

# 废弃矿井地下水污染风险评价系统开发

李庭,冯启言,周来,朱雪强

(中国矿业大学环境与测绘学院,江苏徐州 221116)

**摘要:**随着我国关闭矿井的逐年增多,矿井废弃后对地下水的污染问题也日益凸显。本文通过对废弃矿井污染地下水主要模式的分析,筛选出评价指标并利用迭置指数法构建出评价模型,基于.NET平台利用数据库技术与C#语言设计与开发了废弃矿井地下水污染风险评价系统。该系统可以快速地对已关闭或规划关闭的矿井的地下水污染风险进行评价,对规范废弃矿井的管理和煤矿建设项目后评价具有重要意义。

**关键词:**废弃矿井;地下水污染;风险评价

中图分类号:X523

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2014)02-0013-04

## DESIGN AND DEVELOPMENT OF GROUNDWATER CONTAMINATION RISK ASSESSMENT SYSTEM FOR ABANDONED COAL MINES

LI Ting, FENG Qi-yan, ZHOU Lai, ZHU Xue-qiang

(*School of Environment Science and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China*)

**Abstract:** Based on the research for the groundwater pollution mode in abandoned coal mines, this study built a groundwater contamination risk assessment model for abandoned coal mines firstly. After that, system software was designed and developed based on this model. This system software is developed with .NET technology using C# programming language. Coal mines which have been closed or will be shut down could be assessed quickly for groundwater contamination risk by this system software.

**Keyword:** Abandoned coal mines; groundwater contamination; risk assessment.

我国对煤炭资源的高强度开采已使部分老矿区煤炭资源趋于枯竭,如淄博、徐州、肥城、枣庄、峰峰、焦作、沈阳等矿区,部分井工矿井开采深度已接近开采极限。由于煤炭资源枯竭、深部煤层赋存条件复杂、开采条件恶劣、瓦斯、水害、地热等灾

害频发,致使很多煤矿已经关闭或即将关闭。同时,为了保证煤炭资源安全和有序开采,国家陆续出台了相关政策,大力整合煤炭资源,已对数万小煤矿进行了关闭和整合,根据能源局的统计,我国的煤矿数量已从1990年的80 000多处减到目前的13 000余处。在未来几年,废弃矿井还将继续增加,废弃矿井带来的安全与环境问题也将愈发突出,其中,废弃矿井引发的地下水污染将越来越

收稿日期:2014-02-18

基金项目:环保公益性行业科研专项基金(201109011)

第一作者简介:李庭(1981-),男,江苏徐州人,博士研究生,主要研究方向为地下水资源评价与管理。

严重,并会带来一系列水环境安全风险,因此,监控和评估废弃矿井的地下水污染风险并制定和采取有效的保护措施对废弃矿井的安全处置和矿区水环境保护具有重要意义。

国外对矿井闭坑后污染地下水的研究始于20世纪80年代,美国、德国、韩国等地的研究者通过长期的监测、大量的实验以及数值模拟等方法进行了相关研究<sup>[1-3]</sup>。例如 Paul L. Younger 等,对废弃矿井水的水质变化、水文地球化学、废弃矿井水系统模型概化、地下水回弹淹没矿井的过程等作了深入研究<sup>[4-6]</sup>。国内方面,煤炭科学研究总院西安研究院的虎维岳、周建军等学者对废弃矿井地下水污染特征、含水介质场特征和地下水回灌等进行了研究<sup>[7-10]</sup>,另外辽宁工程技术大学、中国矿业大学的部分学者也开展了闭坑对地下水系统的污染及防治的研究<sup>[11,12]</sup>。目前,我国尚无废弃矿井地下水污染风险评估的相关研究,更缺乏相关的评价系统及软件,矿井闭坑后对地下水的危害无法度量与预测,不利于相关部门的管理与监督。为此,本文研究与构建了废弃矿井污染地下水污染风险评估模型,并基于该模型设计与开发了废弃矿井地下水污染风险评估系统。该系统可以快速地对已关闭或规划关闭的矿井进行地下水污染风险进行评价,对规范废弃矿井的管理和煤矿建设项目后评价具有重要意义。

