中国博士后增量的灰色预测模型

李 群

（中国社会科学院数量经济与技术经济研究所，北京 100732）

【摘 要】本文对灰色模型做了进一步的研究，拓广了灰色模型，建立了一个新的、预测精度较高的新灰色预测模型——“ 对数函数——幂函数变换 ”模型，并利用此模型对我国博士后研究人员增量做出精度较高的灰色预测。

【关键词】灰色预测，预测精度，博士后研究人员数量预测

中图分类号 O159 文献标示码 A

作者简介：李群，男，教授，学科带头人，北京市博士后联谊会常务副理事长、中国社会科学院博士后联谊会理事长、数量经济与技术经济研究所在站博士后，获得国家人事部博士后研究课题资助，研究方向是应用经济学，2003 年以后开始人才学理论与实践的研究。近年来，发表论文三十余篇，其中三篇被 SCI 检索、2 篇被 EI 检索，多篇被中国科学院检索；多次参加国际学术会议；曾获得第五届山东省青年科技奖、江苏省优秀课程群建设奖等多项奖励；主持省部级及以上课题十余项，其中人事部“ 十一五 ” 人才规划课题和第 35 批中国博士后科学基金二等资助项目为在研项目。目前，作者起草了中财办部署的“ 人才强国战略中长期规划研究报告 ”和正在参与由中办[2004]30 号文件部署、中组部牵头的“ 建立决策咨询机制 ”课题研究。作者进入博士后工作站以后，对我国的博士后发展有了更深刻的了解。为了便于博士后管理部门从量的角度把握和调整博士后数量的适度发展，特撰写此文，建立了博士后发展灰色预测模型，给出博士后发展的增量预测以供参考。

1 引言

中国博士后制度，于 1985 年 7 月，经国务院批准开始试行。十多年来，这一制度为中国培养了一大批优秀人才，初步形成一支高素质的博士后研究人员队伍。到 2003 年 7 月全国共有 300 多个高等院校和科研院所设立了 947 个博士后科研流动站，覆盖了理科、工科、农科、医科、社会科学等 12 个学科门类的 70 多个一级学科。在站博士后研究人员 6800 人，已有 1.2 万名博士后研究人员完成了科研工作期满出站。据介绍，出站博士后绝大多数被聘任为高级专业技术职务，许多人被破格晋升为教授、研究员，有的已成为学科、技术带头人，为我国经济、科技、教育等事业的发展贡献力量。经济社会的发展越来越突出博士后研究人员的贡献。因此，正确地预测每年博士后研究人员增长数量是十分必要的工作，对政府宏观管理指导博士后工作有着十分重要的现实意义。由于博士后研究人员数量的增长受诸多不确定性因素的影响，其中部分信息是已知的，部分信息是未知的。因此，我们根据这种特性，应用灰色模型对博士后研究人员今后每年的增加数量进行预测。

1982 年我国学者邓聚龙教授提出了灰色系统理论，它可以利用连续的灰色微分模型，对系统的发展变化进行全面的观察分析，并做出中长期预测。过去传统的预测方法，建立的是离散的递推模型，不能对系统作长期预测。邓聚龙教授首先建立了灰色预测模型[1] GM(1,1),

近二十年来得到了广泛的应用，但是预测精度有时不令人十分满意。本文在 GM(1,1)模型的基础上，提出了新的灰色预测模型——“ 对数函数——幂函数变换 ”模型，该模型克服了老模型中存在的某些不足，大大提高了预测精度。作为应用我们使用新模型对博士后研究人员的增长数量进行预测。

2 灰色预测模型 GM（1，1）

灰色预测模型 GM(1,1)的建模分以下五个步骤：

第一步 作累加生成数列

考虑有变量 $x^{(0)}$， $x^{(0)}=\{x^{(0)}(1),x^{(0)}(2),\ldots,x^{(0)}(n)\}$，令 $x^{(1)}(k)=\sum_{i=1}^{k}x^{(0)}(i),k=1,2,\ldots,n$.

第二步 确定数据矩阵 B,Y_n

$$B=\begin{pmatrix}-\frac{1}{2}(x^{(1)}(1)+x^{(1)}(2)) & 1\\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(2)+x^{(1)}(3)) & 1\\ \vdots & \vdots\\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(n-1)+x^{(1)}(n)) & 1\end{pmatrix},\quad Y_n=\{x^{(0)}(2),x^{(0)}(3),\ldots,x^{(0)}(n)\}.$$

第三步 求参数列

$$\hat{a}=(B^TB)^{-1}B^TY_n^T=\begin{pmatrix}a\\u\end{pmatrix}.$$

第四步 确定模型

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

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

第五步 残差检验

残差： $\varepsilon^{(0)}=(x^{(0)}(1)-x^{(1)}(1),x^{(0)}(2)-x^{(1)}(2),\ldots,x^{(0)}(n)-x^{(1)}(n)),$

K点模拟相对误差：$\Delta_k = \left|\dfrac{\varepsilon(k)}{x^{(0)}(k)}\right|, k=1,2,\ldots,n$,平均模拟相对误差：$\bar{\Delta} = \dfrac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}\Delta_k$，

平均相对精度：$1-\bar{\Delta}$.

