

# 矿井涌水量灰色动态预测及排水节能控制研究<sup>①</sup>

侯 健

(辽宁工程技术大学 机械工程学院, 阜新 123000)

**摘 要:** 当矿井发生涌水事故时, 有时会给煤矿造成巨大的经济损失和安全隐患. 因此本文利用阜新某煤矿过去九年间的涌水量原始数据, 采用灰色系统理论和方法建立了矿井涌水量趋势预测的灰色  $G(1,1)$  动态预测模型, 它具有结构简单、计算量少、适应性强, 可信度高等特点. 实验预测结果表明: 该模型能够对矿井涌水量进行精确预测, 具有较好的可靠性和实用性. 同时利用西门子 S7-300 系列 PLC 和组态软件对煤矿井下排水系统进行高效节能综合自动化控制, 实现实时监测、自动运行、安全可靠, 提高了生产效率, 节约能源, 降低成本.

**关键词:** 涌水量; 灰色预测模型; 高效节能; PLC

## Research on Dynamic Gray Forecast for Mine Inflow and Drainage Energy Control

HOU Jian

(College of Mechanical Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

**Abstract:** Great financial losses and safety loophole will be caused by water gushing accident in coal mine. The vast original water inflow data come from one FuXin coal mine is used to establish dynamic the gray  $G(1,1)$  model for water inflow forecast with gray system theory and method. Its characteristics are simple structure, less calculated amount and good adaptability. The Siemens S7-300 series PLC and configuration software are used to finish high efficiency and energy saving integrated automation control in underground drainage system. It is safe and reliable and can be used to increase production efficiency, save energy and reduce cost. Log monitor and auto run are realized. The results show that the model can precisely predict water inflow with good reliability and instantaneity.

**Key words:** water inflow; gray prediction model; energy efficient; PLC

## 1 引言

矿井涌水量是指在矿山建设和生产过程中单位时间内流入矿井(包括各种巷道和开采系统)的水量<sup>[1]</sup>. 然而煤矿涌水量主要影响因素有水文、开采状况、气象、地质等等, 它们之间相互作用使涌水量呈现出较大的随机性与偶然性, 因此给涌水量准确预测带来一定难度. 当矿井发生涌水事故时, 有时会给煤矿造成巨大的财产经济损失, 并严重威胁井下工作人员的人身安全. 因此为了满足煤矿企业在保证安全生产的基础上, 产生巨大的经济效益, 需要对涌水量做出更加准确预测, 同时对于实现煤矿井下排水系统高效节能运行有着重要的现实意义. 结合煤矿涌水量的特殊性, 本文采用灰色系统理论和方法建立了矿井涌水量趋势预测

的灰色动态预测模型, 它具有结构简单、计算量少、适应性强, 可信度高等特点.

## 2 灰色预测模型原理

灰色系统理论是我国著名学者邓聚龙教授于 20 世纪 70 年代末、80 年代初提出, 它以“部分信息已知、部分信息未知”的“小样本”、“贫信息”不确定型系统为研究对象<sup>[2]</sup>. 灰色预测模型是通过鉴别系统因素之间发展趋势的相似或相异程度, 并通过对原始数据的生成处理来寻求系统变动的规律. 生成数据序列有较强的规律性, 可以用它来建立相应的微分方程模型, 从而预测事物未来的发展趋势和未来状态.

常用的灰色系统模型有  $GM(1,1)$  模型、 $GM(1,N)$

<sup>①</sup> 收稿时间:2013-08-01;收到修改稿时间:2013-09-02

模型、GM(0,N)模型、GM(2,1)模型、Verhulst 模型<sup>[3]</sup>。目前,最常用、研究最多的是 GM(1,1)模型。GM(1,1)模型是基于随机的原始时间序列,经按时间累加后所形成的新的时间序列呈现的规律可用一阶线性微分方程的解来逼近。其 GM(1,1)灰色预测原理框图如图 1。

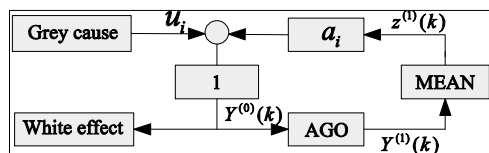


图 1 GM(1,1)预测方框图

设  $Y^{(0)}$  为 GM(1,1) 的建模非负序列

$$Y^{(0)}(k) = \{Y^{(0)}(1), Y^{(0)}(2), \dots, Y^{(0)}(n)\}$$

令  $Y^{(1)}$  为  $Y^{(0)}$  的 1-AGO 序列

$$Y^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k Y^{(0)}(i), (i=1, 2, \dots, n)$$

