

# 近64a年新疆塔城地区汛期极端降水指数突变特征分析

井立红<sup>1</sup>, 刘盛梅<sup>2</sup>, 陈瑶<sup>1\*</sup>, 高婧<sup>1</sup>, 龚淑慧<sup>1</sup>, 张鹏辉<sup>1</sup>, 武鑫淼<sup>1</sup>

<sup>1</sup>新疆塔城地区气象局, 新疆 塔城

<sup>2</sup>乌鲁木齐市畜牧业气象试验站, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2025年10月23日; 录用日期: 2025年11月21日; 发布日期: 2025年11月28日

## 摘要

利用近64年(1960~2023年)新疆塔城地区7个气象观测站汛期(5~9月)逐日、月、年降水实况资料,采用世界气象组织推荐的11个极端降水指数,使用Mann-Kendall突变检验方法分别讨论了塔城地区及三个气候区各极端降水指数序列的突变,并确定突变时间,结果表明:①近64a塔城地区汛期极端降水指数序列基本在1960年代初期或中期至1970年代初期或末期、1980年代中期或末期至21世纪初年中期或末期发生了由少到多的突变,其中RX1day、RX5day、R10、R20、R99P、PRCPFOT序列在1970年代初期或中期至1980年代初期或中期,SDII、R50序列在1970年代初期至末期,CDD、CWD序列在1960年代初期至中期,R95P序列在1970年代中期至1980年代初、1980年代中期至1990年代初期均发生了由多到少的突变;除CDD、CWD序列外,其余各极端降水指数突变点各不相同。②盆地RX1day、CWD、R99P、R50、R99P序列在1960年代初期至末期、1970年代中期至21世纪初年中期,RX5day、SDII、PRCPFOT、R10、R20、R95P序列在1960年代初期至1970年代初期、1980年代中期至21世纪初年中期,R10、R20在2000年代初期至21世纪初年中期,R95P序列在1990年代初期至21世纪初年中期均发生过由少到多的突变;盆地RX1day、R20序列在1970年代初期至中期,RX5day、SDII、R50、PRCPFOT序列在1970年代初期至1980年代中期,R10、R95P序列1970年代初期至1990年代初期,CDD序列在1960年代初期至中期,CWD、R99P序列在1960年代末期至1970年代中期均发生过由多到少的突变;除R50、CDD、CWD序列无突变点外,其余各极端降水指数突变点各不相同。③南部RX1day、RX5day、SDII、R10、R20、CDD、CWD、R95P、R99P、PRCPFOT序列在1960年代中期至1970年代中期,RX1day、R20序列在1980年代中期至末期,RX1day序列在1990年代末期至21世纪初年末期,RX5day、SDII、CWD序列在1980年代初期至1990年代末期,RX5day、R20序列在21世纪初年中期至末期,R10、R95P、R99P、PRCPFOT序列在1980年代初期或中期至21世纪初年中期或末期发生过由少到多的突变;RX5day、R50、CDD、PRCPFOT序列在1960年代初期或中期至1970年代初期或末期,RX1day、SDII、R10、R20、R95P、R99P、CDD、CWD序列在1970年代中期或初期至1980年代初期或中期,RX1day、RX5day序列在1980年代初期或末期至1990年代中期或末期,RX5day、CWD序列在1990年代末期至21世纪初年初期或中期、末期发生了由多到少的突变。除R50序列无突变点外,其余各极端降水指数突变点各不相同。④中部RX1day、CDD、R10、R20、R50、CWD序列在1960年代初期或中期至1970年代初期或末期,RX5day、SDII序列在1960年代初期至1980年代初期,CDD、R99P、R99P序列在1970年代初期至1980年代初期,RX1day、R95P序列在1970年代初期或中期至21世纪初年初期、R10序列在1990年代初期至2000年代

\*通讯作者。

文章引用: 井立红, 刘盛梅, 陈瑶, 高婧, 龚淑慧, 张鹏辉, 武鑫淼. 近64a年新疆塔城地区汛期极端降水指数突变特征分析[J]. 气候变化研究快报, 2025, 14(6): 1449-1466. DOI: 10.12677/ccrl.2025.146145

初期、RX5day、SDII、CDD序列在1990年代初期至21世纪初年中期或末期发生了由多到少的突变；CWD序列在1960年代中期至1970年代中期、1980年代初至1990年代末期发生过由少到多的突变；中部R10、CDD、CWD、R95P、R99P、PRCPFOT序列在1960年代初或末期至1970年代初期、RX5day、SDII、CDD序列在1980年代初期至1990年代初期，R99P、PRCPFOT序列1980年代初期至21世纪初年末期，R10序列在2000年代初期至21世纪初年末期，RX1day、RX5day、R95P序列在21世纪初年初期或中期至末期发生了由少到多的突变；除R10、R50、CWD序列无突变点外，其余各极端降水指数突变点各不相同。

## 关键词

塔城地区，汛期极端降水指数，突变特征，分析

# Analysis of Mutation Characteristics of Extreme Precipitation Index in Flood Season in Tacheng Area of Xinjiang in Recent 64 Years

Lihong Jing<sup>1</sup>, Shengmei Liu<sup>2</sup>, Yao Chen<sup>1\*</sup>, Jing Gao<sup>1</sup>, Shuhui Gong<sup>1</sup>, Penghui Zhang<sup>1</sup>, Xinmiao Wu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Meteorological Bureau of Tacheng District, Tacheng Xinjiang

<sup>2</sup>Urumqi Animal Husbandry Meteorological Experimental Station, Urumqi Xinjiang

Received: October 23, 2025; accepted: November 21, 2025; published: November 28, 2025

## Abstract

Based on the precipitation data in flood season (May~September) of 7 meteorological observation stations in Tacheng area of Xinjiang in recent 64 years (1960~2023), and 11 extreme precipitation indexes recommended by the World Meteorological Organization, the Mutation of each extreme precipitation index series in Tacheng area and three climate zones were discussed by Mann-Kendall Mutation test method, and the Mutation time was determined. The results show that: ① The extreme precipitation index series in flood season in Tacheng area in recent 64 years basically changed from less to more from the early or middle 1960s to the early or late 1970s, and from the middle or late 1980s to the middle or late 21st century, among which RXDay, RXDay, R10, R20, R99P and PRCPFOT series changed from the early or middle 1970s to the early or middle 1980s. From the early 1970s to the late 1970s, SDII and R50 sequences, CDD and CWD sequences from the early 1960s to the mid-1960s, and R95P sequences from the mid-1970s to the early 1980s, and from the early 1980s to the early 1990s, all experienced mutations from more to less. Except for CDD and CWD sequences, the mutation points of other extreme precipitation indexes are different. ② The RX1day, CWD, R99P, R50 and R99P sequences in the basin are from the early 1960s to the middle (end), from the late 1970s to the early 21st century, and the RX5day, SDII, PRCPFOT, R10, R20 and R95P sequences are from the early 1960s to the early 1970s and 1980s. The RXDay and R20 sequences in the basin are from the early 1970s to the mid-1970s, the RXDay, SDII, R50 and PRCPFOT sequences are from the early 1970s to the early 1980s, the R10 and R95P sequences are from the

early 1970s to the early 1990s, the CDD sequences are from the early 1960s to the mid-1960s, and the CWD and R99P sequences are from the late 1960s. Except for R50, CDD and CWD sequences, the mutation points of other extreme precipitation indexes are different. ③ The southern RX1day, RX5day, SDII, R10, R20, CDD, CWD, R95P, R99P and PRCPFOT sequences are in the middle of 1960s to the early (middle) 1970s, RX1day and R20 sequences are in the early (middle) 1980s to the late, and RX1day sequences are in the late 1990s to the early 21st century. From the early 1980s to the end of 1990s, CWD sequences, RX5day and R20 sequences, R10, R95P, R99P and PRCPFOT sequences have undergone from few to many mutations in the early 1980s to the middle or end of the 21st century. RX5day, R50, CDD and PRCPFOT sequences in the early or middle 1960s to the early or late 1970s, RX1day, SDII, R10, R20, R95P, R99P, CDD and CWD sequences in the middle or early 1970s to the early or middle 1980s, and RX1day and RX5day sequences in the early or late 1980s. Except for the R50 sequence, there is no mutation point, and the other extreme precipitation index mutation points are different. ④ The sequence of RX1day, CDD, R10, R20, R50 and CWD in the middle of the 1960s to the early or late 1970s, RX5day and SDII sequences from the early 1960s to the early 1980s, CDD, R99P and R99P sequences from the early 1970s to the early 1980s, RX1day and R95P sequences from the early or middle 1970s to the early 21st century, R10 sequences from the early 1990s to the early 2000s, RX5day, SDII and CDD sequences from the early 1990s. CWD sequence changed from less to more in the mid-1960s to the mid-1970s and from the early 1980s to the late 1990s. The sequences of R10, CDD, CWD, R95P, R99P and PRCPFOT in the middle are from the early or late 1960s to the early 1970s, RX5day, SDII and CDD are from the early 1980s to the early 1990s, R99P and PRCPFOT are from the early 1980s to the late 21st century, and R10 is from the early 2000s to the early 21st century. Except for R10, R50 and CWD sequences, the mutation points of other extreme precipitation indexes are different.

