

郑州极端高温天气成因分析

贺 哲 李 平 乔春贵 王 蕊 梁 钰 谷秀杰

(河南省气象台, 郑州 450003)

提 要: 采用 NCEP/NCAR $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 格点资料对 2005 年 6 月 22—23 日郑州出现的 40°C 以上的极端高温天气成因进行了分析。指出, 河套高压是初夏导致郑州乃至黄淮地区西部出现极端高温的重要天气系统。河套高压的形成与高低层暖平流存在着联系。同时高温的产生也与副热带急流有关, 河套高压东南侧的强下沉气流是热力和动力共同作用结果, 即当河套高压东南部处于高层副热带急流入口区左侧时, 动力辐合机制使得此区域的下沉气流极为强盛, 由此所产生的晴空辐射增温和下沉绝热增温使得极端高温天气的出现成为可能。另外, 地形所产生的焚风效应对高温的形成具有增幅作用。

关键词: 极端高温 河套高压 副热带急流

Reason for Extreme High Temperature in Zhengzhou, Henan Province

He Zhe Li Ping Qiao Chungui Wang Rui Liang Yu Gu Xiujie

(Henan Meteorological Observatory, Zhengzhou 450003)

Abstract: The extremely high temperature ($\geq 40^{\circ}\text{C}$) that occurred in Zhengzhou during 22—23, June 2005 is analyzed by utilizing the $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ grided data of NCEP/NCAR. The results show that the Hetao high is an important synoptic system that caused the extreme hot weather in Zhengzhou and even the western part of the Huang—Huai region. The generation of the Hetao high is concerned with the warm advection at various levels. The appearance of the extremely high temperature is also related to the upper level subtropical jet stream. The strong descending air flow in the southeastern part of the Hetao high is caused by both thermodynamic and dynamic factors. That is, when the southeastern part of Hetao high lies in the left side of entrance region of the upper level subtropical jet stream, dynamic convergence makes the descending movement of air flow in this region more powerful. The consequential clear radiation heating and adiabatic warming

because of air sinking benefit the occurrence of extremely high temperature. In addition, the foehn effect generated by topography can be of a role of intensifying the extreme high temperature.

Key Words: extremely high temperature Hetao high subtropical jet stream

引言

2005年6月郑州市出现了长达将近半个月最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的连续性高温天气,其中以22日和23日最为严重,最高气温连续两天超过 40°C ,分别为 40.2°C 和 40.6°C (表1),给人们的日常生活和工作带来了极大影响。因此,对于这样的极端高温天气,有必要对其成因进行研究和分析。

谢庄等^[1-2]曾经指出,大陆副热带高压(也就是谢义炳等最早指出的有别于海洋上空的副热带高压的一部分)是造成华北(北京)出现异常高温的重要原因。而钱婷婷等^[3]则将这种高压称为“河套高压”。实际上,谢庄等也将此高压称为“华北高压”。赵世林等^[4]曾对石家庄的高温闷热天气进行统计分析,并指出了高温与闷热天气的区别以及主要的影响系统。王迎春等^[5]对北京的高温闷热天气进行了统计分析,指出了北京的高温与闷热天气的不同气候特征。最近郑祚芳等^[6]对夏季北京地区多个连续性高温天气进行了分析,并探讨了河套高压的形成机理及其与北京高温的关系。

河南大部分地区位于黄淮西部,其夏季高温气候特征与华北地区有一定的差异。郑州位于河南省的中北部,本文针对郑州特定的地理位置,在探讨了河套高压形成及影响的同时还分析了它与副热带急流相互作用对郑州高温的贡献。

1 郑州高温天气气候特征及本次高温天气概况

1.1 郑州高温天气气候特征

王记芳^[7]曾经对郑州市1951—2002年

期间夏季的高温天气进行了统计分析,结果表明,郑州市夏季平均气温的演变存在两个高峰,分别出现在1960年代和1990年代,而且1960年代高于1990年代,说明郑州市夏季平均气温在经历了1970年代和1980年代的持续低值之后,目前正处于上升阶段。

