

近 40 年山东各水资源分区降水变化特征及多步预测时序模型¹⁾

胡桂芳 张苏平

(山东省气象科研所, 济南 250031)

提 要

利用近 40 年来山东省 41 站降水资料, 分析了各水资源分区降水演变特征。以均生函数为基函数, 用主成分分析原理进行筛选, 建立了山东省各水资源分区降水时序多步预测模型。通过计算试验, 拟合、预报效果均较好。

关键词: 降水变化特征 水资源分区 多步降水预报

引 言

水资源短缺已成为近年来山东省经济发展的主要限制因素。为了密切结合水资源研究, 本文从水资源分区入手, 分析近 40 年来山东省各水资源分区降水时间变化特征, 包括气候倾向率、周期性、阶段性。并计算出时间序列的均生函数, 再利用主成分分析进行筛选, 以期建立拟合、预测效果均佳的数学模型, 为合理开发利用山东省水资源提供参考依据。

1 各水资源分区降水变化特征

根据山东省降水特点, 选取全省分布均匀的 41 站年降水资料(1960—1994 年)作为基本资料, 选用文献[1]山东水资源分区方案, 该方案主要考虑河流、水系的完整性及水文气象特点的一致性, 将山东省分为 11 个水资源分区(见图 1)。这 11 个水资源分区是地表水和地下水汇总的基本单元。

1.1 降水倾向率分析

以年代 t 为自变量, 年降水量为因变量建立一元回归方程:

$$\hat{y}(t) = b_0 + b_1 t$$

其趋势变化率方程为:

$$d\hat{y}(t)/dt = b_1$$

式中 b_1 为气候倾向率, 单位为: (mm/年); b_0, b_1 用最小二乘法确定。

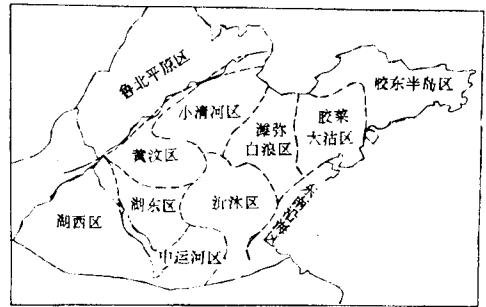


图 1 山东各水资源分布图

b_1 为正值, 表示降水有增多趋势, 值越大, 表示增大趋势愈明显; b_1 为负值, 表示降水为减少趋势, 绝对值越大, 降水减少趋势越明显。用上述公式计算了山东省 41 站降水倾向率, 见图 2。

从图 2 中可以看出, 除湖西区曹县为正值 $b_1 = 0.9$, 表现为略微上升趋势外, 其余各站均为负值。表明山东省降水自 1960 年以来, 年降水量均呈减少趋势。降水减少幅度东南部大于西北部, 以东南沿海区平均减少幅度最大, 超过 10mm/年。湖西区、鲁北平原区等区降水减少幅度较少, 其中聊城、泰安等局部地区, 无明显降水减少趋势。

1.2 降水变化的周期性

1) 本文由省自然科学基金“山东气候变化对水资源影响及对策研究”课题资助

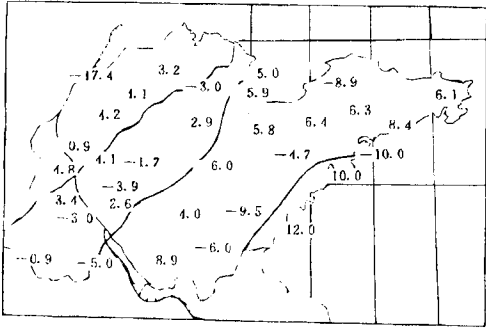


图2 1960—1994年山东降水倾向分布图

将各水资源分区逐年区域降水算术平均值序列看作平稳随机时间序列,对各序列进行功率谱分析(取最大后延 $m=10$,序列长度 $n=35$),并用95%信度的红噪声或95%信度的白噪声临界谱进行检验,计算结果见表1。

表1 山东各水资源分区降水变化显著周期

分区	主要周期		
鲁北平原区	2—3		10
小清河区	2—3		10 20
黄汶区	2—3	5—7	10
湖东区	3	5—7	
湖西区	3	6—7	10
潍沭白浪区	3	4—5	
沂沐区	2—3		20
中运河区	2—3		20
胶莱大枯区	2	5	20
东南沿海区	3	5	20
胶东半岛区		5—7	10 20

