

文章编号: 1671-6833(2003)04-0093-06

近 50 a 人类活动对西北干旱区水文过程干扰研究

——以塔里木河流域为例

李香云^{1,2}, 罗 岩³, 王立新²

(1. 清华大学公共管理学院, 北京 100084; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 3. 新疆水文水资源局, 乌鲁木齐 830000)

摘 要: 近 50 a 来, 塔里木河流域产生的土地荒漠化等生态问题的原因是人类活动对水文过程的干扰所造成。基于月时间尺度的水文资料, 采用对比分析法, 从径流的年内过程、年际过程、来水过程等方面, 分析人类活动对流域水文过程的干扰特征。根据研究区水资源开发利用的特点, 采用数理统计法——有序聚类法和游程检验法, 计算出了流域人类活动对水文过程的干扰点。

关键词: 人类活动; 塔里木河; 水文过程; 干扰点; 水资源变化; 有序聚类法; 游程检验

中图分类号: P 333

文献标识码: A

0 引言

塔里木河流域(以下简称塔河流域)极端干旱的自然环境背景, 使区域生态环境极为脆弱。近 50 年来, 人类大规模水资源开发利用活动, 改变了流域水循环自然变化的时空格局和过程, 造成下游水量减少、河道缩短、尾间湖干涸, 改变了流域水文系统的整体性, 打破了原有脆弱的生态平衡, 生态环境质量下降, 最终产生了以土地荒漠化为典型特征的生态问题, 可以说流域内产生的生态环境问题的根本原因是人类活动对自然水文过程干扰所引起的。

为了定量研究近 50 a 来人类活动对这一区域的水文过程干扰特征, 本文选择典型区, 采用对比分析法来分析人类活动究竟改变了哪些水文特征; 通过对比分析人类活动对水文过程的干扰, 并采用有序聚类和游程检验法来进一步分析人类活动的干扰点。

1 研究区的选择

塔河是我国最大的内陆河, 流域面积为 $1.05 \times 10^6 \text{ km}^2$ 。流域由四源流(阿克苏河、叶尔羌河、和田河和开都—孔雀河)和干流组成, 其中干流上游

由三源流组成。干流上游三源流区由于良好的水土组合条件, 是人类主要作用区, 同时这一区域的人类水土活动对流域水文特性影响最大, 因此, 选择塔河干流上游三源流区作为典型区来研究人类活动干扰下的水文效应。为研究人类活动干扰下的水文过程, 选择三源流出山口的水文站的数据作为未受人类活动干扰的自然径流, 三源流汇合后的水文站的数据作为受人类活动干扰后的水文过程。基于月时间尺度的水文资料, 研究 1957 ~ 2000 年间人类活动产生的水文效应。研究区的水系组成以及研究中采用的水文测站的空间分布状况见图 1。采用的水文测站的基本情况见表 1。

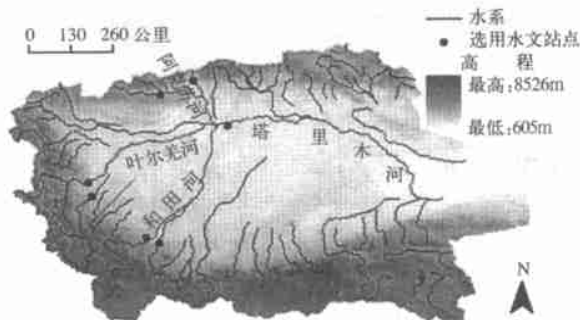


图 1 研究区水系及水文站分布图

Fig. 1 The distribution map of water system and hydrological station

收稿日期: 2003-09-02; 修订日期: 2003-10-10

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G1999043505)

