

广东省近 50 年极端降水事件的时空特征及成因分析

蒋 鹏^{1,2},王大刚^{1,2},陈晓宏^{1,2}

(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)

摘要:利用广东省境内 25 个测站 1961~2010 年逐日降水资料,综合运用 Mann-Kendall 检验、正交分解函数和 Morlet 小波分析等方法,剖析了广东省极端降水的空间结构分布与时间变化特征,并从水汽辐合的角度解释了极端降水的时空特征。结果表明:全省极端降水事件的总量、频次、强度空间分布差异较大,从北到南,极端降水总量和强度增加,频次减少;全省大部分区域极端降水总量和频次都有增加的趋势;广东省极端降水受大尺度天气系统的影响,存在全区一致的多雨或少雨,但也存在东西、四周、中心以及南北的差异;极端降水空间异常可分为 4 个气候区(异常型),即粤东北区,粤西区,粤中部区以及粤东沿海区,各降水异常区存在 20a 左右的长周期、10a 左右较长周期的和 3~4a 的短周期振荡;广东省极端降水与极端水汽辐合对应关系较好,区域内水汽辐合的改变可能是影响广东省极端降水变化的重要气候因子。

关键词:广东省;极端降水;时空特征;演变趋势;水汽辐合

中图分类号:P468.0+24

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2015)02-0077-08

1 引言

在全球变暖的背景下极端降水频发,已成为众多研究者的共识。Alexander 等对近 50 年全球极端降水的研究表明,极端降水事件在世界各地有着广泛而显著的增加^[1]。这种增加的趋势在最近很多的区域极端降水研究中也得到了证实^[2-4]。极端降水的增加不仅对生态系统产生了深远的影响^[5],也给人类社会带来了巨大的经济损失^[6-7]。Zhai 等^[8]和 Wang 等^[9]用同样的数据和类似的方法对中国的极端降水进行了研究,得出比较一致的结论。他们的研究发现,极端降水在中国的大部分地区有增加的趋势,但北方和东北地区却出现了下降的趋势。极端降水增减趋势在地区上的差异不仅体现在整个中国范围,也体现在空间尺度更小的区域中。姜德娟等^[10]的研究表明,山东省的极端降水总量、频率、强度在不同地区表现不同,李斌等^[11]也发现澜沧江流域不同量级降水的变化趋势也存在明显的区

域差别。

如前所述,极端降水特征的区域性非常强。因此,从区域角度研究极端降水是对大区域研究的重要补充,可以发现极端降水在更小空间尺度的差异。本文所选的研究区域是广东省,其地形特点与气候特征空间差异很大,近年来频频发生的极端气候事件造成了巨大的生命和财产损失。黄强等^[12]研究了广东省极端气温的时空变化特征,而针对广东省的极端降水研究还未系统地展开。因此,本文采用国际上流行的指标定义极端降水,并运用多种气候统计手段,对广东省极端降水事件的时空变化特征进行较为全面和系统的研究,并且从水汽辐合(moisture convergence)角度解释极端降水变化的成因,以为广东省极端降水预测,洪涝灾害影响评估等提供参考。

2 资料来源与处理

本文采用 1961~2010 年广东 25 个气象站点的日

收稿日期:2014-02-10

基金项目:国家重点基础研究 973 项目(2013CB036400);国家自然科学基金项目(51379224);中山大学重大培育计划项目(2013-37000-3165005);水沙科学与水利水电工程国家重点实验室开放基金项目(sklhse-2013-A-01)

作者简介:蒋鹏(1990-),男,四川广安人,硕士生,主要从事气候变化和极端事件研究。E-mail: jiang68peng@163.com

通讯作者:王大刚(1975-),男,河北张家口人,副教授,主要从事陆气交互作用和气候变化研究。E-mail: wangdag@mail.sysu.edu.cn

降水资料进行分析。日降水资料由国家气象信息中心资料室提供,经过了严格的质量检查。在这些站点当中,起测时间从1951年到1957年不等。本文为研究方便,均把起始时间统一到1961年。在这些资料当中,只有3个站存在缺测序列,缺测率均小于1%。其中一个站缺测发生在冬季,用零值代替;其余两个站的缺测数据在时间上比较零散,其缺测值参照该站同时期的多年平均值进行插补。

本文从大尺度的水汽辐合角度解释极端降水时空特征时,风场与湿度资料采用与降水资料同一时期(即1961~2010年)的NCEP/NCAR再分析数据^[13]。

3 主要方法

本文基于75%分位数定义了3个极端降水指标,这些指标在极端降水的研究中得到了广泛的应用^[14-15],并且得到了世界气象组织、气候学委员会和气候变化与预测研究计划推荐^[16]。本文定义极端降水指标的方法如下:将各站1961~2010年有降水序列(日降水量 $\geq 1\text{mm}$)从小到大排列,R75pTOT为每年日降水量大于该序列75%分位数的总降水量(本文中我们称之为极端降水总量),RD75为每年日降水量大于该序列75%分位数的总日数,极端降水强度RI75定义为R75pTOT与RD75的比值。

整层水汽辐合(moisture convergence,简称MC)的计算基于再分析资料中的风速和比湿,其推导详见Banacos等^[17]和Hudson^[18],计算公式为:

$$MC(x, y, t) = \sum_{ps}^{pt} \left\{ \frac{\partial [q(x, y, p, t)u(x, y, p, t)]}{\partial x} + \frac{\partial [q(x, y, p, t)v(x, y, p, t)]}{\partial y} \right\}$$

式中: x, y 分别为径向和纬向坐标; t 为时间; ps 为地表气压; pt 为大气顶层的气压; q 为比湿; u, v 分别为径向和纬向的风速。

极端水汽辐合的定义与极端降水类似,将区域内1961~2010年逐日平均水汽辐合序列从小到大排列,取90%分位数为极端水汽辐合阈值(这样使得极端水汽辐合与极端降水事件在频次上大致相等),基于该阈值定义极端水汽辐合指标:M90pTOT为每年日水汽辐合量大于该序列90%分位数的水汽辐合总量,MD90为每年日水汽辐合量大于该序列90%分位数的总日数,极端水汽辐合强度MI90定义为M90pTOT与MD90的比值。极端降水各指标趋势判别基于Mann-

