

利用灰色关联度进行煤层底板突水危险性综合评价的研究与应用

徐爽¹, 徐聪聪²

(1. 中国冶金地质总局山东局测试中心, 山东 济南 250000; 2. 山东省地矿工程勘察院, 山东 济南 250014)

摘要:煤层底板水害一直是困扰煤矿安全生产的重要问题之一,选择合理准确的评价方法对煤层底板突水危险性进行评价,对于指导煤矿安全生产有着重要意义。灰色关联度分析法以数据序列为研究对象,现实求各个方案与由最佳指标组成的理想方案的关联系数,再由关联系数得到关联度的方法。将灰色关联度分析法应用到煤层底板突水危险性评价中,建立评价单元与参考序列之间的灰色关联度矩阵,通过引入权重的方式,改进邓氏灰色关联度的计算方法,以保证得到的最终综合评价结果更为准确。

关键词:灰色关联度;灰色关联度矩阵;煤层底板突水;GIS

中图分类号:X823 **文献标识码:**B

引文格式:徐爽,徐聪聪.利用灰色关联度进行煤层底板突水危险性综合评价的研究与应用[J].山东国土资源,2017,33(2):51-55.XU Shuang,XU Congcong.Research and Application of the Comprehensive Evaluation of Coal Floor Water Bursting by the Grey Relational Degree[J].Shandong Land and Resources,2017,33(2):51-55.

0 引言

作为危害煤矿安全生产的五大灾害之一,长期以来,因煤矿水害而造成的经济损失极为惨重,并严重威胁人们的生命财产安全。其中煤层底板水害是煤矿水害问题的重要组成部分,并且是煤矿生产中极为突出也极为普遍的问题。国内外对煤矿底板突水问题的研究已经有100多年的历史,常用的方法有突水系数法^[1-2]、“下三带”理论、关键层理论、主成分聚类分析^[3]、脆弱性指数法^[4-6]等。选择一个合理的评价方法是得到准确的综合评价结果的必要前提。

灰色关联度是根据2个因素之间发展趋势的相似或者相异程度来衡量2个因素之间关联性大小的一种度量方法,是灰色系统理论的重要组成部分。自20世纪80年代初,邓聚龙教授提出灰色系统概念,并建立了相应的灰色系统理论以来,其中的灰色关联度分析法被广大学者研究、改进和应用^[7-9]。由于具有“对样本要求低、计算量小”的特点,使得

灰色关联度分析在自然科学、社会科学、水文学^[10]、矿山安全^[11-13]等很多领域具有十分广泛的应用,充分地显示出来灰色关联度分析法强大的生命力^[14-15]。

灰色关联度分析法的应用除了因素分析之外,还有一个重要的应用就是综合评价^[16-17]。该次研究将灰色关联度与煤层底板突水危险性相结合,选用灰色关联度法来评价煤矿底板危险性评价。

1 灰色关联度分析法

1.1 灰色关联度简介

关联度是对2个系统之间的因素随时间或者对象的变化而变化的关联性大小的度量。在系统发展过程中,如果2个因素的变化趋势一致性越高,即同步变化程度越高,则两者的关联程度就越高;反之,2个因素的变化趋势一致性越低,即同步变化程度越低,则两者的关联程度也就越低。灰色关联度分析法是对系统变化发展态势的定量描述和比较的方法,主要依据空间理论的数学基础,确定参考序列和

收稿日期:2015-07-27;修订日期:2016-09-17;编辑:陶卫卫

作者简介:徐爽(1990—),女,山东菏泽人,助理工程师,主要从事水工环工作;E-mail:xushuang901129@163.com

若干个比较数列之间的关联系数和关联度。

1.2 灰色关联度计算方法

灰色关联度分析实质上是关联系数的分析,而采用灰色关联度分析法进行综合评价,即求各个方案与由最佳指标组成的理想方案的关联系数,再由关联系数得到关联度,再按关联度的大小进行排序、分析,得到结论,具体计算方法如下:

