

渭河“2019.9”洪水特性及气象成因分析

史玉品¹, 靳莉君¹, 刘静¹, 刘龙庆¹, 张防修²

(1. 黄河水利委员会水文局, 河南 郑州 450004; 2. 黄河水利委员会黄河水利科学研究院, 河南 郑州 450003)

摘要: 为了进一步了解渭河秋汛洪水的特性及成因, 利用2019年9月渭河洪水(“2019.9”洪水)的流量、气象资料, 对该次洪水的特性及持续性强降雨天气的成因进行分析。结果表明: 此次持续性强降雨形成的原因是北半球极涡偏强, 中纬度环流平直, 同时副高位置相对稳定且异常偏西, 导致冷暖空气持续交汇于渭河上空。过程期间水汽来自阿拉伯海和孟加拉湾, 并在强降雨发生期间表现为水汽通量异常辐合。洪水主要来自渭河林家村—临潼区间的支流, 其特点是含沙量小、干流较大流量持续时间长; 临潼—华县区间的洪水演进缓慢、传播时间长、洪峰削减偏大。

关键词: 洪水特性; 气象成因; 水汽; 渭河下游

中图分类号: TV122⁺.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2020)06-0024-07

Characteristics and meteorological causes of 2019.9 Flood in Weihe River

SHI Yupin¹, JIN Lijun¹, LIU Jing¹, LIU Longqing¹, ZHANG Fangxiu²

(1. Hydrology Bureau, Yellow River Conservancy Commission of the Ministry of Water Resources, Zhengzhou 450004, China; 2. Yellow River Institute of Hydraulic Research, Yellow River Conservancy Commission of the Ministry of Water Resources, Zhengzhou 450003, China)

Abstract: In order to further understand the characteristics and causes of the autumn floods in Weihe River, this paper uses the flow and meteorological data of the flood happened in Weihe River in September, 2019 (2019.9 Flood) to analyze its characteristics and the meteorological causes of continuous heavy rainfall during the flood. The results show that the strong Arctic vortex in the northern hemisphere, flat circulation in the middle latitudes and relatively stable position and abnormally westward of the subtropical high pressure belt caused the continuous intersection between the cold and warm air over Weihe River, resulting in the continuous heavy rainfall. The water vapor of the rainfall came from the Arabian Sea and the Bay of Bengal, and the convergence of its flux appeared abnormal during the heavy rainfall. The flood mainly occurred in the tributaries between Linjiacun and Lintong with low sediment concentration, whereas heavy flow prevailed at the mainstream of Weihe River. The flood between Lintong and Huaxian proceeded slowly with long duration, and the flood peak was greatly reduced during the course.

Key words: flood characteristics; meteorological cause; water vapor; downstream of Weihe River

1 研究背景

渭河流域不仅在黄河开发治理中占有重要地位, 在区域经济发展和西部大开发中也具有重要作用和战略意义^[1]。由于近年来气候变化及人类活动的影响, 渭河流域径流量和输沙量明显减少, 水沙平衡遭到破坏, 泥沙淤积致使下游河床抬升, 行洪能力逐渐降低, 小水大灾频率提高。河道的洪水演进特性因河道条件的变化也相应地发生了较大改变^[2-4]。为了

更深入地认识渭河洪水特性, 许多学者从洪水来源与组成、洪水演进、含沙量、水位变化、河床冲淤等方面对渭河流域发生的洪水进行了分析, 并取得了一定的成果。石长伟等^[5]和宁爱琴等^[6]均对“11.09”渭河洪水的最高水位、传播时间、削峰率等特性进行了分析; 张广林等^[7]对渭河2017年10月的洪水特性及影响进行了分析, 指出“17.10”洪水是一场典型的秋汛洪水, 该洪水具有水位偏高、流速较小、传播时间长及临潼至华县区间沿程加水较多的特性; 石长伟等^[8]重

收稿日期: 2020-01-22; 修回日期: 2020-04-30

基金项目: 国家重点研发计划重点专项(2016YFC0402700); 国家自然科学基金项目(51679102)

作者简介: 史玉品(1977-), 女, 山东成武人, 高级工程师, 研究方向为水文水资源。

点分析了渭河“18.07”洪水的特性及未控支流对干流洪峰的影响。但这些研究的侧重点为渭河暴雨洪水,而对产生降雨的天气形势分析较少,因此本文使用NCEP/NCAR(National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research)逐日再分析资料,对渭河流域2019年9月持续性强降雨造成的渭河秋汛洪水(“2019.9”洪水)进行天气成因诊断分析,并在此基础上研究其水沙特征及分布规律,为今后渭河水文气象预报和水资源管理提供重要参考。

