

华北和北京的酷暑天气

I. 历史概况及个例分析

谢 庄 崔继良 刘海涛

(北京市气象局, 北京 100089)

赵思雄 孙建华 陈 红 曾庆存

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

摘 要 如果将日最高气温超过 35°C 的天气定义为酷暑天气, 则近 60 年的资料统计表明, 北京出现酷暑天气的年频率高达 81%, 并不少见, 尤以 40 年代和 90 年代明显偏多。1942 年 6 月和 1999 年 7 月都出现 $\geq 42^{\circ}\text{C}$ 的酷暑天气。分析表明, 北京和华北酷暑天气的出现与大环流形势密切相关, 大陆副热带高压维持于华北上空是其主要因素, 空气下沉增温是酷暑的主要机制, 而大城市的热岛效应则可使城区百叶箱气温再增高 2°C 左右。

关键词 酷暑天气 大陆副热带高压 下沉增温 (下沉压缩) 城市热岛

1 引言

本世纪下半叶以来, 我国北方大部分地区增暖明显, 华北地区 80 年代气温比前 30 年平均 (1950~1979 年) 升高了 0.71°C , 大大超过了全球 30 年平均升高 0.24°C 的增温率^[1], 北京 30 年来 (1950~1979 年) 升温达 0.59°C 。进一步的研究表明, 北京自 1870 年以来 1 月和 7 月的平均气温均呈上升趋势, 年平均气温增温率为 $0.6^{\circ}\text{C}/100\text{a}$, 而 1 月的线性增加率为最大 ($1.12^{\circ}\text{C}/100\text{a}$), 7 月为最小 (仅为 $0.2^{\circ}\text{C}/100\text{a}$)^[2]。另外, 自 1940 年以来, 北京最低气温呈明显上升趋势, 而最高气温反而有所下降, 即 1980 年以来的增温主要在夜间^[2]。1942 年 6 月 15 日, 北京极端最高气温 (以下简称 T_m) 曾达 42.6°C , 1972 年以后直到 90 年代中期北京未出现过 40°C 以上的高温; 而北京的极端最低气温呈上升趋势, 由 50 年代的 -22.8°C (1952 年 1 月) 到 90 年代的 -14.8°C (1990 年 1 月)^[3], 即近 20 年来异常炎热和寒冷的日子较少出现, 这就使人们产生疑问: 是否北京有向暖性温和气候演变的趋势? 但是, 1997 年和 1999 年北京夏季的酷暑对这疑问作了否定的回答, 问题值得研究。

2 1999 年酷暑天气概况

2.1 酷暑天气概况

1999 年夏季, 华北大地烈日炎炎, 酷热难当, 我国黄河以北大部分地区出现了酷

暑高温天气,季平均气温一般比常年偏高 1~2℃,其中内蒙古中部和山西西北部偏高 2~3℃。华北高温区的中心为京津及其附近地区。北京季平均气温虽只偏高 1.3℃,但日平均气温超过 30℃ 的日数多达 15 天,其中 6 月有 3 天(常年不足 1 天),7 月多达 12 天(常年不足 1 天);还有,1999 年 6、7 两月 $T_m \geq 35^\circ\text{C}$ 的日数共 21 天,其中 6 月有 8 天,7 月有 13 天。季内华北地区出现两段高温天气,第一段从 6 月 24 日~7 月 2 日,华北 T_m 为 35~37℃,北京 T_m 达 39.3℃;第二段从 7 月 23 日~7 月 30 日,华北 T_m 为 35~39℃,其中保定 39.9℃,石家庄 39.7℃,北京则高达 42.2℃,创有记录以来的最高值(1942 和 1943 年 7 月 T_m 均为 40.5℃),情况详见表 1。

表 1 北京 1999 年夏季的两个高温时段(记录取自北京南郊观象台) ℃

日 期	日平均温度	日最高温度	日最低温度	日 期	日平均温度	日最高温度	日最低温度
6 月 24 日	27.6	35.5	17.3	7 月 23 日	31.3	37.8	25.1
6 月 25 日	30.1	38.4	20.3	7 月 24 日	34.3	42.2	26.7
6 月 26 日	31.0	37.1	24.4	7 月 25 日	32.6	37.0	25.1
6 月 27 日	29.9	36.6	24.5	7 月 26 日	30.4	35.8	24.9
6 月 28 日	29.0	35.2	22.5	7 月 27 日	30.1	35.3	25.8
6 月 29 日	29.8	36.3	23.3	7 月 28 日	32.0	37.3	26.3
6 月 30 日	31.1	36.6	23.9	7 月 29 日	32.3	38.0	26.2
7 月 1 日	30.4	37.4	23.4				
7 月 2 日	31.9	39.3	23.3				

2.2 产生酷暑天气的条件(1999 年 7 月个例分析)

(1) 图 1 为 1999 年 7 月 23 日 21 时到 24 日 20 时(本文除特别说明外均为北京时)北京逐时自记地面温、湿、风曲线。由图可见,23 日 21 时以后风速很小,相对湿度增加,到 24 日凌晨,相对湿度高达 80% 以上,夜间气温下降缓慢,最低气温为 25.1℃,出现在 24 日 06 时,这时间风向由偏南风转偏北风,这反映出北京地区由于地形西北高东南低所形成的局地环流日变化所致。转北风后湿度缓慢下降。气温由于地面接收太阳辐射而快速上升。10 时有一很弱的锋面过境,以后风向转为西北,12 时以后风速加大(掩盖了北京地区的正常的局地环流)湿度迅速减小,15 时~16 时相对湿度只有 20% 左右,地面异常干燥,天空晴朗无云,能见度好,辐射增温用以消耗空气中

