

Analysis of formation mechanism of rare heavy snowfall in Lazhi spring

Lunzhuzhuoma¹ Luo Zhui^{1*} Purbucangmujue² Jiahui Shen³

1. Xizang Lazi County Meteorological Bureau, Lazi, Xizang, 858100, China

2. Xizang Shenzha County Meteorological Bureau, Shenzha, Xizang, 853100, China

3. Xizang Jangzi County Meteorological Bureau, Jangzi, Xizang, 853100, China

Abstract

This study analyzed the extreme characteristics and formation mechanisms of the rare spring heavy snowfall event (April 27-29, 2025) in Xizang Laz, utilizing MICAPS routine data, radiosonde observations, Doppler weather radar, and EC reanalysis. Results indicate that moisture transport during the snowfall primarily originated from mid-to-low level air masses supplied by warm moist air currents preceding the 500hPa southwest trough. Geographical factors facilitated the uplift of mid-upper level southwest air currents. The snowfall occurred during a period when cold advection at 850hPa began to weaken while warm advection intensified at 700hPa, representing a typical backflow snowfall pattern. The temperature and precipitation phase transition showed stronger correlation between 925-1000hPa pressure levels, with temperature profiler data effectively reflecting vertical boundary layer temperature distribution during phase transitions. Notable temperature fluctuations were observed in urban and suburban boundary layers before and after snowfall events.

Keywords

West wind trough; spring; snowfall process; temperature drop

拉孜春季罕见强降雪天气过程形成机制分析

伦珠卓玛¹ 落追^{1*} 普布仓木决² 沈家辉³

1. 西藏自治区拉孜县气象局, 中国·西藏 拉孜 858100

2. 西藏自治区申扎县气象局, 中国·西藏 申扎 853100

3. 西藏自治区江孜县气象局, 中国·西藏 江孜 853100

摘要

利用MICAPS常规资料, 探空资料、多普勒天气雷达、EC再分析等观测资料, 分析了2025年4月27—29日, 西藏拉孜春季罕见强降雪天气过程的极端性及形成机制。结果表明: 降雪过程的水汽输送主要来自于中低层, 由500hPa西南槽前暖湿气流提供; 加上地理作用, 有利于中高层西南气流的抬升; 降雪天气发生在850hPa冷平流开始减弱, 700hPa暖平流增强的时段内, 是典型的回流降雪形势; 925~1000hPa的温度和降水相态的转变相关性更好, 温度廓线仪资料较好反应降水相态转变时边界层温度的垂直分布; 出现降雪前后市区和郊区边界层内的温差变化明显。

关键词

西风槽; 春季; 降雪过程; 降温

1 引言

由于全球气候持续变暖, 极端和灾害性天气事件的发生频率显著增加。这些天气现象不仅对人类的生活安全造成了广泛影响, 还通过连锁反应引发了更为严重的自然灾害。而青藏高原的气候变化对我国乃至全球的气候演变都具有

【课题项目】西藏首部双偏振X波段天气雷达对预报预警业务中的作用及效益分析(项目编号: XZ202401ZR0020)。

【作者简介】伦珠卓玛(1996—), 女, 藏族, 中国西藏人, 本科, 助理工程师, 从事气象服务与气候变化研究。

深远的影响。因此, 要分析总结青藏高原区域内极端、灾害性气象事件, 揭秘全球气候演变特征对精准精细做好气象防灾减灾救灾工作具有重要意义。近年来, 国内诸多学者对降雪天气过程的成因及特征等方面进行了研究, 王超等【1】研究1979—2013年的降雪天数比例变化特征分析, 揭示近35年西藏地区雪水天数比总体呈现显著下降趋势; 而对于春季雅鲁藏布江一带降雪过程中受于本地气候特征, 加上明显外来水汽输送, 春季整体降水较少【2】; 近年来, 国内很多学者也对地方春季降雪过程形成机制进行了分析总结【5-9】。对于西藏雅鲁藏布江一带春季极端降雪的研究较少, 加上拉孜县独特的地理位置及气候特征, 降水量级分布具有

很大的差异性,降雪次数更是甚少,本文利用常规资料、地面观测资料、探空资料、X波段双偏振多普勒天气雷达资料等对两次降雪过程成因及演变过程进行分析,总结出春季不同降雪过程关联性。以期为拉孜乃至青藏高原春季极端降雪预报提供有益参考,提高对春季降雪的预报能力。