$Z^{(1)}$  的  $Y^{(1)}$  紧邻均值生成序列为

$$Z^{(1)} = \{Z^{(1)}(1), Z^{(1)}(2), \dots, Z^{(1)}(n)\}$$

其中  $Z^{(1)}(k) = 0.5Y^{(1)}(k) + 0.5Y^{(1)}(k-1), k=1, 2, \dots, n$ ; 得到 GM(1,1) 的灰微分方程模型为

$$Y^{(1)}(k) + aZ^{(1)}(k) = u \quad (1)$$

其中  $a, u$  分别为发展灰数和灰作用量。

设  $\hat{c}$  为待估计参数向量, 令  $\hat{c} = [a, u]^T$ , 则利用最小二乘法求它们的估计值为

$$\hat{c} = (B^T B)^{-1} B^T X_n$$

其中  $B = \begin{bmatrix} -Z^{(1)}(2) & 1 \\ -Z^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -Z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix}, X_n = \begin{bmatrix} Y^{(0)}(2) \\ Y^{(0)}(3) \\ \vdots \\ Y^{(0)}(n) \end{bmatrix}$

于是 GM(1,1) 的灰微分方程对应的影子方程为

$$\frac{dY^{(1)}}{dt} + aY^{(1)} = u \quad (2)$$

称之为 GM(1,1) 的白化型。GM(1,1) 模型的时间响应序列为

$$\hat{Y}^{(1)}(k+1) = \left[ Y^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right] e^{-ak} + \frac{u}{a}, (k=1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

累减还原预测方程为

$$\hat{Y}^{(0)}(k+1) = \hat{Y}^{(1)}(k+1) - \hat{Y}^{(1)}(k) \quad (4)$$

### 3 煤矿涌水量动态预测

GM(1,1)模型是基于随机的原始时间序列, 经按

时间累加后所形成的新的时间序列呈现的规律可用一阶线性微分方程的解来逼近<sup>[3-6]</sup>。本文提出了采用动态预测模型, 建模步骤如下:

(1) 这里以阜新某煤矿为例, 由于其煤矿的年涌水量较大, 只采用井下 GM(1,1) 某个工作面 2003 年至 2011 年九年的年均涌水量数据建模。

$$Y^{(0)}(k) = [728, 736, 721, 742, 729, 718, 709, 723, 711]$$

(2) 构造一次累加生成序列

$$Y^{(1)}(k) = \begin{bmatrix} 728, 1464, 2185, 2927, 3656, 4374 \\ 5083, 5806, 6517 \end{bmatrix}$$

(3) 构造数据矩阵  $B$  和数据向量  $X_n$ 。

$$B = \begin{bmatrix} -1096.0 & 1 \\ -1824.5 & 1 \\ -2556.0 & 1 \\ -3291.5 & 1 \\ -4015.0 & 1 \\ -4728.5 & 1 \\ -5444.5 & 1 \\ -6161.5 & 1 \end{bmatrix}, X_n = \begin{bmatrix} 736 \\ 721 \\ 742 \\ 729 \\ 718 \\ 709 \\ 723 \\ 711 \end{bmatrix} \quad (5)$$

(4) 计算  $\hat{c} = \begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T X_n$

$$\hat{c} = (B^T B)^{-1} B^T X_n = \begin{bmatrix} 0.0045 \\ 740.083 \end{bmatrix} \quad (6)$$

因此  $a = 0.0045, u = 740.083$ 。

(5) 得出预测模

$$Y^{(1)}(k) + 0.0045Z^{(1)}(k) = 740.083 \quad (7)$$

$$\frac{dY^{(1)}}{dt} + 0.0045Y^{(1)} = 740.083 \quad (8)$$

$$\hat{Y}^{(1)}(k+1) = -162942 \exp(-0.0045k) + 163670 \quad (9)$$

根据累减还原预测方程

$$\hat{Y}^{(0)}(k+1) = \hat{Y}^{(1)}(k+1) - \hat{Y}^{(1)}(k) \quad (10)$$

即可得到相应的预测结果见表 1。

年份	原涌水量	GM(1,1) 拟合值	绝对残差	相对误差
2003	728	728	0	0
2004	736	735.1278	0.8722	0.0012
2005	721	731.8112	-10.811	-0.0150
2006	742	728.5095	13.4905	0.0182
2007	729	725.2228	3.7772	0.0052
2008	718	721.9509	-3.9509	-0.0055
2009	709	718.6937	-9.6937	-0.0137
2010	723	715.4513	7.5487	0.0104
2011	711	712.2234	-1.2234	-0.0017

