

桑树坪井田地下水化学特征及矿井水的再生利用

唐亦川, 代革联, 程爱华

(西安科技学院 地质与环境工程系, 陕西 西安 710054)

摘 要: 简要介绍了桑树坪井田地质与水文地质概况, 按地层的含水性将井田含水层划分为第四系砂砾石层孔隙潜水中等含水层组(H_1)、二叠系砂岩裂隙承压弱含水层组(H_2)、石炭系砂岩灰岩裂隙承压极弱含水层组(H_3)和奥陶系石灰岩溶隙溶洞承压强含水层组(H_4)等4种类型。在分析各含水层组水质特征及矿井水水化学特征的基础上, 得出奥灰水是矿井水的主要补给来源; 并针对该井田矿井水硬度大, 矿化度、 SO_4^{2-} 含量高的水质特征, 提出了以物理—物理化学方法为基础, 以电渗析法为主的净化处理矿井水方法。

关键词: 地下水化学特征; 矿井水; 再生利用

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2003)02-0023-03

中图分类号: P641.55

Chemical Characteristics of Groundwater and Transformation From Coal Mine Discharge to Water Resources in Sangshuping Coal Mine

TANG Yi-chuan, DAI Ge-lian, CHENG Ai-hua

(Dept. of Geology and Environment Engineering, Xi'an University of Science and Technology,
Xi'an 710054, Shaanxi Province, China)

Abstract: The general geologic and hydrogeologic conditions of Sangshuping coal mine field are briefly introduced. The aquifers of the field are divided as followings: The Quaternary gravel and sand porous phreatic aquifers(H_1); The Permian sandstone fissured confined aquifers(H_2); The Carboniferous sandstone and limestone confined aquifers(H_3); And the Ordovician limestone confined aquifers(H_4); On the basis of analysis of the chemical characterized of groundwater and mine water, it is pointed out that groundwater of the Ordovician limestone aquifer is the main recharge source of mine water. The mine water is characteristic of high hardness, mineralization and SO_4^{2-} content. A purifying method, electric percolation filtration, is proposed to process the minewater.

Keywords: chemical characteristics of groundwater; coal mine discharge; transformation from coal mine discharge to water resources

水是人类赖以生存的重要自然资源, 是社会经济发展中至关重要的基础资源。我国人均占有水资源量约为世界人均占有量的1/4, 为水资源脆弱国家^[1]。煤炭行业水资源更为紧缺, 据调查, 全国86个国有重点矿区中有71%的矿区缺水, 40%的矿区严重缺水^[2]。有关分析资料表明, 在我国未来发展中, 水质导致的水资源危机大于水量危机, 必须引起高度重视^[3]。因此, 矿井水的再生利用就显得十分必要, 它既可防止过度开采地下深井水以及矿井水直接外排带来的环境问题, 保护矿区地下水和地表水的自然平衡; 又能解决矿区水资源短缺问题, 保证煤矿企业的正常生产和经营, 促进矿区的可持续发展。

1 井田概况

桑树坪井田位于渭北煤田韩城矿区最北端, 黄河

的西岸。地貌属构造剥蚀低山区, 在沟谷及其两侧附近, 基岩大片裸露于地表, 山腰及山顶多为广厚的黄土所覆盖。地形较为复杂, V字形沟谷纵横交错。该区出露地层由老至新依此为奥陶系中统马家沟组(O_2m_2)、峰峰组(O_2f), 石炭系中统本溪组(C_2b)、上统太原组(C_3t), 二叠系下统山西组(P_1sh)、下石盒子组(P_1x), 上统上石盒子组(P_2sh)、石千峰组(P_2s)及第四系(Q)。煤系地层为石炭、二叠系, 主采2[#], 3[#], 11[#]煤层; 煤系基底为奥陶系灰岩。井田基本构造形态为一走向北北东, 倾向北西西, 沿走向与倾向有波状起伏的单斜构造, 地层倾角一般在8°左右。

2 水文地质概况

煤系及上覆砂岩和灰岩含水层, 富水性和透水性不好, 含水量不大, 各含水层间多无水力联系; 煤系基

收稿日期: 2002-12-07

资助项目: 煤炭部青年科学技术基金项目(97-038)

作者简介: 唐亦川(1966—), 男(汉族), 四川泸州人, 讲师, 研究生同等学力, 从事于水文地质与工程地质方面的科研工作。E-mail: tangyc001@yahoo.com.cn.

