

六盘水市夜间异常增温的研究

孙翔, 毛春旭, 夏阳, 张润琼, 肖艳林

贵州省六盘水市气象局, 贵州 六盘水
Email: 3203005850@qq.com

收稿日期: 2021年6月25日; 录用日期: 2021年7月23日; 发布日期: 2021年7月29日

摘要

利用CIMISS地面观测资料和美国国家环境预报中心(NCEP) $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 再分析资料, 统计2010~2019年间六盘水市三个国家站(水城、盘州、六枝)夜间(20时至次日05时)增温现象, 共得增温达 2°C 以上个例109个, 其中 5°C 以上的强增温个例19个, 重点分析19个夜间强增温个例对应的20时和次日02时从500 hPa到地面的天气形势和系统, 详细列举出20~05时之间气温、气压、风向风速、湿度、地温等物理量的变化, 并基于热力学能量方程对造成局地温度变化的各项进行定量计算。结果表明, 夜间强增温现象时间分布表现为集中在冬春两季, 空间分布表现为多出现在盘州站。500 hPa到地面的系统配置都揭示了滇黔准静止锋的存在。84.2%的强增温过程中出现了气压下降的现象, 而63.2%的过程中气压下降比气温上升提前1小时以上。近地面单层大气本身的温度平流对夜间升温基本上起正贡献作用, 平均贡献率约占10%。低层大气的垂直运动项的贡献率最小, 且贡献正负不明确。贡献率最大的是非绝热项, 占了近90%的贡献率。

关键词

夜间增温, 准静止锋, 暖平流, 非绝热项

Research on Abnormal Temperature Increase at Night in Liupanshui

Xiang Sun, Chunxu Mao, Yang Xia, Runqiong Zhang, Yanlin Xiao

Liupanshui Meteorological Bureau of Guizhou, Liupanshui Guizhou
Email: 3203005850@qq.com

Received: Jun. 25th, 2021; accepted: Jul. 23rd, 2021; published: Jul. 29th, 2021

Abstract

Based on the ground observation data from CIMISS and the data from National Centers for Envi-

ronmental Prediction (NCEP) $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ reanalysis, Statistics of temperature increase at night (20:00 to 05:00 the next day) at three national stations (Shuicheng, Panzhou, and Liuzhi) in Lipanshui from 2010 to 2019 shows that there are 109 temperature increase cases above 2°C , 19 of which are strong warming above 5°C . The focus is on analyzing the weather situation and system from 500 hPa to the ground at 20:00 and 02:00 of the next day corresponding to 19 cases of strong warming at night. It enumerates the changes in temperature, air pressure, wind speed, humidity, ground temperature and other physical quantities from 20:00 to 05:00 the next day, and quantitatively calculates the various items that cause local temperature changes based on the thermodynamic energy equation. The results show that the time distribution of the strong night temperature increase is concentrated in winter and spring, and the spatial distribution is mostly in Panzhou Station. The system configuration from 500 hPa to the ground reveals the existence of the Yunnan and Guizhou quasi-stationary front. In 84.2% of the strong warming process, the air pressure dropped, and in 63.2% of the process, the air pressure dropped more than 1 hour earlier than the temperature rise. The temperature advection of the single layer of atmosphere near the ground basically makes a positive contribution to the night temperature rise, with an average contribution rate of about 10%. The contribution rate of the vertical motion term in the lower atmosphere is the smallest, and the contribution is unclear. The largest contribution rate is the non-adiabatic term, which accounts for nearly 90% of the contribution rate.

Keywords

Temperature Increase at Night, Quasi-Stationary Front, Warm Advection, Diabatic Heating

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

气温要素是短期天气预报中非常重要的项目, 其与工农业的生产、政府机构等活动的开展、市民的生活均息息相关[1] [2] [3]。地气系统的根本能量来源是太阳, 一般来说太阳落山后, 地面测站因为失去太阳的短波辐射气温都会开始下降, 在日出前后气温达到最低[4], 这个过程中气温会有小波动, 但总体趋势一般都是下降的。然而预报员在实际工作中发现, 有时测站的气温会在夜间有相当大幅度的增加, 有些气温增幅达 2°C 以上, 极少数甚至能达 5°C 以上。这给本地的生产生活造成了一定影响, 同时也不利于预报员的气温预报, 因此有必要对造成此现象的天气学机理进行研究。

