

银川河东国际机场两次持续性大雾过程的特征及维持机制^①

梁希豪¹, 曾祥耀², 赵晔晔¹, 杜星¹, 潘佳¹

1. 民航宁夏空管分局, 银川 750009; 2. 民航甘肃空管分局, 兰州 730000

摘要: 利用 NECP/NCAR 再分析资料、民航气象观测资料和常规高空地面观测资料, 对银川河东国际机场 2009 年连续 4 d 和 2015 年连续 4 d 的 2 次持续性大雾天气过程从环流特征、动力特征、形成原因和维持机制等方面进行诊断分析。结果表明:2009 年的持续性大雾先是降雪雾后是辐射雾, 2015 年的持续性大雾是一次典型的辐射雾过程。纬向环流是持续性大雾维持的高空环流背景, 低压或均压场是大雾发生和维持的地面环流形势。降雪雾期间从地面至高空均是高湿区, 辐射雾的配置以低层潮湿中高层干燥为主。强烈上升运动以及低层辐合高层辐散的高低空配置为降雪雾过程提供了较好的动力条件, 中高层大尺度的下沉运动是辐射雾出现和维持的重要因素。低层的暖湿水汽通道的建立以及水汽辐合区的出现, 为大雾提供了充沛的水汽条件。

关键词: 持续性大雾; 环流特征; 动力特征

中图分类号: P49

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2020)12-0085-08

近年来, 因大雾造成航班延误返航的事件屡见不鲜, 对旅客的出行带来不便, 同时也给航空公司造成严重的经济损失, 特别是持续性大雾因其持续时间长、影响范围广, 更易造成航班大面积延误和取消。目前, 国内外许多学者对持续性大雾进行了大量的研究, 其中郭丽君等^[1]对北京 2009—2013 年间 13 次大雾天气过程从类型、垂直结果特征及物理成因等多个方面进行研究、分型, 初步探讨了雾的宏微观垂直结果特征; 李江波等^[5]应用常规观测资料、自动站资料、NCEP 提供的 FNL 客观分析资料, 对华北平原 1999—2008 年 9 次连续 4 d 以上的大雾天气过程进行了分析, 探讨了华北平原连续性大雾的统计特征、环流背景、温湿场特征及成因、雾区分布天气概念模型和预报着眼点等。

2009 年和 2015 年银川河东国际机场分别出现一次持续时间长达 4 d 的大雾天气过程, 其中 2015 年 11 月出现的持续性大雾天气造成 45 架航班取消, 9 架航班备降, 7 架航班复飞, 大量旅客滞留机场, 对航班的安全造成严重影响。本文利用 NECP/NCAR(2.5°×2.5°)再分析资料、民航气象观测资料和气象局常规观测资料, 对这 2 次持续性大雾天气过程进行诊断分析, 探讨其环流特征、动力特征、形成原因和维持机制等, 以期以后此类持续性大雾过程的安全保障提供指导、帮助。

1 大雾天气过程概述

1.1 2009 年 11 月 28 日至 12 月 1 日

2009 年 11 月 28 日银川河东国际机场出现降雪天气, 随着降雪增大, 28 日上午 07:52 机场首次出现 700 m 大雾, 并维持了 10 min, 随后能见度逐渐上升, 以轻雾为主, 23:52 机场又出现大雾天气, 并一直维持到 29 日上午 08:45, 期间最低能见度为 60 m, 同时在 29 日凌晨 05:32 降雪天气结束; 29 日夜间 20:36

^① 收稿日期: 2019-08-27

作者简介: 梁希豪(1986—), 男, 工程师, 主要从事航空气象方面的研究。

机场再次出现大雾天气并维持至 30 日 12:46, 最低能见度 50 m; 30 日下午 16:39 至 1 日 10:01 大雾天气再次覆盖机场地区, 最低能见度 20 m. 此次持续性大雾过程累计大雾时长 42 h 27 min, 最低能见度 20 m.

1.2 2015 年 11 月 9 日至 11 月 12 日

2015 年 11 月 9 日凌晨 01:53 银川河东国际机场出现大雾天气并一直维持至 14:29, 能见度最低 200 m, 第二段大雾发生在 9 日 21:21 到 10 日 14:26, 最低能见度 50 m, 第三段大雾自 11 日 04:53 开始一直维持到 18:20, 最低能见度 200 m, 最后一段大雾从 12 日 03:27 至 09:42, 最低能见度 150 m. 此次大雾过程开始前的 11 月 5 日—7 日, 银川河东国际机场连续 3 天出现小雨天气, 机场地面湿度较大, 伴随夜间的辐射冷却, 自 11 月 9 日凌晨开始银川河东国际机场出现了连续 4 d 的大雾天气, 此次过程累计大雾时长 47 h 49 min, 最低能见度 50 m.

为了方便描述, 后文将以上 2 次天气过程分别简述为“2009. 11”过程和“2015. 11”过程.

