

第五届全国中尺度气象论坛

东北冷窝背景下我国东北地区一次夜间极端降水过程的多尺度分析

中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室

王改利 张大林 孙继松

2023年8月11日 银川

报告提纲

一、研究背景及极端降水过程

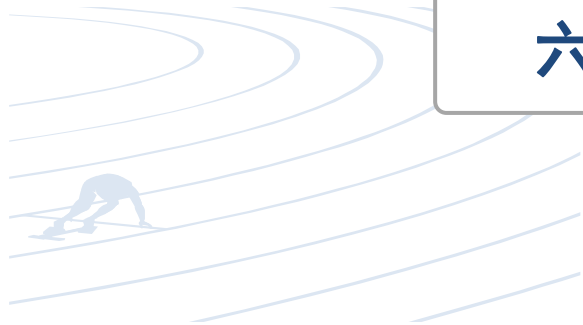
二、大尺度环境

三、中尺度分析

四、极端降水期间对流垂直结构

五、极端降水期间微物理特征

六、结论与讨论



一、研究背景及极端降水过程

1、研究背景

- 东北冷涡是我国春夏季强对流天气的重要天气尺度系统之一
- 持续性暴雨、对流性大风、冰雹、龙卷等强对流天气。

◆ 辽宁开原龙卷

EF4级，造成9人死亡

◆ 黑龙江沙兰镇水灾

死亡117人伤亡，经济损失达到2亿元以上。

◆ 吉林永吉洪水灾害

死亡19人，直接经济损失超过200亿

◆ 江苏阜宁龙卷

