

朱平盛 胡桂芳 张苏平

(山东省气象科学研究所, 济南 250031)

提 要

通过分析近 39 年山东省水资源的历史倾向性、阶段性、周期性,研究了水资源总量及径流量和地下水位的变化特征。结果表明,山东水资源量的年际变化大且呈快速下降态势,其中,地表径流量的下降尤为明显;水资源的变化存在一定的阶段性和周期性。通过分析降水与水资源的关系,发现两者的变化规律一致,但降水对水资源,特别是对地下水量的影响有一定的持续性。建立均生函数预测模型,对未来水资源总量进行预测显示,1998~2000 年山东水资源仍处于偏少状态,且呈逐年减少趋势。

关键词: 水资源 变化特征 趋势预测

引 言

山东是我国水资源缺乏较为严重的省份,淡水资源人均占有量不到全国人均量的 17%,其中,年平均径流量和地下水资源量仅有全国人均量的 24%和 11%左右。随着经济建设的发展和人口的增长,水资源短缺造成的供需矛盾日趋尖锐。研究水资源变化规律,并对未来趋势进行预测,对于合理开发和利用水资源,制定有关的经济和社会规划与决策等都十分重要。

文献[1]中对胶东地区的水资源及其各分量进行了研究,张苏平等^[2]用时间序列变点分析方法研究了胶东地区两个不同气候段的水资源和降水量的变化,并建立了各水文区降水量预测模型。本文着眼于全省,分析山东水资源变化规律及其与降水的关系,并对水资源趋势进行预测。

1 山东水资源变化特征

1.1 水资源的年际变化及倾向分析

山东年水资源总量的 39 年(1956~1994 年)平均为 $303.07 \times 10^8 \text{m}^3$,但年际变化较

大,均方差为 $97.91 \times 10^8 \text{m}^3$,极差达 $494.98 \times 10^8 \text{m}^3$,水资源最丰沛的 1964 年总量为 $644.98 \times 10^8 \text{m}^3$,而最少的 1986 年仅有 $150.00 \times 10^8 \text{m}^3$,相差 4.3 倍。图 1 是山东水资源量距平百分率时间变化曲线,若以水资源总量的距平百分率 η 作为丰枯年划分指标, $|\eta| \leq 20\%$ 为正常年, $\eta > +20\%$ 和 $\eta < -20\%$ 分别为丰水和枯水年,则 39 年中正常年份有 22 年,丰、枯年分别有 9 年和 8 年。虽然丰、枯年数相近,但丰水年有 8 年分布在 50~70 年代,而枯水年有 7 年集中在 80 年代以后,而且 1980~1994 年的 15 年中,有 14 年水资源总量为负距平。可见,山东水资源量的变化趋势是减少的,80 年代以后减少尤为明显。

为了定量分析山东水资源的变化倾向,并使水资源各分量的变率之间具有可比性,我们以年份 t 为自变量,以年水资源总量、年径流量及平均地下水水位距平百分率为因变量,其中,地下水水位距平百分率为地下水埋深距平百分率的相反数,分别建立其一元线性

回归方程:

$$Y(t) = a + bt$$

其倾向率为:

$$b = dY(t)/dt$$

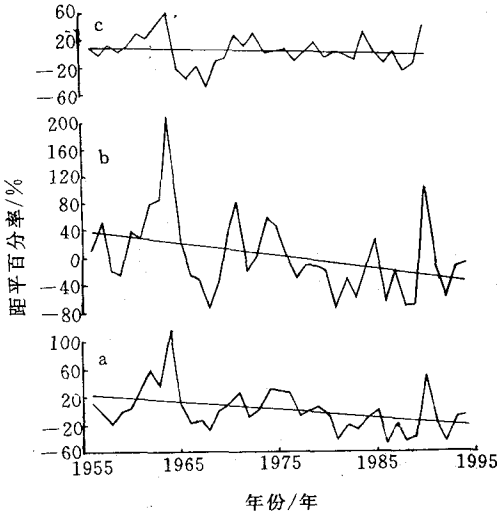


图1 山东水资源总量(a)、地表径流量(b)、地下水位(c)距平百分率变化曲线及趋势(直线)

