

赵懋如,刘颖奇.广州白云机场一次罕见的降水相态变化天气特征分析[J].沙漠与绿洲气象,2018,12(1):29-36.
doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2018.01.005

广州白云机场一次罕见的降水相态变化天气特征分析

赵懋如^{1,2},刘颖奇²

(1.南京大学大气科学学院,江苏 南京 210093;2.民航中南空管局气象中心,广东 广州 510000)

摘要:利用常规气象观测资料和NCEP2再分析资料,对2016年1月24日广州白云机场出现的一次强冷空气过程的环流背景、主要影响系统以及期间降水多相态转换的天气特征进行了分析。结果表明:本次天气过程来源于一次横槽转竖型寒潮,冷锋、中低空切变线和低空急流给华南地区带来了较长时间的降水天气;白云机场上空存在多条0℃等温线和逆温层,探空廓线多次穿过0℃等温线,使得地面出现了雨和冰粒的相态转换;降水相态变化时暖层温度、0℃层高度、位势厚度、边界层高度、气柱云水量和地表抬升指数等指数均发生较大变化;当降水相态为雨时,暖层温度 $\geq 2\text{℃}$,0℃层高度 $\leq 975\text{ hPa}$;当降水相态为冰粒时,暖层温度 $\leq 0\text{℃}$,0℃层高度 $\geq 1000\text{ hPa}$ 。

关键词:强冷空气;NCEP再分析资料;降水相态变化;特征分析

中图分类号:P426.6

文献标识码:A

文章编号:1002-0799(2018)01-0029-08

寒潮和强冷空气是广东省重要灾害性天气之一。2016年1月下旬,受强冷空气影响,我国大部自北向南先后经历了一次大风降温天气,大部分地区气温下降6~10℃,局地降温达12~14℃,0℃线南压至华南中部,降雪位置抵达了1951年以来的最南界,广州白云机场位于降雪线以北。

根据广东省气象局对寒潮和强冷空气定义的标准^[1],此次天气过程白云机场虽然降温幅度大,最低气温低,但时程较长,对华南地区仅能算作一次强冷空气过程。强冷空气影响期间,广州白云机场全过程气温下降12℃,最低气温2℃,接近机场历史最低气温,出现了明显的大风、降水天气,以及白云机场历史上最高的修正海压1 040.1 hPa;降水方面,白云机场自21日开始出现降雨,24日07—08时和11—12时在降雨期间出现了冰粒天气,即相继出现了“雨—冰粒—雨—冰粒”的多次相态变化。此外,深圳机场也在降雨期间出现了冰粒天气。

国内外对寒潮和强冷空气过程造成的降水相态

变化有许多相应的研究,结果表明,我国冰粒天气的形成主要以融化机制为主^[2],雨、冰粒、降雪等降水相态的转变主要是由低层大气的持续降温造成的,探空廓线一次或多次穿过0℃等温线,就可能发生冻雨或固态降水,0℃的位置和低层大气温度的降水相态变化的关键^[3-12]。气层位势厚度也是判断降水相态变化的一个重要指标,500~700、700~850、700~1000、850~1000 hPa之间的气层位势厚度较温度指标更易分辨降水相态^[13-20]。这些研究同时提出了一些定量的指标,但由于地区和季节的不同,结果有一定的差异。

虽然对降水相态变化的研究很多,但此次过程是白云机场有史以来出现的第一次冰粒天气,为历史上罕见,给预报带来很大难度。同时,由于冰粒可能造成飞机的损伤和静电系统故障,且其环流形势可以造成飞机积冰,影响飞机的动力性能,给飞行安全带来隐患,故很有必要对此次天气过程开展研究。本文使用NCEP2逐日4次全球1°×1°再分析数据和常规气象资料,对2016年1月24日影响广州白云机场的强冷空气过程的降水相态变化进行诊断分析与研究。

收稿日期:2017-06-21;修回日期:2017-04-21

作者简介:赵懋如(1985-),女,工程师,研究方向为航空气象学。

Email:24338062@qq.com

1 大尺度环流特征和主要影响系统

1月19日,在冷空气到达华南前5 d左右,强势向北发展的大西洋和太平洋北部脊在北极地区打通,逼迫极涡一分为二,分别移到东西两个半球,东亚地区中高纬为两个大洋脊间夹一大极涡的倒 Ω 流型,东半球极涡位于贝加尔湖以东地区,向西伸出横槽,底部锋区明显,乌拉尔山附近为阻塞高压。20日起,阻高逐渐崩溃东移,中高纬由经向环流向纬向环流发展,极涡快速东移南下,进入我国华北、东北地区并带动横槽南下转竖,引导强冷空气南下,造成一次横槽转竖型寒潮爆发。