## Keywords

Tacheng Area, Extreme Precipitation Index in Flood Season, Mutation Characteristics, Analyse

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

## 1. 引言

气候变化导致的温度增加和极端天气气候事件的频发,是近年来气候研究的重点。其中,随着极端降水天气事件的增多,降水量也呈现不同程度的增加态势[1]-[3]。我国极端降水发生频率也在增加,并具有明显的区域性和季节变化趋势[4]-[6]。

国内外众多学者对极端降水事件变化开展了诸多研究,有研究表明,中国区域冬季气温每增加 $1^{\circ}\text{C}$ ,降水和极端降水的增加百分率分别达9.7%和22.6%,增幅明显高于全球平均水平,说明中国区域冬季降水和极端降水对变暖的响应更加敏感[7][8]。长江中下游、东南地区和西部的部分区域极端降水有增加趋势,而华北、东北和西南的部分地区则有减少趋势[9]。青藏高原作为全球气候变化的敏感区和脆弱区,在全球气候变化的影响下,极端降水天气事件频发,降水量在不同区域呈现出不同程度的增加[10]。青藏高原降水在年际变化趋势上表现为高原北部变化基本稳定,高原东南、青海东部及川西北部明显增减更替的变化特征[11],而极端降水的各项指标表现出一定的增加趋势[12]。研究发现,近50a中国东部地区极端降水变化特征南北差异显著,北方尤其是华北东部,极端降水量及其所占降水量比例均有下降趋势,

而南方尤其是长江中下游地区则呈增加趋势。杜亮亮等[13]利用河北邯郸地区 16 个观测站日降水与最高、最低气温资料,分析了邯郸地区极端降水指数的时空变化特征,探讨了极端降水对年降水和气温的响应关系。施雅风[11]等人利用西北地区气象资料研究了西北地区气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景。毛炜峰、吴秀兰等[12]-[15]对近 40~50a 新疆降水的研究指出:新疆降水变化的总趋势是增湿明显,平均增幅为 0.67 mm/10a,后 10a 与前 30a 相比降水增加。李佳秀等[16]分析表明,除持续干燥指数外,北疆大部分站点极端降水指数变化率大于南疆。博尔楠[17]利用近 54a 阿勒泰地区 7 个国家级气象站日降水量资料,分析了当地夏季极端降水的时空分布特征;努尔比亚·吐尼牙孜等[18]利用塔里木盆地 44 个气象观测站 1960~2021 年逐日降水量资料,选取世界气象组织(WMO)推荐的 10 个极端降水指数,分析表明极端降水指数存在明显的年际波动和年代振荡,20 世纪 80-90 年代各极端降水指数均经历了“少-多”的变化(持续干期相反)。

中国夏季降水的模拟和预测一直是政府高度关注的问题,汛期旱涝异常对社会经济发展、人民生命财产安全等影响极大[19]。塔城地区位于新疆西北部,是新疆乃至全国天气的上游,也是新疆汛期短时强降水、雷暴大风、冰雹等强对流天气高发区域,每年因突发性、局地性短时强降水引发的暴雨及其衍生灾害常常会造成人员伤亡、农牧业生产遭受严重损失。因此在全球变暖的大背景下,深入分析汛期塔城地区极端降水的异常变化具有重要意义。近年来众多气象工作者对这一区域诸如冷季降水[20]等基本气象要素及灾害性天气的气候变化趋势做了一些研究,但对辖区各站点及区域汛期极端降水指数的异常变化(突变)的研究尚处于空白阶段。本文利用近 64a (1960~2023 年)塔城地区汛期(5~9 月)逐日、月、年降水量资料,选取世界气象组织气候学委员会公布的 11 个极端降水指数,运用数理统计方法,分别分析了塔城地区及三个区域汛期极端降水指数的突变特征,以期理解、适应、减缓和应对极端气候事件变化提供理论依据和技术支撑。

## 2. 资料与方法

### 2.1. 资料

使用新疆气象局信息中心提供的资料记录完整、连续、空间分布均匀的塔城地区 7 个国家级基准、基本气象观测站(包括:塔城、额敏、裕民、托里、和丰、乌苏、沙湾)近 64a (1960~2023 年)汛期(5~9 月)逐日、月、年降水量实况资料(未经查补延长处理)。为研究方便,依据各站气候特点,将塔城 7 站划分为 3 个研究区域,即:塔城盆地(包括:塔城、额敏、裕民、托里)、中部地区(包括:和布克赛尔,简称“和丰”)、南部地区(包括:乌苏、沙湾);将 7 站平均作为区域平均,气候平均值时段为 1960~2023 年。

### 2.2. 方法

选取世界气象组织气候学委员会推荐的 11 个极端降水指数(含极值指数、绝对指数、相对指数)(见表 1),使用 Mann-Kendall 突变检验方法(简称 M-K 突变检验)[21][22]分析了塔城地区及三个区域汛期各极端降水指数的突变特征,并确定突变时间。

**Table 1.** Definition of extreme precipitation index

**表 1.** 极端降水指数定义

类型	代码	名称	定义	单位
极值指数	RX1day	最大 1 d 降水量	每月最大 1 d 降水量	mm
	RX5day	最大 5 d 降水量	每月最大 5 d 降水量	mm

续表

	SDII	降水强度	日降水量 $R \geq 1.0$ mm 的累计降水量与降水日数的比值	$\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$
绝对指数	R10	中雨日数	日降水量 $R \geq 10.0$ mm 的日数	d
	R20	大雨日数	日降水量 $R \geq 20.0$ mm 的日数	d
	R50	暴雨日数	日降水量 $R \geq 50.0$ mm 的日数	d
	CDD	连续干旱日数	日降水量 $R < 1.0$ mm 的最大连续日数	d
	CWD	连续湿日	日降水量 $R \geq 1.0$ mm 的最大连续日数	d
	相对指数	R95P	强降水量	日降水量大于基准期内第 95%分位值的降水量
R99P		极强降水量	日降水量大于基准期内第 99%分位值的降水量	mm
PRCPFOT		汛期降水量	日降水量之和	mm

### 3. 结果与分析

#### 3.1. 塔城地区汛期极端降水指数突变特征分析

##### 3.1.1. 塔城地区汛期极端降水指数 M-K 突变分析

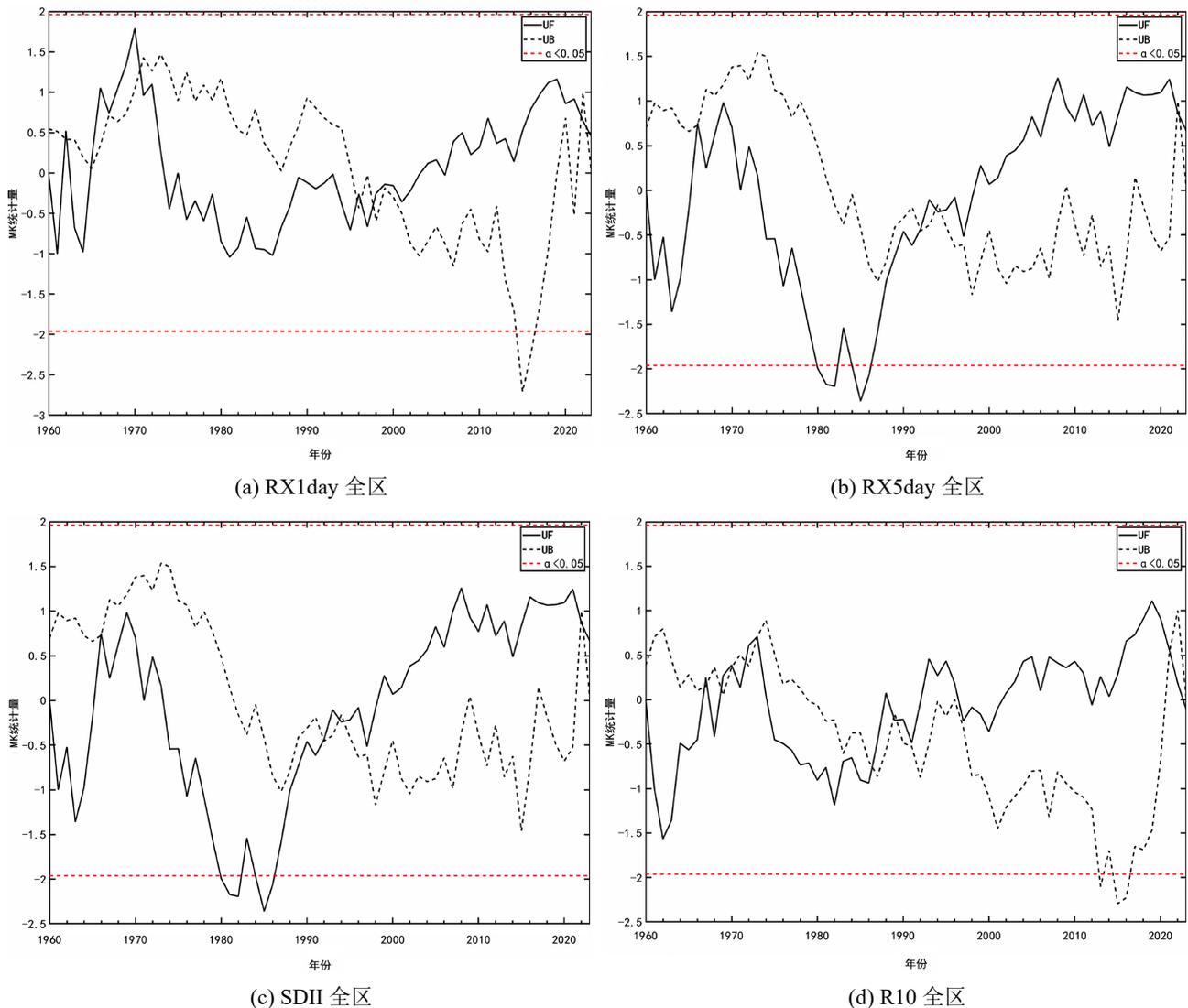
图 1(a)~(k)利用近 64a 塔城地区汛期极端降水指数资料,采用 M-K 突变检验方法绘制塔城地区、盆地、中部、南部突变曲线,对各极端降水指数序列进行分析,结果表明:塔城地区极值指数中 RX1day 序列在 1960 年代中期至 1970 年代初期、1980 年代末期至 2020 年发生了由少到多的突变,1970 年代初期至 1980 年代中期发生了由多到少的突变,根据 UF、UB 曲线交点的位置,可以确定突变点为 1965 年、1997 年;RX5day 序列在 1960 年代初期至 1970 年代初期、1980 年代中期至 2000 年代末期发生过由少到多的突变,1970 年代初期至 1980 年代初期发生了由多到少的突变,根据 UF、UB 曲线交点的位置,可以确定突变点为 1993 年。

