

浙江省大旱发生概率及严重干旱发生年份预测

Study of the Prediction of the Probability and Trend of Severe Drought Occurrence in Zhejiang

吴利红/WU Li-hong¹, 娄伟平/LOU Wei-ping², 毛裕定/MAO Yu-ding¹, 刘永军/LIU Yong-jun³

1. 浙江省气候中心, 杭州 310017
2. 浙江省新昌县气象局, 浙江新昌 312500
3. 临安大气本底污染监测站, 浙江临安 311307

1. Zhejiang Climate Center, Hangzhou 310017, China
2. Xinchang Weather Station, Xinchang 312500, Zhejiang Province, China
3. Lin'an Baseline Air Pollution Monitoring Station, Lin'an 311307, Zhejiang Province, China

[摘要] 为防御旱灾、减缓损失,开展大旱发生年的预测工作非常重要。采用统计方法和优化的 GM(1,1)模型对浙江省未来干旱发生趋势进行预测,结果表明,浙江省在未来 50 年中,大旱年至少发生 1~5 次的概率分别为 0.920 7、0.805 1、0.621 7、0.409、0.217 7;预测未来浙江省严重干旱年可能发生在 2009 年左右。从影响浙江省水资源的因子着手,提出了缓解旱灾的建议。

[关键词] 严重干旱;发生概率;预测;建议

[中图分类号] P426.616

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2006)09-0025-03

Abstract: To prevent drought and to mitigate losses, it is very important to forecast the severe drought year. This paper tries to use statistical methods and the forecasting model of GM (1,1) to forecast the probability and trend of drought year in Zhejiang Province. It concludes that in the next 50 years, the probabilities of severe drought are 0.920 7, 0.805 1, 0.621 7, 0.409, and 0.217 7 for one to five times of occurrences, respectively. It is predicted that a severe drought in Zhejiang Province will happen likely in around 2009. Finally, some suggestions to mitigate the drought loss are presented based on the current water resource in Zhejiang Province.

Key Words: severe drought; probability; forecast; suggestions.

CLC Number: P426.616

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2006)09-0025-03

1 引言

浙江省位于我国东南沿海地区,属亚热带季风气候,具有四季分明、年降水量充足的特点。常年年降水量为 1 455.9 mm,但年际间、年内各季节间降水量分布不均,致使洪涝、干旱等气象灾害时有发生,给国民经济、人民生活带来一定的危害。特别是夏秋之间常受到副热带高压的控制,天气晴热少雨,出现夏、秋连旱。如 2003 年出现的夏、秋连旱给浙江省的国民经济和人民生活造成了严重影响,给各行各业带来了不可估量的损失^[1-2]。为防御旱灾,减缓损失,进行大旱发生概率、发生年的预测非常重要。栗珂^[3]、邢东兴^[4]用统计学方法分析了我国西北地区干旱发生的概率,孙凤华^[5]、王龙昌^[6]用灰色系统理论进行了北方地区旱灾预测。冯利华^[7]利用 R/S 分析和马尔可夫链预测模型,分析了浙江未来干旱的变化趋势,但没有对未来几十年浙江省至少发生 1 次及以上大旱年的概率和下一个大旱年进行预测。为此,本文采用统计方法和灰色系统理论,对浙江省未来干旱发生趋势进行预测,为有关部门防御旱灾提供依据。

2 浙江省未来大旱年发生概率

2.1 发生大旱是小概率事件

在浙江省实际业务中,一般采用降水距平法、Z 指数作为干旱指标。前者是根据全省夏秋降水与干旱灾情对比而定义的干旱等级标准,一般以持续 40 d、60 d、90 d 的降水量距平百分率分别 $\leq -80\%$ 、 -70% 、 -50% 时达到大旱的标准^[8];当采用 Z 指数作干旱指标时,是以 Z 指数 ≤ -1.96 作为重旱标准^[9]。1950 年以来,浙江省于 1967 年、1978 年、1991 年和 2003 年^[12]共出现 4 次大旱灾,出现机率为 0.071 4。因此,对于某一年份来说,发生大旱灾可看作小概率事件。

