

文章编号:1001-1986(2007)04-0062-03

# 矿井水害水源的水文地球化学探测技术

刘 峰

(煤炭科学研究院西安研究院,陕西 西安 710054)

**摘要:**水文地球化学探测技术在判断矿井突水水源方面具有快速、及时、经济方便等特点。结合典型实例,介绍了特征离子和离子比值法、水质分析结合同位素综合分析法、水化学示踪法、数学判别模型法探测技术及其在矿井水害水源判别中的应用,为矿井水水源探查提供了参考依据。

**关键词:**矿井水害;水化学;矿井突水水源

**中图分类号:**TD741    **文献标识码:**A

## Hydrogeochemistry survey technology of mine groundwater hazard source

LIU Feng

(Xi'an Branch, China Coal Research Institute, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** Hydrogeochemistry survey technology has a double—quick, convenient, economical characteristic in judging source of mine inrush water. This paper through typical instance introduces technological approach, means, and application of hydrogeochemistry method for detecting mine groundwater hazard source in detail, such as characteristic ions and ion proportionality method, water quality determination, isotopic analysis, hydrochemical tracer and mathematical modeling method.

**Key words:** mine water hazard; water chemistry; source of mine water inrush

矿井水害是我国包括煤矿在内的各类矿床开采中经常遇到的主要地质灾害之一,也是制约矿区生产活动和可持续发展的重要因素,其表现形式通常为突、涌、溃、淋水等。多年来对矿井水害的预防和治理一直是相关领域科学、工程与生产工作者关注和研究的重要课题。水文地球化学(简称“水化学”)探测技术是矿井防治水工作中的一种重要手段,在矿井突水水源判别方面效果显著,是一种快速、经济、实用的方法。

## 1 原理

水化学方法判断矿井突水水源,是依据地下水系统中天然(或人工示踪剂)的化学、物理及同位素成分的分布及变化规律,分析和了解地下水的补给、径流、赋存及排泄特征,了解含水介质本身的结构特征,从而达到对地下水水源探查的目的。赋存于含水介质中的地下水,其化学、同位素成分与其成因有关,与岩石类型有关,与地下水的滞留时间、运动特征、动态变化及不同水体之间的混合作用有关,与人类的生产和生活活动等有关<sup>[1]</sup>。

## 2 主要技术途径方法

矿井突水水源判别是防治水工作的基础,它能为制定合理有效的防治水措施(疏干、降压及堵水)提供依据。一般情况下,不同类型含水层的地下水具有不同的化学及同位素成分,当地下水运动或发生变化(例如混合作用)时,其化学和同位素成分也

发生相应的变化。突水水源判别的首要任务就是寻找能代表每个含水层地下水特征的标型元素(化合物、气体和同位素等),并在此基础上对突水的来源进行识别。一般采用以下几种方法:**a.** 利用特征离子或特征离子比值法判别突水水源;**b.** 利用水质分析结合同位素综合分析方法判断突(涌、淋、溃)水水源;**c.** 利用人工示踪法判断水源;**d.** 通过建立数学判别模型的方法判断突水水源。

## 3 水化学探测方法及应用实例

### 3.1 特征离子和离子比值法

我国华北地区许多大矿区,奥陶系灰岩岩溶水一直是威胁煤矿安全生产的主要水源,因为该含水层水源一般具有水压大、补给充足、富水性强等特点,一旦突出具有灾害性。因此,许多矿把该含水层的水作为重点防治对象,通过研究该含水层水源水质特征,找出与其它含水层水源不同的单型组份或其它特点,判断突水水源是否属于该含水层水源,或预测生产过程中该水源突水的可能性,及时指导煤矿安全生产。20世纪90年代初期,河北唐山市范各庄矿曾把NO<sub>3</sub><sup>-</sup>离子含量作为判断奥灰水和第四系底卵石层、5号煤顶板砂岩、12号—14号煤底板砂岩水的判断依据。通过研究范各庄井田奥灰水NO<sub>3</sub><sup>-</sup>离子形成机理发现:奥灰水中NO<sub>3</sub><sup>-</sup>含量为9~10.5 mg/L,其它含水层水中NO<sub>3</sub><sup>-</sup>离子含量很低,为此把NO<sub>3</sub><sup>-</sup>离子含量的大小作为判断是否是奥灰突水的手段,实践证明非常有效<sup>[2]</sup>。

