

王丽荣, 刘黎平, 王立荣, 等. 2013. 太行山东麓地面辐合线特征分析. 气象, 39(11):1445-1451.

# 太行山东麓地面辐合线特征分析<sup>\* 1</sup>

王丽荣<sup>1</sup> 刘黎平<sup>2</sup> 王立荣<sup>3</sup> 王宗敏<sup>4</sup>

1 河北省廊坊市气象局, 廊坊 065000

2 中国气象科学研究院, 北京 100081

3 河北省石家庄市气象局, 石家庄 050081

4 河北省气象局, 石家庄 050022

**提 要:** 由于太行山地形的影响, 在河北中南部, 地面存在着几乎平定的风向辐合, 局地对流天气往往发生在地面辐合线附近。利用 2007 和 2008 年 5—9 月地面加密风场资料, 分析了河北省中南部地面辐合线的逐时演变特征以及与局地对流降水的关系。结果表明, 地面辐合线傍晚时分在保定西南部生成以后, 沿太行山逐渐扩展, 自西向东缓慢推移, 强度逐渐加强, 早晨前后形成近乎闭合的气旋式环流。依据逐次过程最强降水时次的风场, 将地面辐合线分为 7 类; 单纯由地形引发的地面辐合线一般不产生降水, 即使造成降水, 量级也比较小, 也就是说, 一般地形导致的辐合不会直接触发对流, 只有在有利的天气系统配合下, 才会产生较为剧烈的对流天气。通过对 2008 年 7 月下旬连续冷涡天气个例逐日的地面辐合线分析表明, 无论何种类型的辐合线, 对流天气首先出现在辐合线附近; 在大尺度的环流背景下, 利用逐时风场、温度场的发展演变, 可以定性判断对流天气出现的时间、落区, 以及强度等。

**关键词:** 太行山地形, 地面辐合线, 对流天气, 冷涡

**中图分类号:** P425

**文献标志码:** A

**doi:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2013.11.008

## Analysis of Surface Convergence Line Features in the Eastern Side of Taihang Mountain

WANG Lirong<sup>1</sup> LIU Liping<sup>2</sup> WANG Lirong<sup>3</sup> WANG Zongmin<sup>4</sup>

1 Langfang Meteorological Office of Hebei, Langfang 065000

2 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081

3 Shijiazhuang Meteorological Bureau of Hebei, Shijiazhuang 050081

4 Hebei Meteorological Bureau, Shijiazhuang 050022

**Abstract:** Because of the influence of Taihang Mountain topography, there is steady wind direction convergence in lower layer in the south-central region of Hebei Province, and the local convective weather often occurs near the surface convergence line (SCL). Based on the dense surface observational data from May to September in 2007 and 2008, the relation between evolution characteristics of hourly SCL and local convective rainfall is analyzed. The results show that the SCL gradually expands along the Taihang Mountain after it emerges at dusk in the southwest of Baoding, slowly moving from west towards east with intensity steadily strengthened. In the early morning the next day a cyclonic circulation is almost shaped. The SCLs are classified into 7 types according to the wind fields at the hour with strongest rainfall in each process. Generally, the SCL caused simply by topography cannot generate rainfall, and the intensity is small even if rain falls. That is to say, the SCL caused by topography generally does not produce convective weather, but will result in severe convective weather on the advantageous condition of weather system. By analyzing

\* 国家自然科学基金项目(41375038)和公益性行业(气象)科研专项(GYHY200706004)共同资助

2012 年 11 月 1 日收稿; 2013 年 2 月 4 日收修定稿

第一作者: 王丽荣, 主要从事多普勒雷达资料分析与应用研究. Email: wlr\_wzy@163.com

the daily SCL in the cases of a cold eddy weather system in the last ten days of June 2008, it is indicated that the convective weather first appears, near the convergence line no matter what type of SCL is generated. The time, location and intensity of convective weather can be qualitatively determined according to the evolution of hourly wind and temperature fields under the large-scale atmospheric circulation.

