

柏玲, 陈忠升, 王祖静, 等. 1980~2013年新疆高空大气温度变化特征[J]. 地理科学, 2016, 36(3): 458-465. [Bai Ling, Chen Zhongsheng, Wang Zujing et al. Upper-air Temperature Change of Xinjiang During 1980-2013. Scientia Geographica Sinica, 2016, 36(3): 458-465.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2016.03.018

1980~2013年新疆高空大气温度变化特征

柏玲¹, 陈忠升^{1,2}, 王祖静¹, 赵本福¹

(1. 华东师范大学地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200241; 2. 中国科学院新疆生态与地理研究所荒漠与绿洲生态国家重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要: 基于1980~2013年新疆地区8个探空站逐日观测资料, 利用Mann-Kendall非参数检验法, 分析新疆30多年来高空大气温度时间序列的变化趋势、突变时间及二者的显著性, 探讨其与地面温度变化关系。结果表明: 近30多年来, 新疆对流层上层至平流层中下层表现为降温趋势, 对流层中下层呈升温趋势, 对流层上层和平流层中下层降温幅度大于对流层中下层的增温幅度; 新疆高空温度的变化存在明显的季节差异; 新疆高空各层温度在20世纪90年代初发生显著性突变, 晚于北半球地面温度突变年份, 早于相对应的地面温度突变时间; 新疆对流层中下层温度在不同时段和不同季节与地面温度的变化不同, 1980~2013年二者均呈显著的增温趋势, 而1998~2013年二者的变暖趋势均减缓, 甚至还表现为微弱的下降趋势。

关键词: 高空大气温度; 变化趋势; 突变分析; 新疆地区

中图分类号: P423.6

文献标识码: A

文章编号: 1000-0690(2016)03-0458-08

随着人类活动对全球气候系统的影响加剧, 气候变化的研究引起各国政府部门和公众的广泛关注^[1]。IPCC在2013年的最新报告中指出, 130多年(1880~2012年)来, 全球平均气温升高0.85℃(0.65~1.06℃), 2003~2012年平均温度比1850~1900年上升0.78℃, 全球快速变暖已经是一个不争的事实^[2]。中国的温度变化整体上也呈增温趋势, 但变暖过程具有波动性, 时空上也有明显差异^[3]。

地面和高空大气都是气候系统的重要组成部分, 之前关于气候变化研究主要集中于地面温度的变化, 近年来高空大气温度变化研究迅速成为学术界关注的焦点之一^[4~10]。Angell^[7]利用全球分布的无线电探空仪观测资料, 对1958~1989年高空温度变化分层进行了研究, 结果表明, 全球对流层中下层整体表现为增温趋势, 增温速率为 $(0.10 \pm 0.09)^\circ\text{C}/10\text{ a}$, 平流层中下层却呈现降温趋势, 降温速率为 $-0.4^\circ\text{C}/10\text{ a}$ 。Melissa等^[8]利用LKS探空资料发现从近地面到300 hPa表现为增温趋势, 300 hPa以上为降温趋势, 而采用HadRT资料却发现高

空各层温度都呈现降温趋势。Guo和Ding^[9]利用116个探空站资料对中国1958~2005年的高空气温变化趋势进行分析, 发现400 hPa以下的高空气温呈明显的上升趋势, 且增温幅度在海拔地区表现的尤为突出。薛德强等^[10]采用28个高空探空站资料分析1961~2000年中国年平均温度变化趋势发现, 地面至700 hPa绝大部分地区温度呈上升趋势, 对流层上层至50 hPa的温度呈下降趋势, 但高空温度变化存在明显的时空差异。

新疆作为中国西北干旱区的主体, 属典型的温带大陆干旱性气候, 在全球变暖背景下, 新疆气温呈现出逐年上升态势。新疆是气候变化敏感区, 从20世纪90年代中后期该区域气候变化研究开始成为热点, 许多研究者对此展开了大量的研究和讨论^[11~15], 其中包含近地面和高空温度变化的分析, 但目前关于高空和地面气温的变化趋势是否一致以及二者到底有何关系的研究还很少。基于此, 本文利用Mann-Kendall非参数检验法, 对新疆地区30多年来高空大气时间序列变化趋势、突

收稿日期: 2015-03-18; **修订日期:** 2015-07-06

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(973计划2010CB951003)资助。[Foundation: The research is supported by the National Basic Research Program of China (973 Program, no. 2010CB951003).]

