

陈 文 || 主编

CHENWEN ZHUBIAN

# 洮河流域水资源格局及 变化模式研究

TAOHE LIUYU SHUIZIYUAN GEJU JI

BIANHUA MOSHI YANJIU



甘肃人民出版社

TAOHE LIUYU  
SHUIZIYUAN GEJU JI  
BIANHUA MOSHI YANJIU

# 洮河流域 水资源格局及 变化模式研究

陈 文 || 主编



甘肃人民出版社

图书在版编目(CIP)数据

洮河流域水资源格局及变化模式研究 / 陈文主编

. -- 兰州 : 甘肃人民出版社, 2018. 7

ISBN 978-7-226-05304-1

I. ①洮… II. ①陈… III. ①流域—水资源—研究—  
卓尼县 IV. ①TV213.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第155499号

责任编辑:肖林霞

封面设计:王林强

洮河流域水资源格局及变化模式研究

陈文 主编

甘肃人民出版社出版发行

(730030 兰州市读者大道568号)

甘肃同济彩色制版印刷有限责任公司

开本 710 毫米×1020 毫米 1/16 印张 14.5 插页 4 字数 330 千

2018 年 8 月第 1 版 2018 年 8 月第 1 次印刷

印数:1~1 000

ISBN 978-7-226-05304-1 定价:56.00 元

## 《洮河流域水资源格局及变化模式研究》编委会

主 编：陈 文

副 主 编：凡炳文 王启优

编写人员：王毓森 霍正文 咎大为 陈学林 赵永刚  
崔 亮 张德栋 张 荣 姜 锋 李 斌  
扈家昱 费璐旸 李锦蛟 刘天彤 王汉卿  
赵 梅 仲复捷 熊雅丽 王 东 蒲永明

# 《洮河流域水资源格局及变化模式研究》

## 编 制 组

主 编:陈 文

副 主 编:凡炳文 王启优

编制人员:王毓森 霍正文 咎大为 陈学林 赵永刚

崔 亮 张德栋 张 荣 姜 锋 李 斌

扈家昱 费璐旻 李锦蛟 刘天彤 王汉卿

赵 梅 仲复捷 熊雅丽 王 东 蒲永明

目 录 *Mu lu*

|                      |       |
|----------------------|-------|
| 第一章 绪论 .....         | (001) |
| 1.1 研究背景与意义 .....    | (001) |
| 1.2 国内外研究现状 .....    | (003) |
| 1.3 研究内容和目标 .....    | (006) |
| 1.4 技术路线 .....       | (006) |
| 1.5 主要解决的技术问题 .....  | (008) |
| 1.6 技术创新点 .....      | (010) |
| 1.7 与国内外同类技术比较 ..... | (011) |
| 1.8 技术成熟程度 .....     | (012) |
| 1.9 推广应用条件和前景 .....  | (012) |
| 第二章 研究区概述 .....      | (013) |
| 2.1 自然概况 .....       | (013) |
| 2.2 水文气象 .....       | (017) |
| 2.3 河流水系 .....       | (020) |
| 2.4 社会经济 .....       | (022) |
| 2.5 水资源开发利用 .....    | (023) |
| 第三章 资料与方法 .....      | (024) |
| 3.1 资料及来源 .....      | (024) |

|                              |              |
|------------------------------|--------------|
| 3.2 分析方法 .....               | (025)        |
| <b>第四章 径流格局与演变趋势研究 .....</b> | <b>(034)</b> |
| 4.1 径流的补给来源 .....            | (034)        |
| 4.2 年径流时间序列变化分析 .....        | (034)        |
| 4.3 月径流时间序列变化分析 .....        | (044)        |
| 4.4 径流的区域分布 .....            | (049)        |
| 4.5 径流的年内变化 .....            | (053)        |
| 4.6 径流的季节变化 .....            | (056)        |
| 4.7 年洪峰流量分析 .....            | (059)        |
| 4.8 径流减小成因分析 .....           | (061)        |
| 4.9 小结 .....                 | (062)        |
| <b>第五章 泥沙格局与演变趋势研究 .....</b> | <b>(064)</b> |
| 5.1 泥沙来源及特征 .....            | (064)        |
| 5.2 泥沙的时间变化分析 .....          | (066)        |
| 5.3 泥沙的空间变化与格局 .....         | (072)        |
| 5.4 红旗站泥沙日变化分析 .....         | (079)        |
| 5.5 小结 .....                 | (085)        |
| <b>第六章 洮河干流水沙变化模式 .....</b>  | <b>(087)</b> |
| 6.1 干流站水沙相关性分析 .....         | (087)        |
| 6.2 干流站水沙关联性分析 .....         | (100)        |
| 6.3 中下游站径流过程分析 .....         | (103)        |
| 6.4 水沙匹配分析 .....             | (105)        |
| 6.5 小结 .....                 | (106)        |
| <b>第七章 主要支流水沙变化模式 .....</b>  | <b>(108)</b> |
| 7.1 上游支流博拉河水沙变化模式 .....      | (108)        |
| 7.2 上游支流大峪沟水量变化趋势 .....      | (111)        |
| 7.3 中游支流冶木河水沙变化模式 .....      | (113)        |
| 7.4 下游支流漫坝河水量变化趋势 .....      | (116)        |

