

城市地下空间资源质量评估基本单元体的研究

姜 云^{1,2} 吴立新^{1,3} 车德福¹ 徐 磊¹

(1 中国矿业大学(北京)3S 与沉陷工程研究所,北京市海淀区学院路丁 11 号,100083)

(2 黑龙江科技学院建筑工程学院,哈尔滨市松北区糖厂街 1 号,150027)

(3 东北大学 3S 与数字矿山研究中心,沈阳市和平区文化路 3 号,110004)

摘 要:提出了基于 Grid + Voxel 的基本单元体划分方法及不同类型属性信息提取的量化模型,有效地解决了地下空间资源质量评估最小近似均质体的 3D 剖分,及基于基本单元体不同类型的属性信息定量提取问题,修正了传统的以地面为参照的 2D 平面单元划分方法,是城市地下空间资源质量评估基本分析单元划分的一种有效的新方法。

关键词:地下空间;资源质量评估;基本单元体;Grid;Voxel

中图法分类号:P208

城市地下空间资源质量是指在一定的技术条件下,由于各种工程地质、水文地质、岩土体、地面及地下空间等条件的影响和制约,影响着城市地下空间可开发利用的难易程度或可开发利用的潜力^[1,2]。围绕城市地下空间资源的质量评估,虽然不同研究者的研究目标和方法各有侧重,但一般认为地下空间资源质量是评估因子作用于特定地下空间的结果^[1~7]。目前,国内外的研究存在的共同问题是:以地面为参照进行 2D 评估单元划分,没有在 3D 空间框架下定义城市地下空间资源质量评估的基本单元体,因而评估结果不能准确、细致地表征城市地下空间资源质量在 3D 空间上的客观分异特征,亦无法确切地引导城市地下空间的开发利用及城市地面的规划和开发建设。

笔者认为,城市地下空间资源质量是城市地下空间可开发利用资源的质量表征,地下空间资源质量是影响因子(工程地质、水文地质、岩土体、地面及地下空间等条件)作用于一定空间区域的结果。

在研究评估的空间范围内,可以进一步划分出一些最小的空间单元。在这些最小的空间单元内,城市地下空间资源质量各影响因子的属性是相对均一的。定义城市地下空间资源质量评估的基本单元体为:根据城市地下空间资源质量影响因子属性分布的空间变异性,按一定的规则对地下空间进行几何划分而得到一种 3D 空间单元

体,该单元体是城市地下空间资源质量评估的近似均质单元体。

基本单元体是各属性信息的载体,因此,质量评估模型应基于基本单元体进行。基本单元体是质量评估分析的基本单元,即城市地下空间资源质量的评估及评估结果的可视化表征应基于基本单元体进行。

1 基本单元体的特点与划分方法

1) 根据质量评估基本单元体的定义,任何一个基本单元体均具有近似均质性。近似均质性主要表现在基本单元体是进行城市地下空间资源质量评估时所划分出的属性信息近似均一的空间单元体。基本单元体是城市地下空间资源质量等级空间分异特征研究的基本单位。

2) 空间尺度的不确定性。空间尺度的不确定性主要表现在以下两方面: 城市地下空间资源质量评估基本单元体是基于各影响因子经一定的划分而得到的,因而,质量评估基本单元体的空间尺度(如范围和大小等)是由各影响因子的空间分布所决定的,并使不同城市地下空间资源质量评估的基本单元体具有空间尺度不确定性; 在不同的城市甚至是同一城市的不同发展阶段,评估区域的空间尺度(地面范围及评估深度)可能是

不同的。因而,不确定性亦表现在基本单元体的空间尺度随研究区域的空间尺度的不同而不同。

根据三维地理信息系统(3D GIS)与三维地学模拟系统(3D GMS)^[8,9]中关于空间划分的基本原理,笔者认为基于格网(Grid)^[10,11]和 Voxel^[9,12-13]的划分方法适合于进行城市地下空间资源质量评估基本单元体的划分。

