

沈阳桃仙机场春季冷锋型雷暴与 冷锋型大风合成对比分析

王天奎

(中国民用航空东北地区管理局空中交通管理局, 沈阳 110043)

摘要:以 1996~2005 年逐年沈阳桃仙国际机场春季雷暴的天气演变过程相似资料为依据,采用合成方法,选取 4 个典型冷锋雷暴个例进行分析。结果表明:蒙古气旋前部的暖平流、大范围正涡度区和正涡度平流导致了我国沈阳地区不稳定层结的建立和加强;高空辐散和低空辐合为雷暴天气的发生和加强创造了动力抬升条件;高空具有高湿位势涡度值的干冷空气叠加在低层扰动上,有利于不稳定层结的加强和降水发生。与相似形势下只产生春季大风而未产生雷暴的 4 次大风个例天气过程的合成对比分析,结果显示:冷锋的伸展方向及沈阳上空深厚的辐散层和低空湿位势涡度的不同分布可能是产生雷暴和大风不同天气现象的主要成因。

关键词:春季;冷锋型雷暴;冷锋型大风;合成与对比

雷暴是积雨云强烈发展时形成的一种中尺度局地强对流性天气。飞机在雷暴区飞行,除了会遇到云中飞行的一般困难外,还会遇到强烈的颠簸、积冰、电击、阵雨和恶劣能见度,有时还会遇到冰雹、下击暴流、低空风切变和龙卷^[1],这些天气现象都会严重危及航空飞行安全。例如:受蒙古气旋冷锋的影响,2003 年 6 月 4 日 21 时 09 分至 5 日 03 时 46 分,我国沈阳桃仙国际机场(简称桃仙机场)出现了强雷雨天气,在 01 时 58 分至 02 时 45 分的降水期间,能见度最低时为 700 m,造成 1 架航班备降、4 架航班返航,严重影响了飞行安全、正点。这次雷暴出现在飞行量相对较少的夜晚,如果出现在起降高峰期,那么,它的影响将非常大。桃仙机场作为东北地区的航空交通枢纽,每日起飞、降落和飞越的航班 300 多架次。一次雷暴天气的预报准确与否,不仅关系到航班能否正常飞行,而且也对航空公司的经济效益及气象对外服务质量产生重大影响,所以寻找沈阳地区春季雷暴发生的规律显得尤为重要。

孟广礼^[2]对黄河中游地区冷锋暴雨过程进行了合成分析,最后给出了这类暴雨过程的天气学模型;郑永光等^[3]对黄海地区 MCC 的发生环境进行了合成分析;申红喜等^[4]对北京地区春季冷锋型雷暴发生条件进行合成和对比分析,给出了此类天气的预报着眼点;民航东北地区空中交通管理局扈宝奎等根据 1990~1995 年沈阳桃仙机场气象资料,对春季出现的雷暴进行了统计,得到了一些有意义的统计事实;王宪彬等^[5]对彰武局地大暴雨进行了诊断分

析,认为高空槽前倾和水汽通量增大有利于强降水的产生。吴春英等^[6]对一次抚顺地区大暴雨天气过程进行了诊断分析,认为低空急流为大暴雨输送大量水汽和不稳定能量。但其研究结果大都是局限于雷暴个例分析,没有进行合成对比分析。为了弥补此类研究的不足,本文通过对桃仙机场春季冷锋雷暴发生条件的合成分析及相似形势下未出现雷暴、只出现大风个例的合成对比分析,试图得出此类雷暴的大尺度环流背景和动力学特征,为今后预报此类天气提供借鉴。

1 资料选取与方法

1.1 资料选取

使用资料包括地面观测、常规地面、高空资料,沈阳探空等资料。根据桃仙机场《航空气候志》统计,沈阳地区的雷暴主要出现在每年的 4~10 月。故将桃仙机场春季雷暴定义为每年 4~6 月间发生的雷暴。冷锋型雷暴是指:地面冷锋明显,冷锋在高空槽配合下,高空锋区明显,当地面锋面和高空槽线接近本场时产生的雷暴。冷锋型大风是指:在地面冷锋和中低空暖(或冷)平流的共同作用下,桃仙机场长时间维持 $8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上的西南风或偏北风而未出现雷暴。

在普查了 1996~2005 年逐年 4~6 月桃仙机场雷暴、大风资料的基础上,以天气演变过程相似为依据,从中选取 4 个比较典型的冷锋型雷暴(简称为雷暴型)天气个例进行了合成对比分析(表 1)。同时又