从表 1 可以看出, 通过灰色 GM(1,1)模型得到的预测值基本上接近实测数据, 预测精度较高, 完全能够体现阜新某煤矿的年实际涌水状况, 同时可对未来的涌水量做出趋势预测.

(6) 通过 GM(1,1)预测模型可以预测该煤矿以后几年的年煤矿涌水量. 这里只预测出 2012 年和 2013 年两年的煤矿涌水量分别为 705.7228 和 718.5542. 我们根据这些预测值可以更加合理设计煤矿排水高效节能自动控制系统.

### 4 灰色预测功能的实现

本系统利用西门子 S7-300 系列可编程序控制器与上位机监控界面数据显示进一步实现矿井排水系统综合节能控制. 主要利用已建立的灰色 GM(1,1)预测模型来预测煤矿井下涌水量的变化趋势, 通过上位机画面来显示预测结果.

预测系统的 PLC 主程序由 GM(1,1) 预测模型子程序块、时间判断和控制字程序块组成, 如图 2 所示.

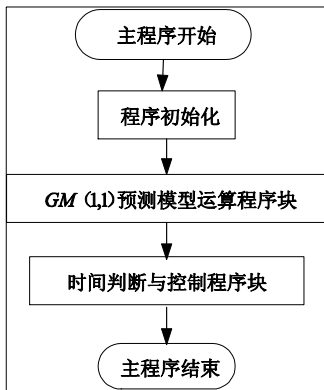


图 2 PLC 主程序流程图

按照 GM(1,1) 预测模型的推导过程, 与 PLC 的程序结构特点相结合, 在编程软件中建立一个 GM(1,1) 预测模型的功能模块 FB1, 相应的背景数据块定义为 DB1. FB1 程序流程图如 3 所示. 时间判断与控制子程序块重点按照现场条件及时间来判断是否要动态更新样本或者增加样本.

随着煤矿采煤过程的进行, 有时会有突发的涌水事故发生, 此时系统是否能够应急并且处理突发事故显得尤为重要. 遇到突发事故时, 一般系统提前设置了随时检测涌水情况的装置, 一旦涌水情况有了问题, PLC 会启动保护程序<sup>[7]</sup>. 通常采用一是关闭巷道防

水门, 防止其大量涌水进入井下泵房和变电所; 二是当防水门关闭后, 预开水泵, 提前抽水, 进一步保证供电排水设备的安全运行, 如图 4 所示.

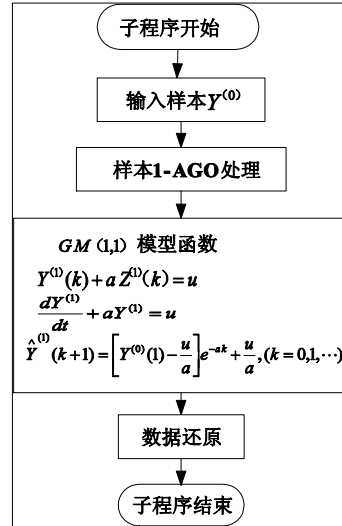


图 3 灰色预测模型流程图

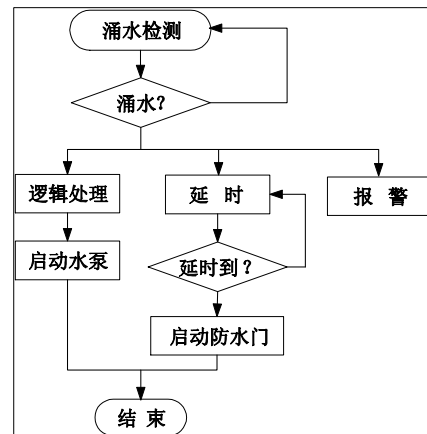


图 4 安全保护流程

### 5 高效节能排水系统总体方案设计

煤矿排水系统自动化主要是为了可以在井下达到不用工作人员操作, 可以实现实时监测、自动运行, 安全性达到要求, 提高可靠性等. 同时可以实现将水泵的运行情况优化, 选取合适的工作策略, 节能优化, 将生产成本降低. 系统总框图如图 5 所示.