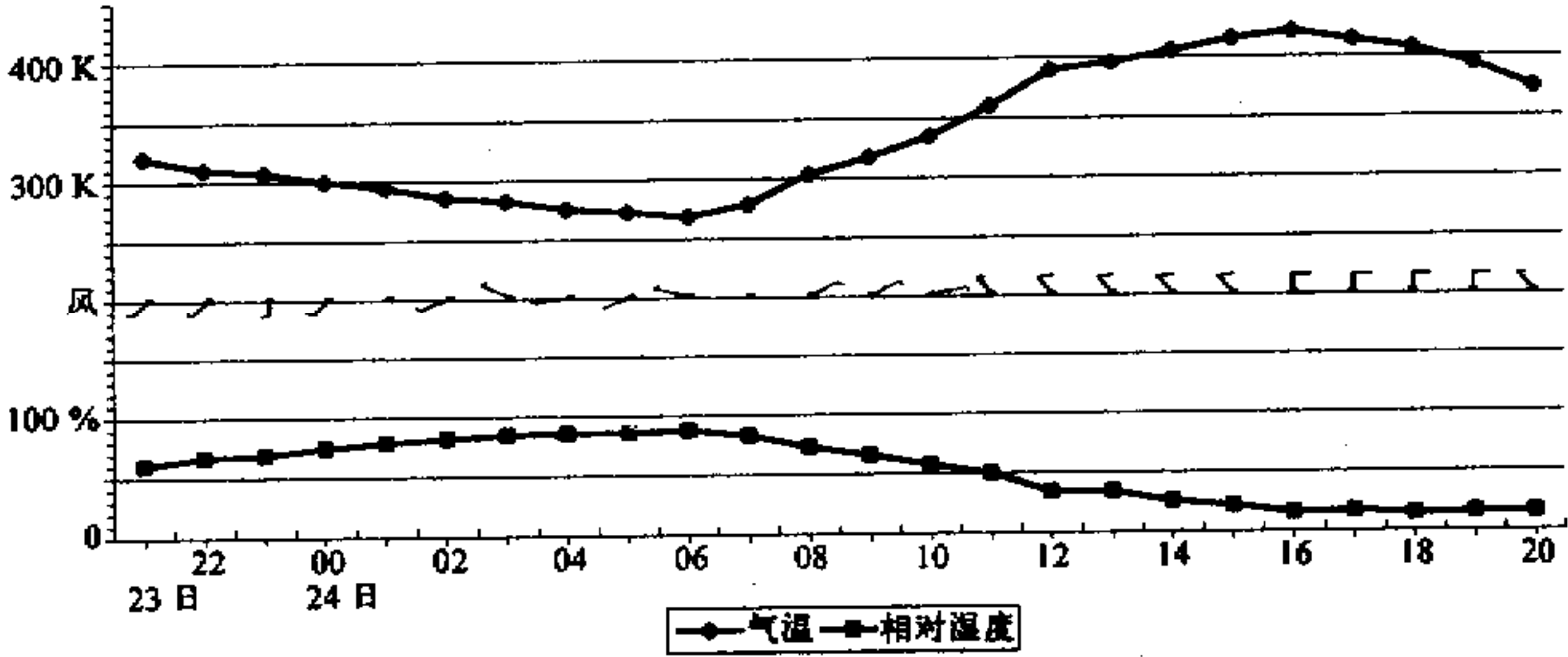


图 1 北京南郊观象台 1999 年 7 月 23 日 20 时~24 日 20 时百叶箱气温、相对湿度与风逐时自记曲线

水汽蒸发的数量较小,加之夏季太阳直射点北移,北京区域太阳高度角相对较大,太阳辐射强,辐照时间也长(北京7月每天的可能日照时数平均为14.6小时),得到的热量多,一般增温可直到16时,气温可升得较高。

(2) 图2为取自北京南郊观象台和日本八丈岛(140°E , 33°N , 站号为47678)24日08时的探空曲线。从图2a看,北京上空850 hPa以上为偏北风,风速很大,此后弱锋面过境,北风甚至扩展到低层;而低层直至700 hPa出现超绝热层结(但并没有出现对流云,可见大陆副热带高压下^[5]的下沉气流的强大和稳定,此下沉气流的压缩效应导致至少是绝热温度梯度而使下层增温,关于大陆副热带高压,以下还要分析)。另查,850 hPa的气温从23日20时开始升为 27°C ,持续到25日20时,按 $0.6\sim 1.0^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 的平均或超绝热温度垂直梯度计算,24日14时以后,地面 T_{m} 就可达 $37\sim 43^{\circ}\text{C}$,已在实测的地面 T_{m} 范围之内;此外,近地面薄层由于还受到太阳辐射直接加热的影响,温度可能还要高。再看图2b,八丈岛地处太平洋,纬度比北京低,又位于太平洋副热带高压的西南气流中,层结相对比北京稳定,海洋上空的副热带高压(即通常所说的副高)边缘的气流下沉增温至少不明显,且海面由于太阳辐射导致的加温也弱,因而海表面上气温也不很高。这个对比表明:大陆副热带热高压与通常所谓的副热带高压在动力学和热力学的特性上有明显的不同,正是它才是造成华北(北京)出现异常高温的重要原因。

(3) 下面再看城市与郊区的温差。北京近年来城市化进程较快,1999年华北的酷暑天气又以北京、石家庄、保定最甚,酷暑是否与城市热岛效应有关是人们关心的问题。目前,北京有21个自动站(国产),图3为7月23日20时至24日20时官园站(代表城区)和平谷站(代表远郊区)逐时气温以及两站气温之差,由此可探讨这次异常高温天气的城市热岛效应。从图3可见,城郊温差在23日20时后开始增加,24日09时达到最大值 4.1°C ,以后下降。城郊温差日平均为 2.2°C 。官园海拔高度51.3 m,平谷为28.1 m,两站海拔高度相差23.2 m,由于海拔高度差造成的温度差仅为 0.139°C ,可以忽略不计。这也就是说,在本次异常高温过程中,城市热岛效应的确对高温的形成有一定贡献。

3 北京历史上的酷暑天气

据统计,北京极端最高气温在 $35\sim 40^{\circ}\text{C}$ 之间的机率达81%左右, $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的日数平均每年为5.9天,其中6月3天,7月2.7天,8月0.2天。极端最高气温 $\geq 40^{\circ}\text{C}$ 的日数较少。极端最高气温大多出现在雨季到来之前,该期间天气晴朗,太阳辐射强,湿度小,气温可升得很高^[5]。进入雨季后,天气闷热,最高气温不易升到 35°C 以上,但一旦出现 35°C 以上的高温或持续数日,则人们感到酷热难当,往往造成人们患病甚至人畜死亡或停电等事故发生,所以,7月的高温天气更是人们关注的焦点。表2为1940~1999年60年间高温状况统计表。

