DOI:10.16016/j.1000-5404.1991.05.016



# 灰色系统预测在烧伤医学中的初步应用

彭代智 汪仕良 马汝舟*（第三军医大学西南医院 烧伤研究所）630038

**提 要** 本文用灰色系统预测的GM（1，1）模型对我所“七五”期间收治烧伤病人的资料（年收治总数、年死亡总数、年死亡率）分别进行处理建立相应的模型。以上述模型为基础，将“七五”期间的预测值与实际值进行比较，拟合较好。对1991年的收治情况进行了预测。结果虽尚待实践验证，但至少可以提示1991年的年收治总数将接近历史最高年份(1989年)，而年死亡数、年死亡率将略高于历史最低水平的年份（1990年），这可能会有助于实际工作的计划和安排。

**关键词** 烧伤/死亡率；灰色系统预测

自从1982年邓聚龙教授提出“灰色系统”理论以来，该理论已广泛地应用于工农业、经济、生态、气象及生物等领域[1]。虽然在医院管理及创伤弹道学中已有应用的报道[2][3]，但未引起人们的重视，烧伤医学也未见有关的文献。本文将初步运用灰色系统预测的GM（1，1）模型，对我所“七五”期间收治烧伤病人的资料进行处理，建立模型，并作出近期的预测，以期有助于实际工作的计划安排。

## 1 实际资料

我所烧伤病房“七五”期间（1986～1990）总共收治烧伤病人2122人，死亡总数为81人，死亡率为3.82%。每年收治情况见表1。

表1 西南医院烧伤病人收治情况资料（1986～1990）

Tab. 1 The data of the admission and treatment of burn patients in Southwest Hospital during (1986～1990)

| Year | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | Total or Mean |
|---|---|---|---|---|---|---|
| No of time(t) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| No of admission | 447 | 395 | 367 | 482 | 431 | 2122 |
| No of death | 14 | 21 | 21 | 17 | 8 | 81 |
| Mortality (%) | 3.13 | 5.32 | 5.72 | 3.53 | 1.86 | 3.82 |

## 2 GM（1，1）建模方法[1][2]

### 2.1 数据处理

对原始数据〔表示为$X^{(0)}_{(t)}$〕进行处理（包括累加生成、均值生成、累减生成等），以弱化其随机性和强化其规律性。

2.1.1 一次累加生成的数据为$X^{(1)}_{(t)}$，t表示时间序号（t=1,2,……N）。按定义，则

$$X^{(1)}_{(t)}=\sum_{k=1}^{t}X^{(0)}_{(K)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

2.1.2 均值生成的数据表示为Z(t)，其中t=2,3,4,…N。按定义则

$$Z_{(t)}=\frac{1}{2}\left[X^{(1)}_{(t)}+X^{(1)}_{(t-1)}\right] \cdots\cdots\cdots (2)$$

* 第三军医大学自然辩证法教研室

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2.1.3 均值生成数的平方表示为$Z^2_{(t)}$

2.1.4 原始数据与均值生成的积表示为$Z_{(t)}\cdot X^{(0)}_{(t)}$

## 2.2 GM (1,1) 模型的建立

2.2.1 按文献[1]的方法，建立$X^{(1)}_{(t)}$的一阶单变量常微分方程：

$$\frac{dx^{(1)}_{(t)}}{dt}+ax^{(1)}_{(t)}=u \cdots\cdots (3)$$

式（3）即为GM (1,1) 模型，其中a，u为待求系数。该模型的时间响应式（4）

$$X^{(1)}_{(t+1)}=\left[X^{(0)}_{(1)}-\frac{u}{a}\right]e^{-at}+\frac{u}{a} \cdots\cdots (4)$$

2.2.2 根据最小二乘法来估计参数向量为：

$$\begin{pmatrix} a \\ u \end{pmatrix}=(B^T\cdot B)^{-1}\cdot B^T\cdot Y_N$$

其中

$$B=\begin{pmatrix} -Z_{(2)} & 1 \\ -Z_{(3)} & 1 \\ \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots \\ -Z_{(N)} & 1 \end{pmatrix} \qquad Y_N=\begin{pmatrix} X^{(0)}_{(2)} \\ X^{(0)}_{(3)} \\ \vdots \\ \vdots \\ X^{(0)}_{(N)} \end{pmatrix}$$

$$B^T=\begin{pmatrix} -Z_{(2)} & -Z_{(3)}\cdots\cdots -Z_{(N)} \\ 1 & 1 \cdots\cdots 1 \end{pmatrix}$$

