

局地温度变化中各项因子的定量估算

周后福

(安徽省气象科学研究所,合肥 230031)

提 要

基于安徽沿江地区高温、降水两类天气过程,利用逐时实测气温、NCAR/NCEP再分析资料提供的风、气温、垂直速度等资料,从天气学基本原理出发,由天气学原理和 ω 与 w 的换算关系式等估算局地气温的平流项、垂直项大小,并由实测气温经过计算获得非绝热项的估算值。结果表明,各项对于局地温度的升温作用为:平流项的变化相对比较复杂,就高温天气而言平流项的作用往往使得局地温度降低,但是两类天气平流项的作用非常弱;两类天气过程中的垂直项都导致局地温度升高,比例占1%~5%;可以说,安徽沿江地区局地温度的增温主要来自于非绝热项,增温比例常常超过95%,它对局地温度的升高具有举足轻重的作用。

关键词: 局地温度 定量估算 高温 降水

引 言

温度要素是气象基本预报业务的重要项目,其变化历来受到关注和重视。气温的变化具有非常典型的日变化现象,多数表现凌晨3~5时为最低值,午后14时左右为最高值。与此相对应,每日太阳辐射也具有日变化特征,晴天辐射自日出开始到日落终止,辐射在中午取得最大值。自上午到下午14时前后为增温过程,所以一般认为,温度的日变化、局地增温过程与太阳辐射的日变化非常密切。局地温度的变化不仅与辐射有关,也

与天空状况、大气环流等有关^[1],或者说温度的局地变化受到三项因子的影响,三项因子是平流项、垂直项和非绝热变化^[2]。

这里选择两种典型天气——夏季高温和夏季降水为例来说明各项因子对局地温度增温的作用。高温天气是我国夏季一种灾害性天气,它不仅影响人们的日常生活,造成中暑现象的不断发生,而且会导致地面蒸发量加大,从而引起干旱,加剧旱情,所以高温不仅对人类自身产生直接影响,而且导致自然界干旱现象的发生。降水天气也是我国夏季另

外一种非常值得关注的天气,降水的多寡往往与干旱或洪涝紧密相连。

从高温和降水研究的文献可以看出,高温天气时局地温度的探讨多从副高长期控制的角度出发^[3],降水发生时局地温度的探讨则较多地考察天气形势因素,也有应用振荡理论研究局地温度的长期变化规律^[4],但是多着眼于定性分析,缺少定量的指标来衡量各个因子在局地温度增温中的作用。文献[5]根据气候学温度方程描述江苏里下河平原局地温度的计算,然而如何给出定量值来评价平流项、垂直项和非绝热项在增温中的正反作用,以及每个因子对于局地温度增温的作用大小,这方面的研究较少。本文以逐时实测温度、NCAR/NCEP再分析资料为基础,通过高温和降水天气背景下实例,估算出平流项、垂直项和非绝热项的大小,及其在温度增温过程中平流项、垂直项和非绝热项所占增温的比例,以此来说明各个因子在温度增温过程中的作用。

1 温度局地变化项分析

根据天气学基本原理,热力学能量方程经过转换可以表示为^[2,6]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\mathbf{V} \cdot \nabla_h T - w(\gamma_d - \gamma) + \frac{RT}{C_p p} \left(\frac{\partial p}{\partial t} + u \frac{\partial p}{\partial x} + v \frac{\partial p}{\partial y} \right) + \frac{1}{C_p} \frac{dQ}{dt} \quad (1)$$

上式表明,温度的局地变化,与温度的平流变化、垂直运动、气压变化所导致的温度变化、非绝热作用有关,是它们共同作用的结果。根据尺度分析可知,气压的变化导致局地温度改变的尺度最小,因而该项可以忽略,那么大尺度系统中的局地温度变化就是由温度平流、垂直运动、非绝热作用造成的^[2]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\mathbf{V} \cdot \nabla_h T - w(\gamma_d - \gamma) + \frac{1}{C_p} \frac{dQ}{dt} \quad (2)$$

