拉萨春季一次雷暴天气过程分析

何晓红 林志强 罗布坚参 唐叔乙 次仁德吉

(西藏自治区气象局气象台,拉萨 850000)

提 要:利用拉萨多普勒天气雷达、闪电定位仪、欧洲中心500hPa分析场及常规观测等资料,对2008年4月27—28日发生在拉萨的雷暴天气的环境条件和雷达回波特征进行了综合分析。结果表明:这次雷暴过程是在乌拉尔山冷空气南下,加剧了高原低涡切变辐合上升运动的发展,大气层结极不稳定的条件下产生的;雷达径向速度图和VAD风廓线均显示出非常明显的低层暖平流结构、低空急流及垂直风切变特征;γ中尺度气旋式涡旋扰动与环境垂直风切变的相互作用,导致雷暴云发展,回波顶增高,40dBz回波顶高伸展到7.0km左右;CAPE值、垂直风切变、γ中尺度气旋性扰动以及低层暖平流对拉萨雷暴天气预警、预报具有指示意义,给出了拉萨雷暴天气预报思路与着眼点。

关键词:雷暴 闪电频数 电流幅值 对流不稳定 雷达回波

Analysis of Spring Thunderstorm Process in Lhasa

He Xiaohong Lin Zhiqiang Luo Bujiancan Tang Shuyi Cirendeji

(Tibet Meteorological Observatory, Lhasa 850000)

Abstract: The weather environments and radar echo features of thunderstorm occurred on April 27th and 28th 2008 in Lhasa are analyzed by using Doppler radar data, lightning data and ECMWF data and conventional meteorological data and so on. The result showed that this thunderstorm in Lhasa was engendered by the cold air which came southward from Ural and strengthened the development of the unstable level and turbulence in Lhasa. Radial velocity map and VAD wind profiler both showed that there were obviously the low-level warm advection structure, low-level jet and vertical wind shears. The interaction between the γ-mesoscale cyclonic vortex disturbance and the environment vertical wind shears led to the developments of thunderstorm cloud and rising of echo top, of which the height of echo of 40 dBz reached to 7 km. The value of CAPE, the γ-mesoscale cyclonic vortex disturbance, vertical wind shears and low-level warm advection structure are good indices to the forecasting and

收稿日期:2008年9月17日; 修定稿日期:2009年2月18日

warning of Lhasa thunderstorm. This paper gives the notion and the emphasis of the forecasting of thunderstorm in Lhasa.

Key Words: thunderstorm lightning flash frequency electricity extent convective instability radar echo

引 言

“雷暴”即积雨云中所发生的雷电交作的激烈放电现象[1]。西藏地处青藏高原，是雷暴灾害的高发区，雷暴日数较同纬度我国东部地区多1～4倍；西藏高原雷暴日数的85%～90%集中出现在5—9月[10]，而在春季出现雷暴天气的概率较小。西藏每年因雷电灾害造成的人员和牲畜死亡及引起的火灾、电子和通讯设备遭到破坏的事故频繁发生，给国家和人民生命财产带来了巨大的损失。仅2008年西藏因雷电灾害就造成10人死亡。因此对西藏高原雷暴天气，尤其是春季雷暴这种小概率天气事件的预报和分析研究尤为重要。随着近年闪电定位系统、新一代多普勒天气雷达等探测设备逐步投入业务，许多学者和专家对雷暴已开展了许多研究工作[2-7]；但截止到目前为止，尚未见有关西藏雷暴天气的研究报告。针对这种状况，本文利用欧洲中心500hPa分析场资料、常规观测资料及拉萨多普勒天气雷达资料等，对拉萨2008年4月27—28日发生的雷暴天气的环境条件和雷达回波特征等进行了综合分析，试图揭示雷暴天气形成的天气学成因及雷达回波特征等，为拉萨雷暴天气的预报提供参考依据和思路，对西藏高原雷暴天气的预报、预警以及雷电灾害的有效防御都具有十分重要的意义。

