

# 泾河流域红河水文站泥沙测验方式 优化研究

蒙雅雯 崔建和

(黄河水利委员会西峰水文水资源勘测局,甘肃 庆阳 745000)

**【摘要】** 根据泾河流域红河水文站发生洪水时流量与含沙量涨落变化基本相对应的特性,选用洪水过程中流量、含沙量对应点的增减变幅比例建立相关关系,对红河水文站泥沙测验方式进行研究,以期达到利用少数含沙量测次推求其变化过程的目的。结果表明,径流量与输沙量两者的变化相对独立,用输沙量与径流量相关关系法分析不可行;流量与含沙量涨水段、落水段比例系数相关性均不够理想;流量、含沙量增长率具有一定的相关性,但尚未达到使用标准。本研究对促进水文测站测报能力提升、开展水文巡测具有一定的参考价值。

**【关键词】** 流量;泥沙;相关性;水文测验

中图分类号: TV149

文献标志码: B

文章编号: 2096-0131(2022)08-042-06

## Study on optimization of sediment measurement mode of Honghe hydrological station in Jinghe River basin

MENG Yawen, CUI Jianhe

(Xifeng Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Yellow River Conservancy Commission, Qingyang 745000, China)

**Abstract:** According to the characteristics of the fluctuation of discharge and sediment concentration at Honghe Hydrological Station in Jinghe River basin, the increase and decrease ratio of corresponding points of discharge and sediment concentration in the flood process is selected to establish the correlation, and the sediment measurement mode of Honghe Hydrological Station is studied, so as to achieve the purpose of using a few sediment concentration measurements to calculate the change process. The results show that the changes of runoff and sediment transport are relatively independent, so it is not feasible to analyze the relationship between sediment transport and runoff. The proportional coefficient of flow-sediment concentration in rising and falling water sections is not ideal. The growth rate of discharge and sediment concentration has a strong correlation, but it has not yet reached the use standard. This research has certain reference value for promoting the forecasting ability of hydrological stations and carrying out hydrological survey.

**Key words:** flow; sediment; relevance; hydrological test

收稿日期: 2022-03-18

作者简介: 蒙雅雯(1986—),女,工程师,学士,主要从事水文测验工作。

## 1 研究背景

基层水文站基本处于偏远地区,在站驻测存在诸多不便。随着经济社会的发展,常规的水文测验方式已经不能满足社会需要。为了更好地解放人力,提升测报能力,不断探索新的测验技术及方式,是时代发展的需要。泥沙是表征河道冲淤变化、水土保持情况的主要元素,在水文测验工作中占很大比例,泥沙测验方式的优化,可以在很大程度上达到解放人力、提高工作效率的目的。祁向荣<sup>[1]</sup>通过分析单断沙关系稳定性,对泥沙监测方式的改革进行了探讨,从而大大减少了测验工作中人力的投入;刘东生等<sup>[2]</sup>对长江流域水文站测验方案进行了创新设计,研究认为应积极倡导新仪器、新设备,实现水文站测验方式现代化,该方案通过几年的实践证明是可行的,为水文测验工作方法的创新提供了技术支撑;王俊<sup>[3]</sup>认为水位、流量已经实现了现代化测验,如何提高泥沙测验技术将是难点,并通过大量的探索与实践,不断对泥沙测验方式进行优化,取得了较好的效果;田瀛莉<sup>[4]</sup>通过分析茹河开边站的水文系列资料,依据《水文巡测规范》(SL 195—2015)<sup>[5]</sup>对水文测验改革提出了新的方式,但在泥沙测验方式、新设备使用方面的研究有所欠缺;王晶娥<sup>[6]</sup>对彰武水文站的测沙垂线进行了分析精简,从原来的15条垂线精简为6条,通过实践证明,精度能达到《河流悬移质泥沙测验规范》(GB/T 50179—2015)<sup>[7]</sup>要求;部分学者<sup>[8-13]</sup>对泾河流域及其支流的径流、降水量、蒸发量、水资源量进行了研究,但在泥沙测验方式优化方面的分析较少。因此,本文在红河水文站流量资料及前述学者研究的基础上,对泥沙测验次数进行精简,推算方法进行改进,并提出新的优化方案,推动该站在水文测验中由传统的常年驻测逐步向巡测方向转变。

