

近年来黄河下游断流的干旱背景分析^{*}

杨志刚 杨洪昌

(山东气象局, 济南, 250031)

谷湘潜

(中国气象科学研究院, 北京, 100081)

游性恬 江剑民

(中国气象局培训中心, 北京, 100081)

摘 要

近年来黄河下游连年断流, 引起社会的极大关注。文中根据全国 160 个基本气象测站近 47 a 的月降水量资料, 应用旋转主分量分析等统计分析方法, 分析了黄河流域平均降水量的年际变化, 比较了全国各区域降水量异常及其累积程度, 还与历史上著名的大旱灾荒和黄河下游断流事件作了对比分析。结果表明, 近 20 a 来, 黄河流域尤其黄河下游山东省及其附近地区, 遭到数百年一遇的气候上连续干旱阶段, 近 10 a 来累计少降的雨水总量, 相当于黄河 4 a 的径流量。黄河下游近 20 a 里集中发生了 15 a 明显的干旱年份, 其中 5 a 大旱, 10 a 干旱。其干旱的累积程度不仅是全国最严重的地区, 而且超过了历史上著名的“崇贞大旱”(1640 年)和 1372 年的大旱及黄河下游断流事件。

关键词: 黄河下游, 断流, 干旱, 气候背景, 旋转主分量分析。

1 引 言

黄河下游近代自 1972 年开始出现自然断流, 1990 年代以来连年断流, 断流日数急剧增加, 1995, 1996 年超过百日, 1997 年达到 226 d, 断流的长度约 700 多公里。到 1998 年 5 月 20 日, 甘肃、宁夏出现暴雨洪水天气, 黄河中下游降水也明显增多, 于 6 月 6 日之后, 断流的威胁才得到缓解。

黄河下游遭遇如此长期的断流灾害是历史上所罕见的。多年黄河断流不仅造成其下游, 主要是山东省 470 余万亩农田减产, 粮食减产达 100 多亿公斤, 工业减产停产, 居民生活用水困难, 累计直接经济损失 300 亿元左右^[1], 而且对中国北方地区经济社会的可持续发展及生态环境保护构成重大威胁。引起国内外社会极大的关注。1998 年 1 月 2 日, 中国科学院和工程科学院两院院士还发出了“拯救黄河”的呼吁。

形成黄河断流的原因是多方面的, 包括有人口增长, 社会经济快速发展, 尤其是农业灌溉面积迅速扩大, 使得沿黄河流域的耗水量猛增, 而黄河本身的水资源却相对较小; 对

^{*} 初稿时间: 1999 年 5 月 8 日, 修改稿时间: 1999 年 11 月 20 日。
资助课题: 国家重点基础研究发展规划 G1998040900 项目第一部分及国家自然科学基金 49975017 号。

水资源的利用效率低;还有对水资源利用的调节、管理能力有限等等。但从常识说来,河流的流水归根到底来自天然降水,河流水量的丰、枯与降水量的变化有密切的联系。黄河流域夏季洪水常随暴雨或大降水量而来,春季枯水或断流常与干旱、大旱相伴。文中试图利用最近 47 a 来全国基本气象台站的月降水量资料,从黄河流域降水量的年际变化,黄河下游与其它地区干旱程度的比较,以及与历史上黄河下游断流,并与萨赫尔 1984 年前后的特大旱灾相比较,来分析黄河下游近年来断流的干旱气候背景的具体特点。

2 黄河流域的旱情

近年来黄河断流大多发生在春季至 7 月汛期大雨开始之前。但由于中上游水库的调节作用,黄河下游冬、春季和夏季枯水期的流量丰、枯,很大程度上受到上一年甚至前 2、3 a 年降水量的影响。本文对河水流量及降水量资料,均采用 7 月开始至下一年 6 月作为一个年度来进行统计分析。同时采用 1951~1980 年 30 a 气候平均及标准差作为比较的基准。

