

# 金华市水资源的丰枯变化特征

冯利华, 张行才, 桑广书, 王 敏, 周 江

(浙江师范大学地理系, 浙江 金华 321004)

摘要: 金华市属于湿润地区, 但水荒问题已经悄然逼近。根据 1470~2003 年 534 年的历史和实测资料分析, 得出了金华市水资源丰枯变化的频数特征、持续特征、周期特征、响应特征和风险特征, 这对金华市社会经济建设具有一定的指导意义。

关键词: 水资源; 水荒; 丰枯变化; 特征

中图分类号: TV211.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-0690(2005)05-0626-05

## 前 言

金华市位于浙江省的中部地区, 这里雨热同步、光温互补, 是农林牧副渔全面发展的综合性农区, 被称为浙江省的“第二大粮仓”。近年来, 金华市以建设浙江中西部中心城市为目标, 全力实施“提升工业化、加快城市化、推进城乡一体化”的三大战略, 经济增长明显加快, 2003 年全市实现国内生产总值 (GDP) 798.98 亿元, 人均 GDP 达到 2150 美元, 是全国平均水平的 2.3 倍。在国家统计局公布的 2002 年社会经济综合发展测评中, 义乌、永康、东阳跻身全国综合实力百强县, 分别位居第 17 位, 46 位和 68 位。

但是, 金华市的降水时空分布不均, 水荒问题已经悄然逼近。1996 年的大旱使金华市 16 万人和 8 万头牲畜发生饮水困难, 直接经济损失达 1.7 亿元; 2003 年夏季则出现了 50 年未遇的高温, 夏旱连秋旱, 7~10 月的降水量只有 124 mm, 仅及正常年份的 30%。由于降水时空分布不均, 再加上河水污染和缺乏蓄水工程, 1998 年金华市被迫放弃世代饮用的金华江水, 花巨资改用沙畈水库作为市区的供水水源; 2000 年 11 月 24 日义乌市出资 2 亿元, 向东阳市横锦水库永久性购买  $4.999 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$  的淡水资源, 成为水利部提出“水权与水市场”理论后的第一笔水权交易。因此, 水荒问题已成为金华市 2020 年全面建设小康社会的重要制约因子。

2002 年 8 月 26 日, 在南非举行的可持续发展世界首脑会议上, 全体代表一致通过将水危机列为未来 10 年人类面临最严重的挑战之一, 21 世纪已被称为水的世纪<sup>[1~10]</sup>。因此, 金华市未来水资源的丰枯变化与社会经济的可持续发展具有密切的关系。为此, 拟对金华市水资源的丰枯变化特征作一分析, 以期对社会经济建设具有一定的指导意义。

## 1 水资源丰枯变化的特征分析

### 1.1 水资源丰枯变化的频数特征

由中央气象科学研究院主持完成的《中国近五百年旱涝分布图集》(1470~1979)<sup>[11]</sup>, 根据中国历史上丰富的旱涝史料和各地 5~9 月的降水量资料, 采用了统一的等级标准, 把旱涝分为 5 级。对于金华市来说, 旱涝起因于降水的不均, 而这也是水资源丰枯变化的根源, 因此从水资源角度考虑, 它相当于 1 级特丰年、2 级偏丰年、3 级平水年、4 级偏枯年和 5 级特枯年。为了取得可靠而完整的降水系列, 对于金华市旱涝未知的年份, 首先考证《金华府志》和《衢州府志》等地方志, 然后根据图集中历年旱涝等级分布的等值线图来确定, 再利用金华站 1980~2003 年 5~9 月的降水量资料, 把金华站降水变化年份延长到 2003 年。

在 1470~2003 年的 534 年中, 金华市出现的偏丰年和偏枯年相差无几, 分别为 99 年和 101 年 (表 1), 占总年数的 19%。但特丰年少于特枯年,

