

汉江流域水资源分析与评价

熊明, 徐长江, 李威, 卜慧

(水利部长江水利委员会水文局, 430010, 武汉)

摘要: 汉江作为南水北调中线、引汉济渭、鄂北地区水资源配置工程的水源地, 对我国经济社会协调发展具有重要支撑作用。随着近年气候变化和人类活动影响加剧, 汉江流域水资源供需矛盾日益突出, 在此背景下系统分析其水资源量时空分布特征显得尤为必要。基于1956—2016年汉江流域降水量和地表水资源量数据, 以及2001—2016年汉江流域地下水资源量数据, 对降水量、地表水资源量和地下水资源量空间分布特征及其年际变化趋势进行分析。结果表明: ①汉江流域1956—2016年多年平均年降水量为897.7 mm, 多年平均年水面蒸发量700~1100 mm; ②流域多年平均年径流深200~900 mm, 连续最大4个月径流占全年径流的55%~72%, 出现时间大多在7—10月; ③流域山丘区地下水资源相对丰富, 整体而言山丘区地下水资源量占比要高于平原区; ④流域多年平均年水资源总量为564.0亿 m^3 , 涉及陕西、湖北、河南、四川、重庆、甘肃6个省级行政区, 水资源总量分别为251.3亿 m^3 、220.1亿 m^3 、69.46亿 m^3 、3.852亿 m^3 、18.83亿 m^3 和0.4495亿 m^3 。

关键词: 汉江流域; 时空分析; 降水; 地表水资源; 地下水资源

Analysis and evaluation of water resources in the Hanjiang River basin//Xiong Ming, Xu Changjiang, Li Wei, Bu Hui

Abstract: As the water source region for the Middle Route of the South-to-North Water Diversion Project, the Han-to-Wei Water Diversion Project, and the water resource allocation project in northern Hubei, the Hanjiang River is critical to supporting China's coordinated economic and social development. In recent years, intensified impacts of climate change and human activities have exacerbated the conflict between water supply and demand in the basin, highlighting the necessity for a systematic analysis of its water resources' spatiotemporal distribution characteristics. Based on precipitation and surface water resource data (1956–2016) and groundwater resource data (2001–2016), this study analyzes the spatial distribution and interannual variation trends of precipitation, surface water resources, and groundwater resources in the Hanjiang River basin. The results indicate: (1) The long-term average annual precipitation in the Hanjiang River basin (1956–2016) is 897.7 mm, with annual evaporation ranging from 700 to 1100 mm. (2) The long-term average annual runoff depth ranges from 200 to 900 mm, with runoff during the maximum four consecutive months accounting for 55%~72% of total annual runoff, mostly occurring from July to October. (3) Groundwater resources are relatively abundant in mountainous areas, with their proportion being higher in mountainous regions compared to plains. (4) The long-term average annual total water resources in the basin are 56.40 billion m^3 , distributed across six provincial-level administrative regions: Shaanxi (25.13 billion m^3), Hubei (22.01 billion m^3), Henan (6.946 billion m^3), Sichuan (0.385 billion m^3), Chongqing (1.883 billion m^3), and Gansu (0.045 billion m^3).

Keywords: Hanjiang River basin; spatiotemporal analysis; precipitation; surface water resources;

收稿日期: 2024-10-21

作者简介: 熊明, 正高级工程师, 主要从事水文水资源分析计算研究。

基金项目: 国家重点研发计划项目(2023YFC3206001); 湖北省自然科学基金联合基金项目(2024AFD354)。

groundwater resources

中图分类号: TV213.4 文献标识码: B 文章编号: 1000-1123(2024)23-0042-07

一、引言

水资源是人类社会生存和发展的重要基础,其时空分布直接影响着区域生态环境的稳定和经济社会的发展。汉江作为长江的重要支流,不仅承载本流域内生态安全和社会发展的用水需求,还是南水北调中线、引汉济渭、鄂北地区水资源配置工程的水源地,对经济社会的协调发展发挥着重要支撑价值。近年来,随着气候变化加剧和人类活动影响,汉江流域水资源供需矛盾日益突出,生态系统平衡也受到严重冲击。在此背景下,对汉江流域水资源时空分布特征进行系统分析显得尤为必要,有助于促进区域水资源的可持续利用,并为生态环境保护与区域协调健康发展提供科学依据。