根据大气科学原理,大气现象的变化具有持续性和后效性,概率论中要求样本的独立性常常不能完全满足。但随着时间间隔的增长,特别像几十年一遇的大旱,其持续性和后效性往往迅速减弱。因此,在实际工作中把旱涝资料序列近似地看作简单随机样本,把大旱年看作小概率随机事件^[3-4]。把对大旱年的考察看作一随机试验,设试验只有 2 个可能的结果,发生大旱的事件为 A,

收稿日期: 2006-06-06

作者简介: 吴利红,女,杭州市艮山西路 73 号浙江省气候中心,工程师,主要从事农业气象业务工作; E-mail: txhwlh678@sina.com

不发生大旱的事件为 $\bar{A}$, 记大旱年发生的概率为 $P(A)=P$, 大旱年不发生的概率为 $P(\bar{A})=1-P$, ($0<P<1$)。将试验独立地重复进行 n 次, 则考察大旱年的随机试验为 n 重 Bernoulli 试验。在 n 重 Bernoulli 试验中, 设 A 发生的次数为 ξ , 则事件 A 发生 $k(0 \leq k \leq n)$ 次的概率服从二项分布。

在 n 重 Bernoulli 试验中, 当 $n \rightarrow \infty$ 时, 根据 DeMoivre-laplace 定理得:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} p(a < \frac{\xi - np}{\sqrt{np(1-p)}} \leq b) = \int_a^b \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz \quad (1)$$

其中 ξ 为大旱年的总次数, $a \leq b$ 。上式表明, 当 n 很大时, 二项分布趋向正态分布 $N(np, \sqrt{np(1-p)})$ 。当 n 足够大时, 利用上式可求得 ξ 落在区间 $[a, b]$ 概率的近似值:

$$\begin{aligned} p(a < \xi \leq b) &= p\left(\frac{a - np}{\sqrt{np(1-p)}} < \frac{\xi - np}{\sqrt{np(1-p)}} \leq \frac{b - np}{\sqrt{np(1-p)}}\right) \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{a - np}{\sqrt{np(1-p)}}}^{\frac{b - np}{\sqrt{np(1-p)}}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz \\ &= \Phi\left(\frac{b - np}{\sqrt{np(1-p)}}\right) - \Phi\left(\frac{a - np}{\sqrt{np(1-p)}}\right) \end{aligned} \quad (2)$$

在(2)式中, 令 $a \rightarrow -\infty$ 得:

$$\begin{aligned} p(\xi \leq b) &= p\left(\frac{\xi - np}{\sqrt{np(1-p)}} \leq \frac{b - np}{\sqrt{np(1-p)}}\right) \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{b - np}{\sqrt{np(1-p)}}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz = \Phi\left(\frac{b - np}{\sqrt{np(1-p)}}\right) \\ \text{所以, } p(\xi > b) &= 1 - \Phi\left(\frac{b - np}{\sqrt{np(1-p)}}\right) = \Phi\left(\frac{np - b}{\sqrt{np(1-p)}}\right) \end{aligned} \quad (3)$$

在实际计算时, 利用(3)式可直接查算标准正态分布表求得近似值。

2.2 大旱年发生率

取 $n=50$, $p=0.0714$, b 分别取 $1, 2, 3, 4, 5$, 代入(2)式, 求得 $p_1=0.9207$, $p_2=0.8051$, $p_3=0.6217$, $p_4=0.409$, $p_5=0.2177$ 。即浙江省在未来 50 年中, 大旱年至少发生 1 次、2 次、3 次、4 次、5 次的概率分别为 0.9207、0.8051、0.6217、0.409、0.2177。

3 下一个严重干旱年发生年份

灰色系统理论是邓聚龙^[9-10]在 20 世纪 80 年代创立, 它结合系统论、信息论、控制论的观点和方法, 并运用数学的方法, 对信息不完备系统即灰色系统进行定量的研究。由于它对时间序列短、统计数据少、信息不完全系统的建模与分析有独特的效果, 已成为社会、经济、农业、生态、气象、环境、管理等部门做系统分析、建模、预测、决策、控制的一种有效方法。气候变化存在一定的规律性, 干旱年发生也存在一定的规律性, 但我们对这种规律性还不完全了解, 对于干旱年之间关系的认识存在相当的灰色性。同时, 严重干旱年发生是一个小概率事件, 现有严重干旱年时间序列短、统计数据少, 因此我们使用时间响应函数进行了优化的灰色 GM(1, 1) 模型, 来进行下一个严重干旱年发生年份预测。

