

大兴机场近4年降雪统计及相态转换机制讨论

韩羽庭, 陈昭仔, 兰渝, 季成海

中国民用航空华北地区空中交通管理局大兴空管中心, 北京

收稿日期: 2023年12月25日; 录用日期: 2024年3月18日; 发布日期: 2024年3月26日

摘要

利用北京大兴国际机场2019.10月~2023.3月的自动观测系统地面气象观测数据、欧洲中心ERA5再分析资料、大兴机场微波辐射计和毫米波测云天气雷达资料, 对大兴机场自开航以来冬半年降雪过程进行归类与分析, 探讨在多相态降水过程中地面温度的作用。再选取具有相似气候特征的两多次多相态降水过程进行对比分析, 揭示形成降水相态转换的原因。最后, 通过对大兴机场所有多相态降水过程的统计, 提取降水相态的判别机制。结果表明: 1) 自开航以来, 大兴机场总共发生降雪过程29次, 其中共10次多相态降水过程。2) 降水相态形成并不单受地面温度制约, 与机场的气候特征、天气特征、温度层结的分布等因素均有关。3) 在降雨向降雪转换的过程中, 冰雪层厚度占总云层的比例随低层温度的下降而上升, 并且云中固态凝结物下落路径变短, 降低了固态凝结物在下落过程中融化的概率, 出现相态转换现象。4) 地面温度 0°C 及以下, 850 hPa -4°C 及以下时, 降水相态多为降雪; 地面温度 2°C 及以上, 850 hPa 温度 -4°C 及以上时, 降水相态多为降雨; 地面温度为 $0\sim 2^{\circ}\text{C}$, 850 hPa 温度 $-4\sim 0^{\circ}\text{C}$ 之间时, 降水相态多为雨雪混合状态。5) 在多相态降水过程中, 温度变化不明显时, 冰雪层的厚度、冰雪层下边界距地面的距离, 亦可作为降水相态转换的判别机制。

关键词

北京大兴国际机场, 多相态降水, 地面温度, 850 hPa 温度, 相态转换机制

Snowfall Statistics and Phase Transition Mechanism at Daxing Airport in Recent 4 years

Yuting Han, Zhaoyu Chen, Yu Lan, Chenghai Ji

Daxing Air Traffic Control Center, North China Air Traffic Administration, Civil Aviation of China, Beijing

Received: Dec. 25th, 2023; accepted: Mar. 18th, 2024; published: Mar. 26th, 2024

文章引用: 韩羽庭, 陈昭仔, 兰渝, 季成海. 大兴机场近4年降雪统计及相态转换机制讨论[J]. 自然科学, 2024, 12(2): 309-318. DOI: 10.12677/ojns.2024.122036

Abstract

Based on the ground meteorological observation data of automatic observation system of Beijing Daxing International Airport from October 2019 to March 2023.3, ERA5 reanalysis data of European center, microwave radiometer and millimeter-wave weather radar data of Daxing International Airport, the snowfall process of Daxing International Airport in winter and half a year since its opening was classified and analyzed. The effect of ground temperature in the process of multi-phase precipitation was discussed. Then two multi-phase precipitation processes with similar climatic characteristics were selected for comparative analysis to reveal the reasons for the formation of precipitation phase transition. Finally, through the statistics of all the multi-phase precipitation processes in Daxing Airport, the identification mechanism of precipitation phase is extracted. The results show that: 1) there have been 29 snowfall processes at Daxing Airport since the beginning of the voyage, including 10 multiphase precipitation processes. 2) The formation of precipitation phase state is not only restricted by surface temperature, but also related to the climatic characteristics, weather characteristics and distribution of temperature stratification of the airport. 3) During the transition from rainfall to snowfall, the ratio of ice and snow thickness to the total cloud layer increases with the decrease of low temperature, and the falling path of solid condensation in the cloud becomes shorter, which reduces the probability of the solid condensation melting in the falling process, and the phase transition phenomenon occurs. 4) When the ground temperature is 0°C or below and 850 hPa -4°C or below, the precipitation phase is mostly snow. When the ground temperature is 2°C or above, and the temperature of 850 hpa is -4°C or above, the precipitation phase is mostly rainfall. When the ground temperature is 0~2°C and the temperature of 850 hpa is -4~0°C, the precipitation phase is mostly mixed with rain and snow. 5) In the process of multi-phase precipitation, when the temperature change is not obvious, the thickness of ice and snow layer and the distance between the boundary of ice and snow layer and the ground can also be used as the identification mechanism of precipitation phase transition.

Keywords

Beijing Daxing International Airport, Multiphase Precipitation, Ground Temperature, 850 hPa Temperature, Phase Transition Mechanism

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在秋冬和冬春季节转换时，降雪过程中往往伴有多种相态的存在，相同的降水量级在不同相态的情况下，对人们生活造成的不便也显著不同，城市道路交通、电力设备、工业农业生产等均会受到降雪天气的影响。降雪对民航运输亦影响很大，机场跑道湿滑或积雪均影响飞机的起降，带来严重的安全运行隐患。因此降雪过程中降水相态成为机场关注的重中之重，它关系着安全运行应急和决策工作的开展。

