应用灰色动态模型对事故进行预测分析

罗贻乡　　罗　芳
江汉石油学院,湖北省荆州市,434102

摘　要　利用灰色动态模型的主要方法和观点,分析企、事业发生的工伤事故(损失工作日),建立灰色数据预测模型 GM(1,1)的基本模型和微分方程式,并根据累加生成数列结果,预测事物进一步发生、发展的规律,从而预测其在今后一段时间内的变化。最后对统计实例进行计算和相关关联度分析,精度达 88%,拟合程度较好。此方法对企、事业单位的安全生产有一定的指导意义。

关键词　灰色动态模型　损失工作日　特征数据　最小二乘法

一个既有时间因素,又有预测因素的模型,不但可以用来分析事物(事件)因果随时间的变化关系,而且可以分析事物的内在联系,从而找出其变化趋势和未来。灰色动态模型 GDM(Grey Dynamic Model)是通过时间序列去研究、发现事物变化发展的连续的或离散的未来时间序列,从而分析事物的变化规律,预测事物今后的发展变化过程,以便及早对事故进行防范或规划决策。

1　GM(1,1)灰色预测模型的建立

GM(1,n)灰色数列预测模型是 GDM 中最重要的基本模型,它与一般建立差分方程的系统理论的差别,在于可以建立起微分方程模型。括号中 1 表示是一阶,n 表示变量的个数。最常用的微分方程 GM(1,1),也就是一阶一变量的动态模型。虽然 GM(1,1)是 GM(1,n)的特例,但它是构成解的最基本的数学预测模型,也是最常用的。GM(1,1)的建模过程如下。

给定研究系统的原始特征数据序列,如灾变中的绝对指标(损失工作日、人员伤亡数、损失值)或相对指标值作为原始数据,记为

$$x^{(0)} = [x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \cdots, x^{(0)}(n)]。$$

根据文献[1],对初始值(即观测值)作一次累加生成(AGO)处理,即可得到

$$x^{(1)} = [x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \cdots, x^{(1)}(n)]。$$

当 $n=k$ 时,

$$x^{(1)}(k) = \sum_{m=1}^{k} x^{(0)}(m) \qquad (m = 1,2,\cdots,k),$$

即 $x^{(1)}(k) = x^{(0)}(1) + x^{(0)}(2) + \cdots + x^{(0)}(k)$,

$$x^{(1)}(1) = x^{(0)}(1)。$$

GM(1,n)一阶微分方程最简单的形式是

$$\frac{\mathrm{d}(x)}{\mathrm{d}t} + ax = u; \tag{1}$$

式中 a,u 为待定系数,需按微分方程的某种方法求解;本文根据文献[2],利用最小二乘法求得预测值参数

$$\hat{a} = \begin{pmatrix} a \\ u \end{pmatrix} = (B^{\mathrm{T}}B)^{-1}B^{\mathrm{T}}Y_N; \tag{2}$$

式中:$B = \begin{bmatrix} -1/2[x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)] & 1 \\ -1/2[x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)] & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -1/2[x^{(1)}(n-1) + x^{(1)}(n)] & 1 \end{bmatrix}$;

$$Y_N = \begin{Bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{Bmatrix}$$

即　$Y_N = [x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \cdots, x^{(0)}(n)]^{\mathrm{T}}$;

-1 表示矩阵的逆;T 表示转矩阵。

在式(1)中,当对象为广义能量系统时可以认为在 $\Delta t \to 0$,即足够小的情形下,变量 $\mathrm{d}(t)$ 到 $\mathrm{d}(x+\Delta t)$不会出现突变;为此,可取 $\mathrm{d}(t) + \mathrm{d}(x+\Delta t)$的平均值作为在变化的 Δt 这一过程 $\mathrm{d}x/\mathrm{d}t$(即 x 的 1-AGO 值)的背景值,或者说用 $1/2[x(k+1) + x(k)]$作为 k 到 $k+1$ 这一时刻的预测值是合适的。根据上述原理,GM(1,n)白化形式的微分方程为

$$\frac{\mathrm{d}x_1^{(1)}}{\mathrm{d}t} + ax_1^{(1)} = b_1x_2^{(1)} + b_2x_3^{(1)} + \cdots + b_{n-1}x_n^{(1)}。$$

