

# Grey System Prediction on the Safety Accident in Coal Mine

Aixia Zhang, Ming Zhu, Lifen Yi, Min Wang

Hebei Polytechnic University, Tangshan, China

Email: jtzax@heut.edu.cn

**Abstract:** This paper analyses the specialty of grey model and forecasts the accident development trend in coal mine in accordance with the accident statistics of coal mine by means of the grey forecast method. The course and the result in the analysis and the forecast indicate that the method is simple and easy, and the result is reliable. The method and result of the study in the article can not only provide the theoretical management object and safety plan for the quantitative study in coal mine safety accident but also supply the basis to the safety administration decision of coal enterprise.

**Keywords:** safety accident; grey model; grey forecast

## 灰色系统预测在煤矿安全事故发生趋势预测中的应用

张爱霞, 朱明, 衣丽芬, 王敏

河北理工大学, 唐山, 中国, 063009

Email: jtzax@heut.edu.cn

**摘要:** 本文在分析了灰色模型特点的基础上, 运用灰色预测方法, 依据煤矿事故统计数据, 编制了相应软件对煤矿事故发展趋势进行了预测, 分析预测的过程和结果表明, 该方法简单易行, 其结果可信。为确定煤矿安全管理目标、制定安全工作计划或做出安全决定提供依据。

**关键词:** 安全事故, 灰色模型, 灰色预测

### 1 引言

事故发生趋势预测的方法有回归预测法、连环系数法、自适应过滤法、卡曼滤波器法、特尔斐法、灰色预测法等。回归预测法简单易行, 具有一定准确度, 应用得最为广泛。然而, 回归预测法具有一定的局限性, 如: 要求大样本量, 要求样本有较好的分布规律, 计算工作量大, 可能出现量化结果与定性分析结果不符的现象。

部分信息已知, 部分信息未知的系统称为灰色系统。由于煤矿的人-机-环境系统是信息部分明确、部分不明确的灰色系统, 可以应用灰色预测理论和方法解决事故预测问题。所以, 本文采用灰色预测理论来研究煤矿事故发生的趋势。

### 2 灰色模型

灰色模型 (Gray Model) 简称 GM 模型, 是灰色系统理论的基本模型, 也是灰色控制理论的基础。它

是以灰色模块为基础, 以微分拟合法建立的模型。

灰色系统理论中常用的是微分方程所描述的动态方程, 最简单的是基于灰色系统理论模型 GM (1, 1) 以及 GM (1, N) 模型的预测<sup>[3]</sup>。

概括地说, 灰色模型具有如下特点:

(1) 建模所需信息较少, 通常只要有 4 个以上的数据即可建模;

(2) 不必知道原始数据分布的先验特征, 对无规则或服从任何分布的任意光滑离散的原始序列, 通过有限次的生成即可转化成有规序列;

(3) 建模的精度较高, 可保持原系统的特征, 能较好地反映系统的实际情况。

灰色系统在建模时, 必须采取一定的方式对原始数据进行生成处理, 使生成数据变成有规序列。数据生成有两个目的:

(1) 为建模提供中间信息;

(2) 弱化原随机序列的随机性。

### 3 煤矿事故灰色模型

#### 3.1 灰色预测模型的建立

对于等时距获得的煤矿伤亡事故原始数据（见表1），以

$$x^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(n)\}$$

为基础数据，进行一次累加生成处理：

$$x^{(1)}(k) = \sum_{j=1}^k x^{(0)}(j) \tag{1}$$

以生成数列  $x^{(1)}$  为基础建立灰色微分方程：

$$dx^{(1)} / dt + ax^{(1)} = b \tag{2}$$

称为一阶一个变量模型，或 GM(1, 1)模型，式中  $a$  和  $b$  为待辨识常数，设参数向量  $a = [a, b]^T$ ，取  $Y_N = \{x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), x^{(0)}(4) \dots x^{(0)}(n)\}$ ，令

$$B = \begin{bmatrix} -z(2) & 1 \\ -z(3) & 1 \\ \cdot & 1 \\ \cdot & 1 \\ \cdot & 1 \\ -z(n) & 1 \end{bmatrix}$$

$$z(1)(k) = 1/2[x^{(1)}(k) + x^{(1)}(k-1)] \quad k = 2, 3, 4 \dots, n$$

由下式求得参数向量  $\hat{a}$  的最小二乘解：

$$\hat{a} = (B^T \cdot B)^{-1} \cdot B^T \cdot Y_N$$

式中  $\hat{a} = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}$

将求得的  $\hat{a}$  代入公式(1)，并解微分方程，得到 GM(1, 1)模型的离散响应方程为：

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = (x^{(0)}(1) - b/a) * e^{-a*k} + b/a \tag{3}$$

将  $\hat{x}^{(1)}(k+1)$  值再作一次累减还原计算可以得原始数据  $x^{(0)}(k+1)$  的拟合值  $\hat{x}^{(0)}(k+1)$ ，即 GM(1, 1)预测模型为

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k) \quad k = 1, 2, 3 \dots n \tag{4}$$

某集团 1991-2003 年间伤亡事故统计数据如表 1 所示，下面根据上面的 GM(1, 1)预测模型来分析开滦集团伤亡事故发生趋势。

由表 1，令

表 1. 某集团 1991-2003 年伤亡事故统计表

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
13	29	23	15	19	22	25	12	11	11	13	19	12