3.1 优化的 GM(1, 1) 模型

设原始序列为:

$$X^{(0)} = (X_1^{(0)}, X_2^{(0)}, \dots, X_n^{(0)});$$

$X^{(0)}$ 的 1-AGO 序列为:

$$X^{(1)} = (X_1^{(1)}, X_2^{(1)}, \dots, X_n^{(1)}) \quad (\text{其中 } X_k^{(1)} = \sum_{i=1}^k X_i^{(0)}, k=1, 2, \dots, n);$$

$Z^{(1)}$ 为 $X^{(1)}$ 的紧邻均值生成序列:

$$Z^{(1)} = (Z_2^{(1)}, Z_3^{(1)}, \dots, Z_n^{(1)}) \quad (\text{其中 } Z_k^{(1)} = 0.5X_k^{(1)} + 0.5X_{k-1}^{(1)}, k=1, 2, \dots, n);$$

则对 GM(1, 1) 模型 $X_k^{(0)} + aZ_k^{(1)} = b$ 的白化方程为 $\frac{dX^{(1)}}{dt} + aX^{(1)} = b$, 根

据最小二乘法估计参数得到 $\hat{a} = [a, b]^T = (B^T B)^{-1} B^T Y^{(0)}$ 。

其中:

$$Y = \begin{bmatrix} X_1^{(0)} \\ X_2^{(0)} \\ \vdots \\ X_n^{(0)} \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} -Z_2^{(1)} & 1 \\ -Z_3^{(1)} & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -Z_n^{(1)} & 1 \end{bmatrix}$$

GM(1, 1) 模型 $\frac{dX^{(1)}}{dt} + aX^{(1)} = b$ 的时间响应函数为: $X^{(1)} = \frac{b}{a} + ce^{-at}$ 。

其中: $c = (D^T D)^{-1} D^T A$

$$D = \begin{bmatrix} e^{-a} \\ e^{-2a} \\ \vdots \\ e^{-na} \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} X_1^{(1)} - \frac{b}{a} \\ X_2^{(1)} - \frac{b}{a} \\ \vdots \\ X_n^{(1)} - \frac{b}{a} \end{bmatrix}$$

GM(1, 1) 模型 $X_k^{(0)} + aZ_k^{(1)} = b$ 的时间响应序列为: $\hat{X}_k^{(1)} = \frac{b}{a} + ce^{-ak}$ 。

还原值 $\hat{X}_{k+1}^{(0)} = \hat{X}_{k+1}^{(1)} - \hat{X}_k^{(1)}$, 其中 k 为序列号, $k=1, 2, \dots, n$ 。^[6]

3.2 严重干旱年发生年预测

1951 年以来, 浙江省出现严重干旱 15 次, 为 1953 年、1957 年、1958 年、1961 年、1967 年、1971 年、1978 年、1979 年、1986 年、1988 年、1990 年、1991 年、1992 年、1995 年、2003 年^[2]。干旱具有一定的持续性, 建立 GM(1, 1) 预测模型时, 连续 2 年或以上出现严重干旱时, 只把第一年选入建模序列, 即建模序列为: 1953 年、1957 年、1961 年、1967 年、1971 年、1978 年、1986 年、1988 年、1990 年、1995 年、2003 年。把 1953 年、1957 年、1961 年、1967 年、1971 年、1978 年、1986 年、1988 年、1990 年、1995 年作为原始序列 (k 为严重干旱年序列号), 得到 GM(1, 1) 模型时间响应序列预测方程: $\hat{X}_k^{(1)} = 54.7 + 54.817078 * e^{0.166889k}$ ($r=0.9583 \geq r_{0.01}$, $n=9$, $k=1, 2, \dots$)。将该方程用于下一个严重干旱年预测, 结果为 2002.8, 即 2003 年, 和实况相符。