在我国，已有很多关于降水相态和降雪过程方面的研究[1]-[6]，为进一步提高预报的准确率和预警服务的有效性，多种降水相态的形成及转换机制仍需进一步深入研究，尤其是在大兴机场作为新开航的机场，缺乏气候背景统计，降水相态的预报缺乏关键技术指标。因此，本文利用北京大兴国际机场2019.10月~2023.3月的自动观测系统地面气象观测数据、欧洲中心ERA5再分析资料、大兴机场微波辐射计和毫

米波测云天气雷达资料, 对大兴机场自开航以来冬半年降雪过程进行归类与分析, 探讨在多相态降水过程中地面温度的作用。再选取具有相似气候特征的两次多相态降水过程进行对比分析, 揭示形成降水相态转换的原因。最后, 通过对大兴机场所有多相态降水过程的统计, 提取降水相态转换的判别机制, 以提高机场此类天气预报的准确率, 更好地为冬季降雪预警提供参考。

2. 资料

本文所用资料为北京大兴国际机场 2019.10 月~2023.3 月的自动观测系统地面气象观测数据、欧洲中心 ERA5 再分析资料、大兴机场微波辐射计和毫米波测云天气雷达资料等。

3. 背景

Table 1. The number of snowfall processes at Daxing Airport from October 2019 to February 2023

表 1. 2019.10~2023.2 月大兴机场发生降雪过程的次数

年份	1 月	2 月	3 月	11 月	12 月
2019	-	-	-	1	2
2020	-	3	-	1	-
2021	5	1	-	2	1
2022	5	1	2	-	-
2023	3	2	-	-	-
共计	13	7	2	4	3

单位: 次。

根据大兴机场自动观测系统地面气象观测数据统计得出: 自 2019 年 10 月开航以来, 大兴机场总共发生降雪天气 29 次(表 1), 其中 1 月降雪次数最多为 13 次, 3 月天气转暖降雪次数最少为 2 次, 所有过程中累积降水量达中雪及以上量级 2 次。计次标准: 降雪天气在相邻两天出现, 跨北京时日界记为一次降雪过程; 未跨北京时日界则分别记为一次降雪过程。从降雪时长来看, 降雪过程的平均时长集中在 1.5 小时~7 小时之间, 最长极值出现在 2020 年 2 月 5~6 日, 为 30 小时。

4. 地面温度温变化的指示作用

Table 2. The number of multi-phase precipitation processes at Daxing Airport from October 2019 to February 2023

表 2. 2019.10~2023.2 月大兴机场发生多相态降水过程的次数

年份	1 月	2 月	3 月	11 月	12 月
2019	-	-	-	0	1
2020	0	1	0	1	0
2021	1	1	0	2	0
2022	0	0	0	0	0
2023	2	1	-	-	-
共计	3	3	0	3	1

单位: 次。

地面温度变化是降水相态的转换的重要指标之一[7] [8] [9]。本文利用自动观测系统地面整点、半点观测资料,对 2019.10 月~2023.3 月大兴机场发生多相态降水过程的次数进行统计,以充分了解地面温度变化在大兴机场降雪过程中对降水相态的作用。判别标准:当某一次降水过程,降水相态出现降雨、雨夹雪(含雨夹冰粒)或降雪至少两种时,判定为一次多相态降水过程。根据以上标准,大兴机场近 4 年共发生 10 次(表 2)多相态降水过程,其中 1 月、2 月、11 月发生相态转换的次数各为 3 次,12 月发生相态转换的次数为 1 次,3 月未发生相态转换。

上述 10 次多相态降水过程中有 6 次过程包含降雨相态和降雪相态的存在。对这 6 次过程分别统计降雪与降雨时整点、半点的平均地面温度,发现转雪后温度在 $-2\sim 2^{\circ}\text{C}$ 之间,平均为 0.07°C ,且雨转雪的变温在 $-11.16\sim 0.4^{\circ}\text{C}$ 之间,平均降温 4.19°C ;从该图中可以看出,这 6 次降雪相态转换过程降雨时和转雪后的温度并不具有同向变化特征。2021 年降雨时温度最高的两次过程,在降雪时的温度反倒最低;降雨时温度较低的过程,在降雪时温度反倒较高;降雨状态可以出现在 1.4°C 的温度下,降雪状态也可以出现在 2°C 的温度状态下。由此可见降水的相态状况并不单受地面温度制约,它与机场的气候特征(不同月份)、天气特征(冷空气强度和路径等)、温度层结的分布等因素均有关。