1 天气过程概述

2008年4月27日21:25(北京时，下同)至28日14:08拉萨出现雷暴天气，雷暴过程中降雨强度较弱，过程降水量2.7mm；雷电发生频率高。

分析拉萨各时次的观测资料，发现在雷暴天气过程中，雷电主要出现在27日22:17—22:23、28日03:44—04:05和09:09三个时段(见表1)。

表1 2008年4月27—28日拉萨观测资料

	雷电	阵雨	阵雨夹雪
时段	27日22:17—22:23	21:25—21:29	23:42—00:23
	28日03:44—04:05	03:50—03:58	01:12—02:05
	28日09:09	05:38—12:10	
		13:34—14:08	

雷暴过程中共出现闪电1014次，其中正闪538次，负闪476次，正、负闪数基本相当。从图1可见，拉萨日闪电活动呈单峰型分布，21—24时闪电频数最高。闪电电流平均幅

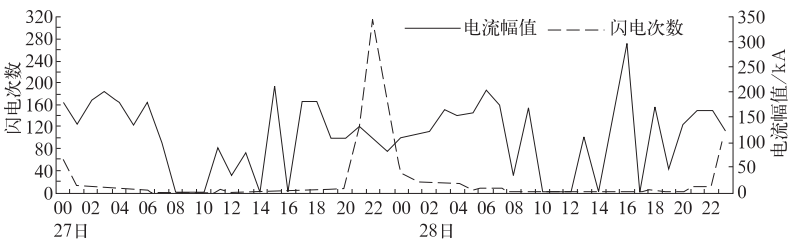


图1 拉萨2008年4月27—28日各时次闪电频数和电流幅值

值 111.9kA,最大电流幅值 297.9kA,最小电流幅值 4.9kA。日最大电流幅值出现在 27 日 15 时和 28 日 16 时(见图 1),而这两时段闪电频数均为最少;21—24 时闪电频数最高,但电流幅值较弱,均在平均值以下,这可能是由于放电次数过多,导致云中电荷不能累积过大,从而形成了较多的相对较弱的闪电[2]。

从雷电轨迹(图略)分析可知,最早雷电主要出现在 90.8°E 以西,28.5°N 以南区域,即:拉萨(29.67°N、91.13°E)的西南方,之后逐渐东移、北抬移出拉萨市区。本次雷暴天气过程中雷电轨迹呈西南—东北走向。

2　大尺度环流形势和影响系统

2008 年 4 月 26 日 500hPa 天气形势图上,欧亚大陆呈两槽一脊型,拉萨处于贝加尔湖高压脊底部的西南暖湿气流中,乌拉尔山附近的长波槽不断向南输送干冷空气影响西藏高原。27 日 08 时 500hPa 环流形势图上,西藏高原出现暖性低涡切变(见图 2)。之后随着冷空气的继续扩散南下,低涡切变南压到雅鲁藏布江河谷地区(拉萨地处雅江河谷中游),使雅江河谷地区产生辐合上升运动。27 日 20 时拉萨风向从西南转为偏北,说明干冷空气已输送至拉萨上空,在拉萨形成低层暖湿,中高层干冷的位势不稳定层结,有利于对流发展,导致上升运动在拉萨进一步加强。高空槽所带来的冷空气是此次雷暴天气的主要触发机制。高原低涡切变是雷暴天气的主要影响系统。

