

基于灰色关联分析的矿井突水水源定量化判别方法

樊振丽^{1,2}

(1. 天地科技股份有限公司 开设计事业部, 北京 100013; 2. 煤炭科学研究总院 开采研究分院, 北京 100013)

[摘 要] 阐述了矿井突水水源的判别方法, 针对水化学背景值特征相近的水源, 提出了通过量化计算实现精确判别水源层的方法。以灰色关联分析方法为例, 对袁店二矿 F14 断层突水水源进行了量化判别, 并采用水化学玫瑰花图和水样柱状图的图形化分析方法对突水水源量化判别的准确性进行了辅助判别, 综合分析认为煤层顶板砂岩裂隙水通过断层带进入了采掘空间。定量化地学方法和图形化分析方法有效解决了矿井突水水源判别的准确性。

[关键词] 灰色关联分析; 矿井突水; 水源判别方法; 图形化判别

[中图分类号] TD742.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-6225 (2017) 02-0010-05

Quantify Discriminated Method of Water Source of Mine Water Inrush Based on Grey Relational Analysis

FAN Zhen-Li^{1,2}

(1. Coal Mining & Designing Department, Tiandi Science & Technology Co., Ltd., Beijing 100013, China;

2. Mining Institute, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China)

Abstract: The discrimination method of water source in mine water inrush was stated, to water resources that with similarly water chemical background, then accurately water source discrimination method was realized according to quantify calculation. It taking grey relational analysis as an example, water inrush source of F14 fault in Yuandian the second mine was discriminated quantify, and auxiliary method that water chemical rose diagram and diagram analysis method of water sample histogram also were used, sandstone fracture water in coal roof entranced into mining space through fault zone. Water source discriminated by quantify chemical method and diagram analysis method effectively.

Key words: grey relational analysis; mine water inrush; water source discriminated method; imaging discrimination

矿井生产过程中常出现顶板淋水、底板涌水和断层带出水等涌(突)水现象,当涌水达到一定量能时,易形成灾难性的水害事故。井下一旦发生突水事故,查明突水水源和突水原因是灾害防治和救援需要解决的首要问题,也是矿井防治水的关键环节。判别突水水源需要深入分析矿井的水文地质条件、构造分布及其导水性、采动影响特征等,应结合突水点的水质、水位、水温等台账资料给予综合分析。

不同地质时期的含水层的沉积环境、古气候条件、物源组成和地下水的补径排条件决定了该水源层的离子交换和动态平衡特征,含水层的这种固有的水化学本质特征是彼此相互区别的可靠判据。突水水源的判别方法主要有定性和定量两大类方法,它们的适用条件不同,优缺点各异。一般地,采用水质的定性对比分析并参照水位等动态变化情况,可大概率地判定突水层位,但是,在特定条件下,

如遇到背景值相似的含水层时,待判水样的归属便是一个难题。定量化地学方法通过对水质等检测数据的定量表征,揭示含水层间的联系紧密程度,从而可有效解决定性分析难以克服的困难^[1]。

本文将阐述定性和量化的判别方法,并以实例说明定量化判别方法在水源判别领域的应用及其可靠性优势。

1 矿井突水水源判别方法

1.1 定性判别法

定性判别法是指利用某个或某几个含水层的物理性质,诸如水的颜色、浑浊度、味道、水温等具有明显差异性,含水层水位(水压)在判别前后出现一定程度的变化、水质中离子成分独特性、特征组分示踪、涌(突)水形式和水量变化特征等实现水源判别的方法。显然,定性判别法适用在差异性含水层(组)水源的判别,利用技术人员的

[收稿日期] 2016-08-04

[DOI] 10.13532/j.cnki.cn11-3677/td.2017.02.003

[基金项目] 国家科技重大专项大型油气田开发项目(2016ZX05045007-003);中国煤炭科工集团科技创新基金面上项目(2016MS011)

[作者简介] 樊振丽(1983-),男,河南新密人,博士,从事“三下一上”采煤、煤矿水害防治和矿山环境地质研究工作。

[引用格式] 樊振丽. 基于灰色关联分析的矿井突水水源定量化判别方法[J]. 煤矿开采, 2017, 22(2): 10-14.