收稿日期: 2004-08-06 修订日期: 2004-12-11

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目 (402034)。

作者简介: 冯利华 (1955-), 男, 浙江建德人, 教授, 主要从事资源和灾害地理的教学与研究工作。E-mail: fenglh@zjnu.cn

前者为 56 年,占 10%;后者为 69 年,占 13%。从水资源丰枯变化的百年频数来看(表 1),金华市 16 世纪的偏枯年最多,达 24 年;18 世纪和 20 世纪的偏丰年最多,达 23 年;而频数最高的特丰年和特枯年均出现在 17 世纪,分别为 16 年和 18 年。如果采用概率置信限的方法,统计每 100 年中特丰年和特枯年出现的总年数,那么可以把 534 年的丰枯序列划分为丰枯变化频繁期、正常期和间歇期三种类型。计算表明,金华市 17 世纪为丰枯变化频繁期,16、19 和 20 世纪为丰枯变化正常期,而 18 世纪为丰枯变化间歇期。

表 1 金华市水资源丰枯变化的频数统计(次)

Table 1 Frequency of high and low water resources change in Jinhua City

等级	丰枯年	1470~1500	1501~1600	1601~1700	1701~1800	1801~1900	1901~2000	2001~2003	1470~2003年
1	特丰年	6	7	16	5	10	11	1	56
2	偏丰年	4	12	16	23	21	23	0	99
3	平水年	11	42	31	44	46	35	0	209
4	偏枯年	4	24	19	21	13	20	0	101
5	特枯年	6	15	18	7	10	11	2	69

年是水资源丰枯变化最平静的时期,32 年中从未出现过特丰年和特枯年。

### 1.2 水资源丰枯变化的持续特征

表 2 是金华市水资源丰枯变化的持续年数。从中可以看到,丰枯变化越大,持续年数越短,出现次数也越少。在 101 个偏枯年中,持续两年的偏枯年有 17 次,持续三年的偏枯年只有两次;在 69 个特枯年中,持续两年的特枯年有 9 次,持续 3 年的特枯年只有一次。在 99 个偏丰年中,持续两年的偏丰年有 13 次,最长的持续时间达到 5 年;在 56 个特丰年中,只出现过 7 次持续两年的特丰年。在 534 年中,持续两年的平水年最多,达到 40 次,持续时间最长的平水年达到 8 年,它出现在 1893~1900 年。

表 2 金华市水资源丰枯变化的持续年数统计

Table 2 Continuous years of high and low water resources change in Jinhua City

持续年数	2	3	4	5	6	7	8
特丰年	7						
偏丰年	13	2	1	1			
平水年	40	6	3	3	2	0	1
偏枯年	17	2					
特枯年	9	1					

如果统计每 10 年中特丰年和特枯年出现的总年数,并把  $\geq 4a/10a$  的时段称为水资源丰枯高发阶段,那么金华市共有 8 个水资源丰枯高发阶段,即 1481~1490 年,1641~1650 年,1651~1660 年,1661~1670 年,1691~1700 年,1811~1820 年,1951~1960 年和 1981~1990 年,其中 1642~1671 年是丰枯年出现最集中的时段,30 年中共发生了 16 次特丰年和特枯年。而每 10 年中未发生特丰年和特枯年的时段共有 6 个,即 1731~1740 年,1741~1750 年,1821~1830 年,1891~1900 年,1901~1910 年和 1911~1920 年,其中 1890~1921

### 1.3 水资源丰枯变化的周期特征

图 1 是金华市水资源丰枯变化的距平累积曲线(将每年降水等级与历年降水等级均值的差逐年累积而绘成的曲线)。可以看到,从 15 世纪 80 年代到 20 世纪 50 年代,金华市水资源的丰枯变化存在着一个持续时间约为 470 年的长周期。在此周期内,从 1484~1756 年为曲线的上升段,这一阶段以枯水年(偏枯年+特枯年)为主;从 1757~1958 年为曲线的下降段,这一阶段以丰水年(偏丰年+特丰年)为主。曲线表明,金华市水资源的丰枯变化已经完成了一个持续 470 年的长周期。自 1959 年以来,距平累积曲线开始波动上升,说明水资源的丰枯变化进入了一个新的长周期。因此,在未来很长的一段时间里,金华市仍处在以枯水年为主的长周期内。

从金华市水资源丰枯变化的 10 年滑动平均曲线(图 2)上可以看到,它明显地存在着一个峰谷相间的周期变化,其周期长度为 20~22 年。图 2 表明,该曲线目前已下降到最低点,并开始逐渐上升,因而在未来的 20 年之内,它将持续上升,即从丰水年占优势的阶段转入枯水年占优势的阶段。