**Key words:** topography of Taihang Mountain, surface convergence line (SCL), convective weather, cold vortex

## 引 言

地形能够对大气运动产生各种不同的动力、热力效应,不同尺度的地形与大气相互作用,影响降水的动力、热力、微物理效应,十分复杂,这些正是导致天气系统中局部异常天气产生的一个主要因素,经常会带来局地大暴雨(郭英莲等,2012)或强雷暴(陈双等,2011),因此在降水预报中必须充分考虑地形的作用。气象专家在地形对降水的影响方面做了大量的工作,徐国强等(1999)通过改变 MM4 模式中的模式地形高度对暴雨影响后指出,地形的存在对雨区分布、降水强度、强降水中心的位置等影响显著。孙继松(2005)从大气运动的基本方程出发,分析了垂直于山体的过山气流速度随高度变化引起的辐合辐散及对降水的影响。农尚尧等(1994)指出,不仅迎风坡能导致暴雨的出现,背风坡同样能引发暴雨的产生。中尺度地形主要是通过对动力场和水汽场的扰动来影响降水的落区和强度(臧增亮等,2004),在有利地形条件下,与有利的大气环流背景和高低空急流耦合相配合时,容易产生局地暴雨,引发山洪(赵玉春等,2005)。

河北省中南部(本文指  $40^{\circ}\text{N}$  以南区域)地处太行山东麓,太行山地形对近地面风场有很大影响。多年的预报实践发现,此区域地面存在着几乎定常的风向辐合,局地对流天气往往发生在地面辐合线附近。许多气象工作者研究了地面中尺度辐合线与强对流天气的关系,刘跃红等(2003)通过对焦作辖区 20 余次强对流天气过程的统计分析发现,在天气尺度条件下,地面气压场上中尺度辐合线对强对流天气的维持时间和落区有很好的指示性。王华等(2008)分析了 2005 年 5 月 31 日强冰雹天气个例下垫面物理过程在北京强对流天气中的作用,发现山区的地形、城市边界层对雹云发生发展的不同阶段以及冰雹的落区、强度等都有相当大的影响。丁青兰等(2006)分析认为辐合线对北京 2004 年 7 月 10

日局地强对流暴雨有触发、组织和增强作用。祁东平等(2008)对 2007 年 8 月 30 日发生在宜昌市北部的强降水天气过程的中尺度特征分析表明,地面中尺度辐合线、中尺度对流云团是造成此次强降水的重要中尺度系统。谌芸等(2012)对北京 2012 年 7 月 21 日特大暴雨过程分析指出,在充沛的水汽条件下,低涡切变、低空急流上的风速脉动、地面辐合线、地形作用等触发了强降水。以上研究表明,地面辐合线与对流天气的发生、发展关系非常密切;同时,地面辐合线的产生和影响机理也非常复杂,辐合线可以触发对流,对流系统也可以激发新的地面辐合线。代刊等(2010)对 2008 年 9 月 7 日凌晨北京雷暴过程分析表明,城市热岛效应形成的地面辐合线,以及地形辐合抬升形成的边界层扰动,使得移入北京的对流系统再度发展成为强对流,造成北京城区强降水;此后,强对流系统地面高压前部的流出气流与山风相遇形成新的地面辐合线,从而诱发新的对流系统而造成北部强降水。

受太行山地形影响,河北省中南部地面辐合线几乎天天存在,但是,并非所有的地面辐合线都会引起对流天气,只有在有利的天气形势下,地面辐合线附近才会产生对流天气。但是,地面辐合线是否产生,以及何时产生对流天气,预报员很难把握。为此,对河北省中南部 2007 和 2008 年 5—9 月逐时自动站资料进行了统计分析,试图找到有关地面辐合线的一些特征。