选取了4个相似形势下产生了西南或偏北大风(简称为大风型)而无对流性天气的个例进行了合成对比分析(表2),主要是为了探讨在类似天气形势下产生不同天气的原因。

表1 春季典型雷暴天气个例

出现日期	雷暴起止时间/北京时	降水量/mm	雷暴大风最大风速/($m \cdot s^{-1}$)	雷暴大风风向/度
1997年5月15日	20:34~22:01	1.2	17	330
2003年5月28日	19:58~20:48	2.4	14	210
2004年5月05日	14:23~14:45	0.7	27	300
2004年5月19日	18:07~18:17	0.0	18	320

表2 春季典型大风天气个例概况

出现日期	大于等于 $8 m \cdot s^{-1}$ 大风起讫时间/北京时	最大风速/($m \cdot s^{-1}$)	风向/度
1997年4月19日	09:00~19:30	19	250
2001年4月07日	11:00~18:30	18	220
2002年4月20日	06:00~19:00	20	230
2002年5月28日	08:30~22:30	22	250

1.2 合成方法

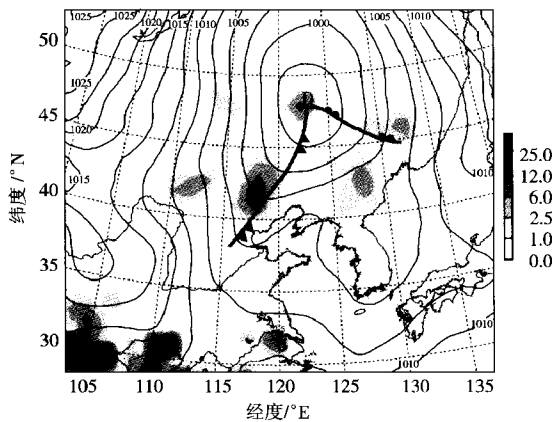
本文所应用的合成方法:首先将每个个例当日08时的常规地面和高空探测资料分别进行合成,即将原始报文进行整理,将整理后的报文资料按测站进行平均,然后对平均后的测站资料进行客观分析,得到地面不同

要素值和不同等压面的位势高度、温度和温度平流、涡度和涡度平流、湿位势涡度、比湿和水汽通量散度等物理量。先平均后分析的优点:用平均后的测站资料填绘出与日常天气分析相似的天气图,消除个例天气的特殊性,从而找到一些普遍规律。客观分析中采用了Cressman逐步订正法,对地面资料未进行 u, v 平滑处理;高空资料进行了 u, v 的平滑处理,分析范围以 $42^{\circ}N, 120^{\circ}E$ 为中心,地面和高空 X, Y 方向格点数均取 41×35 ,格距取80 km。

2 雷暴型形势场合成分析

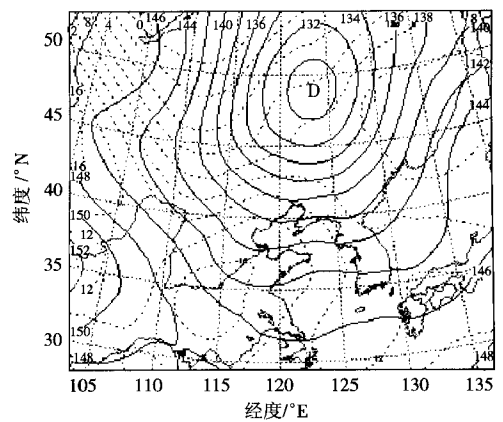
2.1 地面形势

从合成的08时雷暴型地面图(图1a)可见,在蒙古地区东部存在一明显的锋面气旋。该气旋中心位于 $48^{\circ}N, 123^{\circ}E$,中心气压低于996 hPa。蒙古气旋冷锋一直伸展到我国太原,冷锋呈东北—西南走向,其后部的冷性高压非常强,中心气压达1 028 hPa,冷锋后的气压梯度较大,约 $1 \sim 2$ hPa/经距。冷锋前为相对较弱的暖平流,沈阳位于锋前暖区中,在冷锋后及气旋中心有大范围降水,局部降水量较大。另外,从气旋中心向东南方向伸展的暖锋控制着我国东北三省东部的大部分地区,造成上述地区出现了局地强降水。



细实线为等压线,单位为hPa;阴影为过去6h降水量,单位为mm

(a) 地面气压场



细实线为等高线,虚线为等温线

(b) 850 hPa位势高度和温度场

图1 08时雷暴型形势场合成

2.2 高空形势

08时500 hPa形势场合成图(图略)显示:我国沈阳为高空槽前西南气流控制,在其西北方存在一比较深厚的高空槽,从贝加尔湖向东南部伸出一冷舌,不断补充的冷空气使蒙古气旋得以维持和发展。分析08时850 hPa形势场合成图(图1b),可以清楚地分析出东北冷涡环流,高空槽前盛行西南气流,部分测站西南风速大于等于 $8 m \cdot s^{-1}$,最大西南风速达

