

Discrimination of Water Inrush Source in Xieqiao Coal Mine Based on Hydrochemical Characteristics

Chao Li, Duoxi Yao, Guifang Zhang, Manman Zhang, Xiangshuai Meng

School of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui
Email: 497253660@qq.com

Received: Jul. 20th, 2019; accepted: Aug. 7th, 2019; published: Aug. 14th, 2019

Abstract

In order to accurately and rapidly distinguish the water inrush source in Xieqiao Coal Mine, the hydrogeological characteristics of the aquifer affecting the production of the coal mine are described. The hydrochemical characteristics of the coal-bearing sandstone aquifer (roof sandstone aquifer, floor sandstone aquifer) and Taiyuan limestone aquifer in the aquifer are sampled and analyzed; based on the difference of the hydrochemical characteristics of HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , total hardness and water quality type, etc., methods are presented to distinguish the source of mine water inrush by combining ionic milligram equivalent percentage, tree graph of systematic cluster analysis and total hardness. Research and analysis show that the three methods can be used to distinguish the water inrush source of Xieqiao Coal Mine accurately and rapidly. It can provide relevant guidance for coal mine safety production and further taking effective water prevention measures.

Keywords

Water Inrush Source, Hydrochemistry, Ion Milligram Equivalent Percentage, Tree Graph of Systematic Cluster Analysis

基于水化学特征判别谢桥煤矿突水水源

李超, 姚多喜, 张桂芳, 张曼曼, 孟祥帅

安徽理工大学地球与环境学院, 安徽 淮南
Email: 497253660@qq.com

收稿日期: 2019年7月20日; 录用日期: 2019年8月7日; 发布日期: 2019年8月14日

摘要

为了准确与快速地判别出谢桥煤矿突水水源,对影响该煤矿生产的含水层水文地质特征进行阐述,采样分析含水层中的煤系砂岩含水层(顶板砂岩含水层、底板砂岩含水层)和太原组灰岩含水层的水化学特征,基于 HCO_3^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 等主要离子含量、全硬度与水质类型等水化学特征的差异,提出离子毫克当量百分数、系统聚类分析树状图与全硬度等结合对矿井突水水源进行判别的方法。研究分析表明,采用这2种方法对谢桥煤矿突水水源能够进行准确与快速地判别。可为煤矿安全生产与进一步采取有效的防治水措施提供相关的指导。

关键词

突水水源,水化学,离子毫克当量百分数,系统聚类分析树状图

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

中国的煤炭资源储量巨大,是世界上的产煤大国。但由于中国的煤田地质等条件复杂多变,致使开采难度大大增加,而且煤矿灾害事故频发,其中矿井突水是发生率最高的灾害之一。一旦矿井出现突水,如何及时准确地查清突水原因,判定突水水源,是解决和进一步预防突水事故首先就要面临的问题[1][2][3]。目前,突水水源判别的主要方法包括水质水温法、同位素分析法、多元统计学方法中的聚类分析和非线性分析方法中的灰色系统理论、支持向量机法、可拓识别法等[4][5][6]。吕玉广等[7]根据王楼煤矿的水化学检测报告,利用水化学特征离子,判定矿井突水水源为煤系地层上部侏罗系砂砾岩裂隙水。朱乐章[8]通过对朱庄煤矿各含水层离子组成特征和水化学类型进行分析,认为基于水化学特征的3种方法,可对该矿突水水源进行准确而快速的判别。马雷等[9]将GIS和水质水温判别方法相结合,成功地解决潘一煤矿突水水源判别问题,为在水质差别不是太大的环境下,仍旧依据水化学特征识别突水水源提供了一条新思路。秦松柏等[10]利用聚类方法对水化学数据进行分析,不仅查清不同含水层之间的联系情况,而且找到混合成因水。

