

新疆极端降水概率分布特征的时空演变规律^{*}

李剑锋^{1,2}, 张强^{1,2}, 陈晓宏^{1,2}, 白云岗³

(1. 中山大学 水资源与环境系, 广东 广州 510275; 2. 中山大学 华南地区水循环与水安全广东省普通高校重点实验室, 广东 广州 510275; 3. 新疆水利水电科学研究院, 新疆 乌鲁木齐 830049)

摘 要: 依据新疆地区 53 个雨量站 1957–2009 年日降水资料, 根据研究需要, 定义了 8 个极端降水指标。运用 K-S 法确定降水指标最适概率分布函数, 确定 10 年一遇极端降水量值; 在此基础上, 采用 Copula 非参数估计方法, 通过 Akaike information criterion (AIC) 法确定两降水指标联合分布函数, 系统分析 1980 年以后极端降水单变量极值及降水极值二维联合概率分布特征变化的时空演变特征, 研究结果表明: ①新疆有湿润化趋势, 北疆湿润化趋势比南疆显著; ②从降水天数和极端降水天数角度来看, 新疆极端强弱降水同时出现的概率减小, 从极端降水雨量和强度来看新疆中部、南疆西部、北疆东部及北部极端强弱降水同时出现的可能性减小, 而天山西部与南疆北部的可能性增加; ③1980 年后新疆地区发生涝的概率增大, 发生旱的概率减少。

关键词: 极端降水; 联合分布函数; Copula 法; 干旱半干旱地区; 新疆

中图分类号: P468.0⁺24 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2011)02-0011-07

当前全球变暖, 水循环加剧, 世界许多国家和地区发生极端水文气象事件的概率增加, 洪水、干旱、台风等极值事件频发, 灾害损失加剧。这与降水特别是极端降水事件时空分布发生变异有着密切的关系^[1-2]。因而, 研究降水, 特别是极端降水概率变化的时空演变特征及其变化规律, 对于科学理解旱涝灾害时空变化、减少灾害损失具有重要意义, 同时也为进行科学水资源管理提供科学依据。

描述极端降水的降水指标较多, 如极端降水发生天数、极端降水总量以及极端降水强度等, 而传统的单变量分布只能描述单一降水指标的概率变化特征, 了解多变量的联合分布, 对于了解极端降水的综合统计特征有着重要意义。关于多变量分布研究, 如 Yue^[3] 用 Box-Cox 转换把两变量正态化, 然后用两变量正态模型描述降水特征量联合分布。但是以往的研究均需对随机变量进行一些假设, 因而类似研究具有一定局限性。而 Copula 函数能避免以上研究方法的局限性, 因而

在水文气象研究领域中逐步获得应用, 如 Zhang^[4] 使用二维 Copula 函数对降雨资料进行频率分析; 王沁等^[5] 使用 Copula 研究和模拟降雨量与土壤饱和度变化情况。但是, 目前 Copula 函数在水文气象领域中的应用仍处于初级阶段。

新疆维吾尔自治区位于亚欧大陆中部, 地处中国西北边陲, 总面积 166.49 万 km², 占全国陆地总面积的 1/6 (图 1)。新疆地形复杂, 在气候上属于典型的干旱半干旱地区, 生态系统脆弱^[6]。对于新疆地区降水极值的分析已有一些研究, 张强等^[7] 分析中国 590 个站点日降水资料后, 认为中国西北地区有轻微的湿润趋势。李雪梅等^[8] 利用新疆地区 55 个雨量站 1961–2008 年日降水数据分析了新疆降水集中度的变化趋势以及周期特征, 认为南疆降水集中度大于北疆, 同时, 新疆降水集中度变化存在 2~5 年周期。薛燕等^[9] 通过对新疆 70 多个站点的气象资料分析计算, 得出近 50 年来新疆年降水量、年平均气温总体呈上升趋势, 年降水增幅的强弱在地区分布上各有差异, 南疆

^{*} 收稿日期: 2010-09-03

基金项目: 新疆自治区科技攻关项目(200931105); 国家自然科学基金面上项目(41071020); 中山大学理工科青年教师重点培育计划项目(2009-37000-1132381)

作者简介: 李剑锋(1987-), 男, 广东广州人, 硕士研究生, 主要从事生态水文研究、极端降水及旱涝灾害研究。

E-mail: jianfengli.sysu@gmail.com

通讯作者: 张强(1974-), 男, 山东沂水人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事流域气象水文学研究、旱涝灾害机理、流域地表水文过程及其对气候变化的响应机制与机理以及流域生态需水等领域的研究工作。E-mail: zhangq68@mail.sysu.edu.cn

