

文章编号: 1672 - 058X(2011)02 - 0186 - 05

# 灰色理论在我国化工园区事故预测中的应用\*

曾小红<sup>1</sup>, 毕海普<sup>1</sup>, 甘元庆<sup>1</sup>

(1 重庆大学 资源及环境科学学院 重庆 400030)

**摘 要:** 根据我国化工园区事故统计数据, 运用灰色系统理论建立我国化工事故数和伤亡人数的 GM(1, 1) 灰色预测模型; 通过关联度检验, 结果表明: 模型的预测精度良好; 用模型对我国化工园区的安全状况进行预测, 得出事故发生数以及伤亡人数的预测值, 并做出了变化曲线, 表明我国化工事故数及伤亡人数呈上升的趋势; 经分析, 这主要是由于近几年我国大量兴建化工园区, 而园区规划不完善、安全投入不足以及监管力量薄弱等原因导致的。

**关键词:** 灰色理论; GM(1, 1) 预测模型; 预测分析

**中图分类号:** X913.4

**文献标志码:** A

近年来, 工业化进程不断加剧, 化工产品生产规模日益扩大, 生产、储存装置日益大型化。与此同时, 重特大事故也不断发生<sup>[1]</sup>。从 1995 年开始, 我国各省、市兴起一股兴建化工园区的热潮。2000 年后, 这股热潮进一步升温。据不完全统计, 通过十多年的发展, 我国迄今拥有省级以上人民政府批准建设的新建化学化工园区就达 60 多处<sup>[2]</sup>。化工园区的建设与发展, 在促进当地经济和化工产业发展的同时, 也带来了新的安全问题<sup>[3]</sup>。由于化工园区中多为化工石化企业, 生产、储存、使用、运输着大量易燃、易爆、有毒的危险化学品, 而且园区内重大危险源数量众多, 因此频频发生特大事故<sup>[4]</sup>。现有的预测方法中以灰色理论预测较为准确。灰色系统理论认为: 虽然客观系统表象复杂, 数据离乱, 但还是蕴含着某种内在规律。可以通过一系列数据整理, 如累加生成、累减生成和映射生成等方法, 弱化其随机性, 呈现其规律性<sup>[5, 6]</sup>。鲁来祥<sup>[7]</sup>等运用 GM(1, 1) 模型, 结合平煤 13 矿 11111 巷道高冒区遗煤自燃氧化 CO 量变化值进行了预测, 预测结果为煤矿做出决策提供了科学的依据。肖云<sup>[8]</sup>等, 以大冶铁矿东露天采场狮子山北帮滑坡位移监测数据为依据, 采用灰色理论, 将滑坡的预测模型与滑坡运动特征相结合, 推导出 GM(1, 1) 模型, 通过验算, GM(1, 1) 模型预测曲线与实测曲线的拐点及发展趋势高度吻合, 模拟精度高, 预测值可信度大, 对临滑滑坡也有一定的预警意义。

## 1 灰色预测原理

灰色系统理论是我国学者邓聚龙教授于 1982 年创立的, 目前在很多行业都得到了广泛的应用。该理论将信息完全明确的系统定义为白色系统, 将信息完全不明确的系统定义为黑色系统, 将信息部分明确、部分不明确的系统定义为灰色系统<sup>[9]</sup>。灰色模型<sup>[10]</sup> (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。

灰色预测具有要求样本数据量少、实用、精确的特点, 对于受人因为因素干扰、以及其他各种原因导致的事事故样本量少的情况具有优势, 而化工事故的发生存在很大的偶然性, 引起化工事故的原因复杂, 既有确定性的因素, 又有非确定性的因素, 因而具有灰色系统的特点, 理论上适合应用灰色系统理论来预测化工事故

收稿日期: 2010 - 09 - 10; 修回日期: 2010 - 11 - 01.

\* 项目基金: 重庆市科技计划专项 (CSTC2009DA001-A08).

作者简介: 曾小红(1985-), 女, 四川广安市邻水县人, 硕士研究生, 从事风险分析及安全评价研究.

的发生。

## 2 GM(1,1)模型<sup>[11]</sup>

(1) 建立原始数据序列

$$x^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), x^{(0)}(4), \dots, x^{(0)}(n)\} \quad (1)$$

(2) 对原始数据序列  $x^{(0)}$  作累加变换,得:

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

式(2)中  $x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i)$ .