底奥陶系灰岩岩溶裂隙含水层含水丰富,水文地质条件复杂,含水层与隔水层相间存在,构成多层结构的复合承压含水层。

该区主要河流有黄河和凿开河。黄河自北向南斜穿井田的全部新老地层;凿开河为横贯井田的主要河流,蜿蜒切过全部新老地层,由北西向东南注入黄河。

该区泄水条件良好而不利于降水的下渗,区内降水除在含水层、煤层露头区直接补给地下水外,大多数沿沟谷向下游河谷排泄。

3 含水层及水质特征

3.1 含水层特征

根据勘探及矿井生产资料,综合分析地层及其含水性,可将该井田含水层划分为以下 4 组。

3.1.1 第四系砂砾石层孔隙潜水中等含水层组(H_1) 主要分布于黄河、凿开河的河谷中,上部为冲积相的砂砾石,下部为底砾岩。近黄河边的砂、砾石层,渗透系数分别为 1.93, 6.73 m/d;水质多为 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+}$ 型水,矿化度小于 1.00 g/L。在丰水季节高水位下,该含水层组可补给该区其它含水层组,成为矿井水的来源之一。

3.1.2 二叠系砂岩裂隙承压弱含水层组(H_2) 主要含水层为上、下石盒子组底部,2[#]、3[#]煤层老顶及山西组底部的砂岩裂隙含水层。裂隙水主要储存于风化程度不同的中厚层状粉细砂岩中。上、下石盒子组含水层的渗透系数为 0.000 7~0.82 m/d,属弱含水

层,水质类型为 $\text{HCO}_3^- - (\text{K}^+/\text{Na}^+) - \text{Mg}^{2+}$ 型;山西组含水层的渗透系数一般为 0.004 m/d,亦属弱含水层,水质类型为 $\text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{2-} - \text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - (\text{K}^+ + \text{Na}^+)$ 型。 H_2 含水层组对矿井水的影响不大。

3.1.3 石炭系砂岩灰岩裂隙承压极弱含水层组(H_3) 主要有太原组石英砂岩、石灰岩、中粒砂岩与砾岩含水层。其渗透系数均在 0.000 21~0.008 8 m/d 之间,一般为 0.004 5 m/d,属极弱含水层,矿化度为 1.20 g/L,水质类型为 $\text{SO}_4^{2-} - \text{Ca}^{2+}$ 型。

3.1.4 奥陶系石灰岩溶隙溶洞承压强含水层组(H_4) 奥灰岩在桑树坪井田分布很广,岩性与地层组合较复杂,岩层产状与井田区域地层产状基本一致。可将井田内奥灰岩地层划分为 9 个含水性能不同的含(隔)水层段。

其中 O_2f^2 和 $O_2m_2^2$ 层段的渗透系数较大,为 1.00~9.47 m/d,属强含水层。 $O_2m_2^1$, $O_2m_1^3$, $O_2m_1^1$ 层段在压水试验中的单位吸水量均小于 0.10 L/(min·m·m), O_2f^1 层段在抽水试验中的单位涌水量为 0.003 L/(s·m),为相对隔水层。虽然各含水层含水性不同,但因构造断裂网络的连通作用,形成一个在空间上含水不均匀,但又相互连通的统一含水体,即由局部含水层与隔水层相间组成的复合含水体。是矿井水的主要来源,水量较大。

