

文章编号: 2096-1618(2017)03-0320-08

雷电活动与 WRF 模式动力模拟量的对比研究

翟丽^{1,2}, 周筠珺^{1,3}, 蒋大凯², 伍魏¹, 李晓敏¹

(1. 成都信息工程大学大气科学学院 高原大气与环境四川省重点实验室, 四川 成都 610225; 2. 辽宁省气象灾害监测预警中心, 辽宁 沈阳 110166; 3. 南京信息工程大学 气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 江苏 南京 210044)

摘要:为研究雷电活动中动力因子与地闪的相关性,对京津冀地区发生的一次雷暴天气过程进行 WRF(weather research and forecasting)模式模拟,计算获得雷电过程中动力特征量,与地闪实况资料对比分析得出动力因子与地闪的相关性。模拟结果表明:最大上升速度与地闪频数变化趋势一致,极值后 20 分钟会出现地闪频数的极值。风垂直切变的大值与地闪频数呈正相关,闪电中心位置随时间的演变与风切变最大值位置随时间的演变一致。风垂直切变的大值与正地闪分布趋势有一定的相关关系。WRF 模式动力输出场对地闪发生的位置和时间有很好的提示作用,可用于对雷电天气的预报与研究。

关键词:雷电物理学;大气物理学与大气环境;WRF 模式;地闪;动力;上升气流;风切变

中图分类号:P446

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcui.2017.03.014

0 引言

雷电天气是在特定的大气环境条件下发展起来的对流性天气系统,具有极大的破坏性,因为雷击原因造成的经济损失明显增加。中国京津冀区域雷电活动频繁^[1],如何做到准确有效地预报雷电极其重要。国内外学者做了很多工作得出了物理意义明确的动力学等参数,并应用于雷电等强对流天气的分析和预报中^[2-3]。

言穆弘等^[4]发现云底附近空气的热动力特性影响闪电活动,进入雷暴云内空气中的动能越大,则其闪电活动就越强。Boccippio^[5]研究认为,上升气流区域,特别是冰冻层以上的上升气流区域与起电电流的密度有很大关系,进而与雷暴中的电活动相联系,影响着雷暴中的闪电频次。郑栋等^[6]发现强烈的上升气流是雷电形成和发展的基本气候条件。闪电类型与雷暴云内的垂直风切变密切相关, Brook 等^[7]在对日本冬季雷暴的研究中发现雷暴中正地闪的发生与水平风的垂直切变有关,这是因为风的垂直切变会引起云体的倾斜,位于云体上部的正电荷区会直接暴露给地面,使其与地面之间电势增强,上部正电荷区与地面之间直接放电而形成正地闪。罗霞等^[8]证实了高空垂直风切变是地闪发生的良好条件。Wilson 等^[9-11]指出,低层的垂直风切变相对于雷暴出流边界的方向与雷暴强度有关。总而言之,这些观测研究的主要结论是闪电的发生率分别与起电区域内不同水成物含量及强上升气

流关系密切,而高空风切变决定着所引发地闪的极性。

WRF(weather research forecast)模式是新一代中尺度预报模式和同化系统,具有高效的计算效率,支持高分辨率的非静力模拟,有多种参数化方案可供选择,是预报、研究强对流天气的重要手段。很多学者都利用 WRF 模式对强对流等天气过程进行模拟。付伟基等^[12]用 WRF 模式对雷暴过程进行模拟,结果表明模式可用于模拟雷暴过程,而且在雷电发展时强对流指数会发生明显的变化。孙健等^[13]分别利用 WRF 与 MM5 模式模拟暴雨天气过程,发现 WRF 能更精确地模拟一些强对流过程。因为不同区域、不同气候背景下的雷电活动中动力特征有所差异,所以研究中国京津冀区域雷电活动的分布和其中动力特征表现是有必要的。

对发生在京津冀地区的一次雷暴天气进行 WRF 模式模拟研究,获得模式输出相应的动力参量,分析其与地闪活动之间的关系,为利用 WRF 对雷电等强对流天气进行预报预警提供基础。

1 资料和模式

文中所用的地闪数据是 ADTD 所探测到的资料,ADTD 雷电定位系统传感器能够准确采集云地闪波形峰点到达时间,时间精度达到了 0.1 μs 。中心定位处理软件采取时差测向混合定位算法,保证定位精度。ADTD 闪电定位仪可靠性高,观测数据实时传回进行综合定位处理,网内探测效率可达 95% 以上,对地闪发生的位置(经度、纬度)、时间、极性和雷电流峰值进行监测。闪电定位系统可能会将部分云闪误认为正地闪,当电流强度小于 10 kA 时,当做云闪处理,将其剔除

收稿日期:2016-11-06

基金项目:四川省教育厅资助项目(16CZ0021);北京市自然科学基金重点资助项目(8141002);国家科技支撑计划资助项目(2015BAC03B05)