## 2 测站概况

红河水文站位于甘肃省平凉市泾川县红河乡龙王桥村,集水面积1272km<sup>2</sup>,是国家三类精度水文站,设于泾河一级支流洪河下游,距河口(泾河)12km。区域

内洪水主要来源于洪河干支流,主要由上游暴雨形成,且多发生在每年7—8月。水系形状狭长,类似羽形,属山溪性河流,河道纵比降大。

### 2.1 断面情况

测验河段为岩石河床,上覆较浅一层淤泥,冲淤变化较小。左岸为岩石陡坡,坡上是公路和黄土台地,右岸为土质斜坡。主流居中且稳定,中高水受河槽控制,总体来说,断面相对稳定。基本断面上游110m处左岸有一干沟,上游345m处右岸有种籽沟汇入,暴雨时两沟洪水凶猛,对该断面测验构成威胁。

### 2.2 水沙特性

红河水文站6—9月径流量占年径流量的61.7%,受径流分布不均匀影响,91.9%的泥沙分布在6—9月。流向基本顺直,洪水时流急浪大,涨落急剧且漂浮物较多,沙峰滞后于洪峰。水位流量关系曲线受附加比降影响,含沙量横向分布均匀,垂向变化很小,近似直线,单断沙关系为历年综合线,系数为 $k=1.00$ 。

## 3 泥沙测验方式优化研究

### 3.1 资料的选用

由于红河水文站2008年以前没有测流缆道,洪水期基本采用均匀浮标和中泓浮标测流,由于基本断面下游700m处修建的一小型涵洞水坝对水流有顶托作用,水位流量关系发生改变,以此为界限,红河水文站水位流量关系可以综合为两个系列的单一线。由于受涵洞水坝影响,非洪水畅流期断面呈逐年淤积状态,相同水位下断面面积逐渐减小,河底高程增大,并于2009年以后淤积减缓,趋于稳定。

近年来,通过植树造林,水土保持状况良好,因此选用2009—2018年的资料进行泥沙测验方式优化分析,对选定的流量系列资料进行一致性分析,保证集水区域内下垫面、人类活动对河道断面的影响、测站控制条件基本一致,并进行可靠性分析。所使用的资料均为经过水文资料整编刊印的资料,具有一定的代表性。

### 3.2 水文要素相关性分析

#### 3.2.1 流量与含沙量相关性分析

##### 3.2.1.1 流量的年内变化

点绘红河水文站 2009—2018 年流量的年内变化图,见图 1。由图 1 可以看出,4—9 月的流量明显大于其他月份流量。资料显示,红河水文站的洪水期一般为每年的 4—9 月,其他月份是枯水期,洪水期流量明显大于枯水期流量,全年径流主要产生于洪水期。

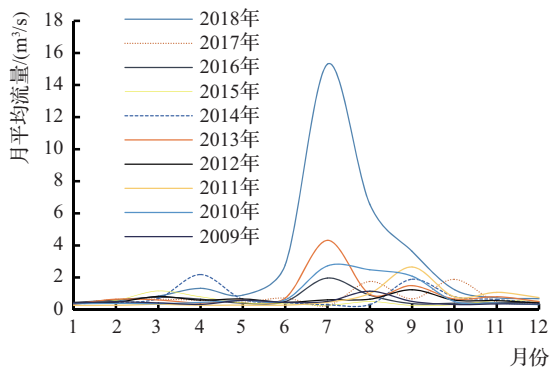


图 1 红河水文站 2009—2018 年的流量年内变化

##### 3.2.1.2 含沙量的年内变化

点绘红河水文站 2009—2018 年含沙量的年内变化见图 2。由图 2 可以看出,含沙量与流量年内变化基本一致,泥沙主要产生于洪水期。其中 4—6 月平均含沙量小于  $10\text{kg}/\text{m}^3$ ,7—9 月平均含沙量大于  $10\text{kg}/\text{m}^3$ ,夏季含沙量大于春季含沙量。

