

文章编号:1674-2184(2014)03-0067-07

豫北一次持续性大雾的成因分析

牛广山¹, 周长春², 王大勇³, 李俊杰⁴

(1. 河南省焦作市气象局, 焦作 454003; 2. 四川省气象台, 成都 610072;
3. 山西省气候中心, 太原 030006; 4. 河南省博爱县气象局, 博爱 454450)

摘要:本文应用 MICAPS 探空资料(第五类站点数据)及地面观测资料(第一类格点数据、第四类站点数据)和 NCEP 再分析资料,对 2009 年 11 月 13~14 日发生在豫北地区的一次大雾天气过程的形成、持续及其性质转变的原因进行分析,发现地面中尺度辐合线(区)的时空分布与大雾过程有时间上的伴随关系。水汽通量输送和温度平流的变化以及地面辐射降温的共同作用导致了这次大雾的性质在持续过程中发生了转变,即由辐射雾变成平流雾。分析表明:13 日 08 时之前豫北的降雪带来的充足水汽和夜间晴朗少云微风造成的辐射降温是形成辐射雾的主要原因;13 日 14 时开始在豫北水汽通量输送加大和暖平流不断加强的同时地面持续降温,使得暖湿空气在较冷的下垫面冷却导致辐射雾转变为平流雾。

关键词:大雾;中尺度辐合;水汽通量;温度平流

中图分类号:P426.4

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2184.2014.03.012

引言

根据雾的冷却过程差异,冷却雾可分为辐射雾、平流雾等。辐射雾是由地面辐射冷却使贴地气层变冷而形成的,形成辐射雾的有利天气条件是①空气中有充足的水汽②天气晴朗少云③风力微弱④大气层结稳定。平流雾是暖湿空气流经较冷的下垫面而逐渐冷却形成的,形成平流雾的有利天气条件是①下垫面与暖湿空气的温差较大②暖湿空气的湿度大③适宜的风向(由暖向冷)和风速(2~7m/s)④比较稳定的层结^[1]。本文描述的豫北地区(河南省内黄河以北地区,位于 112~116°E、35~36.3°N 之间),在水汽条件满足的情况下,冬季的高压区晴夜多出现辐射雾。在预报业务工作中也有诸多工作者的大量文献、著作通过多种角度对大雾的分布特征及不同地区的大雾天气形成机制进行了阐述,为分析本次持续性大雾天气提供了参考。

2009 年 11 月 13~14 日,河北南部、山东西部、河南北部产生了持续性大雾天气。由于此次大雾过程波及范围广,持续时间较长,因而对交通、运输等行业以及百姓的生产、生活、健康造成了重大影响。本文着眼于豫北地区,拟从近地面中尺度流场及水汽通量、温度平流等物理量演变的角度对此次大雾天气过程性质的转变(辐射雾

转变为平流雾)原因进行分析。

1 大雾实况及环流背景分析

2009 年 11 月 13~14 日,河北南部、山东西部、河南北部产生了持续性大雾天气(图 1),大部地方能见度维持在 100m 以下,局地能见度小于 50m。本文重点论述的豫北地区,其地域处在河北邢台与河南郑州之间,加上两地在本次过程前期的降雪过程是由同一天气系统造成,且两地大雾的出现在时间上步调基本一致,高空地面观测资料也显示,大雾过程的前中后期,两地环流背景一致,因此选用此二站的资料。本次大雾是在 11~12 日华北出现大范围降雪天气以后发生的。环流形势显示(图略),在 12 日 500hPa 上高空低槽东移出大雾区后,大雾区为槽后西北气流控制,天气转好,有利于地面的辐射降温。地面三线图及降雪量(图 2)显示由 12 日 20 时~13 日 08 时雾区辐射降温明显,使得近地层湿空气趋于饱和并凝结成雾。Tlogp 图(图 3)显示 13 日 08 时雾区近地层逆温明显,同时 MICAPS 地面观测资料显示(图略)大雾区处于高压后部,气压梯度小,不利于近地层大气的水平扩散和垂直混合。而 13 日 14 时开始气温逐渐升高,但大雾的范围和强度仍维持。以下论述将着重分析豫北地区辐射雾、平流雾的成因及辐射雾向平流雾转变的原因。