目前国内在气象上针对夜间增温现象的研究较少。罗然等对北京一次罕见突发性强增温事件的研究表明高原地区相对于平原地区的高位温、强下沉运动、强湍流混合作用共同造成了这次夜间急剧增温事件[5]。黄少妮等利用 WRF 及其耦合单层城市冠层模式对 2012 年 12 月 4 日夜间西安地区温度异常演变的天气过程进行模拟分析, 结果表明冷空气推动锋前暖空气从高海拔地区到达关中平原的下沉增温效应、因秦岭地形的阻挡使锋前暖空气被急剧压缩以及城市热岛效应共同造成了此次夜间异常增温过程[6]。甘茹蕙等利用兰州大学半干旱气候环境观测站近地面气象观测塔的数据, 统计 2007 和 2008 年发生在兰州地区的夜间突发性增温事件, 结果表明夜间增温事件发生在冬三月的概率最大(33.5%), 夏三月的概率最小(17.9%), 所有的夜间增温事件中发生凌晨的次数较多、幅度较大, 且得出强冷锋易产生大幅夜间增温事件的结论[7]。李亚中利用抚顺章党观测站 2011 年 12 月到 2012 年 1 月的气象观测资料和 MICAPS 资料, 结合温度变化方程, 对 1000 hPa、925 hPa、850 hPa、700 hPa 四个层面的非绝热变化项进行对比分

析, 结果表明任意两层有比较低的温度露点差、任意一层有比较低的温度露点差且此层上有比较大的水汽压、08 时每一层上都有比较低的温度露点差这 3 种情况有利于夜间百叶箱温度的上升[8]。这些前人的成果多是针对单次过程或单个站点进行的细致研究, 且范围集中在北方地区, 目前尚未有针对西南地区此类现象的研究。本文计划增加样本数量, 找出一定时间跨度内(2010~2019 年)六盘水市多次夜间增温现象的共性。

2. 资料和方法

本文地面资料(逐小时气温、地温、气压、相对湿度、水汽压、风向、风速等)采用六盘水市三个国家站(水城站、盘州站、六枝站) 2010~2019 年的 CIMISS 地面观测资料, 高空资料(500 hPa、700 hPa、850 hPa 的风场、气压场、温度场)采用 NCEP 再分析资料(分辨率 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$)。

本文选取夜间增温的标准是当日 20 时至次日 05 时之间(保证过程处于日落后日出前, 排除太阳短波辐射影响)气温在某个时间段内累计增幅达 2°C 以上, 其中增幅达 5°C 以上记为强增温过程。

统计结果表明, 2010~2019 年, 三个站达到夜间增温标准($\geq 2^{\circ}\text{C}$)的个例共计 109 个(发生在同一日不同站点的个例记为不同个例), 其中夜间强增温($\geq 5^{\circ}\text{C}$)的个例共计 19 个。

本文重点分析 19 个强增温个例, 分析其从地面到 500 hPa 各层环流特征和物理量配置, 总结出其中的共性。

3. 夜间增温现象的时空分布

经统计, 2010~2019 年, 六盘水市三个国家站达到夜间增温标准($\geq 2^{\circ}\text{C}$)的个例共计 109 个, 其中强增温($\geq 5^{\circ}\text{C}$)的个例共计 19 个。

如表 1 所示, 109 个夜间增温个例($\geq 2^{\circ}\text{C}$)中, 水城站有 33 例, 盘州站 59 例, 六枝站 17 例。而在 19 个强增温个例($\geq 5^{\circ}\text{C}$)中, 水城站 2 例, 盘州站 16 例, 六枝站 1 例。夜间增温现象最多出现在盘州站, 水城站其次, 六枝站最少。夜间强增温现象集中在盘州站的特征更显著。

如表 2 所示, 109 个夜间增温个例中有 65 个出现在冬季(12 月、1 月、2 月), 其次是春季(3 月、4 月、5 月), 有 33 个。出现在秋冬两季的个例很少。而在 19 个强增温个例中, 有 13 个出现在冬季, 无一例出现在夏季。

统计结果表明, 六盘水市夜间增温现象大部分出现在盘州站, 季节上最多出现在冬季, 其次是春季。需要指出的一点是在 109 个夜间增温个例中, 只有 5 对个例出现在同一日, 而 19 个夜间强增温个例全部发生在不同日期, 说明夜间增温尤其是强增温现象有很强的局地性。

Table 1. The station distribution of night temperature increase

表 1. 夜间增温现象的站点分布

	水城	盘州	六枝
增温个例数($\geq 2^{\circ}\text{C}$)	33	59	17
强增温个例数($\geq 5^{\circ}\text{C}$)	2	16	1

Table 2. The month and season distribution of night temperature increase

表 2. 夜间增温现象的月份、季节分布

	冬季			春季			夏季			秋季		
	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月
增温个例数($\geq 2^{\circ}\text{C}$)	20	17	28	15	14	4	0	0	1	0	1	9
强增温个例数($\geq 5^{\circ}\text{C}$)	3	5	6	2	1	1	0	0	0	0	0	1

4. 天气背景

图 1 对 19 个夜间强增温个例 20 时的从中层大气到地面的相关资料进行平均处理。图 1(a) 中 500 hPa 平均形势图上看, 印度东北部有一弱南支槽, 副高 588 线位于南海至中南半岛, 中纬度影响我国的是一致的西北气流, 冷平流影响我国大部分地区。500 hPa 上影响贵州省的是较一致偏西风和弱冷平流。对 19 个夜间强增温个例依次进行分析后发现, 500 hPa 上环流型有阻高横槽型(6 个)、一脊一槽型(4 个)、多槽脊型(3 个)和两槽一脊型(6 个)。根据《贵州省预报员手册》及一些前人的研究成果[9] [10], 这些天气型的天气背景的共同点是冷空气主体或冷空气前沿已影响贵州省, 地面图上贵州北部至云南东部有冷锋或滇黔静止锋影响。

