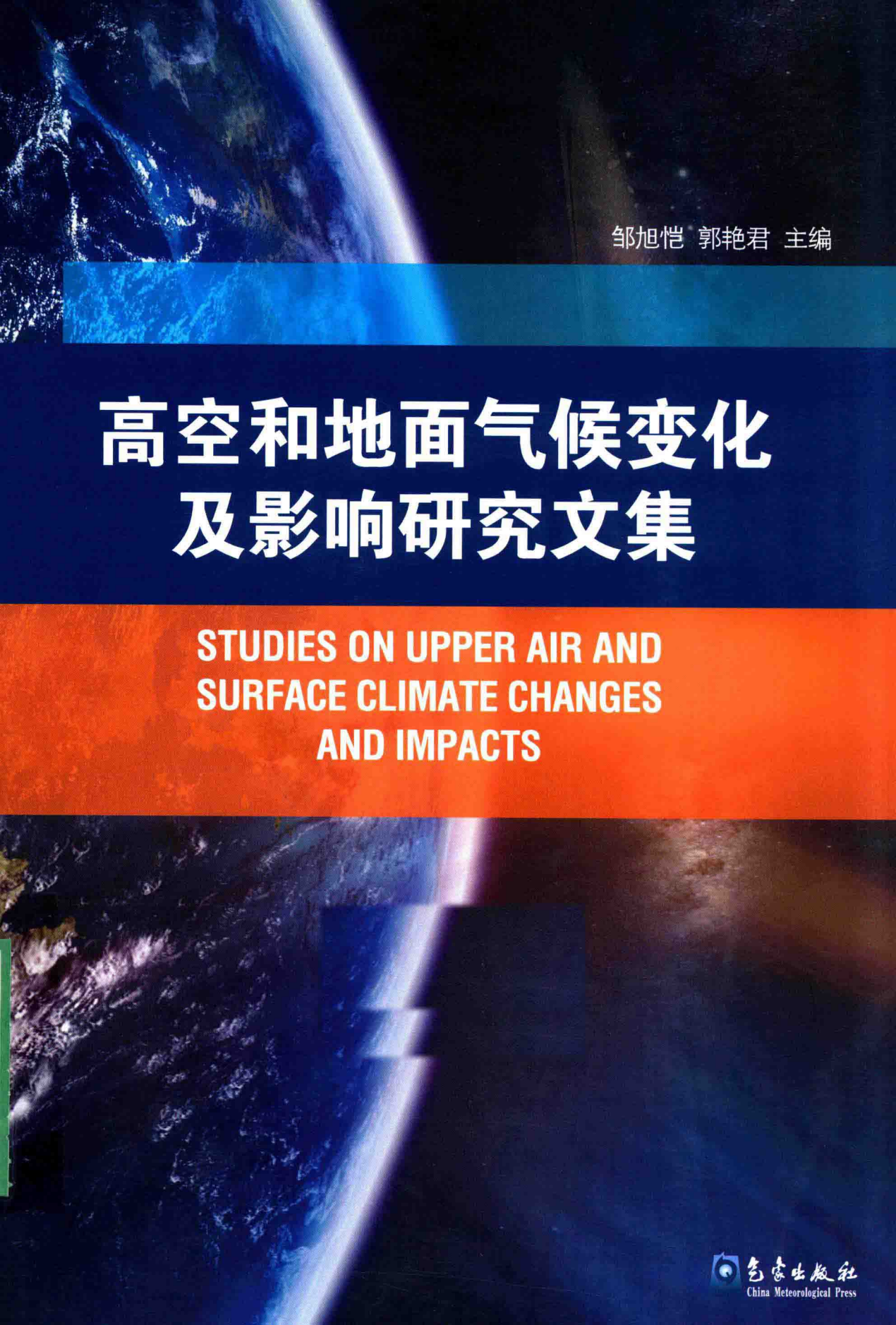


A composite background image featuring a satellite view of Earth from space, showing swirling cloud patterns and the curvature of the planet. A bright, diagonal light streak, possibly representing a satellite or a meteor, cuts across the upper half of the cover. The top half has a dark blue background, while the bottom half has a reddish-orange background.

邹旭恺 郭艳君 主编

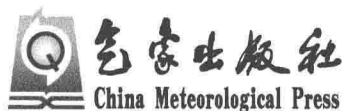
高空和地面气候变化 及影响研究文集

STUDIES ON UPPER AIR AND
SURFACE CLIMATE CHANGES
AND IMPACTS

高空和地面气候变化及 影响研究文集

STUDIES ON UPPER AIR AND SURFACE
CLIMATE CHANGES AND IMPACTS

邹旭恺 郭艳君 主编



内容简介

本文集收录了最近几年有关高空和地面气候变化及其影响研究的 18 篇论文。高空气候变化研究方面主要包括高空探空资料的均一化检验、高空大气温度变化趋势及其不确定性等研究以及最新研发的中国高空气候变化监测检测业务系统介绍。地面气候变化研究方面主要包括基于中国地面观测资料的极端温度、降水以及干旱、寒潮等重大天气气候事件变化特征分析,气候变化检测技术在中国和全球气候变化研究中的应用等,并提供了近些年在国家级和省级气候中心推广应用的中国极端天气气候监测业务系统介绍。

