

文章编号: 1000-7598-(2003) 04-0614-04

三维地层信息系统在岩土工程中应用研究

王纯祥^{1,2}, 白世伟¹

(1. 中国科学院武汉岩土力学研究所 岩土力学重点实验室, 武汉 430071; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要: 根据岩土介质中复杂的地质现象及其地层的层状展铺特性, 建立了三维地层模型。三维地层信息系统在岩土工程中的重要作用就是数据库管理功能、复杂的地质现象的可视化及分析功能。阐述了 3DSIS 的功能和应用, 提出了 3DSIS 与数值分析方法、专家系统耦合集成的模型。

关 键 词: 三维地层信息系统; 地层模型; 耦合集成

中图分类号: TP 391.41 文献标识码: A

Study on application of 3DSIS to geotechnical engineering

WANG Chun-xiang^{1,2}, BAI Shi-wei¹

(1. Key Lab of Rock and Soil Mechanics, Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China;
2. The Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: According to the complex geological phenomena in rock and soil medium and the features of strata, a three dimensional strata model is established. The function of 3-dimensional strata information system(3DSIS) in geotechnical engineering is to make these phenomena visualized, to process the data collected from one project using database and analysis. The function and application of 3DSIS are shown. The integrated model of 3DSIS, numerical analysis method and expert system is suggested.

Key words: 3-dimensional strata information system(3DSIS); strata model; coupling integration

1 引言

岩土工程把岩体和土体作为建筑环境、建筑材料和建筑物组成部分^[1], 是人类在地壳表面和地壳浅层进行的工程活动, 例如采掘矿产资源、建筑地下空间(隧洞、地铁、地下厂房等)、修建水库土坝、筑路架桥、建设高层建筑等。各种类型的岩土工程或修筑在岩土介质之上, 或建筑在岩土介质之中, 出于对工程安全和经济效益的考虑, 设计者和施工者必须对岩土介质基本物理力学性质和在地下的赋存状况有详细的了解。

目前, 要做到对地层岩土介质状况的准确掌握和分析存在几个困难: ①对地层勘察得到的信息, 如钻探、地震等资料, 一般都是针对某一工程, 有的区域资料很集中, 而有的区域几乎没有资料, 勘察的精度和质量难以满足要求, 难以对工程提供更有价值的参考信息; ②勘察资料提供的信息一般都

是以大量的数据和文字图表储存的, 这给较复杂的分析工作带来了极大的不便。

近年来, 地理信息系统(Geographical Information Systems, GIS)的研究迅速发展, 为其中一些问题的解决提供了新的方法和手段。地理信息系统是计算机图形学、地理学、地质学、测量学、地图学等多门学科综合的技术, 是一个采集、存储、分析和显示地学信息的计算机系统。二维地理信息系统发展较为成熟, 已广泛应用在政府管理、土地管理、环境保护、防灾减灾、林业、水利、电力电信、消防、交通、军事等各行各业中, 但在岩土工程中的应用还不多。岩土工程的载体是三维的, 因此, 研究三维地理信息系统在岩土工程中的应用是必要的。

3DGIS 比 2DGIS 要复杂的多, 而不仅仅是增加一个三维坐标和将点线面扩展到体的问题。在数字表达时, 三维对象比二维对象多而复杂, 致使目

前许多涉及到三维 GIS 的工作进展缓慢。虽然, 最近有些系统或软件在三维数据处理和三维目标显示方面表现出比较好的能力, 但对三维的数据结构和数据模型远没有达成共识, 这也制约了 3D GIS 与岩土工程数值分析方法的有效集成。这些问题已成为 3D GIS 的瓶颈问题。

2 岩土介质中的地质现象

岩土介质是经历了漫长地质历史演变生成的地质体, 由于构成矿物成分不同, 成岩成因不同, 经历的地质构造作用和风化侵蚀程度不同, 形成了复杂的地质现象。虽然地质体的成因、规模、形态、结构差别较大, 但从几何学的观点来看, 各种地质体的构造都可以归纳为面状构造和(矿)体构造^[2]。面状构造主要有层理(地层面)、节理和断层(断裂); 线状构造包括呈线性构造以及各种平面的交线, 如褶皱的枢纽和线理等; 矿体则是富集某些矿物成分的岩石体, 根据矿物形成的原因、环境和条件的不同, 矿体的形状有层状、脉状、网状和团块状之分。作为岩土工程的应用来说, 主要考虑的地质现象为地层、断裂和矿体(也可看作一种地层)。

