

Research Progress and Prospect of Hydrology and Water Resources in Tao River Basin

Bingwen Fan, Fujie Zhong

Lintao Hydrology and Water Resources Survey Bureau, Lintao Gansu
Email: gsswfbw@126.com, 466745295@qq.com

Received: Nov. 16th, 2018; accepted: Nov. 30th, 2018; published: Dec. 7th, 2018

Abstract

Tao River is a vital base of the important water conservation areas in the Yellow River and the development of hydro-power resource in Gansu province. The analysis and study of the hydrology and water resources in Tao River basin is of great significance to adaptive human activities and climate change in the future, and promote the economic and social development of the region and the construction of the water ecological civilization. This paper reviews the research contents and achievements from the change of hydrological factors, hydrological information forecast, climate change and water environment. All in all, we propose the future research focus in this field: including the construction and application of the flood and disaster monitoring and warning system, the rule of the runoff yield under the conditions of the underlying surface change, the influence of the construction of cascade hydro-power on the water ecology, and the hydrological monitoring under the influence of human activities etc.

Keywords

Hydrology and Water Resources, Research Progress, Future Prospect, Tao River Basin

洮河流域水文水资源研究进展及未来展望

凡炳文, 仲复捷

甘肃省临洮水文水资源勘测局, 甘肃 临洮
Email: gsswfbw@126.com, 466745295@qq.com

收稿日期: 2018年11月16日; 录用日期: 2018年11月30日; 发布日期: 2018年12月7日

摘要

洮河是黄河重要水源涵养区和甘肃省水电资源开发的重要基地, 分析研究洮河流域水文水资源问题, 对应对人
作者简介: 凡炳文(1964-), 男, 正高级工程师, 主要从事水文水资源评价和研究工作。

类活动和未来气候变化带来的影响,促进区域经济社会发展和水生态文明建设具有重要意义。本文从水文要素变化、水文情报预报、气候变化、水环境问题等方面对研究内容以及取得的成果进行了回顾综述,最后提出山洪灾害监测预警预报系统建设与应用、下垫面变化条件下产汇流规律、水电梯级建设对水生态的影响、人类活动影响下水文监测方式等研究将是该区域未来研究重点。

关键词

水文水资源, 研究进展, 未来展望, 洮河流域

Copyright © 2018 by authors and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

洮河发源于青海省境内的西倾山北麓,源地海拔 4260 m,介于 101°36'~104°20'E, 34°03'~36°01'N 之间,干流河道全长 673 km,流域总面积为 25,527 km²。洮河从青海省河南蒙古族自治县赛尔龙镇流出进入甘肃省境内,曲折东流经碌曲、临潭、卓尼县后至岷县茶埠急转向西北,出九甸峡与海奠峡后,穿临洮盆地,于永靖县刘家峡水库坝上 2 km 处汇入黄河。洮河是黄河上游较大的一级支流,是黄河重要水源涵养区以及中国濒危鱼类重要分布区,生态地位十分重要,其地表水资源量占到甘肃省黄河流域的 37.6%,带来的泥沙占到黄河刘家峡水库来沙量的 30% 以上,水沙资源丰富,为甘肃省水电资源开发的重要基地。该流域地跨甘南高原和陇中黄土高原两大地貌单元,高原大陆性气候特征明显,植被类型复杂多样,水平地带性分布比较显著。洮河在刘家峡电厂的水沙调度、黄河上游的生态环境保护、区域防汛抗旱和水电资源开发以及经济社会的发展等方面起着非常重要的作用。由于其所处的地域位置及其发挥的重要作用,多年来广大学者、专家及水文工作者对洮河流域水文水资源做了大量的分析研究工作,取得了可喜的成果,为洮河防洪减灾、水资源管理、水资源保护和水生态修复、全面推进河长制等提供了科学依据。近期以来,随着洮河水资源利用和水能开发力度的加大,洮河水文水资源监测及研究出现了许多新现象,面临着许多新问题。本文将对洮河流域水文水资源研究的主要内容及采用的技术方法方面综述已有的研究成果,并结合未来经济社会发展和水生态文明建设实践需求,对该流域未来研究方向进行展望,以期为进一步开展水文水资源监测评价和分析研究提供参考。洮河流域水系及水文站分布见图 1 所示。