用最大似然估计求得,水资源总量距平百分率的倾向率为-1.18,地表径流量、地下水位的倾向率分别为-2.16和-0.48。由此可见,山东水资源量呈明显的下降态势,水资源总量以平均每年1.18%,即 $3.57 \times 10^8 \text{m}^3$ /年的速度减少。其中,地表径流量下降最快,达到平均每年2.16%,即 $4.87 \times 10^8 \text{m}^3$ 的速度;地下水位下降速度相对较慢。这从图1中也可清楚地反映出来,70年代后期地表径流量下降幅度明显大于水资源总量的下降幅度,1976~1994年的19年中有16年的径流量距平百分率低于水资源总量的距平百分率,地下水位的距平百分率在1979年以后一

般高于水资源总量的距平百分率。

水资源总量、地表径流量和地下水位距平百分率的均方差分别为31.72、57.28和21.69。说明,地表径流量的年际变化最大,其距平百分率最大为206.2%(1964年),最小为-72.4%(1981年),极差达278.6%;地下水位的年际变化最小,平均只有前者的37.8%,距平百分率的极差也只有108.8%(-51.0%~57.8%);水资源总量距平百分率的极差为163.3%(-50.5%~112.8%)。

1.2 水资源变化的阶段性

虽然山东水资源量近39年总体上呈减少趋势,但其间仍有时间尺度较小的升、降和多、少的阶段性。本文采用有序样本最优分割法确定水资源量的变化阶段。

将水资源总量距平百分率时间序列 $\{X_i\} (i = 1, 2, \dots, 39)$, 首先进行最优2分割。设第1段序列长度为 r , 则第2段长度为 $39 - r$ 。第1段的均值和离差平方和分别为:

$$\bar{x}(1, r) = (1/r) \sum x_i,$$

$$s(1, r) = \sum [x_i - \bar{x}(1, r)]^2$$

第2段的均值和离差平方和分别为:

$$\bar{x}(r+1, n) = (1/n-r) \sum x_i,$$

$$s(r, n) = \sum [x_i - \bar{x}(r+1, n)]^2$$

$$(n = 39)$$

总变差为:

$$s(2/r) = s(1, r) + s(r, n) =$$

$$\sum [x_i - \bar{x}(1, r)]^2 + \sum [x_i - \bar{x}(r+1, n)]^2$$

求得 $r = r'$ 时, $s(2/r') = \min \{s(2/r)\}$, 则为序列 $\{X_i\}$ 的最优2分割。

然后,将 $\{X_i\}$ 进行最优3分割。对于其两个分割点 r_1, r_2 三段序列的总变差为:

$$s(3/r_1, r_2) = s(1, r_1) + s(r_1+1, r_2) + s(r_2+1, n) = \sum [x_i - \bar{x}(1, r_1)]^2 + \sum [x_i - \bar{x}(r_1+1, r_2)]^2 + \sum [x_i - \bar{x}(r_2+1, n)]^2$$

求得 $r_1 = r_1', r_2 = r_2'$ 时, $s(3/r_1', r_2') = \min \{s(3, r_1, r_2)\}$, 则为序列 $\{X_i\}$ 的最优 3 分割。同样, 依次求出最优 4, 5, \dots , 7 分割。选取上述 7 个最优分割中总离差最小者, 其分段即为水资源总量的变化阶段, 这样划分能使各段内数据均匀性最佳。

计算结果, 1956~1994 年山东年水资源总量的逐年变化存在 3 个阶段, 分别是 1956~1965、1966~1979 年和 1980~1994 年, 其总离差: $s(3/10, 24) = 25239.20$

