

文章编号: 1000-7598-(2007)04-0758-05

工程地质钻孔信息模型及数据库研究

史秋晶¹, 胡伍生¹, 刘丹萍²

(1. 东南大学交通学院测绘工程系, 南京, 210000; 2. 浙江交通职业技术学院路桥系, 杭州, 311112)

摘要: 为了建立结构规范统一的工程地质勘察信息数据库, 提出了“用户”与“系统”两级数据库相互映射的技术, 把用户对数据的操作和计算机处理数据的过程分离开来。其中用户数据库面向用户的需要, 系统数据库则满足信息管理的要求。在系统数据库中采用“块—层”结构的地层数据模型, 对钻探区域进行了“地层层序”优化。“块—层”模型把钻探区域的“优化地层层序”作为一个基本块, 针对性强, 层次清晰地表达了复杂多变的地层信息, 将有不同地层层序的各个钻探点统一成相同的结构, 解决了在地层模型中难以表达地层翻转、缺失信息的问题, 极大地方便了后续的信息处理和钻孔数据插值的进行。

关键词: 钻孔数据; 数据库; 地层层序; 工程地质

中图分类号: P 642

文献标识码: A

Study on ground data model of drill hole information and database

SHI Qiu-jing¹, HU Wu-sheng¹, LIU Dan-ping²

(1. Department of Survey Engineering, Southeast University, Nanjing 210000, China;

2. Highway and Bridge Department, Zhejiang Institute of Communications, Hangzhou 311112, China)

Abstract: In order to build a well-organized engineering geological information database, the exchange between users' database and system database is put forward, by which the users' operation and the procedure of computer are separated. The users' database is users oriented, while the system database is for the management in the system. A new ground data model is proposed in the system database. This data model is about soil mass and a segment based on "the optimized stratigraphic sequence" of a region. By using it, complicated geological information can be expressed clearly; and drill holes of different stratigraphic sequences are united to a same structure. It can deal with some problems such as faults in the geological body, and make the subsequent management easy.

Key words: drill hole information; database; stratigraphic sequence; engineering geology

1 引言

当前我国的工程建设正处于蓬勃发展的时期, 而各类建筑物的规划设计是以工程地质勘察资料为基础的。地质勘察数据地域性强、种类繁多、输入输出量大、加工处理十分复杂, 其中土层的钻孔数据是最重要的资料, 这种资料更原始、量更大、更具特点, 处理起来也更复杂。怎样对这些资料进行有效、规范的管理, 到目前为止, 还没有一种公认的针对地质钻孔信息的数据库结构应用于实践。本文引入了内外两级数据库优化映射的思想和一种新颖的地质“块—层”结构, 并在此基础上开发了地质信息管理系统, 对地质勘察信息特别是钻孔资料

信息进行科学有效的管理, 并对一个工程实例进行了地层情况的插值模拟。这样不但能够积累工程经验, 对后续工程的设计施工提供指导, 而且可以为城市规划等宏观决策提供借鉴。

2 内外两级地层数据库

工程地质勘察数据是人们对地球表层岩土分布情况的记录, 包含了地层的众多信息。受两方面因素的影响: 一是地壳运动和周围环境的原始构造运动, 二是人类工程活动引起的施工扰动, 这就造成了地层结构复杂多变, 地层翻转、缺失时有发生。例如某区域的数个原始钻孔信息如下所示(仅列出关于地层信息的部分):

收稿日期: 2005-05-30

基金项目: 浙江省交通厅基金项目 (No. 2004H51)

作者简介: 史秋晶, 女, 1982年生, 硕士研究生, 东南大学交通学院测绘工程系工程测量方向。E-mail: shi-qi1982@yahoo.com.cn

A 孔：a 土厚度 2.3 m，b 土厚度 1.5 m，c 土厚度 0.3 m，d 土厚度 1.9 m，e 土厚度 0.8 m

B 孔：c 土厚度 3.2 m，a 土厚度 1.7 m，b 土厚度 2.1 m，e 土厚度 0.7 m

C 孔：a 土厚度 2.6 m，c 土厚度 1.5 m，b 土厚度 1.9 m，d 土厚度 2.2 m，e 土厚度 0.9 m

D 孔：a 土厚度 1.7 m，c 土厚度 0.4 m，e 土厚度 0.2 m，d 土厚度 2.9 m

显然，各个钻孔的地层层序都不一样，分别是：

A 孔：a—b—c—d—e

B 孔：c—a—b—e

C 孔：a—c—b—d—e

D 孔：a—c—e—d

那么应该选用怎样的地层模型呢？很明显，采用上述 4 种层序中的任何一种都不合适，我们甚至连模型中有几层都不能确定。更重要的是，还要解决地层颠倒的问题。其实，这个例子是从实践中大大简化而来的，透过它可以对钻孔勘探信息的复杂多变略见一斑。如果连地层模型都不能确定，数据处理就更无从谈起了。