2. 研究进展

洮河是甘肃省较早开始水文要素监测的河流之一,1941 年在洮河中游岷县设立了龙王台水文站(现岷县水文站),1942 年设立了李家村水文站,新中国成立以后,水文站网不断完善,现已形成布局比较合理,监测项目较为齐全,基本上能满足防洪抗旱、水资源开发利用、水环境监测、水工程规划设计和水土保持等经济社会需要的水文监测系统。随着水文站网的不断完善和水文资料的不断积累,洮河流域水文水资源研究大致经历了三个阶段,第一阶段是上世纪 50 年代~80 年代初,这一时期广大水文工作者在水文测验方面进行了积极的探索,诸如浮标系数、流速系数、测速垂线分布、单样含沙量取沙垂线位置等项目的分析研究;第二阶段为上世纪 80 年代中期 - 上世纪末,这一阶段的研究主要集中在水资源及水文情报预报方面,诸如观测水文要素量值及时空变化规律、水资源时空分布、水文资料的整编技术标准以及干流洪水预报模型的探讨等;第三阶段为本世纪初至今,这一时期许多专家、学者积极参与进来,研究的内容进一步扩展,研究的方向主要在随机水文和数字水文方面,诸如用随机过程理论、时间序列分析方法、水文随机模型等借助数字化技术描述水文要素时空变化规律

和水资源系统时空分布特征等。

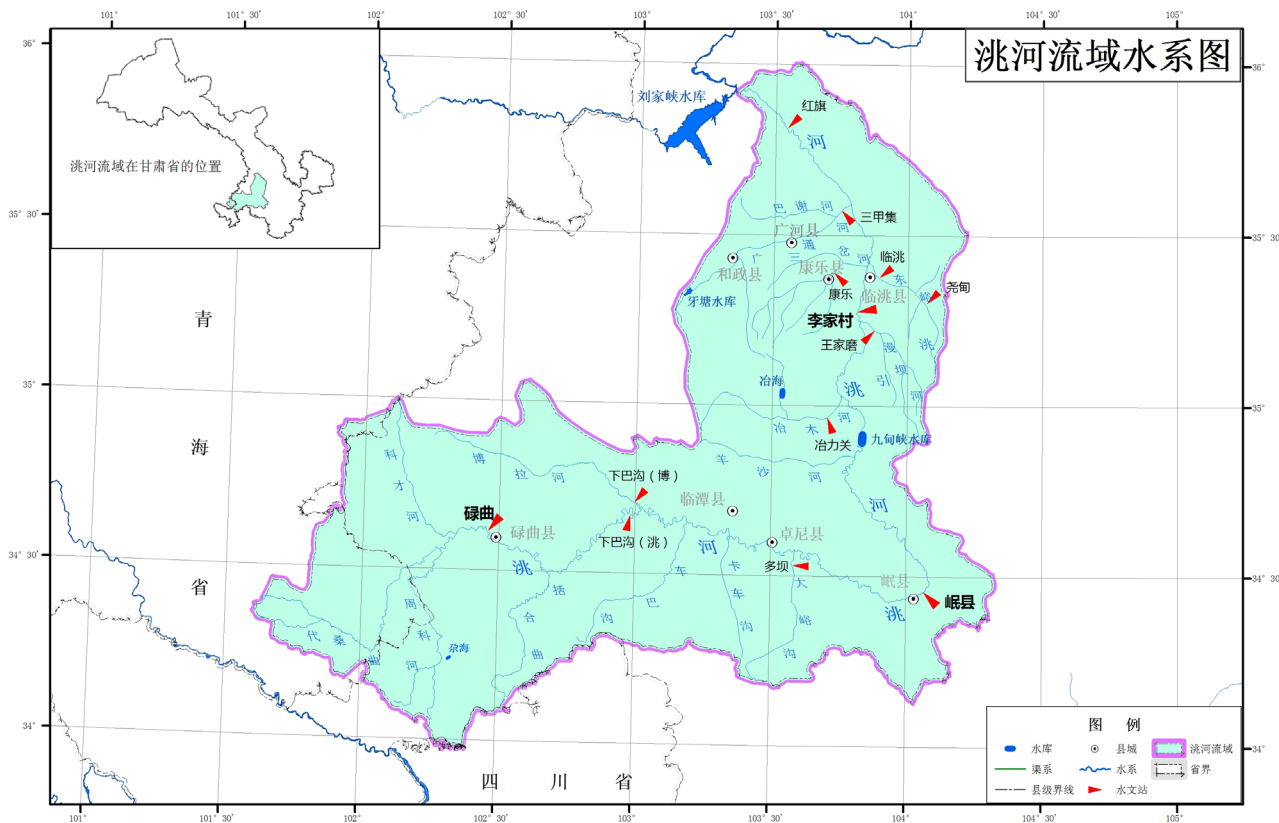


Figure 1. Distribution map of water system and hydrological stations in the Tao River basin
图 1. 洮河流域水系及水文站分布图

