

doi: 10.3724/SP.J.1201.2014.01105

肥城盆地矿井水特征识别与开发利用

仕玉治¹, 张保祥¹, 范明元¹, 杨小凤¹, 刘海娇¹, 张吉圣², 刘冬梅²

(1. 山东省水利科学研究院, 济南 250013; 2. 肥城市水资源办公室, 山东 肥城 271600)

摘要: 矿井非常规水资源开发利用对改善水生态环境和节约保护水资源具有重要的现实意义。以肥城盆地矿区为研究对象, 首先, 采用 Mann Kendall 和 Spearman 识别了 1982 年- 2011 年矿井涌水量时序变化特征, 同时对影响矿井涌水的关联因素进行相关性分析, 结果显示, 矿井涌水量呈现增长趋势, 矿井涌水量主要受盆地水文地质条件影响, 同时与煤炭开采量、降雨也存在一定相关性; 其次, 采用国际通用水化学分析软件 AquaChem5.1 识别矿井水化学特征与类型, 结果显示矿井水硬度与硫酸盐含量较高, 属于高矿化度、酸性矿井水; 最后, 在以上分析基础上, 建立矿井水合理开发利用模式, 可为肥城地下水环境保护和水资源可持续利用提供借鉴。

关键词: 肥城盆地; 矿井水; 特征识别; AquaChem; Mann Kendall

中图分类号: TV213.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2014)01-0105-05

Feature Identification and Development of Mining Water in Feicheng Basin

SHI Yuzhi¹, ZHANG Baoxiang¹, FAN Mingyuan¹, YANG Xiaofeng¹, LIU Haijiao¹, ZHANG Jisheng², LIU Dongmei²

(1. Water Resources Research Institute of Shandong Province, Jinan 250013, China;

2. Water Resources Department of Feicheng City, Feicheng 271600, China)

Abstract: Development and utilization of the unconventional water resources in the mine have important practical significance in improving ecological environment and saving water resources. In this paper, both Mann Kendall and Spearman methods were applied to identify the variation characteristics of mining water inflow from 1982 to 2011 in the Feicheng Basin mining area, and the impact factors affecting mining gushing water were analyzed. The results showed that mining water inflow has a significant increasing trend, which is mainly affected by the hydrogeological conditions in the basin and is also correlated with coal mining yield and rainfall. The international water chemical analysis software, AquaChem5.1 was adopted to identify the characteristics of mining water quality, and the results showed that mining water has high hardness and sulfate content, which suggested that it is high salinity and acid water. Based on the above analysis, the reasonable development and utilization mode of mining water was established to provide technical support for groundwater environment protection and sustainable utilization of water resources in the Feicheng Basin.

Key words: Feicheng Basin; mining water; feature identification; AquaChem; Mann Kendall

近年来,随着生态环境的不断恶化、水资源供需矛盾的日益突出,非常规水资源的开发利用研究受到人们关注。矿井水是一种非常规水资源,是伴随煤田开采过程产生的,具有较好水质和较易利用等特点^[1-2]。在最严格水资源管理制度实施与城市水生态文明建设的大背景下,加大矿井非常规水资源开发利用,既可缓解水资源供需矛盾,又避免水生态环境污染,对地下水环境保护和水资源可持续利用具有重要的现实意义。

针对矿井水资源化利用研究,已取得诸多成果^[3-8],内容

涉及三方面:(1)矿井涌水机理分析^[3];(2)矿井涌水量与可利用量评价^[4-5];(3)矿井水化学特征识别与水质处理技术^[6-8]。肥城煤田位于肥城盆地北部,1982年-2011年肥城盆地矿井水年均涌水量为2758万m³,占当地地下水供水量的24%,但其中只有少量用于灌溉季节提水灌溉和工业企业回用,其余则排入康王河及汇河,利用率较低,而且矿井水排放严重污染了河道水生态环境。目前,关于肥城盆地矿井水量水质特征、矿井涌水关联要素以及矿井水开发利用模式的研究程度较低,使得肥城盆地矿井水开发利用受到限制。本

收稿日期: 2013-07-23 修回日期: 2013-11-11 网络出版时间: 2013-12-17

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.3724/SP.J.1201.2014.01105.html>