目前生产实践中的现状是：随着城市工程勘察的推广深入，各地已经积累了大量的勘察钻探资料，工程地质信息化被提上了日程。但是，地层建模比较困难，或者说没有适合后续数据处理过程的地层模型，现在的地层模型都比较烦琐。同时，我国现今工程管理制度上的弊端也制约了信息的共享。

要把这些浩如烟海、多源异构的数据建库，用数字化的方法直观地展现出来，采用单一而简单的地层数据模型显然不能满足需要。尤其在大型工程中，大范围地揭露土体，土层较多、土体类型变化复杂时更是如此。用户编辑信息时使用的数据库繁杂，计算机内部处理系统使用的数据库要求结构规范化，这两者之间就形成了矛盾。本文提出的用户数据库和系统数据库的两级映射技术可以很好地解决这个矛盾。

2.1 用户数据库

这个数据库是一级数据库，面向用户，适应用户的使用习惯和需要，包容性比较强，它的结构可以比较松散，和钻孔勘察的记录数据差不多，有点号、平面位置、标高、各个土层类型和厚度等信息。像上面的例子，它的用户数据库中关于工程地质部分的结构是：

A，a，2.3，b，1.5，c，0.3，d，1.9，e，0.8

B，c，3.2，a，1.7，b，2.1，e，0.7

C，a，2.6，c，1.5，b，1.9，d，2.2，e，0.9

D，a，1.7，c，0.4，e，0.2，d，2.9

这样用户可以在这个数据库里以区域为单位导入导出数据、修改编辑数据、查询数据、生成和浏览各种报表图表。采用对象嵌入技术还可以实现图形（主要是地图）和数据的超链接。

2.2 系统数据库

这个数据库是二级数据库，应用于系统内部的数据处理，由一级数据库优化映射得到，各个钻孔的信息具有规范统一的数据模型，即下面要介绍的地质“块—层”结构。这就克服了用户数据库结构松散、数据冗余的缺点，同时适应内部管理数据的要求。

2.3 区域地层层序优化技术

用户通过一级数据库输入某一区域的地质钻孔数据。但是实际应用中地质情况是复杂多变的，各个钻孔所揭露地层的层数、层序都不会完全一致，需要再经过一个“优化”的过程，得到针对这一区域的“优化地层层序”。“优化地层层序”包含了该区域所有钻孔揭露出的各种类型的土层，并以一种“优化”的顺序排列起来，目的是着眼于区域中大多数钻孔的地质情况来组织系统数据库。例如某种类型的土层在大多数钻孔中都处于靠近地面的上层，那么它在“优化地层层序”中的位置也相对靠上；某种类型的土层只在极少数钻孔中才出现，就可以规定一个阈值，小于这个值时这种土层在“优化地层层序”中就被忽略了，或者与临近土层合并。当然，这些“优化”的方法也可以由用户选择使用。

如果把优化规则定义为：给钻孔的不同位置赋予不同的数值，从上到下依次递增，和地面最接近定义为第 1 层，最远离为最后一层，以此类推，各层对应数值如图 1 所示。

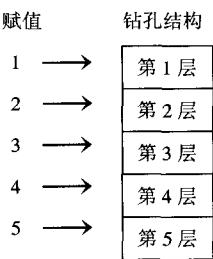


图 1 土层的赋值
Fig.1 Evaluation of stratum

在某个位置出现某种土体，就给这种土体累计数值，同时记录这种土体出现的次数。遍历处理钻探区域内的所有钻孔，就得到所有种类的土体的总数值和出现次数，二者相除得到各种土体的“加权