2 持续性大雾环流背景

2.1 高空环流特征

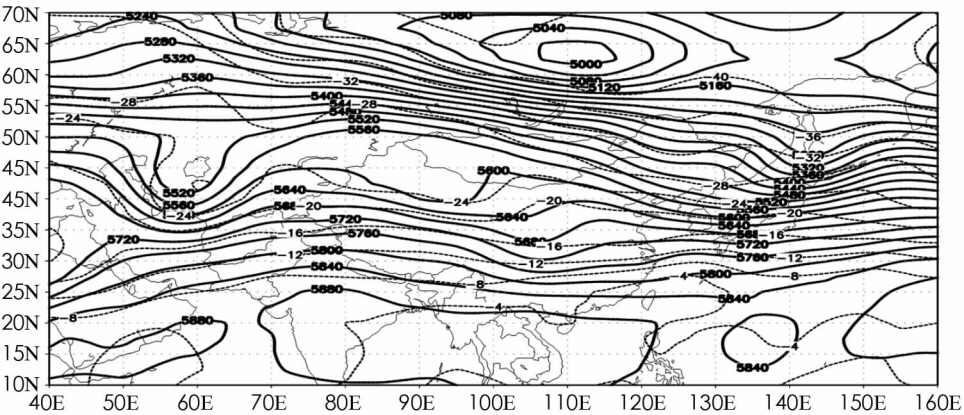
“2009. 11”过程中 11 月 27 日 20:00(图 1a)500 hPa 位势高度场上, 欧亚大陆以多小槽波动的纬向环流为主, 西伯利亚地区受低涡控制, 中纬地区里海东侧、我国新疆东部、日本岛附近分别有高空槽, 河西至河套有弱暖脊, 随后位于新疆的温度槽不断减弱, 造成新疆高空槽快速东移, 并于 28 日影响河套地区, 造成了降雪天气的出现. 到了 29 日 08:00 里海的弱槽移至巴尔喀什湖地区, 新疆受暖脊控制, 且暖脊不断加强, 河套地区处于暖脊前部, 在 30 日 08:00 中高纬的环流形势开始变化, 在乌拉尔山西侧有低涡生成, 西伯利亚低涡移至远东地区, 西伯利亚地区开始出现弱脊, 中纬地区巴湖高空槽加强东移至新疆地区, 而河套地区受暖脊影响, 到 30 日 20:00(图 1b)随着西伯利亚的暖脊不断加强, 欧亚大陆的环流形势彻底转变为两槽一脊型的经向环流, 乌拉尔山和远东地区有冷槽活动, 暖脊加强移至贝加尔湖西侧, 中纬上在新疆的高空槽与温度槽配合加强东移, 到 12 月 1 日白天新疆高度槽和温度槽均移至河套地区. 同时在 700 hPa 和 850 hPa 位势高度场上中高纬的环流形势基本与 500 hPa 一致, 在 27 日至 29 日以纬向环流为主, 30 日开始环流形势逐渐转为经向环流, 在降水雾期间有弱冷舌配合降水过程, 而随后的辐射雾期间河套地区均处于温度脊的控制当中, 到了 12 月 1 日白天有较强温度槽影响河套地区, 受冷空气影响持续性大雾过程结束.

“2015. 11”过程在 500 hPa 位势高度场上, 由经向环流调整为纬向环流, 在 11 月 8 日 08:00(图 1c)欧亚大陆中高纬是一槽一脊型的经向环流形势, 乌山西侧有冷涡活动, 西伯利亚至远东地区受高脊控制, 河套地区处于暖脊控制, 随后乌山冷涡不断加强东移, 高脊减弱东移, 到了 10 日 08:00(图 1d), 中高纬的环流形势开始变为纬向环流, 乌山至贝湖地区均开始受低涡控制, 河套地区受偏西气流影响, 到 12 日白天环流形势一直是纬向环流, 低涡控制了乌山至远东地区. 在大雾期间低层的中高纬整体环流形势基本与 500 hPa 一致, 且自 8 日开始, 河套地区一直处于暖舌控制, 到了 12 日 08:00, 在 850 hPa 有较强的暖舌出现, 造成河套地区大幅度的升温, 持续性大雾过程结束.

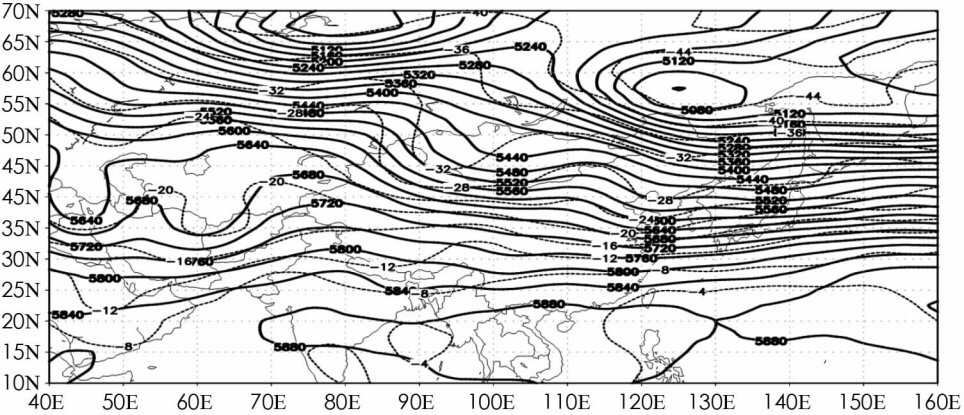
2.2 地面环流特征

“2009. 11”过程中, 11 月 28 日 08:00(图 2a)高压中心位于新疆北部和华北地区, 河西至河套西部受低压控制, 低压中心位于青海湖, 随后我国新疆高压不断向蒙古移动, 12 月 1 日 08:00 新疆的高压逐渐加强且不断东移, 高压中心位于新疆北部, 华北处于低压控制, 河套地区处于高压前沿. 1 日 14:00 我国新疆冷高持续东移, 高压中心移至蒙古中西部, 高压主体开始控制河套地区, 受冷高压侵入影响大雾过程结束.