Kendall(MK)方法。极端降水和极端水汽辐合各指标的变化率分析采用线性趋势分析方法。表1为本文涉及指标的详细定义及单位。

表1 极端降水指标和极端水汽辐合指标
Table 1 The definition of extreme precipitation index and extreme moisture convergence index

指标	指标定义	单位
R75pTOT	降水量大于降水序列75%分位数的总降水量	mm
RD75	降水量大于降水序列75%分位数的总日数	d
RI75	降水量大于降水序列75%分位数的日平均降水量	mm/d
M90pTOT	水汽辐合量大于水汽辐合序列90%分位数的总水汽辐合量	g/kg
MD90	水汽辐合量大于水汽辐合序列90%分位数的总日数	d
MI90	水汽辐合量大于水汽辐合序列90%分位数的日平均水汽辐合量	g/kg/d

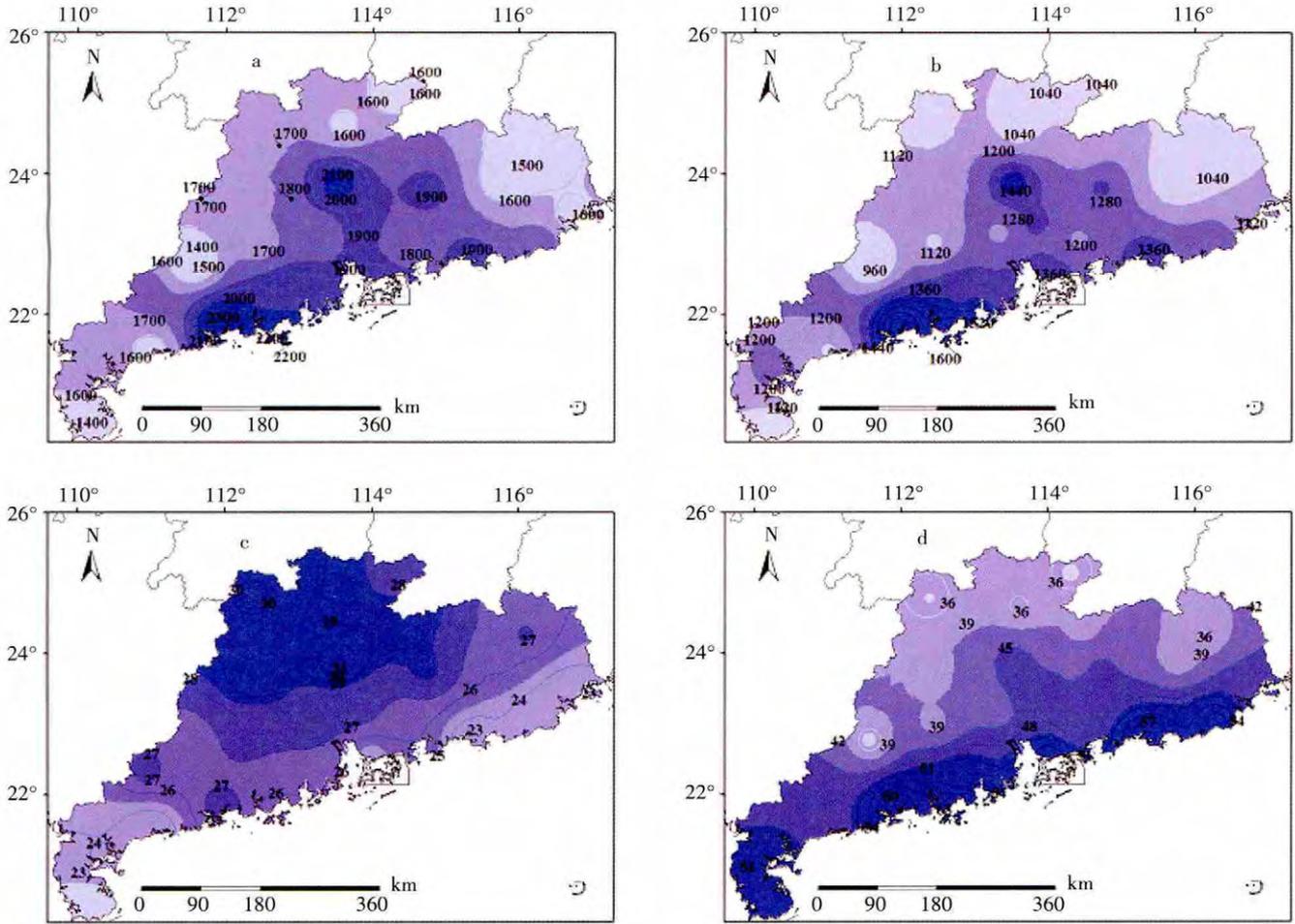
经验正交分解(EOF)分析能用少数几个空间分布模态来描述原变量场,并且能涵盖原变量场的结构和特征。但是EOF分离出的空间结构不能清晰地表现不同地理区域的特征,旋转经验正交分解(REOF)能克服这个缺点。REOF分析是在EOF分析的基础上,对荷载模态再做极大方差旋转,使旋转空间向量场上每一空间点只与一个或少数几个旋转时间系数有高相关,从而使高荷载值集中在少数几个变量上,其余变量的荷载值相当小,甚至接近零,这样更能突出要素异常分布的区域特征^[19]。