2.1. 水文要素变化方面

降水、径流是水文循环的重要环节，也是水文测站主要监测项目。水文部门现已积累了较长系列的原始监测数据，为开展降水径流时空变化研究提供了基础支撑。洮河流域多年平均降水量 564.7 mm，年径流量 46.11 亿 m³，不同时段主要水文要素特征值见表 1 所示。

Table 1. Characteristic values of main hydrological elements in the Tao River basin
表 1. 洮河流域主要水文要素特征值

系列	年降水量(mm)			年径流量(亿 m ³)			年输沙量(万 t)		
	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小
1956~2016	564.7	780.0	440.6	46.11	95.76	24.54	2095	6590	136
1956~1979	580.2	780.0	448.9	52.95	95.76	32.36	2922	6590	557
1980~1999	550.9	679.1	467.0	43.71	67.60	27.08	2286	4380	604
2000~2016	558.9	689.4	440.6	39.27	58.38	24.54	702	2170	136

依据实测水文要素数据，张济世等[1]对近 50 年来洮河流域降水径流变化趋势进行了分析计算，得出降水和径流的年下降斜率分别为-0.86~-1.34 mm 和-1.57~-3.36 m³/s。凡炳文等[2]对洮河干流控制站近 50 年(1956~2005 年)降水、径流时间序列的变化进行了综合分析，并对径流量序列进行了一致性分析修正，认为径流减少的趋势比降

水减少的趋势更加明显, 径流减少主要在甘南草原及森林区, 降水减少主要在中游及降水高值区, 受人类活动和气候变化的影响, 径流序列 1986 年发生了跳跃变化, 后段比前段相对减少了 27.5%, 经一致性分析修正, 得出代表近期下垫面条件下洮河地表水资源量为 45.86 亿 m^3 。李计生等[3]分析了洮河径流的时空变化规律, 探讨了不同时间段月径流的变化和季节性变化特征, 并对径流减少的成因以及汛期各月出现不同频率洪水的可能性进行了分析, 指出洮河较大以上洪水主要发生在 8~9 月份, 出现的概率为 5.4%。冯平等[4]将水文时间序列多分辨率分析的 EMD 方法应用于洮河天然年径流量时序波动特征的多时间尺度研究, 结果表明年径流量变化存在准 2~6 年、准 8~10 年和准 26 年的波动周期的特征。段志勇等[5]采用小波分析方法, 识别了洮河流域降水时间序列中存在的多时间尺度特征, 揭示了年降水的周期性特征和旱涝变化趋势, 对于进一步了解水资源特征及演变趋势具有重要的意义。李常斌等[6]分析了洮河流域水文气象要素变化的时空特征, 综合研究结果表明洮河流域气温、降水和径流的年代际变化周期以 9~13 年和 2~5 年最为常见, 气温从 1990 年代中期开始明显上升, 降水总体于 1990 年代初期开始减少, 受降水变化影响, 流域河川径流量 1990 年代发生明显减少, 降水和径流变化在不同时期和不同生态-地理区间差异明显。岷县以上是洮河产水区, 其来水量占到洮河总来水量的 70%, 洮河水电梯级开发使得下游年径流汛期所占比重相对减小, 非汛期所占比重相对增加, 年内变化趋向均一, 尤其九甸峡水利枢纽的建设极大地改变了下游河道的流量过程, 对径流的影响较大[7]。不同学者进一步从黄河流域或省域尺度对洮河流域的降水径流进行了更为详细的研究[8][9][10][11], 这些研究从不同层面初步明晰了洮河流域降水和径流的变化对整个黄河流域水资源变化的影响, 并且结合洮河流域是黄河重要水源涵养区的区域背景提出了水生态修复和水资源保护的措施。由于采用资料系列年限及研究方法的不同, 研究结果之间略有差异, 但普遍认为由于受气候变化及人类活动的双重影响, 流域降水和径流特征发生了明显变化, 降水与径流总体呈下降趋势, 且径流衰减剧烈。