2 降雪过程天气实况

今年上半年西藏拉孜具有降水显著偏多,气温偏高的气候特征,其中2025年4月内区域内更是出现了罕见的春季降雪天气过程,特别是4月28至29日全区内出现了较强的降雪天气,而西藏拉孜县域降雪天气从28日07时开始,29日12时结束,最大积雪量达8cm左右,加上雪后强冷空气入侵,29日早上各乡镇最低气温在 $-6.5\sim-0.1^{\circ}\text{C}$ 之间。

3 环流背景及系统分析

2025年4月27日08时500hpa环流场来看(图略),整个环流场为两槽一脊型,此时青藏高原位于西风槽内,在阿里西南侧有个槽线,之后西风槽持续的东移南压,从27-28日500hpa环流场演变形势来看(图1ab),27日20时雅江一线北侧上空有冷式切变线,拉孜区域内主要受西南

风影响,28日02时那曲东侧有个辅合区,之后28日西风槽持续东移南压,那曲东侧冷切慢慢东移南压,28日14时(图略)拉孜上空形成东南和西北的冷式切变线,17时切变线东移南压,整个压在拉孜区域内,28日20时(图略)这个系统东移南压,拉孜上空切变线加强,28日23时(图略)西风槽南压东移,拉孜区域内主要受东北风控制,29日02时(图略)起开始持续东移减弱,拉孜区域内整体位于槽后受东北冷空气控制。

4 物理量分析

4.1 水汽条件

从4月27日至29日期间比湿(图2a)和相对湿度(图2b)来看水汽条件的话,4月27日上午拉孜上空比湿条件达 $2\sim 3\text{g/kg}$,午后开始减弱,28日05时拉孜区域内整体比湿条件逐步变好,28日14时至23时区域内比湿达 $3\sim 4\text{g/kg}$,29日凌晨开始逐步减弱;而期间的相对湿度剖面图来看,27日下午至29日上午期间450—250hpa的相对湿度在85%—95%之间,加上28日09时至19时期间整层水汽条件和抬升条件配置良好,最大垂直速度达 -1.2pa/s ,更加有利于降雪天气的发生发展。