作者简介: 李香云(1964-), 女, 新疆乌鲁木齐市人, 清华大学 21 世纪发展研究院博士后, 主要从事干旱区生态环境和区域发展研究。

表 1 研究区水文测站基本情况

Tab 1 The basic characteristics of hydrological observation stations in study area					
序号	水系	河名	站名	集水面积/(km ²)	径流量/(10 ⁸ m ³)
1	和田河	玉龙喀什河	同古孜洛克	14 575	22.1
		喀拉喀什河	乌鲁瓦提	19 983	21.5
2	叶尔羌河	叶尔羌河	卡群	50 248	65.4
		提兹那甫河	玉孜门勒克	5 389	8.1
3	阿克苏河	托什干河	沙里桂兰克	19 166	27.0
		昆马力克河	协合拉	12 816	47.7
4	三河汇合后	塔里木河干流	阿拉尔	—	45.8

2 人类活动对水文过程的干扰分析

人类活动对流域水文过程的干扰分析,目前多基于年径流系列进行^[1~4]. 对干扰点的研究,既有定性分析为主的,也有定量分析为主的. 本文的分析则以月时间尺度的数据为基础,并根据研究区人类活动的特点和径流的特性,对比分析人类活动干扰前后年内、年际间水文特性的变化情况,找出人类活动对水文系列的干扰点.

2.1 自然状态下的水文过程

2.1.1 年内月流量多年变化分析

受极端干旱气候条件以及补给源的影响,塔

河流域年内月水文过程表现出显著的丰枯特点(图 2): 10 月~次年 4 月为枯水期,4 月~10 月为丰水期,6 个源流出山口水文站 5~9 月的水量就占年径流量的 80%. 从水文过程的起涨和消落时间看,自然水文过程的起涨时间基本上为 4 月份(卡群站为 5 月份),消落时间为 10 月份,见图 2(a)~(f).

自然状态下的年内月水量变化的分析表明,自然状态下的年内水文过程水量高度集中;水量起涨与消落时间具有显著的规律性: 4 月起涨,10 月消退;年内过程变化较大.