本文对郑州市1951—2004年夏季(6—8月)最高气温 $\geq 40^{\circ}\text{C}$ 的历史极端最高气温的统计(图1)表明,从年际分布来看,1966年夏季极端高温次数最多,为6天,而在1987—2001年期间均未出现过 40°C 以上的高温天气。之后,2002年和2005年接连出现极端高温天气,同样说明了近年来夏季气温出现了上升的趋势。

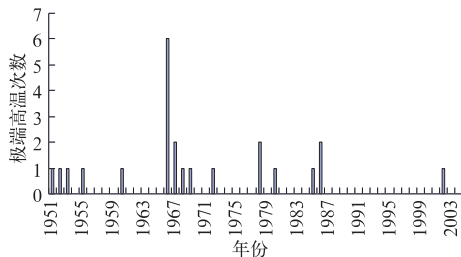


图1 1951—2004年夏季郑州市最高气温 $\geq 40^{\circ}\text{C}$ 次数年际分布

另外,从表1可以看到,2005年6月出现了连续2天 40°C 以上的高温天气,实际上这种连续性的极端高温在郑州并不多见,1951—2004年,连续2天或2天以上出现 40°C 以上的高温天气仅在1966年出现过。由此可知2005年夏季郑州高温天气的严重性。

从月际分布来看,郑州在6月份出现极端高温的次数要远远超过7月和8月。1951—2004年,郑州市6—8月最高气温 $\geq 40^{\circ}\text{C}$ 的天数共有23天,其中6月份13天,7月份8天,8月份只有2天,因而对于6月份的极端高温天气更有必要进行分析和探讨。

1.2 本次高温天气概况

表 1 给出 2005 年 6 月 21—23 日郑州市的最低、最高气温,以及日较差,由表中数据可知,21 日最高温度只有 33.7°C ,而 22 日和 23 日最高气温均超过了 40°C ,但从日较差变化来看,22 日增温幅度为 18.6°C ,而 23 日增温幅度为 14.7°C 。

表 1 2005 年 6 月 21—23 日郑州最低、最高气温以及日较差(单位: $^{\circ}\text{C}$)

日期	$T_{\min}$	$T_{\max}$	$T_{\max}-T_{\min}$
6 月 21 日	21.8	33.7	11.9
6 月 22 日	21.6	40.2	18.6
6 月 23 日	25.9	40.6	14.7

2 高温天气形势分析

2.1 高空形势

本文所用资料为 NCEP/NCAR 格点分析资料,分辨率为 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 。从逐日 08 时(北京时,下同)300hPa 高空形势演变可以看到,随着中亚低槽的逐渐东移,6 月 19 日起,我国新疆地区有高压脊开始发展,并继而向东移动。图 2a 给出了 21—24 日逐日 08 时 300hPa 等压面上 956dgpm 等高线的综合动态图。从图中可以看出,高压脊在从新疆东移的同时也在逐渐发展加强,到 22 日发展最为强盛,控制内蒙古西部、河套、华北等地,到 24 日高压脊东移并减弱。与之相配合,300hPa 温度脊也随着高压脊向东传播。这一点从 300hPa 上 -36°C 等温线综合动态图(图 2b)可看出。

图 3a 为 500hPa 上 584dgpm 等高线 21—24 日逐日 08 时的综合动态图。从图中可以看到,21 日 08 时在我国西北地区并无闭合的高压中心存在,但是到了 22 日,在河套地区形成了一个独立的 584dgpm 的高压环流,即“河套高压”,之后此高压环流在东移

