

灰色模型在环渤海地区降水过程预报中的应用

王志强¹,汪结华²,王武功¹,尚可政¹,程一帆¹,李旭¹

(1. 兰州大学大气科学学院, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国人民解放军92493部队, 辽宁 葫芦岛 125000)

摘要:利用1956年1月1日至2008年12月31日环渤海15个地面测站观测资料,建立降水天气过程的时间序列,利用灰色预测模型法,对各站降水天气进行预测研究。为了提高预报准确率,对灰色预测模型进行了改进。通过不同长度时间序列建立灰色预测模型,从而排除时间序列长度对模型的影响;基于光滑比对灰色预测模型的影响,为提高时间序列光滑比,对时间序列进行函数变换;优化灰色预测模型。利用1956~2008年观测资料进行检验,实证分析结果表明:改进后的灰色预测模型降水过程预测准确率明显高于灰色预测模型,达到65%,对中长期降水预报具有一定的参考价值。

关键词:灰色预测;环渤海地区;中长期降水预报;优化;准确率

中图分类号:P458.1⁺21

文献标识码:A

引言

中长期天气预报^[1-2]一直是气象科学领域的研究难点,它不如短期预报依据那么丰富,也不如短期气候预测那么具有较明显的气候规律。到目前为止,在各气象台站的实际业务中,中长期预报所用的方法,仍然主要是统计预报方法和经验预报。诸如陈祯烈等^[3]采用“降水过程指数曲线模型”对降水过程进行预测,虽对个别特例有较理想结果,但投入大量的业务预报中仍不能保证足够的准确率,因此需要一个比较成熟的系统理论,应用于中长期降水过程预测中。

灰色系统理论是我国著名学者邓聚龙教授于20世纪80年代初创立的一种兼备软硬件科学特性的新理论^[4]。现已广泛应用于社会、经济、生态、科技运算等领域^[5-7]。灰色系统处理过程就是根据对获得的观测资料的分析,用一定的数学方法尽可能消除未知的随机因素的影响,建立能对系统作出预测的灰色模型^[8-9]。

在气象领域,由于大气观测受各种条件限制,人们只能从真实大气中获取一部分信息,而且人类对

大气变化规律的认识也不够全面,有些方面知之甚少。因此,可把大气视为灰色系统,建立预测灰色模型^[10]。

环渤海地区地处我国华北地区近海北段,地理位置特殊,是我国东部沿海地区发达经济核心区之一,同时也是军事防御的重点区域。本文利用环渤海15个气象站资料,获取降水天气过程的时间序列,建立并改进灰色预测模型,对降水天气过程进行预测。

1 资料处理

所用资料为环渤海15个站点1956年1月1日至2008年12月31日的逐日降水资料,15个站点分别为兴城、绥中、瓦房店、龙口、锦州、大连、长岛、成山头、乐亭、威海、烟台、羊角沟、秦皇岛、熊岳、营口,具体分布如图1所示。

所取站点位于中纬度地带,地处亚欧大陆的东部,属东亚季风区。夏季主要受东南海洋吹来的东南季风的影响,高温多雨,雨热同期。冬季受蒙古和西伯利亚冷气团影响,偏北的季风频频南下,全区普遍干燥。降水量年内分配不均,由于受大气环流的

收稿日期:2011-12-08;改回日期:2012-02-15

基金项目:2009年中国气象局气候变化专项项目“西北极端干旱事件个例库及干旱指标数据集”资助

作者简介:王志强(1988-),男,浙江江山人,硕士研究生,研究方向为极端天气气候. E-mail: wangzqh11@126.com

通信联系:王武功(1955-),男,山东安丘人,教授,博士研究生导师,研究方向为极端天气气候、现代天气预报技术和医学气象. E-mail: wangsg@lzu.edu.cn

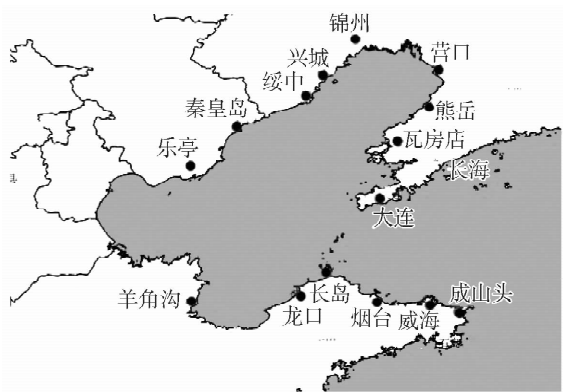


图1 环渤海15个气象站的分布
Fig.1 Distribution of 15 meteorological stations around Bohai Sea