从表2可见,60年中只有11年没出现 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的高温,即北京7月出现高温日的年频率达0.81。北京夏季出现高温天气,特别是持续高温天气也是常见的现象,最长高温的连续天数高达8天(1997-07-08~15),但以连续2天为最常见,其次为连续3天

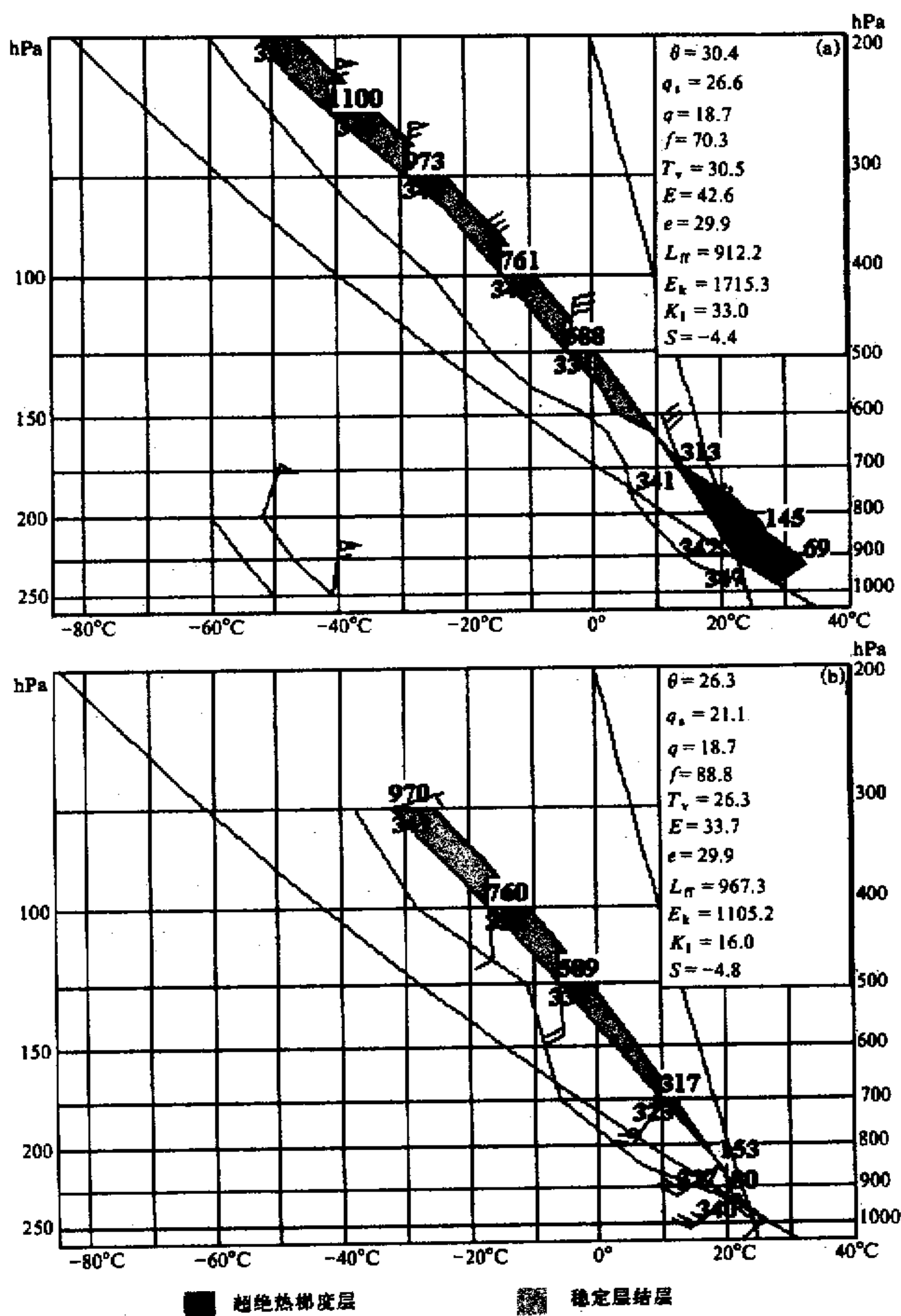


图2 1999年7月24日08时北京南郊观象台(a)和日本八丈岛(b)单站探空曲线图

或4天。高温频发期为40年代(59天),其次就是90年代(41天),再次为60年代(38天),其他年代都少很多。

表3为40年代和90年代7月 $T_m \geq 35^\circ\text{C}$ 的日数、时段和月极端最高温度统计表。从表3可以进一步看到,40年代7月 $T_m \geq 35^\circ\text{C}$ 的高温日的日数平均为5.9天,而90