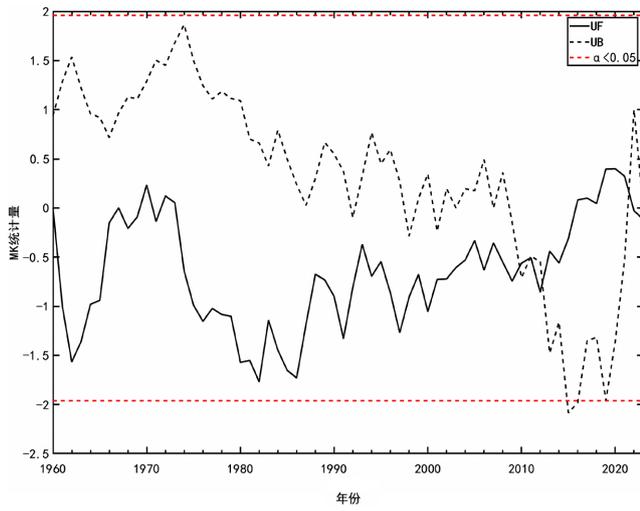
塔城地区绝对指数中 SDII 序列在 1960 年代初期至 1960 年代末期、1980 年代中期至 21 世纪初年末期发生了由少到多的突变,1970 年代初期至 1970 年代末期发生了由多到少的突变,根据 UF、UB 曲线交点的位置,可以确定突变点为 1991 年;R10 序列在 1960 年代初期至 1970 年代初期、1980 年代中期至 21 世纪初年中期发生了由少到多的突变,1970 年代中期至 1980 年代初期、21 世纪初年末期以后发生了由多到少的突变,根据 UF、UB 曲线交点的位置,可以确定突变点为 1973 年、1985 年、2019 年;R20 序列在 1960 年代初期至 1970 年代初期、1980 年代末期至 21 世纪初年末期发生了由少到多的突变,1970 年代中期至 1980 年代中期发生了由多到少的突变,根据 UF、UB 曲线交点的位置,可以确定突变点为 2011 年、2019 年;R50 序列在 1960 年代初期至 1960 年代末期、1980 年代初期至 21 世纪初年末期发生过有少到多的突变,1970 年代初期至 1970 年代末期发生了由多到少的突变,根据 UF、UB 曲线交点的位置,可以确定 2014 年、2017 年为突变点;CDD 序列在 1960 年代初期至 1960 年代中期发生了由多到少的突变,1970 年代初期至中期发生了由少到多的突变,1970 年代中期后一直处于减少趋势,但 UF、UB 曲线无交点,无突变点;CWD 序列在 1960 年代初期至中期发生了由少到多的突变,1960 年代末期至 1970 年代初期发生了由多到少的突变,1970 年代中期之后一直处于波动减少状态,但 UF、UB 曲线无交点,无突变点。

塔城地区相对指数中 R95P 序列在 1960 年代初期至 1970 年代末期、1990 年代初期至 21 世纪初年末期发生了由少到多的突变、1970 年代中期至 1980 年代初期、1980 年代初期至 1990 年代初期发生了由多

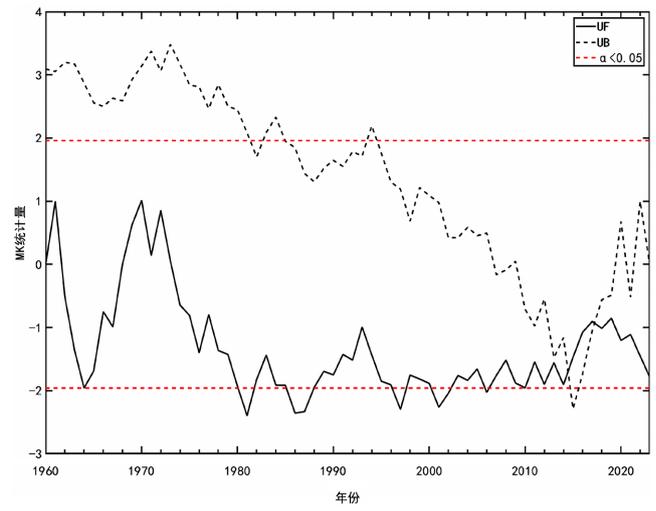
到少的突变, 根据 UF、UB 曲线交点的位置, 可以确定 1998 年、2019 年为突变点; R99P 序列在 1960 年代初期至 1970 年代初期发生了由多到少的突变、1980 年代中期至 1990 年代初期、1990 年代中期至 21 世纪初年末期发生了由少到多的突变, 根据 UF、UB 曲线交点的位置, 可以确定 1991 年、1997 年、2019 年为突变点; PRCPFOT 序列在 1960 年代初期至 1970 年代初期、1980 年代中期至 21 世纪初年中期发生了由少到多的突变, 1970 年代中期至 1980 年代初期发生了由多到少的突变, 根据 UF、UB 曲线交点的位置, 可以确定 1991 年、2019 年为突变点。

塔城地区各极端降水指数基本在 1960 年代初期或中期至 1970 年代初期或末期、1980 年代中期或末期至 21 世纪初年中期或末期均发生过由少到多的突变, 其中 RX1day、RX5day、R10、R20、R99P、PRCPFOT 序列在 1970 年代初期或中期至 1980 年代初期或中期、SDII、序 R50 列 1970 年代初期至 1970 年代末期发生了由多到少的突变, CDD、CWD 序列在 1960 年代初期至 1960 年代中期发生了由多到少的突变, 1970 年代中期后一直处于减少趋势, 无突变点, R95P 序列 1970 年代中期至 1980 年代初期、1980 年代初期至 1990 年代初期发生了由多到少的突变; 除 CDD、CWD 序列无突变点外, 其余各极端降水指数突变点各不相同。

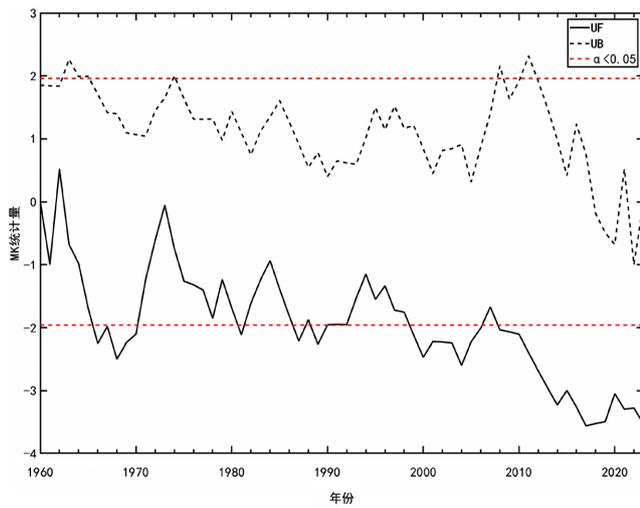




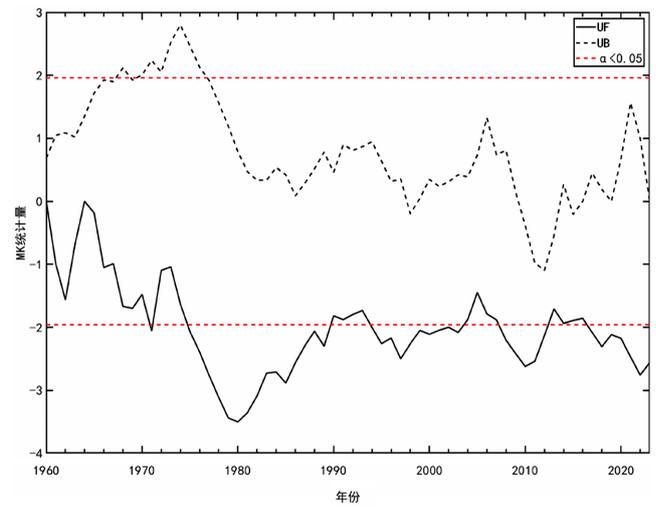
(e) R20 全区



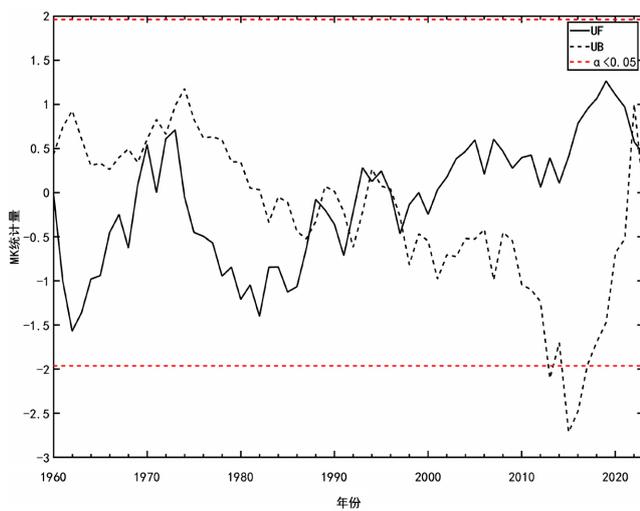
(f) R50 全区



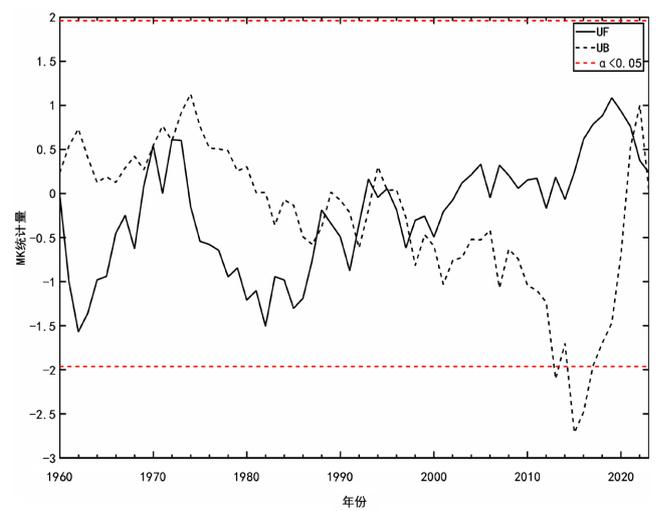
(g) CDD 全区



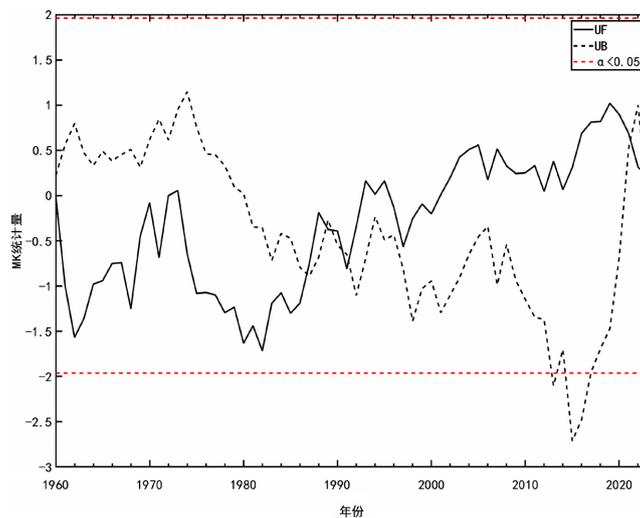
(h) CWD 全区



(i) R95P 全区



(j) R99P 全区



(k) PRCPFOT 全区

**Figure 1.** (a)~(k) Analysis of M-K sudden change of extreme precipitation index in flood season in Tacheng area**图 1.** (a)~(k)塔城地区汛期极端降水指数 M-K 突变分析