表1 各层地下水水质组成对比表

Table 1 Contrast of composition of groundwater containing in every stratum

含水层	$K^+ + Na^+$ /mg·L <sup>-1</sup>	$Ca^{2+}$ /mg·L <sup>-1</sup>	$Mg^{2+}$ /mg·L <sup>-1</sup>	$NH_4^+$ /mg·L <sup>-1</sup>	$Cl^-$ /mg·L <sup>-1</sup>	$SO_4^{2-}$ /mg·L <sup>-1</sup>	$HCO_3^-$ /mg·L <sup>-1</sup>	$CO_3^{2-}$ /mg·L <sup>-1</sup>	$NO_3^-$ /mg·L <sup>-1</sup>	PH
Q <sub>2</sub>	11.68	89.08	15.81		42.26	34.99	243.48		17.71	7.2
P <sub>1S</sub> 砂岩	257.94	4.49	2.33		127.06	16.77	461.20	40.41		8.4
陷落柱上部	622.78	6.47	0.60		151.41	31.03	1 081.21	145.1		8.4
陷落柱下部	329.30	2.68	1.47		117.25	0.55	631.30	23.53		8.4
K <sub>2</sub> 灰岩	342.21	2.00	1.70	8.42	109.80	27.84	677.70	16.51		9.0
O <sub>2</sub> 灰岩	35.81	143.30	39.86		14.26	331.30	267.54		2.32	7.6

特征离子和离子比值法还用于重大水体突水的预测。龙口北皂煤矿是我国首个海下采煤的煤矿, 主要含煤地层为古近系黄县组。井田内除地表海水外, 主要含水层有第四系上部含水层(一含)、第四系下部含水层(二含)、煤系含水层、煤4顶板砂岩含水层。为防止海水通过采动裂隙、导水断层等通道溃入矿井, 通过对第四系和煤系含水层以及海水的水化学特征进行调研, 发现各含水层水质成份中  $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $Mg^{2+}/Ca^{2+}$ 、 $SO_4^{2-}$ 、 $Br^-$ 、 $Cl^-$ 、 $Na^+$ 、矿化度等含量与海水的化学成分差异明显, 因此找出这些与海水成分特征差异较大的特征离子, 以各含水层(体)水质指标为背景, 用特征离子与特征指标的变化幅度大小作为预警阈值, 对海水溃入预警, 并在开采过程中, 不断监测煤系地层地下水的水质变化, 判断海水溃入的可能性, 及时预防海水入侵, 为海域安全开采提供依据<sup>[3]</sup>。

### 3.2 水质分析结合同位素综合分析法

通过取样分析突水水质与主要含水层水质特点, 根据水质特征判断出可能的水源, 再利用同位素分析法确定或进一步验证水源。2002年8月15日, 潞安矿业(集团)公司常村煤矿N<sub>2-7</sub>皮顺巷掘进时, 发生陷落柱突水, 涌水量最大达到120 m<sup>3</sup>/h。采用同位素和水质分析方法综合判断分析, 通过对Q<sub>2</sub>、P<sub>1S</sub>、C<sub>3</sub>、K<sub>2</sub>—K<sub>5</sub>薄层灰岩及O<sub>2</sub>等各层地下水水质资料分析和陷落柱上下部水质资料的对比分析发现(表1), 陷落柱上部出水为  $HCO_3^- - Na$ 型水质, 与本区砂岩地下水类型相同, 但较高的矿化度、 $Na^+$ 、 $Cl^-$ 及  $HCO_3^-$ 含量, 充分反映陷落柱上部水储存于更封闭的环境中。陷落柱下部探孔水样分析结果表明, 下部含水相对上部处于较为良好的储存环境, 与上部含水水质有较大差异, 明显表现在矿化度(阴阳离子总量)仅为上部出水的一半, 水质类型及各组分与砂岩含水层和下部K<sub>2</sub>灰岩含水层水质较为一致, 而与以  $SO_4^{2-} - HCO_3^- - Ca \cdot Mg$ 型水质为主要类型的本区奥灰水质相差甚远。结合陷落柱实际勘探钻孔资料看到: 钻孔揭露的两处出水段(46 m及63 m处)均以中粒砂岩为主, 钙质胶结和泥质充填。围岩的砂岩性质导致陷落柱下部出水水质与砂岩水质水型相同, 因此水化学资料分析显示陷落柱出水水源与