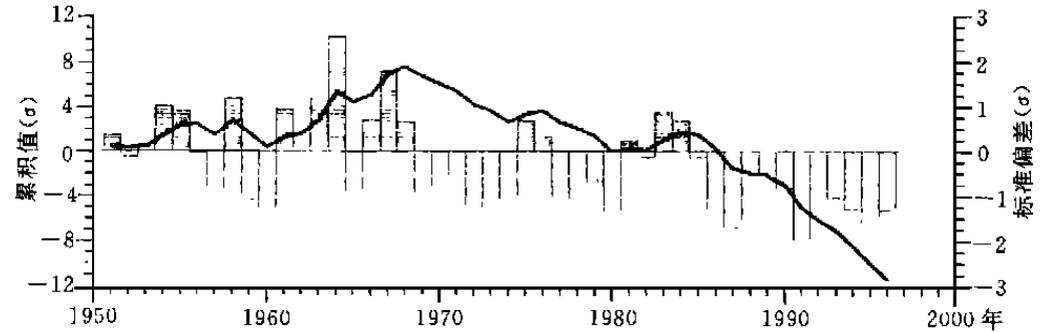


图 1 山东高村水文站年度(7 月至次年 6 月)平均径流量的标准偏差(直方图)及其累积值(粗实线)
(1951~1980 年多年平均值为 $16438 \text{ m}^3/\text{s}$, 标准差 $\sigma = 472.9 \text{ m}^3/\text{s}$)

图 1 绘出黄河进入山东省的高村水文站最近 46 a(1951 年 7 月至 1997 年 6 月)来逐年度平均流量的标准偏差(直方图)及其累积值(粗实线)。这里采用累积曲线,是考虑到它能更好地揭示长期演变趋势,同时也能反映相应时期的总和或平均情况。图 1 中可见在 1968 年度(指 1968 年 7 月至 1969 年 6 月下旬)之前,丰水年占多数(12/18),枯水年较少(4/18),累积偏差曲线呈上升趋势。但 1969 年度开始明显枯水,其中只有 1975~1976 年,1981 年和 1983~1984 年这 5 a 流量稍偏多。1972 年下游开始断流之前已持续枯水 4 a。其后只有 1975~1976 两年及 1983~1984 两年流量偏多,相应地在 1977 年及 1984~1986 年黄河下游未出现断流。同样 1989 年流进山东的水量接近前 30 a 的平均值,也保住了利津站在 1990 年没有断流。而 1990 年以后连年枯水明显,尤以 1991 年和 1995 年枯水更重。至 1996 年,高村水文站枯水的累积偏差已达到 11.3σ ,容易看出近 7 a 来断流日数的急剧增加,是与下游多年持续枯水的累积影响相对应的。

为了分析黄河断流的干旱气候背景,我们利用国家气候中心短期气候预测室整理编辑的全国大陆 160 个基本气象台站(见图 3) 1951 年 1 月至 1997 年 6 月间逐月降水量记录,选择其中属于黄河流域的 22 个测站(见图 3 中黑圆点所示)。逐年计算这 22 站的平均

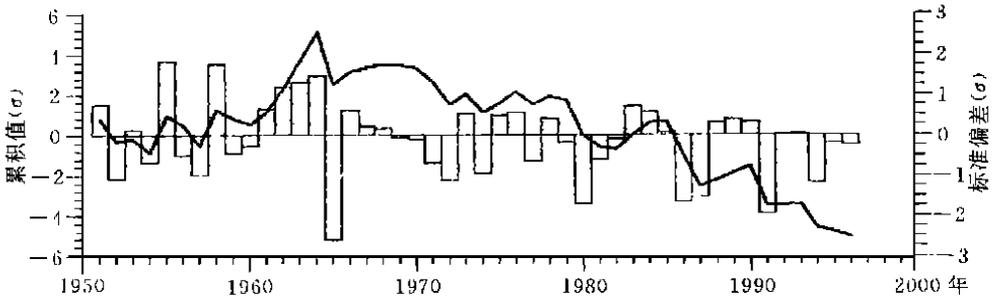


图2 逐年黄河流域 22 个气象测站的平均降水量标准偏差(直方图)及其累积值曲线(粗实线)
(气候平均值为 463 mm, 标准差 $\sigma = 61$ mm)

降水量,用来表示整个黄河流域平均降水量的年际变化情况。类似地采用 1951 年至 1980 年间多年平均值 463 mm 和标准差 $\sigma = 61$ mm 作为基准进行比较分析。图 2 是逐年度平均降水量的标准偏差直方图及其累积值曲线(粗实线)。

