

北京奥运期间一次暴雨过程风廓线资料特征

翟 亮

(北京市气象台,100089)

提 要:通过分析2008年8月10—11日,北京暴雨天气过程中的两部风廓线仪(观象台、海淀)数据,总结其在此次过程中的特征发现:观象台与海淀两部风廓线仪在该地区强降水发生前,都监测到有低空急流的出现,但是出现时段、高度、维持时间、均不相同;在暴雨发生前,两部风廓线仪观测的垂直速度,均出现明显的变化,特别是海淀的垂直速度有大于 $8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的速度区,并到达地面;强降水发生前在垂直方向的温度平流同样有明显变化,冷暖平流随高度交替出现,且与低空急流出现的时间以及位置一致。由此可见低空急流与温度平流的变化有着重要联系。大气折射率结构常数可以与垂直速度相结合,为判断垂直方向大气的稳定程度以及降水提供辅助依据。

关键词:风廓线仪 暴雨 垂直速度 温度平流

引 言

暴雨一直以来都是北京夏季一种主要的灾害性天气,尤其在奥运会期间更是对开放式赛事造成严重的影响,甚至决定着比赛是否能够正常进行。随着风廓线雷达在短时临近天气预报中的应用日趋广泛,特别是当有天气过程影响时,能够对大气在垂直方向上的风场特征进行实时监测,有效地补充了探空数据的不足,以及常规多普勒雷达观测的局限。成永勤^[1]对风廓线雷达做了准确的定义。

关于风廓线雷达在天气预报业务中的应用已有很多研究,张朝林^[2]认为,大气风场随高度的垂直分布和变化,对天气过程有明显的作用,在较短时期就可对大气的空间特征形成深厚的影响,天气系统对大气风场的垂直结构特征是较为敏感的。因此对大气垂直方向风场的监测对短时临近天气预报业务

是非常重要的。毕亚琴^[3]通过对风廓线雷达的分析得出,风廓线雷达对风的垂直切变,以及垂直速度随高度的波动的监测是比较好的手段,而这也正是强对流天气发生之前的一个重要特征。另外,杨引明^[4]的研究中也认为,风廓线雷达在对垂直速度随高度波动的程度以及这种波动发展的高度对强对流天气的预报具有指示意义。

在风廓线雷达对暴雨天气过程中的应用分析方面,古红萍等^[5]利用北京城区及周围3个站的Airda 3000边界层风廓线雷达提供的风廓线资料,详细分析了北京2005年8月3日的一次强降水天气过程,得出:降水前十几小时出现双层低空急流,急流层内结构复杂,呈现多中心结构。风廓线观测揭示,由高空槽和弱冷空气共同诱发产生的切变线低涡是产生此次暴雨天气的主要中尺度系统,暴雨系统有很复杂的垂直结构。强降水开始前数小时(夜间)城区地面风场辐合,在临近降水和降水开始时辐合(或切变)层向上发

展,这一过程有利于降水的发展。

本文中所用的风廓线资料来自两部风廓线仪,一部是观象台 CFL-16 型对流层风廓线仪,这种新型高空气象探测设备,采用固态有源相控阵、数字中频接收机和大气虚温等先进技术,能够不间断地连续提供 150m 至 16km 高度范围内的大气水平风场(探测误差低于 $1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)、垂直气流、大气折射率结构常数等气象要素随高度的分布。另一部是位于海淀公园的 CFL-03B 边界层风廓线仪。这也是北京市气象局 2008 年北京奥运气象保障的重要设备。

通过分析此次暴雨过程中的观象台 CFL-16 风廓线仪、海淀 CFL-03B 边界层风廓线雷达的风向、风速、垂直速度,以及利用热成风原理和压高关系算得的温度平流的变化情况,期望能从中获得一些能够在短时临近预报业务中有意义的特征,对如暴雨等强对流天气的预报提供依据。