掉。雷达资料采用位于北京南郊(39°N, 116°E)的多普勒雷达资料,该雷达为CINSAR-SA(S波段)。

文中使用的中尺度模式WRF3.5.1版本为完全可压缩非静力模式,模式的初始场资料为NCEP/NCAR再分析数据fml资料,空间分辨率为 $1.0^{\circ} \times 1.0^{\circ}$,时间分辨率6小时。模拟时段共24小时,从2015年7月17日20:00–2015年7月18日20:00(均为北京时)。模式使用两层网格嵌套,外层网格分辨率为7.5 km,内层网格分辨率为2.5 km,时间步长45 s,模拟中心经纬度为(39.5°N, 116.5°E),外层网格数为 145×195 ,内层网格数为 240×400 ,文中使用内层数据。模拟过程中选取的物理方案为:地面通量和云的作用。长波、短波辐射分别选用RRTM方案、Dudhia方案^[14],微物理过程为LIN方案,边界层YSU方案^[15],陆面过程Noah方案,近地面层Monin-Obukhov方案,积云参数化方案采用浅对流Kain-Fritsch方案^[16]。

文中主要研究动力条件与雷暴的关系,为证明WRF模式对此次雷暴过程模拟的可用性,选择过程中对流较剧烈、地闪频数较高的时刻18日02时的风场与fml实况进行对比。对比200 hPa模拟(图1a)和实况(图1b),可以看出二者相当吻合;500 hPa模拟(图1c)和实况(图1d),可以看出河北中部、南部模拟效果较好,北部地区风力较实况偏弱;700 hPa和850 hPa在河北中南部地区个别站点将西南偏南风模拟为东南偏南风。整体看来,模式大致能模拟此次过程,接下来可用于分析研究。

2 天气背景及地闪活动特征

2.1 环流背景分析

2015年7月17日20时欧亚大陆基本维持两脊一槽型,华中地区为高空槽区,乌拉尔山、东北地区东部为高空脊区。京津冀地区处于500 hPa大槽前部,高空急流左侧,具有条件不稳定能量,850 hPa在黄河流域存在明显切变,低空偏南急流发展旺盛,将黄海、南方水汽输送到京津冀上空,为此次过程提供了充沛的水汽条件。17日20时北京站探空图,北京站K指数为35,对流有效位能(CAPE)为 $935.2 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$,对流抑制有效位能(CIN)为 $51.2 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$,存在较强的不稳定能量,抬升条件较好,风向随高度顺转,呈现整层暖平流,产生强对流天气的条件非常有利。中层、低层的湿度均较大,高层湿度较小,上干下湿有助于强对流天气的生成和发展。随后大槽东移北抬,强降水落区也向东移动。18日00时–18日04时高空槽达到此次过程的鼎盛阶段,产生短时强降水天气并伴有雷暴。

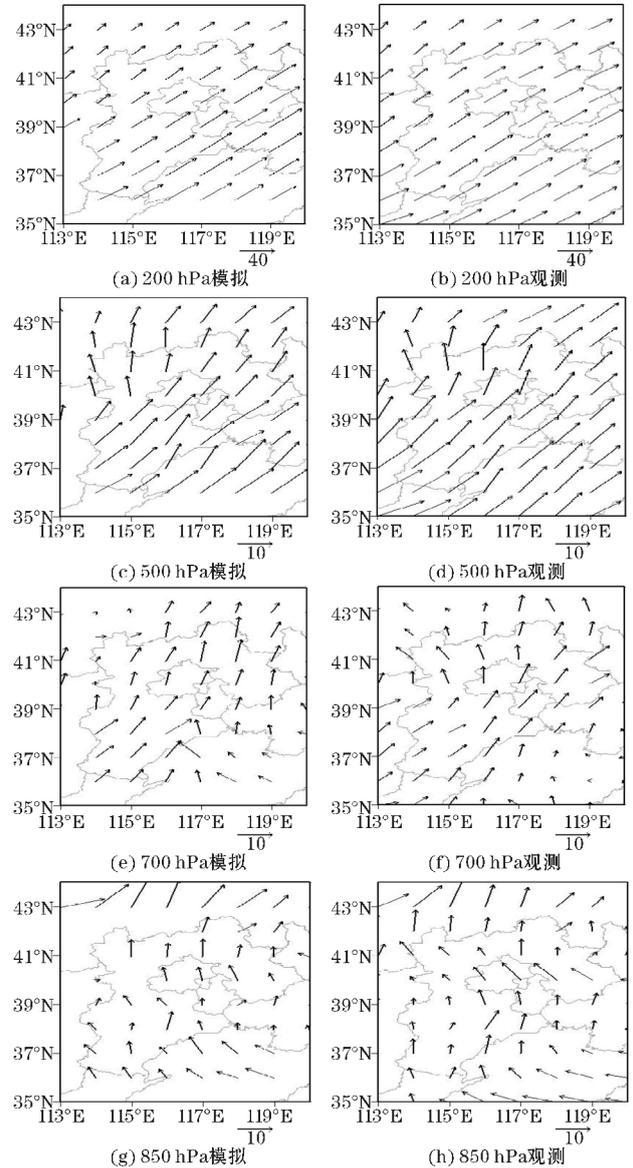


图1 2015年7月18日02时200 hPa、500 hPa、700 hPa、850 hPa风场模拟与fml风场对比图(单位:m/s)

2015年18日20时500 hPa大槽变浅东移,850 hPa低空风速迅速减小,低空水汽减弱,没有明显的切变存在,降水过程趋于结束。从18日20时北京站探空图上可以看出,北京站K指数为35,对流有效位能为 $756.4 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$,对流抑制有效位能为 $101.1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$,底层的湿度均较大。较17日条件变差,随时间推移,降水过程趋于结束。