地层是在一定地质时期所形成的层状堆积物或岩石, 相邻的地层之间由地层界面加以区别。它具有如下特点(如图 1): (1) 地层是层状展铺的地层面分割的空间实体; (2) 根据钻孔资料可知钻孔间存在某种岩性的厚度变化或尖灭(pinchout), 有些地层类似透镜体; (3) 层与层之间是紧密的相邻关系; (4) 地层通常是一个不规则的曲面, 不能用数学表达式表达。在三维 GIS 中, 可以采用与数字高程模型类似的方法表达地层的界面。

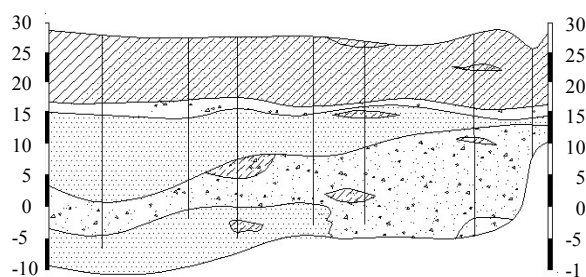


图 1 典型的地层断面
Fig. 1 A typical section of strata

断裂也是最常见的地质现象之一, 它破坏了地质体的连续性, 改变了数据的原始分布格局。因此, 在存在断层的情况下, 必须首先考虑断层对岩土工程稳定性的影响。目前, 对于断裂的三维表示与模

拟研究, 还处于研究和探索阶段^[3-5]。

除了天然的地质现象外, 还存在一些人造工程。如钻孔、矿山巷道、采空区、隧道、地铁车站、水电站厂房、建筑物基坑及其相应的工程结构等。

以上所描述的地质现象都是真三维的。随着 GIS 应用的深入, 人们越来越多地要求用真三维的空间来处理问题。

3 三维地层信息系统的研究

以地理信息系统的发展和广泛应用为背景, 紧密结合岩土工程的特点, 我们提出了三维地层信息系统(3 Dimensional Strata Information System, 3DSIS)^[6-7]。它是以岩土力学、工程地质以及地质勘探和设计施工资料为基础, 结合数据库技术、图形图像学技术、信息技术等先进工具开发进行地层信息处理、真三维地层建模和工程稳定性分析的软件系统。该系统通过对离散工程地质钻孔数据进行地层分层分析处理, 生成真三维地层模型, 合理地反映地下复杂的地层结构, 从而为工程计算和分析提供可视化数据。

3.1 三维地层模型的建立

三维地层模型的建立是三维地层信息系统的核心问题。由于岩土介质空间分布的不连续性、不均匀性和不确定性, 地层之间相互交叉侵蚀, 地质实体之间的关系错综复杂, 所以, 应进行地层的划分, 三维地层信息系统中地层是根据岩性划分的。根据钻孔资料, 对钻孔遇到的岩层分界点, 即钻孔所遇到的岩(土)层竖向 z 坐标的关系, 进行综合分析, 根据层与层之间压与被压的上下关系确定地层的排序, 相同的岩性并且与垂直方向位置相似的看作同一层。然后, 根据钻孔遇到的各层面坐标, 按照二维 GIS 中数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)的方法进行地层面的曲面拟合。曲面拟合函数采用文献[8]中介绍的一种方法, 这样形成每一岩层、土层的 DEM, 同时, 这些多层 DEM 都有完全一致的参照系并能互相准确匹配, 严格一一对应。对应于规格网中的 (x, y) 坐标, 不再是只有一个 z 值与其对应, 而是可以存在多个高程值。然后, 根据岩层、土层的属性对多层 DEM 进行交叉划分处理, 形成空间中严格按照岩性为要素进行划分的三维地层模型。

3.2 三维地层模型中剖面切割算法

在三维地层模型中, 地层面是由钻孔数据插值拟合而成, 其上下对应的不同层之间则是由规则格网分解而成的三角网, 由于它们在水平面上的投影

是相同的,因此,上下对应的三角形和竖直方向上互相平行的三条棱构成了三棱柱结构。地层模型是以三棱柱为基本体元,为了能在数据结构上对地层模型的“切割”或“挖掘”进行表达,要求基本体元能够进行分解,且分解后仍由基本体元构成,以形成数据结构上的一致性。其中,三棱柱体元的分割一共存在 5 种不同的构形,如图 2 所示。这 5 种切割组成了对三棱柱的基本切割方式,而且能保持数据结构上的互补对称性和旋转对称性。在切割时,规定每条边与切割面最多只能有一个交点,这样将三棱柱体元一分为二,并形成两个多面体,这两个多面体若不是基本体元,还可以再次进行分割,以形成一个或多个三棱柱体。