1 北京 2008 年 8 月 10—11 日天气过程回顾

2008 年 8 月 10—11 日受高空槽前降雨云团影响,8 月 10 日凌晨北京开始出现较强降雨并伴有雷电,截止到 10 日 16 时(北京时,下同),房山浦洼降雨量已经达到 120mm。北京奥运气象服务中心在 8 月 10 日 7 时 35 分、16 时连续两次发布雷电黄色预警后,在 16 时 20 分又发布了暴雨蓝色预警信号,提醒奥运赛事组委会、城市运行指挥部门和公众做好防雷防雨。并提醒北部山区注意防范强降雨可能引起的地质灾害。8 月 10 日下午,由于降雨不断,奥运会网球赛事当天未进行完和未进行的比赛全部取消,其他室外项目也受到不同程度影响。此次降水一直持续到 11 日。

此次过程中,8 月 10 日 08 时 500hPa,在贝加尔湖东北侧有一个很强的低涡,在低涡底部,位于我国河套地区切断出一个闭合的

低压中心,这个低值中心在 700hPa、850hPa 均有体现,地面有低压倒槽,倒槽顶部位于北京地区,这也是北京夏季降雨的典型降水形势。另外值得注意的是,在 500hPa 上可以看到,我国东南沿海一带有一个气旋性涡旋,该气旋在 850hPa 风场也有体现,并向北移动,其北部的东南气流,与副热带高压西侧的东南气流合并,一直延伸到了山东半岛,这也是此次北京强降水过程的重要水汽输送条件之一。从 08 时的观象台(54511)探空资料显示,整层湿度很大且不稳定,K 指数达到 39,沙氏指数 -2.0 ,各项指标均预示着北京的这次降水将会非常明显。那么风廓线又有什么特征呢?

2 水平风速特征

顾映欣^[6]的研究表明:风廓线时间-高度剖面图上风速极大值的位置和大小可决定本站上空高、低空急流的高度和强度,并以其时间变化确定演变趋势。古红萍等^[5]认为降水前十几小时出现双层低空急流,急流层内结构复杂,呈现多中心结构。那么本次过程中,强降水出现前,是否也有低空急流出现呢?具有什么特征呢?根据观测,观象台与海淀气象站的降水集中在 10 日 19 时至 11 日 10 时(如图 1),海淀 1 小时雨量最大出现在 10 日 20 时,达到 23.7mm,观象台也在 21 时一个小时内降了 18.1mm。

由观象台和海淀的水平风速(图 2 a)中可见,2008 年 8 月 10 日 9:00—10:00 之间,600 ~ 900hPa 有低空急流,中心强度达到 $30\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上,位于 800 ~ 850hPa。这支急流中心的风向以偏东风为主,急流其他大都以西南风为主;并逐渐向高空延伸,逐渐由一支东南风、西南风混合型的急流带,转为以西南风为主的低空急流;但是此时较强的低空急流和垂直风切变,并未直接引发强降水,这与刘淑媛等^[7]研究发现的低空急流到达测站上空及较强脉动不一定立刻引发强降水

的结论一致。海淀风廓线仪也在强降水发生前 4 小时在 950 ~ 850hPa 出现了西南低空急流,维持时间较短,另外在 18 时前后 850 ~

750hPa 也出现了短暂的西南急流,此时距离海淀的强降水约两小时(见图 2 b)。

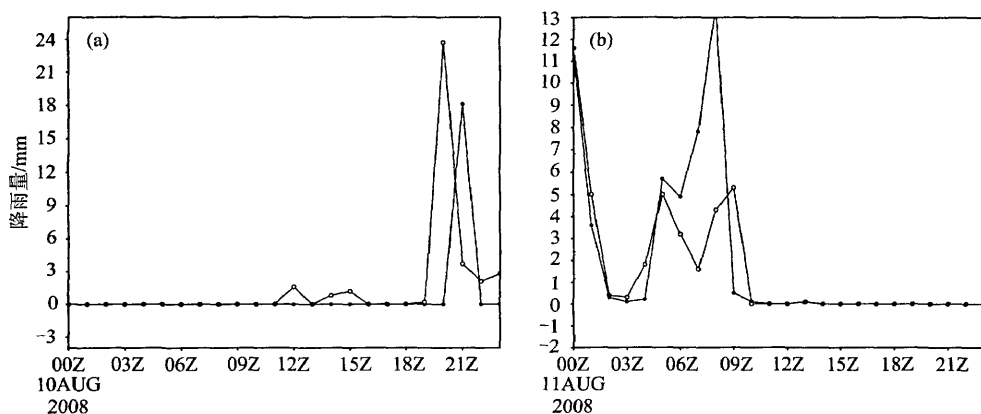


图1 逐小时降雨量

(a) 8月10日观象台(实心), (b) 8月11日海淀(空心)