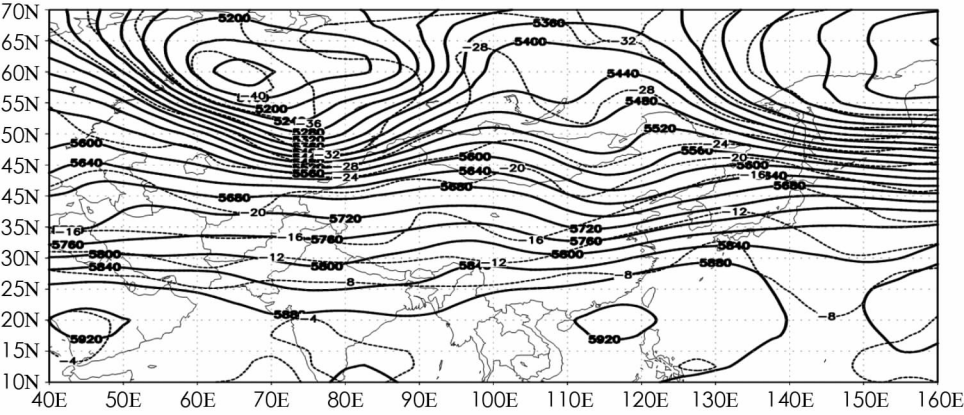
“2015. 11”过程中, 11 月 9 日 08:00(图 2b)高压中心位于新疆北部和华北地区, 西南至河套地区受低压控制, 随后新疆高压向东移动, 高压主体影响蒙古地区, 河套地区主要受低压影响, 11 日 08:00 高原上有高压生成, 东北受高压控制, 低压位于新疆和西南地区, 河套地区开始受均压场控制, 到 12 日 08:00, 受新疆热低压东移影响, 在河西和河套地区分别形成低压中心, 河套的热低压配合高空暖舌共同作用, 造成地面快速升温, 持续性大雾天气过程结束.



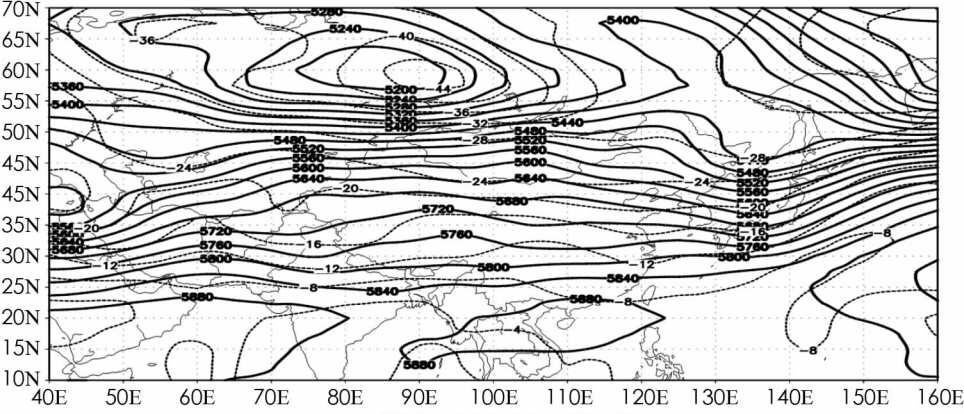
a. 2009 年 11 月 27 日 20: 00



b. 2009 年 11 月 30 日 20: 00



c. 2015 年 11 月 8 日 08: 00



d. 2015 年 11 月 10 日 08: 00

图 1 500 hPa 高度场

对比分析两次持续性大雾的环流形势, 可以看到“2009. 11”和“2015. 11”这两次过程高空环流形势均进行过调整, 2009 年是由纬向环流向经向环流调整, 2015 年是由经向环流向纬向环流调整, 虽然两次过程调整过程不一致, 但纬向环流是大雾维持多日的主要环流背景. 同时, 在大雾发生和维持期间地面处于低压或均压环流当中, 当冷高压侵入造成地面迅速降温或者暖低压造成地面快速升温时均会造成大雾过程结束.