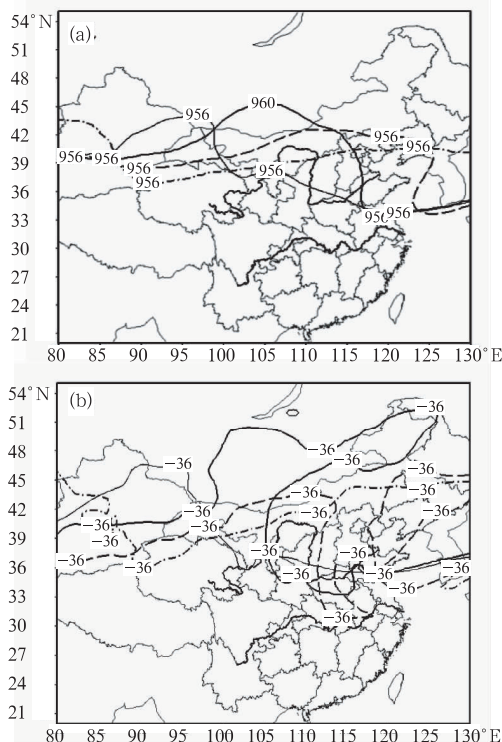


图 2 2005 年 6 月 21—24 日逐日 08 时 300hPa 956dgpm 等高线(a)和 -36°C 等温线(b)动态图
细实线代表 21 日,粗实线代表 22 日,虚线代表 23 日,点划线代表 24 日

的过程转变为高压脊,并逐渐减弱。由此可知,此高压环流是由于河套地区高空等压面位势高度增加、高压脊加强而形成。图 3b 为相应的 700hPa 上 312dgpm 等高线的演变情况,与 500hPa 相似,22 日也有一河套高压产生,并且其东南部已经控制了黄淮地区西部。

需要说明的是,图 3b 中,21 日在青藏高原东部有一 312dgpm 的小高压环流,但对照实况观测资料可知,22 日在河套地区所产生的高压环流并非此小高压环流东移而成,而是由于高空等压面位势高度增加、高压脊加强而形成,这也正是本文采用“河套高压”这个名称的原因。

从 700hPa 和 850hPa 的温度场演变中可以看到,有明显的暖中心东移(图 4),并且高

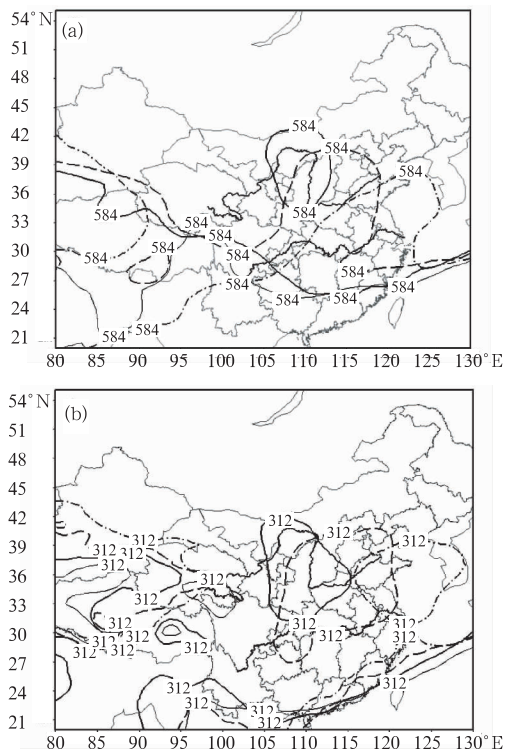


图3 2005年6月21—24日逐日08时500hPa 84dgpm等高线(a)700hPa 312dgpm等高线(b) 细实线:21日,粗实线:22日,虚线:23日,点划线:24日

温中心于22日和23日控制了黄淮西部地区。说明中低层同样存在着明显的暖平流。而且下文将指出,中低层的暖平流更强,其所产生的热力作用对于高温天气的产生有重要的贡献。

2.2 地面形势

与高空形势相反,地面气压场表现为低值系统,从每6小时地面气压场和温度场的演变(图略)可知,从21日02时开始,有一低压中心从新疆东部逐渐向东北方向,即向蒙古国西部移动,与之相配合有一暖中心也在向蒙古国西部移动,此暖低压中心于21日14时到达蒙古国东南部后折向河套方向移动,此后移速缓慢,并于22日14时到达河套地区,之后低压环流位置稳定少动。一直到24日低压东移并逐渐减弱。由此可知,此次