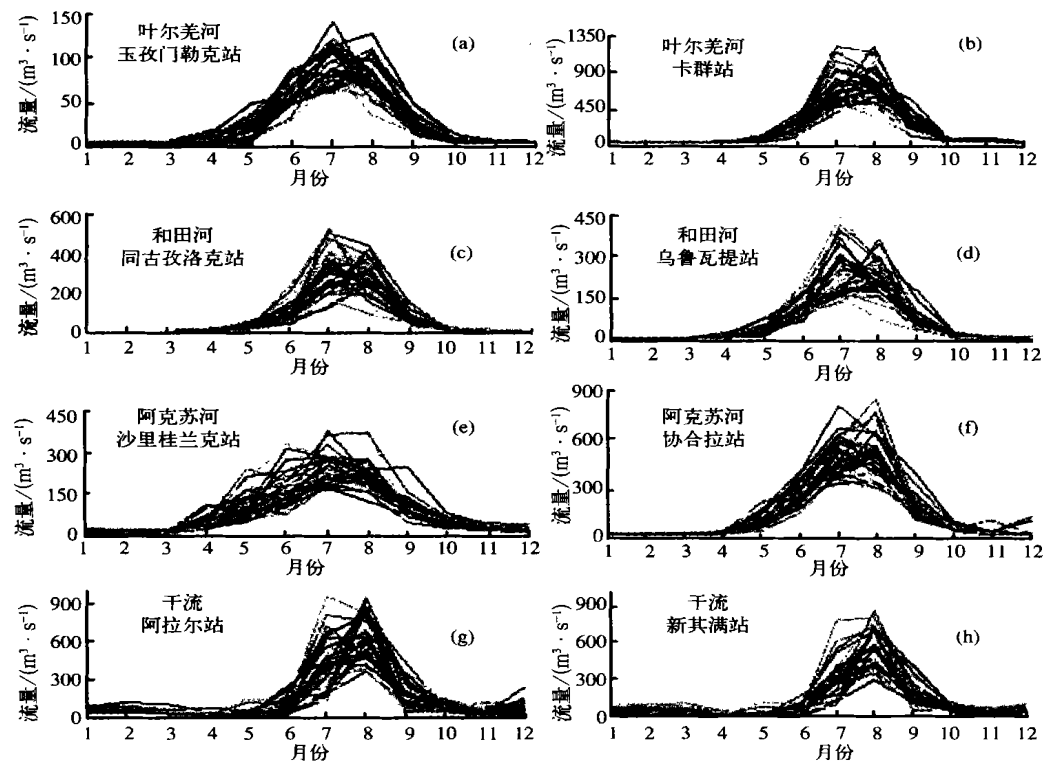


图 2 研究区各水文控制站年内月流量多年变化图

Fig. 2 The annual changes of monthly runoff process at different hydrological stations

2.1.2 年际月径流变化分析

源流区自然状态下的6个水文站12个月的来水量多年变化过程表明,多年自然月水文过程较平稳,6个出山口水文站多年月平均变异系数为0.26,其中枯水期最为稳定,多年平均为0.19,丰水期变化较大,为0.33。

从各站12个月的变异系数来看,4月份的水量变动最大,其次是9月份,这是水文过程的起涨和消落的时间,这2个月份水量变化最大。从年际月水量的丰枯比来看,年际丰枯变化要远小于年内的丰枯变化,表现年际变化的平稳性特点,年际多年平均丰枯比为3.36,枯水期的丰枯比要小于丰水期,也就是说冬季较为稳定,夏季变化则较大。

自然状态下的年际月水量变化的分析表明,自然状态下的年际水文过程变化不大,表现出较

稳定的特点。

2.1.3 自然来水过程的变化趋势

选择丰水期的径流系列研究其自然来水过程特点及其变化趋势,是由于丰水期径流具有更高的随机性和不稳定性,同时这一时期也是人类对水文干扰最强的时期(农业用水期)。图3所示的三源流的多年来水过程表明,三河具有相同的丰枯变化规律。三源流丰水期径流的变异系数都较小(小于0.22),表明三源流的来水过程即使在丰水期也是较稳定的。从三河的多年变化趋势来看,阿克苏河和叶尔羌河的来水量都有增加的趋势,但增加幅度不同,其中阿克苏河来水增加趋势最为显著,增加系数值为0.41;叶尔羌河来水增加趋势较弱,增加系数为0.13;和田河的来水过程呈下降趋势,下降系数为0.13。这表明近50 a来源流区的水量总体上呈增加的趋势。

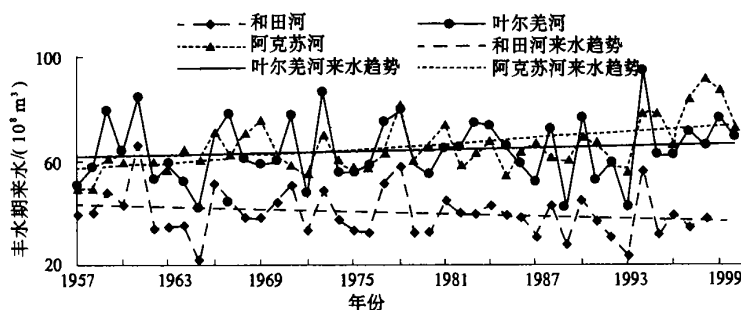


图3 研究区多年自然来水过程及其变化趋势

Fig.3 The natural hydrological processes and changes in study area

2.2 人类活动干扰后水文过程

研究区的人类活动主要表现为水土资源的开发利用。土地资源的利用受到水资源条件的刚性约束,因此以农业用地为主的土地利用模式对水源条件具有高度的依赖性,形成典型的干旱区灌溉农业。1958年以来区域内的人类修建的大量的水利设施,通过对自然径流的再调节,以为农业生产服务。因此,人类对水文过程的干扰表现出与水土开发利用活动密切相关的特点。