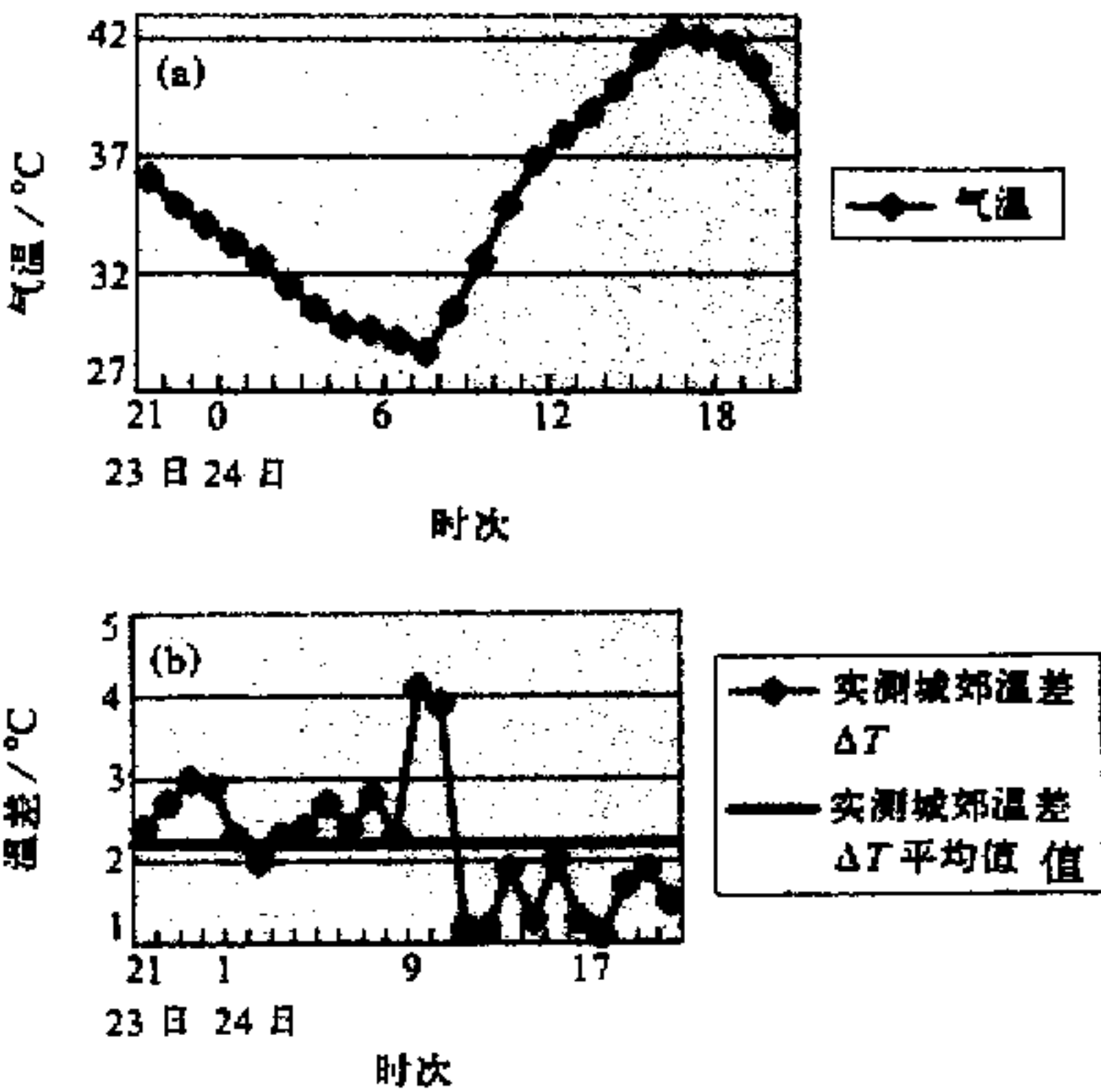


图3 北京1999年7月23日20时~24日20时城区和郊区温差
(a) 官园站一小时最高温度自记曲线; (b) 城区(官园)和郊区(平谷)温差

年代为4.1天,即40年代7月 $T_m \geq 35^{\circ}\text{C}$ 的高温日的出现频率较高,但极端最高温度值出现在1999年7月,1999年7月高温($T_m \geq 35^{\circ}\text{C}$)持续的时间也最长。

表2 1940~1999年7月高温出现的年频数、连续高温次数、年代际高温概况统计表

高温概况	日最高气温档次	$\geq 40^{\circ}\text{C}$	$\geq 39^{\circ}\text{C}$	$\geq 38^{\circ}\text{C}$	$\geq 37^{\circ}\text{C}$	$\geq 36^{\circ}\text{C}$	$\geq 35^{\circ}\text{C}$	$< 35^{\circ}\text{C}$
	出现年数	4	7	13	20	30	49	11
	占总日数的机率	0.07	0.12	0.22	0.33	0.5	0.81	0.18
连续高温次数	$T_m \geq 35^{\circ}\text{C}$ 持续日数	8	7	6	5	4	3	2
	出现次数	1	1	1	2	6	9	24
年代际高温概况	年代	40年代	50年代	60年代	70年代	80年代	90年代	
	$T_m \geq 35^{\circ}\text{C}$ 日数	59	24	38	18	21	41	

表3 40年代和90年代7月 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的高温日的日数、时段和月最高温度($^{\circ}\text{C}$)统计

年份	高温日数	高温日期	最高气温	年份	高温日数	高温日期	最高气温
1940	6	5、12、14~15、17~18	38.4	1990	1	24	37.5
1941	4	3~4、23、31	37.2	1991	6	1、4、6、18~19、25	37.5
1942	7	1~6、19	40.5	1992	0		
1943	10	12~16、18~21、25	40.5	1993	1	13	35.5
1944	6	16、18~20、26~27	38.9	1994	4	1~2、5、29	37.2
1945	12	2~4、11~13、16~18、22、30~31	40.0	1995	1	10	35.0
1946	7	2~5、11、30~31	36.9	1996	2	1、6	35.5
1947	5	4~5、22~23、27	36.8	1997	12	6、8~15、22、24~25	38.2
1948	2	7~8	35.1	1998	0		
1949	0			1999	13	1~2、4、16~18、23、29	42.2

4 华北和北京的酷暑天气环流特征

4.1 对流层低层

先看地面天气形势,在地面图上,1999年7月23日08时华北位于弱高压脊边缘,北京亦处于其控制下,蒙古中部有一条弱冷锋往东南方向移动,24日08时(图4)时移到赤峰、张家口、大同一线,当时,北京的地面温度为 30°C ,张家口为 21°C ,锋面于11点左右过北京,空气越燕山山脉下沉,气温开始急剧升高,以至24日16时北京气温升至 42.2°C 。

