

尾部残差修正 GM(1,1)模型在煤矿百万吨死亡率预测中的应用

王李管, 裴安磊

中南大学资源与安全工程学院; 中南大学数字矿山研究中心; 长沙迪迈数码科技股份有限公司, 长沙 410083

摘要 煤矿安全是当前安全生产工作的重中之重。为掌握煤矿安全生产情况,降低事故损失,保证中国煤炭工业健康、快速、可持续发展,本文在传统 GM(1,1)模型的基础上,建立了关于煤矿百万吨死亡率的尾部残差修正 GM(1,1)模型。将该方法应用于 2001—2011 年全国煤矿百万吨死亡率分析,并以此为基础对 2012、2013 年的煤矿百万吨死亡率进行预测,与传统 GM(1,1)模型的预测结果进行对比分析。研究结果表明,传统的 GM(1,1)模型精度较差,最大误差达到 14.35%,经修正的尾部残差 GM(1,1)模型预测结果可靠,实际值与预测值平均相对误差 1.14%,最大相对误差 3.81%,各项指标均明显优于传统的 GM(1,1)预测模型,为政府、矿山企业制定安全生产目标、政策以及建立科学高效的安全管理机制提供理论依据。

关键词 传统 GM(1,1)模型;尾部残差修正 GM(1,1)模型;百万吨死亡率;煤矿安全

中图分类号 X936

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.08.008

Applications of Modified Empennage Residual Error GM(1,1) Model in the Prediction of Million Tons Death Rate of Coal Mine

WANG Liguan, PEI Anlei

School of Resources and Safety Engineering, Central South University; Research Center of Digital Mine, Central South University; Changsha Digital Mine Co., Ltd, Changsha 410083, China

Abstract Coal mine safety is the top priority of the current production safety work, in order to master the mine safety production status in China, decrease the accident loss, and ensure a healthy, rapid, and sustainable development of China's coal industry, a modified empennage residual error GM(1,1) model is built on the basis of the traditional GM (1,1) model to analyze the Death Rate Per Million Ton (DRPMT) of coal mines from the year of 2001 to 2011, and to predict the DRPMT of coal mines in the year of 2012 and 2013, respectively. The result shows that the accuracy of traditional GM (1,1) model is quite poor with the maximum error of 14.35%. Compared with the result given by traditional GM (1,1) model, the proposed method is easy to operate with reliable results. The average relative error is 1.14% and the maximum relative error is 3.81%, which are all better than that by using the GM (1,1) model. The method provides the theory guidance for governments and mining enterprises to set safe production targets and policies, establish scientific and efficient security management mechanism. And the method has the great application value in practice.

Keywords traditional grey GM(1,1) model; modified empennage residual error GM (1,1) model; death rate per million ton(DRPMT); coal mine safety

0 引言

在中国的能源工业中,煤炭占一次能源生产和消费结构的 70%左右,预计到 2050 年将占 50%以上。因此,煤炭在相当长的时期内仍将是主要能源。当前,中国经济的快速增长,

对煤炭工业发展提出了更高的要求^[1,2]。由于煤矿生产和作业条件的特殊复杂性,煤矿安全事故一直占据安全事故很大的比例。由于国家对煤矿安全的重视,不断投入人力、物力,近几年煤矿安全生产形势逐步趋向好转。从 2006—2010 年,中

收稿日期: 2012-12-24;修回日期: 2013-01-21

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2011AA060407)

作者简介: 王李管,教授,研究方向为数字矿山与矿山安全,电子信箱: liguan_wang@163.com

国更加重视煤矿安全生产,在煤炭总产量不断提高的情况下煤矿事故逐年减少,但是由于种种原因,重大事故和特别重大事故仍时有发生^[3]。煤矿百万吨死亡率是指每生产百万吨煤炭死亡的人数,它是衡量煤矿生产安全的重要指标之一,也是国家对一个区域煤矿安全生产状况进行考核的重要指标^[4]。分析预测煤矿百万吨死亡率的发展变化,对认识当前煤矿安全生产的形势特点,分析煤矿安全生产的发展趋势具有重要意义。

