瞿红梅，李焕良，许汉刚，等. 基于灰色预测理论的应急救援物资储备模型[J]. 华南地震,2015,35（2）:24-27. [QU Hongmei，LI Huanliang，XU Hangang，etal. Reserve Model of Emergency Rescue Materials Based on Grey Theory[J]. South china journal of seismology,2015,35(2):24-27.]

基于灰色预测理论的应急救援物资储备模型

瞿红梅[1]，李焕良[2]，许汉刚[1]，彭小波[1]

（1. 江苏省地震工程研究院，南京 210014；2. 解放军理工大学野战工程学院，南京 210007）

摘要：科学合理的应急救援物资储备能确保对突发事件的应急救援行动高效快速实施。为探索应急救援物资消耗规律，科学指导应急救援物资储备，基于灰色预测方法构建了 GM（1，1）模型，结合某单位多次应急救援物资消耗实例，对救援物资储备进行了预测。结果表明：采用灰色预测法进行预测其平均相对误差明显小于其他方法，说明了灰色预测法的实用性、有效性和优越性，对于指导应急救援物资储备具有积极的指导意义。

关键词：应急救援物资；储备；灰色预测模型

中图分类号：F252　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1001-8662（2015）02-0024-04

DOI:10.13512/j.hndz.2015.02.004

Reserve Model of Emergency Rescue Materials Based on Grey Theory

QU Hongmei[1]，LI Huanliang[2]，XU Hangang[1]，PENG Xiaobo[1]

（1. *Institute of Earthquake Engineering of Jiangsu Province*，*Nanjing* 210014，*China*；2. *Institute of Field Engineering*，*PLA University of Science and Technology*，*Nanjing* 210007）

Abstract：Scientific and rational material reserve is an important guarantee for effective and rapid response of emergencies. In order to explore the regular pattern of emergency rescue materials so as to guide scientifically the reserve for future emergencies, the paper establishes a forecast model of GM (1,1) based on the grey forecast method. Combining with application data of a unit during the several emergencies relief actions, the paper makes the forecast research on the reserve of emergency rescue materials. The research results show that the average relative error of grey model is smaller than the other two methods, which can prove that the grey model has better properties, such as practicability, validity and advantage etc. The model has guidance meaning for the reserve of emergency rescue materials in actual work.

Keywords：Emergency rescue materials；Reserve；Grey model

收稿日期：2014-08-25

基金项目：江苏省科技支撑项目(BE2014731)；江苏省青年科研基金项目(BK2012061)

作者简介：瞿红梅(1981-)，女，工程师，主要从事地震工程、防震减灾研究.

E-mail：qhmts@163.com.

0 引言

应急救援物资的储备优劣直接关系到整个应急救援活动运行效率的高低[1]。应急救援物资储备受诸多条件限制，要做到科学配置，有必要在应急救援物资历史消耗数据的分析基础上，建立应急救援物资储备模型，对于提高应急救援能力，合理安排储备物资、提高资源利用效率、节约成本等具有十分重要意义。

1 应急救援物资储备需求分析

由于应急救援工作的复杂性、突发性，物资需求预测没有统一的模型，需要根据预测对象的特点、客观条件及预测目的等选择合适的预测模型。一般来说，首先考虑基于时间序列的需求预测模型，当历史数据较少或较难获取时，考虑基于寿命函数的需求预测模型，对于缺乏历史数据的新物资，采用基于成组技术的物资需求预测也能取得较好的效果。应急救援物资储备的消耗受各种物资本身使用消耗因素制约，如救灾帐篷需求数量主要与受灾后需要救助人数相关，药品则与受伤人员数量、受伤等级等因素有关 [2]。各类物资的消耗受自身使用强度、使用环境、使用条件等因素制约，灰色预测是用于在一定数据已知条件下对未来数据求解预测的有效方法，因此采用灰色预测理论进行应急救援物资储备预测。