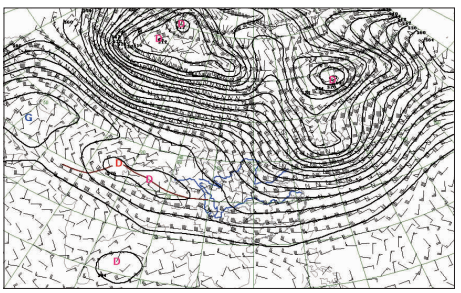


图 2　2008 年 4 月 27 日 08 时 500hPa 形势。

3　拉萨单站气象要素变化特征

分析 2008 年 4 月 26 日 08 时至 29 日 20 时的拉萨探空资料(图 3),2008 年 4 月 26 日 08 时近地面边界层及 400hPa 附近存在逆温层,使不稳定能量得到积累和储存,地面至 6km 之间出现较弱的垂直风切变,地面至 6km 之间风矢量之差的绝对值为 5.9m·s^{-1}。26 日 20 时地面至 6km 之间风矢量之差的绝对值增至 7.8m·s^{-1},湍流运动加强,促使对流发展。大气层结从稳定变得不稳定,湿对流不稳定能量为 4.6J·kg^{-1},逆温层消失(表 2)。400hPa 以下风向随高度呈顺时针旋转,表明低层有暖平流活动。27 日 20 时 100hPa 以上的高层出现冷平流,使层结不稳定进一步发展,CAPE 值跃增至 146.2J·kg^{-1},地面至 6km 之间风矢量之差的绝对值达到 8.3 m·s^{-1}。28 日 08 时 CAPE 最大,达 340.1 J·kg^{-1}。之后,随着雷暴过程的发生,不稳定能量得到释放,同时 300～250hPa 再次出现逆温层,对流运动受到抑制,垂直风切变减弱,CAPE 值减小,雷暴天气结束。

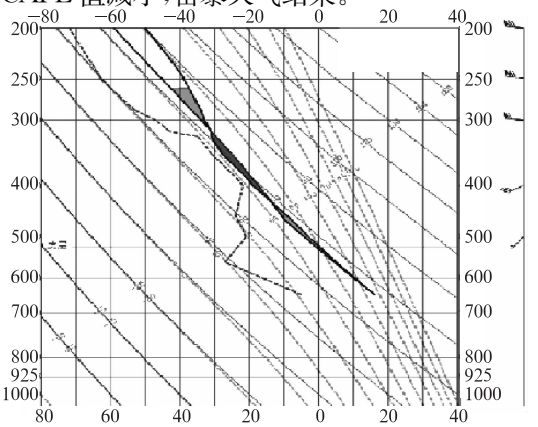


图 3　2008 年 4 月 27 日 20 时拉萨探空站 T-log$p$ 图

在雷暴前、后CAPE值和地面至6km之间风矢量之差的绝对值存在明显的日变化，即：08时较弱，20时增强。雷暴过程中CAPE值的日变化被打破，地面至6km之间风矢量之差的绝对值的日变化也明显减小(见表2)。

综上分析，雷暴前首先是地面至6km之间出现垂直风切变，并在36小时内垂直风切变两次增大，CAPE值较雷暴天气提前1.5小时出现跃增，因此CAPE值和地面至6km之间垂直风切变均对拉萨雷暴天气的预警、预报具有较好的指示意义。本次过程中地面至6km之间垂直风切变较弱，可能是只出现了一般性雷暴，而未形成强雷暴的原因之一。

表2 2008年4月26—29日拉萨CAPE值和垂直风切变的演变

	26日08时	26日20时	27日08时	27日20时	28日08时	28日20时	29日08时	29日20时
CAPE值/J·kg^{-1}	0	4.6	0	146.2	340.1	295.4	85.7	60
地面至6km风矢量差/m·s^{-1}	5.9	7.8	6.4	8.3	7.4	8.3	4.0	5.7

4 拉萨多普勒天气雷达资料分析

由于山脉的阻挡，拉萨多普勒雷达(型号：CINRAD/CD)有效观测范围大约在东西50km、南北25km范围内；仰角3.4°以下杂波较多，图像清晰度差。因此文中注重分析了25km观测范围内3.4°至19.5°仰角的雷达回波特征。

