

数字地下空间与工程数据库模型建设

朱合华^{1, 2, 3}, 王长虹¹, 李晓军^{1, 2}, 胡金虎¹, 俞明健⁴

(1. 同济大学地下建筑与工程系, 上海 200092; 2. 同济大学岩土工程重点实验室, 上海 200092; 3. 安徽理工大学土木工程系, 安徽 淮南 232001; 4. 上海市市政工程设计研究总院, 上海 200092)

摘 要: 针对地下空间与工程的信息化, 采用 GIS 技术、图形学技术、数据管理技术、数据分析技术、网络通信技术等, 提出数字地下空间与工程的概念, 旨在建立高度综合的、统一的、开放的和一体化的地下空间与工程信息系统, 涵盖地表、地层调查、设计、施工、监测、检测和运营管理等内容。着重讨论了数字地下空间与工程数据库模型建设的方法和技术, 并通过一工程实例说明了数据库模型的应用。数字地下空间与工程数据库模型建设对三维空间查询、工程施工模拟、工程全生命周期管理、实时监测和数据挖掘等工作提供支持; 对地下空间的可持续发展也将起到积极的作用。

关键词: 数字地下空间与工程; 数据分类; 数据编码; 数据库模型

中图分类号: TU92 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2007)07-1098-05

作者简介: 朱合华(1962-), 男, 安徽巢湖人, 教授, 博士生导师, 主要从事隧道及地下工程、地下空间防灾及数字地下空间的研究。E-mail: changhong-wang@163.com。

Establishment of database model for geo-digital underground space and project

ZHU He-hua^{1, 2, 3}, WANG Chang-hong¹, LI Xiao-jun^{1, 2}, HU Jin-hu¹, YU Ming-jian⁴

(1. Department of Geotechnical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Key Laboratory of Geotechnical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 3. Department of Civil Engineering, Anhui University of Science & Technology, Huainan 232001, China; 4. Shanghai General Municipal Engineering Design & Research institute, Shanghai 200092, China)

Abstract: Based on the extensive development of underground space and project, the concept of geo-digital underground space and project (Geo-digital) was presented by use of technology of GIS, graphics, database, numerical analysis and network communication. The target was to establish a high integrative, exoteric and incorporative geo-digital information system which included the geography, stratum investigation, design, construction, monitoring, project detection and operational maintenance. The method and technology to create geo-digital database model were mainly discussed and an example was demonstrated for its application. Geo-digital database model would support spatial inquiry, constructing process simulation, project lifecycle management, real time monitoring and data mining, etc. Furthermore, it would not only play an active role in the sustainable development of underground space, but also bring great economic benefits.

Key words: digital underground space and project; data classification; data code; database model

0 引 言

相对于以空气为介质的地上空间而言, 地下空间泛指地表以下以岩土体和地下水为主要介质的空间领域, 地下空间被认为是与人类开发宇宙、海洋并列的新开拓领域。随着城市地下管线、隧道工程等地下工程建设规模迅速增长, 地下空间开发利用已经进入了浅地层大规模开发阶段^[1]。

数字地下空间与工程 (geo-digital underground space and project, 以下简称 Geo-digital) 是指以三维数字地层^[2]为依托, 采用计算机信息化手段对地下建筑(构)筑物和管线的勘察、设计、施工、监测和运营

维护等数据进行集中和高效的管理, 实现地下空间与工程的三维直观显示、空间分析和数据查询与挖掘、专业应用和解释等, 目的为地下工程建设过程及后期的养护和管理、健康状态评估提供准确的地质资料、设计信息、施工数据和监测信息等, 最终实现对地下工程全生命周期的数字化, 建成数据共享的信息管理平台。

基金项目: 教育部第四届高等学校教师奖励计划; 国家科技攻关项目
世博专项 (2005BA608B06)

收稿日期: 2006-06-20

Geo-digital 数据库模型是描述数据概念的集合, 包括空间数据、属性数据、数据关系及完整性约束条件等概念。为了表达地下空间实体及其相互间的联系, 在对地下空间对象充分认识、完整抽象的基础上, 利用数据库技术来描述地理信息、地质信息、地下构筑物、工程设计、工程建设、工程监测、工程检测、工程运营及工程评估信息等, 是地下空间与地下工程信息化建设的基础。