1.2.1 选取参考序列及比较序列组

选择一个有最佳指标组成的理想方案组成参考序列 $x_0(k)$ ($k=1, 2, \wedge, m$), 并确定待评价的 n 个比较序列 $x_1(k), x_2(k), \wedge, x_n(k)$

$$x_0(k) = \{x_0(1), x_0(2), \wedge, x_0(m)\}$$

$$x_i(k) = \{x_i(1), x_i(2), \wedge, x_i(m)\} (i = 1, 2, \wedge, n)$$

1.2.2 数据无量纲

为了使得比较序列之间以及参考序列与比较序列之间能够具有可比性,有利于系统分析,要对原始数据进行某种数学方法处理,以消除不同量纲或者数量级不同的影响,也就是无量纲化。主要的无量纲化方法有初值化、均值化、区间值化等方法。数据序列 $x_i(k)$ 经过无量纲化之后,得到一个新的序列 $y_i(k)$ 。

$$y_i(k) = \{y_i(1), y_i(2), \wedge, y_i(m)\} (i = 0, 1, \wedge, n)$$

1.2.3 计算关联系数及关联度

在计算参考序列与各个比较序列关联度的时候,首先要计算的是数据序列中的各个评价因素与参考序列中对应评价因素的关联程度,即关联系数,计算方法如下:

$$r\{y_0(k), y_i(k)\} = \frac{\min_i \min_k |y_0(k) - Y_i(k)| + \rho \max_i \max_k |y_0(k) - y_i(k)|}{|y_0(k) - y_i(k)| + \rho \max_i \max_k |y_0(k) - y_i(k)|} = r_{ik} \quad (1)$$

式中: $r\{y_0(k), y_i(k)\}$ 为 y_i 对于 y_0 在 k 时刻的关联系数; $\min_i \min_k |y_0(k) - y_i(k)|$, $\max_i \max_k |y_0(k) - y_i(k)|$ 分别为第 i 个比较序列中第 k 个评价因素与参考序列中对应评价因素的绝对差值中的最小值与最大值; ρ 为分辨系数,取值在为 $0 \sim 1$ 之间,一般取值为 0.5 。

r_{ik} 表示第 i 个比较序列中第 K 个评价因素与参考序列中对应的评价因素之间的关联系数。

进而得到一个 $n \times m$ 灰色关联度矩阵 R

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \wedge & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \wedge & r_{2m} \\ M & M & M & M \\ r_{n1} & r_{n2} & \wedge & r_{nm} \end{pmatrix} \quad (2)$$

在求关联度时,邓氏关联度计算时没有考虑各个比较序列的权重,而综合评价时,对于多个指标的综合评价过程中,每个指标在综合评价中的重要程度是不一样的,所占的比重也就是不一样的,所以按照行向量的平均值来计算关联度是不合理的,因此,该文对此稍加改进,在运用邓氏灰色关联度得到综合评价时对各个因素施加一定的权重,得到的关联度计算公式如下:

$$r(y_0, y_1) = \sum_{k=1}^m W_k \cdot r\{y_0(k), y_i(k)\} \quad (3)$$

$$(i = 0, 1, \wedge, n) (k = 1, 2, \wedge, m)$$

式中: $r(y_0, y_1)$ 为比较序列 y_i 相对于参考序列 y_0 的关联度; W_k 为 y_i 中第 k 个评价因素在综合评价中的权重。

2 实例应用

根据以上叙述的灰色关联度分析法,该文选取显德汪矿 1193 工作面为例,对其煤层底板突水危险性进行评价。

2.1 评价因素的选取

合理选择评价因素是保障煤层底板突水危险评价准确性重要的一步。结合矿区收集到的数据和工作面实际的水文地质条件,综合考虑含水层、隔水层、地质构造 3 个方面,选取含水层水压、含水层富水性、有效隔水层等厚度、矿压破坏带下脆性岩厚度、古风化壳隔水性、构造分布、构造交端点与断层规模指数 8 个评价因素对煤层底板突水危险性进行综合评价^[4]。

2.2 数据处理

对实际收集到的矿区原始数据资料进行处理,应用 GIS 强大的空间处理分析功能将各个评价因素所包含的空间属性进行量化处理,建立各个评价因素的子专题图,然后对所选定的评价因素进行无量纲化。在此选用 $[0, 1]$ 的区间值化进行归一化处理。根据评价因素属性值与评价结果的关系可以分为正相关与负相关 2 种,正相关的评价因素,即评价因素的属性值越大,对于综合评价的结果越有利。处理方法为:

$$y_i = \frac{x_i - \min_i(x_i)}{\max_i(x_i) - \min_i(x_i)} \quad (i = 1, 2, \dots, 8) \quad (4)$$

