

温李明, 周连童, 黄荣辉, 等. 2014. 我国东西部地区地气温差的年代际变化特征 [J]. 气候与环境研究, 19 (5): 636–648, doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2013.13106. Wen Liming, Zhou Liantong, Huang Ronghui, et al. 2014. Characteristics of interdecadal variability in the difference between surface temperature and surface air temperature in Southeast and Northwest China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 19 (5): 636–648.

我国东西部地区地气温差的年代际变化特征

温李明^{1,2} 周连童² 黄荣辉² 范广洲¹

¹ 成都信息工程学院, 成都 610225

² 中国科学院大气物理研究所季风系统研究中心, 北京 100190

摘 要 利用 1960~2006 年我国地温、气温逐日 4 个时次[02:00 (北京时间, 下同)、08:00、14:00 和 20:00]的台站观测资料, 计算并分析了我国东南、西北地区各季地气温差的年代际变化特征。分析结果表明: 我国东南部地区各季地气温差在 20 世纪 70 年代末以前, 大部分年份偏高, 高于平均值, 而在 20 世纪 70 年代末以后, 我国东南部地区各季地气温差偏低, 在夏季和冬季表现尤为明显。我国西北地区春季和夏季地气温差在 20 世纪 70 年代末以前大部分年份偏低, 低于平均值; 而在 20 世纪 70 年代末以后, 地气温差则大部分年份明显偏高。我国西北地区秋季地气温差的年代际变化特征不明显, 而冬季地气温差的年代际变化趋势与春夏季相反, 在 20 世纪 70 年代末以前大部分年份偏高, 高于平均值, 而在 20 世纪 70 年代末以后偏低。另外, 发现地温和气温对我国东南、西北地区各季地气温差的年代际变化在各季所起的贡献作用不同。

关键词 东西部地区 地气温差 年代际变化

文章编号 1006-9585 (2014) 05-0636-13

中图分类号 P467

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2013.13106

Characteristics of Interdecadal Variability in the Difference Between Surface Temperature and Surface Air Temperature in Southeast and Northwest China

WEN Liming^{1,2}, ZHOU Liantong², HUANG Ronghui², and FAN Guangzhou¹

¹ Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225

² Center for Monsoon System Research, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190

Abstract The characteristics of the interdecadal variability in the differences between surface temperature (T_s) and surface air temperature (T_a) are analyzed, using daily-observed surface temperature and surface air temperature data from 1960 to 2006. Analysis results show that there is a clear interdecadal variability in $T_s - T_a$ in Southeast and Northwest China. Before the late 1970s, the $T_s - T_a$ anomalies were mostly positive in Southeast China, but they mostly became negative after this period. In contrast, in Northwest China, the $T_s - T_a$ anomalies were mostly negative in spring and summer before the late 1970s, but became largely positive after this time. The opposite trend can be seen in the variability of $T_s - T_a$ in Northwest China in the winter. However, in the autumn in Northwest China, the interdecadal variability of $T_s - T_a$ was not as clear as during the other seasons. The analyzed results of T_s and T_a over the study period show that their contributions to interdecadal variability of in $T_s - T_a$ differed between different seasons.

Keywords Southeast China and Northwest China, $T_s - T_a$, Interdecadal variability

收稿日期 2013-06-14 收到, 2013-09-06 收到修定稿

资助项目 国家自然科学基金项目 41175055、41230527

作者简介 温李明, 男, 1980 年出生, 硕士研究生, 主要从事陆气相互作用研究。E-mail: wen_lm@yahoo.cn

通讯作者 周连童, 男, 1974 年出生, 研究员, 主要从事陆气相互作用研究。E-mail: zlt@mail.iap.ac.cn

1 引言

我国地处从热带经亚热带到温带,东临太平洋,西有全球最高高原——青藏高原,地形、地貌极其复杂。因此,造成我国具有多种类型的典型下垫面,既有戈壁、沙漠的典型干旱区,黄土高原和草原的半干旱区,又有季风湿润区,还有全球最高的高原——青藏高原,这些全球具有代表性和典型性的下垫面的能量和水分循环特性的差异对于全球气候和水文的变化,特别是对气候灾害的发生有严重影响。已有的一些研究(张强等,2000;张强和胡隐樵,2002)表明,无论是气候变化还是大气环流异常都与陆面过程对大气边界层的作用密不可分。为此,20世纪80年代以来,国际上组织了一系列大规模的有关气候变化的综合实验和研究计划。其中,在世界气候研究计划(WCRP)之下制定了全球能量和水分循环试验计划(GEWEX),此计划的主要任务是观测、了解、模拟大气—陆地—海表的水分、热量交换和循环及其对气候的影响。这个试验的实施对提高全球热量、水分循环、降水和蒸发的认识具有重要作用。就我们国家而言,也开展了一系列重要的陆面过程和大气边界层综合观测试验的研究,诸如“西北干旱区陆—气相互作用观测试验研究(NWC-ALIEX)”(张强等,2005),“青藏高原大气科学试验(TIPEX)”(陶诗言等,1999)等,这些试验的研究对于理解我国气候和环境以及大气环流的变化都有重要意义。

在陆气相互作用的过程中,感热对于陆面和大气边界层热力交换起着极为重要的作用。沈学顺和本木昌秀(2007)明确指出研究春季欧亚大陆地表的热状况变化对于理解北半球夏季大气环流的变化和东亚季风的年代变异有着重要意义。叶笃正和高由禧(1978)早就指出了青藏高原对大气巨大的加热作用。一些研究指出青藏高原的感热异常对我国夏季降水有较好的指示意义(赵平和陈隆勋,2001;李栋梁等,2003;赵勇和钱永甫,2007)。同样,我国西北干旱区感热异常对我国气候也有着重要的影响。布和朝鲁等(2002)的研究指出,我国西北干旱、半干旱区是整个欧亚大陆上陆面感热最强的区域之一。周连童和黄荣辉(2008)和周连童(2010)的研究指出,我国西北干旱、半干旱地区是欧亚大陆中的“热垫”,是整个欧亚大陆陆面感

热最强的地方之一。此外,Zhou(2009)和Zhou et al.(2010)利用观测资料计算并分析了西北地区感热通量的年代际变化特征。周连童和黄荣辉(2008)通过对我国西北干旱、半干旱区的地面感热的年代际变化的研究,指出其变化与我国夏季降水的变化存在相关关系。此外,周长春等(2009)的分析指出我国西北地区感热对当地的温度和降水都有明显的影响。Zhou and Huang(2010)指出我国西北地区感热的年代际变化特征及其对大气环流以及我国气候变化的影响。并且,高荣等(2008)利用数值模式模拟了西北地区感热异常影响局地 and 周围的大气环流异常。因此,从这些研究中我们都可以看出,我国西北地区是一个显著的感热热源,并且对周围局地地区的气候变化产生影响。因此,研究我国陆面感热异常的年代际变化具有重要的应用价值和实际意义。

我国陆地面积广大,同时也具有多种不同类型的典型下垫面,西北地区太阳辐射强烈,植被覆盖稀疏,土壤干燥,地表感热加热强,而我国东南部地区则是全球强季风区,降水丰富,土壤湿润,植被茂密,地表感热加热相对较弱。众所周知,季风是由于海陆热力差异造成的。那么,我国东南、西北部地区由于明显不同的典型下垫面特征也必然会造成我国西北干旱、半干旱区和东南部季风湿润区存在明显的热力差异。目前,就我国东南、西北地区陆面的热力差异变化方面的研究还比较少。曲迎乐等(2008)分析并比较了我国东西部地区气温和降水的差异,他们指出我国东西部地区在气温和降水方面有着明显的差别。Zhou and Huang(2014)的研究也指出了我国东西部地区的感热和潜热通量存在明显的差异。Wei et al.(2002)和周连童和黄荣辉(2006)分析了我国西北地区地气温差的年代际变化特征。并且,范丽军等(2004)也指出地表感热的一个主要决定因素就是地气温差,Zhou(2009)也指出我国西北地区春季感热年代际变化主要受到地气温差的影响。由于之前的分析仅仅限于我国西北地区,并且资料的时间尺度受到限制,而且我国具有不同的典型下垫面,因此有必要对我国不同典型下垫面的地气温差进行分析。因此,本文主要将利用时间尺度更长的观测资料着重分析我国西北地区 and 东南部季风湿润区各个季节的地气温差的年代际变化特征及其对它们的差异进行研究分析。