### 3.1.2. 塔城地区三个区域汛期极端降水指数 M-K 突变分析

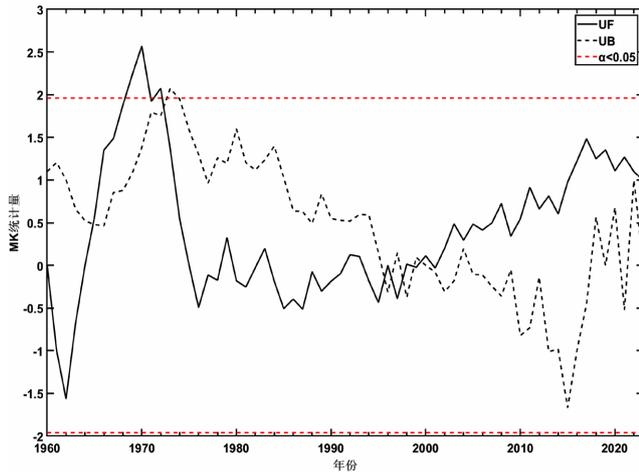
#### 1) 盆地汛期极端降水指数 M-K 突变特征分析

由图 2(a)~(k)可知,盆地极值指数中 RX1day 序列在 1960 年代初期至中期、1970 年代末期至 21 世纪初年中期发生了由少到多的突变,1970 年代初期至中期发生了由多到少的突变,根据 UF、UB 曲线交点的位置,可以确定 1972 年、1999 年为突变点;RX5day 序列在 1960 年代初期至 1970 年代初期、1980 年代中期至 2020 年发生了由少到多的突变,1970 年代初期至 1980 年代中期发生了由多到少的突变,根据 UF、UB 曲线交点的位置,可以确定 1991 年为突变点。

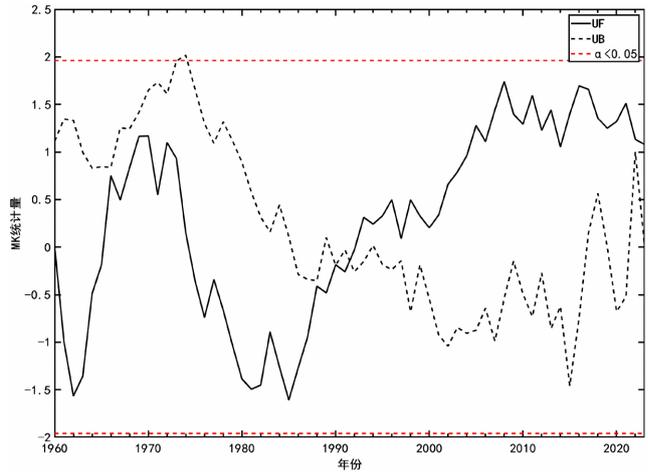
盆地绝对指数中 SDII 序列在 1960 年代初期至 1970 年代初期、1980 年代中期至 21 世纪初年中期发生了由少到多的突变,1970 年代初期至 1980 年代中期发生了由多到少的突变,根据 UF、UB 曲线交点的位置,可以确定 1991 年为突变点;R10 序列在 1960 年代初期至 1970 年代初期、2000 年代初期至 21 世纪初年中期发生了由少到多的突变,1970 年代初期至 1990 年代初期发生了由多到少的突变,根据 UF、UB 曲线交点的位置,可以确定 1972 年、2000 年、2019 年为突变点;盆地 R20 序列在 1960 年代中期至 1970 年代初期、2000 年代初期至 21 世纪初年末期发生过由少到多的突变,1970 年代初期至中期发生过由多到少的突变,根据 UF、UB 曲线交点的位置,可以确定 2014、2020 年为突变点;R50 序列在 1960 年代中期至末期、1970 年代初期至 1980 年代初期发生过由少到多和由多到少的突变,1980 年代初期后波动减少,降至 0.05 显著性水平检验以下,UF、UB 曲线无交点,无突变点;CDD 序列在 1960 年代初期至中期发生过由多到少的突变,1970 年代初期至 1980 年代初期波动增多,期间于 1970 年代中期至末期降至 0.05 显著性水平检验以下,1980 年代中期后持续下降至 0.05 显著性水平检验以下,UF、UB 曲线无交点,无突变点;CWD 序列在 1960 年代初期至中期、1960 年代末期至 1970 年代初期发生过由少到多、由多到少的突变,1970 年代中期之后波动减少并降至 0.05 显著性水平检验以下,UF、UB 曲线无交点,无突变点。

盆地相对指数中 R95P 序列在 1960 年代初期至 1970 年代初期、1990 年代初期至 21 世纪初年中期发生过由少到多的突变,1970 年代初期至 1990 年代初期发生过由多到少的突变,根据 UF、UB 曲线交点的位置,可以确定 1965 年、1971 年、1999 年为突变点;R99P 序列在 1960 年代初期至末期、1970 年代中期至 21 世纪初年末期发生了由少到多的突变,1960 年代末期至 1970 年代中期发生了由多到少的突变,根据

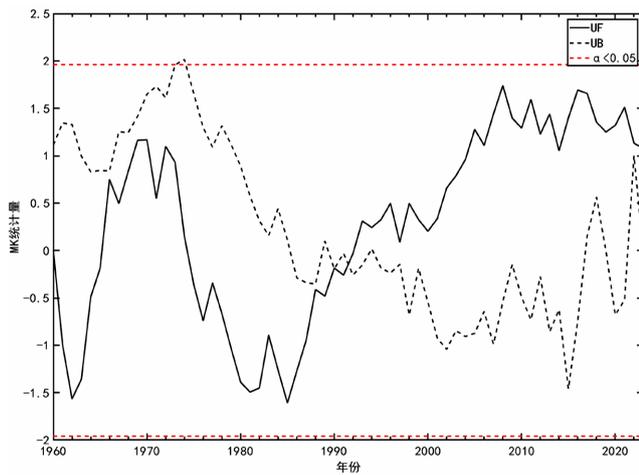
UF、UB 曲线交点的位置，可以确定 1999 年、2019 年为突变点；PRCPFOT 序列在 1960 年代初期至 1970 年代初期、1980 年代初期至 21 世纪初年末期发生了由少到多的突变，1970 年代初期至 1980 年代初期发生了由多到少的突变，根据 UF、UB 曲线交点的位置，可以确定 1969 年、2005 年、2018 年为突变点。