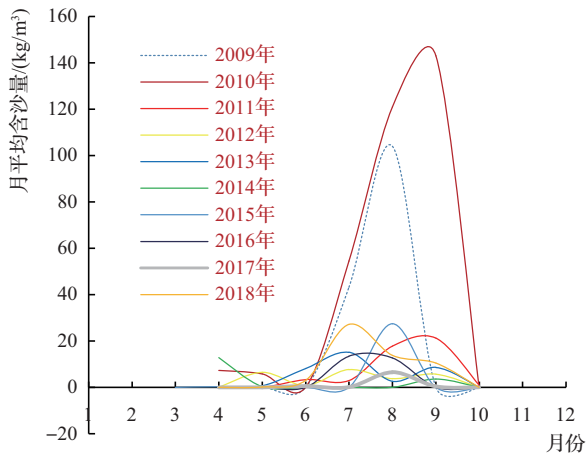


图 2 红河站 2009—2018 年含沙量的年内变化

#### 3.2.2 径流量、输沙量相关性分析

由于流量、含沙量年内变化基本一致,可从径流

量、输沙量之间的关系切入,分析在一场洪水过程中径流量与输沙量之间的关系。根据洪峰划分标准<sup>[14]</sup>,结合资料实际情况,对节选的洪水场次进行划分,小洪水: $Q < 50\text{m}^3/\text{s}$ ;中洪水: $50\text{m}^3/\text{s} \leq Q < 300\text{m}^3/\text{s}$ ;大洪水: $Q \geq 300\text{m}^3/\text{s}$ 。

因近年来一直属于枯水年,流量较小,因此,只有小洪水和中洪水。对选取的洪水场次进行径流量及输沙量的计算,并分别点绘小洪水、中洪水节选场次中洪水量与输沙量之间的关系见图 3、图 4。

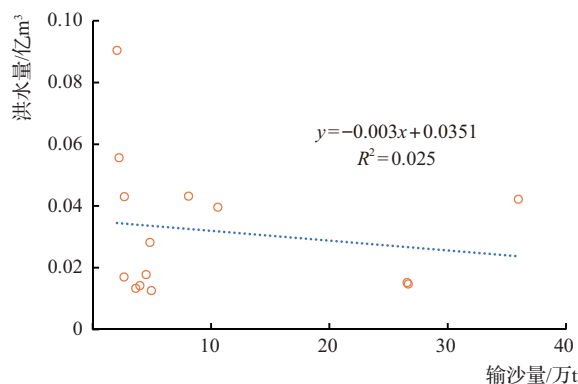


图 3 红河站小洪水洪水量与输沙量关系

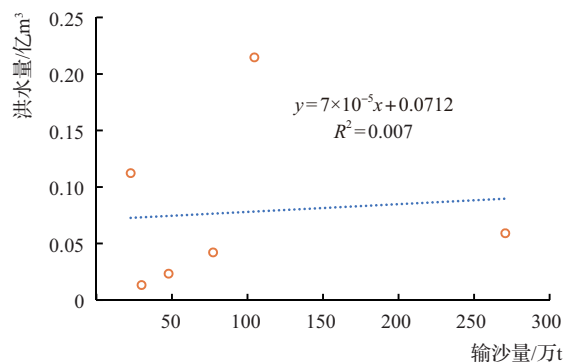


图 4 红河站中洪水洪水量与输沙量关系

由图 3、图 4 可以看出,小洪水、中洪水径流量与输沙量关系点据散乱,相关关系不好,无明显规律可循。从流量大小上看, $Q < 50\text{m}^3/\text{s}$  时,输沙量大部分小于 10 万 t,由于流量较小,对流域的冲刷作用小,泥沙大部分来自河床; $50\text{m}^3/\text{s} \leq Q < 300\text{m}^3/\text{s}$  时,流量增大,水流挟沙能力增大,泥沙来自流域冲刷和河床,输沙量相对增大。河流中泥沙的多少还与产沙区域、土质情况、植被覆盖率、地势、人类活动等因素有关,由于各因素的综

