第 23 卷第 2 期　　辽宁工程技术大学学报　　2004 年 4 月
Vol.23　No.2　　Journal of Liaoning Technical University　　Apr.　2004

文章编号：1008-0562(2004)02-0175-03

灰色理论在预测深埋型矿井涌水量中的应用

肖有才，张秀成，王宏艳

（平顶山工学院 国土测量系，河南 平顶山 467001）

摘　要：煤矿地下水动态的预测预报始终存在着计算过程复杂、计算量大、且难以兼顾影响矿井充水的各种因素、精度较低的特点；灰色系统理论则具有高度的概括性、简单的计算过程和极佳的预测精度，因此在工程界得到了广泛的应用。然而，用于矿井涌水量预测的不多，文章以灰色理论 GM（1，1）模型为基础、在这方面进行了尝试，效果甚佳。

关键词：灰色理论；预测；矿井涌水量

中图号：P 641.47　　**文献标识码**：A

Application of grey theory model in prediction of pit water discharge in coal mine

XIAO You-cai，ZHANG Xiu-cheng，WANG Hong-yan

(Dept. of the National Land Survey，Pingdingshan Institute of Technology, Pingdingshan 467001, China)

Abstract: It' s very important to predicate pit water discharge in the work of prevention and cure of groundwater . The coventional predictive method are complex in the process of calculation , and can not take into account the influence of all factors on water discharge . Grey theory has a high summary , a simple calculation process and a good accuracy , therefore it is widely used in prediction of many engineering practices .But only a few are used to predict the pit water discharge in coal mine . This paper uses grey theory model in the prediction of pit water discharge in coal mine in Eighth Mine Pingdingshan, and obtained a good result.

Key words: grey theory; pit water discharge; prediction

0　引　言

煤矿防治水工作中，地下水动态的预测预报十分重要，历来倍受关注，研究成果甚丰，然而，始终缺乏一种既简便快捷、又准确实用的预测模式。灰色系统理论以其完备的数学理念，代表了这么一种要求，因此，自诞生以来在各类工程的预测活动中得到了广泛的应用，然而，在预测矿井涌水量中的应用却为数不多，本文以平顶山煤业集团八矿的矿井涌水量长期观测资料为基础，结合矿井探放水工作的实际建立了矿井涌水量预测的 GM（1，1）模型，取得了十分满意的预测效果。

1　灰色系统 GM(1,1)预测模型的建立

灰色系统 GM（1,1）预测模型的建立过程一般分成三步：

第一步是灰色生成（即 I—AGO）

对给定的某个数列 $\{X_i^{(0)}\}$，做一次累加生成，就会得到与原始数列相对应的新数列 $\{x_i^{(1)}\}$，其中

$$x_i^{(1)}(k)=\sum_{m=1}^{k}x_i^{(0)}(m)$$

对 $x_i^{(1)}$ 可建立白化形式的微分方程

$$\frac{\mathrm{d}x_i^{(1)}}{\mathrm{d}t}+ax_1^{(1)}=b_1x_2^{(1)}+b2x_3^{(1)}+\cdots+b_{N-1}x_N^{(1)}$$

这是 1 阶 1 个变量的微分方程模型，记为 GM(1,1),上式所包含的参数记为

$$\hat{a}=[a,b_1,b_2,\cdots,b_{N-1}]^{\mathrm{T}}$$

第二步求参计算

先构造矩阵 B 和 y_N，其中

$$B=\begin{bmatrix}-\frac{1}{2}[x_1^{(1)}(1)+x_1^{(1)}(2)]\,x_2^{(1)}(2),\cdots,x_N^{(1)}(2)\\-\frac{1}{2}[x_1^{(1)}(2)+x_1^{(1)}(3)]\,x_2^{(1)}(3),\cdots,x_N^{(1)}(3)\\\cdots\\-\frac{1}{2}[x_1^{(1)}(n-1)+x_1^{(1)}(n)]\,x_2^{(1)}(n),\cdots,x_N^{(1)}(n)\end{bmatrix}$$

收稿日期：2003-03-03

基金项目：平煤集团科技攻关基金资助项目（4104022004020048）

作者简介：肖有才（1963-），男，陕西 华县人，学士，高级工程师。**本文编校**：唐巧凤

万方数据

$$y_N=\left[x_1^{(0)}(2),x_1^{(0)}(3),\cdots,x_1^{(0)}(n)\right]^{\mathrm{T}},$$

则 $$\hat{a}=(B^{\mathrm{T}}B)^{-1}B^{\mathrm{T}}y_N=\begin{bmatrix}a\\b_1\\\cdot\\\cdot\\b_{N-1}\end{bmatrix}$$