由于使用的地表温度资料和地表附近的气温资料为台站观测资料,而这些资料中部分台站存在着缺测的问题,考虑到资料的有效时长和完整性,本研究选取我国 218 个测站 1960~2006 年的地表温度(0 m)和地表附近气温(2 m)的逐时观测资料,台站分布如图 1 所示。其中,划定西部地区为我国西北地区,主要包括我国西北干旱、半干旱区和黄土高原地区;东部地区为我国东南部季风湿润区,主要包括我国长江中下游地区、江淮流域和华南地区。

2 我国各季地气温差的年代际变化特征

关于我国气候的年代际变化,近年来已经引起很多学者的关注和研究,Wei et al. (2002)、周连童和黄荣辉(2006)和范丽军等(2004)通过对我国西北干旱、半干旱地区地气温差的研究指出,我国西北干旱、半干旱地区的地气温差存在着明显的年代际变化特征,并且在 20 世纪 70 年代末有明显的转变。因此,为了对我国东南、西北地区的地气温差的变化有一个整体上的认识 and 了解,有必要就全国各季地气温差的年代际变化特征进行分析。本文选取的是我国 218 个台站的地温、气温逐

日的 4 个时次[02:00(北京时间,下同)、08:00、14:00 和 20:00]的站点资料,我们把每天 4 个时次观测值的平均值作为每日的地温(0 m) (T_s)、气温(2 m) (T_a) 数据,然后根据此日资料计算出我国各季的年代际地气温差 ($T_s - T_a$) 的距平,取 1961~2000 年各月平均值做为气候值。下面,我们就分别对我国各季的 $T_s - T_a$ 的年代际变化特征进行分析。

2.1 我国春季地气温差的年代际变化特征

图 2a~2e 分别表示我国 20 世纪 60、70、80、90 各年代和本世纪初(2000~2006 年)的春季 $T_s - T_a$ 的距平分布。如图 2a 所示,在 20 世纪 60 年代,我国西北地区除了新疆西北部分地区以外,大部分地区 $T_s - T_a$ 的距平为负值,而我国东南部地区 $T_s - T_a$ 的距平则表现为明显的正值;到了 20 世纪 70 年代(图 2b),我国西北地区部分地区的距平则开始增大,由负值转变为正值。此时,我国东南部地区的距平则由正值开始变小,且有部分地区的距平开始减小为负值。到了 20 世纪 80 年代(图 2c),我国西北地区 $T_s - T_a$ 距平出现了转变,从之前的大部分地区为负值转变成为正值,而此时我国东南部地区 $T_s - T_a$ 的距平也在大部分地区转变为负值;到了 20 世纪 90 年代(图 2d),这种变化更为明显,西北地区除新疆西北部小部分地区之外,其余绝大部

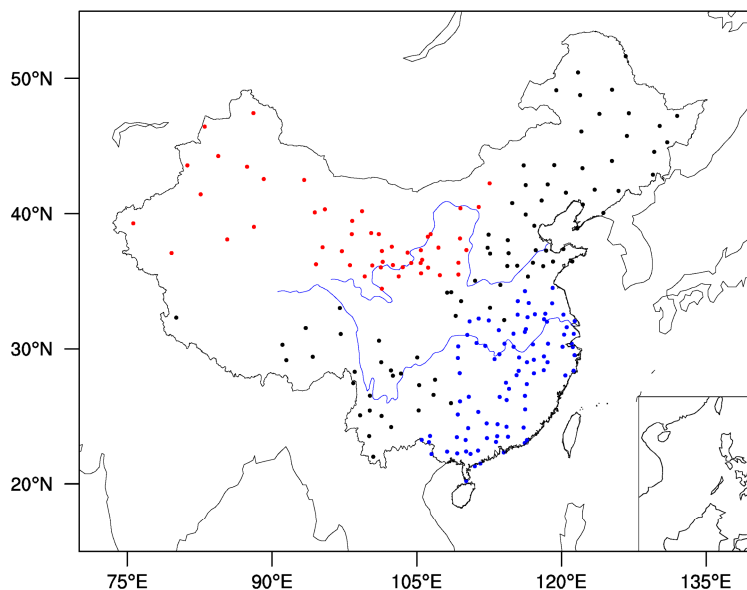


图 1 本文所选我国 218 个台站的分布位置,其中红色为我国西北地区台站,蓝色为我国东南地区台站,黑色为其他站

Fig. 1 The locations of the 218 stations which were used in this study, including Northwest China stations (red), Southeast China stations (blue), and other stations (black)

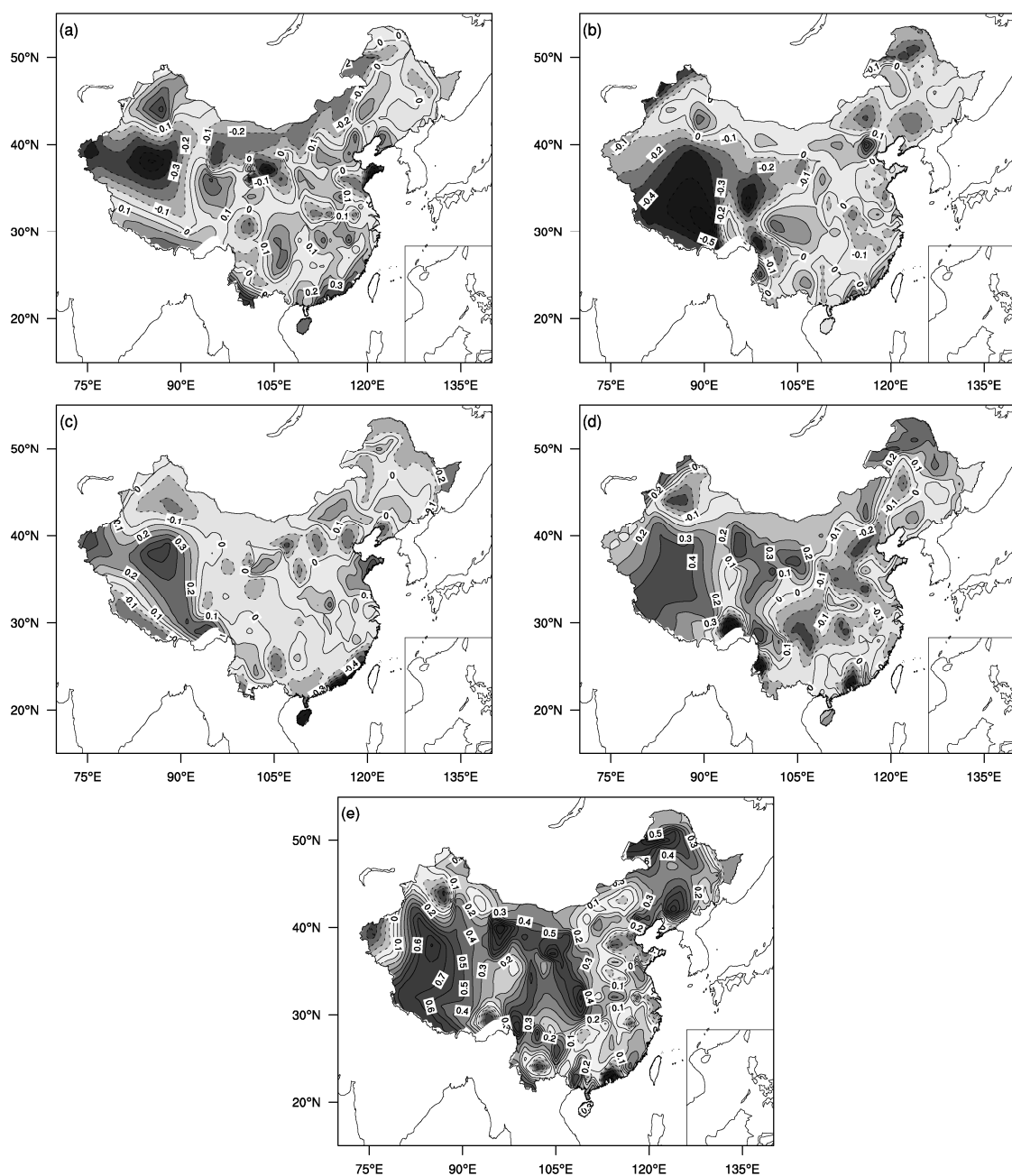


图2 中国20世纪(a)60年代、(b)70年代、(c)80年代、(d)90年代以及(e)2001~2006年春季 $T_s - T_a$ 距平的分布(单位: $^{\circ}\text{C}$), 取1961~2000年各月平均值做为气候值

