DOI:10.16616/j.cnki.10-1326/TV.2017.03.018

基于灰色系统的年降雨量预测模型探析

任海青

（辽宁省丹东水文局，辽宁 丹东 118001）

【摘　要】 灰色预测是采用原始数据序列所生成的新的数据序列进行建模的一种方法。本文根据丹东地区5年的年降雨量系列数据，利用灰色 $GM(1,1)$ 建立预报模型来预报预测未来降雨量。

【关键词】 降雨量；预测；灰色系统

中图分类号：TV125　　文献标志码：A　　文章编号：2096-0131(2017)03-0061-03

Discussion of annual rainfall forecast model based on grey system

REN Haiqing

(*Liaoning Dandong Hydrology Bureau*, *Dandong* 118001, *China*)

Abstract: Grey prediction is a modeling method by adopting new data sequence generated by original data sequence. In the paper, grey $GM(1,1)$ is utilized for establishing a forecasting model to forecast and predict future rainfall according to five-year annual rainfall series data in Dandong.

Key words: rainfall; predict; grey system

1　丹东自然地理

丹东市地处辽东半岛经济开发区东南部，年内降雨量主要集中在6—9月，约占丹东市全年降雨量的70%以上，暴雨大部分多发生在7月下旬至8月上旬。水面蒸发量多年平均值为1232.8mm，年内分配以4—9月为最大，约占全年蒸发量的73%。无霜期为150d，初霜日一般在10月1日前后，终霜日一般在4月末。最大冻层深度为1.38m。

丹东市由于特有的地形地貌和气象条件，自然灾害以洪灾为主。该流域地属长白山脉的余脉，南临黄海，构成南低北高的地势，盛夏季节高压极峰停留在这一地区，当南方暖湿空气北上，随着地势抬升造成降雨。特别是7月、8月常以暴雨形式出现。由于山高坡陡，洪水陡涨陡落，集流迅速，砂石俱下，极易形成泥石流与洪水。据近120年来历史资料记载，平均每3.4年即发生一次不同程度洪涝灾害。依据历史资料记载和对历次洪水调查，1870—1911年，共42年，发生大洪水7次，平均6年发生1次，即1870年、1879年、1884年、1888年、1902年、1909年、1911年。1912—1948年，共37年，发生较大洪水9次，平均每4.1年发生1次，即1915年、1917年、1918年、1923年、1930年、1936年、1937年、1940年、1942年。1949—1989年，共41年，发生洪水19次，平均每2.2年发生1次。从1990年至今，共25年，共发生洪水8次，平均3.1年发生1次。

2　$GM(1,1)$ 预测模型

洪水的大小主要取决于降雨量的大小，针对未来降雨量大小的水文中长期预报越来越被重视。在水文

中长期预报中,经常会遇到原始数据系列较短,代表性不好的问题,而利用灰色系统建立的模型,可以很好地解决这个问题。本文是根据丹东地区5年的年降雨量,利用灰色 $GM(1,1)$ 建立预报模型来预报预测未来降雨量。

$GM(1,1)$ 表示模型是一阶微分方程,且只含一个变量的灰色模型。

2.1 模型的检验

首先,为了保证该方法的可行性,需要对已知数据做检验。设已知数据序列为 $x^{(0)}=[x^{(0)}(1),x^{(0)}(2),\cdots,x^{(0)}(n)]$,计算序列的级比

$$\lambda(k)=\frac{x^{(0)}(k-1)}{x^{(0)}(k)},k=2,3,\cdots,n$$

如果所有的级比 $\lambda(k)$ 都落在可容覆盖 $\Theta=(e^{-\frac{2}{n+1}},e^{\frac{2}{n+2}})$ 内,则序列 $x^{(0)}$ 可以作为模型 $GM(1,1)$ 的数据进行灰色预测。

2.2 模型预测方法

已知数据列 $x^{(0)}=[x^{(0)}(1),x^{(0)}(2),\cdots,x^{(0)}(n)]$ 以及一次累加生成数据序列,如下:

$$\begin{aligned}x^{(1)}&=[x^{(1)}(1),x^{(1)}(2),\cdots,x^{(1)}(n)]\\&=[x^{(0)}(1),x^{(0)}(1)+x^{(0)}(2),\cdots,x^{(0)}(1)\\&\quad+\cdots+x^{(0)}(n)]\end{aligned}$$