主观经验便可实现。

物性判别法 该方法主要利用水样的物理性质差异进行判别。当下伏煤层开采时,如遇到颜色发黄、水样发浑、异味等突水点时,则老空区出水可能性大;深部煤层开采时,若突水点水温异常,则可采用水温梯度计算或水温台帐对比等方式判别水源层;当井下出现突水事故时,若某层含水层水压发生异常降低等现象,则该含水层为突水水源层的可能性极大;当涌水量在一定的时间内呈现由巨量至逐渐衰竭的特点,则突水水源极可能为老空(窑)水或离层等空洞带积水。

水质对比法^[2] 突水点水质经检测后,将水质检测结果与已知含水层的水质背景值做对比分析,将水中离子含量特征相近甚至相同的比对结果作为突水水源层判别结果,一般借助于水化学玫瑰花图、Piper 三线图、Durov 图和水质柱状图等图形化分析工具进行判别,是矿井最常用的方法。

化学特征组分判别法 通过含水层某种离子成分异常或含有稀有离子成分等有别于其他水源层的化学特征实现水源层判别的方法。常见的有高硫煤层采空区积水具有酸性特征, SO_4^{2-} , NO_3^- 等离子含量偏高,利用这一特征可以判断水源为老(采)空区水的概率较大;煤系地层含水层中钴(Co)、锶(Sr)、镉(Cd)等稀有金属元素含量较高时,这些稀有元素可作为该含水层的特征组分,若突水水样中特征组分与背景值相近时,可据此判定该层为水源层。

示踪试验法 利用含水层背景值中含量较低的、形态稳定、不易被吸附的同位素或其他物质作为示踪剂,通过示踪剂的投放、接收和水样检测来判断投放层和接收层的水力联系,从而判断突水水源层的空间位置。

1.2 定量判别法

定量判别法是通过地质变量在其取值和变换后所得数据与预测对象的直接和间接关联程度来实现量化判别的方法。定量化判别不仅可以对差异明显的定性判别属性数据进行计算分析,更重要的是实现了易混地质数据的关联性分析,是建立微差地质体间联系的有效工具。

聚类分析法^[2-3] 该方法假定各含水层间存在不同的相似性,根据含水层背景值找出并计算一些能够度量含水层间相似程度的统计量,按相似统计量的大小,将相似程度大的含水层(水样)聚合到一类,关系疏远的聚合到另一类,直到把所有的水样聚合完毕,最终将新的突水点水样检测值与

含水层背景值形成一个由小到大的分类系统。

贝叶斯(Bayes)判别分析法^[4-5] 对矿井已有的含水层水样进行类别分析,建立水源判别的 Bayes 模型,采用先验概率分布描述已知水源的数据特征,用新突水点的水样修正已有的认识得到后验概率分布,将新的水样均用后续概率分布进行判别分类,是将 Bayes 思想和判别分析原理相融合的一种判别方法。

模糊综合判别法^[6-8] 针对含水层水质特征界限模糊的特点,可利用模糊变换和最大隶属度原则,对影响评判结果的因素集 U 的各个因素赋予一定的权重,形成权重矩阵 A ,确定评价对象对影响因素的隶属程度后,形成隶属度模糊关系矩阵 R ,则 $A \times R = B$, B 即为模糊综合评判的评价结果。

灰色关联分析法^[9-15] 将含水层已有水样作为母序列(参考序列),未知的突水点水样作为子序列(比较序列),所有的数据序列统一量纲后,计算子序列与母序列的关联系数和关联度,关联度越大则相关程度越高,据此判断水源层。

人工神经网络法 是基于生物学中神经网络的基本原理而建立的,目的是通过建立适当的模型,确定理想的关联权值,来尽可能地使计算结果与实际一致。在水源判别中,当训练评判结果与水源层各因素目标矢量相接近时,则该层为新出水点的突水水源。

