

## • 水文地质工程地质 •

## 汪家寨矿涌水量非线性即时预报模型研究

郑纲 韦讲汉 (煤炭科学研究院西安分院 710054)

**摘要** 汪家寨煤矿涌水量主要受控于大气降水,为了及时预报矿井涌水量,利用矿井涌水量序列和降水量序列,建立涌水量非线性即时预报模型。从涌水量和降水量的互相关分析得知,涌水量滞后降水量约0~1个月。应用时间序列混合门限自回归模型建立了涌水量预测模型 Tarso[2,(1,1),(1,1)],利用此模型对1991年的涌水量进行了预测,误差率在10%~20%之间,满足生产需要。模型既考虑了涌水量序列的自相关性,又考虑了涌水量、降水量的互相关性,适用于涌水量受控于大气降水量的南方矿井。

**关键词** 涌水量 时间序列 混合门限自回归模型 预测

**中国图书资料分类法分类号** P641.47

**作者简介** 郑纲 男 30岁 硕士 工程师 水文地质工程地质

## 1 引言

贵州汪家寨煤矿是一南方型矿井,由于地形复杂且基岩裸露,地下开采以后,地表产生的大量裂缝将地表水及大气降水导入井下,使矿井涌水量大增,导致淹井和停产。该矿积累了大量的涌水量和降水量资料,分析二者的相关性,可以看出涌水量受控于大气降水量。为了作好矿井涌水量预报,本文对涌水量序列和降水量序列的互相关性进行了分析,充分考虑降水量对涌水量的控制作用,建立了非线性即时预报模型。

## 2 矿井涌水量和降水量的互相关性分析

两组时间序列之间的依赖关系可以用互相关函数表示,时间序列 $X(t)$ 在 $t$ 时的值与 $Y(t)$ 在 $t+\tau$ 的值之间的互相关函数可用观察时间 $T$ 上的两个值的平均值乘积得到,当 $T$ 趋于无穷时,平均乘积将趋于一个正确的互相关函数,即:

$$R_{xy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \int X(t) Y(t + \tau) dt$$

考虑到涌水量序列 $\{Q_i\}$ 与降水量序列 $\{P_i\}$ 为离散时间序列,因此采用上式的离散形式,公式为:

$$R_{QP}(\tau) = \frac{1}{N - \tau} \sum_{t=1}^{N-\tau} Q(t) \cdot P(t + \tau)$$

计算时,涌水量序列和降水量序列从1970年按月采

样,共计264个月,经过计算,得到涌水量和降水量的互相关函数曲线。

由于矿井含水系统的补给和排泄有一定的时间位移,当互相关函数的时间位移等于讯号通过系统所需要的时间时,互相关函数将出现峰值,该值的时间位移可用来确定系统的滞后时间。从斜井涌水量、降水量的互相关函数曲线可以看出,涌水量滞后降水量0~1个月。

## 3 混合门限自回归模型的基本原理

时间序列 $\{\mathbf{x}_t\}$ 除其本身存在自相关外,还与另一时间序列 $\{\mathbf{y}_t\}$ 有密切的关系,这类情形可用本模型表示:

$$X(t) = a_0(j) + \sum_{i=1}^{m_j} a_i(j) X_{t-i} + \sum_{i=0}^{n_j} b_i(j) Y_{t-i} + \epsilon_j, \\ Y_{t-d} \in R_j \quad j = 1, 2$$

式中, $\{\mathbf{x}_t\}$ , $\{\mathbf{y}_t\}$ 均表示随机时间序列,其中 $\{\mathbf{x}_t\}$ 为可观测输出, $\{\mathbf{y}_t\}$ 为可观测输入, $(X, Y)$ 构成开环门限自回归模型系统, $\{\mathbf{x}_t\}$ , $\{\mathbf{y}_t\}$ 为非平稳随机时间序列; $\{\epsilon_j\}, j = 1, 2, \dots, L$ ,是 $L$ 个相互独立的随机自噪声序列; $d$ 为时滞; $m_j, n_j$ 为第 $j$ 个分段的混合门限自回归模型的阶; $a_i$ 和 $b_i$ 为模型的系数; $R_j$ 为时间序列的第 $j$ 个区间,该区间的端点就是模型的门限值。