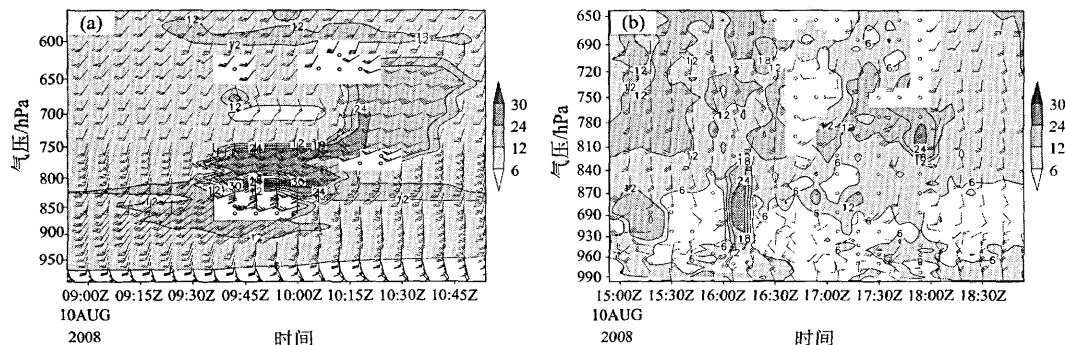


图2 2008年8月10日观象台(a)和海淀(b)水平风速($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

由此可见,两部风廓仪在该地区强降水发生前,都监测到有低空急流出现,但出现时段、高度、维持时间均不相同。其中,观象台 9:00—10:00 之间,600 ~ 900hPa 的低空急流,呈现出低层垂直切变明显,急流中心的内部结构不连续,且随时间不断变化的特点。该低空急流在暴雨发生前 10 ~ 12 小时产生,维持约两小时,随后在 600 ~ 300hPa 出现大于 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的西南风区,并有多于 $17\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的中心,分布不均,高度不尽相同,但是整层的风向基本以西南风为主(图略),这个特征与古红萍^[5]的结果相似。

3 垂直速度

2008 年 8 月 10 日观象台的垂直速度分布图(如图 3a)上可见,垂直速度出现明显波动的时段主要分为 3 个时段,分别是:9:30—11:00、17:00—18:00、20:00—23:00;杨引明^[4]认为风廓线雷达探测的垂直速度大于 $4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的时候,可以认为降水开始,朝向风廓线雷达的垂直速度越大,说明降水强度越强;北京的观象台、海淀两部风廓线仪器的垂直速度是以向下(朝向风廓线雷达)为正。

而图3中,3个时段均有大于 $4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的区域,但是前两个时段没有到达地面。而在21时前大于 $4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的区域开始到达地面,这与当天观测到的21时降水时段(如图1)一致。

海淀风廓线仪的垂直速度分布情况如图3(b),海淀站的降水是从12:00开始,但是雨量不大,直到20:00雨量骤然加大,1小时降雨量达到20mm以上;其垂直速度的分布上看,变化比观象台的剧烈,且大于 $4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的区域基本都达到地面,特别是在17:00—18:00,大于 $8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的区域接近到地面,此时

距离海淀站出现强降水约1小时,海淀风廓线仪是边界层风廓线仪,探测高度比观象台的探测高度要低,而且受到下垫面的影响也较大,对垂直速度的反应更加清楚。

在暴雨发生前,观象台与海淀两部风廓线仪观测的垂直速度,均出现明显的变化,这与毕亚琴^[3]的结果一致。尤其是观象台的垂直速度大于 $4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的区域接地,而海淀的则是有大于 $8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的速度区到达地面。这一特征对北京地区的短时临近预报中如何判断暴雨的临近有一定的指示意义。