$x^{(0)} = \{13, 29, 23, 15, 19, 22, 25, 12, 11, 11, 13, 19, 12\}$ ，采用公式 1 进行一次累加生成处理，得到  $x^{(1)} = \{13, 42, 65, 80, 99, 121, 146, 158, 169, 180, 193, 212, 224\}$

确定向量  $Y_N$  和矩阵  $B$ ：

$$Y_N = \{x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(n)\} = \{29, 23, 15, 29, 22, 25, 12, 11, 11, 13, 19, 12\}$$

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}[x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(3) + x^{(1)}(4)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(4) + x^{(1)}(5)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(5) + x^{(1)}(6)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(6) + x^{(1)}(7)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(7) + x^{(1)}(8)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(8) + x^{(1)}(9)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(9) + x^{(1)}(10)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(10) + x^{(1)}(11)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(11) + x^{(1)}(12)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(12) + x^{(1)}(13)] & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -27.5 & 1 \\ -53.5 & 1 \\ -72.5 & 1 \\ -89.5 & 1 \\ -110 & 1 \\ -133.5 & 1 \\ -152 & 1 \\ -163.5 & 1 \\ -174.5 & 1 \\ -186.5 & 1 \\ -202.5 & 1 \\ -218 & 1 \end{bmatrix}$$

所以

$$\hat{a} = (B^T \cdot B)^{-1} \cdot B^T \cdot Y_N = (0.081658, 28.80896)^T$$

即  $a = 0.081658$ ， $b = 28.80896$ 。

根据公式(4)，伤亡事故发生趋势预测的 GM(1, 1)模型为：

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = (x^{(0)}(1) - b/a) * e^{-a*k} + b/a = 339.8e^{-0.081658t} + 352.8$$

根据得到的模型可以对历年的伤亡事故发生趋势进行预测。

#### 3.2 模型精度检验

上述模型建立以后还不能最终肯定它就能反映序

列的客观规律，需要对其进行诊断性检验，这里采用残差检验。设  $i$  时刻的残差为  $\varepsilon^{(0)}(i)$  则：

$$\varepsilon^{(0)}(i) = |x^{(0)}(i) - \hat{x}^{(0)}(i)|$$

其中  $x^{(0)}(i)$  为原始序列， $\hat{x}^{(0)}(i)$  为预测得到的序列。

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \varepsilon^{(0)}(i)$$

$$s_1^2 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (\varepsilon^{(0)}(i) - \bar{\varepsilon})^2$$

$$\bar{x} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i)$$

原始数列均值：

$$s_2^2 = \frac{1}{k} (x^{(0)}(i) - \bar{x})^2$$

原始数列方差：

$$c = \frac{s_1}{s_2}$$

检验指标：

按照上述指标  $c$ ，有精度检验等级表 2。

表 2. 精度检验指标

预测精度等级	$c$
好	<0.35
合格	<0.5
勉强	<0.65
不合格	>=0.65

$c$  越小，表示  $s_1$  相对  $s_2$  来说要小， $s_1$  表示预测误差离散性小， $s_2$  大表明数据的离散性较大，若原始数据离散性尽管大，而预测值离散性仍然相对较小，则预测结果显然是好的。

#### 4 煤矿事故灰色系统应用

根据提出的煤矿事故预测灰色模型，建立了灰色系统并编制了系统程序，可以对煤矿伤亡事故进行很好地预测。根据某集团 1991-2003 年伤亡事故人数（表 1）进行预测如图 1 所示。



图 1. 死亡事故灰色系统预测应用

另外根据灰色预测模型笔者还在系统中设计了通用软件。采用某集团某煤矿死亡事故起数预测结果如下图所示。

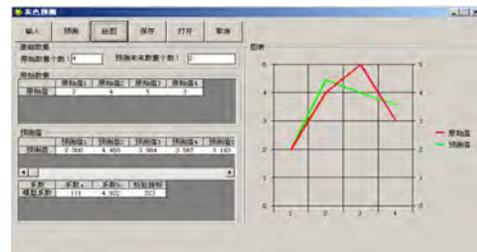


图 2. 某矿死亡事故起数灰色预测结果

利用该系统还可以对煤矿系统安全中的绝对指标值如百万吨死亡率、千人负伤率、重伤事故、死亡事故等发生趋势进行预测，为确定煤矿安全管理目标、制定安全工作计划或做出安全决定提供依据，对企业的安全管理起到辅助决策的作用。

#### References (参考文献)

- [1] YANG Zhong, DING Yu-lan, ZHAO Chao-yi. The grey interrelation analysis and tend prediction on the safety accident in Kailuan Coal Mine[J]. Journal of China Coal Society, 2003,28(1), P59-63.  
杨中, 丁玉兰, 赵朝义. 开滦煤矿安全事故的灰色关联分析与趋势预测[J]. 煤炭学报, 2003, 28(1), P59-63.
- [2] Wei Shaomin, Study on the Occurrence Mechanism and Prevention Countermeasures of Coal Mine Accidents Due to Human Factor[D]. Xi'an University of Technology, 2004.  
魏绍敏. 煤矿人因事故发生机理及防范对策研究[D]. 西安科技大学, 2004.
- [3] Wang Wei, etc. Analysis Methods of Road Transportation Engineering System, Bei Jing: China Communications Press, 2004.  
王伟等. 道路交通工程系统分析方法[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [4] Zhu Ming, Zhang Jinrui, Yang Zhong. Management Systems Engineering Base[M]. Bei Jing: Metallurgy Industry Press.
- [5] 朱明, 张锦瑞, 杨中. 管理系统工程基础[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2007.