽象的概括,具有很大的主观随意性,这是造成数值计算、模拟试验可信度低、经验类比、评价失误的重要原因。模型的建立和简化必须建立在充分的工程地质调查、力学模型和变形破坏机制分析的基础上,注意将新的数学理论应用到计算机的应用建模上,同时由于分析模型的简化和抽象的重要性,还应制定相应的规程来保证其准确性和合理性。

参 考 文 献

- 1 吴恒. 专家系统与工程地质研究. 工程地质——传统与未来. 成都: 成都科技大学出版社, 1993. 33~35
- 2 胡开林. 城市规划管理信息系统. 云南工业大学学报, 1996, 12(4): 33~37
- 3 黄润秋. 工程地质学中的数值模拟与拟合. 水文地质工程地质, 1991, 18(5): 551~555
- 4 黄润秋. 地矿系统工程地质软件开发与计算机应用. 中国工程地质软件大全. 北京: 地质出版社, 1993. 20~25
- 5 黄云飞. 计算工程地质学. 北京: 中国兵器工业出版社, 1992
- 6 赵术强. 国防机械系统工程地质软件开发应用简介. 中国工程地质软件大全. 北京: 地质出版社, 1993. 1~2
- 7 殷跃平. 福州市马尾开发区场址地震评价专家系统(CRUSTAB). 第四届全国工程地质大会文集. 北京: 中国海洋出版社, 1992. 47~53
- 8 郑临. 城建工程勘察中的计算机应用与发展. 中国工程地质软件大全. 北京: 地质出版社, 1993. 44~47

- 9 费宇明. 地理信息系统及其在地质灾害中的应用. 工程地质—传统与未来. 成都: 成都科技大学出版社, 1993. 11~12
- 10 杨 昆. 关于建立城市地理信息系统的探讨. 云南工业大学学报, 1996, 12 (4): 29~32
- 11 周 东. 人工智能在矿山水文地质中的应用. 桂林工学院学报, 1996, 16 (4): 436~442
- 12 周 东. 岩土工程勘察计算机辅助成图系统. 桂林工学院学报, 1996, 16 (1): 36~40
- 13 周 东. 城市工程地质数据库系统. 第四届全国工程地质大会文集. 北京: 中国海洋出版社, 1992. 1464~1470
- 14 胡厚田. 硬质岩坡崩塌发生概率的计算机模拟. 第四届全国工程地质大会文集. 北京: 中国海洋出版社, 1992. 1548~1554
- 15 杨文远. 有限元法在区域地壳稳定性分析中的应用. 第四届全国工程地质大会文集. 北京: 中国海洋出版社, 1992. 1567~1574
- 16 梁金火. 人工智能方法在煤与瓦斯突出变化趋势预测中的应用. 第四届全国工程地质大会文集. 北京: 中国海洋出版社, 1992. 1633~1641
- 17 丁恩保. 工程地质研究和发展中的一些问题探讨. 第四届全国工程地质大会文集. 北京: 中国海洋出版社, 1992. 1726~1730
- 18 程士俊. 铁路隧道围岩分类专家系统. 第四届全国工程地质大会文集. 北京: 中国海洋出版社, 1992. 738~746
- 19 Loan N T, Austriaco L R. Environmental Systems Information Center; Information Resource on Environment. Proceedings of International Conference on Urban Engineering in Asian Cities in the 21st Century, 1996. A. 152~A. 155
- 20 Besana E F, Austriaco L R. Database of Geodatabases; An Information Resource for Geotechnical Engineerings. Proceedings of International Conference on Urban Engineering in Asian Cities in the 21st Century, 1996. B. 92~B. 95

THE APPLICATION OF COMPUTER TO ENGINEERING GEOLOGY

Zhou Dong Wang Yetian

(*Department of Construction Engineering, Guilin Institute of Technology*)

Abstract It's forecasted that advanced micro-computer and workstation, server are leading role in hardware and the developing of GIS as well as building the analysis model of engineering geology will become the new studying focus in software after looking back the course of computer's application to engineering geology on the basis of analyzing the present situation of computer's application.

Key words engineering geology; computer application; mapping; expert system