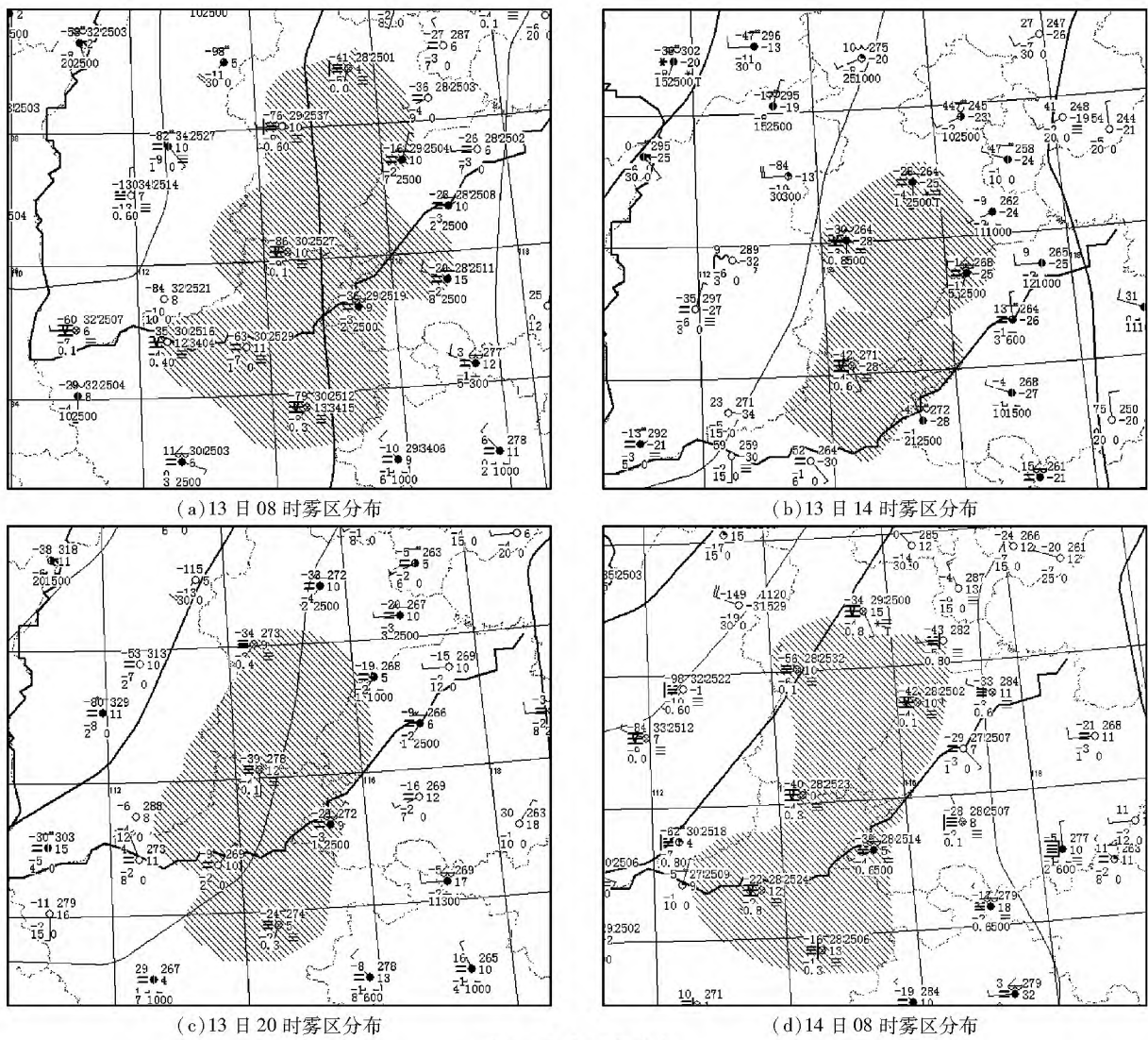


图 1 大雾时空分布

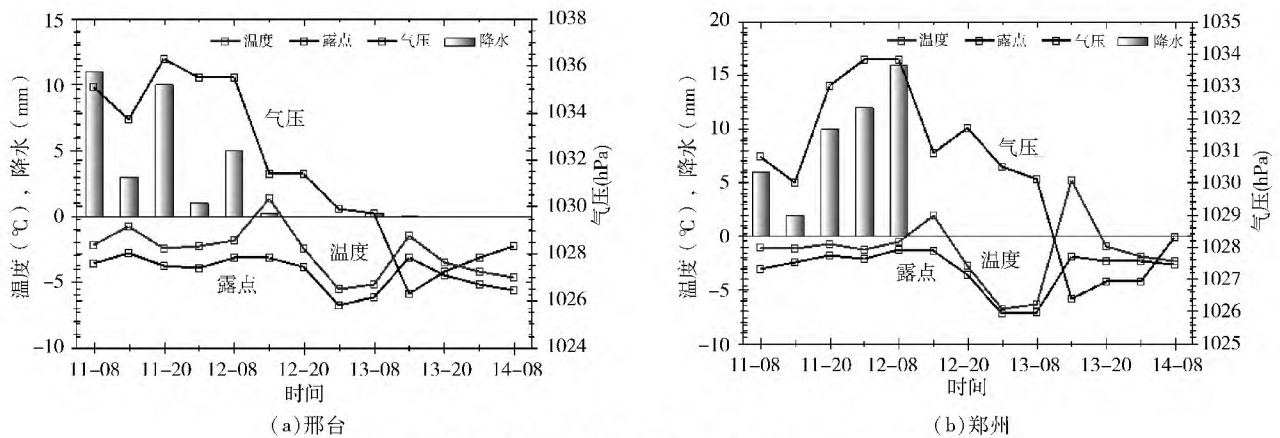


图 2 11 日 08 时 ~ 14 日 08 时地面三线图(气压、温度、露点、降雪量)

2 地面中尺度辐合线(区)

利用 NCEP1°×1°再分析资料对豫北等地的中尺度环流进行分析。发现 13 日 02 时(图 4a),河南、河北及山东三省交界的区域内,地面流场为一致偏北风,在河北省