大洋暖脊北上占据北极地区,逼迫极涡直接分裂爆发寒潮的天气过程是比较少见的,这也使得此次过程具有极强的强度。同时,乌拉尔山阻高在东移的过程中,于21日再次加强北上,逼迫极地的极涡再次分裂小股冷涡迅速南落,24日与移至我国华北、东北地区的极涡合并,使得逐渐转竖的横槽明显加深,槽前气压梯度和温度梯度进一步加强,地面冷锋加强,从而使得寒潮强度进一步加强。

在此期间,500 hPa中低纬南支槽缓慢东移,

24日08时移至印度半岛东部、孟加拉湾以西,槽前维持强盛西南气流,引导阿拉伯海和孟加拉湾的水汽源源不断地输送到我国中南部地区,此时江南、华南地区受槽前平直的强偏西急流控制(空心箭头表示急流),风速在40~50 m/s之间,广东地区上空的强西风约为46 m/s;西太平洋副高较稳定地呈带状分布在南海中南部洋面一线,有利于暖湿气流向华南地区的输送(图1a)。700 hPa华南地区有高空槽过境,槽前有西南低空急流,同时出现负散度、负水汽通量散度和正涡度中心,且广东大部分地区相对湿度在90%以上,有利于广州白云机场降水天气的发生和维持(图1b)。850 hPa和海平面高度上,我国大陆受完整的冷高压控制,华南沿海为偏北至东北风,风力较大(图1c、1d)。此后,随着系统的继续南压,各层均转为偏北风场,中低空负散度、负水汽通量散度和正涡度中心整体南压,水汽输送条件破坏,降水也随之减弱甚至结束。

对华南地区来说,此次寒潮在到达华南时依旧维持较强的强度,但从标准来说已经减弱为一次强冷空气过程。冷空气前锋和850 hPa切变线在23日凌晨

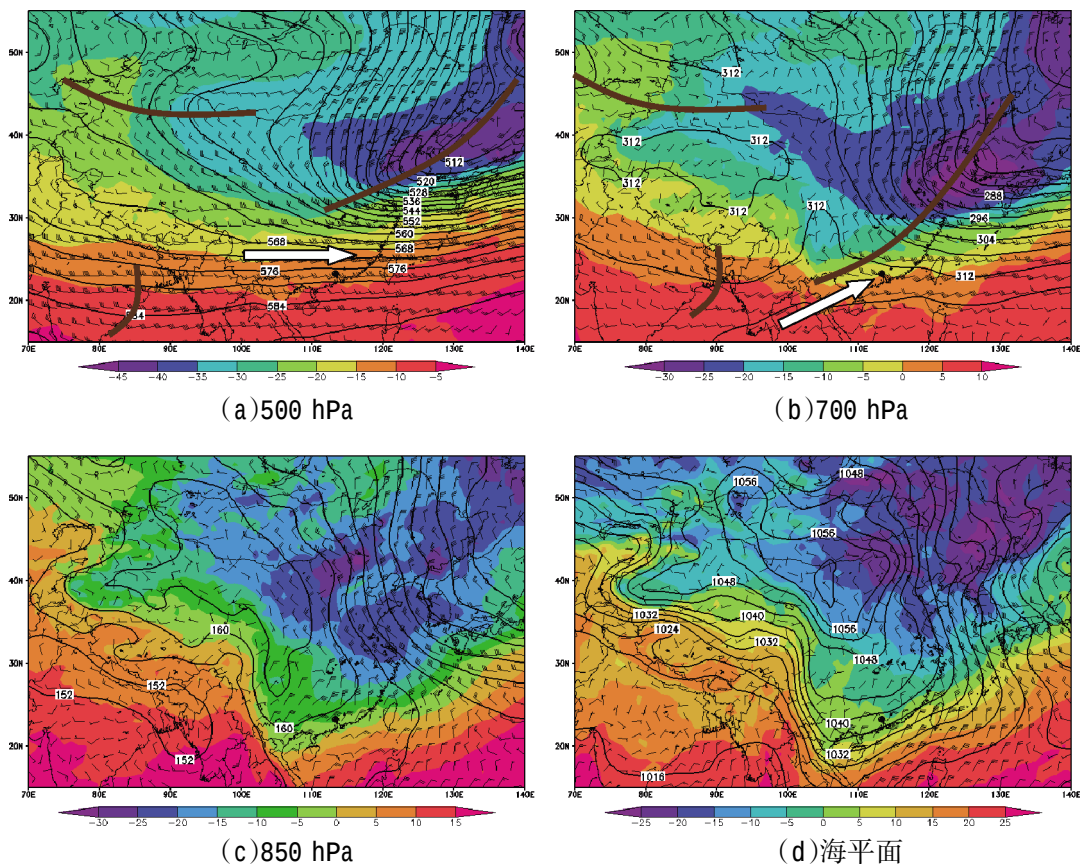


图1 1月24日08时天气形势

(图中黑色圆点所示为白云机场位置,阴影表示温度/ $^{\circ}\text{C}$;曲线为中低空等高线/dagpm和海平面等压线/hPa)

