

# 城市地下空间信息化建设探讨

江贻芳<sup>1</sup>, 王 勇<sup>2</sup>

(1. 北京市测绘设计研究院, 北京 100038; 2. 山东正元地理信息工程有限公司, 山东 济南 250014)

**摘要:** 城市地下空间的开发利用离不开已有城市地下空间信息的支撑, 建设城市地下空间信息共享平台是提高城市地下空间资源规划、开发和管理水平的必要手段。作者详细分析了城市地下空间信息的数据类型以及目前城市地下空间信息化建设存在的问题; 提出了相应的信息化建设思路, 即城市地下空间信息化建设应整合已有地下空间信息资源, 建立分布式地下空间数据库与信息共享平台; 通过元数据目录服务和数据服务, 为地下空间信息消费者提供信息服务。

**关键词:** 地下空间; 信息; 共享; 建设

**中图分类号:** TU 984.11<sup>+</sup>3; TU 17 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-7332(2006)05-0377-06

## 0 引言

近10年随着我国经济的高速发展, 城市化进程明显加快, 城市化水平提高的结果表现为城市数量增加、规模扩大、耕地面积急剧减少、城市人口饱和、建筑空间拥挤、城市绿地减少、地下水严重污染等, 导致很多城市出现“城市综合症”, 并造成城市生存环境恶化, 这在一定程度上制约了城市的可持续发展。为解决城市化发展过程中存在的问题, 一些城市已把开发地下空间资源作为解决城市人口、环境、资源三大难题的重要措施和医治“城市综合症”、实施城市可持续发展的重要途径。建设部也发布了《城市地下空间开发利用管理规定》来指导全国各城市的地下空间开发利用和管理工作。

城市地下空间的开发利用包括规划、设计、施工和运行维护管理等过程, 这些过程离不开已有城市地下空间信息的支撑。在施工建设过程中, 因已有地下空间资料不全或勘察资料不准确而导致的塌方、破坏地下管线以及人身伤亡等事故时有发生; 不科学的地下空间开发甚至直接影响城市的地质环境, 引发城市地质灾害, 造成地下水系失衡、地下管线破坏、地基下沉和地面沉降等。为了避免破坏城市地质环境, 给重大工程建设提供基础资料(地质环境承载力和适应性评价、城市地质环境预警、预报等), 以及为城市规划、建设、管理的决策和应急指挥提供基础平台, 北京市启动了“北京城市多参数立体地质调查”项目。该项目综合运用现代勘查技术, 开展三维地质结构、活动断裂及地壳稳定性、水土地球化学环境等调查, 获取城市规划发展的综合地学信息, 建立三维可视化城市地质数据管理和服务系统。

目前, 国内在城市地下空间信息化建设方面的工作还不多, 而且, 现有的工作热点主要集中在对地层、地下管线、地下水等方面, 并没有将已有城市地下空间信息作为一个整体加以规划建设<sup>[1]</sup>。城市地下空间信息化建设首先需要解决的问题是, 对已有分布在城市不同单位、不同类型、不同形式的地下空间资料进行整合, 建立分布式的城市地下空间数据库, 而不能将原本是一个有机统一体的地层、地质、地下管线和地下构筑物等对象人为地孤立和分割开。其次, 需要建设城市地下空间信息的分布式应用, 为城市地下空间的规划、设计、施工和运行维护管理提供准确的地下空间信息。第三, 在建立分布式的城市地下空间数据库和分布式应用的基础上, 逐步完善城市地下空间信息的动态管理体系, 以提高城市地下空间资源的规划、开发和管理水平。

收稿日期: 2006-05-07

基金项目: 北京市技术标准项目(京质监标法[2004]221号)

