

地质信息可视化的应用——城市环境地质研究之发展方向

娄华君^{1,2} 王宏³ 夏军¹ 赵树贤⁴

(1.中国科学院地理科学与资源研究所,北京 100101;2.中国矿业大学,北京 100038

3.吉林大学,吉林 长春 130026;4.中国科学院地质与地球物理研究所,北京 100101)

提要 随着21世纪人类城市化建设的发展,城市环境地质研究成为水工环地质研究领域的一个重要组成部分,城市建设中的最主要问题是水资源问题和环境地质问题。城市水资源问题有:城市后备水源地的研究,以及应急水资源地和地下水库的研究。城市环境地质问题主要包括:(1)围绕城市建设和发展的一般性资源、地质环境问题;(2)城市地质作用产生的地质环境问题;(3)城市人口密集区及工业区的土壤和水体有机污染问题。解决城市环境地质问题的关键是对地下空间地层岩性及构造条件的研究,通过这些基础条件研究分析城市地质环境和地下水资源问题。可视化研究技术通过对城市地质体在地下空间的相对位置、形态、物化特征等三维构模处理,使这些城市赖以存在的地质基础条件可为非专业的决策层所理解,并在城市发展的规划中体现这些大自然所赋予人类的地下空间资源的价值。应用三维可视化技术对城市环境地质研究是一个全新的研究领域,目前尚没有系统完整的应用先例。三维可视化技术将在城市化环境地质研究中,开拓一个崭新的环境地质研究时代,成为城市环境地质研究的发展方向。

关键词 三维可视化;城市环境地质;地下空间

中图分类号:P628.4 文献标识码:A 文章编号:1000-3657(2002)03-0330-05

为了解决城市地区出现的地质问题或灾害,世界各地积极开展城市地质工作。城市地质数据信息是城市地质工作的重要组成部分,主要包括钻孔资料、地球物理记录、锥头贯入试验数据、岩石露头详细描述记录、土壤与岩石属性数据等。这些数据往往是以数字化的数据库形式存储。在西欧,已经建立完整复杂的基于二维GIS平台的数据库管理系统。例如,英国伦敦地区实施了LOCUS的地质填图项目,即“伦敦计算机化地下与地表地质”项目,以便为伦敦城市地区的土地利用规划、环境管理和工程与土工建设提供支持。城市地质信息化可满足城市发展对地质科学信息的需求,以便对各种城市地质问题做出快速反应。香港从1991年起,GCO的规划处就一直在开发地学数据库(GSDB),用于对辖区的地质、地球物理和地球化学数据进行储存、综合、解译和展示。在许多先进国家,数字化地球、地质信息的三维可视化表述受到普遍重视。加拿大在1989年就提出了垂直地质填图的要求,澳大利亚1990年为获取深部信息实施

了三维研究计划。美国地质调查局也在加紧区域性三维空间可视化研究,地质信息的三维可视化正在一些发达国家的地质研究领域中得到广泛的应用。这些在很大程度上反映了当今发达国家城市地质工作的基本趋势^①。

1 我国城市环境地质亟待解决的问题

中国人口众多,自然条件复杂,人均资源并不丰富,有的资源甚至十分短缺。在未来一段时间内,在人口、资源、环境方面的问题将十分突出,发展与环境之间的矛盾难以回避。我国城市环境地质研究程度各地区不尽均衡,许多地区、特别是西部待开发地区工作程度较低,主要存在问题如下:

(1)水工环基础研究不能适应经济建设和城市化发展的需要。由于地下水资源本身具有随各种自然因素和人为因素变化的动态特点,较早的资料已在不断老化。区域地质环境、地质灾害研究的技术方法和成果表达形式,不能适应当前城市规划、土地综合利用、生态环境保护和地质灾害防治的需要。

收稿日期:2001-08-10;改回日期:2002-05-20

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向项目(Kzcx2-317)资助。

作者简介:娄华君,男,1956年生,博士,高级工程师,从事水文地质和环境地质研究。

① 张丽君. 国际城市地质工作的主要态势,2002.