由表1可见,山东省各水资源分区有着基本一致的变化规律,一般存在着准2—3年、5—7年、10年、20年左右的显著周期。文献[2,3]对山东省5个地区500年旱涝指数进行功率谱、方差分析等研究,发现山东省普遍存在着2—3年、5年、8—11年、30—35年、47—53年、79—103年、173—196年显著周期,与本文结论基本一致,只因本文所用资料年代较短,20年以上的周期不能反映出来。

1.3 降水变化的阶段性

山东历史时期降水量变化的基本特征是偏多、偏少阶段交替出现,1916年至今,进入了一个以偏旱为主的阶段[2,4],所以近40年来山东降水的变化在大尺度上属于历史时期降水偏少阶段,但是其间仍有时间尺度短的降水偏多偏少阶段的交替出现。本文选择

有代表性的鲁北平原区、黄汶区、胶东半岛区为研究对象^[5],图3是这3个地区1960—2000年区域平均降水量距平百分率累积曲线(1995—2000年降水量值为预报值)。从图3中可以看出,这3个地区降水量变化有两个显著特点。一是总的变化趋势基本一致,降水量呈正相关。二是有明显的阶段性。但降水变化的阶段性在空间上不同步,表现在降水偏多偏少阶段起止时间、持续时间长度、降水变幅各区域不同。1960—1964年为上升阶段,各区域以多雨为主,大部分区域在1964年出现了降水极大值,1965—1968年为下降阶段,各区域以少雨为主。1969—1976年除黄汶区为波浪式演变,降水偏多偏少交替出现外,其余两区呈波浪式上升,以多雨为主。胶东半岛区上升幅度最大,降水偏多持续时间最长。1977—1989年为下降阶段,是近40年来异常干旱少雨阶段。胶东半岛区下降幅度最大,降水偏少持续时间最长。黄汶区下降幅度最小,1985年之前无明显下降趋势。进入90年代以来,降水仍以正常偏少为主。

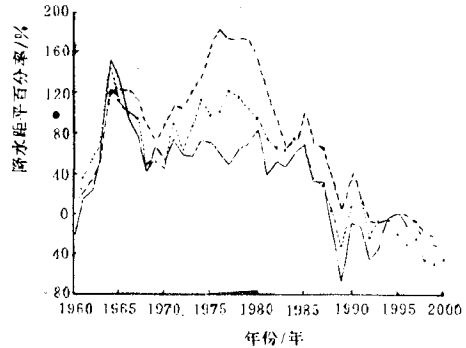


图3 鲁北平原区(点线)、黄汶区(实线)、胶东半岛区(虚线)1960—2000年降水距平百分率累积曲线

2 各水资源分区多步预测时序模型

由于目前对气候变化的物理原因与机制认识尚不十分清楚,一般还是把气候演变视为一种随机过程。借助对随机序列的统计预测方法进行气候变化的预测。本文建模方案是基于均生函数建模^[6]。目前常用的时间序列建模方法如AR、ARMA、TAR等模型均着眼于序列中邻接时刻间的联系,对参数的估计最终也要求助于自相关矩阵。而均生函数预测模型基于系统状态前后记忆的基本思

想,把原序列前后值通过加法运算构造出一组周期性函数,通过分析这组周期性函数和原序列的关系,建立相应的预测模型。均生函数预测模型为时间序列分析开辟了一条途径。为了证明其优越性,本文将该模型预测值与自回归模型预测值进行对比。

2.1 计算方案

2.1.1 均生函数的计算

对有 N 个样本的观测序列进行标准规格化得:

$$x(t) = \{x(1), x(2), \dots, x(n)\} \quad (1)$$

对序列(1)计算均生函数:

$$\bar{x}_l(i) = \frac{1}{n_l} \sum_{j=0}^{n_l-1} x(i+jl) \quad i=1, 2, \dots, l$$

$1 \leq l \leq M$ $n_l \leq [\frac{N}{l}]$ 的最大整数, $M = [\frac{N}{2}]$ 为

不超过 $\frac{N}{2}$ 的最大整数。当 $l=1$ 时, 则 $\bar{x}_1(1) =$

$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x(i)$ 即为序列均值。由于规格化时 x 去掉了均值, 因此 $\bar{x}_1(1) = 0$