2 灰色预测模型的建立

灰色预测模型又称GM 模型，它是利用一组微分方程给出的数学模型。根据预测因子的数目可以分为一阶多元预测模型 GM(1,N)和一阶一元预测模型 GM(1，1)，本文采用 GM(1,1)模型进行预测与分析。

2.1 GM（1，1）模型及变化处理[3-4]

设有原始序列为:

$$X^{(0)}=(x^{(0)}(1),x^{(0)}(2),\Lambda x^{(0)}(n) \tag{1}$$

通过累加生成:

$$X^{(1)}=(x^{(1)}(1),x^{(1)}(2),\Lambda x^{(1)}(n) \tag{2}$$

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

建立序列 $Z^{(1)}=(z^{(1)}(1),\ z^{(1)}(2),\Lambda z^{(1)}(n)$，称 $x^{(0)}(k)+az^{(1)}(k)=b$ 为 GM(1,1)模型的基本形式，其中 $Z^{(1)}(k)=0.5\ [x^{(1)}(k)+x^{(1)}(k-1)]$，则GM（1，1）模型的一阶一元微分方程为:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt}+ax^{(1)}=b \tag{3}$$

令参数$\hat{a}=(a,b)^{T}=(B^{T}B)^{-1}B^{T}Y$，其中：

$$B=\begin{bmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z^{(1)}(3) & 1 \\ \cdots & 1 \\ -z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix},\quad Y=\begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \cdots \\ x^{(0)}(\mathrm{n}) \end{bmatrix} \tag{4}$$

一阶一元微分方程解离散形式为：

$$\hat{x}=(k+1)=x^{(0)}(1)-\frac{b}{a})e^{-ak}+\frac{b}{a},k=1,2,\cdots,n \tag{5}$$

还原值为：

$$\hat{x}^{(0)}=(k+1)=\hat{x}^{(1)}(k+1)-\hat{x}^{(1)}(k) \tag{6}$$

对下一次所需数据预测：

$$\hat{x}^{(0)}=(n+1)=\hat{x}^{(1)}(n+1)-\hat{x}^{(1)}(n) \tag{7}$$

2.2 模型检验

本文采用残差检验方法，它是一种逐点检验方法，具体方法为下[5]：

设原始序列 $X^{(0)}$的 k 点(或时刻)的实际值为 $x^{(0)}(k)$，由 $x^{(0)}$所得灰色模型的计算值为 $\hat{x}^{(0)}(k)$，则称 $q(k)=x^{(0)}(k)-\hat{x}^{(0)}(k)$为 k 点的残差。

残差检验。相对误差 $\varepsilon(k)$为：$\varepsilon(k)=\frac{q(k)}{x^{(0)}(k)}\times100\%=\frac{x^{(0)}(k)-\hat{x}^{(0)}(k)}{x^{(0)}(k)}\times100\%$。平均相对误差 $\varepsilon(avg)$为：$\varepsilon(avg)=\frac{1}{n-1}\sum_{k=2}^{n}|\varepsilon(k)|$ 。精度ρ^0 为：$\rho^0=(1-\varepsilon(avg))\times100\%$。

对于 $\varepsilon(k)$，一般要求 $\varepsilon(k)<20\%$，最好 $\varepsilon(k)<10\%$；对于 ρ^0，一般要求 $\rho^0>80\%$，最好 $\rho^0>90\%$。

3 实例分析

某地区救灾物资储备库储备的全方位自动泛光工作灯，近年来均会因地震救援、抗洪抢险、交通电力抢修应急救援行动及相关训练发生消耗，2005—2012 年的消耗统计数据如表 1 所示，现根据应急救援行动的特点，结合时间序列预测法建立预测模型，得出该类救援物资平时应当储备数量，以满足应急救援行动准备需要。