砂岩水接近, 而非奥灰水。

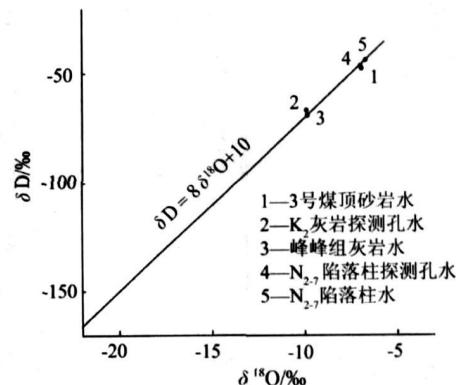
为进一步证实陷落柱出水水源为砂岩水, 采用稳定同位素D、<sup>18</sup>O分析方法, 分别对各含水层和陷落柱出水进行同位素分析, 结果见表2。

表2 常村煤矿水同位素分析结果表

Table 2 Result of water isotope analysis for Changcun colliery

样号	采样层位	$\delta^{18}O/\text{‰}$	$\delta D/\text{‰}$
1	3号煤层顶板砂岩水	-7.1	-47.9
2	K <sub>2</sub> 灰岩探测孔水	-10.1	-66.8
3	水源井奥灰水	-10.2	-69.0
4	N <sub>2-7</sub> 皮顺巷陷落柱探测孔水	-7.0	-46.7
5	N <sub>2-7</sub> 陷落柱水	-6.7	-44.1

环境同位素D(<sup>2</sup>H)、<sup>18</sup>O属于水的分子组成, 在地下水中作为水体自身参与循环, 不同于因地下水溶解而进入的其他物质, 由于这些环境同位素具有质量守恒特征, 使其成为天然水循环过程中最理想的示踪原子, 不受围岩化学成分的干扰。通过对地下水中环境同位素丰度(比值或强度)的测定, 可以提供地下水成因、补给高程、地下水形成的环境温度、不同水源的混合等信息。大气降水形成的现代入渗水满足全球雨水线方程:  $\delta D = 8\delta^{18}O + 10$ <sup>[4]</sup>, 故所形成的地下水同位素组成  $\delta D$ 、 $\delta^{18}O$  均展布在降水线附近, 其它成因地下水与现代入渗雨水展布点不同而可区分其成因, 具此原理, 将所取各含水层水样的  $\delta^{18}O$ 、 $\delta D$  测定值进行对比, 并绘出  $\delta^{18}O - \delta D$  关系图(图1)。

图1 常村煤矿N<sub>2-7</sub>陷落柱涌水  $\delta^{18}O - \delta D$  关系图Fig. 1  $\delta^{18}O - \delta D$  relationship of water inrush from column of Changcun colliery

从图 1 可以看出：

a. 含水层水样  $\delta^{18}\text{O}$ — $\delta\text{D}$  值分布在大气降水量附近, 没有明显的偏离和漂移, 说明各层地下水均为现代大气降雨下渗形成, 不存在其它成因形成的地下水。

b. 图中煤系砂岩水样、陷落柱出水及陷落柱下部探孔水样为一组, 而  $K_2$ 、 $O_2$  灰岩水样为另一组, 两组  $\delta^{18}\text{O}$  有 3.4‰、 $\delta\text{D}$  有 24.9‰ 的差异。其中在同位素高度效应的作用下,  $K_2$ 、 $O_2$  灰岩水同位素值偏负, 分析为由较高海拔高程山区的降雨补给, 经奥灰、 $K_2$  灰岩露头区广泛下渗, 径流并运移至取样点所处层位。期间  $K_2$  灰岩含水层地下水因属弱含水层径流迟缓, 在长期滞留过程中水岩作用使水质演化程度剧烈, 该层地下水由补给区的弱矿化度淡水演变为高矿化度的  $\text{HCO}_3-\text{Na}$  型水。而奥灰水在灰岩地层径流过程中, 因石膏等矿物的溶滤作用而形成  $\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3-\text{Ca} \cdot \text{Mg}$  型水质。

c. 陷落柱出水和砂岩水同属一种水源, 该水具有偏正的同位素值, 分析为当地降雨下渗形成。一般来讲平原地区降雨因高度效应影响会使同位素值偏正, 且受到干旱地区蒸发效应的影响, 降雨中同位素值会向正值偏移, 造成两者(山区补给与当地降雨补给)间同位素值的显著差异。

d. 同位素测定显示, 陷落柱出水和砂岩水同属一种水源, 说明陷落柱出水与砂岩水有较密切的关系。而与奥灰及  $K_2$  灰岩尚未有直接的联系, 这一结果证实并充实了水化学分析的结论。

