



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2017.02.005

李斌, 解建仓, 胡彦华, 等. 1961年-2013年渭河流域降水与径流变化特征[J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15(2): 29-36. LI Bin, XIE Jiancang, HU Yanhua, et al. Characteristics of precipitation and runoffs during 1961-2013 in Weihe River basin[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15(2): 29-36. (in Chinese)

1961年-2013年渭河流域降水与径流变化特征

李斌^{1,2}, 解建仓¹, 胡彦华², 姜仁贵¹, 王莉³

(1. 西安理工大学水利水电学院, 西安 710048; 2. 陕西省水利厅, 西安 710004; 3. 陕西省江河水库管理局, 西安 710018)

摘要: 采用滑动平均、累积距平、线性倾向估计法分析陕西渭河流域 1961年-2013年降水变化特征; 采用滑动 t 检验、有序聚类、双累积曲线分析法分析径流突变性。结果显示: 渭河流域降水量整体呈减少趋势, 年平均降水日数为 86 d; 降水季节分配不均, 集中在夏、秋两季; 春、秋两季降水量呈现明显减小趋势; 大雨日数与年平均降水量显著正相关, 年平均降水量越大, 年平均大雨日数出现频次的越高; 流域西部和北部暴雨强度呈现增大趋势, 东部和南部暴雨强度呈现微弱减小趋势。渭河华县站径流的突变点出现在 20 世纪 70 年代初和 90 年代初, 降水量的变化与径流变化的趋势基本吻合。

关键词: 降雨特征; 变化趋势; 暴雨; 径流; 渭河

中图分类号: P426 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2017)02-0029-08

Characteristics of precipitation and runoffs during 1961-2013 in Weihe River basin

LI Bin^{1,2}, XIE Jiancang¹, HU Yanhua², JIANG Ren-gui¹, WANG Li³

(1. Faculty of Water Resources and Hydroelectric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China;

2. Shaanxi Provincial Department of Water Resources, Xi'an 710004, China;

3. Shaanxi Provincial River Reservoir Administration Bureau, Xi'an 710018 China)

Abstract: Using the moving average, cumulative departure, and linear tendency estimate methods, this paper investigated the precipitation characteristics of Weihe River basin during 1961-2013. The abrupt runoff changes were analyzed using the smoothing t test, orderly clustering, and double mass curve methods. The results showed that the precipitation in the Weihe River basin was generally decreasing, with 86 rainy days in an average year. The precipitation varied in different seasons, and was mainly concentrated in summer and autumn; it obviously decreased in spring and autumn. The number of heavy rainy days was significantly correlated with the annual average precipitation; the larger the annual average precipitation, the more frequent the heavy rainy days in an average year. Rainstorm intensity was increasing in the west and north of Weihe River basin, but was slightly decreasing in the east and south. The runoff in Huaxian had an abrupt change in the early 1970s and early 1990s. The precipitation variation was basically consistent with the runoff variation trend.

Key words: precipitation characteristics; variation trend; rainstorm; runoff; Weihe River

收稿日期: 2016-04-01 修回日期: 2016-05-24 网络出版时间:

网络出版地址:

基金项目: 国家自然科学基金 (51509201; 51479160; 41471451); 中国博士后科学基金 (2016M590964); 陕西省教育厅科研计划项目 (15JK1503)

Funds: National Natural Science Foundation of China (51509201; 51479160; 41471451); China Postdoctoral Science Foundation (2016M590964); Shaanxi Provincial Department of Education Research Project (15JK1503)

作者简介: 李斌 (1980-), 男, 陕西西安人, 高级工程师, 博士, 主要从事水利信息化方面研究。E-mail: 157506520@qq.com

通讯作者: 解建仓 (1963-), 男, 陕西眉县人, 教授, 博导, 主要从事水利信息化、GIS 及智能决策系统方面研究。E-mail: jxjie@mail.xaut.edu.cn

受全球气候变化影响,极端强降水事件频发,城市化进程的加快,进一步加剧了降水时空分布不均和局部强降水事件的发生。如何对降水和径流等气象水文要素变化特征进行科学识别,并对其变化成因进行分析对于区域水资源管理具有重要意义。国内外诸多学者对不同尺度降水特征进行研究并取得许多有益的成果。姚惠明等^[1]利用动态泰森多边形模型计算并分析 1951 年-2006 年中国降水演变趋势,从全国尺度和区域尺度研究降水量时空分布,并对不同时段降水量震荡周期、演变与突变趋势进行分析。冯强等^[2]研究了我国降雨的时空分布特征以及与降水相关的暴雨洪涝灾害变化特征。张建云等^[3]研究发现北方地区近几年降水量有所增加,然而仍低于多年平均值。王小玲等^[4]基于 506 个测站逐日降水资料分析我国 8 个区域年降水量、平均降水强度和年降水频率的变化趋势,研究发现:年降水量、平均降水强度和年降水频率存在显著的区域变化特征。姜仁贵等^[5]采用线性和非线性小波分析对 Alberta 省降水特征进行分析,并对降水时空分布成因进行剖析。张皓^[6],束美珍^[7]等分析了华北地区、海河流域降水量时空变化特征,发现年均降水量呈由东南向西北逐渐减少的趋势。多位学者^[8-13]从应对气候变化、灾害风险管理等角度分析流域降水的变化趋势。

渭河是黄河最大支流,是陕西人民的母亲河、生命河,渭河流域水文要素变化受到国内学者广泛关注^[14-19]。新世纪以来,渭河发生了“03.8”、“05.10”、“11.9”等洪水,造成巨大损失。2010 年,陕西省委、省政府站在全省经济社会发展战略高度,提出了全线整治渭河的科学决策。根据《陕西省渭河全线整治规划及实施方案》,计划用五年时间通过加宽堤防、疏浚河道、整治河滩、水量调度、绿化治污、开发利用,实现渭河“洪畅、堤固、水清、岸绿、景美”的目标。本文以陕西渭河流域 12 个雨量站和渭河下游华县水文站为研究对象,采用趋势分析、突变检测等方法,分析渭河降水变化特征,并探讨径流变化与影响因素之间联系,分析变化成因,以期为合理开发利用渭河流域水资源,促进流域经济社会可持续发展提供参考。