基金项目: 水利部“948”项目“地下水灌抽两用井技术”(201227)

作者简介: 仕玉治(1980),男,山东莒县人,工程师,博士,主要从事水资源管理与开发利用研究。E-mail: syz101066@163.com

通讯作者: 张保祥(1966),男,山东寿光人,研究员,博士,从事地下水资源开发与水环境保护研究。E-mail: baoliang.zh@126.com

表1 1982年-2011年盆地矿井涌水量统计

Table 1 Statistics of mining water inflow of four districts in the Feicheng Basin from 1982 to 2011

时段	万 m ³ /a			
	西部	中部	东部	全区
1982-1989	268.89	581.39	886.26	1736.54
1990-1999	1092.94	909.72	818.85	2821.51
2000-2011	1801.77	819.61	765.14	3386.52
1982-2011	1156.72	786.12	815.34	2758.19

表2 不同区域1982年-2011年矿井涌水量趋势识别

Table 2 The trend of mining water inflow of four districts in the Feicheng Basin from 1982 to 2011

区域	MK			SP		
	Z	Z _{α2}	趋势	t	t _{α2}	趋势
西部	5.834	1.96	显著上升	12.778	2.0484	显著上升
中部	2.6226	1.96	显著上升	2.3671	2.0484	显著上升
东部	0.1249	1.96	不显著	0.1019	2.0484	不显著
全区	4.9241	1.96	显著上升	7.4641	2.0484	显著上升

东部区域矿井涌水量变化趋势不显著,全区域矿井排水总量呈现显著增加趋势。由图2可知,全区域每年增加矿井涌水量为86.29万m³,其中西部为72.96万m³,中部为15.32万m³,仅东部地区矿井涌水量略微减少1.99万m³。

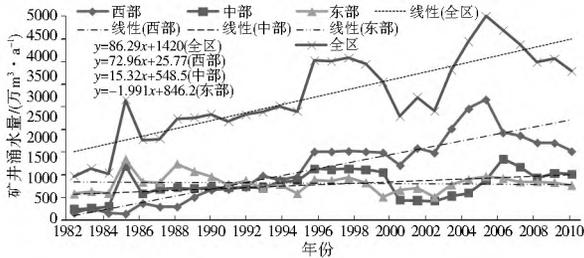


图2 不同分区历年矿井涌水量过程

Fig. 2 The hydrograph of mining water inflow of four districts in the Feicheng Basin from 1982 to 2011

2.1.2 矿井涌水量关联要素分析

通常,矿井涌水量受到自然因素和人为因素影响,其中自然因素主要包括水文地质条件、气候条件等,人为因素主要包括煤炭开采、封堵技术等^[3-8]。为进一步识别肥城盆地矿井涌水量变化关联因素,利用1982年-2011年序列的矿井涌水量和降水量以及2000年-2011年煤炭开采量数据,进行不同区域相关关系分析,结果见表3。全区矿井排水总量与降水、煤炭开采总量的相关分析结果分别见图3、图4。

表3 矿井涌水量与降水、煤炭开采量的相关性系数R

Table 3 The correlation coefficient R between mining water inflow and rainfall or coal mining yield

项目	西部	中部	东部	全区
降水	0.066	-0.060	-0.195	-0.009
煤炭开采量	0.233	-0.765	0.008	-0.595

由表3可知,矿井涌水量与降水相关性不大,而与煤炭开采量的相关性较大,且呈现负相关,即矿井涌水量随着煤炭开采量的减少而增加。分析其原因如下:(1)前期,在开采

二叠系上组煤时,间夹于第1层-4层煤之间的石炭二叠系薄层灰岩及砂岩裂隙水为主要充水水源,但其富水性弱,涌水量不大;(2)中期,开采石灰系下组煤时,在第5层-8层煤的顶部或底板分布的四层灰岩,一般均以井筒或巷道直接揭露而涌入矿井,但有些地段,第四层灰岩含水层与底部奥陶系灰岩含水层水力联系密切,涌水量较大;(3)后期开采石炭系第9层、10两层煤时,底部第五层徐家庄灰岩及奥陶系灰岩承压水沿着导水构造裂隙,以底鼓形式涌入矿井。由于区内断裂构造多,落差较大,从而使奥陶系灰岩含水层与第五层灰岩含水层在断层两侧直接对接或接近,奥陶系灰岩含水层以侧向或者垂向补给形式进入第五层灰岩含水层。第五层灰岩含水层是矿井主要含水层,奥陶系灰岩含水层是煤系各含水层的主要补给源,其富水性较大,涌水量也较大。