图书在版编目(CIP)数据

高空和地面气候变化及影响研究文集/邹旭恺,郭艳君编.
北京:气象出版社,2013.7

ISBN 978-7-5029-5750-6

I. ①高… II. ①邹… ②郭… III. ①气候变化-文集
IV. ①P467-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 169105 号

Gaokong he Dimian Qihou Bianhua ji Yingxiang YanJiu WenJi

高空和地面气候变化及影响研究文集

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室:010-68407112

网 址: <http://www.cmp.cma.gov.cn>

责任编辑:齐 翟

封面设计:易普锐创意

印 刷:北京京华虎彩印刷有限公司

开 本:787 mm×1092 mm 1/16

字 数:350 千字

版 次:2013 年 8 月第 1 版

定 价:45.00 元

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终 审:汪勤模

责任技编:吴庭芳

印 张:13.25

印 次:2013 年 8 月第 1 次印刷

《高空和地面气候变化及影响研究文集》

主 编 邹旭恺 郭艳君

成 员 (按姓氏笔画排序)

王遵娅	张 强	陈 阳	陈 峪
陈鲜艳	何文平	吴 慧	宗序平
胡经国	林建兴	高 荣	龚志强
翟盘茂	蔡元刚		

前 言

高空和地面气候变化及影响研究是气候变化研究的重点,越来越受到气象科学工作者的重视。国内外科学界已经发表了大量的有关高空和地面观测要素的气候变化特征、极端天气气候事件变化特征以及气候检测技术方法研究的论文。本文集旨在收录编著者们利用最新的高空和地面气象观测资料和新的检测技术做出的研究论文,进一步揭示我国气象资料质量状况,探索高空和地面气候变化的特征及其形成机理,为其影响评估和可预测性提供理论支持。

IPCC 的研究报告指出,“气候长期变化不仅表现为地表气象要素的长期变化,更表现为高层大气气象要素的长期变化和区域差异”。与地面气候一样,高空气候变化是气候变化研究中的重要组成部分。在高空资料中,探空资料具有时间序列长、垂直层次较多等优势,是了解气候变化规律和物理机制的重要途径,但受观测仪器和方法等的限制,探空资料的非线性和非平稳特征明显。本文集的第一部分收录了多篇关于大气探空资料均一化处理和探空温度变化特征的文章,意旨利用合适的气候检测方法和技术更有效地揭示探空资料所表征的高空气候变化的内在特征。文集第二部分收录了有关中国极端高(低)温、干旱、强降水和冰冻等有关极端气候事件监测、检测和评估方面的最新研究论文,特别关注在补充了最近几年的观测资料后,这些重大气候事件的气候变化特征,并对几个重大气象灾害事件,例如 2011 年长江中下游春旱、2012 年北京“7·21”暴雨做了初步分析和研究。另外,文集还分别介绍了基于地面气象观测资料的“中国极端天气气候事件监测业务系统”和基于高空探空资料的“中国高空气候变化监测检测业务系统”,这两个业务系统将极端事件监测、检测技术的科研成果转化为业务应用,分别实现了对地面观测的极端温度、降水和干旱等重大气候事件以及高空探空温度、风速、风向的气候变化特征的监测和检测,是新近建成的供业务和科研人员使用的业务平台。

本文集的出版得到了公益性行业(气象)专项“中国高空气候变化监测检测研究”(项目编号:GYHY200906014)、“中高纬外源强迫与大气环流的相互作用研究”(项目编号:GYHY200906023)和“最近三十年中国气候图集编制和气候区划

研究”(项目编号:GYHY201106017),以及科技部 973 课题“平流层异常过程与东亚区域天气气候的关系”(课题编号:2010CB428606)的资助。感谢中国气象科学研究院赵平研究员、翟盘茂研究员,中国气象局预报与网络司张强研究员对本文集出版给予的支持和帮助。

作者

2012 年 11 月 21 日

目 录

前言

第一部分 高空气候变化研究

中国东部地区高空温度的均一化订正及变化趋势研究·····	(3)
Impacts of reference time series on the homogenization of radiosonde temperature ·····	(12)
Long-term free atmosphere temperature trends in China derived from homogenized in situ radiosonde temperature series ·····	(29)
探空资料中的人为误差对中国温度长期变化趋势的影响·····	(51)
近 50 年我国探空温度序列均一化及变化趋势 ·····	(63)
中国高空气候变化监测检测业务系统介绍·····	(72)
近百年冬季阿留申低压强度的年际和年代际变化特征·····	(80)

