

# 淮河流域地表水资源量变化及降水驱动效应分析

钱名开 徐胜 梁树献 刘开磊

(淮河水利委员会水文局(信息中心), 蚌埠 233001)

**摘要:** 根据全国第三次水资源调查评价工作相关资料, 分析了淮河流域地表水资源量与降水的演变特点及相互关系, 流域降水和径流量具有汛期集中、季间不均、月极值相差悬殊等特点, 整体上地表水资源量变幅相对降水量较小、降水径流关系未发生显著改变。通过淮河梅雨与流域水资源量分析发现, 径流量丰枯与梅雨量多少一致性较高。利用逐步回归方法, 首次系统分析了淮河上游年径流量与降水强度的对应关系, 结果表明日降水量0~10 mm(占年降水量比例最大, 为29.7%), 产生的径流量占比最小(11.5%); 日降水量30~40 mm(占年降水量比例的10.9%)产生的径流量占比最高(25.4%)。梅雨量的多少决定了水资源量的丰枯。台风降水对淮河流域影响总体上利大于弊, 对缓解流域旱情、补充水资源效益显著。为有效地应对台风等强降水带来的洪涝威胁、更好地控制和利用水资源, 需加强水文气象耦合应用研究。

**关键词:** 淮河流域, 水资源量, 梅雨, 台风, 回归分析

**DOI:** 10.3969/j.issn.2095-1973.2020.05.013

## Analysis on the Change of Surface Water Resources and the Driving Effect of Precipitation in Huaihe River Basin

Qian Mingkai, Xu Sheng, Liang Shuxian, Liu Kailei

(Bureau of Hydrology (Information Center) of Huaihe River Commission, Anhui 233001)

**Abstract:** Based on the data of the third national water resources survey and evaluation, the evolution characteristics and interrelation of surface water resources and precipitation in Huaihe River basin are analyzed. The precipitation and runoff in the basin are characterized by concentrated flood season, seasonal unevenness and great difference in monthly extreme value. Overall, the variation range of surface water resources is relatively small compared with that of precipitation, and the relationship between precipitation and runoff has not changed significantly. According to the analysis of mould rains and water resources in Huaihe River Basin, it is found that the consistency between runoff and mould rains is high. The relationship between annual runoff and precipitation intensity in the upper reaches of the Huaihe River is analyzed for the first time by using stepwise regression method, it is found that: Daily precipitation of 0-10, accounts for the largest proportion of annual precipitation (29.7%), however, it produces only 11.5% of annual runoff. Daily precipitation of 30-40, accounts for the 10.9% of annual precipitation, however, it produces largest proportion of annual runoff (25.4%). The amount of mould rain determines the quantity of water resources. The effect of typhoon precipitation on Huaihe River Basin is more beneficial than harmful, and it can alleviate the drought and supplement water resources. In order to effectively deal with the threat of floods caused by typhoon and other heavy rainfall, and better control and utilization of water resources, it is necessary to strengthen the study of hydrological and meteorological coupling.

**Keywords:** Huaihe River Basin, water resources, mould rains, typhoon, regression analysis

### 0 引言

淮河流域位于我国南北气候过渡带, 极端气候事件发生的概率高, 降水变率大、旱涝并重、大旱大涝、旱涝交替现象突出, 未来极端事件的发生频率还有增加趋势, 迫切需要加强研究, 制定应对方案<sup>[1-2]</sup>。淮

河流域水资源严重短缺, 年人均水资源占有量不到500 m<sup>3</sup>, 仅为全国人均的1/5<sup>[3]</sup>。降水强度的变化及极端降水事件的发生将影响到可用水资源、洪涝事件、农业生产及生活习惯等<sup>[4]</sup>, 翟媛<sup>[5]</sup>、Woolhiser<sup>[6]</sup>等的研究表明不同地区、不同降水强度模式对产流量的影响巨大, 而产流量的多少又决定了洪水的水量和地表水资源的多寡。在全球变暖背景下, 淮河流域气候将趋于暖湿, 但年径流量将可能以减少趋势为主<sup>[7]</sup>。因此, 随着流域社会经将进入快速发展期, 水资源短