综合以上分析,肥城煤田矿井涌水量受水文地质条件影响较大,与降水、煤田开采量存在一定相关性,但相关性相对较小。

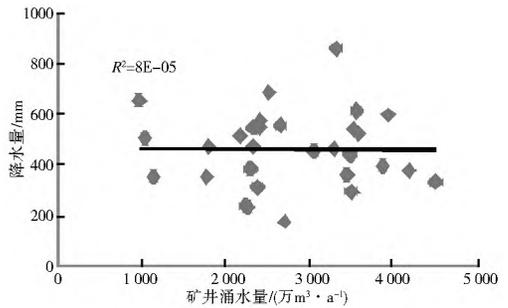


图3 全区矿井涌水量与降水量相关图

Fig. 3 The correlation between mining water inflow and rainfall

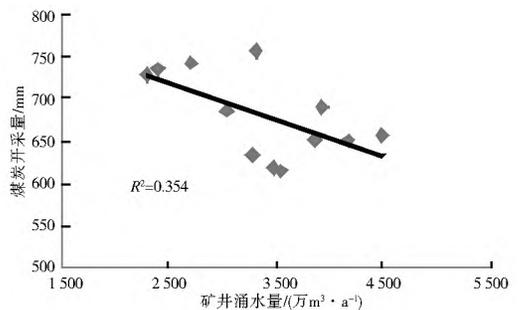


图4 全区矿井涌水量与煤炭开采量相关图

Fig. 4 The correlation between mining water inflow and coal mining yield

2.3 矿井水水质特征分析

AquaChem5.1是专门用于分析地下水化学数据的可视软件,具有强大的计算和分析功能,可针对一组水质数据,从不同角度选择多种图形表征地下水化学特性,具有较强的实用性。

2.3.1 矿井水主要离子图谱分析

受地质年代、地质构造、煤系伴生矿物成分、环境条件等因素的影响,肥城盆地矿井水水质变化较大。根据水样检验结果,采用AquaChem5.1软件绘制主要离子特征径向分布图、Piper图和Durov图,见图5、图6。

由图5可知,依据各煤区矿井水主要离子当量平衡关系,判断出各煤区矿井水的水化学类型:东部地区:聚源煤矿

为 $Ca Mg SO_4$ 型, 兴杨煤矿为 $Ca Mg HCO_3-SO_4$ 型, 曹庄煤矿为 $Ca Na Mg SO_4 HCO_3$ 型; 中部地区: 新陶阳煤矿为 $Ca Na Mg SO_4 HCO_3$ 型, 白庄煤矿为 $Ca Na Mg SO_4 HCO_3$ 型, 隆源煤矿为 $Na HCO_3-SO_4$ 型; 西部地区: 鑫国煤矿为 $Mg Ca Na HCO_3-SO_4$ 型, 鲁中能源为 $Ca Mg Na SO_4 HCO_3$ 型。