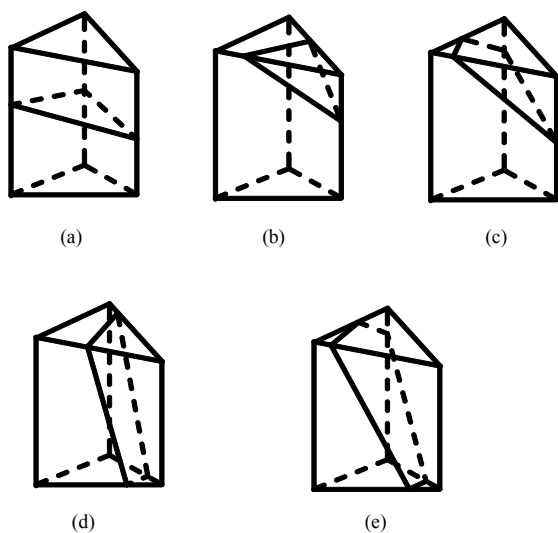


图 2 三棱柱体的切割算法
Fig.2. Algorithms of incision in tri-prism

4 三维地层信息系统在岩土工程中的应用

3DSIS 软件可应用于工程地质、地质勘探、城镇建设工程、采矿工程、水利工程、铁道公路工程及环保工程等领域。

4.1 三维地层信息系统的应用功能

(1) 勘察资料(主要是钻孔资料)的输入、存储、编辑。对输入的地层物理、力学参数以及描述地层特征的文字在进行规范化数字化后,建立空间数据库,并提供修改、删除、增加、更新数据的工具。