2 资料来源与研究方法

2.1 流域概况

渭河发源于甘肃省渭源县,是黄河第一大支流,也是黄河重要的水沙来源区,流域总面积 $13.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。流域内地貌比较复杂,北部为黄土高原,南部为秦岭山脉,两岸支流众多,南北呈不对称分布。流域处于干旱地区与湿润地区的过渡带,属大陆性季风气候,降水量时空分布不均匀,东南部多于西北部,且集中在夏、秋两季。年均气温为 $7.8 \sim 13.5^\circ\text{C}$,年均降水量为 $500 \sim 800 \text{ mm}$,年均径流量为 $20 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

2.2 资料来源

气象资料来源于NCEP/NCAR提供的高度场、风场、比湿场等逐日再分析资料,水平分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 。降雨、流量和含沙量资料均来自黄河水情查询系统2019年渭河流域的报讯资料。

2.3 研究方法

使用NCEP/NCAR逐日再分析资料,在对2019年9月渭河流域持续性降雨过程中500 hPa环流形势进行详细分析的基础上,进一步讨论雨区上空整层水汽通量和850 hPa低层风场的特征,以期掌握研究期两个降雨时段的环流背景以及水汽输送条件。

对此次洪水过程的降雨量、流量、洪量、含沙量资料进行统计计算,分析降雨的主要落区以及洪水的主要来源、组成及在河道中的演进情况;通过与洪峰量级相近的历史洪水比较,分析此次洪水的特征;由实测含沙量计算输沙量,分析洪水对河道的冲刷及淤积情况。

3 结果分析与讨论

3.1 渭河“2019.9”洪水的气象成因及降雨量分布

3.1.1 对流层中高层环流特征 造成此次渭河流域持续性降雨的大尺度流型为典型的“副高西北侧

西南气流型”^[9],是西风槽引导冷空气东移南下与副高外围西南暖湿气流相互作用所致。从500 hPa平均位势高度场和距平场分布看(图略),在高纬度地区,北半球极涡明显偏强且南伸明显,两湖(贝加尔湖和巴尔喀什湖)之间为低槽并伴随高度场负距平,槽前 $40^\circ \sim 50^\circ\text{N}$ 之间锋区偏强、位置偏南,表示冷空气范围大、势力强。乌拉尔山以东为宽广的低压槽区,中纬度环流较为平直,不断有冷空气分裂南下。在低纬度地区,副高较常年同期强度偏强、覆盖面积偏大,西脊点异常偏西,平均位置在 95°E 附近(多年平均为 125°E),其北界压在黄河下游至我国西南一带。同时,副高位置相对稳定,2019年9月9–10日副高从 120°E 以东西伸至 105°E 附近,11–14日基本稳定在 90°E 。在这种形势下,从黄河源区、渭河流域山西—陕西区间南部均位于西风槽前,槽后西北气流引导冷空气东移南下^[10],与副高外围沿孟加拉湾北上的暖湿气流交汇,形成大范围雨区。

3.1.2 对流层中低层环流演变 渭河流域大部属于东亚季风气候影响区,根据王宝鉴等^[11]的研究成果,空中水汽主要沿孟加拉湾—中南半岛—东雅鲁藏布江—四川盆地北侧路径输送到该流域,并且在平均状况下该流域是水汽“汇”,水汽通量呈辐合状态。2019年9月9–15日渭河流域持续性降雨过程中整层积分水汽通量距平及水汽通量散度距平见图1,同一时段850 hPa风场风速距平见图2。对图1、2进行综合分析可知,9月9日强降水发生时(图1(a)), 20°N 以南地区来自阿拉伯海和孟加拉湾的偏西风水汽输送异常强盛,这支水汽向东到达 110°E 后转向北,经云贵高原进入四川盆地,之后继续向北输送至黄河中游,也就是蔡英等^[12]所称“接力棒”式水汽输送通道,四川盆地是其陆上的重要水汽补给地。从850 hPa风场风速距平上看(图2(a)),以四川盆地为中心存在异常气旋式环流,泾、渭河大部位于气旋顶部,受异常东南风控制,与此同时,其北部为偏北风,冷暖空气交汇在泾、渭河上空形成切变线,并造成该区域尤其是渭河中下游水汽通量异常辐合。9月9–10日,泾、渭、洛河流域及山西—陕西区间南部、三花间、汾河流域普降中到大雨,局部暴雨。随着过程发展,11日,低层暖湿气流输送加强,导致研究区南部气旋减弱消失(图2(b)),四川盆地出现异常水汽通量辐散^[13],进入渭河上空水汽辐合减弱(图1(b)),因此雨强较前两日明显减小。从12日开始(图2(c)),新一股冷空气取道西路再次南下,且势力较前一次偏强,黄河中游大部以及河