到 $12 m \cdot s^{-1}$,温度槽落后于高度槽,大气斜压性非常强,气旋呈明显发展趋势。700 hPa显示,高空槽落后于850 hPa槽。300 hPa合成图显示,从我国西北到华北地区存在一支很强的西风急流,沈阳位于强风速带的左前方,同时其东南部为强的西南气流,风速值大约为 $24 m \cdot s^{-1}$,沈阳位于西北和西南两支气流的分流处,高空呈明显辐散场分布。这种低层辐合、高层辐散场的分布为低空系统的发展提供了较

好的动力抬升条件。

3 物理量诊断分析

3.1 温度平流和涡度平流

3.1.1 温度平流

比较08时我国沈阳和上游地区蒙古气旋中心(48°N, 123°E 区域)附近区域的温度平流(表3)可以看出,造成我国沈阳雷暴的蒙古气旋所伴随的温度平流较强,在对流层中下层(700 hPa 和 850 hPa),蒙古气旋前部盛行暖平流,暖平流最强为 $+6 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$,为我国沈阳储备了大量能量。冷锋后冷平流很强,850~500 hPa 均为 $-10 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$ 或以上,其中500 hPa冷平流甚至达到了 $-18 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$,为沈阳带来了大量的强冷空气。

表3 08时沈阳上游和沈阳附近850~500 hPa最大温度平流

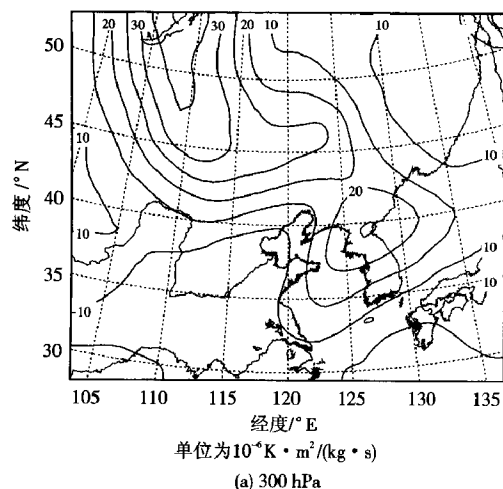
层次/hPa	沈阳上游最大温度平流/ $(10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1})$	沈阳附近最大温度平流/ $(10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1})$
850	-10	+6
700	-15	+5
500	-18	+3

3.1.2 涡度平流

根据地面涡度变化方程:

$$\partial \zeta_0 / \partial t = A_\zeta - g/f \nabla^2 (A_\zeta + S + H) \quad (1)$$

式(1)中 A_ζ 为无辐散层涡度平流。可知,无辐散层(近似取500 hPa)正涡度平流有利于地面气旋的发展^[7]。分析08时500 hPa 涡度和涡度平流可知,与



地面蒙古气旋配合,我国沈阳附近存在一正涡度中心,中心数值为 $4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,同时还存在一正涡度平流中心,中心数值为 $7.5 \times 10^{-10} \text{ s}^{-1}$ 。另外,700 hPa 和 850 hPa 沈阳地区正涡度平流为 $6.0 \times 10^{-10} \text{ s}^{-1}$ 和 $2.4 \times 10^{-10} \text{ s}^{-1}$ 。表明雷暴型沈阳地区中低层伴随有较强的暖平流和正涡度平流。正涡度平流随高度增加所产生的上升运动将有利于斜压不稳定层结的建立和增强,而冷锋后部冷空气楔入抬升将有助于触发不稳定能量的释放。

3.2 湿位势涡度

在静力平衡条件下,位势涡度表示绝对涡度与静力稳定度的乘积:

$$q = (\zeta_\theta + f) \left(-g \frac{\partial \theta}{\partial P} \right) \quad (2)$$

式(2)中 ζ_θ 为等熵面涡度。在等压面上位势涡度表达式为:

$$q = -g(\vec{f}k + \nabla_p \times \vec{V}) \cdot (\nabla_p \theta - g \frac{\partial \theta}{\partial P}) \quad (3)$$

式(3)中 ∇_p 为 x, y 轴空间中的三维梯度符。考虑到水汽作用,以相当位温 θ_e 代替位温,则可得到湿位势涡度的表达式:

$$q_m = g(\vec{f}k + \nabla_p \times \vec{V}) \cdot (\nabla_p \theta_e) = -g\zeta_p \frac{\partial \theta_e}{\partial P} - gk \times \frac{\partial V}{\partial P} \cdot \nabla_p \theta_e \quad (4)$$