变化特点,降雨主要集中在6~9月。尤以7~8月最多。据近30a雨量资料统计,1~5月降雨量占全年雨量15%,6~9月占全年的75%,10~12月占全年的10%^[11-12]。

鉴于此,本文通过以下2种方法对降水实况资料进行分析并选取降水天气过程出现日期。

(1)降水过程分析法

有冷空气活动时,多伴随有降水出现。分析降水实况资料,从中找出可代表过程的日期,组成日期序列,此即为降水过程分析法。

选取时应遵循如下几个原则:

- ①若降水只持续1d,则该日即为降水过程日;
- ②连续降水日期不止1d,且这几天的降水量无明显差别或第一天降水量大于后几天降水量,取降水出现首日为降水过程日;
- ③连续降水日期不止1d,且这几天的降水量有明显差别,取较大的一天日期。

(2)利用阈值产生拓扑序列法

夏季,尤其是6~9月,降水较频繁。通过降水实况,不易找出过程日期。因此,通常采用阈值法,选取可以反映较大降水过程的日期序列。

阈值的确定:在本研究中经过反复试验,阈值取为5.0mm较为合适。当连续几天降水量都大于阈值时,只选其中最大降水日为降水过程出现日^[13]。应用以上方法可选出一时间序列。

2 灰色预测模型的建立

建立灰色模型(Grey Model,简称GM)使用的是微分方程动态建模方法,常用的GM是一阶单变量的线性微分方程模型,常记为GM(1,1)。

设原始数据序列 $\{x^{(0)}(t)\} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)\}$

经一次累加生成得到新序 $\{x^{(1)}(t)\}$,且 $x^{(1)}(t)$ 满足一阶单变量微分方程:

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

上式中 a, b 为待辨识参数,按最小二乘估计,可得参数 a, b 的估计值:

$$U = [a, b]^T = (B^T B)^{-1} B^T Y \quad (2)$$

其中:

$$Y = [x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(n)]^T$$

$$B = \begin{bmatrix} -0.5[x^{(1)}(2) + x^{(1)}(1)] & 1 \\ -0.5[x^{(1)}(3) + x^{(1)}(2)] & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -0.5[x^{(1)}(n) + x^{(1)}(n-1)] & 1 \end{bmatrix}$$

则有:

$$x^{(1)}(t+1) = [x^{(1)}(1) - \frac{b}{a}] \cdot e^{-at} + \frac{b}{a} \quad (3)$$

此即为灰色预测模型^[4]。

将处理所得的时间序列取出相应长度的数列代入灰色预测模型中,进行预测运算。

本文基于降水时间预测的特殊性,采用预测降水日期与实际降水日期之间的误差来衡量模型的准确率。

$$e(k) = |\hat{x}^{(0)}(k) - x^{(0)}(k)| \quad (4)$$

即预测结果同实际降水日期之间的差值。

本文处理的是降水天气过程时间序列,预测的是降水过程出现的日期,预测降水日期可以为正实数,而实际降水日期只能是正整数,若 $e(k) \leq 0.5$,即预测日期与实际降水日期是同一天,预测准确;若 $0.5 < e(k) \leq 1.5$,即预测日期与实际日期相差1d,根据目前各气象台站天气过程预报的评定标准,仍然认为预测是准确的,故 $e(k) \leq 1.5$ 时,取预测准确率为1.0;若 $1.5 < e(k) \leq 2.5$ 时,即预测日期与实

际日期相差 2 d,取准确率为 0.5;若 $e(k) > 2.5$ 时,取预测准确率为 0。

3 灰色预测模型的改进

为提高预测准确率,采取以下步骤改进原始灰色预测模型^[14]。

第 1 步:变换降水过程时间序列

定义:设 $\{x^{(0)}(k)\} (k=1,2,\dots,n)$ 为非负序列,则称 $p(k) = \frac{x^{(0)}(k)}{\sum_{i=1}^{k-1} x^{(0)}(i)} = \frac{x^{(0)}(k)}{x^{(1)}(k-1)}$, ($k=2,3,\dots,n$) 为序列 $x^{(0)}$ 的光滑比^[15]。

