

混合随机序列模型在地下水位预报中的应用

虎维岳 (煤炭科学研究总院西安分院 710054)

宋金良 (广州大学建工系 510091)

刘其声 马培智 (煤炭科学研究总院西安分院 710054)

摘要 通过对北方某矿区水文地质条件的分析,特别是对底板承压水多年水位变化规律及其控制因素的分析,建立了预测地下水位变化趋势的混合随机序列模型,并对所建模型进行了考核,分析了残差序列的随机性,通过对模型的预报应用,取得了良好的效果。

关键词 随机模式 水位 预报

中国图书资料分类法分类号 P641.4

作者简介 虎维岳 男 35岁 高级工程师 博士研究生 水文地质工程地质

1 引言

在地下水位中长期预报理论和方法研究方面,人们已做了大量的工作,主要成果可分为以数值法为代表的分布参数模型和以系统理论为基础的集中参数预报模型。但不同模型方法有其各自不同的应用条件,本文所研究的北方某矿区有着其特殊的水文地质条件和30年以上的反映含水层系统输入、输

出情况的随机序列数据。通过对其水文地质条件的分析,可简单地将该含水系统概化为图1形式。其中大气降水是含水层的主要补给水源,且其呈现出明显的多年周期性随机变化。含水系统的四周基本为隔水边界,只有东部边界有少量的较稳定的侧向补给,矿井排水构成含水层的主要排泄边界。由此可见,反映含水层状态输出随机序列主要受大气降水控制。图2为大气降水与地下水位年变幅关系图。

由于煤矿开采深度的不断加大,煤层底板承受

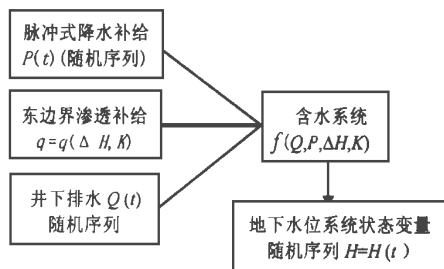


图1 含水系统输入-输出关系示意图

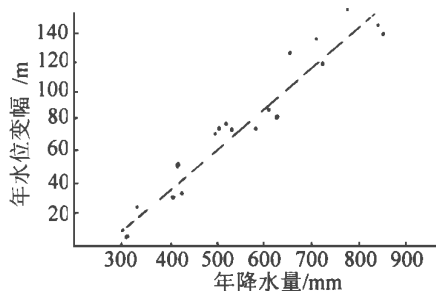


图2 年大气降水与水位变幅关系图

THE SPECTRAL ANALYSIS METHOD OF THE GEOLOGICAL TIME SERIES AND ITS APPLICATION

Yang Yongguo Han Baoping (China University of Mining and Technology)

Abstract The random model of the geological time series and the spectral analysis method used to study its correlation are introduced, and the Fisher criteria for testing the significance periods of the time series are given. The application results shown that the unknown periods of the geological time series and their correlation could be well determined by the spectral analysis, thus the inner characteristics of the geological time series could be find out.

Keywords time series analysis; spectral analysis; cross-power density analysis; delay time

的承压含水层水压力越来越大。所以人们普遍关心的问题是每年雨季地下水位的涨幅情况, 以便提前采取合理的防、排水措施以保证矿井的安全生产。本文正是基于这一目的建立了包含降水、矿井排水及边界补给的混合随机时间序列模型, 并考核和验证了模型的参数, 对于提前预测地下水位变化情况有着明显的实用意义。

2 预报模型的建立与识别

通过对本区水文地质条件的分析, 不难看出, 我们所观测到的降水量序列 $P_t \{t=1, 2, \dots, n\}$ 和水位序列 $H_t \{t=1, 2, \dots, n\}$ 都具有明显的随机性, 特别是随机序列 $H_t \{t=1, 2, \dots, n\}$ 是大气降水补给、边界补给及排水等复杂随机序列的综合反映。因此它是一个混合随机序列的综合结果, 特别是降水量起着主要作用。通过对降水与水位的滚动回归分析, 发现其相关系数达到 0.85。同时为了了解降水与水位两组随机数据之间的依赖关系, 计算分析了时间序列 H_t 在 t 时值与 $P(t)$ 在 $(t-\tau)$ 的值之间的互相关