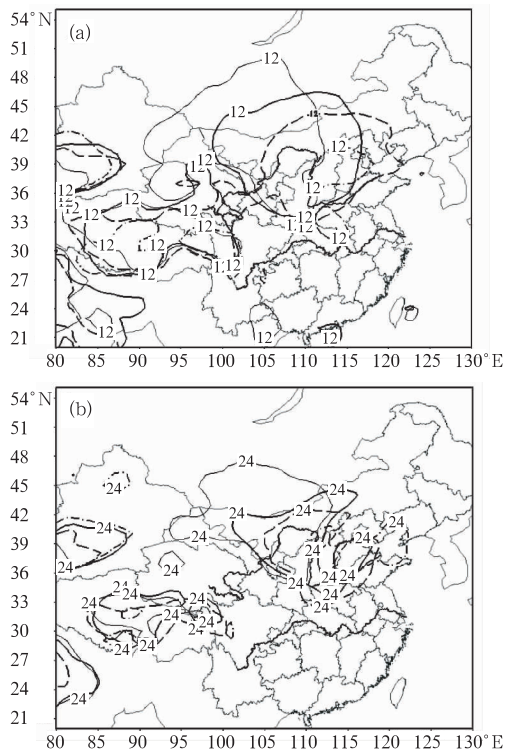


图4 2005年6月21至24日逐日08时 700hPa 12°C等温线(a)和850hPa 24°C等温线(b)动态图

高温天气的产生与由西北地区东移的暖低压的加热作用存在着联系。

3 河套暖高压脊加强东移的原因

3.1 上下游系统的影响

从上文分析可知,在300hPa等压面上,由于上游中亚低槽的东移作用,使得新疆高压脊也逐渐向东移动,同时,在其下游东北至渤海湾一带有低槽发展加深,并且移速缓慢,受其阻挡,暖高压脊在东移的过程中逐渐加强。500hPa系统演变也呈现出类似的状况(图略)。

3.2 低层暖平流的作用

位势倾向方程

$$(\nabla^2 + \frac{f^2}{\sigma} \frac{\partial^2}{\partial p^2}) \frac{\partial \phi}{\partial t} = -f \mathbf{V}_g \cdot \nabla (f + \zeta_g) + \frac{f^2}{\sigma} \frac{\partial}{\partial p} (-\mathbf{V}_g \cdot \nabla \frac{\partial \phi}{\partial p})$$

上式右端第二项表示厚度平流(或温度平流)随高度的变化。由位势倾向方程可知,当暖平流随高度减弱时, $\frac{\partial}{\partial p}(-\mathbf{V}_g \cdot \nabla \frac{\partial \phi}{\partial p}) < 0$,等压面高度升高,而冷平流随高度减弱时, $\frac{\partial}{\partial p}(-\mathbf{V}_g \cdot \nabla \frac{\partial \phi}{\partial p}) > 0$,等压面高度降低^[8]。

计算了高温天气产生前一天高低层的温度平流差,即 21 日和 22 日 08 时 700hPa 和 300hPa 之间温度平流的差值,如图 5a 所示,在 21 日 08 时,蒙古国东部到我国河套地区为温度平流差的正值区,即 700hPa 的暖平流强于 300hPa,预示着在这一地区等压面高度将升高。事实证明,第二天此区域高压脊发展加强,并形成一闭合的高压环流,即河套高

