

水文地质环境地质

济南市地下空间资源开发地质环境适宜性评价

徐军祥¹,秦品瑞²,徐秋晓²,吴立进²

(1. 山东省地质矿产勘查开发局,山东 济南 250013;2. 山东省地矿工程勘察院,山东 济南 250014)

摘要:在对济南市地质环境评价的基础上,结合城市特点,选取地下水富水性、地下水腐蚀性、岩土层综合分区等14个一般性因子和泉水影响这一敏感因子,采用GIS-模糊数学评价方法对地下空间资源分为2个竖向层次进行评价,对地下空间资源开发地质环境适宜性作出了分区。

关键词:地下空间;资源开发;地质环境;适宜性评价;济南市

中图分类号:TV984.113 文献标识码:B

0 引言

地下空间是指地球表面以下的岩土层中天然形成或人工开凿形成的空间场所，是城市空间资源的重要组成部分^[1]。近年来，济南城市规模不断扩大，面临着空间容量需求与土地资源紧缺的矛盾，开发利用地下空间资源已成为城市可持续发展首要解决的问题之一。

地下空间的开拓,涉及地质条件、产业布局、经济社会发展水平等各个方面,但充分利用有利地质环境,有效避开和改造不利条件,才能使地下空间开发利用既安全又经济。如何对地下空间资源开发适宜性作出有效评价,就成为规划开发的前提。依据济南市实际地质环境条件,采用 GIS-模糊数学评价方法,选择影响和制约地下空间资源开发利用的地质环境因子,对济南市地下空间资源开发地质环境适宜性进行了评价研究。

1 研究思路

评价区以济南市城市发展总体规划(2006—2020)划定的济南市中心城区范围为基础并适当外扩,东至章丘市,西南至南大沙河以东(归德镇界),西北至黄河,南至双尖山、兴隆山一带山体及济莱高

速公路,北至黄河以北青银高速及济青高速公路,面
积 1829 km^2 (图1)。根据地下空间与地表的距离
关系以及地下空间开发利用性质和功能,对地下空
间资源竖向分层按浅层(地面下 $0\sim15\text{ m}$)和次浅层
(地面以下 $15\sim30\text{ m}$)进行评价,而深层(大于 30 m
埋深)主要利用方式为危险品仓库等特种工程并作
为远期开发空间等^[2],在中心城区利用极少,故暂不
作评价。

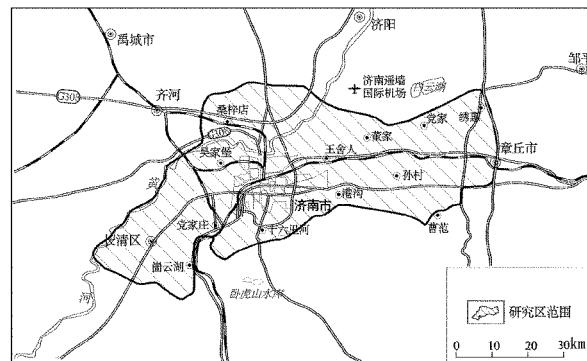


图 1 研究区范围及位置图

利用区域实地调查和已有成果资料,结合研究区实际情况,确定评价因子,制定评价指标体系,建立模糊评价因素集,确定权重、隶属度及模糊综合评判方法,利用MapGIS建立各因子地下空间数据库,进行各因子叠加空间分析。并综合考虑地下空间开发对泉水保护影响,最后给出地下空间资源开发地

* 收稿日期:2012-06-27;修订日期:2012-07-18;编辑:陶卫卫

基金项目:山东省地质矿产勘查开发局“十二五”重点项目“山东省城市地质研究”

作者简介:徐军祥(1961—),男,山东广饶人,教授级高级工程师,主要从事地质矿产勘查技术研究工作;E-mail:dikanchu@163.com

质环境适宜性评价结果。

2 评价方法

GIS-模糊数学评价法就是应用模糊数学的模糊变换原理和最大隶属度原则对受多个因素制约的对象进行优化评价,并借助 GIS 强大的数据管理、查询、空间计算及地理形态的可视化表达能力,将通过数值计算的大量抽象数据转换为人的视觉可以接受的计算机图形图像^[3]。对于地下空间地质环境适宜性来说,它受多种因素影响,且各个因素的影响程度难以准确衡量。此外,地下空间资源还是一个包含若干不同层次的复合系统,其系统功能从整体上讲是一种综合功能,具有多属性的特点。因此,地下空间资源开发地质环境适宜性评价是对属性和准则具有模糊特征的评价,故选择 GIS-模糊数学评价方法比较适宜。