4.1 径向速度回波特征

4.1.1 气旋性涡旋扰动

对多普勒天气雷达径向速度场的分析和应用，为雷暴等强对流天气的临近预报开辟了一个崭新的领域[3]。分析27—28日拉萨雷达站的多普勒径向速度图，27日21：08仰角3.4°，观测范围25km，拉萨测站的东北偏东，斜距10km、高度0.6km处开始出现回波，并以10m·s^{-1}的速度移向雷达。同时仰角14.6°回波中，测站的西至西北，大片向着雷达的速度区中出现离开雷达的速度区域，表明有γ中尺度涡旋在该区域发展。至27日22：19在拉萨的西北方、斜距10km、高度0.7至1.7km范围内观测到一正、负速度对，且沿雷达径向方向最大入流速度位于左侧，表明在该区域内有γ中尺度的气旋性旋转存在，核区直径(最大流入速度V_{in}与最大流出速度V_{out}间的距离)3.9km左右，旋转速度(即最大入流速度和最大出流速度绝对值之和的二分之一)7.0m·s^{-1}；垂直伸展厚度约1km；从27日22：19到27日22：25持续时间达两个体扫(图4a、b，见彩页)。由于旋转速度小于12m·s^{-1}，垂直伸展厚度不足3km，尚未达到中尺度气旋标准[4-5]，但至少在该区域的确存在γ中尺度气旋性扰动。

4.1.2 暖平流

自27日21：08仰角9.89°，观测范围25km，高度2.5km以下为东北风，高度2.5～4.3km为西南风，对流层中下层风向随高度出现顺时针旋转，表明有暖平流结构存在(图4c，见彩页)。之后暖平流结构一直维持，至28日14：10时暖平流结构减弱消失，持续约16小时。暖平流结构在拉萨27日08时的探空曲线分析中也很明显。这种风场特征有利于水汽的辐合抬升和低层水汽的水平输送[6]。

4.1.3 垂直风切变

27日22：25仰角14.6°，观测范围25km，高度1.2km以下为东南风，风速10～14m·s^{-1}。高度1.2～2.5km为东北偏北风，风速7～10m·s^{-1}。在垂直方向对流层下层出现东南风与偏北风之间的垂直风切变

(图 4d,见彩页),大约维持了三个体扫。图 5 是用 VAD[5]技术反演的风向、风速随时间的垂直变化。可见 27 日 22:25 海拔高度 6.1～6.7km 出现东南风与东北风之间的垂直风切变,随后一直维持到 22:44,持续时间 20 分钟左右。

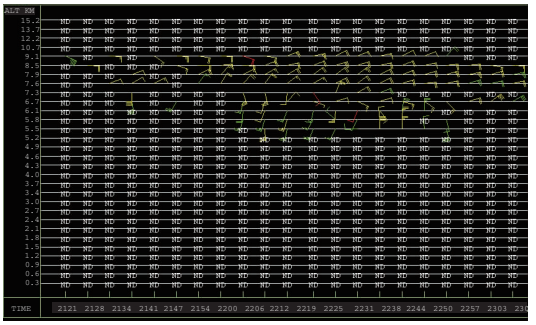


图 5　2008 年 4 月 27 日 21:21—23:35VAD 风廓线(VWP)图

4.1.4　急流

27日22:25仰角3.4°,观测范围25km,测站的西南偏西,斜距 7.5km,高度 1.8～3.5km 处观测到一低空急流,风向东北偏东风。在随后的 10 分钟迅速发展,至 22:38 最大风速为 14～17m·s^{-1}(图 4b,见彩页),随后在22:57左右减弱消失,持续了近 40 分钟。由图 5 也可以看到在海拔高度 6.7～9.1km 之间,存在东北偏东风急流,低空急流大致在 27 日 22 :00 建立,维持到 22 :44,大约持续 45 分钟左右,之后随着时间的推移,低空急流逐渐减弱消失。

