

2014年南京市一次强雷暴天气过程分析

杨杰尧

哈密市气象局, 新疆 哈密
Email: 545879112@qq.com

收稿日期: 2020年9月5日; 录用日期: 2020年9月20日; 发布日期: 2020年9月27日

摘要

本文利用常规气象观测资料、NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料、闪电资料以及多普勒雷达资料,对南京市2014年9月28日一次强雷暴天气过程进行分析。结果表明:(1)雷暴发生前南京数日持续高温累积了大量不稳定能量是先决条件,冷空气南下触发不稳定能量的释放是触发机制。(2)此次雷暴为湿雷,以负闪为主(占93%)。强对流天气集中在北部和中部,其中中西部为闪电密集区。(3)强烈的上升运动以及高空辐散、低空辐合的配置为动力学机制;较强的水汽输送和高的相对湿度提供了良好的水汽条件;稳定性指数表明此次雷暴过程是强动力和强热力不稳定条件共同作用的结果。(4)强雷电区雷达特征表现为回波强度维持在45 dBz以上,风廓线表现为低层为偏东风,中低层为偏西风,回波顶高度维持在14 km左右,零速度线呈明显的“S”形。

关键词

强雷暴, 闪电特征, 多普勒雷达, 气象物理量参数

Analysis of a Severe Thunderstorm Weather in Nanjing in 2014

Jieyao Yang

Hami Meteorological Bureau, Hami Xinjiang
Email: 545879112@qq.com

Received: Sep. 5th, 2020; accepted: Sep. 20th, 2020; published: Sep. 27th, 2020

Abstract

A strong thunderstorm weather process on September 28, 2014 in Nanjing is analyzed by using the conventional meteorological observation data and NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ reanalysis data, lightning data and Doppler radar data. The results showed that: (1) before the occurrence of the thunderstorm, the high temperature persisting in Nanjing region was found, which had cumulated mass instable ener-

gy that should be seen as the prerequisite, and the southward cold air stirred up this instable energy, which was the induced factor of this thunderstorm. (2) The process is wet thunderstorm, and negative flashes account 93 percent. Strong convection weather was concentrated in northern and central area of Nanjing, the Midwest is intensive lightning zone. (3) The upper divergence and low-level convergence and strong upward movement are the dynamic mechanism of the thunderstorm. Strong water vapor transport and high relative humidity provided good moisture conditions. The results of the analysis of the stability index show that the thunderstorm is the result of the common function of the strong dynamic instability and thermal instability. (4) Radar features in the strong lightning region show that the echo intensity is maintained above 45 dBz, the wind profile shows that the low level is the east wind, the middle and low level is the west wind, the echo top height is maintained at about 14 km, and the zero velocity line shows an obvious "S" shape.

Keywords

Strong Thunderstorm, Lighting Treasure, Doppler Radar, Parameters of Weather Physics

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

雷暴是江淮地区发生频率较高的灾害性天气之一，多为具有强降水特征的雷暴，产生以负极性闪电为主的放电。江苏省是强对流天气的多发省份，南京市地处江苏省西南部，气候多变，地形复杂，长江横贯其中，形成了南京盛夏季节雷暴多发的特点，属雷灾高度脆弱区。近年来国内对雷暴的研究已做了不少的工作。有的使用气象统计方法，选取与雷暴相关性好的气象因子，作雷暴潜势预报；有的从探测产品着手，分析雷达产品与雷暴生消演变之间的关系[1]；有的研究人员分析雷暴层结特征[2]。随着数值预报技术的发展，数值模拟也成为重要的研究手段[3]，在强对流天气的动力和能量参数方面国内外学者也做了许多研究[4] [5] [6] [7] [8]。强雷暴天气产生的条件，即大气中存在不稳定层结，低层中有丰富的水汽条件加之强的抬升条件，已经为国内外学者所认同[9]。

2014年9月28日15时至29日0时，南京市发生了一次强对流天气过程，多站次出现短时强降水、雷雨大风和冰雹。本文通过常规地面及探空气象资料、环流背景、物理量场，结合多普勒天气雷达资料进行分析，旨在加深对强雷暴天气形成发展机制的认识，深入了解雷暴发生前大气能量结构，为雷暴的潜势预报提供理论依据。