1) 研究确定评估区域的坐标体系。评估区域一般是相对较小的区域,因而,应选用区域地理坐标体系。将评估区域包络盒的某一坐标格网结点作为坐标原点,该结点的选择应保证评估区域位于坐标系的第一象限内,即研究区内的几何坐标值为正值。为了使所选择的坐标系具有普遍的适用性,平面坐标原点可选在区域坐标中距离研究区最近西南向的格网结点上。如图 1 所示,研究区 A 分布于 6 个区域坐标格网内,区域 B 是其包络矩形,点 O 可定义为其坐标原点。垂直方向的坐标原点以最低高程点为原点,即平面坐标向下平移至最低高程处。将区域地理坐标系中的 X 轴、Y 轴方向分别作为评估区域的 X 轴、Y 轴方向,评估深度方向作为 Z 轴方向。

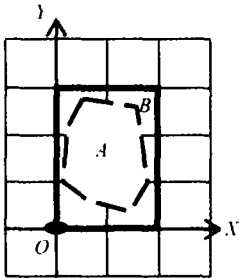


图 1 研究区坐标体系建立示意

Fig. 1 Scheme of the Coordinate of the Research District

2) 对评估的 3D 空间区域以一定的格网分割尺寸沿 X、Y、Z 轴进行格网划分。结合 Voxel 原理,以一组规则尺寸 $a、b、c$ 来分割所要评估的 3D 空间区域,其中 Voxel 的尺寸将影响评估精度。对此,可视评估 3D 区域内城市地下空间资源质量若干影响因子在 X、Y、Z 轴方向上的分异特征(如地面建筑物密度、现有已开发利用的地下空间区域、地层厚度、地层层数等)、评估的 3D 区域尺度等综合选择确定,并可通过逐步缩小单元体尺寸,从而提高评估精度。

3) 基于 Voxel,将评估的 3D 区域剖分成若干个基本六面体,依据城市地下空间资源质量影响因子建立基本六面体的属性。

经以上 3D 剖分及属性建立的基本六面体即

为城市地下空间资源质量评估基本单元体。

2 基本单元体的属性及提取

2.1 基本单元体的属性

所谓基本单元体属性是指参与基本单元体空间划分并影响城市地下空间资源质量的若干影响因子。城市地下空间资源质量评估基本单元体的属性及属性信息特征见表 1。

表 1 城市地下空间资源质量评估基本单元体的属性及属性信息特征

Tab. 1 Attribute and Its Information Characteristic of Cell Cube for Urban Underground Space Resource Quality Evaluation

属性		属性信息特征
工程地质条件	活断层与地裂缝的影响	定性
	地质灾害(滑坡、泥石流等)	定性
	地震烈度	定量
	节理与裂隙密度	定量
	节理与裂隙组数	定量
水文地质条件	钻孔单位涌水量	定量
	地下水赋存类型	定量
	地下水水位及补给	定性
	地下水腐蚀性	定性
岩土体条件	岩土体粘聚力	定量
	岩土体内摩擦角	定量
	承载力标准值	定量
	岩土体变形模量	定量
	岩土体渗透系数	定量
地面及地下空间条件	地面空间类型	定性
	受已开发地下空间的影响程度	定性

2.2 属性信息的提取

因各种工程地质条件、水文地质条件、岩土体条件、地面及地下空间条件等属性信息包括定性信息和定量信息两种类型,且某些属性信息和在基本单元体内将存在均一性和非均一性两种情况,故应分别基于不同方法提取不同类型的属性信息。

2.2.1 定性属性信息提取

1) 均一性定性属性信息提取。设 i 为某种在基本单元体内呈各向均一的定性属性, c_i 为其在基本单元体内的属性信息, x_i 为评估基本单元体内欲提取的第 i 种定性属性信息,则此类属性的信息提取模型为 $x_i = c_i$ 。

2) 非均一性定性属性信息提取。设 i 为某种在基本单元体内呈各向非均一性的定性属性, c_{ij} 为其在基本单元体内的多个定性属性信息, v_{ij} 为某种定性属性的多个属性信息在基本单元体内分布的体积, x_i 为基本单元体内欲提取的第 i 种

定性属性信息,则此类属性的信息提取模型为

$$b = \max_j [v_{ij}], x_i = c_{ij_b}。$$

2.2.2 定量属性信息提取

1) 均一性定量属性信息提取。设 i 为某种在基本单元体内呈各向均一性的可定量描述的属性, c_i 为其在基本单元体内的量化信息, x_i 为评估基本单元体内欲提取的第 i 种定量属性信息, 则此类属性的信息提取模型为 $x_i = c_i$ 。