3 评价因子与指标体系

地下空间资源评价的客观性在于正确认识其影响因子,选取适当的评价因子和指标体系^[4]。根据济南城市特点,按分级、分序、抓主、淡次的原则,采用穷举-剔除法,选取水文及水文地质条件、工程地质条件、环境地质条件、地面及地下空间条件等影响因子作为地下空间资源开发地质环境适宜性的评价因子,构建济南市城市地下空间资源多层次评价体系(表 1)。泉水属于济南市地下空间开发的敏感因子,对地下空间资源开发“一票否决”,凡对泉水有影响的均为地下空间资源开发的制约区。

4 GIS-模糊数学评价步骤

4.1 确定评价集及评语集

依据上述的多层次评价指标体系,构建济南市地下空间资源潜力模糊综合评价的因素集 U 为:

$U = \{u_1, u_2, u_3, u_4\} = \{\text{水文及水文地质条件}, \text{工程地质条件}, \text{环境地质条件}, \text{地面及地下空间条件}\}$;而 u_1 又包括以下因素, $u_1 = \{u_{11}, u_{12}, u_{13}, u_{14}\} = \{\text{地下水富水性}, \text{地下水腐蚀性}, \text{地下水位最小埋深}, \text{地表水体}\}$;其他各主题因素集依次类推,实际上是对影响因素先分大类,然后在一类中的再分小类,这样就反映了影响因素的层次性。

根据济南市城市地下空间资源各影响因素对地

下空间开发潜力的影响,建立评语集合 V 如下:

表 1 济南市地下空间资源开发地质环境评价指标体系

A - 目标层	B - 主题层	C - 指标层
济南市地下 空间资源开 发地质环境 适宜性评价	水文及水文 地质条件 u_1	地下水富水性 u_{11} 地下水腐蚀性 u_{12} 地下水位最小埋深 u_{13} 地表水体 u_{14}
	工程地质条 件 u_2	断裂构造 u_{21} 岩土层综合分区 u_{22} 软土 u_{23} 湿陷性黄土 u_{24}
	环境地质条 件 u_3	采空塌陷 u_{31} 岩溶塌陷 u_{32} 崩滑流 u_{33} 地裂缝 u_{34}
	地面及地下 空间条件 u_4	地面空间地物类型 u_{41} 已开发地下工程 u_{42}

$$V = \{v_1, v_2, v_3, v_4\} = \{\text{优}, \text{良}, \text{中}, \text{差}\} = \{\text{I}, \text{II}, \text{III}, \text{IV}\}$$

分别表示济南市城市地下空间资源开发利用适宜性等级。

4.2 评价因子权重确定

在利用专家打分法和层次分析法相结合的方法对表 1 中各影响因子赋权,确定各评价指标的权重 A 为:

$$A \text{ 浅层} = \{u_{11}, u_{12}, u_{13}, u_{14}, u_{21}, u_{22}, u_{23}, u_{24}, u_{31}, u_{32}, u_{33}, u_{34}, u_{41}, u_{42}\} = \{0.1434, 0.0372, 0.0644, 0.0914, 0.2105, 0.1155, 0.0425, 0.0425, 0.0389, 0.0274, 0.0136, 0.0214, 0.0681, 0.0831\}$$

$$A \text{ 次浅层} = \{u_{11}, u_{12}, u_{13}, u_{14}, u_{21}, u_{22}, u_{23}, u_{24}, u_{31}, u_{32}, u_{33}, u_{34}, u_{41}, u_{42}\} = \{0.1918, 0.0317, 0.0671, 0.0742, 0.1944, 0.1303, 0.0392, 0.0392, 0.0432, 0.0275, 0.0124, 0.0214, 0.0575, 0.0702\}$$

