

基于模糊聚类的顶板砂岩富水性预测研究

——以龙固井田为例

武旭仁^{1,2}, 魏久传³, 尹会永³, 张迎秋³

(1. 武汉理工大学 资源与环境工程学院, 湖北 武汉 430070; 2. 山东省煤田地质局, 山东 泰安 271000;
3. 山东科技大学 地质科学与工程学院, 山东 青岛 266510)

摘要: 华北石炭—二叠纪煤系山西组煤层开采受顶板砂岩含水层水影响严重。砂岩含水层富水性取决于多种因素, 以龙固煤矿山西组3煤开采为例, 分析了煤层顶板砂岩富水性的影响因素。在单因素分析的基础上, 应用模糊聚类方法对含水层富水性进行了评价。研究表明, 龙固煤矿山西组砂岩含水层富水性受砂岩厚度、砂泥岩组合特征及构造发育程度等因素影响, 将这些影响因素作为含水层富水性指示信息样本进行聚类分析, 对含水层富水性进行了分级分区。研究成果对该区矿井水防治具有一定的指导意义, 也为含水层富水性的预测研究开辟了一种新的途径。

关键词: 富水性; 预测; 模糊聚类法; 砂岩含水层

中图分类号: TD745

文献标志码: A

文章编号: 1672-3767(2011)02-0014-05

Study on Water Enrichment Prediction of Roof Sandstone Aquifer Based on the Fuzzy Clustering Method: A Case Study on Longgu Coal Mine

WU Xuren^{1,2}, WEI Jiuchuan³, YIN Huiyong³, ZHANG Yingqiu³

(1. College of Resources and Environmental Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan, Hubei 430070, China;
2. Shandong Provincial Bureau of Coal Geology, Taian, Shandong 271000, China; 3. College of Geological Science &
Engineering, Shandong University of Science & Technology, Qingdao, Shandong 266510, China)

Abstract: The coal mining of Shanxi formation, Permo—Carboniferous system in North China is severely affected by the water from roof sandstone aquifer and the water enrichment of sandstone aquifer depends on many factors. The paper analyzed the influencing factors of the water enrichment of the roof sandstone taking the mining of Seam No. 3, Shanxi formation in Longgu mine as an example. On the basis of single factor analysis, the authors used the fuzzy clustering method to evaluate the water enrichment of sandstone aquifers. The analysis showed that the water enrichment of sandstone aquifers of Shanxi formation in Longgu mine were affected by many factors, such as the thickness of sandstone, the combination features of sandstone and mudstone, and the development level of geological structure, etc. Taking the influencing factors as the information samples of aquifer water enrichment indices, we made the clustering analysis of grading and zoning on the water enrichment of sandstone aquifer by using the fuzzy clustering method, providing a certain directive significance for the water prevention and control and a new approach for the prediction of water enrichment of sandstone aquifer.

Key words: water enrichment; prediction; fuzzy clustering method; sandstone aquifer

含水层富水性评价的方法主要是在大量探放水资料、测井资料, 物化探工作的基础上, 运用数学方法对大量数据处理后实现的。如葛家德等^[1]从汇水条件、补给水源与补给通道三个方面来分析砂岩富水机理; 高

收稿日期: 2011-01-21

作者简介: 武旭仁(1959—), 男, 甘肃白银人, 研究员, 博士, 主要从事煤田地质、水工环地质研究工作。E-mail: yhy1919@163.com.