本文在讨论各区极端降水的周期分析时用各区代表站作分析,在分析各异常区降水周期时,我们采用了Morlet连续小波分析方法。

4 结果分析

4.1 极端降水的总体特征

图1给出基于50年资料的广东省降水量及本文定义的极端降水指标空间分布。广东省年降水量大体为北少南多,极端降水与降水总量的空间分布非常一致,跨度从900mm到1600mm以上,极端降水总量占降水总量的50%~70%以上。阳江,江门地区最丰达1600mm以上,广州与清远交界处的极端降水量也高达1450mm左右。广东省极端降水频次由北向南呈阶梯状递减趋势,跨度为23d/a~31d/a,频次较高。极端降水平均强度则从北到南呈阶梯状增加,跨度从36mm/



a 年降水/mm b R75pTOT/mm c RD75/d d RI75/mm·d⁻¹

图1 广东省 1961~2010 极端降水的空间分布图

a annual precipitation/mm b R75pTOT/mm c RD75/d d RI75/mm·d⁻¹

Fig.1 Spatial distribution of the extreme precipitation over Guangdong province during 1961-2010

d 到 60mm/d 以上。沿海地区由于受夏季风以及热带气旋的影响最大,因此极端降水平均强度也最大。

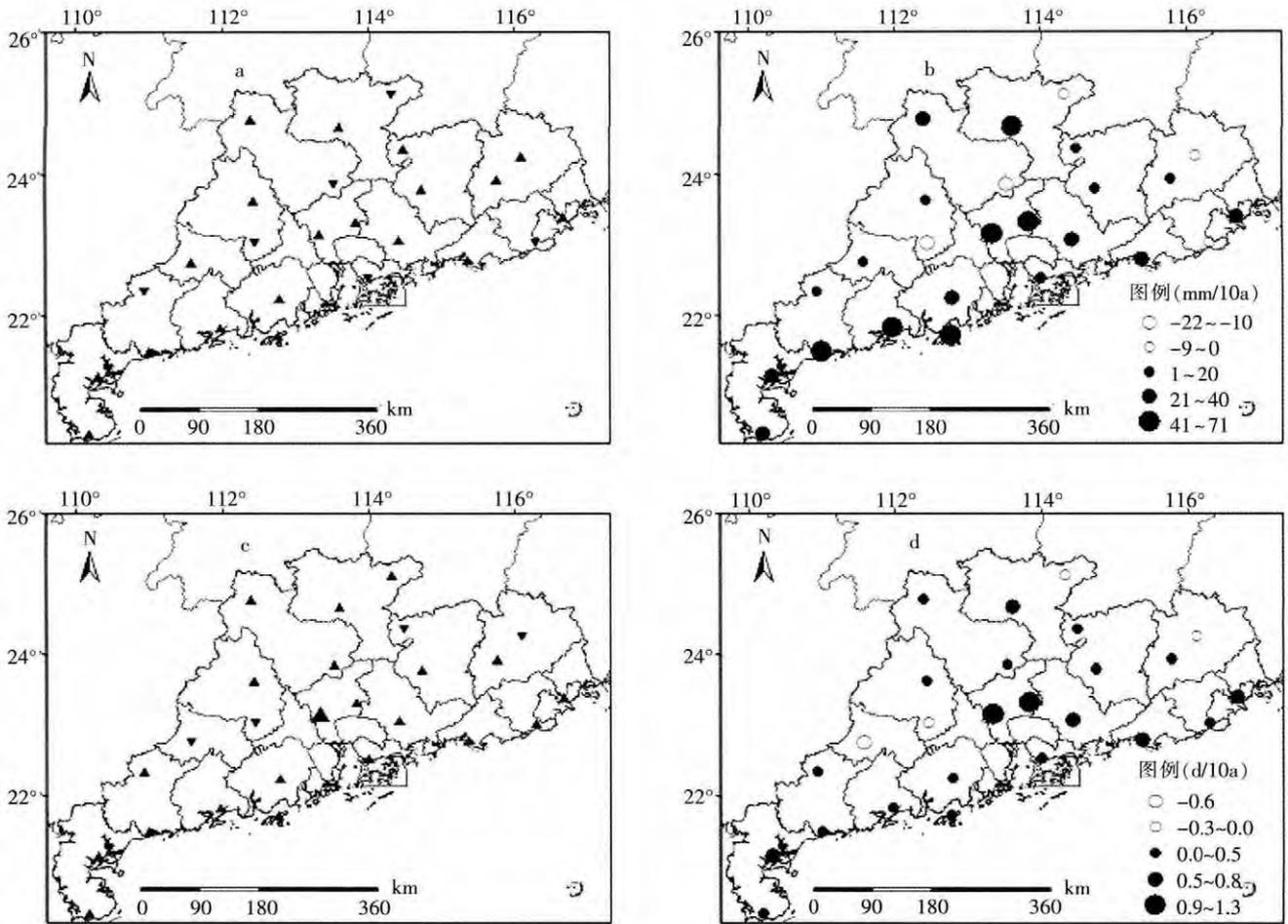
图 2 给出广东省 25 个雨量站极端降水指标的趋势与变化率。极端降水总量(R75pTOT)总体是上升的,其中粤西沿海区、广州市以及韶关市西部增加明显,达每 10 年 40~70mm 左右,但并不显著;在肇庆市南部,清远市南部,韶关市北部以及梅州市东部极端降水总量有下降趋势;增加或减少都没有显著趋势。广东极端降水事件频次(RD75)总体来讲也是上升趋势,珠三角地区极端降水事件增加明显,其中广州市南部地区增加显著,达每 10 年增加 1d 左右;有 4 个站点极端降水事件频次下降,分别在云浮市、肇庆市南部、韶关市北部以及梅州市;增加或减少基本都没有显著趋势。

4.2 基于 EOF 和 REOF 的极端降水空间特征

我们取 R75pTOT 指标对广东省 25 个测站极端降

水进行经验正交分解 (EOF) 和旋转经验正交分解 (REOF), 其模态和旋转荷载量能较好的反应降水场的空间异常分布特征。按照符合 North 特征值误差范围及旋转后高荷载区基本布满全区的原则, 选取前 EOF 前四个模态进行分析, 并进行极大方差旋转分析。表 2 给出旋转前后前 4 个主分量的方差贡献率及累积方差贡献百分比。由表 2 可知, 旋转前第一主分量的方差贡献占总方差的 41.1%, 远大于其它各个主要分量的方差贡献。前四个主分量累积方差贡献为 67.6%, 它们所对应的各个降水空间振荡型基本代表了广东省极端降水最主要的空间振荡型。此外, 经旋转之后, 各分量的方差贡献更加均匀分散, 这样有助于突出区域性的特征。

图 3 给出旋转前的前四个模态, 以便揭示降水的整体空间异常结构。第一模态(见图 3a)表明, 广东省



注:向上三角形表示上升趋势,向下三角形表示下降趋势;大三角表示趋势具有显著性。

图2 (a)R75pTOT、(b)RD75的M-K趋势检验结果;(c)R75pTOT/mm·10a⁻¹、(d)RD75线性变化率/d·10a⁻¹

Fig.2 M-K test trend of (a)R75pTOT and (b)RD75 ; Changing rate of (c)R75pTOT/mm·10a⁻¹ and (d)RD75/d·10a⁻¹