当 $\left\{x_i^{(1)}\right\}$（其中 $i=2,3,\cdots,N$）呈缓变时，可以用区间不变值进行计算时，则 x_i 的时间（离散）近似关系式为

$$x_i^{(1)}(k+1)=\left[x_i^{(0)}(1)-\frac{1}{a}\sum_{i=2}^{N}b_{i-1}x_i^{(1)}(k+1)\right]e^{-ak}+\frac{1}{a}\sum_{i=2}^{N}b_{i-1}x_i^{(1)}(k+1)$$

$$x_i^{(1)}(0)=x_i^{(0)}(1),i=1,2,\cdots,N$$

若上述关系不成立，则只有对 $x_1,x_2,\cdots,x_N$ 的 N 个 1 阶微分方程联立求解。

第三步是精度检验

一般用残差计算其相对误差，设相对误差为 $r=\dfrac{\hat{x}_{(k+1)}^{(1)}-x_{(k+1)}^{(1)}}{x_{(k+1)}^{(1)}}$，当误差较大时，可用残差系列建立相应的残差模型，以便缩小误差、提高预测精度。

2 水文地质条件及疏放水工作

平八矿位于平顶山矿区东南部，矿井充水的主要水源为石炭系太原群（直接充水含水层）和寒武系张夏组（间接充水含水层）灰岩岩溶水，灰岩的埋藏深度普遍大于 300 m。因其上部覆盖的第四系松散沉积物以透水性很差的粘性土为主，所以矿井水的动态特征基本不受季节变化影响。地下水的补给只有远途顺层自然径流这一种形式。其静止水位标高为+83 m，生产水平标高为-430 m，井下探放水的水平标高为-270 m，所以原始水柱高度达 353 m（相对于探放水水平），使得矿井建设初期的突水具有高水压、大水量、来势猛、破坏力强的特点。1971 年 10 月八矿东风井-270 m 石门在掘进过程中遇到一个小断层（落差不到 2 m），而造成大突水（4 200 m^3/h）淹井的事故即为此特征的例证。淹井恢复工作长达 7 年半，采用了多种方法，投入了大量的人力、物力和财力。

矿井开采系统形成以后的 1984 年 7 月～1985 年 7 月间，为彻底消除灰岩地下水对采煤活动的严重威胁，开始在-270 m 水平的巷道中施工了大量的探放水钻孔，从而使矿井涌水量在短时间内得到迅速增长，与此同时，地下水水位也在迅速大幅度下降。表 1 所列数据为历年来矿井涌水量观测的部分资料。

表 1 矿井涌水量观测资料

Tab.1 data of pit water discharge

时间/（年-月）	1983-7 1983-10	1984-1 1984-4	1984-7 1984-10	1985-1 1985-4	1985-7	1986-1	1986-7	1987-1
涌水量/Q	335 327	401 444	651 643	827 911	1019	872.4	822.1	719

3 矿井涌水量预测模型 GM(1,1) 的建立

由表 1 所列数据可以看出，矿井涌水量和地下水位的预测模型的建立，应以 1985 年 7 月为界线，分为两个阶段（相当于两个子系统），可单独建模。

（1）1985 年 7 月以前，随着探放水工作的开展，矿井涌水量的不断增加，地下水位也不断下降。

（2）1985 年 7 月以后，随着探放水工作的结束，矿井涌水量逐渐减小到稳定，地下水位的下降幅度也逐渐减小到稳定。

3.1 1985 年 7 月及以前阶段的预测模型

取原始数列（以半年为时间间隔）

$$Q_i^{(0)}=\{335,401,651,827,1\,019\}$$

第一步 作一次累加生成（I-AGO）

$$Q_i^{(1)}=\{335,736,1\,387,2\,214,3\,233\}$$

第二步 构造矩阵及求参矩阵为

$$B=\begin{bmatrix}-5 & 35.5 & 1\\-10 & 61.5 & 1\\-18 & 00.5 & 1\\-27 & 23.5 & 1\end{bmatrix},\ y_N=[401,651,827,1019]^{\mathrm{T}},$$

参数 $$\hat{a}=(B^{\mathrm{T}}B)^{-1}B^{\mathrm{T}}y_N=\begin{bmatrix}a\\u\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}-0.27\\307.64\end{bmatrix}$$

则预测方程为

$$\hat{Q}_{(k+1)}^{(1)}=[335+1139.4]e^{0.27k}-1139.4$$

第三步 精度检验（按相对误差 r）结果见表 2.