当 $l=2$ 时, $\bar{x}_2(1) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{n_2-1} x(1+2j)$, 即逢单累加求平均。

$\bar{x}_2(2) = \frac{1}{n_2} \sum_{j=0}^{n_2-1} x(2+2j)$, 即逢双累加求平均。

$\bar{x}_2(i)$ 是间隔为 2 的均生函数, 类似地可求出 $\bar{x}_3(i), \bar{x}_4(i), \dots, \bar{x}_m(i)$ 。

对所有的均生函数作周期性延拓:

$$f_l(t) = \bar{x}_l(i - \text{INT}(\frac{t-1}{l}) \times l)$$

$i=1, 2, 3, \dots, N; l=1, 2, 3, \dots, M$ 得到一组均生函数序列, 记为 $F(t)$

$$F(t) = \{f_1(t), f_2(t), f_3(t), \dots, f_l(t)\}$$

其中 $f_1(t) \equiv 0$

$$f_2(t) = (x_2(1), \bar{x}_2(2), \dots, \bar{x}_2(i))$$

.....

$$f_l(t) = (\bar{x}_l(1), \bar{x}_l(2), \dots, \bar{x}_l(i))$$

式中 $\bar{x}_2(i_2)$ 表示 $\bar{x}_2(1)$ 或 $\bar{x}_2(2), \bar{x}_l(i_l)$ 意义类似。

2.1.2 均生函数的筛选

对上面产生的 $M-1$ 个(不含 $f_1(t) \equiv 0$) 均生函数外延序列进行主成分分析, 利用方差逐步递减原理将均生函数由 $M-1$ 个, 降至 K 个。求出均生函数协方差矩阵:

$$A = (a_{ij})$$

$$a_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (f_{ki} - \bar{f}_i)(f_{kj} - \bar{f}_j) \quad i, j=1, 2, \dots, M-1.$$

用雅可比方法求出 A 的特征值 $\lambda_i, i=1, 2, \dots, M-1$ 和特征向量 C , 因 A 为实对称正定矩阵, 因此 $\lambda_i > 0$ 。

计算主成分矩阵 $V: V = \sum_{k=1}^{m-1} f_{ik} C_{jk} \quad i=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots, m-1$ 计算特征向量的方差占总方差的比例:

$$H = \sum_{i=1}^k \lambda_i / \sum_{i=1}^{m-1} \lambda_i \quad k=1, 2, \dots$$

取 H 接近于 1 的小数得到的 K , 即为截取的主成分个数, 亦即回归方程中均生函数的个数。

2.1.3 多步预测模型的建立

以 K 个主成分为自变量, 以原序列 $X(t)$ 作为因变量, 建立线性回归模型

$$X = V\Phi + \epsilon$$

利用最小二乘法求出主分量模型的回归系数值

$$\Phi' = (V^T V)^{-1} V^T X$$

利用 Φ' 与原系数 Φ (即用均生函数建模之间关系 $\Phi = C\Phi'$ 求出 $\Phi = C^T \Phi'$)

时间序列 $x(t)$ 的预测模型为:

$$\hat{x}(t) = \sum_{i=1}^k \Phi_i f_i(t)$$

将均生函数 f_i 作 q 步周期性外延得到模型: $\hat{x}(N+q) = \sum_{i=1}^k \Phi_i f_i(N+q)$ 即可得到 q 步预报。

2.1.4 各水资源分区降水模型的建立

用上述建模方案对山东省 11 个水资源分区年平均降水量进行预测。以各区域年平均降水量为预报对象, 资料从 1960—1991 年, 1992—1994 年作为试报, 其中 $N=32, M=16, 预报步数 L=9$ 。表 2 给出了鲁北平原区前 10 个特征向量的特征值及相应的周期和方差累计比例。

表 2 鲁北平原区前 10 个特征向量的特征值及相应的周期和方差累比例

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
周期	10	12	13	15	14	16	9	7	11	5
特征值	1.65	0.53	0.42	0.31	0.22	0.16	0.15	0.10	0.09	0.04
累计方差/%	44.3	58.6	69.8	78.1	84.1	88.4	92.4	95.1	97.4	98.6