洮河是一条高含沙河流, 平均年输沙量达 2095 万 t。近些年来, 不同学者围绕洮河泥沙分布及水沙变化规律和趋势方面开展了广泛探讨。凡炳文等[12]通过对洮河红旗水文站的泥沙监测资料分析, 得出洮河泥沙具有含量高、输沙总量大、产沙的区域性、年际的波动性、年内的不均匀性和时间的集中性六大特点, 上中下游水产产沙效应差异很大, 水沙异源特性突出, 李家村-红旗区间是洮河主要产沙区, 其年来沙量占到洮河总来沙量的 70%以上。洮河干流梯级电站的建设和运行, 改变了河流泥沙运动和输移状态, 使得泥沙过程失真, 年内分布和特征值发生了较大变化。陈文等[13]的分析表明水电站拦河大坝的建设阻隔了河流泥沙输移通道, 改变了时空分布规律和上下游泥沙平衡关系, 水电站建设对河流泥沙的影响较大。张涛等[14]分析了洮河干流水沙关系及其变化, 得出洮河各控制断面输水输沙存在正相关关系, 洮河上游站水沙关系存在沙量明显增大的变化, 洮河中游的岷县站水沙关系波动较大, 洮河中下游的水沙关系变化很大, 水利水电工程的拦沙作用突出, 总体表现为减沙极为明显。张春林等[15]估算了降水变化和人类活动对年径流量和年输沙量的影响, 就平均情况而言, 降水和人类活动对径流的影响量分别约占径流减少总量的 32.9%和 67.1%, 对输沙的影响量分别约占输沙减少总量的 47.4%和 52.6%, 不同阶段的人类活动特征明显。综合来看, 不同时期流域内工程建设增沙和水利水电工程拦沙的结果, 使得输沙量呈现阶段性增减变化, 这些分析研究成果为洮河流域治理、水利工程建设、小流域治理和水土保持中大量泥沙问题的处理和解决提供了参考依据。

2.2. 水文情报预报方面

水文情报预报在水文科研中占据着及其重要的地位, 为科学研判雨水情趋势、精准发布洪水预报、防汛抗旱减灾、合理调度水资源的指挥决策提供着有力支撑。广大学者积极开展洮河流域水文情报预报研究, 胡兴林等[16]根据水文系统理论模型的原理和方法, 建立了干旱半干旱地区水文预报模型, 并在洮河流域进行预报检验获得了初步成功。凡炳文等[17]采用多元线性回归系统, 建立了洮河红旗水文站实时洪水过程预报模型, 用于红旗站根据上游雨水情信息和监测实时信息做出实时洪水过程预报成果, 提高了红旗站洪水预报的时效性和发布预警信息的水平。崔涛[18]将多维时间序列模型在红旗站的应用作了尝试, 邓娜[19]针对现有水文预报模型结构

复杂、参数多、率定和修正较困难等缺点，采用由秦毅提出的具有成因概念的系统模型对红旗站日径流与含沙量过程进行了预报，该模型简单易行，对降雨径流有较好模拟效果。另外，杨新华等[20]对洮河枯水期径流预报模型进行了积极探索。

2.3. 气候变化方面

在全球气候变化的大背景下，广大气象工作者针对气候变化对洮河流域和洮河水资源的影响进行了资料及模式分析研究。朱丽等[21]通过对洮河上游碌曲、中游岷县和下游临洮 3 处站点的气温观测资料分析，认为近 50 年洮河流域年平均气温整体呈现显著上升趋势，尤其在 1997 年前后明显升温，上游碌曲增幅最大，中游岷县、下游临洮增幅明显偏低。王建兵[22]以洮河流域 7 个气象站地面气象观测资料为基础，根据 Holdridge 生命地带模型对洮河流域近 40 年的干燥度变化进行了分析，认为洮河流域从 20 世纪 90 年代开始出现了明显的暖干化趋势。姚玉璧等[23]利用洮河流域气象和水资源观测资料建立了水资源气候模式，结果表明洮河流域气温和干旱指数年际变化趋势均呈显著上升趋势，气温变化线性拟合倾向率在 0.12~0.59℃/10 年之间，干燥指数变化线性拟合倾向率在 0.05~0.12/10 年之间。张济世等[24]统计分析流域上游 40 多年的实测水文气象数据发现，由于气候升温变暖、草原载畜过量以及过度砍伐森林，导致洮河流域主要产流区甘南高原的气候干旱化、山区水土流失加剧、草原植被退化和沙漠化。上述这些研究为洮河流域内气候变化应对策略、山洪灾害预防预警以及水资源合理利用提供了重要依据。