1 资料及方法

1.1 研究区概况

渭河全长 818 km,流域总面积 13.48 万 km²,位于 34°-38°N 和 104°-110°E 之间。流域发源于甘肃省渭源县鸟鼠山,由西向东横贯甘肃东部,在陕

西省宝鸡县凤阁岭乡附近进入陕西境内。研究区概况及文中所采用的雨量站、水文站见图 1。

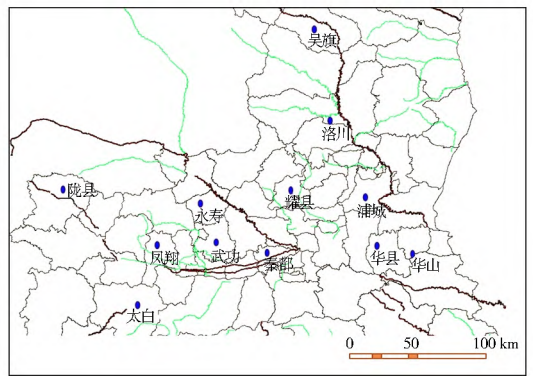


图 1 研究区域及站点分布

Fig. 1 Study area and distribution of stations

1.2 数据来源

采用 1961-2013 年共 53 年陕西渭河流域 12 个典型气象站点逐日降水资料进行分析,站点名称如图 1 所示。数据来源于中国气象科学数据共享服务网^[20-21]。对于少部分缺测数据,采用邻近站点进行插补。选取渭河下游干流控制站华县站,分析径流变化趋势。径流数据来源于陕西省水文年鉴,径流时间序列截至 2010 年。

四季时段按气象部门的标准划分,即春季 3 月-5 月,夏季 6 月-8 月,秋季 9 月-11 月,冬季 12 月-次年 2 月。采用固定临界值进行不同量级降水日数的划分。按照我国雨量等级划分标准,定义:小雨(0~9.9 mm/d)、中雨(10~24.9 mm/d)、大雨(25~49.9 mm/d)、暴雨(≥ 50 mm/d);定义:日降水量 ≥ 50 mm 为一个暴雨日,暴雨量/暴雨日数为暴雨强度,年暴雨量占年总降水量百分比为暴雨贡献率。

1.3 分析方法

借鉴当前国内外主要水气象变化趋势分析方法^[22],结合渭河流域降雨和径流时序特点,本文采用滑动平均法、累积距平、线性倾向估计法分析雨量站、水文站降水和径流变化特征;采用滑动 t 检验,有序聚类,双累积曲线法分析其突变性。

2 结果与分析

2.1 降水变化趋势

2.1.1 降水量年际变化特征

陕西渭河流域 1961 年-2013 年均降水量变化趋势见图 2。年均降水量为 624.8 mm,整体呈减少趋势,年均降水量以 13.2 mm/(10a) 的速率减少。该区域年均降水量年际变化大,最大值出现在 1964

年, 为 880.1 mm, 最小值出现在 1997 年, 为 376.1 mm, 两者相差 504 mm。

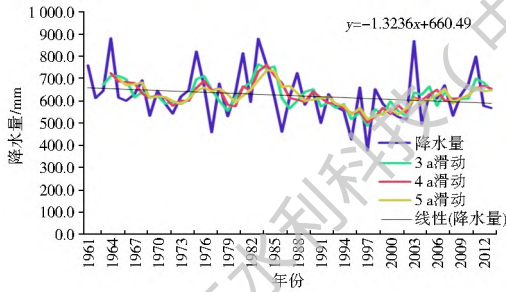


图 2 陕西渭河流域年均降水量变化趋势

Fig. 2 Characteristics of annual average precipitation in Weihe River basin

从图 2 可以看出, 1961- 70 年代初, 降水量呈缓慢下降趋势; 70 年代初- 80 年代中期, 降水量呈波动增加趋势; 80 年代末- 90 年代末, 降水量呈大幅波动下降趋势; 90 年代末- 2013 年降水量呈上升趋势。流域年均降水量最大值为平均值的 1.6 倍, 为最小值 2.9 倍, 这些说明降水量年际变化幅度大。各站降水均呈现减少趋势, 降水量以 3.5~ 45 mm/(10a) 的速率减少。华山站减少幅度最大, 为 45 mm/(10a); 秦都站减少幅度最小, 为 3.5 mm/(10a)。

2.1.2 降水量年代变化特征

按不同年代分别计算各站降水量, 结果见表 1。

表 1 各雨量站降水量年代变化

Tab. 1 Decadal variation of precipitation at each station

年代	吴旗	洛川	蒲城	陇县	凤翔	太白	永寿	武功	耀县	华山	秦都	华县
20 世纪 60 年代	549.7	675.7	538.4	600.8	617.2	791.7	612.0	963.4	550.5	893.3	542.0	618.6
20 世纪 70 年代	462.7	604.3	521.9	587.8	597.6	732.7	586.5	863.6	552.9	875.9	472.2	583.4
20 世纪 80 年代	433.5	602.3	577.0	611.2	665.1	793.0	626.5	1 029.6	598.9	888.6	565.8	639.6
20 世纪 90 年代	357.6	341.9	287.5	340.4	358.9	414.0	315.4	603.8	286.8	465.3	302.2	279.8
21 世纪	464.9	632.6	505.4	599.9	610.6	743.1	566.3	923.4	545.5	735.4	524.8	557.5
多年平均	469.4	612.5	521.2	584.0	611.5	741.1	580.6	919.5	546.5	811.2	515.5	584.0