作者简介: 江贻芳(1967-), 男, 安徽潜山人, 高级工程师, 从事城市地下管线普查、信息系统建设与管线管理工作。

E-mail: jyf@bjghw.gov.cn

## 1 城市地下空间信息内容

城市地下空间是指城市规划区内地表以下的空间。城市地下空间信息按其类型可划分为地层信息、地质信息、地下管线信息和地下构筑物信息等 4 类。

### 1.1 地层信息

地层是城市地下空间设施赖以存在的主要介质,因此,地层数据是城市地下空间信息系统的基础框架。地层数据由地层分界面、地层和特征数据点组成。地层可分为岩层和土层 2 类<sup>[2,3]</sup>。

岩层信息包括地层名称、地层单位时代、地层倾向、地层走向、地层倾角、地层成因、地藏深度、地层厚度、岩石结构、岩石构造、岩石结构、岩石密度、渗透性、抗压强度、弹性模量等。土层信息包括土层名称、土层单位年代、成因类型、颜色、湿度、孔隙度、颗粒级配、状态勘察点、含水率、渗透系数、抗剪参数、压缩模量、平均标贯击数、平均比贯入阻力、承载力标准值、地藏深度和地层厚度等。勘察点信息包括勘探点编号、深度、初见地下水位、稳定地下水位、施工日期、水位观测日期、施工单位、数据来源、分层信息、原位测试信息和室内试验信息等。

目前,中国岩石地层数据库建设工程已经完成,共收集、整合了 25 000 份文献、16 470 km 野外地质剖面、13 000 个地层单位和 80 380 个数据文件中的数据,并可实现网上动态服务。

此外,各城市的岩土工程和工程勘察已积累了大量的工程地质勘察资料,如此庞大的工程地质勘察资料是城市宝贵的信息资源之一,它可为城市地下空间规划决策提供数据依据,为工程设计、施工提供指导和借鉴,并可大幅度提高工作效率。

### 1.2 地质信息

工程建设层、第四系和隐伏基岩的地层岩性和空间分布、主要活动断裂的分布及活动规律、隐伏基岩的稳定性、地下水资源与地面沉降状况等地质信息是地下空间开发和利用的基础资料,是城市可持续发展的保证。如查明主要活动断裂的分布及活动规律和隐伏基岩的稳定性,可评价其对城市建设的影响,可分析和评价活动构造引发的地质灾害和地壳稳定性,为城市应急管理提供预警信息,以及为高层建筑物的选址提供指导。地下水资源信息可为城市供水安全提供应急保障方案;可为查明城市主要地面沉降区的分布、形成原因和沉降幅度提供指导;可为地下垃圾填埋场的选址提供指导,以防止地下垃圾填埋场对土壤、地层、地下水和地表水水质构成潜在威胁;可为地热的合理开发与保护提供基础资料。

地质数据可分为地质构造数据、水文地质数据、地震地质数据、环境地质数据和地质资源数据等<sup>[3]</sup>。

地质构造数据由褶皱、断层和节理 3 部分组成。褶皱信息包括褶皱名称、褶皱轴向、褶皱倒向、褶皱面向、枢纽走向、枢纽倾向、枢纽倾角、两翼产状、压扁率、褶皱尺度、褶皱类型和性质、褶皱核部地层、褶皱翼部地层和褶皱地质年代等。断层信息包括断层名称、断层线(带)产状走向、断层线(带)产状倾向、断层线(带)产状倾角、断裂带宽度、延伸长度、断裂破碎带特征、断层延伸深度、断层性质、断层切割地层、断层位移、断层相对位移、断层岩类型、断层期次和年代、断层现代活动性、资料来源、活断裂年龄测定方法和活断裂年龄测定数据等。节理信息包括节理编号、节理(裂隙)性质、所在构造单元、所在构造部位、产状走向、产状倾向、产状倾角、节理面连通率、糙度、充填情况、闭合度、节理密度、间距、长度和节理面抗剪强度等。