## 1 废弃矿井地下水污染风险评估方法

### 1.1 废弃矿井地下水污染主要模式

矿井关闭停止疏排水后,水位逐渐回弹,随着回弹水位的不断增高,矿井水有可能反向补给含水层,从而造成地下水污染。根据废弃矿井与目标含水层之间的水力联系类型,可以将废弃矿井污染地下水的主要模式分为以下4种:

(1)顶板导水裂隙串层污染:煤层开采对覆岩造成极大的破坏,形成导水裂隙带,开采时导水裂隙带范围内含水层地下水下泄,形成矿坑涌水,当煤矿关闭停止排水后,水位回弹至初始水位,矿井中的污染物随着地下水的运移而迁移,造成上覆含水层的串层污染,甚至顶托污染第四系松散含

水层。

(2)底板采动裂隙串层污染:煤层开采造成底板岩层破坏,裂隙发育,沟通了矿坑与底板含水层的联系,当底板含水层水位低于回弹水位时,矿井水将污染底板含水层。

(3)封闭不良钻孔串层污染:煤田勘探和生产阶段,需要施工大量的钻孔,包括地质孔、水文地质孔、井下放水孔、瓦斯抽放孔等等,这些钻孔部分封闭不良造成不同含水层的水力联系,矿井污染物通过这些钻孔进入含水层,污染地下水。

(4)断层或陷落柱串层污染:采煤过程中,断层或陷落柱是煤矿突水的重要通道,煤矿关闭后水位回弹,矿井水携带污染物反补给含水层,从而造成地下水污染。

### 1.2 废弃矿井地下水污染风险分析

通过前面对矿井废弃后污染地下水的模式的分析,整个污染风险可以总结为以下三个部分:

(1)污染源风险:可以将整个废弃矿井视为污染源,风险主要来自于煤炭开采等人为活动对煤系含水层的影响与破坏,以及产生污水的水质及水量。

(2)污染通道风险:污染物迁移主要是受作为通道的煤系含水层的渗透性的影响。此外,废弃矿井回弹水位与目标含水层最低水位的水力梯度差,以及两者之间的位置关系也是重要的风险因素。

(3)污染受体风险:污染受体的风险主要是指目标含水层遭受污染后的损害程度,评价指标主要有水量、水质和功能。

### 1.3 评价指标体系及评价模型

根据废弃矿井地下水污染模式及污染风险分析,本文筛选出包括污染源风险、污染通道风险、污染受体危害性3大影响因素的15个评价指标,见表1。

在评价指标确定后,还需要确定指标的权重,用来反映各个指标对整体风险“贡献”的大小。本项目选用目前最常使用的层次分析法,经过计算后各指标的权重大小见表1。

表 1 废弃矿井地下水污染风险评价指标体系

类别	评价指标名称	高风险等级	中风险等级	低风险等级	权重
污染源 风险 指标	矿井开采面积(km <sup>2</sup> )	≥60	30~60	≤30	0.0724
	矿井排水影响半径(km)	≥1.5	0.5~1.5	≤0.5	0.0781
	矿井正常涌水量 Q(m <sup>3</sup> /h)	≥600 (西北地区≥180)	180~600 (西北地区 90~180)	≤180 (西北地区≤90)	0.0651
	矿井水水质复杂度	污染物 类型数≥2 需预测的水质 指标≥6	污染物 类型数≥2 需预测的水质 指标<6	污染物 类型数=1 需预测的水质 指标≥6	污染物类型数=1 需预测的水质 指标<6
	矿井水水质	V 类	IV 类	I~III 类	0.1271
污染通道 风险指标	煤系主要充水含水层 渗透系数(m/d)	≥50	10~50	≤10	0.0365
	煤系主要充水含水层厚度(m)	≥60	30~60	≤30	0.0362
	断层导水性	强	中	弱	0.0387
	不良钻孔(个)	>6	3~6	<3	0.0278
污染受体 危害性 指标	闭坑回弹水位与目标含水层 水位关系	高于	近似	低于	0.0559
	目标含水层相对废弃矿井的 位置关系	正下游	侧下游	上游	0.0447
	目标含水层敏感性(功能)	集中水源地	分散式水源地	其它地区	0.0760
危害性 指标	目标含水层取水量(m <sup>3</sup> /d)	≥50 000	10 000~50 000	≤10 000	0.0558
	目标含水层水质	I~III 类	IV 类	V 类	0.0837
	目标含水层岩性	岩溶	裂隙	孔隙	0.0621