强冰雹和龙卷风双重灾害，风力超过17级，共造成99人死亡。



三、研究背景及极端降水个例分析

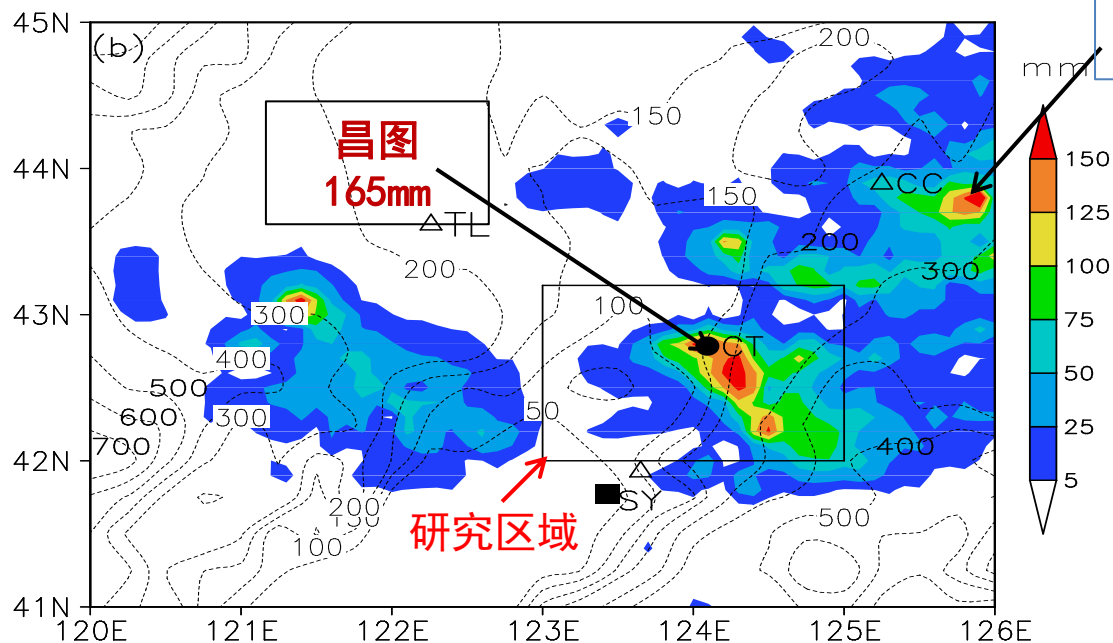
2、极端降水个例介绍

2017年7月13日永吉极端降水过程：因灾死亡19人、失踪18人，全省直接经济损失212.3亿元。



一、研究背景极端降水个例分析

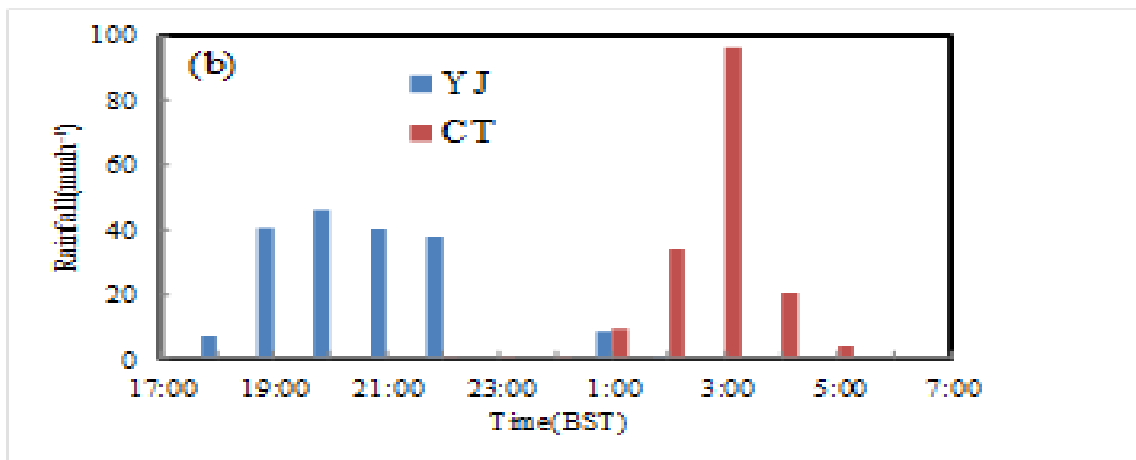
2、极端降水个例介绍



范围广、持续时间长、过程雨量大、小时雨强强

三个强降水中心

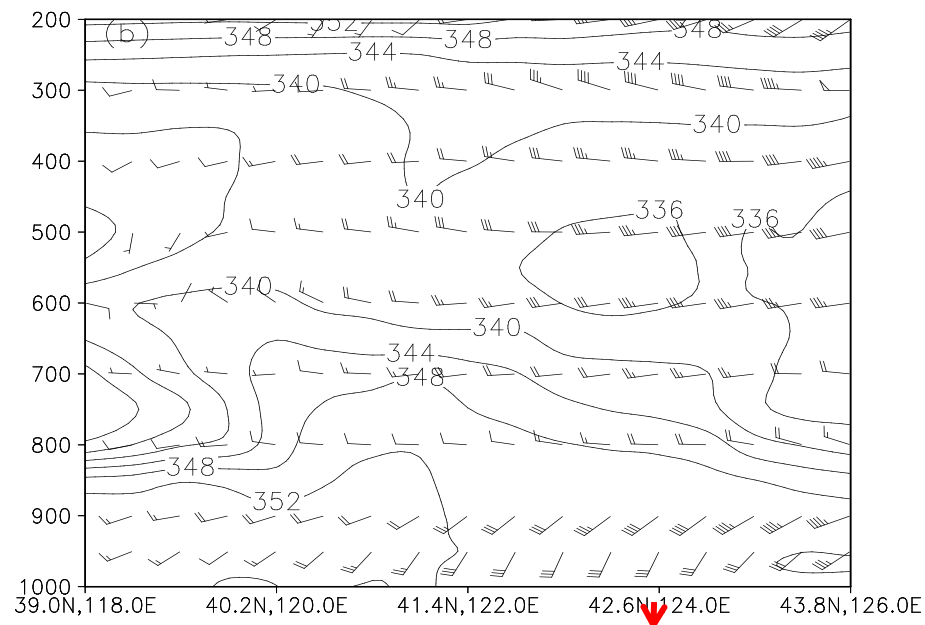
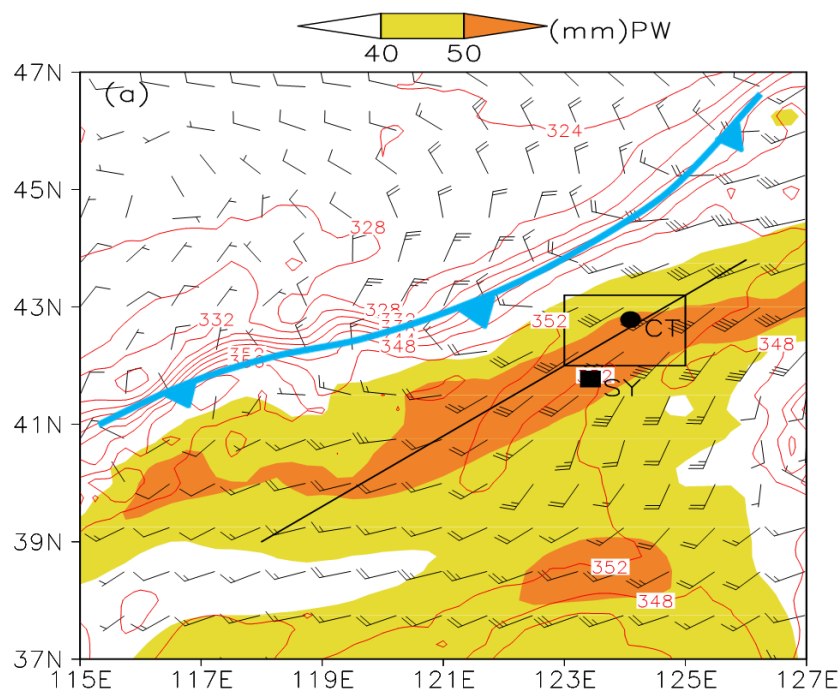
- 2017年7月14日夜间，5h累计降水昌图站165 mm，地形：100-300m的迎风坡。
- 昌图站0200-0300 BST 最大小时降水达到96 mm，为该站1961年建站以来之最。