地区一致性较好,北疆较差。

以往对新疆的降水研究集中在年降水量、降水强度以及降水集中度等单降水变量分析,而研究极端降水多变脸联合分布特征,对极端降水、旱涝灾害的形成预测及水资源管理有重要作用。以往的研究在这个方面较少涉及,基于此,本文分析新疆日降水量数据,研究极端降水单变量极值概率分布时空变化特征、极端降水二维联合分布概率分布时空变化特征。一段时期的降水短缺影响地表水补给情况,地表水地下水流量减少,水库和湖泊水位降低,这将导致水文干旱,水文干旱在降水短缺结束后仍会持续一段时间^[10]。降水过多可能导致水文洪涝。不同降水指标极值相遇概率代表不同降水情况的概率特征,代表不同水文情况的概率特征。例如极端强降水和极端弱降水相遇概率代表降水过多和降水短缺同时发生的概率,这一定程度上代表水文旱涝相遇概率。

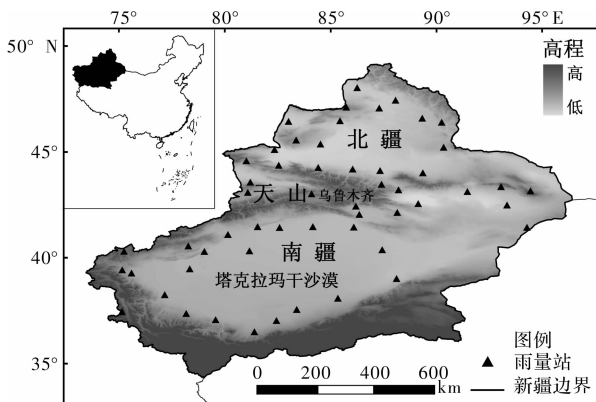


图1 新疆雨量站点分布图

1 数据

本文所分析数据为新疆地区 53 个雨量站(图 1)1957–2009 年逐日降水量资料,降水资料由国家气象信息中心提供。研究中定义了 8 个极端降水指标,这些指标在降水极值研究中已有广泛应用^[11–12]。文中所定义的降水指标为:有降水天数为日降水量 $P \geq 1$ mm 的天数;无降水天数为降水量 $P < 1$ mm 的天数;NW 为各测站每年有降水天数;D75 为每年日降水量大于降水日序列 75% 分位数的日数;P75 为每年日降水量大于降水日序列 75% 分位数的总降水量;I75 为每年日降水量大于降水日序列 75% 分位数的日平均降水量, $I75 = P75/D75$, 该文定义为强降水强度;CDD 为年最长连续无降水日数;D25 为每年日降水量小于

降水日序列 25% 分位数的日数;P25 为每年日降水量小于降水日序列 25% 分位数的总降水量;I25 为每年日降水量小于降水日序列 25% 分位数的日平均降水量,即 $I25 = P25/D25$, 研究中定义为弱降水强度。降水指标 NW、D75、P75、I75 主要说明极端强降水变化情况;CDD、D25、P25、I25 主要用于研究极端弱降水的变化情况。

2 研究方法

2.1 降水指标边缘分布

建立联合分布首先需要确定每个降水指标的边缘分布函数,降水指标按数理性质可分为离散型和连续型,离散型指标包括 NW、D75、CDD、D25,连续性指标包括 P75、I75、P25、I25。学者对降水变量概率分布进行了研究^[13]。离散变量概率分布函数有 0~1 分布、二项分布、泊松分布、几何分布、负二项分布等^[14]。Wilks^[15] 用几何分布、负二项分布、混合几何分布拟合美国测站降水日数分布。根据实际降水特征,本文采用二项分布、泊松分布、几何分布和负二项分布进行 NW、D75、CDD、D25 的边缘分布分析。连续变量概率分布函数较多,采用以下 6 种在气象和水文领域中应用较为广泛的概率分布函数进行分析:广义极值分布(GEV)、广义帕累托分布(GP)、PIII 分布、对数正态分布、Wakeby 分布、指数分布。本文采用矩法对离散概率分布函数进行参数估计,使用线形矩方法^[16]对连续概率分布函数进行参数估计。最后使用 Kolmogorov–Smirnov (K-S) 方法^[17]的统计量 D 对各降水指标进行拟合优度检验,确定最适概率分布函数。