南部有一个反气旋性的 β 尺度闭合环流中心,中尺度辐合线呈 n 型,辐合区位于河南东北部、河北南部及山东中西部,此时上述区域(包括豫北)已经有雾形成。13 日 08 时(图 4b),原本位于河北省南部的反气旋性 β 尺度闭合环流中心处生成了一段中尺度辐合线,辐合线呈东西向

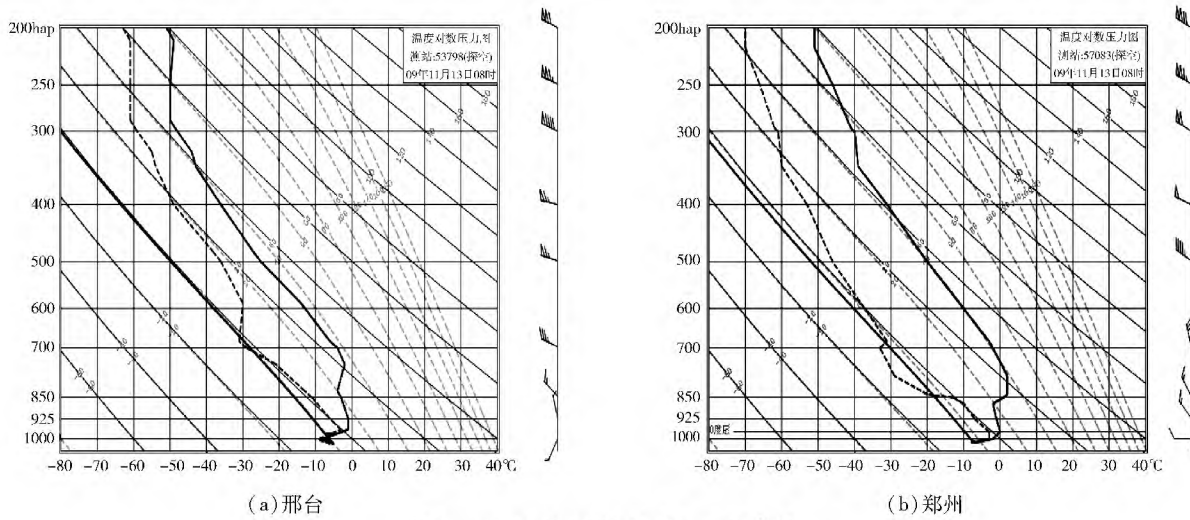


图3 11日13日08时T-logp探空图

分布,原 β 尺度闭合环流中心正好位于地面s型的中尺度辐合线的s型拐角处,辐合区位于豫北,辐合区所在的s型辐合线的拐角处即为雾区。

13日14时(图4c),原东西向的s型辐合线南压,辐合线的形状基本稳定,同时在豫北地区,新生成了一段s型辐合线,该辐合线呈南北向分布,两辐合线分别在s型拐角处相交,交点所在的区域是大雾区,在大雾区有一个中 β 尺度的辐合区,原东西向s型辐合线的东南侧辐合

加强,与大雾区对应。13日20时(图4d),原来的两条s型辐合线瓦解,在豫北经河北南部到山东中北部生成一条新的辐合线,辐合区位于三省交界处,区域较13日08时和14时减小,大雾区面积也随之减小,但强度依然维持。14日02时(图4e)豫北地区东部再次建立起非闭合性的反气旋性旋转,中尺度辐合线较13日20时东移南压,豫北大雾区域减小。到14日08时(图4f)中尺度辐合线继续东移南压,大雾继续减弱。