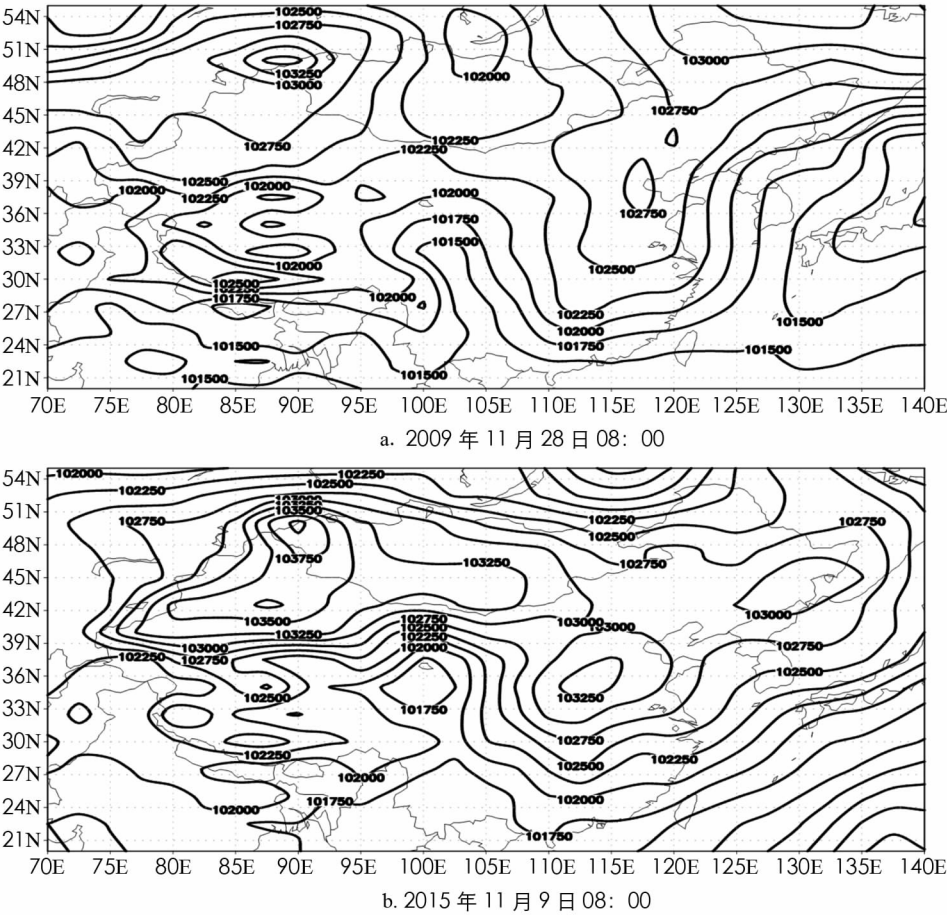


图 2 海平面气压场

3 持续性大雾成因及维持机制

3.1 边界层特征

为进一步了解 2 次持续性大雾期间的边界层特征, 沿河东机场(106°E , 38°N)作相对湿度的时间—垂直剖面图(图 3). 在“2009. 11”过程中, 27 日 20:00 至 28 日 08:00(图 3a), 从地面至 400 hPa 均是高湿区, 相对湿度大于 90%, 表明在降雪雾期间整层水汽充沛湿度较大, 从 28 日 14:00 开始中高层转为干区, 800 hPa 以下是高湿区, 每个高湿区基本都对应大雾发生和维持时段, 30 日 20:00 虽然边界层的湿度降低至 70% 左右, 但是高低空的湿度配置仍是中高层干燥、低层潮湿, 符合辐射雾特征, 到 12 月 1 日白天低层的湿度区的高度由 800 hPa 延伸至 700 hPa, 且不断升高, 湿度层明显抬升, 中高空干燥低层潮湿的配置遭到破坏, 辐射雾结束. 在“2015. 11”过程中, 11 月 8 日—12 日(图 3b)中高层均是干燥区, 湿度中心最低为 10% 左右, 在低层 800 hPa 以下 2015 年 11 月 8 日 20:00 相对湿度在 70% 左右, 到了 9 日凌晨湿度迅速增加大至 90% 以上, 大雾天气开始出现, 随后大雾过程期间湿度均在 80% 以上. 12 日中高层的干燥层不断向低层延伸, 到 12 日 14:00, 800 hPa 以下相对湿度降至 70% 以下, 持续性大雾过程结束.