2.4. 水环境问题方面

水环境是人类社会生存和发展的重要基础，随着国民经济社会的快速发展，在人类活动和气候变化的双重影响下，水环境的污染防治治理已成为加强水环境质量管理、推动产业调整优化、实施生态保护与修复的一项基础工作。据 2017 年甘肃省重点水质监测站监测资料进行的评价结果显示(表 2、表 3)，2017 年洮河流域排污口 22 个，入河污水总量 1440 万 t，入河主要污染物中化学需氧量 919 t，氨氮 132 t；全年干流评价河长 673 km，II 类水质的河长 673 km，占评价总河长的 100%。可以看出，2017 年洮河流域除苏集河部分河段外，洮河干流及主要支流水质状况相对较好。

Table 2. Waste water discharge and major pollutants entering the Tao River in 2017

表 2. 2017 年洮河废污水排放量及入河主要污染物

废污水年排放量(万)			排污口统计(个)			入河污水量(万 t)	入河主要污染物(t)		
生活	工业	合计	工业	生活	混合		合计	化学需氧量	氨氮
671	289	960	4	14	4	22	1440	919	132

Table 3. River chief of monitoring the current water quality of the Tao River and major tributaries in 2017

表 3. 2017 年洮河及主要支流水质现状监测河长

河流名称	全年期分类河长(km)				汛期分类河长(km)				非汛期分类河长(km)				
	评价河长	II 类	III 类	IV 类	评价河长	II 类	III 类	IV 类	评价河长	II 类	III 类	IV 类	V 类
洮河	673.1	673.1			673.1	673.1			673.1	673.1			
博拉河	84.8	84.8			84.8	84.8			84.8	84.8			
冶木河	79.3	79.3			79.3	79.3			79.3	79.3			
苏集河	53.0		38.0	15.0	53.0		38.0	15.0	53.0		38.0		15.0
东峪沟	68.8		68.8		68.8	68.8			68.8		68.8		
广通河	62.5		62.5		62.5		62.5		62.5		62.5		

近年来, 广大学者对洮河流域水环境问题进行了积极探讨, 科学、合理地评价洮河水环境质量的状况和演变特征, 掌握不同水环境中水质类别和污染因子, 对于洮河流域推进生态文明建设、解决生态环境问题、促进经济社会协调发展具有重要的现实意义。张国珍等[25]依据洮河干流 11 个水质监测站点监测数据对洮河干流水质特性进行了分析。杨晓妮等[26]采用单因子评价法和灰色聚类法对洮河干流 12 个取样断面水质进行评价, 结果有 9 个断面综合水质类别为 III 类或劣于 IV 类, 氨氮和磷超标是洮河干流水环境恶化的主要因素。杨浩等[27]依据 2014 年的监测资料, 采用单因子评价法评价九甸峡、李家村、红旗水质监测站断面年综合水质类别分别为 V 类、V 类和劣 V 类; 通过应用模糊综合评判法评价 3 个监测断面所属综合水质类别均为 I 类水, 均达到 3 个断面既定水环境功能区目标限定的目标类别 III、II、III 类, 指出洮河干流水质改善过程中, 总氮污染应是未来一段时间洮河流域水环境保护治理的重点。近些年来洮河干流及主要支流水质监测结果显示洮河流域山区河源地带的大部分河流水质尚好, 洮河干流岷县段、红旗段, 支流东峪沟、苏集河、广通河主要纳污河段水质超标严重, 甚至达到劣 V 类, 主要污染物为高锰酸盐指数、氨氮、溶解氧和五日生化需氧量, 城镇处理污水能力不足是城镇排污河段水质超标严重的主要原因。

3. 未来展望

洮河流域水文水资源研究已取得不少成果, 这些成果主要采用水文基础理论和新技术应用等方法分析揭示洮河水文要素的变化规律和特征, 为人们认识水文现象及其运动规律发挥了积极作用, 但面对近年来诸如“5.10”岷县特大冰雹山洪泥石流灾害、“7.18”东乡暴雨山洪灾害等自然灾害以及人类活动影响、水资源可持续利用等突出的实际问题, 研究成果尚欠创新性、前瞻性和实践指导性, 没有与区域突出水问题紧密结合起来, 经济效益与社会效益不明显。因而, 在前期研究的基础上, 今后应从水生态文明建设的高度认识洮河流域水资源问题, 紧密结合区域经济社会发展需求, 以研究解决实际问题和新要求为目标, 增强洮河流域防灾减灾能力, 助推河湖管理保护精准化, 从而实现流域人口、资源、环境与经济社会的协调发展。未来应主动适应新时代水文科研新要求, 着重加强以下几个方面的研究。