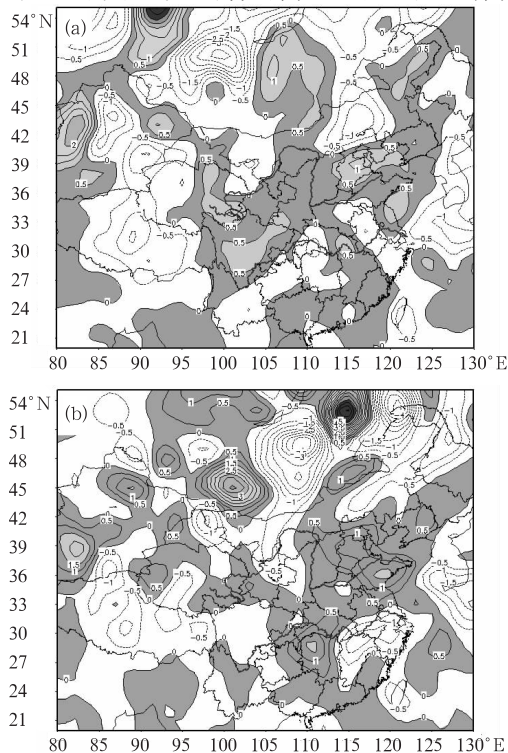


图 5 2005 年 6 月 21 日 08 时(a) 和 22 日 08 时(b)700 与 300hPa 温度平流差
单位: $10^{-4} \text{K} \cdot \text{s}^{-1}$, 阴影区为正值区

压。在图 5b 中,暖平流差值正值区继续向东移动,河套西部为负值所取代,表明高压脊也将东移。

4 高温天气产生的物理机制

4.1 河套高压动力热力结构演变

从上述形势分析可以得知,22 日和 23 日高低层有不同的系统对郑州地区产生影响,为了揭示高温天气产生的内在机制,需要对天气系统进行深入的分析。郑州位于 35°N 、 114°E 附近,图 6 给出了 22 日 08 时和 23 日 08 时沿 35°N 纬向垂直速度、涡度剖面图。从图 6a 中的涡度分布可以看到,河套高压在垂直方向上基本表现为一深厚的负涡度系统,其顶端位于 250hPa 附近,温度场的配置表明了在中低层为暖性,而且在高压的东侧,负涡度向下一直延伸到地面,同时,在 $112^\circ\text{E} \sim 115^\circ\text{E}$ 之间,900hPa 以下有一浅薄正涡度区,意味着在此范围内存在着一地面热低压,郑州正处于此区域内。同时,从垂直速度场可以看到,与此负涡度系统相配合的是一深厚的强下沉气流带,向上一直延伸到 100hPa 以上,向下则到达地面,垂直速度 $\omega \geq 0.1 \text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ 的区域高度与负涡度区大致相当。而在近地面,在 $107^\circ\text{E} \sim 110^\circ\text{E}$ 之间和在 110°E 附近分别有一弱上升气流区,这两处弱上升气流区即是与地面两处正涡度区,即地面热低压相配合的上升气流区。如前所述,此地面热低压是由西北地区东移而来,暖平流不仅直接加热了近地面,而且其对河套高压的形成也具有重要作用,

由此可知,22 日郑州地区为暖性河套高压所控制,强下沉气流中心在近地面正好指向 114°E 附近,即郑州地区所在处。而地面又有东移来的热低压的加热作用,因此,郑州地区不仅有晴空辐射增温以及强烈动力下沉增温作用,而且还有地面热低压的直接热力

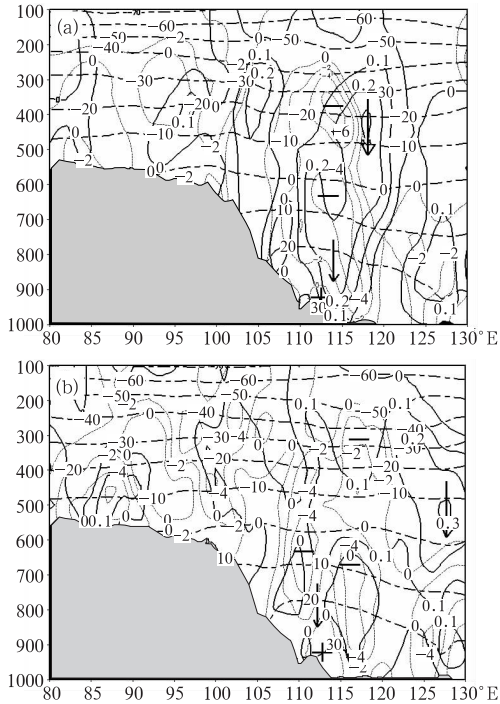


图6 2005年6月22日(a)和23日(b)沿35°N的垂直速度、涡度剖面图

粗实线:垂直速度($\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$),点线:涡度(10^{-5}s^{-1}),点划线为温度($^{\circ}\text{C}$),正负号表示正负涡度中心,矢线表示下沉运动