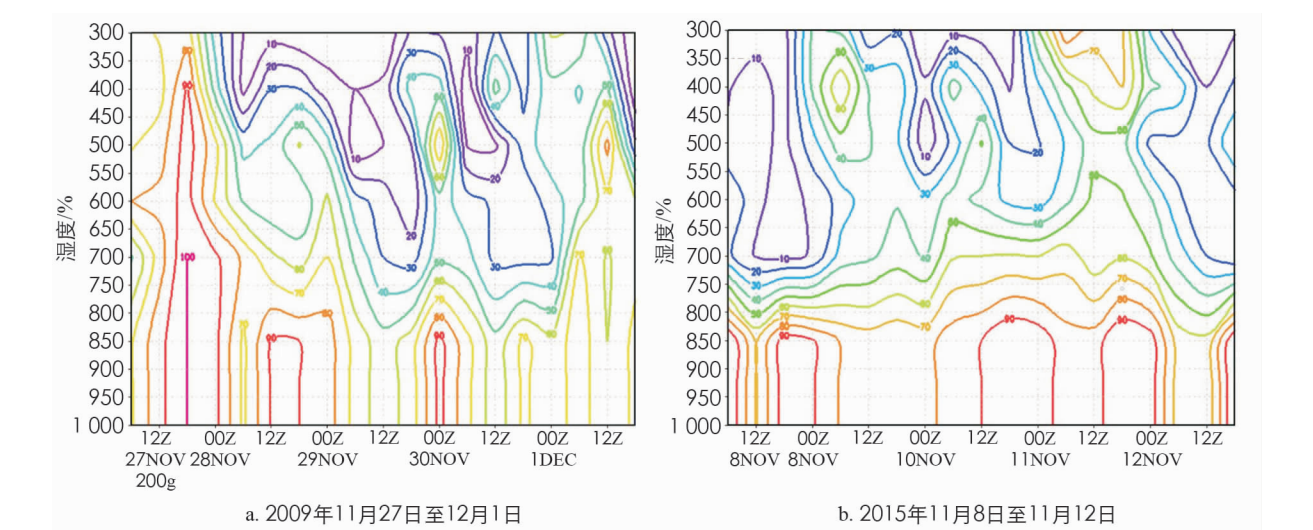


图 3 沿河东机场(106°E, 38°N)的相对湿度时间-垂直剖面

3.2 动力结构特征

沿河东机场(106°E, 38°N)作散度的时间-垂直剖面图发现, 在“2009. 11”过程中, 11 月 27 日 20:00 (图 4a), 500 hPa 以下均是辐合区, 辐合中心出现在 850 hPa, 中心值达 $-1.2\times10^{-5}\text{s}^{-1}$, 400 hPa 以上是辐散区, 这样低层辐合高层辐散为前期的降雪天气过程提供了有利的高低空配置, 促使降雪天气不断加强, 能见度降低, 开始出现降雪雾天气. 到了 28 日白天在中层开始出现辐散区, 且辐散区不断加强高度降低, 28 日夜间辐散区基本扩散到近地面, 使得降雪天气开始减小并逐渐结束. 随后的几日可以看到在中低层辐合区和辐散区交替出现, 当辐合辐散中心在 900 hPa 以下, 中心值的绝对值小于 $1\times10^{-5}\text{s}^{-1}$ 时出现大雾, 当辐散中心加强并延伸至 850 hPa 及其以上时, 能见度上升, 大雾转变为轻雾天气. 从 11 月 29 日夜间至 12 月 1 日凌晨, 辐合辐散绝对值低于 $0.3\times10^{-5}\text{s}^{-1}$, 大雾呈维持状态, 其中只有 30 日中午因日变化升温, 造成能见度升高, 大雾短时间的消散. 到 1 日 08:00 辐合区持续增强, 辐合中心高度延伸至 850~700 hPa, 中心值达 $-1.2\times10^{-5}\text{s}^{-1}$, 随后能见度开始上升, 此次大雾天气结束. “2015. 11”过程(图 4b)在散度场上与“2009. 11”过程有很多相似的地方, 在 900 hPa 以下辐合和辐散中心交替出现, 中心值的绝对值小于 $1\times10^{-5}\text{s}^{-1}$ 时大雾出现和维持, 而当辐散中心伸展至 800 hPa 及其以上后, 大雾天气转为轻雾天气, 刚好对应了此次持续性大雾的间歇期. 到 12 日白天辐合区持续加强, 中心值超过 $-1.2\times10^{-5}\text{s}^{-1}$, 大雾开始消散, 此次持续性大雾天气过程结束. 分析看到, “2009. 11”过程前期的高低空配置是低层辐合高层辐散有利于降水的配置, 随后高低空配置转变为有利于辐射雾发生和维持的配置. 在辐射雾过程期间, 900 hPa 以下辐合辐散中心交替出现, 当中心值的绝对值小于 $1\times10^{-5}\text{s}^{-1}$ 时大雾出现并维持, 辐散中心伸展至 800 hPa 及其以上是持续性大雾的间歇期, 而当辐合区持续增强, 中心值达到或者超过 $-1.2\times10^{-5}\text{s}^{-1}$ 后大雾消散.

沿河东机场(106°E, 38°N)作垂直速度的时间-垂直剖面图发现, 在“2009. 11”过程中, 11 月 27 日 20:00 (图 5a)从地面至 200 hPa 均是上升气流, 垂直速度中心位于 400~500 hPa, 最大速度达 -0.25Pa/s , 强烈的上升气流为前期的降雪天气提供了充沛的动力条件. 到了 28 日白天, 在 800 hPa 以下开始交替出现上升和下沉气流, 速度绝对值均小于 0.1Pa/s , 而整个大雾过程中 600 hPa 及其以上均是下沉气流, 这种低层的弱上升气流使得气温降低, 中高层的下沉气流使气温略有升高, 在它们之间易形成逆温层, 而 800 hPa 以下出现 4 次下沉气流中心的时间刚好对应了 4 段大雾出现和维持的时段. 到了 12 月 1 日中高层转为上升气流低层为下沉气流后, 逆温层破坏, 大雾消散. “2015. 11”过程中(图 5b), 8 日、9 日、10 日、11 日的夜间在中高层均是大尺度的下沉气流, 且下沉速度均大于 0.09Pa/s , 自 9 日开始, 800 hPa 也交替出现上升和下沉气流, 速度绝对值均小于 0.12Pa/s , 而 800 hPa 以下出现下沉气流中心的时间也刚好对应了 4 段大雾出现和维持的时段.