谢桥煤矿自开采以来发生过煤系砂岩突水、太灰水突水、新生界突水等数十次突水事件,煤系砂岩突水最多。该矿之前多是利用现有水文地质资料,采用前人工作经验,对突水水源进行判别,这种方法受主观思想影响太明显,基本上无法作出准确地判别。为了快速、简便和科学有效地对谢桥矿突水来源进行判定,本文依据各含水层水样的水化学特征,利用各含水层主要离子柱状图、系统聚类分析树状图,高效准确地判定了该矿来自不同含水层的突水水源,为下一步突水治理提供参考依据。

2. 矿区主要地质特征

谢桥煤矿处于安徽省颍上县东北部,淮南煤田潘谢矿区以西,东与张集矿相接,西与刘庄矿相邻,南北分别是罗园矿井和陈桥背斜。其属于华北型石炭-二叠系煤田,主要含煤地层为二叠系的山西组与石盒子组,可采煤层共有六层,分别为13、11、8、6、4、1煤层[11]。虽局部地段发育小型褶曲,造成

地层起伏,但波幅较小,地层产状总体上无较大变化,不会对矿井煤层开采产生太大影响[12]。

矿区内地表水系主要为济河,地下水主要赋存在岩溶裂隙、砂岩裂隙与新生界孔隙之中。在沉积作用的影响下,形成含水层与隔水层相间出现的复合承压水。整个矿区内无复杂构造,各含水层之间水力联系不密切,只在断层形成的导水通道处产生较小的补给关系。水质类型无明显变化,且各含水层水化学基本特征有较大不同,因此,可用水化学特征判别谢桥矿突水含水层。

3. 矿区内主要充水含水层

3.1. 新生界含水层

矿区内具有的此含水水系主要包括上含与中含。上含上段平均厚度为 64.95 m,单位涌水量 $q = 0.919 \sim 2.206 \text{ L/s}\cdot\text{m}$; 上含下段平均厚度为 27.37 m,单位涌水量 $q = 1.27 \sim 2.01 \text{ L/s}\cdot\text{m}$; 中含上段平均厚度为 148.7 m,单位涌水量 $q = 0.175 \sim 1.169 \text{ L/s}\cdot\text{m}$; 中含下段平均厚度为 52.97 m,单位涌水量 $q = 0.363 \text{ L/s}\cdot\text{m}$ 。但是与基岩存在直接补给联系的只有主、副井所在部位且与煤系上方石千峰组地层直接接触的中含水。依据实际的矿井开采情况,处在中部的含水层不是直接补给水源。

3.2. 煤系砂岩裂隙含水层

煤系砂岩裂隙含水层存在范围较广,1煤到25煤顶板都可见到,整个矿区钻孔总体出现过13煤、23煤、25煤等主采煤层顶板层位漏水的现象,约占总漏水钻孔数的60%。由多次抽水试验数据,整理得 q 值为 $0.0046 \sim 0.0872 \text{ L/s}\cdot\text{m}$,说明富水程度较弱,水温约为 $20^\circ\text{C} \sim 26.5^\circ\text{C}$,水位标高大致是 $+23.03 \sim +27.096 \text{ m}$,矿化度约是 $0.85 \sim 1.87 \text{ g/L}$,平均在 1.596 g/L 左右,表明水质较差,PH值约为 $7.6 \sim 8.6$,平均在 8.1 左右。此含水层富水程度大都较弱,静储量占多数,8与13煤是首采区揭露的煤层,其顶部为砂岩,小部分会有易于疏干的淋水、涌水。

3.3. 太原组灰岩岩溶裂隙含水层

该组地层具有 $102.84 \sim 104.35 \text{ m}$ 的全厚度, 103.38 m 的均层厚度,而其中有12层灰岩,厚度总计达 56.84 m ,约是此组厚的55%。矿区太原组灰岩,从新到老划分为1~3、4~9、10~12三个含水层。1~3组灰岩含水层直接对1煤进行补给,均厚约是 37.38 m ,其中3灰岩含水层的均厚最大,约为 16.57 m 。通过总结矿区内钻孔抽水试验数据可得: q 的值约是 $0.096 \sim 0.0808 \text{ L/s}\cdot\text{m}$,表明富水程度较弱。另整理4~11灰岩层混合抽水试验数据,得到 q 的值为 $0.0174 \sim 1.764 \text{ L/s}\cdot\text{m}$,富水程度属弱~强。在钻孔钻进时,曾发现 1.48 m 高的溶洞,表示此灰岩含水层的岩溶发育明显,可能对矿井生产造成不利影响,曾直接作为东风井突水水源。