Fig. 2 Distribution of $T_s - T_a$ anomalies ($^{\circ}\text{C}$) in spring of China in (a) the 1960s, (b) the 1970s, (c) the 1980s, (d) the 1990s, and (e) 2001–2006. The climatological mean of T_s and T_a in various months averaged for 1961 to 2000 is taken as their normal, respectively

分地区 $T_s - T_a$ 的距平已经明显表现为正值, 而东南部地区 $T_s - T_a$ 的距平进一步变小, 大部分地区已经由之前在20世纪60、70年代表现明显的正距平转变为负距平。到了本世纪初(图2e), 我国 $T_s - T_a$ 的距平在整体上有所增大, 但是西北地区的距平值大于东南部地区的基本情况并没有发生变化, 依然延续着20世纪80、90年代的变化趋势。

2.2 我国夏季地气温差的年代际变化特征

在分析了我国春季地气温差的年代际变化特征以后, 我们再来分析夏季的情况(图略)。夏季, 在20世纪60和70年代, 我国西北大部分地区 $T_s - T_a$ 的距平是负值, 而东南部地区 $T_s - T_a$ 距平则是正值; 到了20世纪80年代我国西北地区 $T_s - T_a$ 的距平转变为正值, 而东南部地区长江流域的 $T_s - T_a$ 距平则

转变为负值；到了 20 世纪 90 年代，西北地区的 $T_s - T_a$ 距平继续表现为更为明显的正值，而整个东南部地区 $T_s - T_a$ 的距平都表现为明显的负值；到了本世纪初，西北地区 $T_s - T_a$ 的距平值依然是大于东南部地区 $T_s - T_a$ 的距平值。

通过以上分析，我们可以看到，我国春季和夏季 $T_s - T_a$ 距平的分布变化存在着比较一致的变化趋势，都呈现出明显的年代际变化特征。在春季和夏季，我国西北地区 $T_s - T_a$ 的距平在 20 世纪 80 年代以前大部分地区是负值，而从 20 世纪 80 年代开始

发生了明显的转变， $T_s - T_a$ 距平的负值区域明显变小，出现了大范围的正值区域；我国东南部地区在 20 世纪 80 年代以前大部分地区 $T_s - T_a$ 的距平基本是正值，而从 20 世纪 80 年代开始，东南部地区则出现了大范围的负值区域。因此，可以表明，在春季和夏季，我国东南、西北地区的地气温差呈现出相反的变化趋势，并且初步判定都是在 20 世纪 80 年代初发生了较为明显的转变现象。

2.3 我国秋季地气温差的年代际变化特征

我国秋季 $T_s - T_a$ 的各年代际距平分布如图 3 所

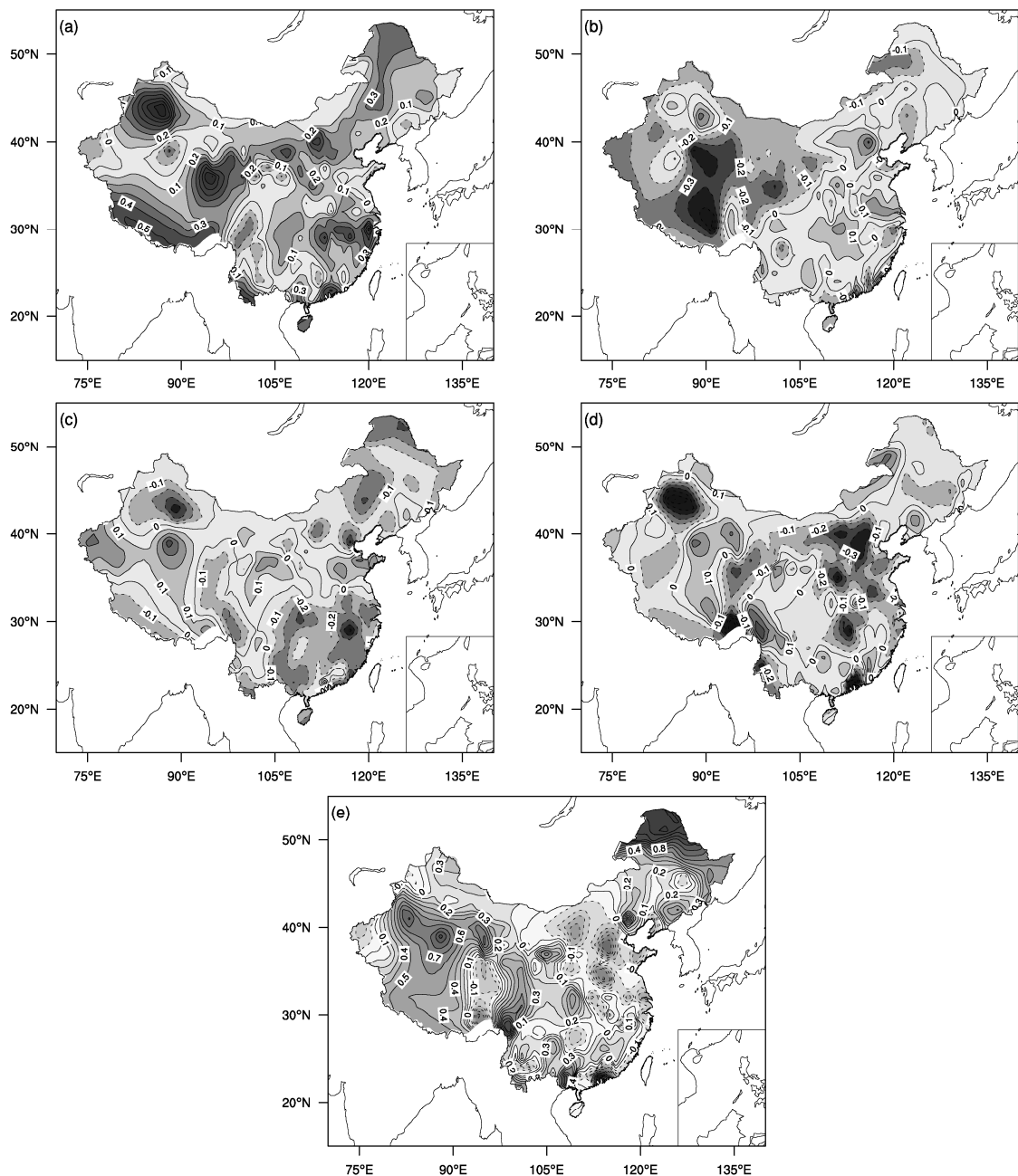


图 3 同图 2，但为秋季 $T_s - T_a$ 距平的分布

Fig. 3 Same as Fig. 2, but for $T_s - T_a$ anomalies in autumn

示。在 20 世纪 60 年代 (图 3a), 我国秋季 $T_s - T_a$ 的距平总体表现为正值; 到了 20 世纪 70 年代 (图 3b), $T_s - T_a$ 的距平值整体有所变小, 此时西北地区除新疆北部地区小部分地区外, 其余地区 $T_s - T_a$ 的距平表现为负值, 东南部地区 $T_s - T_a$ 的距平为正值; 在 20 世纪 80 年代 (图 3c), 西北地区 $T_s - T_a$ 的距平为正值, 东南部地区和东北地区 $T_s - T_a$ 的距平为负值; 在 20 世纪 90 年代 (图 3d), 全国 $T_s - T_a$ 的距平依然为比较小的值; 到了本世纪初 (图 3e), 我国全国 $T_s - T_a$ 的距平值则明显增大。

2.4 我国冬季地气温差的年代际变化特征

接下来分析我国冬季 $T_s - T_a$ 的各年代际距平分布特征 (图略)。在 20 世纪 60 年代, 我国全国范围冬季 $T_s - T_a$ 的距平表现为明显的正值, 其中西北地区的距平值比东南部地区略大; 到了 20 世纪 70 年代, 全国范围 $T_s - T_a$ 的距平值都有所变小, 其中青藏高原南部和东北地区表现为负距平值; 到了 20 世纪 80 年代, 全国范围 $T_s - T_a$ 的距平值继续减小, 大部分地区距平值为负值; 到了 20 世纪 90 年代, 全国范围 $T_s - T_a$ 的距平值进一步减小, 全国绝大部分地区为负距平值, 其中尤以我国黄河以北地区和我西北地区表现显著, $T_s - T_a$ 距平表现出很小的负距平值; 到了本世纪初, 我国全国冬季 $T_s - T_a$ 的距平值则突然明显增大, 全国大部分地区 $T_s - T_a$ 的距平值为正值, 需要说明的是, 由于观测资料在此时出现一定问题, 导致黑龙江地区 $T_s - T_a$ 在此时出现一些偏大的正距平异常值。