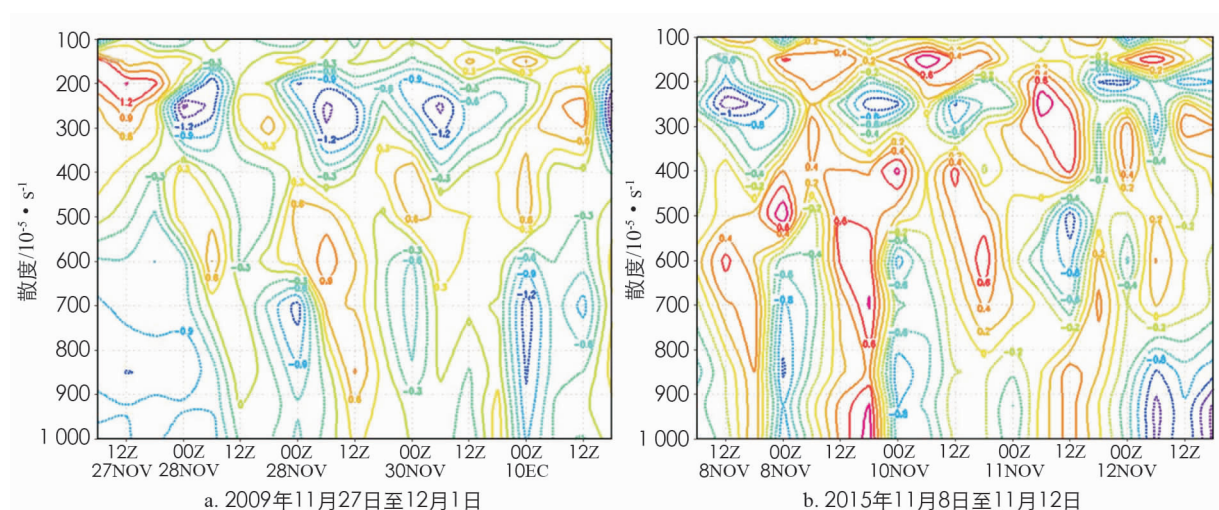


图 4 沿河东机场(106°E, 38°N)的散度时间-垂直剖面

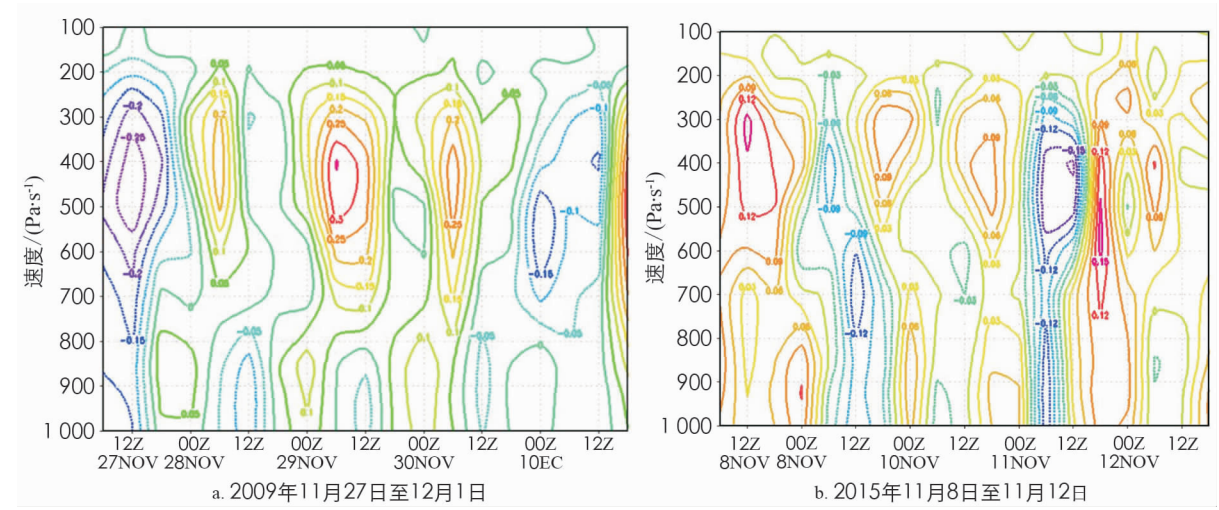


图 5 沿河东机场(106°E, 38°N)的垂直速度时间-垂直剖面

3.3 水汽特征

低层充沛的水汽是大雾形成和维持的重要条件，分析 2 次大雾过程 1 000 hPa 的水汽通量和水汽通量散度发现，在“2009. 11”过程中，11 月 27 日 20：00(图 6a)水汽输送主要来自西风槽前西南暖湿气流，水汽通量矢量较大，且河套地区水汽通量值达 $2\times 10^{-2}\text{g}/(\text{cm}^2\cdot\text{s}\cdot\text{hPa})$ ，西南水汽输送通道的建立为降雪雾带来充沛水汽，到 28 日 08：00(图略)西南至河套地区有明显的水汽辐合区，水汽通量散度达 $-2.5\times 10^{-6}\text{g}/(\text{cm}^2\cdot\text{s}\cdot\text{hPa})$ ，一直到 30 日 20：00 河套地区维持着西南暖湿气流的输送，并处在水汽辐合区，到 1 日白天西南暖湿水汽转变成西北干冷气流，同时河套的水汽辐合区消失，造成 2009 年持续性大雾过程结束。