|      |                          |       |
|------|--------------------------|-------|
| 7.5  | 下游支流东峪沟水沙变化模式 .....      | (118) |
| 7.6  | 下游支流广通河水沙变化模式 .....      | (121) |
| 7.7  | 小结 .....                 | (124) |
| 第八章  | 水电开发对洪峰水位(流量)的影响研究 ..... | (126) |
| 8.1  | 概述 .....                 | (126) |
| 8.2  | 洪峰流量关系分析 .....           | (128) |
| 8.3  | 水电开发对洪峰水位(流量)的影响分析 ..... | (133) |
| 8.4  | 小结 .....                 | (150) |
| 第九章  | 水电开发对径流的影响研究 .....       | (155) |
| 9.1  | 概述 .....                 | (155) |
| 9.2  | 径流来源及特征 .....            | (156) |
| 9.3  | 研究思路与方法 .....            | (156) |
| 9.4  | 年径流关系分析 .....            | (157) |
| 9.5  | 水电开发对径流的影响分析 .....       | (165) |
| 9.6  | 小结 .....                 | (172) |
| 第十章  | 水电开发对河流泥沙的影响研究 .....     | (175) |
| 10.1 | 概述 .....                 | (175) |
| 10.2 | 研究单元泥沙特征 .....           | (176) |
| 10.3 | 研究思路与方法 .....            | (176) |
| 10.4 | 泥沙输移及分布规律分析 .....        | (179) |
| 10.5 | 水电开发对泥沙的影响分析 .....       | (191) |
| 10.6 | 小结 .....                 | (205) |
| 第十一章 | 水电开发对河流热状态的影响研究 .....    | (207) |
| 11.1 | 概述 .....                 | (207) |
| 11.2 | 研究思路与方法 .....            | (208) |
| 11.3 | 热状态关系分析 .....            | (208) |
| 11.4 | 水电开发对热状态的影响分析 .....      | (212) |
| 11.5 | 小结 .....                 | (215) |

第十二章 认识与建议 ..... (217)

    12.1 认识 ..... (217)

    12.2 建议 ..... (219)

参考文献 ..... (222)

- 附图一 洮河流域地理位置示意图
- 附图二 洮河流域多年平均径流深等值线图(1981—2010 年)
- 附图三 洮河流域多年平均输沙模数分布图(1981—2010 年)

## 第一章

# 绪 论

### 1.1 研究背景与意义

沿洮河流域10个县均为传统的农牧业县,经济总量小,社会事业发展严重滞后,加上自然条件严酷,生态环境脆弱,资源相对短缺,基础设施薄弱,导致流域内贫困问题比较突出。为全面贯彻国务院办公厅《关于进一步支持甘肃经济社会发展的若干意见》(国办发[2010]29号)精神,加快实施甘南黄河重要水源补给生态功能区生态保护与建设工程,构筑高原生态安全屏障,大力推进扶贫开发,加快脱贫致富步伐,大幅度提高基本公共服务水平,甘肃省扶贫办提出了“建立沿洮流域开发示范带(区)”的重大命题,是深入推进西部大开发战略的重要举措,对全省的经济发展和社会稳定具有重大的现实意义和深远的历史意义。水作为人类生存和经济社会发展不可或缺的自然资源,是生命之源、生产之要、生态之基,不仅关系到防洪安全、供水安全、粮食安全,而且关系到经济安全、生态安全、国家安全。洮河水资源的合理开发利用、有效保护与管理,是维持水资源可持续利用,实现水资源良性循环的主要保证,也是维持洮河流域社会进步、国民经济可持续发展的关键所在。因此,深入开展洮河流域水资源变化研究,特别是水沙时空分布及其演变机制研究,做好沿洮流域开发整体规划的前期基础工作,为沿洮流域国民经济的可持续发展与和谐社会的构建,合理组合优化配置水资源,促