图 1(b)、图 1(c) 对 19 个强增温个例对应的当天 20 时 700 hPa 和 850 hPa 的风场、温度场以及相对湿度场做了平均处理。如图 1(b) 所见, 当天 20 时 700 hPa 上越南北部 - 滇黔之间 - 川中为一温度脊控制, 脊线位于滇黔之间, 且盛行西南风。六盘水市除西南部边缘外大部处于温度脊前, 受弱暖平流影响。不同于 700 hPa, 图 1(c) 中 850 hPa 上温度脊线更偏西, 位于滇西附近, 滇黔之间等温线较密集, 相对湿度梯度较大, 且风场上有较明显的风向辐合。而这些特征在图 1(d) 地面图上表现得更加明显, 地面图上滇中附近有一暖中心, 滇黔之间有很明显的等温线密集区、相对湿度梯度大值区和风场辐合带。这些都说明当夜间强增温现象发生时, 滇黔之间由地面到 850 hPa 之上存在一个锋区, 结合之前的结论夜间强增温现象绝大多数发生在冬春两季来看, 这个锋面系统是滇黔准静止锋。

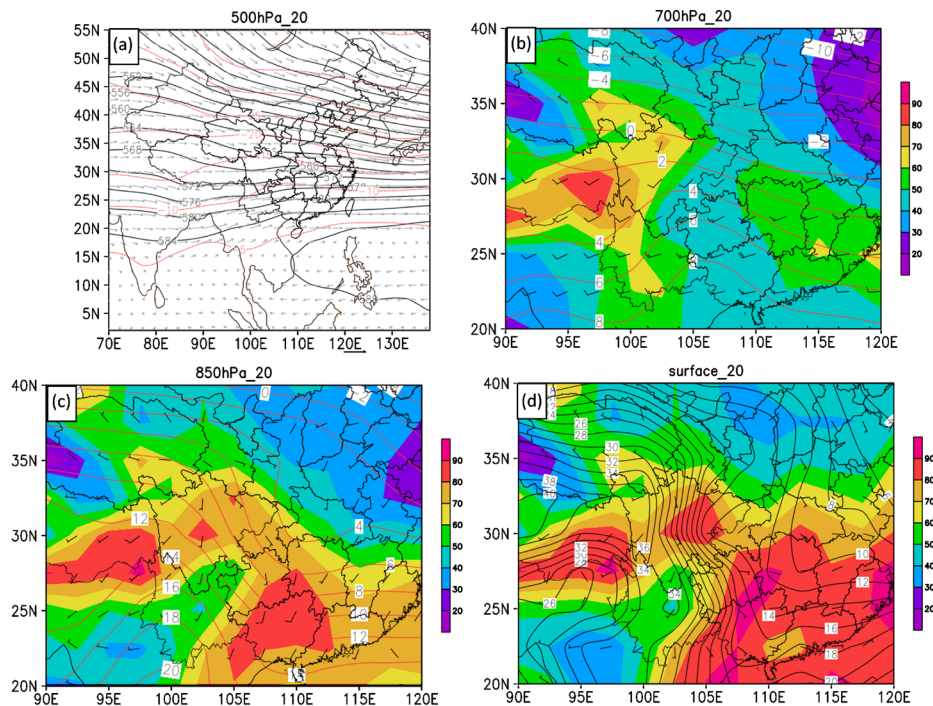


Figure 1. (a) The mean geopotential height field of 500 hPa (black contour), the mean temperature field of 500 hPa (red contour) and the mean wind field of 500 hPa (arrow) at 20:00; (b) The mean temperature field of 700 hPa (red contour), the mean wind field of 700 hPa (wind shaft) and the mean relative humidity field of 700 hPa (shadow) at 20:00; (c) The mean temperature field of 850 hPa (red contour), the mean wind field of 850 hPa (wind shaft) and the mean relative humidity field of 850 hPa (shadow) at 20:00; (d) The mean potential temperature field (red contour), the mean wind field on the ground (wind shaft) and the mean relative humidity field on the ground (shadow) at 20:00

图 1. (a) 20 时 500 hPa 平均高度场(黑色等值线)、平均温度场(红色等值线)、平均风场(箭头); (b) 20 时 700 hPa 平均温度场(红色等值线)、平均风场(风向杆)、平均相对湿度场(阴影); (c) 20 时 850 hPa 平均温度场(红色等值线)、平均风场(风向杆)、平均相对湿度场(阴影); (d) 20 时平均位温场(红色等值线)、地面平均风场(风向杆)、地面平均相对湿度场(阴影)

5. 物理量分析

5.1. 中低空和地面的温度平流及垂直运动

图 2 中分别对 19 个夜间强增温个例中西南地区 20 时和 02 时 700 hPa、850 hPa、地面的温度/位温平流场做了平均处理，西南地区多山地，测站海拔高度变化大，不同测站间比较气温意义不大，所以选择研究位温的分布情况。