在“2015. 11”过程中，11 月 8 日 20：00(图 6b)有暖湿水汽经西南一直输送到河套地区，在青海湖附近有水汽辐合区出现，到 9 日 02：00(图略)水汽辐合中心移至河套地区，且中心强度不断加强，水汽通量散度达 $-1\times 10^{-6}\text{g}/(\text{cm}^2\cdot\text{s}\cdot\text{hPa})$ ，大雾天气开始出现，9 日 14：00，河套地区的水汽通量由西南气流转为偏北气流，河套由水汽辐合区转为辐散区，大雾出现间歇期，10 日凌晨开始，有 2 支气流向河套地区输送水汽，一支是西南水汽，另一支是自黄海向河套输送的偏东气流，河套地区再次出现水汽辐合区，大雾天气再次出现。11 日偏东气流持续增强，一直从黄海经河套输送到河西地区，河套也处在弱的水汽辐合区中，12 日开始偏东气流的水汽通量矢量变小，偏东气流逐渐消失，河套的水汽辐合区持续减弱消亡，使得大雾过程结束。

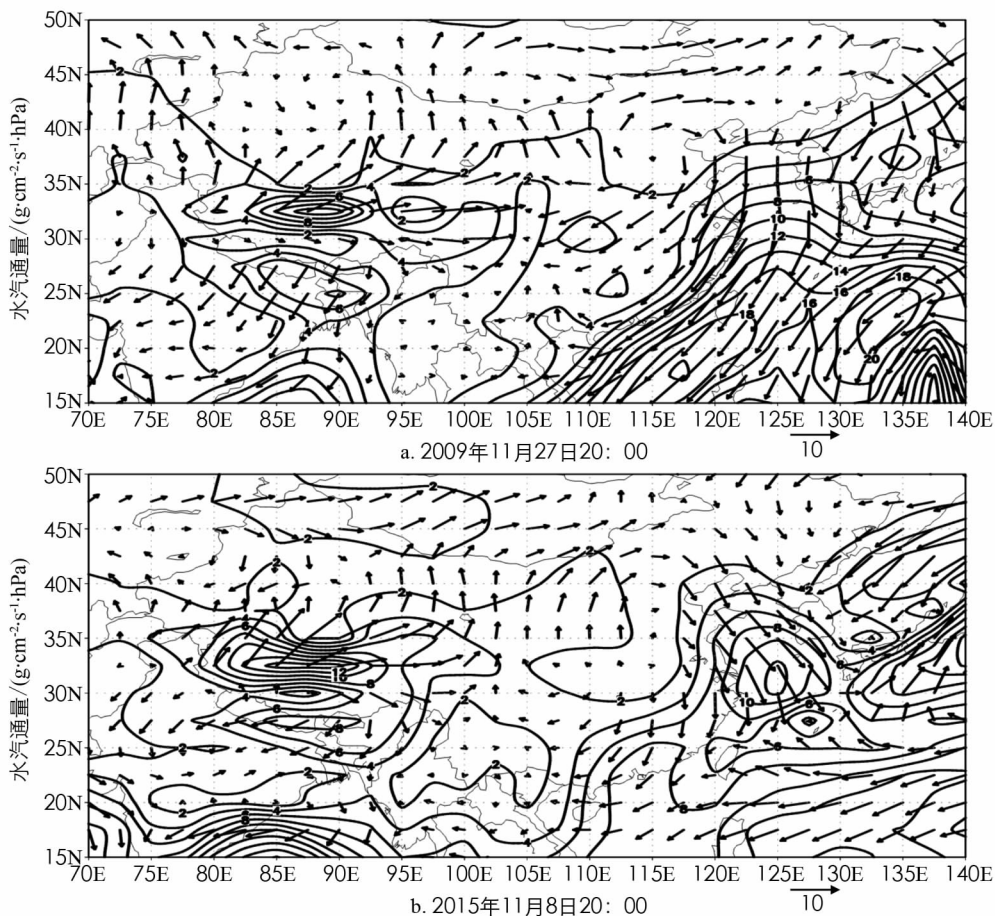


图 6 1 000 hPa 的水汽通量

4 结 论

1) 2009 年 11 月连续 4 d 的持续性大雾前两天是由降雪造成的降雪雾，后两天是辐射雾，2015 年 11 月连续 4 d 的持续性大雾是一次较为典型的辐射雾. 纬向环流是持续性大雾维持的主要高空环流背景，低压或均压场是大雾发生和维持的地面环流形势.