如果不计非绝热加热和摩擦作用,湿位势涡度具有守恒性。它不仅表征了大气动力、热力属性,而且考虑了水汽的作用,所以对于湿位势涡度进行分析,可以发现热力和动力以及水汽和雷暴的关系,从而可以揭示出雷暴发生的物理机制。

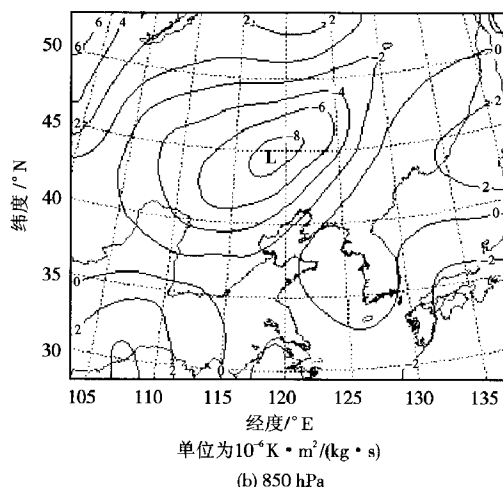


图2 08时雷暴型湿位势涡度

分析各层湿位势涡度发现,沈阳地区上空300 hPa(图2a)存在自我国西北地区向东北方向伸展的湿位势涡度锋区,沈阳湿位势涡度为 $17 \times 10^{-6} \text{ K} \cdot \text{m}^2 / (\text{kg} \cdot \text{s})$ 。

该锋区叠置在低空850 hPa(图2b)为负值的低值上空,表示动力对流层顶出现折叠,它实质上是把具有高湿位势涡度值的干冷空气叠加在低

层扰动上。这种上冷下暖的形势有利于地面气旋的迅速发展,是造成沈阳产生对流性天气的重要因子。

3.3 水汽条件

雷暴天气的产生需要具有一定的水汽条件。分析08时850 hPa和700 hPa比湿发现,在沈阳附近存在明显的湿区,沈阳附近比湿最大值为 6.5 g/kg ,表明在雷暴出现前,沈阳中低空水汽充沛。对低层水汽通量散度分析表明:在沈阳和东北地区北部为一水汽辐合中心,850 hPa辐合中心值 $-0.9 \times 10^{-7} \text{ g/s} \cdot \text{hPa} \cdot \text{cm}^2$,沈阳的雷暴就产生在这种暖湿环境中。这说明我国沈阳在傍晚产生雷暴前,都有一定的水汽沿蒙古气旋前部的西南气流从我国西南地区输送到我国东北地区的西南部。

4 雷暴型和大风型对比分析

4.1 环流形势场对比

通过雷暴型和大风型08时地面形势场合成图(图1a和图3a)对比分析可见,两者的地面气压场和主要系统(沈阳地区也处于地面冷锋前部)都非常相似。大风型气旋中心位于 $47^\circ\text{N}, 120^\circ\text{E}$,与雷暴型相比略偏南偏西,中心气压为999 hPa,比雷暴型气旋

弱,其后部的冷高压同样较强。进一步分析还发现,尽管蒙古气旋的中心位置二者相近,但冷锋的伸展方向存在明显差异:雷暴型的冷锋近似南北走向,而大风型的冷锋呈东西走向。与雷暴型差别最大之处在于:大风型地面合成图上,在西太平洋存在很强的大陆入海高压,中心位于 $39^\circ\text{N}, 140^\circ\text{E}$,中心气压为1021 hPa,在冷、暖锋附近均没有明显降水。而且气压梯度明显比雷暴型大,约为 $2\sim 3 \text{ hPa/经距}$ 。由此可见:蒙古气旋冷锋的伸展方向及西太平洋海上副热带高压的存在与否是产生我国沈阳雷暴或大风天气的重要因素之一。

850 hPa大风型在我国西南地区到东北地区为强暖脊控制(图3b),东北地区处于高空槽前,为西南气流控制,沈阳位于强暖平流区;雷暴型我国西南地区到东北地区也为暖脊控制,但暖脊的强度明显弱于大风型。还可以发现:沈阳附近的暖平流相对较弱。另外,雷暴型在长春和哈尔滨的东部存在强的暖中心,说明在此之前沈阳低层已明显增温,为雷暴天气的产生储存了大量的能量。700,500 hPa和300 hPa合成图与850 hPa形势相似。