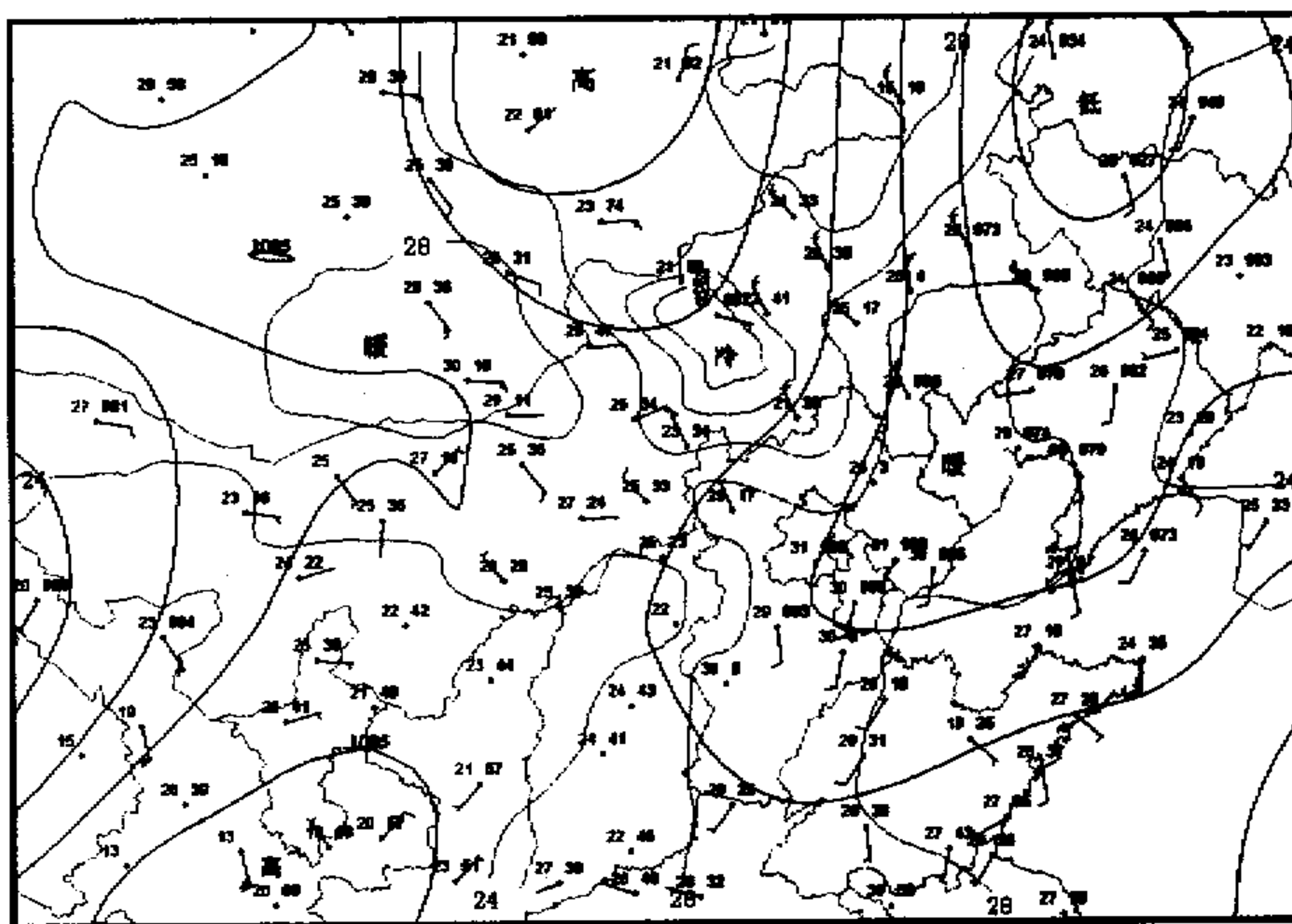


图4 1999年7月24日08时地面图

再看850 hPa图,7月23日08时(图5a),148位势什米线闭合高中心从华北西部伸向蒙古及贝加尔湖地区,24℃的闭合暖温度中心位于北京西部,20时暖中心增强,中心竟达 32°C 以上,28℃的等值线接近北京(图5b)。持续到24日20时,华北东部的风场从23日08时至24日08时(图5c)均为高压前部的偏北风,风速大,达 10 m/s 。空气由黄土高原翻过燕山山脉下沉压缩升温。

4.2 对流层中层

先看700 hPa图7月23日08时(图略),华北北部、西部到蒙古南部为一个暖高压脊,312位势什米等值线的闭合高中心位于北京西部,24日08时312线范围增大,通过北京,同时强度增强,中蒙边境出现316线闭合中心,相应的暖中心也增强,出现

16℃的闭合线, 北京西北风风速达 10 m/s, 温度为 16℃ (图 5d)。

再看 500 hPa 图 (图 6), 在第 41 候上 (7 月 21~25 日), 西太平洋副热带高压位置明显偏东, 远离东亚大陆东岸, 但华北上空却有一强副热带高压, 它就是谢义炳^[5]最早指出而十分强调其作用的有别于海洋上空的大陆副热带高压带的一部分。在这一候,