概率统计、模糊数学和灰色系统理论是3种最常用的不确定系统研究方法。灰色系统理论着重研究概率统计;模糊数学难以解决“小样本,贫信息”不确定性问题,适合研究“外延明确,内涵不明确”的对象^[9]。分析预测煤矿百万吨死亡率属于“小样本,贫信息”不确定性问题,适宜采用灰色系统预测方法。同时,煤矿是一个极其复杂的系统,煤矿的安全生产是多种内因外因综合作用的结果,其中部分是不确定因素,属于典型的灰色系统。

张大海等^[7-9]指出,传统灰色预测模型存在理论缺陷,使得在应用时会遇到一些预测精度不高的例子。基于尾部残差修正的GM(1,1)模型则可以很好地消除这种影响。因此,根据中国2001—2011年煤矿百万吨死亡率数据,本文建立了尾部残差修正灰色预测模型,与传统方法进行了误差对比分析,并对中国未来煤矿百万吨死亡率进行了预测。

1 传统灰色 GM(1,1) 模型

1.1 灰色系统预测模型概念

灰色系统理论的特点是充分开发利用已占有的“最少信息”,其原理是通过对原始数据的挖掘、整理来寻求其变化规律。这是一种根据数据寻找数据现实规律的途径,称为灰色序列生成。灰色系统理论认为,尽管客观系统表象复杂,数据离乱,但它总是有整体功能的,因此必然蕴含某种内在规律,关键在于如何选择适当的方式挖掘和利用它。一切灰色序列都能通过某种生成弱化其随机性,显现其规律性。灰色预测就是通过原始数据的处理和灰色模型的建立,发现、掌握系统发展规律,对系统未来状态做出科学定理预测,GM(1,1)模型是较常用的数列预测模型之一^[10-12]。

1.2 GM(1,1) 预测模型建立

设非负原始序列 $X^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)\}$, 对 $X^{(0)}$ 作一次累加, 得到 1-AGO 序列为

$$X^{(1)} = \{x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)\} \quad (1)$$

其中, $x^{(1)}(k) = \sum_{i=0}^k x^{(0)}(i)$ ($k=1, 2, \dots, n$)。于是 GM(1,1) 白化形式的微分方程为

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = u \quad (2)$$

其中, a, u 为待定参数。

将式(2)离散化, 即得

$$\Delta^{(1)}(x^{(1)}(k+1)) + az^{(1)}(x(k+1)) = u \quad (3)$$

式中, $\Delta^{(1)}(x^{(1)}(k+1)) = x^{(1)}(k+1) - x^{(1)}(k) = x^{(0)}(k+1)$, $z^{(1)}(k+1) = \frac{1}{2}(x^{(1)}(k+1) + x^{(1)}(k))$, 将式(1)、式(2)代入式(3), 得

$$x^{(0)}(k+1) = a \left[-\frac{1}{2}(x^{(1)}(k) + x^{(1)}(k+1)) \right] + u \quad (4)$$

将式(4)展开, 得

$$\begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}[x^{(1)}(2) + x^{(1)}(1)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(3) + x^{(1)}(2)] & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(n) + x^{(1)}(n-1)] & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\text{令 } Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}[x^{(1)}(2) + x^{(1)}(1)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(3) + x^{(1)}(2)] & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(n) + x^{(1)}(n-1)] & 1 \end{bmatrix}, \Phi = [a \quad u]^T$$

为待辨识参数向量, 则式(5)可写成 $Y = B\Phi$ 。用最小二乘法可求得参数向量 $\hat{\Phi}$,

$$\hat{\Phi} = [\hat{a}, \hat{u}]^T = (B^T B)^{-1} B^T Y \quad (6)$$

将求取的参数代入式(2), 并求出其离散解为

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left[x^{(1)}(1) - \frac{\hat{u}}{\hat{a}} \right] e^{-\hat{a}k} + \frac{\hat{u}}{\hat{a}} \quad (7)$$