700 hPa 上 20 时贵州全境几乎都是暖平流控制，到次日 02 时，贵州西部已转为冷平流。与 700 hPa 正好相反，20 时地面图上贵州仍是由冷平流控制，到 02 时则转为暖平流。而 850 hPa 上 20 时至次日 02 时始终是暖平流控制。夜间强增温现象发生时，西南地区由一个自地面到 700 hPa 向冷区倾斜的系统控制，这样的垂直配置与准静止锋一致。

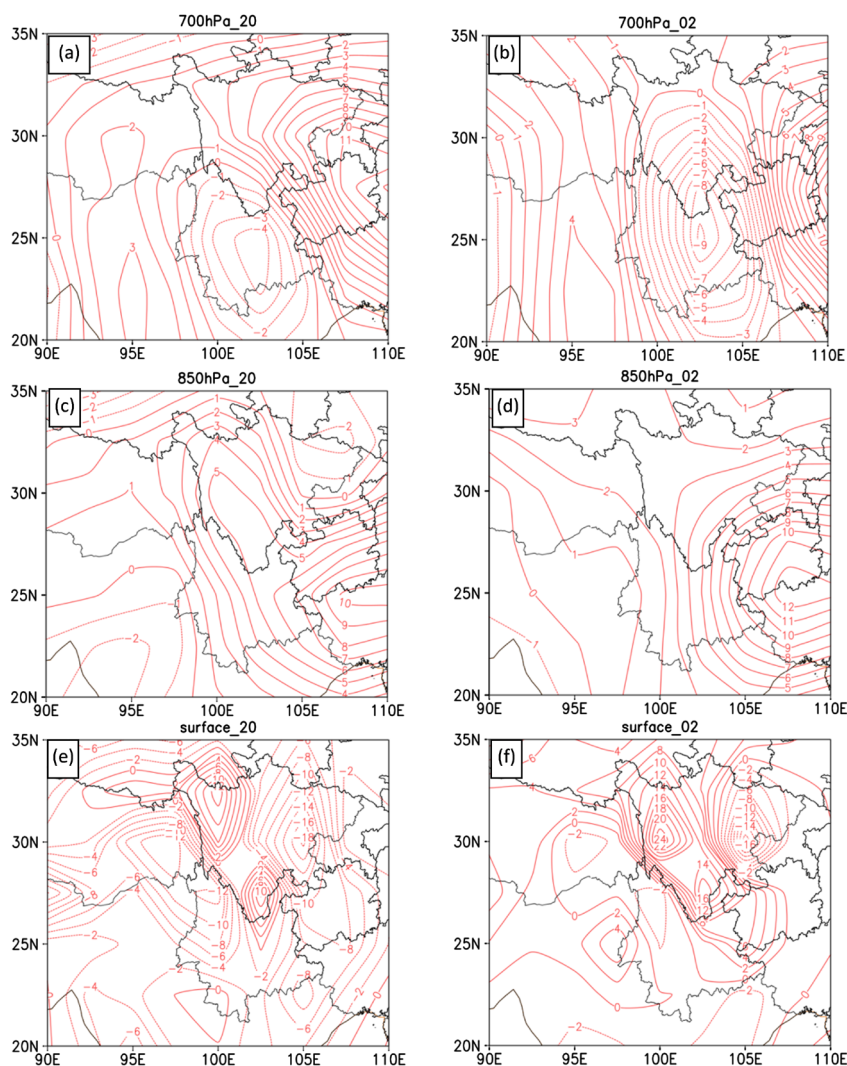


Figure 2. (a) The mean temperature advection field of 700 hPa at 20:00; (b) The mean temperature advection field of 700 hPa at 02:00; (c) The mean temperature advection field of 850 hPa at 20:00; (d) The mean temperature advection field of 850 hPa at 02:00; (e) The mean potential temperature advection field at 20:00; (f) The mean potential temperature advection field at 02:00 (Unit: 10^{-5} K/s)

图 2. (a) 20 时 700 hPa 平均温度平流场; (b) 02 时 700 hPa 平均温度平流场; (c) 20 时 850 hPa 平均温度平流场; (d) 02 时 850 hPa 平均温度平流场; (e) 20 时平均位温平流场; (f) 02 时平均位温平流场(单位: 10^{-5} K/s)

图3中分别对20时和次日02时整个西南地区850 hPa和盘州站各个层次的垂直速度做了平均处理。20时,基本上整个西南地区850 hPa上都是上升气流,到次日02时,包括贵州西部的一大片区域内850 hPa上转为下沉气流。以盘州站为例,20时虽然约750~350 hPa这个高度区间上都是下沉气流,但850~700 hPa低层大气是上升气流,所以此时垂直运动项对测站气温上升的贡献仍为负。到次日02时,盘州站上空850~350 hPa全部是下沉气流,此时垂直运动项对测站气温上升的贡献变为正。