2.2 Copula 函数

Copula 函数可以用不同边缘分布的变量来构造联合分布。以二维随机变量为例,假设二维随机变量 X 和 Y , 它们的边缘分布函数是 $F(x) = P[X \leq x]$ 和 $G(y) = P[Y \leq y]$, 则它们的联合分布为 $H(x, y) = P[X \leq x, Y \leq y]$ 。则存在 Copula 函数 C 使得

$$H(x, y) = C(F(x), G(y)). \quad (1)$$

Copula 函数 C 本质上是边缘分布为 $F(x)$ 和 $G(y)$ 的随机变量 X, Y 的二元联合分布函数。同理 Copula 可推广至二维以上的多维联合分布^[18]。

本文采用的 Copula 函数主要有 Gumbel–Hougaard Copula, Clayton Copulas, Frank Copulas 和 Gauss Copula。

2.2.1 AIC 准则

Akaike^[19] 提出 Akaike information criterion (AIC 准则法), 本文运用该法检验各种 Copula 分布的拟合程度。AIC 包括两个部分: 函数拟合的偏差和参数数量带来的不可靠性。AIC 的计算过程如下:

$$AIC = n \log(RSS/n) + 2m, \quad (2)$$

式中: n 是样本个数; m 是参数个数; RSS 是残差平方和。AIC 值越小, 说明函数拟合程度越好。

2.2.2 Copula 函数非参数估计

Genest 和 Rivest^[20] 提出 Copula 函数的非参数估计方法, 本文根据该非参数估计方法计算 Copula 函数。

(1) 根据下式估算随机样本的 Kendall 系数 τ

$$\tau = \frac{\sum_{i < j} \text{sign}[(x_i - x_j)(y_i - y_j)]}{\frac{n(n-1)}{2}}, \quad (3)$$

式中: n 是随机样本的观测值个数; $i, j = 1, 2, \dots, n$; 如果 $x_i \leq x_j$ 且 $y_i \leq y_j$, 则 $\text{sign} = 1$, 否则 $\text{sign} = -1$ 。

(2) 根据 Kendall 系数 τ 与 Copula 参数 θ 或 ρ 关系式计算 θ 或 ρ 。

(3) 由 θ 或 ρ 得到各种类型的 Copula 函数。

(4) 判断最合适的 Copula 类型。

2.3 两变量重现期分析

Salvadori 等^[21] 对两变量重现期进行分析, 本文根据 Salvadori 等分析讨论 $T_{\{X>x, Y>y\}}$ 、 $T_{\{X>x, Y \leq y\}}$ 两种重现期。 $T_{\{X>x, Y>y\}}$ 表示降水变量 X 和 Y 都超过特定值的重现期; $T_{\{X>x, Y \leq y\}}$ 表示降水变量 X 超过特定值, 并且降水变量 Y 不超过特定值的重现期。

分析 $T_{\{NW, CDD; X>x, Y>y\}}$ 、 $T_{\{D75, D25; X>x, Y>y\}}$ 、 $T_{\{P75, I75; X>x, Y>y\}}$ 、 $T_{\{P75, P25; X>x, Y \leq y\}}$ 、 $T_{\{I75, I25; X>x, Y \leq y\}}$ 、 $T_{\{D25, P25; X>x, Y \leq y\}} \circ T_{\{NW, CDD; X>x, Y>y\}}$ 是降水天数 NW 大于某特定值并且最大连续无降水天数 CDD 大于某特定值的重现期。其他表达式具有相似的意义。 $T_{\{P75, I75; X>x, Y>y\}}$ 对研究降水总量大且降水强度高的极端强降水概率特征有重要意义; $T_{\{D25, P25; X>x, Y \leq y\}}$ 对研究极端弱降水天数长且降水总量少的极端弱降水概率特征有重要意义。其他联合分布重现期从不同角度反映极端强弱降水同时发生的概率特征。本文设定各特定值是各降水指标 10 年一遇值。此处 $P25$ 、 $I25$ 两指标 10 年一遇值的意义与其他指标不同, 其他指标 10 年一遇是指大于某值的重现期为 10 年, 而 $P25$ 、 $I25$ 是用于考察极端弱降水指标, 指标数值

越小, 降水程度越弱, 其 10 年一遇的意义是 $P25$ 、 $I25$ 小于某值的重现周期为 10 年。文中所分析的降水指标均是 10 年一遇的量值, 因而下文中不再做特别说明。