合影响,径流量与输沙量两者的变化相对独立,有时径流量小输沙量反而大,有时径流量大输沙量反而小。综上所述,一场洪水过程中仅用径流量单一因素推求输沙量不可行。

### 3.2.3 沙峰与洪峰相关性分析

泾河属于黄河流域主要河流,是黄河的二级支流。在水沙特性方面与黄河具有高度的一致性。研究认为<sup>[15]</sup>,黄河流域在洪水演进过程中洪峰与沙峰的相对关系一般可分为3种情况:①洪峰在前沙峰在后,在2009—2018年的45场洪水中,有8场是洪峰先于沙峰进入泾河河道,占总数的17.8%,在这种情况下,洪水演进过程中沙峰的传播时间远大于洪峰的传播时间;②洪峰在后沙峰在前,在所统计的洪水中,沙峰先于洪峰汇入泾河河道的有5场,占11.1%,在洪水演进过程中洪峰与沙峰的时差会逐步缩小;③沙峰与洪峰同步(水峰、沙峰相差2h以内),在所统计的洪水中共有32场洪水沙峰与洪峰同时到达,占71.1%。2009—2018年红河水文站水沙过程统计情况见表1。

表1 2009—2018年红河水文站水沙过程统计情况

水沙过程	水沙同步	水沙峰不同步	
		沙峰滞后	沙峰提前
场次	32	8	5
占比/%	71.1	17.8	11.1

注 沙峰滞后最少2.0h,最大13.0h;沙峰提前最少3.2h,最大18.0h。

由表1可以看出,洪峰与沙峰出现时间一致的场次占统计总场次的71.1%,不同步的为28.9%,二者不一致主要是由黄河上游地区产流产沙本身的规律所决定的,以及洪峰与沙峰的传播速度不同所致。从理论上讲,河道洪水的流动属于不稳定流,洪峰是以波的形式传播,而泥沙运动则与水流平均流速有关,泥沙沿程传播的规律受水沙特性和河道边界条件共同作用,其规律极为复杂,因此本文选取洪峰与沙峰同步的场次进行分析研究。

### 3.2.4 流量与含沙量比例系数相关关系分析

选取红河水文站2009—2018年洪水水文要素摘录表,通过资料分析,发现涨水时流量与含沙量涨落变

化过程基本对应,水流挟沙能力与降水强度、雨量分布、产沙区域有关,每次洪水含沙量大小与流量的大小有所不同,但变化过程的增减率基本一致,因而理论上利用流量的比例系数与含沙量比例系数建立相关关系来推求计算洪水含沙量,能反映含沙量的变化过程。构造流量、含沙量比例系数统计量:

$$Y_Q = \frac{Q_i - Q_{\min}}{Q_{\max} - Q_{\min}} \quad (1)$$

$$Y_{CS} = \frac{CS_i - CS_{\min}}{CS_{\max} - CS_{\min}} \quad (2)$$

式中:  $Y_Q$  为涨水段流量比例系数;  $Q_i$  为涨水段某瞬时流量;  $CS_i$  为某瞬时实测断面平均含沙量;  $Y_{CS}$  为涨水段含沙量比例系数。

将复式洪峰区分开,分别计算流量、含沙量的比例系数,峰前最小值相同,两峰峰谷点原则上按前峰落水计算。

洪水过程流量、含沙量比例系数相关关系见图5、图6,由图5、图6可知,其相关性均不够理想。由于水流的运动方式与泥沙的运动方式不完全一样,所以每一场水沙涨落过程中流量与含沙量的增减幅度不完全