水源判别的定量化评价是源于数学地质科学,针对某些方法的不足,还可以将不同的数据处理方法和工具组合,如熵权-模糊综合判别、主成分与 Fisher 判别分析法、基于 H 支持向量机的灰色关联判别等,这些方法修正了单一判别理论的不足,完善了不同情况下的突水水源的定量化判别技术。

2 定量判别法的应用

2.1 矿区水文地质条件

淮北煤田是新生界松散层所覆盖的全隐伏煤田,袁店二矿井田自上至下依次赋存了新生界松散层、二叠系、石炭系和奥陶系地层,其中石炭、二叠系为含煤地层。矿井地下水储存和运移在以构造裂隙为主的裂隙网络之中,处于封闭-半封闭的水文地质环境,地下水补给微弱,层间径流缓慢,富水性弱,基本上处于停滞状态,显示出补给量不足,以静储量为主的特征。矿井含水层主要有松散层孔隙-裂隙含水层、煤系砂岩裂隙含水层和灰岩岩溶裂隙含水层。

2.2 含水层背景值及其均值化处理

矿井在生产实践中,对钻孔水样和井下出水点水样进行了水质分析,并验证了所属的含水层层位信息(表 1):水样 1 2 为松散层一含水,是当地的饮用水层,标记为水源层 I;水样 3 为松散层四含水,位于松散层底部,水质不适合作为饮用水,标记

为水源层 II;水样 4~6 为二叠系煤系砂岩裂隙水,标记为水源层 III;水样 7,8 为灰岩岩溶裂隙水,标记为水源层 IV。选取 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , pH、总硬度和总碱度 9 个指标为判别因子分析待判样品与含水层之间的关联性。

为了便于灰色关联计算,需将单个含水层的多

表 1 含水层水化学测试样本

水样 编号	水源层	$\text{Na}^+ + \text{K}^+ /$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{Ca}^{2+} /$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{Mg}^{2+} /$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{Cl}^- /$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{SO}_4^{2-} /$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{HCO}_3^- /$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	pH	总硬度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	总碱度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
1	I	14.26	46.94	43.51	11.06	25.93	341.71	7.73	296.37	280.23
2	(一含)	43.54	36.85	53.92	9.36	16.46	462.59	7.70	314.06	379.35
3	II	355.47	39.86	35.45	232.28	279.06	476.53	8.30	245.50	402.23
4	(四含)	385.96	6.06	2.61	285.57	49.80	546.82	8.30	25.89	510.01
5	III	386.08	10.29	3.84	315.73	56.80	403.91	8.45	40.67	404.38
6	(煤系砂岩 裂隙水)	413.01	10.28	4.80	326.31	34.99	452.38	8.69	44.54	484.63
7	IV	184.99	50.16	37.97	156.06	197.57	314.46	8.00	281.63	257.88
8	(灰岩水)	62.43	70.17	34.72	23.28	167.67	266.04	7.78	318.19	218.19

组样品,通过数据处理形成标准化样品,视作含水层的背景值。设每个样品中测试指标个数为 p ,则第 m 类测试总体的第 n 个样品为 $X_n^{(m)} = (x_{n1}^{(m)},$

$x_{n2}^{(m)}, \dots, x_{np}^{(m)})$, 其中, $m = 1, 2, \dots, a; n = 1, 2, \dots, b$ 。

测试总体 m 的均值化处理后的标准样本为

$$\bar{X}^{(m)} = \frac{1}{b} \sum_{n=1}^b x_n^{(m)} = \left(\frac{1}{b} \sum_{n=1}^b x_{n1}^{(m)}, \frac{1}{b} \sum_{n=1}^b x_{n2}^{(m)}, \dots, \frac{1}{b} \sum_{n=1}^b x_{np}^{(m)} \right) = (X_1^{(m)}, X_2^{(m)}, \dots, X_p^{(m)}) \quad (1)$$

依据公式(1)对含水层原始水样进行均值化处理,分别获得了各含水层的标准样品标准化后背

景值(表 2),即 $\bar{X}_m = (\bar{x}_{m1}, \bar{x}_{m2}, \dots, \bar{x}_{m9})$, 其中, $m = \text{I}, \text{II}, \text{III}, \text{IV}$ 。