降水过程中京津冀地区一直处于500 hPa东亚大槽的槽前控制,高空急流左侧,具有条件不稳定能量,850 hPa存在的明显切变与急流,供给了充沛的水汽条件和较好的抬升触发条件。上干下湿形成强烈的不稳定,造成此次降水过程并伴有雷暴等强对流天气。

2.2 天气过程雷达回波特征

多普勒雷达具有高时空分辨率,其反射率、速度、谱

宽等产品为分析研究中小尺度强对流天气提供了条件,可用于观察对流天气系统的结构及演变特征。为研究此次过程中对流单体的移动演变,使用北京多普勒雷达(39°N, 116°E)的组合反射率(图2)进行分析。

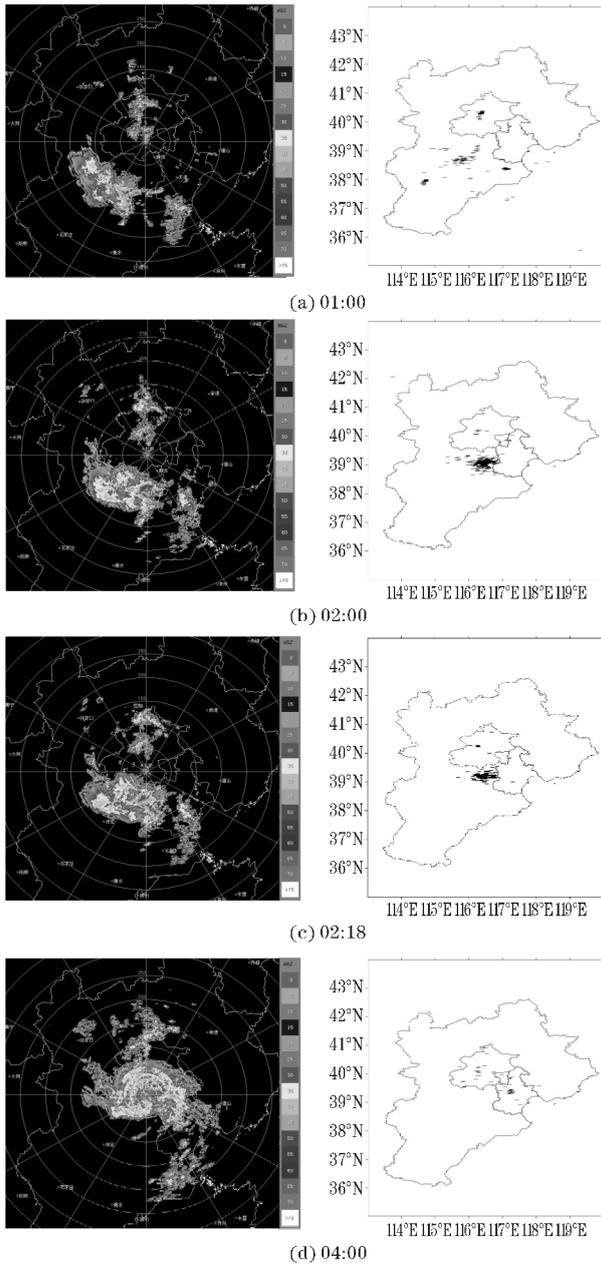


图2 2015年7月18日北京多普勒雷达组合反射率及相应时次地闪分布图

高空低槽东移,低层充足的水汽供应,切变的触发作用,引起对流的发展,在河北上空出现了对流云系。18日01:00(图2a),河北地区存在两处明显对流回波,一处位于北京北部(雷暴云A),一处位于保定(雷暴云B),保定地区的回波较强,范围较大,回波强度达45 dBZ左右;北京北部地区的对流分布分散,强度在40 dBZ左右。02:00(图2b),B向东北方向移动,对流较强,结构密实,影响霸州地区,其强度稳定在40~

45 dBZ。A对流云团没有加强,基本维持。后B回波范围减小并向东北移至天津地区,强度仍在45 dBZ左右,而A略有减弱,基本维持。04:00(图2d)A继续减弱消散,B也逐渐消散,雷电趋于结束。可以从上面的分析看出,此次过程强回波移动方向为由西南向东北,与相应时次地闪实况相对比得知雷达反射率因子40 dBZ左右的区域与雷电活动区域相符合。

2.3 地闪活动特征

图3为2015年7月18日00时-08时模拟区域内(35°N~44°N, 113°E~120°E)的地闪空间分布图,从图中可以看出,在高空低槽的控制下,京津冀地区出现了一次强对流天气过程,主要雷电过程在中部地区,出现闪电频数最大的地区在天津。