2.2.1 年内月流量多年变化分析

与自然状态下的年内月水文过程相同,人类干扰后的年内月水文过程也表现出显著的丰枯特点(图2(g)及图2(h)),但丰、枯水期时间发生了变化:9月~次年6月为枯水期,6月~9月为丰水期,枯水期增长,丰水期缩短;丰水期(6~9月)的径流量占年径流的74%。

在人类活动的干扰下,水文过程的起涨和消退时间产生了改变,水文过程的起涨时间基本上

为6月份,与自然状态下的起涨时间相比,推迟了2个月,这是由于4、5月是农业生产大量用水的时间;而消落时间为9月份,提前了一个月(图2(g)及图2(h))。在人类活动的干扰下,多年月水量变异系数为1.24,与自然状态下的年内月水量变化相比,变化不大,但年内丰枯比则变化较大,为60.3。

2.2.2 年际月径流变化分析

三河汇合后,多年月平均变异系数为0.51,其中4~6月的变化最大,这是由于自然变化加上人类调节,增加了来水的波动性。与自然状态下来水相比,自然来水过程经过人类的调节,来水过程变得较不稳定(相对),变异系数增大很多,以5和6月变化最大,受人类干扰最强。多年平均的变化增大了2倍。从年际月水量的丰枯比来看,年际水量丰枯比较大,年际多年平均丰枯水量比为11.5,是自然状态下的丰枯水量比的3.4倍;年内变化也很大,丰枯水量比最小的1月,其值达到

4. 13, 大同时 5 月和 6 月这 2 个月, 多年月平均丰枯水量比则高达 34.

随着塔河水库、拦河闸堰, 引水工程等河流水利工程的兴建, 使年内分配不均的径流过程按照人类农业生产的需要进行再分配, 从而改变了径流的时空分布. 在人类活动的干扰下, 年内水文过程的发生的较大的变化, 主要表现在: 缩短了丰水期时段, 使水量起涨时间延后, 消退时间提前, 增大了年内丰枯变化. 而年际间的水文过程的变化, 则由原来较为稳定的来水过程变得很不稳定.

2. 2. 3 人类活动干扰后的来水过程及其变化趋势

经过人类活动干扰后的丰水期来水过程(阿拉尔水文站)与三源流自然来水过程(三源流来水合并)相比, 多年来水过程的丰枯变化规律基本是一致的(图 4); 从来水过程的趋势来看, 源流来水

总体上呈增加的趋势, 人类活动干扰后的来水过程却呈下降趋势, 即来水量呈减少的趋势. 这是由于研究区人类生产和生活用水量与耗水量大大增加. 随着耗水量的增加, 由于区域蒸发强烈, 输入到大气的蒸散发量, 也随之增加; 此外, 水库等水利设施的修建扩大了水面面积, 也大大增加了水量蒸散发损失, 从而增大了水资源的损耗量, 使输往下游的水量减少, 但这种耗损量并未完全改变年径流的丰枯特性. 欧洲的干旱区域, 也出现了由于发展灌溉增加了蒸发损失而导致径流的减少现象^[5].

分析结果表明, 人类活动对年径流具有一定的干扰作用, 改变了水循环要素的量, 使径流年内过程发生变化, 年际变化增大, 但并没有改变水文过程基本规律和特性.