3 计算结果

3.1 1980 年前后各降水指标 10 年一遇值变化情况

在全球变暖的背景下, 1980 年后, 新疆及周边人类活动影响迅速加剧, 经济飞速发展, 给当地气候造成一定影响。唐道来等^[22] 用小波变换的方法分析新疆地区的降水周期变化, 认为 1988 年是丰枯突变点之一。徐贵青等^[23] 分析新疆气候资料发现, 1980 年是气温的重要突变点, 而降水变化较为复杂, 同时 1980 年代是沙尘暴发生日数的突变时间。可见 1980 年代是新疆气候变化的重要时间, 本文分析 1980 年前后各降水指标的 10 年一遇的变化情况, 对 1980 年前后序列分别采用 K-S 法求出最适合概率分布, 然后根据最适合概率分布分别计算 1980 年前后 10 年一遇的指标值。降水指标 10 年一遇值的变化幅度是指: (1980 年后降水指标 10 年一遇值—1980 年前降水指标 10 年一遇值)/1980 年前降水指标 10 年一遇值。该值大于 0, 说明 1980 年后降水指标增加; 小于 0, 说明 1980 年后降水指标减少。

采用概率统计方法确定 1980 年前后各降水指标 10 年一遇值, 然后计算其变化幅度。采用矩法估计离散型概率分布参数, 线性矩法估计连续型概率分布, 95% 置信水平 K-S 法计算各站点的最优概率分布函数, 如果某站点求出的最优概率分布函数不能满足 95% 置信水平, 则在该项指标空间分析中忽略该站点, 根据最优概率分布函数计算各降水指标的 10 年一遇值。

图 2 是 1980 年后各降水指标 10 年一遇值相对 1980 年前的变化幅度空间分布图。图 2a 是 10 年一遇 NW 变化幅度空间变化图, 新疆东北部地区 10 年一遇降水日数减少, 但减少幅度不大, 基本在 10% 以内, 北疆其他地方降水日数增加, 但增加幅度比南疆小。整体来说, 新疆大部分地区 10 年一遇 NW 都增加。图 2b 是 10 年一遇 CDD 变化幅度的空间变化, 南疆南部有所增加, 南疆中部至北疆西部均减小, 新疆最东部也有所减少, 北疆其他地区增加幅度在 20% 以下, 整体来说, 新疆中部 CDD 减少, 东北部及西南部增加。