作者简介: 柏玲(1987-), 女, 河南驻马店人, 博士研究生, 主要从事环境变化与区域可持续发展研究。E-mail: bling1987yy@163.com

通讯作者: 陈忠升, 副研究员。E-mail: chenzhs@ms.xjbu.ac.cn

变时间及二者的显著性进行分析,并结合地面温度变化情况作对比分析,试图建立高空与地面温度变化的联系,这将有助于正确认识中国新疆高空大气温度对全球气候变化的响应特征。

1 资料选取与研究方法

1.1 资料选取

本文所用的高空温度资料为新疆8个探空站1980~2013年逐日0时和12时2个时次的无线电探空仪观测的高空温度。由于缺乏密集的探空站点,我们仅选择了具有代表性、时间序列较为完整的8个探空站,这些站点相对均匀的分布于新疆的南北部,基本上可以覆盖整个研究区(图1)。鉴于资料的完整性和连续性,我们选择了各探空站8个标准气压层,即(850、700、500、400、300、200、100和50 hPa)。先由每日两次的探空资料求取日平均值,再由其求月平均、季平均和年平均。由于1960~1979年高空资料存在非均一性问题^[16],故本文选取1980~2013年作为研究时段。为确保数据质量,参照NCEP再分析资料,对新疆8个探空站温度序列进行了均一化处理。此外,所用1980~2013年地面温度来自8个探空站相对应的国际交换站点,由中国气象科学数据共享服务网提供。

1.2 研究方法

Mann-Kendall趋势检验方法利用线性拟合得出趋势方程,定量分析序列在某一时间段内的趋势特征,从而反映该序列是上升趋势还是下降趋

势^[17],常用于气候时间序列的变化趋势的显著性检验^[14, 15]。Mann-Kendall突变检验方法,是气象领域中常用的一种检验方法,其优点在于计算简便,可明确指出突变开始时间点及其相应的显著性水平^[14, 18, 19]。

2 高空温度变化的趋势及突变分析

2.1 高空温度年均变化趋势

我们首先对高空8个不同高度层年温度变化趋势进行检验(表1),1980~2013年,新疆高空850~300 hPa和200~50 hPa整体上分别表现为增温和降温趋势。然而,300 hPa的增温趋势和200 hPa的降温趋势并不显著。总体而言,30多年来,新疆850~300 hPa的升温趋势与其它区域如瑞士和中国东部地区具有一致性^[20, 21]。为便于进一步分析高空温度的变化趋势,我们在借鉴国内外关于高空各规定等压面层划分的文献^[15, 20, 21]基础上,结合新疆高空各层温度变化趋势,将该区高空划归为3个层次进行统计。对流层中下层:包括850、700、500、400和300 hPa等压面层;对流层上层:包括300、200和100 hPa等压面层;平流层中下层包括100和50 hPa等压面层。以上分层可能并不十分精确,有可能忽略了对流层底层对其中上层的影响,但本文侧重讨论高空温度变化的特征,针对不同层之间的相互影响及其内在机制正是我们下一步的研究工作,而分层无疑有助于我们从总体上把握高空大气温度的时间演变规律。

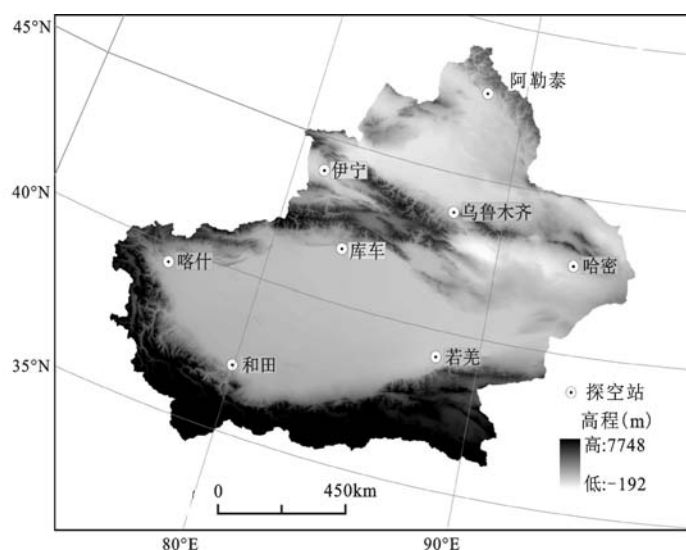


图1 新疆8个探空站点分布情况

Fig.1 Distribution of 8 radiosonde stations in Xinjiang

表1 1980~2013年新疆高空8个标准气压层
年平均温度变化趋势检验

Table 1 Change trend test of annual average temperature of
eight standard pressure levels in Xinjiang during 1980-2013

垂直分层 (hPa)	850	700	500	400	300	200	100	50
Z值	2.37*	2.45*	1.99*	1.98*	0.62	-0.52	-5.14*	-4.97*
趋势 ($^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)	0.21	0.22	0.15	0.08	0.06	0.06	-0.71	-0.83