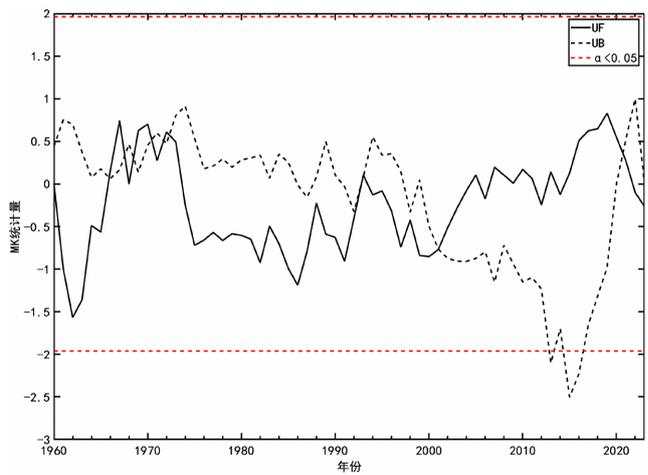
(a) RX1day 盆地



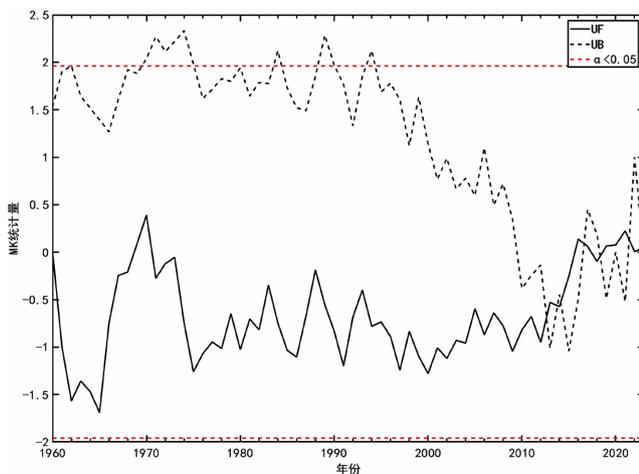
(b) RX5day 盆地



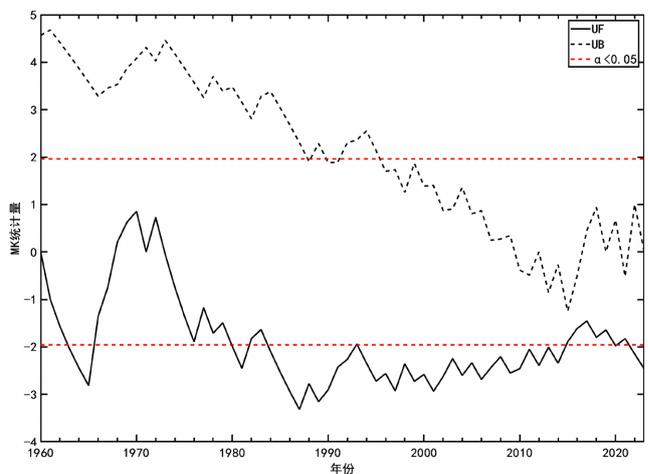
(c) SDII 盆地



(d) R10 盆地



(e) R20 盆地



(f) R50 盆地

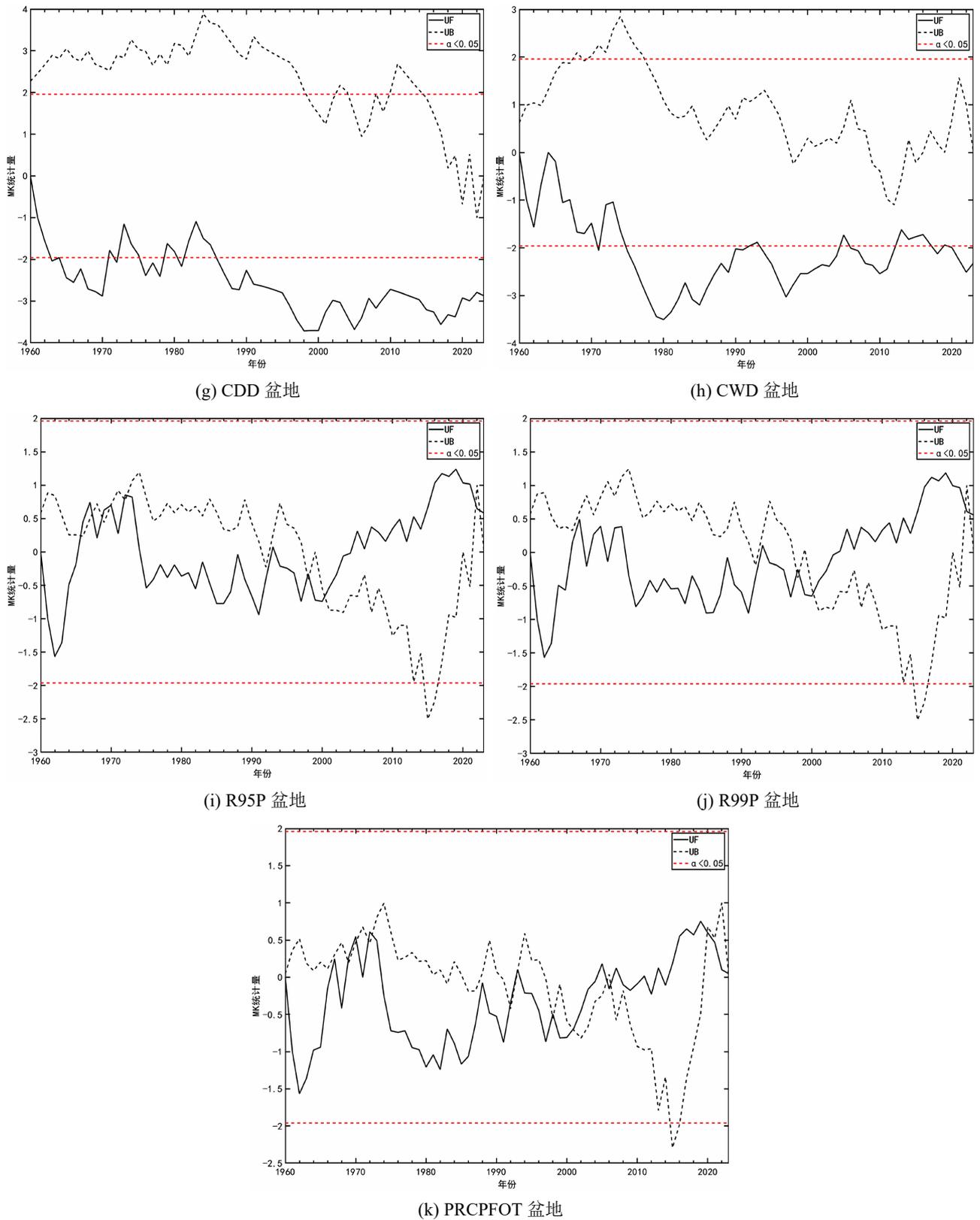
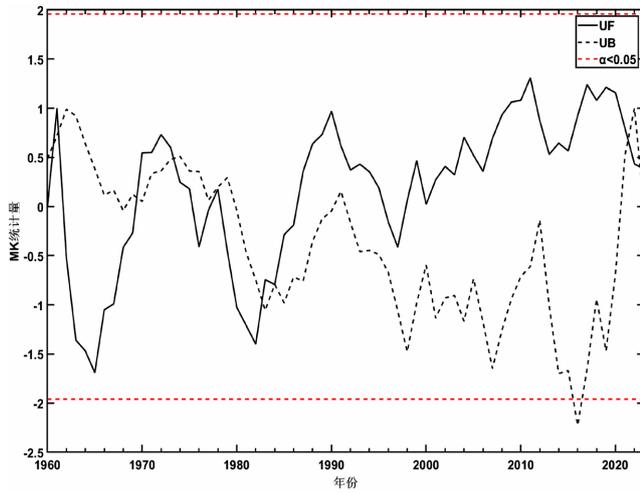


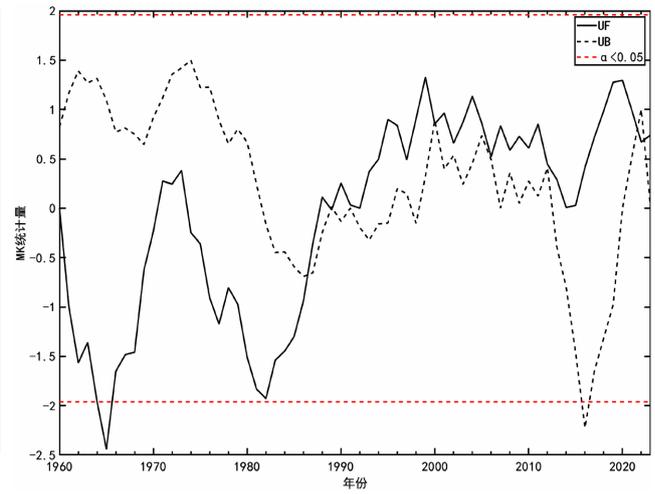
Figure 2. (a)~(k) Analysis of M-K sudden change of extreme precipitation index in flood season in Tacheng basin

