

中国地区下垫面对雷暴的影响研究进展

刘佳伟

(南京信息工程大学大气科学学院, 南京 210044)

摘要: 下垫面的非均匀特征对于雷暴发生发展有很大的影响, 这种影响主要通过改变温湿场分布, 对流云环流结构, 不稳定层结特性、水汽凝结特性和抬升机制来实现。这是气象学领域的前沿问题。国内外相关研究还很少, 本文能帮助读者了解这一领域的国内进展, 从而激发更多的读者关注这一极具挑战性的课题。本文以中国地区典型的城市、海面、山谷和湖面下垫面为例, 概述了中国地区下垫面对雷暴影响的研究成果, 从不同侧面归纳分析了下垫面对雷暴的影响及其可能机制。

关键词: 雷暴; 下垫面; 研究进展

中图分类号: P446 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-009X(2014)03-0125-04

Impact of underlying surface on thunderstorm in China

Liu Jiawei

(College of Atmosphere Sciences, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044)

Abstract: The inhomogeneous characteristics of the underlying surface have huge influence on occurrence and development of thunderstorms, which mainly achieves through changing the distribution of temperature and humidity filed, circulation structure of convective cloud, characteristics of unstable stratification, characteristics of moisture condensation and uplift mechanism of clouds. This is frontier issue in meteorology, which is lack of enough researches globally. We introduce researches of this question in China to readers in order to inspire their interest in this challenging project. We took typical underlying surfaces in china, city, ocean, valley and lake underlying surfaces, as example to summarize the research results and analyze the influence and possible mechanism of underlying surface on thunderstorm in China.

Key words: thunderstorm; underlying surface; research development

0 引言

雷暴又称风暴, 是一种积雨云云体强烈发展阶段所产生的雷电现象, 常伴有暴风雨、冰雹、大风和龙卷等多种天气现象的中小尺度强对流天气过程, 是一种严重的灾害性天气, 常造成国民经济

和人民生命财产的重大损失^[1]。所以, 研究雷暴天气有着十分重要的意义。它的形成与发展与大气环流背景, 以及当地的地理、地形、季节、气候等因素有关。雷暴发生发展需要具备不稳定层结、水汽、抬升机制等3个基本条件。另外, 非均匀下垫面的热力、动力作用形成的地形性环流对于对

流天气的形成、发展有明显影响。地形性环流有多种尺度,其范围从行星波直到小扰动,它们的水平尺度经常由地形尺度决定。国内外已有不少关于这方面的研究^[2]。

钱嘉星等^[3]和胡艳^[4],曾用统计分析的方法对珠江三角洲和上海城市下垫面对雷暴的影响进行研究。发现,珠江三角洲城市群地区闪电频次随城市群发展逐年增加,城市群地区明显大于非城市群地区。城市群对前汛期雷暴影响较大,对后汛期雷暴影响较小。上海地区的热岛效应在一定程度上增加了城区和城乡交界地区雷暴发生的频数。蒙伟光等^[5]也通过自动气象观测站资料,卫星资料和雷达资料分析出对流易于在城市热岛显著的时段和地区发生,雷暴经过城市会得到发展。不少研究^[4-8]使用数值模拟的方法探讨了城市下垫面相较于牧场、农田等下垫面对于雷暴的显著影响,进一步分析和明确了影响过程和影响机制。胡艳^[4]、汪雅等^[8]使用数值模拟的方法研究了海洋下垫面对于雷暴的影响,揭示了海陆风的作用。杨薇等^[9]模拟研究了太湖地区湖面雷暴的影响。黄荣等^[10]分析了山谷下垫面对雷暴的影响,解释了雷暴在下山过程中的增强机制。

本文综合概述了使用不同方法对于我国几种典型下垫面对于雷暴影响的研究,全面解释非均匀下垫面对于雷暴发生、发展的影响过程和机制。

1 城市热岛、城市化的影响

研究表明^[11],由于城市下垫面(地面、屋顶面等)多为水泥、柏油路面、混泥土等硬质铺砌,且下垫面颜色较深,所以在相同的太阳辐射条件下,城市下垫面能吸收更多的热量。同时郊区农田密布,城乡下垫面性质的差异明显。雷暴发生前,城市地区一般有较高温度,且相较于郊区平均温度高 $1\sim 3\text{ K}$,温度差极值可达 5 K 以上,体现了明显的城市热岛特征。

