

文章编号:1671-251X(2017)08-0072-04

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2017.08.014

# 煤矿地下水实时跟踪监测预警系统设计

邢朕国<sup>1,2,3</sup>, 杜文凤<sup>1,2</sup>, 梁喆<sup>1,4</sup>, 胡进奎<sup>1,2</sup>

(1. 中国矿业大学(北京)煤炭资源与安全开采国家重点实验室, 北京 100083; 2. 中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院, 北京 100083; 3. 神华集团煤炭开采水资源保护与利用国家重点实验室, 北京 100011; 4. 安徽理工大学电气与信息工程学院, 安徽淮南 232001)

**摘要:**为提高煤矿地下水水文监测和水害预测水平,设计了一种基于智能水位计的煤矿地下水实时跟踪监测预警系统。该系统采用水敏传感器的金属探针判断智能水位计是否在含水层中,当水位下降至低于智能水位计时,可将智能水位计自动下放入水,从而避免产生伪数据;采用压力传感器获取水压数据,并通过上位机软件对数据进行拟合分析,进而计算出水位。测试结果表明,该系统工作稳定,对含水层水位的测量误差不超过2 cm,且能够在5 s内对含水层水位突变进行预警。

**关键词:**煤炭开采;地下水;水文环境;实时跟踪;水文监测;水害预警

中图分类号:TD745.2

文献标志码:A

网络出版时间:2017-07-27 10:20

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20170727.1020.014.html>

## Design of real-time tracking monitoring and early warning system for coal mine groundwater

XING Zhenguo<sup>1,2,3</sup>, DU Wenfeng<sup>1,2</sup>, LIANG Zhe<sup>1,4</sup>, HU Jinkui<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, China University of Mining and Technology(Beijing), Beijing 100083, China; 2. College of Geoscience and Surveying Engineering, China University of Mining and Technology(Beijing), Beijing 100083, China; 3. State Key Laboratory of Water Resource Protection and Utilization in Coal Mining, Shenhua Group, Beijing 100011, China; 4. School of Electrical and Information Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

**Abstract:** In order to improve hydrological monitoring of coal mine groundwater and water disaster prediction level, a real-time tracking monitoring and early warning system for coal mine groundwater based on intelligent water level meter was designed. The system uses metal probes of a water sensor to judge whether the intelligent water level meter is in aquifer, and downs the intelligent water level meter into water automatically when water level drops below the intelligent water lever meter, so as to avoid pseudo data. The system obtains water pressure data through a hydraulic sensor, and uses upper computer to fit and analyze the data, so as to calculate water level. The test results show that the system can run stably and early warn water level mutation of aquifer in 5 s, whose measurement error of water level is not more than 2 cm.

收稿日期:2017-03-27;修回日期:2017-07-15;责任编辑:李明。

基金项目:“十三五”国家重点研发计划资助项目(2016YFC0501102);国家科技重大专项资助项目(2016ZX05066-001);煤炭开采水资源保护与利用国家重点实验室开放基金资助项目(SHJT-16-30.1)。

作者简介:邢朕国(1993—),男,吉林扶余人,硕士研究生,研究方向为地球探测与信息技术、采矿工程,E-mail: xing-919@qq.com。

引用格式:邢朕国,杜文凤,梁喆,等.煤矿地下水实时跟踪监测预警系统设计[J].工矿自动化,2017,43(8):72-75.

XING Zhenguo, DU Wenfeng, LIANG Zhe, et al. Design of real-time tracking monitoring and early warning system for coal mine groundwater[J]. Industry and Mine Automation, 2017, 43(8): 72-75.