表2 旋转前后R75pTOT前4主分量的方差贡献 %

Table 2 The variance contribution of the first four principal components before and after rotation for R75pTOT

主分量		1	2	3	4
旋转前	方差贡献	41.1	14.8	6.5	5.1
	累积方差贡献	41.1	55.9	62.4	67.6
旋转后	方差贡献	22.5	16.4	15.9	12.7
	累积方差贡献	22.5	38.9	54.8	67.6

全区呈同一符号的正值分布,特征值大值区域在河源市和清远市北部(+0.24),说明在这些区域极端降水事件最容易出现异常。这种全区一致的特征值占总体方差的41.1%。表明广东省极端降水受大尺度的气候异常影响,表现为全区一致的多雨或少雨。从降水的气候特征来看,由于广东省是典型的东亚季风区,夏季风暴

发的早晚及强弱直接影响广东省极端降水的多寡,所以广东省的极端降水变化比较一致。第二模态(见图3b)所对应的空间振荡型为东西相反的空间型(方差贡献14.8%)。东西部各有一个高值中心,东部高值中心位于梅州市(-0.24),西部高值中心位于粤西沿海地区(+0.32)。这反映出广东省极端降水受夏季风影响,当夏季风风向偏西并较强时,广东省西部极端降水会偏多,当夏季风风向偏北并较强时,广东省东部极端降水偏多。广东省极端降水量中部珠三角地区与雷州半岛及粤北、粤东地区相反变化趋势是广东省极端降水的第三空间异常类型(见图3c),这种周边与中心反向特征占总体方差的6.5%。北部山区,东部地区,和雷州半岛区为正值区,高值中心位于雷州半岛(+0.25),负值区高值中心位于广州市及肇庆市南部(-0.3)。第四模态(见图3d,方差贡献5.1%)揭示了广东省极端降水量场的南北相反的变化趋势,这反映出夏季风对

广东南北地区的不同影响程度。

图3所揭示了极端降水总体空间异常结构,既有一致的方面,也存在着东西和周边与中心以及南北的差异。为了进一步说明广东省极端降水各区域的气候特点,本文在经验正交分解的基础上,选取通过North显著性检验的前四个主分量(累积方差达67.6%)进行极大方差旋转,得到广东省极端降水量的4个主要变化敏感区。

图4为广东省极端降水第一旋转主分量的空间图。第1极端降水敏感区(见图4a)位于粤东北地区,高值中心在梅州市(+0.28),主要受北面气候系统的影响;当受北方冷空气南下而影响产生强降水时,极端降水较多。第2敏感区(见图4b)位于粤西地区,高值中心在雷州半岛(+0.24),处于西太平洋副热带高压南部,受热带辐合带的影响,极端降水变率较大。第3极端降水敏感区(见图4c)大致位于珠江三角洲,高值中心位于广州和肇庆市南部(-0.3),地形较为平坦,靠

近海洋,极端降水受热带季风的强弱影响。第4敏感区(见图4d)位于粤东沿海区,该区域夏季受热带气旋影响频繁,在热带气旋活跃年份的极端降水频次较多,而在受副热带高压控制、热带气旋影响少的年份极端通过 EOF 分析,突出广东4个典型的极端降水变化敏感区,基本涵盖全省区,能反映出广东省极端降水的总体变化特征,在4个降水变化敏感区域中,有3个位于沿海地区,1个位于非沿海地区,其中地形和海洋是影响广东省极端降水各区域的最主要因素。

4.3 基于小波分析的极端降水周期特征

由于 EOF 各模态高值中心站点能较好代表各区域气候特征,本文从4个敏感区中挑出 EOF 荷载最高值的站点作为该气候区的代表站,利用各区代表站的极端降水量时间序列研究该区域的周期变化特征。