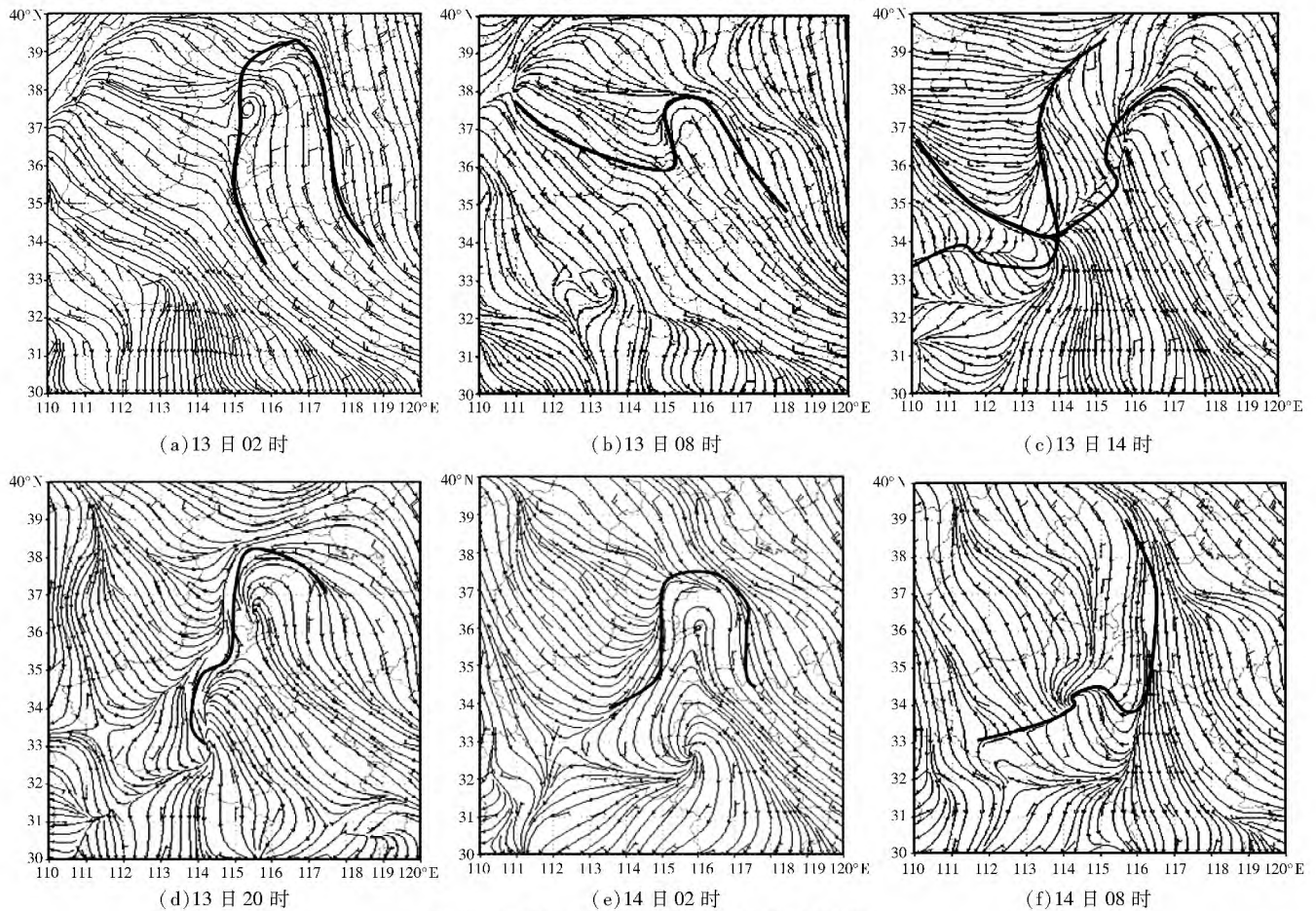


图4 大雾区的地面流场、风场及辐合线(区)

分析大雾过程前后(13日02时之前及14日08时之后)相同区域的地面流场、风场,并未发现地面中尺度辐合线(图略)。这表明地面中尺度辐合线(区)的时空分布与这次大雾的形成和维持有着时间上的伴随关系。

3 大雾性质转变的原因分析

3.1 水汽通量的变化

分析豫北近地面的水汽通量演变发现(以 35.5°N , 113.5°E 点为例),13日02时(图5a)大雾区的水汽通量为 $0.125\text{g}/\text{cm}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s}$ 。到13日08时(图5b)大雾范围加大,能见度继续减小,此时大雾区的水汽通量为 $0.1\text{g}/\text{cm}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s}$ 。到13日14时(图5c),大雾范围继

续向豫北及豫中发展加强,但此时的水汽通量反而继续减小至 $0.025\text{g}/\text{cm}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s}$ 。到13日20时(图5d)大雾区的水汽通量开始增加到 $0.075\text{g}/\text{cm}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s}$,14日02时仍为 $0.075\text{g}/\text{cm}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s}$ (图5e),到14日08时水汽通量增大到 $0.15\text{g}/\text{cm}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s}$ (图5f)。上述分析表明:从13日02时~14日08时,雾区的水汽通量输送经历了从大到小再增大的过程(图5g),水汽通量最小的时刻出现在13日14时。水汽通量减小是不利于大雾持续的,特别是在13日14时,水汽通量输送最小的时刻,反而豫北地区大雾在此时加强,其原因是维持大雾的原因和机制发生了变化,下文的分析将加以验证。