**Key words:** coal mining; groundwater; hydrological environment; real-time tracking; hydrological monitoring; early warning of water disaster

## 0 引言

中国煤矿地下水水文环境正遭受不同程度的破坏,出现含水层水位下降、水质恶化、近地表塌陷等问题<sup>[1-4]</sup>。据不完全统计,全国煤矿每年疏排矿井水超过 2.2 亿 m<sup>3</sup>,造成众多泉水断流,周边居民饮用水困难;全国煤矸石积存量约 30 亿 t,其淋滤液会对地下水水质造成影响。以山西省古交市为例,辖区内长期、大量开采地下水的煤矿、选煤厂、焦化厂众多,10 a 内辖区地下水水位下降 89 cm,地下水资源遭到严重破坏。在煤炭开采活动对地下水水文环境造成影响的同时,地下水也对矿区正常生产造成不便甚至引发事故<sup>[5]</sup>。因缺乏对煤炭开采全周期地下水监测工作而引起的大量事故给安全监管部门和煤矿企业敲响了警钟,井工煤矿和露天煤矿都将水害列为重点预防对象,对煤层上部含水层和近底板含水层加以全面查明和控制。

在基本掌握地下水赋存与分布特征的基础上,建立地下水长期监测网络,是提高地下水资源研究水平、准确评价地下水水文环境的重要手段<sup>[6-10]</sup>。为提高煤矿与安全监管部门的水文监测、水害预测水平,本文设计了一种基于智能水位仪的煤矿地下水实时跟踪监测预警系统。该系统以对含水层水位实时跟踪和突变预警为核心,具有测量精度高、操作简单等优点。

## 1 系统架构

煤矿地下水实时跟踪监测预警系统由传感器单元、嵌入式处理系统、地表井筒部分和上位机系统组成,如图 1 所示。传感器单元即智能水位仪,其由水敏传感器、水位传感器和水温传感器组成,分别用于

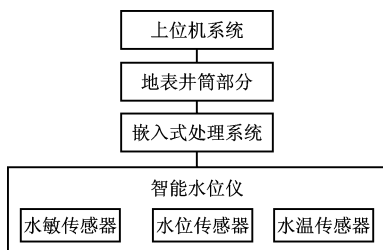


图 1 煤矿地下水实时跟踪监测预警系统组成

Fig. 1 Constitution of real-time tracking monitoring and early warning system for coal mine groundwater

辨别智能水位仪相对位置、监测含水层埋深和采集含水层水温。嵌入式处理系统以 ARM 微控制器 STM32F407ZGT6 为核心,用于处理和分析传感器信号,并基于 GPRS 模块传输监测数据,其组成如图 2 所示。地表井筒部分包含跟踪下放设备、供电装置和保护装置。

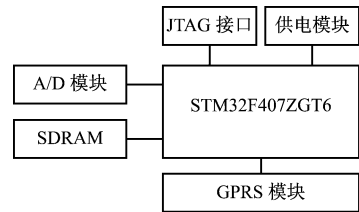


图 2 嵌入式处理系统组成

Fig. 2 Constitution of embedded processing system

上位机系统用于实现数据交互、信息处理显示与预警,采用 C++ 语言编写,主要功能是提取所有水文监测井的水位和水温数据后进行存储、显示和分析,并根据预设的报警条件对敏感数据井进行预警。上位机预警界面如图 3 所示。



图 3 上位机预警界面

Fig. 3 Early warning interface of upper computer

## 2 系统原理和算法

### 2.1 系统原理

当水位下降低于智能水位仪时,水敏传感器向嵌入式处理系统发送断路信号,开启地表井筒内跟踪下放设备,将智能水位仪自动下放入水。编码器

记录下放距离并换算成水位,达到实时跟踪监测效果。系统工作原理如图4所示。

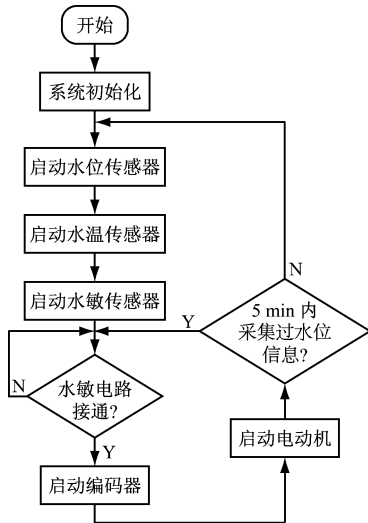


图4 煤矿地下水实时跟踪监测预警系统工作原理

Fig.4 Working principle of real-time tracking monitoring and early warning system for coal mine groundwater