化军等^[2]等通过钻孔探放水,对涌水量变化分析,评价富水程度。沈洪谊等^[3]通过抽水试验、流量测井方法求解含水层的水文地质参数;夏中扬等^[4]从漏水孔、抽水孔试验资料与下伏地层岩性的关系以及富水性与构造的关系四个方面分析富水规律。李世峰等^[5]利用浓缩因子进行矿井富水性水文地质分区。卜庆林等^[6]采用砂岩厚度、冲洗液最大消耗量、取芯率、平均孔隙度、断层密度等因素,利用信息拟合方法完成了顶板富水性分区。武强等^[7]对砂页岩地区进行富水带激电测试,确定了富水带的激电异常判据。史先志^[8]从构造对砂岩富水性的影响、工作面出水规律以及含水层对山西组砂岩的补给作用三个方面研究了山西组砂岩富水规律。秦胜利等^[9]用水化学方法确定岩溶富水区。对于许多井田,勘探时期的水文地质资料不足以进行详细的含水层分级分区,如何利用地质资料,结合少量水文地质资料进行含水层的富水性评价,从而指导矿井防治水工作,成为摆在矿井水文地质工作人员面前的一个突出问题。本文以龙固井田为例,在分析影响砂岩含水层富水性因素的基础上,应用事物间的相似性作为类属性划分的准则,运用模糊聚类的原理预测砂岩含水层富水性,取得了明显的效果。

1 研究区概况

龙固煤矿位于山东省巨野县境内,是设计年产 600 万 t 的特大型矿井,区内主采煤层 3(3_上)煤层厚度大、煤质好、储量丰富,构造复杂程度中等。3 煤层位于二叠系山西组,其开采过程中直接充水含水层为顶、底板砂岩裂隙含水层及三灰灰岩含水层。在井筒和大巷开拓过程中实际揭露表明:3 煤顶板砂岩含水层在某些地段富水性较好,对井筒施工和大巷掘进造成了严重的危害,对未来矿井采掘也有较大威胁。

2 砂岩含水层富水性因素分析

2.1 煤层顶板砂岩厚度

顶板砂岩厚度是影响地下水赋存的重要因素,厚度大的地段单位面积上储水空间大,反之,则小。在龙固井田,山西组顶板砂岩约占山西组厚度的 31%左右。砂岩单层厚度一般 4~20 m,总厚度 4.10~52.8 m,平均厚度 22.65 m。龙固井田山西组 3 煤顶板砂岩厚度呈现北厚南薄的特征,井田的北部砂体厚度基本上大于 20 m,其中最厚的部位在 263 号孔附近;南部砂体厚度基本上小于 15 m,最薄在井田南端,小于 5 m。本文按以下标准依据砂岩厚度划分富水性:3 煤顶板砂岩厚度大于 30 m,储水空间大,导水系数大,富水性强;顶板砂岩厚度在 30~15 m,储水空间较好,导水系数较大,富水性中等;顶板砂岩厚度小于 15 m,储水空间小,导水系数小,富水性弱。说明井田的北部比南部水文地质条件更复杂,特别是在首采工作面的北面附近,水文地质条件最复杂。总体上,由南向北,3 煤顶板砂岩的富水性越来越强。

2.2 砂泥岩组合特征

在砂泥互层时,泥岩厚度越大,阻水能力越强。砂泥岩比值越大,富水性越强。龙固井田山西组 3 煤顶板砂泥岩比高(砂岩含量高)的部位在井田北部,低的部位(即泥质含量高)在井田的南部。依据砂泥岩比可以对含水层富水性进行初步判别。本文将砂泥岩比值大于 3 的地段划为富水性强的区域,此区位于矿区北部稍偏东,泥岩厚度小,对砂岩的含水层富水性阻水能力弱,有利于形成富水区;砂泥比为 3~1 时,泥岩含量增大,对含水层的阻水能力逐渐增强;砂泥比小于 1 时,泥岩含量较高,对含水层的阻水能力更强,不利于富水区的形成。

2.3 构造发育程度

构造是控制富水性的重要因素。砂岩含水层受断裂的影响,裂隙发育,提供了地下水富集的通道。其富水性受褶皱宽缓程度、断裂力学性质及规模、断裂与岩层产状组合关系,断裂与岩性组合关系的影响。在向斜及背斜轴部的砂岩层也易形成同心张性裂隙,是富水的主要区段^[10]。应用分维理论对断裂构造定量分析^[11],运用量化后的构造指标划分构造因素影响的富水程度。通过绘制井田断裂构造分维等值线图可以定量评价构造的发育程度。龙固井田构造分维值富水性划分为:①富水性强区域,分维值大于 2,主要分布矿井北部乌官屯断层附近、矿井中部毕垓断层和 F₂₁ 断层相交部位以及矿井东南部黄庄断层及其支断层、马庄断层及其支断层部位;②富水性中等,分维值为 2~1.8,位于富水性强区域周围;③富水性弱,分维值小于