5. 两次典型多相态降水过程机制分析

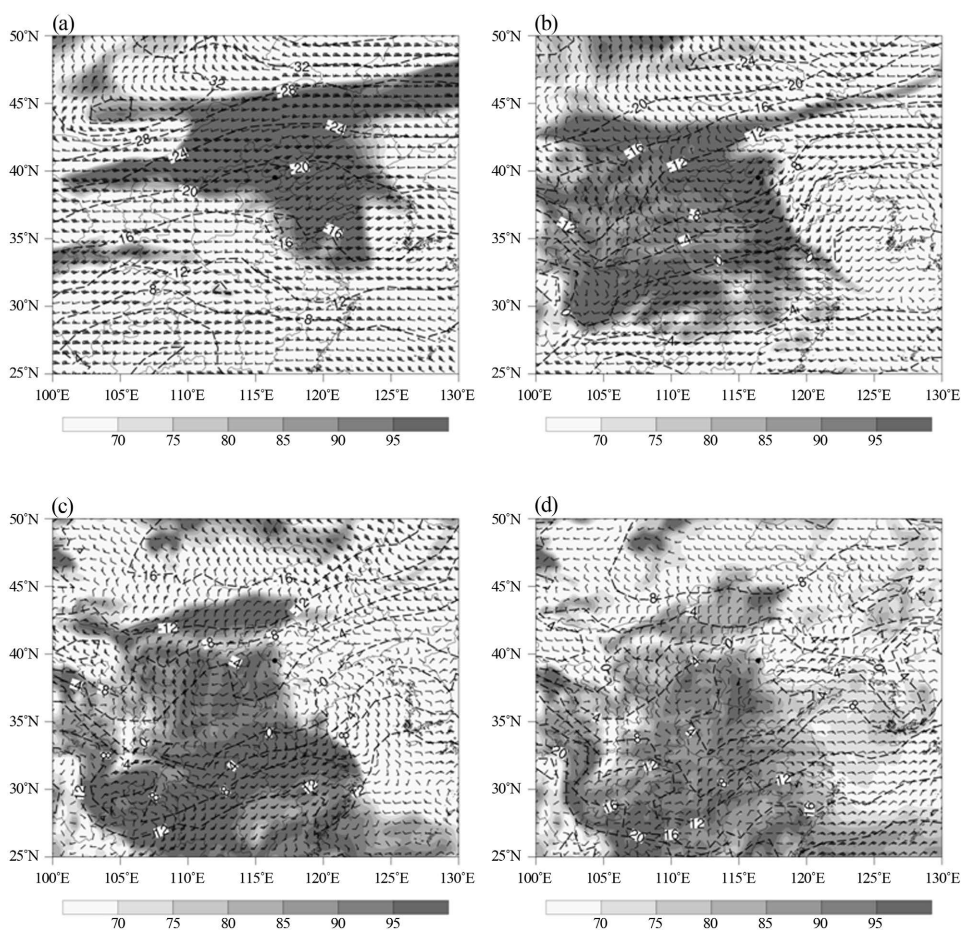


Figure 1. 500 hPa (a), 700 hPa (b), 850 hPa (c) and 1000 hPa (d) at 08:00 on November 21, 2020 Wind field (wind vector rod, unit: m/s), temperature field (dashed line, unit: $^{\circ}\text{C}$), and relative humidity field (shaded area, unit: %)

图 1. 2020 年 11 月 21 日 08 时 500 hPa (a)、700 hPa (b)、850 hPa (c)和 1000 hPa (d)的风场(风矢杆, 单位: m/s)、温度场(虚线, 单位: $^{\circ}\text{C}$)和相对湿度场(阴影区域, 单位: %)

为了进一步探究降水相态的转换机制,分别选取2020年11月21日和2021年11月6~7日两次典型的多相态降水过程进行对比分析。

5.1. 实况概述

2020年11月21日06:06(北京时,下同)至13:15(简称“个例1”),大兴机场出现了一次雨雪天气过程,降雪以小雪为主,短时中雪(约3小时),降水时长7小时,过程累积降水量为6 mm,积雪深度6 cm。2021年11月6日09:38至7日13:14(简称“个例2”),这次雨雪天气过程降温剧烈达11.16℃,前期降雨时间较长,雨雪相态转换过程中出现了冰粒,后期以小雪为主,短时伴有中雪(1小时内),降水总时长持续了27小时,过程累积降水量5.4 mm,积雪深度3 cm。

两次过程都发生在11月份,气候背景相似,但降水量级和强度、相态转换速度、积雪深度、持续时长以及降温幅度都存在明显差异。个例1降水量较大、积雪深度大、相态转换快,中雪时间集中,而个例2具有降水时间长,降温幅度大,相态转换缓慢,积雪深度相对较小等特点。