函数 R_{HP} 。利用公式 $R_{HP} = \frac{1}{N-\tau} \sum_{t=\tau+1}^N H(t) \cdot P(t-\tau)$ 和 1980~1990 年之间两组随机数的观测资料模拟计算所得的 $R_{HP}(\tau)$ 如图 3 所示。

由图 3 明显可见, 所研究的含水系统输入值 $P(t)$ 与输出 $H(t)$ 之间有一时间位移, 互相关函数在时间位移等于信号通过系统所需时间值时, 将出现峰值, 这一时间位移正好反映了水位上升对大气降水的时间滞后效应, 其滞后时间为 1.7 个月。同样分析可得, 矿井排水对水位值的滞后时间仅为 0.3 个月, 由此可见, 水位时间随机序列不仅和大气降水时间序列有关, 还和另一随机时间序列 $Q(t)$ 也有关, 对该类随机时间序列应由混合随机序列模型刻画和

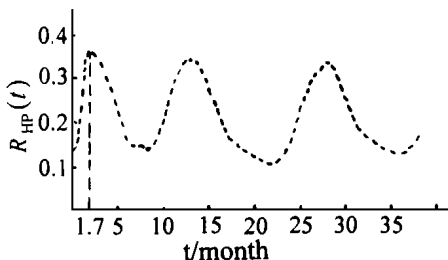


图 3 地下水位与降水量互相关函数图

模拟, 即:

$$H_t = \omega + \sum_{i=1}^n \omega P_{t-i} + \eta + \sum_{j=1}^n \eta Q_{t-i},$$

式中 H_t —— t 时刻地下水位;

P_{t-i} —— $t-i$ 时刻大气降水量;

Q_{t-i} —— $t-i$ 时刻矿井排水量;

$\omega, \eta (i=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots, m)$ —— 对应随机变量的系数。

根据前面分析, 如令 $Y_t = H_t, X_t = P_t$, 则由卷积公式得:

$$\Delta Y = \int_0^\infty X(t-\tau) \cdot \omega \tau d\tau = \sum_{\tau=0}^\infty X(t-\tau) \cdot \omega \tau \Delta \tau$$

令 $\tau=1, 2, \dots, n; \Delta \tau=1$, 则有:

$$\Delta Y = \sum_{\tau=0}^n X(t-\tau) \cdot \omega \tau,$$

$$\Delta Y = Y_t - Y_{t-i}.$$

如果同时考虑排水和边界补给, 则有:

$$Y_t - Y_{t-i} = \sum_{\tau=1}^n X(t-\tau) \cdot \omega \tau + \xi(t) + \eta \Delta H(t),$$

式中 Q —— 矿井排水量;

ΔH —— 补给边界内外水位差。

令 $Y_t = Y_i; X(t-\tau) = X_{ij}; \omega \tau = \omega$

$$\text{则 } Y_i = \sum_{j=0}^n X_{i,j} \cdot \omega + \xi Q_i + \eta \Delta H_i + Y_{i-1},$$

$$Y_{i-1} = \sum_{j=0}^n X_{i-1,j} \cdot \omega + \xi_{-1} Q_{i-1} + \eta_{-1} \Delta H_{i-1} + Y_{i-2}$$

$$Y_{i-2} = \sum_{j=0}^n X_{i-2,j} \cdot \omega + \xi_{-2} Q_{i-2} + \eta_{-2} \Delta H_{i-2} + Y_{i-3}$$

$\vdots$

$$Y_1 = \sum_{j=0}^n X_{1,j} \cdot \omega + \xi Q_1 + \eta \Delta H_1 + Y_0.$$

将上述各式依次回代得:

$$Y_i = \sum_{k=1}^i \sum_{j=0}^n X_{k,j} \cdot \omega + \sum_{k=1}^i \xi Q_k + \sum_{k=1}^i \eta \Delta H_k + Y_0.$$

如果忽略矿井开采量 Q 和边界补给因素 ΔH 的滞后效应和继承性, 则有:

$$Y_i = \sum_{k=1}^i \sum_{j=0}^n X_{k,j} \cdot \omega + \sum_{k=1}^i \xi Q_k + \eta \sum_{k=1}^i \Delta H_k + Y_0.$$