源区南部再次发生冷暖空气交汇区,并形成一条东北—西南向切变线。水汽源地没有发生变化,但与前一次过程相比,20°N 附近由异常偏西风转为西南风(图 1(c)),特别是 90°E 处南风转向明显,从孟加拉国到我国藏东南、黄河源区一直延伸到华北地区形成了一条连续的水汽输送辐合带,造成 12 日黄河中游包括河源区大范围降雨。之后,冷空气南压,降雨区也随之东移南压,13—14 日强降雨主要集中在渭河中下游。至 15 日,渭河上空低层转变为受一致性的偏北风控制(图 2(d)),同时,水汽输送条件变差,形成异常水汽辐散区(图 1(d)),降雨较之前明显减弱。随着冷空气势力不断深入南下,16 日开始冷暖空气主要在渭河下游交汇。

综上所述,此次渭河流域持续性降雨是在北半球极涡偏强且南伸明显,中纬度环流平直,加之副高异常偏强、偏西且位置相对稳定,同时在低层阿拉伯海和孟加拉湾作为重要水汽源的配合下,水汽输送通量异常偏强的背景下产生的,尽管两个阶段水汽输送路径略有不同(第 2 次更偏西),但均造成渭河流域水汽异常辐合。

3.1.3 降雨时空分布 2019 年 9 月 8 日 8 时至 19 日 8 时,渭河流域出现持续性强降雨过程,中下游降雨量普遍大于 100 mm,累计最大点雨量为虎豹河红旗站 411.4 mm,降雨主要分 9 月 8—10 日、12—18 日两个过程,两个降雨过程中渭河流域降雨量空间分布见图 3。

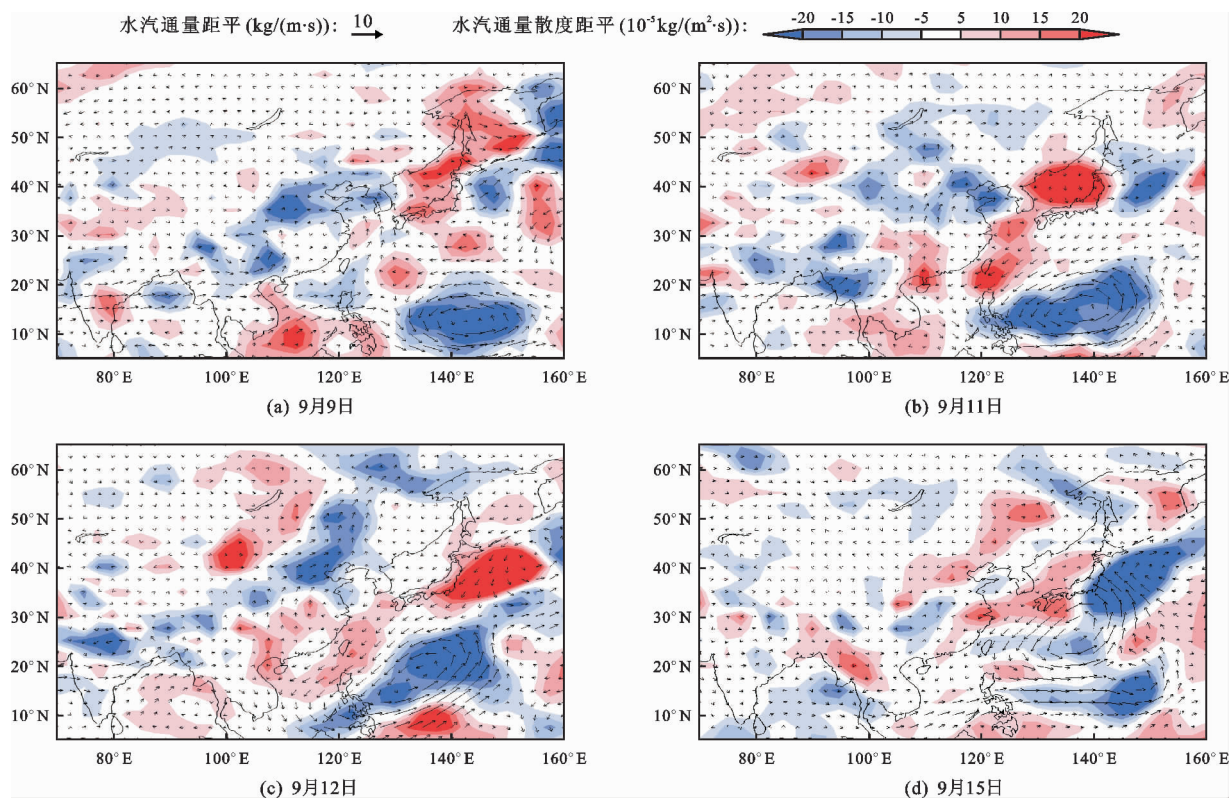


图 1 2019 年 9 月 9—15 日渭河流域持续性降雨过程中整层积分水汽通量距平及水汽通量散度距平

第 1 次降雨过程历时 3 d,渭河流域面平均降雨量为 38.2 mm,降雨量大于 50 mm 的笼罩面积为 24 565 km²,主要分布在泾河上游、南山支流和漆水河上游。最大日降雨量为漆水河流域金锁关站的 94.2 mm,最大次降雨量为黑河流域钓鱼台站的 121.8 mm。