图 2 表明: (1) 1965 年 6 月之前的 14 a 是多雨为主的时期, 标准偏差的累积曲线呈上升趋势。(2) 1965 年度开始发生了突变, 其后以降水偏少或干旱年份为主, 累积标准偏差曲线基本趋势转变为下降。当年降水量是近 46 a 来大气干旱程度最严重的一年, 降水量偏少 2.61 σ 。但是当年黄河下游并未断流, 这应当归功于水库建设的调节作用。(3) 1970 年后 27 a 中, 有 6 a (1972, 1980, 1986, 1987, 1991 和 1994) 大旱和 4 a (1971, 1974, 1977 和 1981 年) 干旱,

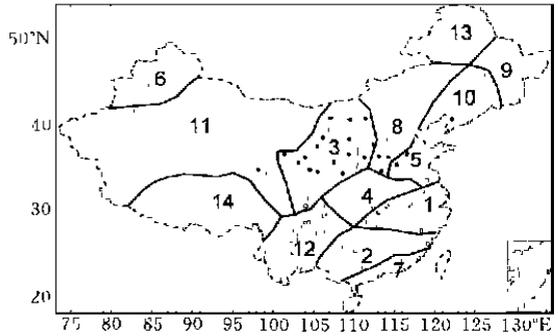


图3 旋转主分量对年度降水量变化所作的分区

虽有 7 a 降水稍偏多, 但都很有有限。累积标准偏差曲线的大趋势下降, 尤其是近 10 a 里, 累积偏差下降至 -5.06 σ 。按黄河流域 75.24 万 km^2 面积推算, 近 10 a 来累计少降了 2322 亿吨雨水, 相当于少降了 4 a 的黄河径流量(年平均径流量为 580 亿吨)。类似地, 1990 年代以来断流日数急剧增长, 也与降水量的累积偏差曲线的下降趋势相对应。尤其是 1972 断流开始, 1981, 1987, 1992, 1995 年这几年断流日数陡增, 都与前期的明显干旱相联系。(4) 而 1977, 1984 至 1986 和 1990 年 5 a 没有出现断流, 又恰与前期两年左右降水量偏多相对应。

3 与全国其它地区的比较

上述黄河流域降水和干旱程度的地理分布也并不是均匀的。为进一步了解各地区的气候变化具体情况, 我们对 160 个气象测站逐年度降水量数据, 应用旋转主分量(RPC)分析方法, 按方差极大准则进行客观分区, 使得每个区域内各站的降水量年际变化基本一