第二部分 地面极端和主要气候事件变化及影响研究

Circulation system complex networks and teleconnections ·····	(95)
A new method for abrupt change detection in dynamic structures, nonlinear processes in geophysics ·····	(110)
全球变暖对高温破纪录事件规律性的影响·····	(130)
中国极端温度变化特征研究·····	(140)
区域性极端低温事件的识别及其变化特征·····	(146)
中国主要河流流域极端降水变化特征·····	(158)
利用综合干旱指数研究中国干旱变化特征·····	(165)
2011 年春季长江中下游春旱的气候特征及特点 ·····	(172)
北京 2012 年“7·21”特大暴雨强度特征分析·····	(182)
中国冰冻日数的气候及变化特征分析·····	(188)
中国极端天气气候事件监测业务系统介绍·····	(199)

第一部分 高空气候变化研究

中国东部地区高空温度的均一化订正及变化趋势研究

吴慧¹ 翟盘茂² 林建兴³

1. 海南省气候中心,海口 570203

2. 中国气象科学研究院,北京 100081

3. 海南省气象台,海口 570203

摘要:利用中国东部地区 60 个高空探测站资料,采用日夜温差对比和二相线性回归技术,结合元数据信息,对东部地区 60 个高空探测站不同等压面的温度序列进行检测和均一化订正,在此基础上,对其温度变化趋势进行了分析。结果表明:探空仪器变化和辐射订正方法改变是造成中国东部地区高空温度序列非均一性的主要原因,1966 年前后和 1999 年前后是两个较为可靠的间断点,且 1966 年前后的非均一性更突出。非均一性最明显的等压面主要在 100 hPa。1958—2005 年,500 hPa 以下等压面温度的上升趋势较订正前减弱,其中 850 hPa 的上升趋势减少 0.05 °C/10a,500 hPa 到 400 hPa 等压面温度的下降趋势较订正前增加 0.02~0.03 °C/10a,200 hPa 到 50 hPa 等压面温度的下降趋势较订正前趋缓,幅度减少 0.04~0.12 °C/10a。与 1958—2005 年相比,1979 年以来东部地区对流层各层温度增温趋势显著,而平流层底层降温趋势也更加显著,该时段内订正前后温度变化趋势差异较小。

关键词:高空温度 均一化 变化趋势 中国东部地区

1 引言

高空大气温度变化是当前气候变化研究中的热点之一,研究中最重要的是确定能反映真实变化的均一性序列。与地面资料相比,由于探空站分布稀疏,探空观测的仪器和方法变动频繁,高空观测涉及多个层次,难以准确地确定参照序列等原因,高空温度序列的订正更加困难。近年来,国外在高空温度序列的比较和校准方面有了很大提高,已有不少研究针对其非均一性利用多种方法(物理模式、统计方法、元数据检测和多指示因子法等)进行检测和订正(Lanzante,1996;Parker et al.,1997;Christy et al.,2000;Free et al.,2002;翟盘茂等,2006;Zhai et al.,1996;翟盘茂,1997),并以探空观测、卫星 MSU 和再分析资料为基础,形成了包括 LKS、Angell、IGRA、HadRT、HadAT、RATPAC、UAH、RSS 等在内的多套高空数据集(Lanzante et al.,2003a,2003b;Angell,2003;Thorne et al.,2005;Free et al.,2005;Durre et al.,2006)。目前,对于高空温度的变化趋势已经取得较为一致的定性结论,即近 50 年对流层低层温度趋于升高而平流层温度趋于下降,但研究结果依然存在较大的不确定性。如美国 NOAA(Angell,2003)、英国 UKMO(Free et al.,2002)和俄罗斯 RIHMI(Sterin,1999)等多家单位的研究结果表明,1958—1978 年全球对流层温度为下降趋势,降幅达 $-0.03\sim-0.08$ K/10a,而美国 NCEP(Seidel et al.,2004)的分析则认为 1958—1978 年全球对流层低层温度略有上升;Angell 对 1958—1998 年高空温度变化趋势的估计是全球对流层中层温度增温趋势为

(0.10 ± 0.09) K/10a, 对流层上层在热带地区有弱的增温趋势, 在热带外地区为下降趋势, 平流层底层为下降趋势, 幅度达 $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (Angell J K, 1999)。Free et al. (2005) 利用 RAT-PAC 资料分析的结果表明, 1979—2004 年全球对流层中层温度明显上升, 幅度大于 $0.1\text{ K}/10\text{a}$, 平流层温度下降幅度为 $-0.5 \sim -0.9\text{ K}/10\text{a}$ 。这主要是由于资料来源、资料覆盖区域和订正方法等的不同所造成。针对区域差异问题, 有学者建议在高空温度变化研究中, 要确定分区方法或根据研究对象不同选取数据, 建立相应数据集, Free et al. (2005) 根据研究区域的不同建立了 RATPAC-A 和 B 数据集很值得借鉴。在中国, 20 世纪 90 年代翟盘茂等通过日变化和相邻地区比较法揭示了中国高空温度的时空不均一性 (Zhai et al., 1996; 翟盘茂, 1997)。近年来国内研究人员也相继对中国高空温度变化作了一些研究 (王绍武等, 1996; 米季德等, 1999; 王丽琼等, 2001; 周宁芳等, 2003; 王颖等, 2005; 薛德强等, 2007), 但绝大多数研究并未对序列中存在的非均一性作出订正。郭艳君 (2008) 比较了不同时空样本选取和不同均一化方法对中国高空温度变化趋势的影响, 指出当提高资料质量造成站数减少时, 对流层升温和平流层降温将被削弱, 并且不同均一化方法对高空温度变化趋势的影响较大。本文利用日夜温差法、二相线性回归法等统计方法, 结合元数据信息, 通过检测和分析我国东部地区 60 个高空探测站的温度序列的非均一性原因, 对有元数据信息支持的非均一序列作出订正, 在此基础上, 比较了区域内不同等压面温度订正前后的变化趋势, 从一个新的角度探索了中国高空温度均一性订正方法。

