

地质与测量

# 矿井顶板突水预警系统研究与应用

陈佩佩, 刘秀娥

(天地科技股份有限公司 开采设计事业部, 北京 100013)

**摘要:** 总结整理了我国煤矿突水预警系统的发展现状, 从顶板突水机理相关理论和突水危险性评价等研究结果出发, 分析了煤矿顶板突水主要受到水源、覆岩地层、地质构造和采掘活动 4 种因素的共同控制, 研究了顶板突水预警机制和顶板突水预警系统的建立, 并介绍了灵东煤矿水文信息监测及顶板突水预警系统的建立和应用情况, 建立了包括系统中心站和多个遥测子站的井上下水文信息监测系统, 以煤系含水层水位下降情况为突水预警特征指标量值, 设定了预警阈值, 指导工作面防治水工作。

**关键词:** 顶板突水; 预警机制; 预警系统; 水文信息

**中图分类号:** TD745.21 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336 (2010) 12-0093-04

## Research and Application of Water Inrush Early Warning System to Mine Roof

CHEN Pei-pei, LIU Xiu-e

(Mining and Design Department, Tiandi Science and Technology Company Ltd., Beijing 100013, China)

**Abstract:** The paper summarized the development status of the mine water inrush early warning system in China coal mines. From the study results of the related theory of the mine roof water inrush mechanism and the inrush danger evaluation, the paper analyzed the mine roof water inrush mainly jointly controlled by the four factors including the water resources, overburden strata, geological structure and mining as well as the excavation activities and studied the establishments of the roof water inrush early warning mechanism and the roof water inrush early warning system. The paper introduced the establishment and applications of the hydrological information monitoring and measuring and the roof water inrush early warning system in Lingdong Mine. A hydrological information monitoring and measuring system was established with the system central station and several remote measuring substation at the mine surface and in mine underground. Taking the water table dropping conditions of the aquifer in the coal base as the index value of the water inrush early warning features, the early warning threshold value was set up to guide the water prevention and control work of the coal mining face.

**Key words:** water inrush from mine roof; early warning mechanism; early warning system; hydrological information

我国重点煤矿受水威胁的煤炭储量约 250 亿 t。其中受地表水体 (江、河、湖、海等)、松散含水层、基岩含水层等水体威胁的煤炭储量近百亿吨, 仅就受河流影响来看, 就有 200 多个矿井受百余条大小河流威胁, 而华北、华东、东北地区的煤田普遍被第四系和第三系松散层含水层覆盖, 造成其开采效益相对最好的浅部露头区煤层开采困难<sup>[1]</sup>。如果在煤矿日常的防治水工作中, 对矿井各含水层水文地质特征和开采情况进行监测, 掌握水文动态情况, 及时发现危险征兆并采取防范措施, 就能避免水害或减少水害的损失。煤矿突水预警系统针对

这一需求, 多信息监测突水条件的产生、变化, 对可能的突水区域进行预测预报, 并最终给出报警信息及对策建议信息, 对煤矿安全生产具有重大的现实意义<sup>[2]</sup>。

### 1 我国煤矿预警系统研究现状

预警系统是能够监测、诊断、预控安全事故的管理系统<sup>[3]</sup>。预警机制是指由能灵敏、准确地昭示风险前兆, 并能及时提供警示的机构、制度、网络、举措等构成的预警系统, 其作用在于超前反馈、及时布置、防风险于未然<sup>[4]</sup>。我国的预警管理研究起步较晚。从 20 世纪 80 年代开始, 预警系统的研究与应用经历了一个从宏观经济预警渗透到

**基金项目:** 天地科技股份有限公司科技研发资助项目 (00096007); “十一五” 国家科技支撑计划资助项目 (2007BAK24B01)

企业预警、从以定性为主到定性与定量相结合、从点预警到状态预警转变的过程。煤矿生产相关的测预报理论基础和预测模型研究以煤矿瓦斯爆炸预警系统研究最为广泛。自20世纪80年代以来我国科研人员一直致力于煤矿水害预测预警的研究工作,研究较多的是煤层底板突水预测。90年代中期,煤炭科学研究总院研究了煤矿水害预警系统构成(图1),测量了底板突水前的位移,钻孔中水压的变化和弹性波的变化,发现了突水前的物理量的变化指标,研制了煤层底板突水前兆监测仪器,开发了相应的岩水耦合的突水判别模型<sup>[5]</sup>。山东科技大学隋海波、程久龙进行了矿井工作面底板突水安全预警系统构建研究,提出系统的逻辑结构和总体构架。龙口矿区针对海下开采的特点建立了基于水位和水质实时观测的海下突水预警系统,其水位预警阈值按照水位年变幅划分,水质预警阈值按照海水与含水层混合配比试验确定<sup>[6]</sup>。