4.2　回波顶高度

应用拉萨 27—28 日探空资料进行线性插值,得到拉萨的 0℃层高度在 3.02～5.86 km,－20℃等温线高度在 7.14～7.94km,雷暴过程中 0℃层高度出现明显下降(见表 3)。从 0℃、－20℃高度与雷暴过程不同强度的回波达到的高度的对比分析可见(见表 3),雷暴过程强回波顶高都在 0℃等温线以上;20dBz、30dBz、40dBz 的反射率因子的高度都出现明显的增高,但不同强度反射率因子的高度都位于 7km 及以下,均未达到－20℃等温线高度。说明虽然有对流上升运动,但强度不大,不利于强雷暴的发生[8-10]。

表 3　拉萨探空站 0℃、－20℃的高度与雷暴过程不同强度的回波达到的高度

时间	探空高度/m		时间	强回波顶高度/km		
	0℃	－20℃		20dBz	30dBz	40dBz
2008－04－26T0700	4980	7780	2008－04－27－21:08	6.0	4.0	3.0
2008－04－26T1900	5862	7938	2008－04－27－22:19	7.0	6.0	5.0
2008－04－27T0700	4206	7779	2008－04－27－22:25	7.0	7.0	4.0
2008－04－27T1900	5040	7598	2008－04－27－22:31	7.0	7.0	3.0
2008－04－28T0700	3020	7301	2008－04－27－23:48	7.0	7.0	6.0
2008－04－28T1900	4290	7450	2008－04－28－00:08	7.0	7.0	5.0
2008－04－29T0700	3180	7145	2008－04－28－13:45	7.0	7.0	7.0
2008－04－29T1900	4363	7343	2008－04－28－14:03	7.0	7.0	6.0

4.3　雷达回波特征与雷暴天气之间的关系

这次拉萨雷暴天气的发生、发展和维持,与γ中尺度的气旋性扰动、暖平流结构、垂直风切变、急流以及回波顶高度的关系较为密切。对应上述天气实况和闪电资料的分析结论,γ中尺度的气旋性扰动、垂直风切变和低空急流持续期间拉萨雷电最为剧烈,γ中尺度气旋性扰动和低层暖平流结构较雷电提前 10～20 分钟出现,对雷电具有一定的预警能力。

但是从上述拉萨雷达资料的分析,只观测到了γ中尺度的气旋性扰动,未发展成中尺度气旋;且回波顶高偏低,均未达到－20℃等温线高度;有低空急流存在,但风向为东北

偏东，低空急流自身的水汽条件较差。因此虽然有对流上升运动，但强度弱；不利于强雷暴的发生。与拉萨只出现了一般性雷暴天气的实况吻合。

5 结论

通过对2008年4月27—28日发生在拉萨的雷暴天气进行综合分析，得到如下结论：

（1）2008年4月27—28日出现在拉萨的雷暴天气属一般性雷暴天气。日闪电活动呈单峰型分布；闪电电流幅值与闪电频数呈反相关；雷电轨迹呈西南—东北走向。

（2）雷暴发生前后，乌拉尔山长波槽不断向西藏高原输送干冷空气，加剧了高原低涡切变辐合上升运动的发展，有利于不稳定大气层结的建立。此时拉萨站对应的湿对流不稳定能量（CAPE值）在146～340J·kg^{-1}之间。地面至6km之间垂直风切变8m·s^{-1}左右。22:25根据拉萨多普勒天气雷达VAD风廓线得到6.1～6.7km之间存在明显的垂直风切变。CAPE值和垂直风切变有利于湍流运动的发展及雷暴的产生。

（3）雷暴过程中径向速度图显示出非常明显的低层暖平流结构与低空急流。利于水汽的辐合抬升和低层水汽的水平输送。

（4）该雷暴期间γ中尺度的气旋式涡旋扰动与环境垂直风切变的相互作用，导致雷暴云发展，回波顶高增高，40dBz的回波顶高伸展到7.0km左右。

（5）本次雷暴过程中由于回波强度较弱，回波顶高偏低，均未达到－20℃等温线高度；且γ中尺度的气旋性扰动，未发展成中尺度气旋；存在东北偏东风急流，但自身的水汽条件较差；低层垂直风切变弱，不利于强雷暴天气的发生。

参考文献

[1] 朱乾根，林锦瑞，寿绍文. 天气学原理和方法[M]. 北京：气象出版社，1981：281-286.