各站降水量变化和渭河年均降水量变化呈现一致性, 20 世纪 60 年代各站降水大于多年平均值; 20 世纪 70 年代呈现减少趋势, 接近平均值; 20 世纪 80 年代降水有所增加; 但是 20 世纪 90 年代以来降水明显减少, 和 20 世纪 60 年代相比, 减少幅度将近 50%; 新世纪以来, 降水接近或者略高于多年平均值。各站 20 世纪 90 年代平均降水量占 20 世纪 60 年代的 45%~ 63%; 占多年平均值的 48%~ 76%。特别是东部华县站 20 世纪 90 年代平均降水量为 279.8 mm, 不及 60 年 618.6 mm 的一半, 也不及多年平均值的一半。刘梅^[7]等研究发现渭河全流域降水量呈减少趋势, 空间上华山的减少最为显著, 和本文分析结果相同。

进入新世纪, 各站降水量有所增加, 降水量和 90 年代相比增加了 30%~ 99%, 平均增加了 73%。研究区北部的耀县站增加 90%, 华县站增加了近一倍。大部分站降水量接近多年平均值, 部分站略大于多年平均值。

2.2 降水量的年内分布

陕西渭河流域 1961 年- 2013 年降水年内变化见图 3。图 3 表明 1961- 2013 年研究区降水的年内分布很不均匀, 1 月、2 月、3 月, 11 月, 12 月的百分比为 1%~ 4%, 4 月、5 月、10 月的百分比为 5%~ 10%, 6 月、7 月、8 月, 9 月的百分比为 10%~ 20%。降水主要分布在 7、8 月, 其次为 9 月、6 月, 分别占

到 19.5%, 17.3%, 16.9%, 10.4%。

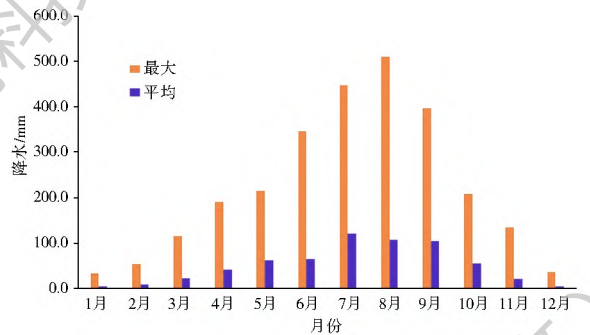


图 3 各雨量站降水量的年内变化

Fig. 3 Annual variation of precipitation at the stations

6 月份降水量最大的为武功站 1961 年 364.2 mm, 占全年降水 1 118.3 mm 的 31%; 7 月份降水量最大的为武功站 2007 年 446.87 mm, 占全年降水 1 222.6 mm 的 36.5%; 8 月份降水量最大的为太白站 1981 年 509.6 mm, 占全年降水 1 197.0 mm 的 42.6%; 9 月份降水量最大的为武功站 1984 年 397.0 mm, 占全年降水 1 100.4 mm 的 41.29%; 10 月份降水量最大的为华山站 1983 年 208.6 mm, 占全年降水 1 100.4 mm 的 18.8%。

2.3 降水量的季节变化特征

陕西渭河流域降水季节分布见图 4, 研究区降水季节差异大。春、夏、秋、冬四季降水分别占全年降水的 20.8%、46.3%、29.3% 和 3.6%, 降水主要

集中于夏季,占全年降水的近一半。春季降水占年降水百分比在2.6%~46.8%;其中,吴旗站1998年春季降水241.3 mm,占年降水526.7 mm的46.8%,为最大比例;洛川站1961年春季降水15.5 mm,占年降水602.3 mm的2.3%,为最小比例。夏季降水占全年降水百分比在13.3%~83.8%;其中,吴旗站1995年夏季降水353.5 mm,占全年降水421.8 mm的93.8%,为最大比例;永寿站1974年夏季降水80.6 mm,占年降水605.5 mm的13.3%,为最小比例。秋季降水占年降水百分比在6.2%~67.4%;其中,吴旗站2008年秋季降水239.5 mm,占年降水355.2 mm的67.4%,为最大比例;华山站1998年秋季降水53.1 mm,占全年降水85.07 mm的6.2%,为最小比例。冬季降水占年降水量百分比小于15.5%;其中,华县站1997年冬季降水43.3 mm,占年降水279.8 mm的15.5%,为最大比例;吴旗站1992年、1999年冬季降水都小于1 mm,秦都站1992、1999年冬季降水为1.2 mm、0.2 mm,华县在1999年冬季连续三月未降水。

陕西渭河流域各季节降水变化趋势见表2。从

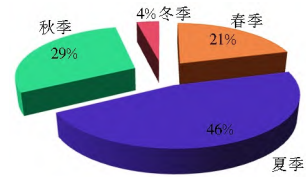


图4 陕西渭河流域降水季节分布

Fig. 4 Seasonal distribution of precipitation in Weihe River basin
 季节降水量变化趋势看,春季和秋季降水呈减少趋势。春季降水减少倾向率为4.8~18.6 mm/(10a),华山站降水呈减少趋势最为突出为18.6 mm/(10a)。秋季降水减少倾向率为1.4~19.7 mm/(10a),洛川、太白、永寿、武功、华山、秦都等减少倾向率为都大于10 mm/(10a)。夏季降水,除蒲城、华山、华县、太白略有减少外,其余地方呈增加趋势;降水增加倾向率分别为1.4~14.7/(10a)。冬季降水,除吴旗、武功、华山三站呈现水平趋势外,其余地方呈微弱增加趋势,增加倾向率为0.3~1.8/(10a)。由降水量的季节变化可知,陕西渭河流域近年的降水量减少主要是以春季和秋季的显著减少为主,部分测站夏季、冬季降水有微弱增加趋势。来文立^[16]研究发现渭河流域夏、冬两季降水量变化趋势不明显。