还原到原始数据得

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k) = (1 - e^{-\hat{a}}) \left[x^{(1)}(1) - \frac{\hat{u}}{\hat{a}} \right] e^{-\hat{a}k} \quad (8)$$

式(7)、式(8)称为 GM(1,1) 模型的时间响应函数模型。

1.3 后验差检验

模型选定后, 要经过检验才能判断其是否合理, 只有通过检验的模型才能用来预测。后验差检验法是灰色模型精度检验的一种常用方法。设按 GM(1,1) 模型求出的 $\hat{X}^{(0)} = [\hat{x}^{(0)}(1), \hat{x}^{(0)}(2), \dots, \hat{x}^{(0)}(n)]$, 计算残差 $E = [e(1), e(2), \dots, e(n)] = X^{(0)} - \hat{X}^{(0)}$, 原始序列 $X^{(0)}$ 及残差序列 E 的方差分别为

$$S_1^2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n [x^{(0)}(k) - \bar{x}]^2 \quad (9)$$

$$S_2^2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n [e(k) - \bar{e}]^2$$

其中, $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x^{(0)}(k)$, $\bar{e} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n e(k)$ 。

计算后验差比为

$$C = S_2 / S_1 \quad (10)$$

计算小误差概率为

$$p = P\{|e(k) - \bar{e}| < 0.6745 S_1\} \quad (11)$$

C 和 p 是后验差检验的 2 个重要指标。指标 C 越小越好,

指标 p 越大越好。按 C, p 2 个指标, 可综合评定预测模型的精度。一般将模型的精度分为 4 级, 如表 1 所示。

表 1 精度检验等级指标

Table 1 Indicators of accuracy test levels

模型精度等级	均方差比值 C	小误差概率 p
1 级(好)	$C \leq 0.35$	$p \geq 0.95$
2 级(合格)	$0.35 < C \leq 0.5$	$0.80 \leq p < 0.95$
3 级(勉强)	$0.5 < C \leq 0.65$	$0.70 \leq p < 0.80$
4 级(不合格)	$0.65 < C$	$p < 0.70$

于是, 模型的精度级别 = Max{ p 的级别, C 的级别}。

2 尾部残差修正模型的建立

由于建立的模型时间响应函数 $\hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k) = (1 - e^{-\hat{a}}) \left[x^{(1)}(1) - \frac{\hat{u}}{\hat{a}} \right] e^{-\hat{a}k}$ 是指数型曲线, 如果检验不合格, 往往会发现 k 从某一项 s 之后, 预测值明显比实际值偏大或者偏小, 这时进行修正才是有意义的。此时可以对原始序列 $X^{(0)}(k)$ 去掉前边 $s-1$ 个数据, 对后边 $n-s+1$ 个数据 $x^{(0)}(s), x^{(0)}(s+1), \dots, x^{(0)}(n)$ 重新建立残差 GM(1,1) 模型, 然后还原求得预测模型, 此模型即为尾部残差修正模型。该模型具有明显的实际意义和有效的使用价值, 更充分体现了灰色建模的优越性。

设 $X^{(0)}$ 为原始序列, $X^{(1)}$ 为 $X^{(0)}$ 的 1-AGO 序列, $\hat{X}^{(1)}$ 为 $X^{(1)}$ 的模拟序列, 定义 $\epsilon^{(0)} = \{\epsilon^{(0)}(1), \epsilon^{(0)}(2), \dots, \epsilon^{(0)}(n)\}$, 其中, $\epsilon^{(0)}(k) = x^{(1)}(k) - \hat{x}^{(1)}(k)$ 为 $X^{(1)}$ 的残差序列。

若存在 k_0 满足

- (1) $\forall k \geq k_0, \epsilon^{(0)}(k)$ 的符号一致;

- (2) $n - k_0 \geq 4$,

则称 $(|\epsilon^{(0)}(k_0)|, |\epsilon^{(0)}(k_0+1)|, \dots, |\epsilon^{(0)}(n)|)$ 为可建模残差尾段, 仍记为

$$\epsilon^{(0)} = (\epsilon^{(0)}(k_0), \epsilon^{(0)}(k_0+1), \dots, \epsilon^{(0)}(n)) \quad (12)$$