1.8 主要位于矿区西北部、中东部,呈北东向条带分布。

3 富水性模糊聚类综合分析

聚类就是按照一定的要求和规律对事物进行区分和分类的过程,在这一过程中没有任何关于分类的先验知识,仅靠事物间的相似性作为类属划分的准则,因此属于无监督分类的范畴。聚类分析则是指用数学的方法研究和处理给定对象的分类,是多元统计分析的一种,也是非监督模式识别的一个重要分支。它把一个没有类别标记的样本集按某种准则划分成若干个子集(类),使相似的样本尽可能归为一类,而不相似的样本尽量划分到不同的类中^[12]。

3.1 数据标准化

由于在聚类过程中所研究的各个变量,其单位和量级可能是不一样的,即便有些变量的度量一样,但各变量的绝对值大小也不一样,直接用原始数据进行计算就会突出那些绝对值大的变量,而压低了那些绝对值小的变量的作用。同时,模糊运算还要求必须将数据压缩在 $[0,1]$ 之内,所以应将采集到的原始数据标准化。

对于第 i 个变量进行标准化,就是将 x_{ij} 换成 x'_{ij} ,即

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_i}{S_i}, 1 \leq j \leq m. \quad (1)$$

式中, $\bar{x}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m x_{ij}$ 和 $S_i = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}$ 分别为该变量的样本平均值与样本标准差; x_{ij} 为样本值。

本文选择标准差标准化的方法,将原始数据标准化(表1)。

表1 标准差标准化后的数据表

Tab.1 The standardizing data of standard deviation

孔号	砂岩厚 /m	砂泥比	断层维数	孔号	砂岩厚 /m	砂泥比	断层维数
X-6	0.192	0.796	1.00	141	1.000	0.033	0.10
L-6	1.000	0.543	0.30	G-40	1.000	1.000	0.62
144	0.273	0.276	0.25	L-4	1.000	0.552	0.85
145	0.938	0.473	0.15	269	1.000	0.313	1.00
L-16	0.42	0.15	0.15	261	0.862	0.065	0.82
265	0.857	0.506	1.00	262	0.653	0.074	0.4
149	0.378	0.307	0.96	L-8	0.921	0.131	0.01
150	0.215	0.073	0.55	GV5	1.000	0.480	0.68
151	0.045	0.206	0.80	147	0.436	0.144	0.67
G-10	0.112	0.368	0.22	G-24	0.682	0.439	0.15
G-2	0.313	0.340	0.55	148	0.230	0.414	1.00
152	0.809	0.328	0.80	270	1.000	0.525	0.18
L-17	0.967	0.522	0.90	G-6	0.501	0.236	0.38
G-29	0.401	0.221	0.72	L-7	0.311	0.968	0.30
153	0.834	0.088	1.00	L-9	1.000	1.000	0.38
X-10	0.581	0.304	0.25	L-3	0.971	0.458	0.76
L-14	1.000	0.543	0.78	L-13	0.853	0.088	0.32
155	0.344	0.136	0.18	L-15	1.000	0.270	0.34
L-2	0.452	0.522	0.62	G-39	0.575	0.442	0.30

3.2 数据标定

所谓标定就是算出衡量被分类对象间的相似程度的相似系数 r_{ij} , 从而确定论域 X 的模糊相似关系 \tilde{R} . 计算相似系数 r_{ij} 的方法很多, 本文运用最大最小法:

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^m \min(x_{ik}, x_{jk})}{\sum_{k=1}^m \max(x_{ik}, x_{jk})}, i, j \leq n. \quad (2)$$

