

天津市中心城区地下空间资源评价

王永立

(天津市地质调查研究院, 天津 300191)

摘要: 阐明了地下空间资源评价的基本概念和原理, 分析了影响天津市中心城区地下空间资源开发的自然因素, 采用 GIS 模糊综合评价模型对地下空间资源进行了评价, 通过评价建立了地下空间资源数据库, 完成了地下空间资源分布图, 科学反映和度量了地下空间可供开发利用的资源, 为天津市地下空间综合利用规划编制提供了基础数据和科学依据。

关键词: 地下空间资源; 中心城区; GIS 模糊综合评价; 天津市

中图分类号: P208 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2008)02-0166-06

Underground Space Resource Evaluation at Central Urban District of Tianjin City

WANG Yong-li

(Tianjin City Institute of Geological Survey, Tianjin 300191, China)

Abstract The basic concept and principle of the underground space resource evaluation is described, the natural elements that influence the development of underground space resource in central urban district of Tianjin is analyzed, and the underground space resource is evaluated by adopting GIS-Fuzzy comprehensive evaluating model. Through evaluation, the underground space resource database is established, and the underground space resource distribution diagram is presented, which reasonably reveals the underground space resource available to be developed and used, and also provides the basic datum and scientific support for the comprehensive utilization and planning of underground space in Tianjin.

Key words: underground space resource; central urban district; GIS-Fuzzy comprehensive evaluation; Tianjin City

0 引言

城市空间是城市经济的存在形式和载体, 与城市的发展密不可分, 如何开发利用城市空间是当前研究城市发展的重要课题。近年来, 环渤海地区周边城市快速发展, 特别是天津作为北方经济中心, 社会经济迅速发展, 城市规模扩展尤为突出。一贯作为城市活动主体的地面空间, 已经无法提供更多的空间。实践证明, 以高层建筑和高架道路为标志向城市上部发展, 不是扩展城市空间的最佳选择, 西方发达国家城市建设一种更有效的途径就是向

下发展, 开发利用地下空间。城市地下空间在扩大城市空间容量和提高城市环境质量方面有着广阔的发展前景^[1]。

地下空间作为一种新型资源, 是立体化城市再开发的一种有效途径, 在功能上可以成为地面空间的补充和完善^[2]。所谓地下空间是地表土地资源的地下延伸, 指在岩层或土层中天然形成或人工开挖形成的空间, 地下空间资源是指地面以下可被开发利用的自然资源^[3]。为了表征天津市中心城区地下空间可以开发利用的实际资源, 确定地下空间资源的潜在价值, 必须对城市地下空间资源进行科

收稿日期: 2007-10-18

基金项目: 天津市城市地质调查专题项目(121201050511104-01-06)

作者简介: 王永立(1979-), 男, 河北保定人, 从事城市地质调查与GIS开发应用研究。E-mail: wonyl@tom.com

©1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

学评价。笔者采用 GIS 模糊评价方法,选择了影响和制约地下空间开发利用的 5 个自然因素,对天津市中心城区地下空间资源进行评价。

1 评价的原则与依据

本次地下空间资源评价应遵循 4 个原则^[4]。

1.1 科学性原则

指标选择、权重确定、数据选取、计算方法应建立在科学的基础上。

1.2 系统性原则

地下空间的开发利用受到多种因素的制约,对这些因素进行综合分析,既要分析相关的各个单一因素,又要注意各个因素之间的影响和联系。

1.3 层次性原则

地下空间资源评价所选用的指标应具有层次性,能从不同方面、不同层次反映地下空间资源的实际情况。

1.4 可操作性原则

评价方法与选择指标要简单明确,统计口径一致,且指标具有独立性、实用性、可操作性,尽量采用现势性强的数据,成果则以直观、简明、便捷、实用的 GIS 系列图形表现为宜。

2 评价区域

选择了天津市中心城区面积约 334 km² 的范围进行评价。全区地势平坦,属冲积、海积平原,海拔高度约为 1.3 m,被巨厚的新生代沉积物所覆盖。在评价时,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,可以对地下空间资源竖向分层进行评价^[5]。考虑到评价选择方法和因子相同,所以以 0~15 m 深度范围的地下空间资源评价为例,其他可以类推。