(2)部分地区地下水资源对社会经济发展程度提出了更高要求。我国是一个缺水大国,人均拥有水量仅为世界人均水量的1/4,由于水资源的紧缺,将造成人口稠密区、经济开发区和生态环境脆弱区的环境日趋恶化,并影响社会与经济的发展。目前,全国农业生产缺水300亿 m^3/a ,全国668个城市中有400多个城市供水不足,地下水的超量开采,引起一些城市和地区的地面沉降、河流干涸。

(3)地质灾害频繁发生。我国气象、自然地理、地质条件复杂、差异很大。近几十年来,随着我国经济的高速发展和城市化增长,对自然的索取不断增加,对自然环境的干扰也愈加强烈。自然地质营力作用和不合理的人类工程经济活动使得地质灾害频繁发生,每年造成的直接经济损失非常惨重。据有关测算资料,每年造成的直接经济损失达200亿元。近年来在地质灾害调查和评价方面作了大量的工作,但其工作精度仍不能满足城市地质灾害防治规划、防治工程设计的需要。

(4)城市水资源与环境地质问题。随着我国城市化发展进程的加快,城市水工环地质研究工作和对城市在环境保护方面显得越来越重要。城市建设中最主要问题是水资源和环境地质问题。城市水资源问题主要是城市后备水源地的研究,以及应急水资源地和地下水库的研究。城市环境地质问题主要包括:围绕城市建设发展的一般性资源及地质环境,城市地质作用产生地质环境问题;城市人口密集区及工业区的土壤和水体有机污染问题。

2 我国城市环境地质研究现状

城市化是产业革命和经济发展的必然结果。据有关资料,目前全世界60多亿人口已有50%生活在城市,发达国家城市人口已超过总人口的70%。1999年底我国城市人口占总人口的30.4%。本世纪中叶,我国人民生活水平将达到中等发达国家水平,此时,城市化将超过50%。任何城市都处于一定的地质环境之中,人类社会的可持续发展重点和关键也在城市,而地质条件是城市发展的物质基础^[1]。

2.1 城市地质工作特点

城市的建筑工程依其功能和规模进行分类:如交通工程、住宅、能源、给水和排水、通信、工厂、绿化工程等,是一个极其复杂的系统。

城市依其性质、特征可分成不同的类型,我国工业城市中有200多座以矿业开发为主建设起来的资源型城市。地质工作是这些城市立市的前提,也是其发展的保证。另一方面,城市的自然地质环境多不同,为了解决制约城市发展的地质问题,各城市都有其地质工作的重点,北方的缺水城市都将城市地下水资源勘察评价和开发保护作为地质工作重点。在地质灾害多发城市则十分重视地质灾害防治工作,天津市、上海市等都设有专门控制地面沉降的管理机构等。受城市的社会特征(规模、类型、发展阶段等)和城市地质环境特性的双重因素制约,城市地质工作具有学科的综合性、地域的独特性、工作的动态性、方法的多样性和社会性等一

系列特点,进行城市地质工作必须重视城市地质工作特点。

2.2 城市水资源问题研究

在城市的建设与发展中,新建城市的发展规模及发展方向,首先应考虑所处环境的水资源类型,水资源的分布特征应是城市发展规划与发展方向确立的主要依据。城市在发展中往往存在水资源不足问题,如中国的华北地区各大城市的产业结构已经形成,众多大中城市集中在地下水资源相对贫乏的华北平原上,其水资源的解决只能依靠远距离的引水工程,这给城市的可持续发展带来诸多问题。另外,有一些具有特殊的特殊功能的城市如以旅游业为主的沿海城市、以矿业开发为主的矿山城市,这些城市在水资源的需求上,表现为水资源开发年度内的阶段性,以及具有一定的使用年限。根据各类型城市的不同需水要求,解决其水资源问题的规划应有所不同。