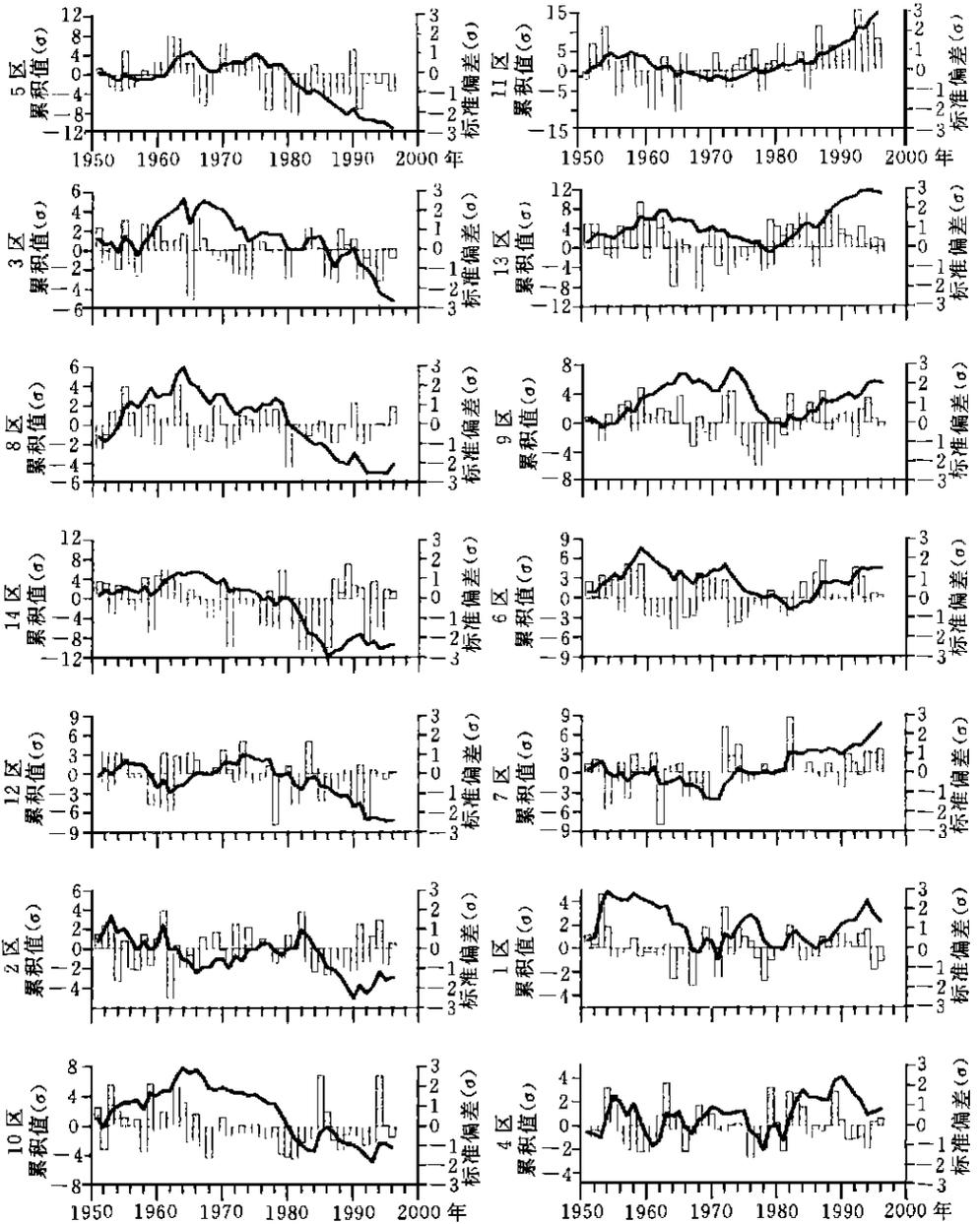


图4 全国各区域逐年度降水量标准偏差(直方图)及其累积值曲线(粗实线)

致^[2,3]。首先计算年度降水量标准偏差数据矩阵 160×46 的主分量(PC)载荷矩阵,取前29项载荷矢量参加正交旋转变换。然后,基本上按各分量载荷值大于0.4,或者在其邻边附近按载荷相对较大作为分界的原则,可将全国划分为14个区域,如图3所示。图3中除3区和5区覆盖黄河流域外,8区也包括有郑州附近的黄河区段。其它各区代号也是按RPC的分量序号标记的。

由于我们的任务是比较各区域之间降水量的年际变化情况,不需要考虑本区域之外其它测站的影响,因此不计算旋转主分量的时间系数,而采用各区域内测站降水量的平均值来作为该区域降水量指标。图4给出上述各区域降水量逐年度标准偏差(直方图)及其累积值曲线(粗实线),其中左侧所列区域5,3,8,14,12,2和10的共同特点是近些年来以少雨干旱为主;右侧所列区域11,13,9,6,7,1和4的基本特点是近些年来降水量偏多。

比较图中区域5,3,8可见,1972年黄河下游开始出现断流主要是与区域3和8,即中游及郑州附近区段的少雨干旱,尤其是区域3,自1968年至1972年的基本持续偏旱相联系。1978~1983年间和1987~1989年间的断流,主要与下游地区(区域5,8)的基本持续干旱相对应。1991~1997年的断流可能主要由于中游(区域3)和下游山东附近(区域5)持续干旱为主要背景,河南附近的8区也处于干旱时期(降水偏差累积值约达 -5.0σ)。而1973年没有出现断流,可能是由于下游山东附近(区域5)前期降水偏多的缘故。同样,1984~1986年前期3区和5区,1977年和1990年前期上述3个区域降水均偏多。

从降水量标准偏差的累积曲线也明显可见黄河下游(区域5)自1980年以来基本持续干旱的特点最为突出。截止1996年降水偏少的累积值达到 -11.2σ (该区域 $\sigma=127.6\text{ mm}$),就山东省 15 km^2 面积估算,17a来共计少降了 $2145 \times 10^8\text{ t}$ 的雨水,它相当于5a时间黄河流入山东的总水量(每年按 $430 \times 10^8\text{ t}$ 计算),可见累积干旱程度是相当严重的,也是近年来全国累积干旱程度最为严重的一个区域。将各区域截止1997年6月的平均降水偏差累积值按照地理位置绘成图5,可显示出全国各地干、湿分布的基本形势。黄河下游山东及苏北累积干旱最重,黄河中上游及华北地区干旱也很明显。此外,西藏高原东部和我国西南地区干旱情况也相当严重。而河西走廊到新疆,中国东北部及华南沿海一带是处在相对多雨的时期。