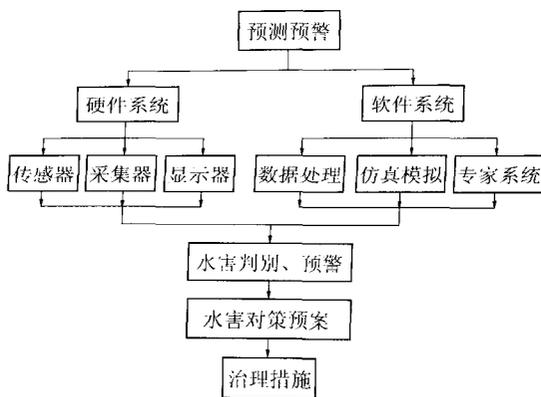


图1 煤矿水害预警系统的结构及运行过程

对于煤矿顶板突水预警系统,虽然国内外都有不同的产品,但由于预警的参数指标比较单一(多限于水位监测、阈值按照水位值划分),特别是未能从煤层开采对覆岩破坏和含水层影响机理上进行研究,主要依靠经验进行决策,所以在煤矿突水预警的准确性和时效性方面尚存在较多问题,并且目前尚无相关验证。

## 2 煤矿顶板突水预警机制

### 2.1 顶板突水机理及预测预报

我国在煤矿顶板突水的研究中引入了现代统计学、损伤力学、断裂力学、弹塑性力学、流变力学等理论和现代测试技术及计算机技术;在研究内

容上重点研究地质构造、地层岩性、水文地质特征、岩体构造等地质条件和与覆岩移动变形有关的原岩应力场,而且从覆岩变形破坏过程、影响因素等方面探讨了顶板破坏的形成机制,在此基础上研究了顶板水害的预测。中国工程院院士刘天泉提出了煤层开采覆岩破坏学说,认为长壁开采后,覆岩变形特征及导水性能将上覆岩层分为“三带”<sup>[7]</sup>,目前国内主要以此作为研究顶板突水机理的基础。中国矿业大学郑世书、孙亚军等应用地理信息系统技术,利用图形与图像形式表现同煤矿底板喀斯特水突出有关的各种地质、水文地质和开采条件等因素与突水之间的关系,建立模型,进行突水危险性分区,取得初步成果<sup>[8]</sup>。中国矿业大学的武强等<sup>[9]</sup>提出了解决煤层顶板突水灾害定量评价的“三图一双预测法”,即顶板直接充水含水层的富水性分区图,顶板冒落安全性分区图,顶板突水条件综合分区图以及回采工作面整体和分段工程涌水量预测、顶板直接含水层采前预疏放方案预测。陈佩佩等<sup>[10]</sup>应用数值模拟技术进行了玉舍河下开采安全性评价和分区,为煤矿生产提供了依据。

### 2.2 顶板突水预警判别机制分析

根据对煤矿顶板突水机理和危险性评价的分析,针对顶板突水事故影响因素,突水预警机制应该从监控水源、掌握覆岩和构造条件、控制性开采4个方面加以研究。

1) 顶板突水水源实时监测。我国目前应用的矿井突水预警系统主要就是针对突水水源进行监控,监控指标包括水位、水压、水温和水质变化,其中水质监控包含项目较多,传感器较为昂贵,应用较少,目前主要是针对矿化度和 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 等特征离子进行监控。由于以往突水事故中缺乏对水位、水温、水质等水文信息的实时监测,特别是突水前水文信息的变化规律没有掌握,目前突水系统预警的判别和预警阈值的选取主要是参照以往突水事故发生后的水文监测资料和水位的多年变化动态、不同含水层的水质区别根据经验设定。随着水文监测系统的推广应用和对相关资料的分析,今后突水事故发生前水文信息变化规律将逐步被监测研究,为突水预警判别提供依据。