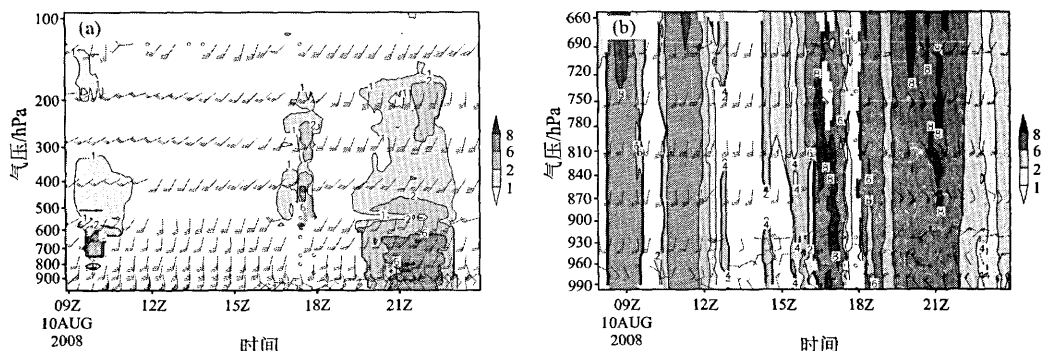


图3 观象台(a)和海淀(b)风廓线仪垂直速度

4 温度平流

温度平流是造成大尺度垂直运动和天气系统发展的动力学因子之一,因此由风廓线资料推算温度平流可以作为诊断天气和形势演变的依据^[8],在热成风的假定下,根据标准大气的特性,通过温度平流的计算公式,假设等压面 P_1 和 P_2 上($P_1 > P_2$),风速风向分别为 (V_1, θ_1) 和 (V_2, θ_2) ,则可表示为:

$$-V \cdot \nabla T \approx \frac{\bar{p}f}{R_d \Delta p} V_1 V_2 \sin(\theta_1 - \theta_2)$$

其中: $\Delta P = P_1 - P_2$, $\bar{p} = (P_1 + P_2)/2$, f 为科氏参数, R_d 为空气气体常数。利用位势高度与气压的转换关系以及高度与位势高度的关系,将风廓线的高度转换为公式要用的单位(m),来进计算温度平流。通过分析观象台的温度平流变化,发现观象台在9:00—10:00之间,在650hPa以下有比较明显的温度

平流变化(如图4a),主要表现为冷暖平流随高度交替出现,比较明显的暖平流位于800~850hPa。回顾前文中介绍的低空急流出现的位置与时段发现,二者出现的时间以及位置基本一致。那么海淀风廓线仪是否也在其出现低空急流时,也出现了高低空温度平流的变化呢?由图4(b)可以看到,17:30—18:00之间,在800~750hPa之间有明显冷暖温度平流中心,这与18时前后出现850~750hPa的西南急流时间空间位置基本一致,说明低空急流与温度平流的变化有着重要联系。

5 大气折射率结构常数

风廓线雷达测风的关键指标是其数据的获取率,而其很大程度又受到大气折射指数的影响。大气折射指数湍流结构常数记为

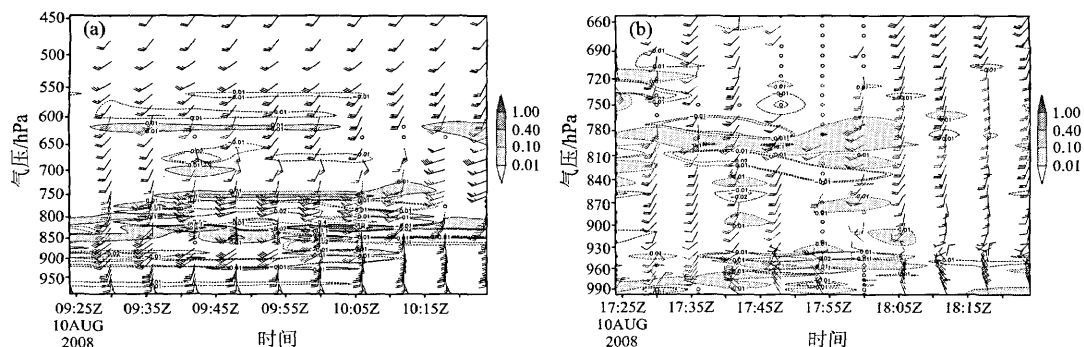


图4 观象台(a)和海淀(b)温度平流剖面($^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$)