晨经过广州上空,并在锋后给华南地区带来了较长时间的降水天气,700 hPa高空槽在24日早晨过境,随着500 hPa高空槽在25日凌晨过境,华南地区中低空均受偏北气流控制,降水天气结束。

2 降水相态演变的天气诊断分析

2.1 低层大气温度变化特征

广州白云机场所在经度 113°E ,沿此经度画出温度场和垂直速度场的垂直剖面,同时选取白云机场所在经纬度,画出温度场和垂直速度场的高度—时序图。黑色曲线为等温度线($^{\circ}\text{C}$),粗实线为 0°C 线,阴影为垂直速度(Pa/s),正值表示方向向下,为下沉运动,负值表示方向向上,为上升运动,黑色直线位置所示为白云机场,黑色虚线方框所示为发生冰粒的时间,ZGGG为白云机场,以此分析降水相态变化时低层大气温度和垂直速度的变化特征。

在冰粒天气发生时,沿 113°E 经度上空同时存在着由长江流域上空700 hPa高度向华南低空延伸的冷槽,以及由南海地区低空向广东中北部地区上空延伸的暖脊,沿冷槽方向有上升运动区,而沿暖脊方向有下沉运动区。故在广州白云机场附近上空温度由下向上表现为“暖区—冷区—暖区—冷区”的垂直配置(图2a)。

白云机场上空的高度—时序图(图2b)显示,机场上空存在多条 0°C 等温线,其中低层 0°C 线整体位于940 hPa高度以下,且日变化明显,发生冰粒天气时高度最低。中层 0°C 线23日08时位于875 hPa高度附近,此时850 hPa切变线刚刚经过机场,温度较高,此后随着冷空气的南下温度逐渐下降至 0°C 以下,故中层 0°C 线高度有明显的抬高,而上层 0°C 线在冰

粒天气发生前基本位于640 hPa高度上下,高空暖层的厚度和温度均随冷空气的南下有明显的下降,且强度遭到了一定程度的破坏,而低层冷层强度则有明显的增强。24日08时冰粒天气发生前后上、中层 0°C 线在700 hPa高度左右合并,此时暖层最薄,冷层最厚。此后,随着冰粒天气的结束,上层 0°C 线维持在700~750 hPa高度之间,中层 0°C 线开始逐渐下降,高空暖层重新增强,低层冷层随之减弱。

2.2 垂直运动特征

垂直运动方面,白云机场上空整体维持低层下沉、中层上升、高层弱下沉的垂直运动趋势(图2b)。23日20时机场出现降雨天气时,中低层上升下沉运动的分界线即低层辐散线大约在830 hPa高度,中高层分界线即高层辐合线大约在500 hPa高度,低层辐散线和中层 0°C 线位置基本一致,即中层暖层出现上升运动,低层冷层出现下沉运动。此后随天气发展,低层下沉运动和中层上升运动均有明显增强和垂直范围的扩展,而高层下沉运动变化不大,且高层辐合线和低层辐散线均有明显的抬高。24日早晨700 hPa高空槽过境,槽后的偏北冷风加强了下沉运动,带动高空冷空气下降,低层北风明显增强,而地面温度的下降又进一步促进了下沉运动的发展,使得降水穿过较低的冷空气层形成固态降水粒子降落到地面。至冰粒天气发生的24日08时,高层辐合线和低层辐散线抬升至最高点,低层下沉运动 $>0.5 \text{ Pa/s}$,中层上升运动 $<-0.4 \text{ Pa/s}$,均为全过程最强。

地表抬升指数与垂直运动的变化有很好的对应关系。地表抬升指数是一种表示对流性不稳定的指数,随着天气的发展,地表抬升指数从24日02时的29.7 K迅速增大到24日08时的33.6 K,约增大了4 K,