由此可见, 上述关于 Y_i 的表达式中共有未知量 $n+2$ 个, 为使计算值和实测值之均方差达最小, 根据最小二乘公式有:

$$\Delta Y = \min_{t=1}^m (Y_i - Y_i)^2$$

表 1 计算结果表

系数名称	ω	ω	ω	ω	ω	ξ	η
系数值	0.09	0.28	0.21	-0.15	0.11	0.29	0.08

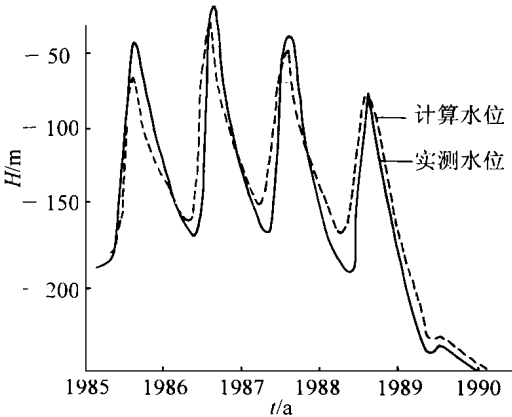


图 4 模型考核拟合曲线图

$$= \min \sum_{j=1}^m \left[\sum_{k=1}^i \sum_{j=0}^n X_{k,j} \cdot \omega + \xi \sum_{k=1}^i Q_k + \eta \sum_{k=1}^i \Delta H_k Y_0 - Y_i \right]^2,$$

式中 Y_i —— i 时段观测水位;

m —— 拟合水位总数。

依极值条件并考虑降水后效性为 5 个月, 则有:

$$\frac{\partial Y}{\partial \omega} = 0 \quad j = 1, 2, \dots, 5,$$

$$\frac{\partial Y}{\partial \xi} = 0,$$

$$\frac{\partial Y}{\partial \eta} = 0.$$

考虑降水的滞后效应及其后效性, 取 $n=5$ 。这时可得到一个含 7 个未知量的方程组。采用 1980~1985 年的各随机序列观测资料求得方程(1)的解如表 1。

从而得预报方程(2):

$$Y(t) = 0.09X_t + 0.28X_{t-1} + 0.21X_{t-2} + 0.15X_{t-3}$$

$$+ 0.11X_{t-4} - 0.29Q + 0.08\Delta H + Y_{t-1}。$$

3 模型考核

为了检验所建模型的正确性, 我们利用 1986~1990 年各随机序列的观测值, 对所建模型进行了考核和检验。图 4 为模型的检验结果。

由图 4 可见, 水位预测结果和实测结果得到了较好的拟合。通过对拟合残差序列的自相关性分析, 可知残差序列基本上为均值等于零的白噪声随机序列, 因此所建模型较好地反映了地下水位的变化趋势, 其预测结果可以作为生产设计的依据。

4 结论

4.1 对于由多个随机时间序列所控制的水文地质系统中水位的预报, 必须有较长的时间序列观测值, 以便建立正确的随机序列预报模型, 使其充分地表征系统的特性。

4.2 由于降水序列是影响地下水变化的主要因素, 因此建模时要对大气降水随机序列值进行认真分析, 以确定其滞后性和继承性。

4.3 本文所建模型对类似条件的地下水系统水位预报具有实用价值, 可用作长期预报。

本文在撰写过程中得到了西安分院李竞生研究员的多次指导和审阅, 在此深表谢意。

参考文献

1 汪荣鑫编·随机过程·西安:西安交通大学出版社, 1987
2 韩崇昭等编·随机系统理论·西安:西安交通大学出版社, 1987

(收稿日期 1997-10-14)

THE APPLICATION OF A COMBINED STOCHASTIC SERIES MODEL
ON THE GROUNDWATER LEVEL FORECAST

Hu Weiyue (Xi'an Branch, CCRI)

Song Jinliang (Guang Zhou University)

Liu Qisheng Ma Peizhi (Xi'an Branch, CCRI)

Abstract By extensively analysis of the hydrogeological condition in a coalfield, especially by analysis of the groundwater level and the controlling factors, the paper gives a combined stochastic series model. After examination and application of the model in the studied groundwater system, a very good results were given.

Keywords stochastic model; water level; prediction