第 2 次降雨过程历时 7 d,全流域普降中到大雨。12—14 日雨区从渭河上中游移至华县以下流域,15 日雨势减弱,16 日开始暴雨中心再次从咸阳以上沿南山支流向东移动。整个降雨过程渭河

南岸降水多于北岸,流域面平均雨量为 79.4 mm,张家山、咸阳和华县区间的面雨量为 111.2 mm,降雨量大于 100 mm 的笼罩面积达 27 674 km²,占流域面积的 26%。最大日降雨量为虎豹河红旗站的 109.2 mm,最大次降雨量为虎豹河红旗站的 302 mm,次降雨量大于 100 mm 的有 161 个站点。

由于前期该区域土壤干旱,第 1 阶段降雨未给渭河干流造成大的洪水过程,主要使土壤含水量增加,第 2 阶段降雨是形成本次渭河洪水过程的主要来源。

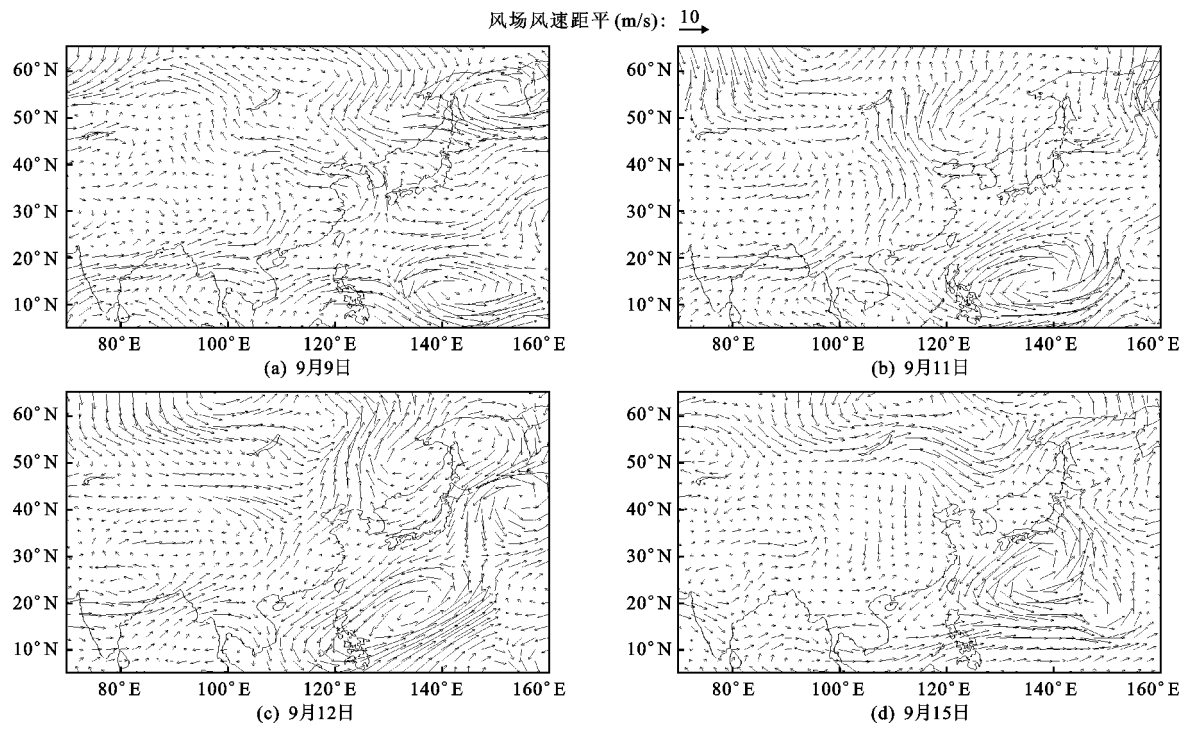


图2 2019年9月9-15日渭河流域持续性降雨过程中850 hPa风场风速距平

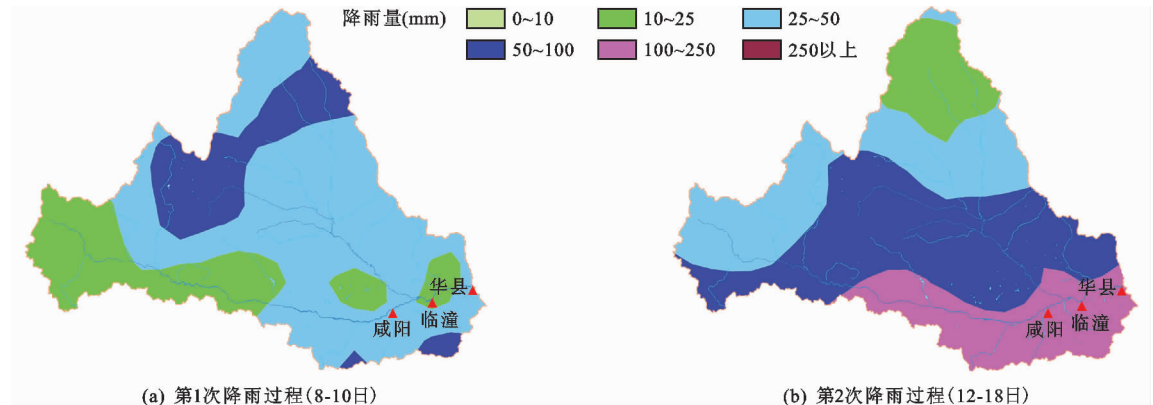


图3 2019年9月8-19日渭河流域两次降雨过程的降雨量空间分布

3.2 渭河“2019.9”洪水过程及其特征

3.2.1 洪水概况 受降雨影响,2019年9月渭河中下游形成一小一大两次首尾相连的洪水过程。第1次过程,渭河干流魏家堡站9月10日10:21洪峰流量为202 m³/s,咸阳站11日8:30洪峰流量为542 m³/s,临潼站11日20:00洪峰流量为873 m³/s,华县站12日7:48洪峰流量为828 m³/s。本次过程洪水完全在主槽内演进。第2次过程,魏家堡站9月14日23:00出现1990 m³/s的洪峰,洪水向下游演进,与黑河金盆水库持续1126 m³/s的出库流量相遇,于15日5:48咸阳站出现2860 m³/s的洪峰;加上沔河、灞河的支流洪水及泾河来水,临潼站15日20:00洪峰流量达到3990 m³/s;洪水在临潼至华县的演进过程中出现漫滩,漫滩后洪水流速减小、洪峰

削减幅度增大,华县站17日2:00出现2760 m³/s的洪峰。

渭河洪水与北干流来水汇合后,黄河潼关水文站9月17日13:12出现5060 m³/s的洪峰流量,为黄河2019年第3号洪水。渭河“2019.9”洪水中下游各主要控制水文站洪水过程线见图4,主要水文站洪水特征值见表1。

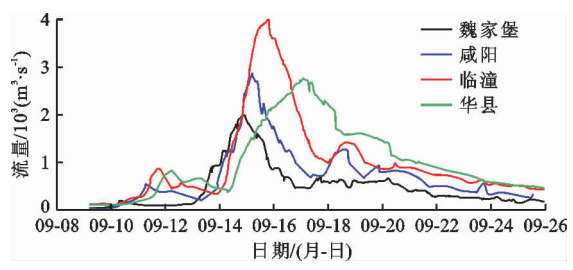


图4 渭河“2019.9”洪水中下游各主要控制水文站洪水过程线

表 1 渭河“2019.9”洪水主要水文站洪水特征值统计表

干支流	河名	水文站	洪峰流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	峰现时间	最高 水位/m	次洪过程		
						起始时间	结束时间	洪量/ 10^8 m^3