4 与历史情况的比较

4.1 与历史上黄河下游断流事例的比较

历史上黄河下游曾经多次改道。虽然自1855年黄河下游从废河道(流经徐州)改变为现行河道流经山东以来至1971年间,未出现过自然断流现象,但更早些年代,也有过因大旱而断流和大饥荒相伴随的记载。例如《雒宁县志》曾有公元1640年天下大旱,黄河水涸,流亡载道,人相食等记载。《明史·五行志》记有1372年河南河竭,行人可涉,济南、东昌、莱州大饥,草实树皮,食为之尽。再早期《晋书·怀帝记》记载公元309年3月大旱;江、汉、河、洛皆竭等等。其中1640年和1372年黄河断流的大旱地区,与图3中第5区域基本一致。同时,也与文献[4]图1中的第3区基本对应。该区域近千年的逐年旱涝等级序列中包含有1640年和

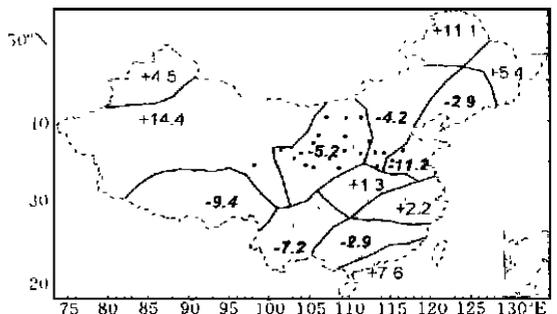


图5 各区域年降水量标准偏差累积值的地理分布(单位: σ)

1372 年前期逐年旱涝等级的数据。为了对气候演变情况进行大致的比较, 我们也将本文图 3 中第 5 区域的逐年降水偏差按文献[4]表 1 中同样的标准换算成 5 级旱涝等级——规定年度降水量标准偏差 $RR > 1.17\sigma$ 为大涝, 记为等级 2; $1.17\sigma > RR > 0.33\sigma$ 为涝, 等级 1; $RR > 0.33\sigma - 0.33\sigma$ 为正常, 等级 0; $-0.33\sigma > RR > -1.17\sigma$ 作为旱, 等级 -1; $RR < -1.17\sigma$ 作为大旱, 等级 -2。对 1951~1980 年 30 a 所作的等级划分结果表明, ± 2 级各占 13% (4 a), 1 级占 26% (8 a), -1 级与 0 级各占 23% (7 a), 是接近气候分析中关于 5 级划分的通用概率分布特征的。

为便于比较, 图 6a 绘出 1951~1996 年上述第 5 区域逐年度的旱涝等级序列(直方图)及其累积曲线(粗实线)。从图看到: 黄河下游山东省附近地区近 20 a 来集中发生了 15 a 的明显干旱, 其中有 5 a 大旱(1977, 1980, 1981, 1986 和 1991), 10 a 干旱(1976, 1982, 1983, 1985, 1987~1989, 1992, 1994, 1996)。图 6b, c 相应地分别给出文献[4]中第 3 区 1372 年和 1640 年及其前期 45 a 的旱涝等级序列及其累积曲线。比较图 6a 与 6b, c 不难看出, 1372 年和 1640 年的“崇贞大旱”期间黄河下游断流前期的气候特点是前 6 a 左右的连年干旱。而近年来山东附近的干旱气候已持续了近 20 a, 累积干旱的程度均比 1372 年和 1640 年更加严重。但若以 1972 年黄河下游开始出现自然断流前期的气候情况与 1372 年或 1640 年相比较, 1972 年断流前期的干旱程度就不及历史上两次那样严重了。