收稿日期: 2020年6月12日; 修回日期: 2020年8月12日

第一作者: 钱名开(1962—), Email: mkqian@hrc.gov.cn

通信作者: 徐胜(1968—), Email: xusheng@hrc.gov.cn

缺的问题将更加突出。同时，由于淮河流域地处东亚季风气候区，在梅雨季节和台风影响期间，强降水事件多发，这些强降水使流域面临洪涝威胁的同时，也带来了丰沛的水资源，研究分析淮河流域降雨径流关系以及不同降水强度和地表水资源的关系，对于适度承担风险、兼顾防洪安全和洪水资源利用具有重要意义。由于特殊的地形地貌、水利工程调度应用规则及后期降水信息不确定性等因素影响，水利部门的传统是将风险降至最低，防洪安全第一。在这种情况下，每年丢弃许多宝贵的水资源在所难免。如统计分析2000—2016年17年洪泽湖三河闸弃水和江都抽水站北调里运河水量发现：在主汛期6月21日—8月20日洪泽湖三河闸年均弃水量达到86.19 亿 $m^3$ ，而南水北调东线起点站江都站同期引水量为7.09 亿 $m^3$ ，弃水远多于引水。理论上讲，弃水应该能够补充引水量的需求。上述问题实质上也就是洪水资源的利用问题，要利用好洪水资源，关键是要精准预报和优化调度。精准预报就是对每一个水文预报单元，水文部门要根据雨水情现状和预报降水做出较为准确的水文预报，管理部门据此进行优化调度，实现洪水资源利用的最大化。2019年第11号台风“利奇马”影响淮河流域期间，水利部门依据水文气象耦合预报调度苏北骆马湖洪水，前期提前预泄洪水、中期合理调度洪水、后期及时蓄水就是水文气象耦合预报调度应用成功的典型个例。开展气象水文耦合预报应用研究，尤其是强降水的耦合预报应用研究，可为了解区域性的地表水资源主要影响因子，减轻洪涝灾害，适度利用洪水资源提供重要的支撑信息。

## 1 数据来源

全国第三次水资源调查评价淮河流域相关工作和计算成果，主要包括1956—2016年流域939个雨量站雨量，二级水资源分区面雨量、径流深、地表水资源量等资料（地表水资源量是指河流、湖泊、冰川等地表水体中由当地降水形成的、可以逐年更新的动态水量。一般在考虑农业、工业等用水消耗以及洪水弃水等因素，对实测径流量还原计算得到）；1956—2019年台风（本文将各等级热带气旋统称为台风）路径及台风影响淮河流域期间的降水资料，1956—2016年淮河流域每年入梅与出梅时间、梅雨量及2000—2016年部分南水北调东线工程调水量等数据。

## 2 降水时空分布

### 2.1 降水分布概况

淮河流域近60年来（1956—2016年）年均降雨878 mm，相应水量2365 亿 $m^3$ 。在水资源二级分区

中，淮河下游区降水量最大，为1022 mm，沂沭泗河区最小，为785 mm，各二级分区之间的降水量差异显著，空间变异大。淮河流域年均降水量等值线与水资源二级分区见图1，淮河区各二级水资源分区不同时期的降水量比较情况见表1。淮河流域年降水量变幅为600~1600 mm，总体呈现由南向北递减趋势。大于1600 mm的高值区主要位于南部大别山区，最大雨量点为花屋站（1715.2 mm）。

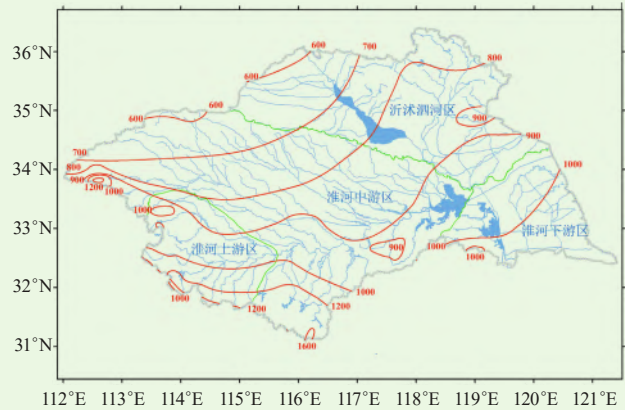


图1 淮河流域年均（1956—2016年）降水量（mm）等值线（红线）与水资源二级分区（绿线）图

Fig. 1 Annual average rainfall (1956—2016) contour line (red line) and secondary water resource division (green line) of Huaihe River Basin