则 1-AGO 序列

$$\epsilon^{(1)} = (\epsilon^{(1)}(k_0), \epsilon^{(1)}(k_0+1), \dots, \epsilon^{(1)}(n)) \quad (13)$$

的 GM(1,1) 的时间响应式为

$$\hat{\epsilon}^{(1)}(k+1) = \left(\epsilon^{(0)}(k_0) - \frac{u_{\epsilon}}{a_{\epsilon}} \right) e^{-a_{\epsilon}(k-k_0)} + \frac{u_{\epsilon}}{a_{\epsilon}}, k \geq k_0 \quad (14)$$

则残差尾段 $\hat{\epsilon}^{(0)}$ 的模拟序列为

$$\hat{\epsilon}^{(0)} = (\hat{\epsilon}^{(0)}(k_0), \hat{\epsilon}^{(0)}(k_0+1), \dots, \hat{\epsilon}^{(0)}(n)) \quad (15)$$

其中,

$$\hat{\epsilon}^{(0)}(k+1) = (-a_{\epsilon}) \left(\epsilon^{(0)}(k_0) - \frac{u_{\epsilon}}{a_{\epsilon}} \right) e^{-a_{\epsilon}(k-k_0)}, k \geq k_0 \quad (16)$$

若用 $\hat{\epsilon}^{(0)}$ 修正 $\hat{X}^{(1)}$, 则称修正后的时间响应式

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = \begin{cases} \left(x^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right) e^{-ak} & k < k_0 \\ \left(x^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right) e^{-ak} + \frac{u}{a} \pm a_{\epsilon} \left(\epsilon^{(0)}(k_0) - \frac{u_{\epsilon}}{a_{\epsilon}} \right) e^{-a_{\epsilon}(k-k_0)} & k \geq k_0 \end{cases} \quad (17)$$

为残差修正 GM(1,1) 模型, 简称为残差 GM(1,1), 其中残差修正值

$$\hat{\epsilon}^{(0)}(k+1) = a_{\epsilon} \left(\epsilon^{(0)}(k_0) - \frac{u_{\epsilon}}{a_{\epsilon}} \right) e^{-a_{\epsilon}(k-k_0)} \quad (18)$$

的符号应与残差尾段 $\epsilon^{(0)}$ 的符号一致。

3 预测模型建立

根据国家安全生产监督管理局公布数据, 2001—2011 年全国煤矿百万吨死亡率数据如表 2 所示^[13-14]。

表 2 2001—2011 年煤矿百万吨死亡率

Table 2 Death rate per million ton in coal mine from the year of 2001 to 2011

年份	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
百万吨死亡率/(人·Mt ⁻¹)	5.07	4.64	4.17	3.081	2.811	2.041	1.485	1.182	0.892	0.749	0.564

3.1 GM(1,1) 预测模型的建立

根据表 2, $X^{(0)} = \{5.07, 4.64, 4.17, 3.081, 2.811, 2.041, 1.485, 1.182, 0.892, 0.749, 0.564\}$, 建立预测模型, 得到第一次建立的灰色 GM(1,1) 模型为

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = (1 - e^{-0.225086}) \left[x^{(1)}(1) - \frac{6.602105}{0.225086} \right] e^{-0.225086k} \quad (19)$$

由式 (19) 计算 2001—2011 年的预测值及其实际值误差如表 3 及图 1 所示。

从以上结果可以看出, 预测误差偏大, 最大的达到 14.35%, 必须进行修正。

3.2 尾部残差修正 GM(1,1) 预测模型的建立

根据表 3, 残差从第 7 项开始均为负值, 说明预测值明显比实际值偏大。这可能是由于从第 7 项之后, 事件有了不同的影响因素, 这与中国对煤炭行业安全的重视, 以及对该行业人力、物力投入的加大是分不开的。对后 5 项建立残差修正模型, 后 5 项残差为:

$$\epsilon = \{-0.10185, -0.08502, -0.11965, -0.05875, -0.08094\}$$

取绝对值可得建模残差尾段为:

$$\epsilon^{(0)} = \{0.10185, 0.08502, 0.11965, 0.05875, 0.08094\}$$

建立预测模型, 得到 $\epsilon^{(0)}$ 的 1-AGO 序列 $\epsilon^{(1)}$ 的时间响应式为

表 3 GM(1,1)预测值及误差
Table 3 Predictive values and errors of GM(1,1)