### 1.4 水资源丰枯变化的响应特征

太阳黑子活动具有 11 年的周期变化。把金华

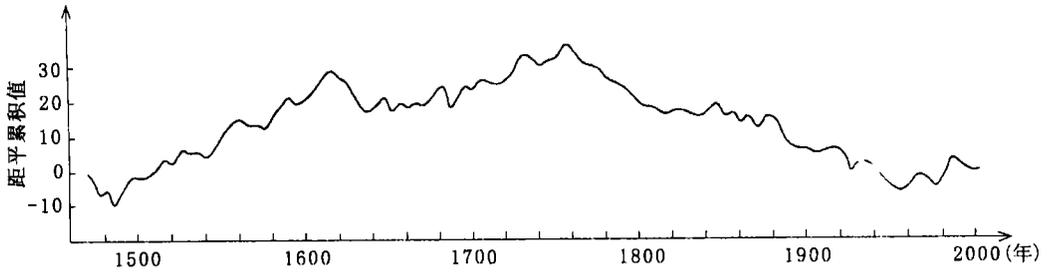


图 1 金华市水资源丰枯变化的距平累积曲线

Fig 1 Anomalous accumulative graph of high and low water resources change in Jinhua City

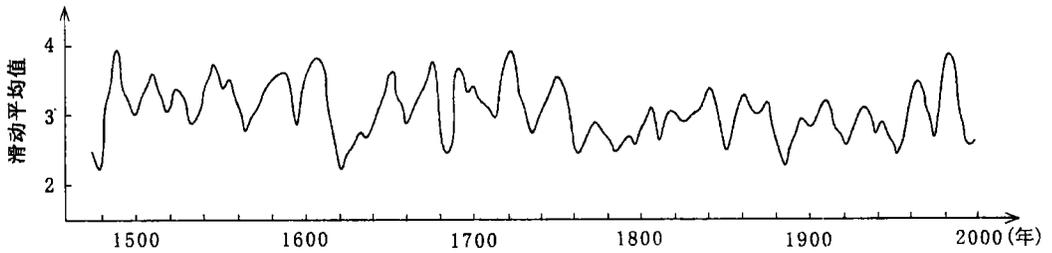


图 2 金华市水资源丰枯变化的 10年滑动平均曲线

Fig 2 Ten-year averaging curve for high and low water resources change in Jinhua City

站 1953~2003年的实测降水量资料与太阳黑子活动 11年周期的升枝和降枝进行对照, 可知在升枝上金华站的年降水量偏少, 负距平的年份占 60.9%; 在降枝上则年降水量偏多, 正距平年份占 62.1%。太阳黑子活动还具有 22年的磁周期变化。自 1951年以来, 1954 1976 1996年都是前导黑子的磁极性发生转变的年份, 而这些年份与太阳黑子活动 11年周期的谷年是一一对应的<sup>[12]</sup>。在 1953~2003年的 51年中, 金华站的年降水量  $R > 1600$  mm 的年份共有 9年。分析金华站在磁周期转变年前后的年降水量, 可知在磁周期转变年前后的 1954 1977 1995年, 金华站的年降水量均大于 1600 mm, 并且 1954年的降水量为实测系列中的最大值。另外, 在这 51年中, 金华站的平均年降水量 = 1443.7 mm。如果对磁周期转变年前后 3年的年降水量求平均值, 那么可以看到, 在磁周期转变年前后, 金华站 3年平均年降水量的距平都大于零(表 3)。由此可见, 降水对太阳黑子活动具有较好的响应。

厄尔尼诺是起源于赤道东太平洋的一种大范围的海温异常现象。历史记录表明, 厄尔尼诺事件每隔 2~7年发生一次, 短的过程只有 3~6个月, 长的可达到两年以上。由于持续的时间长短不一,

表 3 金华站磁周期转变年前后的年降水量

Table 3 Annual precipitation around the transformation year of magnetic cycle at Jinhua Station

磁周期转变年	磁周期转变年前的 $R$ (mm)	磁周期转变年后 3年	平均年降水量 (mm)	距平 (%)
1954	1954年, 1917.7	1953~1955	1551.6	7.67
1976	1977年, 1620.2	1975~1977	1575.5	9.33
1996	1995年, 1657.0	1995~1997	1502.7	4.27