一般而言,副高控制期间,温度明显高于

周边地区,地面吹偏南风,风力的作用把南方地区较低温度的气流带到副高控制地区,因此温度平流项导致地面的局地温度降低,而不是使得局地温度增加。因此实际温度的增加需要后两项才能得以实现,并且要弥补平流项的降温效果。在副高控制期间,空气湿度较小,其垂直温度递减率 γ 较干绝热递减率 γ_d 为低, $\gamma_d - \gamma > 0$,而垂直方向上呈下沉运动, $w < 0$,因此垂直项使得局地温度增加。而在降水期间,温度平流项较为复杂;低层空气由于降水物的拖曳作用呈现下沉运动, $\gamma_d - \gamma > 0$,垂直项也使得局地温度增加。非绝热项包括太阳短波辐射、地面长波辐射、地面与大气之间的湍流热通量、土壤热通量、水汽通量等。目前气象辐射台站非常少,湍流热通量、土壤热通量往往需要特种观测、边界层观测才可获得,因此给非绝热项的计算带来很大困难。为此,采用实测温度的变化和NCAR/NCEP再分析资料,得到 $\frac{\partial T}{\partial t}$ 、 $-\mathbf{V} \cdot \nabla_h T$ 、 $-w(\gamma_d - \gamma)$ 各项估计值,进而估计出 $\frac{1}{C_p} \frac{dQ}{dt}$,得出式(2)右边各项在高温、降水期间局地增温中的比例。

2 实例估算

以2004年安徽梅汛期6月15日~7月15日明显过程性降水的安庆7月11日,以及2004年安徽出现较大范围内高温过程7月20日~8月1日中的7月23、29日为例来具体估算各项的量级和数值。表1为7月11、23、29日07~15时逐个时次的气温及其增加量,由此可知,7月11日08~14时平均增加 $0.58^\circ\text{C} \cdot \text{h}^{-1}$;7月23日08~14时平均增加 $0.93^\circ\text{C} \cdot \text{h}^{-1}$;7月29日08~14时平均增加 $0.63^\circ\text{C} \cdot \text{h}^{-1}$ 。7月11日最高气温 33.7°C ,出现在13:10;23日最高气温 37.4°C ,出现在14:58;29日最高气温 35.7°C ,出现在15:06。

表1 安庆2004年3天逐时气温及其增量

时次	7月11日		7月23日		7月29日	
	气温/℃	较上时次增加/℃	气温/℃	较上时次增加/℃	气温/℃	较上时次增加/℃
07	29.7	0.5	29.6	0.7	30.0	0.4
08	30.4	0.7	30.5	0.9	30.8	0.8
09	31.0	0.6	31.8	0.7	31.6	0.8
10	31.8	0.8	33.2	1.4	32.8	0.8
11	32.1	1.3	34.3	1.1	33.2	0.4
12	32.9	0.8	35.2	0.9	33.8	0.4
13	33.1	0.2	36.1	0.9	34.7	0.9
14	32.9	-0.2	36.7	0.6	35.2	0.5
15	33.2	0.3	37.2	0.5	35.3	0.1

每日的估算过程基本相同,这里仅以7月23日为例来具体说明平流项、垂直项和非绝热项的估算办法。

2.1 平流项的估算

由 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 的NCEP再分析资料绘出7月23日08~14时平均纬向风分布图,根据安庆的经纬度查得 $u = 0.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;同样绘出平均经向风分布图可以查得 $v = 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;因此合成风速 $1.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。由NCEP资料绘出平均温度分布图,可以查得1.2纬距温度相差 0.25°C ,1个纬距取110km,同时发现风向、温度梯度交角约为 75° ,因此温度平流项的计算值为:

$$-V \cdot \nabla_h T \approx -1.1 \times \frac{0.2}{110 \times 10^3} \times 0.25 \approx -5 \times 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$$

估算结果为每秒降温值,需换算成每小时降温值,因此变成 $-1.8 \times 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}^{-1}$,即每小时温度平流项使得温度降低约 0.002°C 。

2.2 垂直项的估算

ω 的估算:由NCEP再分析资料1000hPa的08~14时平均 ω 分布图上可以查得安庆 $\omega = 0.027 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。根据公式(3)^[2,6]:

$$\omega = \frac{dp}{dt} \approx w \frac{\partial p}{\partial z} \quad (3)$$

代入静力学关系,则得:

$$\omega = -\rho g w \quad (4)$$

式(4)即为 ω 与 w 的换算关系式。实际应用时,制作成 ω 与 w 的换算关系表,直接由换算表查得有关数据。由文献[2,6]的换算关系表查出1000hPa上 $0.1 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ 相当于 $-0.86 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$,由此可以算出 w 。

γ 的估算:由1000hPa、850hPa的08~14时平均温度图上查出安庆温度分别为303.1K、295.6K,两者相差 7.5 K 即 7.5°C 。1000hPa、850hPa二者之间的距离取1500m,因此 $\gamma = 7.5/15 (\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{m}) = 0.5 (\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{m})$ 。

γ_d 取 $1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$,于是垂直项的估算为:

$$-w(\gamma_d - \gamma) \approx 2.3 \times 10^{-3} \times 0.5/100 (\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}) \approx 0.041^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}^{-1}$$