水文地质数据由地下水源地、含水层(带)和泉点组成。地下水源地信息包括名称、水源地面积、含水层个数、主要含水层、水质等级、地下储水量、补给条件、补给量、取水段深度范围、允许开采量、地下水资源开发情况、实际开采量、超采量、可扩大开采量、环境地质问题、潜力分析和评价精度等;含水层(带)信息包括编号、含水层(带)面积、所属水文地质单元、地下水类型、含水层类型、水质等级、地层名称、年代地层单位名称、含水层起止深度、含水层厚度、地下水位、渗透系数、导水系数、储水系数、给水度、越流系数、水力坡度、单位涌水量、地下水储量、允许开采量、主要补给来源、补给带宽度、总补给量、降水入渗量、地下水入渗量、越流补给量、侧向补给

量、开采补给量、人工补给量、实际开采量和评价精度等;泉点信息包括编号、泉点类型、出露部位、泉口高程、泉口数目、水温、地下水类型、水头高度、间歇性、出水量、引泉量、可开发程度和开发情况等。

地震地质数据包括地震震中数据、地应力及地形变点数据等。地震震中信息包括编号、发震时间、震级、震中位置、与活动断裂的关系等;地应力及地形变点信息包括编号、监测点位置、监测点类型、观测周期、监测值等。

环境地质数据包括隐伏溶洞与土洞、地裂缝、沉降范围、地下水回灌区、地下水污染范围、地下采空区和地下垃圾填埋场等。隐伏溶洞与土洞信息包括编号、洞穴埋深、洞穴体积、洞穴充填情况、顶板厚度、顶板强度、覆盖层厚度、连通情况、溶洞稳定性等级和地面变形特征等;地裂缝信息包括编号、裂缝带(线)宽度、裂缝产状、裂缝组密度和裂缝成因等;沉降范围信息包括编号、沉降面积、漏斗中心、沉降起始日期、最大沉降时间、最大沉降值、沉降速率、沉降因素和地下水位等;地下水回灌区信息包括编号、回灌类型、回灌期、回灌量、回灌压力、回灌水位、地下水位回升值和地面回升值等;地下水污染范围信息包括编号、地下水污染面积、地下水污染离子组分、地下水污染离子含量、水质等级和水质恶化趋势等;地下采空区信息包括编号、采空区类型、开采深度、开采区域面积、开采年限、采空区支撑状况、回填物质和回填区域面积等;地下垃圾填埋场信息包括编号、填埋区域面积、填埋范围、填埋结构、垃圾类型、垃圾组成、垃圾预处理方式、垃圾填埋高度、盖层组成和盖层厚度等。

地质资源指埋藏在地下的矿产资源。地质资源信息包括名称、矿产种类、矿产组合、共生矿、生矿、矿床(体)分布、矿床成因类型、地质赋存条件、矿体产状、矿体规模、组分名称、矿体品位、矿石储量、成矿年代和计量单位等。

我国开展的区域地质调查、水文地质调查、环境地质调查、地球物理与地球化学勘查以及专项工程地质调查业已积累了大量各种类型的地质数据。2004年,国土资源部与上海市政府、北京市政府合作开展的三维城市地质调查项目,就是以现有资料为基础,以多手段综合勘查资料为补充,三维可视化技术为支撑,构筑数字化、立体化、可视化、智能化的城市地学信息管理与服务系统。

### 1.3 地下管线信息

地下管线是城市基础设施的重要组成部分,担负着输送能源、传输信息的重任,被称为城市的生命线。城市地下管线可分为给水、排水、燃气、热力、工业、电力、电信和综合管沟等8大类,城市地下空间规划、建设和运行维护管理等都需要实时、准确和可靠的地下管线信息作为支撑。地下管线信息主要包括性质、三维空间位置、走向、规格、材质、压力(电压)、建设年代和权属单位等。

目前,我国有100多个城市都已经或正在建设城市综合地下管线信息管理系统,更多城市地下管线权属单位也已经建设了专业地下管线信息管理系统,但由于缺少统一规划、协调,地下管线信息管理系统是各自为政,系统之间信息不能交换、共享,或者只是有限的信息交换、共享;已经建设的系统成为信息孤岛,使系统建设的投资成本高、时间长、作用有限。