1 数据分类及编码

地下空间涵盖从地上到地下, 从地层到结构, 从工程立项到工程运营所有类型的数据源, 包括了地理、地质、地下构筑物等; 从工程建养一体化的角度出发, 包括设计、施工、监测、检测、运营管理等。数据分类应综合地理调查、地质勘察、土木工程等方面知识。只有在确定 Geo-digital 需要表达的内容和扩充模式基础上, 才能进行数据分类和组织。

Geo-digital 数据的分类一方面考虑到现行地学和工学数据来源、特征和勘察方法; 另一方面需要综合考虑数据将服务于地表与地下空间三维模拟与可视化、虚拟浏览、空间分析、业务应用和网上发布等领域。参照国土资源分类标准^[3], 并考虑到城市地质调查和数字化工程的管理与应用需求^[4], 将各类数据按三级分类, 涵盖地理、地质、地下构筑物。由于篇幅限制, 图 1 表示至二级。



图 1 数据分类和组织

Fig. 1 The data classification and organization

编码是在数据分类的基础上, 将各种空间要素用一种易于被计算机和人识别的符号来表示, 是人们统

一认识、统一观点、相互交流信息的一种技术手段。编码的直接产物是代码, 作为一项基础性工作, 合理的地下空间信息编码体系将提高数据的使用和信息共享效率, 延长其生命周期。

图 1 中比如工程地质为第一级分类, 编码用 C 表示, 工程地质勘探为第二级分类, 编码用 CA 表示, 工程地质勘探手段有多种, 比如地质钻孔为第三级分类, 编码用 CAA 表示, 其它分类以此类推。需要特殊说明的是, 在地下构筑物的分类中, 比如盾构隧道主体为第三级分类, 编码用 FFA 表示; 为体现数字化工程的概念, 在第二级分类的基础上, 编码第三级如使用一位阿拉伯数字即表示诸如工程设计、工程施工等信息, 比如编码 FF1 表示盾构隧道设计信息, FF2 表示盾构隧道施工信息。这样就将面向实体和面向工程的概念统一起来, 且通过唯一的 ID 号联接。

2 数据库模型

Geo-digital 数据库模型应当考虑以下 4 个方面: ①逻辑上和物理上空间数据库的无缝组织; ②数据存取效率高; ③便于数据库完整性和一致性维护; ④数据库易于扩充。

2.1 数据库逻辑设计

逻辑设计的主要任务是从用户观点描述 Geo-digital 数据库的逻辑结构。在逻辑设计过程中, 主要完成两方面的工作: ①图幅结构的设计; ②图幅信息的组织。Geo-digital 数据库是两者逻辑的集成。

Geo-digital 数据库存储方式主要有集中存储和分幅存储, 具体采用何种存储方式应当根据数据量的大小来选择。分幅存储将不可避免出现某一空间实体跨越不同图幅的现象, 必须使用空间索引^[5]在图幅、空间实体和空间基本图元之间建立联接关系。图幅是一个三维概念, 目前主要考虑深度在地面以下 0~100 m 范围大小。

按照用户一定的需要或标准把某些相关图元要素组合在一起成为图层, 数据都具有相似的几何特征和属性特征。图层可根据空间要素类别来组织, 也可以根据专题来划分。将系统信息划分为主题图层, 每个主题图层又划分若干亚图层, 表 1 是按专题划分的图层。

2.2 数据库物理设计

Geo-digital 数据库主要处理表示实体空间数据和实体属性数据两大类。Geo-digital 数据库采用无缝、层次存储数据模式, 如图 2 所示。

数字地下空间与工程作为树的根, 表示一个完整的 Geo-digital 系统, 地下空间中的地物要保持存储、

表达的一致性和完整性^[6]。根据图幅的划分原则,将空间数据分为若干图幅,图幅构成树的结点。根据上节的分层原则,将图幅划分为若干图层,图层中每种类型的要素由不同的数据表(文件)来定义,这种要素构成树的叶结点,由此形成空间层次模型。

表 1 图层划分

Table 1 The coverage division	
主题图层	亚图层
地形信息图层	地貌、等高线 (DEM)、高程数据 (DLG/DOM/DRG)、植被等
地理信息图层	行政区、水系、交通、居民地、土地利用、景区、重要建构筑物等
地层信息图层	基础地质、工程地质、水文地质、环境地质等
地下建筑物信息图层	管道、地铁、隧道、地下停车场、地下商场、地下仓库、人防设施等
施工过程信息图层	施工动态表达、监测动态表达等
.....	