(3) 对累加生成序列  $x^{(1)}$  的前后相邻数据取平均值,得:

$$z^{(0)} = MEANx^{(1)} = \{z^{(1)}(1), z^{(1)}(2), z^{(1)}(3), \dots, z^{(1)}(n)\} \quad (3)$$

式中  $z^{(1)}(k) = 0.5x^{(1)}(k) + 0.5x^{(1)}(k-1)$ .

(4) 计算模型的中间参数 C、D、E、F:

$$C = \sum_{k=2}^n z^{(1)}(k), D = \sum_{k=2}^n x^{(0)}(k), E = \sum_{k=2}^n z^{(1)}(k)x^{(0)}(k), F = \sum_{k=2}^n z^{(1)}(k)^2 \quad (4)$$

(5) 计算发展系数  $a$  和灰输入量  $b$ :

$$a = \frac{CD - (n-1)E}{(n-1)F - C^2}, b = \frac{DF - CE}{(n-1)F - C^2} \quad (5)$$

(6) 构造预测模型。由 GM(1,1) 的灰微分方程  $x^{(0)}(k) + ax^{(1)}(k) = b$ , 可得到其白化响应式:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = (x^{(0)}(1) - \frac{b}{a})e^{-ak} + \frac{b}{a} \quad (6)$$

(7) 还原模型。将  $\hat{x}^{(1)}(k+1)$  的计算值作累减还原,即得到原始数据的估计值:

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k) \quad (7)$$

(8) 模型精度的检验。一个预测模型要经过检验才能判定是否合格,是否能有效的预测事故。在灰色系统理论中,通常采用关联度检验和均方差检验。

## 3 我国化工事故的预测

根据表1给出的我国近年来较大及其以上级别事故数目统计,形成一个已知的原始数据序列,采用灰色预测模型 GM(1,1) 进行预测。

表1 2001-2008年我国化工企业较大及其以上级别事故数及伤亡人数统计<sup>[12]</sup>

年份	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
事故数	13	8	9	20	15	16	17	21
伤亡人数	75	57	51	137	142	148	104	221

### 3.1 事故数预测

(1) 构造预测模型。原始序列为  $x^{(0)} = (13, 8, 9, 20, 15, 16, 17, 21)$ 。根据式(2)-(5)可计算得到:

参数	C	D	E	F	a	b
计算值	411	106	6 996	30 957	-0.113 1	8.499 4

因此预测模型为:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = (x^{(0)}(1) - \frac{b}{a})e^{-ak} + \frac{b}{a} = 88.149 4e^{0.1131k} - 75.149 4 \quad (8)$$

根据还原模型(7)将数据还原处理,得到事故数目的预测值,结果见表2及图1。

表2 2001~2008年我国化工企业较大及其以上级别事故数目统计及预测结果

年份	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
事故实际值	13	8	9	20	15	16	17	21		
事故预测值	13	11	11	14	14	17	19	20	24	25

从图1可以看出,较大级别以上的化工事故数可能有增大的趋势。事故数的预测值与实际值曲线整体趋势吻合的较好,只是在2002年和2004年这两年预测值与实际值偏差稍微有点大。这主要是因为每年化工事故的发生与当年的实际情况有紧密的联系,并且化工事故的发生有很大的偶然性,而不是遵循单一的趋势,因此数据会有所波动。

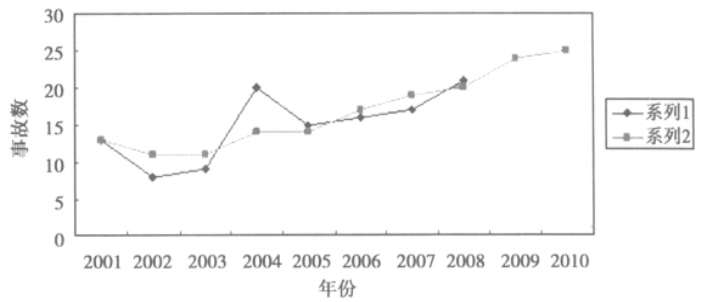


图1 我国化工事故数预测曲线

(2) 模型精度检验。在灰色理论中,通常采用关联度检验和均方差检验。采用关联度来检验模型的精度。检验等级见表3<sup>[13]</sup>。

表3 模型检验等级参照表

关联度	一级(好)	二级(合格)	三级(勉强)	四级(不合格)
$\gamma$	0.90	0.80	0.70	0.60

计算  $x^{(0)}$  与  $\hat{x}$  的灰色关联度  $\gamma$ :