### 1.4 地下构筑物信息

地下构筑物是城市地下空间的重要组成部分,是人类开发利用地下空间的主要方式。地下构筑物类型包括人防工程设施、地下交通设施(如地下铁道、地下隧道、地下步行道、地下街、地下停车场等)、地下公共服务设施(如地下商场、地下商业街、地下文化娱乐设施、地下体育设施等)、地下防灾设施(蓄水池、指挥所等)、地下生产储藏设施(物资库、设备厂房、储库等)和其他地下设施(如地下室、半地下室等)。地下构筑物信息内容包括三维空间位置、埋深、结构形式、支护形式、地基加固形式、内部变形与维护情况、内部环境调节方式、环卫功能设置、使用现状等<sup>[3]</sup>。

## 2 目前的问题

城市地下空间信息具有多源性、多样性、离散性和时空性等特点。多源性是指地下空间信息获取的方式不同,如地层和地质信息可通过野外调查、钻探、地球物理勘查、地球化学勘查以及综合方法

获得;地下管线信息可通过野外调查、管线探测、竣工测量或由已有竣工资料数字化获得;地下构筑物信息可通过竣工测量或由已有竣工资料数字化获得.多样性是指地下空间信息的类型多种多样,包括地层、地质、地下管线和地下构筑物四大类,每大类还可分为很多小类;多样性还表现在地下空间资料的介质类型、数据格式和存储方式多样,从其存储的介质类型可划分为纸介质资料和电子数字资料,纸介质资料包括各种形式的文字、图和表等;电子数字资料包括以电子文件形式存储的文档资料、存储在数据库管理系统中的数据表以及各种专题信息管理系统中存储的数据等;由于缺乏统一的规划,即使以电子形式存储的数据,其数据格式亦大不相同.离散性是指地下空间信息分散存储在城市国土资源、规划、建设、市政、城建档案、人防、交通、管线权属单位以及各企事业单位等.时空性是指随着城市建设的发展和时间的推移,城市地下空间信息会发生变更,需要对城市地下空间的变更信息进行管理,以保证其现势性.

与如火如荼的数字城市建设浪潮相比,目前,国内在城市地下空间信息化建设方面的工作还比较缺乏.由于各行业、单位信息化应用水平的差异,导致现有各种城市地下空间信息化建设工作的不均衡,已有的信息化工作热点主要集中在对地层、地下管线、地下水等方面,在地下构筑物信息化方面的研究工作基本上还处于空白.

正是由于城市地下空间分属不同单位建设和管理,城市地下空间资料离散地分布在城市不同单位和部门,资料的类型不一,存储介质各异,数据格式也千差万别,城市各部门的信息化建设工作进展也不均衡,致使查询检索、分析、统计、共享、更新和发布城市地下空间信息十分困难.因此,城市地下空间信息化建设首先需要解决的问题是,应将城市地下空间作为一个整体加以规划建设,而不应人为地孤立和分割信息,并对已有分布在城市不同单位、不同类型、不同形式的地下空间资料进行整合,建立分布式的城市地下空间数据库.

### 3 城市地下空间信息化建设的总体思路

#### 3.1 总体框架

长期以来,城市国土资源、规划、市政、城建档案以及管线权属单位等部门根据自身业务发展的需要,有些已经建立了基于 GIS 的专题信息管理系统,随着城市信息化进程的加速,地理信息系统在城市地下空间中的应用范围和深度也越来越受到重视.但是,由于缺乏统一规划,各个部门已建成的地理信息系统存在着很大的差异性,主要表现为数据来源的差异性、数据模型的差异性和支持软件平台的差异性,各系统间不能或不容易进行共享和互操作,使已建成的各个系统成为一个个信息孤岛.