干流	渭河	拓石	440	2019-09-14T23:15	870.2	2019-09-10T08:00	2019-09-24T20:00	2.29
	渭河	林家村	550	2019-09-15T02:39	602.47	2019-09-11T20:00	2019-09-25T20:00	2.39
林-魏 支流	清姜河	益门镇	156	2019-09-13T10:00	638.9	2019-09-09T23:00	2019-09-21T08:00	0.39
	千河	千阳	174	2019-09-15T00:57	710.7	2019-09-12T08:00	2019-09-23T08:00	0.54
	石头河	鸛鸽	218	2019-09-14T05:18	860.7	2019-09-12T20:00	2019-09-18T13:00	0.42
干流	渭河	魏家堡	1990	2019-09-14T23:00	496.98	2019-09-09T20:00	2019-09-25T20:00	7.04
魏-咸 支流	汤峪河	漫湾	101	2019-09-14T14:00	631.3	2019-09-10T08:00	2019-09-19T20:00	0.24
	黑河	黑峪口	1060	2019-09-14T14:42	470.83	2019-09-10T08:00	2019-09-18T09:00	2.13
	涝河	涝峪口	179	2019-09-14T15:30	512.04	2019-09-09T20:00	2019-09-21T20:00	0.37
干流	渭河	咸阳	2860	2019-09-15T05:48	384.85	2019-09-10T09:33	2019-09-25T20:00	10.04
咸-临 支流	沔河	秦渡镇	260	2019-09-15T14:00	396.57	2019-09-09T20:00	2019-09-23T08:00	0.91
	泾河	张家山	458	2019-09-16T05:00	422.91	2019-09-11T03:00	2019-09-22T08:00	1.77
		桃园	418	2019-09-16T09:51	362.93	2019-09-11T20:00	2019-09-22T20:00	1.93
	灃河	马渡王	659	2019-09-15T12:27	429.12	2019-09-10T18:00	2019-09-18T21:00	0.8
干流	渭河	临潼	3990	2019-09-15T20:00	356.66	2019-09-10T20:00	2019-09-25T20:00	14.43
干流	渭河	华县	2760	2019-09-17T02:00	340.61	2019-09-11T08:00	2019-09-27T08:00	15.07