表 2 含水层水样标准化后背景值

名称	$\text{Na}^+ + \text{K}^+ /$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{Ca}^{2+} /$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{Mg}^{2+} /$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{Cl}^- /$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{SO}_4^{2-} /$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{HCO}_3^- /$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	pH	总硬度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	总碱度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
$\bar{X}_\text{I}$	28.90	41.90	48.72	10.21	21.20	402.15	7.72	305.22	329.79
$\bar{X}_\text{II}$	355.47	39.86	35.45	232.28	279.06	476.53	8.30	245.50	402.23
$\bar{X}_\text{III}$	395.02	8.88	3.75	309.20	47.20	467.70	8.48	37.03	466.01
$\bar{X}_\text{IV}$	123.71	60.67	36.35	89.67	182.62	290.25	7.89	299.91	238.04

2.3 背景值均值计量变换

由于含水层背景值中各个指标的量纲不同,数量级差较大,需将各个指标做数据预处理。地质变量的变换方式有标准化、极差、均值计量、反正弦

和反余弦、平方根和对数变换等,这里采用均值计量变换方法对标准样品背景值进行处理,处理结果见表 3。

各指标均值计量变换计算式为

表 3 含水层标准水样背景值均值计量变换结果

名称	$\text{Na}^+ + \text{K}^+ /$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{Ca}^{2+} /$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{Mg}^{2+} /$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{Cl}^- /$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{SO}_4^{2-} /$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{HCO}_3^- /$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	pH	总硬度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	总碱度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
$\bar{X}_\text{I}'$	0.22	0.32	0.37	0.08	0.16	3.03	0.06	2.30	2.48
$\bar{X}_\text{II}'$	1.54	0.17	0.15	1.01	1.21	2.07	0.04	1.06	1.74
$\bar{X}_\text{III}'$	2.04	0.05	0.02	1.60	0.24	2.41	0.04	0.19	2.41
$\bar{X}_\text{IV}'$	0.84	0.41	0.25	0.61	1.24	1.97	0.05	2.03	1.61

$$x_p^{(m)'} = \frac{9x_p^{(m)}}{\sum_{p=1}^9 x_p^{(m)}}, p = 1, 2, \dots, 9 \quad (2)$$

2.4 突水点水质原始值及其均值计量变换

袁店二矿采掘、回采过程中出现过多处突水

点,以 83 采区轨道大巷 F14 断层处出水点水样作为待判样本,据此说明水源判别过程。该出水点的水样原始值和均值计量变换结果见表 4。

2.5 突水点与含水层的关联度

若将含水层标准水样背景值均值计量变换数列

表 4 83 采区轨道大巷 F14 断层突水点水样原始值与均值计量变换结果

名称	Na ⁺ +K ⁺ / (mg · L ⁻¹)	Ca ²⁺ / (mg · L ⁻¹)	Mg ²⁺ / (mg · L ⁻¹)	Cl ⁻ / (mg · L ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ / (mg · L ⁻¹)	HCO ₃ ⁻ / (mg · L ⁻¹)	pH	总硬度 / (mg · L ⁻¹)	总碱度 / (mg · L ⁻¹)
原始值	362.43	18.25	3.85	241.49	158.05	317.30	8.44	61.43	344.28
均值化变换值	2.15	0.11	0.02	1.43	0.94	1.88	0.05	0.36	2.04

作为母序列，而新的突水点待判水样作为子序列，通过计算母序列和子序列的绝对差值、关联系数和关联度，最终判断出突水点最大可能的归属水源层。

若将待判样本子序列均值计量变换值记作

$\overline{X_p^{(m)'}}$ ，则母序列与子序列的绝对差值为

$$\Delta \overline{x_p^{(m)'}} = \left| \overline{x_p^{(0)'}} - \overline{x_p^{(m)'}} \right|, p = 1, 2, \dots, 9 \quad (3)$$

记绝对差值中最大值为 $(\Delta \overline{x_p^{(m)'}})_{\max} = \Delta_{\max}$ ，

最小值为 $(\Delta \overline{x_p^{(m)'}})_{\min} = \Delta_{\min}$ ，则母序列与子序列的

关联系数为

$$L_{0m}(p) = \frac{\Delta_{\max} + \Delta_{\min}}{\Delta_{0m}(p) + \Delta_{\max}} \quad (4)$$