### 3.3 水化学示踪方法

水化学示踪法是人为投放示踪剂于某一目标含水层, 通过在出水点检测示踪剂含量来确定其水源的归属或出水点含水层与目标含水层之间的水力联系情况。

煤矿防治水工作中常常结合放水试验探查导水通道和含水层之间的水力联系。2005 年 12 月, 临沂矿业集团邱集煤矿为探查四·五灰含水层及本溪统徐灰和奥陶系灰岩含水层的水文地质条件、四·五灰含水层与徐家庄灰岩含水层和奥灰含水层的水力联系, 在四·五灰进行井下放水试验期间采用示踪试验, 通过在矿井南部地面奥灰钻孔投放示踪剂, 在井下放水孔定时进行接收取样, 对采集水样进行示踪剂的检测, 在 10 h 左右接收到投放至奥灰含水层中示踪剂, 说明奥灰含水层通过井田内断层、裂隙产生越流补给四·五灰含水层, 奥灰含水层和四·五灰含水层间水力联系密切。

### 3.4 数学判别模型方法

数学判别模型方法同一些传统的、常规的方法

一样, 其技术关键仍然在于寻找不同含水层的“标型”组分, 参与建立模型的各含水层的标准水源要有代表性, 而且其数量上要求较高, 一般在区域或在水文地球化学研究比较深入的大水矿区得到实际应用。在我国渭北地区, 研究者应用水化学样品数据建立了澄合矿区、韩城矿区奥陶系灰岩水(以下简称奥灰水)和煤系水的二类判别函数, 并结合溶解氧、氡含量及温度等指标对两矿区的突水点水源进行了判别。在焦作矿区, 开发了用以判别突水水源的判别模型<sup>[5]</sup>。焦作矿区是一个典型的大水矿区, 第四系水、煤系砂岩水、薄层灰岩水和奥灰水是可能的突(充)水水源。研究中应用的是贝叶斯准则下的多组逐步判别分析方法。在对大量实例调查、分析的基础上, 编制了用以获取判别分析的计算程序, 该程序可对未知来源的水点(样)进行识别, 从而达到快速判别的目的。研究中共获得了 3 个二类判别函数、1 个三类判别函数和 1 个四类判别函数。以奥灰水、二叠—石炭系薄层灰岩水、顶板砂岩水和第四系水四类判别分析为例, 其判别函数为:

$$Y_1(a) = -69.98 + 1.24\text{Ca}^{2+} + 1.48\text{Na}^+ + 0.72\text{SO}_4^{2-}$$

$$Y_2(x) = -54.92 + 1.14\text{Ca}^{2+} + 1.14\text{Na}^+ + 0.57\text{SO}_4^{2-}$$

$$Y_3(x) = -114.76 + 1.57\text{Ca}^{2+} + 2.35\text{Na}^+ + 0.63\text{SO}_4^{2-}$$

$$Y_4(x) = -122.83 + 1.69\text{Ca}^{2+} + 2.07\text{Na}^+ + 0.88\text{SO}_4^{2-}$$

通过 F 检验和对已知归类样品的回报分析, 该判别函数判别效果显著, 在实际应用中效果良好<sup>[6]</sup>。

### 4 结语

水文地球化学探测矿井突水水源的关键在于寻找不同含水层的“标型”组分, 而这常常是比较困难的。这就要求在具体工作中, 结合对地质、水文地质条件的认识, 选取合适的标型组分, 确定其应用范围和时空限制, 应用综合方法进行研究, 才会取得更全面和可靠的结果。

### 参考文献

- [1] 王广才, 段琦, 常永生. 矿井防治水中的水文地球化学探测方法 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2003, 11(1): 32—34.
- [2] 马培智, 郑士田, 黄贤瑞. 范各庄井田奥灰水  $\text{NO}_3^-$  离子形成机理及在水源判别中的应用 [J]. 煤田地质与勘探, 1998, 26(1): 48—50.
- [3] 王兰健, 韩仁桥. 水情监测预警系统在海下采煤中的应用 [J]. 煤田地质与勘探, 2006, 34(6): 54—56.
- [4] 李向全, 张莉, 于开宁. 西北干旱区深层岩溶地下水系统的水化学同位素研究 [J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2003, 33(4): 524—527.
- [5] 煤炭科学研究院西安分院. 渭北地区地下水水化学研究 [R]. 1996.
- [6] 煤炭科学研究院西安分院. 焦作地区底板突水模型及突水水源判别 [R]. 1995.