3 评价方法与因子选择

模糊综合评价是在模糊的环境中,考虑到影响事物的多种因素,基于某种目的对该事物做出的综合判断和决策。它是一种以模糊推理为主的定性与定量相结合、精确与非精确相统一的分析评判方法。它应用模糊变换原理和评价模糊系统,根据给出的评价准则和实测值,从多个指标对评判事务隶属等级状况进行综合性评判。基于 GIS 和模糊综合评价的方法,是借助 GIS 强大的数据管理、查询以及地理现象的可视化表达能力,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,从而可以深入探索与分析数据^[6-7]。

地下空间资源的优劣受多种因素影响,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,地下空间资源评价是一种对属性、对准则具有模糊特征的评价问题,选择基于 GIS 和模糊综合评价方法比较适宜。

地下空间作为一种自然资源,受各种自然条件的影响。自然条件不同的区域其地下空间资源情况是不同的,因此选择了以下 5 种因素作为评价指标^[8]。

3.1 构造稳定性

构造稳定性主要指内力引起的构造活动,特别是断裂活动、地震活动对地下空间开发利用的影响。活动断裂和强烈地震会使地下空间岩土体发生不同程度变形,破坏了原有岩体整体性和完整性。

3.2 工程地质条件

城市地下空间是以岩土体为介质和环境,由于岩石和土的形成过程及自然堆积情况不同,其组成物质及工程特性也各有不同,因而其强度及其对地下空间构筑物的承载能力亦不同,并影响城市地下空间开发利用^[8]。岩土体的强度越大,相应位置地下空间的资源就越好。天津属滨海平原型城市,软土层、液化土层分布较广。软土具有含水量高、压缩性高、强度低、低透水性、高灵敏度、高触变性等工程特性,在附加应力作用下会产生固结沉降变形,导致和加大地面下沉,损失地面标高;其次软土的塑性流变特性,在地下空间较深层次的开发利用中,会给施工带来不利影响,造成施工难度加大。

3.3 水文地质条件

地下空间的开发利用要求有良好的水文地质条件,影响地下空间利用的水文地质条件主要表现在地下含水层的厚度(层数)、地下水位埋深、单位涌水量、地下水的富水性及地下水的腐蚀等方面。地下水位的动态变化是影响地下空间开发重要影响因素之一,尤其是潜水位的变化对建筑物的基础影响最为明显。砂层和粉土层对地下空间开发的影响主要是容易出现涌水、管涌及流砂现象,因此含水层渗透性、含水层厚度及单位涌水量特征对地下空间评估及开发利用有着重要影响作用。地下水的富水性对地下空间开发的影响主要是基坑开

挖时,在富水性好的地区含水层厚度大,可能会出现突水、管涌、涌水甚至流沙等现象。地下水化学成分包括气体成分、各种离子、有机化合物、微生物等。地下水在运移过程中,其化学成分含量受周围介质的影响,浅层地下水主要受大气降水、地表水和人类活动的影响较大,易受污染,当一些化学成分含量超标就会腐蚀混凝土和金属材料,如钢筋。

3.4 地面沉降

地面沉降是一种区域性的缓变型地质灾害,它的产生、发展一般不为人所察觉,并且多数发生的是非固结压缩,是不可恢复的,加上天津市地面沉降发生的时间比较早,中心城区也是一个历史沉降中心,因此地下空间开发利用必须考虑地面沉降的影响。天津市是地面沉降最具代表性的城市,可依据沉降速率和累计沉降量来评定地面沉降的程度。

3.5 地面及地下空间条件

城市地面空间是城市活动的主体,城市立体协调发展,就是要使地下空间在功能上成为地面空间的补充、完善和扩展,在空间上成为地面空间的有机延伸,使两者构成完整的空间系统。地面空间条件是指目前中心城区地面资源类型对地下空间开发利用的许可程度,即地下空间的开发利用以不破坏地面设施为前提。