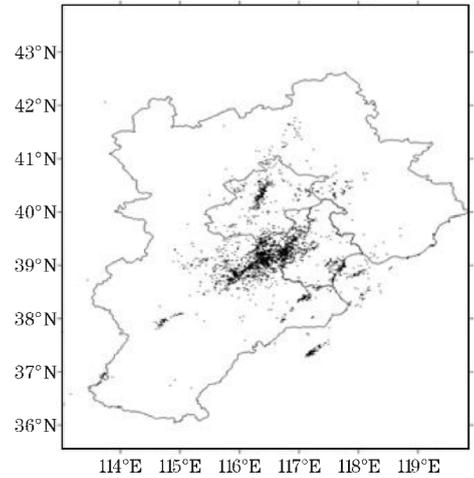


图3 2015年7月18日00:00-08:00地闪空间分布图

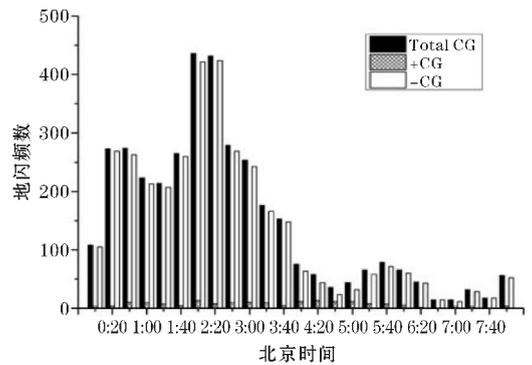


图4 2015年7月18日00:00-08:00每20分钟地闪频数随时间演变图

图4为此次雷电活动期间18日00时-08时模拟区域内的地闪频数随时间的变化图。可以看出,此次雷电过程中,18日02时出现了地闪频数的最大值,共发生闪电3693次,其中正闪181次,占总次数的4.9%,负闪3512次,占总次数的95.1%,以负闪为主。

雷暴云内动力特征、微物理结构都会影响正地闪的发生比率。正地闪多发生在超强雷暴中,但也有可

能发生在较浅的雷暴云、或者在弱降水天气中也有可能。Rus等^[17]指出正地闪发生的位置,正地闪大多数发生在云砧处。在雷暴云中,负电荷主要存在云体中下部,则放电比较容易,多出现负闪。而正电荷主要在云砧部分,放电比较难,因此在雷暴过程中发生正闪的比率一般比负闪小,但正闪具有比负闪更强的破坏性。

3 模拟结果

3.1 垂直速度与地闪活动的相关关系

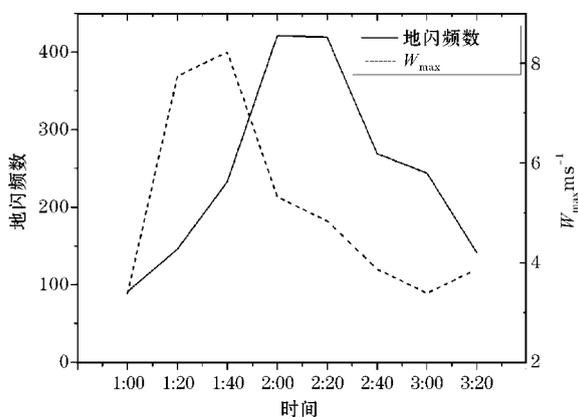
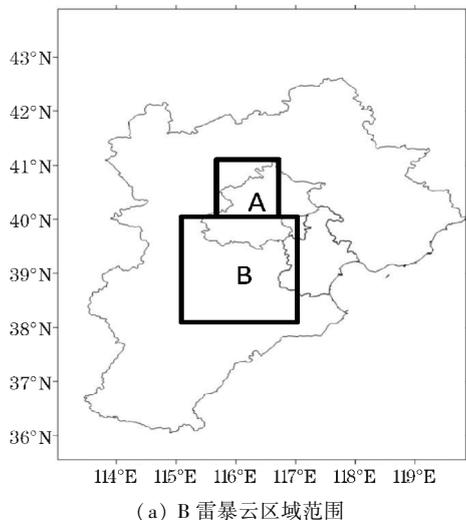


图5 B雷暴云区域范围及WRF模式输出B区域内最大上升速度与每20分钟内地闪频数随时间变化

从雷达回波分析结合地闪分布变化可以看出,此次闪电活动可分为两个区域,00:00-02:00,图5(a)中A区域,主要为对流云A放电;01:00-03:00,B(115°E~117°E,38°N~40°N)区域,闪电活动则主要为对流云B放电。选取B区域为研究区域,模拟计算得出该区域内每20min的最大上升速度,分析其与地闪频数之间的相关关系(图5b)。最大上升速度整体变化趋势与地闪变化趋势一致,上升速度最大值之后20min会出现地闪频数的极大值,这对地闪活动有很好的预

报意义。

雷暴云中的上升气流和水成物粒子对闪电的发生率有显著影响,霰粒子为主要的起放电粒子之一,做垂直速度与霰粒子质量混合比剖面如图6所示。地闪范围为(116°E~116.5°E,38.8°N~39.3°N)。在雷电发生前期,霰粒子质量混合比较小,垂直速度值也较小;在雷电发生较强时期,强上升气流和下沉气流形成有组织的对流系统,霰粒子质量混合变大,雷电剧烈;随后雷电变弱,上升速度变小,霰粒子质量混合比也变小。综上所述上升气流对起电粒子有很好的输送作用,在强上升气流的作用下,带电粒子浓度变大,霰粒子等起电粒子的碰撞合并增长加强,并不停地碰撞,放电的概率变大,从而使闪电过程变强。在模拟闪电过程中,霰粒子和垂直速度大值位置配合较好,但是与地闪密度大值位置相比偏西,这是因为闪电过程自身的复杂性,雷暴云到地面的闪电通道是弯曲的,且受到下垫面影响,会出现一定的偏差。