当 $n=1$,即变量为惟一值时,

$$a^{(1)}x^{(1)}(k+1) + a(k+1) = u。$$

对于上式考虑:

1) $a^{(1)}x^{(1)}(k+1) = x^{(0)}(k+1)$；

2) $\hat{x}^{(1)}(k+1) = 1/2[x^{(1)}(k) + x^{(1)}(k+1)]$。

可得：

$k = 1, x^{(0)}(2) = a\{-0.5[x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)]\} + u$；

$k = 2, x^{(0)}(3) = a\{-0.5[x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)]\} + u$；

……

$k = n, x^{(0)}(n) = a\{-0.5[x^{(1)}(n-1) + x^{(1)}(n)]\} + u$。

引用矩阵表示为

$$\hat{a} = (B^TB)^{-1}B^TY_N。$$

这时白化方程的解(即从 K 到 $K+1$ 次)的累加生成数列预测计算公式为

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left[x^{(0)}(1) - \frac{u}{a}\right]e^{-ak} + \frac{u}{a}。\quad (3)$$

根据上式便可得到 $k+1, k+2, \cdots, k+n$ 生成数系列，即：

$$\hat{x}^{(1)} = [\hat{x}^{(1)}(1), \hat{x}^{(1)}(2), \cdots, \hat{x}^{(1)}(k), \hat{x}^{(1)}(k+1), \cdots]。$$

2　预测模型关联度分析

预测结果与真实值是否吻合，要用预测值与实际值对比，验证其相似程度，即用关联度来判断。

$$\text{关联度}\quad R = 1/nR_i = \sum_{k-1}^{n}\zeta(k);\qquad (4)$$

式中 $\zeta(k)$ 为关联度系数，可按文献[4]求出。

实践证明：$R > 0.6$ 时，模型拟合程度满足要求。

3　预测实例分析

某石油企业根据统计部门按国家 GB 6545－86 分类方法统计的损失工作日数据见表 1。

表 1　损失工作日统计值

年份	1996	1997	1998	1999	2000
损失工作日/d	260	310	334	352	359

根据前述原理和表 1 数据建立预测模型：

$$\hat{x}^{(0)} = (260, 310, 334, 352, 359)。$$

对 $\hat{x}^{(0)}(k)$ 作一次累加生成序列，便可得到 1－AGO 值：

$$\hat{x}^{(1)} = (260, 570, 904, 1256, 1615, 1965)。$$

根据式(2)矩阵 B 的关系，即可得出 $\hat{a} = \begin{pmatrix} a \\ u \end{pmatrix}$ 中的 a 与 u。

运行结果：$a = 0.042\,8$，$u = 294.56$。将 a、u 值代入式(3)，则可得出数列预测模型

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = 6\,421.23\,e^{-0.042\,8k} - 6\,111.2。$$

按上式将 k 值代入，则可计算出预测值如表 2 所示。

表 2　实际值与计算值的比较

年份	1996	1997	1998	1999	2000	2001*	2002*
$\hat{x}^{(0)}(k)$	260	310	334	352	359	372	382
$\hat{x}^{(1)}(k)$	260	317	333	349	366	385	403
相对误差/%	0.00	2.26	0.30	0.85	1.95	3.45	5.50