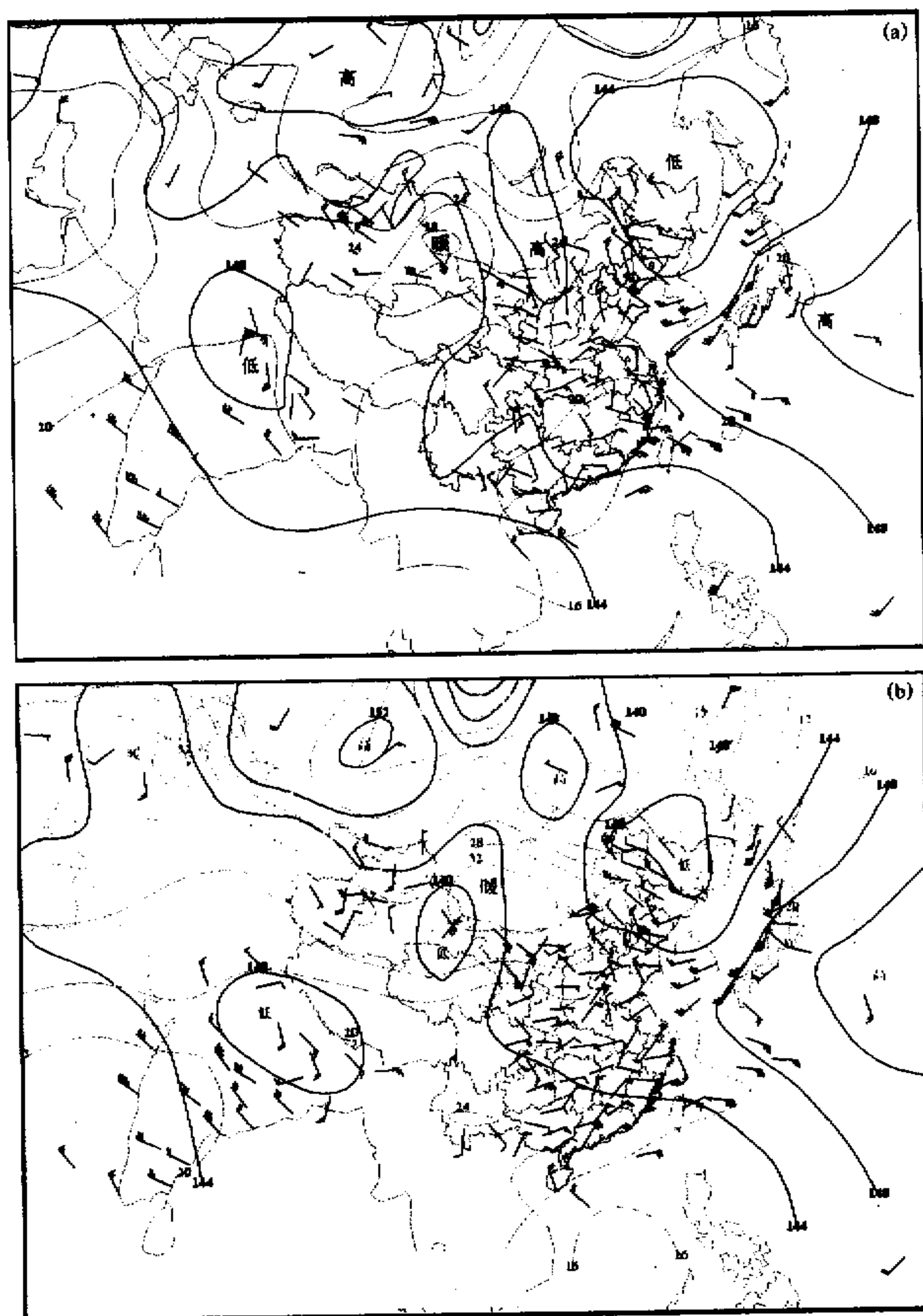


图 5 1999 年 7 月 23~24 日高空图
(a) 23 日 08 时 850 hPa; (b) 23 日 20 时 850 hPa

588 线闭合中心位于内蒙古上空, 要特别指出的是该高压与在非洲以及阿拉伯上空的大陆副热带高压形成一个庞大的系统, 华北高压只是该高压带的延伸, 而决非西风带中的阻塞高压 (由于该高压伸展得比较北, 西风带系统的演变过程也多少对它有一些影响, 使它在华北形成独立的中心)。受该大陆副热带高压阻挡, 弱冷空气及低压槽稳定

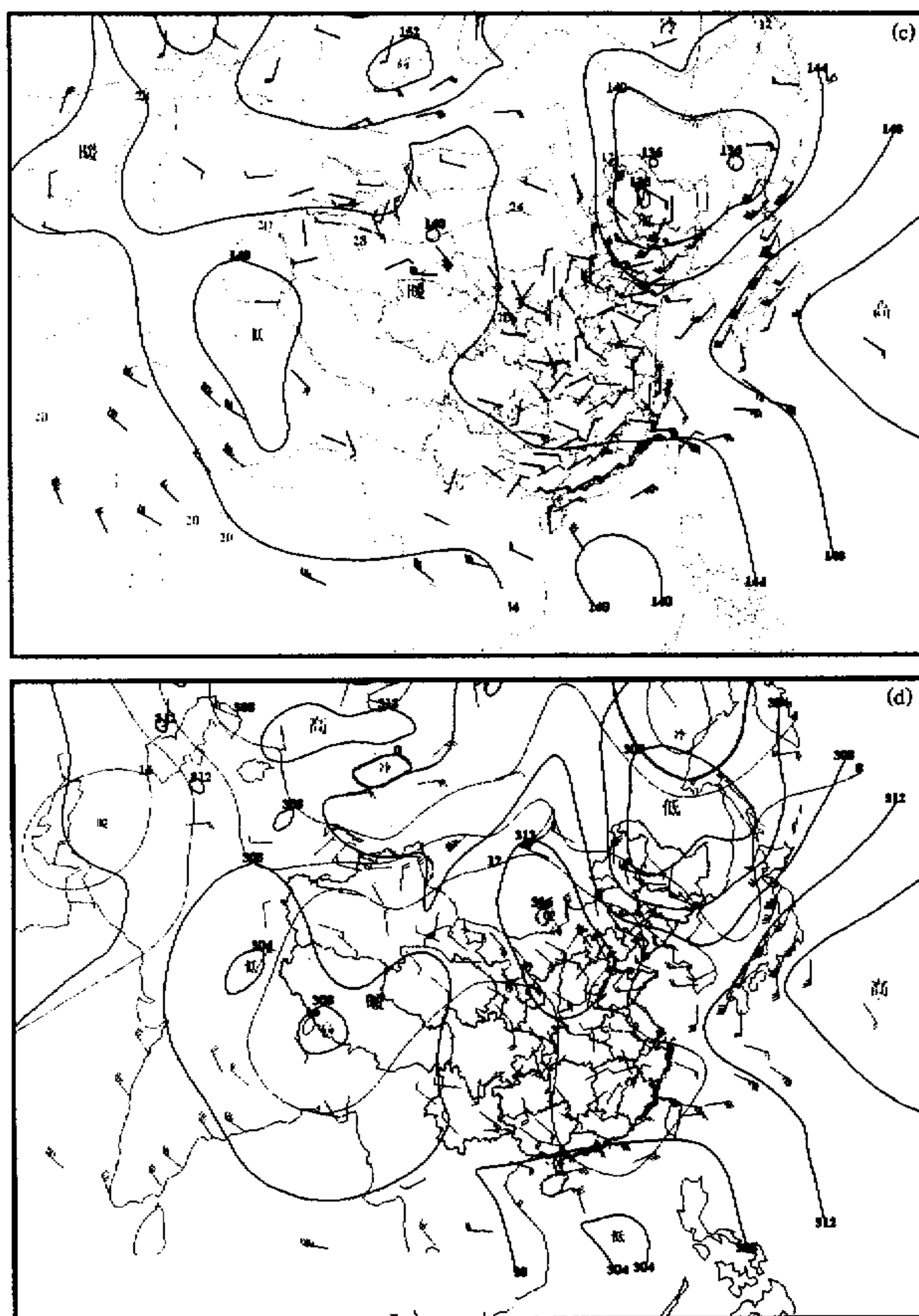


图 5 (续) 1999 年 7 月 23~24 日高空图
(c) 24 日 08 时 850 hPa; (d) 24 日 08 时 700 hPa (实线为等高线, 虚线为等温线)