二、大尺度环境

1、天气形势

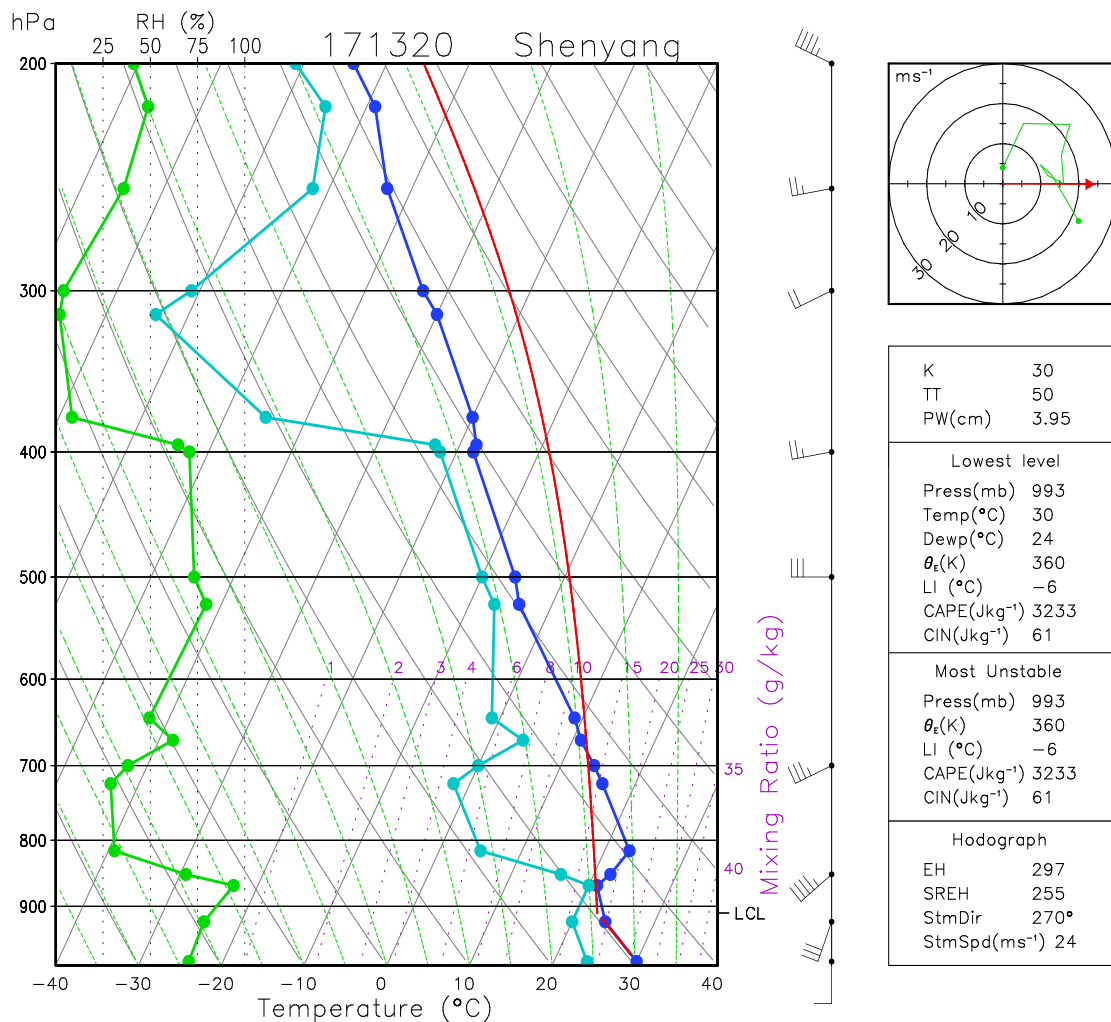
极端降水发生在准静止锋前（假相当位温梯度，风切变），西南LLJ $>20\text{m/s}$ ，假相当位温高值区 $>352\text{K}$ ，可降水量超过50 mm。