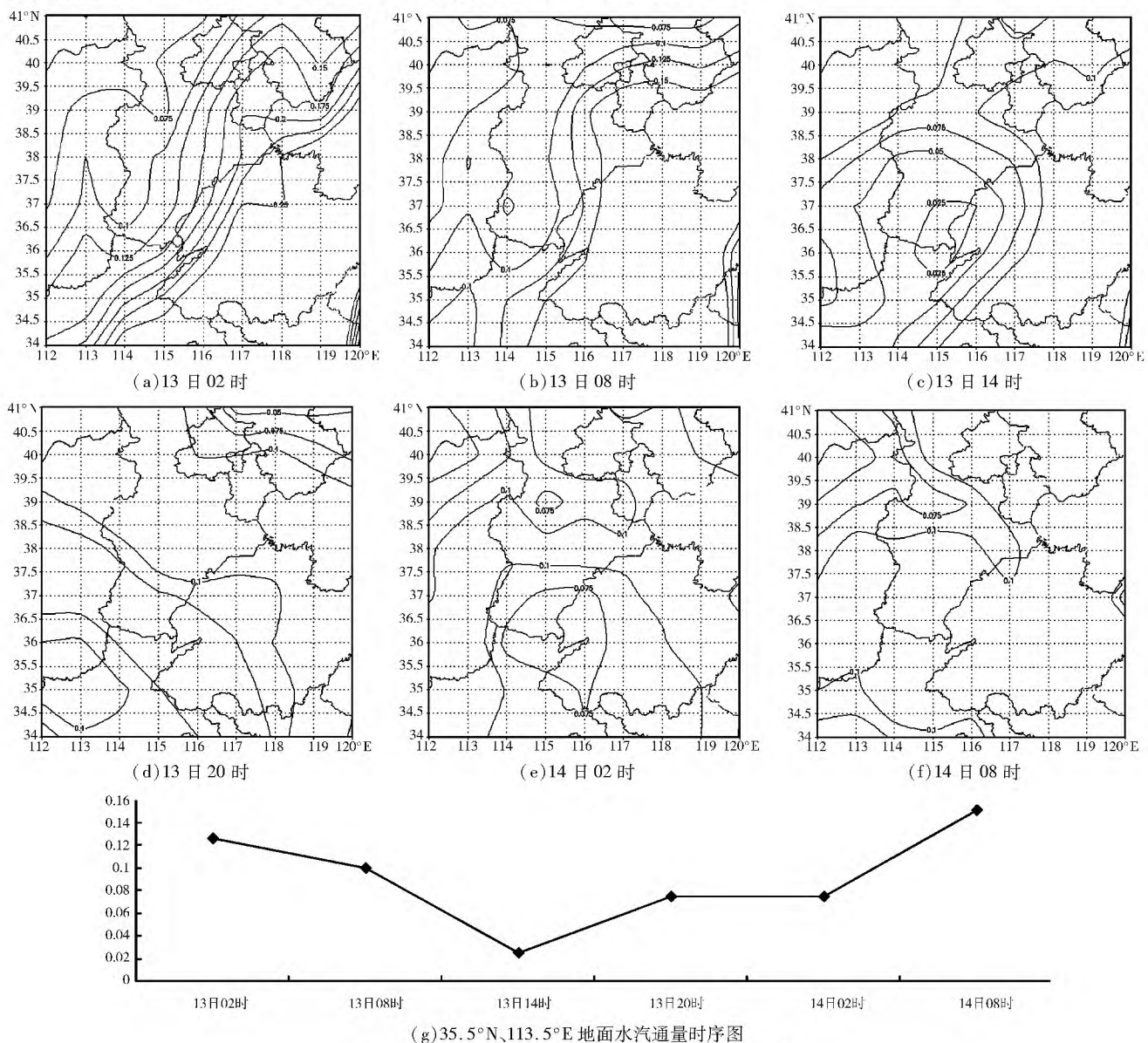


图5 地面水汽通量演变(单位: $\text{g}/\text{cm}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s}$)

3.2 辐射雾的形成原因

通常把露点温度差小于 4°C 的区域认定为湿区, $T-TD$ 越接近 0°C 说明越接近饱和。沿 115°E 的露点温度差

垂直剖面分析表明,13日02时和08时雾区近地面的 $T-TD$ 在 $2\sim 4^{\circ}\text{C}$ 之间(图6a、图6b),说明水汽条件充足。分析地面三线图和探空图(图2、3)发现,13日08时雾区