加热作用,使得近地面气温迅速升高。

分析23日的情况(图6b),与22日相比,除114°E附近近地面温度高于22日外,温度场无明显变化,郑州上空700hPa仍为东移的河套高压所控制,且基本位于河套高压的中心,原位于115°E、400hPa附近的高层负涡度中心明显减弱并略有东移,114°E附近近地面仍为一正涡度区。最明显的变化是中层垂直下沉气流强中心明显东移,24小时之内东移将近10个经度,郑州上空仍然为下沉气流区,但暖性负涡度系统以及下沉气流已有所减弱,因而动力作用所产生的下沉增温相对于22日也已减弱,但由于基础温度(25.9℃)较高,且仍然处在河套高压的控制之下,晴空辐射增温作用仍较强,因而23日再次产生了高温,但升温幅度(日较差)要小于22日。

为了对河套高压中的气流垂直结构有更为清晰的了解,选择22日08时,沿图7a中的直线CD做另一垂直剖面(图7b),其经过郑州站以及700hPa河套高压中心(G处),G所在位置大约为38°N、109°E。图7b显示,在中高层,河套高压负涡度区域更为宽广,与高层高压脊相吻合。温度场的配置表明在中低层高压为暖性,在近地面110~115°E之间为浅薄正涡度区。垂直速度场表明,整层下沉气流区基本位于105~120°E之间。需要注意的是,在高压中心附近有负涡度极大值,但最强下沉气流仍然位于114°E附近,从整个高压区来看,强下沉气流偏于高压中心的东南侧。

4.2 河套高压东南侧强下沉气流成因

为了揭示此个例中强下沉气流偏于河套

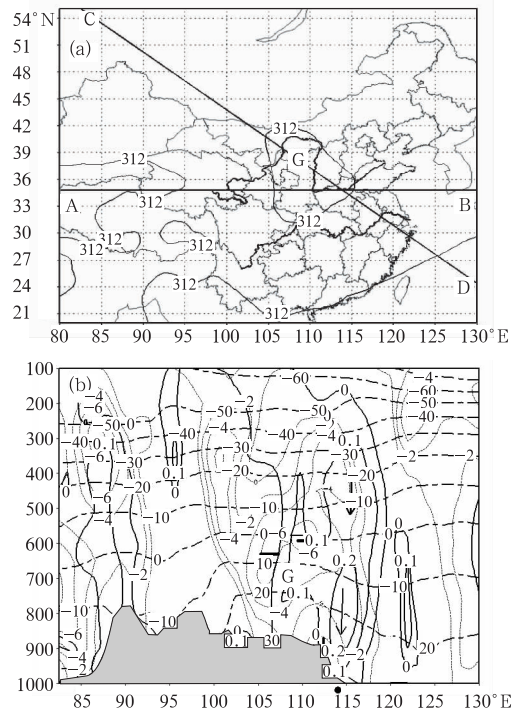


图7 2005年6月22日08时312d gpm等高线(a)和(b)沿图7a中CD所做剖面图(直线AB和CD为做剖面处)G为700hPa河套高压中心位置,横坐标圆点处为郑州所在位置,实线为垂直速度($\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$),点线为涡度(10^{-5}s^{-1}),点划线为温度($^{\circ}\text{C}$),正负号表示正负涡度中心,矢线表示下沉运动