这里将厄尔尼诺事件开始出现的年份称为厄尔尼诺年。自 1951年以来, 共发生过 15次厄尔尼诺事件。利用金华站和衢县站 1951、1952年的实测年径流量数据, 把金华站 1951、1952年的降水量资料加以延长, 那么在 1951~2003年的 53年中, 金华站年降水量  $R > 1550$  mm 的年份共有 15年(表 4)。从表中可以看到, 该站有 13个  $R > 1550$  mm 的年份出现在厄尔尼诺同年 (E) 或次年 (E + 1), 其中以出现在厄尔尼诺次年为主 (共有 11年)。由此表明, 降水对厄尔尼诺事件也具有较好的响应。

### 1.5 水资源丰枯变化的风险特征

金华市水资源丰枯变化的风险特征可以利用基于信息扩散理论的风险评估来进行分析。信息扩散是一种对样本进行集值化的模糊数学处理方

表 4 金华站年降水量  $R > 1550$  mm 的年份及其与厄尔尼诺年的关系

Table 4 Relationship between years with annual precipitation  $R > 1550$ mm at Jinhua Station and EINO

年份	年降水量 (mm)	厄尔尼诺年 (E)	年份	年降水量 (mm)	厄尔尼诺年 (E)
1952	1759.7	E+1	1987	1687.2	E+1
1954	1917.7	E+1	1989	1825.8	
1969	1585.5	E+1	1993	1725.7	E
1973	1839.3	E+1	1994	1552.1	E+1
1975	1589.7		1995	1657.0	E+1
1977	1620.2	E+1	1998	1597.9	E+1
1983	1745.7	E+1	2002	1903.5	E
1984	1581.8	E+1			

法<sup>[13, 14]</sup>。设指标论域为  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 。通常将  $X$  取为  $U$  的指标论域,  $x_i$  取为论域  $U$  中的一个元素  $u_i$ 。经过推导可得, 超越  $u_i$  的概率值应为:

$$p(u \geq u_i) = \sum_{k=i}^n p(u_k)$$

而  $p(u \geq u_i)$  就是所要求的风险估计值。

根据 1953~2003 年金华站 5~9 月 51 年的实测降水量资料, 把一维实数空间上的集合  $[0, 2000]$  作为  $x_i$  的论域。将连续论域  $[0, 2000]$  按等间距取点, 转变为离散论域。考虑到计算精度要求, 取 101 个点, 构成离散论域

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\} = \{0, 20, 40, \dots, 2000\}$$

根据计算, 可得金华市 5~9 月降水量的风险估计值(表 5)。

表 5 金华市 5~9 月降水量的风险估计值

Table 5 Risk assessment of precipitation from May to September in Jinhua City

风险水平	风险估计值	风险水平	风险估计值
300	1	900	0.2888
400	0.9995	1000	0.1223
500	0.9742	1100	0.0831
600	0.8046	1200	0.0492
700	0.6869	1300	0.0035
800	0.4646	1400	0

由于是以一年为单位计算, 故表中 700 这一行意为今后每一年中, 金华市 5~9 月降水量  $\geq 700$  mm 的概率为 0.6869。换言之, 金华市今后枯水年这种风险水平的 5~9 月降水量约为 3 年一遇。根据内插可得, 金华市未来 5~9 月 5 年一遇枯水年的降水量只有 604 mm, 10 年一遇枯水年的降水量只有 550 mm。

## 2 结 论

根据 1470~2003 年 534 年的历史和实测资料分析, 可得金华市水资源的丰枯变化特征如下:

1) 17 世纪是金华市水资源丰枯变化频繁期, 其中 1642~1671 年是丰枯年出现最集中时段。

2) 水资源丰枯变化越大, 持续年数越短, 出现次数也越少。

3) 目前水资源丰枯变化曲线已下降到最低点, 在未来 20 年之内, 它将从丰水年占优势的阶段转入枯水年占优势的阶段。

4) 水资源丰枯变化对太阳黑子活动和厄尔尼诺事件都具有较好的响应。

5) 金华市未来 5~9 月 5 年一遇枯水年的降水量只有 604 mm, 10 年一遇枯水年的降水量只有 550 mm。

## 参考文献:

[1] 龚道溢, 王绍武. 北半球冬季纬向平均环流的结构及对我国气候的影响 [J]. 地理科学, 2001, 21(2): 108~112.