3.1 模型建立及数据处理

根据案例的救援物资历年消耗情况，在该地

表 1　某救援物资历年消耗情况

Table 1　Consumption of rescue materials over the years

年份	消耗数量（个）
2005	21
2006	22
2007	20
2008	23
2009	22
2010	24
2011	25
2012	26

区灾情正常平稳的年份内，建立了灰色预测模型 GM(1，1)，对于建模样本量，灰色预测理论模型的建立并不像数理统计中的回归模型要求有大量的样本量，而是选用预测前的“足够少量”的样本进行建模。由表 1 中数据得式(8)。

$$X^{(0)}=(x^{(0)}(1),\ x^{(0)}(2),\ \Lambda x^{(0)}(8))$$
$$=(21,22,20,23,22,24,25,26) \tag{8}$$

通过累加得式(9)：

$$X^{(1)}=(x^{(1)}(1),\ x^{(1)}(2),\ \Lambda x^{(1)}(8))$$
$$=(21,43,63,86,108,132,157,183) \tag{9}$$

构造矩阵 B 和向量 Y。

$$B=\begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(x^{(1)}(2)+x^{(1)}(1)) & 1 \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(3)+x^{(1)}(2)) & 1 \\ M & \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(8)+x^{(1)}(7)) & 1 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} -32.0 & 1 \\ -53.0 & 1 \\ -74.5 & 1 \\ -97.0 & 1 \\ -120.0 & 1 \\ -144.5 & 1 \\ -170.0 & 1 \end{bmatrix} \tag{10}$$

$$Y=(x^{(0)}(2),x^{(0)}(3),x^{(0)}(4),x^{(0)}(5),x^{(0)}(6),x^{(0)}(7),x^{(0)}(8))^T=(22,20,23,22,24,25,26)^{\mathrm{T}} \tag{11}$$

建立微分方程模型：

$$\frac{dx^{(1)}}{dt}-0.0423x^{(1)}=17.4496 \tag{12}$$

所以得到一次累加生成序列的预测公式为：

$$\hat{x}^{(1)}(t+1)=\left[x^{(0)}(1)-\frac{b}{a}\right]e^{-at}+\frac{b}{a}$$
$$=443.5201e^{0.0423t}-421.5201 \tag{13}$$

3.2　模型检验

计算残差 $\varepsilon^{(0)}(t)$及相对误差 $q^{(0)}(t)$，如表 2 所示。

由表 2 中数据可以看出相对误差较大，因此需要用残差修正模型进行调整。式(14)是原始残差序列，式(15)是残差一次累加数列。对数列$\varepsilon^{(1)}(t)$建立 GM(1,1)模型，得到式(16)。

$$\varepsilon^{(0)}(t)=\{1.83,0.0086,2.14,0.24,1.2,1.32,1.3\} \tag{14}$$

$$\varepsilon^{(1)}(t)=\{1.83,1.8386,3.9786,4.2186,5.4186,6.7386,8.0386\} \tag{15}$$

$$\hat{\varepsilon}^{(0)}(t)=(1.83,2.5773,3.4226,4.3785,5.4597,6.6825,8.0655) \tag{16}$$

表 2　残差及相对误差

Table 2　Residuals and relative errors

t	$x^{(0)}$	$\hat{x}^{(0)}$	$\varepsilon^{(0)}(t)$	$q^{(0)}(t)$
1	21	21	0	0
2	22	20.1633	1.83	8.31%
3	20	19.9914	0.0086	0.43%
4	23	20.8551	2.14	9.3%
5	22	21.7562	0.24	1.09%
6	24	22.7963	1.20	5.0%
7	25	23.6769	1.32	5.28%
8	26	24.7	1.3	5.0%

根据 $\hat{x}^{(0)}(t,1)=\hat{x}^{(0)}(t)+\hat{\varepsilon}^{(0)}(t)$ 进行残差和相对误差检验，图 1 所示为实际消耗量、GM(1,1)模型和 GM(1,1)一次残差模型的模拟值比较。从表 3 数据可以看出模型的精度大大提高，如果模型精度达不到要求，可以继续进行多次残差修正，直到满意为止。