3.4. 奥陶系灰岩岩溶裂隙含水层

矿区内发现奥灰顶部深度在 $14.54 \sim 56.89 \text{ m}$ 的钻孔仅有6个。其中揭露漏水钻孔一个,深度约为 $485.64 \sim 499.14 \text{ m}$,在基岩面以下 10 m 的位置。分析七~八₁₁孔抽水数据可知, q 为 $0.000369 \text{ L/s}\cdot\text{m}$,富水程度弱,矿化度达 2.3 g/L ,水质较差,开始的水位标高是 $+23.6 \text{ m}$,PH值为 8.5 ,水质类型以C1-Na型为主。曾作为东一、东二风井井筒突水的唯一来源。

4. 影响安全开采的含水层水化学特征

4.1. 煤系砂岩含水层水化学特征

1) 煤层顶板砂岩水化学特征

煤系砂岩水中的煤层顶板砂岩水, 在断层带处且层间水力平衡遭受破坏时, 则可能导致发生水力联系并突水, 选取煤层顶板砂岩水水样进行水质分析, 主要离子特征含量情况如表 1 所示。由表 1 可以看出, 阳离子中 $K^+ + Na^+$ 占多数, 占比超过 97%, $K^+ + Na^+$ 含量大致在 890.85~972.89 mg/L; 阴离子则是 HCO_3^- 占多数, 占比超 50%, Cl^- 其次, SO_4^{2-} 含量在 1067.85~1348.54 mg/L; TDS 超出 2 g/L, 水质状况不好。

Table 1. Main ion content of water in coal seam roof sandstone

表 1. 煤层顶板砂岩水主要离子含量

	煤层顶板砂岩水 1			煤层顶板砂岩水 2			煤层顶板砂岩水 3			煤层顶板砂岩水 4			煤层顶板砂岩水 5		
	浓度 /mg·L ⁻¹	毫克 当量 meq	毫克 当量 百分比 meq/%	浓度 /mg·L ⁻¹	毫克 当量 meq	毫克 当量 百分比 meq/%	浓度 /mg·L ⁻¹	毫克 当量 meq	毫克 当量 百分比 meq/%	浓度 /mg·L ⁻¹	毫克 当量 meq	毫克 当量 百分比 meq/%	浓度 /mg·L ⁻¹	毫克 当量 meq	毫克 当量 百分比 meq/%
$K^+ + Na^+$	913.87	36.54	98.49	900.86	36.02	98.04	972.89	38.92	98.58	890.85	35.62	98.23	929.38	37.16	97.69
Ca^{2+}	8.02	0.40	1.08	9.62	0.48	1.31	4.81	0.24	0.61	12.83	0.64	1.77	11.22	0.56	1.47
Mg^{2+}	1.94	0.16	0.43	2.92	0.24	0.65	3.89	0.32	0.81	0.00	0.00	0.00	3.89	0.32	0.84
Cl^-	482.12	13.58	37.63	609.74	17.18	49.18	588.47	16.58	44.75	535.3	15.08	41.84	545.93	15.38	41.76
SO_4^{2-}	19.21	0.40	1.11	11.53	0.24	0.69	7.68	0.16	0.43	46.11	0.96	2.66	126.80	2.64	7.17
HCO_3^-	1348.54	22.11	61.26	1067.85	17.51	50.13	1238.71	20.31	54.82	1220.4	20.00	55.49	1147.18	18.81	51.07
TDS	2129.44			2122.60			2269.10			2101.29			2226.82		
全硬度 (CaCO ₃)	32.03			36.03			28.02			32.03			48.04		