[2] 林巧美，陈裕强，陈裕壮，等. 一次雷击事故的天气形势及成因[J]. 广东气象，2008，30(1)：50-52.

[3] 刘洪恩. 单多普勒天气雷达在暴雨临近预报中的应用[J]. 气象，2001，27(12)：17-22.

[4] 俞小鼎，姚秀萍，熊廷南. 多普勒天气雷达原理与业务应用[M]. 北京：气象出版社，2006，1-314.

[5] 俞小鼎. 新一代天气雷达业务应用论文集[G]. 北京：气象出版社，2008，1-472.

[6] 王彦，吕江津，周海光，等. 暴雨的多普勒天气雷达速度辐合风场特征[J]. 气象，2008，34(3)：63-68.

[7] 王丽荣，胡志群，汤达章，等. 多普勒雷达径向速度资料在对流天气预报中的应用[J]. 气象科学，2007，27(6)：695-701.

[8] 张培昌，杜秉玉，戴铁丕. 雷达气象学[M]. 北京：气象出版社，2001：388-478.

[9] 寿绍文，励申申，王善华，等. 天气学分析[M]. 北京：气象出版社，2002：148-181.

[10] 戴加洗. 青藏高原气候[M]. 北京：气象出版社，1990.

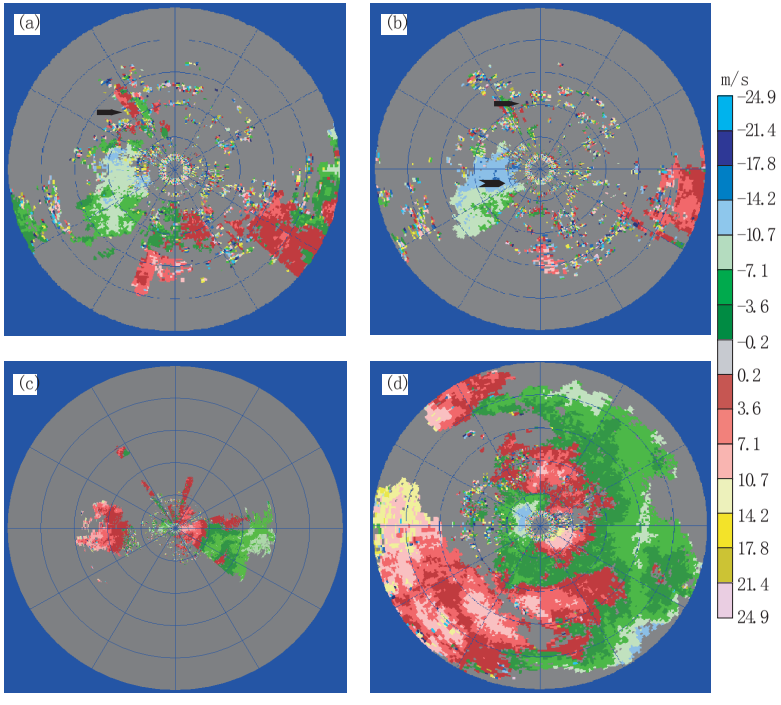


图 4　拉萨雷达径向速度回波图例

(a)27日22:19时6.0°仰角25km观测范围；(b) 27日22:25时6.0°仰角25km观测范围；(c) 28日00:07时9.89°仰角75km观测范围；(d) 27日22:25时14.6°仰角25km观测范围

“红色”表示朝向雷达的方向，即：入流方向

“➡”表示中γ尺度气旋性涡旋扰动所在位置“绿色”表示离开雷达的方向，即：出流方向“➡”表示低空急流所在位置