注: *表示通过5%的显著性水平检验。

1980~2013年新疆高空各层年均温的变化趋势如图2所示,结合 Mann-Kendall 趋势检验可知,地面至高空各层温度变化趋势均通过了5%的显著性水平检验。对流层中下层年平均温度和地面温度在变化趋势上具有一致性,但其增温速率($0.13^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)明显小于地面的增温速率($0.29^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)。对流层上层和平流层中下层的温度变化趋势也是一致的,都呈显著的下降趋势,降温速率分别

为 0.19 、 $0.73^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。整体而言,近30多年来,新疆对流层上层至平流层中下层的降温幅度大于对流层中下层的增温幅度。

分时段来看,对流层中下层的温度从20世纪80年代初至2000年则表现为波动上升趋势,1998~2013年期间基本上进入一个相对稳定的阶段,甚至还稍有下降。在1980~2013年的整个研究期,对流层下层温度在1998年达到极大值。对流层上层温度变化在两个时间段呈现不同的变化趋势,在1980~2000年表现为明显的降温趋势,而2001~2013则呈现微弱的增温趋势。平流层中下层的温度除了在1982和1983年有所异常外,在整个研究期经历了一个显著的降温过程。

2.2 高空温度季节变化特征

图3显示了新疆高空大气和地面温度多年月平均变化特征。对流层中下层和对流层上层温度的年内变化趋势与地面温度变化基本一致,为单峰结构,最高温出现在7月,最低温出现在1月。

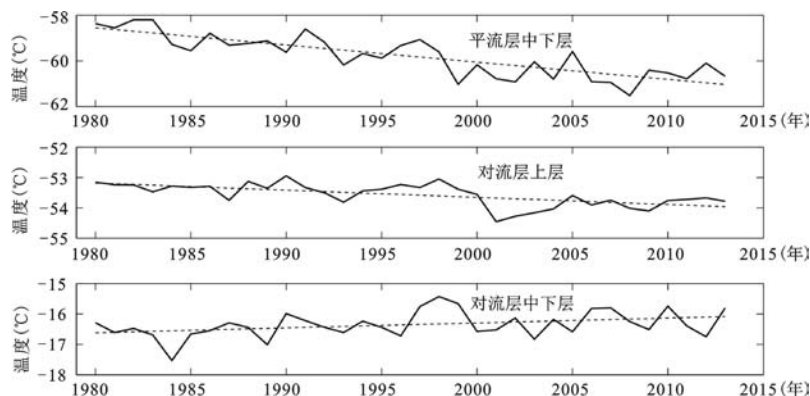


图2 1980~2013年新疆高空3层年平均温度变化趋势

Fig.2 Change trends of annual average temperature in three layers of Xinjiang upper-air in 1980-2013

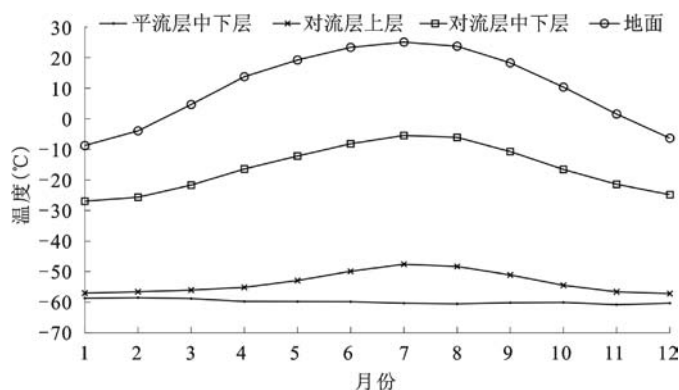


图3 1980~2013年高空3层和地面温度的月变化特征

Fig.3 Monthly temperature variation at three layers of upper-air and surface during 1980-2013

由高空各层温度多年月变化可以发现,对流层温度变化幅度较大。对流层上层和中下层年均温度的季节变化幅度是相对比较均匀的,分别为10℃和21℃,且它们的峰值都出现在7月。与对流层相比,平流层中下层温度表现为不同的类型,最高温出现在冬季的2月份,低温主要出现在夏季的6~8月份。对流层温度较大的年内变化幅度和平流层温度季节变化的特殊性表明对高空各层温度进行季节性趋势分析是必要的。

表2显示的是高空不同层温度的季节变化趋势。季节变化趋势不仅能反映同一层高空温度在四季的差异,还能揭示不同高空层在同一个季节的相对变化状况。例如,在对流层的中下层,秋季和冬季温度的变化速率分别为+0.15、+0.10℃/10 a,但并不是一个显著的升温趋势,而春季和夏季的变化速率都比秋冬季大,分别达到了+0.34、+0.24℃/10 a,且在统计上是显著的。在对流层上层,有较大的季节差异,春季的变化速率接近于0,冬季的变化速率高达-0.46℃/10 a,夏季和秋季则分别为-0.18、-0.25℃/10 a。平流层中下层四季都表现为显著的降温趋势,且秋季和冬季的变化速率大于春季和夏季。不难发现,对流层上层和平流层中下层在秋季和冬季降温幅度显著大于春季和夏季,而对流层中下层在春季和夏季的增温趋势更为明显。与对流层上层相比,平流层中下层和对流层中下层温度季节变化差异相对较小。