高压东南侧的原因,对高空急流与高低空散度场进行了分析。图8a所示为6月22日08时200hPa急流和200hPa与850hPa散度差分布,其中阴影区为 $\Delta D_{(200-850)} \leq -1.0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 的区域。从图中可以看出,极锋急流位于 47°N 以北,因而对中纬度地区并没有直接的影响。副热带急流有两支,其中一支位于南疆上空,另外一支位于东亚至西北太平洋地区。很明显,河套高压东南部位于东亚副热带急流入口区的左侧。按照动力学理论,在大气大尺度水平运动满足准地转的条件下,高空急流入口区的左侧有负的切变涡度平流,因而在高空急流入口区的左侧存在有辐合。图中阴影区则进一步表示了高低层的相对散度(即相对辐合),间接表明了下沉

气流的强弱。再进一步分析其垂直结构,如图8b所示,虚线为水平散度,在高空急流入口区左侧有辐合区存在,向下则为辐散区域,而且一直延伸到地面。同时,在700hPa高压中心附近也有一辐合区,其下为辐散区。因此,由补偿原理可知,在 $110 \sim 120^\circ \text{E}$ 之间必然存在下沉气流(如矢线所示),这与图7b中的垂直速度场有很好的对应。更进一步分析,由前面的论述可知,在 $112 \sim 115^\circ \text{E}$,900hPa以下有地面热低压存在,因而在中低层必然存在一垂直方向上的热力环流,由此可知图中细箭头所示的低层下沉气流是由热力作用所产生的。同时,中高层粗矢线所示的下沉气流则是由动力作用所产生,而且由副热带急流入口区左侧向右下方延伸出的整层强辐合区能够使得这种动力下沉作用一直到达地面。

综上所述,河套高压东南侧之所以存在有强下沉气流,除与中低层的热力作用有关外,还与高压东南侧的副热带急流所产生的动力作用有关。动力与热力两种作用叠加在一起使得下沉气流极为强盛。强盛的下沉气流更进一步导致地面减压,促进了气温增高。

4.3 地形对高温产生的作用

对河南省历史上高温资料的分析表明,河南省的西北部是夏季高温天气的频发地区,这与地形也存在着一定的关系。河南省地形呈西高东低之势,西部和西北部为豫西山脉和太行山脉,6月份当高空西北气流较为强盛时,气流沿太行山山坡或豫西山地下滑所产生的下沉增温或焚风效应对高温的产生起到了增幅作用。图9给出了22日和23日的08时沿图7a中的CD线所做的500hPa以下的流场垂直剖面图。对流场的分析表明,22日08时在山地的东南侧边缘有较强的下沉气流,并且这种近地面的下沉气流与高空下沉气流相叠加而得到加强。而到了23

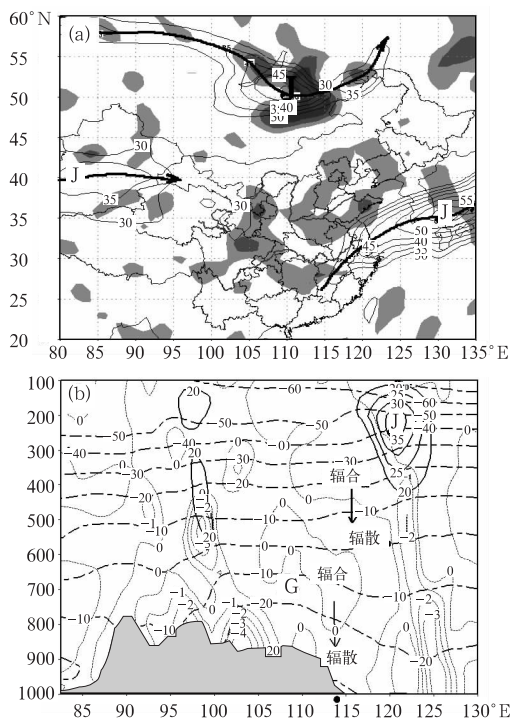


图8 2005年6月22日08时200hPa急流和200hPa与850hPa散度差(ΔD)(a)和沿图7a中所示的CD线所做的垂直剖面(b)
(a)中细实线为 $\geq 30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的等风速线,粗为急流,阴影区为 $\Delta D \leq -1.0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,J为急流核
(b)中粗实线为 $\geq 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的等风速线,等值线间隔为 $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,点线为 $\leq 0 \text{ s}^{-1}$ 的散度等值线,其他说明同图7