5.2. 环流背景和影响系统

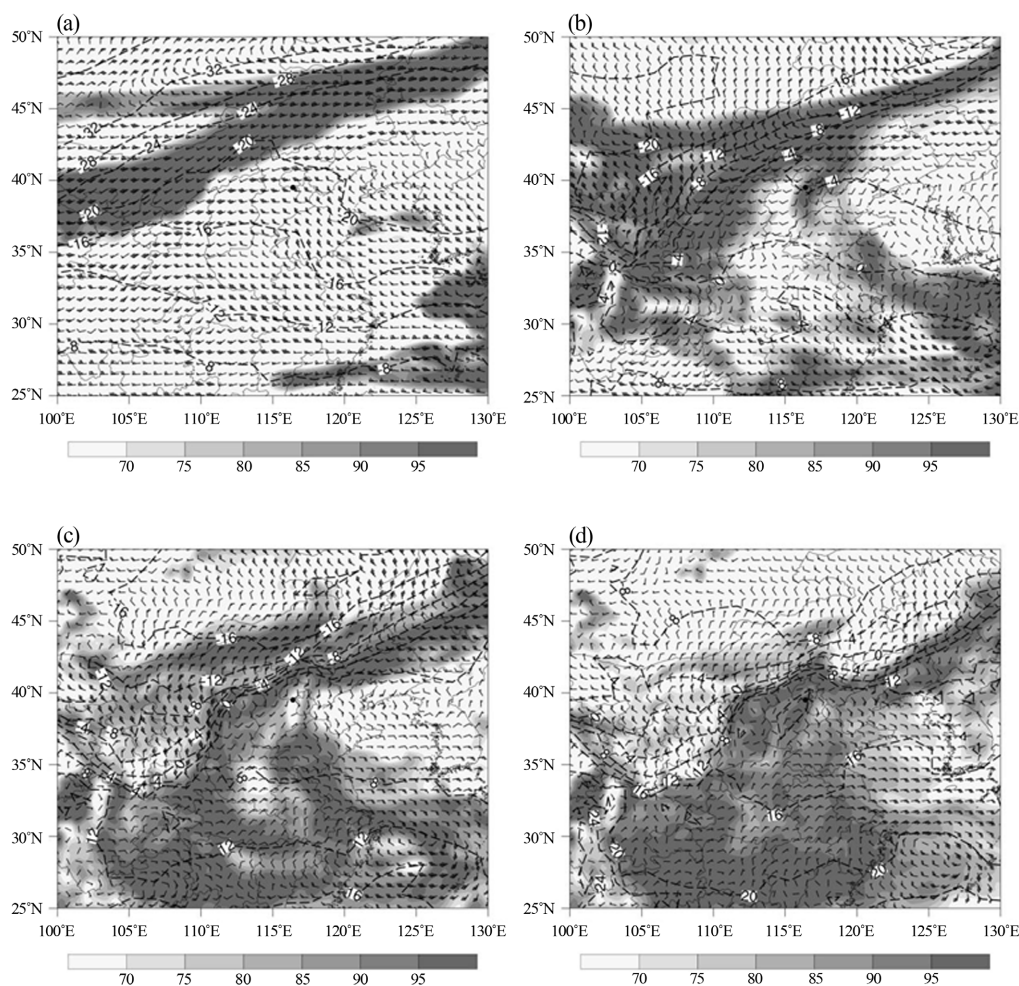


Figure 2. 500 hPa (a), 700 hPa (b), 850 hPa (c) and 1000 hPa (d) at 08:00 on November 6, 2021 Wind field (wind vector rod, unit: m/s), temperature field (dashed line, unit: °C), and relative humidity field (shaded area, unit: %)

图 2. 2021年11月6日08时500 hPa (a)、700 hPa (b)、850 hPa (c)和1000 hPa (d)的风场(风矢杆,单位: m/s)、温度场(虚线,单位: °C)和相对湿度场(阴影区域,单位: %)

2020年11月21日08时(图1),整层均处于高空槽前,槽相对垂直,略有前倾,槽前抬升,槽后有明显的冷平流。500 hPa高空槽位于河套以西,高空槽引导冷空气沿中蒙边境和河西走廊向西移动。700 hPa有明显的西南风急流,急流最大风速达16 m/s,向华北地区不断输送水汽,本场位于急流左侧辐合区。850 hPa大湿区已覆盖本场,沿河西走廊入侵的冷空气沿华北南部快速移动,把华北南部的水汽逐渐切断。1000 hPa沿中蒙边界南压的冷空气,与沿河西走廊入侵的冷空气逐渐在华北汇合,在1000 hPa低层形成了大范围的辐合抬升区。

2021年11月6日08时(图2),临近降水开始前,各层高空槽的主体位于河套附近,槽后倾明显。500 hPa高空槽后冷空气明显,高空槽引导冷空气由西北中蒙边境处向华北平原移动。700 hPa冷空气分为南北两支,北支冷空气沿中蒙边境南压,南支冷空气向华中地区移动。本场及以南区域有弱辐合。后随着高空槽的南压,700 hPa大湿区快速覆盖本场。850 hPa从5日傍晚开始就有持续的东南风水汽输送(图略),6日再配合有前期东移入海的冷空气回流,把东海的水汽源源不断的输送到华北地区,为此次降水过程提供了充沛的水汽。与500 hPa、700 hPa相比,槽线处温度梯度更加明显,槽后有强烈的冷平流降温,在6日20时(图略)相态转换过程中,850 hPa温度已降至0℃,同时间东南风回流与南下的两支冷空气在本场西南处形成大范围的辐合抬升区,本场转雪后短时出现了中雪量级。综上所述,两次降雪过程都是由高空槽前抬升和低层辐合抬升共同作用造成。