进区域组团发展、整体推进战略的实施,具有重要的现实意义。可为沿洮流域开发示范带(区)建设提供水资源支撑,为洮河流域其他工程的建设提供参考依据。

洮河是黄河上游较大的支流,多年平均地表水资源量占到甘肃全省的16.7%,占到全省黄河流域的37.6%;洮河多年平均输沙量2280万吨,是一条高含沙河流,带来的泥沙占到了刘家峡水库来沙量的30%以上,洮河以其丰富的水沙资源,在全省社会经济可持续发展中占有极其重要的战略地位。洮河流域在长期的水(能)资源开发利用过程中,对流域产流产沙产生了重要影响,水沙关系不协调及水沙配置的不合理性,造成了洮河流域水土流失严重、旱洪灾害、水资源供需失衡,尤其近些年来大规模的水电梯级开发,出现了河道萎缩、河流功能衰退、生态环境恶化等许多问题,严重威胁着河流的健康运行。因此,有必要综合分析洮河水沙变化发展趋势、变化影响因素以及水沙变化带来的对河道的影响,总结相关规律,其目的就是为了提高该项目的水沙技术含量和实用性,实现从洮河水沙基础资料至技术提高与成果应用的升华。开展洮河水资源格局及其变化模式等方面的研究工作具有重要的应用价值,其研究成果可为政府及有关水利部门提供决策依据,而且对进一步研究洮河洪旱灾害及规律、指导防灾减灾、科学编制流域水资源开发利用方案等方面具有重要意义;同时,对于保证流域社会经济可持续发展、维持洮河健康生命等方面具有重要参考价值。

近几年来,洮河水电梯级开发的范围和规模空前增长,成为甘肃省水电资源开发的重要基地,截至2008年底,洮河干流上已建成投入运行的水电站达20余座,为解决水资源短缺与合理配置、防洪、满足电力供应等方面产生了积极影响,对区域经济和甘肃的经济社会可持续发展起到了一定的促进作用,开发可再生的水能资源对于当地能源发展战略无疑具有重要意义。但大规模的洮河水电梯级开发和运行,明显地改变了流域的地形地貌、河流的自然形态和水文要素的天然过程,同时,改变了河道来水来沙条件和输沙的动力,导致新的河床冲淤变化,坝区泥沙淤积和人工排沙,使河流泥沙系统严重失衡。尤其九甸峡水利枢纽的建设,极大地改变了地表径流的时空分布特征,对上游来水在年内重新调配,进入下游河道的水量完全处于九甸峡水利枢纽工程的控制之中,洪水期拦蓄,枯水期泄水,使下游河道中的径流几乎完全失去了洪峰,径流的年内变化又

直接影响着下游地区防洪、灌溉和发电等水利工程的运行和效益。如果规划的水电工程全部实施,洮河干流绝大多数河段都将布满梯级电站,干流将被部分渠化或完全渠化,自然河流将转变为半天然河流或人工控制的河流,这种变化将给洮河的水文循环系统带来长期的影响。水电梯级开发对水文过程的影响或干扰越来越大,这种影响或干扰,对水循环、水量平衡要素及水文情势的改变比自然的水文要素变化要快得多,使得天然水文过程发生了根本性变化,可以预计,随着社会的发展和科学的进步,这种影响将越来越大。

近年来洮河的水沙特性发生了一些重要变化,这些变化与洮河水电梯级开发等因素密不可分,有必要对洮河干流上已建水电站对水文要素过程的影响进行综合分析,讨论梯级水电建设对水沙过程等水文要素引起的变化,探讨水文要素做出的响应程度,以减少对未来预测的不确定性。其研究成果除了为防汛部门应对未来的大洪水提供决策支持,为未来水资源系统的规划设计、开发利用以及运行管理提供参考依据,为开展其他相关研究提供基础信息,也对洮河流域的生态和环境治理、供用水安全等方面无疑具有重要的现实意义。