2.3 城市环境地质的研究

(1)城市基础地质研究。城市基础地质一般指城市的大地构造位置、区域地质环境等。由于在城市的形成与发展过程中,起主导作用的是社会经济因素,许多城市诞生于现代地质学产生之前,多数城市的基础地质资料是逐渐积累的,这些城市基础地质资料主要来自1:20万区调。1984~1985年,全国30多个中心城市开展了1:5万区域地质调查工作,使这些城市的基础地质认识有了深化^[2]。

(2)城市地质作用研究。城市对地质环境的作用称为城市地质作用,随着科技进步和经济的发展,人类改造自然的能力在不断增大,其速率已超过任何自然地质作用,在城市地区尤为显著。城市诱发地质灾害的发生,从本质上来说,是人类活动强度超过了地质环境的自然调节能力,引起的地面沉降和岩溶塌陷,采空区的地面塌陷。城市地质的根本任务是为城市的可持续发展服务,具体是预测城市发展引起的地质环境变化。

(3)城市地下空间开发地质研究。随着城市化进程的加快,城市发展与土地资源短缺间的矛盾越加突出,交通堵塞、环境质量恶化成了当今大城市的通症,解决这一问题的关键在于开发城市地下空间。1982年联合国自然资源委员会决议明确指出:地下空间是人类潜在的和丰富的自然资源。随着人口的增加、城市化进程的加快,开发地下空间将成为我国城市可持续发展的重要方面^[3]。

2.4 城市地质技术与城市地质信息系统

城市地质的技术工作主要是从城市地质环境特征出发,选择或改进地质技术,更好地服务于城市地质。21世纪,被称之为信息时代、知识经济时代,而信息、物质和能量三要素并称为社会的三基元。美国前副总统阿尔·戈尔于1998年又提出了“数字地球”的概念。随着计算机及网络通信、卫星遥感(RS)、全球定位系统(GPS)、地理信息系统(GIS)、虚拟现实(VR)、海量数据存储、数据库等高新技术的发展,为“数字地球”提供主要支撑的信息基础设施已不存在重大技术和经济问题。城市作为政治、经济和文化中

心,无疑应抓住“数字地球”这一机遇,实施“数字城市”计划,推进城市的可持续发展^[4]。

近年来,可用于城市环境地质研究的高科技手段和计算机系统程序发展较快,主要有:

(1)遥感技术,应用于水文地质普查、灾害地质、生态环境等地质信息的分析研究。

(2)地理信息系统GIS,应用于城市环境地质资料的数字化处理、地质数据库的建立、多种综合地质信息的综合分析和辅助决策等工作。

(3)地理信息系统的三维空间可视化研究,应用于城市地质条件分析,服务于城市环境地质管理和政府决策。

3 可视化在城市地质研究中的作用

可视化是指运用计算机图形图像处理技术,将复杂的甚至十分抽象的概念以直观的图形图像表现出来,以便于理解现象、发现规律和传播知识。具有空间或时空分布特征的地质数据是可视化研究中具有典型意义的重要研究领域之一,并已经成为世界各国都在积极探索的地质研究方法。可视化在地质研究中的作用可归纳3个方面:

(1)可视化是一种新的地质信息交流手段。采用直观、形象的图形图像形式表达地质过程中构造单元的时空展布特征及其内部地质参数的时空分布特征,即实现地质信息从二维表达形式向三维或四维表达形式的升华,不仅使地质人员在研究过程中非常容易表达、验证和修改自己建立的地质认识,也使得专业及非专业的地质及决策人员更加容易明白。特别是高级的具有三维观察空间的虚拟现实人机交互系统的引入,使人有身临其境的感觉,这样对任何人来理解地质工作者建立起的地质认识会更容易。