3.2 水质特征

3.2.1 煤系及上覆含水层水质特征 各含水层的水质情况如表 1 所示。

表 1 H_1, H_2, H_3 含水层取样水质

取水地点	总硬度	pH 值	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	总矿化度
Q_4	13.64	7.8	475.72	86.51	24.99	128.97	42.41	33.43	758.22
P_2s 砂岩泉水	9.56	7.9	238.24	26.24	14.72	35.33	39.87	17.31	376.93
P_2sh 砂岩泉水	9.24	7.8	225.76	36.02	12.41	35.87	45.09	12.76	372.03
P_{1x} 砂岩泉水	11.42	8.3	393.69	51.83	34.00	131.67	31.00	30.76	698.41
P_{1sh} 砂岩水	23.95	7.4	375.51	174.40	69.98	80.37	102.56	41.64	844.42
C_3t 砂岩水	95.48	7.4	371.11	14.07	31.98	55.50	576.43	64.31	1 114.40

从表 1 可看出, H_1, H_2 含水层中,水的硬度较小,矿化度低,均小于 1.00 g/L,阴离子以 HCO_3^- 为主,阳离子 Ca^{2+} 离子含量较大。 H_3 含水层中,水的硬度较大,离子含量特征与 H_1, H_2 含水层相同,矿化度略大于 1.00 g/L。

3.2.2 奥灰水水质

(1) 奥灰水水质在强含水段属 $\text{SO}_4^{2-} - \text{Cl}^- - \text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+}$ 型或 $\text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-} - \text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+}$ 型,矿化度为 1.17~1.67 g/L;在弱含水段水质属 $\text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{2-} - \text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+}$ 型,矿化度小于 1.00 g/L。二者水

质截然不同,说明在水力联系及补给径流条件上存在着较大差异。

(2) 在空间上,奥灰水水质有一定的变化规律。在横向上,由黄河河谷向井田内部,矿化度由小于 0.50 g/L 逐渐升高到 1.00~2.00 g/L,水质类型由 $\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+}$ 型变为 $\text{SO}_4^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+}$ 型;在垂向上,在 200 m 标高以上,其水质无显著变化,但在 200 m 标高以下, Cl^- , SO_4^{2-} 及 Na^+ , Ca^{2+} 含量剧增,由 $\text{SO}_4^{2-} - \text{HCO}_3^- - \text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+}$ 型变为 $\text{SO}_4^{2-} - \text{Cl}^- - \text{HCO}_3^- - \text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+}$ 型(见表 2)。

表2 奥灰水水质在垂向上变化 mg/L

取水部位	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Na ⁺	Ca ²⁺	总矿化度
钻孔上部	218.0	36.3	15.3	36.0	43.6	366.6
钻孔下部	278.7	408.7	334.0	174.5	208.7	1023.8

注:取水部位为125钻孔。

(3) 在时间上,奥灰水水质也存在着一一定的变化规律。根据抽水试验资料,抽水前期其矿化度较小,随后慢慢增大,当增大到一定的程度后,矿化度又慢慢变小。总之,通过分析比较,桑树坪井田内的奥灰水物

理性质良好,水质透明,水温 20℃~21℃,矿化度高,硬度大,为 SO₄²⁻—HCO₃⁻—Na⁺—Ca²⁺型水,代表了一种埋藏较深,径流条件差,处于半还原状态下的水质类型。

4 矿井水的再生利用

4.1 矿井水水质特征

桑树坪井田矿井水主要来源于奥灰水,其水化学特征与奥灰水相似(见表3)。

表3 奥灰水、矿井水水质分析对比表

水样	取水地点	硬度(H°)	pH值	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	矿化度
奥灰水	5#井底9#水仓	43.16	7.3	276.7	505.7	280.1	174.3	194.7	56.1	1488.6
奥灰水	5#井底供水井	39.75	7.1	278.3	404.6	70.0	20.4	189.5	57.6	1022.1
矿井污水	5#井底污水仓	34.91	7.8	248.7	527.1	88.0	118.2	128.2	73.5	1187.1
矿井污水	4#井底污水仓	33.17	7.5	294.3	490.6	147.5	177.8	153.5	50.7	1316.9