表1 淮河区各二级水资源分区不同时期降水量（单位：mm）  
Table 1 Precipitation in different periods of secondary water resources division in Huaihe River region (unit: mm)

分区	1956—2000年	1956—2016年	1980—2016年
淮河上游区	1008	995	986
淮河中游区	864	871	874
淮河下游区	1011	1022	1030
沂沭泗河区	788	785	762
淮河流域	875	878	872

淮河流域降水年际变化剧烈，呈现最大与最小年份降水量比值（即极值比）、年降水量变差系数均较大，年际间丰枯变化频繁等特点。根据代表站统计结果，淮河流域年降水量极值比最大的雨量站点为河南省永城闸站（资料系列1931—2016年），极值比达7.1。流域极值比总体表现出南部小于北部、山区小于平原、淮北平原小于滨海平原等特点。

### 2.2 降水变化趋势

#### 2.2.1 年代际变化

从淮河流域不同年代年均降水量柱状图（图2）可以看出：淮河流域降水总体趋势为20世纪50年代后半期、60年代偏丰，70、80和90年代偏枯，进入21世纪后降水略有增加，前10年为偏丰状态，2011—2016

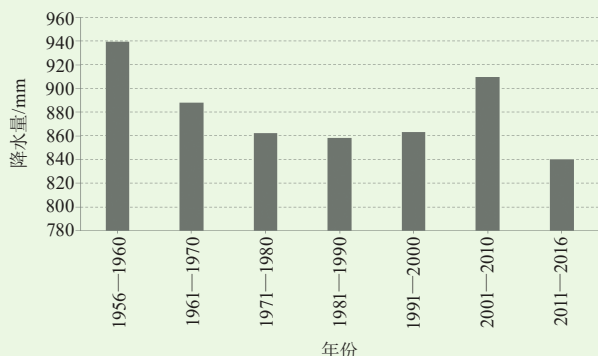


图2 淮河流域不同年代年均降水量柱状图

Fig. 2 Histogram of annual average precipitation in different years in Huaihe River Basin

年降水偏枯。

### 2.2.2 多年变化

经MK方法检验，1956—2016年降水量序列未发生突变（图3）。流域降水量总体呈不明显下降趋势，降幅约为1.59 亿m<sup>3</sup>/a，折合降水量变幅为-0.59 mm/a；其中淮河上游区降水量减小幅度为0.46 亿m<sup>3</sup>/a，相应降水量的变幅为-1.49 mm/a。

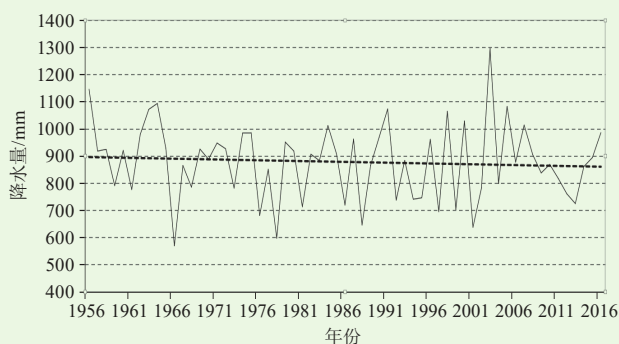


图3 淮河流域降水量多年变化趋势图

Fig. 3 Annual change trend of rainfall in Huaihe River Basin

## 3 地表水资源时空演变

### 3.1 总体特点

淮河流域地表水资源量主要由降水补给，呈现汛期径流集中，季间径流变化较大和最大、最小月径流相差悬殊等特点。1956—2016年多年平均地表水资源量606.26 亿m<sup>3</sup>，相应径流深225 mm，2003年地表水资源量最大，为1384.82 亿m<sup>3</sup>，1978年最小，为178.56 亿m<sup>3</sup>，极值比达7.76。其中淮河水系为464.41 亿m<sup>3</sup>，2003年最大，为1068.86 亿m<sup>3</sup>，1978年最小，为105.13 亿m<sup>3</sup>；沂沭泗水系为141.85 亿m<sup>3</sup>，2003年最大，为315.96 亿m<sup>3</sup>。流域不同区域不同频率年径流量详见表2。在地区分布上，多年平均天然径流深呈现南部大于北部、山区大于平原和沿海大于内陆的特点（图略）。