2) 非均一性定量属性信息提取。设 i 为某种在基本单元体内呈各向非均一性的可定量描述的属性, c_{ij} 为基本单元体内非均一性定量属性的多个量化信息, j 为量化信息个数, p_{ij} 为 i 因子第 j 个量化信息的概率分布, E_i 为 i 因子的数学期望, x_i 为基本单元体内欲提取的第 i 种因子信息, 则信息提取模型为 $x_i = E_i = \sum_j c_{ij} p_{ij}。$

3 实例研究

以北京 CBD 作为研究实例,图 2 是 X 、 Y 、 Z 轴方向单位尺寸分别为 60 m × 60 m × 3 m 和 40 m × 40 m × 2 m 时的评估基本单元体 3D 可视化结果。由图 2 可知,评估基本单元体尺寸越小,基于 Grid + Voxel 剖分得到的评估基本单元体明显增多。当基本单元体尺寸为 60 m × 60 m × 3 m 时,经剖分可得到 17 544 个评估基本单元体;当基本单元体剖分尺寸为 40 m × 40 m × 2 m 时,可得到 59 212 个评估基本单元体。通过缩小基本单元体尺寸,可提高评估精度。

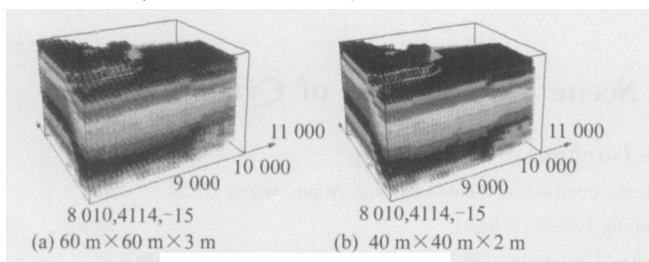


图 2 评估基本单元体

Fig. 2 Evaluation Unit Cube

以 20 m × 20 m × 1 m 作为评估基本单元体在 X 、 Y 、 Z 轴方向上的单位尺寸,以基本单元体为单位,采用属性信息提取模型提取北京 CBD 的工程地质、水文地质、岩土体、地面及地下空间的属性信息。以 AHP^[14,15] 确定地下空间资源质量各影响因素的权重,采用模糊综合评估法建立评估模型^[16],在开发的 3D 地学模拟软件 GeoMo3D 中进行建模、评估,得到北京 CBD 地下空间资源质量评估可视化结果,见图 3。

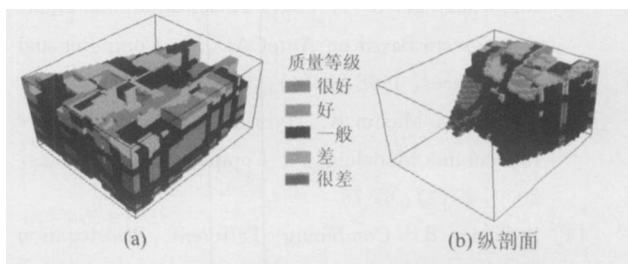


图 3 地下空间资源质量评估可视化结果

Fig. 3 Visualization Result for Underground Space Resource Quality Evaluation

由图 3 可知,北京 CBD 的地下空间资源质量出现 3 个等级,即很好、一般和很差,资源质量呈现 3D 空间分异性,而且基本单元体是城市地下空间资源质量评估的基本单位,地下空间资源质量及其 3D 空间分布是通过评估基本单元体及其空间组合状况来反映的,因而实现了将基于 Grid + Voxel 划分得到的基本六面体作为地下空间资源质量评估基本单元体。