表2 1980~2013年高空各层温度的季节变化趋势

Table 2 Temperature trends in three layers of different seasons during 1980-2013

垂直分层	季节	Z 值	趋势 (℃/10 a)
对流层中下层	春	2.64*	0.34
	夏	2.42*	0.24
	秋	1.25	0.15
	冬	-0.74	0.10
对流层上层	春	-1.25	-0.09
	夏	-1.97*	-0.18
	秋	-2.91*	-0.25
	冬	-3.31*	-0.46
平流层中下层	春	-3.96*	-0.72
	夏	-4.52*	-0.70
	秋	-5.53*	-0.77
	冬	-2.58*	-0.74

注:*表示通过了5%的显著性水平检验。

2.3 高空温度突变特征分析

Mann-Kendall 突变检验表明高空各层气温均通过了5%的显著性水平,结合图4可以发现,对流层中下层、对流层上层和平流层中下层突变年份分别为1990、1992和1993年,突变前后均值差依次为0.98℃、-0.44℃、-1.41℃。对流层中下层温度于20世纪80年代中期开始变暖,在1990年发生突变,突变前该层表现为微弱的下降趋势,突变后上升幅度较大;对流层上层为过渡层,气温由上升趋势过渡为下降趋势,突变前后变化幅度较小;平流层中下层温度变冷趋势明显,且突变后温度下降幅度较大。研究表明,高空各层气温突变年份均发生在20世纪90年代初期,晚于北半球地面温度突变的时间1988年^[14],而通过计算新疆1980~2013年相对应的地面温度发现,该区地面温度突变发生在1997,滞后于高空各层气温突变年份。结合相关研究发现^[12,14,15,22],高空和地面温度都是气候系统的重要组成部分,二者是相互影响的,且都受到气候系统本身和人类活动的双重胁迫;然而,高空温度变化更多的是受气候系统内部的控制,主要表征的是气候系统的自然变率,而地面温度变化则受人类活动产生的温室气体影响较大,这可能在一定程度上减缓了近年来地面温度向冷相位过渡趋势,尤其是新疆地面温度自1997年开始变暖减缓,从侧面证实了地面温度滞后于高空温度突变的结论。

高空各层温度变化的内在差异主要在于热源的不同^[10,15]。对流层中下层的热量主要靠吸收来自地表的长波辐射,其物理性质的改变的主要在于CO₂等温室气体和水汽含量的变化。随着近年来温室气体的增加,地表气温明显上升,通过对流活动向对流层中下层输送的热量增加,同时对流层中下层温室气体增加也可吸收大量的长波辐射,因此造成对流层中下层大气温度升高^[10]。根据已有研究^[11,23],我们推测新疆对流层中下层在1990年代初发生突变可能是由于20世纪90年代初该区域CO₂和水汽含量的显著增加。而在对流层上层和平流层中下层情况则不同。由于来自地面的长波辐射大部分被对流层中下层吸收,到达对流层上层和平流层中下层的就很少,而CO₂和水汽同时还要以红外辐射的方式向宇宙空间放射能量,反而使对流层上层和平流层中下层的温度下降。此外,平流层中下层的热量主要来自臭氧吸收的太阳短波辐射,臭氧含量的减少或增加不仅会