5.3. 冷空气强度对降水相态的影响

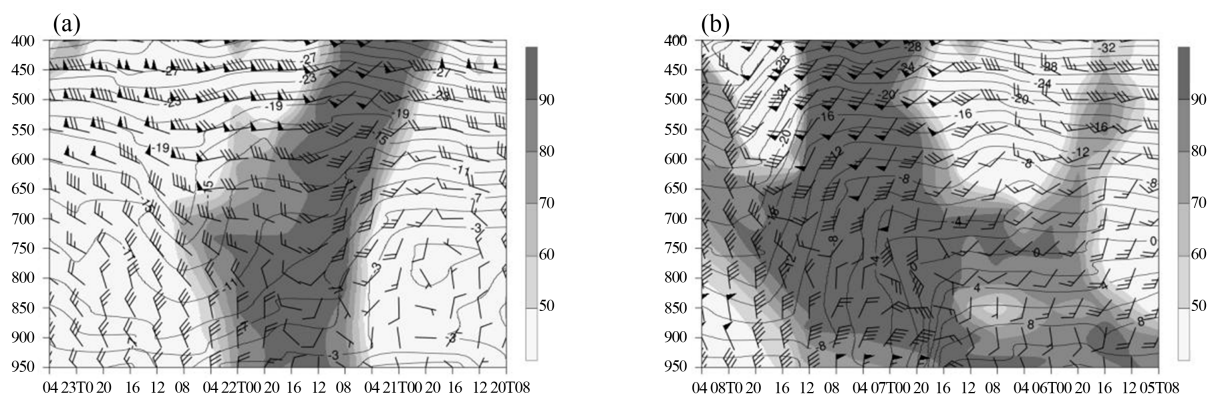


Figure 3. Daxing Airport from 08:00 on November 20, 2020 to 04:00 on November 23, 2020 (a) and from 08:00 on November 5 to 04:00 on November 8, 2021 (b), Time-height profiles of the temperature field (black line, unit: $^{\circ}\text{C}$), the relative humidity field (shaded area, unit: %), and the horizontal wind field (wind vane bar, unit: m/s)

图3. 2020年11月20日08时至23日04时(a)和2021年11月5日08时至8日04时(b)大兴机场温度场(黑色线条,单位: $^{\circ}\text{C}$)、相对湿度场(阴影区域,单位: %)和水平风场(风向杆,单位: m/s)的时间-高度剖面

通过两个例中大兴机场地面温度的演变(表略)对比可知,气候背景特征相似时,个例2的冷空气更强,转雪后个例2的平均温度比个例1低2.22 $^{\circ}\text{C}$ 。因此,对两次过程做温度场、相对湿度场和水平风场的时间-高度剖面(图3),进一步探讨冷空气强度对降水相态的影响。

图3(a)中,个例1,机场上空高空槽垂直,整层系统过境时间较快,槽前暖湿输送700 hPa较为明显,降雨开始时近地面温度为2 $^{\circ}\text{C}$ 左右,850 hPa温度-6 $^{\circ}\text{C}$ 。随着冷空气的侵入,整层温度逐渐下降,地面降至1 $^{\circ}\text{C}$,相态由雨转为雪。实际本场降水时段与850 hPa 90%以上湿区覆盖时间相对一致。

图3(b)中,个例2,整层高空槽后倾明显,前期中低层伴有偏东风回流,近地面湿区达90%开始毛毛雨,后由于偏东风水汽不断输送,整层湿区覆盖,16时左右地面温度9 $^{\circ}\text{C}$,850 hPa温度5 $^{\circ}\text{C}$ 。随着低层冷空气的到来,中低层温度断崖式下降,20时左右,地面温度降至0 $^{\circ}\text{C}$,850 hPa温度-1 $^{\circ}\text{C}$,本场开始

出现雨夹雪。近地面冷空气强劲，北风最大风速达 22 米/秒，伴随雨夹雪还有雨加冰粒的出现。21:36 分降雪开始时，地面与 850 hPa 温度同步降至 -3°C 。7 日早 8~10 时 700 hPa 及高层槽前抬升剧烈，本场出现中雪。整个过程湿层深厚，850 hPa 90%以上湿区覆盖时间也与实际降水时间由较好的吻合。

两次过程相比，个例 1 因冷空气较弱，降温速度相对缓慢，在 0°C 层尚未及地时降水相态已经转换。个例 2 冷空气强度大，加之降温迅速，因此在 0°C 层及地以后降水相态才开始转换。

5.4. 影响降水相态的其他因素

鉴于云内温度、湿度符合冰雪形成和增长的条件，降水相态受地面到抬升凝结高度之间的温度影响[10]。因此，结合再分析资料、微波辐射计和毫米波云雷达资料，估算两次过程的抬升凝结高度(ZLCL)，制作大兴机场(海拔约 28 m)降雪和降雨时的温度、露点温度垂直廓线。

由公式 $ZLCL \approx 123(T_0 - T_{d0})$ [11] (T_0 表示地面温度， T_{d0} 表示露点温度)估算，2020 年 11 月 21 日 06 时(图 4(a))，降雨即将开始时，大兴机场上空抬升凝结高度约 0.74 km，此时地面温度 2°C ，850 hPa 约 -4°C 。雷达探测的降水云的云顶高度约 4 km，因此云层范围约 0.74~4 km，厚度约为 3.26 km。雪花增长区位于 3.4 km 以上，混合区为 2.0~3.4 km，冰雪层的厚度约为 2 km，占云层总厚度的 61%，下边界距地面的距离约为 1.97 km。虽 850 hPa 温度近 -4°C ，但近地面层温度偏暖，地面温度仍处于 0°C 以上，且固态凝结物下落距离相对较长，导致上层凝结物下落过程中融化概率增加。因此，个例 1 过程最初降水相态为雨是由于冰雪层厚度较薄且距地面高，及冰雪层以下温度较高共同因素导致。

11 时降雪时(图 4(b))，相较于降雨，近地面湿度增大导致大兴机场上空抬升凝结高度降至 0.03 km 左右，而雷达探测到的云顶高度升高，云层总厚度增大。对流层顶温度下降至 -7°C ，降温明显。 -10°C 层高度约 2.7 km，略有所下降。 -4°C 层下降至 900 hPa 以下，混合区约 1.8 km，厚度亦增大，冰雪层约占云层总厚度的 84%，且冰雪层下边界距地面 0.87 km。因此，个例 1 降水相态由雨转为雪是由于低层温度下降，冰雪层厚度增加，且云中固态凝结物下落路径缩短，降低了固态凝结物在下落过程中融化的概率而形成。