## 1.2 国内外研究现状

径流和泥沙是河流的主要水文特征。在国外,江河水资源开发利用迅速发展。例如,美国科罗拉多河和密西西比河、俄罗斯伏尔加河、欧洲莱茵河等河流开展了较为系统的水文系列观测,并进行了江河径流变化态势的分析,开展了部分水利工程建设对河道演变影响的研究;但除很少一些多沙河流(如科罗拉多河与密西西比河)开展过较为系统的泥沙观测外,多数河流由于泥沙问题不突出而未开展系统完整的泥沙测量,相关的江河泥沙态势变化的研究成果也较少。对于其他国家的河流,由于经济条件、重视程度、泥沙问题不突出等原因,江河水沙资料测量不够系统和完整,很多河流不开展泥沙测量,有关江河水沙变化态势的研究也较少。以前研究河流水文特征变化常常只是针对某一河流的某一方面开展分析,局限在有限的几个参数。如Bickerton1995年对林肯郡的Glen河的研究发现只要研究四月的平均流量和夏季的低流量就可以建模型预测大型无脊椎动物的群

落组成,研究地形演进时大都关心洪水特征变化。近些年来,很多文章开始从多角度来对径流进行分析,Richter等在1996—1998年间提出了全面地评价径流的变化及设定径流管理目标方法,即IHA (Indicators of Hydrologic Alteration) 和RVA (Range of Variability Analysis),这些较复杂的系统具有以下优点:(1)对径流形态描述更为详细;(2)包含时间特征,如年极值出现时间。

在国内,根据掌握的水文资料,我国科技工作者就长江、黄河等主要河流的水沙变化态势及其成因开展了深入研究,取得了一些水沙变化的重要成果。郭鹏等对鄱阳湖流域三个主要控制站湖口、外洲和梅港多年(1955—2001年)水沙数据进行了统计分析,利用滑动平均法,Spearman秩次相关检验、线性回归检验方法对三个测站的水沙变化趋势进行了分析检验;许全喜等对长江上游主要控制站屏山、北碚和宜昌等三站水沙变化趋势进行了分析;原志华等应用多种统计分析方法,系统分析了汾河水沙的季节及年际变化规律,并且对人类活动导致的年径流变化影响进行了估算;于延胜等讨论了R/S法和Mann-Kendall法用于水文时间序列分析存在的不足,提出综合了应用两者分析水文时间序列未来趋势特征的方法,以闽江流域竹岐站年径流序列为例进行了分析;王渺林等利用Mann-Kendall统计检验法,分析了长江流域上游五个主要控制站的径流变化,研究了长江上游的水资源问题;陈华等应用Mann-Kendall非线性检验方法,分析了汉江流域干流和各子流域1951—2003年春、夏、秋、冬径流的长期变化趋势;王孝礼等介绍了分形理论中的R/S分析法,给出了水文时间序列变异点的定义,研究了基于R/S分析的水文时序趋势分析方法和变异点诊断方法,并将该方法应用于华北某流域水文时序变异点的识别中;张济世等分析了洮河流域50年来降水径流变化趋势;姚文艺等通过大量野外调查勘测、实测资料分析、数学模型模拟等方法,在以往有关黄河水沙变化研究成果基础上,对黄河中游干流主要断面和主要入黄支流1997—2006年水沙的时空变化特点、暴雨洪水泥沙关系变化规律、水沙变化成因等进行了系统研究,并对未来50年黄河水沙变化情势进行了展望;高航等根据黄河上中游干流及重点支流水文泥沙定位观测资料,对黄河上中游近期水沙变化特点进行了分析。