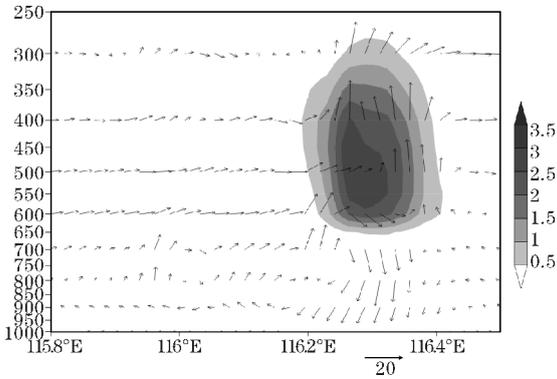
3.2 水平风的垂直风切变与地闪活动的相关关系

水平风的垂直风切变计算公式为

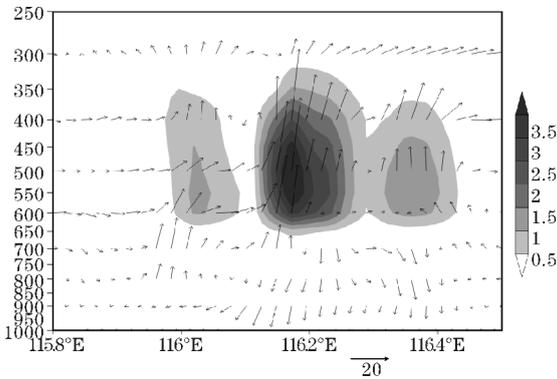
$$\frac{\sqrt{(u_2 - u_1)^2 + (v_2 - v_1)^2}}{|z_2 - z_1|} \quad (1)$$

其中, u_1 、 u_2 为水平风的東西分量,西风为正,东风为负; v_1 、 v_2 为水平风的南北分量,南风为正,北风为负; z_1 、 z_2 为不同层次的高度。分析选取区域每20min输出的最大垂直风切变与20min地闪频数的相关性。

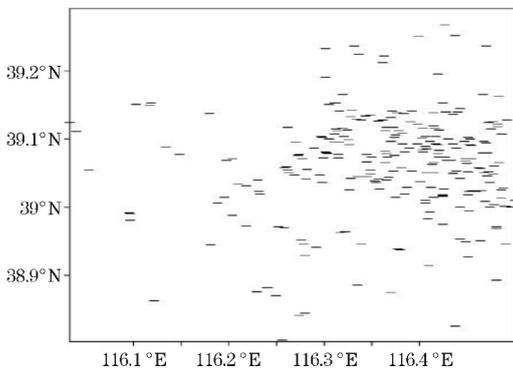
图7(a)地面到700hPa垂直风切变,接近3000m左右。在雷暴发展前期,垂直风切变迅速变大时,相应出现了地闪的极大值,在雷暴发展后期,垂直风切变的减小,地闪逐渐减少稳定,风切变的变化趋势与地闪的变化趋势基本一致,切变极大值对应地闪极频次大值。图7(b)为地面到500hPa垂直风切变,接近5500m左右。垂直风切变迅速变大时,对应地闪的极大值,在雷暴发展后期,垂直风切变的变化趋于稳定时,地闪逐渐减少稳定。当垂直风切变迅速变大时,将有地闪的极大值出现,变化趋势与地闪变化趋势一致。计算WRF模式输出B单体区域内地面到700hPa、地面到500hPa风切变最大值与地闪频数相关关系,前者为0.844,后者为0.816。图7(c)地面到400hPa垂直风切变,接近7000m左右,图7(d)为地面到300hPa垂直风切变,接近10000m左右。当垂直风切变迅速变大时,将有地闪的极大值出现,变化趋势与地闪变化趋势一致。计算WRF模式输出B单体区域内地面到400hPa、地面到300hPa风切变最大值与每20分钟内地闪频数相关关系,前者为0.817,后者为0.48。说明垂直风切变对地闪频次有一定的指示性,二者变化趋势一致,可利用其进行地闪的预报。



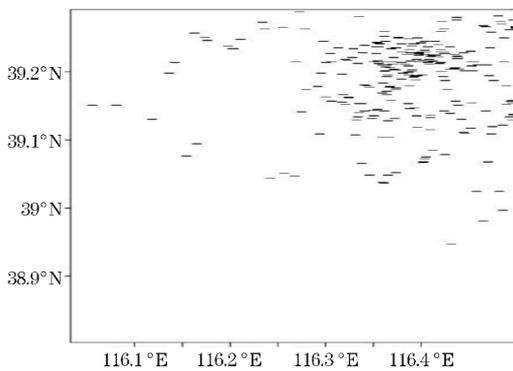
(a) 01:40 垂直速度与 u 分量合成风场与霰粒子质量混合比沿 38.5°N 剖面图