2) 覆岩及构造情况的跟踪判别。经过对井田的详查和勘探,煤层、构造的分布规律基本掌握,而且目前多数矿井进行了三维地震勘探,对煤层和

大的构造控制程度较高，因此在进行水体下开采设计中通常对基岩厚度较薄和大的构造区域进行专门论证，以避免突水事故的发生。但在实际生产过程中，通常是一些工作面内对生产影响不大的小断层，引起基岩厚度的变薄或开采后导水裂缝带的异常发育，造成工作面突水。因此覆岩及构造情况是影响突水发生的重要因素。

目前尚缺乏对覆岩高度和断层发育情况的实施监测技术，但可在工作面形成后对覆岩厚度和工作面内所见断层情况加以测量统计，在进行突水预警判别时加以综合考虑。

3) 开采技术的控制和协调。不同的开采方法所引起的覆岩破坏是不同的。在受到上覆含水层威胁的区域，通常会变化开采方法或采取特殊的防治水措施（包括含水层的疏降等），以保证生产安全。这时如果仅以水文信息的实时观测情况为依据进行预警判别，通常会发生误报，引起不必要的恐慌，造成混乱。因此突水预警的判别必须与开采技术和防治水措施的实施以及生产安全管理相结合，准确预报，达到指导安全管理的目的。

4) 多因素的综合智能分析。由于煤矿突水事件是一种受多因素影响的复杂突发事件，加之受生产管理等技术措施的控制，具有复杂性、模糊性和不确定性等特点。因此，将智能科学、专家系统、模糊计算等方法引入突水预警，突破了传统的线性分析方法的局限，综合考虑地层、构造、水文条件和采煤方法等因素的影响，结合专家经验，建立多因素的综合智能预警模型，将大幅提高突水预警的准确性，是突水预警发展的重要趋势。

### 3 水文信息监测及顶板突水预警系统建立

#### 3.1 水文信息监测系统

水文信息监测系统包括井上井下2部分，井上部分主要包括系统中心站和多个遥测子站，中心站即系统管理平台，为矿井上下所有水文监测点的数据服务中心，遥测子站通常分布在矿区地面的野外环境，通过无线通信方式向管理中心实时或定期上传各个水文长观孔的水位数据。对水文长观孔的水位进行实时、动态的遥测，并以图表、数字报表的方式供管理人员浏览或打印存档，及时发现地下水的变化走向趋势，及时发现地下水的危险变化趋势。井下部分主要用于监测工作面主要测点的水

压、水温以及水量。井下水文监测系统是一个实时监测的计算机测控系统，该系统主要由中心站、数据通信控制及监测分站3部分构成。主站完成数据的处理，分站完成数据的采集，主站和分站通过数据通信设备完成数据交换。分站采集的数据，根据主站的命令利用数据通讯设备发送到主站。

#### 3.2 顶板突水预警系统

根据煤矿顶板突水预警机制研究，顶板突水预警需要综合分析顶板突水影响因素，主要包括：水文信息监测系统的实时监测数据、矿井的基础地质采矿数据（煤层和顶底板条件、基岩柱厚度、断层发育情况等）和开采情况数据（开采厚度、推进速度、与断层距离等）。建立各单一因素或综合的顶板突水预警阈值动态计算模型，并划分预警级别，构建基于水文信息实时监测数据的煤层顶板突水预警系统，为煤矿安全生产提供预警。

#### 3.3 应用情况

灵东矿井位于扎赉诺尔煤田中部，在扎赉诺尔矿区内曾发生多次溃水、溃砂现象。灵东矿相邻的铁北煤矿右部投产至今，曾发生过2次突水现象，第1次是1993年12月在高档普采工作面前出口24m处，采空区侧发生突水溃砂现象，溃砂量550m<sup>3</sup>；第2次是1996年，综采工作面出现2次突水溃砂现象，2次溃砂量分别为700和1000m<sup>3</sup>/h，致使工作面全面停产。灵东矿水文地质条件和开采条件与铁北矿相似，煤系砂岩存在富水的含水层，且结构松散，工作面开采时存在溃水、溃砂的威胁。灵东煤矿水位遥测系统包括1中心站，7个遥测子站（12个观测孔）（图2）。中心站位于局信息中心机房（后期移设灵东矿），7个遥测子站（12个观测孔）位于距中心站约30km的野外环境。要通过中心站实时或定期监测7个子站井（12个观测孔）的水位状况，并以数据库文件长期保存及图表、数字报表（表1）的方式供管理人员浏览或打印存档，便与及时分析地下水的变化趋势。