子序列与母序列绝对差值和关联系数计算结果

分别见表 5 和表 6。

突水点与第 m 个测试总体（含水层）的关联

度为

表 5 子序列与母序列绝对差值

名称	Na ⁺ +K ⁺ / (mg · L ⁻¹)	Ca ²⁺ / (mg · L ⁻¹)	Mg ²⁺ / (mg · L ⁻¹)	Cl ⁻ / (mg · L ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ / (mg · L ⁻¹)	HCO ₃ ⁻ / (mg · L ⁻¹)	pH	总硬度 / (mg · L ⁻¹)	总碱度 / (mg · L ⁻¹)
$\Delta \overline{x_I'}$	1.93	0.21	0.35	1.35	0.78	1.15	0.01	1.94	0.44
$\Delta \overline{x_{II}'}$	0.61	0.06	0.13	0.42	0.27	0.19	0.01	0.70	0.30
$\Delta \overline{x_{III}'}$	0.11	0.06	0	0.17	0.70	0.53	0.01	0.17	0.37
$\Delta \overline{x_{IV}'}$	1.31	0.30	0.23	0.82	0.30	0.09	0	1.67	0.43

表 6 突水点与水源层关联系数

名称	Na ⁺ +K ⁺ / (mg · L ⁻¹)	Ca ²⁺ / (mg · L ⁻¹)	Mg ²⁺ / (mg · L ⁻¹)	Cl ⁻ / (mg · L ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ / (mg · L ⁻¹)	HCO ₃ ⁻ / (mg · L ⁻¹)	pH	总硬度 / (mg · L ⁻¹)	总碱度 / (mg · L ⁻¹)
$L_{\overline{x_I'}}$	0.5013	0.9023	0.8472	0.5897	0.7132	0.6278	0.9949	0.5000	0.8151
$L_{\overline{x_{II}'}}$	0.7608	0.9700	0.9372	0.8220	0.8778	0.9108	0.9949	0.7348	0.8661
$L_{\overline{x_{III}'}}$	0.9463	0.9700	1.0000	0.9194	0.7348	0.7854	0.9949	0.9194	0.8398
$L_{\overline{x_{IV}'}}$	0.5969	0.8661	0.8940	0.7029	0.8661	0.9557	1.0000	0.5374	0.8186

$$\gamma_{0m} = \frac{\sum_{p=1}^9 L_{0m}(k_p)}{9} \quad (5)$$

经计算，F14 断层突水点对 I，II，III，IV 含水层的关联度分别为 $\gamma_{0I} = 0.7213$ ， $\gamma_{0II} = 0.8749$ ， $\gamma_{0III} = 0.9011$ ， $\gamma_{0IV} = 0.8042$ ，故有 $\gamma_{0III} > \gamma_{0II} > \gamma_{0IV} > \gamma_{0I}$ ，即 F14 断层突水水源层最大可能为煤系砂岩裂隙含水层。通过矿井钻探和含隔水层空间分布分析后，认为采动影响导致断层活化沟通导水裂缝带内砂岩水，确认 F14 断层的突水水源为煤层顶板的二叠系砂岩裂隙水，与灰色关联度定量化分析结果一致。

3 定量化判别的图形化辅助方法

所谓的图形化辅助判别方法实际上是将定性判别的图形工具应用于定量判别，将地质数据以某种形式的图形或计算机化的分析手段展示出来，更生动、直观地展示判别的有效性，这里以指标序列曲线法和水质图形对比法为例予以说明。

3.1 指标序列曲线法

将待判样本的各指标因素测试值与标准样本中指标因素背景值做统一的曲线化分析，利用曲线起伏变化的相似性判断未知水源的归属的方法为指标序列曲线法。从袁店二矿 F14 断层突水点 9 个指标与各含水层指标值的变化曲线（图 1）上可以得知，该突水点有 2/3 的指标与砂岩裂隙水趋势相似，有 4/9 的指标与四含水趋势相似，有 1/3 的指标与一含水趋势相似，有 2/9 的指标与一含水趋势相似。由简单的趋势相似性的比例数字，可以初步定性地分析 F14 断层出水点水源来自于煤系砂岩裂隙水。