(2) 数据的查询、检索。根据用户提出的问题,确定查找方向、步骤,从数据文件中提取所需要的数据。

(3) 三维地质模型的可视化分析。实现三维

地层的立体显示,按比例放大、缩小、旋转、移动,可以从任意角度进行切割剖面,输出剖面图以及等值线图。图 3—图 5 是 3DSIS 对某一工程的应用成果。

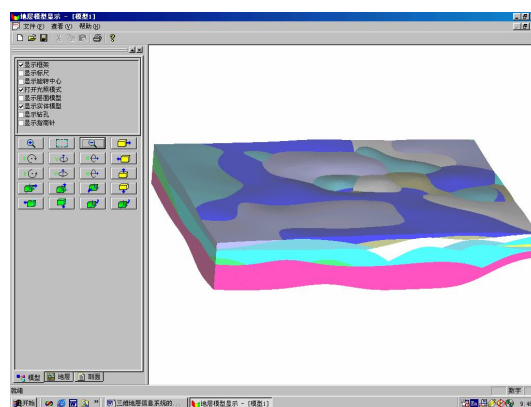


图 3 三维地层显示
Fig.3 Display of 3D strata

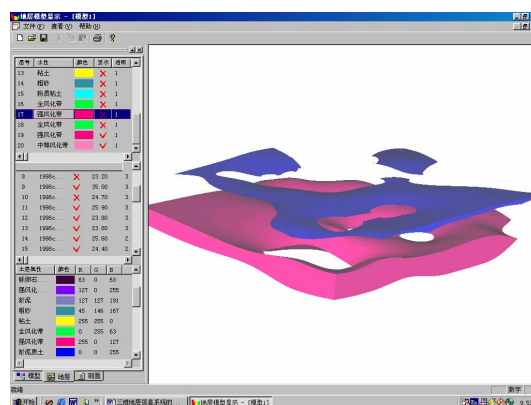


图 4 三维地层分层显示
Fig.4 Delamination display of 3D strata

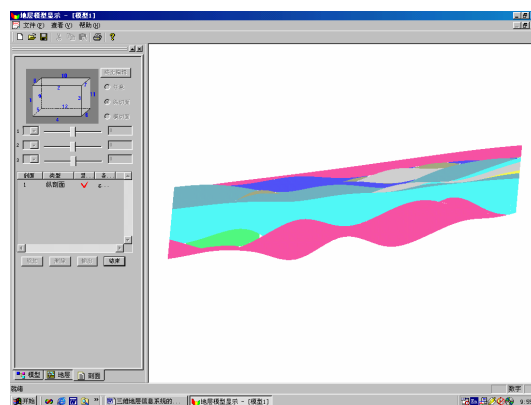


图 5 地层的任意纵剖面
Fig.5 Random vertical section of strata

5 讨论

现有 GIS 的空间分析功能还很有限, 随着应用的深入以及 GIS 向产业化发展, 越来越多的 GIS 研究人员意识到 GIS 空间分析能力的缺乏已经成为 GIS 进一步发展的障碍, 集成作为多种技术融合的手段毫无疑问将为 GIS 的深入应用提供有效的帮助^[9]。然而, 由于专业模型 (或系统) 通常都是独立于 GIS 在各领域发展起来的, 其规模和复杂程度可能和 GIS 一样复杂而又庞大。因此, 这就需要进行 GIS 与工程模型的耦合来解决实际的工程问题。一方面, 可以发挥 GIS 在空间数据操作方面的优势; 另一方面, 改变 GIS 应用系统中相关工程模型开发工作效率低的局面, 弥补 GIS 在各专业计算模型方面的不足。在岩土工程中, 3DSIS 与数值分析方法和专家系统 (Expert System, ES) 的耦合集成是一个重要的应用方向。3DSIS 用来存储和管理原始数据, 数值分析方法从 3DSIS 中获取优化的数据后进行计算, 然后, 把计算结果再返回 3DSIS 中进行处理, 再结合专家系统进行决策分析, 如图 6, 这样可充分地利用 3DSIS 和现有的数值分析程序或软件为岩土工程服务。

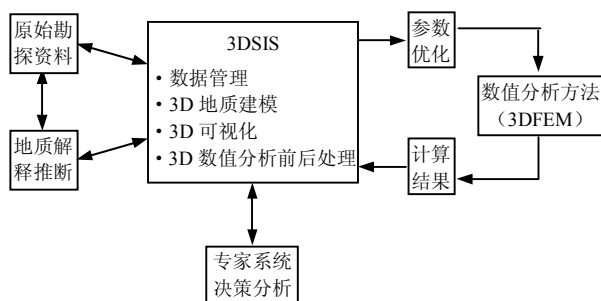


图 6 3DSIS、3DFEM 和 ES 耦合模型

Fig. 6 Coupling model of 3DSIS, 3DFEM and ES

6 结语

(1) 岩土工程中的地质现象是非常复杂的, 本文从地层的层状展铺特性出发, 研究了地层的三维建模, 该模型能很好地模拟较复杂的地层。

(2) 三维地层信息系统的开发和应用, 为岩土工程信息化、数字化开辟了广阔的前景。

(3) 将三维地层信息系统与数值分析、专家系统进行耦合集成, 一方面扩展了 3DSIS 的空间分析功能, 另一方面为岩土工程设计决策、稳定性分析和信息化可视化管理提供了新的有力工具。

参 考 文 献

- [1] 黄润秋, 邓辉, 向喜琼. 岩土工程信息技术[J]. 岩土工程界, 2001, 4 (6): 50—55.
- [2] 程朋根, 龚健雅. 地质矿山中三维 GIS 数据模型的应用问题[J]. 矿山测量, 1999, 2: 14—18.
- [3] Ruber O. Interactive design of faulted geological surfaces[J]. *Geologisches Jahrbuch*, 1988, A104: 281—293.
- [4] Renard P, Courrioux G. Three-dimensional geometry modeling of a fault domain: the south Horst example[J]. *Computes and Geosciences*, 1994, 20(9): 1 379—1 390.
- [5] 李培军. 层状地质体的三维模拟与可视化[J]. 地学前缘, 2000, 7: 271—277.
- [6] 白世伟, 王笑海, 陈健等. 岩土工程的信息与可视化[J]. 岩土工程界, 2001, 4 (8): 16—17.
- [7] 白世伟, 贺怀建, 王纯祥. 三维地层信息系统和岩土工程信息化[J]. 华中科技大学学报(城市科学版), 2002, 19 (1): 23—26.
- [8] 张菊明. 三维地质模型的设计和显示[A]. 中国数学地质[C], 北京: 地质出版社, 1995. 158—167.
- [9] 张犁. GIS 系统集成的理论与实践[J]. 地理学报, 1996, 51(4): 306—314.