C_n^2 。

$$C_n^2 = a^2 a' L^{4/3} M^2$$

式中, a^2 为常数, 取值为 2.8; a' 为涡动粘性系数相联系的比值, 与大气稳定度有关, 对大气中、上层可取 1; L 为大气湍流涡旋的外尺度; M 为折射指数的垂直速度^[8]。

观象台风廓线雷达提供了 C_n^2 数据(如图 5), 图中大值区为 9:30—11:00、17:00—18:00、20:00—23:00 三个时段, 其发生时间以及空间位置都与观象台风廓线仪的垂直速度相一致。由此可见, 该参数能够比较清晰地反映大气在垂直方向的湍流程度以及大气稳定度。这个参数可以与垂直速度相结合, 为判断垂直方向大气的稳定程度以及湍流情况提供辅助依据。

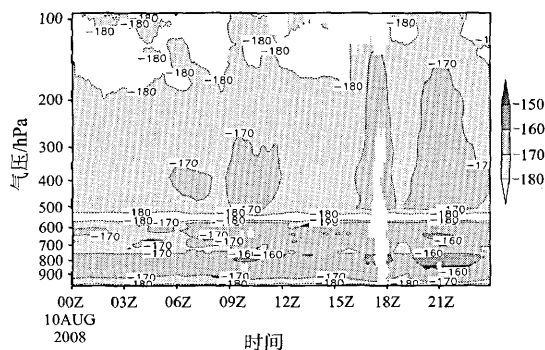


图5 大气折射率结构常数

6 总结

(1) 观象台与海淀两部风廓仪在该地区

强降水发生前, 都监测到有低空急流的出现, 但是出现时段、高度、维持时间、均不相同。其中, 观象台暴雨发生前的低空急流, 呈现出低层垂直切变明显, 急流中心的内部结构不连续, 且随时间不断变化的特点; 海淀风廓线仪也在强降水发生前 4 小时在 950 ~ 850hPa 高度出现了西南低空急流, 维持时间较短, 另外在 18 时前后 850 ~ 750hPa 也出现了短暂的西南急流, 此时距离海淀的强降水约两小时, 对暴雨的预报有一定指示意义。

(2) 在暴雨发生前, 观象台与海淀两部风廓线仪观测的垂直速度, 均出现明显的变化, 观象台的垂直速度大于 $4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的区域接地, 尤其是海淀的垂直速度有大于 $8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的速度区, 并到达地面。这一特征对北京地区的短时暴雨临近预报有一定的指示意义。

(3) 通过分析观象台、海淀廓线仪的温度平流变化, 主要表现为冷暖平流随高度交替出现, 且与低空急流出现的时间以及位置一致, 说明低空急流与温度平流的变化有着重要联系。

(4) 大气折射率结构常数可以与垂直速度相结合, 为判断垂直方向大气的稳定程度以及降水提供辅助依据。

以上结论主要基于一个暴雨个例得出, 是否具有普遍意义还需要进一步讨论, 并继续做大量的工作来进一步的研究。

参考文献

[1] 成永勤, 秦荣涛. 风廓线雷达简介[J]. 四川气象,

- 2004,24(1):20.
- [2] 张朝林,王迎春. 北京地区风廓线仪布网方案的数值研究[J]. 气象学报,2002,60(6):786-791.
- [3] 毕亚琴,张彦飞,苏敏. 九寨黄龙机场风廓线雷达应用[J]. 技术与管理论坛. 2007,(3):10-13.
- [4] 杨引明,陶祖钰. 上海 LAP23000 边界层风廓线雷达在强对流天气预报中的应用初探[J]. 成都信息工程学院学报,2003,18(2):155-160.
- [5] 古红萍,马舒庆,王迎春. 边界层风廓线雷达资料在北京夏季强降水天气分析中的应用[J]. 气象科技, 2008,36(3):300-303.
- [6] 顾映欣,陶祖钰. 1989-1990 年 UHF 风廓线雷达资料的分析和应用[C]. 中尺度气象文集,北京:气象出版社,1993:194-201.
- [7] 刘淑媛,郑永光,陶祖钰. 利用风廓线雷达资料分析低空气流的脉动与暴雨的关系[J]. 热带气象学报, 2003,19(3):285-290.
- [8] 章国材,矫梅燕,李延香,等. 现代天气预报技术和方法[M]. 气象出版社,北京;2007:89-90.