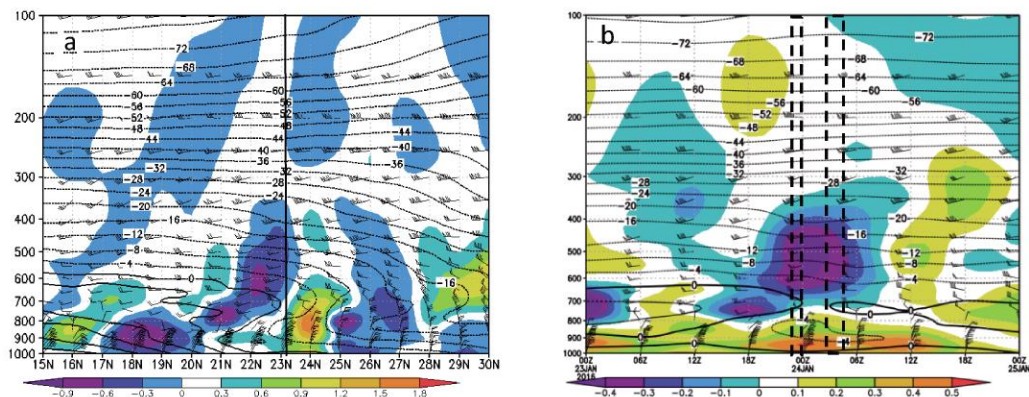


图2 24日08时沿 113°E 垂直剖面图(a)和白云机场上空高度—时序图(b)
(阴影为垂直速度/ Pa/s ;曲线为等温度线/ $^{\circ}\text{C}$)

在冰粒天气结束后迅速减小,24日14时减小至31 K。至24日20时,机场上空400 hPa以下均为下沉气流控制,不利于降水天气的维持,地表抬升指数也下降至29 K(图3)。

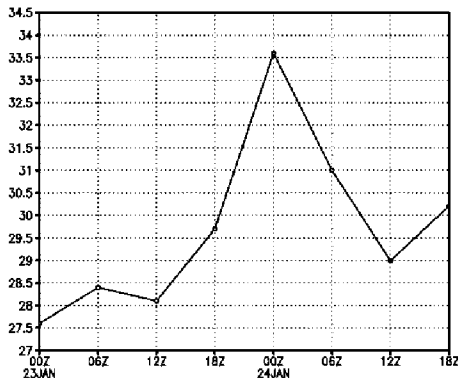


图3 广州白云机场上空地表抬升指数/K

2.3 层结特征——饱和高湿层和0℃层高度

探空图可以较好地反映某地上空温度和湿度的层结关系。图4为广州白云机场附近的探空斜温图,

图中黑色实线为温度层结曲线、黑色虚线为露点层结曲线、蓝色实线为状态曲线。

温度廓线显示,广州白云机场上空一直维持逆温形势,逆温层以上从低层到高层呈现“冷层—暖层—冷层”的温度叠置,且随天气发展,各层温度均有明显下降。湿度上看,低层到高层为“干—湿—干”的配置,湿层先为明显增厚,后随降水过程的结束而变薄。风廓线显示,下层是以较强的东北偏北风为主的干冷层,干冷层上是以西到西南风为主的暖湿层。故在广州白云机场上空温度和湿度呈现“冷干层—暖湿层—冷干层”的垂直叠置。云内的固态降水粒子在下降过程中会经历一个0℃以上的暖湿层,造成全部或部分融化,再经历一个0℃以下的冷干层再次冻结,而底层还有一个高度极低的0℃以上浅层,造成粒子再次融化,而降水最终到达地面时的相态与地面温度和冷暖层的厚度有关。