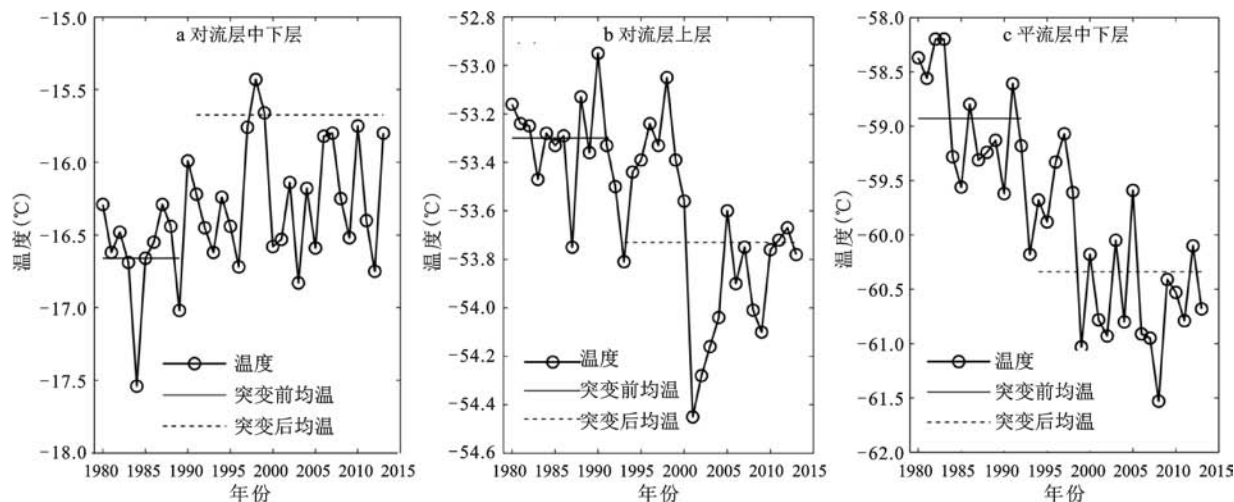


图4 高空各层年平均温度的突变分析

Fig.4 Abrupt change analysis of annual mean upper-air temperatures at different levels

导致平流层温度的显著下降或上升,还会引起对流层上层温度的变化^[15]。近期研究发现^[24],北半球中高纬度地区大气臭氧含量在20世纪80年代末、90年代初存在明显的突变,大部分地区突然减少,这可能在一定程度上解释了新疆平流层中下层和对流层上层在1990年代初发生突变的原因。由于缺乏关于CO₂、水汽含量和臭氧的可靠历史数据,我们并未对高空各层温度和CO₂等温室气体以及水汽含量和臭氧之间的相关性进行实证检验。对于高空温度变化趋势及突变的深层次原因,仍待进一步探讨。

3 高空与地面温度变化的比较

表3显示1980~2013年新疆高空各层年平均温度与地面温度的相关系数均通过了5%的显著性水平检验。与地面温度相关程度从高到低分别是对流层中下层、平流层中上层和对流层上层。对流层中下层与地面温度呈显著的正相关,对流层上层和平流层中下层与地面温度则表现为显著的负相关关系。王颖和任国玉^[25]对1961~2004年中国高空各层与地面温度的相关性研究发现,对流层中下层与地面温度呈显著的正相关关系,对流层上层至平流层上层却与地面温度表现为不显著的负相关关系。Chen等^[15]研究发现,中国西北干旱区近50 a来高空850~400 hPa与地面温度呈显著的正相关关系,200~50 hPa与地面温度呈显著的负相关关系,而300 hPa与地面温度的相关性却趋向于零。尽管以上研究结论与本文1980~2013年新疆高空与地面温度关系有所差异,但都说明了地面温度与对流

层中下层表现为一致的变化趋势,而与对流层上层和平流层中下层表现为相反的变化趋势。

表3 高空各层年平均温度与地面年平均温度的相关系数

Table 3 Correlation coefficients of annual mean temperature in different upper-air layers and surface

分层	对流层中下层	对流层上层	平流层中下层
系数	0.73*	-0.39*	-0.51*

注:*表示通过了5%的显著性水平检验。

上述分析可知,对流层中下层的温度主要来源于地面的长波辐射,地表温度的变化不可避免的引起对流层中下层温度的改变,故对流层中下层与地面温度变化趋势通常较为一致。而对流层上层和平流层由于远离地面,主要热源是臭氧吸收的太阳短波辐射。可以说,高空对流层上层和平流层温度变化受地面影响较小,由此我们推测以上两层温度与地面温度的负相关关系可能仅仅是统计上的关系。而与地面关系最为密切的对流层中下层尤为值得关注,因为该层往往更能真实地反映整个气候系统的变化。

为进一步分析对流层与地面温度变化趋势,我们分别对比1980~2013年新疆对流层下层和地面温度距平的年际(图5a)和冬季(图5b)变化情况。如图5所示,1980~2013年对流层下层和地面年际变化总体上呈现出明显的上升趋势,且在1998年达到极大值。自1998以来,对流层下层和地面温度均一直处于减缓状态,甚至还表现为微弱的下降趋势,而在冬季二者的下降趋势则较为