由矩阵运算求得

$$D=(N-1)\left[\sum_{t=2}^{N}Z^2_{(t)}\right]-\left[\sum_{t=2}^{N}Z_{(t)}\right]^2 \cdots\cdots (5)$$

$$\hat{a}=\left\{(N-1)\left[-\sum_{t=2}^{N}X^{(0)}_{(t)}\cdot Z_{(t)}\right]+\left[\sum_{t=2}^{N}Z_{(t)}\right]\left[\sum_{t=2}^{N}X^{(0)}_{(t)}\right]\right\}\Big/D \cdots\cdots (6)$$

$$\hat{u}=\left\{\left[\sum_{t=2}^{N}Z_{(t)}\right]\left[-\sum_{t=2}^{N}X^{(0)}_{(t)}\cdot Z_{(t)}\right]+\left[\sum_{t=2}^{N}Z^2_{(t)}\right]\left[\sum_{t=2}^{N}X^{(0)}_{(t)}\right]\right\}\Big/D \cdots\cdots (7)$$

2.2.3 对$X^{(0)}_{(t)}$，$X^{(0)}_{(t)}\cdot Z_{(t)}$，$Z_{(t)}$，$Z^2_{(t)}$求和$\sum_{t=2}^{N}$以便代入式（5），（6），（7）中计算，得到a，u的估计算值代入（4），即为一次累加生成数的预测方程。

2.2.4 因$\hat{X}^{(0)}_{(t+1)}=\hat{X}^{(1)}_{(t+1)}-\hat{X}^{(1)}_{(t)}$……（8）所以可以根据一次累加生成数的预测值，按（8）式求出其原始数据预测值。

# 3 对实际资料进行处理分析

## 3.1 年收治总数的建模及预测

按表2处理1986～1990年的烧伤病人年收治总数得到$X^{(0)}_{(t)}$，$X^{(0)}_{(t)}\cdot Z_{(t)}$，$Z_{(t)}$和$Z^2_{(t)}$的和$\sum_{t=2}^{N}$代入(5)，(6)，(7)则：

$D=3551388.75$　　$\hat{a}=-0.052588582$

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$\hat{u} = 352.6658728$ $\quad \frac{\hat{u}}{\hat{a}} = -6706.130103$

表 2 烧伤病人年收治数的数据处理结果

Tab. 2 The results of processed annual admission of burn patients

| No of time(t) | 2 | 3 | 4 | 5 | $\sum_{t=2}^{5}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $X^{(0)}_{(t)}$ | 395 | 367 | 482 | 431 | 1675 |
| $X^{(1)}_{(t)}$ | 842 | 1209 | 1691 | 2122 | |
| $Z(t)$ | 644.5 | 1025.5 | 1450 | 1906.5 | 5026.5 |
| $Z^2(t)$ | 415380.25 | 1051650.25 | 2102500 | 3634742.25 | 7204272.75 |
| $X^{(0)}_{(t)} \cdot Z(t)$ | 254577.5 | 376358.5 | 698900 | 821701.5 | 2151537.5 |

结果代入（4）得到年收治总数的一次累加数预测方程：

$$\hat{X}^{(1)}_{(t+1)} = 7153e^{0.0526t} - 6706 \cdots\cdots\cdots\cdots (9)$$

由式（9）知 $\hat{X}^{(1)}_{(t)} = 7153e^{0.0526(t-1)} - 6706$，将此式及式(9)代入（8），则得到年收治总数的原始数据预测方程：

$$\hat{X}^{(0)}_{(t+1)} = 366.5e^{0.05261} \quad \cdots\cdots\cdots (10)$$

利用式（10），令t分别等于1,2,3, 4可求出相应的$\hat{X}^{(1)}_{(t)}$，并与实际值进行比较，结果见表3。可知预测值与实际值之间最大误差为53，最小误差为9，平均为31，占实际值均数的7.4%，故与原始资料拟合较好。

如预测1991年烧伤病人收治总数时，可令t = 5，用式（8）求得$\hat{X}^{(0)}_{(6)} = 477$，所以认为1991年我科烧伤病人收治总数将接近历史最高水平的1989年。

表3 烧伤病人年收治数的实际值与预测值比较

Tab 3 The comparison between the actual and predictive annual admission of burn patients

| year | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 |
|---|---|---|---|---|---|
| t | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| $X^{(1)}_{(t)}$ | 842 | 1209 | 1691 | 2122 | |
| $\hat{X}^{(1)}_{(t)}$ | 833 | 1240 | 1669 | 2122 | 2598 |
| $\hat{X}^{(0)}_{(t)}$ | 395 | 367 | 482 | 431 | |
| $\hat{X}^{(0)}_{(t)}$ | 386 | 407 | 429 | 453 | 476 |
| $\lvert\hat{X}^{(0)}_{(t)} - X^{(0)}_{(t)}\rvert$ | 9 | 40 | 35 | 22 | |