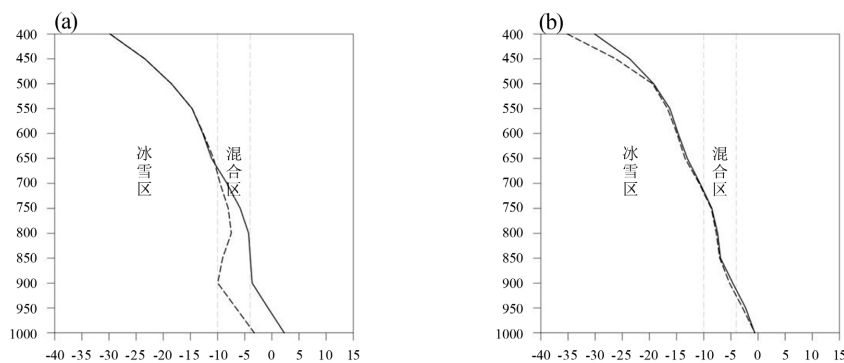


Figure 4. Vertical profiles of Daxing airport temperature and dew point temperature at 06:00 (a) and 11:00 (b) on November 21, 2020 (The abscissa is temperature/ $^{\circ}\text{C}$, the ordinate is barometric pressure/hPa, the solid line is the temperature line, and the dotted line is the dew point temperature line)

图 4. 2020 年 11 月 21 日 06 时(a)和 11 时(b)大兴机场温度和露点温度垂直廓线(横坐标为温度/ $^{\circ}\text{C}$ ，纵坐标为气压/hPa，实线为温度线，虚线为露点温度线)

2021 年 11 月 6 日 17 时(图 5(a))，降雨时地面温度 9°C ，850 hPa 约 4°C 。由公式估算抬升凝结高度约 0.4 km。雷达探测的云顶高度约 5.2 km，故云层厚度为 4.8 km。冰雪层厚度相对较薄，约 2.2 km，其中雪花增长区在 3.9 km 以上，混合区为 3.0~3.9 km，冰雪层占总云层的 46%，其下边界距地面约 2.97 km。相较于个例 1 的降雨状态，个例 2 更为典型。约 750 hPa 以下均在 0°C 以上，近地面层更是在 $5\sim 10^{\circ}\text{C}$ 之

间, 气温处于极暖状态, 单从温度层结角度分析, 降水相态就已确定为降雨。再加之冰雪层薄, 距地面高, 更为降雨相态提供了支撑依据。

6日20时(图5(b)), 个例2过程开始雨夹雪状态, 此时近地面各层已在降温状态, 地面温度2℃, 850 hPa气温略低于0℃。抬升凝结高度估算为0.62 km, 云顶高度约6.5 km, 故云层厚度为5.88 km。混合区下边界约3.0 km, 因此冰雪层厚度约2.88 km, 约占云层厚度的49%; 冰雪层下边界距地面约2.97 km。在开始雨雪转换时, 相比于降雨状态, 冰雪层距地面高度近乎一致, 但厚度开始增加, 配合低层的降温, 降水相态开始由雨向雪转换。

7日08时降雪时(图5(c)), 整层温度下降剧烈, 地面温度-5℃, 850 hPa对流层顶温度下降至约-8℃。-10℃层高度约3.8 km, 以下整层均低于-5℃。整个云层均处于冰雪层状态。相较于个例1的降雪状态, 个例2更为典型。从温度层结看, 整层气温均低于-5℃, 是典型的降雪相态。

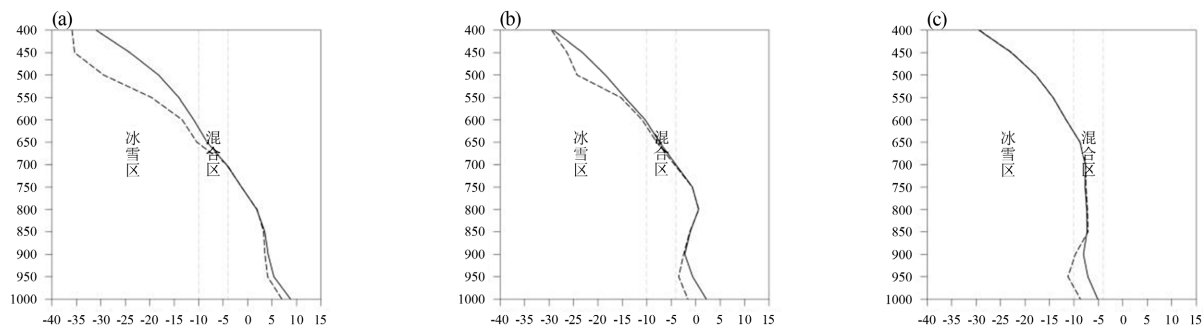


Figure 5. Vertical profiles of Daxing Airport temperature and dew point temperature at 17:00 (a), 20:00 (b) on November 6, 2021 and 08:00 (c) on November 7, 2021 (The abscissa is temperature/°C, the ordinate is barometric pressure/hPa, the solid line is the temperature line, and the dotted line is the dew point temperature line)