(b) 02:00 垂直速度与 u 分量合成风场与霰粒子质量混合比沿 38.7°N 剖面图

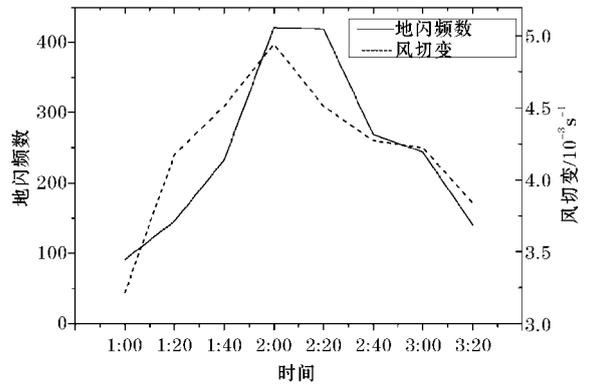


(c) 01:40-02:00 地闪投影及分布图

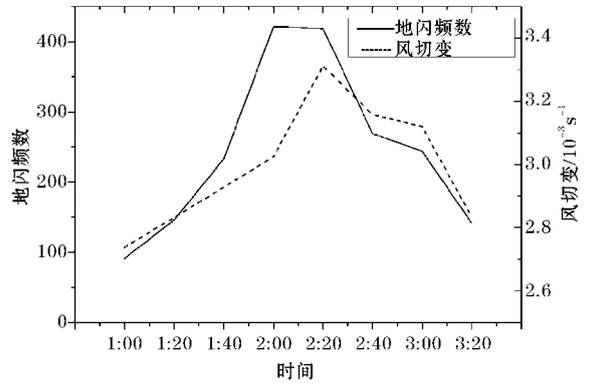


(d) 02:00-02:20 地闪投影及分布图

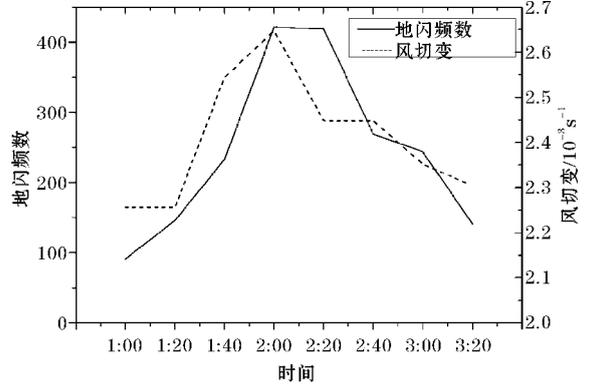
图6 垂直速度与 u 分量合成风场与霰粒子质量混合比剖面图及相应时段地闪分布图



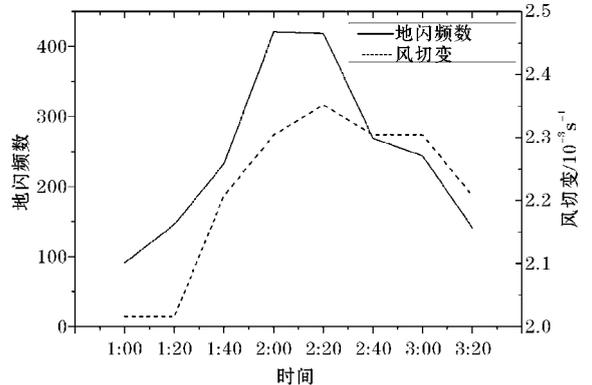
(a) 地面到700 hPa



(b) 地面到500 hPa



(c) 地面到400 hPa



(d) 地面到300 hPa

图7 WRF 模式输出 B 区域内风切变最大值与每 20 分钟地闪频数随时间变化关系图

3.3 水平风的垂直风切变与地闪活动的空间相关性

从图 8(a) 闪电中心与 WRF 模式输出 B 区域内与地面到 500 hPa、地面到 300 hPa 风切变最大值位置随时间演变可以看出,闪电中心由西南移向东北,02:00 到 02:20 出现一次向西向北转折,随后继续向东北方向移动,地面到 500 hPa、地面到 300 hPa 风切变最大值位置变化趋势与闪电中心变化基本相同。

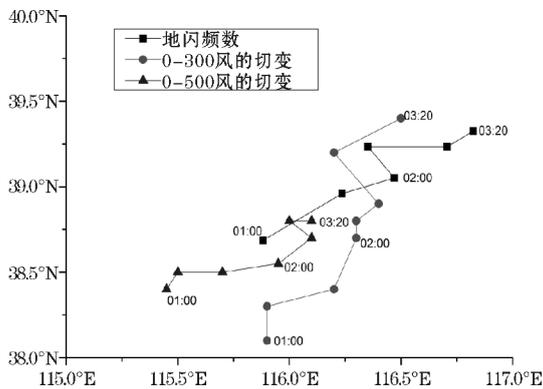
为了获得地闪与风切变之间的空间位置相关性,统计此次闪电过程中每 20 min 地闪密度大值中心位置经纬度。为了确定地闪密度大值中心位置,将模拟区域 B 化成网格,网格距为 0.1 度,统计地闪数目最多网格,将其所对应的格点定义为地闪密度最大值的位置。得到地面到各层次风切变最大值位置经纬度和地闪中心位置经纬度,计算二者之间地球表面距离,做对照分析。

地面到 500 hPa 切变最大值位置与地闪密度大值中心之间的距离在 100 km 以内,地面到 300 hPa 风切变最大值位置与地闪密度大值中心的距离基本上在 60 km 以内(图 8b),很好的指示了地闪发生的位置。