2. 资料来源

选取2014年9月27~28日NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ 6 h一次的再分析资料，南京Z9250多普勒天气雷达2014年9月28日探测资料，观测间隔为6 min。闪电数据来自江苏省闪电定位网，闪电探测仪器为ADTD VLF/LF闪电探测系统。其中不包括云闪，主要监测云地间发生的闪电(即地闪)。

3. 闪电时空分布特征

3.1. 闪电时间特征

本次雷暴过程中全省共出现闪电17,366次，其中南京市出现6938次，包括490次正闪和6448次负闪，负闪占总闪数的93%，密集的负地闪表明对流活动的强盛[10]。其中28日18时至21时闪电频数最

高,最大电流幅值为 185.38 kA,最小为 7.37 kA,平均电流幅值为 36.1 kA。闪电强度集中在 $-50\sim-10$ kA,陡度集中在 $-30\sim 0$ μs 。

3.2. 闪电空间特征

第一次雷电出现在南京市江浦区(118.5°E 、 31.9°N),雷电轨迹呈西北-东南走向。

表 1 为南京市六个辖区的闪电次数和闪电密集时段表。强对流天气集中在北部和中部,除了不稳定能量快速释放以致位于南部的溧水和高淳无充足能量供给之外,还考虑地形抬升作用的影响。

Table 1. Lightning features of six jurisdictions

表 1. 六个辖区的闪电特征

地点	六合区	浦口区	市辖区	江宁区	溧水	高淳
闪电次数	1219	2539	1913	1248	9	10
闪电集中时段	17~21 时	18~22 时	18~23 时	19~23 时	22 时~结束	19~20 时

浦口区境内集丘陵、低山、平原、江河为一体,地形的抬升条件充足,有利于雷暴的发生;市区有长江穿过,又有紫金山、栖霞山等山脉,水汽和地形条件都十分有利;江宁区有山脉带,又有秦淮河纵贯南北,起伏的丘陵山脉为气流抬升提供了动力和热力条件,而河流的贯穿提供了水汽条件。位于北部的六合区在四个区中闪电次数最少,主要是因为其位置偏北,地势开阔,温度较其他各区低,抑制了对流的产生。

4. 环流背景分析

高空形势场

500 hPa, 26~27 日西太平洋副热带高压西伸北抬,脊线压至 32.5°N 以北。受其控制,南京出现持续的高温高湿天气。28 日 08 时至 20 时,西风带上短波槽东移南压,南京处于槽前上升运动区,同时处于副高西北侧的层结不稳定区,有利于雷暴的维持和发展。700 hPa, 27 日 20 时,四川北部有西南涡存在,西南涡前切变线位于南京以北,切变线南部的西风急流加强低层的扰动,把孟加拉湾的暖湿空气输送到江苏地区,低层出现强暖湿空气平流。28 日 12 时,西南涡及切变线向西北方向移动,南京处于切变线南部。9 月 27 日起,850 hPa 0°C 线逐渐南移,28 日 12 时已到达我国东北地区和内蒙古东北部,28 日 20 时冷空气南下入侵江淮地区,冷暖气流与南京地区交汇。

5. 物理量场配置

5.1. 动力条件

5.1.1. 散度

沿 118.7°E (南京站经度)做散度垂直剖面,其中阴影区为负值区,即辐合区。28 日 6 时(图 1(a))南京区域上空 400 hPa~250 hPa 为辐散区,其东南方诱出一强辐合中心。随后正散度和负散度逐步增加,28 日 12 时(图 1(b)) 400 hPa 以上高层存在正值中心,辐散气流明显,低层为辐合区。雷暴发生前,高层辐散、低层辐合的动力耦合使垂直上升运动加强,为强对流天气的出现提供了有利的动力条件。

5.1.2. 垂直风切变

强的垂直风切变能产生强电流的闪电,也有利于雷暴的发展和维持。28 日 12 时, U 风速的最大垂直切变达到 18 m/s。另外, U 风速的垂直切变为正表示风向为西风, V 风速的垂直切变为正表示风向为