城市地下空间信息化的目的是为信息消费者和提供者提供一个共享平台,使信息消费者可快捷搜索、查询、访问和下载其所需信息,信息提供者可通过共享平台发布其管理的地下空间信息.地下空间信息化建设是充分利用已建成的各类地下空间信息系统,整合其数据资源,使其为城市规划、建设和管理的信息消费者提供完整、准确和现势的地下空间信息,消除现有不同系统间的“信息孤岛”现象,提高城市的管理能力和决策效率,而不是抛弃已建成的各类地下空间信息系统重新建设(图 1).

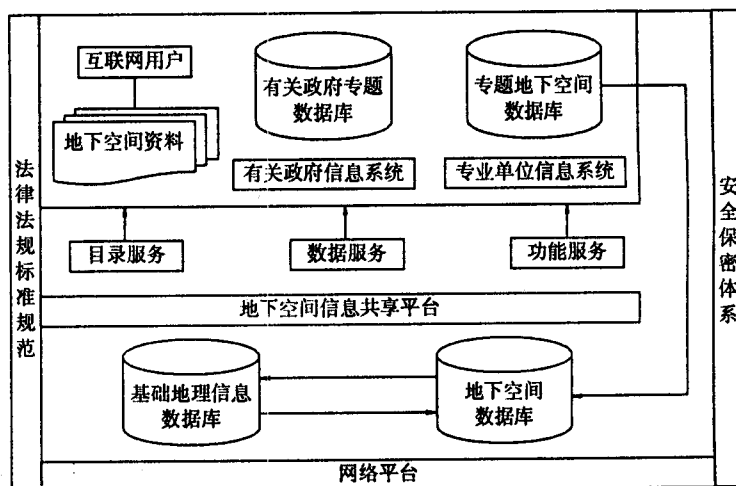


图 1 地下空间信息共享平台总体框架

Fig.1 General frame for the information shared platform of urban underground space

具体来说,就是由政府管理部门负责制定地下空间信息共享标准,由各相关负责提供基于 WMS 和 WFS 规范的、符合地下空间信息共享标准的信息服务。政府主管部门、其他政府需求部门和各相关专业单位可以通过连接需要的 WMS 或 WFS 服务,建立自己的业务应用系统,并实现多次组合与共享发布。

### 3.2 数据交换与分发

系统数据交换与分发是按统一的数据交换标准,从专业地下空间数据库提取所需的地下空间更新数据,通过数据交换/分发平台,分别将相应数据等分发到城市地下空间数据中心,从而在地下空间数据中心与各专业地下空间信息系统之间建立一个稳定快速的数据传输、共享通道,实现平滑和安全的地下空间数据的交换与共享(图2)。

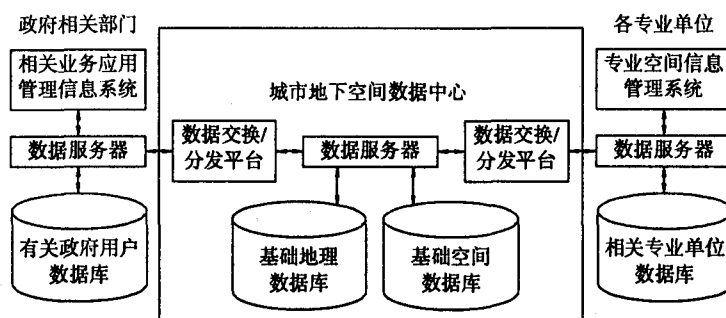


图2 地下空间数据交换与分发

Fig.2 Interchange and distribute for the data of underground space

### 3.3 数据共享与数据服务

城市地下空间信息共享平台是建立基于空间元数据的分布式结构实现元数据共享管理(见图3)。市地下空间数据中心服务器负责所有服务器的总控管理,其主要作用是对全市所有政府和专业单位地下空间数据库的元数据进行管理,它存储了一个统一的地下空间元数据库,该元数据库描述了全市地理位置分布的各个服务器站点上地下空间数据库的状况,并可以通过每条元数据记录访问它所对应的数据库。每个服务器上的本地元数据库描述了该服务器上所有地下空间库的状况,当该元数据库发生变更时,服务器会通过消息将更新情况发到城市地下空间数据中心服务器,由中心服务器上的元数据管理系统自动更新统一的地下空间元数据库。用户对分布式数据库的访问通过中心服务器进行<sup>[4]</sup>。