从表 2 可以看出前 7 个特征向量方差占总方差的 92.4%, 即前 7 个特征向量基本可以逼近原均生函数, 因此确定预测方程由表 2 中前 7 个周期对应的均生函数构成。

由图4给出了1960—1991年的拟合结果,从图4可以看出,拟合效果甚为显著。尤其对极值年(1964,1968年)有很好的拟合。如按趋势标准(距平符号)衡量,32年中只错2年,历史拟合率为94%。拟合均方根误差 $RMSE = 47.4\text{mm}$,平均相对误差为 $47.4/577.4 = 8\%$ 。各水资源分区方程拟合均方根误差(略),除黄汶区模型为108mm以外,其余各区均低于100mm,说明各区降水预测模型有较高的拟合精度。用各预测方程对1995—2000年降水进行预测,结果表明山东省各水资源分区未来几年降水演变趋势基本一致(表略)。

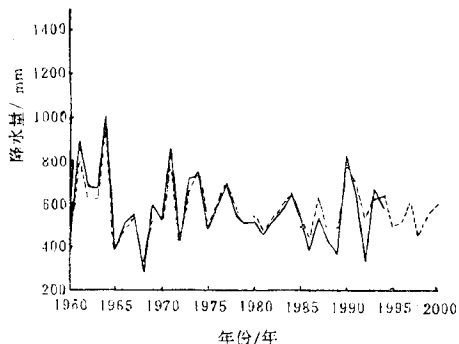


图4 鲁北平原区降水变化曲线

2.1.5 各分区模型测值与自回归模型预测值对比

表3列出了鲁北平原区1992—1994年试报值及自回归模型预报值,如果按多年平均值577.4的趋势标准来衡量,该模型3年试报结果均为正确。而自回归模型仅1993年报对,其余两年均报错。在其它分区降水预报

试验中,除东南沿海区自回归模型优于该模型外,其余各分区均以均生函数模型为优,可见,均生函数建模要优于自回归模型。

表3 1992—1994年预报值与实况值

年份	1992	1993	1994
均生函数模型预报值	542.8	623.4	634.8
自回归模型预报值	665.3	663.8	502.2
实况值	340.2	668.5	585.3

3 结语

3.1 近40年来,山东省降水有明显减少趋势,东南部降水减少幅度大于西北部,以东南沿海区减少幅度最大。

3.2 各水资源分区降水变化的主要周期长度为2—3年,5—7年,10年,20年左右。

3.3 近40年来山东省降水有着明显的偏多偏少阶段的交替,但各区降水变化阶段的起止时间、持续时间尺度、降水变幅不同。

3.4 均生函数建模优于自回归模型,但所用资料年代较短,模型的稳定性还需进一步讨论。

参考文献

- 1 山东省水资源评价, 山东水利厅, 1986.
- 2 燕子杰, 杨洪昌, 山东近500年旱涝规律研究及1997—2000年旱涝趋势预报, 山东中长期预报文集, 北京: 气象出版社, 1990.
- 3 山东省500年来旱涝分析与发展研究, 山东自然灾害防御, 1992.
- 4 沈长泗, 山东超长期灾害性天气预测, 单印本, 1988.
- 5 谢考亮, 山东降水量时空分布的诊断分析与未来趋势预测, 山东气象, 1992: 2.
- 6 魏凤英, 曹鸿兴, 长期预测的数学模型及应用, 北京: 气象出版社, 82—85.
- 7 胡桂芳等, 黄淮海地区降水预报及周期分析, 待发表.

The Characteristics of Rainfall Variation in Water Resource Divisions in Shandong in Recent 40 Years and Multi-step Time Series Predictive Model

Hu Guifang Zhang Suping

(Shandong Meteorological Institute, Jinan 250031)

Abstract

The characteristics of rainfall variation in water resource divisions in Shandong province are analysed using precipitation data of 41 weather stations in recent 40 years. Mean generation function is used as basic function, which is screened through principal component analysis. Multi-step predictive models are set up in water resource divisions in term of mean generation function. The forecasting results are rather good through testing and fitting calculation.

Key Words: characteristics of rainfall variation water resource divisions multi-step precipitation prediction