最后,基于迭置指数法的原理与方法,采用加权求和法建立废弃矿井地下水污染风险评价综合指数模型,见公式 1。

$$R = \sum_{i=1}^{15} \omega_i x_i$$

式中,R 为废弃矿井地下水污染风险评价综合指数, $x_i$  为第  $i$  个评价指标的评分值, $\omega_i$  为第  $i$  个评价指标的权重。

## 2 评价系统设计与开发

### 2.1 系统开发环境

本系统采用 .Net Framework 技术开发,开发工具选择微软的 Visual Studio 2010,开发语言选用的 C#。在数据存储方面,由于本系统主要侧重于风险评价,而非信息管理系统,数据量不大,对数据库要求不高。因此,在综合考虑更好移植性、兼容性以及用户安装难易程度的基础上,本系统采用 Access。

### 2.2 系统结构设计

废弃矿井地下水污染风险评价系统的核心功能需求是,实现政府管理者、矿山企业等不同用户能够快速利用该系统,对矿井闭坑后污染地下水的风险等级进行初步识别,并给出相应的防治方案,为相关部门的管理与监督提供参考。根据对功能需求的分析,系统结构设计如图 1 所示。系统核心功能为风险评价功能与评价项目管理,配置与帮助菜单为辅助功能。

### 2.3 数据库设计

通过对废弃矿井地下水污染风险评价功能需求的分析,设计如下实体:

(1)项目信息表:存储评价项目的相关信息,主要包括项目名称、评价用户、评价时间、矿井名称、地点、评价单位、闭矿时间、评价状态、评价结果、说明等字段。

(2)参数信息表:存储评价项目的具体参数信息,包括工程名称,以及十五个评价指标。

(3)用户信息表:主要包括用户名、密码、申请

时间、权限等字段。

(4)配置信息表:存储系统分级参数配置信息,包括各个评价指标的分级信息、权重等。

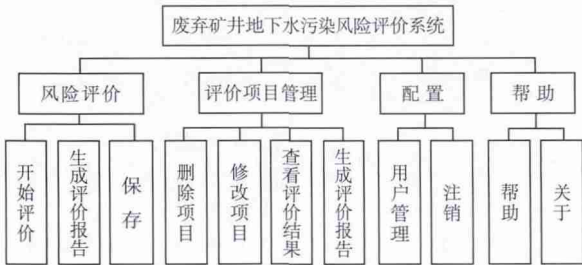


图 1 系统结构

### 2.4 主要功能的实现

(1)系统主界面:用户登录后进入系统首页界面(如图 2 所示),在系统首页界面上集成了“开始评价”、“项目管理”与“系统介绍”这三个主要功能。首次使用系统的用户,可以通过“系统介绍”功能对系统功能、特点以及系统使用进行了解和学习。



图 2 系统首页界面

(2)风险评价:用户在系统首页界面点击“开始评价”按钮后,进入风险评价模块。风险评价模块的菜单组主要以流程化的工具提供交互界面,实现对废弃矿井地下水污染风险评价。开始评价后,首先会弹出新建项目信息对话框,让用户输入废弃矿井的相关信息。完成新建项目信息输入后,系统会按照顺序,让用户输入十五个评价指标的参数,如图 3 所示。系统在界面中提供了详细的参数说明信息,同时,并提供了后台参数验证功能,以保证用户输入的正确、有效。