2 资料和方法

原始资料: 本文中的原始资料来源于中国气象局国家气象信息中心气象资料室收集整理中国各省、市、自治区气候资料部门高空探测站 1951 年 1 月 1 日至 2005 年 12 月 31 日北京时间 08 时和 20 时逐日定时探空温度资料。翟盘茂 (1997) 指出, 我国高空温度序列在 1965 年前后的偏差与仪器更换后的辐射订正有关, 其订正是以日夜温差为基础的。考虑到我国东部地区日落时间比较早, 夜间 20 时的逐日定时探空温度资料受辐射影响少, 可以作为参考序列对 08 时的序列作出订正, 因此, 本文仅研究东部地区高空温度序列的订正和变化趋势检测。东部地区的划定以各高空站所在地的各月日落时间为标准, 当某站各月的日落时间都在北京时间 20 时之前, 确定为本研究中的东部区域, 共有 75 个探空站 (图 1), 其中有 4 个迁站点的资料已合并。对东部区域原始的定时观测值进行了初步的质量控制, 分别为气候极值检查和统计学检查。

气候极值检查中设定东部区域各层大气允许的最大和最小温度域值 (如表 1 所示), 如果数据超出域值范围, 则认为该数据错误。经检验, 08 时和 20 时各有 0.07% 的数据被检测出错误。统计学检查中利用东部区域各站点逐日定时观测温度的距平值与标准差的关系, 检验定时观测记录的可靠性。当 08 时或 20 时观测温度距平值的绝对值大于其 3 倍的标准差时, 认为该数据错误。经检验, 08 时和 20 时分别有 0.32% 和 0.31% 的数据被检测出错误。质量控制判定为错误的的数据作为缺测处理。经过初步质量控制后计算生成东部地区各站 8 个等压面 (850, 700, 500, 400, 300, 200, 100, 50 hPa) 08 时和 20 时的月平均温度序列。

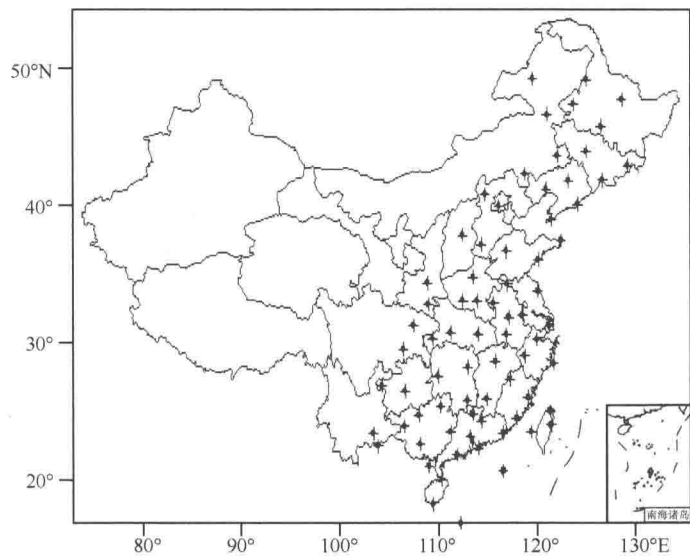


图 1 中国东部地区高空探测站分布图

表 1 各层大气允许的最大和最小温度域值

$P(\text{hPa})$	$T_{\min}(\text{℃})$	$T_{\max}(\text{℃})$
$P<300$	-100	0
$300\leq P<400$	-100	0
$400\leq P<500$	-90	5
$500\leq P<600$	-90	13
$600\leq P<700$	-90	20
$700\leq P<800$	-90	27
$800\leq P<900$	-90	34