表2 陕西渭河流域各季节降水变化趋势

Tab. 2 Variation trend of seasonal precipitation in Weihe River basin

测站	春季	夏季	秋季	冬季
吴旗	$y = -0.5631x + 92.269$	$y = 0.1469x + 257.85$	$y = -0.9655x + 239.05$	$y = -0.0397x + 10.545$
洛川	$y = -0.6124x + 127.59$	$y = 0.571x + 299.22$	$y = -1.0789x + 194.21$	$y = 0.1454x + 17.839$
蒲城	$y = -0.4775x + 117.63$	$y = -0.1868x + 251.17$	$y = -0.6476x + 169.67$	$y = 0.1777x + 13.343$
陇县	$y = -0.7446x + 126.36$	$y = 0.9747x + 267.35$	$y = -0.7502x + 187.91$	$y = 0.0372x + 14.273$
凤翔	$y = -1.0614x + 155.78$	$y = 1.4017x + 240.39$	$y = -0.9946x + 214.61$	$y = 0.1388x + 14.633$
太白	$y = -0.8614x + 172.46$	$y = -0.0941x + 366.45$	$y = -1.0365x + 239.81$	$y = 0.1988x + 10.757$
永寿	$y = -1.1746x + 152.24$	$y = 0.7697x + 237.03$	$y = -1.1982x + 212.1$	$y = 0.1274x + 19.065$
武功	$y = -0.6762x + 199.41$	$y = 0.9166x + 437.32$	$y = -1.1106x + 283.36$	$y = -0.0209x + 23.515$
耀县	$y = -1.2172x + 140.17$	$y = 1.3449x + 219.6$	$y = -0.9959x + 188.62$	$y = 0.1868x + 15.196$
华山	$y = -1.8649x + 237.71$	$y = -0.6699x + 374.23$	$y = -1.9706x + 281.41$	$y = -0.0043x + 39.571$
秦都	$y = -0.9024x + 140.51$	$y = 1.447x + 168$	$y = -1.0133x + 200.86$	$y = 0.1203x + 15.583$
华县	$y = -0.9267x + 156.75$	$y = -0.0053x + 244.58$	$y = -0.9031x + 211.04$	$y = 0.111x + 18.191$

2.4 降水日数趋势分析

2.4.1 降水日数分析

1961-2013年研究区域所有站点年降水日数在59~178 d之间;平均为86 d。降水日最多的是1964年武功站,日数为178 d;最少的是1995年吴旗站,日数为59 d。小雨日数49~140 d之间,占总日数的64.1%~95.9%,平均为80.6%;小雨日数最少的是1995年华县站、2013年洛川站49 d;日数最多的是

1964年陇县站140 d。中雨日数3~27 d,占总日数的2.7%~78.1%,平均14.0%;最少的是1968年吴旗站2 d;最多的是1983年武功站、1961年太白站,均为30 d。年大雨日数小于20 d,占总日数的11.5%以下,平均为4.6%;日数最多的是1984年武功站,1964、1974、1984年华山站均出现13 d的大雨天气。年暴雨日数小于6 d;占总日数4.4%以下,平均为0.8%;暴雨日数最多的是2011年太白站6 d。

1961 年以来陕西渭河流域降水日数均呈现减少趋势, 变化趋势见表 3。

表 3 陕西渭河流域降水日数变化趋势

Tab. 3 Variation trend of number of rainy days in Weihe River basin

	小雨日数	中雨日数	大雨日数	总降雨日数
吴旗	$y = -0.2492x + 79.333$	$y = -0.0144x + 11.05$	$y = 0.0037x + 2.881$	$y = -0.2629x + 93.93$
洛川	$y = -0.3692x + 85.837$	$y = -0.0517x + 15.245$	$y = -0.0099x + 4.3999$	$y = -0.4185x + 106$
蒲城	$y = -0.2283x + 72.031$	$y = -0.0442x + 13.759$	$y = 0.009x + 3.5109$	$y = -0.2633x + 89.844$
陇县	$y = -0.2604x + 89.032$	$y = 0.013x + 3.3287$	$y = -0.0421x + 14.74$	$y = -0.2896x + 107.1$
凤翔	$y = -0.1748x + 88.192$	$y = -0.0735x + 15.778$	$y = 0.012x + 3.902$	$y = -0.2236x + 108.38$
太白	$y = -0.1913x + 109.45$	$y = -0.0584x + 17.652$	$y = -0.0119x + 5.3955$	$y = -0.2600x + 133.78$
永寿	$y = -0.2442x + 88.16$	$y = -0.0751x + 16.159$	$y = -0.0094x + 4.1604$	$y = -0.3204x + 108.74$
武功	$y = -0.5292x + 118.46$	$y = -0.0886x + 20.864$	$y = 0.0205x + 6.7489$	$y = -0.5874x + 147.61$
耀县	$y = -0.1918x + 77.101$	$y = -0.04x + 13.735$	$y = -0.0012x + 3.8202$	$y = -0.2211x + 94.965$
华山	$y = -0.4185x + 106.07$	$y = -0.1179x + 20.372$	$y = -0.0206x + 6.6118$	$y = -0.5703x + 134.81$
秦都	$y = -0.2492x + 79.333$	$y = -0.0541x + 14.272$	$y = -0.0002x + 3.2874$	$y = -0.2911x + 96.991$
华县	$y = -0.2604x + 77.164$	$y = -0.0415x + 15.046$	$y = -0.0125x + 4.6393$	$y = -0.3193x + 97.64$

各站的年降雨日数均呈现明显下降趋势, 减少倾向率为 11~ 29 d/(50a); 降水日数减少最为明显的是武功、华山。小雨日数均呈现减少趋势, 减少倾向率为 11~ 26 d/(50a)。除陇县外, 中雨日数呈现减少趋势, 减少倾向率为 1~ 5 d/(50a)。大雨日数和暴雨日数变化不明显。各站总降水日数减少趋势和小雨日数减少趋势基本一致。