二、大尺度环境

2、沈阳探空

- 垂直风切变
- 850hPa以下潮湿
- 850hPa以上干燥
- 逆温层
- CAPE>3000
- 中等CIN

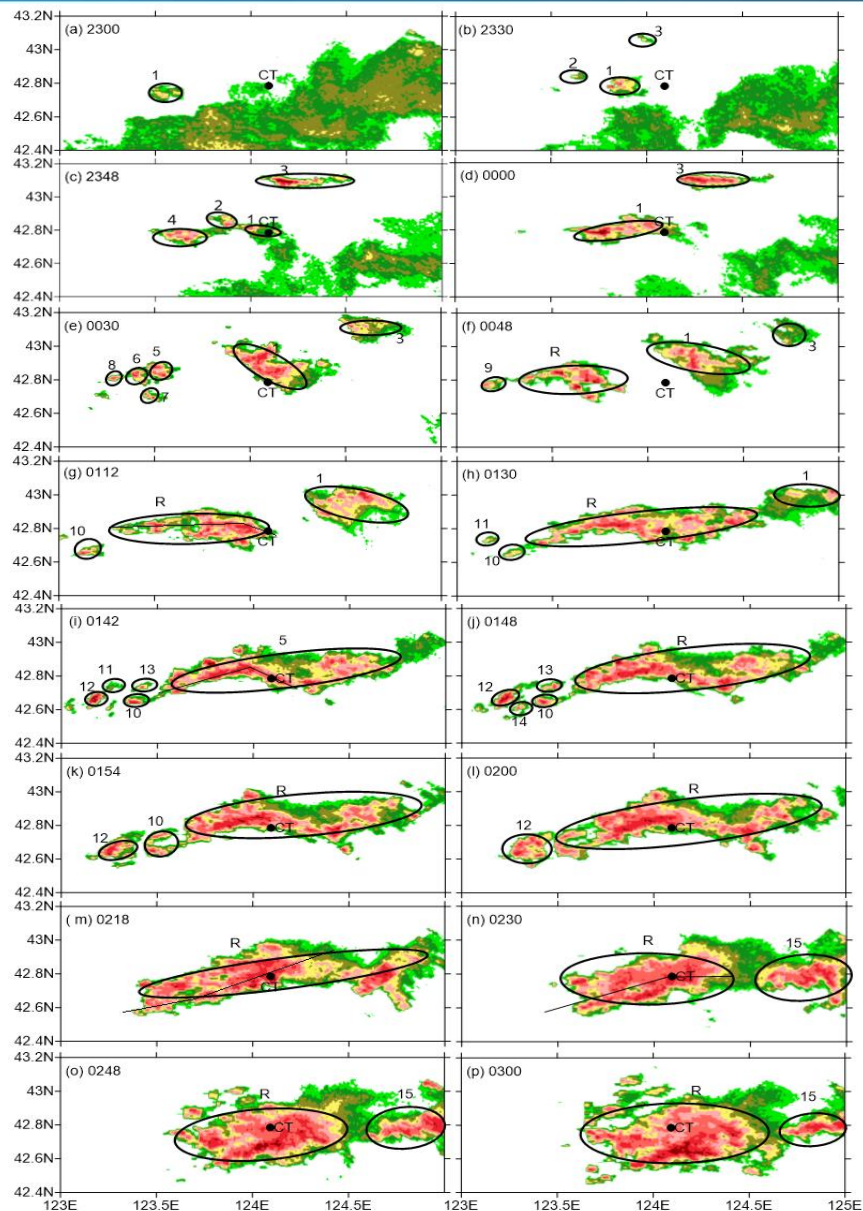


西南LLJ将暖湿的气流输送到研究区域，破坏了垂直大气的稳定，并为极端降雨提供了充分的水汽条件

三、中尺度分析

1、发展演变

- 初生于消散的MCS西北
- 后向传播
- 单体合并成线性雨带
- 向东移动，列车效应
- 线性雨带发展成圆形
- 中尺度涡旋，极端小时降水
- 向东南移动
- 极端降水过程结束