参 考 文 献

- [1] 吴立新,姜云,梁越,等. 论城市地下空间开发利用容量评估的基础研究[J]. 地理与地理信息科学, 2004, 20(4): 44-47
- [2] 刘湘,祝文君. 城市地下空间的自然资源学基础及其评估[J]. 地下空间, 2004, 24(4): 543-547
- [3] Malone A W. The Use of Underground Space in Hong Kong[J]. Tunneling and Underground Space Technology, 1996, 11(1): 57-64
- [4] 童林旭. 地下空间与未来城市[J]. 地下空间与工程学报, 2005, 1(3): 323-328
- [5] 童林旭. 为 21 世纪的城市发展准备足够的地下空间资源[J]. 地下空间, 2000, 20(1): 1-5
- [6] Jaakko Y. Spatial Planning in Subsurface Architecture[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 1989, 4(1): 5-9
- [7] Goal R K, Dube A K. Status of Underground Space Utilization and Its Potential in Delhi[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 1999, 14(3): 349-354
- [8] 吴立新,史文中,Christopher G. 3D GIS 与 3D GMS 中的空间构模技术[J]. 地理与地理信息科学, 2003, 19(1): 5-11
- [9] 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
- [10] 李德仁,邵振峰,朱欣焰. 论空间信息多级格网及其典型应用[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2004, 29(11): 945-950
- [11] 金江军,潘懋. 格网技术对 GIS 发展的影响[J]. 地理与地理信息科学, 2004, 20(2): 49-52

- [12] Marschallinger R. A Voxel Visualization and Analysis System Based on AutoCAD[J]. Computer and Geosciences, 1996, 22(4): 379-386
- [13] Valery A, Maxim K. Hybrid System Architecture for Volume Modeling[J]. Computers & Graphics, 2000, 24(1): 67-78
- [14] Srdjevic B. Combining Different Prioritization Methods in the Analytic Hierarchy Process Synthesis[J]. Computers & Operations Research. 2005, 32(7): 1 897-1 919
- [15] Saaty R W. The Analytic Hierarchy Process: what is it and how it is Used[J]. Int J Math Model, 1987, 9(3~5): 161-165
- [16] 杨纶标, 高英仪. 模糊数学原理及应用(第三版)[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2001
- 第一作者简介: 姜云, 博士生。现主要从事 3D GIS 及其应用研究。
E-mail: jy8690 @sohu. com

On Cell Cube for Quality Evaluation of Urban Underground Space Resource

JIANG Yun^{1,2} WU Lixin^{3,1} CHE Defu¹ XU Lei¹

(1 Institute of RS /GPS /GIS & Subsiding Engineering, China University of Mining & Technology, D11 Xueyuan Road, Haidian District, Beijing 100083, China)

(2 School of Architectural Engineering, Heilongjiang Institute of Science & Technology, 1 Tangchang Street, Songbei District, Harbin 150027, China)

(3 Center for RS /GPS /GIS & Digital Mine Research, Northeastern University, 3 Wenhua Road, Heping District, Shenyang 110004, China)

Abstract : The division method for cell cube is put forward based on Grid + Voxel. Further, the attribute of cell cube is analyzed, and quantitative models for attribute information extraction are also built. So the problem on cell cube is resolved, which includes the division for basic approximate homogenic three-dimensional spatial cell cube and the quantitative extraction for corresponding attribute information. Taking the central business district (CBD) of Beijing as an application case, the cell cube and the visualization result for underground space resource quality evaluation are showed.

Key words : underground space; resource quality evaluation; cell cube; Grid; Voxel

About the first author : JIANG Yun, Ph.D candidate, majors in 3D GIS and the application of 3D GIS.

E-mail: jy8690 @sohu. com

(上接第 274 页)

Application of Cell-Portal in Indoor Scene Management of CyberCity GIS

YANG Weijun¹ GONG Jianhua¹ XU Zhiyong²

(1 State Key Laboratory of Remote Sensing Sciences, Institute of Remote Sensing Applications, CAS, P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)

(2 School of Resources and Environmental Science, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract : Dynamic data loading based on data page can preferably solve the visualization of huge data of DEM and DOM in CyberCity GIS. But if the same tactic is used to handle the indoor scene of buildings which maybe lengthways very huge, it may cause problems. A method for data dispatch and management of indoor scene based on Cell-Portal from games for reference is used. Experiment demonstrates that it needs not increase the workload of data production and can fit the demand of the further development of CyberCity GIS.

Key words : CyberCity GIS; data dispatch; scene management; indoor scene; Cell-Portal

About the first author : YANG Weijun, Ph.D candidate, majors in CyberCity GIS.

E-mail: wjy172 @163. com