2.4.2 降雨日数和年降水量关系

陕西渭河流域年平均大雨日数和年均降水量相关分析见图 5。在所有降雨日里, 小雨日数占总降雨日数为 80.6% 左右; 中雨日数占总降雨日数的 14.0% 左右。尽管小雨日数、中雨日数所占比例较大; 但是通过对陕西渭河流域降水日数与年平均降水量进行相关分析发现, 研究区平均大雨日数与年平均降水量存在显著正相关关系, 相关系数为 0.85。年平均降水量越大, 年大雨日数出现频次愈高; 大雨出现日数是影响年降水量的多少的重要因素。

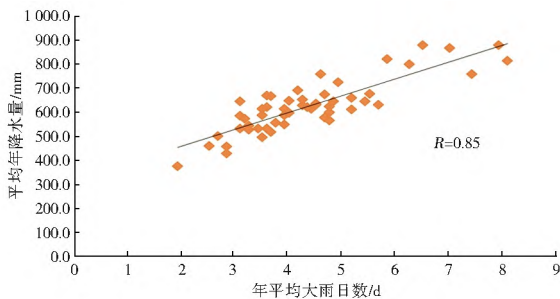


图 5 陕西渭河流域年平均大雨日数和年平均降水量相关分析

Fig. 5 Correlation analysis between annual average number of

heavy rainy days and annual average precipitation

2.4.3 暴雨分析

研究区暴雨在 4 月- 10 月份都有发生。暴雨常出现在 5 月- 9 月, 集中出现在主汛期(7 月- 8 月)。汛期(6 月- 9 月)暴雨日数占全年暴雨日数的 92%, 主汛期暴雨日数占全年暴雨日数的 67%。

(1) 暴雨初日和暴雨终日。

若年度中仅出现一次暴雨, 则暴雨初日和暴雨终日为同一天。暴雨初日最早出现在陇县站 2002 年 4 月 4 日, 日降水量 53.8 mm。暴雨终日最晚出现华山站 1957 年在 10 月 27 日, 日降水量 50.8 mm。

(2) 暴雨强度。

1961 年-2013 年研究区平均暴雨强度为 68 mm/d, 各站的平均暴雨强度在 64 d~ 73 mm/d 之间。太白站平均暴雨强度最小为 64.7 mm/d; 陇县站平均暴雨强度最大为 73.0 mm/d。结果表明: 各站近年暴雨强度呈一定的特征, 研究区的西部和北部, 暴雨强度呈现增大趋势; 研究区的东部和南部, 暴雨强度呈现微弱减小趋势; 特别是研究区西部的陇县站暴雨强度增大尤其明显。

(3) 暴雨贡献率。

在 1961 年-2013 年出现暴雨事件中, 暴雨贡献率在 5.5%~ 54.8% 之间; 平均为 15%。2008 年陇县站的暴雨贡献率最大为 54.8%; 1968 年华山站的暴雨贡献率最小为 5.5%。在所有暴雨事件中, 除耀县站外, 均发生过大暴雨事件。年最大日降水量为陇县站 2010 年 7 月 23 日, 日降水量 214.6

mm; 武功站 2002 年 6 月 9 日, 日降水量 203.3 mm。1986 年- 2010 年, 平均年径流量约为 47.72 亿 m^3 。

2.5 降水周期分析

采用小波方法对渭河流域各雨量站年降雨量周期进行分析, 以凤翔和洛川两个测站为例, 见图 6。结果表明: 不同测站呈现出不同的周期, 根据周期的显著性状况, 可以将这些测站分为两类。第一类有较为显著周期性特征测站, 包括: 凤翔、武功、华县、秦都、蒲城、耀县、永寿和太白 8 个测站有较为显著的周期性(图略), 但是不同测站周期存在较大差异。以凤翔站为例, 在 1975 年- 1990 年期间, 发现显著(图 6(a) 中黑色范围内)的 1~ 2a 和 8a 左右的周期振荡, 而在其余时期周期性不明显。第二类没有表现出显著周期性特征测站, 包括: 洛川、华山、陇县和吴旗 4 个测站(图略), 以洛川为例, 从图 6(b) 中可以发现, 在整个研究期内, 都未表现出显著的周期性。

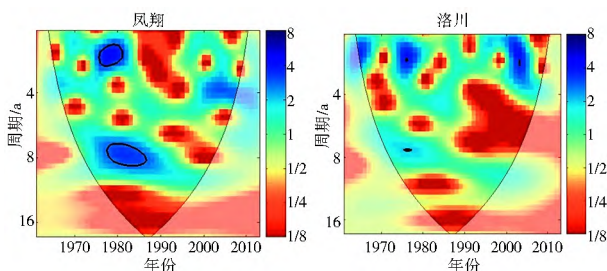


图 6 渭河流域典型测站周期分析

Fig. 6 Periodic analysis of two typical stations

2.6 渭河华县站径流变化

2.6.1 华县站年径流年代变化

华县站 1935 年- 2010 年径流量的变化特征及趋势 7(a) 所示, 呈减少趋势。1935 年- 2010 年, 华县站多年平均年径流量为 73.85 亿 m^3 。70 多年间, 径流量的年际变化差异较大, 大于平均值年数和小于平均值年数分别为 35 年和 41 年。年径流量最大值为 1964 年 187.6 亿 m^3 , 最小值为 1997 年 16.83 亿 m^3 。最大值为平均值的 2.54 倍, 为最小值的 11.15 倍。图 7(b) 为陕西渭河华县站年径流量累积距平曲线。华县站年径流量 1935 年至 20 世纪 60 年代末均为径流量偏丰年代, 其中 1964 年达 187.6 亿 m^3 , 为最大值, 比平均值多 113.75 亿 m^3 。20 世纪 70 年代初期至 20 世纪 80 年代中期, 年径流量略小于平均值。20 世纪 80 年代中期至 2010 年, 径流量呈现下降趋势。21 世纪以来, 除了 2003 年径流量为 93.39 亿 m^3 , 外, 其余年份, 径流量均低于平均值。华县站径流量年代平均值如 7(a) 所示。1935 年- 1970 年, 平均年径流量约为 93.37 亿 m^3 ; 1971 年- 1985 年, 平均年径流量约为 70.56 亿 m^3 ;