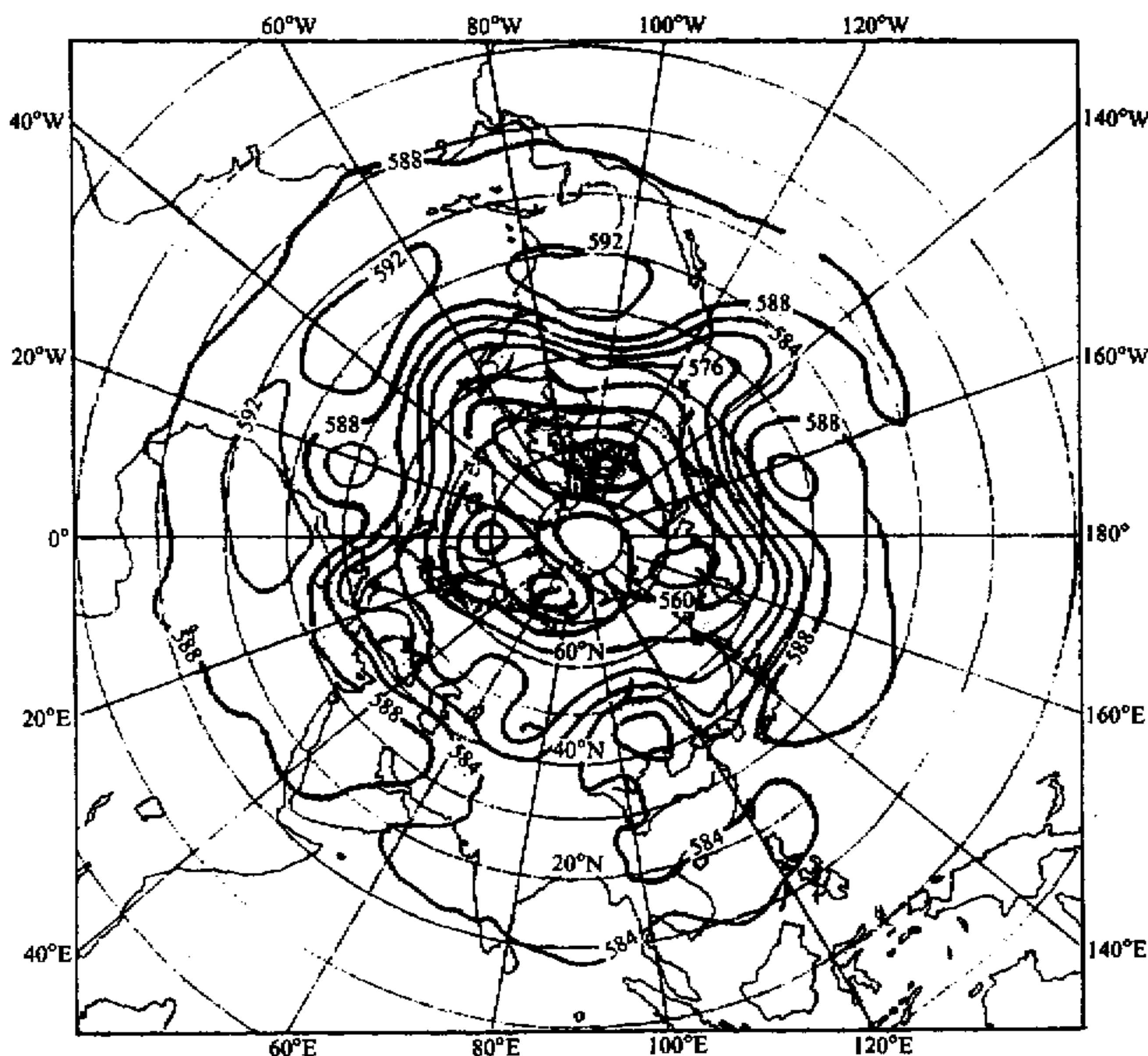


图6 500 hPa 第41 候北半球高度场

在西亚上空少动。

4.3 对流层上层和平流层低层

在1999年7月24日高层100 hPa图(图7)上,极涡偏心于西半球,西太平洋副高异常弱且偏东,而副热带大陆热高压则十分强大,占据广大大陆上空,中心分别位于阿拉伯、伊朗和整个中国北方并延伸至我国东北和东西伯利亚。从图7可以清楚地看到,确实存在着海洋上空的副热带高压和大陆副热带高压两大系统,两者不同,尤其垂直结构不同。愈往高空,则大陆副热带高压系统愈庞大而强盛。也有人称之为南亚高压且与南亚季风联系在一起,这似乎是不恰当的,因为该高压并非位于南亚,而是由北非至西亚延伸至东亚,而且它也是南亚季风(印度季风)在高空的延伸(并非热低压在高空转为热高压),而是其他因素(例如青藏高原、西亚高原等的加热)所造成的行星季风系统的一部分。