说明：带 * 号栏的数据为预测值。

然后进行误差关联度分析。根据式(4)关联度分析方法，计算出的关联系数见表 3。

表 3　关联系数

序号	1	2	3	4	5
ζ	1.000	0.912	0.873	0.764	0.853

依式(4)计算 $x^{(1)}$ 与 $x^{(0)}$ 的关联度

$$R = \frac{1}{5}\sum_{k=1}^{5}\xi_1 k =$$

$$0.5(1.000 + 0.912 + 0.873 +$$

$$0.764 + 0.853) = 0.881$$

R 值在允许范围之内，说明用此种方法分析是有效的，可用作预测系统的分析模型。

4　结果分析

1) 采用灰色动态模型(GM)(1, n)预测某些原因尚不明显的事物是有效的，它能克服随机干扰(如事故发生的偶然性)，反映事物的规律性。它与回归分析为主的统计型和以指数平滑法递推型相比，有其特有的优势，即无须大量的样板量，也不必具有典型的分布规律。生产过程中的不安全隐患或者危险往往处在一种关系不明确、结果未知、信息不完全的状态，利用灰色动态分析有其独到之处。

2) 数学模型运算看来烦琐，但是都是有规律的运算，比如矩阵运算、矩阵的逆运算、指数运算等；这些运算目前都有标准的运算程序，所以用计算机辅助运算就会使问题简单化。

3) 从表中可以看到，该系统后续 2 年的预测结果成增长趋势，这值得有关部门高度重视，进一步分析产生事故的原因并提出整改措施。

参考文献

[1] 邓聚龙. 灰色系统基本方法. 武汉:华中理工大学出版社,1987.80-85

[2] Luo Yixiang. The Study of the Application of Gray Theory to Modem Safety Management Progress in Safety Science and Technology. Science Press. 1998,10:369-374

[3] Gram M C. Rodney Turner the Handbook of Project Based Management. Hill Book Company. 1993:108-115

[4] 张广泉. 应用灰色动态模型预测建筑工伤率. 铁道劳动安全卫生环保,1993,3(2):18-21

(收稿日期:2001-11-19;编辑:张金棣)

(上接第52页)

体的每家公司都应注意审查。

4.1 评标准备

在评标工作开始前,应做好以下几项准备工作:

1) 做好评标工作计划,健全评标小组的机构,配置相应的工作人员。

2) 编制评标工作程序,确定评标方法。

3) 建立严格的工作制度。

4) 编制评标提纲及必要的评标表格。

5) 认真研究投标文件及相关资料。

6) 确定好评标小组工作地点,确保做好封闭式的评标。

4.2 评标步骤

评标工作通常的做法是先按技术、经济、管理及条法分别评审。技术部分则先按专业来评审,然后进行综合评审。评标工作的步骤大致如下。

第1步:检查投标书是否按"投标需知"要求编制、装订、密封与交付。如严重违规,则可视为废标。

第2步:检查投标书中有无明显的数字错误。若有,则评标人可以改正,但要投标者加以确认。有些错误则应交投标者负责改正,但都要遵循一定的工作程序。

第3步:按照统一的评标提纲及表格评审评标书中的内容。

第4步:对投标者提出的建议方案进行认真研究。明确评审结论,是采纳还是拒绝(一般未得到招标者的认可,投标者不会提出方案)。

第5步:评审投标报价书。

一是要看报价书是否按"投标指南"要求分类分项计算的,有无计算依据。

二是审查总报价,是否符合合同条件。如果总报价高于或低于招标人的总价标底的某个百分率,则有可能视作废标;但是,同时也应审查分项的此百分率,以做出正确的断定。

三是检查投标书中有无重大漏项。如有,则可通知投标者,限期改正。

第6步:在以上工作的基础上进行最终评审。提出中标者的建议,送有关部门审批。

4.3 评标注意事项

要做好评标工作,应强调以下几点:

1) 要严格执行国家的招标投标法。

2) 要坚持封闭性评标,排除一切干扰。

3) 不能只注意"低报价"投标书,防止产生倾向性问题。

4) 既要注意招标者的利益,也应顾及投标者的利益。两者的利益应该是合理的。

参考文献

[1] Marsh P D V. Cantracting for Engineering & Construction Projects

(收稿日期:2001-11-26;编辑:徐 平)