3.2.2 洪水来源与组成 此次洪水过程在渭河下游历时约 16 d,林家村以上来水量为 $2.39 \times 10^8 \text{ m}^3$, 仅占华县站洪水总量的 16.4%;临潼以上来水量为 $14.43 \times 10^8 \text{ m}^3$,洪水从林家村到临潼演进的过程中,支流共增加水量 $12.04 \times 10^8 \text{ m}^3$,占渭河下游洪水总量的近 80%,说明此次洪水主要来源于林家村至临潼区间的支流。

林家村至临潼区间增加的水量主要来自北岸支流千河和南岸支流清姜河、石头河、汤峪河、黑河、涝河、沔河、灃河等,也有区间未控支流水量加入。这些支流的洪水特点是涨落迅速,与降雨的大小和强度有着密切的关系^[6]。此次洪水林家村—临潼区间有控制站的支流共加入的水量为 $7.73 \times 10^8 \text{ m}^3$,未控支流加入水量 $4.31 \times 10^8 \text{ m}^3$,约占林家村—临潼区间增加水量的 36%。

由于此次降雨过程中暴雨中心的移动方向与洪水流向一致^[14],洪水在向下游演进的过程中支流持续不断汇入水量,致使干流控制站大流量持续时间较长,咸阳站流量大于 $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ 的洪水过程持续时间为 64 h,临潼、华县站大于 $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ 的流量过程持续时间分别为 119 h、151 h,大于 $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ 的流量过程持续时间分别为 49 h 和 58 h。

3.2.3 洪水含沙量 泾河张家山以上为渭河流域

的主要产沙区,多年平均输沙量占华县站的 60% 以上,而水量仅占 17.8%^[15]。如果渭河洪水主要来源于泾河,且张家山站含沙量在 $200 \text{ kg}/\text{m}^3$ 以上,则为高含沙洪水。如 2010 年 7 月 26 日渭河洪水,张家山站洪峰流量和最大含沙量分别为 $1940 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $612 \text{ kg}/\text{m}^3$,咸阳站洪峰流量和最大含沙量分别为 $1280 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $12 \text{ kg}/\text{m}^3$,泾河洪水与渭河洪水遭遇后,临潼站和华县站最大含沙量分别为 473 和 $459 \text{ kg}/\text{m}^3$,次洪过程平均含沙量分别为 86.8 和 $85.8 \text{ kg}/\text{m}^3$,为高含沙洪水。

本次渭河“2019.9”洪水主要由林家村以下的南岸支流来水组成,这些支流均发源于植被较好的秦岭北坡,源短流急,易于产流^[16],是渭河下游低含沙洪水来源区,故本次洪水含沙量小,华县站实测最大含沙量为 $13.2 \text{ kg}/\text{m}^3$,平均含沙量为 $0.01 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。洪水过程中主要体现为“河道冲刷”的冲淤特征,在一定程度上增大了下游河道的过洪能力。

3.2.4 临潼—华县段洪峰传播时间及削减率 从整个渭河“2019.9”洪水的演进过程看,第 1 次洪水过程由于流量较小而在主河槽内行洪,咸阳—临潼传播时间为 11.5 h;临潼—华县传播时间为 11.8 h,洪峰削减率为 5.4%。从目前的渭河河道比降来看,传播时间正常,洪峰基本没有削减。第 2 次洪水

过程魏家堡—咸阳、黑峪口—咸阳、咸阳—临潼的传播时间分别为 6.8、9.0 和 13.2 h,临潼以上洪水演进过程基本正常。洪水在临潼以下河段演进过程中严重漫滩,受滩地及滩区高杆植物阻水的影响^[17],传播时间延长,洪峰削减率增大。