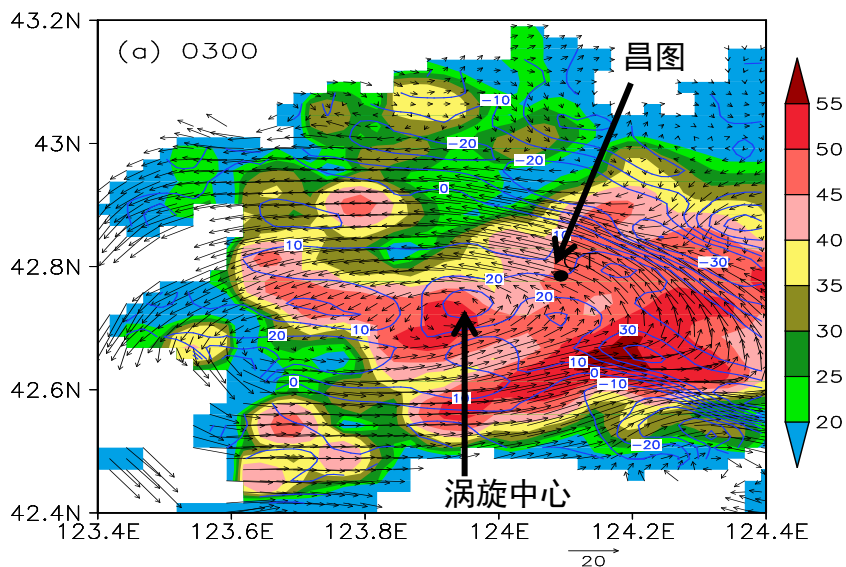


三、中尺度分析

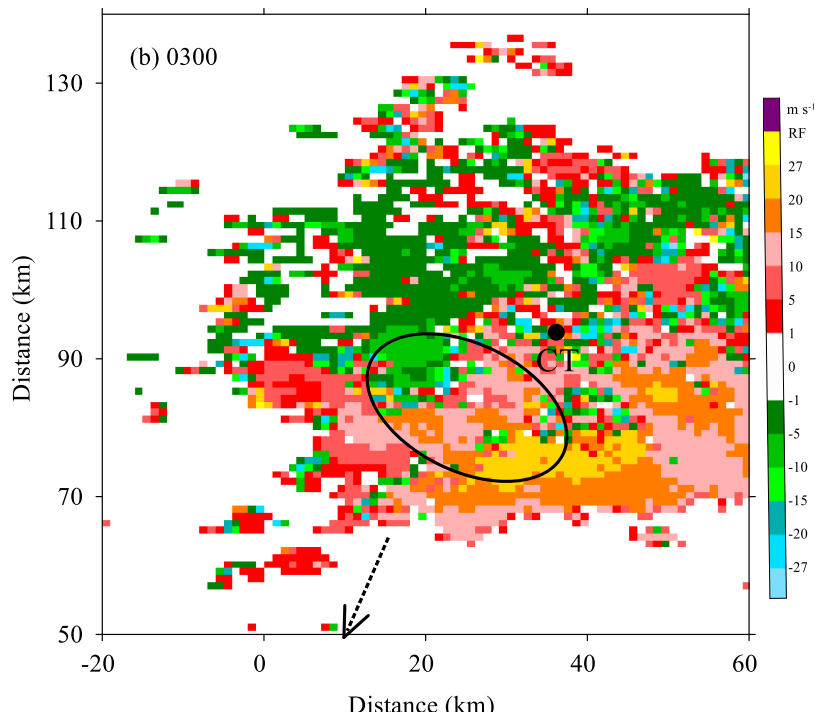
2、中尺度涡旋

- 中尺度涡旋中心位于昌图西侧
- 中尺度涡旋持续1小时
- 对应昌图小时极端降水

垂直风切变产生中尺度涡旋，