23日20时(图4a),饱和高湿区位于850~700 hPa,0℃层高度出现在940 hPa、875 hPa和630 hPa高度附近,中层暖层厚度明显大于下层冷

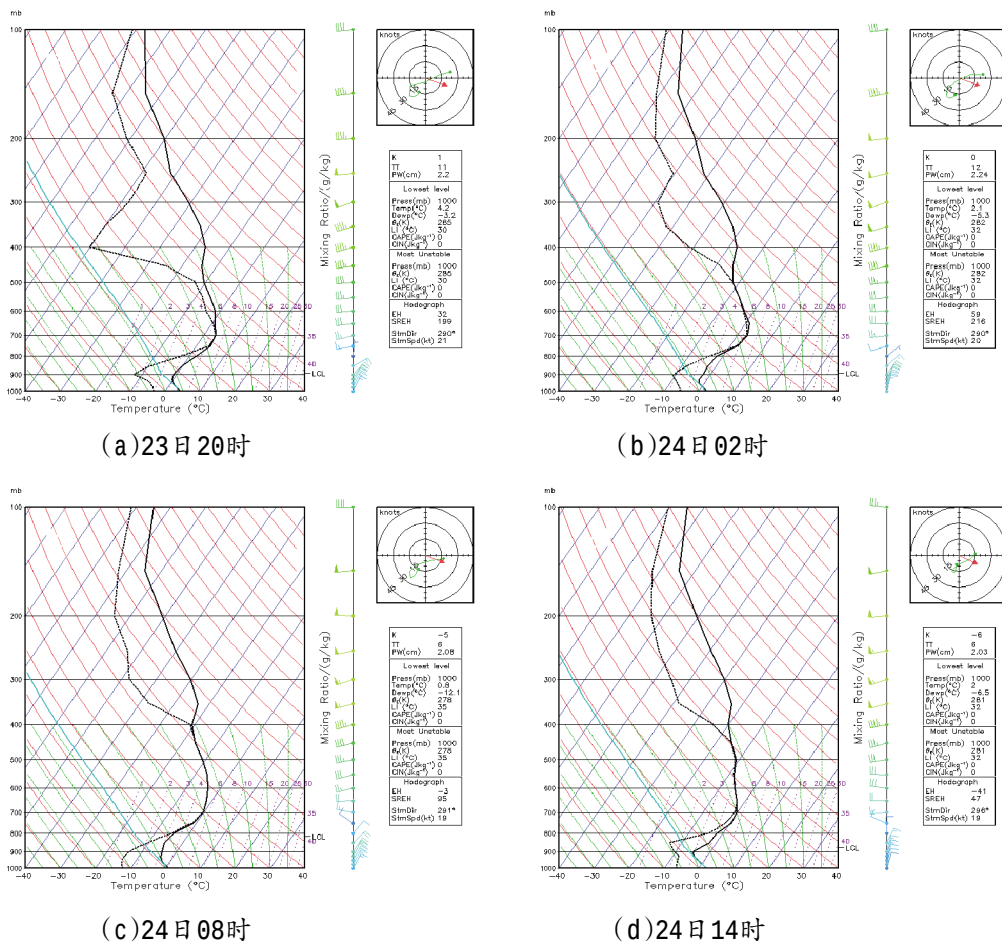


图4 广州白云机场探空斜温

层,且低层冷层厚度与地面浅层暖层厚度相当,有利于固态降水的融化,此时白云机场出现间歇性小雨。24日02时(图4b),低层冷层明显增厚至975~790 hPa,高层冷层维持630 hPa之上,中层暖层变得浅薄,温度明显下降,厚度和低层冷层厚度相差不大;饱和高湿区扩展到800~500 hPa高度,此时机场出现连续性小雨,地面气温下降至3℃,维持6 m/s以上的较强偏北风。24日07时,机场开始出现冰粒,08时(图4c)的低层冷层继续增厚,0℃线下降至1000 hPa附近,925 hPa高度气温降至-4℃左右,中层暖层温度下降至0℃左右,低层冷层厚度明显大于中层暖层;饱和高湿区向上延伸至400 hPa高度;此时地面气温略有回升,露点温度降低,相对湿度下降。由于此时冷层非常深厚,地面暖层极薄,机场地面气温仅4℃,上层冷层中形成的固态降水粒子在下降至地面的过程中没有足够时间完全融化,而以固态形态落到地面,形成小冰粒天气。随着冷空气进一步南下,11—12时,白云机场再次出现冰粒天气。而当天上午机场塔台外观测到疑似米雪天气,但并未在地面观测到,

可能与低层湿度低、塔台高度高,降雪在下降通过塔台高度后进一步融化有关。14时(图4d),低层0℃高度抬高至975 hPa,中层暖层增厚,但依旧小于低层冷层厚度。饱和高湿区向中间收缩至700~440 hPa高度,高湿区位于暖层上部,之前一直维持的“冷干层——暖湿层——冷干层”的垂直温湿场破坏,冰粒天气随之结束。

综上所述,此次强冷空气的降水在下落过程中相继通过了0℃以上的暖层和其下方冷层,探空廓线多次穿过0℃等温线,使得地面出现了雨和冰粒的相态转换。

2.4 位势厚度变化特征

由大气静力学方程可知,两层气压层间的厚度和其间的平均温度成正比,为了更直观地研究位势厚度的与降水相态之间的关系,本文选取了广州白云机场所在位置的经纬度,画出该位置上空的500~700 hPa、700~1000 hPa、700~850 hPa和850~1000 hPa的位势厚度(H_{500~700}、H_{700~1000}、H_{700~850}和H_{850~1000})的时间序列图(图5)。