南风，即环境风为西南风。在盛夏的南京，西南风经过的地方温度会升高，同时在长江地区增湿，有利于对流天气的形成和发展。

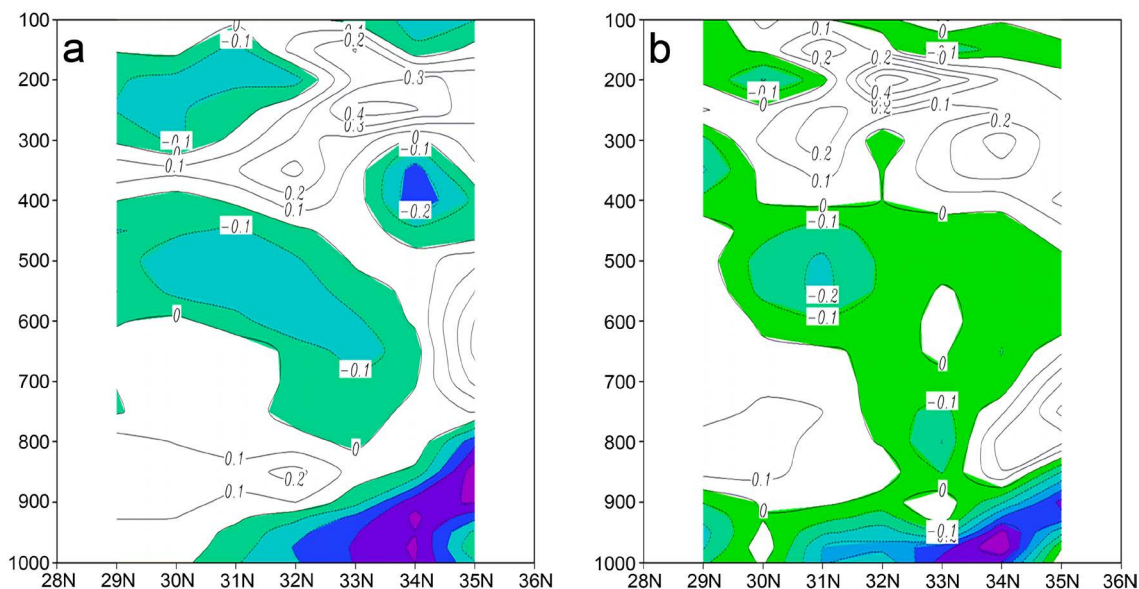


Figure 1. The vertical divergence profile at 6 o'clock (a) and 12 o'clock (b) on the 28th
图 1. 2014 年 9 月 28 日 06 时(a)和 12 时(b)散度垂直剖面图(单位: 10^{-4} s^{-1})

5.2. 水汽条件

28 日 12 时，850 hPa 上强烈上升运动将低层的水汽源源不断地向降水区输送，南京地区水汽通量较大，西北方向有一水汽辐合中心，强西南暖湿气流为雷暴的发生提供了充足的水汽条件。在水汽上升的同时也不断向周围空气释放自身潜热，促进对流更强烈的发展。

5.3. 不稳定条件

5.3.1. 稳定度指数分析

28 日 08 时，K 指数一直大于 35°C ，沙氏指数 SI 为 1.45，大风指数 VV 为 2.5，20 时 K 指数达到 40°C ，SI 降为 -2.71，VV 为快速增长至 21.7，CAPE 达到 995.6 J/kg。说明雷暴发生阶段不稳定层结已经建立，贮存了大量不稳定能量，推动了强对流的发生。

风暴强度指数 SSI 是一种可用于区分强雷暴与非强雷暴的经验物理参数，反映了动力条件对强风暴天气产生的影响。当大气中 CAPE 越强时，SSI 越大，产生强风暴天气的可能性以及风暴强度就越大。可以发现本次过程中 SSI 的演变特征与 CAPE 的演变特征接近一致。所以此次雷暴过程是强热力和强动力不稳定条件共同作用的结果。

5.3.2. 探空资料

由 28 日 20 时 T-LogP 图(图 2)看出，500 hPa 以下均为不稳定层结，状态曲线和露点曲线构成了“上干下湿”的喇叭口形状，是有利于雷雨大风的典型大气环境特征。