序列的非均一性检测方法:首先利用 E-P 检验方法(二相线性回归法)检测出各站不同等压面的可疑间断点,然后结合元数据信息确定可靠的间断点。具体做法是将夜间 20 时平均温度序列作为参照序列(即是均一序列),通过检测 08 时不同等压面月平均序列 X_i 与 20 时不同等压面月平均参照序列 Y_i 的差值序列 Z_i 进行线性回归,并计算其剩余方差和 RSS_1 ;对整个差值序列在某检查点处进行二相线性回归,并计算其剩余方差和 RSS_2 ;利用统计量 $U=[(RSS_1-RSS_2)/3]/[RSS_2/(n-4)]$ 对二相回归的显著性进行检验,同时利用 t 检验对检查点前后的均值差异显著性进行检验,确定不同等压面可能的不连续点。在可能的不连续点处把序列断开,重新进行上述步骤找出所有可能不连续点。分别统计检测出各站各等压面所有月份和年的间断点在各年份中出现的频次,当某站高层 300 hPa 至 50 hPa 或低层 850 hPa 至 400 hPa 有任意两层或两层以上层在某年检测出较多的间断点,而且该年前后一年有探空仪器换型或辐射订正改革或观测时间变化等元数据信息支持时,确定该年为可靠的间断点。根据该方法,共检测出 60 个站的高空温度序列存在非均一性。

序列的非均一性订正方法:以 08 时月平均温度序列与 20 时月平均温度序列的差值序列在可靠间断点前后的偏差来订正 08 时月平均序列在该间断点前的序列。对于某站 08 时月平均气温序列的订正,先从最晚年份的间断点开始往前订正,以该年份之后的 08 时和 20 时的差

值序列的平均值减去该年份之前至上一个间断点年份的序列平均值,所得的均值偏差作为该间断点年份之前至上一个间断点年份的 08 时序列的订正值。第二个间断点之前序列的订正也依此类推。逐步订正完所有的间断点之前的 08 时序列后,再计算订正后的各站各等压面的月、年平均温度序列。

由于东部地区未检测出间断点的 15 个站缺测率较高,因此,分析时仅选取了检测出间断点的 60 个站。东部地区各等压面温度距平序列通过计算东部地区这 60 个台站历年各层温度距平的算术平均值获得,其中各站气候平均值取 1971—2000 年平均值。

序列的变化趋势检验利用线性倾向估计方法。

3 中国高空温度资料非均一性情况

图 2 是 E-P 检验方法检测出的东部地区各等压面各月 and 年可疑间断点的统计图,图中有 3 个高峰值年,其中 1966 年是最高峰值年,2000 年是第二高峰值年,1972 年是第三高峰值年,但 2000 年和 1972 年的峰值比较接近。图 3 是检测出的东部地区年间断点的统计图,图中 3 个高峰值年没有变化,只是 2000 年的峰值比 1972 年的峰值突出。从高空资料历史沿革信息知,20 世纪 60 年代我国探空仪器换型,1966 年初开始统一对新仪器进行辐射订正,1999 年 7 月 1 日后进行新的辐射订正改革。可见,中国东部地区高空温度序列的非均一性在探空仪器

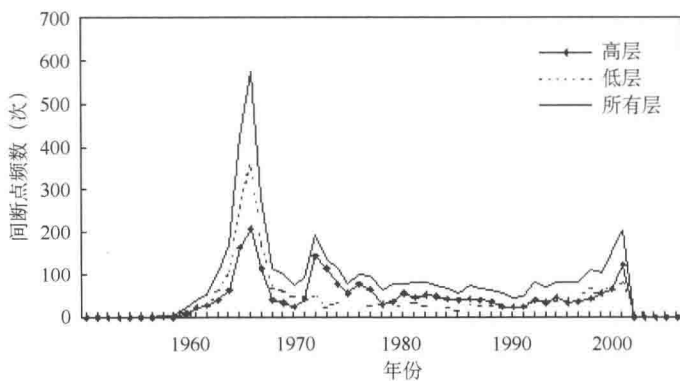


图 2 东部区域高空 8 个等压面各月及年间断点统计

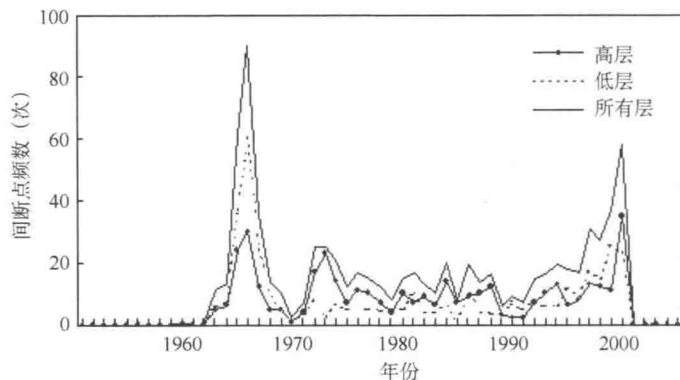


图 3 东部区域高空 8 个等压面年间断点统计

变化和辐射订正方法变化的关键年份都有体现。值得注意的是迁站对序列的非均一性没有影响。研究资料中有四个站(上海龙华站、浙江大陈岛站、广东广州站和广西涠洲岛站)分别于1991年、1991年、1996年和1990年迁站。把迁站前后的序列合并在一起用E-P检测其非均一性,发现这些站的序列在迁站年前后没有出现间断点,但在1965年、1999年和2000年出现了较多的间断点。这说明,探空仪器变化和辐射订正方法变化是造成中国东部地区高空温度序列的非均一性的主要原因,而迁站的影响甚小。