3　“对数函数—幂函数变换”预测模型

3．1 用幂函数变换改进的方法

只要有下述定理成立，就说明用幂函数对原始数据列进行变换，确实能提高数据列的光滑度[2]。

定理 3.1 若α(k) 为递增数列，且α(1)≥1,T≥1.则

$$\frac{[a(k)]^{\frac{1}{T}}}{\sum_{s=1}^{k-1}[a(s)]^{\frac{1}{T}}} \le \frac{a(k)}{\sum_{s=1}^{k-1}a(s)}.$$

为证明定理 3．1 成立，只需证明

引理 设 $T \ge 1, 0 \le x \le 1$, .则有 $x \ge x^T$.

证明:

设 $f(x) = x - x^T$，那么 $f(x) = x(1-x^{T-1})$ 因为 $T \ge 1$ 和 $0 < x \le 1$,

所以 $1 - x^{T-1} \ge 0$. 故有 $f(x) = x(1-x^{T-1}) \ge 0$, 即. $x \ge x^T$.

证明定理 3.1 因为 T≥1 且α(k) 为递增数列，

α(k)≥ α(s), s=1,2,k-1,所以 $0 < \dfrac{a(s)}{a(k)} \le 1$, 由引理，得 $\dfrac{a(s)}{a(k)} \ge \left[\dfrac{a(s)}{a(k)}\right]^T$. 由此推得

$$a(k)\cdot[a(s)]^{\frac{1}{T}} \ge [a(k)]^{\frac{1}{T}}\cdot a(s), \quad s = 1,2,\cdots,k-1$$

不等式两边相加,得

$$a(k)\sum_{s=1}^{k-1}[a(s)]^{\frac{1}{T}} \geq [a(k)]^{\frac{1}{T}}\sum_{s=1}^{k-1}a(s),$$

所以有

$$\frac{[a(k)]^{\frac{1}{T}}}{\sum_{s=1}^{k-1}[a(s)]^{\frac{1}{T}}} \leq \frac{a(k)}{\sum_{s=1}^{k-1}a(s)}.$$

对原始数据列$[x^{(0)}(k)]$ 进行幂变换得 $\{[x^{(0)}(k)]^{\frac{1}{T}}\},(T\geq 1)$，再对$[x^{(0)}(k)]^{\frac{1}{T}}$ 用GM方法预测，最后通过$\{[[\hat{x}^{(0)}(k)]^{\frac{1}{T}}\}^{T}$还原即可。

4 用“ 对数函数——幂函数变换 ”改进的方法

用对数函数变换处理原始数据得到$\{\ln x^{(0)}(k)\}$,从而提高数据列光滑度，然后对$\{\ln x^{(0)}(k)\}$用GM方法预测，最后通过 exp $\{\ln \hat{x}^{(0)}(k)\}$还原，是以定理 4.1 作为理论根据的（定理证明见[2]）。.

定理 4.1　若 $\alpha(k)$为递增数列，且$\alpha(1)\geq e(2.718)$　　则

$$\frac{\ln a(k)}{\sum_{s=1}^{k-1}\ln a(s)} < \frac{a(k)}{\sum_{s=1}^{k-1}a(s)}.$$

通过讨论可知，用幂函数变换和对数变换都可以增加数据的光滑度，从而提高预测精度。我们将这两种变换进行复合变换，即先用对数变换处理原始数据得到$\{\ln x^{(0)}(k)\}$，然后再用幂函数变换处理数据列$\{\ln x^{(0)}(k)\}$ 得到$\{[\ln x^{(0)}(k)]^{\frac{1}{T}}\}(T\geq 1)$,对 $\{[\ln x^{(0)}(k)]^{\frac{1}{T}}\}$ 用GM方法预测，最后通过exp $\{\{[\ln \hat{x}^{(0)}(k)]^{\frac{1}{T}}\}^{T}\}$.还原。数据列的光滑度进一步得到增强，使得预测精度进一步提高。

定理 4.2 若 $\alpha(k)$ 为递增数列，且 $\alpha(1)\geq e(2.718)$,且 $T\geq 1$.则

$$\frac{[\ln a(k)]^{\frac{1}{r}}}{\sum_{s=1}^{k-1}[\ln a(s)]^{\frac{1}{r}}}\langle\frac{a(k)}{\sum_{s=1}^{k-1}a(s)}.$$