表2 淮河流域1956—2016年分区水资源量特征分析表  
Table 2 Characteristics of water resources in different areas in the Huaihe River Basin from 1956 to 2016

水资源二级分区	面积 /万km <sup>2</sup>	径流量 /亿m <sup>3</sup>	径流深 /mm	不同频率地表水资源量/亿m <sup>3</sup>			相对二调变幅/%
				50%	75%	90%	
淮河上游区	3.05	97.70	319.9	89.57	57.01	33.66	-5
淮河流域中游区	12.89	275.44	213.7	249.55	175.36	127.38	4
淮河流域下游区	3.17	91.26	287.8	84.40	54.43	32.54	10
沂沭泗河区	7.83	141.85	181.2	148.27	99.51	66.86	0
<b>淮河流域</b>	<b>26.94</b>	<b>606.26</b>	<b>225</b>	<b>575.83</b>	<b>430.05</b>	<b>323.15</b>	<b>1</b>

注：二调指全国第二次水资源调查评价。

### 3.2 趋势分析

经MK方法检验，淮河流域地表水资源量1956—2016年序列未发生突变。从流域地表水资源量变化趋势（图4）及流域二级分区地表水资源量变化趋势统计表（表3）分析，流域地表水资源量总体呈现下降的趋势，减小幅度为0.90 亿m<sup>3</sup>/a，只有淮河中游区、下游区略呈现递增趋势。

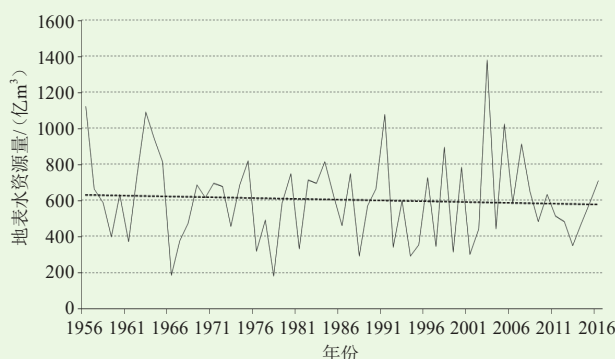


图4 淮河流域地表水资源量变化趋势图

Fig. 4 Change trend of surface water resources in Huaihe River Basin

表3 淮河流域水资源二级分区地表水资源量变化趋势统计表  
Table 3 Statistical table of the change trend of surface water resources in the secondary water resources division in Huaihe River Basin

水资源二级分区	面积/km <sup>2</sup>	整体趋势	变化幅度/ (亿m <sup>3</sup> /a)	最大值/亿m <sup>3</sup>	发生年
淮河上游区	3.05	递减	-0.44	242.26	1956
淮河流域中游区	12.89	递增	0.04	693.40	2003
淮河流域下游区	3.17	递增	0.22	249.40	1991
沂沭泗河区	7.83	递减	-0.72	314.31	2003
<b>淮河流域</b>	<b>26.94</b>	<b>递减</b>	<b>-0.90</b>	<b>1381.38</b>	<b>2003</b>

## 4 水资源与降水

### 4.1 降水径流关系

一个流域的径流量可以反映该地区水资源的丰歉程度。对不同年代各分区降雨径流关系进行分析对比（图5），可以看出1956—2000年、2001—2016年两个时期，淮河流域降水径流关系拟合程度均较好，降