图 2. (a)~(k)塔城盆地汛期极端降水指数 M-K 突变分析

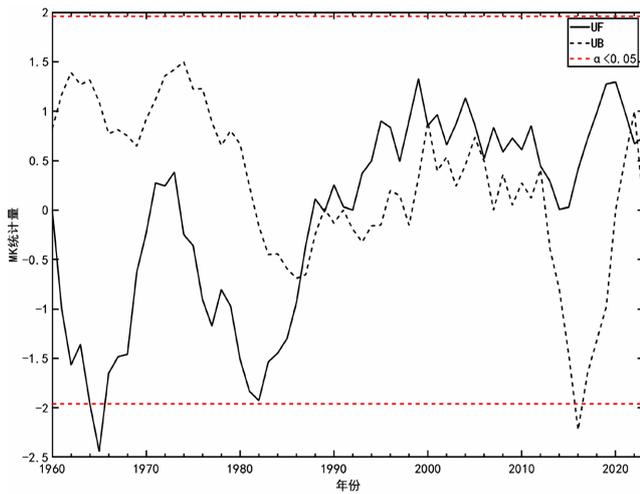
## 2) 地区南部汛期极端降水指数 M-K 突变特征分析



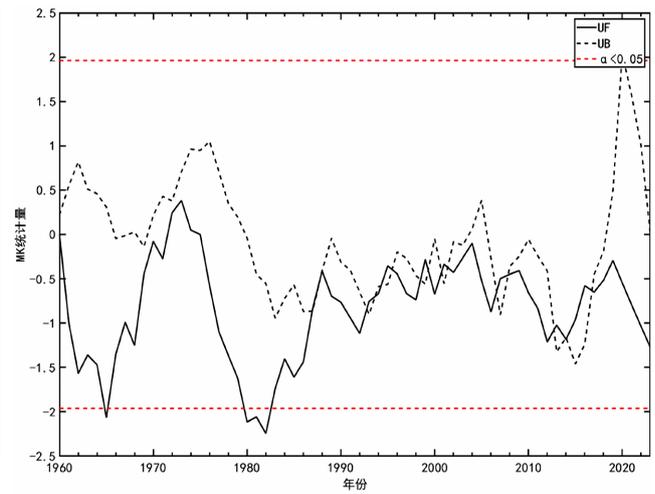
(a) RX1day 南部



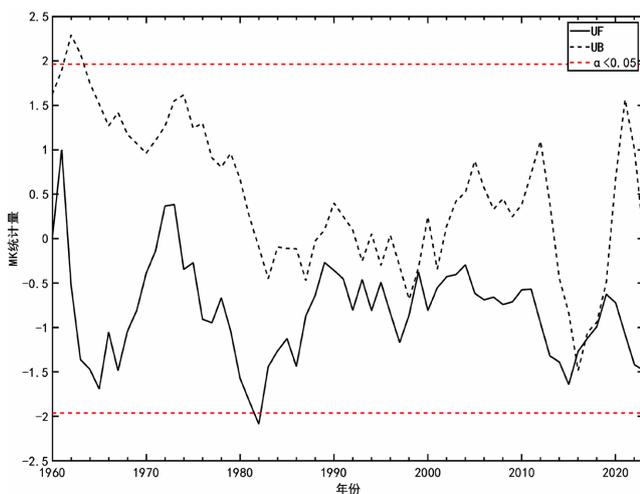
(b) RX5day 南部



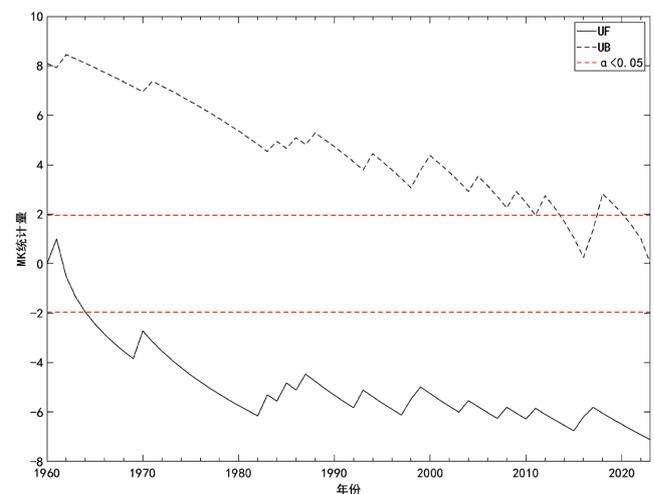
(c) SDII 南部



(d) R10 南部



(e) R20 南部



(f) R50 南部

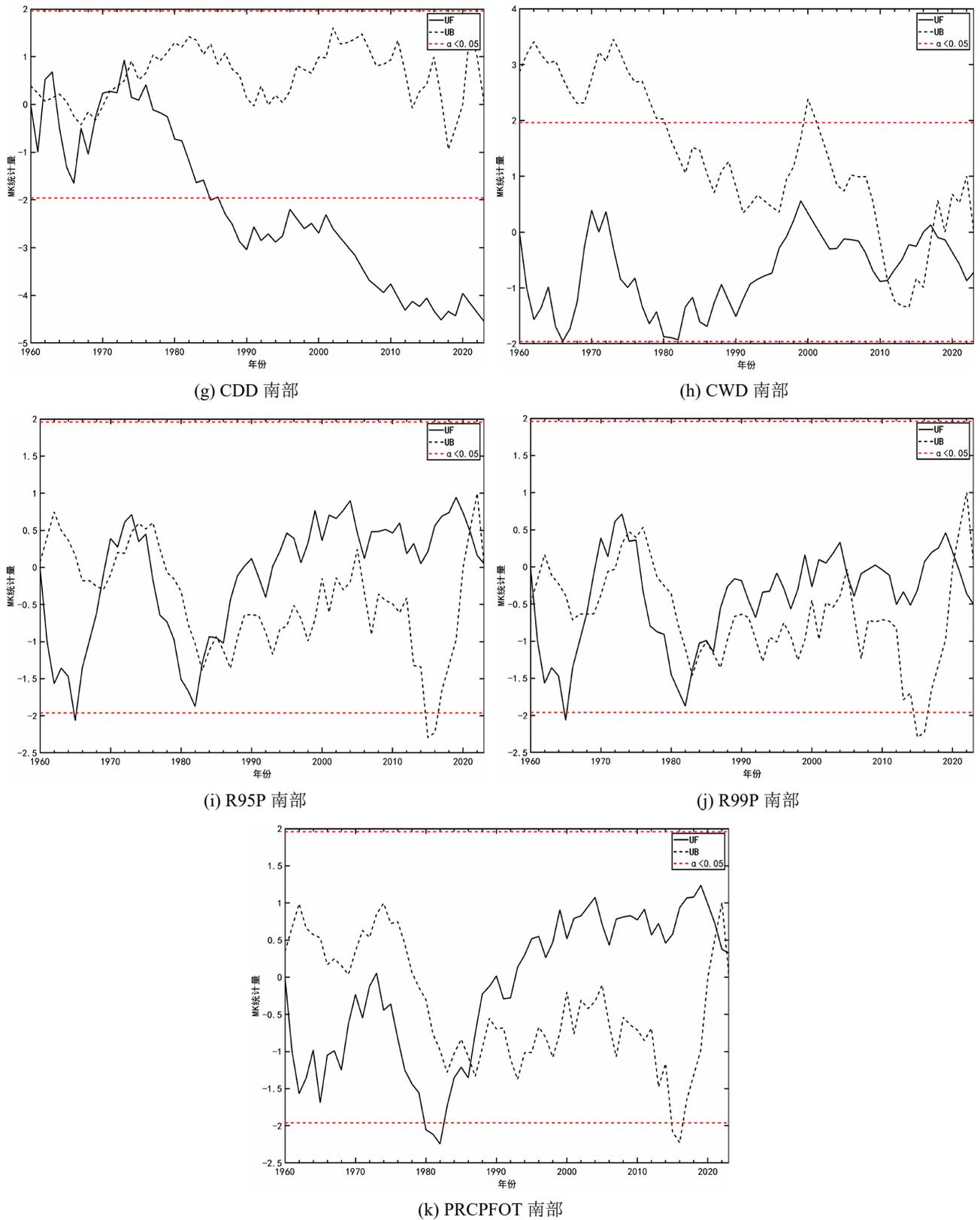


Figure 3. (a)~(k) Analysis of M-K sudden change of extreme precipitation index in flood season in southern part of the region  
 图 3. (a)~(k)地区南部汛期极端降水指数 M-K 突变分析

由图 3(a)~(k)可知,地区南部极值指数中 RX1day 序列在 1960 年代中期至 1970 年代初期、1980 年代初期至末期、1990 年代末期至 21 世纪初年末期发生了由少到多的突变,1970 年代中期至 1980 年代初期、1980 年代末期至 1990 年代中期发生了由多到少的突变,根据 UF、UB 曲线交点的位置,可以确定 1982 年、2019 年为突变点;RX5day 序列在 1960 年代中期至 1970 年代初期、1980 年代初期至 1990 年代末期、21 世纪初年中期至末期发生了由少到多的突变,1970 年代初期至 1980 年代初期、1990 年代末期至 21 世纪初年初期发生了由多到少的突变,根据 UF、UB 曲线交点的位置,可以确定 1985 年、2019 年为突变点。

地区南部绝对指数中 SDII 序列在 1960 年代中期至 1970 年代初期、1980 年代初期至 1990 年代末期发生了由少到多的突变,1970 年代初期至 1980 年代初期发生了由多到少的突变,根据 UF、UB 曲线交点的位置,可以确定 1987 年、1999 年为突变点;R10 序列在 1960 年代中期至 1970 年代初期、1980 年代中期至 21 世纪初年末期发生了由少到多的突变,1970 年代中期至 1980 年代初期发生了由多到少的突变,根据 UF、UB 曲线交点的位置,可以确定 2000 年、2012 年、2016 年为突变点;R20 序列在 1960 年代中期至 1970 年代初期、1980 年代中期至末期、21 世纪初年中期至末期发生过由少到多的突变、1970 年代初期至 1980 年代初期发生了由多到少的突变,根据 UF、UB 曲线交点的位置,可以确定 2016 年为突变点;R50 序列在 1960 年代初期至中期发生过由多到少的突变,之后降至 0.05 显著性水平检验以下,UF、UB 曲线无交点,无突变点;CDD 序列在 1960 年代初期至中期、1970 年代中期至 1980 年代中期发生过由多到少的突变、1960 年代中期至 1970 年代中期发生过由少到多的突变,1980 年代中期后降至 0.05 显著性水平检验以下,根据 UF、UB 曲线交点的位置,可以确定 1963 年、1969 年、1973 年为突变点;CWD 序列在 1960 年代中期至 1970 年代中期、1980 年代初期至 1990 年代末期发生过由少到多的突变,1970 年代中期至 1980 年代初期、1990 年代末期至 2021 年发生过由多到少的突变,根据 UF、UB 曲线交点的位置,可以确定 2011 年、2017 年为突变点。

地区南部相对指数中 R95P 序列在 1960 年代中期至 1970 年代初期、1980 年代初期至 21 世纪初年末期发生过由少到多的突变,1970 年代初期至 1980 年代初期发生过由多到少的突变,根据 UF、UB 曲线交点的位置,可以确定 1967 年、1973 年、2019 年为突变点;R99P 序列在 1960 年代中期至 1970 年代初期、1980 年代初期至 21 世纪初年中期发生了由少到多的突变,1970 年代初期至 1980 年代初期发生了由多到少的突变,根据 UF、UB 曲线交点的位置,可以确定 1967 年、1973 年、2019 年为突变点;PRCPFOT 序列在 1960 年代中期至 1970 年代初期、1980 年代初期至 21 世纪初年末期发生了由少到多的突变,1970 年代初期至末期发生了由多到少的突变,根据 UF、UB 曲线交点的位置,可以确定 1986 年、2019 年为突变点。

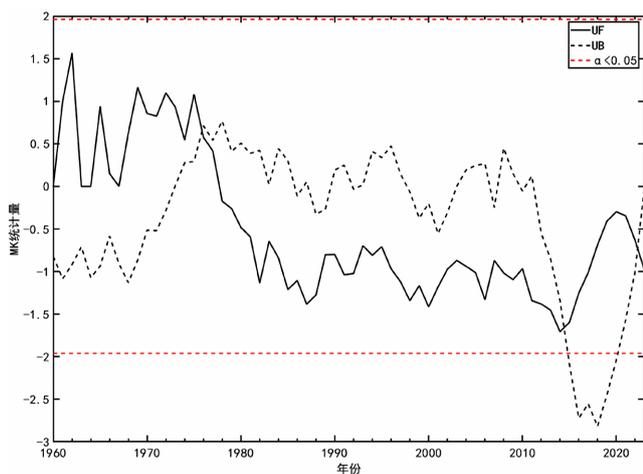
### 3) 地区中部汛期极端降水指数 M-K 突变分析

由图 4(a)~(k)可知,地区中部极值指数中 RX1day 序列在 1960 年代初期至末期、1970 年代中期至 21 世纪初年初期发生了由多到少的突变,21 世纪初年初期至末期发生了由少到多的突变,根据 UF、UB 曲线交点的位置,可以确定 1975 年、2012 年、2021 年为突变点;RX5day 序列在 1960 年代初期至 1980 年代初期、1990 年代初期至 21 世纪初年中期发生了由多到少的突变,1980 年代初期至 1990 年代初期、21 世纪初年初期至末期发生了由少到多的突变,根据 UF、UB 曲线交点的位置,可以确定 1972 年、2013 年、2021 年为突变点。

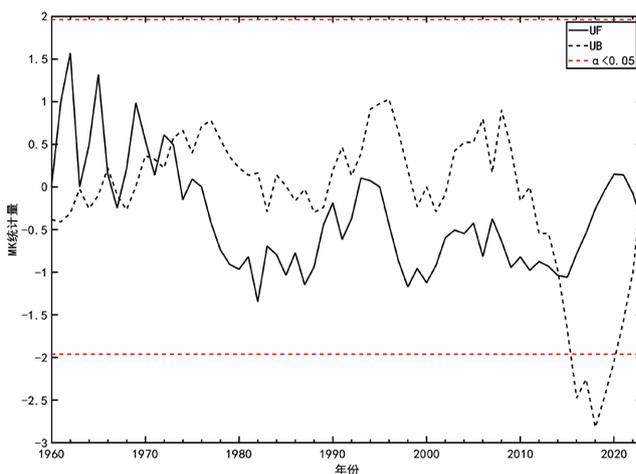
地区中部绝对指数中 SDII 序列在 1960 年代初期至 1980 年代初期、1990 年代初期至 21 世纪初年中期发生了由多到少的突变,1980 年代初期至 1990 年代初期发生了由少到多的突变,根据 UF、UB 曲线交点的位置,可以确定 1972 年、2013 年为突变点;R10 序列在 1960 年代初期至 1970 年代初期、2000 年代初期至 21 世纪初年末期发生了由少到多的突变,1970 年代初期至末期、1990 年代初期至 2000 年代初期发生了由多到少的突变,根据 UF、UB 曲线交点的位置,可以确定 2013 年、2021 年为突变点;R20 序列在 1960 年代中期至 1970 年代末期发生过由多到少的突变,但 UF、UB 曲线无交点,无突变点;R50 序列在 1960