由于城市热岛效应^[12,13],城市中存在位温的高值中心。热空气上升运动的高值中心与位温高值中心吻合。上升运动的速度极值达到 10 cm/s 。上升的热空气大约在 2 km 的高空辐散,向城市外流出,低层空气辐合,向城市中流入。高空辐散的空气流经郊区,形成下沉气流,下沉运动的速度极值达到 -10 cm/s 。这样就形成完整的典型的由城郊下垫面热力属性差异导致的热岛环流。

数值模拟实验中城市相较于农田,地表温度

明显较高,感热通量大,潜热通量小。地表高温造成地表空气块受热膨胀上升,感热通量大,使城市上空空气块加热迅速且不稳定能量易于释放。由此引发周围空气补偿性辐合,易于在午后形成自由对流,产生雷暴天气。由于城市下垫面材质特性造成的城市表面的水汽含量较少,导致热岛效应对应的范围湿度较小,潜热通量较小,最终导致对流有效位能(CAPE)的减小。但由于强的辐合导致的水汽的集中和湿度的增大,最终在综合影响下热岛中心 CAPE 的值还是增大的。

通过观测资料计算 K 指数和 S_i 指数,可以发现热岛强度最大时,城区 K 指数比郊区大 $5\text{ }^\circ\text{C}$ 以上,城市上空层结的不稳定度明显高于郊区。 K 指数达到雷暴发生的临界值大约在 $16:00\sim 09:00$,午后为居地雷暴等对流天气的高发时段。 S_i 指数流入的不稳定能量的通量,在浓积云发展时,绝大多数情况 S_i 指数小于 3 ,这也意味着大气层结的不稳定,有利于积雨云的发展,雷暴出现的概率很大。城市下垫面使边界层高度的升高,同时也提高了对流高度,加强了水汽交换。边界层高度升高到一定程度可能会超过抬升凝结高度(LCL),利于云的生成和发展,从而利于雷暴等强对流系统在其上空的发展。城市热岛对扰动位温的增强也提供了有利的层结条件。

城市下垫面粗糙度较大和建筑物的阻挡作用对低层风场产生的阻滞使低层辐合中心增大,上升运动和雨水混合比增强。从而导致雷暴系统降水落区与强度的改变。粗糙度的增大也因此更加容易触发对流的形成。此外,城市中能够成为凝结核的气溶胶粒子较多,也有利于降水的形成。

从统计资料来看,雷暴发生的频次的增加与城市的扩张也有很好的对应关系。城区雷暴发生的频次明显多于郊区。同时,一年中前汛期雷暴频次的增加尤为明显。统计数据很好的佐证了城市下垫面对于雷暴有较大影响的理论分析。

2 海洋的影响

海洋下垫面对于雷暴的影响,主要是在海陆边界由于下垫面性质和热容量不同,形成的海陆风环流所引起。同一维度上,白天,由于陆面温度高于海面,陆面空气受热膨胀上升,在某一高度陆地上空气压高于海面上空气压,导致高空大气由陆地向海洋运动。由于空气的流动,陆地地表气压下降,于是海表气压高于地表气压,近地面层空

气又从海面上空流向陆地上空,形成环流,称之为海风^[14]。夜间,环流逆转,近地面层空气又从陆地流向海面,称之为陆风。

胡艳、汪雅等研究认为 14:00 至 17:00 为海风较为强劲的时间段,而每天日出前几个小时则是陆风较为强劲的时段。强劲的海风产生了辐合形成了海锋风并逐渐向内陆推进。直到太阳落山才减弱消失。辐合中心能够激发抬升较弱的对流和雷暴,加强其发展,触发雷暴天气。10:00,太阳出来以后,海边陆地之上的空气出现明显的上升运动区,在 15:00 达到 50 cm/s 的极值。但在数值模拟的敏感性试验中我们可以发现,当宁波地区的非水体被替换为水体时(SEA 实验),雷暴发生时的辐合上升运动消失,雷暴强度明显降低。说明由海风辐合引起的上升运动对雷暴的发展起到重要作用。