强降水释放的潜热加强了涡旋。涡旋反过来又促进了暖湿气流的上升



VDRAS系统反演的3km高度风场



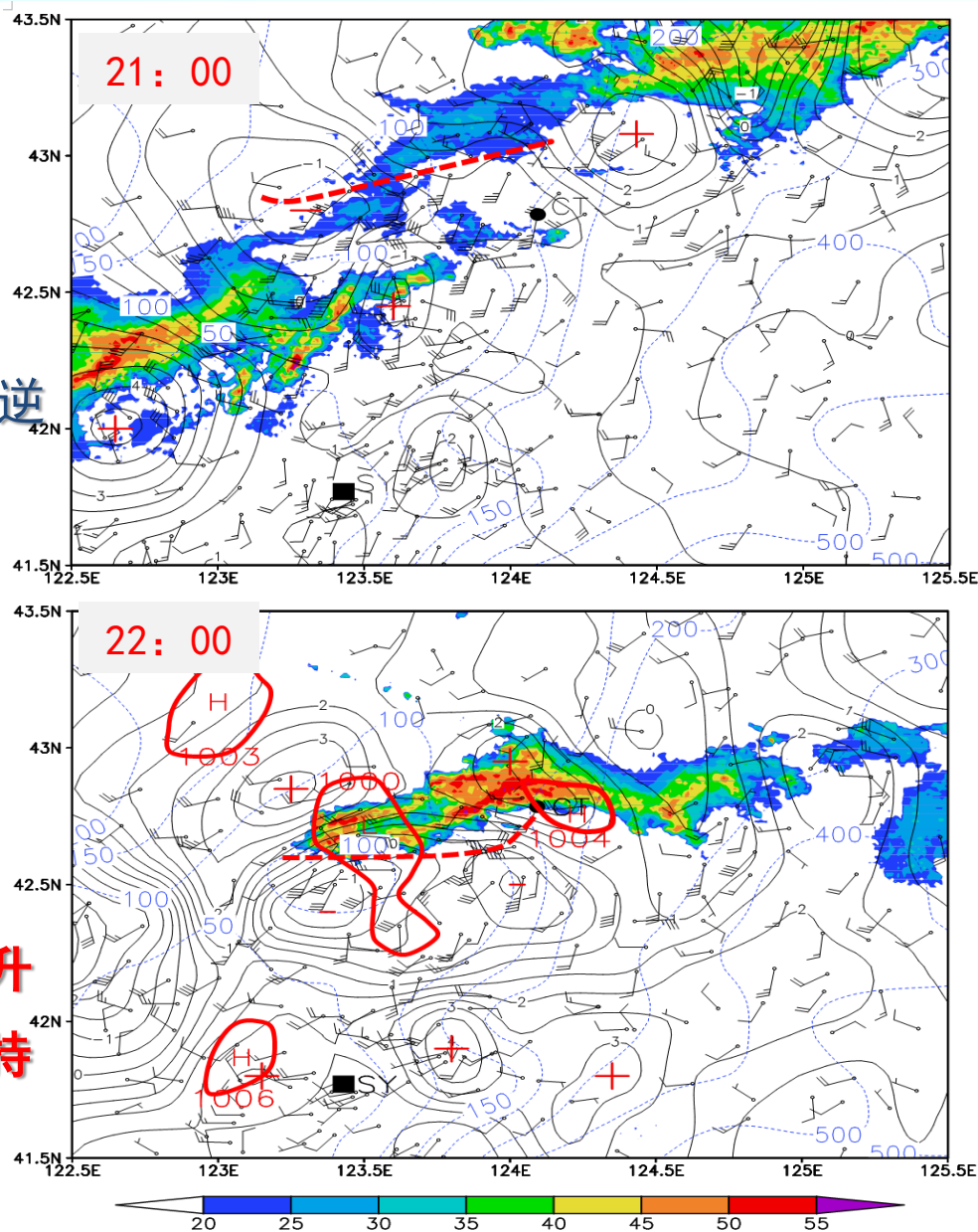
沈阳雷达1.5° 仰角径向速度

三、中尺度分析

3、触发和维持机制