序号	实际数据/ (人·Mt ⁻¹)	模拟数据/ (人·Mt ⁻¹)	残差	相对误差/%
1	5.07	5.07	0	0
2	4.64	4.889958	-0.24996	5.39
3	4.17	3.904373	0.265627	6.37
4	3.081	3.117436	-0.03644	1.18
5	2.811	2.489108	0.321892	11.45
6	2.041	1.987422	0.053578	2.63
7	1.485	1.586851	-0.10185	6.86
8	1.182	1.267017	-0.08502	7.19
9	0.892	1.011646	-0.11965	13.41
10	0.749	0.807746	-0.05875	7.84
11	0.564	0.644943	-0.08094	14.35

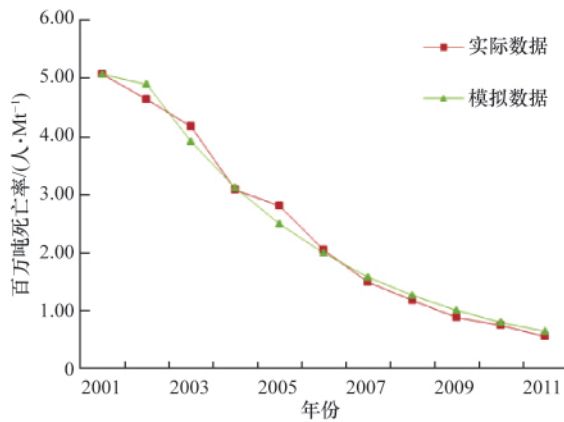


图 1 传统 GM(1,1)预测值与实际值折线图
Fig. 1 Broken line graph of the predictive value and the practical value for the traditional GM(1,1)

$$\varepsilon^{(1)}(k+1) = -1.231601e^{-0.081966k} + 1.333452 \quad (20)$$

其导数还原值为 $\varepsilon^{(0)}(k+1) = 0.100949e^{-0.081966k}$, 由

$$\begin{aligned} \hat{x}^{(0)}(k+1) &= \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k) \\ &= (1 - e^{-0.225086}) \left[x^{(1)}(1) - \frac{6.602105}{0.225086} \right] e^{-0.225086k} \\ &= 6.124335e^{-0.225086k} \end{aligned}$$

可得累减还原式的残差修正模型为

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = \begin{cases} 6.124335e^{-0.225086k} & k < 6 \\ 6.124335e^{-0.225086k} - 0.100949e^{-0.081966(k-6)} & k \geq 6 \end{cases} \quad (21)$$

按照上述模型,对 $k=7,8,9,10,11$,这 5 个数据进行修正,结果如表 4 及图 2 所示。

修正后的模拟值序列为:

$$X^{(0)} = [1.485, 1.182, 0.892, 0.749, 0.564]$$

残差序列为

$$E = [-0.0009, 0.007988, -0.03396, 0.020196, -0.00821]$$

原始序列 $X^{(0)}$ 及残差序列 E 的方差分别为

表 4 残差 GM(1,1)模拟误差
Table 4 Simulation errors of residual error GM(1,1) model

序号	实际数据/ (人·Mt ⁻¹)	模拟数据/ (人·Mt ⁻¹)	残差	相对误差/%
7	1.485	1.485902	-0.0009	0.06
8	1.182	1.174012	0.007988	0.68
9	0.892	0.925961	-0.03396	3.81
10	0.749	0.728804	0.020196	2.70
11	0.564	0.572213	-0.00821	1.46