地面空间已被利用且对地下空间影响程度较高,就不宜进行地下空间开发利用,如高层建筑、立交桥、水面等;地面现存的广场、空地、绿地则对地下空间开发有利,其许可程度就较高。已开发利用的地下空间对邻近地下空间的开发利用有较大影响,在其周围一定范围内,特别是其下部一定厚度内的地下空间资源不宜任意开发。中心城区地下空间开发作为城市立体化开发的一部分,必须兼顾地面及地下空间开发利用现状,由单一系统向复合系统发展,使地下与地上相结合形成上下贯通、有机联系的空间体系。遥感为城市地面利用现状调查提供了有利手段^[9],对于地下空间已开发利用情况以实地调查最为准确,但是耗费较大的人力和物力,可以根据地面与地下之间的关系进行推测,如楼层的高度和桩基深度的关系。

4 GIS 模糊评价步骤

首先获取实地各类原始资料,对所有与地下空间资源评价指标相关的图形、文字和统计数据等资料,按类型、对象范围进行整理,统一计量单位,对

一些综合性指标进行综合标准化处理;接下来对相关的专题要素按照国家标准属性类型或数据分级进行地理编码,建立 GIS 图形数据库和属性数据库;最后划分评价单元,确定评价指标体系标准,选取评价因子进行评价。

4.1 确定评价集和评语集

此次评价选取 5 个自然因子作为地下空间资源评价指标^[10-13],其评价集为

$$U = \{U_1, U_2, U_3, U_4, U_5\}$$

式中: U 为地下空间资源评价集; U_1 为构造稳定性因子; U_2 为工程地质条件因子; U_3 为水文地质条件因子; U_4 为地面沉降因子; U_5 为地面及地下空间条件因子。评价过程中将地下空间资源划分为 4 个级别,其评语集为

$$V = \{I, II, III, IV\}$$

式中: V 为地下空间资源评语集;I 为优;II 为良;III 为中;IV 为差。

4.2 确定因素评价标准

地下空间资源评价的客观性在于正确认识其影响因子,选取适当的评价标准。为了能够充分反映地下空间资源的实际情况,此次评价将 GIS 格网 (GRID) 作为基本评价单元。根据 1 : 25 000 成图比例尺精度,在中心城区建立了 380 个 1 km × 1 km 的格网,用该格网对参评因素的基础图件进行剖分,然后再由专家对剖分后的每个格网进行打分 (10 分制) 确定各个参评因子的分值,分值越小表示对地下空