的层结稳定,风力微弱,且从12日20时~13日08时的夜间辐射降温明显(下降6℃左右,最低降至-8℃),同时地

面观测资料显示(图略)大雾区处于高压后部的夜间晴空静风区,所以13日08时之前满足辐射雾的形成条件。

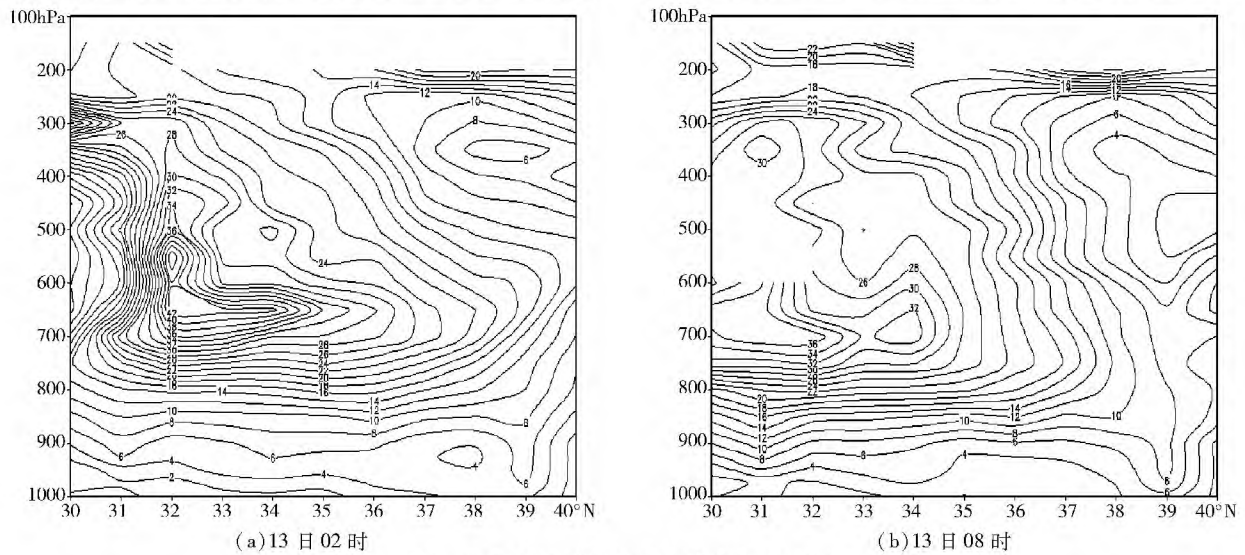


图6 沿115°E的露点温度差垂直剖面分析

3.3 辐射雾转变为平流雾的原因

沿115°E的温度平流及风场垂直结构剖面分析表明,13日08时(图7a)豫北均为弱的下沉气流,近地面有弱的增温(逆温),850hPa有弱的冷平流,这有利于辐射雾产生。到13日14时(图7b)豫北近地面由弱的暖平流转变为弱的冷平流,且垂直风场结构出现了弱的上升

运动,850hPa仍为冷平流,与13日08时相比,14时豫北冷平流的范围加大,强度增强。与水汽通量输送结合分析表明(图5g),13日14时水汽通量输送达到最小值0.025 g/cm·hPa·s,从13日08时开始地面温度上升,水汽通量减小,这对辐射雾的维持是不利的,但08~14时该时段内豫北大范围的大雾依然维持,说明大雾的维

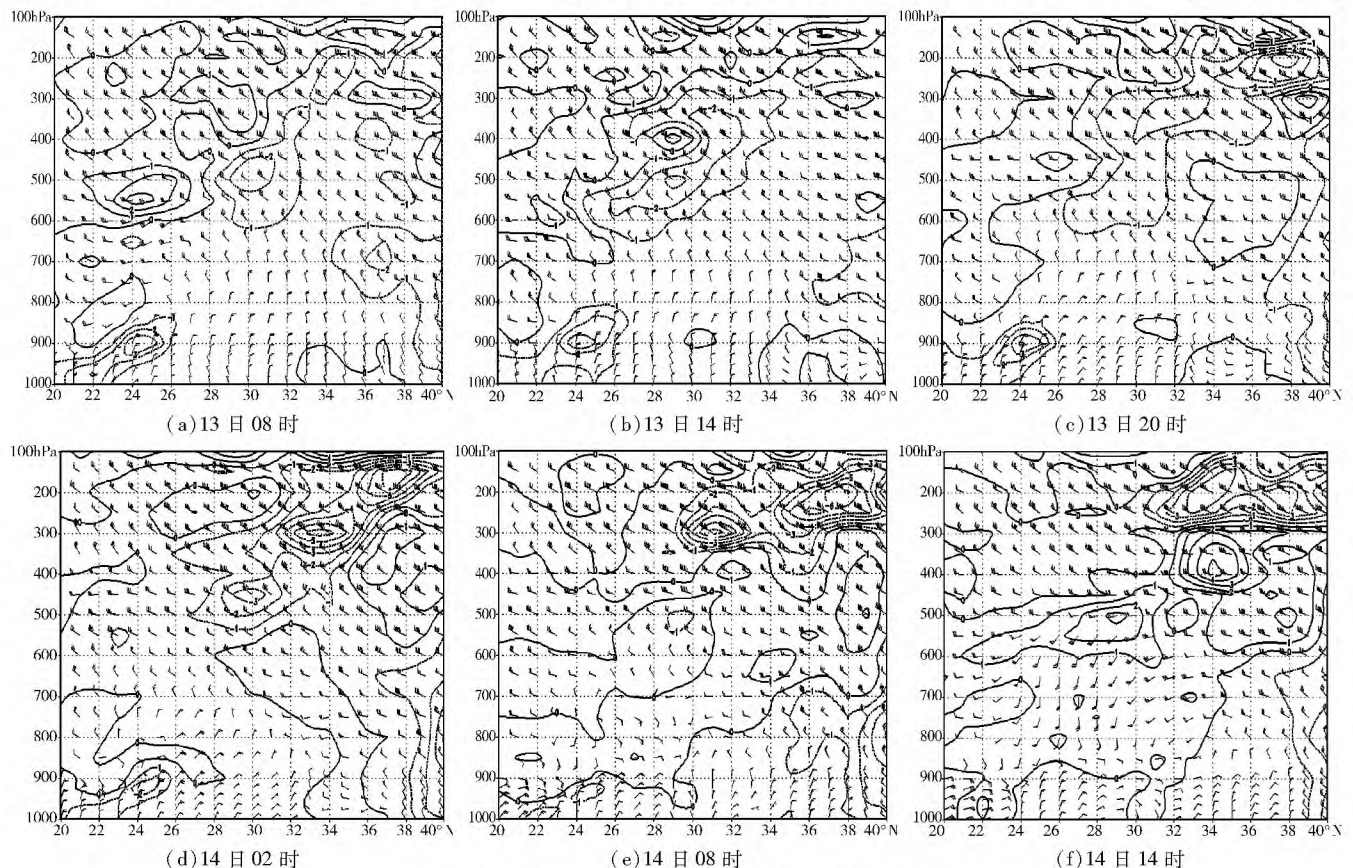


图7 沿115°E的温度平流及风场垂直剖面叠加分析

持机制发生了转变。

从13日14时~14日08时大雾区上空暖平流的强度和垂直高度一直在加强发展,同时从13日14时~14日08时大雾区的水汽通量从 $0.025\text{ g/cm}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s}$ 增大到了 $0.15\text{ g/cm}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s}$ (图5g),这说明雾区地面至高空的暖湿气流从13日14时起一直在加强。结合地面三线图的温度曲线发现(图2),13日14时之后豫北地区地面又开始降温,这导致暖湿气流和较冷的下垫面之间的温差逐渐加大。到13日20时(图7c),豫北上空的冷平流完全消失,从近地面到500hPa均为一致的暖平流区,而该时间段内地面温度继续下降。14日02~14时(图7d-f)暖平流继续增强,高度延伸到300hPa。