水敏传感器由2根金属探针及其电路组成,安装于智能水位仪端头,可判断水位仪是否进入含水层。根据文献[11],水位传感器和水温传感器每天采集2次水压和水温数据,数据经嵌入式处理系统预处理后,通过GPRS网络传送至上位机。

若临界时间水位下降过大,系统自动发出报警。临界时间根据实际生产情况和行业标准,由地质条件、责任人规定和系统约束3个方面按权重预置,最大程度避免灾害预警主观失效。

### 2.2 水位监测算法

系统采用扩散硅、干式陶瓷等水压传感器测量水压,将水压换算成传感器距水面的高差,进而根据含水层底板高程计算出含水层埋深和水位。

传感器取压点至水面高差为

$$h = P / (\rho g) \tag{1}$$

式中: $P$ 为所测水压; $\rho$ 为水的密度; $g$ 为重力加速度。

含水层厚度为

$$M = H - H_0 + h \tag{2}$$

式中: $H$ 为含水层底板至地表高差; $H_0$ 为取压点至地表高差。

地下水埋深为

$$D = H - M = H_0 - h \tag{3}$$

地下水埋深可作为水位变化的相对参照,也可根据监测点实际高程换算成地下水水位。

### 3 布井方法

系统监测井布置方法主要根据文献[11-14]要求设计,确立了监测类型分区、复杂程度分区和采掘分区3种布设分区,根据地下水实际流向、流量和开采计划设计剖面线和布井密度。以矿区开采几何中心为原点,呈放射状并按“近密远疏”原则在地表布置监测不同埋深含水层的水文监测井;各含水层有不少于3条监测剖面线,除沿矿权边界设计的首采区、排土场或矸石山可只设1个含水层水文监测井控制点外,每条监测剖面线上不少于2个水文监测井。某露天煤矿水文监测井布置如图5所示。

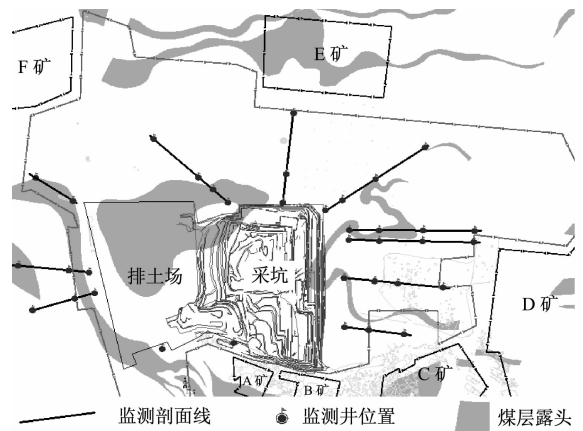


图5 某露天煤矿水文监测井布置

Fig.5 Distribution of hydrological monitoring shaft in a open-pit mine

### 4 系统测试

首先对系统进行稳定性测试。系统采用直流电源供电,工作时间为 $7 \times 24$  h,上位机平均3 min采集1组数据,未出现死机和停机现象,工作稳定。

然后对系统进行性能测试。利用手动加压泵对水位传感器进行校准,然后将智能水位仪投入亚克力制透明水箱。由人工读取智能水位仪入水高差,并与上位机系统所得的水位埋深进行比较,得出系统测量误差,部分数据见表1。可看出系统测量误差不超过2 cm。由于加压校准时采用读数误差较大的模拟仪表,所以实际误差小于2 cm。

最后对系统进行水位突变模拟测试。采用人工方式在5 s内对水箱放水,使水位下降10 cm,由系统采集水位数据。测试结果表明,系统在3 s内判断出水位下降且低于水敏传感器,并对5 s内水位下降10 cm做出了准确预警。