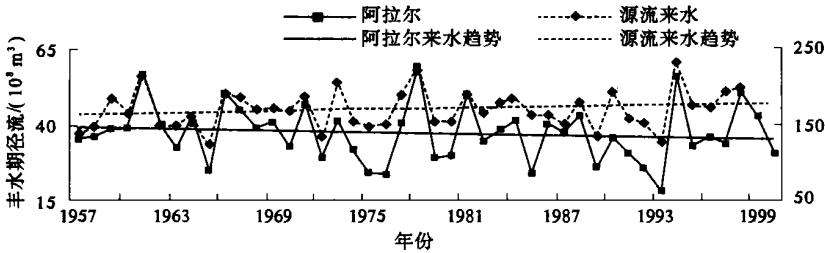


图 4 人类活动干扰后的来水过程及其变化趋势

Fig. 4 The hydrological process in human disturbance and changes tendency

3 人类活动对水文过程影响的干扰点

研究区人类活动特点是水土资源开发活动, 以上的对比分析结果表明, 在人类活动的影响下, 研究区水文特性发生改变. 由于人类活动对流域的水文过程的干扰是逐步增强的并具有一定阶段性, 水利设施一旦修建, 一般便产生较长期的调节作用, 存在人类活动对水文过程影响的干扰点, 而这个干扰点也是人类活动引起流域生态环境变化的转折点.

3. 1 研究方法

采用有序聚类分析法^[6]来研究人类活动对水文系列的干扰点. 这种方法与聚类分析类似, 但不同的是分类时不能打乱原序列的秩序, 因而这种聚类称为有序聚类. 用有序聚类来推求可能的干扰点 τ_0 , 实质是推求最优分割点, 在单变点的情况下, 这一方法为最优二分割法. 计算原理是利用离差平方和进行分割: 同类之间的离差平方和较

小, 而类与类之间的离差平方和较大.

若水文系列为 $x_t(t=1, 2, \dots, n)$, 以 τ 作为可能分割点 ($\tau=1, 2, \dots, n$), 将原序列分成 2 个序列, 这 2 个序列的离差平方和的计算公式为

$$Dev_{\tau} = \sum_{t=1}^{\tau} (x_t - \bar{x}_{\tau})^2 \tag{1}$$

式中: $\bar{x}_{\tau} = \frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} x_t$.

$$Dev_{n-\tau} = \sum_{t=\tau+1}^n (x_t - \bar{x}_{n-\tau})^2 \tag{2}$$

式中: $\bar{x}_{n-\tau} = \frac{1}{n-\tau} \sum_{t=\tau+1}^n x_t$.

则总离差平方和为

$$S_n(\tau) = Dev_{\tau} + Dev_{n-\tau} \tag{3}$$

最优分割点的确定:

$$S_n^* = \min_{1 \leq \tau \leq n} \{S_n(\tau)\} \tag{4}$$

满足上式条件的 τ 记为 τ_0 , 以此作为最可能的干扰点. 找到可能干扰点后, 还需对分割的两个样本进行检验, 这里采用游程检验法来检验分割后的 2 个样本是否存在显著的差异.

一个游程是指依时间或其他顺序排列的有序数列中,具有相同的事件或符号的连续部分,也就是一个序列中同类元素的一个持续的最大主集.游程检验(Runs Test)是根据游程数所作的两分变量的随机性检验^[7].游程检验可用来判断两个样本的总体分布是否相同和一致,从而检验出它们的位置中心(分割点)有无显著差异.其检验在统

计软件 SPSS 中实现.

3.2 人类活动的干扰点判断

选用三源流汇合后的水文站——阿拉尔水文站丰水期(5 月~10 月)的径流,作为分析用数据.对经过人类调节的阿拉尔站的丰水期径流,按式(1)~式(3)进行有序聚类计算,按式(4)求出分割点 $\tau_0=15$,对应的年份为 1971 年(图 5).