$$|s| = \left| \sum_{k=2}^7 [x^{(0)}(k) - x^{(0)}(1)] + \frac{1}{2} [x^{(0)}(8) - x^{(0)}(1)] \right| = 11 \tag{9}$$

$$|\hat{s}| = \left| \sum_{k=2}^7 [\hat{x}(k) - \hat{x}(1)] + \frac{1}{2} [\hat{x}(8) - \hat{x}(1)] \right| = 11.5 |\hat{s} - s| =$$

$$\left| \sum_{k=2}^7 [(x^{(0)}(k) - x^{(0)}(1)) - (\hat{x}(k) - \hat{x}(1))] + \frac{1}{2} [(x^{(0)}(8) - x^{(0)}(1)) - (\hat{x}(8) - \hat{x}(1))] \right| = 0.5$$

从而得到  $x^{(0)}$  与  $\hat{x}$  关联度:

$$\gamma = \frac{1 + |s| + |\hat{s}|}{1 + |s| + |\hat{s}| + |\hat{s} - s|} = \frac{1 + 11 + 11.5}{1 + 11 + 11.5 + 0.5} = 0.9792 \tag{10}$$

由表3可知该模型的关联度为一级(好)。因此,所建立的灰色预测模型 GM(1,1) 可用于化工事故发生数目的预测。

### 3.2 伤亡人数预测

(1) 构造预测模型。原始序列为  $x^{(0)} = (75, 57, 51, 137, 142, 148, 104, 221)$ , 根据式(2)-(5)可计算得到:

参数	C	D	E	F	a	b
计算值	2.926	860	434.300	1.686665	-0.1614	55.3961

因此, 伤亡人数预测模型为:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = 418.222 1e^{0.1614k} - 343.222 1 \quad (11)$$

将数据根据还原模型(7)进行还原处理, 得到化工事故伤亡人数预测值, 结果见表 4 和图 2。

表 4 2001 ~ 2008 年我国化工企业较大及其以上级别事故伤亡人数统计及预测结果

年份	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
伤亡人数实际值	75	57	51	137	142	148	104	221		
伤亡人数预测值	75	73	86	102	118	140	164	193	227	266

从图 2 可以看出, 事故伤亡人数的预测值与实际值曲线整体趋势吻合得良好。在 2003 年和 2007 年预测值稍微大于实际值, 其余隔年预测值与实际值偏差的不大。

(2) 模型精度检验。按照式(9)可计算出:

$$|s| = 262, |\hat{s}| = 292, |\hat{s} - s| = 47$$

所以关联度  $\gamma$  为:

$$\gamma = \frac{1 + |s| + |\hat{s}|}{1 + |s| + |\hat{s}| + |\hat{s} - s|} = \frac{1 + 262 + 292}{1 + 262 + 292 + 47} = 0.9219$$

由表 3 可知该模型的关联度为一级(好)。因此, 所建立的灰色预测模型 GM(1, 1) 可用于化工事故伤亡人数的预测, 且预测精度较高。

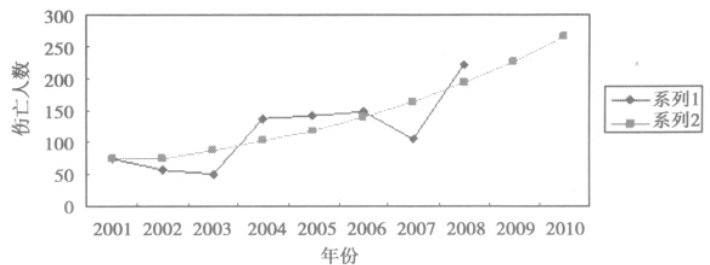


图 2 我国化工事故伤亡人数预测曲线

## 4 结果分析

从表 2、表 4 及图 1 和图 2 可知, 我国化工较大及其以上级别的事故数以及伤亡人数都有增加的趋势。这主要是由于近几年, 全国范围内兴建化工园区。这虽然有利于招商引资, 目前已建成的化工园区大部分都是因可以招商引资而快速发展起来的, 如沿江的大部分化工园区都是这样的。也有利于改善长期困扰我国化学工业的技术落后, 规模和布局“小而散”问题。通过园区的建设可采用先进技术, 扩大生产规模, 提升企业竞争力。符合化学工业内在发展规律。另外相互关联的化工装置集聚在一起, 有利于生产控制、安全操作和“三废”集中治理。还有利于引进高新技术<sup>[13]</sup>。化工园区的建设无论对发展国民经济, 还是对于调整我国化工产业结构、提高化工产业集中度、提升生产技术水平、增强产业竞争力、发展区域经济有着十分积极的意义。