为了提高预测结果精度, 把 2003 年加入到原始序列, 得到

GM(1, 1) 模型时间响应序列预测方程: $\hat{X}_k^{(1)} = 62.3 + 62.7 * e^{0.156308k}$ ($r=0.9684 \geq r_{0.01}$, $n=10$)。对该方程计算结果表明, 浙江省下一个严重干旱年出现在 2009 年前后。

4 防旱对策建议

上述分析结果表明, 未来 50 年浙江省出现大旱的几率较高, 在 2009 年前后将出现严重干旱。为此, 提出以下建议。

4.1 实施人工增雨作业, 大力开发云水资源

浙江省东部为海洋, 大气中水汽资源非常丰富, 各月多云到阴天出现的频率在 52% 以上, 其中春季至初夏季节在 75%~80% 之间; 日雨量大于 0.1 mm 的雨日 (具备临界降雨能力) 各月在 8.0~17.2 d 之间, 能够实施人工增雨作业的机会是不少的。浙江省气象部门 2003 年到 2005 年的飞机和火箭人工增雨作业效果表明, 人工增雨率可达 20% 以上。因此, 实施人工增雨、开发空中云水资源, 将是增加降水、缓解水资源短缺及抗旱减灾的一项有效措施, 具有很大的潜力。

4.2 加强气候预测研究

我国气象部门在短期天气预报上已有了较高的准确率, 但长期预报准确率仍较低。干旱作为一种气候灾害, 要加强对其长期

预报的研究。浙江省在梅汛期和台汛期都会出现数次大雨过程,气象部门应加强对这些大雨过程的预报,水利部门则应根据气象部门的预报做到科学调度、合理利用雨水资源。

4.3 兴建工程水库,蓄洪补枯

浙江省年降雨量 1 455.9 mm,雨水资源比较丰富。要发挥水库在调洪错峰、蓄水抗旱方面的重要作用,除了兴建新的水利工程,充分利用现有水利设施,还应抓好现有库、塘、坝蓄水能力,加紧病险水库的修复。这对提高水库的蓄水抗旱能力具有很好的现实意义和经济效益。

4.4 保护生态环境,建设保育“绿色水库”

林地具有截留、蓄积降水和调节地表径流的重要作用。据研究,林冠可以截留 20% 的雨量,削弱雨滴直接对土壤的溅蚀,枯枝落叶可以阻拦地表径流,可使 50%~80% 的地面水缓慢渗入地下,防止水土流失。每 1 hm^2 林地比无林地可多蓄水 300 m^3 。一片 $6\,700\text{ hm}^2$ 的森林相当于一个 200 万 m^3 的水库^[7]。因此,调整农业结构、宜林则林、退耕还林、建设林分结构稳定的水源涵养林和水土保持林体系,是合理利用和保护水资源的长远大计。

4.5 净化水质,合理利用水资源

水质是水资源的一个重要组成部分。据 2003 年《浙江省水资源公报》数据显示,浙江省全年 VI 类、V 类及劣 V 类水质占总体的 39.7%,全省地表水有机污染重于毒物污染,主要污染指标为氨氮、溶解氧等。湖泊因总磷、总氮偏高,水体富营养化程度较重;河流水体中,城市内河、河网和各水系流经城镇的河段水体污染严重。因此,各地要严格控制污水排放,采取多种措施净化水质,同时随着人口增长、城镇规模扩大、经济的快速增长、水的需求增长,各地应合理利用水资源,以缓解严重干旱导致的灾害。

5 结论

1) 概率统计分析结果表明,浙江省在未来 50 年中发生重大

旱灾的概率较高,大旱年至少发生 1 次、2 次、3 次、4 次、5 次的概率分别为 0.920 7、0.805 1、0.621 7、0.409、0.217 7。

2) 浙江省下一个严重干旱年出现在 2009 年前后。

3) 各地应科学计划用水,严格制止水资源盲目开发利用及恣意污染的现象,同时积极而有效地搞好水土保持工作,尽可能地降低大旱年对生态、工农业生产及人民生活可能带来的影响和损失。

参考文献 (References)