## 1 资料来源

自动站资料来自 2007 和 2008 年 5—9 月河北省 84 个气象站完整的逐时观测,要素包括:降水、风向、风速和气温,求取 5—9 月气温和风场的平均值,计算平均风场时采取先分解再合成的步骤进行。冷涡个例取自 2008 年 6 月 23—30 日逐日地面、高空以及灾情 MICAPS 格式的资料。

## 2 逐时平均风场特征

计算 2007 和 2008 年 5—9 月逐时的平均风场,并绘制在 MICAPS 底图上(图 1),可以看出河北省中南部一天之内地面风场随时间的演变特征。

20 时开始,在保定西南部靠近太行山区有西北风与东南风辐合线出现。21 时,辐合线向石家庄西北部山区扩展,范围加大。22—23 时,辐合线维持,邢台、邯郸西部也开始出现西北风与西南风的辐合。00—02 时,河北南部,沿太行山一线西北风与西南风(或东南风)的辐合维持。03 时开始,保定境内的风场呈顺时针方向旋转,辐合范围也略有缩小;同时,辐合线的南段逐渐东移。06—09 时辐合线北段位于沧州境内,南段在石家庄东部至邢台中部一线,在保定、石家庄、衡水、沧州交界附近形成近乎闭合的气旋式环流。10 时,风场调整,闭合环流逐渐打破,山区风向由西北风逐渐转为北风。11—13 时,西部山区为东北风,衡水、沧州一带风向由东南风逐渐转为西南风。14—19 时,河北省南部几乎为一致的东南风,石家庄附近则以偏东风为主,在河北省西南部地区形成气旋式弯曲。篇幅所限,略去 16—19

时图。从逐时平均风场的演变看出,地面辐合线傍晚在保定西南部生成以后,逐渐沿太行山扩展,强度逐渐加强,早晨前后形成近乎闭合的气旋式环流。从图 1 还可以看到辐合线自西向东缓慢推移的过程。沿太行山区之所以会出现这样随时间变化的风场结构,是地形效应产生山谷风的结果,观测事实表明:河北省中南部,尤其是石家庄和邢台西部地区,地形效应非常明显,夜间吹山风,山区为西北风,白天吹谷风,山区风向转为南到东南风,白天转换的时间在 10 时前后,晚上转换的时间在 20 时前后。

根据以上分析可知,夜间到上午 09 时在太行山东麓存在着明显的地面辐合线,特别是 06—09 时,河北南部地区存在近乎闭合的气旋式环流,而此时,在没有降水的情况下,是一天之中相对湿度较大的时段,更容易满足触发对流需要的条件。从观测事实来看,在石家庄市雷暴日变化和降水次数日变化(图略)曲线上,06 时前后雷暴出现了一个弱的峰值,08 时前后冰雹出现弱的峰值,和气旋式环流出现的时间相对应,这是否说明地形作用是造成石家庄早晨出现对流弱峰值的原因之一,还有待于通过更多的资料进一步分析。