年代初期至 1970 年代初期波动减少, 降至 0.05 显著性水平检验以下, UF、UB 曲线无交点, 无突变点; CDD 序列在 1960 年代初期至末期、1970 年代初期至 1980 年代初期、1990 年代初期至 21 世纪初年末期发生过由多到少的突变, 1960 年代末期至 1970 年代初期、1980 年代初期至 1990 年代初期发生过由少到多的突变, 根据 UF、UB 曲线交点的位置, 可以确定 2019 年、2021 年为突变点; CWD 序列在 1960 年代初期至末期、1970 年代初期至末期发生过由多到少的突变、1960 年代末期至 1970 年代初期发生过由少到多的突变, 1980 年代末期之后持续下降至 0.05 显著性水平检验以下, UF、UB 曲线无交点, 无突变点。

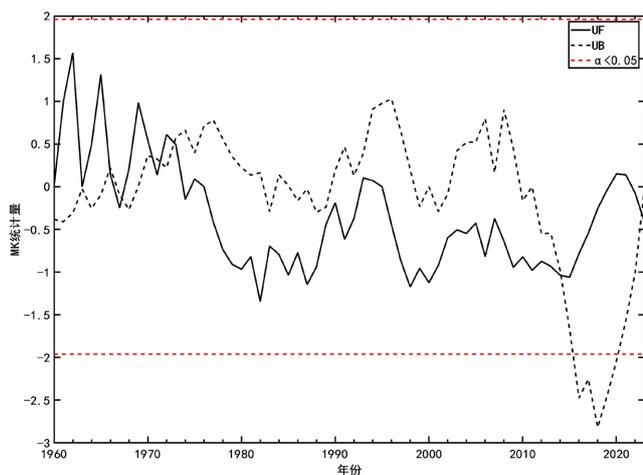
地区中部相对指数中 RX1day 序列在 1960 年代初期至末期、1970 年代中期至 21 世纪初年初期发生了由多到少的突变, 21 世纪初年初期至末期发生了由少到多的突变, R95P 序列在 1960 年代初期至 1970 年代初期、21 世纪初年中期至末期发生过由少到多的突变, 1970 年代初期至 21 世纪初年初期发生过由多到少的突变, 根据 UF、UB 曲线交点的位置, 可以确定 1963 年、1972 年、2011 年; R99P 序列在 1960 年代初期至 1970 年代初期、1980 年代初期至 21 世纪初年末期发生了由少到多的突变, 1970 年代初期至 1980 年代初期发生了由多到少的突变, 根据 UF、UB 曲线交点的位置, 可以确定 1963 年、1973 年、2011 年为突变点; PRCPFOT 序列在 1960 年代初期至 1970 年代初期、1980 年代初期至 21 世纪初年末期发生了由少到多的突变, 1970 年代初期至 1980 年代初期发生了由多到少的突变, 根据 UF、UB 曲线交点的位置, 可以确定 2009 年为突变点。