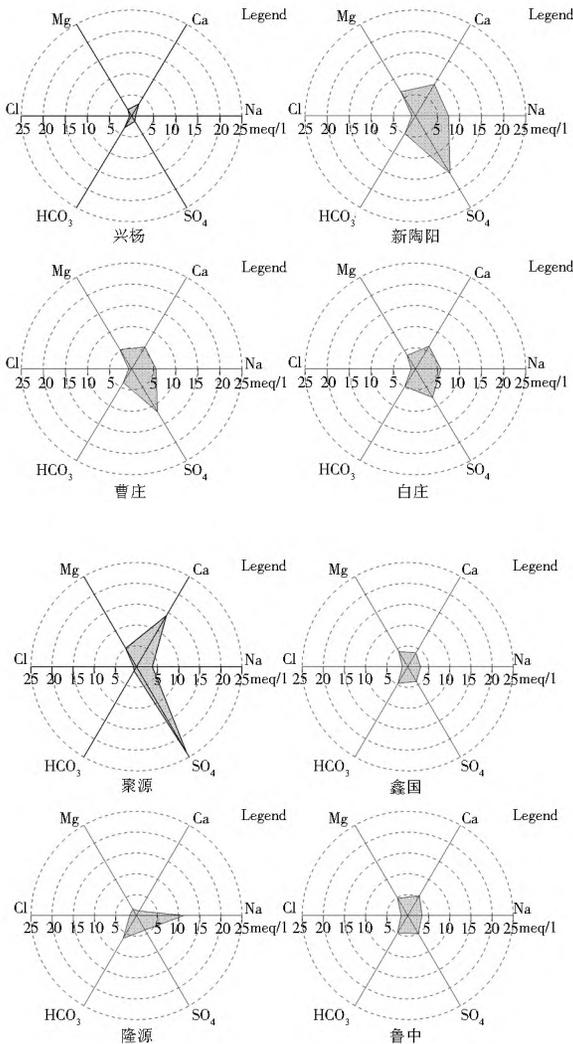


图 5 矿井水主要离子径向分布

Fig. 5 Radial distribution of major ions in mining water

由图 6 可知, 各煤矿矿井水中 Ca 离子含量分别占总离子数 9% ~ 61%, 但不同煤矿的含量不同, 排序依次为: 聚源 > 兴杨 > 鲁中能源 > 白庄 > 新陶阳 > 曹庄 > 鑫国 > 隆源; Mg 离子含量分别占总离子数 12% ~ 38%, 排序依次为: 鑫国 > 鲁中能源 > 曹庄 > 兴杨 > 新陶阳 > 白庄 > 聚源 > 隆源; Ca + Mg 离子含量分别占总离子数 21% ~ 85%, 排序依次为: 兴杨 > 聚源 > 鲁中能源 > 鑫国 > 新陶阳 > 曹庄 > 白庄 > 隆源; K + Na 离子含量分别占总离子数 15% ~ 79%, 排序依次为: 隆源 > 白庄 > 新陶阳、曹庄 > 鑫国 > 鲁中能源 > 聚源 > 兴杨; $CO_3 + HCO_3$ 离子含量分别占总离子数 4% ~ 62%, 排序依次为: 兴杨 > 隆源 > 鑫国 > 鲁中能源 > 白庄 > 曹庄 > 新陶阳 > 聚源; SO_4 离子含量分别占总离子数 29% ~ 93%, 排序依次为: 聚源 > 新陶阳 > 曹庄 > 白庄 > 鲁中能源 > 鑫国 > 隆源 > 兴杨; Cl 离子含量分别占总离子数 3% ~ 14%, 排

序依次为: 鲁中能源 > 鑫国、隆源 > 兴杨 > 白庄 > 曹庄、新陶阳 > 聚源; $SO_4 + Cl$ 离子含量分别占总离子数 38% ~ 96%, 排序依次为: 聚源 > 新陶阳 > 曹庄 > 白庄 > 鲁中能源 > 鑫国 > 隆源 > 兴杨。