计算统计量:

$$F = \frac{\sum n_i [\mu(i) - \mu] / (3 - 1)}{s(3/10, 14) / (39 - 3)} = 6.14$$

式中, $\mu(i)$ 、 n 分别是第 i 段的均值和长度, μ 是总体均值, 因为样本为距平百分率, 所以, $\mu = 0$ 。

经检验, 3 个阶段的段内离差显著小于段之间差异 ($\alpha = 0.01, F_{\alpha} = 5.39$)。第 1 阶段是丰水段, 全省年水资源总量距平百分率段内平均为 24.44%; 第 2 阶段是平水段, 段内平均为 3.55%; 第 3 阶段是枯水段, 段内平均为 -19.60%。3 个阶段的平均年水资源总量分别为 $377.13 \times 10^8 \text{m}^3$ 、 $313.82 \times 10^8 \text{m}^3$ 和 $243.67 \times 10^8 \text{m}^3$ 。第 2 阶段相对第 1 阶段水资源总量下降了 16.8%, 而第 3 阶段下降更加明显, 相对第 2 阶段下降了 22.4%, 相对第 1 阶段下降了 35.4%。

1.3 水资源变化的周期性

采用功率谱分析方法^[3]研究水资源的变化周期。因为在一般功率谱作周期分析中, 无法兼顾高频段和低频段的波动, 如, 对于样本长度为 39 的时间序列, 用连续功率谱进行分析, 取最大后延长度 $m = 10$, 则只能分析周期为 $\infty, 20, 10, 6.7, 5, \dots, 2$ 的波动方差贡献, 而对于 10~20 年、7~10 年之间的波动

周期则无法了解。为了克服低频段的谱值估计点少的问题, 我们采用变化的最大后延长度, 即, 取 $m = 6, 7, \dots, 10$, 分别对原序列作谱分析, 这样就增加了低频段的谱值估计抽样点。如当 $m = 9$ 时, 计算了低频段周期为 18.9 年的方差贡献, 当 $m = 8$ 时, 则计算了低频段周期为 16.8 年的方差贡献(图略)。经红噪声检验, 水资源总量存在 2~3 年、10 年的显著变化周期, 径流量变化的主要周期为 2~3 年和 6~7 年, 年平均地下水位的主要周期为 2~3 年、7~10 年和 14 年 ($\alpha \leq 0.05$)。

2 降水对水资源的影响

大气降水是地球淡水的唯一补给来源, 是影响水资源最直接的因素, 因此我们讨论山东降水与水资源之间的关系。

图 2 是山东水资源总量(实线)与年平均降水量(虚线)变化曲线。由图可见, 水资源总量与降水量的变化规律非常相近, 水资源总量最多的 1964 年 ($644.98 \times 10^8 \text{m}^3$) 和 1990 年 ($459.0 \times 10^8 \text{m}^3$), 也是全省平均降水量最多的两年, 降水量分别为 1156.5mm 和 916.0mm, 而水资源总量持续偏少的 80 年代, 也是全省连续干旱的年代。全省年水资源总量序列与平均降水量序列的相关系数达 0.898, 信度超过 0.001。两者的变化阶段也基本一致, 丰水阶段(1956~1965 年)水资源总量和年降水量多在平均值以上; 平水阶段(1966~1979 年), 两者则都在平均值上下波动, 且振幅较小; 同样, 80 年代以后的枯水阶段, 两者均多位于均值以下。因此, 水资源与气象降水量的关系非常密切。从总体变化看, 两者均呈减少趋势, 但水资源总量的减少速度比降水量快, 前者平均每年减少 1.18%, 后者则平均每年减少 0.48%。