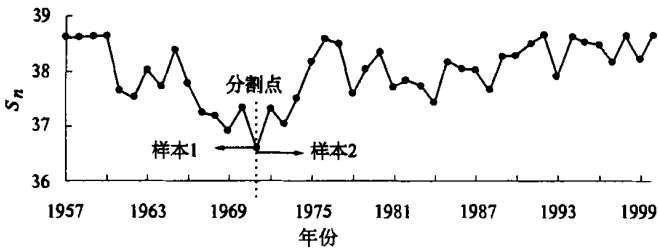


图 5 阿拉尔站有序聚类计算图

Fig. 5 The calculation map of orderly cluster at Alar hydrological station

对分割后的两个样本进行游程检验.将阿拉尔站的丰水径流系列输入 SPSS 软件中,切割点(Cut Point)选自定义期望值(Custom).显著差异检验的运算结果表明,分割点为 1.68,游程数为 2,小于分割样本数是 14 个,大于分割点的样本数为 30.双尾检验概率(即显著性水平) $P=5.40\times 10^{-10}<0.05$,故认为两个样本系列具有显著性差异.

4 结论及讨论

(1) 通过选择典型区水系,基于月时间尺度的水文序列资料,对比分析近 50 a 来受人类活动干扰和未受人类活动干扰的年内、年际水文过程以及丰水期的来水情况.分析结果表明,在人类活动的干扰下,年内水文过程发生了较大变化:缩短了丰水期时段,使水量起涨时间延后,消退时间提前;增大了年内丰枯变化;年际水文过程的变化增大,使原来较为稳定的来水变得不稳定;来水过程的年际丰枯变化两者较为一致,但在源流来水增加的趋势下,经过人类活动的干扰,干流来水变为下降趋势.

(2) 人类活动对流域的水文过程的干扰是逐步增强并具有一定阶段性,水利设施一旦修建,一般便产生较长期的调节作用,存在人类活动对水文过程影响的干扰点.根据研究区水资源开发利用的特点,选择丰水期径流(5 月~10 月)采用数理统计方法来研究人类活动的干扰点.结果表明:塔河的水文过程受到了人类活动的显著性干扰,干扰点为 1971 年,即 1957~1971 年间水文过程受

人类活动的干扰弱,1971 年后的水文过程受到人类活动影响较大.

(3) 水资源特别是地表水资源是塔河流域生态系统的重要组成系统和支撑系统.正是由于人类活动对水文自然过程的干扰,破坏了原有的水资源时空分布状态,生态环境产生变化,产生土地荒漠化加剧等生态环境问题.以上的分析结果表明,1971 年是这一区域生态环境发生变化的一个重要转折点.

参考文献:

[1] 耿雷华,钟华平,贾 健.人类活动对西北地区地表水资源量影响的初析[J].西北水资源与水工程,2002,13(4):1~6

[2] 王顺德,王彦国,王 进.塔里木河流域近 40a 来气候、水文变化及其影响[J].冰川冻土,2003,25(3):315~320

[4] 周 红,秦嘉轮,卫江益.人类活动对塔里木河年径流影响量的估算[J].干旱区地理,2002,25(1):70~74

[5] 谭炳卿.人类活动条件下气候与水资源的可能变化[J].水文科技情报,1991,(2):49~51

[6] 丁 晶,邓育仁.随机水文学[M].成都:成都科技大学出版社,1988.64~10

[7] 户纹岱.SPSS for Windows 统计分析[M].第 2 版.北京:电子工业出版社,2002.299~300.

Study on the Disturbance of Human Activities
on the Hydrological Process in Tarim River Watershed

LI Xiang—yun^{1,2}, LUO Yan³, WANG Li—xin²

(1. School of Public Management, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Institute of Geographic Science and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 3. Xinjiang Bureau of Hydrological and Water Resources, Urumqi 830000, China)

Abstract: The important factor which has caused the ecological problems such as land desertification in Tarim River Watershed is human activities disturbing the natural hydrological process in recent 50 a. Based on the monthly hydrological data and the method of contrast analysis, the human disturbance characters on hydrological process of Watershed are analyzed from the monthly runoff processes in year, years and the tendency of runoff of May—Oct. process in years. According to the features of human activities in study area, the disturbance point is calculated with the method of mathematical statistics——orderly cluster analysis and runs test.

Key words: human activities; Tarim River; hydrological process; disturbance point; range of water resource; orderly cluster analysis and runs test