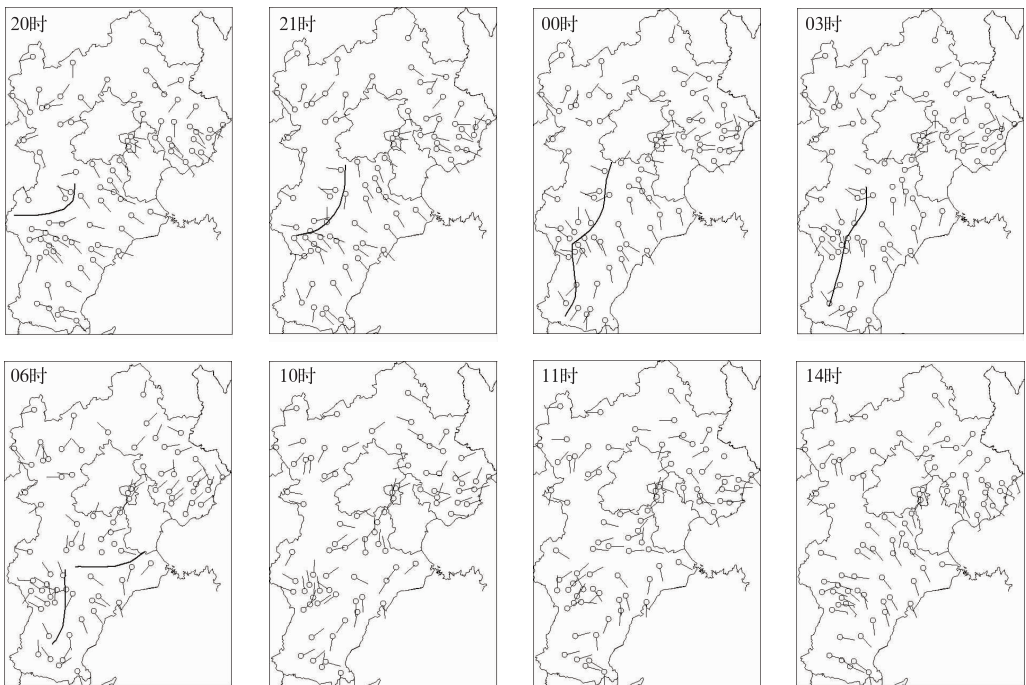


图 1 2007、2008 年 5—9 月河北省不同时刻平均风场

Fig. 1 The different hourly surface winds from May to September in 2007 and 2008

### 3 地面辐合线类型

由上述分析可知,受太行山地形的影响,5—9月,河北中南部存在地形性风辐合线,为了进一步研究辐合线能否造成降水,以及和降水强度、落区等的关系,对河北中南部地面辐合线的类型、辐合线与降水的关系进行了统计分析。

由于地面风场本身较弱,加上风场的发展演变,

即使在同一次天气过程,辐合线的类型也难以完全确定,因此,以过程最强降水时次的风场代表该次降水过程,并作为分类依据进行分类。河北中南部的地面辐合线大致可分为 7 类(表 1)。气旋性涡旋、东北风与东到东南风的辐合是降水的主要类型,这两种类型辐合出现时,往往会造成降水,降水强度也比较大;西北风与东北风以及东北风与北风辐合出现次数虽然不多,但是只要出现此类辐合,则造成降水,而且降水强度也比较大。

表 1 地面辐合线类型及其与降水的关系

Table 1 The type of surface convergence line and its relation with rainfall

辐合类型	1 气旋性 涡旋	2 东北风与东到 东南风辐合	3 西北风与 东北风辐合	4 东北风与 北风辐合	5 西北风与 东南风辐合	6 西北风与 西南风辐合	7 东北风与 西南风辐合
出现次数	11	6	3	1	2	5	1
有降水次数	9	5	3	1	1	2	0
逐时最大降水 ≥10 mm 次数	7	5	2	1	0	0	0
逐时最大降水 ≥10 mm 出现时间	午后至傍晚	傍晚前后	傍晚到早晨	中午	傍晚	夜间或早晨	无降水

比较图 1 逐时风场与各种辐合线类型造成的降水时间,可以看出:“气旋性涡旋”和“东北风与东到东南风辐合”对应的降水出现在傍晚前后,风向与平均风向不一致,不属于地形引起的辐合。此时的涡旋和辐合,除天气系统作用外,也可能是由于热力抬升作用产生的对流性切变。“西北风与东北风辐合”中,山区的西北风属地形风,而东部的东北风并非地形影响所致;“东北风与北风辐合”,降水出现在中午前后,造成降水的辐合非地形作用引起。因此,“西北风与东北风辐合”和“东北风与北风辐合”,由地形、天气系统和热力作用共同造成。综合上述 4 类辐合,当存在北到西北风与东北风的辐合时,沿辐合线附近大多会出现降水,且降水强度较大,这几类辐合线,一般产生在大尺度天气系统背景下。“西北风与东南风辐合”、“西北风与西南风辐合”、“东北风与西南风辐合”几类造成的降水大多出现在中午到傍晚,辐合线两侧的风向与图 1 中风向一致,地形辐合有较大的作用,但是,由于地形引起的辐合强度较弱,所以这几类辐合造成降水的几率较小,而且即使出现降水,强度也不超过  $10 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