目前针对汉江流域水资源的研究很多,侧重点不尽相同,如水利工程的建设影响、气候变化的影响、生态保护和修复等方面,其中不乏对水资源及开发利用现状的分析。但以往的研究通常仅关注各水资源要素的总量情况或者局限于流域局部地区,并未对整个汉江流域的水资源进行系统和全面的梳理。本文基于1956—2016年汉江流域降水量和地表水资源量数据,以及2001—2016年汉江流域地下水资源量数据,对降水量、地表水资源量和地下水资源量空间分布特征及其年际变化趋势进行分析,以揭示汉江流域水资源的整体格局。研究结果可为汉江流域的水资源管理提供有力的基础支撑。

二、研究区域概况

汉江发源于秦岭南麓,干流流经陕西、湖北两省,于武汉市汇入长江,支流延展至甘肃、四川、重庆、河南四省(直辖市),各省(直辖市)位于汉江流域内的面积分别占流域总面积的40.4%、40.2%、0.1%、0.3%、1.5%和17.5%。汉江干流全长1577 km,总落差1964 m,流域面积15.9万km²。流域内集水面积大于1000 km²的一级支流有21条,其中面积超过1万km²的有堵河、丹江、唐白河。

汉江流域属东亚副热带季风气候区,冬季受欧亚大陆冷高压影响,夏季受西太平洋副热带高压影响,气候具有明显的季节性。流域降水主要来源于东南和西南

两股暖湿气流,降水年内分配不均匀。流域河川径流补给主要来自大气降水,地表水资源时空分布与降水基本一致,径流年内分配极不均匀,且年际变化剧烈。流域暴雨多发生在7—9月,具有前、后期暴雨的显著特点。洪水由暴雨产生,时空分布与暴雨一致,同样具有明显的前、后期特点。前期夏季洪水发生在9月份以前,往往是全流域性洪水,后期秋季洪水一般来自流域上游地区,多为连续洪峰,具有历时长、洪峰大的特点。

三、降水及蒸发

1. 降水量空间分布特征

汉江流域1956—2016年多年平均年降水量为897.7 mm,折合降水总量1395.1亿m³,占长江流域降水量约7.2%。涉及陕西、湖北、河南、四川、重庆、甘肃6个省级行政区,多年平均年降水量分别为880.0 mm、942.9 mm、805.4 mm、1344.4 mm、1157.3 mm和666.2 mm。

汉江流域年降水量呈现南岸大于北岸,上下游大、中游小的地区分布规律。流域内有3个降水量在900 mm以上的降水高值带,即流域西南部的米仓山、大巴山高值带,高值区雨量分别为1800 mm和1500 mm;流域西北角秦岭山地高值带,其高值区雨量为1000 mm;流域东南部鄖阳区以下河段以南和皇庄、唐河一线以东地区高值带,以及汉江出口附近,年降水量为1200 mm。800 mm以下的低值带从西至东散布于流域西北角褒河上游,北部边界夹河、丹江口上游,中部白河、竹山一带及唐白河中下游地区(其中丹江上游商丹盆地和东部南襄盆地内乡、镇平、邓州之间为700 mm以下低值区)。汉江流域降水量空间分布情况见图1。

2. 降水量年内年际变化特征

汉江上游年内降水有3个集中时段,其中4月下旬至5月下旬为春汛,6月下旬至7月下旬为夏汛,8月下旬至10月为秋汛。夏汛时段雨量最大,秋汛次之,但遇特殊天气时,秋汛雨量也可能超过夏汛。降水年内分配不均匀,5—10月降水量占全年降水量的74%~86%,7、8、9三个月降水量占年降水量的42%~56%。唐白河7—8月受热带天气系统影响,上游伏牛山区常形成暴雨,多年平均最大连续4个月降