6. 雷达资料分析

选取 2014 年 9 月 28 日南京 Z9250 多普勒天气雷达资料对雷暴前两个小时至雷暴结束(即 9 月 28 日 13:00~9 月 29 日 0:00)进行反演。重点分析雷暴发生前、初始阶段和盛期。

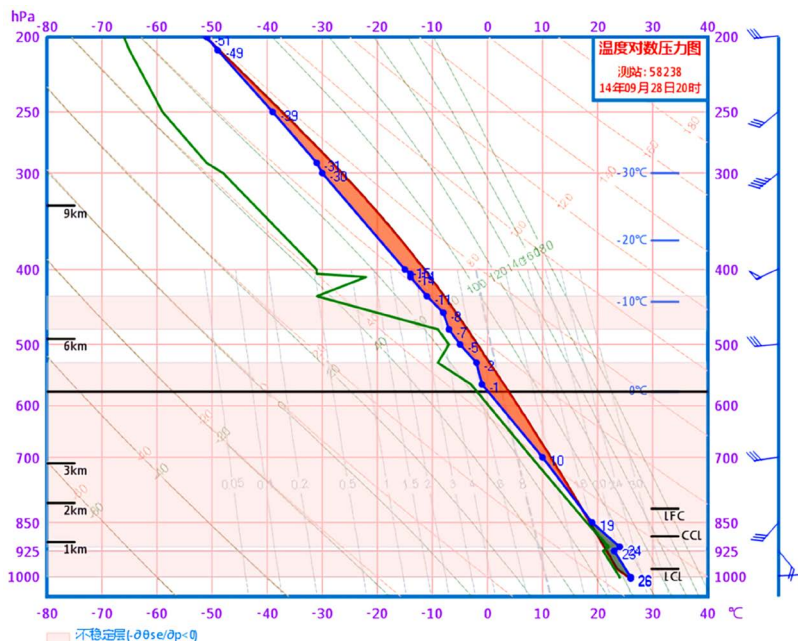


Figure 2. 28日20时 T-LogP 图
 图 2. T-logp graph at 20 o'clock on the 28th

6.1. 回波强度

雷暴的盛期，南京全市回波强度维持在 45 dBz 以上，大值区位于浦口区、市辖区和江宁区，这三个区域也是闪电密集区，说明正、负闪密集区一般同 45 dBz 以上的强回波区有良好的相关性。

6.2. 风廓线

天气雷达风廓线(VWP)产品可以较好的反映大气中的平均干湿状况，对雷暴有着一定的预警作用[11]。图 3 为 9 月 28 日多普勒雷达风廓线图，图中 ND 为无资料区(判断为干区)。雷暴过程中风廓线表现为低层为偏东风，中低层为偏西风，且低层有强烈的风切变，有利于水汽输送和汇集。

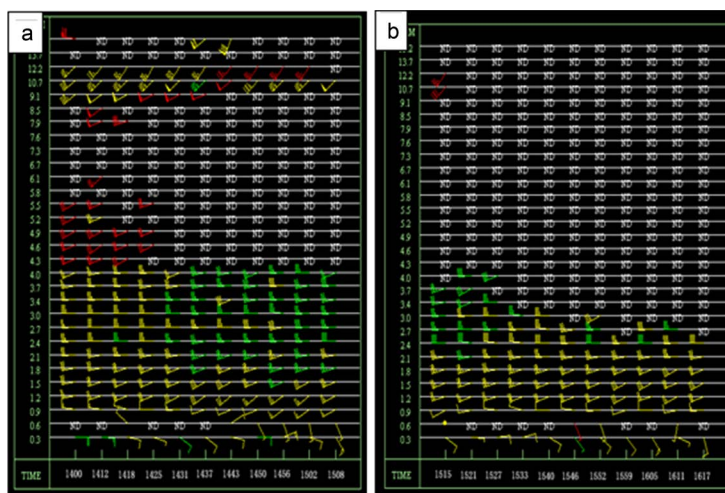


Figure 3. On the 28th, 14:00-15:08 (a), 15:15-16:17 (b) Wind profile drawing
 图 3. 28 日 14:00~15:08 (a)、15:15~16:17 (b)风廓线图