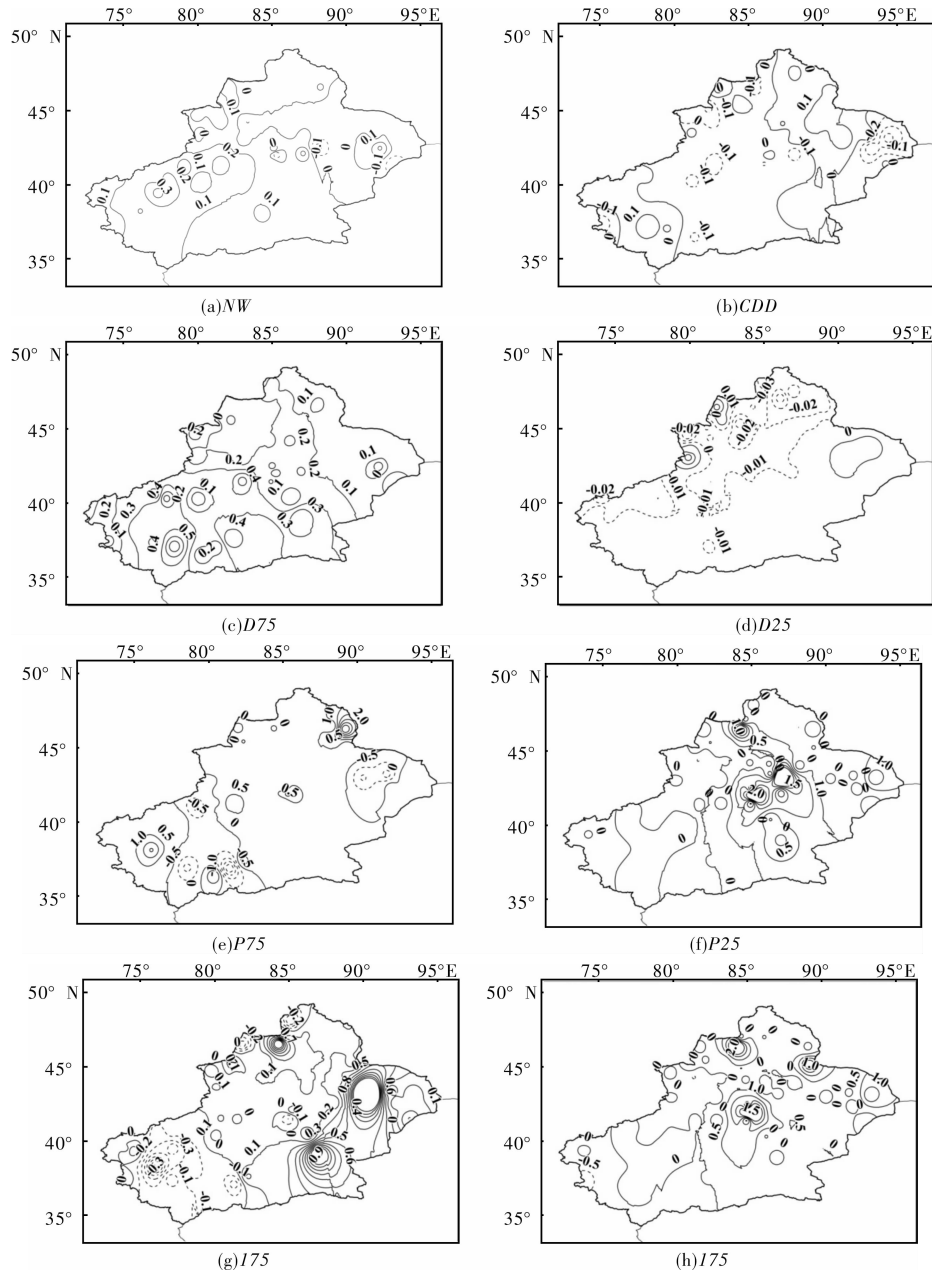


图2 降水指标10年一遇值变化情况(实线表示增加,虚线表示减少)

整个地区10年一遇 $D75$ 增加,如图2c所示,从北往南增加幅度逐渐增大,北疆增加幅度小于南疆。图2d是10年一遇 $D25$ 变化情况,与图2c相比,该值变化幅度较小,大部分地区 $D25$ 减少幅度在2%以内,北疆北部减少幅度相对较大,达到2%以上,北疆减少幅度大于南疆。

图2e是 $P75$ 指标10年一遇变化情况,变化幅度相对其他指标较大,南疆中南部及新疆东部地区减少,其他地区均有所增加。 $P25$ 指标10年一遇值变化情况如图2f所示,北疆增加幅度比南疆大,天山东部东坡增加幅度比天山中西部的西坡大,天山西部甚至减小。

图2g是 $I75$ 指标10年一遇变化情况,南疆西

南地区减少,其他地区增加,北疆地区增加幅度比南疆大,在新疆东部地区增加幅度最大。 $I25$ 指标10年一遇变化情况如图2h所示,其变化情况与图2f非常相似,北疆增加幅度比南疆大,天山东部东坡增加幅度比天山中西部的西坡大,天山西部甚至减小,南疆最南部也有所减小。

3.2 1980年前后两降水指标重现期变化

降水指标10年一遇值发生变化,由降水指标构成的二维联合分布重现期也会发生变化。

采用95%置信度水平 $K-S$ 法确定1980年前后各站点的最优概率分布函数作为边缘分布 $F(x)$ 和 $F(y)$,运用Copula函数的非参数估计方法构建Copula,用AIC准则法选择最适合Copula类型 C

(u, v) 。由 $u = F(x)$ 和 $v = F(y)$ 可算出两降水指标的联合分布 $F(x, y) = C(F(x), G(y))$, 即可求得相应的重现期。

本文探讨 1980 年前后各降水指标特定值为 10 年一遇值时, 两降水指标重现期变化情况, 从不同角度研究极端强弱降水概率特征的变化情况。两降水指标重现期变化幅度指: $(1980 \text{ 年后重现期} - 1980 \text{ 年前重现期}) / 1980 \text{ 年前重现期}$ 。该值大于 0, 说明重现期增加; 该值小于 0, 说明重现期减少。

图 3a 是 $T_{|NW, CDD; X > x, Y > y|}$ 变化示意图, 新疆地区 $T_{|NW, CDD; X > x, Y > y|}$ 总体呈现增加, 北疆及新疆东部增加幅度在 10 倍以下, 部分站点减少, 南疆地区