通过以上分析我们可以发现, 我国秋季和冬季地气温差的年代际变化特征呈现出比较类似的变化趋势, 在空间分布上基本上都是表现出全国范围比较一致的变化, 在年代际变化趋势上表现为从 20 世纪 60 年代到 90 年代 $T_s - T_a$ 的距平值逐渐变小的趋势, 也就是说在秋、冬季我国地气温差呈现出逐渐减小的趋势, 但是到了本世纪初, 全国范围 $T_s - T_a$ 的距平值突然明显增大了。

3 我国东南部地区地气温差的年际变化特征

上一节对我国各个季节地气温差的年代际变化的分析已经表明我国东南、西北地区的地气温差呈现出明显的年代际变化特征, 并且在不同的季节表现为不同的变化趋势。在春季和夏季, 东南、西

北地区地气温差表现出相反的变化趋势; 在秋季和冬季, 我国东南、西北地区地气温差也表现出不同的变化趋势。因此, 有必要就分别对东南、西北地区各自地气温差的变化情况做进一步的分析。我们通过对东南、西北地区 $T_s - T_a$ 区域平均值的年际变化来对两地区的地气温差变化情况做进一步的分析。

3.1 我国东南部地区各季区域平均的地气温差的年际变化特征

我们选取东南部地区 87 个站点 (见图 1), 利用之前处理好的每日地温、气温数据, 分别计算出我国东南部地区各季区域平均的地气温差。图 4a—4d 分别表示东南部地区区域平均的春季到冬季 $T_s - T_a$ 距平的年际变化。可以发现, 东南部地区各季 $T_s - T_a$ 的年际变化趋势基本一致, 在 20 世纪 70 年代末以前, $T_s - T_a$ 的距平基本上是正值, 在 20 世纪 70 年代末以后, $T_s - T_a$ 的距平则大部分是负值。另外, 也可以看出, 我国东南部地区夏季和冬季地气温差的年代际变化最为显著; 在夏季和冬季, 20 世纪 70 年代末以后 $T_s - T_a$ 的距平大部分是负值。这些都表明我国东南部地区的 $T_s - T_a$ 在 20 世纪 70 年代末发生了一次转变, 该地区的地气温差在 20 世纪 70 年代末以后明显减小了, 表现出明显的年代际变化特征。那么, 这种变化是怎么引起的, 我们分别通过对地温和气温的变化情况进行分析了解。图 5a—5h 分别表示我国东南部地区各季的地温和气温的区域平均的年际变化特征。

3.2 我国东南部地区各季区域平均的地温和气温的年际变化特征

从图 5 可以看出, 我国东南部地区春季、秋季和冬季各季的地温和气温表现出比较类似的年际和年代际变化趋势, 因此, 这 3 个季节地气温差的变化是由地温和气温共同的变化所引起的, 地温和气温对地气温差的变化起着相同程度的贡献作用。特别值得注意的是夏季的情况, 从图 5c 和图 5d 可以看出, 东南部地区夏季的地温距平和气温距平的变化趋势不大一致, 地温距平在 20 世纪 70 年代末之前已经表现出主要是正值, 20 世纪 70 年代末之后主要是负值的变化特征, 而气温距平的这种年代际变化特征不明显。因此, 20 世纪 70 年代末以后我国东南部地区夏季地气温差的减小主要是由于地温的显著下降造成的, 地温在东南部地区夏季地气温差的变化中起着主要的贡献作用。

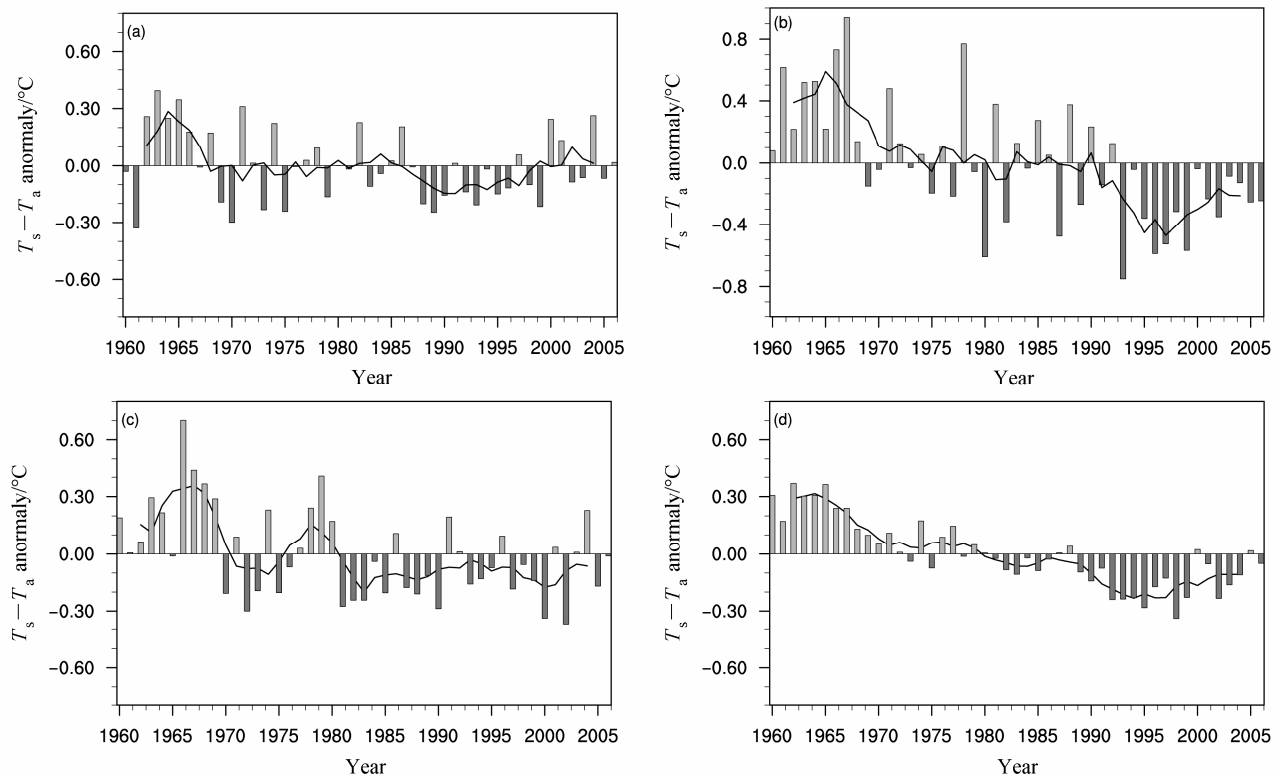


图4 我国东南部地区区域平均的 $T_s - T_a$ 距平的年际变化 (取 1961~2000 年各月平均值做为气候值, 实线为 5 年滑动平均): (a) 春季 (3~5 月); (b) 夏季 (6~8 月); (c) 秋季 (9~11 月); (d) 冬季 (12 月、1 月、2 月)

Fig. 4 Interannual variations of $T_s - T_a$ anomalies in (a) spring, (b) summer, (c) autumn, and (d) winter averaged in Southeast China, the climatological mean of T_s and T_a in various months averaged for 1961–2000 is taken as their normal, respectively, the solid curves show the 5-year running means

3.3 我国东南部地区各季地气温差的突变检验

从上面的分析我们已经可以看到我国东南部地区各季的地气温差存在着比较明显的年代际变化特征, 为了进一步分析这种突变趋势, 我们通过对我国东南部地区地气温差的 Mann-Kendall (M-K) 检验 (Mann, 1945; Kendall, 1945) 来进一步确定这种突变的趋势和时间。

图 6a–6d 分别表示我国东南部地区春季到冬季 $T_s - T_a$ 的 M-K 统计量曲线。我们可以看到, 我国东南部地区春季 $T_s - T_a$ 在 20 世纪 70 年代中后期有一明显的减小趋势, 同时我们也发现, 这种减小趋势在夏季比春季表现得更为明显。夏季地气温差在 1985 年左右发生了一次突变, 从 20 世纪 70 年代末到 90 年代初, 这种减小趋势基本上在显著性水平 0.05 临界线附近, 而 20 世纪 90 年代初以后, 这种减小趋势则超过 0.001 显著性水平, 表现出了显著的减小趋势。从图 6c 可以看出, 秋季地气温差也呈现出减小趋势, 并且这种减小变化也是一种突变现象, 时间在 20 世纪 80 年代初, 但是减小的趋势并不显著, 一直没有超过显著性水平。在冬季,