表1 水位测量数据

Table 1 Measurement data of water level cm

实际水位	系统测量水位	系统测量误差
0	0	0
9	8	1
49	47	2
69	67	2
89	87	2

测试过程中发现,若水敏传感器上2根金属探针的间距过小,会出现残余液体相连导致的电路假象相通、无法发出断路信号的现象,因此2根金属探针的间距应适当。

## 5 结语

煤矿地下水实时跟踪监测预警系统可实现对复杂水文地质条件下煤炭生产时发生透水等水害事故的实时预警,是对安全生产监管、水文、地质和生产等多部门协同安全开采、避免水害事故发生的有益尝试。

## 参考文献(References):

- [1] 孟凡生,王业耀. 煤矿开采环境影响评价中地下水问题探析[J]. 地下水,2007,29(1):81-84.  
MENG Fansheng, WANG Yeyao. Exploration and analysis on groundwater issue for evaluation of environmental influence in the course of exploitation of coal mine[J]. Ground Water,2007,29(1):81-84.
- [2] 赵庆奎. 浅谈采煤对岩溶水环境的影响及保护措施[J]. 地下水,2010,32(1):167-168.
- [3] 许志峰,张志祥,刘晓霞. 曲堤煤矿开采对地下水环境影响评价研究[J]. 地下水,2014,36(1):4-5.  
XU Zhifeng, ZHANG Zhixiang, LIU Xiaoxia. Study on groundwater environmental impact assessment of coal mining in Qudi[J]. Ground Water,2014,36(1):4-5.
- [4] 王力,王向前. 煤矿开采对水资源的影响分析与防治对策研究[J]. 中州煤炭,2016(8):11-14.  
WANG Li, WANG Xiangqian. Analysis of coal mining water resources and its control measures[J]. Zhongzhou Coal,2016(8):11-14.
- [5] 朱德胜,周云东,上官子恒. 考虑地下水作用的土坡稳

定性极限分析[J]. 中州煤炭,2016(7):67-70.

ZHU Desheng, ZHOU Yundong, SHANGGUAN Ziheng. Limit analysis of soil slopes with groundwater [J]. Zhongzhou Coal,2016(7):67-70.

- [6] 黄明,彭苏萍,张丽娟,等. GIS、SMS/GPRS 的环境监测系统设计与实现[J]. 哈尔滨工程大学学报,2008,29(7):749-754.  
HUANG Ming, PENG Suping, ZHANG Lijuan, et al. Design and implementation of an environmental monitoring system based on GIS, SMS/GPRS [J]. Journal of Harbin Engineering University, 2008, 29(7):749-754.
- [7] 张永祥,巩奕成,丁飞,等. 地下水在线监测系统的设计与实现[J]. 环境科学与技术,2014,37(5):94-98.  
ZHANG Yongxiang, GONG Yicheng, DING Fei, et al. Design and implementation of online monitoring system of groundwater[J]. Environmental Science & Technology,2014,37(5):94-98.
- [8] 李秀红,黄天成,孙忠富,等. 基于 GPRS/SMS 的嵌入式环境监测系统[J]. 吉林大学学报(工学版),2007,37(6):1409-1414.  
LI Xiuhong, HUANG Tianshu, SUN Zhongfu, et al. Embedded environment monitoring system based on GPRS and SMS [J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition),2007,37(6):1409-1414.
- [9] 张新珏,辛宝东,刘文臣,等. 三种地下水水质评价方法的对比分析[J]. 水资源与水工程学报,2011,22(3):113-118.  
ZHANG Xinyu, XIN Baodong, LIU Wenchen, et al. Comparative analysis on three evaluation methods for groundwater quality assessment[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2011, 22(3):113-118.
- [10] 高卫东. 基于主成分分析的矿区地下水水质评价[J]. 安全与环境工程,2009,16(1):28-33.  
GAO Weidong. Water quality evaluation of the ground water in mining area based on the principal component analysis [J]. Safety and Environmental Engineering,2009,16(1):28-33.
- [11] DZ/T0133—1994 地下水动态监测规程[S].
- [12] DZ/T0270—2014 地下水监测井建设规范[S].
- [13] SL360—2006 地下水监测站建设技术规范[S].
- [14] SL183—2005 地下水监测规范[S].