式中： y_i 为负相关因素归一化处理后的数据； $\max_i(x_i)$ 、 $\min_i(x_i)$ 分别为第 i 个评价因素量化之后的最大值和最小值。

负相关的评价因素，即评价因素的属性值越大，对于综合评价的结果越不利，处理方法为：

$$y_i = \frac{\max_i(x_i) - x_i}{\max_i(x_i) - \min_i(x_i)} \quad (i = 1, 2, \dots, 8) \quad (5)$$

无量纲化之后各个评价因素的最佳指标值均为 1，因此选取参考序列 $y_0(k) = (1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1)$ 。

各个评价因素属性值无量纲化之后，运用 GIS 建立拓扑关系，进行叠加分析，得到的 1966 个网格小单元，即评价单元（表 1）。

表 1 评价单元各评价因素关联系数统计

评价因素	构造交端点	断层规模指数	古风化壳隔水性	矿压破坏带下脆性岩厚度	含水层水压	有效隔水层等效厚度	含水层富水性	构造分布
1	0.769	1.000	0.344	0.846	0.455	0.778	0.353	1.000
2	0.769	1.000	0.344	0.846	0.455	0.778	0.353	0.625
3	0.769	0.667	0.362	0.733	0.455	0.700	0.400	0.625
4	0.769	0.667	0.359	0.733	0.455	0.700	0.400	1.000
5	0.769	0.667	0.359	0.733	0.455	0.700	0.400	0.625
6	0.769	1.000	0.409	0.524	0.455	0.500	0.462	1.000
7	0.769	1.000	0.409	0.524	0.455	0.500	0.462	0.625
8	0.769	1.000	0.406	0.524	0.455	0.500	0.462	1.000
9	0.769	1.000	0.406	0.524	0.455	0.500	0.462	0.625
10	0.769	1.000	0.406	0.478	0.455	0.500	0.462	0.625
11	0.769	0.667	0.483	0.407	0.385	0.368	0.500	0.625
12	0.769	0.667	0.483	0.379	0.385	0.368	0.500	1.000
13	0.769	0.667	0.483	0.379	0.385	0.368	0.500	0.625
14	0.769	0.333	0.652	0.355	0.556	0.333	0.857	1.000
15	0.769	0.333	0.652	0.355	0.556	0.333	0.857	0.625
16	0.769	0.333	0.652	0.355	0.714	0.333	0.857	0.625
17	0.769	0.667	0.386	0.524	0.385	0.538	0.429	1.000
18	0.625	0.667	0.386	0.524	0.385	0.538	0.429	1.000
19	0.333	0.333	0.657	0.355	0.714	0.333	0.857	0.333
20	0.333	0.333	0.649	0.355	0.714	0.333	0.857	0.333
.....
1945	0.333	0.667	0.388	0.524	0.455	0.583	0.462	1.000
1946	0.333	0.667	0.388	0.524	0.455	0.583	0.462	1.000
1947	0.333	0.667	0.388	0.524	0.455	0.583	0.462	0.625
1948	0.333	0.667	0.388	0.524	0.455	0.583	0.462	0.625
1949	0.333	0.667	0.388	0.524	0.455	0.583	0.462	0.333
1950	0.333	0.667	0.388	0.524	0.455	0.583	0.462	0.333
1951	0.333	0.667	0.388	0.524	0.455	0.538	0.462	0.333
1952	0.333	0.667	0.388	0.524	0.455	0.538	0.462	0.333
1953	0.333	0.667	0.387	0.524	0.333	0.500	0.429	0.333
1954	0.333	0.667	0.387	0.524	0.333	0.500	0.429	0.333
1955	0.333	0.667	0.387	0.524	0.385	0.538	0.429	1.000
1956	0.333	0.667	0.387	0.524	0.385	0.538	0.429	1.000
1957	0.333	0.667	0.387	0.524	0.385	0.538	0.429	0.625
1958	0.333	0.667	0.387	0.524	0.385	0.538	0.429	0.625
1959	0.333	0.667	0.387	0.524	0.385	0.538	0.429	0.333
1960	0.333	0.667	0.387	0.524	0.385	0.538	0.429	0.333
1961	0.333	0.667	0.387	0.524	0.385	0.500	0.429	1.000
1962	0.333	0.667	0.387	0.524	0.385	0.500	0.429	1.000
1963	0.333	0.667	0.387	0.524	0.385	0.500	0.429	0.625
1964	0.333	0.667	0.387	0.524	0.385	0.500	0.429	0.625
1965	0.333	0.667	0.387	0.524	0.385	0.500	0.429	0.333
1966	0.333	0.667	0.387	0.524	0.385	0.500	0.429	0.333