水电开发主要是对河流形态环境条件的改变,环境条件改变引起的水文变

化最初只具定性概念。1863年,G.P.马什出版的《人与自然》一书,记述了森林对水文变化的影响。国际水文十年(IHD,1965—1974)期间,将人类活动对水循环影响和代表性、实验性流域研究列为主要研究任务之一。1975年,联合国教科文组织(UNESCO)在国际水文计划(IHP)中制定了一系列研究课题和活动,并于1980年6月在赫尔辛基举行了人类活动对水情影响与代表性、实验性流域学术会议。1991年,美国水文科学国家委员会提出水文科学研究的五大问题之一中最受关注的是人类活动对水文效应的影响。在国际水文计划Ⅲ(1984—1989)和Ⅳ(1990—1994)期间,水文效应的研究与水利工程环境影响评价结合得更紧密,水文形势的改变对于生态环境的影响是大坝建设对生态环境的重要影响,任何地区水资源系统的合理开发、利用规划和管理,水文效应均是很重要的问题。与国际水文计划交叉的计划环境、生命和政策水文学(HELP)计划、国际实验和网络数据水流情势(FRIEND)计划以及与国际水文计划有联系的相关计划国际洪水行动计划(IFD)、国际泥沙行动计划(ISD)在水资源系统研究中,人类活动对水文情势的影响已成为主要的研究课题。目前,基于流域水文模型分析人类活动对流域水资源和洪水的影响是近代水文学发展的一个重要成就,随着分布式流域水文模型的不断成熟和普遍使用,这种分析研究人类活动对水资源和洪水影响的方法,将会越来越受到重视。

河流不仅具有供水发电、航运等经济功能,而且具有调节气候、改善生态环境等生态功能,对人类生存和发展意义重大。目前研究最多的是人类活动对河流健康的影响问题,维持河流健康生命的理念行动,在我国水利界得到了广泛的响应和认同(汪恕诚,2004),并引入水资源管理的实践。黄河水利委员会提出了“维持黄河健康生命”的目标,长江水利委员会提出了“维持健康长江,促进人水和谐”的治江新方略等,美国、澳大利亚、英国、南非等国家从上世纪90年代起已经展开了相关研究,并提出了对应的管理计划,对河流健康进行监测和评价。开发水电实际上相当于直接从水流中提取能量,过多开发利用水电必将导致其下游水流的动能降低,对冲积性河床来说,可能使水流冲刷河床和输送泥沙的能力降低,进而导致泥沙淤积、河床萎缩(刘晓燕,2005)。水电站建设通过闸坝调度对河流实行径流调节,造成水文过程的均一化,也会降低洪水脉冲效应(董哲仁,

2009)。维持河流健康生命的理念已经对中国江河治理的健康发展起到积极的促进作用,而且已在“十一五”水利发展规划中得到全面体现(矫勇,2006)。

2006年我国启动了财政部专项项目“全球江河泥沙信息管理数据库”,由中国水利水电科学研究院、长江科学院、黄河水利科学研究院、清华大学及武汉大学等多家科研单位和大专院校组成专项课题组,开展国家自然科学基金重大项目课题“长江水沙变化趋势与水利工程建设对河流健康的影响”、“黄河水沙变化趋势与水利工程建设对黄河健康生命的影响”、“国外典型河流水沙变化趋势的研究”、“国外典型水利工程建设对河流健康影响的研究”等课题的研究,这些课题的主要目标是通过研究全球水沙变化趋势与水利工程对河流的影响,促进世界水文学科研究的发展,更好地处理人类活动与自然的和谐相处,为合理开发水能资源和保护生态环境提供技术支撑。

### 1.3 研究内容和目标

研究内容:(1) 洮河干流及主要支流水沙资料的搜集、整理与分析;(2) 洮河干流水沙变化模式与分布格局;(3) 洮河干流水沙演变机制及其成因分析;(4) 主要支流水沙变化模式与特点;(5) 洮河多年平均径流深与输沙模数的分布图;(6) 水电工程建设对水文要素的影响评估。

预期目标:(1) 通过研究洮河水沙分布格局与变化趋势,实现从洮河水沙基础资料至技术提高与成果应用的升华,为沿洮流域开发示范带(区)的建设更好地开发水能资源和保护生态环境提供技术支撑;(2) 通过研究主要支流水沙变化模式与特点,更好地开展区域水沙资源配置;(3) 通过研究水利枢纽对水沙的影响,为洮河流域可持续发展、水利工程建设与生态环境建设提供科学依据。

### 1.4 技术路线

研究内容涉及生态环境学、水文水资源学、泥沙动力学、水力学、河床演变学等,因此以这些学科作为技术支撑,采用调查研究、资料分析、数学模型、计算机

技术等多种先进技术手段,系统地研究洮河水沙分布格局及其演变机制和水文要素对水电梯级开发的响应程度。

(1) 选择洮河干流碌曲、下巴沟、岷县、李家村、红旗水文站作为控制节点,采用Kendall检验法、线性趋势分析法、累积距平法以及泥沙含量年内不均匀系数、集中度(期)等方法,深入分析洮河干流及其主要支流控制站点来水来沙变化的过程、特点,给出洮河水沙变化趋势,结合流域产水产沙特点与现有研究成果,分析洮河流域径流与输沙量关系的变化模式,以及洮河流域干支流、不同区域水沙变化之间的关联性,总结影响洮河水沙变化的主要因素,给出洮河水沙变化趋势的成因。