证明　当α(k)为递增数列时，lnα(k)也是递增数列且 α(1) ≥e,时， lnα(1) ≥1,由定理 3.1，得

$$\frac{[\ln a(k)]^{\frac{1}{r}}}{\sum_{s=1}^{k-1}[\ln a(s)]^{\frac{1}{r}}}\leq\frac{\ln a(k)}{\sum_{s=1}^{k-1}\ln a(s)}.$$

又满足定理 4.1 条件，所以

$$\frac{\ln a(k)}{\sum_{s=1}^{k-1}\ln a(s)}\langle\frac{a(k)}{\sum_{s=1}^{k-1}a(s)}$$

综合（1），（2）得

$$\frac{[\ln\ a(k)]^{\frac{1}{r}}}{\sum_{s=1}^{k-1}[\ln\ a(s)]^{\frac{1}{r}}}\langle\frac{a(k)}{\sum_{s=1}^{k-1}a(s)}.$$

通过以上定理我们可以建立新型灰色预测模型对博士后人员递增数量进行预测。

5 新的灰色预测模型在博士后研究人员增量预测中的应用

这些年来中国经济的发展对博士后人才提出了很大的需求，社会总体上对博士后这一高层次人才的兴趣日益增强。从实践来看，现行博士后制度，是适合中国国情的高层次专门人才培养制度。通过博士后制度，可以培养学科带头人和科研骨干力量，造就一大批高层次科学发明和技术创新人才，加快国家科研水平和高新技术产业发展的步伐。建立博士后制度，也有利于吸引出国留学人员回国工作。博士后流动站是具有国内一流或领先水平的科学研究基地，能够为留学人员提供比较满意的研究条件。但是按照我国现有条件，不可能设立充分多的博士后流动站，那么在当前条件下，我国每年培养多少博士后研究人员才能满足经济社会发展的需求？因此，做好博士后研究人员数量的预测有十分重要的现实意义。

5.1 博士后人员进站数量灰色预测模型

根据表 1 所列出的数据，建立博士后研究人员进站数量的“对数函数—幂函数变换”灰色预测模型，并利用该模型对博士后研究人员进站数量进行预测，其结果如表 2 所示。

表 1 1998－2004 年博士后研究人员进站数量　　　　　　　单位：人

年份	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
增长量	1789	2267	2651	2959	3914	4612	—

注：数据来源：人事部博士后流动站管理委员会统计资料

从 1998 年到 2003 年六年间，博士后研究人员进站数量从 1789 人增长到 4612 人，增长了 2.62 倍多。这说明我国博士后研究人员发展数量已经进入高增长时期。

表 2　灰色预测模型：$\hat{x}^{(1)}(k+1) = 246.4242e^{0.0112k} - 243.6875$　　　$(T=2)$

年份	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
数量 X	1789	2267	2651	2959	3914	4612	—	—	—
预测 $\hat{X}$	1789	2215.87	2637.44	3152.49	3784.32	4562.69	5519.19	6710.3	8191.1
相对误差	0.0	0.0226	0.0051	0.0654	0.0331	0.0107	—	—	—

经计算，灰色预测模的平均模拟相对误差为 2.28%，平均相对精度为 97.72%。因此，我们认为由此建立起来的灰色预测模型精度很高[4]。根据这一预测结果得出：2004 年、2005 年和 2006 年我国博士后研究人员进站数量分别为 5519 人、6710 人和 8191 人。

5.2 结语

我国“十五”博士后发展规划中提出的要求，到 2005 年我国博士后研究人员在站人员数量要达到 1.2~1.5 万人。根据我们的预测结果，到 2005 年博士后研究人员在站人员数量为 12229 人，到 2006 年博士后研究人员在站人员数量为 14901 人。本文预测结果证实了我国“十五”博士后发展规划的科学性和合理性，本结论也可以为人事部“十一五”博士后发展规划的制定提供科学的参考。

参考文献

[1] 邓聚龙.灰色预测与决策[M].华中理工大学出版社,1986.

[2] 中国博士后网站：www.chinapostdoctor.com.cn

[3] 陈捷涛.灰色预测模型的一个新进展[J].系统工程,1990,8(4).

[4] 国家统计局.2003 中国统计年鉴[M].中国统计出版社,2003.

[5] 刘思峰.灰色系统理论与应用[M].华中理工大学出版社,1998.

基金项目:①2004-2006 年度国家统计局全国统计科学研究计划项目，编号:LX2004—16；②2004 年博士后基金项目，编号:2004035087