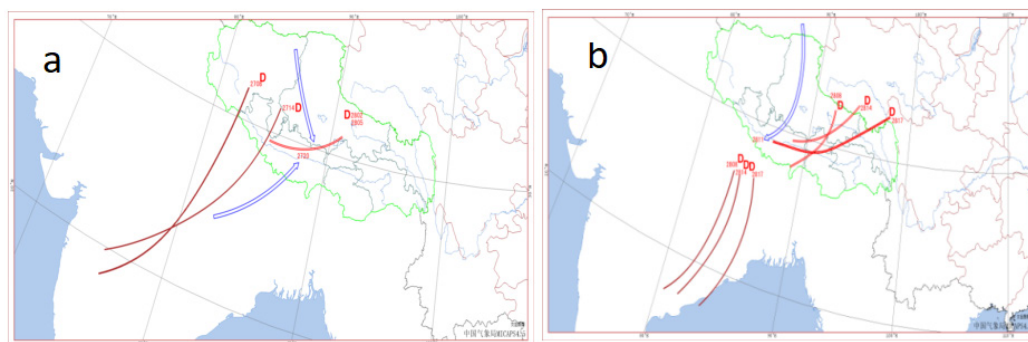


图1 2025年4月27日08:00–29日05:00中尺度环流场

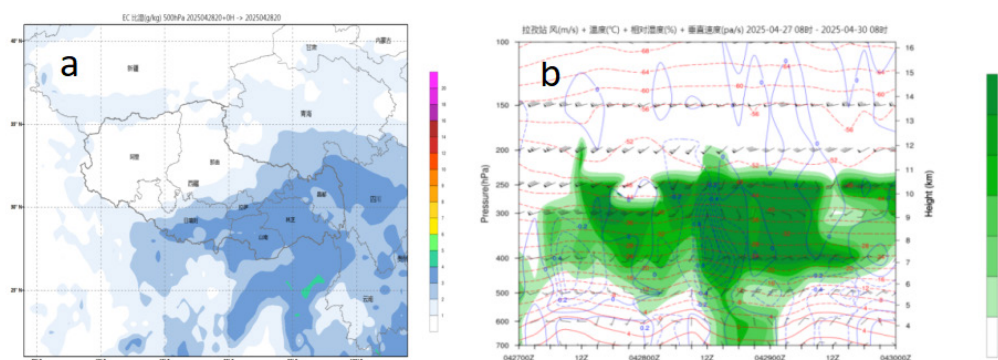


图2 2025年4月28日20:00比湿(a); 4月27日08:00–30日08:00(b)湿层剖面图

4.2 动力条件

4月27日至29日过程期间动力抬升条件来看,图4a看出,27日20时昂仁北部具有较强的辅合抬升作用,拉孜一带散度值在 $-1(1/\text{s})$ 左右,之后开始逐步加强,到28日

20时拉孜整个区域内散度值均达 $-1.5(1/\text{s})$ 左右,具有较强的辐合抬升作用,23时起开始减弱,整层进行辅散下沉,开始出现降雪。另外从27日20时降水EFI指数来看(图4b),对雅江一线累计降水极端指数报了 $0.7\sim 0.9$ 。

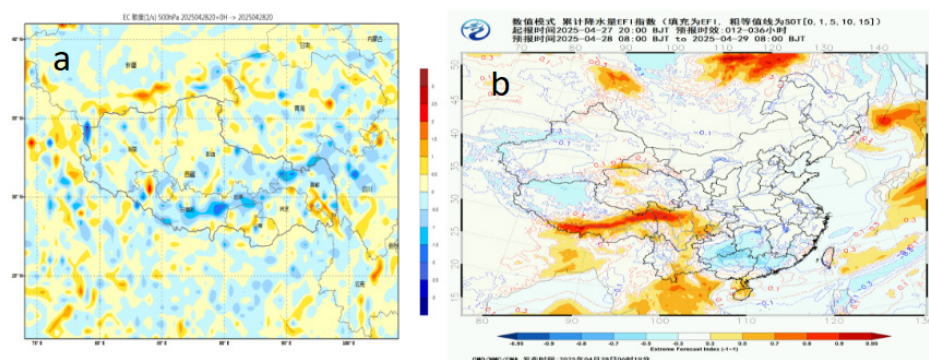


图3 2025年4月28日20:00散度(a)和4月27日20:00起报累计降水量EFI指数图(b)

5 探空资料分析

利用27日至29日定日站探空 T-logP 图(图5)对2025年春季强降雪天气过程的不稳定条件进行分析。其中27日20时(图略), 600—200 hPa 为偏西南风, 28日08时(图5a), 600—500 hPa 为西南风-东南风-东北风的冷平流, 温度层结为逆温-减温结构, 中高层大气湿冷, 上层减温层强度达 $6-9^{\circ}\text{C}/\text{km}$, 中高层的层结曲线接近重合, 空中水汽较充沛, 0°C 层高度位于 4489m, 低于抬升凝结高度(5230.2m), 高于自由对流 ga(4353.9m), 加上对流有效位能并不大, 对28日午后至夜间主要降水过程埋下伏笔。28日20时(图5b), 整层水汽条件变好加上温度都小于 0°C , 600-400hPa 为西北风-东北风-西南风-东南风的暖平流,

且出现温度露点差“湿-干-湿-干”结构, 提升凝结高度(4560.1m)高于 0°C 层高度, 利于冰晶雪花的生成。29日08时(图略), 由于对流中层偏北干冷空气加强, 600-200hPa 风向为西风-西北风-东北风-西北风-东北风-东南风-西南风的风随高度逆转, 具有较强的冷平流, 使得整层气温再次降低, 底层温度层结变得更加复杂, 形成“逆温-减温-逆温-减温”形势。28日两个时次探空图, 对流中层中露点和温度层结曲线特别接近, 说明在中层上空气接近饱和, 水汽较充沛, 有利于对28日降雪过程发生发展。28日20时和29日08时, 受系统东移, 对流层中有明显的干冷空气入侵, 整层大气温度都 $\leq 0^{\circ}\text{C}$, 降水相态雨夹雪转雪为主, 同时饱和区顶高降低, 抬升凝结高度有所上升, 预示着降水减弱。