4.2 与 Sahel 1984 年大旱灾的比较

Sahel 在 1982~1984 年间发生了世界著名的大旱灾荒, 后来也形成了一个国际性的研究课题。图 6 给出 Sahel 1984 年及其前 45 a 的降水量标准偏差(直方图)及其累积曲线, 其资料引自文献[5]。应当说明 Sahel 的基本气候与中国山东省附近有很大差别, 如 Sahel 地带属干旱—半干旱气候带, 常年平均降水量 400 mm 左右, 只有山东附近地区的一半左右, 而且 Sahel 当时大旱灾是自 1968 年开始连年持续少雨干旱达 16 a 之久的结果, 要比中国山东附近地区的少雨干旱在持续性程度上强烈得多。但从多年少雨干旱的累积影响方面进行比较, 可见山东附近地区截止 1997 年上半年降水量标准偏差的累积值 -11.2σ (见图 4 中 5 区曲线) 大致与 Sahel 地带 1982 年的累积偏差值相当。当然实际的大旱灾程度要比 Sahel 地带 1982 年前后的灾情轻得多。这其中山东等地大力开采了相当数量的地下水, 也是一个重要原因。

5 小 结

根据以上分析讨论我们得出:

1) 近 20 a 来, 黄河流域尤其是黄河下游山东省附近地区遭遇到一个数百年一遇的基本持续干旱气候阶段。黄河流域近 10 a 来累计约少降了 2322 t 雨水, 相当于黄河 4 a 的径流量。

2) 利用全国 160 个基本气象测站最近 47 a 的月降水量资料, 应用旋转主分量分析方法, 按方差极大准则进行客观气候分区, 并将黄河下游断流情况与各分区的降水量相比较看出: 1972 年黄河开始出现断流主要与其上、中游前期的干旱有关; 1978~1983 和 1987~1989 年的断流主要以中、下游的持续干旱为背景; 而 1991~1997 年的断流则几乎与整个黄河流域前期连续的少雨缺水相联系。