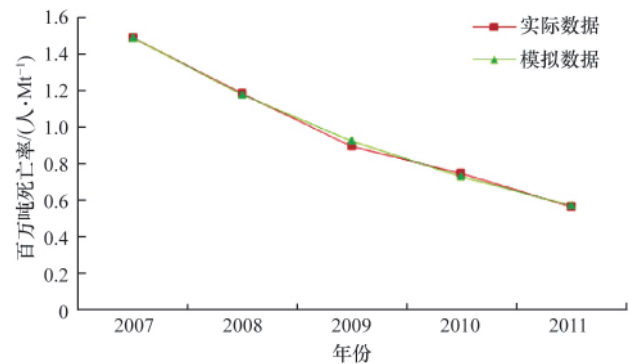


图 2 残差修正 GM(1,1)模型预测值与实际值折线图
Fig. 2 Broken line graph of the predictive value and the practical value for the residual error GM(1,1)

$$\bar{e} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n e(k) = -0.00298$$

$$S_1^2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n [x^{(0)}(k) - \bar{x}]^2 = 0.105967$$

$$S_2^2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n [e(k) - \bar{e}]^2 = 0.00033$$

计算后验差比为

$$C = S_2/S_1 = 0.055786 < 0.35$$

计算小误差概率为

$$p = P\{|e(k) - \bar{e}| < 0.6745S_1\} = 1 > 0.95$$

精度达到一级要求。

采用残差修正 GM(1,1)模型对 2012 年、2013 年煤矿百万吨死亡率进行预测,由式(21)得

$$\hat{x}^{(0)}(12) = 0.447949, \hat{x}^{(0)}(13) = 0.349431$$

预计 2012 年、2013 年煤炭百万吨死亡率将分别降至 0.448 和 0.349,这与近年来始终坚持以人为本思想,重视煤矿安全生产,努力降低重大事故伤亡人数的理念是一致的,同时也与《煤矿安全生产“十二五”规划》所规定的目标相匹配。

4 结论

(1) 依据灰色系统理论的原理和方法,从煤矿安全生产情况形势出发,考虑煤矿生产过程中的各种复杂因素,构建

了煤矿百万吨死亡率的尾部残差修正 GM(1,1)模型。

(2) 传统的 GM(1,1)模型精度较差,最大误差达到14.35%,在数据波动的情况下,拟合精度较差。应用尾部残差修正 GM(1,1)模型预测煤矿百万吨死亡率,得出实际值与预测值平均相对误差1.14%,最大相对误差3.81%,均方差比值为0.056,小误差概率为1,结果达到一级精度要求。可见,尾部残差修正 GM(1,1)模型预测精度明显高于传统的 GM(1,1)模型,能够对煤矿安全事故进行科学的分析和预测,为政府、矿山企业制定安全生产目标、政策以及建立安全预警控制系统提供科学的指导,从而减少事故的发生,有效控制煤矿百万吨死亡率。

(3) 随着对煤炭行业安全生产的重视,以及对煤炭行业人力、物力投入的加大,中国煤矿的安全形势有了很大的好转,煤矿百万吨死亡率呈逐年下降的趋势。煤矿安全系统是一个极其复杂的系统,影响因素是多方面的,随着开采深度的加大,危险因素将增多,煤矿百万吨死亡率的变化趋势可能会改变。煤矿百万吨死亡率的预测为煤矿事故的预防提供了技术依据。另一方面,煤矿事故的预测不仅要做好安全管理工作,也应该重视安全技术的提高,多管齐下,才能保障安全生产的顺利进行。

参考文献 (References)