对各区主要周期变化的分析采用了连续小波变换。图5a表明,粤东北区除存在着20a长周期之外,还

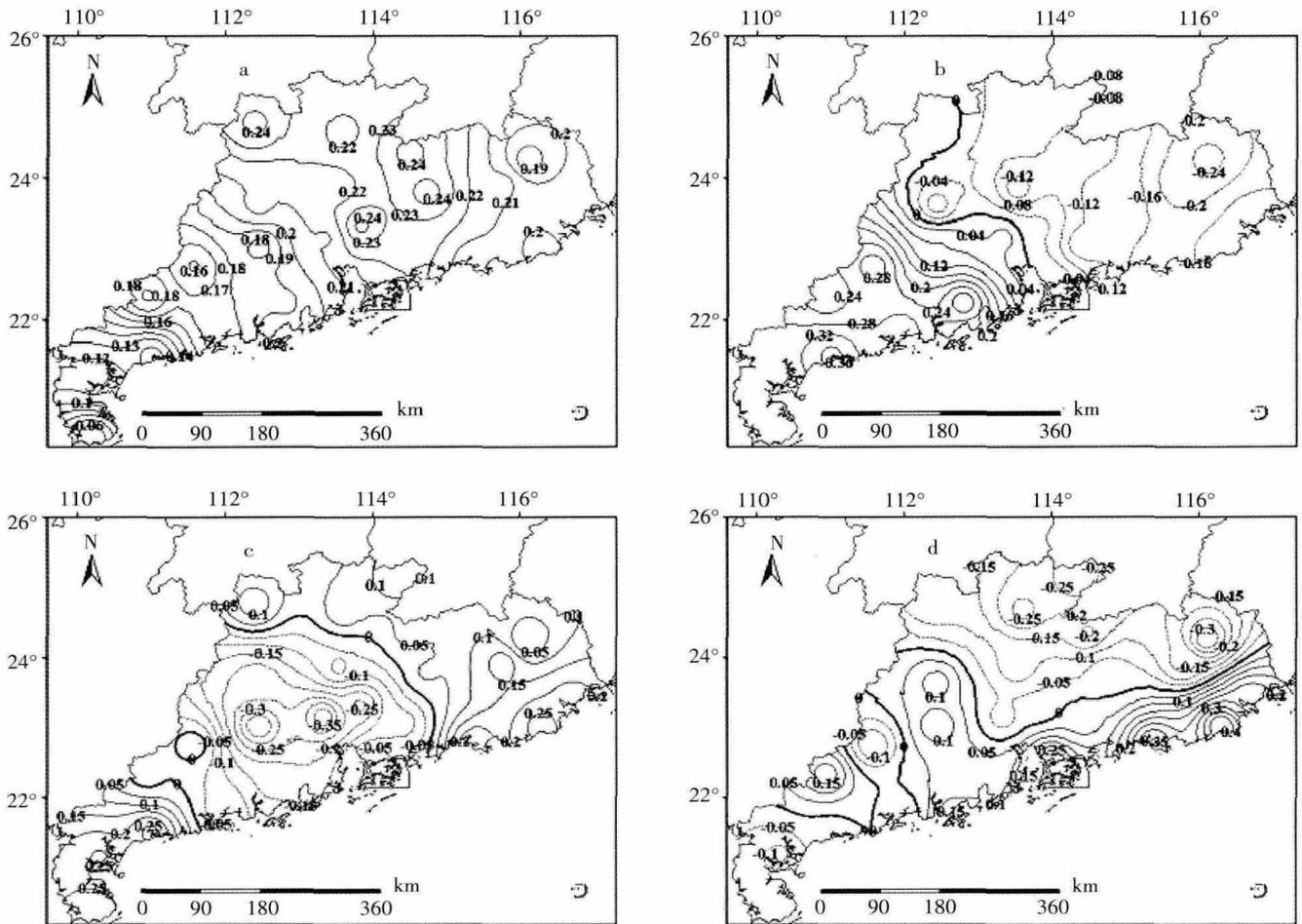


图3 极端降水总量(R75pTOT)的 EOF 前四模态(通过 North 显著性检验)

Fig.3 The first 4 modes of the EOF analysis for R75pTOT (pass North significance test)

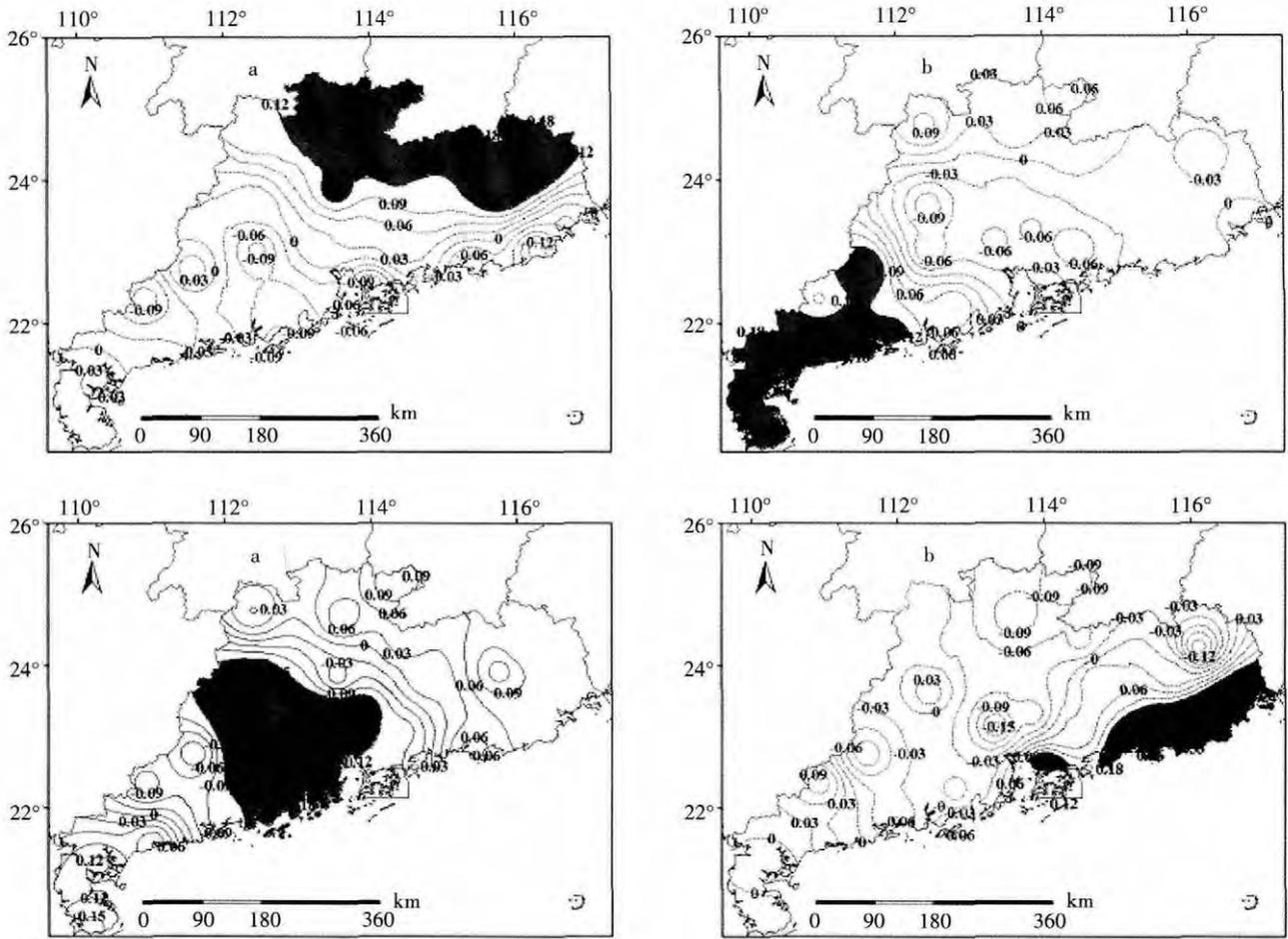


图4 极端降水(R75pTOT)REOF前四模态(通过 North 显著性检验),阴影部分为高值区(荷载 ≥ 0.12)

Fig.4 The first 4 modes of REOF analysis of R75pTOT (pass North significance test). Shaded areas represent the high values (≥ 0.12 is taken as the high values)