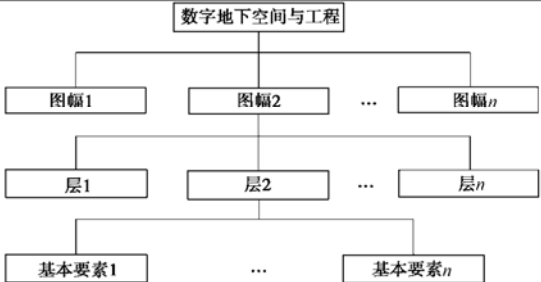


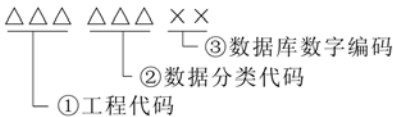
图 2 数据库物理结构

Fig. 2 The physical structure of database

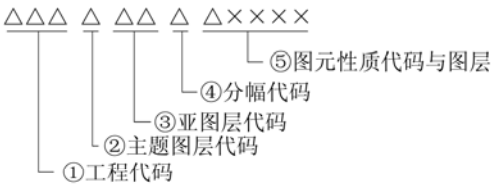
2.3 数据库命名编制规则

数据库的统一命名便于管理和数据交流。参照相关标准^[7],结合 Geo-digital 管理与应用的特点,制定数据库建设的命名规则,包括数据库命名、图层命名、图元命名、数据表命名、索引命名和元数据表命名。

为了发挥数据库管理的效率,模型中的各库不宜分得太细,可直接以工程来划分,如需使用数据分类,一般取到一级分类即可。数据库命名如下:



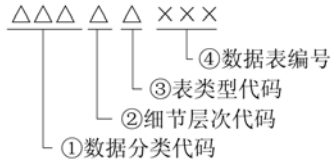
为保证图形信息及相关属性信息的独立性,图层名采用字母和数字混编形式:



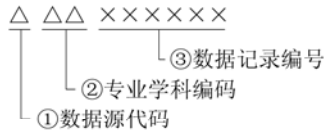
图元命名以图层为整体,图元为基本单元(实体),在同一图层中每一个图元具有唯一的 ID 值,并与相应的属性数据记录一一对应。编制如下:



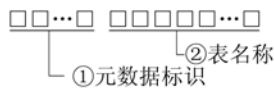
数据库管理下的数据表,编制如下:



索引编号主要用于数据库数据表数据记录的认识。编制如下:



元数据是关于数据的数据,是有关数据和信息资源的描述信息。元数据主要用于信息共享,用户可以通过元数据查询数据库中有哪些数据集合和这些数据集中包含哪些信息、数据量、数据精度以及所有者信息,数据格式、空间坐标体系、数据表达形式、数据使用的软硬件环境、数据使用规范、数据标准等,因此在数据集成和交换过程中,可以帮助空间数据匹配、属性一致化处理、数据在各平台之间转化等。元数据表命名如下:



数据库中字段命名除一些几何信息外,均采用中文命名。

3 数据库模型实现

Geo-digital 数据库在选用何种商业软件时,应考虑空间数据的非结构化、多源等特征,也就是能在传统的关系数据库模型中加入支持面向对象的功能,如支持类、方法、属性等;为提高地下空间海量数据的存储和访问性能,数据库还应当支持包括索引技术、分区表与分区索引技术、SQL 语句的并行处理技术、分布式数据库技术等^[8]。