4.3 确定隶属度

各个指标对于地下空间资源的隶属程度是用隶属度来刻画的^[5]。为了分析问题方便,应该使各评价指标有一个统一的衡量因子,该次研究隶属度依据《岩土工程勘察规范》(GB500071-2001,2009 年版)、《建筑地基基础设计规范》(GBJ50007-2002)、《工程岩体分级标准》(GB50218-94)等规范规程与工程实践经验确定如下标准(表 2)。并采用模糊定性方法确定隶属度,各指标 I~IV 级隶属度分别为 $R_I = \{0.8, 0.2, 0, 0\}$; $R_{II} = \{0.2, 0.6, 0.2, 0\}$; $R_{III} = \{0, 0.2, 0.6, 0.2\}$; $R_{IV} = \{0, 0, 0.2, 0.8\}$ 。

4.4 GIS - 模糊综合评判

根据表 1, 将评价因子依照科学性和真实性的原则编制各单因子评价图, 并根据表 2 及模糊评价模型的要求建立相应的空间属性结构, 确保各单因子图的科学实用性; 然后利用 GIS 空间分析运算功能, 分别对浅层和次浅层 14 个单因子图进行叠加运算, 将权重 A 与模糊矩阵 R 进行复合运算 $A \cdot R$, 计算出各区对地下空间资源优、良、中、差隶属度; 再利

用模糊评价模型 I : $M(\wedge, \vee) : b_j = \bigvee_{i=1}^n (a_i \wedge r_{ij})$ 进行模糊综合评价; 最后, 对综合图进行必要的后处理(聚类、去除奇异值等), 得到研究区浅层及次浅层地下空间资源开发利用地质环境适宜性的评价结果和分布特征。在该评价分区中, 综合了 14 个因子及其权重的影响, 划分单元的边界完全由各因子图的分界线自动运算确定, 避免了人为指定网格的缺点。

表 2 济南市地下空间资源开发地质环境适宜性评价参评因子评分标准

评价因子	分级标准			
	I	II	III	IV
地下水富水性	<100 m ³ /d	500~1000 m ³ /d	1000~3000 m ³ /d	>3000 m ³ /d
地下水腐蚀性	腐蚀性微	腐蚀性弱	腐蚀性中	腐蚀性强
地下水位最小埋深	浅层>15m 或 次浅层>30m	浅层 10~15m 或次浅层 20~30m	浅层 5~10mm 或次 浅层 15~20m	浅层<5m 或次 浅层<15m
地表水体	主要水体>100m, 其他>50m	主要水体 50~100m, 其他 30~50m	主要水体<50m, 其他<30m	水域、沟渠下
断裂构造	一般性断裂>100m 或 活动性断裂>500m	一般性断裂 50~100m 或 活动性断裂 250~500m	一般性断裂 10~50m 或 活动性断裂 50~250m	一般性断裂<10m 或 活动性断裂<50m
岩土层综合分区	地层综合得分 0.8~1	地层综合得分 0.6~0.8	地层综合得分 0.3~0.6	地层综合得分 0~0.3
软土	无软土分布	—	有软土分布	—
湿陷性黄土	非湿陷性黄土	湿陷性轻微	湿陷性中等	湿陷性严重
采空塌陷	不易发区	低易发区	中易发区	高易发区
岩溶塌陷	不易发区	低易发区	中易发区	高易发区
崩滑流	不易发区	低易发区	中易发区	高易发区
地裂缝	不易发区	低易发区	中易发区	高易发区
地面空间地物类型	无特殊用地类型	工业厂区	主干路、铁路, 历史景观等 分布区	高层建筑、立交桥
已开发地下工程	未开发	开发较小	地下管线	地铁、隧道、人防

5 评价结果

5.1 分因子评价

该次研究首先对影响济南市地下空间开发的 14 个参评因子按浅层和次浅层分别作出各单因子分区评价图, 并根据模糊评价模型的要求建立相应的属性结构, 建立济南市城区地下空间资源数据库。

5.2 敏感因子(泉水保护)评价

地下空间开发对泉水保护影响是研究区地下空间开发地质环境适宜性评价的关键。在评价中需要考虑地质条件的复杂多变性, 如地质构造、水文地质条件、隔水层因素、岩溶发育情况、灰岩顶板埋深等多种因素。鉴于研究范围、目的及精度, 仅粗略考虑了灰岩顶板埋深和岩溶水地下水位最小埋深 2 个因素, 即对于浅层地下空间开发来说, 凡是灰岩顶板埋

深和岩溶水水位最小埋深均小于 15 m 的区域即为浅层地下空间开发制约区; 凡是灰岩顶板埋深和岩溶水水位最小埋深均小于 30 m 的区域即为次浅层地下空间开发制约区。