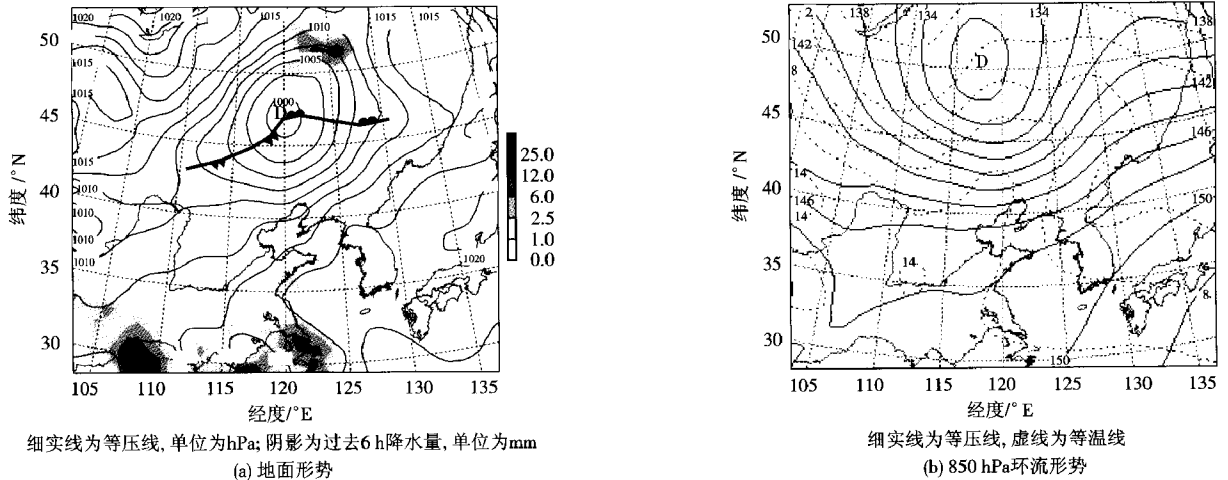


图3 08时大风型形势场合成

4.2 物理量对比

4.2.1 稳定度条件

一般来说,大气稳定度与对流发展密切相关。分析相当位温 θ_e 在垂直方向的变化,可以了解大气的层结稳定度情况。当气层中的 θ_e 随高度升高而降低,该气层空气上升到凝结高度以上时,温度的垂直递减率大于湿绝热递减率,表明此时大气呈对流性不稳定,可能会产生强对流性天气。比较合成的700 hPa与850 hPa θ_e 之差(图4)可知,雷暴型沈阳及其附近地区700 hPa的相当位温都小于850 hPa,表明沈阳处于大范围的对流性不稳定环境中,这是强对流

天气所必须具备的静力稳定度条件,大风型沈阳及其附近均处于700 hPa的相当位温大于850 hPa的稳定区域。可以把相当位温在垂直方向的变化作为雷暴出现与否的一个重要因子。

4.2.2 水汽条件

为了进一步说明雷暴和大风发生的水汽条件,本文对不同标准等压面的比湿和水汽通量散度进行了合成对比分析。结果表明,在雷暴型合成图上,沈阳附近有大湿度区存在,且上空中、低层有水汽辐合;在大风型合成图上,沈阳上空没有大的比湿区存在,也未出现过水汽辐合。

雷暴的发生,不但要有充沛的水汽,还要有源源不断的水汽输送并在降水区附近辐合。在 08 时 850

hPa 水汽通量合成图上(图 5),雷暴型和大风型沈阳均处于水汽通量大值区,两者最大不同在于:在雷暴

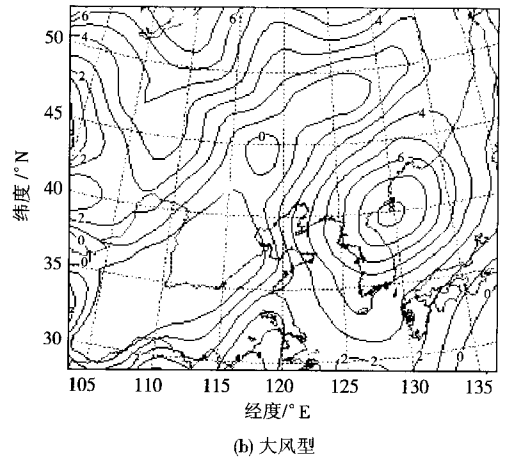
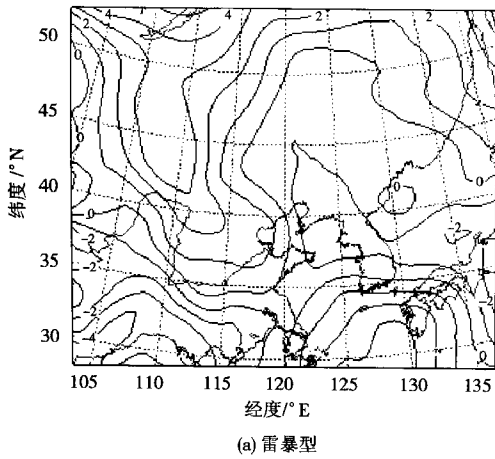