通过计算每个评价单元中的 8 个评价因素的指标与参考序列中对应 8 个最佳指标的关联系数，得到灰色关联度矩阵，进而得到各个评价单元与参考序列之间的关联度的方式，来评价每个单元的底板突水危险性。由于数据量较大，在此将运用 MATLAB 的程序运算来实现，得到的关联系数数据见表 1（由于 1966 个数据量太大，在此仅选取一部分数据）。

2.3 加权灰色关联度计算

要由灰色关联度矩阵得到最终的灰色关联度，首先要确定各个评价因素的权重。综合考虑矿区实际情况的前提下，利用专家打分的方法，依据 T.L. SAATY 创建的 1~9 标度法来打分，建立层次分析法（AHP）判断矩阵^[18-20]，得到各个评价因素的权重，见表 2。

表 2 八评价因素的权重

评价因素	构造交端点	断层规模指数	古风化壳隔水性	矿压破坏带下脆性岩厚度	含水层水压	有效隔水层等效厚度	含水层富水性	构造分布
权重	0.0514	0.0816	0.0425	0.0772	0.2226	0.1404	0.1899	0.1944

然后运用公式，求得 1966 个评价单元与参考序列之间的关联度，结果见表 3（由于 1966 个数据量太大，在此仅选取一部分数据）。

表 3 评价单元关联度统计

单元编号	关联度	单元编号	关联度	单元编号	关联度	单元编号	关联度
1	0.6729	465	0.3956	1096	0.4680	1946	0.5936
2	0.6000	466	0.3924	1097	0.4232	1947	0.5207
3	0.5629	467	0.3954	1098	0.4190	1948	0.5207
4	0.6356	468	0.3922	1099	0.5527	1949	0.4640
5	0.5627	469	0.3922	1100	0.4798	1950	0.4640
6	0.6324	470	0.3952	1101	0.4231	1951	0.4577
7	0.5595	471	0.3920	1102	0.5704	1952	0.4577
8	0.6323	472	0.3955	1103	0.4975	1953	0.4190
9	0.5594	473	0.3953	1104	0.4408	1954	0.4190
10	0.5558	474	0.3953	1105	0.4463	1955	0.5654
11	0.4997	475	0.3951	1106	0.5641	1956	0.5654
12	0.5705	476	0.3950	1107	0.4912	1957	0.4925
13	0.4976	477	0.3987	1108	0.5641	1958	0.4925
14	0.6495	478	0.3951	1109	0.4912	1959	0.4358
15	0.5766	479	0.3949	1110	0.4345	1960	0.4358
16	0.6119	480	0.4014	1111	0.4967	1961	0.5600
17	0.5878	481	0.3921	1112	0.4400	1962	0.5600
18	0.5804	482	0.3984	1113	0.5989	1963	0.4871
19	0.5330	483	0.3920	1114	0.5260	1964	0.4871
20	0.5327	484	0.3982	1115	0.4693	1965	0.4304
.....	1966	0.4304

2.4 评价结果及分析

将计算得到的评价单元与由各评价因素最佳指

标组成的参考序列之间的灰色关联度数据作为最终的评价结果重新导入到 GIS 中,根据自然分级的结果,得到工作面的最终评价结果分布图,见图 1。由于是工作面数据自身的归一化处理,所以评价结果的大小也是相对于整个工作面而言。颜色越深,则表示评价单元与参考序列相关度越高,煤层底板突水危险性也就越高;反之,颜色越浅,则表示评价单元与参考序列关联度越低,煤层底板突水危险性也就越低。由此可见工作面中部底板突水危险性小,向两端逐渐增大,在构造发育的地段突水危险性较周围明显增大。