增加幅度甚至达到 40 倍以上。图 3b 是 $T_{|D75, D25; X > x, Y > y|}$ 变化幅度示意图, 与 $T_{|NW, CDD; X > x, Y > y|}$ 一样, 重现期总体上增加, 相对其他地区, 南疆中部及南部增加幅度不大, 甚至某些站点呈现下降。 $T_{|NW, CDD; X > x, Y > y|}$ 及 $T_{|D75, D25; X > x, Y > y|}$ 的变化情况说明从降水天数及极端降水天数角度来看, 在 1980 年以后同一年内发生极端强降水和极端弱降水的频率降低。尽管 $T_{|NW, CDD; X > x, Y > y|}$ 变化幅度值非常大, 但对这两种极端降水时空变化的分析还是具有一定的意义。图 3c 所示为 $T_{|P75, P25; X > x, Y > y|}$ 变化情况, 该重现期普遍呈减少, 新疆西南部及北部减少幅度最大, 说明新疆地区发生这种降雨量大且降水强度大的极端强降水频率在 1980 年以后增加。

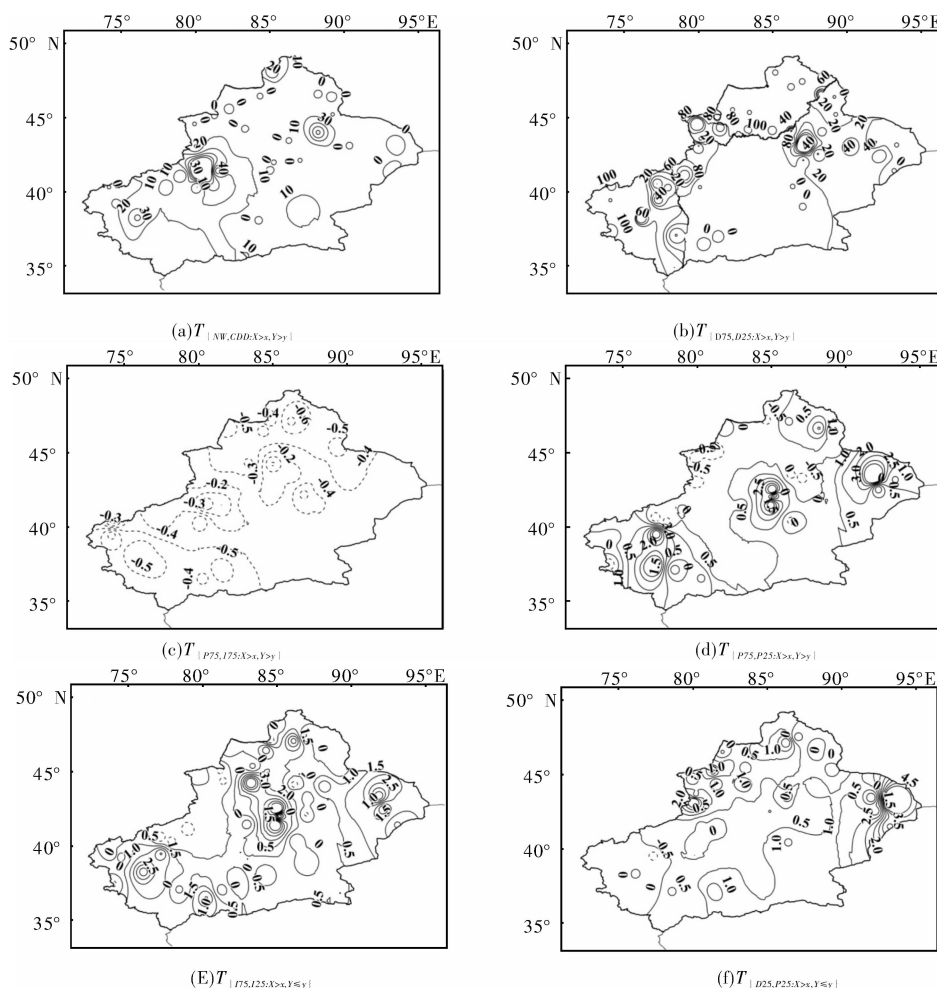


图 3 降水指标联合分布重现期变化情况(实线表示增加, 虚线表示减少)

图 3d 是 $T_{|P75, P25; X > x, Y \leq y|}$ 变化示意图, 新疆中部、南疆西部、北疆东部及北部重现期增加, 天山西部与南疆北部重现期减少。这说明在 1980 年以后这种同一年内极端强降水量大且极端弱降水量小的极端降水情况在新疆中部、南疆西部、北疆东部及北部出现的可能性减少, 而其他地区可

能性增加。 $T_{|P75, P25; X > x, Y \leq y|}$ 变化情况如图 3e 所示, 总体上该值增加, 与 $T_{|P75, P25; X > x, Y \leq y|}$ 相似, 新疆中部、南疆西部、北疆东部及北部重现期增加程度最大, 而其他地区增幅相对较小, 天山西部甚至减少。这说明在 1980 年以后同一年内极端强降水强度大且极端弱降水强度小的降水情况出现的可