图 4 08 时 $\theta_{e700-850}$ 相当位温合成

型的合成图上,从西太平洋沿朝鲜半岛有强的水汽通量舌向我国沈阳伸展,而大风型没有水汽通量舌

向沈阳伸展。

4.2.3 上升运动

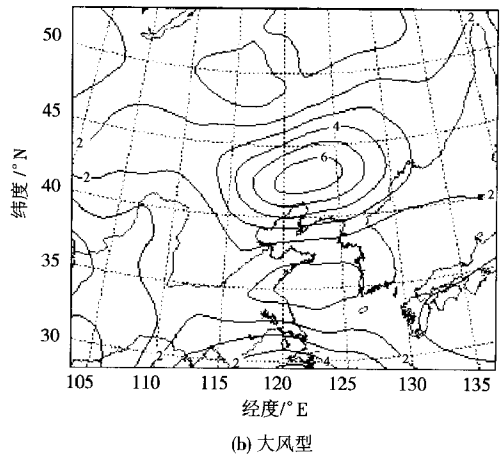
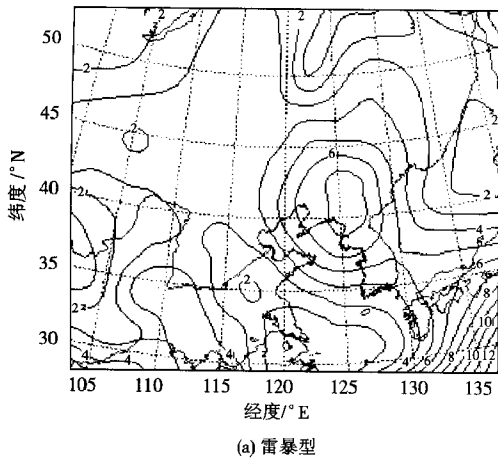


图 5 08 时 850 hPa 水汽通量合成

为了研究触发雷暴的上升运动,本文分析了雷

暴发生前沿 123°E 合成散度场剖面图。分析发现,

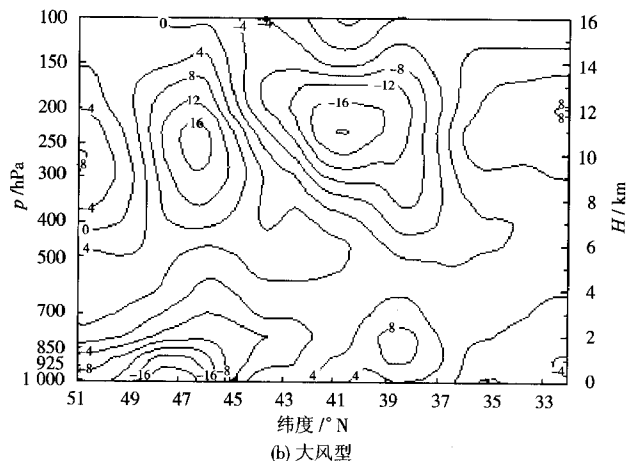
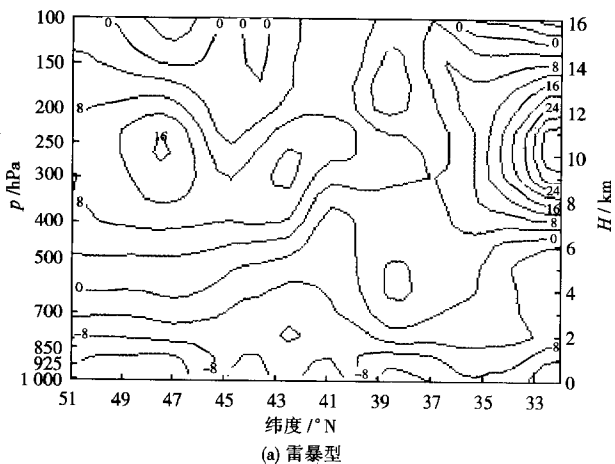