即每小时垂直项使得温度增加约 0.041°C 。

2.3 非绝热项的估算

非绝热项 $\frac{1}{C_p} \frac{dQ}{dt}$ 等于局地温度项 $\frac{\partial T}{\partial t}$ 减去平流项 $-V \cdot \nabla_h T$ 与垂直项 $-w(\gamma_d - \gamma)$ 之和。实测23日08~14时平均升温 $0.93^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}^{-1}$,因此7月23日非绝热项的估算值为 $0.89^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

7月11日和其它两天的平流项、垂直项、非绝热项的估算以及所占局地温度项的比例结果见表2。

表2 安庆2004年3天平流项、垂直项、非绝热项的估算以及所占局地温度项的比例

项目	7月11日	7月23日	7月29日
局地温度项/($^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}^{-1}$)	0.58	0.93	0.63
平流项/($^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}^{-1}$)	-0.067	-0.002	-0.08
所占比例/%	-1.2	-0.2	-12.7
垂直项/($^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}^{-1}$)	0.068	0.04	0.01
所占比例/%	1.2	4.3	1.6
非绝热项/($^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}^{-1}$)	0.58	0.89	0.70
所占比例/%	100.0	95.7	111.1

3 结果分析

由表2可知,对于降水过程,平流项的变化相对比较复杂,取决于周围温度变化和风向组合,本例中平流项是使局地温度降低;对

于夏季高温天气,平流项的作用往往形成局地温度的降低;但可以明确指出的是,安徽沿江地区平流项的变化对于增温的作用微乎其微。降水期间大气由于降水物的拖曳作用而产生下沉气流,使得下沉气流对地面具有升温的效果,这种效果只占非常小的比例,本例中仅占1.2%;对于夏季副高控制的高温天气,一般也具有下沉气流,导致局地温度的增温,但是所占整个升温的比例大约为1%~5%,不到一成;因此可以说,安徽沿江地区降水过程和高温天气期间,垂直项造成局地温度的升高,而升高的效果大约占整个升温比例1%~5%。非绝热项的作用则非常明显,不管是降水过程,还是高温天气,其局地温度的增温主要来自于非绝热项,通常超过95%以上的增温作用是非绝热项导致的,甚至这种比例可以超过100%,以弥补平流项降温的作用。

4 结 语

从安徽沿江地区局地温度变化的动力学方程出发,给出平流项、垂直项、非绝热项的详细估算过程,得出各项估算结果,明确指出安徽沿江地区平流项的变化将会导致高温区域的降温效应,而且这种降温效果非常低;平流项的变化在降水期间的作用也是微乎其微;垂直项的变化在副高控制期间将会引起

温度的增加,但是这种增加的效果非常之小;垂直项的变化在降水期间也使地面温度得以增加,同样增加的效果较小;而非绝热变化项在高温、降水期间温度的升高中起着至关重要的作用。

尽管对局地温度变化做了定量化工作,改变过去定性解释的做法,但是仅给出两类天气过程的估算结果,类别较少;同时需要指出的是,非绝热项的变化不是由太阳短波辐射、地面长波辐射、地面与大气之间的湍流热通量、土壤热通量、水汽通量等直接估算的,而是间接得到的,因此可以定量化估算其它类型天气的增温效果以及直接估算非绝热项变化。

参考文献

- 1 安徽省气象局资料室. 安徽气候. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1983.
- 2 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文等. 天气学原理和方法. 北京: 气象出版社, 1992: 40, 603, 886.
- 3 唐云辉, 高阳华. 重庆市高温分类与指标及其发生规律研究. 西南农业大学学报, 2003, 25(1): 88~91.
- 4 曹杰, 陶云. 应用非线性振荡理论研究云南局地气温的演变规律. 高原气象, 2004, 23(1): 62~67.
- 5 沙光明, 杨定稳, 顾承华. 江苏里下河平原局地温度的计算. 气象, 1998, 24(3): 42~45.
- 6 陆忠汉, 陆长荣, 王婉馨. 实用气象手册. 上海: 上海辞书出版社, 1984: 487, 498~499.

Estimation of Every Element in Local Temperature Variation

Zhou Houfu

(Anhui Meteorological Institute, Hefei 230031)

Abstract

Based on the observation and NCAR/NCEP reanalysis data, the advection term and perpendicular term of local temperature variation are estimated, and the non-adiabatic term is estimated too. The advection term varies with comparative complication, but its role is very weak. The perpendicular term leads to increase 1%—5%. The local temperature increment in Anhui is mainly from non-adiabatic term, and it takes significant role in local temperature increment.

Key Words: local temperature quantum estimation high temperature precipitation