综合分析,虽然夜间至上午 09 时地形造成的地面辐合比较明显,但是,对应的降水过程并不多,这主要是由于这一阶段低层辐射逆温比较强,大气层结相对稳定,以至于地形引起的弱地面辐合无法触

发对流。

### 4 连续冷涡天气个例分析

#### 4.1 环流形势

2008 年 6 月 23—30 日,受冷涡系统影响,河北省连续多日出现对流天气。由这几天 500 hPa 环流形势(图 2)看出,23—26 日,冷涡中心始终位于( $42^{\circ} \sim 52^{\circ} \text{N}$ 、 $105^{\circ} \sim 115^{\circ} \text{E}$ ),该范围是河北省出现冰雹等强对流天气的关键区;23 日 08 时冷涡最强,中心高度值为 560 dagpm,26 日减弱至 572 dagpm,而且不再是完整的冷涡环流;温度场上,  $-12^{\circ} \text{C}$  等温线 23 和 24 日位于  $40^{\circ} \text{N}$  附近,25 日明显向南侵入。27—30 日没有完整的涡旋环流,河北省处于宽槽底部的西到西北气流,等温线稀疏,冷暖平流不明显,产生的天气也没有前几日剧烈。

#### 4.2 对流天气实况

2008 年 6 月 23—30 日,河北中南部对流天气全部出现在午后至傍晚。从对流强度(图 3)来看,23 和 25 日最强烈,出现较大范围的雷电、大风和冰雹天气;24、26 和 28 日次之,仅出现个别站的冰雹或大风;27、29 和 30 日出现局地雷电。由图 2 可