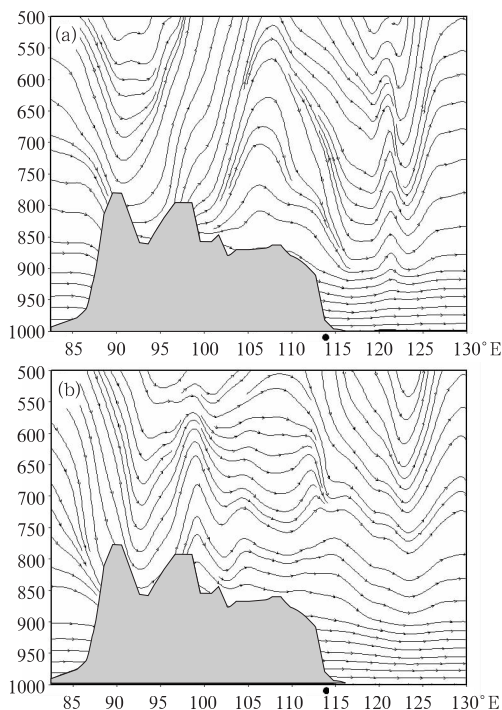


图9 2005年6月沿图7a中CD线所做的流场垂直剖面图横坐标圆点处为郑州所在处(垂直度放大400倍)22日08时(a)和23日08时(b)

日,在 110°E 附近600hPa以下有一与地形几乎反位相的低槽,但在山地东南侧边缘仍有弱的下沉气流存在,说明,23日地形所产生的下沉增温作用由于受高空系统的影响比22日已有所减弱。分析23日高空下沉气流减弱的原因,如前所述,其与河套高压的东移存在着联系。

5 小结

初夏尤其是6月份,郑州地区的高温晴热天气较为常见,但超过 40°C 的极端高温天气在消失了十几年之后于21世纪又开始连

续出现。本文通过对郑州2005年6月出现的连续性极端高温天气的分析得出以下结论:

(1) 河套高压是导致郑州乃至黄淮地区西部产生极端高温的重要天气系统。河套高压的形成与中低层暖平流加热存在着联系。

(2) 河套高压在中低层表现为暖性负涡度系统,而在近地面则有浅薄正涡度区与之相配合。河套高压中的强下沉气流对高温的产生具有重要的作用。

(3) 郑州极端高温的产生与副热带急流也存在着联系。当河套高压的东南部处于高空副热带急流入口区的左侧时,热力作用和动力作用使得此区域的下沉气流显著增强。

(4) 地形所产生的气流下沉增温或焚风效应对高温天气的形成起到了增幅作用。

参考文献

- [1] 谢庄,崔继良,刘海涛,等.华北和北京的酷暑天气Ⅰ.历史概况及个例分析[J].气候与环境研究,1999,4(4):323-333.
- [2] 孙建华,陈红,赵思雄,等.华北和北京的酷暑天气Ⅱ.模拟试验和机理分析[J].气候与环境研究,1999,4(4):334-345.
- [3] 钱婷婷,王迎春,郑祉芳,等.造成北京连续高温的河套高压结构分析[J].应用气象学报,2005,16(2):167-173.
- [4] 赵世林,车少静.石家庄的高温闷热天气[J].气象,2001,27(9):23-25.
- [5] 王迎春,葛国庆,陶祖钰.北京夏季高温闷热天气的气候特征和2008夏季奥运会[J].气象,2003,29(9):23-27.
- [6] 郑祚芳,王迎春.北京夏季持续高温过程特征分析[J].气象,2005,31(10):16-20.
- [7] 王记芳.郑州市近50年高温闷热天气气候特征分析[J].河南气象,2003,(4):11-12.
- [8] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等.天气学原理和方法(第三版)[M].北京:气象出版社,2000:115-118.