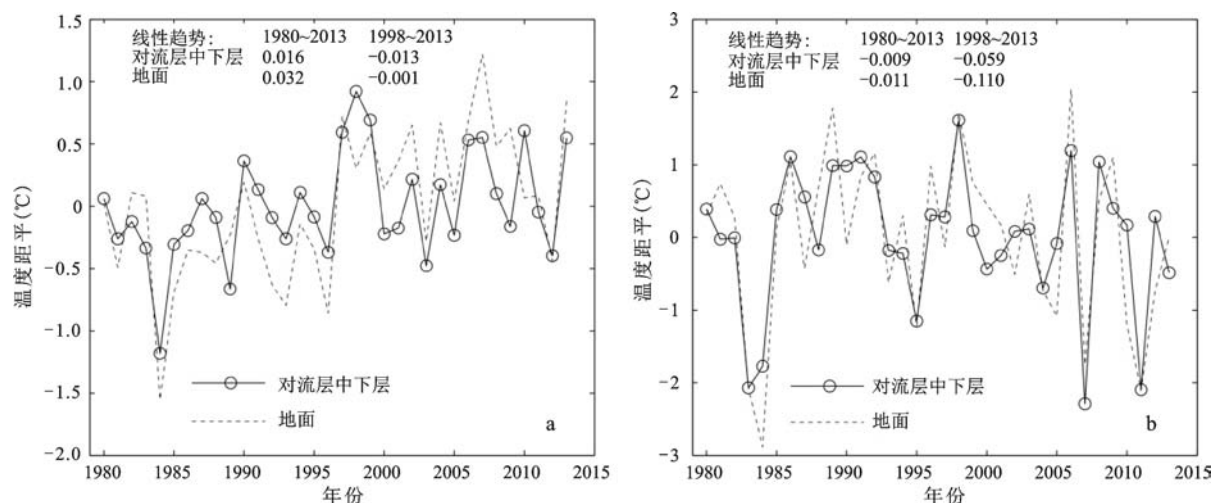


图5 对流层中下层和地面温度的(a)年际、(b)冬季变化趋势

Fig.5 Annual (a) and winter (b) variation trends between the mid-lower troposphere and surface temperature

明显,说明10多年来,对流层中下层和地面温度的下降趋势主要在于冬季的降温。

在全球变暖背景下,由于受自然和人类活动等因素的影响,50 a来新疆地区升温趋势比较明显,升温幅度显著高于全球其他地区,成为对全球变暖响应最为敏感的地区之一^[12]。然而,我们通过对新疆1980~2013年高空大气和地面温度变化趋势分析却发现,自1998年以来,新疆对流层中下层和地面的温度呈现降温的趋势,且在冬季表现尤为明显。已有研究表明^[26,27],进入21世纪,全球和北半球气温一直处于减缓状态,全球气温甚至还稍有下降,而中国新疆地区从20世纪90年代后期就开始表现出降温趋势,且冬季降温趋势尤为明显,这表明新疆高空大气温度的变化过程绝非偶然现象,是对全球气候变暖减缓的响应,更是气候系统复杂性的内在体现。而新疆对流层中下层和地面温度10多年来表现出的下降趋势,是否意味着气候变化大趋势有所转变有待进一步深入调查和分析,而通过研究高空大气温度变化趋势来解读全球气候变暖减缓无疑为我们提供了一个新的视角。

4 结论

本文利用 Mann-Kendall 非参数检验法,对新疆1980~2013年高空大气温度的变化趋势、突变时间及二者的显著性进行分析,并对高空与地面温度的关系进行探讨,得到以下结论:

1) 30多年来,新疆对流层上层和平流层中下层年平均温度呈现出显著的下降趋势,对流层中下

层呈现显著的上升趋势,且对流层上层和平流层中下层的降温幅度大于对流层中下层的增温幅度。

2) 新疆高空温度变化存在明显的季节差异。对流层中下层和对流层上层温度的季节变化趋势与地面温度变化基本一致,为单峰结构,最高温出现在7月,最低温出现在1月。而平流层中下层年均温度的季节变化表现为不同的类型,它的峰值出现在2月。高空温度季节变化幅度也存在差异,对流层上层和平流层中下层在秋季和冬季降温幅度显著大于春季和夏季,而对流层中下层在春季和夏季的增温趋势更为明显。与对流层上层相比,平流层中下层和对流层中下层温度季节变化差异相对较小。

3) 新疆高空各个层的温度都在20世纪90年代初都发生显著性突变,晚于北半球地面温度的突变年份,早于相对应的地面温度突变时间。对流层中下层温度于20世纪80年代中期开始变暖,突变后上升幅度较大;对流层上层为过渡层,气温由上升趋势过渡为下降趋势,突变前后变化幅度较小;平流层中下层温度变冷趋势明显,且突变后温度下降幅度较大。

4) 新疆高空大气在不同层、不同时段和不同季节温度与地面温度的变化不同。对流层上层至平流层中下层和地面温度表现为相反的变化趋势,而对流层中下层和地面温度呈现一致的变化趋势,1980~2013年二者均呈显著的增温趋势,而1998~2013年二者的变暖趋势均减缓,甚至还表现为微弱的下降趋势,而这种下降趋势在冬季表现

尤为明显,说明10多年来,对流层中下层和地面温度的下降趋势主要在于冬季的降温。

参考文献 (References):