图 6 08 时散度剖面合成

在雷暴发生前(图 6a),沈阳上空 400~200 hPa 为强辐散区,最大散度为 $13 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$,其对应低层 870 hPa 存在 $-8 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ 的强辐合中心。这种低空辐合、高空辐散的高低层配置,为对流天气的发展提供了动力抬升条件;而在大风出现前(图 6b),沈阳 400 hPa 以上为辐合区,700~400 hPa 之间为辐散区,700 hPa 以下为弱辐合区。这种配置不利于强对流的形成和发展。这也许可以作为判断雷雨等对流性天气能否发生的一个重要因子。

4.2.4 湿位势涡度

湿位势涡度是表征大气动力和热力作用,同时又包含了水汽作用的物理概念。分析合成的湿位势涡度剖面图(图 7),可以看出:雷暴型和大风型对流层高层均存在湿位势涡度高值中心。雷暴型(图 7a)

高值中心位于 46°N ,中心值达 $12 \times 10^{-6} \text{K} \cdot \text{m}^2 / (\text{kg} \cdot \text{s})$ 以上。大风型(图 7b)在 43°N 和 49°N 分别存在 2 个高值中心,中心值均为 $10 \times 10^{-6} \text{K} \cdot \text{m}^2 / (\text{kg} \cdot \text{s})$ 以上,并向南扰动下传,从而引起对流层顶的“折叠”现象。对流层高层具有高湿位势涡度的大气在高空急流的输送下向低层输送,可以导致对流层中低层的抽吸。这种抽吸现象使得中低层辐合加强,对位势不稳定能量的储存和释放十分有利,有利于对流的发展^[5]。雷暴型和大风型高层高值中心所对应的低层均有低值中心相对应,它们的主要区别在于:雷暴型高值中心对应的低层存在较大的负值,中心值在 $-30 \times 10^{-6} \text{K} \cdot \text{m}^2 / (\text{kg} \cdot \text{s})$ 以上;而大风型对应的低值中心值大于等于零,表明雷暴型高层能量下传和地面辐合均远强于大风型。

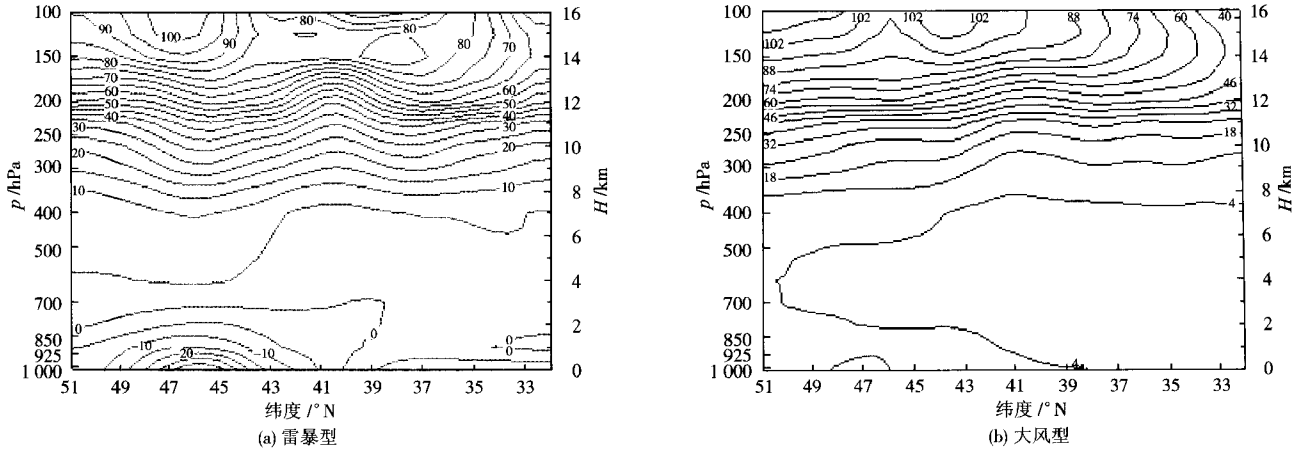


图 7 08 时沿 123°E 湿位势涡度垂直剖面合成

5 结论与讨论

通过个例合成和诊断对比分析,沈阳地区春季雷暴天气过程的形成有以下几个特点。

(1)与地面蒙古气旋配合,在我国沈阳附近,500 hPa 存在中心数值为 $4 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 正涡度中心,同时还存在中心数值为 $7.5 \times 10^{-10} \text{s}^{-1}$ 的正涡度平流中心;700 hPa 和 850 hPa 正涡度平流约为 $6.0 \times 10^{-10} \text{s}^{-1}$ 和 $2.4 \times 10^{-10} \text{s}^{-1}$ 。分析表明:春季冷锋雷暴产生前,沈阳地区中低层有较强的暖平流和正涡度平流,正涡度平流随高度增加所产生的上升运动有利于斜压不稳定层结的建立和增强;而冷锋后部冷空气补入抬升有助于触发不稳定能量的释放。