其中,$x^{(1)}(k)=\sum_{i=1}^{k}x^{(0)}(i),k=1,2,\cdots,n$ 的均值生成序列为

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

其中,$z^{(1)}(k)=0.5x^{(1)}(k)+0.5x^{(1)}(k-1),k=2,3,\cdots,n$

建立灰微分方程

$$x^{(0)}(k)+az^{(1)}(k)=b,k=2,3,\cdots,n$$

相应的白化微分方程为

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

记 $\hat{u}=[\hat{a},\hat{b}]^{\mathrm{T}},Y=[x^{(0)}(2),x^{(0)}(3),\cdots,x^{(0)}(n)]^{\mathrm{T}}$,

$B=\begin{bmatrix}-z^{(1)}(2) & 1\\ -z^{(1)}(3) & 1\\ \vdots & \vdots\\ -z^{(1)}(n) & 1\end{bmatrix}$,则由最小二乘法,求得 u 最小值的估计值为

$$\hat{u}=[\hat{a},\hat{b}]^{\mathrm{T}}=(B^{\mathrm{T}}B)^{-1}B^{\mathrm{T}}Y$$

于是求解白化微分方程,得

$$\hat{x}^{(1)}(k+1)=\left[x^{(0)}(1)-\frac{\hat{b}}{\hat{a}}\right]e^{-\hat{a}k}+\frac{\hat{b}}{\hat{a}},$$

$$k=0,1,\cdots,n-1,\cdots$$

3 模型应用

3.1 数据检验

丹东市2003—2007年的降雨总量见表1。

表1 丹东市2003—2007年降雨总量

年 份	2003	2004	2005	2006	2007
降雨总量/mm	1009.0	1106.1	1173.2	1020.9	1235.6

建立降雨总量序列如下:

$$\begin{aligned}x^{(0)}&=[x^{(0)}(1),x^{(0)}(2),\cdots,x^{(0)}(5)]\\&=(1009.0,1106.1,1173.2,1020.9,1235.6)\end{aligned}$$

由3.1,求得可容覆盖如下

$$\Theta=(0.7165,1.3307)$$

由3.1,求得级比如下

$$\begin{aligned}\lambda&=[\lambda(2),\lambda(3),\lambda(4),\lambda(5)]\\&=(0.9122,0.9428,1.1491,0.8262)\end{aligned}$$

可见,所有的级比都落在可容覆盖内,因此这组数据可以利用 $GM(1,1)$ 进行预测。

3.2 应用 $GM(1,1)$ 模型预测

利用已知数据,建立累加数据矩阵如下:

$$x^{(1)}=(1009.0,2115.1,3288.3,4309.2,5544.8)$$

建立灰微分方程与白化微分方程如下:

$$x^{(0)}(k)+az^{(1)}(k)=b,k=2,3,\cdots,n$$

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

利用最小二乘法求解方程,进行 $GM(1,1)$ 预测,求得预测数据如下:

$$\hat{x}^{(0)}=(1009.0,1097.8,1121.5,1145.7,1170.5)$$

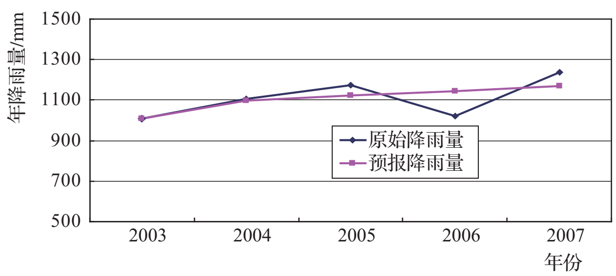
原始数据与预测数据对比见表2。

由表2可知,使用 $GM(1,1)$ 针对降雨量进行中长期预报,预报结果的相对误差,除2006年外,其余4年

表2　模型预测结果

年份	原始值	预测值	残差	相对误差/%
2003	1009.0	1009.0	0.0	0.00
2004	1106.1	1097.8	8.3	0.75
2005	1173.2	1121.5	51.7	4.41
2006	1020.9	1145.7	-124.8	12.23
2007	1235.6	1170.5	65.1	5.27