东南部地区地气温差在 20 世纪 70 年代初就表现出明显的减小趋势, 到了 20 世纪 70 年代末更是超过了 0.001 显著性水平, 呈现出极为明显的减小趋势。

通过上面的分析我们可以发现, 我国东南部地区各季的地气温差表现出较为明显的年代际变化特征, 呈现出一种突变的减小趋势, 尤其是夏季和冬季表现明显。各个季节地气温差发生突变的时间有所不同, 显著性也有一定的差别, 但是总体都呈现出一种年代际的减小趋势。

4 我国西北地区地气温差的年际变化特征

在对我国东南部地区各季地气温差的年际变化特征进行了分析以后, 我们再对我国西北地区各季地气温差做同样的分析。我们选取西北地区 51 个站点 (见图 1), 利用之前处理好的每日地温、气温数据, 分别计算出我国西北地区各季区域平均的地气温差。

4.1 我国西北地区各季区域平均的地气温差的年际变化特征

图 7a–7d 分别表示我西北地区区域平均的各

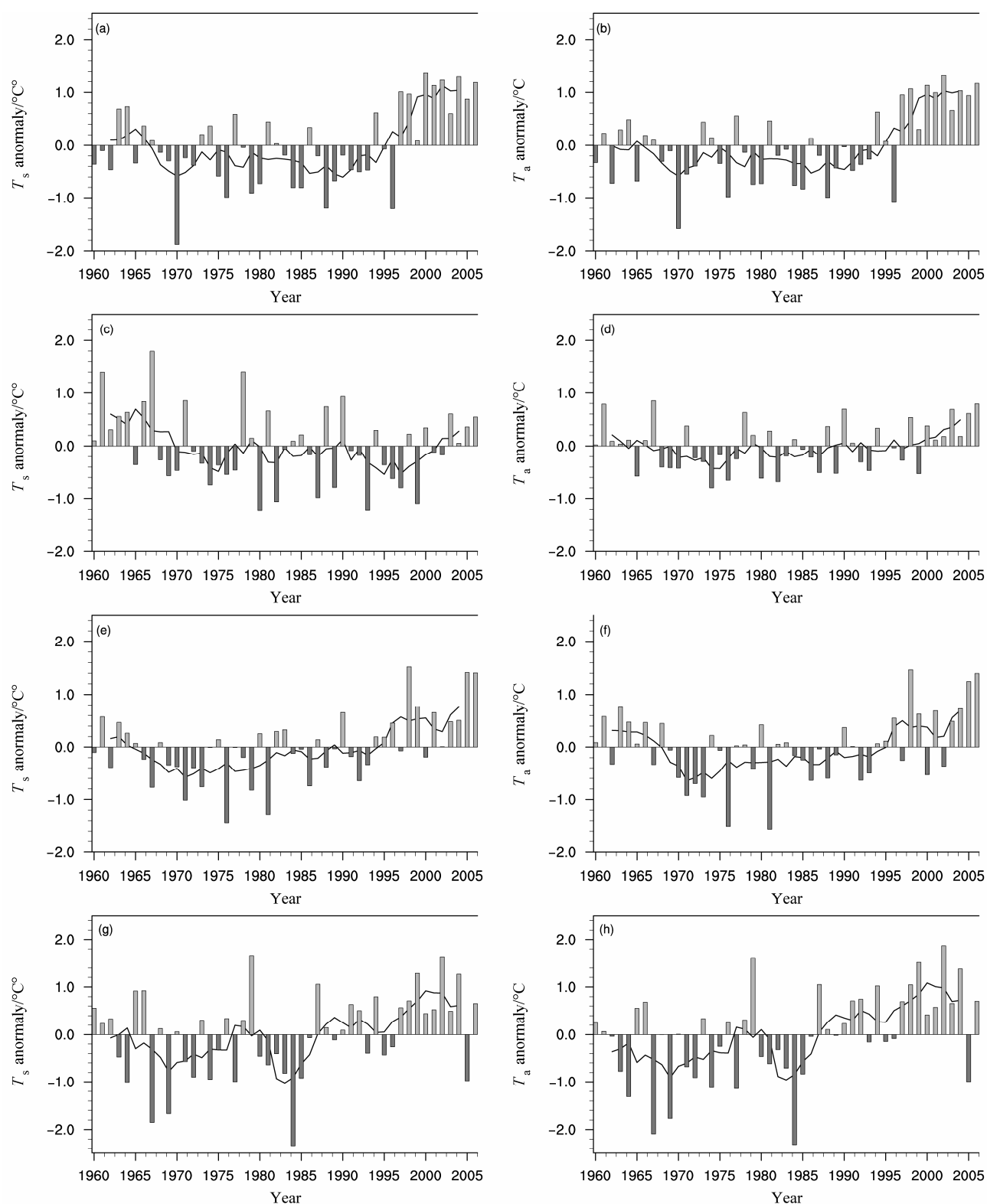


图5 我国东南部地区各季区域平均的 T_s (左列) 和 T_a (右列) 距平的年际变化 (取 1961~2000 年各月平均值做为气候值, 实线为 5 年滑动平均): (a, b) 春季; (c, d) 夏季; (e, f) 秋季; (g, h) 冬季

Fig. 5 Interannual variations of T_s (left column) and T_a (right column) anomaly in (a, b) spring, (c, d) summer, (e, f) autumn, and (g, h) winter averaged in Southeast China, the climatological mean of T_s and T_a in various months averaged for 1961–2000 is taken as their normal, respectively, the solid curves show the 5-year running means