4 中国东部地区高空温度订正情况

按照上述序列的非均一性间断点确定方法,确定出我国东部地区共有60个探空站出现较为可靠的间断点,主要的年份在1966年前后和1999年前后。绝大部分站点出现1个或2个间断点,个别站出现3个间断点(20世纪60年代初期、20世纪60年代中期和20世纪90年代末期)。在E-P检测出的间断点中,虽然1972年前后也是出现比较多的年份,但主要是在300 hPa的高层,由于原因不明,没有确定为可靠的间断点。

对订正后的各站各等压面各月和年的08时序列与20时序列分别绘制出曲线,与未订正前两个时次的变化曲线相比较,结果表明,订正后的序列非均一性基本上都有不同程度的改善,而且1966年之前的改善程度较高。在1966年前后和1999年前后的两个间断点中,1966年前后的间断点订正幅度相对较大,100 hPa层订正幅度较大的站一般有 $1\sim 2\text{ }^{\circ}\text{C}$,50 hPa层订正幅度较大的站在 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,最大的达到 $-4.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ (四川重庆站5月50 hPa),1999年前后的间断点订正幅度相对较小,最大的仅为 $-1.38\text{ }^{\circ}\text{C}$ (吉林延吉站2月50 hPa)。图4和图5是订正前后的北京站08时(实线)和20时(虚线)100 hPa年平均温度序列变化,1965年订正值 $-1.33\text{ }^{\circ}\text{C}$,1999年订正值 $0.35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

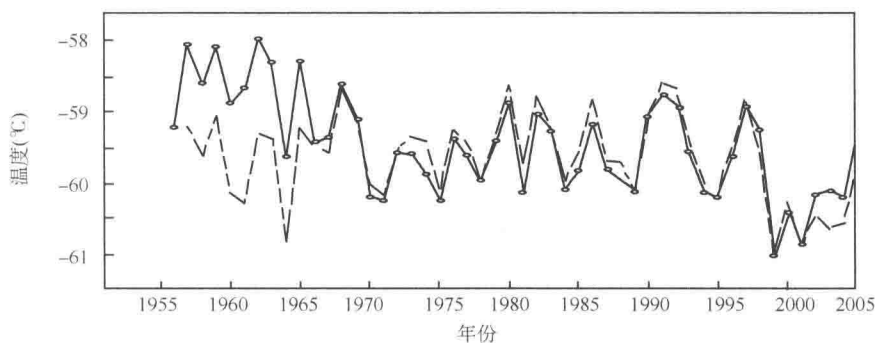


图4 北京站(50557) 08时(实线)和20时(虚线)100 hPa年平均温度序列变化(订正前)

把订正后的08时与20时的差值序列再用E-P检测,其间断点明显减少(图略)。如订正前东部地区8个等压面各月及年的间断点在1966年为574个,订正后仅余107个,订正后检测出的间断点仅为订正前的18.6%;2000年的间断点在订正前为204个,订正后仅为23个,订正后检测出的间断点仅占订正前的11.3%;1972年前后的间断点虽然没有订正,但经过1966年前后和1999年前后的序列订正,对1972年前后的非均一性也有一定改善,订正前1972年的间断点为194个,订正后为112个,订正后的间断点仅占订正前的58.0%。而东部

地区 8 个等压面的年间断点在订正后也有改善:订正前 1966 年的间断点为 90 个,订正后余 20 个,订正后的间断点仅为订正前的 22.2%;订正前 2000 年的间断点为 58 个,订正后余 23 个,订正后的间断点仅为订正前的 19.0%;订正前 1972 年的间断点为 25 个,订正后余 17 个,订正后的间断点为订正前的 68.0%。这也从一个侧面说明了订正后序列的非均一性减少了。

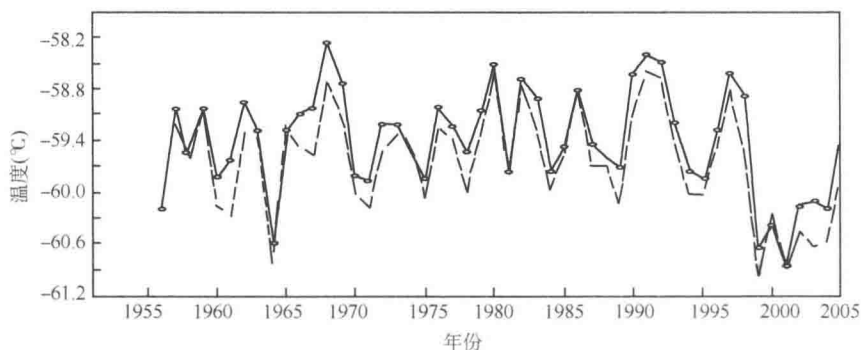


图 5 北京站(50557)08 时(实线)和 20 时(虚线)100 hPa 年平均温度序列变化(订正后)