3.2 水质图形对比法

定性分析方法中有一类借助于图形化分析工具的水质对比分析方法，通过水质类别形态的差异分析水源样本间的联系程度，分别用水化学玫瑰花图和水样柱状图分析 I，II，III，IV 含水层与突水点的水质形态特征，进而定性分析突水点与含水层的关系密切程度，水质形态特征对比见图 2。

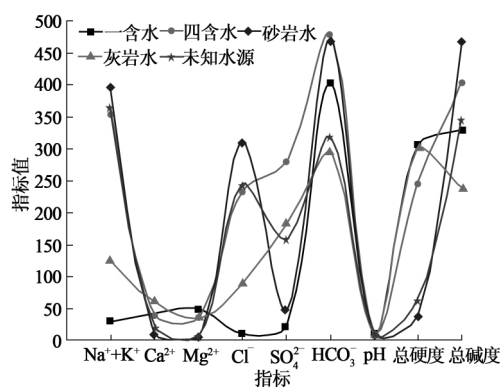


图 1 突水点与含水层指标序列曲线

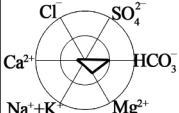
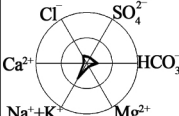
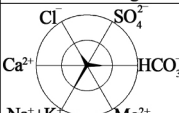
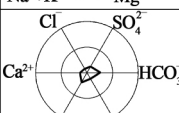
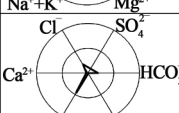
名称	水化学玫瑰花图	水样柱状图	判别结果									
I (一含)		<table><tr><td>Ca²⁺</td><td>Mg²⁺</td><td>Na⁺+K⁺</td></tr><tr><td>10 20 30 40 50 60 70 80 90 %</td><td></td><td></td></tr><tr><td>HCO₃⁻</td><td>Cl⁻</td><td>SO₄²⁻</td></tr></table>	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	10 20 30 40 50 60 70 80 90 %			HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	×
Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺										
10 20 30 40 50 60 70 80 90 %												
HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻										
II (四含)		<table><tr><td>Ca²⁺</td><td>Mg²⁺</td><td>Na⁺+K⁺</td></tr><tr><td>10 20 30 40 50 60 70 80 90 %</td><td></td><td></td></tr><tr><td>HCO₃⁻</td><td>SO₄²⁻</td><td>Cl⁻</td></tr></table>	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	10 20 30 40 50 60 70 80 90 %			HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	×
Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺										
10 20 30 40 50 60 70 80 90 %												
HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻										
III (煤系砂岩裂隙含水层)		<table><tr><td>Ca²⁺</td><td>Mg²⁺</td><td>Na⁺+K⁺</td></tr><tr><td>10 20 30 40 50 60 70 80 90 %</td><td></td><td></td></tr><tr><td>HCO₃⁻</td><td>SO₄²⁻</td><td>Cl⁻</td></tr></table>	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	10 20 30 40 50 60 70 80 90 %			HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	√
Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺										
10 20 30 40 50 60 70 80 90 %												
HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻										
IV (灰岩溶裂隙含水层)		<table><tr><td>Ca²⁺</td><td>Mg²⁺</td><td>Na⁺+K⁺</td></tr><tr><td>10 20 30 40 50 60 70 80 90 %</td><td></td><td></td></tr><tr><td>HCO₃⁻</td><td>SO₄²⁻</td><td>Cl⁻</td></tr></table>	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	10 20 30 40 50 60 70 80 90 %			HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	×
Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺										
10 20 30 40 50 60 70 80 90 %												
HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻										
F14断层突水点		<table><tr><td>Ca²⁺</td><td>Mg²⁺</td><td>Na⁺+K⁺</td></tr><tr><td>10 20 30 40 50 60 70 80 90 %</td><td></td><td></td></tr><tr><td>HCO₃⁻</td><td>SO₄²⁻</td><td>Cl⁻</td></tr></table>	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	10 20 30 40 50 60 70 80 90 %			HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	-
Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺										
10 20 30 40 50 60 70 80 90 %												
HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻										