6.3. 回波顶

发展强烈的雷暴往往能发展到较高的高度并产生较多的闪电, 要达到较高的高度必然需要强且持续的上升气流, 而持续的上升气流又为雷暴云中电荷的分离提供了条件, 最大回波顶高度可以从一定程度上反映雷暴的垂直发展情况[12]。雷暴发生前, 南京地区的回波顶高度值逐渐增高, 处于 8~14 km 之间; 初始阶段内, 回波顶高度继续增高, 处于 12.5~15 km 之间; 雷暴盛期, 回波顶高度维持在 14 km 左右。

6.4. 径向速度

从径向速度图(仰角为 1.5)进行分析得到: 28 日 14:30 之前, 速度正区回波集中在雷达 25 km 距离圈内, 之后回波范围逐渐扩大到 75 km, 15:15 雷暴发生后扩大到 100 km, 可见对流回波发展速度之快。零速度线呈明显的“S”形, 高层呈反“S”形, 上冷下暖的结构有利于强对流的发展, 与探空资料的分析结果一致。

7. 总结与讨论

(1) 雷暴发生前持续的高温高湿天气使不稳定能量大量累积是此次雷暴的前期条件, 冷空气南下释放了不稳定能量是此次雷暴的诱发因素。强烈的垂直运动、充足的水汽条件及大气不稳定层结为雷暴天气的发生提供了必要条件。

(2) 闪电以负闪为主, 占 93%。雷电轨迹呈西北-东南走向, 强对流天气集中在北部和中部, 其中中西部为大值区, 溧水和高淳的闪电次数远远小于其他四个区域。

(3) 在雷暴发生前, 高层辐散、低层辐合的配置有利于垂直运动的维持和发展, 为强对流提供了动力条件。南京地区有强西南暖湿气流, 大量水汽被输送至南京上空, 提供了充足的水汽条件。

(4) 稳定度指数数值的变化均证明雷暴发生前存在不稳定层结, 为强对流天气过程的发生贮存了大量不稳定能量, 推动了雷暴的发生。

(5) 本次雷暴过程中雷达回波强度大值区位于浦口区、市辖区、江宁区, 强度值维持在 45 dBz 以上。风廓线图上表现为低层为偏东风或东南风, 中低层为西风或西南风, 低层有强烈的风切变。回波顶高度值维持在 14 km 以上, 零速度线呈明显的“S”形。

参考文献

- [1] 陈渭民. 雷电学原理[M]. 北京: 气象出版社, 2003.
- [2] 靳世强. 7.25 雷暴天气的雷达产品分析[J]. 青海气象, 2006(2): 9-11.
- [3] 张翠华. 青藏高原雷暴天气层结特征分析[J]. 高原气象, 2005(24): 741-747.
- [4] 于华英. 一次强对流过程的三维数值模拟[J]. 大气科学学报, 2016, 29(3): 305-313.
- [5] Davies-Jones, R. (1984) Stream Wise Velocity: The Origin of Updraft Rotation in Super Cell Storms. *Journal of the Atmospheric Sciences*, **41**, 2991-3006. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1984\)041<2991:SVTOOU>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1984)041<2991:SVTOOU>2.0.CO;2)
- [6] Turcotte, V. and Vigneux, D. (1987) Severe Thunderstorms and Hail Forecasting Using Derived Parameters from Standard RAOBS Data. *2nd Workshop on Operational Meteorology*, Halifax, NS, Canada, Atmospheric Environment Service/Canadian Meteor and Oceanogr Society, 142.
- [7] 周后福. 基于稳定度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.
- [8] 郑栋. 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.
- [9] 高菊霞. 陕西大范围雷暴 850hPa 能流场特征分析[J]. 陕西气象, 2007(2): 29-32.
- [10] 刘若冰. 江苏省南京地区 1 次强雷暴天气过程分析[J]. 安徽农业科学, 2009(2): 746-750.
- [11] 冯桂力. 雹暴的闪电活动特征与降水结构研究[J]. 中国科学, 2007, 37(1): 123-132.
- [12] 付志康. 南京地区夏季雷暴的雷达雷电特征分析[J]. 气象科学, 2010, 30(6): 841-845.