由图 5 可知, 系统在模拟量输入模块需要采集水位、入水口真空度、出水口压力、电机轴温、电机定子温度、排水管流量等; 数字量输入模块需要向中央处理单元输入电动闸阀和电动球阀的开关状态、及各阀的到位信号, 控制方式的选取信号, 还包括水泵启停信号等;

上位机监控为工作人员操作带来了方便,工作人员可以在井上对井下的系统工作进行控制,上位机监控界面可以实现对排水系统运行状态和工作参数的显示.

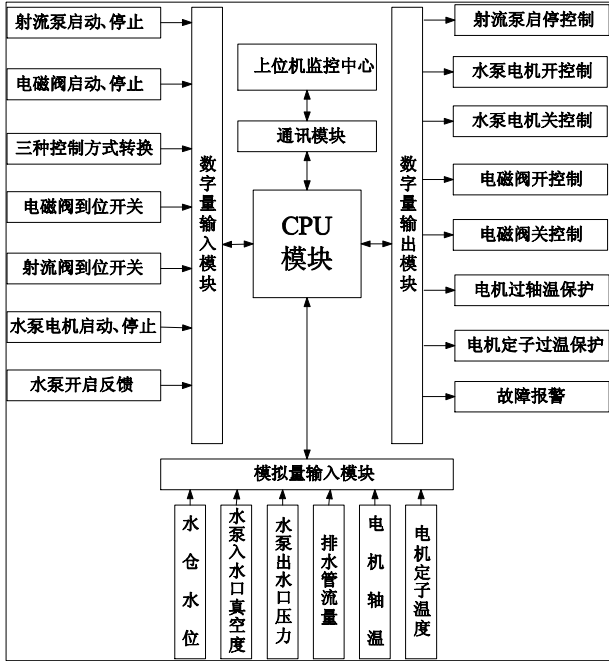


图 5 系统总体方案框图

### 6 上位机组态监控系统设计

对于一个有实际应用价值的 PLC 控制系统来讲,除了硬件和控制软件之外,还应有便于用户操作的友好的人机界面<sup>[8-9]</sup>.用户可以通过人机界面随时了解、观察并掌握整个控制系统的工作状态,必要时还可以通过人机界面向控制系统发出故障报警,进行人工干预.因此,人机界面就可以看成是人与硬件(计算机、PLC 等)、控制软件的交叉部分,人可以通过人机界面与计算机、PLC 进行信息交换,向 PLC 控制系统输入数据、信息和控制命令,而 PLC 控制系统又可以通过人机界面,由可编程终端、计算机回送控制系统的数据和有关信息给用户.由此可知人机界面充分地体现了 PLC 控制系统的输入输出功能以及用户对系统工作情况进行操作的控制功能.本系统的上位机主监控画面,如图 6 所示.

图 7 为井下工作现场,控制柜分上下两部分,下面主要是 PLC 控制单元,上面是传感器与 PLC 的接线,控制柜旁是本安电源和隔爆电源,由于不同的模块需要不同的电源,所以两个电源可同时使用.