图5. 2021年11月6日17时(a)、20时(b)和7日08时(c)大兴机场温度和露点温度垂直廓线(横坐标为温度/°C, 纵坐标为气压/hPa, 实线为温度线, 虚线为露点温度线)

6. 多相态降水过程层结统计分析

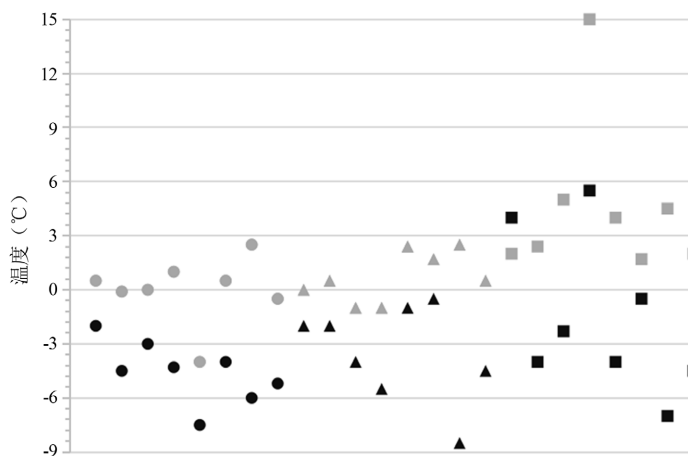


Figure 6. Scatter plots of ground temperature and 850 hPa temperature in different phases (gray circle: ground temperature during snowfall, black circle: 850 hPa temperature during snowfall; Grey triangle: ground temperature during sleet, black triangle: 850 hPa temperature during sleet; Gray square: ground temperature during rainfall, black square: 850 hPa temperature during rain)

图6. 不同相态时地面温度和850 hPa温度散点图(灰色圆形: 降雪时地面温度, 黑色圆形: 降雪时850 hPa温度; 灰色三角形: 雨夹雪时地面温度, 黑色三角形: 雨夹雪时850 hPa温度; 灰色正方形: 降雨时地面温度, 黑色正方形: 降雨时850 hPa温度)

为了进一步探究温度, 云层厚度, 固态凝结物下落距离对降水相态的影响, 利用再分析资料、微波辐射计和毫米波云雷达资料, 对大兴机场开航以来 10 次多相态降水过程的降雨、雨夹雪、降雪开始时间最邻近的整点层结状况进行估算统计。

图 6 中, 横向比较, 降雪时地面温度和 850 hPa 温度明显低于降雨时的温度, 地面温度平均在 0°C 上下, 850 hPa 普遍低于 -4°C 。降雨时地面温度大体在 $2\sim 5^{\circ}\text{C}$ 之间, 最高一次达 15°C , 850 hPa 温度表现较为分散, 高至 5.5°C , 低至 -7°C 。雨夹雪时两层温度分别处于降雪和降雨中间, 地面温度大体在 $0\sim 2^{\circ}\text{C}$ 之间, 850 hPa 温度普遍在 $-4\sim 0^{\circ}\text{C}$ 之间。因此, 850 hPa 温度和地面温度同冷时, 特别地面温度 0°C 及以下, 850 hPa -4°C 及以下时, 降水相态多为降雪; 850 hPa 温度和地面温度同偏暖时, 特别地面温度 2°C 及以上, 850 hPa 温度 -4°C 及以上时, 降水相态多为降雨; 当地面温度为 $0\sim 2^{\circ}\text{C}$, 850 hPa 温度 $-4\sim 0^{\circ}\text{C}$ 之间时, 降水相态多为雨雪混合状态。

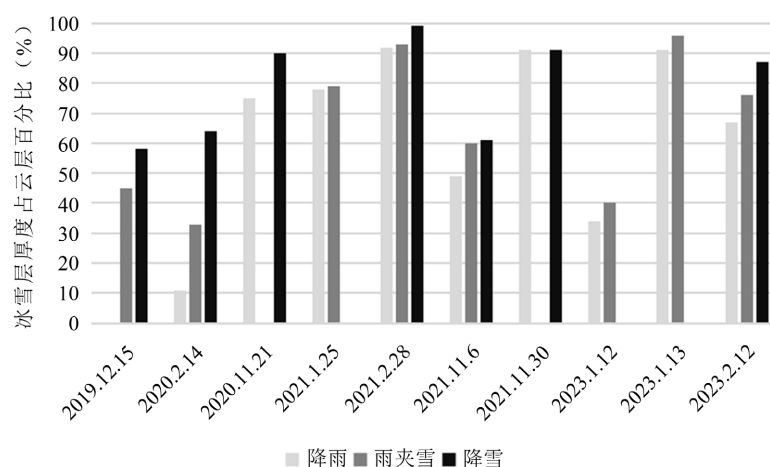


Figure 7. Proportion of ice and snow layer thickness relative to cloud layer thickness in different phases