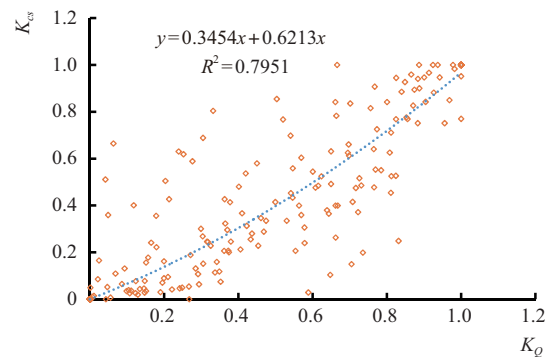


图5 洪水过程涨水段流量、含沙量比例系数相关关系

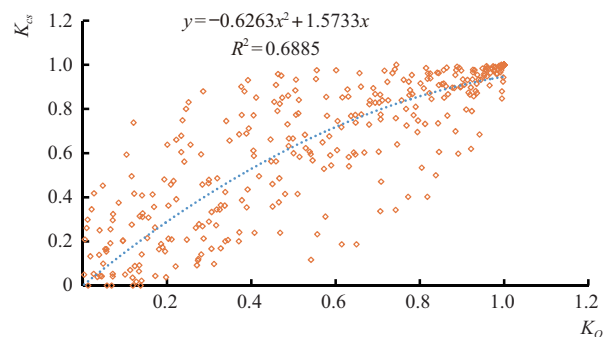


图6 洪水过程落水段流量、含沙量比例系数相关关系

一致,故用流量、含沙量比例系数相关法推求一场洪水过程中的含沙量变化过程不可行。

红河水文站径流量与泥沙主要产生于4—9月,因此将4—9月中有明显水沙过程变化且同步的流量、含沙量过程摘出,计算各个水沙过程中同步的流量、含沙量由起涨到峰顶的平均增长率,建立流量、含沙量平均增长率关系,见图7。

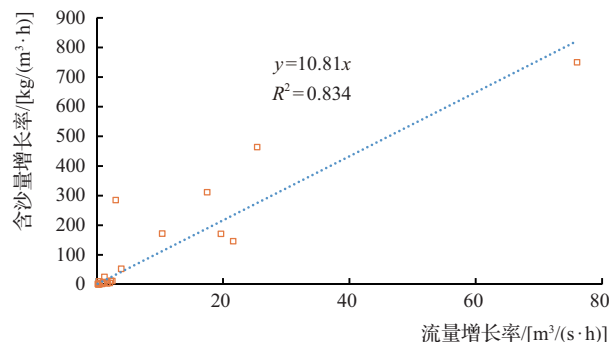


图7 红河站流量、含沙量增长率关系

由图7可知,红河水文站流量、含沙量增长率存在一定相关关系,其相关性  $R^2 = 0.834$ ,主要原因是河流中含沙量的增长与水流流速有一定关系,一般来说,流量增长越快,流速越大,含沙量增长越快。但其相关性仍未达到使用标准。

对红河水文站上游小峴子、平泉、红河3个雨量站的各个场次洪水相对应的降水量和本次洪水的径流量、输沙量分别建立相关关系,分析降水对红河水文站上游产流产沙的影响,回归分析结果见表2~表4。

表4 红河站上游雨量站回归参数统计

项目	系数	标准误差	统计	P值	检验下限95%	检验上限95%	下限95%	上限95%
截距	6.8389	51.86	0.132	0.897	-103.1	116.78	-103.1	116.79
小峴子雨量站	2.2144	1.008	2.196	0.043	0.0766	4.352	0.0766	4.3523
平泉雨量站	-0.468	1.043	-0.448	0.660	-2.679	1.744	-2.679	1.7436
红河雨量站	1.1434	0.688	1.663	0.116	-0.314	2.601	-0.314	2.6009