[2] 张军涛, 李哲, 郑度. 东北农牧交错区水分条件及其对植被分布的影响 [J]. 地理科学, 2001, 21(4): 297~300.

[3] 王亚军, 陈发虎, 勾晓华. 利用树木年轮资料重建祁连山中段春季降水的变化 [J]. 地理科学, 2001, 21(4): 373~377.

[4] 吴凯, 黄荣金. 黄淮海平原水土资源利用的可持续性评价、开发潜力及对策 [J]. 地理科学, 2001, 21(5): 390~395.

[5] 张丽旭, 魏文寿. 天山西部中山带积雪变化趋势与气温和降水的关系 [J]. 地理科学, 2002, 22(1): 67~71.

[6] 沈珍瑶, 杨志峰, 刘昌明. 水资源的天然可再生能力及其与更新速率之间的关系 [J]. 地理科学, 2002, 22(2): 162~165.

[7] 邓伟, 翟金良, 闫敏华. 水空间管理与水资源的可持续性 [J]. 地理科学, 2003, 23(4): 385~390.

[8] 李取生, 李晓军, 李秀军. 松嫩平原西部典型农田需水规律研究 [J]. 地理科学, 2004, 24(1): 109~114.

[9] 路云阁, 李双成, 蔡运龙. 近 40 年气候变化及其空间分异的多尺度研究——以内蒙古自治区为例 [J]. 地理科学, 2004, 24(4): 432~438.

[10] 方创琳, 步伟娜. 水资源约束下河西走廊的城市竞争能力与扩张幅度研究 [J]. 地理科学, 2004, 24(5): 513~521.

[11] 中央气象局气象科学研究所. 中国近五百年旱涝分布图集 [M]. 北京: 地图出版社, 1981. 321~332.

[12] 冯利华. 长江巨洪前期物理因子的配置 [J]. 地理科学, 2002, 22(4): 504~507.

[13] Chatman E.A. Diffusion theory: A review and test of a conceptual model in information diffusion [J]. Journal of the American Society for Information Science, 1986, 37(6): 377~386.

[14] Huang C.F. Information matrix and application [J]. Inform

## Characteristic of High and Low Water Resources Change in Jinhua City

FENG Lihua ZHANG Xing-Cai SANG Guang-Shu WANG Min ZHOU Jiang

(Department of Geography, Zhejiang Normal University, Jinhua, Zhejiang 321004)

**Abstract** In order to gain reliable and complete precipitation serials, textual research is made to local records such as Jinhua Official Records and Quzhou Official Records respectively, then based on the precipitation data at Jinhua Station from May to September during 1980–2003, protracted the precipitation year at Jinhua Station to 2003. Based on the analysis of the historical and measured data in 1470–2003, the characteristics of high and low water resources change in Jinhua City can be achieved as follows: (1) The 17th century is the frequent period with high and low water resources change in Jinhua City, 1642–1671 of them is the most concentrated time of high and low water years, and there is the special high and low water years of 16 times in 30 years. (2) The greater the high and low water resources change, the shorter the sustained years, the fewer the times it appears. There is 8 years in the medium water year of the longest sustained time (in 1893–1900). (3) There are varied cycles of high and low water resources change, and the cycle change of 20–22 years is very clear. The curve of high and low water change has descended to the lowest point currently and started rising gradually, therefore within the future 20 years, it will keep on rising, namely turning from high water predominated stage to low water predominated stage. (4) The high and low water change responds evidently to sunspot activity and El Niño event. The anomalous annual precipitation of 3 years average at Jinhua Station around the transformation year of the magnetic cycle is all positive. The years of annual precipitation  $R > 1550$  mm at Jinhua Station mainly appear in the same or next year of El Niño. (5) The May–September precipitation occurring once 5 years in low water year in Jinhua City is only 604 mm and that occurring once 10 years is only 550 mm.

**Key words** water resources, water shortage, high and low water change, characteristic