采用函数变化,提高降水过程时间序列光滑比,从而提高预测精度。本文采用文献中的方法^[16-17]进行变换:

$$y = -\log(x) + 30 \tag{5}$$

第 2 步:优化灰色预测模型

将原始灰色预测公式(3)中的 Y, B 的公式修改如下^[18-19]:

$$Y = \begin{bmatrix} \frac{x^{(0)}(2)x^{(0)}(3)}{x^{(0)}(3) - x^{(0)}(2)} \ln \frac{x^{(0)}(3)}{x^{(0)}(2)} \\ \frac{x^{(0)}(3)x^{(0)}(4)}{x^{(0)}(4) - x^{(0)}(3)} \ln \frac{x^{(0)}(4)}{x^{(0)}(3)} \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ \frac{x^{(0)}(n-1)x^{(0)}(n)}{x^{(0)}(n) - x^{(0)}(n-1)} \ln \frac{x^{(0)}(n)}{x^{(0)}(n-1)} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} -x^{(1)}(2), 1 \\ -x^{(1)}(3), 1 \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ -x^{(1)}(n-1), 1 \end{bmatrix} \tag{6}$$

将 Y, B 代入(2)式,可计算出参数 a, b ,再代入(3)式,可建立新的灰色预测模型。

第 3 步:采用函数变化之后的时间序列,代入到优化的灰色预测模型中,得到预测结果,利用(5)式,将预测结果还原为降水时间序列。

第 4 步:不同序列长度建模预测结果集成

以锦州站点 1956 年 1 月 1 日之后 10 次降水过程为例,其数据集为 $\{1, 7, 39, 46, 51, 58, 64, 85, 96, 99\}$,可将该数据集分为如下 8 个不同的子集:

时间序列长度为 3, $x(3) = \{85, 96, 99\}$;

时间序列长度为 4, $x(4) = \{64, 85, 96, 99\}$;

.....

时间序列长度为 9, $x(9) = \{7, 39, 46, 51, 58, 64, 85, 96, 99\}$;

时间序列长度为 10, $x(10) = \{1, 7, 39, 46, 51, 58, 64, 85, 96, 99\}$;

用上述 8 个序列,重复第 1 步到第 3 步的过程,建立 8 个不同的灰色预测模型,得到 8 个不同的预测结果。将 8 个模型的预测结果进行投票集成,若某日的出现频率较高,则确定该日为降水过程出现日。

4 模型预测能力的评估

采用以上改进方案,利用降水时间序列建立灰色预测模型,从而预测下次降水过程时间,并用实际降水天气过程检验,具体检验结果如表 1 所示。

表 1 改进模型预测结果

Tab. 1 The forecast results from improved Grey Model

站点	预测次数	$e(k) \leq 1.5$	$1.5 < e(k) \leq 2.5$	站点	预测次数	$e(k) \leq 1.5$	$1.5 < e(k) \leq 2.5$
兴城	1 740	931	226	营口	2 163	1 290	301
成山头	2 365	1 527	319	羊角沟	1 838	1 062	241
大连	2 076	1 204	290	秦皇岛	1 706	936	239
乐亭	1 653	907	231	龙口	1 959	1 202	266
瓦房店	1 926	1 165	268	锦州	1 723	903	229
威海	2 028	1 312	280	长岛	1 762	1 049	885
熊岳	2 106	1 233	269	绥中	1 648	885	226
烟台	1 837	1 178	246				

改进之后的灰色预测模型预测准确率较 GM(1,1)有较大提高,如表2所示。表中“GM(1,1)模型”数据长度取为5。

表2 改进模型与 GM(1,1)准确率对比(单位:%)

Tab.2 The accuracy contrast of forecast results between the original and the improved Grey Model(Unit:%)

站点	GM(1,1)模型	改进模型	站点	GM(1,1)模型	改进模型
兴城	19.18	60.00	营口	18.09	66.60
成山头	16.29	71.31	羊角沟	19.75	64.34
大连	19.87	64.98	秦皇岛	22.36	61.87
乐亭	20.03	61.86	龙口	15.91	68.15
瓦房店	19.69	67.45	锦州	19.00	59.05
威海	16.43	70.60	长岛	14.95	66.32
熊岳	19.17	64.93	绥中	21.19	60.56
烟台	17.35	70.82	平均	18.62	65.26

本文预测的是降水过程发生的日期,为中长期预报。预测模型改进后预测准确率平均为65.26%。改进后的预报准确率明显高于原始灰色预测模型。

5 小 结

(1)改进模型提高了预测准确率,说明改进方法是有效的。

(2)此预测方法简单易行,65.26%的平均预测准确率对中长期降水预报具有一定的参考价值,可在预报业务中广泛应用。

参考文献:

- [1] 仇永炎. 中期天气预报[M]. 北京:科学出版社,1985.115-117.
[2] 章基嘉,葛玲. 中长期天气预报基础[M]. 北京:气象出版社,

1983.108-156.