水量400~670 mm,占全年降水量的56%~71%。汉江中下游干流位于亚热带与暖温带气候的过渡地区,降水年内分配极不均匀,6—8月降水量最大,占全年降水量的38%~45%。汉江流域典型代表站降水量年月分配见表1。

统计汉江流域雨量站点年特征值,年降水变差系数 C_v 值位于0.12~0.35范围内,年极值比大多在2~4,极值比最大为商洛的照川站,可达4.7。最大年降水量1539 mm,发生在1964年;最小年降水量329 mm,发生在1995年。表2中展示了部分典型雨量代表站年降水特征值。根据汉江流域年降水过程(见图2)及不同年代降水距平图(见图3),全流域降水量呈现波动下降,20世纪80年代是丰水年,90年代是枯水年。汉江上游降水变化除21世纪10年代略有上升外,其余年代与全流域基本相似,

中下游呈波动下降趋势,于21世纪10年代达最小值。

3. 蒸发量年内分配特征

汉江流域年水面蒸发量为700~1100 mm,空间分布大致由西南向东北递增。根据汉江流域蒸发代表站历年逐月水面蒸发量统计,最大4个月水面蒸发量均出现在5—8月,占全年水面蒸发量的47%~57%。典型代表站水面蒸发量年内分配见表3。