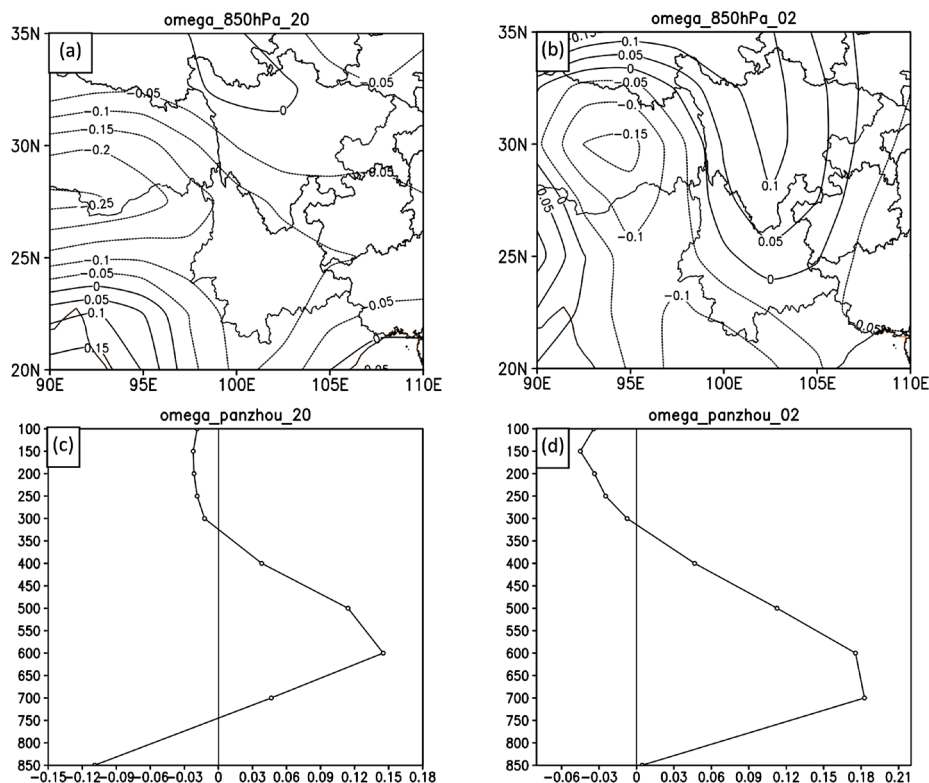


Figure 3. (a) The average vertical speed of 850 hPa in Southwest China at 20:00; (b) The average vertical speed of 850 hPa in Southwest China at 02:00; (c) The average vertical speed of each layer in Panzhou Station at 20:00; (d) The average vertical speed of each layer in Panzhou Station at 02:00 (Note: Negative vertical speed means rising, positive vertical speed means sinking)

图3. (a) 20时850 hPa西南地区平均垂直速度; (b) 02时850 hPa西南地区平均垂直速度; (c) 20时盘州站各层平均垂直速度; (d) 02时盘州站各层平均垂直速度(注:垂直速度为负表示上升,垂直速度为正表示下沉)

5.2. 测站物理量分析

由表3可以看出,测站夜间气温上升过程中,往往伴随有气压下降、湿度减小、风速增大、风向由其他方向转为偏南风。通过对比这些物理量变化与气温变化的时间段发现,只有气压下降的过程大部分是提前于气温上升的。19个强增温过程中,有16个过程(84.2%)伴随有气压下降,其中有12个过程(63.2%)气压下降比气温上升提前至少1个小时,剩下4个过程中,气压下降也与气温上升开始于同一个整点。

有8次过程,风速增大提前气温上升1小时以上。但这8次过程中,只有一次(20110221)风速增大比气压下降早,大部分都是先出现气压下降,之后才出现风速增大。

有7次过程,风向在气温上升前转偏南风或维持偏南风。但这7次过程中,有5次风向是从20时开始直到过程结束都维持偏南风,跟气温变化没有对应关系。剩下的2次风向转偏南风的时间都落后于气压下降。

在所有 19 次过程中, 当日 20 时至次日 05 时这个时间段内大部分时候地面温度都低于气温, 仅有的几个地温高于气温的时间段内, 地温也只会比气温高出一丁点, 远低于气温之后增加的幅度。所以地温与近地面气温间的感热交换也不是测站夜间强增温的原因。

综合各个物理量来看, 大多数过程都是测站的气压先出现下降, 之后才出现风速增大、气温上升等物理量变化。所以主要是云南地区的热低压发展影响贵州西部(体现为贵州西部气压下降), 造成贵州西部部分测站夜间增温。