- [3] 陈炳烈,张波,张葵. 几种中长期天气预报方法探讨[J]. 四川气象,2003(85):13-14.
[4] 邓聚龙. 灰色理论基础[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2002.
[5] 杨向萍. 灰色系统改进模型在设备状态预报中的应用[J]. 热力发电,1997,4:30-32.
[6] 骆斌,费翔林. 多线程技术的研究与应用[J]. 计算机研究与发展,2000,37(4):407-412.
[7] 李国军,张胜智,吉哲君. 玛曲草原气候生态环境变化及牧草产量灰色预测[J]. 干旱气象,2009,27(1):61-65.
[8] 王淑华,魏勇. 改进的灰色预测模型的应用[J]. 西华师范大学学报(自然科学版),2008(6):2-2.
[9] 魏光辉,马亮. 基于灰色关联分析与RBF神经网络的水面蒸发量预测[J]. 干旱气象,2009,27(1):73-77.
[10] 宋仁峰,李震. 灰色预测在中期降水过程预报中的应用[J]. 辽宁气象,1997(3):5-7.
[11] 张锦玉,孟祥军. 辽西渤海岸流域水文特征[J]. 东北水利水电,2004,5(13):13-14.
[12] 王素萍,段海霞,冯建英,等. 2011年春季全国干旱状况及其影响与成因[J]. 干旱气象,2011,29(2):261-268.
[13] 李才媛,顾永刚. 灰色预测模型在长江上游流域雨量预报中的应用[J]. 气象科技,2003,4(31):223-226.
[14] 严华生,曹杰,谢应齐. 非线性统计预报方法研究进展[J]. 干旱气象,2005,23(1):72-77.
[15] 张军,王秋萍,刘素兵. 基于函数变换的优化灰色预测模型及其应用[J]. 青岛科技大学学报(自然科学版),2008,4(29):182-184.
[16] 李玻,方玲. 函数变换提高灰色预测模型精度的条件[J]. 后勤工程学院学报,2009,7(25):86-90.
[17] 王忠桃,彭鑫,戴齐. 基于初值修正的灰色预测模型的改进及其应用[J]. 重庆工学院学报(自然科学版),2007,10(21):81-84.
[18] ZHANG Y, WEI Y, ZHOU P. The Improved Approach of Grey Derivative in GM(1,1) Model[J]. The Journal of Grey System(UK), 2006,4:375-380.
[19] 王芬,张强宜,李腹广. 最小二乘法与A值平均法估测降水对比[J]. 干旱气象,2011,29(3):368-372.

Application of Grey Model for Precipitation Forecast Around Bohai Sea

WANG Zhiqiang¹, WANG Jiehua², WANG Shigong¹, SHANG Kezheng¹, CHENGYifan¹, LIXu¹

(1. College of Atmospheric Sciences, Key Laboratory of Arid climate Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 2. Unit 92493 of PLA, Huludao 125000, China)

Abstract: By using the data of 15 meteorological stations around Bohai Sea from January 1, 1956 to December 31, 2008, a time series of rainfall weather process was obtained, and then the grey prediction model was used to forecast rainfall weather. In order to improve the forecast accuracy, the grey prediction model was advanced in this paper. The grey prediction model was established through different length of time series to exclude the influence of length of time series on the model. Due to the impact of smooth ratio, functional transformation of the time series is done to improve its smooth ratio. In addition, the grey prediction model is also optimized. The improved model is inspected by the observation data from 1956 to 2008. Results indicate that the forecast accuracy of the improved model could reach to 65%, which implied that the improved model is an important reference to the forecast of medium and long-term precipitation forecast.

Key words: grey prediction model; around Bohai Sea; medium and long-term precipitation forecast; optimization; accuracy