5 中国东部地区高空温度变化趋势分析

图 6 为 1958—2005 年和 1979—2005 年东部地区 60 个站不同等压面订正前后的年平均温度距平变化趋势垂直廓线。可以看出,1958—2005 年,订正后 500 hPa 到 400 hPa 等压面温度的下降趋势加大,增大值为 $0.02 \sim 0.03 \text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$;而 300 hPa 到 50 hPa 等压面温度的下降趋势趋缓比较明显,特别是 50 hPa 下降趋势由订正前的 $-0.24 \text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 变为订正后的 $-0.12 \text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,下降趋势减少 $0.12 \text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,100 hPa 由订正前的 $-0.27 \text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 变为订正后的 $-0.20 \text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,下降趋势减少 $0.07 \text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$;500 hPa 以下等压面温度的上升趋势也减弱,850 hPa 相对明显,由订正前的 $0.09 \text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 变为订正后的 $0.04 \text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,上升趋势减少 $0.05 \text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。从不同纬度带看,情况也基本一致,但 30°N 以南的热带和亚热带偏南地区 500 hPa 以下等压面温度在订正后由弱的上升趋势变为弱的下降趋势, $30^{\circ} \sim 40^{\circ}\text{N}$ 的亚热带偏北地区和暖温带地区和 40°N 以北的温带地区仍为上升趋势,其中 40°N 以北地区上升趋势在订正后减弱更多,由原来的 $0.16 \text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 变为订正后的 $0.11 \text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (图略)。

与 1958—2005 年相比,1979—2005 年东部地区对流层各层温度增温趋势显著,而平流层底层降温趋势也更加显著。1979—2005 年订正后 700 hPa 到 400 hPa 等压面温度上升趋势略有增强,一般增加 $0.01 \sim 0.02 \text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$;300 hPa 以后一般下降趋势增强,其中 200 hPa 到 50 hPa 等压面温度下降趋势增加 $0.01 \sim 0.02 \text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,300 hPa 由 $0.01 \text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的上升趋势变为 $-0.02 \text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的下降趋势。

订正后的结论与王颖等(2005)利用中国区域未订正序列计算的不同等压面的温度变化趋势基本相似,但在变化趋势的数值上有所减小。上述的订正结果与郭艳君(2008)的订正结果不尽相同。相同之处在于订正后 1958—2005 年序列在 100 hPa 的降温趋势均被明显削弱,不同之处在于在 1979—2005 年序列的变化趋势上,其结果显示订正后 200 hPa 和 100 hPa 的降温趋势增强,400 hPa 和 500 hPa 的趋势因为订正处理而降低。郭利用的是两相回归法

和 NCEP 再分析资料均一化处理中国 116 个探空站高空温度资料。这说明了即使原始资料和订正方法相同,不同参考序列和不同区域的选取对高空温度变化趋势的估计也有较大影响。

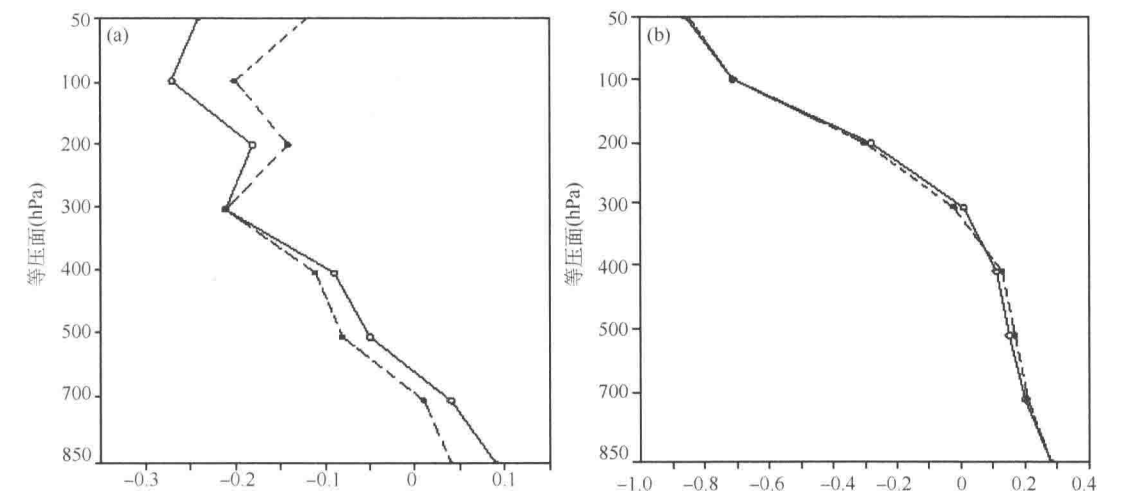


图 6 中国东部地区探空温度原始序列与订正后序列趋势平均廓线
(a)1958—2005 年;(b)1979—2005 年

表 2 1958—2005 年东部地区 60 个站不同等压面温度变化趋势(黑体数字表示变化趋势超 0.05 显著性检验)