式中, r_{ij} 为相似系数; $\min(x_{ik}, x_{jk})$ 或 $\max(x_{ik}, x_{jk})$ 为样本值中的最小或最大值。

标定的数据是一个 39×39 的方阵, 即为模糊等价矩阵, 运用 MATLAB 进行模糊聚类分类。

3.3 聚类类别判定

根据上述聚类分析结果, 结合巷道涌水情况, 将龙固井田 3 煤顶板砂岩含水层富水性进行分类, 并作出富水性分区图(图 1), 划分富水性程度: ①富水性强区。矿区中西部钻孔 L-16、G-2 附近以及钻孔 L-9 周围。钻孔 L-9 砂岩厚度大, 砂泥比值较大, 分维数较大, 综合各因素富水性强, 实际采掘过程可能遇水量大。②富水性较强区。3 煤露头附近及北部 144 钻孔周围。③富水性较弱区。矿区东南大部分区域及中间条状区。④富水性弱区。主要分布在矿区中南部的大部分区域。

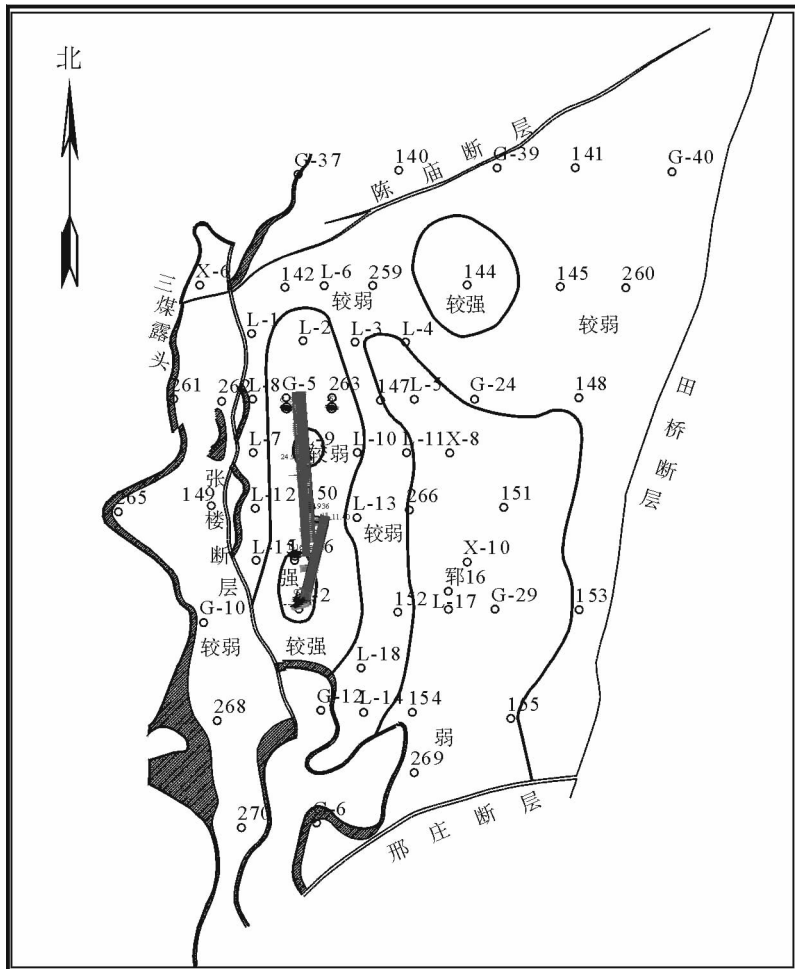


图 1 3 煤顶板砂岩富水性分区图

Fig. 1 Subarea figure of water abundance of sandstone on the roof of the third coal seam

4 结论

对于富水程度这种模糊概念,用富水性单因子指数评价法评价不能充分体现其它评价因子的影响作用,评价结果不尽合理。运用模糊数学的评判准则和方法,能够较为全面地体现出砂岩含水层富水性各因素的综合影响,且人为因素少,借助于软件后运算简便,提高了评判结果的可靠度和准确性,为解决这类问题提供了一种新方法。运用这种方法对龙固井田3煤顶板砂岩含水层富水性进行了预测评价,经验证效果良好。