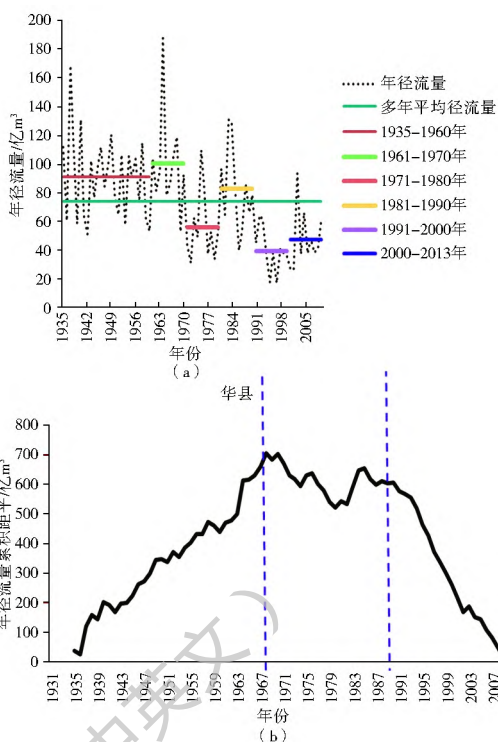


图 7 陕西渭河华县站 1935 年- 2010 年径流变化

Fig. 7 Runoff variation at Huaxian station during 1935- 2010

3.6.2 华县站年径流突变分析

图 8(a) 中为华县站滑动 t 统计量曲线。 $n=76$, $n_1=n_2=8$ 给定显著性水平 $\alpha=0.01$, $\alpha=0.001$, 按照 t 的分布自由度, $\nu=14$, $t_{0.01}=\pm 2.98$; $t_{0.001}=\pm 4.14$ 。从 1951 年以来, t 的统计量有 4 次超过 0.01 显著性水平, 有一处极大值, 1990 年。 t 的统计量在 1990 年- 1993 年超过 0.01 显著性水平, 但没有通过 0.001 显著性水平检验。表明华县站年径流量自 20 世纪 30 年代以来, 出现了两次明显的突变。20 世纪 30 年代至 20 世纪 60 年代末, 年径流量呈现增加趋势; 20 世纪 70 年代有减少的, 1980 年以来有所增加; 20 世纪 90 年代年径流量经历了一次增加到减少的转变。华县站的年径流量序列离差平方和 $S_n(\tau)$ 曲线如图 8(b) 所示。华县站 1935 年- 2010 年的离差平方和 $S_n(\tau)$ 曲线在 1968 年出现最低, 并且在 1985 年和 1990 年出现极小值。

华县站年径流量和平均降水量的双累积曲线如图 9 所示, 其中降水和径流数据采用 1961 年- 2010 年。渭河降水量最多生在 20 世纪 60 年代, 20 世纪 70 年代以来, 华县站径流量呈现减少趋势, 尤其是 20 世纪 90 年代以来, 减少趋势显著。降水量的变化与径流变化的趋势吻合。综合分析, 渭河华县站径流量的突变点出现在 20 世纪 70 年代初和 20 世纪 90 年代初, 大约在 1968 年- 1970 年、1985 年- 1991 年。肖洁^[18]采用曼肯德尔法、R/S 法及有序

聚类分析法对渭河干流径流变化趋势进行了分析, 得到华县站径流量的突变点为 1969 年和 1991 年, 和本文计算结果一致。

工程措施和工农业耗水量不断上升, 人类活动对渭河径流的影响越来越剧烈, 导致径流量不断减少。

3 结论

在全球气候变暖背景下, 本文分析了陕西渭河流域 1961 年- 2013 年降水和径流分布特征, 得到以下主要结论。

(1) 陕西渭河流域 1961 年- 2013 年的年均降水量为 624.8 mm, 降水整体呈减少趋势, 以 13.2 mm/(10a) 的速率减少。该流域降水年际变化大; 20 世纪 70 年代初- 20 世纪 80 年代中期, 年平均降水量呈波动增加趋势; 20 世纪 80 年代末- 20 世纪 90 年代后末, 降水呈大幅波动下降趋势; 20 世纪 90 年代后期- 2013 年, 平均降水呈上升趋势。

(2) 陕西渭河流域降水量的年内分布很不均匀。降水主要分布在 7、8 月, 其次为 9、6 月, 其月平均百分比分别为 19.5%, 17.3%, 16.9%, 10.4%。春季和秋季降水量呈减少趋势; 夏季和冬季降水量微弱呈增加趋势; 近年的降水量减少主要是以春季和秋季的显著减少为特点。

(3) 1961- 2013 年研究区域所有站点年降水日数在 59~ 178 d 之间; 平均降水日数为 86 d。小雨日数占总降水日数的 80.6%; 中雨日数占总降水日数的 14.0%; 大雨日数占总降水日数的 4.6%; 年暴雨日数占总降水日数的 0.8%。研究区的西部和北部, 暴雨强度呈现增大趋势; 研究区的东部和南部, 暴雨强度呈现微弱下降趋势。

(4) 渭河华县站径流量的突变点出现在 20 世纪 70 年代初和 20 世纪 90 年代初, 渭河流域径流变化主要由气候变化和人类活动引起, 如何甄别气候变化和人类活动对径流变化影响的贡献是下一步研究重点。