分析郑州和邢台的地面三线图和探空图发现从13日14时~14日08时,因冷高压控制下的晴空,以及不断补充南下的冷空气(图略),使得地面温度持续下降 $6\sim 8^{\circ}\text{C}$ (如郑州由 5°C 下降到 -2°C)。以上分析表明:从13日14时开始水汽通量输送不断加强,暖平流强度和垂直高度发展加强的同时伴随着地面温度持续下降,三者同时作用导致暖湿空气与其流经的下垫面温差逐渐增大从而迅速冷却,产生近地面气层平流逆温并维持,为平流雾的产生创造了有利的条件,使得大雾的生成机制发生了转变,由辐射雾转变为平流雾。

综上所述,从13日02时~14日08时,大雾性质发生了转变,其特征可以描述为:13日08时之前由于降雪带来的充足水汽和冷高压控制下的夜间晴朗微风天气造成的辐射降温是前期辐射雾的主要成因;13日08~14时,白天近地面温度上升,水汽通量输送减小,不利于辐射雾的维持;从13日14时之后至14日08时豫北水汽通量输送加大,暖湿空气加强的同时伴随着地面温度持续下降,导致暖湿空气在下垫面冷却,生成平流逆温,使辐射雾转变为平流雾。

4 结论

对2009年11月13~14日发生在豫北地区的一次大雾天气过程的中尺度分析表明:

(1)地面中尺度辐合线(区)的时空分布与这次大雾过程有时间上的伴随关系:大雾过程前后的地面流场、风场均未出现中尺度辐合线(区),而13日02时~14日08时雾区有明显的中尺度辐合线(区)。

(2)从大雾过程开始到结束(13日02时~14日08时),大雾区的水汽通量输送经历了从大到小再增大的过程,大雾区上空也经历了由冷平流转变为暖平流的过程,自13日14时开始暖湿气流在较冷的下垫面形成的冷却逆温作用使得大雾的机制发生了转变。

(3)这次大雾在持续过程中性质发生转变:由辐射雾转变为平流雾。13日08时前由于降雪带来的充足水汽和冷高压控制下的晴夜微风天气造成的辐射降温是前期辐射雾的主要原因。13日08~14时辐射雾的维持机制逐渐消失,13日14时开始在豫北水汽通量输送加大和暖平流不断加强的同时地面持续降温,使得暖湿空气在较冷的下垫面冷却导致了辐射雾转变为平流雾。

参考文献

- [1] 周淑贞,张如一,张超. 气象学与气候学[M]. 北京: 高等教育出版社,2010
- [2] 吴洪,柳崇健,邵洁,等. 北京地区大雾形成的分析和预报[J]. 应用气象学报,2000,(1):18-22
- [3] 王金兰,寿绍文,刘泽军,等. 河南省一次大雾的数值模拟及生消机制分析[J]. 气象与环境科学,2008,31(1):46-48
- [4] 周小刚,王强,邓北胜,等. 北京市一次大雾过程边界层结构的模拟研究[J]. 气象学报,2004,62(4):36-38
- [5] 陈贝,徐洪刚,王明天,等. 成乐高速公路大雾预报方法研究[J]. 高原山地气象研究,2012,32(2):70-76
- [6] 田密,陈军,张剑秋. 川西机场一次平流雾影响能见度过程的成因分析[J]. 高原山地气象研究,2013,33(3):77-82
- [7] 梁爱民,张庆红,刘开宇,等. 华北地区一次大雾过程的三维变分同化试验[J]. 气象学报,2007,65(5):23-25
- [8] 刘跃红,罗楠,司福意,等. 焦郑高速公路雾天气预报与监测[J]. 河南气象,2003,(1):27-29
- [9] 王茂书,张勇,贾贵兰. 雾的特征分析、预报方法及预报模型建立[J]. 高原山地气象研究,2012,32(3):27-31
- [10] 宋润田,金永利. 一次平流雾边界层风场和温度场特征分析[J]. 气象科技,2001,(3):18-19
- [11] 江玉华,王强,王正兴,等. 一次平流辐射雾的边界层特征及雾水离子组分研究[J]. 气象,2009,35(2):17-19
- [12] 贺哲,王蕊,梁钰. 2004-11-28~12-04华北等地大雾天气的中尺度分析[J]. 河南气象,2006,(2):23-25
- [13] 陈会芝. 非规则信息的结构分析与雾的区域预测[J]. 自然灾害学报,2005,14(5):30-32
- [14] 罗菊英,周建山,刘健,等. 鄂西南不同地形地貌环境下大雾气候特征分析[J]. 高原山地气象研究,2011,31(4):51-58
- [15] 罗菊英,周建山,刘健,等. 恩施山区冬季浓雾基本特征及生成机理研究[J]. 高原山地气象研究,2009,(增刊):26-32
- [16] 宿兴涛,李建云,关皓. 一次辐射雾过程的数值模拟研究[J]. 气象与减灾研究,2008,31(3):33-35
- [17] 王林,朱金菊,许立华. 张家界大雾的气候特征及影响因子分析[J]. 高原山地气象研究,2009,(增刊):31-34
- [18] 黄艳芳,姚志国,阎雍. 武汉机场一次罕见大雾的机理分析[J]. 四川气象,2007,27(3):16-18
- [19] 常军,李素萍,李祯,等. CAR和SVM方法在郑州冬半年大雾气候趋势预测中的试用[J]. 气象与环境科学,2008,31(1):16-19
- [21] 张霞,王咏青,李敏. 准地转 Q 矢量在河南省区域暴雨过程中的诊断应用[J]. 气象与环境科学,2007,30(1):39-43