5.3 评价结果

利用 GIS 强大的空间分析运算功能, 分别对浅层和次浅层 14 个单因子图进行叠加运算, 得到整体综合评价图; 再根据泉水保护影响分区图, 凡是地下空间开发对泉水保护有影响的均划分为地下空间资源开发的制约区, 最终得到济南市浅层及次浅层地下空间资源地质环境适宜性评价图(图 2, 图 3)。

从评价结果看, 济南市拥有数量可观的地下空间资源, 优良的地下空间资源占整个研究区 60% 以上, 但考虑到济南泉水保护的重要性, 对于研究区南部泉水补给区不易进行大规模的地下空间开发, 只适宜进行必要的线状局部性开发利用, 如埋设城市

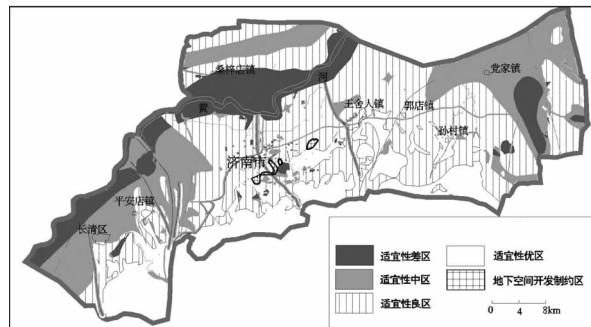


图 2 济南市浅层地下空间开发地质环境
适宜性分区图

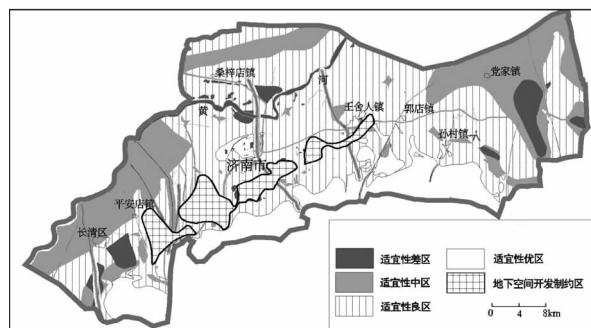


图 3 济南市次浅层地下空间开发地质环境
适宜性分区图

基础设施管线,建设轨道交通等。

6 结语

地下空间资源地质环境适宜性评价涉及城市地下空间资源规划、开发、投资等诸多方面,基于 GIS-模糊综合评判法既克服了资源质量等级人为划分的缺点,又克服了模糊数学法中评价单元人为指定网格的缺陷,划分单元的边界完全由各因子图的分界线自动运算确定,为地下空间资源开发提供了较为可靠的依据。由于受研究精度所限,地下空间开发对泉水影响研究较浅,在实际地下空间开发过程中仍需对其作更为细致地评价。

参考文献:

- [1] 童林旭. 地下空间概论[J]. 地下空间, 2004, 24 (1-3): 133 - 136, 274 - 278, 414 - 420.
- [2] 欧刚. 南宁市城市地下空间开发地质环境适宜性评价[D]. 广西大学, 2008.
- [3] 王永立. 天津市中心城区地下空间资源评价[J]. 地球科学与环境学报, 2008, (6): 166 - 171.
- [4] 柳昆, 彭建, 彭芳乐. 地下空间资源开发利用适宜性评价模型[J]. 地下空间与工程学报, 2011, (2): 219 - 230.
- [5] 李亚兰, 陈志新, 王佳运. 多级模糊模式识别模型在地质环境质量评价中的应用[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(4): 90 - 93.

Suitability Evaluation on Space Resource Development of Underground Geological Environment in Jinan City

XU Junxiang¹, QIN Pinrui², XU Qiuxiao², WU Lijin²

(1. Shandong Exploration Bureau of Geology and Mineral Resources, Shandong Jinan 250013, China; 2. Shandong Geo-engineering Exploration Institute, Shandong Jinan 250014, China)

Abstract: On the basis of evaluating geological environment in Jinan city, combining with city characteristics, 14 general factors, such as groundwater yield property, groundwater corrosivity, rock and soil comprehensive division, etc, and a sensitive factor as spring protection effect, by using fuzzy mathematics evaluation method, underground space resources can be evaluated from 2 vertical directions, and geological environment suitability of underground space resource development have been divided.

Key words: Underground space; resource development; suitability; evaluation; Jinan city