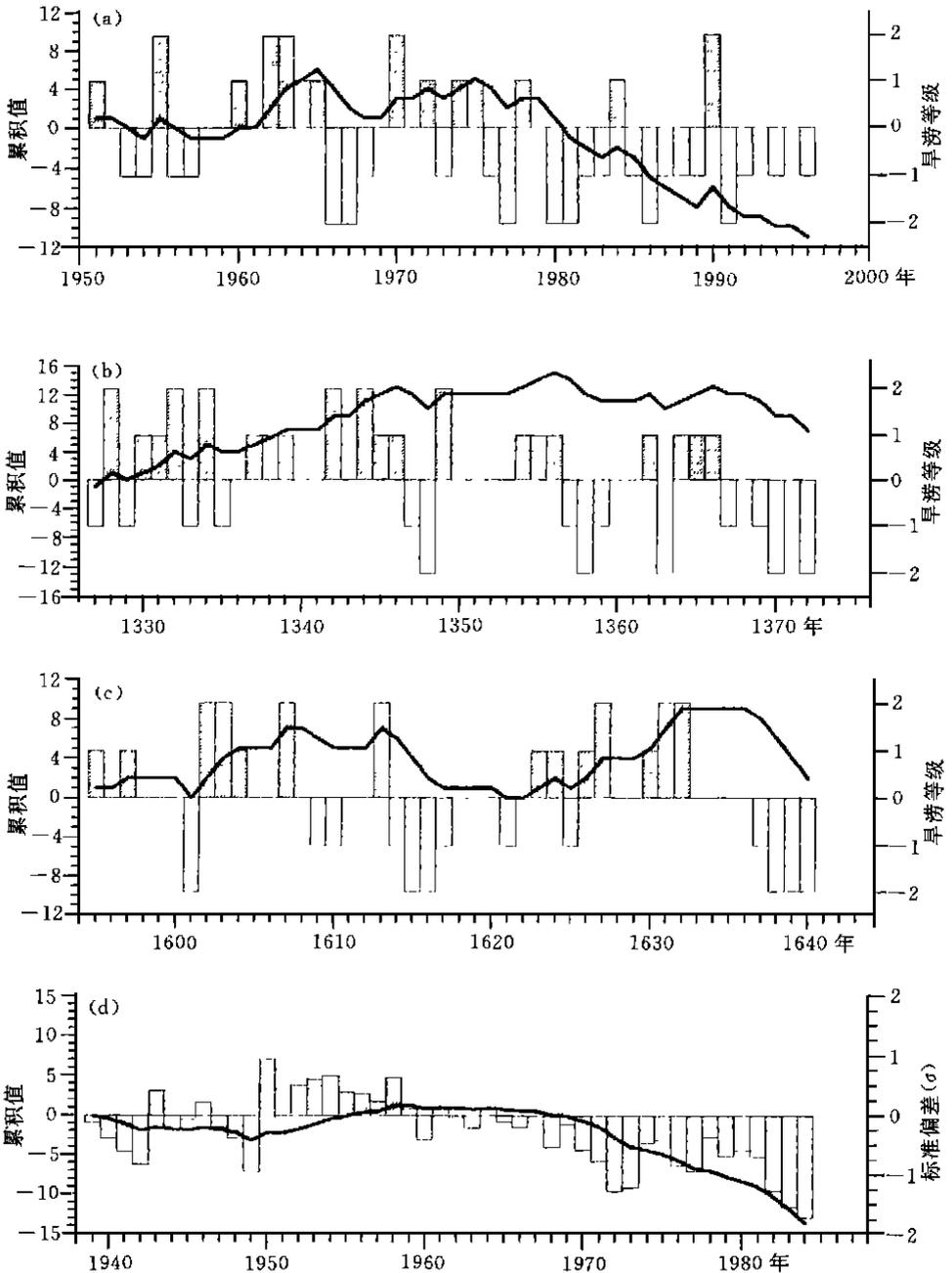


图6 a. 本文第5区域近46 a来5级旱涝等级序列(直方图)及其累积曲线(粗实线);
 b, c. 文献[4]中第3区1372年(b), 1640年(c)前期的旱涝等级序列及其累积曲线;
 d. Sahel 1984年及前期降水量标准偏差(直方图)及其累积曲线(粗实线)

3) 黄河下游山东附近地区, 近20 a来出现了15 a的明显干旱, 其中有5 a大旱, 10 a干旱。干旱的累积程度不仅是全国最为严重的区域, 而且甚至超过了历史上著名的1640年前后的“崇贞大旱”和1372年黄河下游的大旱和断流。

当然, 近年来黄河下游断流的根本原因是十几年气候连续干旱少雨和黄河流域经济发展、用水量急增这两方面矛盾加剧的综合作用的结果, 本文仅就前者进行了讨论。

参 考 文 献

- 1 黄河断流成因分析及对策研究组(邓盛明等执笔). 黄河下游断流及对策研究, 人民黄河, 1997, 10: 1~9
- 2 江剑民. 我国大陆的干旱指数及其年际变化. 大气科学, 1991, 15(1): 43~32
- 3 江剑民等. 全球月平均海表水温异常的区域性及其年际变化特征. 海洋学报, 1993, 15(2): 17~23
- 4 Jiang J M, et al. Historic climate variability of wetness in East China(1960-1992): A wavelet analysis. Intern J Climatol, 1997, 17: 969-981
- 5 江剑民等. 撒哈勒干旱与大西洋欧洲上空的环流异常. 长期天气预报论文集, 北京: 气象出版社, 1990. 232~240

CLIMATIC BACKGROUND ANALYSIS OF FLOW- BREAK EPISODE OF LOWER REACHES OF YELLOW RIVER IN RECENT YEARS

Yang Zhigang Yang Honghang

Gu Xiangqian

(Shandong Meteorological Bureau, Jinan, 250031) (Chinese of Academy Meteorological sciences, Beijing, 100081)

You Xingshi Jiang Jiangmin

(Training center of China Meteorological Administration, Beijing, 100081)

Abstract

The successive dry episodes in the lower reaches of Yellow River in recent years are causing great concern of our society. On the basis of monthly precipitation data of nearly 47 years gained from 160 basic observatories of China and by means of rotating principal component annual variations of average precipitation along Yellow River are studied, and the anomalies of rainfall and their accumulation extent are compared with other regions of the country, and contrasting analysis is conducted with historic heavy droughts and dry episodes in the lower reaches. The results show that the past 20 years is a severe successive drought period encountered per hundred years, and the total amount of decreased rainfall in recent 10 years is equal to the runoff of 4 years of the river, 15 years out of the recent 20 years are dry, in which 5 years are severe and 10 years are moderate. The accumulating effect of these droughts is not only the heaviest in the country in recent one hundred years but also heavier than the historic "Chongzhen Catastrophe (1640)" and the drought and flow-break episode in 1372.

Key Words: Lower reaches of Yellow River, Flow-break episode, Drought climatic background, Rotating principal component, Analysis.