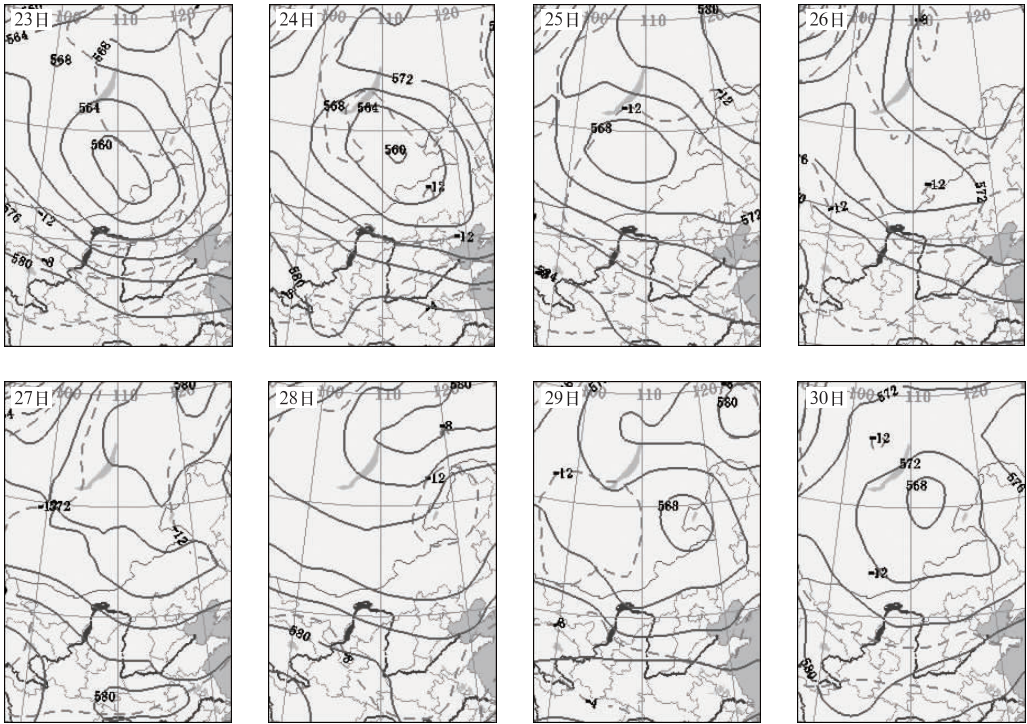


图 2 2008 年 6 月 23—30 日 08 时 500 hPa 环流形势 (实线: 等高线; 虚线: 等温线)

Fig. 2 The circulation of 500 hPa at 08:00 BT 23—30 June 2008 (solid line: contour; broken line: isotherm)

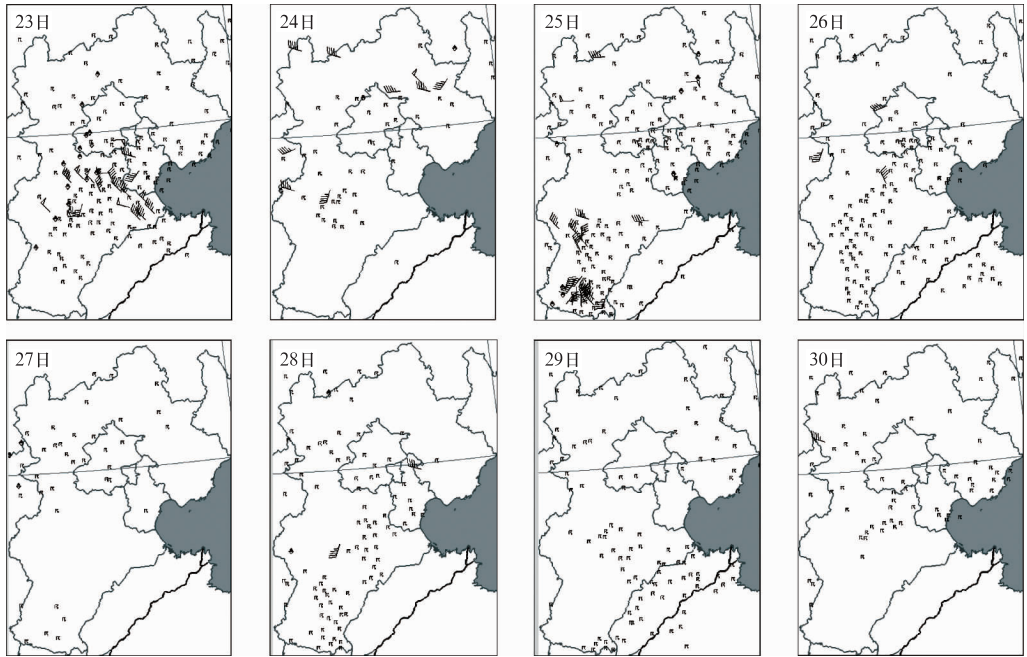


图 3 2008 年 6 月 23—30 日河北省对流天气实况

Fig. 3 The distributions of convective weather in Hebei Province from 23 to 30 June 2008

知,此段时间一直受冷涡系统的影响,依据冷涡系统强弱演变可以对即将出现的对流天气有一定的预判,但是仅凭探空资料,预报员还是不能确定对流的强度和大致落区。

### 4.3 自动站资料分析

目前,对于冷涡等造成的局地强对流天气,进行定点、定量预报还存在极大的困难,只能通过卫星、



雷达等进行短时和临近预报预警,许多气象工作者对此进行了研究。随着地面观测的自动化,地面资料时空密度逐渐提高,为短时和临近预报提供了更多的参考。

通过分析逐日的地面资料发现,地面辐合线在这次连续冷涡造成的天气过程中起到了很大的作用,选取每日有代表性的风场和温度场进行分析(图4)。同图1一致,每天下午在河北省西南部地区存在明显的气旋式曲率或风向切变,这是由于地形原因造成的地面辐合;同时,由于大尺度环流背景的不同,辐合线的位置也不尽相同。比较对流天气落区(图3)和地面辐合线(图4)的位置可见,对流天气发生在地面辐合线附近,辐合线的位置是对流最为剧烈的位置,这和方翀等(2012)的结论一致。