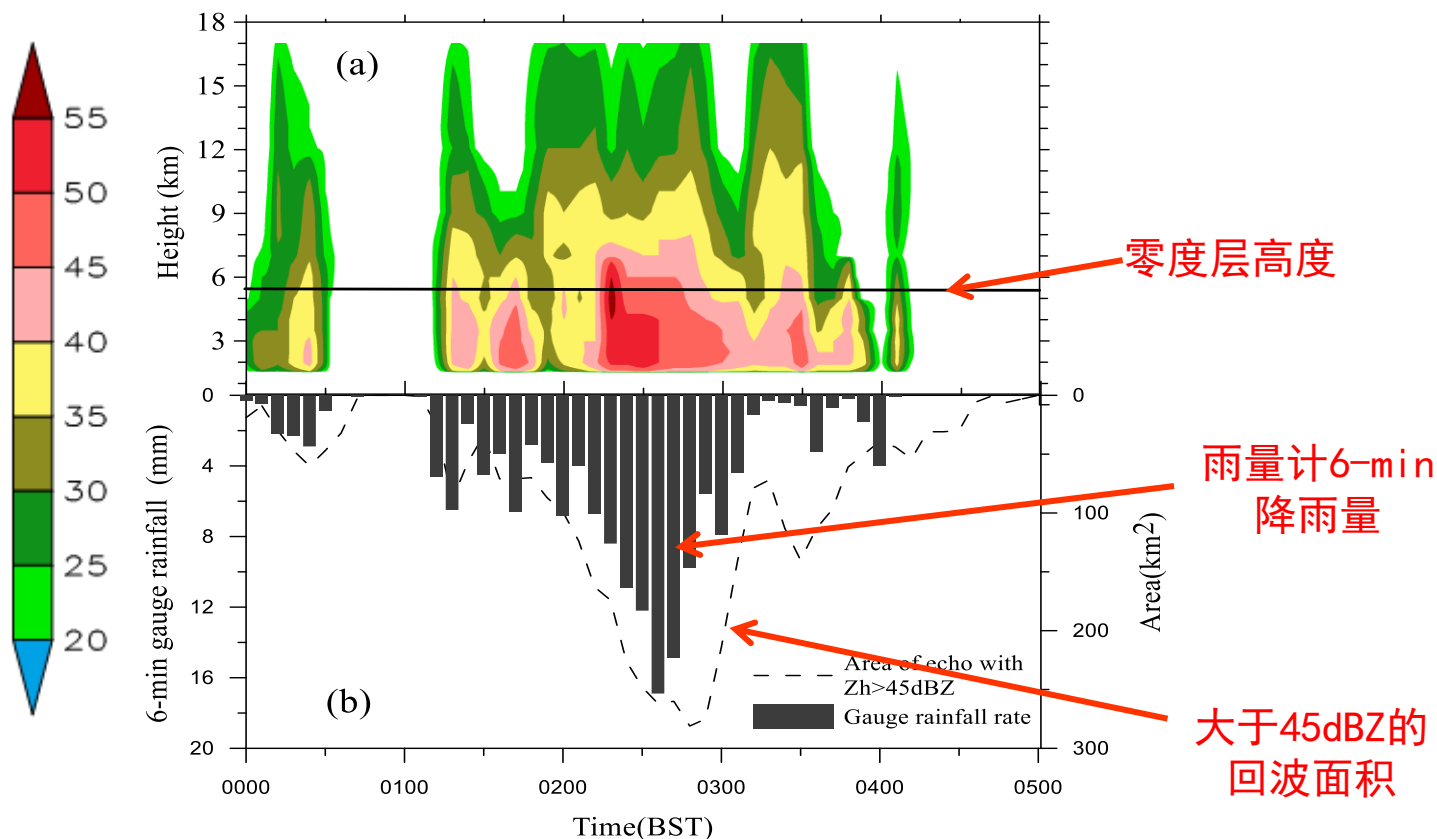
- 之前的MCS有两个强的雨带(山上), 而中间为弱回波区(峡谷)
- 负变压, 山上下风侧的下沉运动, 逆温层, 解释弱回波区
- 对流单体连续初生在弱回波区
- 逆温层变弱, 中尺度辐合线
- HERE发生在150-300m的迎风坡, 地形抬升, 加强下沉气流