陆面蒸发量在500 mm左右,以6、7月份最大,1月份最小,盆地大于山地。1980—2016年汉江流域多年平均年陆地蒸发量为538.3 mm,蒸发系数约0.6。

四、地表水资源量

1. 地表水资源量空间分布特征

汉江流域1956—2016年多年平均年地表水资源

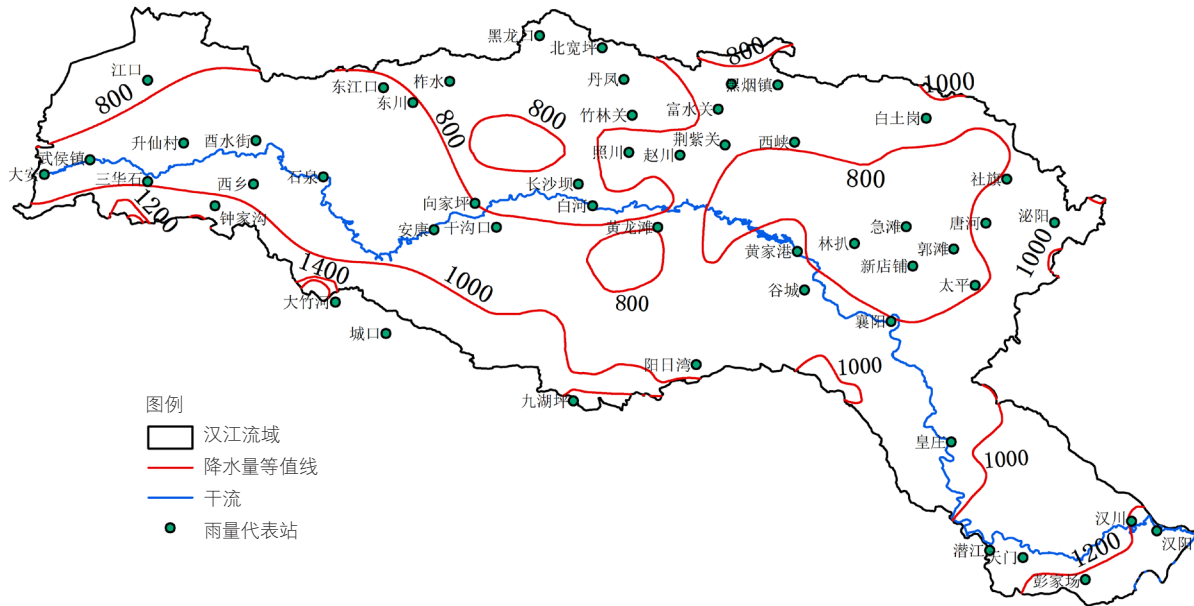


图1 汉江流域多年平均年降水量等值线

表1 汉江流域典型代表站降水量年月分配

站名	月分配(%)												全年(mm)
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
西峡	1.6	2.0	4.6	7.6	9.4	11.4	21.4	17.8	11.7	7.4	3.8	1.4	830.0
石泉	0.7	1.2	3.4	6.8	10.9	12.0	20.1	14.9	16.7	8.8	3.7	0.8	888.2
安康	0.7	1.3	4.2	8.0	11.1	14.0	16.9	14.1	15.7	9.5	3.6	0.9	838.5
白河	1.3	2.0	5.1	8.5	10.7	11.8	16.6	15.3	14.2	9.0	4.3	1.3	771.3
唐河	1.8	2.6	4.6	7.6	10.1	13.9	19.9	16.4	10.7	6.8	3.9	1.6	838.6
襄阳	2.2	3.0	5.9	8.8	12.1	12.1	16.4	14.8	10.6	7.5	4.7	2.0	840.3
皇庄	2.3	3.5	5.7	9.0	13.0	14.0	18.0	13.3	8.2	6.9	4.4	1.8	938.6

量为543.7亿m³，占长江流域地表水资源量的5.6%，相应径流深为349.8 mm，低于长江流域平均值。汉江流域涉及的陕西、湖北、河南、四川、重庆、甘肃6个省级行政区，其地表水资源量分别为246.3亿m³、213.5亿m³、60.71亿m³、3.852亿m³、18.83亿m³和0.4495亿m³；相应径流深分别为392.5 mm、342.0 mm、223.3 mm、765.9 mm、794.3 mm和266.0 mm。

汉江流域年径流的地区分布与降水量大体一致。由于陆地蒸发量的地区分布与降水量相反，使得年径流深的地区分布更不均匀。流域内年径流深大多在200~900 mm。3个降水高值带的年径流深中，秦岭山地和米仓山、大巴山一带均在400 mm以上，局部高值区年径流深可达1000 mm；流域东南部及东部降水高值带由于陆地蒸发量大，年径流深和其余大部分地区一

表2 汉江流域典型代表站年降雨量特征值

站名	水资源三级区	地级行政区	C _v	年最大降水		年最小降水		极值比
				降水量 (mm)	年份	降水量 (mm)	年份	
西峡	丹江口以上	南阳市	0.23	1387.8	1958	498.7	1978	2.8
石泉	丹江口以上	安康市	0.20	1476.1	1983	607.3	2006	2.4
安康	丹江口以上	安康市	0.20	1147.2	2010	501.1	1999	2.3
白河	丹江口以上	安康市	0.23	1176.9	1958	441.2	1997	2.7
唐河	唐白河	南阳市	0.25	1394.5	1967	404.4	2001	3.4
襄阳	丹江口以下干流	襄阳市	0.20	1222.5	1967	546.0	1966	2.2
皇庄	丹江口以下干流	荆门市	0.23	1470.8	1980	536.5	2012	2.7