- [1] 孙继平. 煤矿安全生产理念研究[J]. 煤炭学报, 2011(2): 313-316.
Sun Jiping. Journal of China Coal Society, 2011(2): 313-316.
- [2] 林柏泉. 我国煤矿安全现状分析[J]. 能源技术与管理, 2006(2): 3.
Lin Baiquan. China Safety Science Journal, 2006(2): 3.
- [3] 陈娟, 赵耀江. 近十年来我国煤矿事故统计分析及其启示 [J]. 煤炭工程, 2012(3): 137-139.
Chen Juan, Zhao Yaojiang. Coal Engineering, 2012(3): 137-139.
- [4] 徐建新, 杨杰. 煤矿百万吨死亡率动态无偏灰色马尔科夫预测 [J]. 中国安全科学学报, 2012(3): 122-127.
Xu Jianxin, Yang Jie. China Safety Science Journal, 2012(3): 122-127.
- [5] 杨珊, 陈建宏, 郭宏斌, 等. 基于无偏灰色模型的煤矿百万吨死亡率预测[J]. 中国安全科学学报, 2011(9): 22-27.

- Yang Shan, Chen Jianhong, Guo Hongbin, et al. China Safety Science Journal, 2011(9): 22-27.
- [6] 刘思峰, 邓聚龙. GM(1,1)模型的适用范围[J]. 系统工程理论与实践, 2000(5): 121-124.
Liu Sifeng, Deng Julong. Systems Engineering-Theory & Practice, 2000(5): 121-124.
- [7] 张大海, 江世芳, 史开泉. 灰色预测公式的理论缺陷及改进[J]. 系统工程理论与实践, 2002(8): 140-142.
Zhang Dahai, Jiang Shifang, Shi Kaiquan. Systems Engineering-Theory & Practice, 2002(8): 140-142.
- [8] 何海, 陈绵云. GM(1,1)模型预测公式的缺陷及改进[J]. 武汉理工大学学报, 2004(7): 81-83.
He Hai, Chen Mianyun. Journal of Wuhan University of Technology, 2004(7): 81-83.
- [9] 费忠华, 徐辉, 姜忠义. GM(1,1)模型的理论缺陷及其基于时间响应函数的优化分析[J]. 数学的实践与认识, 2009(9): 214-219.
Fei Zhonghua, Xu Hui, Jiang Zhongyi. Mathematics in Practice and Theory, 2009(9): 214-219.
- [10] 邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002.
Deng Julong. Grey System Theory [M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2002.
- [11] 邓聚龙. 灰预测与灰决策 (修订版)[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002.
Deng Julong. Gray Prediction and Grey Decision-Making [M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2002.
- [12] 刘思峰, 党耀国, 方志耕, 等. 灰色系统理论及其应用 (第五版)[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
Liu Sifeng, Dang Yaoguo, Fang Zhigeng, et al. Grey System Theory and its Application(5th Edition)[M]. Beijing: Science Press, 2010.
- [13] 陈娟. 我国煤矿事故统计分析及其基于最佳组合模型的预测研究[D]. 山西: 太原理工大学, 2012.
Chen Juan. Statistic analysis on China coal mine accident and forecasting based on optimal combination prediction model [D]. Shanxi: Taiyuan University of Technology, 2012.
- [14] 张志业, 柳晓莉. 2006—2011年煤矿死亡事故统计分析[J]. 煤, 2012(4): 40-41.
Zhang Zhiye, Liu Xiaoli. Coal, 2012(4): 40-41.

(责任编辑 张玉肖)

·学术动态·

中国科学技术协会的宗旨

《中国科协章程》规定,科协的宗旨主要是:

坚持以马克思列宁主义、毛泽东思想、邓小平理论和“三个代表”重要思想为指导,深入贯彻落实科学发展观,团结和动员科学技术工作者以经济建设为中心,坚持科学技术是第一生产力和人才资源是第一资源的思想,推动实施科教兴国战略、人才强国战略和可持续发展战略,建设创新型国家。促进科学技术的繁荣和发展,促进科学技术的普及和推广,促进科学技术人才的成长和提高,促进科学技术与经济的结合。反映科学技术工作者的意见,维护科学技术工作者的合法权益。为经济社会发展服务,为提高全民科学素质服务,为科学技术工作者服务,推动社会主义经济建设、政治建设、文化建设、社会建设以及生态文明建设,构建社会主义和谐社会,为实现中华民族伟大复兴而努力奋斗。