

北京地区雷暴大风日 θ_e 平均廓线特征^①

廖晓农^{1,2} 王 华² 石增云² 杨 洁²

(1. 北京大学物理学院, 100871; 2. 北京市气象台)

提 要

利用 NCEP 再分析资料对北京地区 1999~2003 年 7~8 月出现的 24 个雷暴大风日相当位温 θ_e 的平均廓线进行了研究。结果表明, 在对流层底层有一个 θ_e 的极大值, 在对流层中层(500~660hPa) θ_e 达到其极小值。

关键词: 雷暴大风 θ_e 廓线特征 下沉对流有效位能

引 言

雷暴大风是指雷暴与大风相伴出现的天气现象。本文将雷暴大风中大风的标准规定为: 瞬时风速达到或超过 $17\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。雷暴大风日是指该日既有雷暴又有大风出现。本文的北京地区是指北京行政区划内的区域, 在该区域内共有 22 个人工气象观测站。

雷暴大风是一种破坏性很大的天气现象。例如: 2001 年 7 月 2 日济南民航机场(下称机场)遭遇到的一次雷暴大风, 吹倒了机场的一些简易房屋, 一些大树被拔起, 运五飞机被从跑道吹入草地, 移动 200m, 造成飞机机翼断裂; 航班返航备降, 经济损失严重^[1]。

2008 年第 29 届夏季奥运会(以下简称北京奥运会)将在北京举行, 奥运气象保障将是未来几年气象部门(特别是举办城市)工作的重点^[2]。为此, 在中国气象局的领导下, 北京、山东、上海、天津、辽宁等省市气象局将针对奥运会对气象服务的需求, 开展相关的建设和研究工作。

北京奥运会期间正值主汛期, 是灾害性天气(包括雷暴大风)的高发期^[3]。这些灾害性天气不仅影响体育比赛, 还会对生命财产安全造成威胁。

1 资料来源及其处理

本文主要用到了两种资料: 雷暴大风日资料与制作相当位温 θ_e 廓线时用到的 $1^\circ\times$

^① 国家自然科学基金项目“华北深对流天气观测分析和预报技术研究”资助。

1°、每6小时一次的NCEP再分析资料(以下简称NCEP资料)^[4]。

根据我们所掌握的NCEP资料,本文对北京地区出现在1999~2003年7月和8月的雷暴大风日进行了普查。将该期间出现的24个雷暴大风日作为下面研究的对象。

考虑到资料在时间和空间上应具有代表性,本文借鉴Darkow^[5]的方法,选取了与雷暴大风事件发生的地点“邻近”、与雷暴大风事件发生的时间“临近”(以下简称“邻(临)近”)的资料,代表雷暴大风事件发生时的大气环境条件。

2 雷暴大风日 θ_e 平均廓线特征

图1给出了北京地区上述24个雷暴大风日 θ_e 平均廓线。分析图1,有以下几个明显特征:

(1) θ_e 的廓线呈弓状。在最底层, θ_e 有一个极大值 $\theta_{e,max}$, 然后随高度迅速减小, 并在对流层中层达到其极小值 $\theta_{e,min}$, 尔后又随高度增加;

(2) 最底层 θ_e 的极大值 $\theta_{e,max}$ 为 75.6°C , 对流层中层的极小值 $\theta_{e,min}$ 为 54.7°C , ($\theta_{e,max} - \theta_{e,min}$) = 20.9°C 。

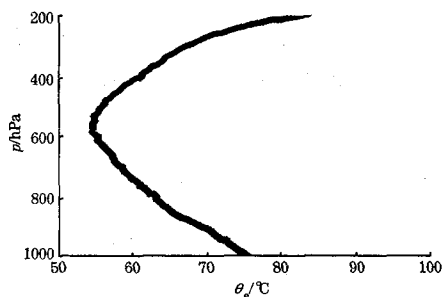


图1 24个雷暴大风日平均廓线

3 中层 $\theta_{e,min}$ 在雷暴大风形成中的作用

雷暴大风是由风暴云中一股(支)强下沉气流到达地面或地面附近产生的。而风暴云中空气向下运动的原因或是因为云中空气变冷得到负浮力,或是因为外加某种力将空气向下拖曳所致。

图2为多单体风暴的概念模型^[6]。由图2可见,风暴内的下沉气流有两个来源:其中

一个来源于风暴周围对流层中层的干冷空气,它一般从云体右后方进入风暴,并和云中的空气混合,然后下沉到地面;因此,对流层中层干冷空气侵入与雷暴大风的产生有着密切的关系。

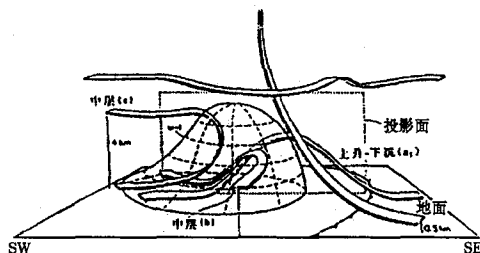


图2 多单体风暴概念模型简化图^[6]

为了定量地表示这种下沉气流可能达到的强度,Emanuel引入了下沉对流有效位能DCAPE的概念^[7,8]。本文计算了24个雷暴大风日的平均DCAPE,结果表明,在北京地区的雷暴大风日,DCAPE的平均值为 $1270.4\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$, 相当于 $-w_{max} = 50.4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。计算出的 $-w_{max}$ 是实际观测到的雷暴大风极大风速的2.4倍。