Analysis of the Sustained Heavy Fog Process in the North of Henan Province

NIU Guangshan¹, ZHOU Changchun², WANG Dayong³, LI Junjie⁴

(1. Jiaozuo Meteorology Bureau, Jiaozuo 454003, China; 2. Sichuan Meteorological Observatory, Chengdu 610072, China;
3. Shanxi Climate Center, Taiyuan 030006, China; 4. Boai Meteorology Bureau, Boai 454450, China)

Abstract: This article analyzed the mesoscale mechanism of one heavy fog process that happened on the November 13 ~ 14 2009 in the northern part of Henan province, based on the MICAPS high altitude, ground observation data and NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ re-analyzed data. The author found that the mesoscale convergence on the ground was synchronous to the formation of this heavy fog process what in the time concomitance relations. Three reasons lead to this heavy fog process had varied, which are the changed of water vapor flux, the temperature thermal advection and the surface radiation cooled. Which physically transformed radical fog into advection fog. This analysis indicate that, before 8:00 on November 13, the snowfall brought the aqueous vapor and the sunny frigid night weather condition caused the surface radiation cooling which formed the radical fog. After 14:00 on November 13, the increased of the water-vapor flux, the warm advection at the same time and the ground continually decreased temperature, that caused the warm air and wet air on the frigid surface cooled down what made the radical fog physically transformed into advection fog.

Key words: heave fog mesoscale convergence, water-vapor flux temperature advection thermal advection

(上接 66 页)

- [11] Dinku T, Anagnostou E, Borga M. Improving radar-based estimation of rainfall over complex terrain[J]. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 2002, 12:1163-1178
- [12] 林炳干, 张培昌, 顾松山. 天气雷达测定区域降水量方法的改进与比较[J]. *南京气象学院学报*, 1997 (3): 67-73
- [13] 吴陈锋, 汤达章, 吴伟杰. 基于 3D GIS 的新一代多普勒雷达预警分析系统[J]. *气象与环境科学*, 2011, 34(2): 54-58
- [14] 东高红, 刘黎平. 雷达与雨量计联合估测降水的相关性分析[J]. *应用气象学报*, 2012 (1): 32-41
- [15] 赵美, 黄文杰, 李永, 等. 探空高度与雷达高度的比较研究[J]. *气象科技*, 2012 (6): 906-909
- [16] 陈德生, 魏延涛, 崔炳俭, 等. 多普勒天气雷达资料与乡镇雨量资料的同步显示[J]. *气象与环境科学*, 2008, 31(4): 79-81
- [17] 李建通, 郭林, 等. 雷达-雨量计联合估测降水初值场形成方法探讨[J]. *大气科学*, 2005(6): 168-178
- [18] Wilson J W. Integration of radar and rain gage data for improved rainfall measurement[J]. *J. Appl. Meteor.*, 1970 (vol. 9): 489-497

A Practical Method for Quantitative Rainfall Estimation Based on Weather Radar and Rain Gage Measurements in Chengdu

LI Rong, FENG Hanzhong

(Sichuan Meteorological Observatory, Chengdu 610072, China)

Abstract: Elevation angle and algorithm design have important influence to the quantitative rainfall estimation of the weather radar. This paper puts forward a dynamic ab value based quantitative rainfall estimation algorithm. And according to the analysis of terrain nearby Chengdu, this paper comes up with mountain avoidance method. Experiments on application of Convective precipitation and Stratiform precipitation indicate that, the average relative error decreased by 14.5% and 10.8% respectively. Experiments on Reflectivity factor of 7 contour planes with different height in 0.5 ~ 3.5km section by using Convective precipitation, Stratiform precipitation and mixed precipitation with rain gage measurement data shows that, average relative error at 0.5km are optimal. Quantitative rainfall estimation experiments on precipitation processes of 2008 and 2009 shows better result when the precipitation amounts larger than 5.0mm, and the average relative error is 35.7%。

Key words: weather radar, quantitative precipitation estimation, optimal height of radar echo, mountain avoidance proposal