通过与临潼站洪峰量级相当的几次历史洪水比较分析发现,此次洪峰在临潼—华县河段的传播时间最长为 30 h,基本是 1984、1992 和 2013 年洪水传播时间的 2.5~3.3 倍,比 1990 和 1996 年分别延长

14.0 和 10.5 h。渭河临潼—华县河段历史洪水演进特征对比见表 2。

渭河“2019.9”洪水临潼站 3 990 m³/s 的洪峰在往下游演进过程中出现漫滩及倒灌,滩槽水量频繁交换,洪峰坦化变形。在不考虑区间汇水的情况下,洪峰演进至华县站的削减率为 30.8%。与临潼站洪峰量级相当的几次历史洪水比较分析发现,此次临潼—华县河段的洪峰削峰率仅比 2013 年偏小,比其他年份均偏大(见表 2)。

表 2 渭河临潼—华县河段历史洪水演进特征对比

临潼		华县		传播时间/h	削峰率/%
峰现时间	洪峰流量/(m ³ ·s ⁻¹)	峰现时间	洪峰流量/(m ³ ·s ⁻¹)		
1984-09-01T18:00	4110	1984-09-01T20:00	3900	12.0	5.1
1990-07-07T08:00	4270	1990-07-08T0:00	3250	16.0	23.9
1992-08-13T15:00	4150	1992-08-14T0:00	3950	9.0	4.8
1996-07-29T01:30	4170	1996-07-29T21:00	3500	19.5	16.1
2013-07-23T20:18	3920	2013-07-24T08:00	2520	11.7	35.7
2019-09-15T20:00	3990	2019-09-17T02:00	2760	30.0	30.8

3.3 讨 论

3.3.1 水库调洪 在本次洪水过程中,渭河支流的石头河水库和金盆水库对干流洪峰流量进行了调控,金盆水库 9 月 14 日 16:00 出现最大入库流量 1 170 m³/s,14 日 14:40 出现最大出库流量 1 126 m³/s,洪峰削减率为 3.76%;石头河水库 9 月 14 日 18:00 出现最大入库流量 404 m³/s,9 月 14 日 14:00 出现最大出库流量 300 m³/s,洪峰削减率为 25.7%。两个水库的蓄水增量分别为 0.22×10⁸ m³ 和 0.306 8×10⁸ m³,起到了削峰减量的作用。

在暴雨洪水过程中,水库通过科学调度,提前预泄腾库迎洪,为后续洪水的来临提供了一定的防洪库容,各水库在确保安全的前提下削峰滞洪、错峰迎洪,减小了下游洪峰流量及防洪压力。

3.3.2 未控支流对洪水演进的影响 渭河林家村—魏家堡区间未控支流较多,目前有测报信息的只有清姜河、清水河、千河及石头河,不考虑洪水坦化、传播时间与河道槽蓄量,该 4 条支流洪峰简单叠加为 770 m³/s,加上林家村站的洪峰流量后也只有 1 320 m³/s,而魏家堡站的洪峰流量为 1 990 m³/s,还有 670 m³/s 的洪水来自区间的未控支流,约占魏家堡洪峰流量的 34%,由此可见此次未控支流汇水对林家村—魏家堡区间的洪水过程影响明显。

如果洪水过程中林家村—魏家堡区间未控支流

汇水较多,而洪水测报信息不足,会给魏家堡的洪水预报工作带来很大困难^[18]。而目前关于林家村—魏家堡区间未控支流的洪水预报研究较少,建议加强该区间未控支流的水文情报预报工作,如果条件许可,适当调整水文站网,并加强河道查勘,为渭河流域的洪水预报提供可靠的水文资料和技术支撑。

4 结 论

(1)2019 年 9 月渭河流域中下游持续性降雨的发生是高、低纬度系统有效配置的结果。北半球极涡偏强且南伸明显,副高在降雨过程中位置相对稳定且异常偏西,中纬度环流平直,引导冷空气不断分裂南下,与副高西北侧暖湿气流长时间交汇于渭河流域。

(2)阿拉伯海和孟加拉湾是 2019 年 9 月渭河流域降雨的重要水汽源地,其间两个降雨阶段的水汽输送路径略有差异,第 2 次受副高西伸影响路径更偏西,但均在渭河流域上空表现为水汽通量辐合,当辐合减弱时,降雨量随之减小。

(3)2019 年 9 月渭河流域降雨的特点是范围广、强降雨区域集中。连续两次降雨过程覆盖整个渭河流域,渭河中下游及南岸支流降雨量普遍大于 200 mm,是形成此次渭河洪水的主要来源区。两次降雨过程首尾相连,第 1 次降雨过程致使土壤含水

量饱和,导致第2次降雨过程中产流加快,从而形成较大洪水。

(4)“2019.9”渭河秋汛洪水主要是由渭河中下游持续降雨形成,洪水在向下游演进过程中支流持续不断汇水,致使渭河林家村、魏家堡、咸阳、临潼洪水沿程增加,临潼以下由于出现漫滩和倒灌,洪水演进缓慢,洪峰流量削减,传播时间延长。