- [1] IPCC.Climate Change 2007:The Physical Science Basis[M]. Cambridge,UK:Cambridge University Press,2007.
- [2] IPCC.Climate Change 2013:The Physical Science Basis[M]. Cambridge,UK:Cambridge University Press,2013.
- [3] 孙炯,林振山.经验模态分解下中国气温变化趋势的区域特征[J].地理学报,2007,62(11): 1132-1141.[Sun Xian,Lin Zhenshan. The regional features of temperature variation trends over China by empirical mode decomposition method.Acta Geographica Sinica,2007,62(11):1132-1141.]
- [4] Oort A H,Liu H Z.Upper-air temperature trends over the globe, 1958-1989[J].J Clim.,1993,6:292-307.
- [5] Mears C A,Wentz F J.The effect of diurnal correction on satellite-derived lower tropospheric temperature[J].Science, 2005, 309:1548-1551.
- [6] Herman B M,Brunke M A,Pielke R A et al.Satellite global and hemispheric lower tropospheric temperature annual temperature cycle[J].Remote Sens.,2010,2:2561-2570.
- [7] Angell J K.Comparison of surface and tropospheric temperature trends[J].Geophys. Res. Lett.,1999,26 (17):2761-2764.
- [8] Melissa F,Seidel D J.Causes of differing temperature trends in radiosonde upper air data sets[J].J Geophys Res,2005,110: 7101-7115.
- [9] Guo Y J,Ding Y H.Long-term free-atmosphere temperature trends in China derived from homogenized in situ radiosonde temperature series[J].J Clim,2009,22:1037-1051.
- [10] 薛德强,谈哲敏,龚佃利,等.近40年中国高空温度变化的初步分析[J].高原气象,2007,26(1):141-149.[Xue Deqiang,Tan Zhe-min,Gong Dianli et al.Primary analyses of upper-air temperature changes in China in past 40 years.Plateau Meteorology, 2007,26(1):141-149.]
- [11] Shi Y F,Shen Y P,Kang E S et al.Recent and future climate change in Northwest China[J].Clim Change,2007,80:379-393.
- [12] Li B F,Chen Y N,Shen Y J.Why does the temperature rise faster in the arid region of northwest China?[J].J Geophys Res,2012, 117,D16115.doi.10.1029/2012JD017953.
- [13] 张广兴,赵玲,孙淑芳.新疆1961~2000年高空温度变化的若干事实及突变分析[J].中国沙漠,2008,28(5):908-914.[Zhang Guangxing,Zhao Ling,Sun Shufang.Analysis of some facts and abrupt change of upper air temperature in Xinjiang during 1961-2000.Journal of Desert Research,2008,28(5):908-914.]
- [14] Zhao B F,Xu J H,Chen Z S et al.Air Temperature Change in the Southern Tarim River Basin,China,1964-2011[J].Sci World J, 2013.doi.10.1155/2013/894851.
- [15] Chen Z S,Chen Y N,Xu J H et al.Upper-air temperature change trends above arid region of Northwest China during 1960-2009[J]. Theor Appl Climatol,2015,120(1-2):239-248.
- [16] 翟盘茂.中国历史探空资料中的一些过失误差及偏差问题[J].气象学报,1997,55(5):563-572.[Zhai Panmao.Some gross errors and biases in China's historical radiosonde data.Acta Meteorologica Sinica,1997,55(5):563-572.]
- [17] 李奇虎,马庆勋.1960~2010年西北干旱区极端降水特征研究[J].地理科学,2014,34(9):1134-1138.[Li Qihu,Ma Qingxun.Extreme precipitation features of arid regions in Northwest of China.Scintia Geographica Sinica,2014,34(9):1134-1138.]
- [18] 张克新,潘少明,曹立国.1961~2010年河西地区平均风速时空变化趋势分析[J].地理科学,2014,34(11):1104-1408.[Zhang Kexin,Pan Shaoming,Cao Liguu.Spatial and temporal trends of average wind speed in Hexi area in 1961-2010.Scintia Geographica Sinica,2014,34(11):1404-1408.]
- [19] 王建兵,王素萍,汪治桂.1971~2010年若尔盖湿地潜在蒸散量及地表湿润度的变化趋势[J].地理科学,2015,35(2):245-250.[Wang Jianbing,Wang Suping,Wang Zhigui.The variety characters of potential evapotranspiration and soil surface humidity index in the Zoige wetland in 1971-2010.Scintia Geographica Sinica,2015,35(2):245-250.]
- [20] Brocard E,Jeannet P,Begert M et al.Upper air temperature trends above Switzerland 1959-2011[J].J Geophys Res,2013, 118(10):4303-4317.
- [21] 谢潇,祁莉,何金海.1980~2009年中国东部上空高空温度变化特征[J].气候变化研究进展,2013,9(2):102-109.[Xie Xiao,Qi Li,He Jinhai.An analysis on upper-air temperature over Eastern China during 1980-2009.Advances in Climate Change Research,2013,9(2):102-109.]
- [22] 王冀,申红艳,张英娟,等.青海地区冬季气温年际变化及其成因分析[J].地理科学,2015,35(1):99-106.[Wang Ji,Shen Hongyan,Zhang Yingjuan et al.Interannual variability and its causes of winter temperature in Qinghai region.Scintia Geographica Sinica,2015,35(1):99-106.]
- [23] 姚俊强,杨青,胡文峰,等.天山山区空中水汽含量及与气候因子的关系[J].地理科学,2013,33(7): 859-864.[Yao Junqiang, Yang Qing,Hu Wenfeng et al.Characteristics Analysis of water vapor contents around Tianshan Mountains and the relationships with climate factors.Scintia Geographica Sinica,2013, 33 (7):859-864.]
- [24] 谢冰,张华.关于大气臭氧问题的主要研究进展[J].科学技术与工程,2014,14(8):106-114.[Xie Bing,Zhang Hua.Main progresses in the research on ozone.Science Technology and Engineering,2014,14(8):106-114.]
- [25] 王颖,任国玉.中国高空温度变化初步分析[J].气候与环境研究,2005,10(4):780-790.[Wang Ying,Ren Guoyu.Change in free atmospheric temperature over China during 1961-2004.Climatic and Environmental Research,2005,10(4):780-790.]
- [26] Kosaka Y,Xie S P.Recent global-warming hiatus tied to equatorial Pacific surface cooling [J].Nature,2013,501(7467):403-407.
- [27] Watanabe M,Shiogama H,Tatebe H et al.Contribution of natural decadal variability to global warming acceleration and hiatus[J]. Nat.Clim.Change,2014,4:893-897.