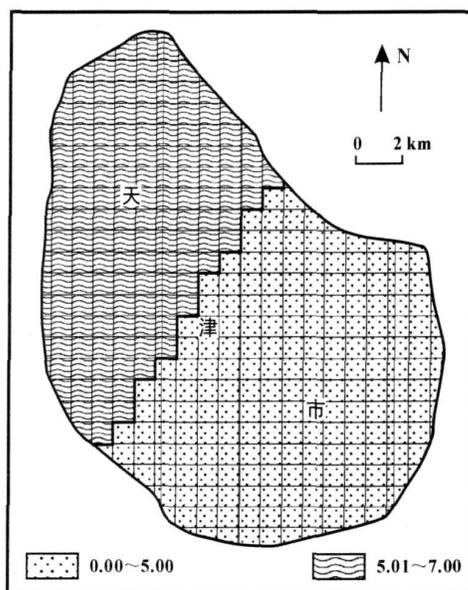


图 1 构造稳定性分值概况

Fig. 1 General Values of Structural Stability

间资源的影响越小, 地下空间资源等级越高。以下
为各参评因子打分后的基本概况(图 1~5)。

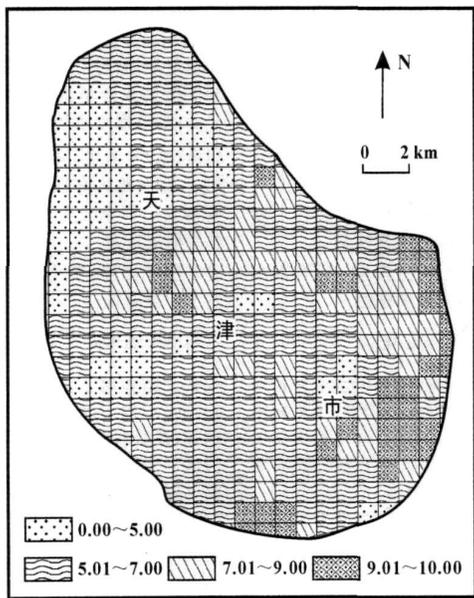


图 2 工程地质条件分值概况

Fig. 2 General Values of Engineering Geology

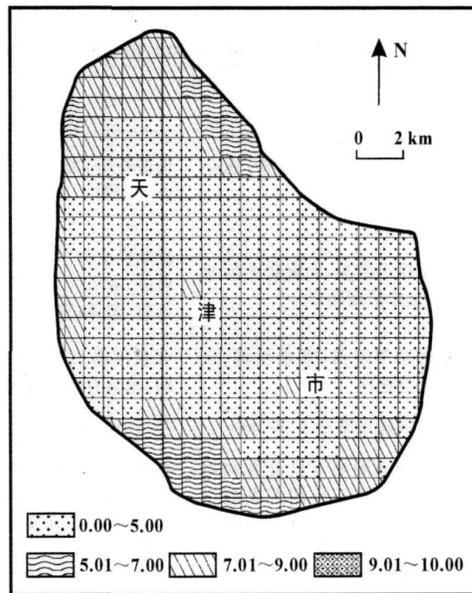


图 4 地面沉降条件分值概况

Fig. 4 General Values of Ground Subsidence Condition

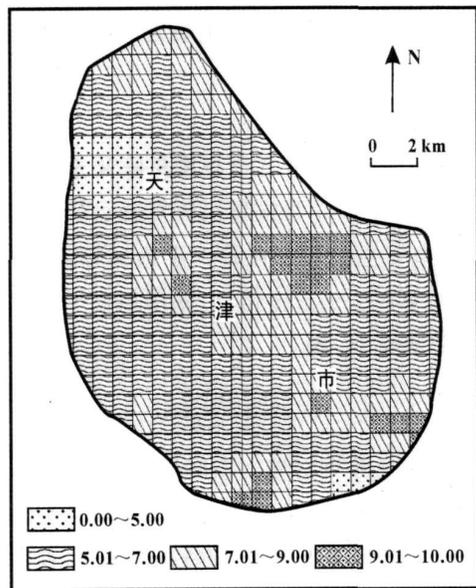


图 3 水文地质条件分值概况

Fig. 3 General Values of Hydrogeology Condition

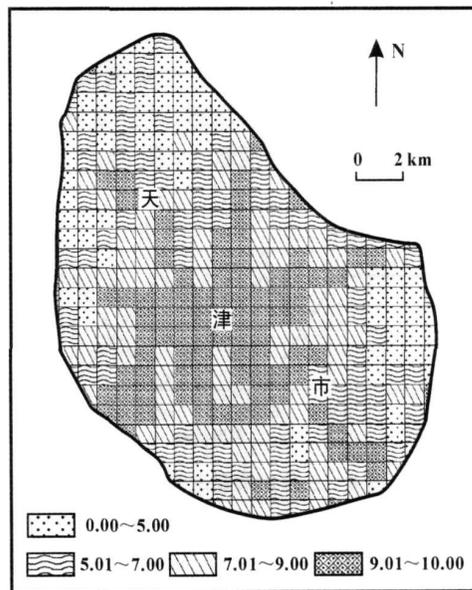


图 5 地面及地下空间条件分值概况

Fig. 5 General Values of Ground and Underground

4.3 确定权重

在选定了地下空间资源评价指标以后, 必须考虑评价因子的权重问题, 由于地下空间资源的复杂性, 用精确的数学模型确定评价指标的权重难度较大。如果对整个系统分析不够透彻, 过分相信数学定权模型, 会使权值不尽合理。此次评价依据资料的详尽性, 实用性, 采用专家打分的方法确定各评

价指标的权重 A 为

$$A = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5\} = \{0.130, 0.353, 0.252, 0.113, 0.152\}$$

4.4 建立隶属度函数

各种指标对于地下空间资源的隶属程度是用隶属度来刻画的, 用隶属函数 μ_x 来表示, x 为对应的等级。 μ_x 的取值范围在 $[0, 1]$ 区间, 隶属度数值越大, 隶属资格越高。根据表 1 的打分情况来确定隶属函数标准值。

表 1 天津市中心城区地下空间资源评价参评因子评分标准

Tab. 1 Standard of Factors in Underground Resource Evaluation in Urban Central District of Tianjin