表 2 误差计算

Tab.2 the calculation of error

k	0	1	2	3	4
$\hat{Q}^{(1)}(k+1)$	335	792.0	1 390.7	2 175.0	3 202.2
还原后	335	457	598.7	784.3	1 027.2
残差	0	56	-52.3	-42.7	8.2
误差 r%	0	13.97	-8.0	-5.16	0.8

万方数据

表 3　误差计算

Tab.3　the calculation of error

k	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$\hat{Q}$值	335	662.7	1 051.1	1 511.6	2 057.3	2 704.2	3 470.9	4 379.7	5 456.9
还原后	335	327.7	389.1	460.5	545.7	646.9	766.7	908.8	1 077.2
残差	0	0.7	-11.9	16.5	105.3	3.9	-60.3	-2.2	22.99
相对误差 r%	0	0.2	-2.97	3.72	-16.2	0.61	-7.29	-0.24	0.4

3.2 从取值数量看一次累加生成对随机性的弱化作用

上述预测模型误差的较大，但是规律性很明显，其实质是建模时，没有对该时段的工作做详细的分析，在实施探放水工作之前（即 1984 年 10 月前），矿井涌水量的增长是随掘进工作的开展而逐渐变化的，即“渐变”；而实施探放水的一年间，矿井涌水量的变化呈现急促的“突变”。这种改变要求在建模时就应该突破以往使用灰色系统理论建模的思维方式（即使用数据不少于 4 个即可）的观念，而应多采用一些原始数据。

因所使用的原始数据较少，则使得进行了一次累加生成后对随机变量的弱化作用难以发挥有效作用，因此有必要按三个月的时间间隔来建模并预测，即将前面模型中的五组数据增加到 7 组后重新建模预测。

即令 $Q_i^{(0)} = \{335,327,401,444,651,643,827\}$

则经过 I-AGO,构造矩阵和求参计算后，得到的预测模型为

$$\hat{Q}_{(k+1)}^{(1)} = 1\,768.5e^{0.17k} - 1\,433.5$$

其相对误差结果以及对 1985 年 4 月和 1985 年 7 月预测如表 3 所示。

由此可以看出，除 1984 年 7 月的预测结果误差较大外，其余数据的误差均在±10%以内。它一方面说明 1984 年 7 月的涌水量观测数据本身就十分特殊（不应大于 643）；另一方面说明要提高预测精度，就必须增加数列数量，只有 N 值增大，才能充分实现累加生成对随机变量随机性的弱化作用及其对规律性的强化作用。

3.3　1985 年 7 月以后的预测模型

取原始数列 $Q_i^{(0)} = \{1\,019,872.4,822.1,719.0\}$，

经 I-AGO,构造矩阵和求参计算后得

$$Q_{(k+1)}^{(1)} = -9\,594.7e^{0.096k} + 10613.7$$

再进行精度检验、并按此方程计算出 1987 年 7 月及 1988 年 1 月的预测值和实测值（依次为 700.8 和 635.1）进行对比，结果如下。

表 4　误差计算

Tab.4　the calculation of error

k	0	1	2	3	4（87.7）	5（88.1）
$\hat{Q}_{(k+1)}^{(1)}$	1 019	1 897.3	2 695.1	3 419.9	4 078.4	4 676.6
$Q_{(k+1)}^{(1)}$	1 019	878.3	797.8	724.8	658.5	598.2
残差	0	5.9	-24.3	5.8	-42.3	-36.9
r%	0	0.68	-2.96	0.81	6.04	-5.81

4　结　论

（1）灰色系统理论以数学为基础，具有高度的概括性和准确性、同时也具有自我修复功能。

（2）灰色系统预测模型在矿井防治水工作中的应用、将极大地提高矿井水文地质的工作质量和矿井水动态预测预报的精度，摆脱了以前工作中矿井涌水量预测精度差的困境。

（3）灰色系统理论在应用于矿井水动态的预测过程中，一定要密切结合矿井防治水工作的实际情况和矿井水文地质的现状，尽管灰色理论在预测模型的建立过程中具有使用数据少的特点，但当矿井涌水量的变化幅度较大，用较少的数据序列无法得到较高的预测精度时，应加密原始数据，并缩短时间间隔，从而达到弱化原始数据随机性、增强其规律性、提高预测精度的目的。

参考文献：

[1] 邓聚龙.灰色系统基本方法[M].武汉：华中理工大学出版社，1988.

万方数据