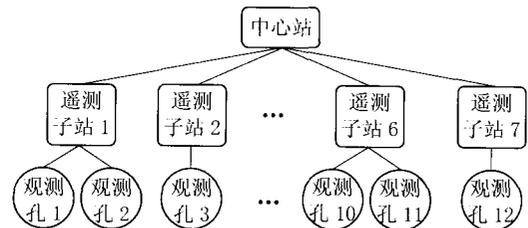


图2 灵东矿水位遥测系统结构示意

表1 灵东矿2010年1月1日水位遥测系统观测数据(部分)

m

时刻	长观2(二含2)	长观1(二含2)	抽水1(二含2)	抽水2(二含2)	长观3(二含2)	抽水3(二含2)	抽水4(二含1)
9时	447.582	339.909	433.519	284.100	354.242	446.334	243.715
10时	447.580	339.892	433.513	284.075	354.184	446.324	243.715
11时	447.576	339.865	433.500	284.050	354.123	446.320	243.710
12时	447.569	339.886	433.488	284.029	354.064	446.317	243.702
13时	447.569	339.888	433.485	284.008	354.007	446.311	243.694
14时	447.570	339.890	433.479	283.989	353.952	446.364	243.694
15时	447.569	339.867	433.471	283.970	353.896	446.381	243.698
16时	447.572	339.829	433.467	283.949	353.839	446.412	243.696
17时	447.567	339.785	433.464	283.928	353.780	446.402	243.696
18时	447.563	339.757	433.460	283.903	353.723	446.401	243.693
19时	447.563	339.728	433.452	283.880	353.665	446.393	243.689
20时	447.555	339.705	433.446	283.854	353.604	446.381	243.685

由于煤系砂岩含水层直接威胁开采安全,灵东矿在首采面周围布置了多个抽水孔进行疏降,因此各含水层水位一直处于持续下降的过程中。根据不同含水层水位下降的情况和开采影响范围,其中含水层情况以水位下降速度为突水预警特征指标量值,设定了预警阈值,按照“下降速度较高→较低→水位变化较小→水位上升”划分了安全—初级预警—中级预警—高级预警4个级别,工作面开采情况以开采处覆岩厚度为特征指标量值,按照覆岩厚度与“垮落带”和“导水裂缝带”高度比较设定了预警阈值,综合分析为首采面的防治水工作提供安全指导。

#### 参考文献:

- [1] 肖黎明. 水体下采煤[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1975.
- [2] 隋海波, 程久龙. 矿井工作面底板突水安全预警系统构建[J]. 矿业安全与环保, 2009, 36(1): 58-60.
- [3] 邵长安, 李贺, 关欣. 煤矿安全预警系统的构建研究[J]. 煤炭技术, 2007, 26(5): 63-65.
- [4] 王莉亚, 邱均平. 论企业知识产权保护中的预警机制[J]. 图书情报知识, 2004(2): 49-51.
- [5] 王经明, 董书宁. 煤矿突水灾害的预警原理及其应用[J]. 煤田地质与勘探, 2005, 33(S0): 1-4.
- [6] 玉兰健, 韩仁桥. 水情监测预警系统在海上采煤中的应用[J]. 煤田地质与勘探, 2006, 34(6): 54-56.
- [7] 煤炭科学研究院北京开采所. 煤矿地表移动与覆岩破坏规律及其应用[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1981.
- [8] 张大顺, 郑世书. 地理信息系统技术及其在煤矿水害预测中的应用[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1994.
- [9] 武强, 黄小玲, 董东林, 等. 评价煤层顶板涌(突)水条件的“三图-双预测法”[J]. 煤炭学报, 2000, 25(1):

60-65.

- [10] 陈佩佩, 许延春, 刘小丽, 等. 玉舍河下煤层开采安全性分析[J]. 煤田地质与勘探, 2007, 35(4): 46-49.

作者简介: 陈佩佩(1974-), 女, 安徽寿县人, 博士, 研究员, 主要研究方向为水文地质与工程地质、特殊采煤、地质灾害评价。Tel: 010-84262724, E-mail: chpeipei@sina.com

收稿日期: 2010-08-16; 责任编辑: 曾康生