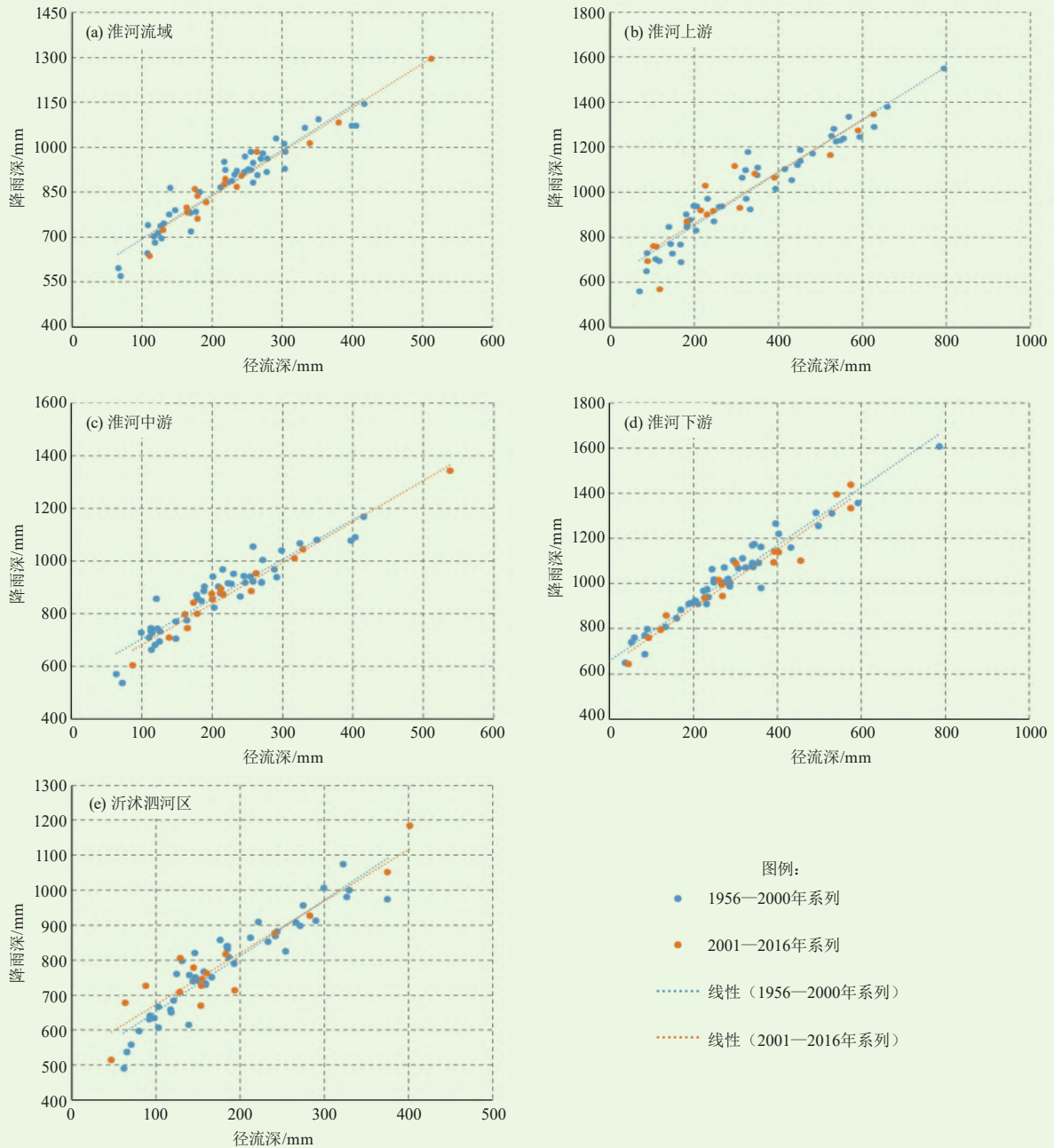


图5 淮河流域不同年代不同区域降雨径流关系对比图

Fig. 5 Comparison of precipitation-runoff relationship in different division of Huaihe River Basin in different years

水径流关系未发生显著改变。

#### 4.2 径流量与降水强度

不同降水强度分布对径流量影响较大,如淮河上游1967和1968年两个涝年的降水量分别为1178和1172 mm,两年仅差6 mm,但径流量分别为109.5 亿 $m^3$ 和159.1 亿 $m^3$ ,两者相差达49.6 亿 $m^3$ ,主要是因为1967年6、7、8、9月降水相对均匀,而1968年强降水主要集中在7月,降水量达479 mm(比常年同期偏多133%),导致王家坝站出现有记录以来最大洪水。淮河上游1966和