这一类模型描述了具有如下形式的随机系统:

$$Y \rightarrow \text{TARSO}(X, Y) \rightarrow X_t.$$

门限自回归模型的基本思想是用分段线性化手段来处理非线性系统, 由门限的控制作用来保证系统的稳定性, 能有效描述具有周期规律的系统, 同时又能反映类似跳跃共振的突变现象, 这对有突水可能的涌水量预测是比较适用的。

#### 4 非线性随机模型的建立

矿井涌水量的大小是补给源的动态、含水系统的特征和开采条件等因素综合作用的结合, 矿井地下水系统构成复合地下水系统。(图1)

汪家寨煤矿的含水系统为一典型的非线性系统, 矿井涌水量主要受控于降雨量, 所以矿井地下水系统实际是一个单输入和单输出系统, 适合采用时间系列混合门限自回归模型来描述矿井涌水量的变化规律。计算时, 首先根据动态分析的结果, 预定模型的阶数及延迟参数的试算范围, 确定模型中涌水量和降水量系数, 经过模型拟合和有效性检验, 最终确定矿井涌水量预测和模拟的最优结果。

建模数据的选择, 从1976~1990年共取180个数据, 1991年的数据留作预测检验。涌水量不仅存在自相关性, 而且受控于大气降水量, 所以模型中涌水量及降水量的系数均不能出现负值。

由互相关分析可知, 涌水量和降水量存在0~1个月的滞后期, 因降水量和涌水量均有12个月的周期, 滞后期的试算范围0~15, 组成不同的计算方案。计算过程中, 选取不同的阶数L、延迟参数D及门限值R进行多次试算。根据以上原则, 计算机计算得到斜井涌水量的预测模型为TARSO[2,(1,1),(1,1)],

$$Q_t = \begin{cases} 43.0256 + 0.5925Q_{t-1} + 0.1293P_t, & P_{t-12} \leq 55.60, \\ 67.3082 + 0.5530Q_{t-1} + 0.4905P_t, & P_{t-12} > 55.60, \end{cases}$$

式中  $Q_t$  —— 当月涌水量的计算值;

$Q_{t-1}$  —— 前一个月的涌水量值;

$P_t$  —— 当月降水量的值;

$P_{t-12}$  —— 前12个月的降水量值。

#### 5 模型的有效性检验及预测检验

数学模型的检验, 首先应验证是否与实际水文地质条件相符, 其次是利用上述模型对历史数据进行拟合检验, 即事后预测分析各误差项是否具有随

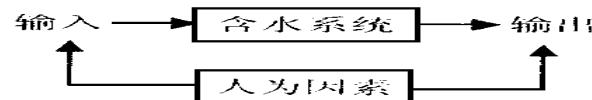


图1 复合地下水系统示意图

机性。若是随机误差, 说明模型基本是有效的。

根据所得模型对历史数据进行了拟合检验, 并计算了拟合误差, 拟合误差的自相关系数接近于0, 拟合误差序列为一随机时间序列, 故所建模型有效, 可以用于矿井涌水量的预测。

用按已有时间段为n的时间序列样本建立的TARSO模型进行预报时, 要求  $n+L-d < n$ , 即预报步长不能超过时滞值d。对于周期序列, 可以利用调节d值的方法增加预报步长, 如设数据周期为S, 可令  $d' = d + S$  为新的时滞值(模型重建或不重建), 使预报步长增加到  $d + S$ 。

本文采用斜井1991年的数据资料进行了预测验证, 结果如表1。

根据以上预测结果可以看出, 几乎所有预测的涌水量的误差率都小于30%, 大部分在0~20%之间, 可以满足生产需要。

#### 6 结论

根据时间序列混合门限自回归模型建立的非线性即时预报模型, 既考虑了涌水量序列的自相关性, 又考虑了涌水量和降水量的互相关性, 对于涌水量受控于大气降水量的南方型矿井是比较适用的。