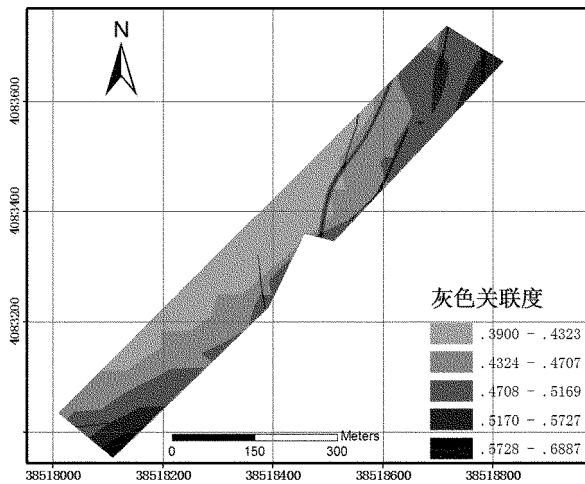


图 1 灰色关联度综合评价结果图

3 结论

(1) 结合工作面情况,综合考虑了含水层、隔水层、地质构造 3 个方面的因素,选取了 8 个评价因素,并利用 GIS 进行量化处理。

(2) 对数据进行无量纲化处理,进而选定由 8 个评价因素的最佳指标值组成参考序列,并利用 GIS 将 8 个评价因素进行叠加分析,得到 1966 个评价单元,即比较序列。借助 MATLAB 运算功能得到灰色关联度矩阵。

(3) 计算灰色关联度时,对于邓氏关联度中采用平均关联系数而得到灰色关联度的方法进行改进,给每个评价因素赋予各自的权重。通过层次分析法确定了各评价因素的权重后,得到各个评价单元对应的比较序列与参考序列之间的灰色关联度。

(4) 在利用灰色关联度分析法评价煤层底板突水危险性时,将得到的灰色关联度数据重新导入到 GIS 中,得到最终的评价结果图,由分布图可以看出

该工作面的底板突水危险性从中部向两端逐渐增大,构造发育的地段较周围危险性明显增大。

参考文献:

- [1] 李忠建,魏久传,郭建斌,等.运用突水系数法和模糊聚类法综合评价煤层底板突水危险性[J].矿业安全与环保,2010,37(1):24-26.
- [2] 李本军,刘海新,刘晓威.突水系数法在煤矿深部开采中的应用[J].河北工程大学学报(自然科学版),2011,28(3):68-90.
- [3] 王德青.主成分聚类分析在矿井安全评价应用中的思考[J].中国矿业,2011,20(1):51-53,57.
- [4] 武强,张志龙,马积福.煤层底板突水评价的新型实用方法 I—主控指标体系的建设[J].煤炭学报,2007,32(1):42-47.
- [5] 武强,张志龙,张生元,等.煤层底板突水评价的新型实用方法 II—脆弱性指数法[J].煤炭学报,2007,32(11):1121-1126.
- [6] 武强,谢淑寒,裴振江,等.煤层底板突水评价的新型实用方法 III—基于 GIS 的 ANN 型脆弱性指数法应用[J].煤炭学报,2007,32(12):1301-1306.
- [7] 邓聚龙.灰色系统基本方法[M].武汉:华中理工大学出版社,1987:31-33.
- [8] 李万绪.基于灰色关联度的聚类方法及其应用[J].系统工程,1990,8(3):37-41.
- [9] 张绍良.灰色关联度计算方法比较及其存在问题分析[J].系统工程,1996,14(3):45-49.
- [10] 刘金英.一种加权绝对灰色关联度及其在密云水库水质评价中的应用[J].吉林大学学报,2005,(1):54-58.
- [11] 孙燕,杨胜强,程健维,等.基于灰色关联分析的煤矿通风系统两级评价[J].煤矿安全,2008,(5):44-48.
- [12] 王丹,刘琳,张小曼.灰色关联度法在煤矿本质安全评价中的改进及应用[J].中国安全生产科学技术,2013,(1):151-157.
- [13] 杨武艳,郁钟铭.GM(1,1)灰色预测模型在矿井瓦斯涌出量预测中的应用[J].矿业工程研究,2012,27(4):46-49.
- [14] 骆洪达,秦文静,付东叶,等.新疆陶和勘查区煤层煤质特征研究[J].山东国土资源,2015,31(3):12-15.
- [15] 宋靓靓,师晓文,叶定南,等.古叙石宝矿段 C17 煤层底板突水危险性分析[J].四川地质学报,2016,36(1):123-126.
- [16] 孙芳芳.浅议灰色关联度分析方法及其在应用[J].信息科技,2010,(17):880-882.
- [17] 李玉辉,张建.灰色关联度分析法在系统综合评价中的应用[J].山东交通科技,2005,(4):11-13.
- [18] 张波.AHP 基本原理简介[J].西北大学学报(自然科学版),1998,28(2):109-113.
- [19] 宋靓靓,师晓文,叶定南,等.古叙石宝矿段 C17 煤层底板突水危险性分析[J].四川地质学报,2016,36(1):123-126.
- [20] 王玉莲,王振兴,王大为.层次分析法在垃圾处理场选址适宜性评价中的应用——以威海市艾山垃圾场为例[J].山东国土资源,2016,32(5):64-67.