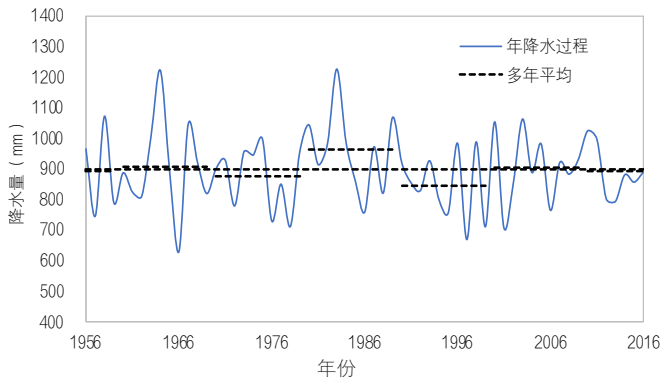


图2 汉江流域年降水过程

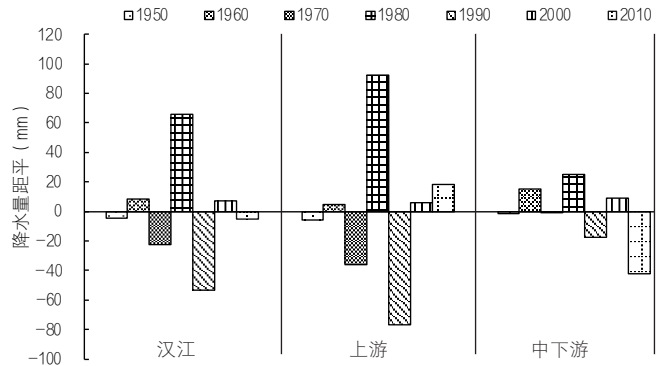


图3 汉江流域及上中下游不同年代降水距平

表3 汉江流域典型代表站水面蒸发量年内分配

站名	月分配 (%)												全年 (mm)
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
荆紫关	3.6	4.2	6.8	9.5	11.9	12.9	12.7	12.1	9.0	7.5	5.5	4.3	939.2
郟西	3.4	4.4	7.0	9.8	12.2	13.2	13.3	12.6	8.7	6.7	4.9	3.9	866.3
六口	3.7	4.4	7.1	9.7	11.4	11.9	14.0	14.0	9.4	6.4	4.5	3.6	588.4
南宽坪	3.6	4.6	7.5	10.5	12.4	13.7	13.8	12.1	8.0	5.9	4.2	3.7	906.7
泌阳	3.1	4.1	6.8	9.3	11.9	13.2	12.8	12.0	10.0	7.8	5.2	3.9	916.3
襄阳	3.5	4.3	7.1	9.9	12.6	12.4	12.6	11.8	9.5	7.1	5.0	4.0	902.6
汉川	3.1	3.6	5.5	8.1	10.8	11.4	14.9	14.6	11.3	7.8	5.1	3.7	851.3

样为300~400 mm;年径流深小于200 mm低值区位于丹江上游商丹盆地及东部南襄盆地一带。

2. 地表水资源量年内年际变化特征

根据汉江流域水文代表站及控制站历年逐月河川径流量统计(见表4),汉江流域多年平均连续最大4个月径流占全年径流的55%~72%,出现时间大多在7—10月。由于流域的调蓄作用,径流的集中程度略低于降水。

各水文测站年径流变差系数 C_v 值为0.3~0.7,其分布趋势由西向东递增,径流年际变化明显大于降水,径流系数为0.24~0.58。汉江流域年径流过程(图4)与降水过程(图2)基本一致,全流域地表径流量呈现波动下降,20世纪80年代是丰水年(1980、1983、1984、1989年均是较大水年),90年代是枯水年。

五、地下水资源量

汉江流域地下水资源的分布呈现出明显的空间差异,这种差异由区域的地形特征、土壤渗透性以及补

给途径的不同所决定。地下水的形成主要依赖于降水的入渗补给,但各区域由于地形条件和水文因素不同,地下水资源的分布和储量存在差异(见表5)。

1. 山丘区地下水资源特征

汉江流域山丘区的地下水资源相对丰富,流域内各省份山丘区地下水资源量占比均高于平原区。汉江流域内四川省的地下水资源主要集中在山丘区,总量为0.5463亿 m^3 。在该区域,地下水主要依赖降水的入渗补给,单一的补给方式使得四川省的地下水资源相对有限。与四川省类似,甘肃省和重庆市的地下水资源也主要集中在山丘区,补给方式同样单一,储量相对较小,分别为0.1318亿 m^3 和4.439亿 m^3 。

2. 平原区地下水资源特征

汉江流域的平原区主要分布于河南省、湖北省和陕西省3个省份。平原区地下水资源除通过降水下渗进行补给,还可通过地表水资源补给。湖北省是汉江流域内地下水资源最为丰富的省份,地下水资源总量达到83.33亿 m^3 ,远高于其他地区,该省山丘区和平原