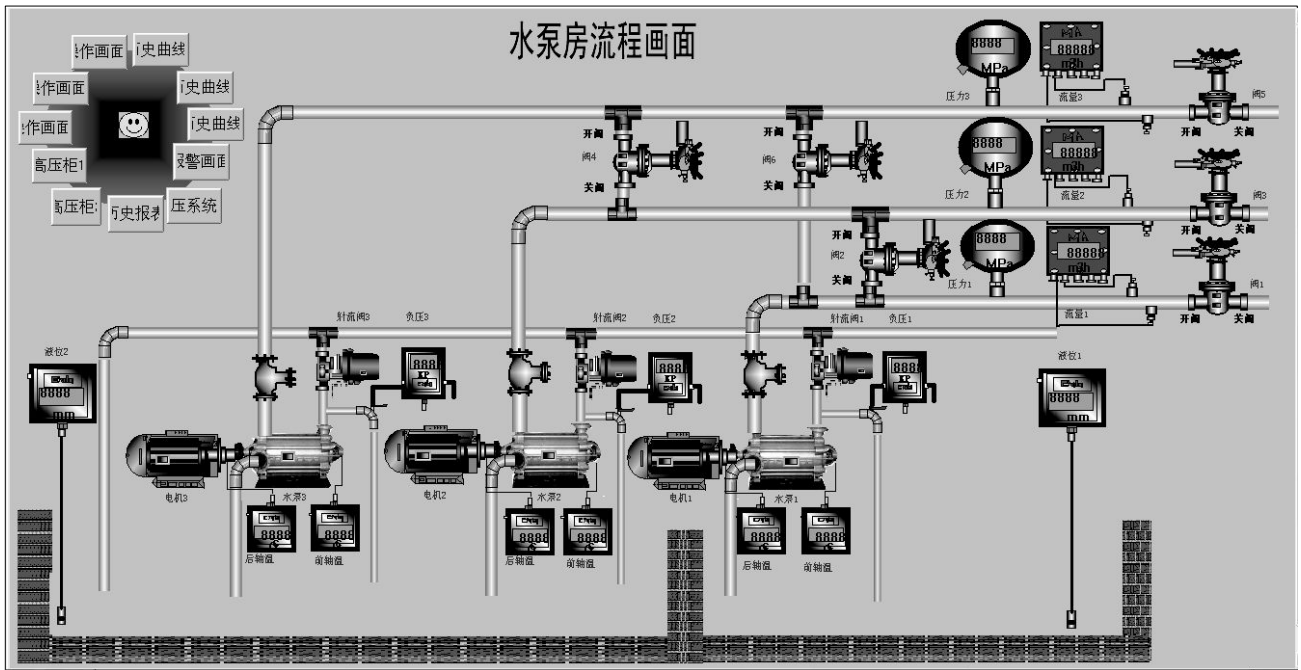


图 6 主监控画面

### 7 结论

本文结合煤矿涌水量的随机性和偶然性等特点,利用阜新某煤矿过去九年间的涌水量原始数据,采用灰色

系统理论和方法建立了矿井涌水量趋势预测的灰色 G(1,1)动态预测模型.该模型具有结构简单、建模计算量少等优点,能够极大地提高煤矿涌水量的动态预测精度,

摆脱了以前工作中矿井涌水量预测精度差的困境。同时对实际的煤矿排水系统采用西门子 S7-300 系列 PLC 和组态软件进行高效节能综合自动化控制, 实现实时监测、自动排水、安全可靠、稳定运行, 大大提高了煤矿企业的生产效率, 节约能源, 降低采煤成本。

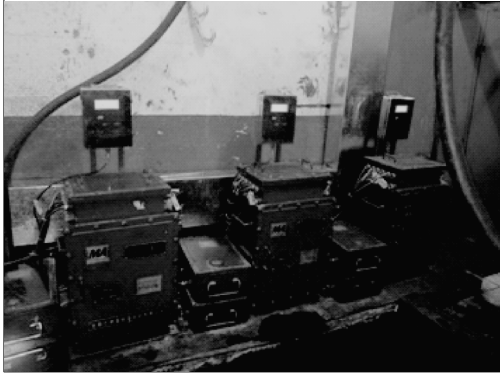


图 7 井下工作现场

#### 参考文献

- 1 刘娟,杨国勇,孟茜.新驿煤矿矿井涌水量预测.山东煤炭科技,2008,1:74-76.
- 2 邓聚龙.灰色系统理论基教程.武汉:华中科技大学出版社,1990.
- 3 邓聚龙.灰理论基础.湖北:华中科技大学出版社,2002.
- 4 陈毅红,冯全源,杨宪泽.RIID 标签到达率的动态自适应灰色模型预测算法研究.计算机科学,2013,40(7):40-43.
- 5 Sun JH. Forecasting model of coal requirement quantity based on grey system theory. J. China Univ. of Mining & Tech, 2001, (2): 192-195.
- 6 张斌,刘俊民,张博炜等.灰色神经网络在地下水动态预测中的应用.中国农村水利水电,2013,1:5-10.
- 7 彭澄伟,徐振栋.矿井主排水泵自动控制系统研究.煤炭工程,2008,11(6):76-77.
- 8 肖林京,孙传余,梁慧斌.PLC在水泵自动化监控系统中的应用.煤炭工程,2007,9(3):103-105.
- 9 马慧娟.煤矿井下水情综合监控系统管理软件的开发与设计.煤矿机械,2007,11(9):30-34.

1 刘娟,杨国勇,孟茜.新驿煤矿矿井涌水量预测.山东煤炭科