3.1 数据表组织

Geo-digital 数据具有明显的专业分类与从属关系,这种关系体现在各类数据信息之间的关联,通过这种关联建立数据信息之间的层次关系。在设计数据表和图形属性表中,采用约束条件(主键、唯一键、外键和缺省值等)实现表与表之间和表与图元之间的关联和信息传递。

Geo-digital 信息在内容上主要包括空间数据和属性数据:在空间上,主要体现以图形数据为主线,通过图元与属性数据的关联,来表达图形数据的实体特

征; 在关联关系上, 描述空间图元的属性信息可以是一个简单的属性表, 也可以是并列的多个属性表和具有从属关系的链状表, 即图元和数据表的一对一关系或一对多关系。

以图 3 为例, 在工程地质调查中, 通过地质钻孔来获取地层的信息, 在数据库中可以由以下 5 张表以及通过它们之间的关系来描述地层: 分层标准表、标准地层描述表、钻孔基本信息表、钻孔地层描述表和整体地层描述表。Geo-digital 数据库可以将空间数据和属性数据存储在一起, 通过数据库访问机制来读取。



图 3 数据表组织

Fig. 3 The organization of data tables

3.2 数据表访问

随着计算机技术的发展, 地下空间信息网络发布、地下空间可视化和虚拟现实等工作都需要访问数据库, 获取相应的数据。Geo-digital 数据库拟在以太网内部采用 C/S 结构, 便于其它专业工作的开展; 外部 Internet 采用 B/S 结构, 便于信息发布和远程操作等。

作为用户而言, 希望从数据库中取得的数据都是以对象的方式存在的, 这些对象的信息一般分布在各数据表中, 如图 4 所示。

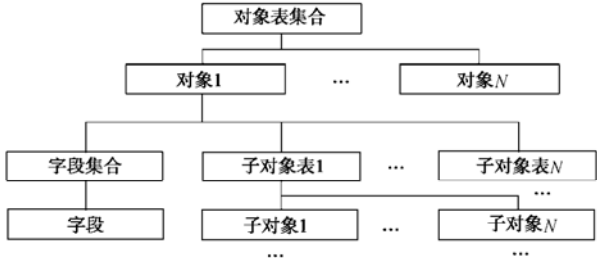


图 4 数据访问模型

Fig. 4 The data accessing model

为快速、准确地取得用户需要的信息, 可以在数据库和与数据应用之间建立一个简单易行的中间层接口, 由数据库管理人员通过这个接口提供标准的数据模型给各个用户, 进行其它专业层次的工作。

对照图 4, 对象不能够单独存在, 必须在对象表

内存在, 对象可以通过字段指针访问该表中的各记录。如果对象的一些信息分布在其它表时, 对象就可以采用指向对象子表的方式来获取消息, 对象子表也可以包含其它的子对象。对象和对象表形成一个链状的数据结构, 将关系-对象数据库中每一张数据表联系起来。

4 数据库模型工程应用

数据库模型的建设是一项基础性工作, 主要是为对象描述提供高效的数据组织。下面通过一个三维基坑工程实例来演示数据库模型的应用, 采用自主开发的建模算法^[9-10], 由于此处着重于数据库模型介绍, 对建模算法不再展开叙述。图 5 为通过钻孔信息建立的基坑可视化模型, 点击任意一个钻孔可得到相应的钻孔信息; 图 6 在图 5 的基础上施作了地下连续墙和桩基础, 点击任意地层亦可得到相应的地层信息。