图 2 含水层与突水点水质特征对比判别

由图 2 可知, 将水样的水质本质特征图形化, 从水化学玫瑰花图和水样柱状图的形态上可较容易地判断出 F14 断层突水点水源应来自于煤系砂岩裂隙含水层。

4 结 论

(1) 矿井突水水源判别方法分为定性和定量两大类型。定性判别方法适用于物性差异大的水源, 而定量判别方法具有全天候的特点, 特别是对易混水化学特征的水源层之间的细微差异实现量化精确判别。

(2) 利用灰色关联分析法对袁店二矿 F14 断层突水进行了量化分析, 结果表明突水水源为煤层顶板砂岩裂隙水, 结合钻探等资料, 有效排除了四含水涌入矿井的可能性。

(3) 采用指标序列曲线法和水质图形对比法判别验证了灰色关联定量判别结果的可靠性, 认为图形化判别方法具有生动、直观和可视化的优点, 是矿井突水水源定量判别的有效辅助工具。

[参考文献]

- [1] 赵鹏大. 定量地学方法及应用 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [2] 李 燕, 徐志敏, 刘 勇. 矿井突水水源判别方法概述 [J]. 煤炭技术, 2010, 29 (11): 87-89.
- [3] 杨永国, 黄福臣. 非线性方法在矿井突水水源判别中的应用研究 [J]. 中国矿业大学学报, 2007, 36 (3): 283-286.
- [4] 熊 伟, 崔光磊. 贝叶斯判别分析在矿井突水水源预测中的应用 [J]. 中国煤炭, 2012, 38 (11): 110-113.
- [5] 陈红江, 李夕兵, 刘爱华. 矿井突水水源判别的多组逐步 Bayes 判别方法研究 [J]. 岩土力学, 2009, 30 (12): 3655-3659.
- [6] 余克林, 杨永生, 章臣平. 模糊综合评判法在判别矿井突水水源中的应用 [J]. 金属矿山, 2007 (3): 47-50.
- [7] 贾旭东, 郭英海, 解奕伟, 等. 模糊综合判别在矿井突水水源判别中的应用及探讨 [J]. 矿业安全与环保, 2006, 33 (3): 57-59.
- [8] 高卫东. 熵权模糊综合评价法在矿井突水水源判别中的应用 [J]. 矿业安全与环保, 2012, 39 (2): 22-24.
- [9] 梁俊勋. 用灰色关联度分析法判别矿井突水水源 [J]. 煤田地质与勘探, 1993, 21 (6): 42-44.
- [10] 樊振丽, 胡炳南, 申宝宏. 煤层底板导水破坏带深度主控因素探究 [J]. 煤矿开采, 2012, 17 (1): 5-7.
- [11] 王 毅, 许光泉, 何吉春, 等. 灰色关联分析方法在突水水源判别中的应用 [J]. 地下水, 2013, 35 (6): 7-10.
- [12] 郝彬彬, 李 冲, 王春红. 灰色关联度在矿井突水水源判别中的应用 [J]. 中国煤炭, 2010, 36 (6): 20-22.
- [13] 樊振丽. 纳林河复合水体下厚煤层安全可采性研究 [D]. 北京: 中国矿业大学 (北京), 2013.
- [14] 胡友彪, 郑世书. 矿井水源判别的灰色关联度方法 [J]. 工程勘察, 1997 (1): 33-35, 28.
- [15] 关英斌, 郑 建, 丰 成, 等. 灰色关联分析在牛西矿水源判别中的应用 [J]. 河北工程大学学报 (自然科学版), 2011, 28 (1): 81-84.

[责任编辑: 张玉军]

欢迎订阅

欢迎赐稿

欢迎惠登广告

电话: (010) 84262728 (010) 84262052 传真: (010) 84262728 电子信箱: MKKC@chinajournal.net.cn