(2)地质信息的可视化是进一步实现地质信息的GIS管理、分析的重要基础。地理信息系统以其非凡的空间信息管理、空间分析等功能为各类研究与决策提供了新一代描述语言和思维工具,开始广泛地应用于各个地学研究领域,特别是地理应用领域。但目前,绝大多数商品化的GIS软件还只是在二维平面的基础上模拟并处理现实世界所遇到的现象和问题,只有少量的GIS软件能进行真三维的分析和显示,如Intergraph公司的GIS软件等,但它们的数据模型不具备三维GIS或四维GIS的基本特征,即不是真正的三维GIS或四维GIS系统。三维GIS和四维GIS是近几年最热门的研究课题之一。地质信息的可视化研究的主要内容是地质体的交互建模问题,也是三维GIS和四维GIS研究中要解决的核心问题,因此,地质信息的可视化是三维GIS或四维GIS的基础。

(3)地质信息可视化技术可作为科学发现的手段。20世纪60年代以来,数值算法在水文地质学中的应用以及电子计算机技术的推广使用,使一些复杂地下水流的模拟成为可能,人们开始考虑含水介质的非均质性和各向异性,对复杂的越流系统和具有不规则形状的各类边界条件及多相流、双

重介质理论也做了深入研究。传统的数值模拟方法就像一个黑箱一样,不能直观、形象地展示出模拟过程和模拟结果,不便于验证和改进模型。将地质信息可视化技术与数值模拟技术相结合犹如提供一个数值模拟实验室,不仅可以进行数值模拟实验,还可以直观看到实验过程和实验结果。

3.1 建立可视化几何模型的基本思路

可视化裁剪曲面的几何构模三维GIS技术,通过对岩层结构、接触关系进行描述,来表述自然地质体的空间特征的研究思想,建立了最佳构模理论及应用模型,解决了其他三维模型难以表达的地质空间信息系统关系。

该技术通过地层结构元素间截割或切错关系的裁剪曲面机制,即地质界面采用分断片的裁剪曲面表示,岩层采用分断块的裁剪曲面实体表示,定义了结构元素间的空间拓扑关系。三维可视化处理地质三维空间数据,使研究人员能够观察到地质体表面、地质体内部结构与数值性分布的三维影像形式的高品质视觉效果。可视化几何建模的地质体结构面表示方法包括:

(1)地质界面由被断层切错而成的若干个断片组成,地质界面断片可由其插值曲面沿着与其他地质界面断片插值曲面的交线经多次裁剪而来,因此地质界面断片可采用裁剪曲面表示。

(2)岩层由被断层切错而成的若干个断块组成,岩层断块由其上、下层面界定,上、下层面分别由一组地质界面断片的裁剪片拼接而成,裁剪片由地质界面断片沿着与其他地质界面断片插值曲面的交线经多次裁剪而来,可采用裁剪曲面来明确地表示岩层断块实体。反过来,用于拼接岩层断块上、下层面的裁剪片又成为该岩层断块在该裁剪片所在地地质界面断片上的出露区域表示,因此,地质界面断片可采用具有上覆和下伏岩层断块出露信息的裁剪曲面完整地表示。