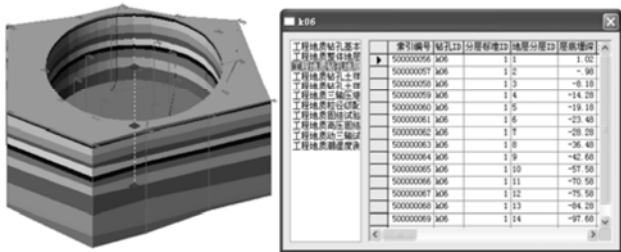


图 5 钻孔数据查询

Fig. 5 The data collections of a selected drill hole

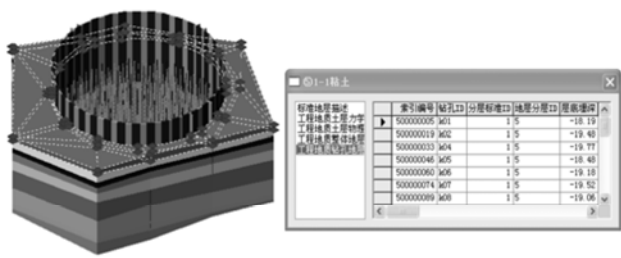


图 6 地层数据查询

Fig. 6 The data collections of a selected stratum

5 结 语

Geo-digital 数据库模型建设是地下空间和地下工程数字化、可视化的基础, 是国家基础地理信息系统在地下领域的延伸, 同样也是数字城市建设的重要组成部分。所涉及的学科多, 数据量庞大, 数据类型复杂。

(1) 数据分类是建立 Geo-digital 数据库模型的关键, 数据分类要注意选择事务或概念 (分类对象) 最稳定的本质属性或特征作为分类基础和依据; 强调分类的整体性、概括性和结构的简明性。

(2) Geo-digital 数据库模型对地下空间和工程信息进行分幅和分层存储;建立了数据库模型命名规则;实现了数据库中间层访问机制。

(3) 三维基坑工程实例表明在 Geo-digital 中,数据库模型处于核心地位。为了支持三维空间查询、工程动态施工演示、工程全生命周期管理、实时监测、数据挖掘等应用,在数据库模型设计时应当充分考虑模型可扩充性,以适应地下空间开发利用的快速发展。

参考文献:

- [1] 朱合华. 从数字地球到数字地层—岩土工程发展新思维[J]. 岩土工程界, 1998(12): 15 - 17. (ZHU He-hua. From digital earth to digital stratum-new thought of geotechnical engineering development[J]. Geotechnical Engineering World, 1998(12): 15 - 17. (in Chinese))
- [2] 朱合华, 郑国平, 张 芳. 城市地下空间信息系统及其关键技术研究[J]. 地下空间, 2004, 24(5): 589 - 595. (ZHU He-hua, ZHENG Guo-ping, ZHANG Fang. Study on urban underground spatial information system and its key technique[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2004, 24(5): 589 - 595. (in Chinese))
- [3] GB/T13923-1992 国土基础信息数据分类与代码[S]. 北京: 中国标准出版社, 1992. (GB/T13923-1992 Classification and codes for the national land information[S]. Beijing: Standards Press of China, 1992. (in Chinese))
- [4] CJJ100-2004 城市基础地理信息系统技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004. (CJJ100-2004 Technical specification for urban fundamental geographic information system[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2004. (in Chinese))
- [5] 陈 菲, 秦小麟. 空间索引的研究[J]. 计算机科学, 2002, 28(12): 59 - 63. (CHEN Fei, QIN Xiao-lin. Research on spatial indexes[J]. Computer Science, 2002, 28(12): 59 - 63. (in Chinese))
- [6] 吴立新, 史文中. 地理信息系统原理与算法[M]. 北京: 科学出版社, 2003. (WU Li-xin, SHI Wen-zhong. Global information system theory and arithmetic[M]. Beijing: Science Press, 2003. (in Chinese))
- [7] 中国地质调查局. 城市地质数据库与成果三维可视化信息系统建设指南[R]. 试用版. 北京: 中国地质调查局, 2005. (Geology Survey Bureau of China. Urban geology database and three dimensional visualization system establishment guide[R]. Trial ed. Beijing: Geology Survey Bureau of China, 2005. (in Chinese))
- [8] 王行言. Oracle 数据库应用开发基础[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002. (WANG Xing-yan. Oracle database application development foundation[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2002. (in Chinese))
- [9] 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. (in Chinese))
- [10] 吴江斌, 朱合华. 基于 Delaunay 构网的地层 3DTEN 模型及建模[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(24): 4581 - 4587. (WU Jiang-bin, ZHU He-hua. 3D TEN model and its realization based on Delaunay triangulation[J]. Chinese Journal of Rock mechanics and Engineering, 2005, 24(24): 4581 - 4587. (in Chinese))