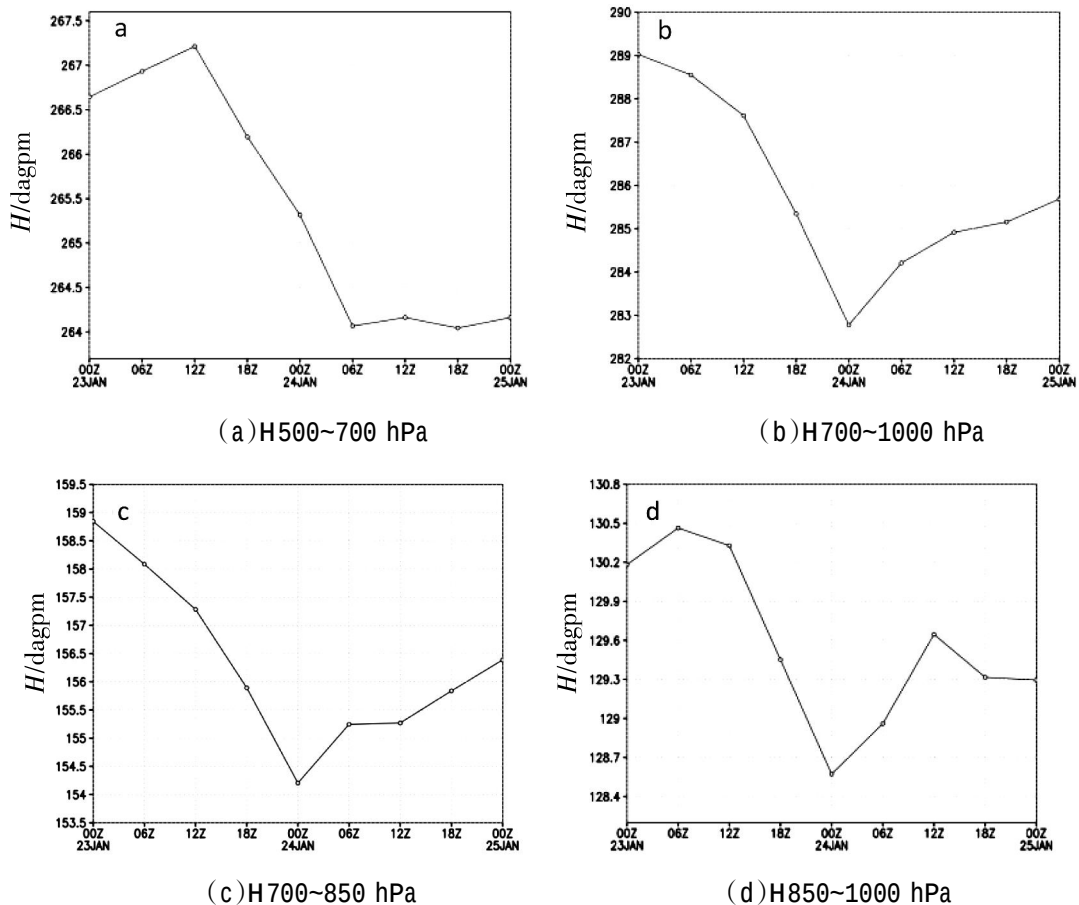


图5 白云机场上空位势厚度时序图

在冰粒天气发生前和发生过程中, H500~700 hPa 基本是一个逐渐减小的过程, 在冰粒天气结束后的24日14时, H500~700 hPa降至最低, 并一直维持在最低值, 在冰粒天气期间, 广州白云机场上空的H500~700 hPa为265.3 dagpm。

H700~1000 hPa、H700~850 hPa 和 H850~1000 hPa 3个指数有相似的变化规律: 在降雨过程中随时间明显减小, 至冰粒天气发生时降至最低, 在冰粒天气结束后又显著增大。可见, 在冰粒天气发生时的位势厚度明显小于降雨天气时的位势厚度。由大气静力学方程可知, 这主要是和冷空气逐渐南下, 气层间平均温度逐渐下降, 而在冰粒天气结束, 冷空气影响逐渐减弱后气层间平均温度再次升高有关。H500~700 hPa与其余3个指数在后期的变化规律不太一致, 这主要是与低层回暖速度比高层快有关。在冰粒天气发生时, 广州白云机场上空的H700~1000 hPa、H700~850 hPa和H850~1000 hPa 3个指数分别为282.8 dagpm、154.2 dagpm和128.6 dagpm, 为全过程最低。

本文同时选择了深圳机场所在位置的经纬度, 分析上述4个指数, 得到了和广州白云机场上空相似的变化特征, 且H700~1000 hPa、H700~850 hPa和H850~1000 hPa在冰粒天气发生时分别为283.6 dagpm、154.8 dagpm和128.8 dagpm, 明显小于降雨时的数值, 亦为全过程最低。