根据上述的基本思路,构成了可视化几何构模技术框架,如图1所示。

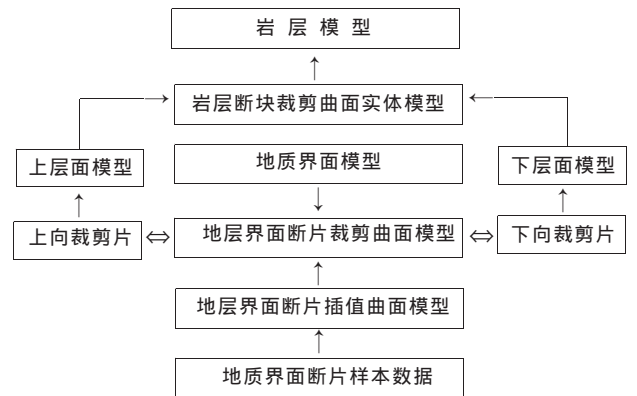


图1 地下岩层可视化几何构模框图

Fig. 1 Geometric structural model of visualization of subsurface strata

3.2 三维GIS几何构模技术

(1)构造地质结构面断片的插值曲面

地质界面断片的插值曲面为地质界面上样本数据的插值函数曲面。要求构造的地质界面断片的插值曲面,既能反映样本数据的局部变化特征,又能充分反映样本数据的趋势性变化的特征。为此,选择趋势面与残差叠加法构造地质界面断片的插值曲面,并对其进行改进,即在趋势面拟合中引入权重。

设地质界面断片上有 n 个样本点 $P(x_i, y_i)$ ($i=1, 2, \dots, n$),其样本值为 z_i ,权重为 q_i ,则应用改进后的趋势面与残差叠加法计算插值点 $P(x_0, y_0)$ 的值 z 的步骤如下:

第一步,根据实际情况选择一次多项式或二次多项式 $f(x, y)$,使之满足多项式曲面 $f(x, y)$ 即为样本数据的加权拟合趋势面。根据最小二乘法原理有以 $f(x, y)$ 的系数为变元的方程组,解此方程组,获得加权拟合趋势面 $f(x, y)$,则 $f(x_0, y_0)$ 为插值点 P 的趋势面拟合值。

第二步,求出各样本的残差:

$$g_i = z_i - f(x_i, y_i) \quad i=1, 2, \dots, n$$

第三步,根据样本的残差应用距离加权平均法计算出插值点的残差:

$u(d_i) = 1/d_i^m$ 。其中 d_i 为样本点 P_i 到插值点 P 的距离, m 为距离的幂指数。

第四步,计算插值点的值:

$$z = f(x_0, y_0) + g(x_0, y_0)$$

通过改变样本的权重,可对拟合的趋势面进行调整,进而调整插值曲面。

(2)构造地质体可视化三维构模

从地质结构面入手,探索地质体拓扑重构和几何重构的有效理论和方法。在三维模型上,实现任意断面的剖切,剖切后断面中的图素存储完整的几何信息和属性信息^[5]。

4 三维可视化研究技术在城市环境地质研究中的应用

城市环境地质研究的关键是对地下空间地层岩性及构造条件的研究,通过这些基础条件研究分析城市地质环境和地下水污染问题。可视化研究技术通过对城市地质体在地下空间的相对位置、形态、物化特征等三维构模处理,使这些城市赖以存在的地质基础条件可为非专业的决策层所理解,并在城市发展的规划中体现这些大自然所赋予人类的地质空间资源的价值。应用三维可视化技术对城市环境地质研究是一个全新的研究领域,目前尚没有系统完整的应用先例。但三维可视化技术将在城市化环境地质研究中,开拓一个崭新的环境地质研究时代。

(1)三维可视化城市环境地质图件。城市地下水资源极易受到污染,保护含水层不受污染尤为重要。其主要的研究方法就是对区域地质条件进行脆弱性地质评价。地下水资源脆

弱性的全面评价需要详细的水文地质和现场调查研究,评价的主要内容包括:地下水脆弱性的三维分区,非饱和带的补给、土壤性质、厚度、渗透性和稀释能力,以及含水层的稀释能力的评价^[6]。

应用三维可视化技术进行大比例尺的城市环境地质图件的制作和研究,可以充分展现该技术的优势,使不易理解的地下空间地质结构特征,变得极易应用于应用和研究,这一优势在地质条件相对复杂的城市区域更为明显。从三维空间关系来研究分析城市地质条件,以及对城市的地下空间数据信息进行空间管理,同时可以使环境水文地质专业人员的研究成果为决策者所理解,使某些用语言难表述交流的信息通过可视化图形进行沟通。