SEA 实验中对流有效位能(CAPE)主要集中在低层,对流抑制能(CIN)较大,所以雷暴强度较弱。而将水体替换为混合林的 LAND 实验,对流有效位能发展到距地面 7 km 的对流层上层,雷暴强度明显强于控制实验。LAND 实验和 SEA 实验释放的对流不稳定能量平均值分别为 350 J/kg 和 150 J/kg,可见由于海陆不均匀性引起的海陆风增加了雷暴发展过程中不稳定能量的积累和释放,加强了这一对流天气形成的关键条件,使雷暴得到加强。

另外,SEA 实验中白天刚热通量、潜热通量和位温都变化平缓,振幅很小。而 LAND 实验中平均边界层高度为控制实验 1.5 倍,振幅增大。所以陆面过程对对流的启动和发展,雷暴的强度有重要影响。

仅靠居地的水汽是不可能形成强降水的,只有当水汽向上输送才能增厚湿层,产生凝结,成云致雨。SEA 实验中,由于海陆热力差异减小,上升运动减弱,所以虽然湿度值明显增大,但水汽通量值反而减小。这就体现了海陆风较强时,水汽垂直输送成云促使放电现象的产生对于雷暴发展的作用。

3 地形起伏的影响

低层气流的强迫抬升作用是山谷对雷暴一个重要的影响。山前近地面地形辐合产生的扰动向上传播引发边界层扰动,是对流和雷暴形成的主要动力源。黄荣等、陈双等^[15]分析发现,因雷暴下山增强后造成的天气都是比较剧烈。雷暴群下

山前期 CAPE 值平均为 1 292.2 J/kg, CIN 值平均为 89.45 J/kg, SI 值普遍在 $-1 \sim -3$ °C 之间,表明雷暴发生前,大气层结不稳定。风暴螺旋度(SRH)普遍小于 1,平均值为 0.63,显示雷暴群下山增强的环境风场没有有效增加上升气流的旋转能量,造成雷暴单体的运动方向不统一、单体新生位置不确定性较强。由环境风场、上游雷暴出流和地形强迫作用在山前形成的辐合线抬升对于雷暴下山增强非常有利。

雷暴下山过程中,冷池出流对触发雷暴单体新生和增强(图 1)有重要影响。雷暴发生前由于山地和山前下垫面热力属性的差异,当上游雷暴在山区(山体高大约 1 000~1 500 m)促使冷池形成后,冷池出流高度被山体强迫作用抬高,造成 1 500 m 高度上冷空气先于地面阵风锋到达山前热辐合区上空,居地热力不稳定度增大,低层垂直风切变增强因此导致居地动力不稳定度增大。地面居地热辐合中心、边界层热力和动力不稳定度增强三者共同作促成雷暴被提前触发。强烈的辐合抬升使新生的雷暴单体得到爆发性增强。

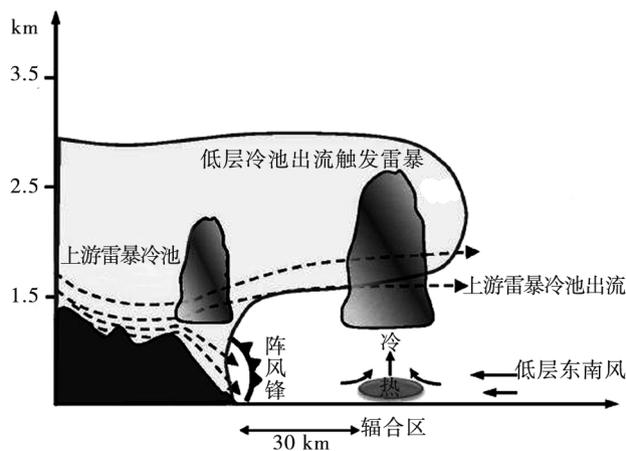


图 1 复杂地形下冷池出流触发雷暴新生的概念模型图

4 湖泊的影响

在湖泊和水库等水体及其周边地区,水陆热力差异常常会激发出类似于湖陆风环流系统的“内陆环流”。湖陆两种下垫面性质的不同会影响近地面层气温的分布状况,改变近地面层风速风向,影响大气稳定度,对天气以及气候的局地特征都会造成较大的改变。在有利的天气系统背景下,可以引发雷暴和强对流天气。