评价 指标	评分标准			
	0.00~5.00	5.01~7.00	7.01~9.00	9.01~10.00
U_1	构造简单, 断裂不发育, 现今活动微弱	构造中等, 断裂发育中等, 现今活动弱	构造较复杂, 断裂发育, 活动性强	构造复杂, 断裂发育, 规模大, 晚更新世及全新世以来活动显著, 断层现今活动量大
U_2	以粘土为主, 无液化土层分布, 土体稳定性好	以粘性土为主, 局部夹粉土或粉砂, 有可能液化土层和软土分布, 整体较稳定	以砂(粉)土为主, 局部夹少量粘性土或淤泥质土; 局部有可能有轻微液化土层及软土分布, 整体稳定性较差	以砂(粉)土为主, 局部夹淤泥质土, 部分地区有轻微~中等液化土层和软土分布, 土体介质稳定性差
U_3	含水层厚度薄, 富水性弱, 水质无腐蚀性	含水层厚度较薄, 富水性较弱, 水具有轻微腐蚀性	含水层厚度较厚, 中等富水性, 水质微腐蚀性	含水层厚度厚, 富水性较强, 水质中等腐蚀
U_4	年均沉降速率小于 30 mm	年均沉降速率 30~40 mm	年均沉降速率 40~50 mm	年均沉降速率大于 50 mm
U_5	地面设施和地下已开发利用的空间对地下空间开发利用资源影响, 开发利用其下部或周边的地下空间会带来良好的效应	地面设施和地下已开发利用的空间对地下空间开发影响和程度较小, 开发利用其下部或周边的地下空间时不会破坏原有建筑	地面设施和地下已开发利用的空间对地下空间开发有中等程度的影响, 开发利用其下部或周边的地下空间须采取一定防护措施	地面设施和地下已开发利用的空间对地下空间开发影响较大, 开发利用其下部或周边的地下空间会破坏原有建筑或设施

- (1) 地下空间资源优的隶属函数取值 5.00。
- (2) 地下空间资源良的隶属函数取值 6.00。
- (3) 地下空间资源中的隶属函数取值 8.00。
- (4) 地下空间资源差的隶属函数取值 9.50。

$$\mu_4 = \begin{cases} 0 & c \leq 8.00 \\ \frac{c-8.00}{1.5} & 8.00 < c < 9.50 \\ 1 & c \geq 9.50 \end{cases}$$

地下空间资源评价依据上述隶属函数标准值, 按照数值越大等级愈低的规则, 对指标采用三角形隶属度建立连续变量的模型^[14] (图 6)。

根据每个格网的分值情况, 利用上式可以计算出每个格网参评因子的隶属度, 从而建立模糊矩阵 R 。

4.5 模糊综合评判

根据表 1, 将权重 A 与模糊矩阵 R 进行复合运算 $A \circ R$, 式中“ \circ ”为模糊矩阵复合运算的模糊算子, 此次地下空间资源评价由于指标较多, 为了减少复合运算时丢失过多信息, 采用加权平均模糊合成算子进行运算, 即

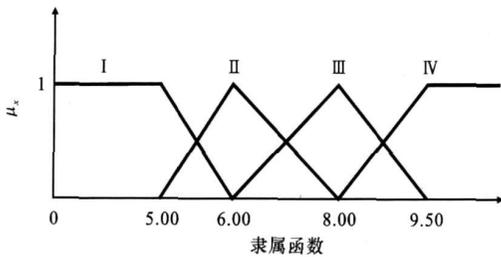


图 6 三角形隶属度函数模型

Fig. 6 Model of Triangular Membership Function

下面给出隶属函数形式, c 为该因子的实际分值

$$\mu_1 = \begin{cases} 1 & c \leq 5.00 \\ \frac{5-c}{1} & 5.00 < c < 6.00 \\ 0 & c \geq 6.00 \end{cases}$$

$$\mu_2 = \begin{cases} 0 & c \leq 5.00, c \geq 8.00 \\ \frac{c-5}{1} & 5.00 < c < 6.00 \\ \frac{8-c}{2} & 6.00 \leq c < 8.00 \\ 0 & c \leq 6.00, c \geq 9.50 \end{cases}$$

$$\mu_3 = \begin{cases} 0 & c \leq 6.00, c \geq 9.50 \\ \frac{c-6}{2} & 6.00 < c < 8.00 \\ \frac{9.5-c}{1.5} & 8.00 \leq c < 9.50 \end{cases}$$

$$b_j = \min \left\{ 1, \sum_{i=1}^m (\alpha_i r_{ij}) \right\}$$

计算得出每个格网对地下空间资源优、良、中、差的隶属度, 再根据最大隶属度原则判断地下空间资源的优劣, 当隶属度相同时按最高级别作为评价结果, 依据该方法确定地下空间资源等级。