用户输入完参数后,单击评价按钮,即可显示

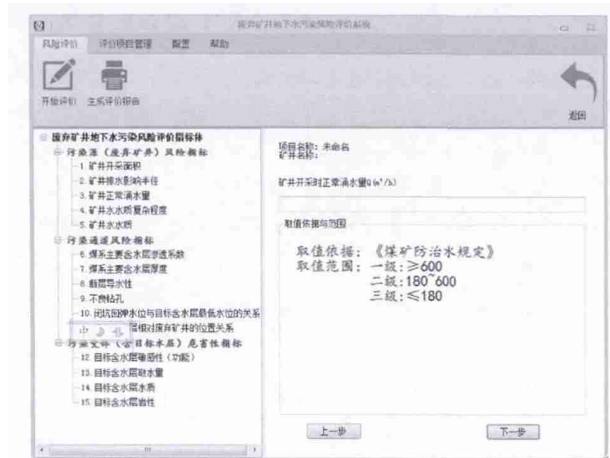


图 3 评价指标的参数输入界面

该矿区的风险评价总分与分级情况。评价完成后,系统会自动生成标准 Word 格式的评价报告。

### (3)评价项目管理

评价项目管理界面如图 4 所示,界面左边为历史项目名称,右边为具体的项目信息。该功能模块可以让用户对历史评价项目进行查询、删除、修改评价参数、查看评价结果、重新生成评价报告等管理操作。

## 3 结语

本系统基于对废弃矿井地下水污染风险研究的基础上,通过信息化技术设计与开发了废弃矿井地下水评价系统软件。该系统有良好的人机交互,用户只需要按照系统的指示一步一步的操作即可完成整个评价,实现了让政府管理者、矿山企业等不同层次的用户都能快速对矿井闭坑后污染地下水的风险进行评价的目标,利于推广,可以为相关部门对废弃矿井的管理与监督提供参考。当然该系统在功能上、适应性上也还有许多不足,有待进一步的完善与改进。

## 参考文献

[1] Wolkersdorfer C. Water management at abandoned flooded underground mines[M]. Springer, 2008.

[2] Cravotta III C A. Dissolved metals and associated constituents in abandoned coal-mine discharges, Pennsylvania, USA. Part 1: Constituent quantities and correlations [J]. Applied Geochemistry, 2008,23(2):166-202.

[3] Cheong Y W, Yim G, Ji S W, et al. Water quality changes of a closed underground coal mine in Korea.[J]. Environmental monitoring and assessment, 2012,184(1):503-513.

(下转第 8 页)

[13] Roger Matta, Khalil Hanna, Serge Chiron .Fenton-like oxidation of 2, 4, 6-trinitrotoluene using different iron minerals [J]. Science of the Total Environment, 2007, 385: 242–251.

[14] Marcio Barreto-Rodrigues, Flávio T. Silva, Teresa C.B. Paiva. Combined zero-valent iron and fenton processes for the treatment of Brazilian TNT industry wastewater [J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, 165:1224–1228

[15] Huang Jun, Tang Wanying , Zhou Shenfan . Preliminary study on the treatment of TNT redwater by wet peroxide oxidation under normal pressure [J]. Chinese Journal of Explosives and Propellants, 1998, 4 (3): 482–501.

[16] Chang Shuangjun, Liu Yucun. Degradation mechanism of 2,4,6-

trinitrotoluene in supercritical water oxidation [J]. Journal of Environmental Sciences, 2007,19 (12):1430~1435.

[17]Dimitrios Kalderis, Steven B. Hawthorne, Anthony. A. Clifford, Evangelos Gidaracos.Interaction of soil, water and TNT during degradation of TNT on contaminated soil using subcritical water [J]. Journal of Hazardous Materials, 2008, 159: 329–334

[18] Hundal L S,Singh J, Bier E L,et al.Removal of TNT and RDX from water and soil using iron metal [J].Environmental Pollution, 1997,97(1-2):55–64.

[19] Zhang Xin, Lin Yu-man, Chen Zu-liang.2, 4, 6-Trinitrotoluene reduction kinetics in aqueous solution using nanoscale zero-valent iron [J].Journal of Hazardous Materials, 2009, 165: 923–927.