杨薇等通过研究我国太湖地区研究了湖面对雷暴的影响。白天随着太阳辐射加强,湖陆温度梯度不断加大,湖陆风发展,在沿岸形成辐合线为

湖风锋所在位置,并不断向岸推进,岸边形成多个辐散中心。低层水平流场辐合带相对应的位置上空存在明显的上升运动,位温垂直扰动的高度达2 km,不稳定能量积聚。上升运动将水汽抬升集中至上升最大速度高度以上形成高含水量区,有利于云和降水的形成。湖风锋则携带丰富的水汽将高湿度的空气向对流强烈的区域输送,强烈的上升运动和垂直风切变完全触发了对流不稳定能量的释放并引发雷暴。

敏感性试验中,下垫面水陆差异消失后,上升运动减弱,低层无辐散气流出现,不利于对流的发展和加强。在有湖实验中边界层高度较高,大气稳定度较小,不稳定能量积聚,加强了雷暴产生时的上升气流和下沉气流。无湖实验时,云体较低,雨水混合比与有湖时相差1 g/kg以上。说明湖风锋处产生强烈的水汽辐合及抬升运动,低层水汽被抬升至高空凝结,有助于云和降水的发展加强。这证明湖风锋的触发对雷暴的产生有重要作用。

5 结束语

非均匀下垫面由于其热力属性的差异或地形强迫作用导致其上空大气热力属性的差异,由此触发了动力环流,引起不稳定度增加、不稳定能量积聚、水汽输送等有利于雷暴发展的条件。不同的下垫面在对于雷暴的其他影响上也具有许多的差异。例如水体对于水汽的增加,城市对于凝结核的增加,山谷对于抬升的作用等等。

总而言之,非均匀下垫面对雷暴发生发展的影响显著。我国幅员辽阔,海岸线绵长,城市扩张迅速,下垫面类型复杂。各种搭配组合非均匀下垫面对于雷暴的不同影响还有待于进一步的研究。

参考文献:

[1] 俞小鼎,周小刚,王秀明. 雷暴与强对流临近天气预

报技术进展[J]. 气象学报,2012,70(3):311-337.

- [2] 王晓峰. 复杂下垫面环境下上海局地强对流天气研究[D]. 北京:中国气象科学研究院,2013.
- [3] 钱嘉星,徐海明,万齐林. 珠江三角洲城市群对雷暴的影响[J]. 热带气象学报,2010,26(1):40-48.
- [4] 胡艳. 上海地区雷暴天气及下垫面特征对它的影响分析[D]. 南京:南京信息工程大学,2006.
- [5] 蒙伟光,闫敬华,扈海波. 热带气旋背景条件下的城市效应与广州夏季雷暴[J]. 中国科学 D 辑,2007,37(12):1660-1668.
- [6] 徐蓉,苗峻峰,谈哲敏. 南京地区城市下垫面特征对雷暴过程影响的数值模拟[J]. 大气科学,2013,37(6):1235-1246.
- [7] 蒙伟光,闫敬华,扈海波. 城市化对珠江三角洲强雷暴天气的可能影响[J]. 大气科学,2007,31(2):364-376.
- [8] 汪雅,苗峻峰,谈哲敏. 宁波地区海—陆下垫面差异对雷暴过程影响的数值模拟[J]. 气象学报,2013,71(6):1146-1159.
- [9] 杨薇,苗峻峰,谈哲敏. 太湖地区湖陆风对雷暴过程影响的数值模拟[J]. 应用气象学报,2014,25(1):59-70.
- [10] 黄荣,王迎春,张文龙. 复杂地形下北京一次局地雷暴新生和增强机制初探[J]. 暴雨灾害,2012,31(3):232-241.
- [11] 陈志豪. 城市热岛效应对浦东机场夏季雷暴天气的影响[C]. 中国气象学会,2006年年会"气候变化及其机理和模拟"分会场论文集中国气象学会,2006.
- [12] 黄利萍,苗峻峰,刘月琨. 天津城市热岛效应的时空变化特征[J]. 大气科学学报,2012,35(5):620-632.
- [13] 苗峻峰. 城市热岛和海风环流相互作用的数值模拟研究进展[J]. 大气科学学报,2014,37(4):521-528.
- [14] 许启慧,苗峻峰,刘月琨,等. 渤海湾西岸海风时空演变特征观测分析[J]. 海洋预报,2013,30(1):9-19.
- [15] 陈双,王迎春,张文龙,等. 复杂地形下雷暴增强过程的个例研究[J]. 气象,2011,37(7):802-813.