能性减少。新疆大部分地区 $T_{|D25, P25; X > x, Y \leq y|}$ 增加, 如图 3f 所示, 新疆东部增加幅度最大, 南疆西部重现期有所减少。该重现期变化情况说明 1980 年后新疆大部分地区, 特别是新疆东部发生这种极端弱降水天数长且降水量极小的极端弱降水情况发生的频率减少, 但南疆西部发生频率增加。

4 讨论与结论

本文从降水天数、最大连续无降水天数、极端降水的天数、总降水量及降水强度角度, 构造单降水指标概率分布及两降水指标联合分布来研究新疆降水分布及其时空变化特征。采用降水量大于 75% 分位数界定极端强降水, 小于 25% 分位数界定极端弱降水。根据以上的分析计算, 可以得到如下结论:

(1) 新疆地区有湿润的趋势, 北疆湿润的趋势比南疆强。1980 年后各降水指标 10 年一遇值变化, 极端强降水和极端弱降水的增加及二维联合分布的重现期的变化, 都表明新疆地区逐渐变得湿润, 这与主流观点是一致的。张强等^[7] 分析 1960–2005 年中国 590 个站点的日降水资料, 认为中国西北有轻微湿润的趋势。从北疆和南疆的对比中发现, 南疆的降水天数及极端强降水天数增加幅度大于北疆, 但南疆干旱地区极端强降水总量及强度均有所较小, 而北疆有所增加。单降水指标空间变化复杂, 很难看出南北疆降水的变化规律。采用两降水指标联合分布, 1980 年以后 $T_{|P75, P75; X > x, Y > y|}$ 减小, 南北疆减少情况相近, 说明南北疆发生降水量大且降水强度高的极端强降水概率增加; $T_{|D25, P25; X > x, Y \leq y|}$ 增加, 南疆增加幅度小于北疆, 说明南北疆发生极端弱降水天数长且极端弱降水量小的极端弱降水概率减少, 南疆减少程度不如北疆, 这可以在一定程度上说明新疆地区有逐渐湿润的趋势, 且北疆湿润的趋势比南疆强。

(2) 1980 年后极端强弱降水同年发生的概率从不同角度有不同的变化特征。从 $T_{|NW, CDD; X > x, Y > y|}$ 、 $T_{|D75, D25; X > x, Y > y|}$ 角度来看, 新疆极端强弱降水同时出现的概率减小。从 $T_{|P75, P25; X > x, Y \leq y|}$ 、 $T_{|P75, D25; X > x, Y \leq y|}$ 来看新疆中部、南疆西部、北疆东部及北部极端强弱降水同时出现的可能性减小, 而天山西部与南疆北部的可能性增加。

(3) 从 $T_{|P75, P75; X > x, Y > y|}$ 时空变化情况可以看出,

整个新疆地区, 特别是新疆西南部及北部发生涝的概率增大。从 $T_{|D25, P25; X > x, Y \leq y|}$ 时空变化情况可以看出, 新疆大部分地区发生旱的概率减少, 但南疆西部发生旱的概率增大。

参考文献:

- [1] Zhang Qiang, Xu Chong-Yu, Chen Yongqin David, et al. Spatial assessment of hydrologic alteration across the Pearl River Delta, China, and possible underlying causes [J]. *Hydrological Processes*, 2009, 23: 1565–1574.
- [2] Xu Chongyu, Widden E, Halldin S. Modeling hydrological consequences of climate change-progress and challenge [J]. *Advances in atmospheric sciences*, 2005, 22(6): 789–797.
- [3] Yue S. Joint probability distribution of annual maximum storm peaks and amounts as represented by daily rainfalls [J]. *Hydro-science Journal*, 2000, 45(2): 315–326.
- [4] Zhang L, Singh V P. Bivariate rainfall frequency distributions using Archimedean copulas [J]. *Journal of Hydrology*, 2007, 332: 93–109.
- [5] 王沁, 黄雁勇, 汤家法, 等. 基于 Copula 模型的降雨量与土壤饱和度的模拟研究[J]. *灾害学*, 2010, 25(3): 20–23.
- [6] Buhe A, Tsuchiya K, Kaneko M, et al. Land cover of oases and forest in Xinjiang, China retrieved from ASTER data [J]. *Advances in Space Research*, 2007, 39(1): 39–45.
- [7] Zhang Qiang, Xu Chongyu, Chen Xiaohong, et al. Statistical behaviours of precipitation regimes in China and their links with atmospheric circulation 1960–2005 [J]. *International Journal of Climatology*, 2010, DOI: 10. 1002/joc. 2193.
- [8] Li X M, Jiang F Q, Li L H, et al. Spatial and temporal variability of precipitation concentration index, concentration degree and concentration period in Xinjiang, China [J]. *International Journal of Climatology*, 2010, DOI: 10. 1002/joc. 2181.
- [9] 薛燕, 韩萍, 冯国华. 半个世纪以来新疆降水和气温的变化趋势[J]. *干旱区研究*, 2003, 20(2): 127–130.
- [10] Richard J. A review of twentieth century drought indices used in the united states [J]. *American Meteorological Society*, 2002: 1149–1165.
- [11] Fatichi S, Caporali E. A comprehensive analysis of changes in precipitation regime in Tuscany [J]. *International Journal of Climatology*, 2009, 29: 1883–1893.
- [12] Frich P, Alexander L V, Della-Marta P, et al. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century [J]. *Climate Research*, 2002, 19: 193–212.
- [13] Stern R D. The calculation of probability distributions for models of daily precipitation [J]. *Arch Met Geoph Biokl*, 1980, 28: 137–147.
- [14] Spiegel M R, Schiller J, Srinivasan R A, et al. Outlines of theory and problems of probability and statistics, 2th [M]. USA: McGraw-Hill Companies, 2000: 2–7.
- [15] Wilks D S. Interannual variability and extreme-value characteristics of several stochastic daily precipitation models [J]. *Agricultural*

- tural and Forest Meteorology, 1999, 93: 153–169.
- [16] Hosking JRM. L-Moments: Analysis and Estimation of distributions using linear combinations of order statistics [J]. Journal of the Royal Statistical Society, 1990, 52(1): 105–124.
- [17] Frank J, Masse J. The kolmogorov-smirnov test for goodness of fit [J]. Journal of the American Statistical Association, 1951, 46(253): 68–78.
- [18] Nelsen Roger B. An introduction to copulas [M]. Portland: Springer Science, 2006: 7–269.
- [19] Akaike H. A new look at the statistical model identification [J]. IEEE Transactions on automatic control, 1974, 19(6): 716–723.
- [20] Genest C, Rivest L P. Statistical inference procedures for bivariate archimedean copulas [J]. American Statistical Association, 1993, 88(423): 1034–1043.
- [21] Salvadori G, Michele C. Frequency analysis via Copulas: Theoretical aspects and applications to hydrological events [J]. Water resource research, 2004, 40(12): 1–17.
- [22] 唐道来, 徐利岗. 气候变化背景下新疆地区降水时空变化特征分析[J]. 水资源与水工程学报, 2010, 21(3): 73–79.
- [23] 徐贵青, 魏文寿. 新疆气候变化及其对生态环境的影响[J]. 干旱区地理, 2004, 27(1): 14–18.

Spatial-temporal Evolution Pattern of Probability Distribution Characteristics of Extreme Precipitation in Xinjiang Autonomous Region

Li Jianfeng^{1, 2}, Zhang Qiang^{1, 2}, Chen Xiaohong^{1, 2} and Bai Yungang³

(1. Department of Water Resources and Environment, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China; 2. Guangdong University Key Laboratory of Water Cycle and Security in South China, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China; 3. Xinjiang Research Institute of Water Resources and Hydropower, Urumqi 830049, China)

Abstract: Eight research required extreme precipitation indexes are defined according to daily precipitation data of 53 rain stations in Xinjiang during 1957 ~ 2009. Extreme precipitation values of a 10-year return period are confirmed by the fittest probability distribution function determined by Kolmogorov-Smirnov method, based on which, joint distribution functions of the two precipitation indexes are determined using Copula non-parameter estimation algorithm and by Akaike information criterion (AIC) method. Single extreme variable of extreme precipitation and spatial-temporal evolution characteristics of dimensional joint probability distribution characteristics changes of extreme precipitation values after 1980 are systematically analyzed. The results show that: (1) Wet tendency is identified in Xinjiang, especially in North Xinjiang. (2) In terms of days of precipitation and of extreme precipitation, the probability of extreme heavy and extreme slight precipitation occur in the same year decreased; in terms of the total extreme precipitation and the extreme precipitation intensity, the probability decreased in the middle of Xinjiang, the west of South Xinjiang and the east and north of North Xinjiang, and increased in west TianShan Mountain and the north of South Xinjiang. (3) After 1980, the frequency of flood increased and that of drought decreased.

Key words: extreme precipitation; joint distribution function; Copula method; arid or semi-arid area; Xinjiang autonomous region