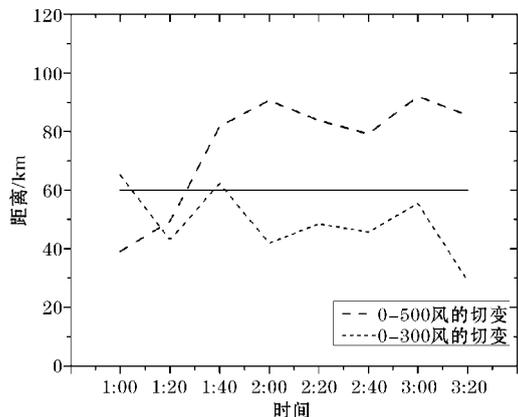
闪电活动过程中,垂直风切变最大值位置和地闪密度大值中心位置存在偏差,这是因为一方面闪电过程自身的复杂性,另一方面 WRF 模式不能重现天气实况,会存在偏差。

3.4 正地闪与水平风的垂直风切变相关关系

正地闪出现的概率小于负地闪,但是正地闪一般较强,造成的破坏性大于负地闪,所以研究其是很有意义的。从图 9 可以看出,水平风的垂直切变的大值区与正地闪分布趋势有一定的对应关系,因为风垂直切变会引起云体的倾斜,位于云砧的正电荷区将会暴露给地面,使其与地面之间电势增强,上部正电荷区与地面之间直接放电而形成正地闪。当高空风切变较大时,雷暴云内上下分层的正负电荷中心区域发生一定偏离,导致地面受云内电场分布感应的地面电荷也发生不同,当雷暴云与地面间的电场强度到达一定的值时将产生击穿,主要雷暴云部分与地面之间会发生负地闪,由于高空风而偏离雷暴云主体的云砧部分由于正电荷的积累发生正地闪。

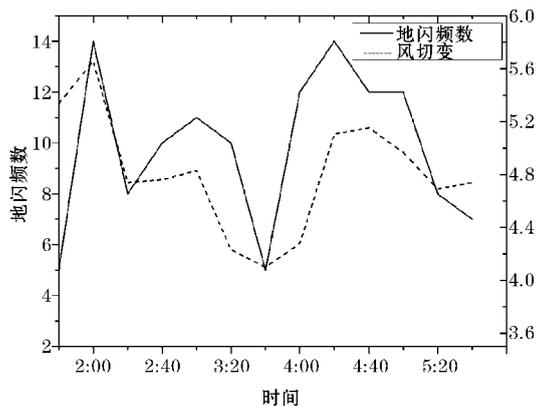


(a) 风切变最大位置随时间演变

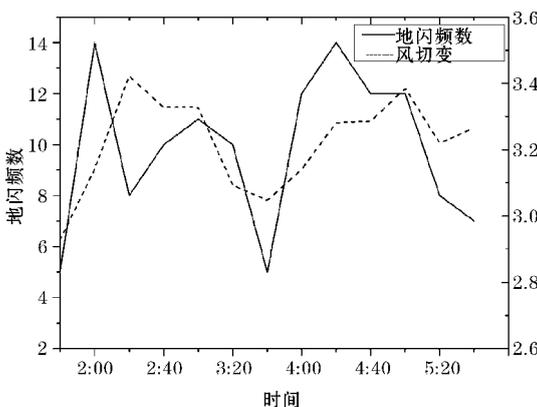


(b) 风切变最大位置与地闪密度大值中心距离随时间变化图

图 8 闪电中心与 WRF 模式输出 B 区域内风切变最大值位置演变,风切变最大值位置与地闪密度大值中心位置距离随时间变化图



(a) 地面到 700 hPa



(b) 地面到 500 hPa

图 9 WRF 模式输出风切变最大值与每 20 分钟正地闪频数随时间变化图

4 结论与讨论

对 2015 年 7 月 18 日发生在京津冀区域的一次强对流天气过程利用 WRF 模式进行模拟,得到其动力输出场,将其与实况的地闪进行对比,分析研究动力参

量与地闪的相关性。结果表明:

(1)最大上升速度可以指示地闪频数变化,上升速度最大值之后20 min会出现地闪频数极大值,对地闪活动有预报意义。在强上升气流的作用下,带电粒子浓度变大,霰粒子等起电粒子的碰撞合并增长加强,它们不停地碰撞,起放电的概率变大,从而使闪电过程变强。

(2)地面到700 hPa垂直风切变和地面到500 hPa垂直风切变,都对地闪有一定的指示意义,变化趋势与地闪变化趋势一致,当垂直风切变迅速变大时,将有地闪的极大值出现。闪电中心由西南移向东北,地面到500 hPa、地面到300 hPa风切变最大值位置也是如此变化。地面到500 hPa切变最大值位置与地闪大值中心之间的距离在100 km以内,地面到300 hPa风切变最大值位置与地闪大值中心之间的距离在60 km以内。

(3)水平风的垂直切变的大值区与正地闪分布趋势有一定的相关关系,这是因为风的垂直切变会引起云体的倾斜,位于云体上部的正电荷区会直接暴露给地面,使其与地面之间电势增强,上部正电荷区与地面之间直接放电而形成正地闪。当高空风切变较大时,会使得雷暴云内上下分层的正负电荷中心区域发生偏离,由于高空风而偏离雷暴云主体的云砧部分由于正电荷的积累发生正地闪。