2001年两个旱年的降水量分别为560、569 mm,而径流量分别为23.4 亿 $m^3$ 、35.0 亿 $m^3$ ,两年的降水量接近,径流量差11.6 亿 $m^3$ ,这是因为1966年降水相对集中在7月,而1966年各月降水量均较少。

为揭示不同强度降水对年径流量的影响,本文以淮河上游区为例,将降水强度分为10 mm以下、10~20 mm、20~30 mm、30~40 mm、40~50 mm、50 mm以上6个量级,以历年不同量级日降水量累计值作为回归因子,采用逐步回归分析方法(回归方程见

式(1))，计算得出淮河上游年径流量，并统计出不同量级降水量因子对年径流量贡献权重(表4)。

表4 淮河上游不同降水量级计算年径流量权重系数表  
Table 4 Weight coefficient of annual runoff calculated by different precipitation levels in the upper reaches of the Huaihe River

降水强度量级	<10mm	10~20mm	20~30mm	30~40mm	40~50mm	>50mm
年累计降水均值/mm	290	245	158	106	68	107
占年降水量比值/%	29.7	25.2	16.2	10.9	7.0	11.0
回归系数	0.1644	0.1933	0.2055	0.3617	0.2539	0.2446
回归系数占比/%	11.5	13.6	14.4	25.4	17.8	17.2

$$y_{\text{径流量}} = -105.7 + 0.1644 \times X_{<10\text{mm}} + 0.1933 \times X_{10\sim20\text{mm}} + 0.2055 \times X_{20\sim30\text{mm}} + 0.3617 \times X_{30\sim40\text{mm}} + 0.2539 \times X_{40\sim50\text{mm}} + 0.2446 \times X_{>50\text{mm}} \quad (1)$$

由表4可以看出：淮河上游日降水量<10mm的年累计降水量均值为290mm，占全年降水量的29.7%，年径流量的计算权重(回归系数占比)仅为11.5%，占比最小；降水量级30~40mm的年累计降水量均值为106mm，占年降水量的10.9%，径流量占比最大(25.4%)；降水量级40~50mm、>50mm分别占年降水量均值的7.0%和11.0%，年径流量占比分别为17.8%和17.2%。说明降水强度越大，对年径流量的贡献越大。

## 5 水资源与影响天气系统

### 5.1 水资源与梅雨

依据《梅雨监测指标》<sup>[8]</sup>，统计分析的淮河流域平均入梅日期为6月19日，出梅日期为7月14日，梅雨日数为25d，梅雨量为218mm。流域历年地表水资源量与梅雨量相关系数为0.60，说明梅雨量与地表水资源量有较好的正相关关系。流域历年地表水资源量与梅雨量对应关系如图6。

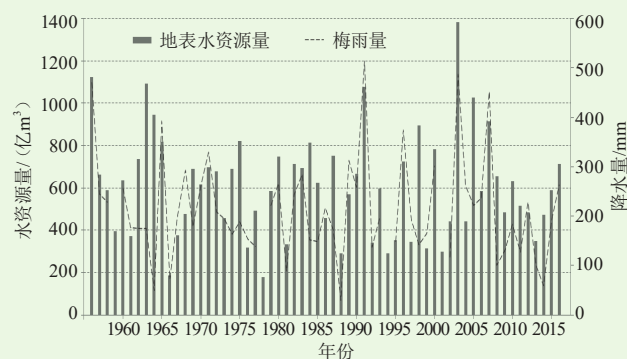


图6 流域历年地表水资源量与梅雨量关系

Fig. 6 Relationship between surface water resources and mould rains in the basin over the years

流域地表水资源量最大的前10个年份，水资源量均值为1009亿m<sup>3</sup>，比常年均值偏多66.5%，相应

年份的梅雨量均值为309mm，比历年梅雨量偏多42%，其中有5个年份排在梅雨量前10的年份之中，仅1964年梅雨期短(6月23日入梅、7月1日出梅)、梅雨量少(49mm)，但该年4、5、9、10月降水量分别为186、119、120和107mm，比常年同期分别偏多220%、58%、155%、205%。流域地表水资源量最少的10个年份，水资源量均值为290亿m<sup>3</sup>，比常年均值偏少52%，这10年中，有7年排在梅雨量最小的10个年份之中，其中有3年为空梅(1978、1994、2001年)，其余7年梅雨量均偏少，梅雨量均值为120mm，比历年梅雨量偏少45%。