参考文献(References):

[1] 姚惠明, 吴永祥, 关铁生, 等. 中国降水演变趋势诊断及新事实[J]. 水科学进展, 2013, 24(1): F10. (YAO Huiming, WU Yongxiang, GUAN Tiesheng, et al. Diagnose of precipitation evolution trend in China and new facts[J]. Advances in Water Science, 2013, 24(1): F10. (in Chinese))

[2] 冯强, 王昂生, 李吉顺. 我国降水的时空变化与暴雨洪涝灾害[J]. 自然灾害学报, 1998, 7(01): 89-95. (FENG Qiang, WANG Angsheng, LI Jishun. The variation of precipitation in time and space and heavy rain flood disaster in China[J]. Journal of Natural Disasters, 1998, 7(01): 89-95. (in Chinese))

[3] 张建云, 贺瑞敏, 齐晶, 等. 关于中国北方水资源问题的再认识[J]. 水科学进展, 2013, 24(3): 303-310. (ZHANG Jianyun, HE Ruimin, Qi Jing, et al. A new perspective on water issues

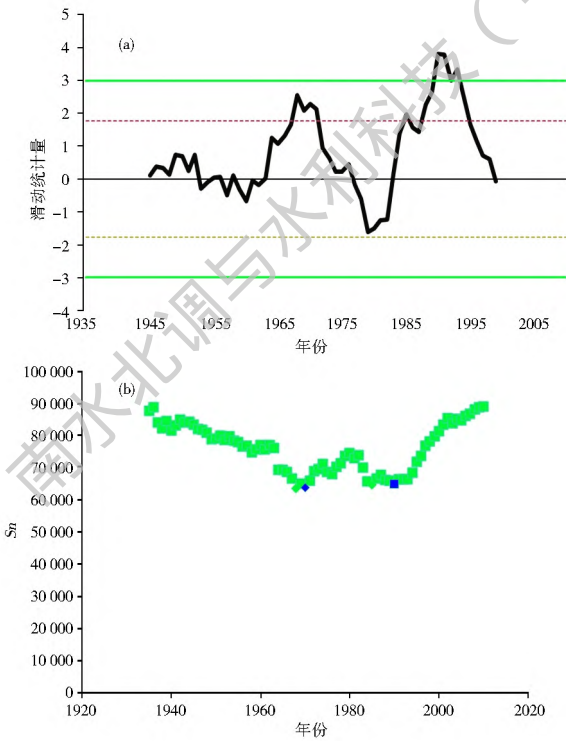


图 8 陕西渭河华县站年径流量突变分析

Fig. 8 Abrupt change of annual run off at Huaxian station

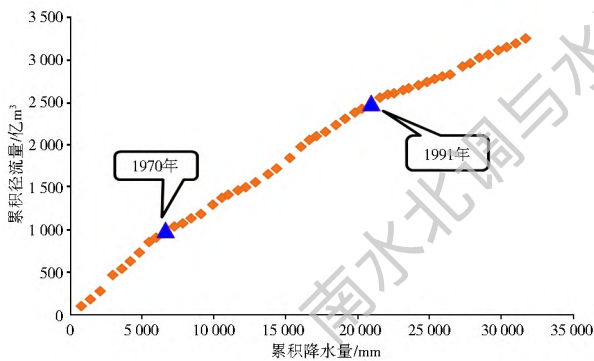


图 9 陕西渭河流域华县站年径流量和平均降水量的双累积曲线

Fig. 9 Double mass curve of annual runoff and average precipitation at Huaxian station

渭河流域径流变化主要由气候变化和人类活动引起。气候变化对径流的影响主要表现为降水减少和潜在蒸散的增加。降雨量偏少是造成渭河干流径流量减少的主要原因^[23]。人类活动对流域径流的影响主要表现为 20 世纪 70 年代以后流域内大规模的水利工程、水土保持措施和工农业用水的增加, 国民经济发展耗水量的明显增加, 水土保持用水量的增加, 城镇化的不断推进。冯家山, 石头河, 宝鸡峡, 金盆水库等水利工程改变了天然径流原有节律, 致使渭河径流特征发生了变异, 客观上减少了径流量。