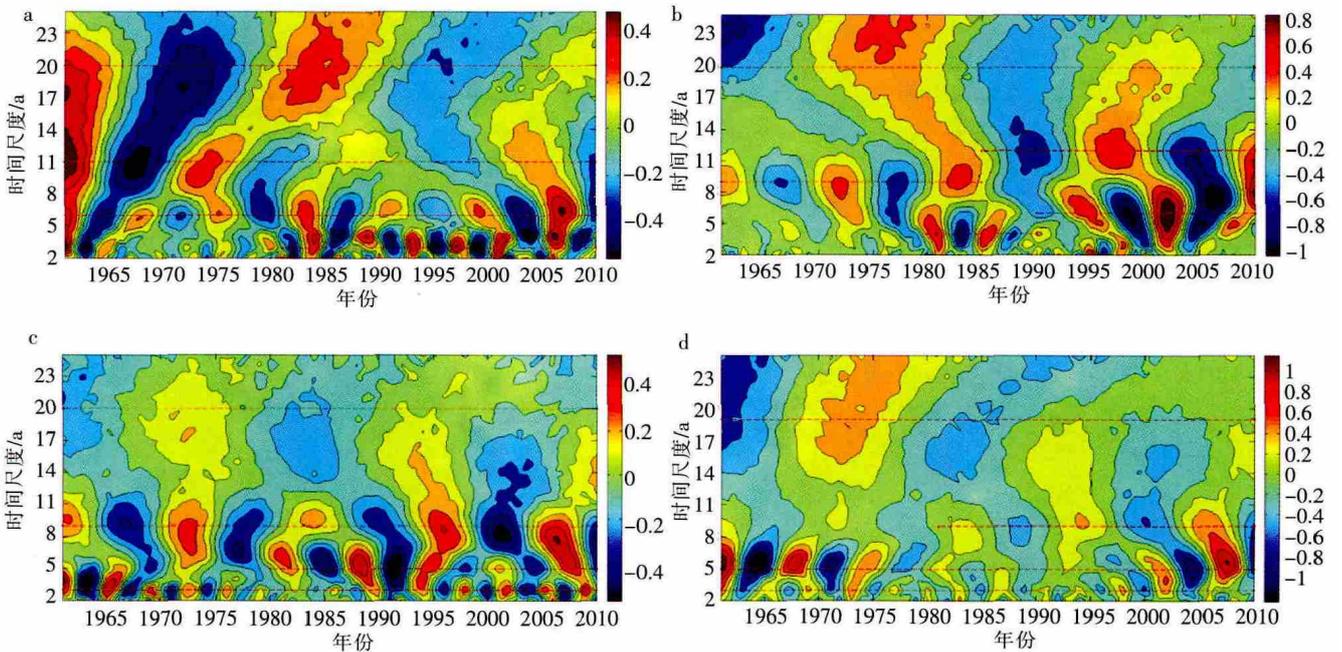


图5 a 粤东北区 b 粤西区 c 粤中部区 d 粤东沿海区代表站 R75pTOT 的 Morlet 小波变换实部

Fig.5 The wavelet index of R75pTOT over the four regions: (a)Northeastern area, (b)Western area, (c)Central area, and (d)Eastern coastal area.

存在着 11a 的较长周期以及 6a 左右的较短周期,在 20 世纪 80 年代之后,三年左右的短周期也十分明显。粤西区存在着 9~11a 左右的较长周期,在 60~80 年代,9a 左右的周期相当明显,80 年代之后 11a 左右的周期十分明显,80 年代 4a 左右的周期比较明显,90 年代以来 6a 左右的周期十分明显(见图 5b)。粤中部区 9a 左右的较长周期和 3a 左右的短周期十分明显,在 80 年代之后 5a 左右的较短周期也较为明显(见图 5c)。19a 左右的周期在粤东沿海区较为明显,3a 左右以及 5a 左右的短周期也较为明显,80 年代以来 9a 左右的周期比较明显(见图 5d)。

总之,4 个极端降水敏感区在年代际振荡周期方面,有着相当的一致性,都存在 20a 左右或 9~11a 左右的周期。在年际振荡,各区的周期有着较为明显的差异。此外,各区 3a 左右的短周期也较为明显,可以说广东省各区极端降水存在着准 3a 的短周期。

4.4 极端降水时空特征变化的成因分析

水汽辐合 (moisture convergence) 反映了区域内空气中水汽的变化,而水汽含量的多寡往往决定降水量的多少。因此,水汽辐合可能是影响极端降水的一个重要因素。图 6 给出了 1961~2010 年广东省区域内平均极端水汽辐合与极端降水时间与空间的对应关系。R75pTOT 与 M90pTOT 的对应关系较好:在 M90pTOT