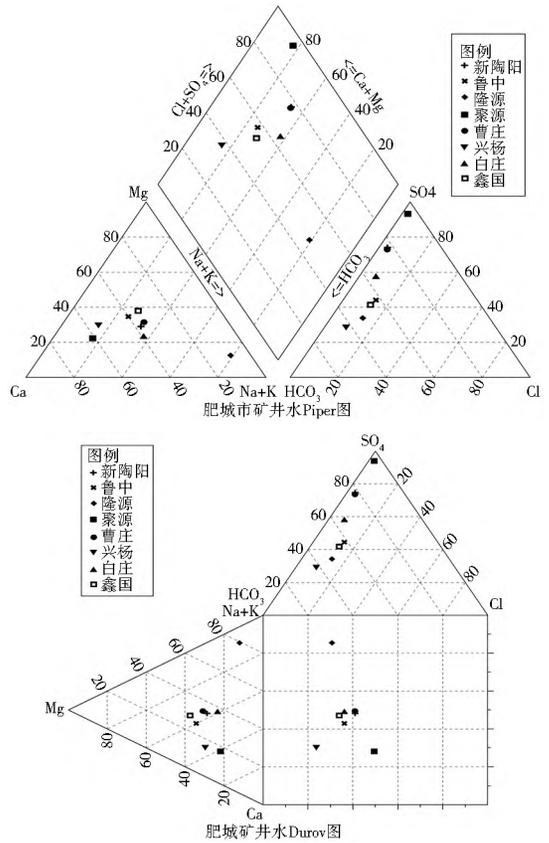


图 6 矿井水主要离子 Piper、Durov 图

Fig. 6 Piper and Durov diagrams of major ions in mining water

通过以上分析, 东部、中部地区矿井水水质相对较好, 西部矿井水硬度、硫酸盐等离子含量较高。按照矿井水类型一般分类方式^[1], 肥城盆地矿井水多属于高矿化度、酸性矿井水。

3 矿井水开发利用

“十二五”期间, 为增强经济核心竞争力, 肥城市规划了“两带三区四园”的产业空间布局: (1) 西部煤矿排水区域覆盖石横工业园区, 园区重点发展现代物流、机械加工、装备制造、精细化工四大主导产业, 工业用水较大, 同时石横镇工业用水大户石横电厂、特钢厂, 均是西部矿井水利用的潜在用户; (2) 中部煤矿排水区域覆盖高新技术开发区, 建有精细化工、机械加工等为主的 30 多家企业, 工业用水较大; (3) 东部煤矿排水区域覆盖老城工业园区, 园区着力打造基础化工、精细化工等主导产业, 工业用水较大。

综合考虑到矿井水水量的水质空间分布规律, 以及园区潜在工业用水需求, 兼顾生态与农业灌溉用水, 本文在矿井水水量和水质分析的基础上, 结合矿井水潜在用户, 建立肥城市矿井水开发利用模式, 矿井水净化处理后用于工业, 之后经过污水处理厂处理, 排入汇河作为河道生态补水与农业灌溉用水。肥城盆地矿井水开发利用模式见图 7。

在生态利用和工业利用前进行净化处理的步骤主要分两

步:首先,采用混凝沉淀过滤法,对离子超标矿井水进行预处理,使其达到生态用水和工业用水标准;其次,若是水中总硬度、硫酸盐含量或其他指标仍然偏高,选用电渗析、反渗透或纳滤法进行二次处理。其水质处理工艺流程为:矿井水→调节池→加药混合→水力旋流器→净化设备→电渗析、反渗透(需提前酸化)或纳滤器→紫外线消毒器→生态或工业用水。

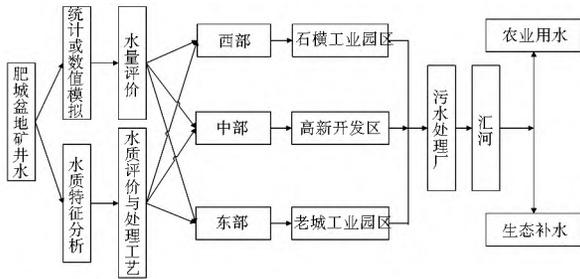


图7 肥城盆地矿井水开发利用模式

Fig. 7 The development and utilization mode of mining water in the Feicheng Basin

4 结论

肥城盆地矿井水现状利用率较低,工业用水潜在需求较大。对1982年-2011年矿井涌水量长序列数据分析发现,矿井水总体呈现显著增长趋势,且受水文地质条件影响较大。利用AquaChem5.1软件分析,矿井水质硬度和硫酸盐离子含量较高,需建立合理可行的矿井水处理工艺。根据肥城市区域发展规划,结合矿井水水质特征与空间分布规律,提出了肥城盆地矿井水资源开发利用模式。如果每年近3000万m³的矿井水得到充分利用,将对缓解城市水资源紧张、改善水生态环境具有重大意义。

参考文献(References):

[1] 何绪文,杨静,邵立南,等.我国矿井水资源化利用存在的问题与解决对策[J].煤炭学报,2008,33(1):63-66.(HE Xurwen, YANG Jing, SHAO Lirnan, et al. Problem and Countermeasure of Mine Water Resource Regeneration in China[J]. Journal of China Coal Society, 2008, 33(1): 63-66. (in Chinese))