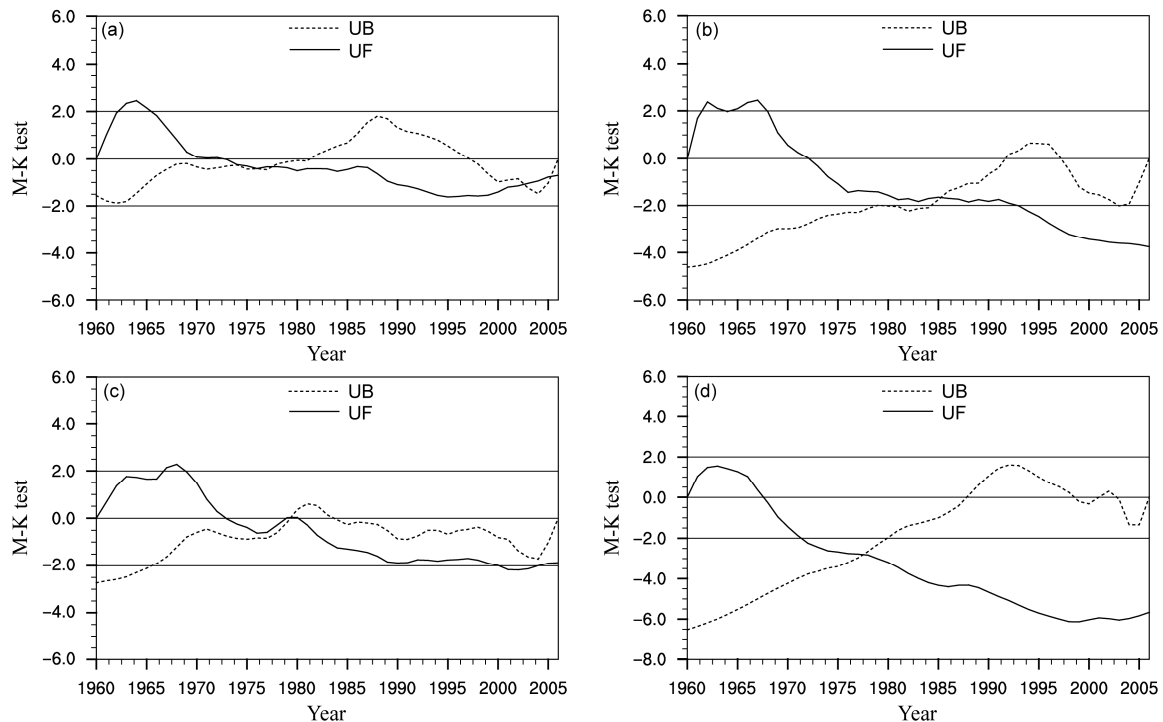


图6 我国东南部地区各季 $T_s - T_a$ 的 M-K 检验曲线: (a) 春季; (b) 夏季; (c) 秋季; (d) 冬季

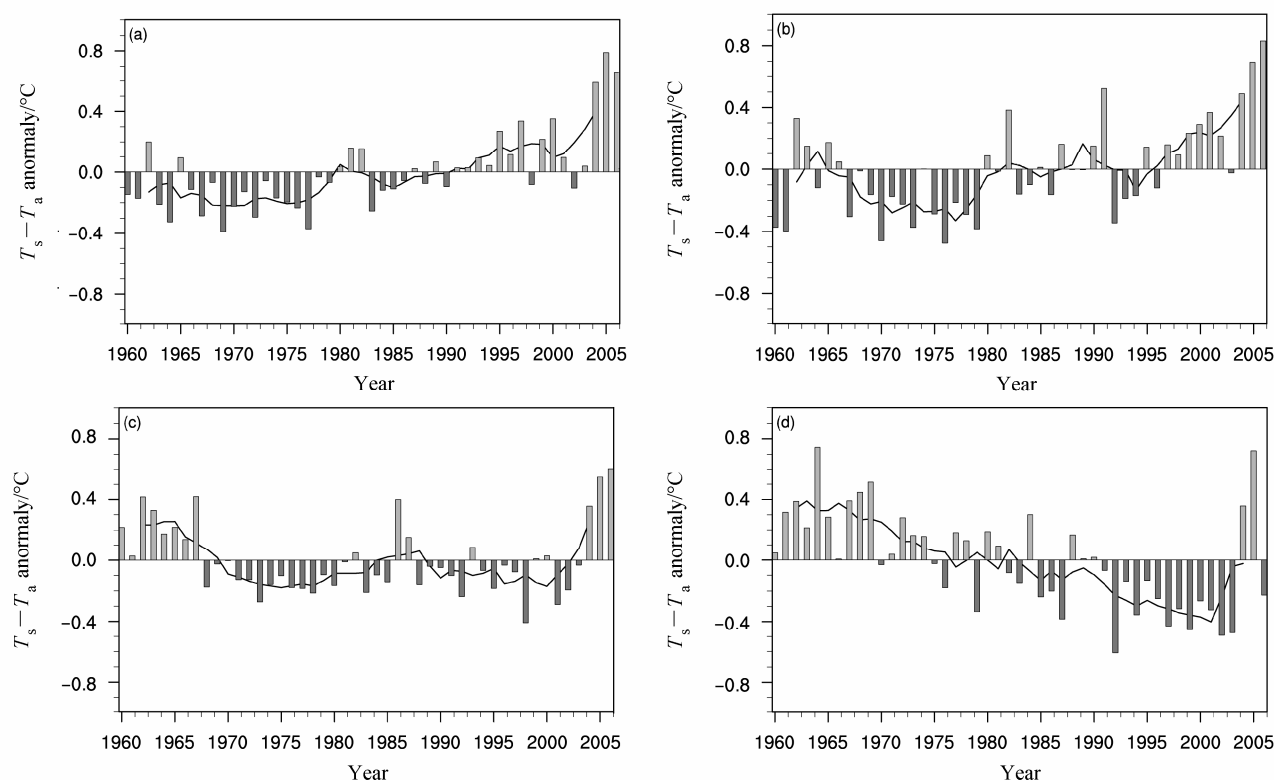
Fig. 6 The M-K test of $T_s - T_a$ in Southeast China in (a) spring, (b) summer, (c) autumn, and (d) winter

季 $T_s - T_a$ 距平的年际变化情况。可以看到, 在 20 世纪 70 年代末以前, 我国西北地区春季和夏季 (图 7a、7b) $T_s - T_a$ 的距平值基本上是负值, 而在 20 世纪 70 年代末以后, $T_s - T_a$ 的距平值则主要是正值。这表明我国西北地区春季和夏季地气温差在 20 世纪 70 年代末以后明显增大了, 并且 $T_s - T_a$ 也表现出明显的年代际变化, 也存在着与东南部地区同样的在 20 世纪 70 年代末发生了一次转变的现象, 所不同的是与东南部地区的变化趋势相反。从图 7c 可以发现, 我国西北地区秋季 $T_s - T_a$ 的距平没有明显的年代际变化特征, 20 世纪 60 年代末到本世纪初, $T_s - T_a$ 的距平基本上都是负值。而冬季地气温差也表现出明显的年代际变化特征, 如图 7d, 我国西北地区冬季 $T_s - T_a$ 的距平在 20 世纪 70 年代末以前主要是正值, 在 20 世纪 70 年代末以后则发生了显著的转变, 以负距平值为主, 这表明我国西北地区冬季地气温差在 20 世纪 70 年代末以后明显变小了, 这与春季和夏季的情况相反。

4.2 我国西北地区各季区域平均的地温和气温的年际变化特征

同东南部地区一样, 我们也初步分析下造成我国西北地区各季地气温差变化的原因。图 8a-8h 分

别表示我国西北地区各季的地温和气温的区域平均的年际变化特征。可以看出, 我国西北地区各季的地温和气温的年际和年代际变化趋势都比较类似, 但是在春季和夏季地温的变化比气温更大, 地气温差的变化主要是由于地温更大的变化而造成, 也就是说在春季和夏季, 地温对地气温差的变化起着更大程度的贡献作用。西北地区春季和夏季在 20 世纪 70 年代末以前, 大部分地温距平小于气温距平, 之后大部分地温距平大于气温距平, 所以造成西北地区春、夏季 $T_s - T_a$ 的距平值在 20 世纪 70 年代末以前主要是负值, 在 20 世纪 70 年代末以后主要是正值。从图 8e、8f 可以发现, 在秋季地温的距平基本上一直是小于气温的距平, 所以西北地区秋季地气温差基本上是负距平值。在冬季 (图 8g、8h), 气温的变化比地温更大, 地气温差的变化主要是由于气温更大的变化而造成, 也就是说在冬季, 气温对地气温差的变化起着更大程度的贡献作用。西北地区在 20 世纪 70 年代末以前, 大部分地温距平大于气温距平, 之后大部分地温距平小于气温距平, 因而使得西北地区冬季 $T_s - T_a$ 的距平在 20 世纪 70 年代末以前主要是正值, 在 20 世纪 70 年代末以后则主要变成了负值。

图 7 同图 4，但为我国西北地区 $T_s - T_a$ 距平的年际变化Fig. 7 Same as Fig. 4, but for $T_s - T_a$ anomalies averaged in Northwest China

4.3 我国西北地区各季地气温差的突变检验

图 9a、9d 分别表示我国西北地区春季到冬季 $T_s - T_a$ 的 M-K 统计量曲线。从图 9a 可以发现，我国西北地区春季地气温差在 20 世纪 70 年代末开始呈现出增大趋势，在 20 世纪 80 年代末出现了一次突变，并且 20 世纪 80 年代末以后这种增大趋势十分显著。在夏季（图 9b），我国西北地区地气温差在 20 世纪 80 年代初开始出现增大趋势，并且在 20 世纪 90 年代中后期出现了一次突变，其后地气温差表现出显著的增大趋势。在秋季（图 9c），我国西北地区地气温差在 20 世纪 60 年代末发生了一次突变，地气温差减小，但是在 20 世纪 80 年代中期以后未达到显著性水平，地气温差的年代际变化在秋季不明显。从图 9d 可以发现，我国西北地区冬季地气温差在 20 世纪 70 年代中期呈现出减小趋势，在 20 世纪 80 年代中期出现了一次突变，之后呈现出显著的减小趋势。