总体来说,中尺度 WRF 具有较高的时空分辨率,与传统单站资料相比有优越性,但模拟结果与实际天气系统的演变还有一定空间上的偏差,模拟的结果并非理想。为了使用 WRF 模式再现理想的雷电天气过程,一方面有必要提高模式性能,例如提高模拟的精准度、数值模式物理方案的成熟与完善等,另一方面是提高对模式的理解与应用,例如模拟区域的选择和合理的参数化方案配置等,而且可以进行多个雷电个例的模拟、统计,得到普适性更高、效果更好的结果。科技发展日新月异,计算机运算能力的提升,WRF 模式的逐渐完善发展,利用模式的计算输出动力参量,可以对雷电等强对流天气实施及时准确的预报。

致谢:感谢成都信息工程大学气象科普基地示范项目(2017KZ0015)对本文的资助

参考文献:

- [1] 周筠璐,张健龙,孙凌,等. 京津冀地区地闪特征的统计分析[J]. 灾害学,2009,24(3):101-105.
- [2] 李耀东,刘健文,高守亭. 动力和能量参数在强对流天气预报中的应用研究[J]. 气象学报,2004,62(4):401-409.
- [3] 周后福,邱明燕,张爱民,等. 基于稳定性和能量指标作强对流天气的短时预报指标分析[J]. 高原气象,2006,25(4):716-722.
- [4] 言穆弘,刘欣生,安学敏,等. 雷暴非感应起电机制的模拟研究Ⅱ. 环境因子影响[J]. 高原气象,1996,15(4):53-62.
- [5] Boccippio D J. Lightning scaling relations revisited [J]. Journal of the atmospheric sciences,2002,59(6):1086-1104.
- [6] 郑栋,张义军,吕伟涛,等. 大气不稳定性参数与闪电活动的预报[J]. 高原气象,2005,24(2):196-203.
- [7] Brook M, Nakano M, Krehbiel P, et al. The electrical structure of the Hokuriku winter thunderstorms [J]. Journal of Geophysical Research: Oceans, 1982,87(C2):1207-1215.
- [8] 罗霞. 雷暴云电结构和气象参数及卫星雷达资料与闪电关系初探[D]. 南京:南京信息工程大学,2006.
- [9] Wilson J W, Mueller C K. Nowcasts of thunderstorm initiation and evolution [J]. Weather Forecasting,1977,8(1):113-131.
- [10] Wilson J W, Megenhardt D L. Thunderstorm initiation, organization and lifetime associated with Florida boundary layer convergence lines [J]. Monthly Weather Review,1997,125(7):1507-1525.
- [11] Wilson J W, Crook N A, Mueller C K, et al. Thunderstorms: A status report [J]. Bull Amer Met Soc,1998,79(10):2079-2100.
- [12] 付伟基,陆汉城,王亮,等. WRF 模式对弱强迫系统中雷暴预报个例研究[J]. 气象科学,2009,29(3):323-329.
- [13] 孙健,赵平. 用 WRF 与 MM5 模拟 1998 年三次暴雨过程的对比分析[J]. 气象学报,2003,61(6):692-701.
- [14] 赵鸣,周炜丹,陈潜,等. 中尺度模式中辐射作用的敏感性试验[J]. 气象科学,2006,26(1):1-9.
- [15] 蔡芎宁,寿绍文,钟青. 边界层参数化方案对暴雨数值模拟的影响[J]. 南京气象学院学报,2006,29(3):364-370.
- [16] 王洪利,张曼,杜钦. 不同显式方案模拟对流风暴的不确定性[J]. 南京气象学院学报,2007,30(2):253-259.
- [17] Rust W D. Research on electrical properties of se-

vere thunder-storm in the Great Plains [J]. Bull

Amer Met Soc,1981,69(2):1286-1293.

Comparative Study on the Lightning Activities and Dynamical Quantities Simulated by the Weather Research and Forecasting Model

ZHAI Li^{1,2}, ZHOU Yun-jun^{1,3}, JIANG Da-kai², WU Wei¹, LI Xiao-min¹

(1. College of Atmospheric Sciences, Plateau Atmosphere and Environment Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Liaoning Meteorological Disaster Motoring and Early Warning Center, Shenyang 110166, China; 3. Meteorological Disaster Warning and Evaluating the Collaborative Innovation Center, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: In order to study the relationship between dynamic output fields and cloud-to-ground (CG), a convective weather system was simulated by the WRF model, which is over the Beijing-Tianjin-Hebei region. The weather accompany with CG lightning flashes. Comparative analysis of the dynamic characteristic variables simulated by WRF and actual observation CG flashes were performed to obtain the correlation between them. The results showed that the maximum vertical velocity is related to the evolution trends of CG flash rate, the extreme flash frequency will occur 20 minutes after the extreme vertical velocity value. The large value of vertical wind shear is positively correlated with the frequency of CG lightning flash, and the evolution of the position of lightning center is consistent with the maximum of wind shear. The large value of vertical wind shear has a certain correspondence with the trend of positive flash. The simulation results suggest that the WRF mode dynamic characteristic variables can show the time and position of the flashes, and WRF model can be used for forecasting and researching thundery weather.

Keywords: lightning physics; atmospheric physics and environment; weather research and forecasting model; cloud-to-ground lightning; dynamics; updraft; wind shear