数值”。以“加权数值”为指标对各种土体排序，结果的顺序就是“优化地层层序”。

从优化的过程可以看出，某种土体的“加权数值”反映的是这种土体在区域中出现的平均位置的量化指标。“优化地层层序”其实就是平均地层层序，有一定的代表性和概括性。正因为如此，各个钻孔的地层层序和“优化地层层序”相比较，差异才会最小。这个最小并不是个别钻孔和“优化地层层序”的差异最小，而是全部钻孔的总体差异最小。仍以前面提到的数据为例，优化的结果如表 1 所示。

表 1 优化地层层序的结果
Table 1 The result of optimized stratigraphic sequence

钻孔	a 土	b 土	c 土	d 土	e 土
A 孔	1	2	3	4	5
B 孔	2	3	1		4
C 孔	1	3	2	4	5
D 孔	1		2	4	3
总数值	5	8	8	12	17
出现次数	4	3	4	3	4
加权数值	1.25	2.67	2	4	4.25

各土体按加权数值排序后的顺序为： $a-c-b-d-e$ 。即针对 A, B, C, D 4 个钻孔的“优化地层层序”就是 $a-c-b-d-e$ 。

2.4 两级数据库映射技术

得到“优化地层层序”后，就以此为基础，联系下面要提到的“块—层”结构模型组建系统数据库。因为经过了优化，系统数据库的结构紧凑规范，为特定区域专用，方便了后续的数据处理工作。

由用户数据库可以映射到唯一的系统数据库。同样，由系统数据库也可以唯一映射回用户数据库。在一个数据库中所做的修改可以迅速地反映到另一个数据库中。从本质上说，这两个数据库是对同一个客观事物用不同结构进行的抽象和反映。应该强调的是，用户只能操纵用户数据库，系统数据库对用户来说是不可见的。

3 地质“块—层”结构模型

用户数据库优化之后仍有一些问题不能解决，各钻孔怎样利用“优化地层层序”来表达自身的地层层序呢？这就要用到地质“块—层”结构模型。这种结构模型把“优化地层层序”作为一个基本块，这个基本块重复出现。即各个地层组成基本块，各个基本块组成钻孔模型。各钻孔的土层情况与基本

块比较，顺序相同的依次填入数据，有土层翻转的就增加一个基本块再填入，有土层缺失的就填 0。数个基本块连接成钻孔的土层结构，形成一种灵活的、可伸缩的数据模型。

上面的例子用这种结构模型如表 2 所示。

表 2 地质“块—层”结构模型
Table 2 Ground data model

	A 孔	B 孔	C 孔	D 孔	优化地层层序
第 1 块	2.3	0	2.6	1.7	a 土
	0	3.2	1.5	0.4	c 土
	1.5	0	1.9	0	b 土
	0	0	2.2	0	d 土
	0	0	0.9	0.2	e 土
第 2 块	0	1.7	0	0	a 土
	0.3	0	0	0	c 土
	0	2.1	0	0	b 土
	1.9	0	0	2.9	d 土
	0.8	0.7	0	0	e 土

各个钻孔可能有不同数目的基本块，但是它们有形式上“一致”的土层结构，就是 $a-c-b-d-e$ 这种地层层序重复出现。这就以一种结构表达不同地层层序的钻孔信息，解决了表达地层翻转、缺失的问题。从基本块的数目就可以看出钻孔地层层序和“优化地层层序”的相符程度，块数越少就越相符，反之就越不相符。如上面的结果中，C 孔的地层层序和“优化地层层序”完全相符，只有 1 个基本块。而 A, B, D 孔和“优化地层层序”不完全相符，都有 2 个基本块。如果某个区域中的钻孔整体相符程度不高，那就一定程度上说明了这一地区的地质情况复杂多变。而且距离越近的钻孔越容易有相同数目的基本块。“优化地层层序”的作用在这里也可以看出来，就是这种地层层序可以让整个区域里的大多数钻孔都有相对较少的基本块。

4 地质勘察数据库的数据处理

数据建库的根本目的是为了高效、合理、科学、规范地管理和处理数据。现在有关地质实体的研究多着眼于三维地层建模，体现在两方面：一是适应于地层模拟的空间数据模型研究；二是三维地层建模的具体实现方法。综合考察现有的各种地层模拟方案发现：多数方法的建模过程都比较复杂烦琐，而且最终成果往往是形态构造和直观形象，缺少具体的数值结果和量化指标，可利用性不强。