参考文献:

- [1] 王心睿,刘登峰,陈娜,等.渭河流域径流系数的演变规律研究[J].水资源与水工程学报,2014,25(3):138-142.
- [2] 赵静,黄强,刘登峰,等.渭河流域水沙演变规律分析[J].水力发电学报,2015,34(3):14-19.
- [3] 张钰娟.渭河流域产水产沙区域分异特征研究[D].杨陵:西北农林科技大学,2009.
- [4] 杨露,王新宏,黄修山,等.渭河下游河道冲淤变化对洪水演进特性的影响[J].水资源与水工程学报,2019,30(1):73-79.
- [5] 石长伟,杨宁,陈乃联,等.渭河“11.9”洪水特性及其河道影响分析[J].水资源与水工程学报,2012,23(4):138-141.
- [6] 宁爱琴,秦学谦,沈锦杰,等.渭河下游典型洪水分析—华县站2011.09洪水特性分析[J].东北水利水电,2017(9):33-36.
- [7] 张广林,孙亚茹.渭河2017.10洪水特性及影响分析[J].

陕西水利,2018(2):45-46.

- [8] 石长伟,辛宸,张冰洁,等.渭河中游“18.7”洪水特性及林~魏区间未控支流的影响分析[J].陕西水利,2019(2):64-66+69.
- [9] 白肇辉,徐国昌.中国西北天气[M].北京:气象出版社,1991.
- [10] 温丽叶,狄艳艳,靳莉君,等.2016年汛期黄河流域雨水情特点及气象成因[J].人民黄河,2017,39(7):51-54+60.
- [11] 王宝鉴,黄玉霞,陶健红,等.西北地区大气水汽的区域分布特征及其变化[J].冰川冻土,2006,28(1):15-21.
- [12] 蔡英,钱正安,吴统文,等.2004.青藏高原及周围地区大气可降水量的分布、变化与各地多变的降水气候[J].高原气象,2004,23(1):1-10.
- [13] 姜丽红,贾杰.渭河源区水文气象要素演变趋势及阶段性分析[J].水资源与水工程学报,2017,28(3):98-104.
- [14] 庞雷.渭河流域“2005.10”暴雨洪水分析[J].水文,2007,27(2):86-90.
- [15] 高卫平.泾河水沙在渭河河床塑造中的作用[D].西安:西安理工大学,2006.
- [16] 田宏伟.渭河临潼—华县河段洪水传播特性分析[J].陕西水利,2012(2):15-18.
- [17] 石长伟,张英,梁林江,等.渭河下游近期冲淤变化及其原因分析[J].水资源与水工程学报,2018,29(1):134-137+143.
- [18] 狄艳艳,刘龙庆,陈志洁,等.黄河中游府谷至吴堡未控区降雨径流关系初探[J].人民黄河,2013,35(6):18-20.

(上接第23页)

- [24] TENNANT D L. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources[J]. Fisheries, 1976, 1(4): 6-10.
- [25] 魏雯瑜,刘志辉,冯娟,等.天山北坡呼图壁河生态基流量估算研究[J].中国农村水利水电,2017(6):92-96.
- [26] 中华人民共和国水利部.水文基本术语和符号标准:GB/T 50095-2014[S].北京:中国标准出版社,2014.
- [27] 张远.黄河流域坡高地与河道生态环境需水规律研究[D].北京:北京师范大学,2003.
- [28] 石永强,左其亭.基于多种水文学法的襄阳市主要河流生态基流估算[J].中国农村水利水电,2017(2):50-54.
- [29] 陈昂,沈忱,吴森,等.中国河道内生态需水管理政策建议[J].科技导报,2016,34(22):11.
- [30] CHEN Ang, WU Miao, CHEN Kaiqi, et al. Main issues in environmental protection research and practice of water

conservancy and hydropower projects in China[J]. Water Science and Engineering, 2016, 9(4): 312-323.

- [31] MCCLUNEY K E, POFF N L, PALMER M A, et al. Riverine macrosystems ecology: Sensitivity, resistance, and resilience of whole river basins with human alterations[J]. Frontiers in Ecology and the Environment, 2014, 12(1): 48-58.
- [32] MALMQVIST B, RUNDLE S. Threats to the running water ecosystems of the world[J]. Environmental Conservation, 2002, 29(2): 134-153.
- [33] POFF N L, PYNE M I, BLEDSOE B P, et al. Developing linkages between species traits and multiscaled environmental variation to explore vulnerability of stream benthic communities to climate change[J]. Journal of the North American Benthological Society, 2010, 29(4): 1441-1458.