Research and Application of the Comprehensive Evaluation of Coal Floor Water Bursting by the Grey Relational Degree

XU Shuang¹, XU Congcong²

(1. Shandong Testing Center of China Metallurgical Geology Bureau, Shandong Jinan 250000, China; 2. Shandong Provincial Geo-engineering Exploration Institute, Shandong Jinan 250014, China)

Abstract: Coal floor water bursting has been one of important problem in coal mine safety production. Therefore, choosing reasonable and accurate evaluation method to evaluate coal floor risk has great significance to guide the safe production of coal mine. The method of grey correlation analysis takes data sequence as the research object. And the first is to get the correlation coefficient of each scheme and the ideal scheme composed of the best indicators, then to get relational degree again by the correlation coefficient. In this paper, the method of grey relational degree analysis is applied to water bursting hazard evaluation and establishes grey correlation matrix between the evaluation unit and the reference sequence. Which improves the calculation method of Deng grey relational degree by introducing the weight and ensures the final comprehensive evaluation results more accurate.

Key words: The grey correlation; grey correlation matrix; coal floor water bursting; GIS



山东省文登地区干热岩勘查获得重大发现

由山东省第一地质矿产勘查院承担的“山东半岛蓝色经济区干热岩资源潜力调查评价”项目获得重大突破,在文登成功施工 ZKCW01 测温孔,于孔深 1 240 m 处测得孔内温度 110℃,于终孔 2 000.76 m 深度处实测孔底温度为 114.12℃,孔内发现了四段高地温梯度(5.3℃~18.59℃/100 m)的热岩段,预测 4 000 m 深处温度高达 150℃~200℃,属于高温干热岩地热系统。利用实测地温梯度数据计算,该孔的大地热流值为 92.86 mW/m²,是胶东地区目前测得的最高大地热流值,为胶东地区“冷壳热幔”的深部热结构特征提供了佐证。另外,还圈定了文登、招远 2 个深部热源聚集区,面积约 5 585 km²,覆盖烟台市招远、蓬莱、栖霞和威海市文登区、环翠区、乳山市、荣成县等部分区域。这一钻孔是目前中国东部温度最高干热岩勘探孔,预示着在胶东深部有可能存在具有重要价值的干热岩。

目前国内干热岩资源勘查尚处于探索阶段,项目组在分析总结区域地热地质资料的基础上,探索出一套适合工作区特点的干热岩资源勘查技术。采用地热地质调查、地热遥感解译、地温场测量、地球物理勘探等多种方法手段相结合,取得了较好的勘查效果。

干热岩资源是潜力十分巨大的清洁能源,开发利用主要集中于发电、供暖,发电成本远低于火电且没有污染,其经济效益、环境效益、社会效益均十分显著。本项目初步查明了工作区干热岩资源潜力情况,为后续干热岩资源开发利用奠定了基础。经计算两个深部热源集聚区干热岩资源量约为 1.96×10²²J,折合标准煤 6.68×10¹¹t。即使只有 2% 可以被利用,可供全省使用 38 年。项目成果经中央电视台、中国政府网、中国日报等各大媒体报道后,引起了社会各界的广泛关注。

(山东省第一地质矿产勘查院 江海洋、景晓东、冷旭勇)