4 底层 $\theta_{e,max}$ 在雷暴大风形成中的作用

如上所述,雷暴中下沉支气流是雷暴大风的直接“制造”者。但是,已有的观测研究表明,该下沉支气流必须与一支上升支气流共存。例如,Renzo'与Ingersall认为^[9],共存的暖湿上升支气流和冷湿绝热下沉支气流(图2)是深对流系统的重要特征;由于上述上升支气流与下沉支气流的共存,才可能不断地从对流热机中得到能量;在定常状态下,这些能量通过对流系统用于平衡机械耗散。

既然当产生雷暴大风时必须要有共存的暖湿上升支气流与冷湿绝热下沉支气流,所以可以认为:在产生雷暴大风的过程中,虽然下沉支气流很重要,但上升支气流也不可缺少。

从图2看出,上升气流的源地在行星边界层或大气底层。大气底层的空气在什么条件下才能发展成一支上升气流呢?从大气热力学的角度分析^[10],底层空气必须是热力层结不稳定的,当有某种启动机制将它抬升到

自由对流高度后,它便受浮力作用继续上升。定性地说,底层的 θ_e 越大,其受到的浮力越大,被抬升达到的高度将越高,达到的上升速度将越大。为了定量估算上升支气流的强弱,本文用 24 个雷暴大风日的温度和露点 (T 和 T_d) 的算术平均值计算出了雷暴大风日的平均对流有效位能 $CAPE^{[11]}$ 。结果表明,在北京地区的雷暴大风日,对流有效位能的平均值为 $1055.6\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。该 $CAPE$ 值表明,假若自由对流高度处的上升速度为零并且不考虑吸入作用,则与该 $CAPE$ 对应的最大上升速度为 $45.9\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

5 小结

本文对北京地区 1999~2003 年 7~8 月间出现的雷暴大风日进行了普查。根据所掌握的 $1^\circ\times 1^\circ$ 、每 6 小时一次的 NCEP 再分析资料,对该期间出现的 24 个雷暴大风日的 θ_e 平均廓线特征进行了研究,得到以下结果:(1) θ_e 平均廓线随高度变化呈弓状,在对流层底层有一个极大值,在对流层中层(500~660hPa)有一个极小值,两者之差的平均值为 20.9°C ;(2)雷暴中下沉支气流是雷暴大风的直接“制造”者;(3)对流层底层 θ_e 的极大值 $\theta_{e\max}$ 对雷暴大风的形成贡献主要体现在对雷暴云内上升气流的作用中;(4)上升气流的不稳定与下沉气流的不稳定是有差别的^[12]。对流层中层 θ_e 的极小值 $\theta_{e\min}$ 是由中层干冷空气侵入造成的,该高度是下沉气流的起始高度。为了定量地表示下沉气流可能

达到的强度,计算了 24 个雷暴大风日的平均 $DCAPE$,其值为 $1270.4\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

参考文献

- 1 孙翠艳,冯桂力. WINDEX 在民航济南机场的应用举例. 气象, 2004, 30(4): 36~38.
- 2 梁丰,陈明轩,王玉彬. 近两届奥运会气象服务保障综述. 气象, 2002, 28(10): 3~8.
- 3 叶殿秀,陈峪,张强等. 北京奥运期间极端天气气候事件背景分析. 气象, 2004, 30(8): 31~35.
- 4 Kalnay, E. et. al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. Bull. Ameri. Meteor. Soc., 1996, 77(3): 437~471.
- 5 Darkow, G. L. An analysis of over sixty tornado proximity soundings. Preprints, Sixth Conf. on Severe Local Storms. Chicago, IL, Amer. Meteor. Soc., 1969: 218~221.
- 6 Knupp, K. R. and W. R. Cotton. Convective cloud downdraft structure: An interpretive study. Rev. Geophys. Space Phys., 1985, 23: 183~215.
- 7 Emanuel K. A. Atmospheric Convection. Oxford University Press, New York, 1994: 158~165.
- 8 赵秀英,彭治班,吴宝俊等. 下沉对流有效位能. 气象, 2000, 26(6): 封二、封三.
- 9 Renno' N. O., A. P. Ingersoll. Natural convection as a heat engine: A theory for CAPE. J. Atmos. Sci., 1996, 53: 572~585.
- 10 盛裴轩,毛节泰,李建国等. 大气物理学. 北京: 北京大学出版社, 2003.
- 11 李耀东,刘健文,刘玉玲等. 埃玛图微机制作及对流有效位能的计算. 气象, 1998, 24(5): 23~27.
- 12 Johns R. H., C. A. Doswell III. Severe local storms forecasting. Wea Forecasting, 1992, 7: 588~612.

θ_e Profile Characteristics of Downburst Days in Beijing Area

Liao Xiaonong^{1,2} Wang Hua² Shi Zengyun² Yang Jie²

(1. The Physics College, Beijing University, 100871; 2. Beijing Weather Forecast Office)

Abstract

The reanalysis of NCEP data are used to analyze the average θ_e profile characteristics of downburst days in July. and Aug. from 1999 to 2003 in Beijing area. The results show that there is a $\theta_{e\max}$ at the bottom of troposphere. In addition, there is a $\theta_{e\min}$ in the middle of troposphere (500—660hPa).

Key Words: DCAPE downburst days θ_e profile characteristics