1) 山洪灾害监测预警预报系统建设与应用研究

洮河流域近年来极端天气事件明显增多, 局地强降水诱发的山洪灾害频发, 给当地民众生命财产安全造成了严重威胁。未来应充分利用全国中小河流水文监测系统建设项目和全国山洪灾害防治项目新建的雨水情监测站点实时监测数据, 积极开展洮河流域山洪灾害预警预报系统的研究与应用, 指导编制具有针对性、科学性、可操作性的预警预报方案, 提升山洪灾害研判水平, 以期山洪灾害预警和防灾减灾提供技术支撑。

2) 下垫面变化条件下产汇流规律研究

随着经济社会的不断发展, 洮河流域相继广泛开展了流域综合治理、水土保持综合治理、水利水电工程建设等一系列的人类活动, 这种高强度的人类活动改变了流域的下垫面条件, 导致流域降雨产汇流规律发生了很大改变, 在相同降水条件下径流量明显减小, 原有的产汇流模式发生了根本性改变。因而通过分析影响流域产汇流特性的下垫面条件的变化, 加强下垫面变化条件下产汇流规律研究, 对于科学识别和定量评价人类活动对暴雨洪水过程的影响有着重要意义。

3) 水电梯级建设对水生态的影响研究

水电建设给社会带来巨大的经济效益和社会效益的同时, 破坏了河流的自然属性和水生态环境, 干流部分河段出现了渠道化和非连续化的态势, 天然河段基本消失, 改变了天然河流的水文特征和结构, 使得水文情势发生了较大改变, 由此引起的诸如气候环境条件的变化、水生生物群落多样性变化、水环境自净能力的变化等尚需进一步深入研究, 为推进洮河流域水生态文明建设提供科学支撑。

4) 人类活动影响下水文监测方式研究

水利水电工程建设, 改变了水文监测条件和上下游水沙情势, 导致了监测断面增加, 水位变化频繁, 水沙

平衡破坏, 水流状态复杂化, 测流时机及过程难以控制, 测验难度及工作量加大, 水情报汛时效性降低, 严重影响了水文资料的连续性、代表性, 给水文监测、水文预报、水资源评价造成了一定困难。水文部门要积极引进、研制开发新仪器、新设备, 不断探索新形势下水文监测的新技术、新应用、新方法, 充分利用现代信息网络技术, 提高水文监测自动化水平, 促进水文监测方式转变。

4. 结语

21 世纪以来, 洮河流域水资源短缺和水环境污染问题较为突出, 上游甘南草场退化沙化明显, 中游局地山洪灾害频繁, 下游支流水污染依然存在, 制约了洮河流域经济社会发展。目前洮河水文水资源研究取得了一定成果, 但这些研究还处于逐步阶段, 还需要广大科技工作者结合洮河水文水资源研究现状及水问题解决的实践需求, 实时追踪国内外水文水资源热点问题及研究方向, 充分运用最新理论成果、最新技术手段、最新研究方法, 强化洮河流域水文水资源应用基础研究, 促进科技成果转化应用, 更好地为区域水资源管理、水生态文明建设和现代水利体系建设服务。