矿井水也具有硬度大,矿化度、SO₄²⁻含量高的特征。另外,随着矿床的开采,围岩地下水涌入矿坑时会携带大量矿尘、粉尘及大小不等的岩屑,使水质变差,特别是使水中悬浮物含量升高。再加上采矿过程中人类的活动,水中细菌、霉菌等繁殖增快,水质变得浑浊,感官状况不良^[4]。矿井水如直接外排,会使该区环境受到污染。因此,有必要对矿井水进行净化处理,解决矿区部分工业用水,甚至是生活用水问题。

4.2 矿井水治理

针对该井田矿井水矿化度高、硬度大及 SO₄²⁻含量较高,且水中还含有一定量悬浮物的特点,提出以物理—物理化学方法为基础,以膜技术(以电渗析为主)的净化处理方法,具体工艺流程见图1。

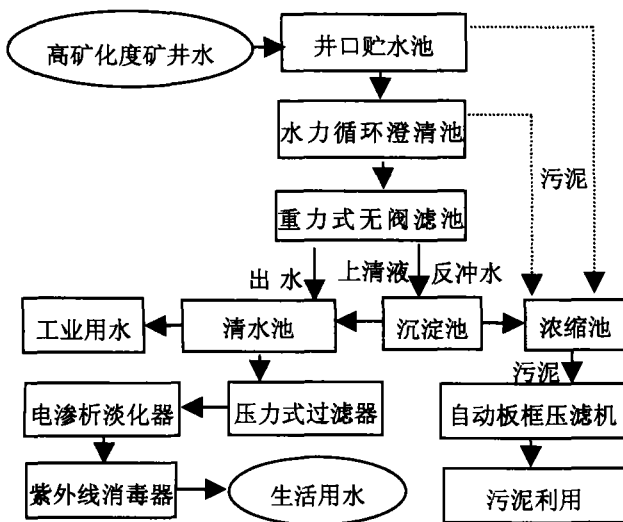


图1 矿井水处理工艺流程图

矿井水经水泵提升至地面贮水池,在贮水池停留过程中,部分较大颗粒的煤岩粉在此得到去除,贮水池出水与混凝剂混合后进入水力循环澄清池,经澄清和重力无阀滤池过滤后,进入清水池,再经压力式过滤器过滤后,进入电渗析器进行淡化处理,出水经紫外线消毒后,可作为生活用水^[5]。

在我国,采用膜技术对高矿化度、高硬度矿井水进行水处理已不乏成功经验,如徐州矿务局张集煤矿^[6]、淮北海孜矿水厂^[2]等。高矿化度、高硬度矿井水量约占我国北方部分重点统配煤矿矿井水量的30%^[7],因此,做好这部分矿井水的再生利用工作,是实现我国煤炭工业可持续发展战略和减少西部水土流失、实现“山川秀美”工程必不可少的重要措施。

[参考文献]

- [1] 张寿全. 中国的水环境与水资源可持续利用若干问题[J]. 工程地质学报, 1999, 7(3): 250—256.
- [2] 陈明智. 我国煤矿水资源保护开发和利用[J]. 煤矿环境保护, 1997, 11(1): 46—50.
- [3] 姜文来. 中国21世纪水资源安全对策研究[J]. 水科学进展, 2001(1): 66—71.
- [4] 邵爱军, 王晓东, 邵大开. 矿坑水进化处理与利用[J]. 水文地质工程地质, 1997, 24(1): 46—48.
- [5] 胡文容. 煤矿矿井水处理技术[M]. 上海: 同济大学出版社, 1996. 1—87.
- [6] 张惠, 朱淑飞, 鲁学仁. 膜技术在水处理中的应用与发展[J]. 水处理技术, 2002, 28(5): 256—259.
- [7] 何亚丽, 刘贵明. 矿井废水资源化研究[J]. 中国资源综合利用, 2002(10): 34—35.