2) 煤层底板砂岩水化学特征

煤层底板砂岩含水层可能直接作为突水来源, 引起水害事故。选用部分该含水层水样研究其水质情况, 所得主要离子特征含量如表 2 所示。由表 2 总体来看, 阳离子中 $K^+ + Na^+$ 占多数, $K^+ + Na^+$ 含量为 933.64~1120.95 mg/L, 占比最高达 98.07%; 阴离子中则是 Cl^- 、 HCO_3^- 占大多数, Cl^- 含量 967.79~1237.21 mg/L, HCO_3^- 含量 408.23~640.71 mg/L; TDS 约在 2265.44~2740.91 mg/L。

Table 2. Main ion content of water in coal seam floor sandstone

表 2. 煤层底板砂岩水主要离子含量

	煤层底板砂岩水 6			煤层底板砂岩水 7			煤层底板砂岩水 8			煤层底板砂岩水 9			煤层底板砂岩水 10		
	浓度 /mg·L ⁻¹	毫克 当量 meq	毫克 当量 百分比 meq/%	浓度 /mg·L ⁻¹	毫克 当量 meq	毫克 当量 百分比 meq/%	浓度 /mg·L ⁻¹	毫克 当量 meq	毫克 当量 百分比 meq/%	浓度 /mg·L ⁻¹	毫克 当量 meq	毫克 当量 百分比 meq/%	浓度 /mg·L ⁻¹	毫克 当量 meq	毫克 当量 百分比 meq/%
$K^+ + Na^+$	934.87	37.38	97.29	933.64	37.33	96.09	1120.95	44.82	98.07	954.89	38.18	96.76	1091.69	43.65	96.12
Ca^{2+}	9.62	0.48	1.25	14.43	0.72	1.85	9.62	0.48	1.05	11.22	0.56	1.42	12.83	0.64	1.41
Mg^{2+}	6.81	0.56	1.46	9.72	0.80	2.06	4.86	0.40	0.87	8.75	0.72	1.82	13.61	1.12	2.47
Cl^-	978.42	27.60	71.84	967.79	27.30	70.27	1237.21	34.85	77.02	999.69	28.16	74.07	1212.39	34.15	76.30
SO_4^{2-}	15.37	0.32	0.83	57.64	1.20	3.09	38.42	0.80	1.77	84.53	1.76	4.63	188.28	3.92	8.76
HCO_3^-	640.71	10.50	27.33	631.56	10.35	26.64	585.79	9.60	21.22	494.26	8.10	21.30	408.23	6.69	14.95
TDS	2265.44			2299.00			2715.96			2348.22			2740.91		
全硬度 (CaCO ₃)	52.04			72.06			48.04			68.05			84.07		

4.2. 太原组灰岩水化学特征

太原组灰岩水主要是通过溶洞进入巷道, 选取太原组灰岩水水样进行水质分析, 主要离子特征含量见表 3。由表 3 可以得出, $K^+ + Na^+$ 在阳离子中居多, $K^+ + Na^+$ 的含量在 906.86~1038.18 mg/L 之间, 占比最高达 90.73%; 阴离子中 Cl^- 占比最大, Cl^- 的含量在 1013.87~1237.21 mg/L, 比例最高达 79.21%; TDS 超过 2 g/L, 水质不好。