## 3.2 年死亡总数、死亡率的建模及预测

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

按上述方法分别对年死亡总数和死亡率进行处理，结果见表4，得到原始数据的预测方程(10)、(11)，并进行预测（见表5）。

表4 烧伤病人年死亡数和年死亡率的数据处理结果

Tab. 4 The results of processed annual death and mortality of burn patients

| | $\sum_{t=2}^{5}$ | $X^{(0)}_{(t)}$ | $Z(t)$ | $Z^2(t)$ | $X^{(0)}_{(t)} \cdot Z(t)$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Annual death | | 67 | 211.5 | 12759.75 | 3182.5 |
| Annual mortality | | 16.43 | 51.665 | 762.441 | 186.3984 |

表5 烧伤病人年死亡数及年死亡率的实际值与预测值比较

Tab. 5 The comparison between the actual and predictive values of the annual death and mortality of burn patients

| Year | Annual death | | | Annual mortality | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $X^{(0)}_{(t)}$ | $\hat{X}^{(0)}_{(t)}$ | $\lvert\hat{X}^{(0)}_{(t)} - X^{(0)}_{(t)}\rvert$ | $X^{(0)}_{(t)}$ | $\hat{X}^{(0)}_{(t)}$ | $\lvert\hat{X}^{(0)}_{(t)} - X^{(0)}_{(t)}\rvert$ |
| 1987 | 21 | 23 | 2 | 5.32 | 5.89 | 0.57 |
| 1988 | 21 | 18 | 3 | 5.72 | 4.50 | 1.22 |
| 1989 | 17 | 15 | 2 | 3.53 | 3.43 | 0.10 |
| 1990 | 8 | 11 | 3 | 1.86 | 2.62 | 0.76 |
| 1991 | | 9 | | | 2.00 | |

年死亡总数的预测方程：

$$\hat{X}^{(0)}_{(t+1)} = 28.96e^{-0.23t} + \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (11)$$

年死亡率的预测方程：

$$\hat{X}^{(0)}_{(t+1)} = 7.72e^{-0.27t} \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (12)$$

由表5可见，年死亡总数的理论值与实际值之间最大误差为3，最小误差为2，平均误差2.5，占实际值均数的14.9%，故与原始数据的拟合较好。进行外推得到1991年的死亡数为9，可以认为1991年的死亡数将略高于1990年。

同时从表5可知死亡率的实际值与预测值最大误差为1.22，平均误差为0.6625，占实际值均数的17.3%。故对死亡率的预测与原始资料拟合程度较年收治总数和年死亡总数为差。由外推预测结果可以认为1991年的死亡数将维持在2%左右。

## 4 讨 论

现代统计学建立的各类数学模型已广泛地应用于医学预测中，如时间序列预测技术、回归预测技术等[2]。但传统的预测模型大都以数理统计学为基础，常需要大样本和典型的概率分布，这往往受到实际资料的限制。灰色系统的GM（1，1）模型所需样本量小，不需要典型的概率分布，计算简便，预测效果较好。因此克服了以往模型的局限性，适用范围广[1]。通过该模型对烧伤病房收治病人资料的处理、建模和预测可以看到该模型的上述优点，预测

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的结果较为满意，有益于实际工作的安排。但是由于原始数据的波动太大，会对预测结果有一定的影响。如对死亡率的预测其误差就较年死亡数及收治总数为大。此外，本模型作近期预测效果较好，远期预测要谨慎。

本文仅是初步应用GM（1，1）模型，结果较令人满意，当然这只是工作的开始。现在我们正准备用灰色系统的关联度分析及残差识别建立烧伤病人预后的预测模型，以一目了然的数字形式提示临床医生重视对危重病人的救治，达到提高医疗水平的目的。

## 参 考 文 献

1. 邓聚龙。灰色控制系统。武汉：华中工学院出版社，1985:1～3，293～343
2. 赵定义，孙伟民。医院管理中的灰色预测方法。中国医院管理 1989；10:14
3. Li TS, Wang CH, Hua J, et al. The application of the grey system theory to the experimental study on soft tissue wound by fragments. Sixth International Symposium on Wound Ballistics. Abstracts. Chongqing, China, 1988:11

（收稿：1991.05.14；修回：1991.06.25）

# Preliminary application of the grey system forecast in buru medicine

Peng Daizhi, Wang Shiliang, Ma Ruzhou (Research Institute of Burn, Southwest Hospital, Third Military Medical College, Chongqing) 630038

**Abstract** The GM(1,1)model of the grey system forecast was used to process and analyze the total annual admission of patients, the total number of annual patient death, and the annual mortality rate of the burn patients of the Institute in the 5-year-period from 1986 to 1990.3 corresponding forecast models were established respectively. The forecast values by these models were quite well accordant with the actual values in the period from 1986 to 1990. The forecasts of 1991 by these models are that the total annal admission of patients will approach that of 1989, which was the highest one in the last 5-year-period, and the total number of annual patient death and annual mortality rate will be slightly higher than that of 1990, which was the lowest one in the last 5-year-period. The grey system forecast will be beneficial for the work-planning and the personnel arrangement of our Institute.

**Key words** burns/MO; grey system forecast

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net