由表2~表4可以得出红河水文站降水量与径流量相关方程为

$$Y = 2.21x_1 - 0.47x_2 + 1.14x_3 \quad (3)$$

式中:Y为红河站径流量,万 $m^3$ ;  $x_1$ 为小峴子降水量,mm;  $x_2$ 为平泉降水量,mm;  $x_3$ 为红河降水量,mm。

表2 红河水文站多参数综合数据

输沙量/ 万t	径流量/ 万 $m^3$	降水量/mm			水峰/ ( $m^3/s$ )	沙峰/ ( $kg/m^3$ )
		小峴子	平泉	红河		
5.978	47.5575	22.6	68.4	12.4	15.70	371.0
26.567	151.7786	71.0	92.6	42.2	30.50	451.0
5.396	71.9455	40.0	49.8	36.0	8.51	202.0
35.970	421.8480	135.4	73.8	176.0	45.20	303.0
26.666	146.7427	13.4	12.4	56.4	31.10	370.0
47.761	233.1365	42.0	41.6	66.0	63.60	347.0
4.970	125.6148	59.2	84.8	90.8	11.80	70.4
77.235	421.3247	92.8	69.8	75.4	79.30	439.0
0.787	26.1270	43.1	43.2	51.2	3.94	76.0
3.991	141.5054	78.9	79.2	74.4	21.40	46.2
4.513	178.3206	80.6	79.6	69.0	12.60	39.2
1.050	37.3048	16.2	11.6	10.6	5.83	53.7
8.101	432.4464	138.0	122.8	74.8	25.70	36.3
2.674	430.0668	34.4	51.6	136.4	6.57	59.4
4.844	281.5884	43.4	62.4	21.8	18.80	56.8
0.597	29.4534	14.2	16.0	20.8	6.02	53.3
3.613	82.4670	20.4	17.6	79.2	17.70	74.1
0.534	15.8337	5.0	12.2	38.2	10.30	55.9
0.625	78.9610	65.4	107.2	117.0	5.59	40.5
3.635	132.6223	73.2	10.8	24.6	18.80	58.5

表3 降水量与径流量回归统计情况

多元回归	$R^2$	拟合系数	标准误差	观测值
0.733	0.538	0.451	108.360	20

其相关系数  $R^2 = 0.538$ ,相关性较差,说明降水量与径流量没有较好的相关关系。同理,计算得出的降水量与输沙量相关系数  $R^2 = 0.160$ ,无相关关系。

## 4 结 语

本文基于泾河流域红河水文站发生洪水时流量与

含沙量涨落变化基本相对应的特性进行研究,选用洪水过程中流量、含沙量对应点的增减变幅比例建立相关关系,对红河水文站泥沙测验方式进行分析。结果表明,红河水文站小洪水、中洪水径流量与输沙量关系点据散乱,相关关系不好,用径流量单一因素推求输沙量不可行;流量与含沙量涨水段、落水段比例系数相关性均不够理想,故用流量、含沙量比例系数相关法推求一场洪水过程中的含沙量变化过程不可行;红河水文站流量、含沙量增长率存在一定的相关性,但尚未达到使用标准,其具有一定相关关系的原因是河流中含沙量的增长与水流流速有一定关系,一般来说流量增长越快,流速越大,含沙量增长越快,且流速与降水强度一般成正比,降水强度越大,流速越大。因此,建议在下一步研究中加入降水参数,从降水强度方面再作进一步的分析,研究是否可以建立更好的相关性。◆

#### 参考文献

- [1] 祁向荣. 潘家庄水文站泥沙测验方式探讨[J]. 地下水, 2021, 43(3):195-196.
- [2] 刘东生,陈守荣,李海源,等. 长江水文测验方式方法创新方案设计[J]. 水文, 2011, 31(S1):4-7.
- [3] 王俊. 长江水文测验方式方法技术创新的探索与实践[J]. 水文, 2011, 31(S1):1-3.
- [4] 田瀛莉. 茹河开边水文站巡测方案论证分析[J]. 农业科技