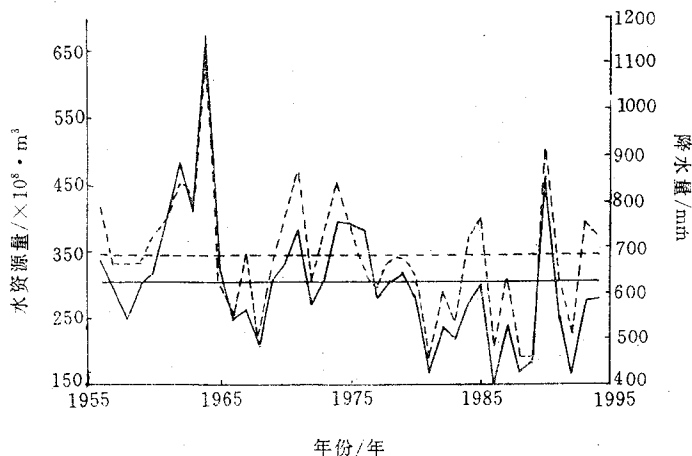


图2 水资源总量(实线)和年平均降水量(虚线)变化曲线
直线为均值

另外还可以发现,降水变化对水资源的影响存在一定的持续性,连续几年少雨干旱后出现的多雨年,水资源量虽有回升,但受前期影响仍多呈偏少状态。如1977~1983年连续7年降水偏少,1984和1985年降水偏多,但这两年的水资源量仍为负距平,而且由于1985年雨量减少,水资源量降至历史最低点。进一步分析水资源各分量的变化发现,降水对水资源影响的持续性主要表现在地下水。80年代以来降水连年偏少,地下水位不断下降,加上严重超量开采,有些地区形成地下漏斗,当降水增加时,地下水位的回升比较缓慢。图3是淄博~潍坊大漏斗区的降水、漏斗中心的地下水位埋深和漏斗区面积的时间变化曲线。由图可见,漏斗区中心的地下水位埋深和漏斗区面积一直呈增大趋势,并没有随降水量的变化而波动,特别是漏斗区面积增加很快,1981~1989年由6102.5km²增加到16868km²,面积扩大了2.8倍,1990年降水虽然较多,为801.3mm,比1981年的368.2mm多433.1mm,但漏斗区面积仍达

11545km²,比1981年的6102.5km²多5442.5km²。

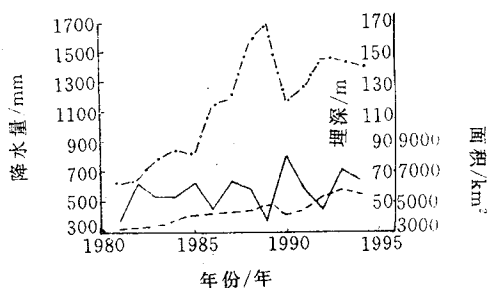


图3 淄博~潍坊大漏斗区降水(实线)、漏斗中心最大埋深(虚线)和漏斗区面积(点划线)变化曲线

3 水资源未来趋势预测

我们采用均生函数预测模型^[4],对山东未来几年水资源的变化趋势进行预测。即通过对原时间序列的前后值做加法运算构造出一组周期函数——均生函数,再分析这组周

期函数与原序列的关系,建立相应的预测模型。本文的建模方案是利用主成分分析原理对均生函数进行筛选,用方差逐步递减原理截取预报方程中均生函数的个数。

样本长度为35年(1956~1990年),1991~1994年为试报年,预报年份为1995~2000年。最后,选取了7个均生函数为因子,其累积方差贡献达到90%以上,预报方程为:

$$X(t) = 0.31F_{14}(t) + 0.18F_{13}(t) + 0.23F_{17}(t) + 0.16F_{15}(t) + 0.24F_7(t) +$$

$$0.29F_{16}(t) + 0.21F_{11}(t)$$

式中, $F_L(t)$ 是周期为 l 的均生函数。计算结果见图4。可见,方程的拟合效果较好,拟合均方根误差为53.4,所试报的4年,无论是水资源的变化趋势还是量值都与实况相近。从预测报结果看,未来3年我省水资源仍处于偏少的状态,其中1998年为 $301.8 \times 10^8 \text{m}^3$,1999年为 $278.1 \times 10^8 \text{m}^3$,2000年为 $234.1 \times 10^8 \text{m}^3$,分别较常年偏少2.6%、10.3%和24.3%。