(2) 结合洮河水沙变化的分析成果,根据洮河水沙观测布局、河流边界条件、工程建设等实际情况,有针对性地选择典型水利工程,通过搜集详细的水沙资料、河道资料、水利工程特性,研究修建水利工程对河道水沙过程、河流功能等方面的影响,对比水利工程修建前后水沙过程与河道功能以及水利工程下游河道泥沙的变化特点。

(3) 利用计算机地理信息技术,根据实际需要和取得的研究成果,开展洮河流域多年平均径流深分布图及输沙模数分布图的绘制工作。

(4) 水电开发前水文要素变化规律分析。依据已知的水文要素监测数据,探究各研究单元上下游控制站洪峰水位(流量)、年径流、年输沙量、年平均水温之间的关系,建立数学模型;分析径流量、输沙量、水温、冰凌年内变化规律以及上下游之间的对应关系;生成水电站建设前各要素的定性与定量识别和分析结果,为各要素对水电站建设的响应提供基础成果。

(5) 水电开发后水文要素的响应研究。依据各研究单元建立的数学模型,定量估算水电站建设对洪峰水位(流量)、年径流、年输沙量、年平均水温的影响程度;定性分析水电站建设后上下游站之间径流量、输沙量、水温、冰凌等年内发生的变化以反映水电站建设的影响;得出各水文要素对水电站建设的响应成果。

## 1.5 主要解决的技术问题

该项目以洮河水文基础资料为依据,利用调查研究、资料分析、理论分析、数学模型等多种技术手段,深入研究了洮河干流及其主要支流水沙变化趋势及其成因、水沙关系变化模式,水沙分布格局、典型水利工程建设对水沙变化的影响等,绘制了洮河流域多年平均径流深等值线图和年输沙模数分布图。

(1) 基本摸清了洮河干流及主要支流水沙变化趋势及主要影响因素。通过分析干流及干流区间、6条主要支流径流量和输沙量的变化过程 and 变化特征,指出洮河径流在时间尺度上波动较大,减少趋势明显,减少倾向率下游站大于上游站,同时,年径流序列存在一次显著跃变。指出红旗站各月径流均存在减少趋势,近10年来汛期呈现减少趋势,非汛期增加趋势明显。指出洮河泥沙岷县站以上减小趋势较弱,以下减小趋势明显。指出洮河6条主要支流水沙量均存在减小趋势,年水量减小趋势强于年沙量,年沙量的减小幅度大于年水量的减小幅度;博拉河、大峪沟、漫坝河、广通河、东峪沟年水量减小变化趋势显著;广通河、东峪沟年沙量减小变化趋势显著。洮河水沙变化的主要影响因素包括流域降雨量变化、下垫面条件等自然因素和水土保持措施、电站大坝工程、河道采砂等人为因素。

(2) 研究了洮河水沙分布格局及其变化特征。在分析洮河干流区间水沙变化过程的基础上,指出洮河秋季大范围的降水对当年径流的丰枯起着决定性作用,洮河泥沙主要由入汛后的2~3场高强度降水产生。指出岷县站以上是洮河的主要产水区,洮河径流年内分配不均、季节性突出和区域性明显;李家村站以下是洮河的主要产沙区,洮河泥沙具有含量高、输沙总量大、产沙的区域性、空间的不均匀性和时间的集中性的特点。水沙异源特性突出。

(3) 揭示了洮河干流及其主要支流水沙变化发展模式。通过对洮河干流各站水沙相关性分析,得出洮河总体水沙相关关系较好,各控制断面输水输沙普遍存在正相关关系,洮河上游水沙相关性好于中下游。指出洮河上游站水沙关系存在沙量明显增大的变化,下巴沟站年输沙增量大于上游碌曲站;洮河中游岷县站水沙关系波动较大,1978—1993年的增沙和2006年以后的减沙明显;洮河中下游的