流域梅雨量最多的10个年份，梅雨量均值为393mm，比多年均值偏多80%，相应年地表水资源量均值为856亿m<sup>3</sup>，比多年均值偏多41%。其中有5个年份排在水资源量最多的10年中，只有1968年梅雨量比常年偏多34%，但年降水量仅为775mm，地表水资源量为475.8亿m<sup>3</sup>，偏少21%。流域梅雨量最少或空梅的10个年份，除空梅外的6个年份梅雨量均值为66mm，比多年均值偏少70%，相应年地表水资源量均值为374亿m<sup>3</sup>，比多年均值偏少38%，其中有6个年份排在水资源量最少的10个年份之中。

为直观揭示梅雨量与年径流量关系，根据公式(1)拟合的淮河上游梅雨期径流量均值为32.4亿m<sup>3</sup>，占其年径流量(101亿m<sup>3</sup>)的32%。图7为淮河上游年天然径流量与梅雨期拟合径流量对比，可看出淮河上游年径流量与梅雨期拟合径流量一致性较好，相关系数为0.82，年径流量最大的10个年份，梅雨期拟合径流量比多年均值偏多123%，年径流量比多年均值偏多78%；年径流量最小的10个年份，梅雨期拟合径流量比多年均值偏少70%，年径流量也比多年均值偏少49%。

### 5.2 水资源与台风

据统计<sup>[9]</sup>，1956—2019年64年中共有113个台风(热带风暴统称台风)影响淮河流域降水，约占西太平洋和南海所有生成台风的6.6%，真正诱发淮河流域产生较大洪涝灾害的只有2个(分别是“7412”和

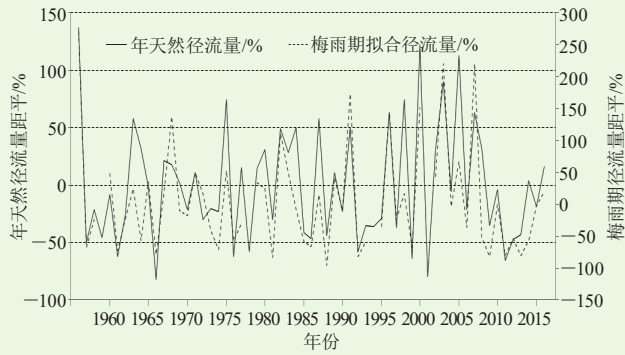


图7 淮河上游年径流量与梅雨期拟合径流量趋势对比  
Fig.7 Comparison of annual runoff in the upper reaches of Huaihe River with the fitted runoff trend in mould rains period

“7503”号台风), 仅占影响流域降水台风的1.8%。

台风降水能给淮河流域带来较丰沛的水资源并缓解旱情。经统计<sup>[10-11]</sup>, 平均每个影响流域台风带来的平均降水约24 mm, 其中淮河水系24 mm, 沂沭泗河水系25 mm, 最大降水区间为里下河区(39 mm), 其次为新沂河区(38 mm), 最小降水区间为南四湖区的14 mm(为进一步细化分析, 本节将水资源分区沂沭泗河区分成南四湖区、沂沭河区和新沂河区(图略))。图8是1956—2019年各年7—9月总降水与台风降水序列对比图, 从图中可以看出, 台风降水较多的年份, 7—9月降水相对偏多, 7—9月淮河易受副热带高压控制, 高温少雨, 台风降水可适时补充水资源的不足。

以2019年第11号台风“利奇马”为例, 进一步分析台风与流域水资源和洪涝关系如下: 2019年6—7月淮河流域出现了严重干旱, 沂沭泗降水比常年同期偏少37%。8月10—11日“利奇马”给沂沭泗水系带来142 mm降水, 解除了持续多日的旱情。受台风影响, 沂沭泗水系沂河、沭河相继发生2019年第1号洪水, 但通过气象水文耦合预报和工程调度, 在暴雨到来时