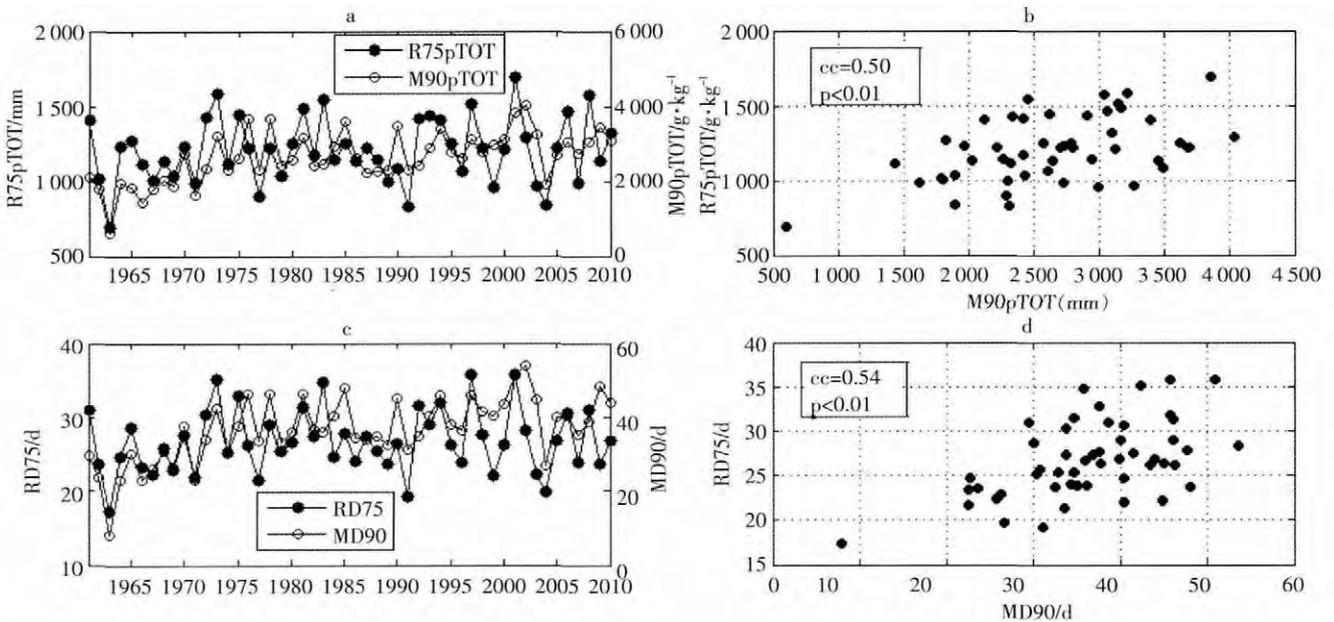
的值较高的年份里,R75pTOT 的值也往往较高,两者的峰值与谷值以及变化趋势大体一致(见图 6a);空间上,M90pTOT 与 R75pTOT 的相关性系数为 0.50,存在比较明显的正相关(见图 6b)。RD75 与 MD90 的时间对应关系(见图 6c)和相关性(见图 6d)也较好。

由以上分析可以得出极端降水与极端水汽辐合存在着比较紧密的联系,这与 K. D. Holman^[20]在美国威斯康星州的研究结论以及赵宇等^[21]在华北的研究结论是一致的。极端水汽辐合可以作为极端降水的预报因子之一。但是由于测量站密度较少,以及极端水汽辐合空间分辨率较粗和极端降水事件本身空间变异较大,极端降水和极端水汽辐合的相关性系数并不十分高。极端降水与极端水汽之间的关系的研究的深入将依赖于更加丰富有效的气象资料以及更加完善的研究方法。

5 结论

本文基于广东省境内 25 个测站 1961~2010 年逐日降水资料,运用趋势分析、经验正交分解、小波分析等多种方法,揭示了广东省极端降水的时空分布特征,并从水汽辐合的角度解释极端降水的时空特征。结论如下:

- (1) 广东省大部分区域,极端降水的总量和频次



a R75pTOT 与 M90pTOT 的时间对应关系 b R75pTOT 与 M90pTOT 的散点图 c RD75 与 MD90 的时间对应关系 d RD75 与 MD90 的散点图(cc 代表相关系数,p<0.01 表示在 99%显著性水平下相关)

图 6 1961~2010 年广东省极端水汽辐合与极端降水对应关系

Fig.6 Relationship between the extreme moisture convergence and extreme precipitation in Guangdong province from 1961 to 2010

都有增加趋势,总量增加最高增幅达 70mm/10a,频次增加最高达 1.3d/10a,但增加显著的区域较少。

(2)经验正交分解表明,广东省极端降水受大尺度气候异常的影响,存在全区一致多雨或少雨的现象。此外,受海洋、地形和天气系统等因素的影响,广东省极端降水存在着周围-中心差异和东西以及南北差异。

(3)根据旋转经验正交分解,广东省极端降水异常可分为 4 个不同的降水异常区,即粤东北区,粤西区,粤中部区以及粤东沿海区,基本覆盖了全省所有地区。

(4)小波分析表明,各异常区的降水都存在着 20a 左右的长周期,在相当部分的年份里,存在着准 3a 的短周期。9~11a 的周期在各区的不同时间段也有所体现。

(5)1961~2010 年,广东省极端水汽辐合 (moisture convergence) 与极端降水的时空变化较为一致,说明极端水汽辐合的改变可能是造成广东省极端降水事件增加的因子之一。

参考文献:

- [1] Alexander L V, Zhang X, Peterson T C, et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation[J]. *Journal of Geophysical Research* 111: D05109. DOI:10.1029/2005JD006290.
- [2] Simpson I R, Jones P D. Analysis of UK precipitation extremes derived from Met Office gridded data [J]. *International Journal of Climatology*, 2013. DOI:10.1002/joc.3850.
- [3] Sarr M A, Zoromé M, Seidou O, et al. Recent trends in selected extreme precipitation indices in Senegal—a changepoint approach[J]. *Journal of Hydrology*, 2013,505:326–334.
- [4] Choi W, Tareghian R, Choi J, et al. Geographically heterogeneous temporal trends of extreme precipitation in Wisconsin, USA during 1950 – 2006 [J]. *International Journal of Climatology*, 2013. DOI: 10.1002/joc.3878.
- [5] Knapp A K, Beier C, Briske D D, et al. Consequences of more extreme precipitation regimes for terrestrial ecosystems [J]. *Bioscience*, 2008,58(9):811–821.
- [6] Kenneth. Temporal fluctuations in weather and climate extremes that cause economic and human health impacts: a review [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1999,11:1078–1099.
- [7] Bouwer L M. Projections of future extreme weather losses under changes in climate and exposure [J]. *Risk Analysis*, 2013,33(5): 915–930.
- [8] Zhai P, Zhang X, Wan H, et al. Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China [J]. *Journal of Climate*, 2005,18(7):1096–1108.
- [9] Wang, Y., L. Zhou (2005), Observed trends in extreme precipitation events in China during 1961 – 2001 and the associated changes in large-scale circulation [J]. *Geophysical Research Letters*, 32, L09707, doi:10.1029/2005GL022574.
- [10] 姜德娟,李志,王昆. 1961~2008 年山东省极端降水事件的变化趋势分析[J]. *地理科学*, 2011,31(9):1118–1124. (JIANG Dejuan, LI Zhi, WANG Kun. Trends of extreme precipitation events over Shandong province from 1961 to 2008 [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2011,31(9):1118–1124. (in Chinese))
- [11] 李斌,李丽娟,李海滨,等. 1960~2005 年澜沧江流域极端降水变化特征[J]. *地理科学进展*, 2011,30(3):290–298. (LI Bin, LI Lijuan, LI Haibin, et al. Changes in precipitation extremes in Lancang River basin, 1960–2005 [J]. *Progress in Geography*, 2011,30(3): 290–298. (in Chinese))
- [12] 黄强,陈子燊,刘占明. 全球变暖背景下广东省近 60 年来极端气温时空变化特征分析[J]. *热带地理*, 2012,32(3):246–251. (WANG Qiang, CHEN Zishen, LIU Zhanming. Temporal and spatial variations of extreme temperature in Guangdong over the last 60 years in the background of global warming [J]. *Tropical Geography*, 2012,32(3):246–251. (in Chinese))
- [13] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project [J]. *Bulletin of the American meteorological Society*, 1996,77(3):437–471.
- [14] Klein Tank, KO NNEN. Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1946 – 99 [J]. *Journal of climate*, 2003,15(16):3665–3680.
- [15] Fatichi S, Caporali E. A comprehensive analysis of changes in precipitation regime in Tuscany [J]. *International Journal of Climatology*, 2009,29(13):1883–1893.
- [16] Trends in precipitation concentration and extremes in the Mediterranean Penedes –Anoia region, NE Spain [J]. *Climate Change*, 2006, 457–474.
- [17] P C. Banacos, D M. Schultz. The use of moisture flux convergence in forecasting convective initiation: historical and operational perspectives [J]. *Weather and Forecasting*, 2005,20:351–366.
- [18] Hudson H R. On the relationship between horizontal moisture convergence and convective cloud formation[J]. *Journal of Applied Meteorology*, 1971,10(4):755–762.
- [19] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术(第二版)[M]. 北京:气象出版社,2007:117–124. (WEI Fengying. *Modern Climatic Statistical Diagnosis and Prediction Technology (2nd Edition)* [M]. Beijing: China Meteorological Press, 1971,10(4):755–762. (in Chinese))
- [20] Kathleen D. Holman, Stephen J. Vavrus. Understanding Simulated Extreme Precipitation Events in Madison, Wisconsin, and the Role of Moisture convergence during the Late Twentieth and Twenty-First Centuries [J]. *Journal of Hydrometeorology*, 2012,13(3):877 – 894.
- [21] 赵宇,崔晓鹏,高守亭. 引发华北特大暴雨过程的中尺度对流系统结构特征研究[J]. *大气科学*, 2011,35(5):945–962. (ZHAO Yu, CUI Xiaopeng, GAO Shouting. A study of structure of mesoscale systems producing a heavy rainfall event in north China [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2011,35(5):945–962. (in Chinese))

(下转第 7 页)

- Geography,2008,31(4):588–593. (in Chinese))
- [19] 许士国,陈守煜. 水文分期描述的模糊统计方法[J]. 大连理工大学学报, 1990,30(5):585–598. (XU Shiguo, CHEN Shouyu. Fuzzy statistics method to describe hydrologic seasons [J]. Journal of Dalian University of Technology, 1990,30(5):585–598. (in Chinese))
- [20] 谢平,许斌,章树安,等. 变化环境下区域水资源变异问题研究[M]. 北京: 科学出版社, 2012:50–57. (XIE Ping, XU Bin, ZHANG Shuan, et al. Research on Regional Water Resources Variation under Changing Environment [M]. Beijing: Science Press, 2012:50–57. (in Chinese))

Inconsistent Annual Runoff Process Design Method Based on Typical Disaggregation Model

ZHANG Bo, XIE Ping, LI Binbin, LI Xinan

(State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: Owing to the effects of human activities and climate change, the natural hydrological series lost their consistency. In order to adapt to a changing environment demanding for irrigation and water supply engineering design, typical disaggregation method for inconsistent annual runoff process design was proposed. Firstly, the hydrological variation diagnosis system (HVDS) was used to analyze the variation of the annual average flow series and their annual distribution features. Secondly, according to the variation point, annual average flow series was divided into several time periods. Thirdly, the frequency distributions of annual average flow series before and after the change-point were conducted based on the hydrological frequency calculation theory for inconsistent series (HFCT) and the difference of means and various frequency characteristic values were analyzed. Finally, typical disaggregation model was used to calculate the annual runoff process in each time period. This study was applied at the Heyuan Station of Dongjiang River, and the inconsistent annual runoff process was designed. The difference of designed annual runoff process before and after the change-point at the Heyuan Station was analyzed.

Key words: inconsistency; annual runoff process design; typical disaggregation model; Heyuan Station of Dongjiang River

—————
(上接第 84 页)

Spatial-temporal Characteristics of Extreme Precipitation and Its Causes in Guangdong Province in Recent 50 Years

JIANG Peng^{1,2}, WANG Dagang^{1,2}, CHEN Xiaohong^{1,2}

(1. Department of Water Resources and Environment, Sun Yat-sun University, Guangzhou 510275, China;

2. Guangdong University Key Laboratory of Water Cycle and Security in South China, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Based on the daily precipitation dataset at the 25 stations in Guangdong Province for the period of 1961–2010, we studied the temporal-spatial characteristics and the periodicity of the extreme precipitation events in Guangdong, and explored the causes behind the characteristics from the view of moisture convergence. The results indicate that the total amount, frequency and intensity of extreme precipitation greatly vary with region across Guangdong Province. The total amount and the intensity increase from north to south, while the frequency decreases. The total amount and the intensity of extreme precipitation show an increasing trend in most areas and the increasing rates are different among different regions. The extreme precipitation in Guangdong Province may be affected by the large-scale weather systems, which is verified by the fact that the extreme precipitation shows more or less over the whole province. However, there are differences in extreme precipitation between eastern and western regions, between the center and the surrounding regions, and between the northern and southern regions. The abnormal area for extreme precipitation can be divided into four subregions (abnormal type): Northeastern area, western area, central area and eastern coastal area. The extreme precipitation in each sub-region has similar periodic fluctuations of 20 years, 10 years and 3–4 years, but the differences still exist. The extreme moisture convergence agrees well with extreme precipitation spatially and temporally, thus, moisture convergence could be used as a predictor of extreme precipitation in Guangdong Province.

Key words: Guangdong Province; extreme precipitation; spatial and temporal characteristics; changing trend; moisture convergence