针对这些缺陷，本文提出的地质数据库处理系

统不但能够向用户提供以查询结果为基础的报表、平面图、剖面图、压缩特性曲线图和土工实验表等可视化效果,更重要的是它可以把钻孔的地层信息量化地提供给用户。由于工程钻探的高成本和自然条件的约束,在一个特定的研究区域中,往往只能获取有限数目的钻孔数据,那么没有钻孔资料的点位怎么办?在系统数据库中,各钻孔的地质信息有形式上一致的结构,可以使用比较成熟的技术,利用各钻孔点的平面坐标构建整个区域的点位拓扑关系,如构建 Delaunay 三角网。再根据拓扑关系选择一些已勘探点来模拟插值未知点的地层信息。

在上面的例子里,比如有一个未知点 E,用 A, B, C, D 4 点的地层信息插值。具体可以先假设 E 点也有 2 个基本块,它的各层土体的厚度由 A, B, C, D 4 点对应层的厚度插值出来,就得到 E 点的地质“块一层”结构的信息。这个过程是在系统数据库中进行的。系统数据库映射回用户数据库,用户们就能以他们习惯的方式看到 E 点的插值结果了。当然由于地质构造的复杂多变,这样插值得到的信息是比较粗糙的,对工程规划只能起到一定的参考作用,插值方法也需要精心设计。

5 工程实例应用分析

5.1 工程概况

南京某住宅小区岩土勘察钻探数据模拟插值,该工程项目由地质工程勘察院对拟建的某住宅小区场地进行岩土工程详细勘察,钻探点位近 200 个。测区位于南京市。本次工程的目的是在调查、了解场地周围环境地质基础上,通过详细勘察,查明场地工程地质条件,为地基基础设计提供地质依据。勘察点深度在控制性孔钻入中风化岩大于 5 m 左右,一般性钻孔进入中风化岩大于 3 m,满足规范和设计要求。

5.2 钻孔地层数据处理

采用区域地层层序优化技术处理该测区的钻孔地层数据,得到的“优化地层层序”有 12 层:杂填土、素填土、粉质黏土夹粉土、淤泥质粉质黏土夹粉土等,然后用“块一层”结构模型表达各个钻孔的地层情况。

5.3 模拟插值分析

为了分析模拟插值的精度,假设一部分钻孔点的地层情况未知,用构建 Delaunay 三角网的方法选择插值点位。模拟插值的结果和实际情况比较,待插点各地层厚度的中误差一般在 1-2 m 之间。这个结果是满足一般的工程应用需要的。

6 结 语

(1) 要把繁杂的钻孔地层信息建立数据库,进行科学有效的管理,前提是要建立一个操作性强、统一规范的数据模型。地层“块一层”结构就能够比较完美地解决地层层序中的大多数异常问题,如地层翻转、缺失等。但对于在同一钻孔中重复出现的地层只能舍弃,认为它只出现一次。虽然实践中重复出现同一地层的现象不太常见,但是这也是这种结构的不足之处,建议进行更深一步的研究。

(2) 要由钻孔信息的原始数据建立地层信息数据库,就要先由用户数据库优化出区域的“优化地层层序”,建立各个钻孔的地质“块一层”结构,再建立起适用于信息处理要求的系统数据库。以此为基础开发出的工程地质勘察信息处理系统可以为工程建筑设计部门和城市规划部门的计划、决策提供数据服务。

参 考 文 献

- [1] 史秋晶. 基于钻孔数据的地质信息系统研究[D]. 南京: 东南大学, 2005.
- [2] 周小文, 付晖, 吴昌瑜. 地层特性随机场插值方法应用研究[J]. 岩土力学, 2005, 26(2): 221—224.
ZHOU Xiao-wen, FU Hui, WU Chang-yu. Application study of spatial interpolation method in geological random field[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2005, 26(2): 221—224.
- [3] 钟登华, 李明超, 王刚, 等. 基于三维地层模型的岩体质量可视化分级[J]. 岩土力学, 2005, 26(1): 11—16.
ZHONG Deng-hua, LI Ming-chao, WANG Gang, et al. Visualization of rock mass quality classification based on 3-D strata model[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2005, 26(1): 11—16.
- [4] 程朋根, 龚健雅. 地勘工程 3 维空间数据模型及其数据结构设计[J]. 测绘学报, 2001, 30(1): 74—81.
CHENG Peng-gen, GONG Jian-ya. Design of three-dimensional spatial data and its data structure in geological exploration engineering[J]. *Acta Geodaetica et cartographica Sinica*, 2001, 30(1): 637—639.
- [5] 贺怀建, 白世伟, 赵新华, 等. 三维地层模型中地层划分的探讨[J]. 岩土力学, 2002, 23(5): 637—639.
HE Huai-jian, BAI Shi-way, ZHAO Xin-hua, et al. Discussion on strata partitioning in three dimension strata model[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2002, 23(5): 637—639.