参考文献

- [1] 张济世, 康尔泗, 蓝永超, 等. 50a 来洮河流域降水径流变化趋势分析[J]. 冰川冻土, 2003, 25(1): 77-82.
ZHANG Jishi, KANG Ersi, LAN Yongchao, et al. Trend analysis of the precipitation and runoff in the Taohe River Watershed during the past 50 years. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, 25(1): 77-82. (in Chinese)
- [2] 凡炳文, 牟燕红, 邱文俊. 洮河流域径流时间序列一致性及变异研究[J]. 水文, 2008, 28(3): 70-73.
FAN Bingwen, MU Yanhong and QIU Wenjun. Consistency and variation analysis of runoff time series in Taohe River Basin. Journal of China Hydrology, 2008, 28(3): 70-73. (in Chinese)
- [3] 李计生, 陈文, 凡炳文. 洮河径流时空变化分析[J]. 地下水, 2009, 31(2): 67-70.
LI Jisheng, CHEN Wen and FAN Bingwen. Analysis on spatiotemporal variety at runoff of Tao River. Ground Water, 2009, 31(2): 67-70. (in Chinese)
- [4] 冯平, 丁志宏, 韩瑞光. 基于 EMD 的洮河年径流量变化多时间尺度分析[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(12): 73-76.
FENG Ping, DING Zhihong and HAN Rui Guang. Time-scale analysis on annual runoff time series of the Taohe River based on EMD. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2008, 22(12): 73-76. (in Chinese)
- [5] 段志勇, 凡炳文. 洮河流域降水量的多时间尺度特征及趋势分析[J]. 人民黄河, 2015, 37(11): 11-14.
DUAN Zhiyong, FAN Bingwen. Analysis on long-time scale characteristics of precipitation and future trend of Taohe River Basin. Yellow River, 2015, 37(11): 11-14. (in Chinese)
- [6] 李常斌, 王帅兵, 杨林山, 等. 1951-2010 年洮河流域水文气象要素变化的时空特征[J]. 冰川冻土, 2013, 35(5): 1259-1266.
LI Changbin, WANG Shuaibing, YANG Linshan, et al. Spatial and temporal variation of main hydrologic meteorological elements in the Taohe River basin from 1951 to 2010. Journal of Glaciology and Geocryology, 2013, 35(5): 1259-1266. (in Chinese)
- [7] 牟燕红. 洮河水梯级开发对径流的影响分析[J]. 人民黄河, 2011, 3(1): 37-40.
MU Yanhong. Analysis on influence of multi-stage water power development to the runoff of Taohe River. Yellow River, 2011, 3(1): 37-40. (in Chinese)
- [8] 张晓晓, 张钰, 徐浩杰. 1960-2010 年洮河流域径流变化趋势及影响因素[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2013, 49(1): 38-43.
ZHANG Xiaoxiao, ZHANG Yu and XU Haojie. Analysis of runoff tendency and its influencing factors in the Tao River basin from 1960 to 2010. Journal of Lanzhou University (Natural Science), 2013, 49(1): 38-43. (in Chinese)
- [9] 刘超, 秦毅, 邓娜. 黄河上游主要干支流近期降水、径流统计特征变化分析[J]. 水土保持学报, 2004, 18(1): 96-99.
LIU Chao, QIN Yi and DENG Na. Changes in statistical feature of recent precipitation and runoff in upper reaches of Yellow River Regime. Journal of Soil and Water Conservation, 2004, 18(1): 96-99. (in Chinese)
- [10] 王国庆, 张建云, 贺瑞敏, 等. 黄河兰州上游地区降水、气温变化及趋势诊断[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(1): 77-81.
WANG Guoqing, ZHANG Jianyun, HE Ruimin, et al. Variation and trends detection of precipitation and temperature in the upper reaches of Yellow River[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2009, 23(1): 77-81. (in Chinese)
- [11] 凡炳文, 姚代顺. 黄河甘肃境域降水变化的多尺度周期特征分析[J]. 地下水, 2015, 37(6): 117-120.
FAN Bingwen, YAO Daishun. Analysis on multi scale cycle characteristics about precipitation variation of the yellow river in Gansu Area. Ground Water, 2015, 37(6): 117-120. (in Chinese)