[2] 张树军,许士国,高尧,等.淮北市采煤沉陷区非常规水资源开发利用研究[J].水电能源科学,2010,28(7):27-30.(ZHANG Shurjun, XU Shirguo, GAO Rao, et al. Study on Unconventional Water Resources Utilization of Coal Mining Subsidence Areas in Huaibei City[J]. Water Resources and Power, 2010, 28(7): 27-30. (in Chinese))

[3] 王其虎,叶义成,刘艳章,等.矿坑涌水对大气降水的响应分析

及预测[J].安全与环境学报,2012,12(1):182-185.(WANG Qirhu, YE Yircheng, LIU Yanzhang, et al. Response Analysis and Forecasting of the Pit-water Due to the Rainfall[J]. Journal of Safety and Environment, 2012, 12(1): 182-185. (in Chinese))

[4] 邢艳允,陶月赞,刘佩贵.矿坑用水可利用量研究[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2012,35(6):794-798.(XING Yanyun, TAO Yuezan, LIU Peigui. Research on Available Quantity of Mine Pit Water[J]. Journal of Hefei University of Technology, 2012, 35(6): 794-798. (in Chinese))

[5] 孙娟,江行久.五龙煤矿涌水量及可利用水量评价[J].水资源保护,2010,26(3):27-29.(SUN Juan, JIANG Xingjiu. Water Yield and Evaluation of Available Water of Wulong Coal Mine [J]. Water Resources Protection, 2010, 26(3): 27-29. (in Chinese))

[6] 冯启言,王华,李向东,等.华东地区矿井水的水质特征与资源化技术[J].中国矿业大学学报,2004,33(2):194-196.(FENG Qiryan, WANG Hua, LI Xiangdong, et al. Characteristics and Utilization of Mine Water in East China[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2004, 33(2): 194-196. (in Chinese))

[7] 莫樊,郁钟铭,吴桂义,等.煤矿矿井水资源化及综合利用[J].煤炭工程,2009,(6):103-105.(MO Fan, YU Zhongming, WU Guirui, et al. The Regeneration and Utilization of Mine Water Resources[J]. Coal Engineering, 2009, (6): 103-105. (in Chinese))

[8] 田华.河南省矿井水资源化研究[J].水利水电技术,2012,43(3):6-8.(TIAN Hua. Study on Resourceization of Mille Water in Henan Province[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2012, 43(3): 6-8. (in Chinese))

[9] 范明元,李福林,仕玉治,等.黄河下游利津站入海水沙通量时序变化特征识别[J].水资源保护,2012,28(1):5-8.(FAN Mingyuan, LI Furin, SHI Yuzhi, et al. Identification of Characteristics of Time Series Change of Water and Sand Flux at Lijin Hydrological Station in Lower Yellow River[J]. Water Resources Protection, 2012, 28(1): 5-8. (in Chinese))

[10] 杨郦城,沈照理,文东光,等.鄂尔多斯白垩系地下水盆地硫酸盐的水文地球化学特征及来源[J].地球学报,2008,29(10):553-562.(YANG Yurcheng, SHEN Chaoli, WEN Dongguang, et al. Hydrochemical Characteristics and Sources of Sulfate in Groundwater of the Ordos Cretaceous Groundwater Basin[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2008, 29(10): 553-562. (in Chinese))

(上接第96页)

2001, 73(4): 466-477.

[26] Eva M S, Uli M, Peter G. Performance Evaluation of Different Horizontal Subsurface Flow Wetland Types by Characterization of Flow Behavior Mass Removal and Depth-dependent Contaminant Load[J]. Water Research, 2013, 47: 769-780.

[27] 宋新山,张涛,严登华,等.不同布水方式下水平潜流人工湿地的水力效率[J].环境科学学报,2010,30(1):117-123.(SONG Xirshan, ZHANG Tao, YAN Denghua, et al. Hydraulic Efficiency of Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetlands for Differential Inflow Configuration[J]. 2010, 30(1): 117-123. (in Chinese))

的水力效率[J].环境科学学报,2010,30(1):117-123.(SONG Xirshan, ZHANG Tao, YAN Denghua, et al. Hydraulic Efficiency of Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetlands for Differential Inflow Configuration[J]. 2010, 30(1): 117-123. (in Chinese))