(上接第 4 页)

力跨区域大规模流动的必然性。同时,煤炭在终端能源消费中所占比例过大引发的能源效率低下和一系列环境问题也越来越受到重视。基于此点,我国能源结构优化迫在眉睫,应鼓励新能源、可再生能源和清洁能源发展,电力结构的调整在加大水电、核电和其他可再生能源比重的同时,更应当关注煤电的优化发展。

### 参考文献



(上接第 16 页)

[4] Younger P L. Coalfield abandonment: geochemical processes and hydrochemical products [J]. Nicholson K., Energy and the Environment. Geochemistry of Fossil, Nuclear and Renewable Resources. Society for Environmental Geochemistry and Health. McGregor Science, Aberdeenshire, 1998:1–29.

[5] Younger P L. Predicting temporal changes in total iron concentrations in groundwaters flowing from abandoned deep mines: a first approximation[J]. Journal of Contaminant Hydrology, 2000,44(1):47–69.

[6] Adams R, Younger P L. A strategy for modeling ground water rebound in abandoned deep mine systems [J]. Ground Water, 2001,39

[1] 邹璇.能源结构优化与经济增长[J],经济问题探索,2010,(7): 33.

[2] 王庆一.中国能源资源状况评析(上)[R],节能与环保,2008,(5):12.

[3]《2011 年中国统计年鉴》[M].中国统计出版社,2011.

[4] 倪维斗,我国的能源问题与对策[J].宁波大学学报(人文科学版),2009(1):5–8.

[5] 董维武编译.世界煤炭生产与消费趋势[J].中国煤炭,2006 (12): 76–78.

[6] 付融冰.中国能源的现状[J].能源环境保护,2005 ( 1):8 –12.

[7] 曹新.中国能源结构调整探讨[J].中国国情国力,2009(4):13–15.

[8] 虎维岳,闫兰英.废弃矿井地下水污染特征及防治技术 [J]. 煤矿环境保护,2000(04):37–38.

[9] 周建军,虎维岳,刘英锋.废弃矿井含水介质场特征和水流运动特征分析[J].煤炭科学技术,2011(01):107–110.

[10] 周建军,虎维岳,侯大勇.废弃矿井地下水淹没过程的水流与水位数值模拟[J].煤田地质与勘探,2011(04):28–31.

[11] 冯美生.废弃煤矿对地下水污染研究[D].辽宁工程技术大学,2007.

[12] 刘埔,孙亚军.闭坑矿井地下水污染及其防治技术探讨[J].矿业研究与开发,2011(04):91–95.



(上接第 19 页)

[2] 王锦,赵玲,毛维东,等.膜法处理淮南矿区矿井水的试验研究[J].能源环境保护,2009,23(4):19–21.

[3] 汤芳,孙迎雪,石晔,等.污水再生处理微滤-反渗透工艺经济分析[J].环境工程学报,2013,7(2):417–421.

[4] 毛维东,周如禄.矿井水反渗透处理系统设计要素[J].辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2013,32(7):916–919.

[5] 潘献辉,阮国岭,赵河立,等.天津反渗透海水淡化示范工程(1000m<sup>3</sup>/d)[J].中国给水排水,2009,25(2):73~77.

[6] 侯琤斐,任虹,彭乙雪,等.膜分离技术在食品精深加工中的应用[J].食品科学,2012,33(13):287–291.

[7] 于鲁冀,唐敏,刘培,等.超滤-反渗透集成膜技术深度处理酒精废水[J].环境科学与技术,2012,35(7):82~85.

[8] 王建泰,李天增,苏宏,等.反渗透处理尾矿废水脱盐率的影响因素研究[J].工业水处理,2009,29(2):32~34.

[9] 陈益棠,陈雷.高回收率反渗透-纳滤海水淡化成本[J].水处理技术,2004,30(5):251~254.

[10] 任建新.膜分离技术及其应用[M].北京:化学工业出版社,2003.