5 评价结果

在 GIS 件中对每个网格进行插值从而得到地下空间资源评价图, 经过属性统计评价结果如表 2。

从评价结果看, 天津市具有数量可观的地下空间资源, 优良的地下空间资源占整个市区面积的 80% 以上, 大部分都可开发利用, 这些潜在的地下空间资源可以为城市可持续发展提供有利保障。

表 2 地下空间资源评价结果

Tab. 2 Evaluation Results of Underground Space Resource

质量等级	面积/ km ²	总面积率/ %
I	135.83	40.55
II	139.32	41.59
III	30.15	9.00
IV	29.68	8.86

6 结语

GIS 模糊综合评判克服了资源质量等级人为划分的缺陷, 为地下空间资源开发提供了较为可靠的依据。然而, 地下空间资源的开发利用涉及经济、环境、技术水平等诸多方面, 本次评价仅分析了影响地下空间开发利用的自然因素, 因此评价结果有待于实际工作的验证。

参考文献:

- [1] 陈 述, 许敬红. 地下空间未来城市发展的趋势[J]. 地下空间, 1998, 18(1): 15-16.
- [2] 关宝树, 杨其新. 地下工程概论[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2001.
- [3] 董林旭. 地下建筑学[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1994.

- [4] 北京市规划委员会. 北京地下空间规划[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [5] 黄玉田. 北京市中心区地下空间资源评估探讨[J]. 北京工业大学学报, 1995, 21(4): 93-99.
- [6] 杨纶标, 高英仪. 模糊数学原理及应用[M]. 第 3 版. 广州: 华南理工大学出版社, 2001.
- [7] 杨天亮. 基于 GIS 的陕南公路地质灾害数据库建立及危险性研究[D]. 西安: 长安大学, 2005.
- [8] 韩文峰, 谏文武, 宋 畅. 城市地下空间开发利用的工程地质与岩土工程[J]. 天津城市建设学院学报, 2003, 6(1): 1-5.
- [9] 曹灿鑫, 过静君, 祝文君. 航空遥感技术应用新领域——在浅层地下空间资源调查中应用的探讨[J]. 国土资源遥感, 1994, 20(2): 34-39.
- [10] 姜 云, 吴立新, 杜立群. 城市地下空间开发利用容量评估指标体系的研究[J]. 城市发展研究, 2005, 12(4): 47-51.
- [11] 孙 叶. 区域地壳稳定性量化评价[M]. 北京: 地质出版社, 1998.
- [12] 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.
- [13] 许传华, 任青文. 地下工程围岩稳定性的模糊综合评判法[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(11): 1852-1855.
- [14] 吴立新, 姜 云, 车德福, 等. 城市地下空间资源质量模糊综合评估与 3D 可视化[J]. 中国矿业大学学报, 2007, 36(1): 97-98.

(上接第 165 页)

- [3] 张广洋. 煤的瓦斯渗透性影响因素的探讨[J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 1995, 18(3): 27-30.
- [4] 肖代兵, 刘 林. 突出煤层保护层开采保护方法的考察[J]. 陕西煤炭技术, 1999, 48(3): 2-5.
- [5] 刘德贵. 急倾斜近距离复杂煤层保护层开采的实践[J]. 矿业

安全与环保, 2005, 12(1): 66-67.

- [6] 贺玉龙, 杨立中. 温度和有效应力对砂岩渗透性影响的试验研究[J]. 煤田地质与勘探, 2004, 25(2): 36-38.
- [7] 张国华, 梁 冰. 煤岩渗透率与煤与瓦斯突出关系理论探讨[J]. 辽宁工程技术大学学报: 自然科学版, 2002, 21(4): 414-417.