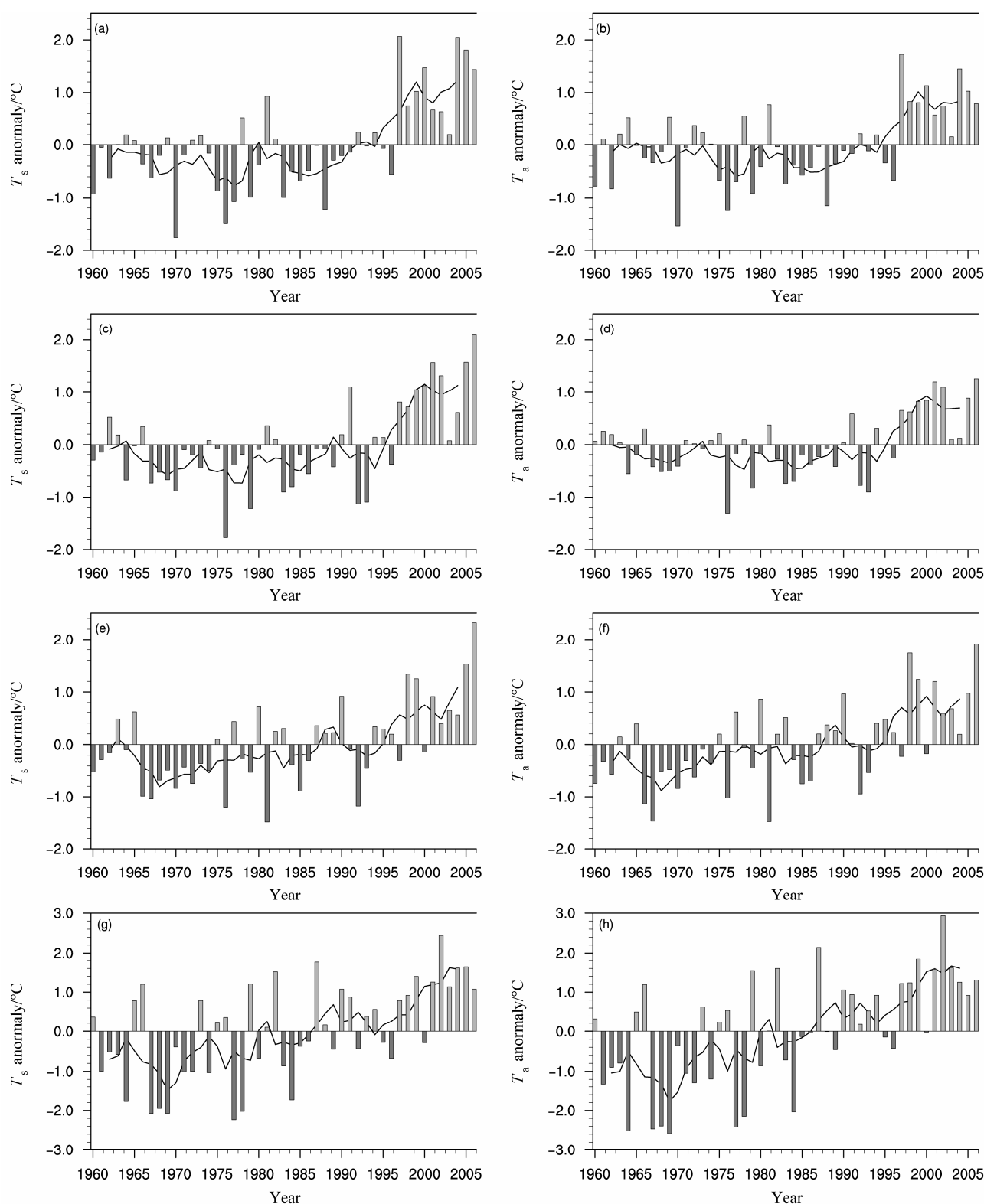
通过以上分析表明，我国西北地区各季的地气温差除了秋季之外也表现出明显的年代际变化特征，并且不同季节的年代际变化趋势有所不同。在春季和夏季， $T_s - T_a$ 的距平在 20 世纪 70 年代末以

前主要是负值，之后主要是正值，表明 20 世纪 70 年代末以后我国西北地区春、夏季地气温差明显增大了。在冬季， $T_s - T_a$ 的距平在 20 世纪 70 年代末以前主要是正值，之后主要是负值，表明 20 世纪 70 年代末以后我国西北地区冬季地气温差明显减小了。

同时，通过上面的分析可以看出，我国东南、西北地区地气温差在春季和夏季表现出相反的变化趋势，而在冬季则表现出比较类似的变化趋势，并且可以看出造成各自变化的原因也有所不同。

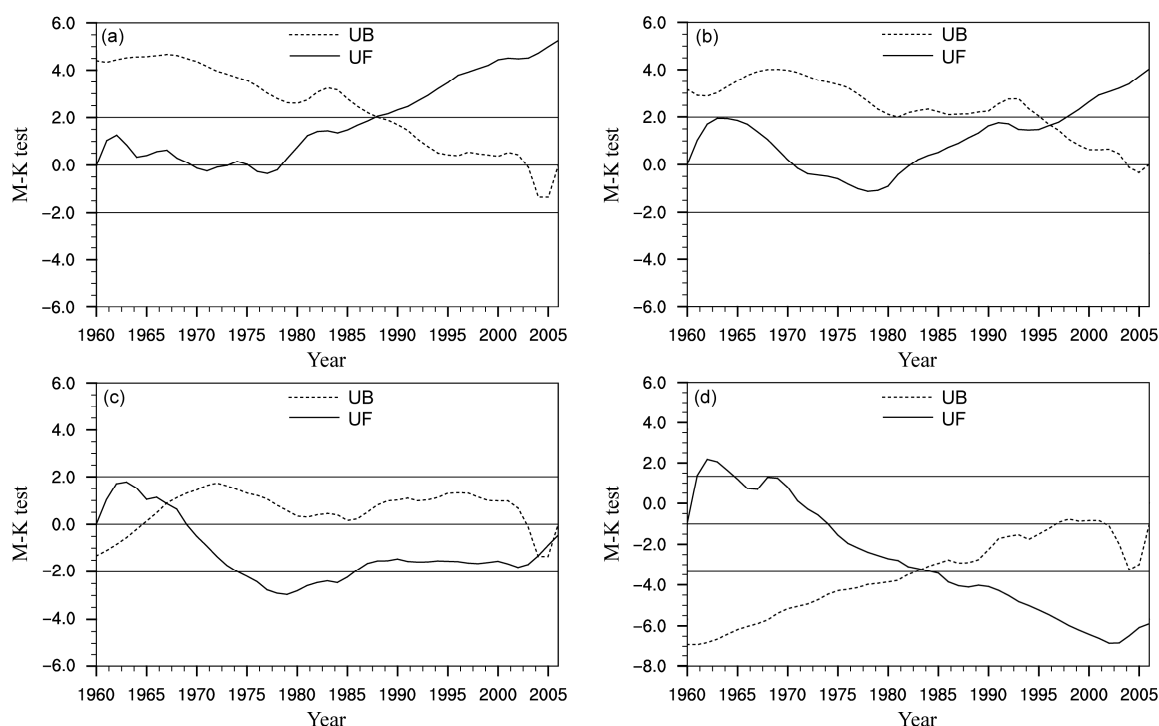
5 结论和讨论

本研究利用我国 1960~2006 年地温和气温观测资料对我国东南、西北地区各季地气温差的年代际变化特征进行了分析。分析结果表明：我国东南、西北地区地气温差存在明显的年代际变化特征，大概在 20 世纪 70 年代末， $T_s - T_a$ 发生了一次转变，并且在不同的季节表现出不同的变化特征。我国东南部地区各季 $T_s - T_a$ 的距平值在 20 世纪 70 年代末以

图8 同图5, 但为我国西北地区 T_s 和 T_a 距平的年际变化Fig. 8 Same as Fig. 5, but for T_s and T_a anomaly averaged in Northwest China

前主要是正值,而在20世纪70年代末以后转变为负值,这种现象在夏季和冬季表现得尤其明显,表明我国东南部地区地气温差在20世纪70年代末以

前比较大,而在20世纪70年代末以后,地气温差减小了。在春季和夏季,我国西北地区 $T_s - T_a$ 的距平值在20世纪70年代末以前主要是负值,而在20

图9 同图6, 但为我国西北地区 $T_s - T_a$ 的 M-K 检验曲线Fig. 9 Same as Fig. 6, but for M-K test of $T_s - T_a$ in Northwest China

世纪 70 年代末以后转变为正值, 表明我国西北地区地气温差在 20 世纪 70 年代末以前偏小, 而在 20 世纪 70 年代末以后, 地气温差增大; 我国西北地区地气温差在秋季的年代际变化特征不明显; 在冬季, 20 世纪 70 年代末以前, $T_s - T_a$ 的距平值主要是正值, 而在 20 世纪 70 年代末以后转变为负值, 表明我国西北地区地气温差在 20 世纪 70 年代末以后减小了。同时, 我们也可以看出, 我国东南、西北地区地气温差在春季和夏季表现出相反的年代际变化趋势。