参考文献:

- [1]葛家德,熊光宏.百善煤矿西北部采区煤层底板富水机理浅析[J].安徽科技,2007(9):46-47.
GE Jiade, XIONG Guanghong. Study on colabed floor water-hearing mechanism in the westnorth area of Baishan coalmine [J]. Anhui Science and Technology, 2007(9):46-47.
- [2]高化军,谢瑞斌,刘中胜.高庄矿西五采区三灰五灰富水性研究与防治[J].煤矿开采,2003,8(3):71-73.
GAO Huajun, XIE Ruibin, LIU Zhongsheng. Research and prevention of rich water character in seam No. 3 and seam No. 5 of west No. 5 district in Gaozhuang mine [J]. Coal Mining Technology, 2003, 8(3):71-73.
- [3]沈洪谊,李万平.郭屯矿井井筒基岩富水性分析[J].中国煤炭地质,2008,20(1):25-27.
SHEN Hongyi, LI Wanping. Guotun coalmine shaft bedrock water yield property analysis [J]. Coal Geology of China, 2008, 20(1):25-27.
- [4]夏中扬,贾进亚,窦月明.金庄煤矿侏罗系底砾岩富水规律及突水机理[J].煤,2007,16(5):27-28.
XIA Zhongyang, JIA Jinya, DOU Yueming. Jurassic bottom water enrichment regularity and water inrush mechanics in Jinzhuang coal mine [J]. Coal, 2007, 16(5):27-28.
- [5]李世峰,陈志斌.利用浓缩因子区划矿井富水性[J].煤炭工程,2005(1):43-45.
LI Shifeng, CHEN Zhibin. Concentrated factors applied to identify mine rich in water [J]. Coal Engineering, 2005(1):43-45.
- [6]卜庆林,陈成星,杨成超,等.煤层顶板岩层富水性分区指标及其涌水量预测[J].山东科技大学学报:自然科学版,2005,24(3):28-31.
BU Qinglin, CHEN Chengxing, YANG Chengchao, et al. Zoning index of rich water bearing roof strata and water in rush forecasting in coal seams [J]. Journal of Shandong University of Science and Technology: Natural Science, 2005, 24(3):28-31.
- [7]武强,王龙,李树文.砂页岩地区的富水带激电异常研究[J].勘察科学技术,2007(2):54-56.
WU Qiang, WANG Long, LI Shuwen. Study on abnormal induced polarization of groundwater rich zones in the sandy shale areas [J]. Site Investigation Science and Technology, 2007(2):54-56.
- [8]史先志.山西组砂岩富水规律及其应用[J].煤炭工程,2006(5):29-30.
SHI Xianzhi. Rule and application of water-hearing of sandstone in Shanxi group [J]. Coal Engineering, 2006(5):29-30.
- [9]秦胜利,李振拴.用水化学方法确定岩溶富水区:以山西延河泉域为例[J].中国煤炭地质,2008(2):27-30.
QIN Shengli, LI Zhenshuan. Determination of karstic water rich zone by the use of hydrochemical method: A case study of Yanhe springs in Shanxi [J]. Coal Geology of China, 2008(2):27-30.
- [10]王辉,罗国煜,李艳红,等.断层富水性的结构分析[J].水文地质工程地质,2000(3):12-15.
WANG Hui, LUO Guoyu, LI Yanhong, et al. Fault water-hearing capability structure analysis [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2000(3):12-15.
- [11]徐志斌,王继尧,张大顺,等.煤矿断层网络复杂程度的分维描述[J].煤炭学报,1996,21(8):358-362.
XU Zhibin, WANG Jiyao, ZHANG Dashun, et al. Fractal dimension description of complexity of fault network in coal mines [J]. Journal of China Coal Society, 1996, 21(8):358-362.
- [12]高新波.模糊聚类分析及其应用[M].西安:西安电子科技大学出版社,2004.