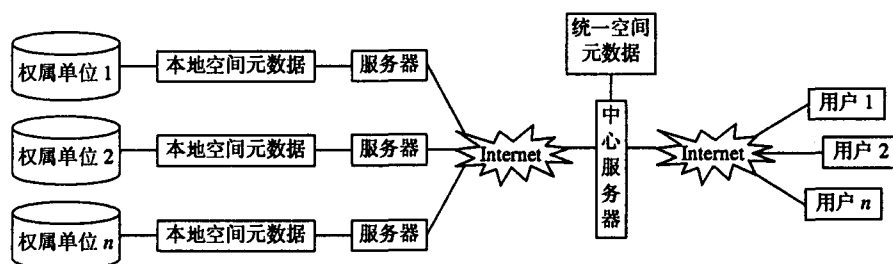


图3 基于元数据的分布式共享框架

Fig.3 Distributed sharing frame based on the metadata

地下空间数据的共享服务主要包括目录服务、数据服务和功能服务3个层次的内容,其中,目录服务提供以元数据为核心的目录查询与管理,用户通过浏览门户网站的地下空间元数据信息迅速确定所需要的数据范围,然后要求门户网站在这一范围内进一步搜索。数据服务是在元数据目录服务的基础上进一步提供相关地下空间数据的信息发布、浏览、查询、订购和下载等服务。功能服务是开发一系列通用的基础性功能性工具,以使用户能够快速搜索所需要的地下空间信息和整合多源数据等<sup>[4]</sup>。

## 4 结 语

城市地下空间的开发利用离不开已有城市地下空间信息的支撑<sup>[5]</sup>,城市地下空间信息化建设的重点是,对已有分布在城市不同单位、不同类型、不同形式的地下空间资料进行整合,建立分布式的城市地下空间数据库。城市地下空间信息化建设的核心是,充分利用已建成的各类地下空间信息系统,整合其数据资源,建设一个地下空间信息共享平台,通过元数据目录服务和数据服务,为地下空

间信息消费者提供快捷的搜索、查询、访问和下载等信息服务,为信息提供者提供地下空间信息注册、发布服务,消除现有的不同信息系统间的“信息孤岛”现象,提高城市的管理能力和决策效率。

#### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 城市基础地理信息系统技术规范[M].北京:中国建筑工业出版社,2004.
- [4] 孟令奎,史文中,张鹏林.网络地理信息系统原理与技术[M].北京:科学出版社,2005.
- [5] 宋祥斌,姜伟.GIS在城市地下空间中的应用及展望[J].地下空间,2004,24(3):373-376.

## Investigation on Construct Information System of Urban Underground Space

JIANG Yi-fang<sup>1</sup>, WANG Yong<sup>2</sup>

(1. Beijing Institute of Surveying and Mapping, Beijing 100038, China; 2. Shandong Genius Geographic information engineering Co., Ltd., Jinan 250014, China)

**Abstract:** Development and utilization of urban underground space should be supported by the information shared platform of urban underground space. In order to enhance the level of its resource plan, development and management, the information shared platform need to be founded. By giving full analysis of the data type of urban underground space and the problem in constructing information system of urban underground space, the paper puts the train of thought for constructing urban underground space Information System, that is, the urban underground space information system should combine the data which has already existed, establish the distributed database and information shared platform of underground space, and offer information service for customer of underground space information by metadata directory and data services.

**Key words:** underground space; information; sharing; construct

(责任编辑 杨玉东)