- [12] 凡炳文, 陈文, 李计生. 洮河泥沙分布及变化分析[J]. 地下水, 2010, 32(3): 118-120.
FAN Bingwen, CHEN Wen and LI Jisheng. Analysis on sand distribution and change in Tao River. Ground Water, 2010, 32(3): 118-120. (in Chinese)
- [13] 陈文, 凡炳文. 洮河水电开发泥沙响应研究——以洮河干流碌曲~下巴沟站区间为例[J]. 水资源与水工程学报, 2008, 19(6): 117-121.
CHEN Wen, FAN Bingwen. Study on response of silt in hydropower development——Example for the section between Luqu to Xiabagou Stations in main stream of Taohe River. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2008, 19(6): 117-121. (in Chinese)
- [14] 张涛, 凡炳文, 陈文. 洮河水沙关系变化分析[J]. 地下水, 2013, 35(4): 139-141.
ZHANG Tao, FAN Bingwen and CHEN Wen. Analysis on the change of water and sand relationship in Taohe River. Ground Water, 2013, 35(4): 139-141. (in Chinese)
- [15] 张春林, 凡炳文, 刘国华. 近 58 年来洮河流域水沙演变特征与驱动力分析[J]. 人们黄河, 2014, 36(8): 10-14.
ZHANG Chunlin, FAN Bingwen and LIU Guohua. Analysis on characteristics evolution and driving force of water and sediment evolution in the Taohe River Basin in recent 58 years. Yellow River, 2014, 36(8): 10-14. (in Chinese)
- [16] 胡兴林, 畅俊杰, 姚志宗, 等. 干旱半干旱地区水文预报模型研究及应用——以洮河流域为例[J]. 冰川冻土, 2003, 25(4): 409-413.
HU Xinglin, CHANG Junjie, YAO Zhizong, et al. Study and application of hydrology forecast model in the arid and semi-arid regions. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, 25(4): 409-413. (in Chinese)
- [17] 凡炳文, 马艳年, 许传良. 洮河红旗站洪水预报模型研究[J]. 甘肃水利水电技术, 2007, 43(1): 37-39.
FAN Bingwen, MA Yannian and XU Chuanliang. Study on flood forecast model of Hongqi Station on Taohe River. Gansu Water Resources and Hydropower Technology, 2007, 43(1): 37-39. (in Chinese)
- [18] 崔涛. 多维时间序列模型在洮河红旗站的应用[J]. 水文, 2001, 21(2): 51-53.
CUI Tao. Application of multi-dimensional time sequence model in the Hongqi Station on the Taohe River. Journal of China Hydrology, 2001, 21(2): 51-53. (in Chinese)
- [19] 邓娜. 洮河流域汛期日径流与含沙量过程预报[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安理工大学, 2004.
DENG Na. Daily runoff and suspended sediment concentration forecast for flood season of Taohe River Basin. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2004. (in Chinese)
- [20] 杨新华, 金兴文, 马建立, 等. 基于神经网络的洮河枯期径流预报模型研究[J]. 节水灌溉, 2007(8): 76-78.
YANG Xinhua, JIN Xingwen, MA Jianli, et al. The research of model of Taohe River run-off prediction based on neural network in dry season. Water Saving Irrigation, 2007(8): 76-78. (in Chinese)
- [21] 朱丽, 刘蓉, 文军, 等. 近 50a 来洮河流域气候变化和干旱演变过程[J]. 干旱气象, 2018, 36(2): 234-242.
ZHU Li, LIU Rong, WEN Jun, et al. Climate change and drought evolution in the Taohe River basin in the past 50 years. Journal of Arid Meteorology, 2018, 36(2): 234-242. (in Chinese)
- [22] 王建兵. 近 40 年洮河流域干燥度变化趋势分析[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(5): 246-250.
WANG Jianbing. Trend analysis for the variety of arid index in Taohe River basin in recent 40 years. Agricultural Research in the Arid Areas, 2014, 32(5): 246-250. (in Chinese)
- [23] 姚玉璧, 张秀云, 王润元, 等. 洮河流域气候变化及其对水资源的影响[J]. 水土保持学报, 2008, 22(1): 168-173.
YAO Yubi, ZHANG Xiuyun, WANG Ruiyuan, et al. Impact of climate changing to water resource in Taohe River valley. Journal of Soil and Water Conservation, 2008, 22(1): 168-173. (in Chinese)
- [24] 张济世, 康尔泗, 姚尽忠, 等. 气候变化对洮河流域水资源的影响[J]. 中国沙漠, 2003, 23(3): 263-267.
ZHANG Jishi, KANG Ersi, YAO Jinzhong, et al. Influence of climate change on water resources in Taohe River basin. Journal of Desert Research, 2003, 23(3): 263-267. (in Chinese)
- [25] 张国珍, 李娜, 武福平, 等. 洮河干流水质特性分析[J]. 人民黄河, 2013, 35 (12): 80-82.
ZHANG Guozhen, LI Na, WU Fuping, et al. Water quality characteristics analysis of Taohe River of the upper tributary of the Yellow River. Yellow River, 2013, 35 (12): 80-82. (in Chinese)
- [26] 杨晓妮, 杨浩. 基于灰色聚类法的洮河干流水环境质量综合评价[J]. 甘肃农业大学学报, 2017, 52(3): 95-101.
YANG Xiaoni, YANG Hao. Comprehensive evaluation on water environment quality of the Taohe River based on grey clustering method. Journal of Gansu Agricultural University, 2017, 52(3): 95-101. (in Chinese)
- [27] 杨浩, 张国珍, 杨晓妮, 等. 基于模糊综合评判法的洮河水环境质量评价[J]. 环境科学与技术, 2016, 39(S1): 380-386.
YANG Hao, ZHANG Guozhen, YANG Xiaoni, et al. Comprehensive evaluation on water environment quality of the Taohe River based on fuzzy comprehensive method. Environmental Science & Technology, 2016, 39(S1): 380-386. (in Chinese)