Table 3. Main ion content of limestone water in Taiyuan formation

表 3. 太原组灰岩水主要离子含量

	太原组灰岩水 11			太原组灰岩水 12			太原组灰岩水 13			太原组灰岩水 14			太原组灰岩水 15		
	浓度 /mg·L ⁻¹	毫克 当量 meq	毫克 当量 百分比 meq/%	浓度 /mg·L ⁻¹	毫克 当量 meq	毫克 当量 百分比 meq/%	浓度 /mg·L ⁻¹	毫克 当量 meq	毫克 当量 百分比 meq/%	浓度 /mg·L ⁻¹	毫克 当量 meq	毫克 当量 百分比 meq/%	浓度 /mg·L ⁻¹	毫克 当量 meq	毫克 当量 百分比 meq/%
$K^+ + Na^+$	995.9	39.82	90.38	906.86	36.26	89.00	1038.18	41.51	90.73	956.86	38.26	90.02	1001.14	40.03	90.26
Ca^{2+}	51.30	2.56	5.81	49.70	2.48	6.09	81.76	4.08	8.92	48.10	2.40	5.65	49.70	2.48	5.59
Mg^{2+}	20.42	1.68	3.81	24.31	2.00	4.91	1.94	0.16	0.35	22.37	1.84	4.33	22.37	1.84	4.15
Cl^-	1237.21	34.90	79.21	1134.40	32.00	78.55	1063.50	30.00	65.57	1013.87	28.60	67.29	1120.22	31.60	71.25
SO_4^{2-}	180.59	3.76	8.53	146.01	3.04	7.46	480.30	10.00	21.86	422.66	8.80	20.71	345.82	7.20	16.23
HCO_3^-	329.51	5.40	12.26	347.81	5.70	13.99	350.87	5.75	12.57	311.20	5.10	12.00	338.66	5.55	12.51
TDS	2650.18			2435.18			2841.12			2619.46			2708.58		
全硬度 (CaCO ₃)	216.17			224.18			211.17			212.17			215.17		

4.3. 不同含水层之间主要离子特征含量比较

通过整理计算, 可以得出导致谢桥煤矿发生突水的不同含水层主要离子含量平均值, 如表 4 所示。

从离子组分上分析, 煤层顶板砂岩含水层中 $K^+ + Na^+$ 为占比最大的阳离子, Ca^{2+} 与 Mg^{2+} 很少, 阴离子以 HCO_3^- 为主, Cl^- 次之; 煤层底板砂岩含水层中 $K^+ + Na^+$ 也是占比最大的阳离子, 阴离子中 Cl^- 占多数; 太原组灰岩含水层中 $K^+ + Na^+$ 为占比最大的阳离子, 阴离子中 Cl^- 占多数; 相比较而言, 煤层底板砂岩含水层、太原组灰岩含水层在离子组成上相同性很高。另外, 太原组灰岩水的 TDS 平均值为 2650.90 mg/L, 超出煤层底板砂岩水的 2473.91 mg/L 与煤层顶板砂岩水的 2169.85 mg/L; 太原组灰岩水的全硬度为 215.77 mg/L, 远高于煤层底板砂岩水的 64.85 mg/L 与煤层顶板砂岩水的 35.23 mg/L。

由上可见, 可以将离子含量特征、全硬度与 TDS 相结合识别谢桥矿突水来源。

5. 煤层出水水源判别方法研究

5.1. 利用主要离子与全硬度识别突水水源

通过对煤系砂岩含水层与太原组灰岩含水层水样进行水化学检测, 测出主要离子含量, 并计算出含水层水样的毫克当量百分比, 见图 1。由表 4 与图 1 结合可知, 煤层顶底板砂岩含水层 $HCO_3^- + Cl^-$ 含量均超过 90%, 而太原组灰岩含水层 $HCO_3^- + SO_4^{2-}$ 含量超过 80%; 煤层顶砂岩含水层水化学类型多是 $HCO_3^- - Cl^- - Na - K$ 型, 煤层底板砂岩含水层水多是 $Cl^- (HCO_3^-) - Na - K$ 型, 而太原组灰岩含水层水化学类型多是 $Cl^- - Na - K$ 型; 此外, 太原组灰岩水的全硬度为 215.77 mg/L, 远超过其他两个含水层。因此, 可以将主要离子(如下图中所示的离子)的毫克当量百分数与全硬度结合判别矿井突水水源。