此外, 我们还从地温和气温两个要素的变化初步分析了造成我国东南、西北地区地气温差产生这种年代际变化的原因。地气温差的变化是由地温和气温的变化共同决定的, 在不同的季节, 地温和气温对地气温差年代际变化的贡献程度也不一样。同时, 因为地温和气温的变化受到诸多因素的影响, 并且二者之间也存在着复杂的相互作用和联系, 所以关于地气温差年代际变化的机理问题有待于做进一步的研究分析。周连童和黄荣辉 (2006, 2008) 及 Zhou and Huang (2010) 的分析指出, 西北地区地气温差以及感热的变化对我国夏季降水有着明显的影响。那么, 我国东南、西北地区各季地气温差的这种年代际变化是否也会对我国夏季降水产

生明显的影响或者说对我国夏季降水有较好的指示意义, 也是我们今后需要进一步研究分析的问题。

参考文献 (References)

- 布和朝鲁, 纪立人, 崔茂常. 2002. 夏季我国干旱、半干旱区陆面过程能量平衡及其局地大气环流 [J]. 气候与环境研究, 7 (1): 61-73. Bueh Cholaw, Ji Liren, Cui Maochang. 2002. Energy balance of land surface process in the arid and semi-arid regions of China and its relation to the regional atmospheric circulation in summer [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 7 (1): 61-73.
- 范丽军, 韦志刚, 董文杰. 2004. 西北干旱区地气温差的时空分布特征 [J]. 高原气象, 23 (3): 360-367. Fan Lijun, Wei Zhigang, Dong Wenjie. 2004. The characteristic of temporal and spatial distribution of the differences between ground and air temperature in the arid region of Northwest China [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 23 (3): 360-367.
- 高荣, 董文杰, 韦志刚. 2008. 西北干旱区感热异常对中国夏季降水影响的模拟 [J]. 高原气象, 27 (2): 320-324. Gao Rong, Dong Wenjie, Wei Zhigang. 2008. Numerical simulation of the impact of abnormality of sensible heat flux in northwest arid zone on precipitation in China [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 27 (2): 320-324.
- Kendall M G. 1943. Rank Correlation Methods [M]. Charles Griffin: London.
- 李栋梁, 魏丽, 李维京, 等. 2003. 青藏高原地面感热对北半球大气环流和中国气候异常的影响 [J]. 气候与环境研究, 8 (1): 60-70. Li Dongliang, Wei Li, Li Weijing, et al. The effect of surface sensible heat

- flux of the Qinghai-Xizang Plateau on general circulation over the Northern Hemisphere and climatic anomaly of China [J]. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 8 (1): 60–70.
- 曲迎乐, 高晓清, 陈文, 等. 2008. 近 50 年来我国东、西部地面气温和降水变化对比的初步分析 [J]. *高原气象*, 27 (3): 524–529. Qu Yingle, Gao Xiaqing, Chen Wen, et al. 2008. Comparison of surface air temperatures and precipitation in eastern and western China during 1951–2003 [J]. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 27 (3): 524–529.
- Mann H B. 1943. Nonparametric tests against trend [J]. *Econometrica*, 13: 245–259.
- 沈学顺, 木本昌秀. 2007. 春季欧亚大陆地表气温变化特征的气候意义 [J]. *大气科学*, 31 (1): 19–27. Shen Xueshun, Masahide Kimoto. 2007. Studies of the interannual variability of springtime Eurasian surface air temperature [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Science* (in Chinese), 31 (1): 19–27.
- 陶诗言, 陈联寿, 徐祥德, 等. 1999. 第二次青藏高原大气科学试验理论研究进展(一) [M]. 北京: 气象出版社, 348pp. Tao Shiyan, Chen Longxun, Xu Xiangde, et al. 1999. Progress of Theoretical Study in the Second Tibetan Plateau Atmosphere Scientific Experiment (Part I) (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press, 348pp.
- Wei Z G, Fan L J, Huang R H, et al. 2002. The correlation analysis between the spring (Ts-Ta) in the arid region in Northwest China and Chinese summer rainfall. *Interational Workshop on the Air-Land Interaction in Arid and Semi-Arid Areas and Its Impact on Climate (IWALI)*, Dunhuang-City, Gansu Province, China, 17–21 August, 182–185.
- 叶笃正, 高由禧. 1979. 青藏高原气象学 [M]. 北京: 气象出版社, 278pp. Ye Duzheng, Gao Youxi. 1979. *The Meteorology of Tibet Plateau* (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press, 278pp.
- 张强, 胡隐樵. 2002. 绿洲地理特征及其气候效应 [J]. *地球科学进展*, 17 (4): 477–486. Zhang Qiang, Hu Yinqiao. 2002. The geographical features and climatic effects of oasis [J]. *Advance in Earth Science* (in Chinese), 17 (4): 477–486.
- 张强, 胡隐樵, 曹晓彦, 等. 2000. 论西北干旱气候的若干问题 [J]. *中国沙漠*, 20 (4): 357–362. Zhang Qiang, Hu Yinqiao, Cao Xiaoyan, et al. 2000. On some problems of arid climate system of Northwest China [J]. *Journal of Desert Research* (in Chinese), 20 (4): 357–362.
- 张强, 黄荣辉, 王胜, 等. 2005. 西北干旱区陆—气相互作用试验 (NWC-ALIEX)及其研究进展 [J]. *地球科学进展*, 20 (4): 427–441. Zhang Qiang, Huang Ronghui, Wang Sheng, et al. 2005. NWC-ALIEX and its research advances [J]. *Advance in Earth Science* (in Chinese), 20 (4): 427–441.
- 赵平, 陈隆勋. 2001. 35 年来青藏高原大气热源气候特征及其与中国降水的关系 [J]. *中国科学 D 辑*, 31 (4): 327–332. Zhao Ping, Chen Longxun. 2001. Climatic features of atmospheric heat source/sink over the Qinghai-Xizang Plateau in 35 years and its relation to rainfall in China [J]. *Science China (Series D)* (in Chinese), 44 (9): 858–864.
- 赵勇, 钱永甫. 2007. 青藏高原地表热力异常与我国江淮地区夏季降水的关系 [J]. *大气科学*, 31 (1): 145–156. Zhao Yong, Qian Yongfu. 2007. Relationships between the surface thermal anomalies in the Tibetan Plateau and the rainfall in the Jianghuai area in summer [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Science* (in Chinese), 31 (1): 145–156.
- Zhou L T. 2009. Difference in the interdecadal variability of spring and summer sensible heat fluxes over Northwest China [J]. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 2 (2): 119–123.
- Zhou L T, Huang R H. 2010. The interdecadal variability of summer rainfall in Northwest China and its possible causes [J]. *International Journal of Climatology*, 30 (4): 549–557.
- Zhou L T, Wu R G, Huang R H. 2010. Variability of surface sensible heat flux over Northwest China [J]. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 3 (2): 75–80.
- Zhou L T, Huang R H. 2014. Regional differences in surface sensible and latent heat fluxes in China [J]. *Theor. Appl. Climatol.*, 116: 625–637.
- 周连童. 2010. 欧亚大陆干旱、半干旱区春夏季感热通量的时空变化特征 [J]. *大气科学学报*, 33 (3): 299–306. Zhou Liantong. 2010. Characteristics of temporal and spatial variability of sensible heat flux in the arid and semi-arid region of Eurasia [J]. *Transactions of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 33 (3): 299–306.
- 周连童, 黄荣辉. 2006. 中国西北干旱、半干旱区春季地气温差的年际变化特征及其对华北夏季降水年际变化的影响 [J]. *气候与环境研究*, 11 (1): 1–13. Zhou Liantong, Huang Ronghui. 2006. Characteristics of interdecadal variability of the difference between surface temperature and surface air temperature in spring in arid and semi-arid region of Northwest China and its impact on summer precipitation in North China [J]. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 11 (1): 1–13.
- 周连童, 黄荣辉. 2008. 中国西北干旱、半干旱区感热的年代际变化特征及其与中国夏季降水的关系 [J]. *大气科学*, 32 (6): 1276–1288. Zhou Liantong, Huang Ronghui. 2008. Interdecadal variability of sensible heat in arid and semi-arid regions of Northwest China and its relation to summer precipitation in China [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Science* (in Chinese), 32 (6): 1276–1288.
- 周长春, 高晓清, 陈文, 等. 2009. 中亚感热异常对我国西北温度、降水的影响 [J]. *高原气象*, 28 (2): 395–401. Zhou Changchun, Gao Xiaqing, Chen Wen, et al. 2009. The impact of sensible heat flux anomaly over central Asia on temperature and precipitation in Northwest China [J]. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 28 (2): 395–401.