等压面 (hPa)	订正前线性变化 趋势系数 r	订正后线性变化 趋势系数 r	订正前变化倾向 率($^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)	订正后变化倾向 率($^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)
50	-0.29	-0.14	-0.24	-0.12
100	-0.51	-0.39	-0.27	-0.20
200	-0.57	-0.48	-0.18	-0.14
300	-0.53	-0.52	-0.21	-0.21
400	-0.28	-0.32	-0.09	-0.11
500	-0.17	-0.24	-0.05	-0.08
700	-0.17	-0.04	0.04	0.01
850	0.31	0.13	0.09	0.04

6 中国东部地区 850 hPa 等压面变化趋势与地面温度变化趋势对比

利用中国东部地区 60 个探空站 1000 hPa 的年平均温度距平曲线代表地面年平均温度距平曲线,与订正后的 850 hPa 等压面距平曲线相比较,两者同为线性增加趋势,并且具有相似的年代际变化,但地面年平均温度呈显著的增加趋势,达到 $0.18\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,而 850 hPa 仅为弱的增温趋势,增加的倾向率为 $0.04\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。从不同纬度带比较,也是类似的情况,并且纬度越低的地区增温幅度越小(表 3),符合前人的研究结论(王颖等,2005)。说明地面温度的增温在对流层低层也有反映,只是增温幅度被明显削弱。

表 3 1958—2005 年东部地区不同纬度带地面和 850 hPa 温度变化比较(黑体表示变化趋势超 0.05 显著性检验)

高度层	40°N 以北变化倾向率(℃/10a)	30°~40°N 变化倾向率(℃/10a)	30°N 以南变化倾向率(℃/10a)
850 hPa	0.11	0.06	0.00
地面	0.26	0.22	0.12

7 结论和讨论

本文的研究表明,探空仪器变化和辐射订正方法变化是造成中国东部地区高空温度序列非均一性的主要原因。利用日夜温差进行对比,结合元数据信息,采用二相线性回归技术对我国东部地区 60 个高空探测站的温度序列进行检测和订正,可以减少各层高空温度序列的非均一性。订正后,不同等压面温度线性趋势基本不变,但在数值上有较大变化。1958—2005 年间,订正后 500 hPa 到 400 hPa 等压面温度的下降趋势加大,300 hPa 到 50 hPa 等压面温度的下降趋势和 500 hPa 以下等压面温度的上升趋势均减弱,50 hPa 和 100 hPa 尤为明显。1979—2005 年订正前后各层变化趋势值差异较小。利用订正后的序列分析得出以下结论:1958—2005 年,中国东部地区高空温度变化趋势与全球、北半球和我国温度变化趋势相似,基本上在对流层低层为弱的上升趋势,在平流层低层为显著下降趋势。与 1958—2005 年相比,1979—2005 年东部地区对流层各层温度增温趋势显著,而平流层底层降温趋势也更加显著。说明由于 20 世纪 70 年代以前我国高空温度资料的明显不均一性,对东部地区对流层低层的增温趋势和平流层的底层的降温趋势可能存在高估的情况。

中国高空温度的订正是一个非常复杂的问题。本研究中,由于检测方法的局限性,E-P 法无法检测出短时间内频繁发生的不均一的特点,所以一些台站 20 世纪 50 年代和 21 世纪初资料的可能的不均一没有考虑,在一定程度上影响了温度变化的趋势分析。未来需要尝试新的检测方法和收集更多的元数据信息,对数据进行更为合理的订正。还可以结合再分析资料,譬如均一化质量相对好于 NCEP 的 ERA-40 资料(黄刚,2006)建立参考序列,进行订正。综合不同订正方法建立的数据集,分析其变化趋势,或许可以在一定程度上减少我国高空大气温度变化趋势的不确定性。

参 考 文 献

郭艳君,丁一汇. 2008. 近 50 年我国探空温度序列均一化及变化趋势. 应用气象学报, **19**(6):646-654.

郭艳君. 2008. 高空大气温度变化趋势不确定性的研究进展. 地球科学进展, **23**(1):24-30.

黄刚. 2006. NCEP/NCAR 和 ERA-40 再分析资料以及探空观测资料分析中国北方地区年代际气候变化. 气候与环境研究, **11**(3):310-320.

米季德,崔继良,曹鸿兴. 1999. 北京高空温度的统计特征. 气象学报, **57**(2):236-241.

王丽琼,张立凤. 2001. 台北高空气象要素年变化特征分析. 气象科学, **21**(2):193-199.

王绍武,朱锦红,裘伟光. 1996. 北半球及中国上空自由大气温度的变化. 气候变化规律及其数值模拟研究论文,北京:气象出版社:12-16.

王颖,任国玉. 2005. 中国高空温度变化的初步分析. 气候与环境研究, **10**(4):780-790.

薛德强,谈哲敏,龚佃利,等. 2007. 近 40 年中国高空温度变化的初步分析. 高原气象, **26**(1):141-149.