这几天都出现地面辐合线,但强弱、范围大小不同,造成的对流天气范围和强度也不同,这除了从辐合的强度上能够体现外,还可以从逐时的温度场来

分析。23—26日地面风较大,辐合区近乎成涡旋,辐合强度较大;而27—30日主要是东南或西南风与东北风的弱切变,风速也较前几日小,故而造成的辐合也较弱。从温度场来看,对流天气越剧烈,温度梯度越明显。23和25日,在对流天气发生区域附近均出现了明显的温度锋区。通过更多的个例分析同样发现,单纯短时暴雨一般不存在温度锋区,但是,一旦地面上存在温度锋区,则一般伴有大风、冰雹等强对流天气。

另外,跟踪地面辐合线出现时间和对流天气出现时间还可以看到,大多时候,辐合线出现时间较对流天气早,这和徐亚钦等(2011)的结论一致。徐亚钦等通过比较10次强对流天气过程的雷达回波和地面辐合线发现:雷达回波前沿的地面中尺度辐合区域更有利于对流单体的新生和发展,同时对主回波未来的走向和形状也有较大的影响,辐合中心(辐合线)和未来暴雨中心有着较好的对应。

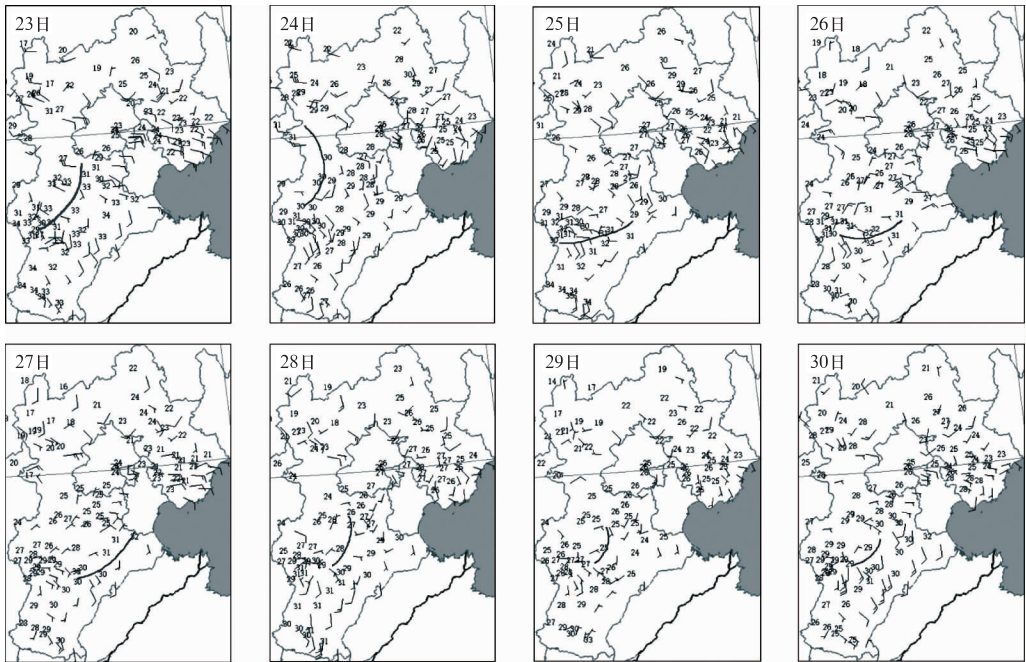


图4 2008年6月23—30日地面风和温度

Fig. 4 The surface winds and temperatures from 23 to 30 June 2008

## 5 小结与讨论

本文首先利用2007和2008年5—9月地面逐时风场资料,分析了河北中南部一天之中逐时地面辐合线的演变特征以及地面辐合线与对流的关系,

然后通过2008年6月下旬连续冷涡天气过程进行了实例分析,得出如下结论:

(1) 受太行山地形效应的影响,在河北中南部存在几乎定常的地面辐合线,辐合线傍晚在保定西南部生成,沿太行山扩展,强度逐渐加强并缓慢向东推移,早晨前后形成近乎闭合的气旋式环流。河北

中南部山风和谷风转换时间分别在 10 和 20 时前后。

(2) 依据逐次过程最强降水时次的风场,将地面辐合线分为 7 类。地面辐合线造成降水,特别是强降水,一般发生在大尺度的天气系统背景下;单纯由地形作用引起的地面辐合造成降水的几率较小,即使出现降水,降水率也不会超过  $10 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

(3) 综合连续多日影响的冷涡天气过程看出,地形辐合线几乎天天出现,但是只有在与其他尺度的辐合上升相叠加时才有利于对流形成。地面上如果有温度锋区相对应,往往会出现大风、冰雹、短历时强降水,强对流天气出现在温度锋区附近,一般大风出现在温度梯度大的区域,冰雹和短时暴雨出现在地面辐合线附近,而且,对流天气随辐合线移动。

## 参考文献

陈双,王迎春,张文龙,等. 2011. 复杂地形下雷暴增强过程的个例研究. 气象, 37(7): 802-813.

谌芸,孙军,徐璐,等. 2012. 北京 7. 21 特大暴雨极端性分析及思考(一)观测分析及思考. 气象, 38(10): 1255-1266.

代刊,何立富,金荣花. 2010. 加密观测资料在北京 2008 年 9 月 7 日雷暴过程分析中的综合应用. 气象, 36(7): 160-167.

丁青兰,秦勇,陈明轩,等. 2006. 局地强对流暴雨的多普勒天气雷达个例分析. 气象科技, 34(3): 286-290.

方翀,毛冬艳,张小雯,等. 2012. 2012 年 7 月 21 日北京地区特大暴雨中尺度对流条件和特征初步分析. 气象, 38(10): 1278-1287.

郭英莲,吴翠红,王继竹,等. 2012. “7. 15”宜昌大暴雨的地形影响特征. 气象, 38(1): 81-89.

刘跃红,司福意. 2003. 地面辐合线与强对流天气落区. 河南气象, (3): 16-17.

农尚尧,吕克利. 1994. 对称和非对称地形对冷锋锋生过程的影响. 大气科学, 18(增刊): 879-888.

祁东平,周建志,王珊珊,等. 2008. 一次局地强降水过程的中尺度特征及预报难点分析. 暴雨灾害, 27(1): 42-48.

孙继松. 2005. 气流的垂直分布对地形雨落区的影响. 高原气象, 24(1): 62-69.

王华,孙继松. 2008. 下垫面物理过程在一次北京地区强冰雹天气中的作用. 气象, 34(3): 16-21.

徐国强,胡欣,苏华. 1999. 太行山地形对“96. 8”暴雨影响的数值试验研究. 气象, 25(7): 3-7.

徐亚钦,翟国庆,黄旋旋,等. 2011. 基于雷达和自动站资料研究风暴演变规律. 大气科学, 35(1): 134-146.

臧增亮,张铭,沈洪卫,等. 2004. 江淮地区中尺度地形对一次梅雨锋暴雨的敏感性试验. 气象科学, 24(1): 26-34.

赵玉春,王仁乔. 2005. 一次致洪暴雨的中尺度分析. 气象科技, 33(3): 245-249.