但是, 新建园区也存在一定的问题, 主要表现在: (1) 缺乏规划。现已建设成型的化工园区或者化工集中区域尽管有了园区总体规划, 但是由于缺乏经验借鉴和现实情况的制约, 有些园区规划仍然不够完善。(2) 园区投入不足, 安全设施不够健全。从某种意义上说, 公用配套服务系统的建设完善与否, 在很大程度上影响工业园区安全监管。(3) 部分园区安全监管力量薄弱, 安全责任难以落实。大部分园区在管理模式上都成立了管理委员会, 作为独立的一级政府派出机构, 与当地的安监部门一样, 受地方政府的统一领导, 其内部也设立了相应的安全监管组织, 履行安全监管职责。但是, 工业园区管委会受到机构、人员、编制的影响, 无法配备足够的安全监管力量。由于这些因素的存在, 园区内事故频发。因此在大力兴建化工园区, 增长经济的同时更要注重安全, 以免发生事故。

## 5 结论

根据化工园区事故的发生存在着许多不确定的因素,阐述了其灰色系统的特点。针对我国较大及其以上级别的化工事故数及伤亡人数,运用灰色系统理论分别建立了 GM(1,1) 预测模型,模型精度检验结果表明该模型的预测结果合理。

根据预测结果可知,在未来几年内我国化工类事故发生的总数将呈现增加的趋势,这为今后一定时期内制定安全目标提供了参考。同时,为了在以后的生产中保证安全,必须加强安全管理,将强职工的安全教育以及加大安全方面的投入,以便预防事故的发生。

由于预测是根据以往统计数据而做出的分析,判断其整体遵循的规律,然后根据建立的模型进行预测,因此,存在预测结果于实际数据相偏离的现象。但是,为了在化工事故的预防工作中,使各级政府及有关部门引起高度重视,提前预防事故的发生。因此,应该对化工事故的发展趋势进行预测还是相当有必要的。

### 参考文献:

- [1] 吴宗之,关磊.重大危险源安全规划与监控是城市安全的重要保障[J].中国公共安全.2006(2):5-7
- [2] 刘芳.浅谈化工园区安全生产[J].精细化工原料及中间体.2007(6):18-20
- [3] 魏利军,多英全.化工园区安全规划主要内容探讨[J].中国安全生产科学技术.2007(5):16-17
- [4] 张建文,安宇,魏利军.化学危险品事故应急响应大气扩散模型评述[J].中国安全科学学报.2007,17(6):12-17
- [5] 邓聚龙.灰色系统基本方法[M].武汉:华中理工大学出版社,1987
- [6] 邓聚龙.灰预测与灰决策[M].武汉:华中科技大学出版社,2002
- [7] 鲁来祥,余明高.GM(1,1)模型在高冒区遗煤自燃释放CO量预测中的应用[J].煤矿安全.2010(1):36-37
- [8] 肖云,周春梅.大冶铁矿滑坡预测模型研究[J].武汉工程大学学报.2010,32(1):9-10
- [9] 罗战友.单桩竖向极限承载力的灰色预测[D].西安建筑科技大学,2001
- [10] 肖新平,宋中民,李峰.灰技术基础及其应用[M].北京:科学出版社,2005
- [11] 马杰.近8年我国化工事故统计与分析[J].工业安全与环保.2009,35(9):37-38
- [12] 郭齐胜,杨秀月,王杏林,等.系统建模[M].北京:国防工业出版社,2006
- [13] 顾宗勤.我国化工园区建设和发展[J].化工设计.2004,14(6):45-46

## Application of Gray Theory to Accident Predication in China's Chemical Engineering Zone

ZENG Xiao-hong, BI Hai-pu, GAN Yuan-qing

(School of Resources and Environmental Science, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

**Abstract:** According to accident statistical data in China's chemical engineering zone, gray theory is used to set up GM(1,1) Gray Predication Model of the number of accidents and casualties of China's chemical engineering. By association degree test, the results show that this model has good predication accuracy. This model is used to predict the safety status of China's chemical engineering zone, the predication value of the number of accidents and casualties is obtained, and the change curve is devised, which reveal that the number of accidents and casualties is rising. The analysis shows that the reason for the rise is that, in recent years, China builds a lot of chemical engineering zones but the plan for the zones is not complete, that the investment in safety is insufficient, that the supervision on the safety is weak and so on.

**Key words:** gray theory; GM(1,1) Predication Model; predication analysis

责任编辑:代小红  
校 对:田 静