(上接第 35 页)全面地分析研究。◆

#### 参考文献

- [1] 马梓策,于红博,曹聪明,等. 中国植被覆盖度时空特征及其影响因素分析[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(6): 1310-1321.
- [2] 闫霞,周银军,姚仕明,等. 长江源区不同地表覆盖类型对河流径流输沙的影响[J]. 泥沙研究, 2020, 45(4):45-51.
- [3] 连秋晗,田鹏,赵广举,等. 佳芦河流域生态治理影响下的水沙关系变化[J]. 中国水土保持科学, 2020, 18(4):53-61.
- [4] 姚文艺,高亚军,张晓华. 黄河径流与输沙关系演变及其相关科学问题[J]. 中国水土保持科学, 2020, 18(4):1-11.
- [5] 王鸿翔,赵颖异,刘静航,等. 近 50 年黄河下游水沙情势演变及其影响因素分析[J]. 水力发电, 2020, 46(9):48-54.
- [6] 谢梦瑶. 变化环境下皇甫川流域水沙演变及其影响因素[D]. 西安:西安理工大学, 2020.
- [7] 赵阳,刘冰,张晓明,等. 极端降水条件下黄河典型流域水

与信息, 2018(17):36-39.

- [5] 中华人民共和国水利部. 水文巡测规范: SL 195—2015 [S]. 北京:中国水利水电出版社, 2016.
- [6] 王晶娥. 彰武水文站测沙垂线精简分析探讨[J]. 黑龙江水利科技, 2021, 49(3):106-108.
- [7] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 河流悬移质泥沙测验规范: GB/T 50179—2015 [S]. 北京:中国计划出版社, 2016.
- [8] 陈沛源,李金文,俞巧,等. 基于 SWAT 模型的泾河流域地下水分布特征与水资源评价[J]. 灌溉排水学报, 2021, 40(12):102-109, 126.
- [9] 刘宇,管子隆,田济扬,等. 近 70a 泾河流域径流变化及其驱动因素研究[J]. 干旱区地理, 2022, 45(1):17-26.
- [10] 于昊含,李超超,包淑萍,等. 基于多种水文学法的泾河生态基流估算[J]. 甘肃科技, 2021, 37(19):34-40.
- [11] 艾明乐,赵强,王奎峰,等. 1957—2017 年泾河流域降水量及降水侵蚀力时空变化分析[J]. 水资源与水工程学报, 2021, 32(4):93-100.
- [12] 张淑兰,吴光,张海军,等. 1966—2005 年泾河流域径流系数的变化特征[J]. 水电能源科学, 2021, 39(5):33-36.
- [13] 张珈玮. 泾河流域水文过程模拟预测及生态环境需水研究[D]. 西安:长安大学, 2021.
- [14] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 河流流量测验规范: GB/T 50179—2015 [S]. 北京:中国计划出版社, 2016.
- [15] 李雅娟. 黄河下游水沙未来变化趋势研究[D]. 西宁:青海大学, 2021.
- 沙变化特性研究[J]. 泥沙研究, 2020, 45(6):47-52.
- [8] 王涛,王进,吴彦昭. 60 年来西汉水流域降水径流演变特征及影响分析[J]. 人民长江, 2020, 51(6):89-94.
- [9] 郑晓霞. 变化环境下水文资料序列一致性探析[J]. 水利规划与设计, 2020(4):20-22, 152.
- [10] 王毓森,张德栋,陈学林,等. 人类活动和气候变化对白龙江径流的影响研究[J]. 地下水, 2018, 40(4):191-193.
- [11] 黎清霞,李佩怡,何艳虎,等. 澜沧江流域中下游主要水文气象要素变化相关性分析[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(9):100-107.
- [12] 金泉,吴彦昭. 西汉水流域降水径流对水土流失的影响分析[J]. 陕西水利, 2019(3):32-34, 37.
- [13] 陈晖,张红,徐高洪,等. 基于遥感、DEM 技术的西汉水水土流失变化分析[J]. 人民长江, 2006, 37(12):12-15.
- [14] 张英豪,赖锡军,唐彩虹. 单向明渠流与波浪作用下植被对水沙运动影响研究综述[J]. 水科学进展, 2021, 32(2):309-319.