Table 4. Average content of main ions in different aquifers
表 4. 不同含水层主要离子平均含量

	煤层顶板砂岩水			煤层底板砂岩水			太原组灰岩水		
	浓度 /mg·L ⁻¹	毫克当量 meq	毫克当量 百分比 meq/%	浓度 /mg·L ⁻¹	毫克当量 meq	毫克当量 百分比 meq/%	浓度 /mg·L ⁻¹	毫克当量 meq	毫克当量 百分比 meq/%
K ⁺ + Na ⁺	921.57	36.85	98.21	1007.21	40.27	96.87	979.79	39.18	90.08
Ca ²⁺	9.30	0.46	1.25	11.54	0.58	1.40	56.11	2.80	6.41
Mg ²⁺	2.53	0.21	0.55	8.75	0.72	1.74	18.28	1.50	3.51
Cl ⁻	552.31	15.56	43.03	1079.10	30.41	73.90	1113.84	31.42	72.37
SO ₄ ²⁻	42.27	0.88	2.41	76.85	1.60	3.82	315.08	6.56	14.96
HCO ₃ ⁻	1204.54	19.75	54.55	552.11	9.05	22.29	335.61	5.50	12.67
TDS	2169.85			2473.91			2650.90		
全硬度 (CaCO ₃)	35.23			64.85			215.77		

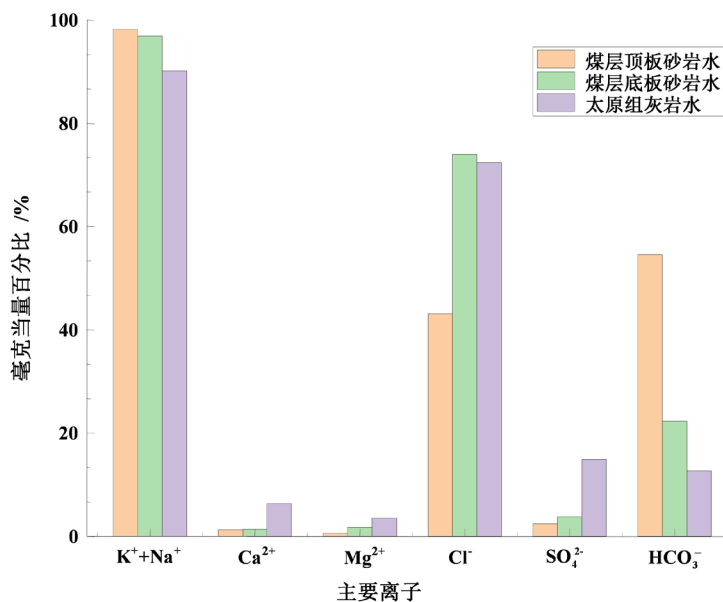


Figure 1. Column charts of main ion contents in aquifers

图 1. 各含水层主要离子含量柱状图

5.2. 根据系统聚类分析树状图与全硬度识别突水水源

聚类分析法简单、直观，一些类型难以区别的数据都能采用这种方法进行分类[13][14][15]。为了进一步验证水化学方法在谢桥矿突水水源判别中的可行性，利用 SPSS 软件对所选取的 15 个水样数据进行系统聚类分析，在分析前，对样品进行了编号，煤层顶板砂岩水为 1[#]~5[#]，煤层底板砂岩水为 6[#]~10[#]，太原组灰岩水为 11[#]~15[#]，得到如图 2 所示的树状图。从图中可以看到，1[#]~5[#]等 5 个水样点聚为一类，10[#]~15[#]等 6 个水样点划为一类，6[#]~9[#]等 4 个水样点聚为一类，又由太原组灰岩水的全硬度远高于其他两个含水层可知，10[#]水样点不应来自太原组灰岩水，综合全硬度与水质类型，可以得出 10[#]水样点来源为煤层底板砂岩含水层。