- in North China[J]. *Advances in Water Science*, 2013, 24(3): 303-310. (in Chinese)
- [4] 王小玲, 翟盘茂. 1957-2004年中国不同强度级别降水的变化趋势特征[J]. *热带气象学报*, 2008, 24(5): 459-466. (WANG Xiaoling, ZHAI Panmao. Changes in CHINA's precipitation in various categories during 1957~2004[J]. *Journal of Tropical Meteorology*, 2008, 24(5): 459-466. (in Chinese))
- [5] Jiang R, Gan T Y, Xie J, Wang N. Spatiotemporal variability of Alberta's seasonal precipitation, their teleconnection with large scale climate anomalies and sea surface temperature[J]. *International Journal of Climatology*, 2014, 34(9): 2899-2917.
- [6] 张皓, 冯利平. 近50年华北地区降水量时空变化特征研究, 自然资源学报, 2010, 25(2): 270-278. (ZHANG Hao, FENG Liping. Characteristics of spatiotemporal variation of precipitation in North China in recent 50 years[J]. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(2): 270-278. (in Chinese))
- [7] 束美珍, 刘丽红. 海河流域近51年降水量时空变化特征, 南水北调与水利科技, 2015, 13(6): 1065-1068. (SHU Meizhen, LIU Lihong. Spatial and temporal variations of precipitation in Haihe River Basin in recent 51 years[J]. *South to North Water Transfers and Water Science & Technology*, 2015, 13(6): 1065-1068. (in Chinese))
- [8] 周亮广, 戴仕宝. 近60年来淮河流域强降雨时空变化特征, 南水北调与水利科技, 2015, 13(5): 847-851. (ZHOU Lianguang, DAI Shibaobao. Spatial and temporal variation characteristics of heavy rainfall in the Huaihe River Basin in recent 60 years[J]. *South to North Water Transfers and Water Science & Technology*, 2015, 13(5): 847-851. (in Chinese))
- [9] 王刚, 严登华, 张冬冬, 等. 海河流域1961年-2010年极端气温与降水变化趋势分析, 南水北调与水利科技, 2014, 12(1): 1-6. (WANG Gang, YAN Denghua, ZHANG Dongdong, et al. Trend analysis of variations in extreme precipitation and temperature in the Hai River Basin from 1961 to 2010[J]. *South to North Water Transfers and Water Science & Technology*, 2014, 12(1): 1-6. (in Chinese))
- [10] 雷廷, 张兆吉, 费宇红, 等. 海河平原1956年-2011年降水特征分析[J]. *水科学进展*, 2014, 12(1): 32-36. (LEI Ting, ZHANG Zhaoji, FEI Yuhong, et al. Analysis of precipitation characteristics in the Haihe River Plain from 1956 to 2011[J]. *Advances in Water Science*, 2014, 12(1): 32-36. (in Chinese))
- [11] 杜华明, 延军平, 杨登兴, 等. 嘉陵江流域降水变化及旱涝多时间尺度分析[J]. *自然资源学报*, 2015, 30(5): 836-844. (DU Huaming, YAN Junping, YANG Dengxing, et al. The distribution of precipitation and multitemporal scales drought-flood analysis in the Jialing River Basin[J]. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(5): 836-844. (in Chinese))
- [12] 张皓, 冯利平. 近50年华北地区降水量时空变化特征研究[J]. *自然资源学报*, 2010, 25(2): 270-278. (ZHANG Hao, FENG Liping. Characteristics of spatiotemporal variation of precipitation in North China in recent 50 years[J]. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(2): 270-278. (in Chinese))
- [13] 刘慧荣, 周维博, 李云排, 等. 清润河流域近50年降水变化特征分析[J]. *水资源与水工程学报*, 2013, 24(5): 124-130. (LIU Huirong, ZHOU Weibo, LI Yunpai, et al. Analysis of variation characteristics of precipitation in Qingjian river basin during recent 50 years[J]. *Journal of Water Resources & Water Engineering*, 2013, 24(5): 124-130. (in Chinese))
- [14] 张宏利, 陈豫, 任广鑫, 等. 近50年来渭河流域降水变化特征分析[J]. *干旱地区农业研究*, 2008, 26(4): 236-241. (ZHANG Hongli, CHEN Yu, REN Guangxin, et al. The characteristics of precipitation variation of Weihe River Basin in Shaanxi Province during recent 50 years[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2008, 26(4): 236-241. (in Chinese))
- [15] 刘燕, 胡安焱. 渭河流域近50年降水特征变化及其对水资源的影响[J]. *干旱区资源与环境*, 2006, 20(1): 124-130. (LIU Yan, HU Anyan. Changes of precipitation characters along Weihe basin in 50 Years and its influence on water resources [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2006, 20(1): 124-130. (in Chinese))
- [16] 来文立, 宋进喜, 章杰, 等. 近60a渭河流域降水特征[J]. *干旱区研究*, 2013, 30(6): 1106-1112. (LAI Wenli, SONG Jinxu, ZHANG Jie, et al. Precipitation in the Weihe River Basin in Recent 60 Years[J]. *Arid zone Research*, 2013, 30(6): 1106-1112. (in Chinese))
- [17] 刘梅, 魏加华, 王峰, 等. 渭河流域降水时空变化与干旱特征分析[J]. *南水北调与水利科技*, 2015, 13(2): 193-197. (LIU Mei, WEI Jiahua, WANG Feng, et al. Spatiotemporal variations of precipitation and drought characteristics in Wei River Basin[J]. *South to North Water Transfers and Water Science & Technology*, 2015, 13(2): 193-197. (in Chinese))
- [18] 肖洁, 罗军刚, 解建仓, 等. 渭河干流径流年际及年内变化趋势分析[J]. *人民黄河*, 2012, 34(11): 32-36. (XIAO Jie, LUO Jiongang, XIE Jiancang, et al. Analysis on interannual and annual variation trend of runoff in the main stream of Weihe River[J]. *Yellow River*, 2012, 34(11): 32-36. (in Chinese))
- [19] 拜存有, 张升堂. 渭河关中段年径流过程变异点的诊断[J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2009, 37(10): 215-220. (BAI Cuyou, ZHANG Shengtang. Detection of the variation points of Weihe River watershed runoff process based on rank sum[J]. *Journal of Northwest A & F University: Natural Science Edition*, 2009, 37(10): 215-220. (in Chinese))
- [20] 中国气象科学数据共享服务网, 中国地面国际交换站气候资料年值数据集(1961-2013年). [EB/OL]. <http://cdc.cma.gov.cn> (China Meteorological Data Sharing services System. China surface Annual climatological data[EB/OL]. (in Chinese) <http://cdc.cma.gov.cn>)
- [21] 中国气象科学数据共享服务网, 中国地面国际交换站气候资料日值数据集(1961-2013年). [EB/OL]. <http://cdc.cma.gov.cn> (China Meteorological Data Sharing services System. China surface day climatological data[EB/OL]. (in Chinese) <http://cdc.cma.gov.cn/>)
- [22] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 58-65. (WEI Fengying. *Modern Climatological Statistics and Forecasting Technique*[J]. Beijing: China Meteorological Press, 2007: 58-65. (in Chinese))
- [23] 蒋建军, 刘建林. 渭河箴言[R]. 西安: 西北大学出版社, 2008: 7-8. (JIANG Jianjun, LIU Jianlin. *Weihe Proverbs*[R]. Xi'an: Northwestern University Press, 2008: 7-8(in Chinese))