2.5 气柱云水量和边界层高度变化特征

为进一步研究降水相态的变化, 本文选取了广州白云机场所在位置的经纬度, 画出该位置上空的部分指数进行筛选, 选择了具有明显变化特点的气柱云水量和边界层高度, 以此分析这些指数在降水

相态转换时的变化特征。

冰粒天气时, 气柱云水量明显增大, 从24日02时的 0.19 kg/m^2 突然增大至24日08时的 0.44 kg/m^2 , 而后又在24日14时迅速减小至 0.16 kg/m^2 。冰粒天气时的气柱云水量是降雨天气时的2~3倍(图6a)。边界层高度在降雨过程中高度一直维持在1150 m左右, 而在冰粒天气时缓慢升高至1200 m附近, 而后随着冰粒的结束, 边界层高度随之迅速下降(图6b)。深圳机场也得到相似的变化特征。

气柱云水量是表示水汽含量的物理量, 700 hPa槽前低空急流的存在对水汽和不稳定能量的输送具有重要意义, 而700 hPa槽过境和冰粒天气发生时间较为吻合, 故可认为其变化规律与700 hPa高空槽过境有关。而边界层情况较为复杂, 其变化也考虑与锋面和高空槽系统的过境有关, 其具体原因有待后续研究进一步佐证。

3 结论和讨论

本文利用常规气象观测资料和NCEP2再分析资料, 对2016年1月24日广州白云机场发生的一次强冷空气天气背景下降水相态变化过程进行分析, 得到如下结论:

(1) 本次天气是一次超强的横槽转竖型寒潮, 在华南地区减弱为强冷空气天气的过程。冷锋、中低空切变线和低空急流给华南地区带来了较长时间的降水天气。

(2) 机场上空大气层结存在逆温结构特征, 逆温层以上温度和湿度呈现“冷干层—暖湿层—冷干层”的垂直叠置。此次过程中白云机场上空存在多条 0°C 等温线, 降水相态的变化与 0°C 等温线高度的变

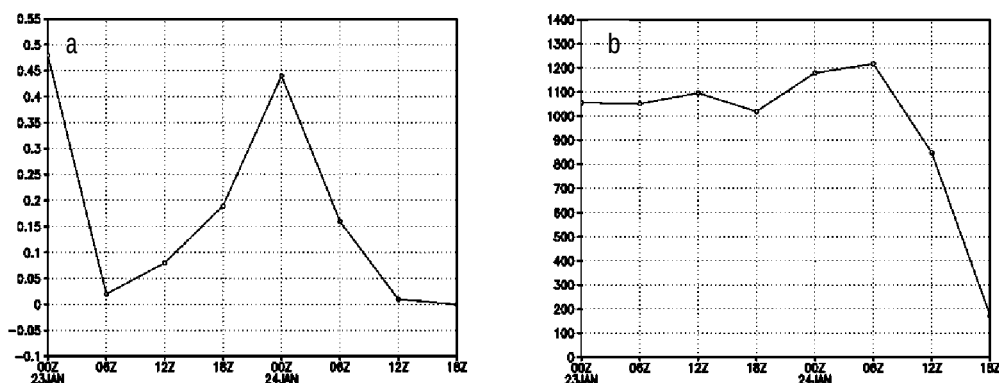


图6 白云机场上空气柱云水量(a)和边界层高度(b)时序图
(气柱云水量单位 kg/m^2 , 边界层高度单位m)

化和冷暖层厚度有关,探空廓线多次穿过 0°C 等温线,使得地面出现了雨和冰粒的相态转换。

(3)低层冷层维持下沉运动、中层暖层维持上升运动、高层为弱下沉运动,低层辐散线和中层 0°C 线位置基本一致,且垂直运动的强度、低层辐散线和高层辐合线的高度在冰粒天气时最高。

(4)冰粒天气发生时, $H700\sim 1000\text{ hPa}$ 、 $H700\sim 850\text{ hPa}$ 、 $H850\sim 1000\text{ hPa}$ 远小于降雨天气,边界层高度、气柱云水量和地表抬升指数等指数均大于降雨天气时。

(5)降水相态的变化与暖层温度及 0°C 层高度密切相关,当降水相态为雨时,暖层温度 $\geq 2^{\circ}\text{C}$, 0°C 层高度 $\leq 975\text{ hPa}$;当降水相态为冰粒时,暖层温度 $\leq 0^{\circ}\text{C}$, 0°C 层高度 $\geq 1000\text{ hPa}$ 。

(6)本次过程由于极其罕见,分析结果可能带有一定偶然性,缺少类似个例进行参考和对比,但可为后续类似过程提供一定的参考。同时,由于资料的时空分辨率不足,更细致的相态变化影响因子分析需要更精细的资料或数值模式来进一步验证。