(2)300 hPa 沈阳上空存在湿位势涡度大于 $15 \times 10^{-6} \text{K} \cdot \text{m}^2 / (\text{kg} \cdot \text{s})$,自我国西北地区向东北方向伸展的湿位势涡度锋区。该锋区叠置在低空 850 hPa 为负值的低值上空,表明具有高湿位势涡度值

的干冷空气叠加在低层扰动上。这种上冷下暖的形势有利于地面气旋的迅速发展,是形成沈阳产生对流性天气的重要因子。

(3)在雷暴出现前,850 hPa 和 700 hPa 沈阳处于最大值为 6.5g/kg 的大比湿区、850 hPa 水汽通量散度为小于零的辐合中心附近,桃仙机场春季冷锋雷暴就产生在该暖湿环境中。

(4)对比分析表明:当我国桃仙机场产生春季冷锋雷暴时,蒙古气旋冷锋近似南北走向,在西太平洋不存在大陆入海高压,沈阳处于 700 hPa 相当位温小于 850 hPa 的不稳定区,沈阳上空有大比湿区存在,且中、低层有水汽辐合,400~200 hPa 存在强辐散区,最大散度为 $13 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$,低层 870 hPa 存在 $-8 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ 的强辐合中心,高层湿位势涡度高值中心对应的低层存在较大的负值;而未产生雷暴只产生春季大风的蒙古气旋冷锋呈东西走向,在西太平洋上存在很强的大陆入海高压,我国沈阳处于 700

hPa 相当位温大于 850 hPa 的稳定区,沈阳上空不存在大比湿区,也没有水汽辐合,400 hPa 以上为辐合区,700~400 hPa 之间为辐散区,在 700 hPa 以下为弱辐合区,高层湿位势涡度高值中心对应的低层低值中心值大于等于零。

(5)本文所应用的方法是将春季冷锋雷暴当日 08 时的资料进行合成,代表了雷暴产生前 3~12 h 的环流形势,也找到了一些有利于春季雷暴产生的物理量,如水汽条件、高低空辐散辐合条件、湿位涡的分布以及涡度及温度平流等,对预报白天有无对流性天气的发生具有一定的参考价值。

参考文献

- [1] 胡迪.一种夏季强雷雨预报因子的选取方法[J].气象与环境学报,2006,22(3):63-65.
- [2] 孟广礼.暴雨天气气候研究[M].北京:气象出版社,1996:95-105.
- [3] Zheng Y G, Tao Z Y, Wang H Q, et al. Environment of meso- α -scale convective system development in Yellow Sea region[J]. Progress in Natural Science, 1999, 9(11): 842-848.
- [4] 申红喜,李秀连,梁爱民,等.北京地区春季冷锋型雷暴发生条件的合成和对比分析[J].航空气象科技,2005(2):1-4.
- [5] 王宪彬,朝柯.2005年8月彰武局地大暴雨诊断分析[J].辽宁气象,2005(1):14-15.
- [6] 吴春英,侯波,刘飞,等.2005年8月13日抚顺地区大暴雨天气过程诊断分析[J].气象与环境学报,2006,22(1):11-15.
- [7] 梁必骐,张蓝蓝,仲荣根,等.天气学教程[M].北京:气象出版社,1995:123-129.

Comparative analysis between cold front thunderstorm and gale in spring at Shenyang Taoxian international airport

WANG Tiankui

(Northeast Air Traffic Management Bureau of CAAC, Shenyang 110043)

Abstract: On the basis of the evolvement of spring thunderstorms at Shenyang Taoxian international airport from 1996 to 2005, four typical cases of cold front thunderstorm were analyzed with a combination method. The results showed that the development and strengthen of instability stratification in Shenyang area resulted from warm advection of Mongolia cyclone foreside, large positive vorticity region and positive vorticity advection. Upper divergence and lower convergence provided together the dynamic lifting condition for thunderstorm weather and its strengthens. The upper level dry and cold air with high moist potential vorticity value was superposed to the low-level disturbance, which was advantageous to instability stratification strength and precipitation. Compared with four gale cases in spring without thunderstorms under similar circumstances, the result showed the extended direction of cold front and different distributions of thick divergence layer and low moist potential vorticity over Shenyang may be the main causes for thunderstorms and gales.

Key words: Spring; Cold front thunderstorm; Cold front gale; Composition and comparison