综上所述,这次华北和北京酷暑天气期间,是由于副热带大陆热高压异常强大且异常东北伸,使华北上空为它所控制,且一直延伸至近地面层。

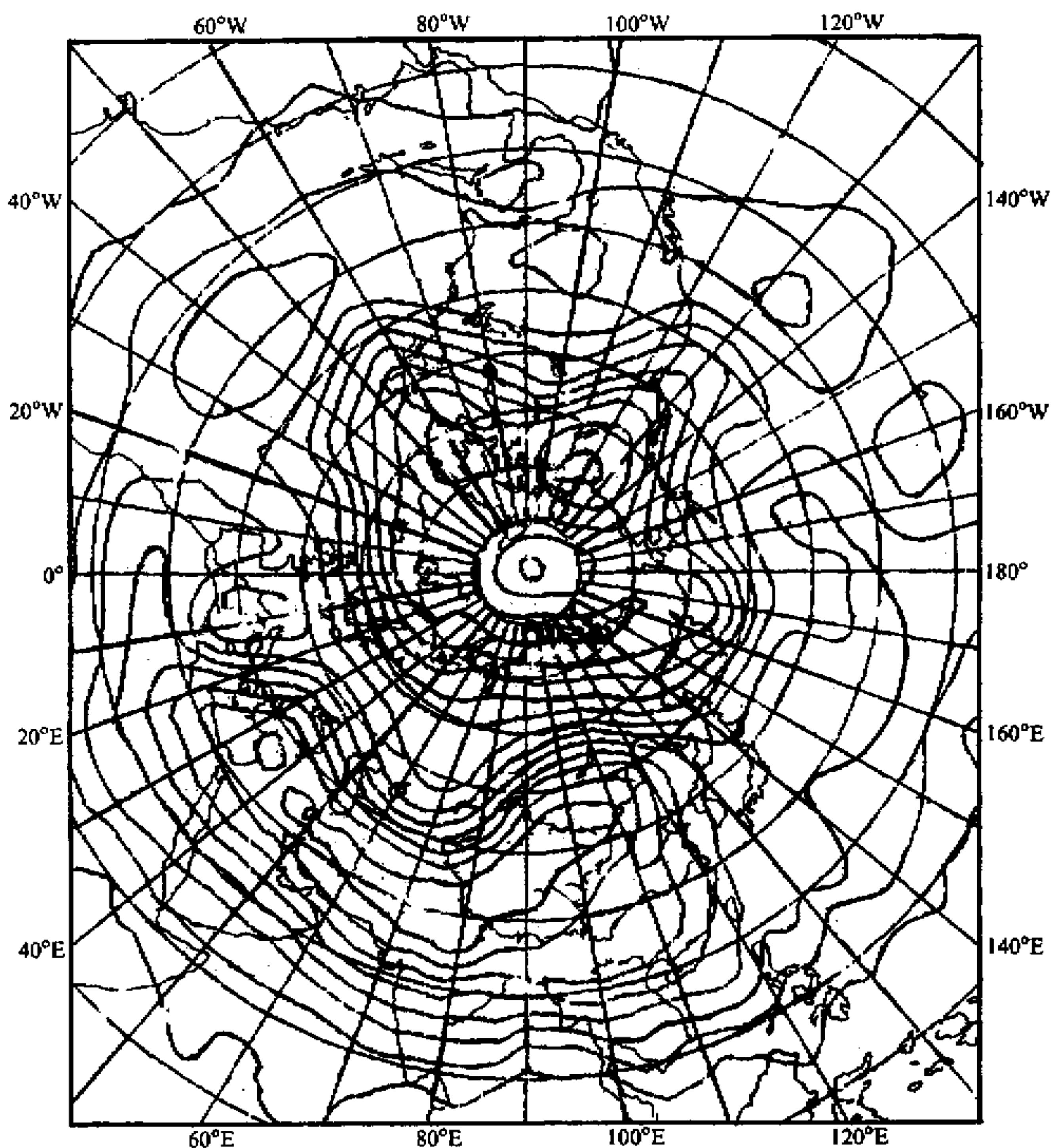


图7 1999年7月24日20时100 hPa北半球高度场

5 小结

统计资料表明, 日最高温度 $T_{\max} \geq 35^{\circ}\text{C}$ 的酷暑天气在北京和华北夏季是常见的, 只是持续日期有短有长, 40年代和90年代酷暑天气气温最高, 持续日数也长, 1999年酷暑天气竟出现在7月下旬, 延续7天, 日最高气温竟达 42.2°C 。究其原因, 主要是1999年7月副热带大陆热高压十分强盛且异常东北伸, 占据广大区域, 甚至在华北上空有异常强的副热带大陆热高压中心分体, 一直延伸至地面。增温的主要机制是该热高压边缘下沉气流的压缩增温作用, 而城市热岛效应也有次要作用。本文的第二部分将用数值预报模式作分析和预报, 更进一步阐明上述机理^[6]。

参 考 文 献

- 1 陈隆勋, 1991, 近四十年我国气候变化的初步分析, 应用气象学报, 2(2), 164~174.
- 2 谢庄等, 1999, 近百余年北京气候变化的小波特征, 气象学报, (待发表)
- 3 谢庄等, 1996, 北京最高和最低气温的非对称变化, 气象学报, 54(4), 501~507.
- 4 北京气候志, 1987, 北京: 北京出版社, 18~24.
- 5 谢义炳等, 1997, 盛夏亚洲和西太平洋大型天气和中国降水, 谢义炳文集, 北京: 北京大学出版社, 170~179.
- 6 孙建华等, 1999, 华北与北京的酷暑天气 II. 模拟实验和机理分析, 气候与环境研究, 4(4), 334~345.

A Study on the Severe Hot Weather in Beijing and North China Part I. Statistics and Synoptic Case Study

Xie Zhuang, Cui Jiliang and Liu Haitao

(Beijing Meteorological Bureau, Beijing 100089)

Zhao Sixiong, Sun Jianhua, Chen Hong and Zeng Qingcun

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract Severe hot weather is defined as extreme maximum temperature $T_m \geq 35^\circ\text{C}$ during the daytime. Statistics show that the probability of occurrence of severe hot weather in North China and Beijing in the period of 1950~1999 is as high as 81%. The high frequency and high T_m exist especially in 1940s and 1990s (in both decades, $T_m \geq 42^\circ\text{C}$ occurred). The analyses show that the mechanism causing the severe hot weather is due to the abnormal strong and enlarged continental subtropical land high, which maintains for a long period and its sub-center occupies North China. This situation makes an increase of air temperature by descending motion. Besides, the effect of city hot islands also makes secondly contribution.

Key words severe hot weather continental subtropical high descending compression urban heat island effect