- [1] 陈海燕,郭巧红.浙江省 2003 年夏季高温干旱分析[J].浙江气象,2004,25(1):23-28.
- [2] 毛燕军.2003 年浙江省夏秋季干旱特征及成因[J].科技通报,2005,21(3):257-261.
- [3] 栗珂,赵东,杨碧轩,等.中国西北大旱年发生概率的统计推断[J].高原气象,2001,20(1):67-70.
- [4] 邢东兴,孙虎,延军平.陕西省大旱年发生概率及可能发生的年份预测[J].灾害学,2004,19(1):69-72.
- [5] 孙凤华,袁健.辽宁省近 50 年降水序列变化规律及干旱预测[J].气象,2004,30(6):32-35.
- [6] 王龙昌,贾志宽,王立祥.灰色灾变理论在宁南山区干旱气候预测中的应用[J].干旱区资源与环境,2003,17(1):60-64.
- [7] 冯利华,陈雄.浙江干旱的变化趋势[J].农业系统科学与综合研究,2001,17(3):177-179.
- [8] 樊高峰,苗长明,毛裕定.干旱指标及其在浙江省干旱监测分析中的应用[J].气象,2006,32(2):70-74.
- [9] 邓聚龙.灰色系统基本方法[M].武汉:华中理工大学出版社,1987.
- [10] 邓聚龙.灰色系统理论与教程[M].武汉:华中理工大学出版社,1990.
- [11] 刘斌,刘思峰,翟振杰,等. GM (1, 1) 时间响应函数的最优化[J].中国管理科学,2003,11(4):54-57.

(责任编辑 胡春华)

·轻松一刻·

填 空 补 白

“轻松一刻——填空补白”游戏供读者读刊闲暇之余自娱自乐,并获取一些小知识。读者可根据下面“横”行、“纵”列的文字提示,分别填上相应的文字。

纵:

1. “除却巫山不是云”的上一句。
2. 古时候中国对邻近国家的称呼。
3. 由梁朝伟、王菲、赵薇等近期主演的一部电影。
4. 曲艺的一种,用说笑话、滑稽问答、说唱等引起观众发笑。
5. 晒干了的橘子皮或橙子皮,中医入药,有健胃、镇咳、止呕等作用。
6. 我国篮球明星,现在美国休斯顿火箭队打球。
7. 生物武器和化学武器的惯称,在战争中起到毁灭性的打击作用,它是美国发起伊拉克战争的借口之一,也曾被德军和日军应用于二战。
8. 利用原子核裂变或聚变反应,瞬时释放巨大能量,造成大规模杀伤破坏效应的武器。
9. 俄国伟大的作家托尔斯泰的一部名著。
10. 地名,为汉代西陲两关之一,自古为中原进入西域之必经门户。
11. 由李俊基主演的一部韩国电影。
12. 对活动主办方的一种称呼。
13. 一种球类体育活动器材,是我国传统优势体育运动项目。

横:

- 一、历史人物,清朝末期湘军的领袖。
 - 二、太阳、地球、月亮和其他恒星、行星、卫星以及彗星、流星、宇宙尘、星云、星团等的统称。
 - 三、我国古代第一部诗歌总集。
 - 四、表示分不出高低,形容程度相差不多。
 - 五、关于 CPU 的名词,指一个 CPU 中集成 2 个处理核心的处理器。
 - 六、“天涯共此时”诗句的上一句。
 - 七、通常用来描述飞机、航空器等遇难坠毁,人员丧生的悲惨事件。
 - 八、我国新民主主义革命的三大法宝之一。
 - 九、用玉石雕琢成的各种器物,多为工艺美术品。
 - 十、一种化学试剂,能使金、铂等金属溶解。
 - 十一、逻辑运算符之一,它表示输入全部为 1 时,输出为 0,否则始终为 1。
 - 十二、《三国演义》中的一重要人物,后成为“忠”、“义”的化身。
 - 十三、中国女子排球队主教练,曾带领球队获得 28 届奥运会女子排球冠军。
 - 十四、起源于欧洲文艺复兴时期的一种思想体系,提倡关怀人、尊重人、以人为中心的世界观。
 - 十五、足球术语,表示球员误把球踢入本方的球门内。
- (供稿 曾超群 责任编辑 李向荣)