- [6] 王纯祥, 白世伟. 三维地层信息系统在岩土工程中的应用研究[J]. 岩土力学, 2003, 24(4): 614—617.
WANG Chun-xiang, BAI Shi-wei. Study an 3DSIS to geotechnical engineering[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2003, 24(4):614—617.
- [7] 朱良峰, 吴信才, 刘修国, 等. 基于钻孔数据的三维地层模型的构建[J]. 地理与地理信息科学, 2004, 20(3): 26—30.
ZHU Liang-feng, WU Xin-cai, LIU Xiu-guo, et al. Recontrusion of 3D strata model based an borehole data[J]. **Geography and Geo-Information Science**, 2004, 20(3): 26—30.
- [8] 吴冲龙, 牛瑞卿, 刘刚, 等. 城市地质信息系统建设的目标与解决方案[J]. 地质科技情报, 2003, 22(3): 67—72.
WU Chang-long, NIU Rui-qing, LIU Gang, et al. Construction aim and solution of the urban geological information system[J]. **Geological Science and Technology Information**, 2003, 22(3): 67—72.
- [9] 栾骏, 唐新军, 严和平, 等. 工程地质勘察信息处理系统的设计与开发[J]. 新疆农业大学学报, 2002, 25(1): 54—59.
Luan Jun, TANG Xin-jun, YAN He-ping, et al. Design and development of engineering geological operation data base[J]. **Journal of Xinjiang Agricultural University**, 2002, 25(1): 54—59.
- [10] 朱合华, 郑国平, 吴江斌, 等. 基于钻孔信息的地层数据模型研究[J]. 同济大学学报, 2003, 31(5): 535—539.
ZHU He-hua, ZHENG Guo-ping, WU Jiang-bin, et al. Study on ground data model based on drill hole information[J]. **Journal of Tongji University**, 2003, 31(5): 535—539.

上接第 757 页

- [5] 曹志远, 张佑启. 半解析数值方法[M]. 国防工业出版社, 1992.
- [6] 郑刚, 姜忻良. 复合地基上圆形基础板样条有限元-无限元耦合分析[J]. 岩土工程学报, 1997, 19(5): 80—83.
ZHENG Gang, JIANG Xin-liang. The coupling method of spline finite element-infinite element for the circular plate on composite foundation[J]. **Chinese Journal of Geotechnical Engineering**, 1997, 19(5): 80—83.
- [7] 姬亦工, 王复明, 栾茂田. 层状粘弹性地基动力响应的样条半解析法[J]. 岩土工程学报, 2002, 24(1): 34—37.
JI Yi-gong, WANG Fu-ming, LUAN Mao-tian. A simplified method for vibration analysis of layered visco-elastic foundation[J]. **Chinese Journal of Geotechnical Engineering**, 2002, 24(1): 34—37.
- [8] 施玉群, 段克让, 彭华. 高层建筑—地基动力相互作用半解析法的研究[J]. 工程力学, 1997, 14(3): 124—131.
SHI Yu-qun, DUAN Ke-rang, PENG Hua. Research on the semi-analytical element method of soil-tall bullding structure1's dynamic interaxtion[J]. **Engineering Mchanics**, 1997, 14(3): 124—131.
- [9] 李永强, 郭星辉, 刘杰. 求解旋转板、壳振动问题的半解析有限元分析[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2002, 23(6): 585—588.
LI Yong-qiang, GUO Xing-hui, LI Jie. Semi-analysis finite elements method for the vibrations of revolve plates and shells[J]. **Journal of Northeastern University (Natural Science)**, 2002, 23(6): 585—588.
- [10] 方从启, 孙钧. 浅层顶管施工引起的土体移动[J]. 岩土力学, 2000, 21(1): 36—42.
FANG Cong-qi, SUN Ju. Ground movements induced by pipe jacking in shallow underground soils[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2000, 21(1): 36—42.