表 3 中还可以看到的一点是, 只有 2 次过程中开始升温的时间是在 0 点之前, 最早的出现在 22 时, 大部分过程(73.7%)中开始升温的时间是在 0 点过后。即所有的夜间强增温过程中, 都是先有一个降温的过程, 在地面图(图 2(e)、图 2(f))上的表现就是 20 时贵州西部仍是冷平流, 到次日 02 时贵州西部已经转为暖平流控制。事实上正是因为先由冷气团控制, 有一个降温的铺垫, 之后转为暖气团控制后, 才能有大幅度的增温。根据段旭等[11]的研究, 昆明准静止锋(滇黔静止锋)平均位于 103.5°E~104°E, 垂直高度约 700 hPa。这个位置非常接近盘州站 2010~2019 年的测站位置(104.47°E, 25.71°S), 当静止锋摆动, 六盘水的三个国家站里盘州站最可能由锋后冷空气转为锋前暖空气控制, 这解释了为什么夜间增温现象大部分是出现在盘州站。且如前文(图 2(b)、图 2(d))所述, 低层大气的暖平流上界在 700 hPa 左右, 与准静止锋的垂直高度吻合。根据许美玲等[12]的研究发现, 滇黔静止锋全年都可出现, 但冬春季(11~4 月)偏多, 夏秋季(5~10 月)偏少, 与夜间增温现象集中在冬春两季的时间分布吻合。

Table 3. Changes in physical quantities such as temperature, air pressure, and relative humidity during night time (from 20:00 to 05:00 the next day)

表 3. 夜间时段(20 时至次日 05 时)气温、气压、相对湿度等物理量变化

站点	日期	温度上升 时间段	温度上 升值(°C)	气压变化 时间段	气压变化 值(hPa)	RH 变化减 小时间段	风速增大 时间段	风向转偏南 风时间段	T > T _g 时间段	T < T _g 时间段
盘州	2010.01.23	04~05	6.2	00~05	-2.4	05	03~05	03~05	20~02, 04~05	03
盘州	2010.04.03	01~02	8.0	01~02	-0.2	01~03	02~05	02~05	20~05	无
盘州	2010.05.07	02~04	5.3	00~04	-1.4	02~04	02~04	01~05	01~05	20~00
盘州	2011.02.21	01~03	8.9	01	-0.5	01~03	00~04	01~05	20~05	无
盘州	2012.01.18	23~01	8.2	20~01	+1.9	23~01	00~01	00~05	21~05	20
盘州	2012.02.03	00~05	6.3	23~05	-1.7	00~05	00~04	01~05	20~05	无
盘州	2012.02.11	04~05	7.1	00~04	-2.1	04~05	01~05	04~05	02~05	23~01
盘州	2013.01.01	01~05	6.9	23~05	-2.6	03~05	01~05	03~05	20~05	无
盘州	2015.12.31	03~05	5.0	23~05	-2.4	03~05	02~05	03~05	20~05	无
盘州	2016.01.21	22~01	8.0	20~01	+1.1	23~01	23~00	00~05	00~05	20~23
盘州	2016.01.15	02~03	7.0	00~03	-1.9	02~03	00~03	02~05	20~05	无
盘州	2018.02.26	04~05	5.9	23~05	-2.5	04~05	03~05	04~05	21~05	20
盘州	2018.02.13	02~05	10.8	22~05	-3.4	02~05	00~05	20~05	02~05	20~01
盘州	2018.12.18	01~05	5.3	22~05	-3.5	01~05	01~05	20~05	20~05	无
盘州	2019.03.18	03~05	5.4	23~05	-4.0	23~05	03~05	04~05	20~05	无
盘州	2019.12.22	01~03	8.3	00~03	-1.3	01~03	23~02	02~05	20, 23~05	21~22
水城	2010.02.01	00~01	5.2	00~01	-0.4	00~02	00~02	20~05	20~05	无
水城	2012.11.24	01~02	8.2	01	-0.1	23~04	01~03	20~03	20, 22~05	21
六枝	2019.03.19	00~01	5.2	20~01	+2.5	23~03	00~01	20~05	20~05	无

注: 时间段的起始值是已经开始出现对应变化的时间整点。

6. 基于热力学能量方程对各项贡献率的计算

前文针对 19 次夜间强增温过程从 500 hPa 到地面进行了定性分析, 下面利用 NCEP 再分析资料, 参考周后福老师的方法[13]对造成温度局地变化的各项进行估算。计算的理论依据是热力学能量方程的一级简化:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y}\right) - w(\gamma_d - \gamma) + \frac{1}{C_p} \frac{dQ}{dt}$$

上式中等号右边分别为温度平流项、垂直运动项和非绝热加热项。如前文所述, 因为西南地区多山, 所以计算温度平流项时, 近地面气温是用的 NCEP 再分析资料中的位温资料代替。计算垂直运动项时, w 速度利用 NCEP 再分析资料中的 Omega 资料计算得出($w = -\omega RT/Pg$)。因为六盘水市三个县站的地面气压常年在 850 hPa 左右, 所以 Omega 资料取 850 hPa, 温度递减率 γ 记为 700 hPa 和 850 hPa 的温度差和高度差之商, 干绝热递减率 γ_d 取 0.01 K/m。非绝热项由于计算难度较大, 采用倒算法, 由局地温度变化项减去温度平流项和垂直运动项得出。