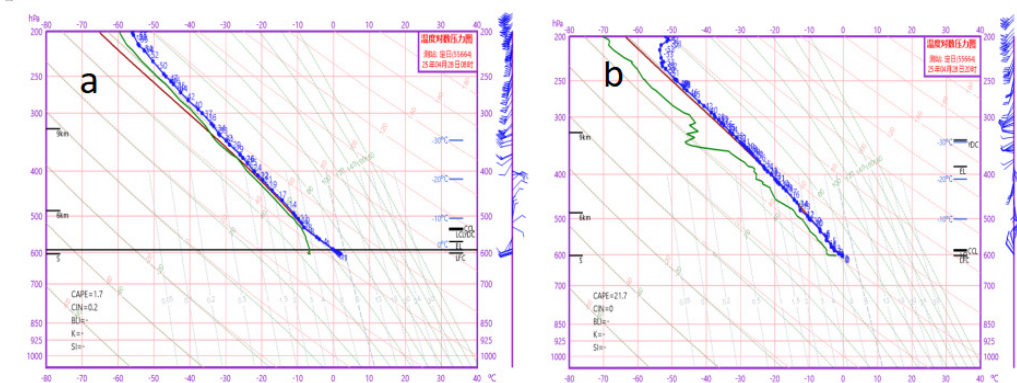


图5 定日站 T-logP 图:(a)28日08:00; (b)28日20:00

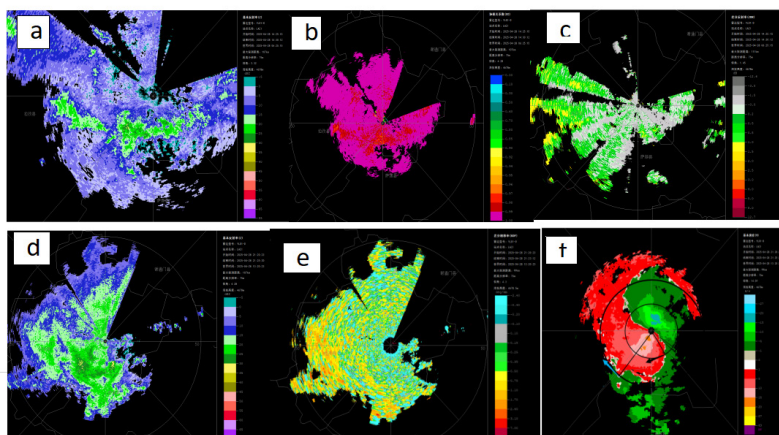
6 雷达产品分析

由于拉孜独特的地理分布及气候特征, 使得天气变化具有明显的局地性小气候特征, 而 X 波段天气雷达以其高分辨率、高精度和实时性强的特点, 能够有效识别并追踪西藏灾害性天气系统, 因而在西藏灾害性天气预报服务中得到了广泛应用【10】。此次过程从2025年4月27日开始酝酿, 27日夜间出现了阵雪或雨夹雪天气, 雷达各要素都不是很明显, 从28日07:00开始降水加强, 且相态演变复杂, 由28日07:20起拉孜双偏振 X 波段雷达基本发射率增大, 整

个降水落区变广和强度变大, 最大回波强度在 $25\sim 35\text{dBz}$, 但整体反射率空间梯度不是很大, 回波分布也均匀(图略), 芒普乡和查务乡等位于雷达西南侧一带的差分反射率 $\geq 1.5\text{dB}$ (图略), 协相关系数为大于等于 0.97(图略), 实况天气也出现了冰晶和雪花, 而其他和萨迦北部一带均以雨夹雪相态混合降水天气刚好对应。到 14:30(图6a)拉孜整体降水云系变厚变广, 刚好降水粒子数密度及直径变大后降水相态由混合转为湿雪, 而北部和南部高海拔局地受本地气候特征还是以混合降水为主, 从整体协相关系数也接近 1(图6b), 差分反射率在大于等于 0dB (图6c)。18点起

又开始出现新一轮降水云系从拉孜的西北和西南一侧过来,到 20:18 (图略) 整个降水强度开始又变大,最大回波强度达 40dBz,降水相态以雨夹雪为主,尤其从 21:25 基本反射率和差传播相位数值耦合 (图 d,e) 中明显看出降水增强以及系统移动情况,同时径向速度 (图 f) 中看出拉孜低