表1 1991年斜井涌水量预测值

月份	预测值 /m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup>	实测值 /m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup>	误差 /m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup>	误差率/%
1	144.89	141.00	3.87	2.74
2	134.08	140.00	-5.92	4.23
3	133.49	138.00	-4.51	3.27
4	132.31	167.00	-34.69	20.77
5	152.31	223.00	-70.68	31.69
6	272.94	261.00	11.94	4.57
7	279.19	271.00	8.19	3.02
8	282.03	247.00	35.03	14.18
9	238.44	163.00	75.44	46.28
10	149.09	175.00	-26.91	15.37
11	154.49	179.00	-24.51	13.69
12	153.42	179.00	25.58	14.20

# 承压水沿煤层底板递进导升突水机理的物理法研究\*

王经明 (煤炭科学研究院西安分院 710054)

**摘要** 完整底板和非完整底板的注水试验发现底板深处的耗水早于浅部,显示底板的破裂发生在采前,相似材料模拟具一定导升高度的底板在采动中的变化揭示了同样的规律。底板的原位应力测试发现承压水在采前出现了向上入侵的现象,二次应力给导升的发展提供了条件,递进导升是突水机理之一。

**关键词** 突水 机理 模拟 注水试验

**中国图书资料分类法分类号** P641.4

**作者简介** 王经明 男 41岁 博士研究生 高级工程师 水文地质工程地质

## 1 引言

煤层底板突水机理的研究对华北型煤田的水害防治有着重要意义。早在50年代这项研究就已开始,自80年以来,由于开采强度加大,煤矿突水频率和强度都有所增加,突水机理的研究有了迅速的发展。多项突水机理观点先后问世,其中较为流行的观点有:“下三带”说<sup>[1]</sup>、“零位破裂”说<sup>[2]</sup>和“岩水应力关系”说<sup>[3]</sup>。其中仅“下三带”说涉及到导升高度这一重要的水文地质现象,这一观点认为底板完整岩石带和导升高度带的变化发生在采后。

然而根据笔者的现场实测和模拟试验发现,导

升高度变化不是发生在采面的后方而是发生在采面的前方。煤层底板突水是由于承压水导升高度在采矿过程中的递进发展引起的,即本文所要探讨的递进导升的突水机理。人们知道在承压水的富水区存在着一定高度的天然导升。开采过程中,在水压和二次应力的共同作用下,承压水沿裂隙递进地向上入侵,当入侵到底板破坏区时便突出。突水判据为:

$$H_0 + \Delta H + h \geq M,$$

式中  $H_0$  —— 原始导升高度;

$\Delta H$  —— 递进导升高度;

$h$  —— 底板破坏深度;

$M$  —— 底板全厚。

如果  $H_0 + h = M$ , 称为原始导升突水;如果  $H_0 + h > M$ , 为超越导升突水。

\* 国家自然科学基金项目,批准号 49872084

预测模型的研究·中国矿业大学硕士论文,1994

(收稿日期 1999-05-04)

## 参考文献

1 郑纲·贵州汪家寨煤矿充水因素分析和矿井涌水量非线性即时

## THE STUDY OF IMMEDIATE PREDICTING NONLINEAR MODEL OF MINE DISCHARGE IN WANGJIAZHAI COAL MINE

Zheng Gang Wei Jianghan (Xi'an Branch, CCRI)

**Abstract** In Wangjiazhai Coal Mine, the discharge is mainly controlled by precipitation. In order to predict discharge, discharge series and precipitation series are used to establish immediate discharge nonlinear predicting model. By the mutual relation analysis between the discharge series and the precipitation series, the discharge is 0~1 month later than the precipitation. Applying the time series blend threshold autoregression model, the immediate discharge nonlinear predicting model Tarso[2,(1,1),(1,1)] is established. The discharge in 1991 is predicted, and the error ratio is 10%~20%, which meet the requirements of mining. Not only the selfrelation of discharge, but also the mutual relation between the discharge and the precipitation is considered in the model, it is applicable to the coal mines in the South of China in which discharge is controlled by precipitation.

**Keywords** discharge; time series; blend threshold autoregression; forecast