(2)天津市地热田管理的三维可视化应用。相对地表水资源而言,地下水资源易于保护,开采方便,但是处于地下介质空间的地下水体在管理方面存在诸多不便。采用三维GIS可视化技术,对解决这一类问题提供了非常广阔的应用空间。通过对地下空间介质的三维可视化建模,以及地下水动态的三维可视化显示,使对地下水的管理类似于地表水的管理模式。三维GIS可视化体系,通过对地质体的三维建模形成三维的地下水数据存储体系,可以直观地表达隐伏于地下的地质体的空间特征。天津市地下热水资源十分丰富,是国内主要地热田之一。但是天津地热资源埋藏深度较大,地下储热层的分布条件也较为复杂,用简单的二维图形难以表示含水层的空间分布特征,给天津市地热田的开发和管理带来困难。应用三维可视化技术对天津市地热资源进行管理,使复杂的地下空间岩层结构清晰地展现出来,给专业技术人员和资源的开发管理部门提供了相互交流的更大空间。三维可视化的地下岩层表述为天津市的地下地热田的评价和开采,开辟了更为广阔的应用前景。相对于直观表示的复杂水文地质条件而言,三维GIS可视化技术具有其他地质技术手段所无法替代的优点。通过三维GIS可视化表述后的地下水体系,基本上具备了与地表水体系联合调度、相互传输信息和直观空间管理的条件。

参考文献:

- [1] 籍传茂,侯景岩,王兆馨. 世界各国地下水开发和国际指南[M]. 北京:地震出版社,1996.113~115.
- [2] 姜作勤. 地质矿产学信息系统的现状与发展[A]. 见:赵鹏大等主编. 数学地质和地质信息[C]. 北京:地质出版社,1999.86~91.
- [3] 唐泽圣,陈莉,邓俊辉. 三维数据场可视化[M]. 北京:清华大学出版社,1999.1~3.
- [4] 承继成,林瑛,周成虎,等. 数字地球导论[M]. 北京:科学出版社,2000.1~260.
- [5] 娄华君,马兆同,王炳山. 星体撞击构造形迹研究[M]. 北京:地震出版社,2001.106~109.
- [6] 李相然. 滨海城市环境工程地质[M]. 陕西:陕西科学技术出版社,1999.1~170.

Application of geological information visualization—the direction in development of the study of urban environmental geology

LOU Hua-jun^{1,2}, WANG Hong³, XIA Jun¹, ZHAO Shu-xian⁴

(1. *Institute of Geographical Sciences and Natural Resources, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China*

2. *China Mining University, Beijing 100038, China*; 3. *Jilin University, Changchun 130026, Jilin, China*

4. *Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China*)

Abstract : With the development of human urbanization in the twentieth century, urban environmental geological research has become an important component part in the area of hydrological, engineering-geological and environmental-geological research. Water resources and environmental geology are the crucial problems in urban construction. The problems of water resources include reserve water resources, urgently needed water resources and subsurface water reservoirs. The problems of urban environmental geology include (1) the general problem of water resources and geological environment about urban construction and development, (2) the problem of geological environment resulting from urban geological effects, and (3) the problem of organic pollution of soil and waters in densely inhabited districts and industrial areas. The key to solving the urban environmental geological problems is research on lithological and structural conditions in subsurface space. Through a study of these basic conditions, the problems about the urban geological environment and subsurface water resources can be analyzed. By means of 3D structural model treatment of the relative position, configuration and physico-chemical features of the urban geologic bodies in the subsurface space, visualization technology can make basic geological conditions for city subsistence understood by unprofessional decision makers and present in urban developmental planning the value of subsurface geological resources with which nature endows mankind. The application of 3D visualization technology in the study of urban environmental geology is a frontier and up to now there is no systematic and complete precedent for its application. 3D visual technology will usher in a new epoch of environmental geological study and is a direction of research for urban environmental geology

Key words : 3D visualization; urban environmental geology; subsurface space