层实际吹 17m/s 的东北风,且风随高度,对于后半夜降水相态转变的话,可以从 21:46 (图略) 22:53 (图略) 23:29 (图略) 的反射率图中清晰看出刚开始的高层到地面以冰晶 (或雪花) 转湿雪转雨夹雪到纯雪的转变过程,也是同 4 月 29 日早上区域内出现大范围的积雪天气现象相吻合。



7 结论

(1) 2025 年 4 月 28 至 29 日西藏全区内出现了较强的降雪天气,其中西藏拉孜县域降雪大部乡镇出现了小到中雪,且最大积雪量达 8cm 左右,加上雪后强冷空气入侵,29 日早上各乡镇最低气温在 -6.5~0.1℃之间。

(2) 此次降雪过程主要影响系统为中低层西风槽和高原切变线,后续系统的持续性的南压东移,有效地将南部水汽输送到区域内,之后更是在槽后西北强冷空气的作用,触发了拉孜区域内大范围的强降雪天气过程。

(3) 此次过程,首先发生前拉孜区域内有明显的水汽辅合,使得整层湿度条件达到最优状态,加上地势和不稳定层结的发生发展具有很强的辐合抬升,之后整层进行辅散下沉,引发降雪天气。

(4) 探空资料得出,过程发生前整个中高层盛行西南风,但不稳定作用较弱,有效地地过程发生水汽条件埋下伏笔。过程发生时中低层大气湿冷、水汽充足、提升凝结高度高于 0℃层高度,利于冰晶雪花的生成。之后开始加强干冷空气输送,中高层具有较强的冷平流,使得出现大范围的降雪天气。

(5) 此次降雪过程以层状云混合降水为主, PPI 图回波强度紧凑, $Z \leq 40\text{dBz}$ 加上降雪的 Z 、 Z_{DR} 、 CC 等参量具有较强的关联性,当雪花降落中出现较明显的零度层亮带,干雪转湿雪和雨夹雪,且相对应的 Z 、 Z_{DR} 、 CC 参数数值具有很大的变化,因此能够更加精准预报分析降水相态具有指导性作用,径向速度中看出拉孜低层实际吹 17m/s 的东北风,

且风随高度变化复杂。

参考文献

- [1] 王超,肖天贵,假拉,等. 西藏地区降雪降水天数比率(SD/PD)变化特征分析[J]. 成都信息工程大学学报,2017,32(5):532-536. DOI:10.16836/j.cnki.jcui.2017.05.011.
- [2] 格桑卓玛(小),格桑卓玛(大),旦增.2017年4月14-15日日喀则市部分站点降水漏报诊断分析[J].西藏科技,2019,(04):69-74.
- [3] 胡初阳.2006年3月西藏南部边缘地区强降雪过程分析[J].西藏科技,2006,(10):52-53.
- [4] 赵惠珍,何涛. 高原边坡地带强降雪天气过程诊断分析[J]. 甘肃科技,2021,37(8):58-59. DOI:10.3969/j.issn.1000-0952.2021.08.020.
- [5] 尹承美,于丽娟,高帆. 济南春季一次罕见降雪过程成因分析[J]. 山东气象,2014(4):32-36. DOI:10.3969/j.issn.1005-0582.2014.04.007.
- [6] 韩理. 内蒙古西中部一次春季暴雪特征分析[J]. 农业灾害研究,2022,12(9):69-72. DOI:10.3969/j.issn.2095-3305.2022.09.023.
- [7] 杜佳,杨成芳,戴翼,等. 北京地区4月一次罕见暴雪的形成机制分析[J]. 气象,2019,45(10):1363-1374. DOI:10.7519/j.issn.1000-0526.2019.10.003.
- [8] 李代玺,王顺江,严直慧,等. 云南省西畴县一次春季降雪天气过程分析[J]. 农业灾害研究,2020,10(6):79-80. DOI:10.19383/j.cnki.nyzhyj.2020.06.036.
- [9] 苗爱梅,安伟,刘月丽,等. 春季一次暴雪过程的多普勒雷达动力学诊断[C]//中国气象学会2006年年会论文集. 2006:213-219.
- [10] 吴江,德庆措姆,卡卓,等. X波段天气雷达在西藏灾害性天气预报服务中的运用[J]. 农业灾害研究,2024,14(11):320-322. DOI:10.3969/j.issn.2095-3305.2024.11.105.