表4 汉江流域主要测站多年平均年径流量及年内分配

站名	月分配(%)												全年(亿 m^3)
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
荆紫关	3.1	2.6	3.8	6.1	7.2	6.3	15.0	14.0	17.6	13.6	6.6	4.1	14.46
黄龙滩	2.1	2.1	3.9	7.3	9.4	12.3	16.6	14.0	12.7	11.0	5.8	2.8	58.00
石泉	2.4	2.1	3.1	5.6	7.8	7.8	18.4	14.5	18.2	11.3	5.5	3.3	108.4
安康	2.3	2.0	3.5	6.3	8.8	9.0	18.1	13.5	17.5	11.1	5.0	3.0	194.0
新店铺	2.2	1.9	2.5	3.7	5.3	7.2	24.5	23.2	13.6	8.5	4.4	3.0	23.52
郭滩	1.9	1.8	2.4	3.4	5.2	9.5	28.2	23.7	10.8	7.0	3.9	2.3	15.53
皇庄	2.2	1.9	3.9	6.6	9.0	9.6	17.4	15.1	15.1	10.6	5.3	3.2	491.3

表5 汉江流域地下水资源量

单位:亿 m^3

名称	地下水资源量			
	山丘区	平原区	重复量	分区
陕西	59.55	6.650	1.517	64.69
湖北	58.01	26.82	1.499	83.33
河南	17.22	8.300	0.7727	24.75
四川	0.5463	0	0	0.5463
重庆	4.439	0	0	4.439
甘肃	0.1318	0	0	0.1318
汉江流域	139.9	41.77	3.789	177.9

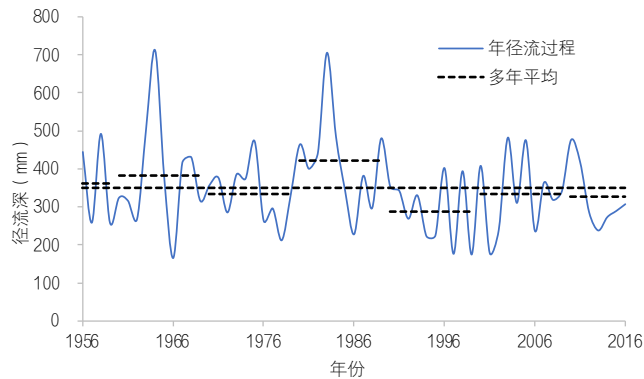


图4 汉江流域年径流过程

区地下水资源分别为58.01亿 m^3 和26.82亿 m^3 。汉江流域内,陕西省的地下水资源量仅次于湖北省,总量为64.69亿 m^3 ,其中山丘区的地下水资源量为59.55亿 m^3 ,平原区的地下水资源量为6.650亿 m^3 。河南省的地下水资源分布相对均衡,山丘区和平原区均有丰富的地下水储量,该省山丘区的地下水资源量为17.22亿 m^3 ,平原区为8.300亿 m^3 ,总体地下水资源量为24.75亿 m^3 。

3. 地下水资源整体分布特征

总体来看,汉江流域的地下水资源呈现出明显的空间不均衡性,流域内湖北、陕西、河南3个省贡献了大部分地下水资源储量。相反,甘肃、四川和重庆等地,由于省内位于汉江流域的面积相对较小,加之地势起伏大、降水入渗有限,地下水资源相对匮乏。此外,汉江流域的地下水资源补给和消耗的动态平衡在不同地区表现出明显差异。山区的地下水资源相对稳定,而平原区则面临补给与流失之间的不平衡问题。这种动态平衡差异使得干旱时期平原区的地下水资源更易受到消耗和损失的影响。

六、水资源总量

汉江流域山地约占55%,主要分布在西部,为中低山区;丘陵占21%,主要分布于南襄盆地和江汉平原周缘;平原区占23%,主要为南襄盆地、江汉平原及汉江河谷阶地;湖泊约占1%,主要分布于江汉平原。在山丘区,河川基流量与地下水资源量近似,又是地表和地下水资源量重复量;在平原区,存在地表水与地下水的非重复量。因此,汉江流域水资源总量近似等于地表水资源量加上地表地下水不重复量。汉江流域多年平均水资源量为564.0亿 m^3 ,产水系数0.40,产水模数36.29万 m^3/km^2 。涉及陕西、湖北、河南、四川、重庆、