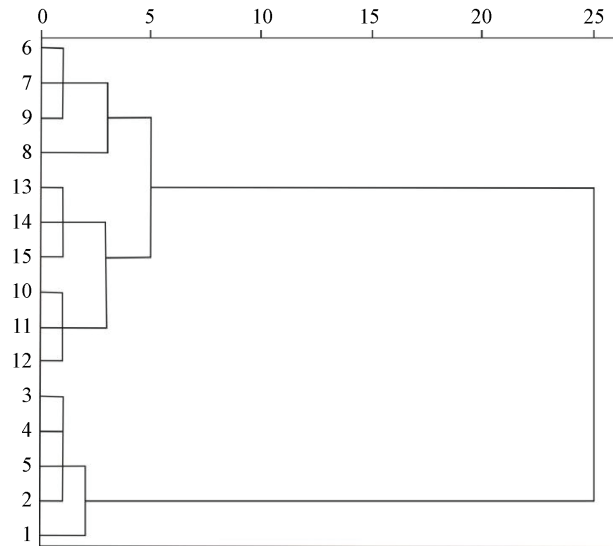


Figure 2. Tree chart of systematic clustering analysis
图 2. 系统聚类分析树状图

6. 结论

煤层顶底板砂岩含水层 $\text{HCO}_3^- + \text{Cl}^-$ 含量都超过 90%，而太原组灰岩含水层 $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$ 含量超过 80%。煤层顶砂岩含水层、煤层底板砂岩含水层与太原组灰岩含水层水化学类型分别为 $\text{HCO}_3\text{-Cl-Na-K}$ 型、 $\text{Cl-(HCO}_3\text{)-Na-K}$ 型与 Cl-Na-K 型，因此依据毫克当量百分比、水化学类型与全硬度的不同判别煤层突水来源是可行的。在系统聚类分析树状图上，煤层顶板砂岩水样、煤层底板砂岩水样与太原组灰岩水样各自聚为一类，因此可以通过系统聚类分析树状图、全硬度与水化类型识别出水水源。

参考文献

- [1] 杨海军, 王广才. 煤矿突水水源判别与水量预测方法综述[J]. 煤田地质与勘探, 2012, 40(3): 48-55.
- [2] 王玉民, 焦立敏. 利用水质分析法判定矿井涌水水源[J]. 煤矿安全, 2001, 32(10): 12-14.
- [3] 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.
- [4] 黄平华, 陈建生. 焦作矿区地下水水化学特征及涌水水源判别的 FDA 模型[J]. 煤田地质与勘探, 2011, 39(2): 42-47.
- [5] 赵国红, 黄健敏. 煤矿突水水源判别方法的应用研究[J]. 煤炭技术, 2016, 35(9): 150-152.
- [6] 代革联, 薛小渊, 牛超. 基于水化学特征分析的象山矿井突水水源判别[J]. 西安科技大学学报, 2017, 37(2): 213-218.
- [7] 吕玉广, 任智德. 水化学法判定矿井突水水源实例[J]. 山东煤炭科技, 2013(6): 96-99.
- [8] 朱乐章. 利用水化学特征识别朱庄煤矿突水水源[J]. 中国煤炭, 2018, 44(5): 100-104, 119.
- [9] 马雷, 钱家忠, 赵卫东. 基于 GIS 和水质水温的矿井突水水源快速判别[J]. 煤田地质与勘探, 2014, 42(2): 49-53.
- [10] 秦松柏, 欧阳正平, 程天舜. 分层聚类分析在水文地球化学分类中的应用[J]. 地下水, 2008, 30(1): 21-24.
- [11] 张爱华. 谢桥井田岩溶陷落柱特征及成因分析[J]. 科技信息: 学术研究, 2008(36): 634-636.
- [12] 胡大鹏, 魏建平, 刘彦伟, 等. 谢桥矿 8 煤层瓦斯赋存规律及主控因素分析[J]. 煤炭工程, 2011(5): 67-69.
- [13] 杨涛, 张紫昭, 胡磊, 等. 聚类分析在煤矿井巷围岩岩体质量分类中的应用[J]. 西安科技大学学报, 2015, 35(1): 43-49.
- [14] 李再兴, 张凤鸣, 庞良, 等. 有关矿井突水水源判别方法的探讨[J]. 地下水, 2009, 31(9): 16-20.
- [15] 周来, 冯启言, 杨建华, 等. 济宁三号井田矿井突水的水化学特征和水源判别[J]. 中国矿业, 2005, 14(8): 66-69.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网首页：<http://cnki.net/>，点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”，跳转至：<http://scholar.cnki.net/new>，搜索框内直接输入文章标题，即可查询；
或点击“高级检索”，下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2324-7967，即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版：<http://www.cnki.net/old/>，左侧选择“国际文献总库”进入，搜索框直接输入文章标题，即可查询。

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ije@hanspub.org