2) 降雪雾期间从地面到高空均是高湿区，辐射雾发生和维持期间中高层为干燥区，低层处于高湿区，同时低层的暖湿水汽输送通道的建立配合水汽辐合区的出现为大雾的发生和维持提供了有利的水汽条件. 当高层干燥低层潮湿的层结被破坏，暖湿水汽输送以及水汽辐合区消散时，辐射雾结束.

3) 强烈上升运动以及低层辐合高层辐散的高低空配置为降雪雾过程提供了充足的动力条件. 中高层持续的大尺度下沉运动，是辐射雾出现和维持的重要因素，当中高层下沉气流加强并向低层伸展，辐射雾将会加强和维持. 900 hPa 以下辐合辐散中心绝对值小于 $1\times10^{-5}\text{ s}^{-1}$ 时大雾出现并维持，辐散中心伸展至 800 hPa 及其以上是持续性大雾的间歇期，而当辐合区中心值达到或者超过 $-1.2\times10^{-5}\text{ s}^{-1}$ 后大雾消散.

参考文献：

- [1] 郭丽君, 郭学良. 北京 2009—2013 年期间持续性大雾的类型、垂直结构及物理成因 [J]. 大气科学, 2016, 40(2): 296-310.
- [2] 黄 彬, 王 靖, 陆 雪, 等. 黄渤海一次持续性大雾过程的边界层特征及生消机理分析 [J]. 气象, 2014, 40(11): 1324-1337.
- [3] 马翠平, 吴彬贵, 李云川, 等. 冀中南连续 12 天大雾天气的形成及维持机制 [J]. 高原气象, 2012, 31(6): 1663-1674.
- [4] 马翠平, 吴彬贵, 李江波, 等. 一次持续性大雾边界层结构特征及诊断分析 [J]. 气象, 2014, 40(6): 715-722.
- [5] 李江波, 赵玉广, 孔凡超, 等. 华北平原连续性大雾的特征分析 [J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2010, 40(7):

15-23.

- [6] 赵玉广, 李江波, 李青春, 华北平原 3 次持续性大雾过程的特征及成因分析 [J]. 气象, 2015, 41(4): 427-437.
- [7] 周自江, 朱燕君, 鞠晓慧. 长江三角洲地区的浓雾事件及其气候特征 [J]. 自然科学进展, 2007, 17(1): 66-71.
- [8] 张天宇, 孙 佳, 王 勇, 等. 重庆雾日的气候特征及变化 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2014, 36(7): 126-134.
- [9] 吕 博, 贾 斌, 韩风军, 等. 山东中西部一次持续性大雾的形成及维持机制 [J]. 干旱气象, 2014(5): 830-836.
- [10] 刘康平, 李晓婧, 权浩然, 什邡市 1959—2010 年雾的气候特征及变化分析 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2016, 41(12): 32-36.
- [11] 吴彬贵, 张宏升, 汪 靖, 等. 一次持续性浓雾天气过程的水汽输送及逆温特征分析 [J]. 高原气象, 2009, 28(2): 258-267.
- [12] 王 玮, 黄玉芳, 孔凡忠, 等. 中国东部一场持续性大雾的诊断分析 [J]. 气象, 2009, 35(9): 84-90.
- [13] 濮梅娟, 严文莲, 商兆堂, 等. 南京冬季雾爆发性增强的物理特征研究 [J]. 高原气象, 2008, 27(5): 1111-1118.

On Characteristics and Maintenance Mechanism of Two Persistent Heavy Fog Process in Yinchuan Hedong International Airport

LIANG Xi-hao¹, ZENG Xiang-yao²,
ZHAO Ye-hui¹, DU Xing¹, PAN Jia¹

1. Ningxia Air Traffic Management Sub-bureau of CAAC, Yinchuan 750009, China;

2. Gansu Air Traffic Management Sub-bureau of CAAC, Lanzhou 730000, China

Abstract: Based on the NECP/NCAR reanalysis data, civil aviation meteorological observation data and conventional high altitude ground observation data, Diagnostic analysis of the two persistent heavy fog weather processes at Yinchuan Hedong International Airport for 4 consecutive days in 2009 and 2015 has been made in terms of circulation characteristics, dynamic characteristics, causes of formation and maintenance mechanism. The results show that the persistent heavy fog in 2009 is the snow fog and radiation fog, and the persistent heavy fog in 2015 is a typical radiation fog process. The zonal circulation is the background of high altitude circulation in the persistent fog process, the low pressure or uniform pressure field is the surface circulation situation of fog, which can make fog happen and maintain. During the snow fog period, the high humidity area from the ground to the high. The radiation fog is low level wetting, middle and upper level drying. Strong ascending motion and low-level convergence and high-level divergence at low-high altitudes provide better dynamic conditions for snow fog process, large scale subsidence in middle and high level is an important factor for the emergence and maintenance of radiation fog. The establishment of warm and humid vapor channels and the emergence of water vapor convergence zones in low level, which is providing abundant water vapor conditions for the fog process.

Key words: persistent heavy fog; circulation characteristics; dynamic characteristics

责任编辑 胡 杨