甘肃6个省级行政区,水资源总量分别为251.3亿 m^3 、220.1亿 m^3 、69.46亿 m^3 、3.852亿 m^3 、18.83亿 m^3 和0.4495亿 m^3 (见表6)。

七、结论

①汉江流域1956—2016年多年平均年降水量为897.7 mm,流域年降水量呈现南岸大于北岸和上下游大、中游小的地区分布规律。汉江上游5—10月降水量占全年降水量的74%~86%,7、8、9三个月降水量占年降水量的42%~56%;唐白河多年平均最大连续4个月降水量为400~670 mm,占全年降水量的56%~71%。汉江中下游6—8月降水量最大,占全年降水量的38%~45%。汉江流域年水面蒸发量为700~1100 mm,空间分布大致由西南向东北递增。最大4个月水面蒸发量均出现在5—8月,约占全年水面蒸发量的47%~57%。

②汉江流域1956—2016年多年平均年地表水资源量为543.7亿 m^3 ,占长江流域地表水资源量的5.6%,相应径流深为349.8 mm。汉江流域年径流的地区分布极不均匀。流域内多年平均年径流深为200~900 mm,多年平均连续最大4个月径流占全年径流的55%~72%,出现时间大多在7—10月。由于流域的调蓄作用,径流集中程度略次于降水。

③汉江流域山丘区的地下水资源相对丰富,流域内各省份山丘区地下水资源量占比均高于平原区。湖北、陕西、河南、重庆、四川和甘肃的地下水资源总量分别为83.33亿 m^3 、64.69亿 m^3 、24.75亿 m^3 、4.439亿 m^3 、0.5463亿 m^3 、0.1318亿 m^3 。总体来看,汉江流域内湖北、陕西、河南3个省贡献了大部分地下水资源储量。相反,甘肃、四川和重庆等地由于位于汉江流域的面积相对较小,加

表6 汉江流域水资源量

名称	降水量(亿 m^3)	地表水资源量(亿 m^3)	地下水资源量(亿 m^3)		水资源总量(亿 m^3)	产水系数	产水模数(万 m^3/km^2)
			资源量	其中不重复量			
陕西	552.3	246.3	64.69	4.940	251.3	0.45	40.04
湖北	588.6	213.5	83.33	6.623	220.1	0.37	35.26
河南	219.0	60.71	24.75	8.754	69.46	0.32	25.55
四川	6.763	3.852	0.5463	0	3.852	0.57	76.59
重庆	27.44	18.83	4.439	0	18.83	0.69	79.43
甘肃	1.126	0.4495	0.1318	0	0.4495	0.40	26.60
汉江流域	1395	543.7	177.9	20.32	564.0	0.40	36.29

之地势起伏大、降水入渗有限,地下水资源相对较少。

④汉江流域多年平均年水资源总量为564.0亿 m^3 ,产水系数0.40,产水模数36.29万 m^3/km^2 。涉及的陕西、湖北、河南、四川、重庆、甘肃6个省级行政区,水资源总量分别为251.3亿 m^3 、220.1亿 m^3 、69.46亿 m^3 、3.852亿 m^3 、18.83亿 m^3 和0.4495亿 m^3 。

参考文献:

- [1] 王浩,游进军.锚定国家需求 以水资源优化配置助力高质量发展[J].中国水利,2022(19):20-23.
- [2] 王宗志,叶爱玲,刘克琳,等.流域水资源供需双侧调控模型及应用[J].水利学报,2021,52(3):265-276.
- [3] 夏军,翟金良,占车生.我国水资源研究与发展的若干思考[J].地球科学进展,2011,26(9):905-915.
- [4] 肖雪,李清清,吴江,等.面向刚性约束的汉江流域水资源承载状况评价及管控建议[J].中国水利,2023(14):39-43.
- [5] 蔡述明,陈国阶,杜耘,等.汉江流域可持续发展的思考[J].长江流域资源与环境,2000(4):411-418.
- [6] 夏细禾,陶聪.长江流域水资源统一调度实践与思考[J].人民长江,2022,53(12):69-74.
- [7] 陈述,纪勤,颜克胜,等.长江流域水资源-经济-生态系统的耦合协调及影响因素研究[J].水资源与水利工程学报,2023,34(3):28-36.
- [8] 胡安焱,张自英,王菊翠.水利工程对汉江中下游水文生态的影响[J].水资源保护,2010,26(2):5-9.
- [9] 符蓉,梁玉洁,谢治国,等.汉江流域生态安全时空变化及其影响因素[J].水土保持研究,2024,31(6):139-148+160.
- [10] 金文婷,贾苗苗,白朝旭,等.汉江水资源开发利用研究的文献计量分析[J].陕西理工大学学报(自然科学版),2024,40(4):85-94.
- [11] 杨之麟,赵东昌.汉江上游干流水电建设的回顾与展望[J].水力发电,1991(2):16-19.
- [12] 荣凤聪,徐德龙.丹江口水利枢纽对汉江中下游防洪影响分析[J].人民长江,1998(3):14-15+46.
- [13] 黄凯,段凯.汉江流域骤旱演变规律及其对南水北调中线工程的响应分析[J].人民珠江,2024,45(6):10-19.
- [14] 王暄宇,顾文权,胡雅洁,等.变化环境下汉江流域水循环要素响应规律[J].中国农村水利水电,2024(7):35-44.
- [15] 王磊,曾思栋,阳林翰,等.基于CMIP6的气候变化下汉江流域气象干旱特征研究[J].水资源保护,2024,40(5):39-45+61.
- [16] 安彬,肖薇薇.气候变暖背景下汉江流域降水和气温时空变化特征[J].人民长江,2024,55(2):84-92.
- [17] 朱炳臣,李同昇,陈谢扬,等.汉江流域生态综合网络构建与生态安全格局识别研究[J].长江流域资源与环境,2024,33(2):362-373.
- [18] 赵佐平,闫莎,同延安,等.汉江流域上游生态环境现状及治理措施[J].水土保持通报,2012,32(5):32-36+60.
- [19] 李柏山,粟颖,周培疆,等.汉江流域水资源供需平衡及其承载力研究[J].环保科技,2015,21(1):36-41.
- [20] 顾自强,高飞,汪周园.汉江流域水资源现状及承载力研究[J].环境与可持续发展,2014,39(6):99-102.
- [21] 朱焯,李杰,潘红忠.南水北调中线调水对汉江中下游水文情势的影响[J].人民长江,2019,50(1):79-83.
- [22] 陈婷,夏军,邹磊.汉江上游流域水文循环过程对气候变化的响应[J].中国农村水利水电,2019(9):1-7.
- [23] 晏德莉,李双双,延军平,等.汉江流域降水非均匀性变化特征分析[J].武汉大学学报(理学版),2020,66(4):377-385.
- [24] 雷波,张蓉,张琳琳.陕西省汉江流域水资源及其开发利用状况分析[J].陕西水利,2021(11):65-67.
- [25] 彭涛,梅子祎,董晓华,等.基于Budyko假设的汉江流域径流变化归因[J].南水北调与水利科技(中英文),2021,19(6):1114-1124.
- [26] 马永胜.引汉济渭跨流域调水系统优化调度关键技术理论与实践[D].西安:西安理工大学,2021.
- [27] 陈泽怡,余珮珩,陈奕云,等.汉江流域水源涵养和水质净化服务时空分析[J].生态经济,2022,38(4):193-200.
- [28] 陈连军,邓瑞,邓志民.汉江流域水工程生态流量保障实践及思考[J].人民长江,2023,54(5):101-105+120.
- [29] 谢家旭,郭广芬,杜良敏,等.汉江流域盛夏期极端降水特征及大气环流分型研究[J].人民长江,2023,54(9):91-98+105.
- [30] 岳紫莹,邓玉,倪福全,等.未来气候情景下汉江流域中上游径流量变化[J].中国农业气象,2024,45(7):715-728.

责任编辑 熊 璠