因为 NCEP 再分析资料的时间间隔是 6 小时, 所以按增温时间段对 19 个过程进行分类, 近似认为各物理量线性变化。增温时间落在 20 时~次日 02 时的, 取 20 时和 02 时的平均值作为其平均状态。增温时间落在 02 时前后的, 取 02 时作为其平均状态。增温时间在 02 时~08 时的, 取 02 时和 08 时的平均值作为其平均状态。

以盘州站 2019 年 12 月 22 日夜间的这次过程为例。此次过程中增温时间段是 23 日 01 时~03 时, 取 23 日 02 时作为其平均状态。3 小时盘州站气温累计上升 8.3℃, 平均 1 小时上升 2.77℃。利用 NCEP 再分析资料中的位温资料计算出 2019 年 12 月 23 日 02 时位温纬向梯度和经向梯度, 并分别插值到盘州站 (104.47°E, 25.71°S)。利用 NCEP 再分析资料中的地面风场资料, 提取出对应时次盘州站的纬向、经向风速, 与前文位温的纬向、经向梯度相乘可得对应时次近地面温度(位温)平流造成的增温值。利用 NCEP 再分析资料中的等压面气温资料和位势高度资料插值得出盘州站 700 hPa 和 850 hPa 的温度差、高度差, 两项相除得出盘州站 2019 年 12 月 23 日 02 时 850~700 hPa 的温度递减率 γ 。利用 NCEP 再分析资料中的等压面上升速度资料提取出盘州站 2019 年 12 月 23 日 02 时 850 hPa 上的上升速度 ω , 由公式 $w = -\omega RT/Pg$ 计算出 w 速度, 进而由 $-w(\gamma_d - \gamma)$ 计算出垂直项造成的增温值。局地温度变化项减去温度平流项和垂直运动项得出非绝热项。

计算结果如表 4 所示, 平流项的贡献率平均为 10.25%, 除了 20151231 这一次过程外, 其余均为正贡献。垂直运动项的贡献率平均只有 0.29%, 但实际上大多数过程中垂直项的贡献率并没有小到比平流项差一个数量级的地步, 只是因为垂直项对夜间增温现象的作用不明确, 在数值上的体现就是在一部分个例中垂直项贡献率为正, 另一部分个例中垂直项贡献率为负。在 20 时至次日 02 时的时间段内, 垂直项大部分是负贡献, 而在 02 时前后的时间段内, 垂直项基本是正贡献, 这也与图 3 中描述的 20 时和 02 时各层垂直速度状况一致。02 时至 08 时这个时间段内垂直运动项贡献率多为负。

非绝热项的贡献率最高, 平均将近 90%。很多前人对单个站点或单片区域局地温度变化中各项贡献率的研究计算都得出类似的结果[13] [14] [15], 这个结果似乎与《天气学原理和方法》中“大尺度系统的局地温度变化主要是温度平流所引起的” [16]的结论不符。其实不然, 《天气学原理和方法》中得出这一结论时其研究对象是大尺度系统, 计算的是整段气柱的平流运动, 而本文中研究平流运动项时只单单计算了近地面一层, 所以准确的描述是在这些夜间强增温个例中, 贡献率平均约占 10%的是近地面单层大气的温度平流项。事实上近地面之上一直到 700 hPa 左右都有温度平流项对所在层次的局地大气造成增温作用, 然后中低层大气通过湍流、向下长波辐射等非绝热形式将热量传递到近地面大气。

Table 4. The contribution rate of each item in the thermodynamic equation in the heating process
表 4. 热力学方程中各项在升温过程中的贡献率

日期	平流项贡献率	垂直项贡献率	非绝热项贡献率
20100201	8.90%	-4.81%	95.91%
20100403	5.94%	-0.20%	94.26%
20120118	4.68%	-4.98%	100.30%
20121124	11.45%	3.31%	85.24%
20160121	10.86%	-12.44%	101.58%
20190319	6.06%	7.67%	86.27%
20100507	7.05%	0.68%	92.27%
20110221	13.32%	0.61%	86.07%
20120203	39.43%	-3.48%	64.05%
20130101	15.17%	9.81%	75.02%
20160115	6.28%	0.66%	93.06%
20180213	15.23%	6.26%	78.51%
20181218	24.57%	11.19%	64.24%
20191222	12.05%	2.01%	85.94%
20100123	5.00%	2.86%	92.14%
20120211	7.50%	-0.24%	92.74%
20151231	-9.28%	-9.26%	118.54%
20180226	2.01%	-2.61%	100.60%
20190318	8.45%	-1.59%	93.14%
平均	10.25%	0.29%	89.46%

7. 小结及预报着眼点

通过对 2010~2019 年六盘水市三个国家站夜间增温现象的时空分布特征、天气背景、近地面物理量的分析和基于热力学能量方程的定量计算, 得出以下结论:

1) 六盘水市夜间增温现象大部分出现在盘州站, 季节上最多出现在冬季, 其次是春季。夜间增温现象有很强的局地性。

2) 夜间强增温现象发生当日 20 时, 500 hPa 上影响贵州省的是弱冷平流, 700 hPa 和 850 hPa 则有西南气流带来的暖平流, 地面上滇黔之间有很明显的等温线密集区、相对湿度梯度大值区和风场辐合带, 这些都揭示滇黔准静止锋的形成。