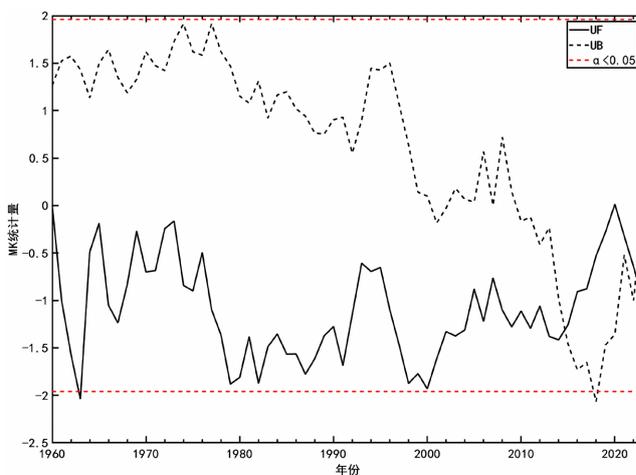
(a) RX1day 中部



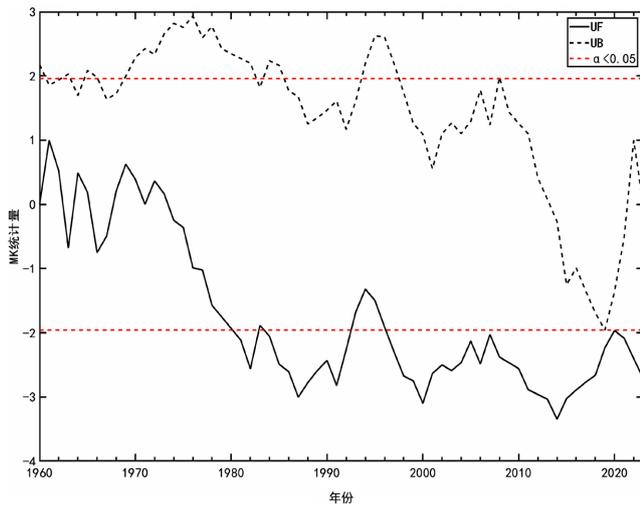
(b) RX5day 中部



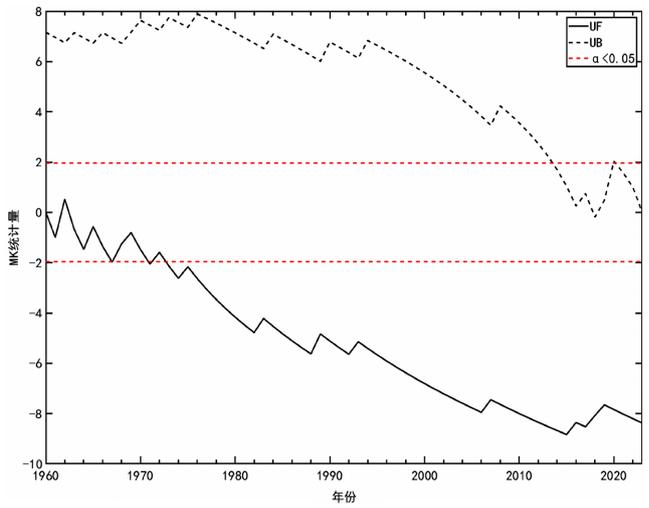
(c) SDII 中部



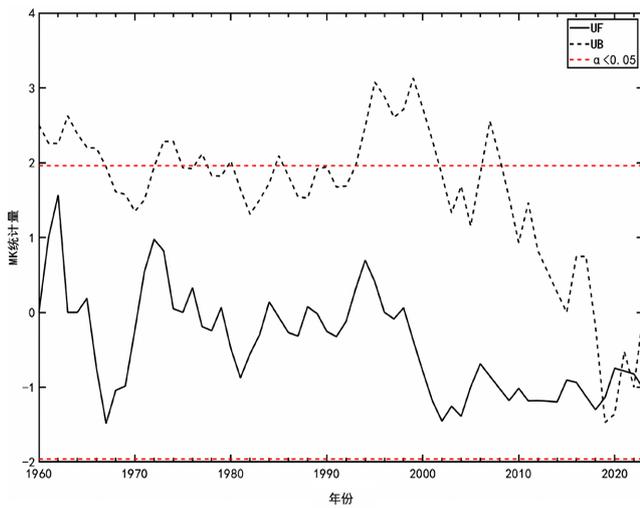
(d) R10 中部



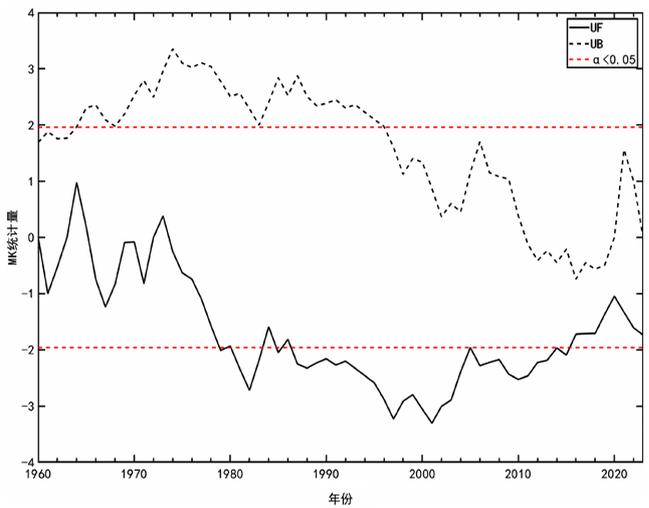
(e) R20 中部



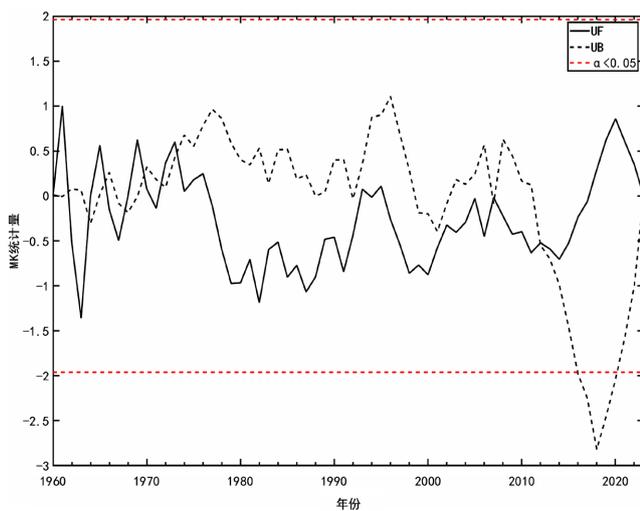
(f) R50 中部



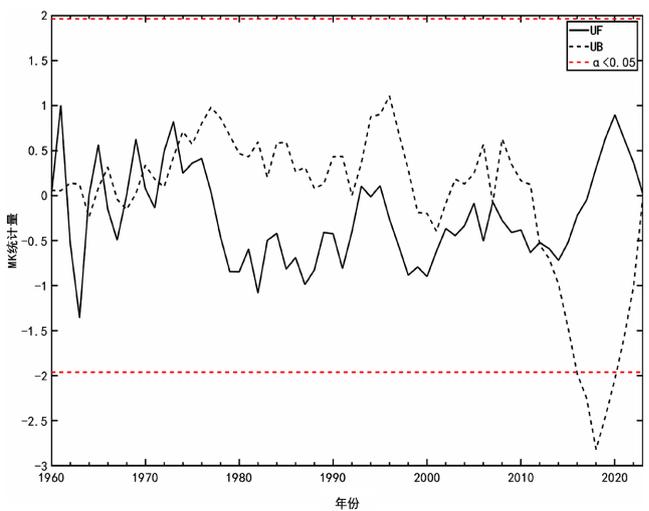
(g) CDD 中部



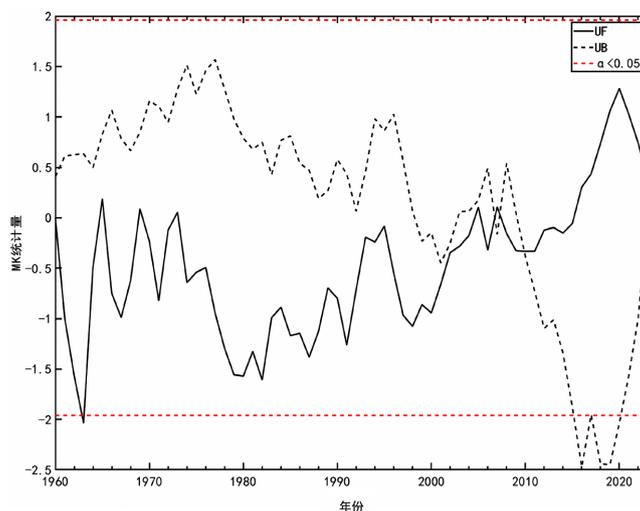
(h) CWD 中部



(i) R95P 中部



(j) R99P 中部



(k) PRCPFOT 中部

Figure 4. (a)~(k) Analysis of M-K sudden change of extreme precipitation index in flood season in central part of the region  
图 4. (a)~(k)地区中部汛期极端降水指数 M-K 突变分析

#### 4. 结论与讨论

1) 塔城地区各极端降水指数基本在 1960 年代初期或中期至 1970 年代初期或末期、1980 年代中期或末期至 21 世纪初年中期或末期均发生了由少到多的突变，其中 RX1day、RX5day、R10、R20、R99P、PRCPFOT 序列在 1970 年代初期或中期至 1980 年代初期或中期、SDII、序 R50 列 1970 年代初期至 1970 年代末期发生了由多到少的突变，CDD、CWD 序列在 1960 年代初期至 1960 年代中期发生了由多到少的突变，1970 年代中期后一直处于减少趋势，无突变点，R95P 序列 1970 年代中期至 1980 年代初期、1980 年代初期至 1990 年代初期发生了由多到少的突变；除 CDD、CWD 序列无突变点外，其余各极端降水指数突变点各不相同。

2) 盆地 RX1day、CWD、R99P、R50、R99P 序列在 1960 年代初期至末期、1970 年代末期至 21 世纪初年中期，RX5day、SDII、PRCPFOT、R10、R20、R95P 序列在 1960 年代初期至 1970 年代初期、1980 年代中期至 21 世纪初年中期，R10、R20 在 2000 年代初期至 21 世纪初年中期，R95P 序列在 1990 年代初期至 21 世纪初年中期均发生过由少到多的突变；盆地 RX1day、R20 序列 1970 年代初期至中期，RX5day、SDII、R50、PRCPFOT 序列在 1970 年代初期至 1980 年代中期，R10、R95P 序列 1970 年代初期至 1990 年代初期，CDD 序列在 1960 年代初期至中期，CWD、R99P 序列在 1960 年代末期至 1970 年代中期均发生过由多到少的突变；除 R50、CDD、CWD 序列无突变点外，其余各极端降水指数突变点各不相同。

3) 南部 RX1day、RX5day、SDII、R10、R20、CDD、CWD、R95P、R99P、PRCPFOT 序列在 1960 年代中期至 1970 年代中期、RX1day、R20 序列在 1980 年代中期至末期、RX1day 序列 1990 年代末期至 21 世纪初年末期、RX5day、SDII、CWD 序列在 1980 年代初期至 1990 年代末期、RX5day、R20 序列在 21 世纪初年中期至末期、R10、R95P、R99P、PRCPFOT 序列在 1980 年代初期或中期至 21 世纪初年中期或末期发生过由少到多的突变；RX5day、R50、CDD、PRCPFOT 序列在 1960 年代初期或中期至 1970 年代初期或末期、RX1day、SDII、R10、R20、R95P、R99P、CDD、CWD 序列在 1970 年代中期或初期至 1980 年代初期或中期、RX1day、RX5day 序列在 1980 年代初期或末期至 1990 年代中期或末期、RX5day、CWD 1990 年代末期至 21 世纪初年初期或中期、末期发生了由多到少的突变。除 R50 序列无突变点外，其余各极端降水指数突变点各不相同。

4) 中部 RX1day、CDD、R10、R20、R50、CWD 序列在 1960 年代初期或中期至 1970 年代初期或末期, RX5day、SDII 序列在 1960 年代初期至 1980 年代初期、CDD、R99P、R99P 序列在 1970 年代初期至 1980 年代初期、RX1day、R95P 序列在 1970 年代初期或中期至 21 世纪初年初期、R10 序列在 1990 年代初期至 2000 年代初期、RX5day、SDII、CDD 序列在 1990 年代初期至 21 世纪初年中期或末期发生了由多到少的突变; CWD 序列在 1960 年代中期至 1970 年代中期、1980 年代初期至 1990 年代末期发生过由少到多的突变; 中部 R10、CDD、CWD、R95P、R99P、PRCPFOT 序列在 1960 年代初期或末期至 1970 年代初期、RX5day、SDII、CDD 序列在 1980 年代初期至 1990 年代初期, R99P、PRCPFOT 序列 1980 年代初期至 21 世纪初年末期, R10 序列在 2000 年代初期至 21 世纪初年末期, RX1day、RX5day、R95P 序列在 21 世纪初年初期或中期至末期发生了由少到多的突变; 除 R10、R50、CWD 序列无突变点外, 其余各极端降水指数突变点各不相同。

## 基金项目

新疆气象局引导性计划项目“塔城地区暖季短时强降水分布特征及成因分析(YD2024006)”和新疆气象局气象科技创新发展基金项目“塔城地区汛期极端降水指数时空变化特征及其对大气环流因子的响应(MS202307)”共同资助。

## 参考文献

- [1] 王志福, 钱用甫. 中国极端降水事件的频数和强度特征[J]. 水科学进展, 2009, 20(1): 1-9.
- [2] 翟盘茂, 刘静. 气候变暖背景下的极端天气气候事件与防灾减灾[J]. 中国工程科学, 2012, 14(9): 55-63, 84.
- [3] 程诗悦, 秦伟, 郭乾坤, 等. 近 50 年我国极端降水时空变化特征综述[J]. 中国水土保持科学, 2019, 17(3): 155-161.
- [4] 丁一汇, 任国玉, 石广玉, 等. 气候变化国家评估报告(1): 中国气候变化的历史和未来[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(1): 3-8.
- [5] 翟盘茂, 王萃萃, 李威. 气候极端事件变化的观测研究[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(3): 144-148.
- [6] 潘晓华, 翟盘茂. 气候极端事件的选取与分析[J]. 气象, 2002, 28(18): 28-31.
- [7] 陈少勇, 乔立, 林纾, 等. 中国西部 OLR 与秋季降水的关系[J]. 干旱气象, 2011, 29(1): 1-8.
- [8] 孙建奇, 敖娟. 中国冬季降水和极端降水对变暖的响应[J]. 科学通报, 2013, 58(8): 674-679.
- [9] 高涛, 谢立安. 近 50 年来中国极端降水趋势与物理成因研究综述[J]. 地球科学进展, 2014, 29(5): 577-589.
- [10] 张文纲, 李述训, 庞强强. 青藏高原 40 年来降水量时空变化趋势[J]. 水科学进展, 2009, 20(2): 18-26.
- [11] 赵雪雁, 王亚茹, 张钦, 等. 近 50a 青藏高原东部夏半年强降水事件的气候特征[J]. 干旱区地理, 2015, 38(4): 33-41.
- [12] 曹瑜. 青藏高原中东部夏季极端降水特征及其与大尺度环流的关系[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京信息工程大学, 2018.
- [13] 杜亮亮, 周雪英, 赵有谱, 等. 河北邯郸地区极端降水指数气候特征及其与降水量、气温的关系[J]. 干旱气象, 2017, 35(6): 968-974.
- [14] 毛炜峰, 江远安, 李江风. 新疆北部的降水量线性变化趋势特征分析[J]. 干旱区地理, 2006, 29(6): 797-802.
- [15] 袁玉江, 何清, 穆贵金. 天山山区近 40 年夏季降水变化及与南北疆的比较[J]. 冰川冻土, 2003, 25(3): 331-335.
- [16] 李佳秀, 杜春丽, 杜世飞, 等. 新疆极端降水事件时空变化及趋势预测[J]. 干旱区研究, 2015, 32(6): 1103-1112.
- [17] 博尔楠, 恰里哈尔, 阿依敏, 等. 近 54a 阿勒泰地区夏季极端降水气候特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2016, 10(4): 39-46.
- [18] 努尔比亚·吐尼亚孜, 姚俊强, 阿依努尔·买买提吐逊, 米日古丽·米吉提, 等. 1961-2021 年塔里木盆地极端降水指数时空变化特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2024, 18(5): 25-34.
- [19] 胡海洋, 胡轶佳, 钟中, 等. WRF 模式对中国夏季降水的动力降尺度模拟研究[J]. 气象科学, 2015, 35(4): 413-421.

- [20] 井立红, 魏小亚, 高婧, 等. 近 50a 新疆塔城地区冷季降水变化特征分析[J]. 干旱气象, 2012, 30(1): 39-44.
- [21] 魏凤英. 现代气候统计诊断预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999: 43-65.
- [22] 符淙斌, 王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学, 1992, 16(4): 482-493.