参考文献:

- [1] 广东省气象局《广东省天气预报技术手册》编写组.广东省天气预报技术手册[M].北京:气象出版社,2006:30-31.
- [2] 漆梁波.我国冬季冻雨和冰粒天气的形成机制及预报着眼点[J].气象,2012,38(7):769-778.
- [3] 王洪霞,苗爱梅,董春卿,等.山西一次春季降水过程相态变化的成因分析[J].高原气象,2013,32(6):1787-1794.
- [4] 柏金凤,回玉香,柏金明,等.一次寒潮的降水相态变化分析[J].黑龙江气象,2014,31(3):14-15.
- [5] 许爱华,乔林,詹丰兴,等.2005年3月一次寒潮天气过程的诊断分析[J].气象,2006,32(3):49-55.
- [6] 郭巧红.两次雨转大到暴雪过程的降水相态变化分析[J].浙江气象,2016,37(3):1-6.
- [7] 邵宇翔,李周.一次寒潮背景下降水相态变化特征分析[J].气象与环境科学,2016,39(1):89-95.
- [8] 胡子浩,濮江平,张欢,等.庐山地区层状云和对流云降水特征对比分析[J].气象与环境科学,2013,36(4):43-49.
- [9] 杨成芳,姜鹏,张少林,等.山东冬半年降水相态的温度特征统计分析[J].气象,2013,39(3):355-361.
- [10] 刘畅,杨成芳,宋嘉佳.一次江淮气旋复杂降水相态特征及成因分析.气象科学,2016,36(3):411-417.
- [11] 詹正杰,尹仔锋,乔林,等.一次华北气旋造成的北京特大暴雪天气过程分析[J].沙漠与绿洲气象,2014,8(5):10-15.
- [12] 周雪英,彭军,段均泽,等.巴州一次寒潮降雪天气的特征分析[J].沙漠与绿洲气象,2014,8(3):48-55.
- [13] Lowndes CAS, Beyon A, Hawson C L. An assessment of some snow predictors [J]. Meteorol Mag, 1974, 103: 341-358.
- [14] Heppner P O G. Snow versus rain Looking beyond the "Magic" number [J]. Wea Forecasting, 1992, 7 (4): 683-691.
- [15] Czys R R, Scott R W, Tang K C, et al. A physically based non dimensional parameter for discriminating between locations of freezing rain and ice pellets [J]. Wea Forecasting, 1996, 11(4): 591-598.
- [16] 段云霞,李得勤,李大为,等.沈阳降水相态特征分析及预报方法[J].干旱气象,2016,34(1):51-57.
- [17] 许美玲,梁红丽,金少华,等.昆明冬季降水相态识别判据研究.气象,2015,41(4):474-479.
- [18] 侯凯,邢辰飞.沙澧河流域短时强降水特征和概念模型[J].气象与环境科学,2015,38(4):92-98.
- [19] 张南,裴宇杰,刘亮,等.一次晚春降水相态变化特征及成因[J].干旱气象,2014,32(2):274-279.
- [20] 张一平,孙景兰,牛淑贞,等.河南区域暴雨的若干雷达回波特征[J].气象与环境科学,2015,38(3):25-36.

Characteristics Analysis of a Rare Precipitation Phase Transformation in Guangzhou Baiyun Airport

ZHAO Maoru^{1,2}, LIU Yingqi²

(1.School of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China;

2.Meteorological Center of Middle South Regional ATMB, CAAC, Guangzhou 510000, China)

Abstract By using conventional observation data and the NCEP2 reanalysis data, the circulation background, synoptic weather systems and the weather characteristics of precipitation phase transformation of a rare regional strong cold air on 24 January 2016 in Guangzhou BAIYUN Airport are discussed. The results show that: the strong cold air is caused by a cold wave of horizontal trough turning to longitudinal trough. The long time precipitation is caused by cold front, shear line and low level jet. There is an inversion layer and three 0 °C isotherms on the top of the airport during the strong cold air. The cross of temperature profile and 0 °C isotherms cause the precipitation phase transformation. Changes in precipitation phase are closely related to the strength of the warm layer temperature, 0 °C layer height, geopotential thickness, planetary boundary layer height, cloud water of entire atmosphere and surface lifted index. When the precipitation phase is rain, the warm layer temperature is greater than or equal 2 °C, and the 0 °C layer height is less than or equal 975 hPa. When the precipitation phase is ice pellets, the warm layer temperature is less than or equal 0 °C, and the 0 °C layer height is about 1000 hPa.

Key words strong cold air; NCEP reanalysis data; precipitation phase transformation; characteristic analysis.