图 7. 不同相态时冰雪层厚度相对云层厚度的占比

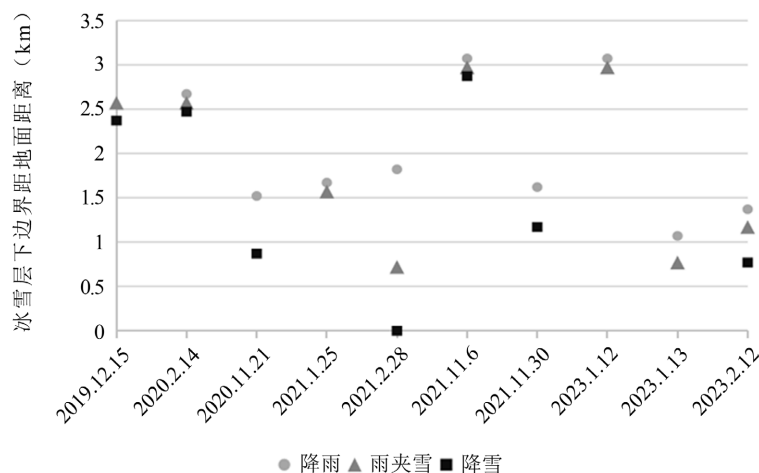


Figure 8. The distance between the lower boundary of the ice and snow layer and the ground in different phases

图 8. 不同相态时冰雪层下边界距地面的距离

图 7 和图 8 分别为 10 次多相态降水过程中不同相态时冰雪层厚度相对云层厚度的占比和冰雪层下边

界距地面的距离。图 7 显示, 随着降水相态由降雨变为雨夹雪或降雪, 冰雪层的厚度普遍呈现增厚的趋势, 占云层厚度的比例增大。并且随着相态的转变, 冰雪层下边界距地面的距离也呈下降趋势(图 8), 这说明固态凝结物的下落距离在减小, 在相似的温度背景下, 凝结物的下落时间缩短, 降低了在下落中融化的概率。因此, 在多相态降水过程中, 相似温度背景(降温不明显)的情况下, 冰雪层的增厚、冰雪层下边界距地面的距离(实际预报过程中可参考云层厚度及云高), 亦可作为降水相态转换的判别机制。

7. 结论

1) 自开航以来, 大兴机场总共发生降雪天气 29 次, 1 月降雪次数最多, 3 月降雪次数最少。共发生 10 次多相态降水过程, 其中 1 月、2 月、11 月发生相态转换的次数各为 3 次, 12 月降雪发生相态转换的次数为 1 次, 3 月未发生相态转换。

2) 多相态降水过程降雨时和转雪后的温度并不具有同向变化特征。降水相态形成并不单受地面温度制约, 与机场的气候特征(不同月份)、天气特征(冷空气强度和路径等)、温度层结的分布等因素均有关。

3) 两次典型的多相态降水过程均由高空槽前抬升和低层辐合抬升共同作用造成。两次过程相比, 个例 1 因冷空气较弱, 降温速度相对缓慢, 在 0°C 层尚未及地时降水相态已经转换。个例 2 冷空气强度大, 加之降温迅速, 因此在 0°C 层及地以后降水相态才开始转换。

4) 两次过程在降雨向降雪转换的过程中, 冰雪层厚度占总云层的比例随低层温度的下降而上升, 并且云中固态凝结物下落路径变短, 降低了固态凝结物在下落过程中融化的概率, 出现相态转换现象。

5) 850 hPa 温度和地面温度同冷时, 特别地面温度 0°C 及以下, 850 hPa -4°C 及以下时, 降水相态多为降雪; 850 hPa 温度和地面温度同偏暖时, 特别地面温度 2°C 及以上, 850 hPa 温度 -4°C 及以上时, 降水相态多为降雨; 当地面温度为 $0\sim 2^{\circ}\text{C}$, 850 hPa 温度 $-4\sim 0^{\circ}\text{C}$ 之间时, 降水相态多为雨雪混合状态。

6) 在多相态降水过程中, 相似温度背景(降温不明显)的情况下, 冰雪层的增厚、冰雪层下边界距地面的距离(实际预报过程中可参考云层厚度及云高), 亦可作为降水相态转换的判别机制。

参考文献

- [1] 张南, 张迎新, 申莉莉. 冀中南一次春季雨雪过程诊断与预报技术分析[J]. 干旱气象, 2014, 32(4): 622-628.
- [2] 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.
- [3] 刘畅, 杨成芳. 山东省极端降雪天气事件特征分析[J]. 干旱气象, 2017, 35(6): 957-967.
- [4] 陈豫英, 陈楠, 瞿颖佳, 等. 2015 年深秋宁夏冷涡降雪过程的预报性分析[J]. 干旱气象, 2017, 35(3): 465-474.
- [5] 申李文, 苗爱梅, 赵建峰. 2011 年山西省一次连续性降雪过程成因分析[J]. 气象与环境科学, 2013, 36(1): 7-14.
- [6] 王一颀, 赵桂香, 马严枝. 降水相态转换机制及积雪深度预报技术研究[J]. 干旱气象, 2019, 37(6): 964-971.
- [7] 李江波, 李根娥, 裴雨杰, 等. 一次春季强寒潮的降水相态变化分析[J]. 气象, 2009, 35(7): 87-94.
- [8] 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.
- [9] 闫慧, 赵桂香, 张朝明, 等. 山西中部一次暴雪天气过程分析[J]. 干旱气象, 2015, 33(5): 838-844.
- [10] 廖晓农, 张琳娜, 何娜, 等. 2012 年 3 月 17 日北京降水相态转变的机制讨论[J]. 气象, 2013, 39(1): 28-38.
- [11] 盛裴轩, 毛节泰, 李建国, 等. 大气物理学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2003: 135-136.