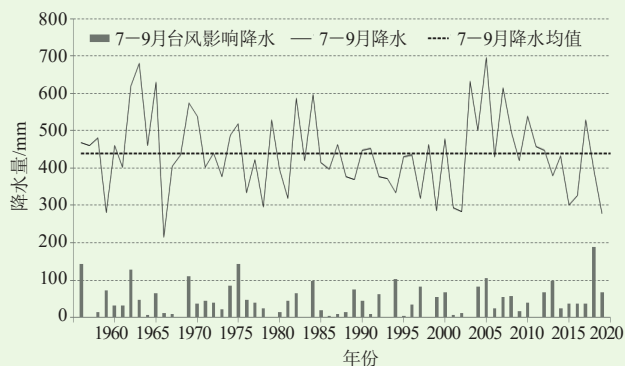


图8 1956—2019年各年7—9月总降水与台风降水序列对比  
Fig. 8 Comparison of total precipitation and typhoon precipitation in July–September of 1956–2019

提前预泄骆马湖洪水, 保障了防洪安全, 并在适当时机关闭嶂山闸, 截留尾部洪水资源, 期间还调度10.15亿 $m^3$ 洪水到旱情严重的淮河水系, 取得了可观经济和社会效益。通过气象水文耦合预报和科学调度, 不但可有效减轻强降水带来的危害, 还能化危害为效益。

## 6 结论与建议

1) 根据淮河流域1956—2016年降水、地表水资源量等资料分析, 淮河流域多年平均降水878 mm、径流深225 mm; 从多年变化趋势上看, 流域降水量、径流量总体呈不明显降低趋势, 其中降水量的变幅为-1.59 亿 $m^3/a$ , 地表水资源量的变幅为-0.90 亿 $m^3/a$ 。

2) 降水强度是影响径流丰枯的重要因子, 淮河上游区的分析表明: 日降水量 $<10$  mm占年降水量的29.7%, 产生径流仅占全年的11.5%, 占比最少。日降水量为30~40 mm的降水量占年降水量的10.9%, 产生径流占全年的25.4%, 占比最大。日降水量为10~20 mm、20~30 mm、40~50 mm、50 mm以上产生的径流量分别占全年的13.6%、14.4%、17.8%和17.2%。

3) 淮河流域年地表水资源量与梅雨量有较好的正相关关系。地表水资源明显偏多的年份, 梅雨量也明显偏多, 反之梅雨量则明显偏少或为空梅。

4) 台风对淮河流域的降水影响总体上利大于弊, 台风降水对缓解流域旱情、补充水资源有重要作用, 带来严重洪涝灾害的概率不大。

5) 加强淮河流域地表水资源量变化分析, 发展气象水文耦合预报技术并应用于工程调度, 可有效地减轻强降水带来洪涝威胁, 并为洪水资源利用提供有效的决策支持信息。

### 参考文献

- [1] 程兴无, 陈星, 钱名开, 等. 淮河流域旱涝气候演变. 中国水利水电出版社, 2019: 228-232.
- [2] 王飞, 张婷. 淮河流域水旱灾害成因与减灾策略探讨. 中国水利, 2012(17): 32-34.
- [3] 董秀颖, 王振龙. 淮河流域水资源问题与建议. 水文, 2012(4): 74-79.
- [4] Liew S C. Analysis of extreme precipitation events in Southeast Asia using TRMM data. IGARSS 2014, Quebec, 13-18 July 2014: 247-249.
- [5] 翟媛. 黄土高原地区降雨径流理论分析. 人民黄河, 2015, 37(9): 14-16.
- [6] Woolhiser D A, Goodrich D C. Effect of storm rainfall intensity patterns on surface runoff. Journal of Hydrology, 1988, 102(1-4): 335-354.
- [7] 高歌, 陈德亮, 徐影. 未来气候变化对淮河流域径流的可能影响. 应用气象学报, 2008(6): 741-748.
- [8] 国家质检总局, 国家标准委. GB/T 33671—2017 梅雨监测指标. 北京: 国家质检总局, 国家标准委, 2017.
- [9] 梁树献, 周国良, 高唯清, 等. 登陆台风对淮河流域降水影响特征分析. 中国防汛抗旱, 2019, 29(11): 43-48.
- [10] 钱名开, 梁树献, 冯志刚, 等. 淮河流域暴雨与梅雨台风. 北京: 中国水利水电出版社, 2019: 115-118.