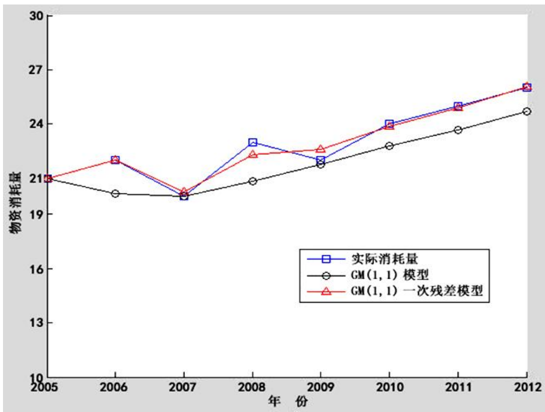

图 1　模拟值及实际消耗值比较

Fig 1　Simulation consumption values compare with actual consumption values

4　几种预测模型的比较

从该单位进行应急救援任务某物资消耗数据来看，其消耗并没有明显的趋势，很难找到相关影响因素间的函数关系，因此回归类预测模型不太适合。本文选择加权动平均法、指数平滑法进行与灰色预测结果进行比较。利用本文实例数据，分别采用这三种预测模型进行预测，以验证各个模型的预测效果。其预测结果如表 4、表 5所示。

表 3　模型检验

Table 3　Model checking

年份	$x^{(0)}$	$\hat{x}^{(1)}$	$\varepsilon^{(0)}(t)$	$q^{(0)}(t)/\%$	$P^{(0)}(t)/\%$
2005	21	21	0	0	100
2006	22	21.993 3	0.006 7	0.04	99.96
2007	20	20.738 7	−0.738 7	−3.67	96.37
2008	23	21.700 4	1.299 6	5.65	94.35
2009	22	22.712 1	−0.712 1	−3.23	96.77
2010	24	23.877 5	0.122 5	0.51	99.49
2011	25	24.899 7	0.100 3	0.40	99.6
2012	26	26.083	−0.083	0.32	99.68

注：平均精度：$p(avg)$=98.29%，后验差比值：C=0.2529，小误差概率：P=0.2242，灰色关联度： r=0.8627。

表 4　预测结果

Table 4　Prediction results

序列	模型		
	加权动平均法	指数平滑法	灰色预测法
1		21.5	21
2		21.46	21.99
3		21.45	20.73
4	20.83	21.46	21.70
5	21.83	21.41	22.71
6	22	21.44	23.87
7	23.17	21.48	24.89
8	24.17	21.61	26.08

表 5　预测结果的相对误差

Table 4　Relative errors of prediction results

序列	模型		
	加权动平均法/%	指数平滑法/%	灰色预测法/%
1		−2.38	0
2		2.45	0.04
3		−7.25	−3.67
4	9.43	6.7	5.65
5	0.77	2.68	−3.23
6	8.33	10.83	0.51
7	7.32	14.08	0.40
8	7.04	16.88	0.32
平均相对误差	6.58	7.91	1.35

从表 5 中的三种预测结果可以看到，采用灰色预测法进行预测其平均相对误差明显小于采用加权移动平均法以及指数平滑法，说明了灰色预测法的有效性和优越性。

5　结论

本文提出了基于灰色预测理论的应急救援物资储备方法，通过实例验证及与其他预测方法比较，证明了灰色预测方法可以为应急救援物资的储备提供科学实用的预测手段。总之，应急救援物资的应急储备是典型的是一个复杂的多目标决策问题，需要进行综合权衡和系统分析。

参考文献：

[1] 张永领.基于层次分析法的应急物资储备方式研究[J]. 灾害学，2011， 26（03）：120–125.

[2] 唐林霞. 地震灾害应急救援物资配置模型研究[D]. 武汉：华中科技大学，2012.

[3] 邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉：华中科技大学出版社，2002.

[4] 李日云，王 利，张双成. 灰色预测模型在高层建筑物沉降预测中的应用研究[J]. 地球科学与环境学报，2005，27（1）：84–87.

[5] 刘琼，段亦彬. 基于灰色理论的火炮维修器材消耗预测模型[J]. 四川兵工学报，2011，32（1）：49–51.