Upper-air Temperature Change of Xinjiang During 1980-2013

Bai Ling¹, Chen Zhongsheng^{1,2}, Wang Zujing¹, Zhao Benfu¹

(1. *Key Laboratory of Geographic Information Science, Ministry of Education, East China Normal University, Shanghai 200241, China*; 2. *State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, Xinjiang, China*)

Abstract: With the growing effect of global warming on the environment and socio-economic development, climate change research has become a hot topic and attracted broad attention from national government departments and the public. In its latest report for 2013, the IPCC has noted that the global mean surface temperature has increased by 0.85°C (0.65-1.06°C), and the annual average temperature from 2003 to 2012 increased by 0.78°C relative to 1850-1900, a period of nearly 130 years (in 1880-2012), indicating that rapid global warming is an indisputable fact. However, temperature changes are not limited to the earth surface, but are extending to the troposphere and the stratosphere which are important components of the Earth's climate system. Changes occurring at the surface, in the troposphere, and in the stratosphere are three main components of climate change. As an indispensable foundation for climate-change research, the determination on the change trend of upper-air temperature has quickly become one of the most important directions of climate-change research in recent years. In this study, based on the daily observed data from eight sounding stations in Xinjiang in 1980-2013, the change trends, abrupt change points, and their significance of upper-air temperature were analyzed using Mann-Kendall (MK) nonparametric test, and the relation between upper-air and surface temperature changes were also carried on a preliminary discussion. The results are indicated as follows: in last more than 30 years, patterns of statistically significant upper tropospheric and mid-lower stratospheric cooling and mid-lower tropospheric warming are clearly evident. The cooling rate in the upper troposphere and the mid-lower stratosphere was much more intensive than the warming rate in the mid-lower troposphere; Annual temperature cycle suggests that the peak temperature shifts from July in the troposphere to February in the mid-lower stratosphere, indicating the necessity of seasonal trend analysis. There were apparent seasonal differences in the upper-air temperature change, the cooling in the upper troposphere and mid-lower stratosphere in autumn and winter were larger than that in spring and summer, whereas the warming in the mid-lower troposphere was more pronounced during the spring and summer; Abrupt change points of upper-air temperature at three layers all occurred around the early 1990s, which were later than that of the hemisphere temperature, but earlier than that of the corresponding surface temperature; Surface temperature exhibited a significant correlation with mid-lower troposphere temperature, but a remarkable negative correlation with upper troposphere, the mid-lower stratosphere temperatures. Overall, the correlation between surface and mid-lower troposphere temperatures was the highest, followed by the mid-lower stratosphere and upper troposphere temperatures. Temperature changes of mid-lower troposphere and surface exhibited some differences in different periods and seasons, both of them presented warming trends during 1980-2013, while showed cooling trends during 1998-2013. Furthermore, the downward trend during 1998-2013 was more obvious in winter, which suggested that the winter cooling held a dominant position in the temperature descending of the mid-lower troposphere and surface in the last more than 10 years.

Key words: upper-air temperature; variation trend; abrupt change point analysis; Xinjiang