误差较小，在5.5%以内。具有较好的可行性，下图直观体现原始值与预测值的残差，具有较好的可行性。



原始降雨量与预报降雨量对照

4　结　语

在实践中，中长期水文预报对水库调度、洪水控制、水资源开发利用和保护、水利工程建设与运用管理、发电灌溉具有非常重要的作用，是一项重要的防洪非工程措施。然而，影响中长期水文预报的因素繁多，具有不确定性，加之数据资料有一定的局限性，故而不能很好地满足预报要求。目前，中长期预报研究还不能深入解释各种水文现象及其影响要素之间内在的复杂的非线性关系，做出的预报结果往往不能达到理想要求。不同水文过程有着自身特性的差异性，这就要求预报手段多样化，必须结合一定的学科知识，从多个方向进行尝试和探索，综合进行比较研究，尤其是近年来发展起来的新技术（如：神经网络技术、模糊方法等）与传统方法的比较是迫切需要的，灰色系统理论便是新方法其中之一。

灰色系统理论创立于1982年，适用于研究数据量比较少、信息量不大的不确定性问题，由于它对建立模型数据没有特殊要求和限制，因此在水资源评价、管理和水文预测预报等方面得到了长足而广泛的应用。自灰色理论诞生以来，应用于水文水资源预报预测中的研究成果展示了较高的可信度，应用这个理论，我们可把水资源系统当做灰色系统看待，首先利用灰色关联分析，挑选出与水资源关系密切的物理因子，利用物理因子进行计算，使灰色聚类分析具有预测功能。应用灰色聚类分析来预测未来水资源的变化趋势是一种有益的尝试，比如：将灰色系统引入需水预测中，并提出带有时间因子的非线性 *GM*，可以给出某一缺水地区工业、农业和生活需水的预测，具有较佳的预报效果。随着非线性系统模拟和智能化技术的日趋成熟，在水文预报中使用多种模型进行对比，这对于提高预报精度和可靠性是非常必要的和完全可行的。

本文搜集了辽宁省丹东地区2003～2007年的降雨总量数据，建立了描述灰色系统的数学模型，尝试用最常用的模型 *GM*(1,1)，G代表Grey（灰色），M代表Model（模型），*GM*(1,1)表示1阶的1个变量的线形常微分方程模型。通过以上丹东市年降雨量数据分析，使用灰色系统进行预测，取得了很好的效果，具有推广价值。不仅可以应用于区域水文因子预报，也可以对单个流域及单个站点进行水文预测，不仅可以预报降雨量，也可以应用于其他水文因子的预报，如流量、水质、水资源量等等。特别是近几年来各地新建的中小河流水文站，资料系列较短，显而易见，在预报中灰色系统理论的运用将具有很大的优势。模型不需要很多数据，可以解决历史数据少、序列完整性及可靠性低的问题；能利用微分方程来充分挖掘系统的本质，精度较高；能将无规律的原始数据进行生成得到规律性较强的生成序列，运算简便，易于检验。所以该方法可在建站时间较短，历史系列资料较少的流域或水文站进行中长期预报时应用。

参考文献

[1]　赵庆国. 梅山水库流域近60年降雨量特征分析[J]. 水利科技与经济，2012(7).

[2]　张德同，王学敏. 径向基函数人工神经网络在白城市年降雨量预测中的应用[J]. 硅谷，2013(17).

[3]　李俊伟. 韩江流域年降雨量均生函数预测模型[J]. 水文，2009(S1).

[4]　高振宇，傅建平. 北京地区降雨及水资源变化趋势的预测[J]. 北京农业工程大学学报，1992(4).

[5]　仲远见，李靖，王龙. 改进马尔可夫链降雨量预测模型的应用[J]. 济南大学学报（自然科学版），2009(4).