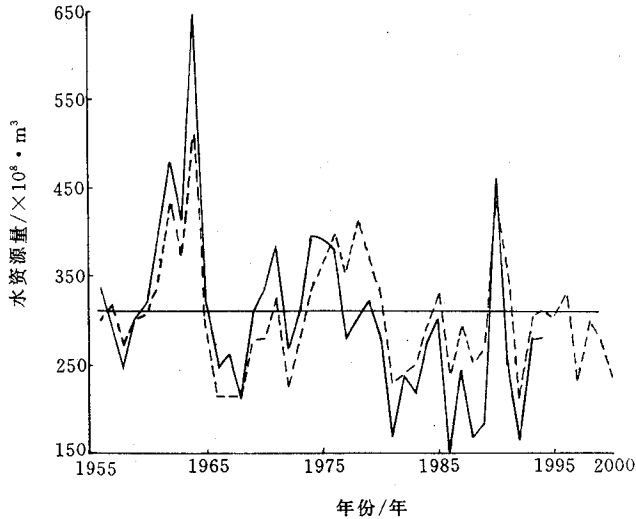


图4 山东省水资源总量拟合及预测曲线(虚线)、实况(实线)

4 结论与讨论

4.1 山东省年水资源总量的长年平均仅 303.07亿 m^3 ,且年季变化大,其历史变化倾向呈明显下降态势,平均每年下降1.18%,即 3.57亿 m^3 ,其中,以地表水分量的年季变化最大,且下降速度最快,地表径流量平均每年减少2.16%,即 4.87亿 m^3 。山东的地表径流以黄河为主,黄河径流量的逐年减少,是造

成地表径流量快速下降的重要原因。1956~1994年,山东水资源的变化存在丰水、平水和枯水3个阶段,从3个阶段的变化也显示出水资源明显下降的趋势。另外,水资源总量及地表、地下水分量均存在显著的变化周期,但三者的周期不尽相同。

4.2 大气降水与水资源密切相关,水资源的丰枯很大程度上取决于降水量的多少。山东

年水资源总量与年降水量的变化规律非常相近。但降水对水资源的影响,特别是对地下水分量的影响存在一定的持续性。持续的干旱少雨造成地下水水位不断下降,一旦出现水资源的地下漏斗,则很难恢复。从此意义讲,气象上的多雨往往并不意味着枯水期的结束。

4.3 建立水资源总量时间序列的均生函数预测模型,其历史拟合效果和试报效果均表明,该模型具有良好预测能力。预测结果显示,未来3年山东水资源量偏少,且呈逐年减少的趋势。

4.4 水资源严重短缺,这已成为制约山东经济、社会持续稳定发展的重要因素。据有关分析预测,到2000年山东省的年水需求总量将达到387.82~436.92亿 m^3 ^[5]。这大大超过了年水资源总量预测值。因此,必须加强缓解

山东水资源供需矛盾的对策性研究,进一步强化节约用水,提高水资源利用率,在保护好和合理调配利用现有水资源的基础上,开发新水源,以达到水资源供需之间的基本平衡。

参考文献

- 1 山东省胶东地区水资源评价与利用现状调查研究. 75-57-01-02 专题研究组, 1990.
- 2 张苏平等. 降水长期变化对胶东地区水资源的影响. 气象, 1996, 22(11): 3~9.
- 3 黄嘉佑, 李黄. 气象中的谱分析. 北京: 气象出版社, 1984: 13~68.
- 4 魏凤英, 曹鸿兴. 长期预测的数学模型及其应用. 北京: 气象出版社, 1990: 49~90.
- 5 山东省经济研究中心. 山东省2000年水资源供需预测. 山东经济战略研究. 1992(增刊): 1~2.

Analysis and Tendency Prediction of Water Resources in Shandong Province

Zhu Pingsheng Hu Guifang Zhang Suping

(Shandong Meteorological Institute, Jinan 350031)

Abstract

The variation features of total amount of water resource and the runoff as well as underground water level were studied through analysing the historical tendency, stage and periodicity of water resources in Shandong Province. The results showed that the interannual change was great and water resources decreased rapidly, especially the amount of runoff. Certain stages and periodicities existed in the variation of water resources. The changing regularity of precipitation and water resources was consistent in terms of the relations between them, but the influence of rainfall on water resources, especially underground water, were successive to some extent. The forecast made by mean generation function demonstrates that the total amount of water resources from 1998 to 2000 will be still less than usual and decline gradually year by year.

Key Words: water resources variation tendency prediction