3) 夜间强增温过程中, 850 hPa 上始终存在暖平流, 700 hPa 上由暖平流转为冷平流, 地面上则是由冷平流转为暖平流。低层大气(700~850 hPa)前半夜多为上升运动, 02 时前后转为下沉运动。

4) 大多数夜间强增温过程都是测站的气压先出现下降, 之后才出现风速增大、气温上升等物理量变化。84.2%的强增温过程中出现了气压下降的现象, 而 63.2%的过程中气压下降比气温上升提前 1 小时以上。

5) 从定量计算的结果来看, 针对近地面大气, 其单层大气本身的温度平流对夜间增温基本上起正贡献作用, 平均贡献率约占 10%。低层大气的垂直运动项的贡献率最小, 且贡献正负不明确。贡献率最大的是非绝热项, 占了近 90%的贡献率。

针对夜间增温现象, 不建议预报员在实际工作中将其直接体现在预报结论里, 因为在 2010~2019 年这 10 年间, 即使只考虑夜间增温现象出现最频繁的冬季, 至少一个国家站出现夜间增温 2℃ 以上的概率也仅有 6.8%。但在相似的天气背景、物理量场的配置下, 即使无法造成 2℃ 以上的夜间增温, 也可能使夜间测站气温降幅小于预期, 不利于最低气温预报。因此对夜间增温可能性的预报, 仍是有意义的, 其预报着眼点如下:

1) 季节、站点。如前文所述, 六盘水市夜间增温现象最多出现在冬季, 其次是春季, 夏秋两季很少出现夜间增温现象, 因此主要在冬春两季考虑夜间增温的可能性。而在同一日里, 盘州站出现夜间增温的概率大于水城站, 水城站大于六枝站。

2) 天气背景。地面图上滇黔准静止锋形成, 地面锋线在滇东附近。20 时前 850 hPa 和 700 hPa 上都是暖平流。500 hPa 上则是平直的偏西风和弱冷平流。

3) 负变压。贵州西部边缘夜间有负变压, 滇黔准静止锋地面锋线东移, 则六盘水市尤其是盘州站出现夜间增温现象的概率更大。

基金项目

贵州省气象局科研业务项目(黔气科登[2020]06-21 号)。

参考文献

- [1] 杨晓静, 徐宗学, 左德鹏, 等. 云南省 1958~2013 年极端气温时空变化特征分析[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(3): 523-536.
- [2] 苏晓玲, 龚松柏, 郭伟斌, 等. 近 51a 漳州市极端最低气温变化特征分析[J]. 贵州气象, 2014, 3(38): 1-5.
- [3] 袁新田, 方来伟. 黄山 1961-2010 年最高气温和最低气温的变化特征[J]. 宿州学院学报, 2015, 30(8): 107-111.
- [4] 杨萍, 肖子牛, 刘伟东. 北京气温日变化特征的城郊差异及其季节变化分析[J]. 大气科学, 2013, 37(1): 101-112.
- [5] 罗然, 郑永光, 陈敏. 北京一次罕见夜间突发性强增温事件成因分析[J]. 气象, 2020, 46(4): 478-489.
- [6] 黄少妮, 王建鹏, 王丹, 等. 西安一次夜间异常增温过程的数值模拟及诊断[J]. 干旱气象, 2015, 33(2): 270-277.
- [7] 甘茹蕙, 马媛媛, 杨毅, 等. 兰州地区突发性夜间增温的统计特征[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2016, 52(5): 652-659.
- [8] 李亚中. 2011 年 12 月至 2012 年 1 月抚顺市夜间升温过程定量分析[J]. 现代农业科技, 2013(18): 244-247.
- [9] 曾维. 贵州强降雪天气过程环流形势分析[J]. 贵州气象, 2012, 6(36): 29-31.
- [10] 黄晨然, 白慧, 杨娟. 贵州冬季凝冻特征及环流分型研究[J]. 贵州气象, 2017, 41(3): 10-16.
- [11] 段旭, 李英, 孙晓冬. 昆明准静止锋结构[J]. 高原气象, 2002, 21(2): 205-209.
- [12] 许美玲, 段旭, 杞明辉, 等. 云南省预报员手册[M]. 北京: 气象出版社, 2011.
- [13] 周后福. 局地温度变化中各项因子的定量估算[J]. 气象, 2005, 31(10): 20-23.
- [14] 罗曼宁, 王硕甫. 冷空气影响前广州局地异常增温的诊断[J]. 广东气象, 2015, 37(5): 40-43.
- [15] 王岑, 任保华, 郑建秋, 等. 2015 年 12 月 29 日北极地面爆发性增温的成因分析[J]. 大气科学, 2017, 41(6): 1343-1351.
- [16] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理和方法[M]. 第 4 版. 北京: 气象出版社, 2007.