准静止的地面中尺度辐合线和地形抬升有助于新单体的触发和线性雨带的维持



四、极端降水期间对流降水垂直结构

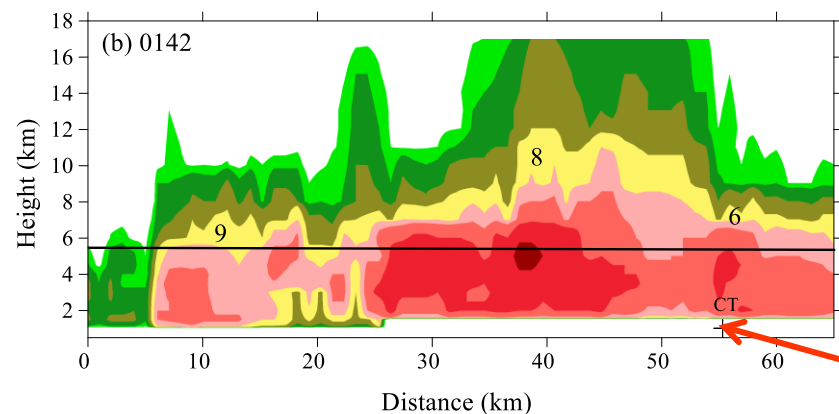
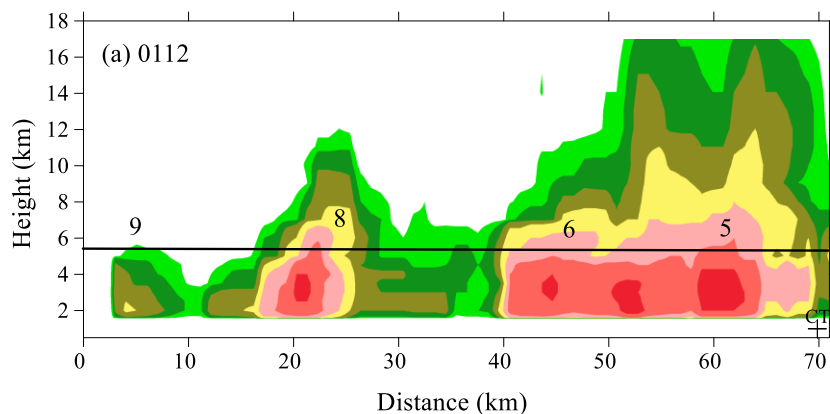
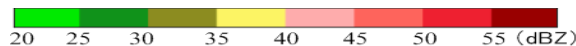
1、昌图站时间-高度剖面



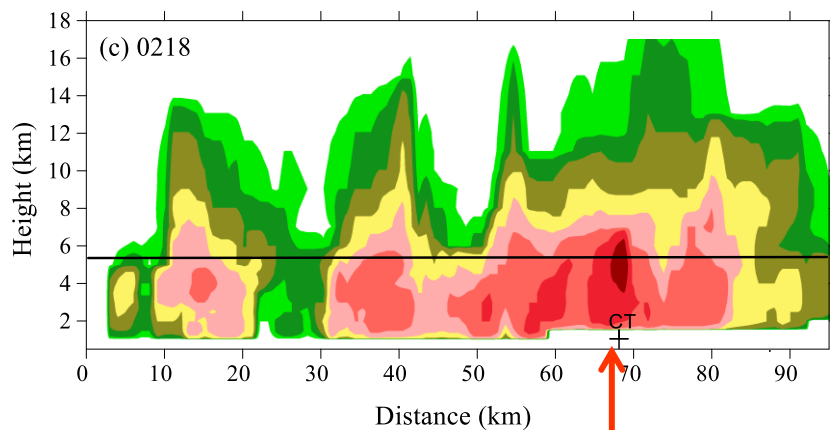
- 多个单体经过昌图，列车效应
- 0212-0300 BST降雨量、反射率因子、对流核面积快速增长
- 对流层中上部强烈上升气流发展，大量的冰冻粒子融化

四、极端降水期间对流降水垂直结构

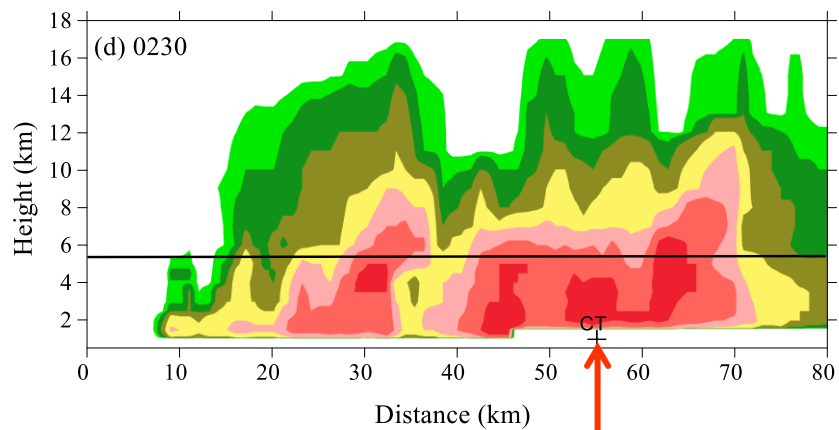
2、雨带垂直剖面



昌图



昌图

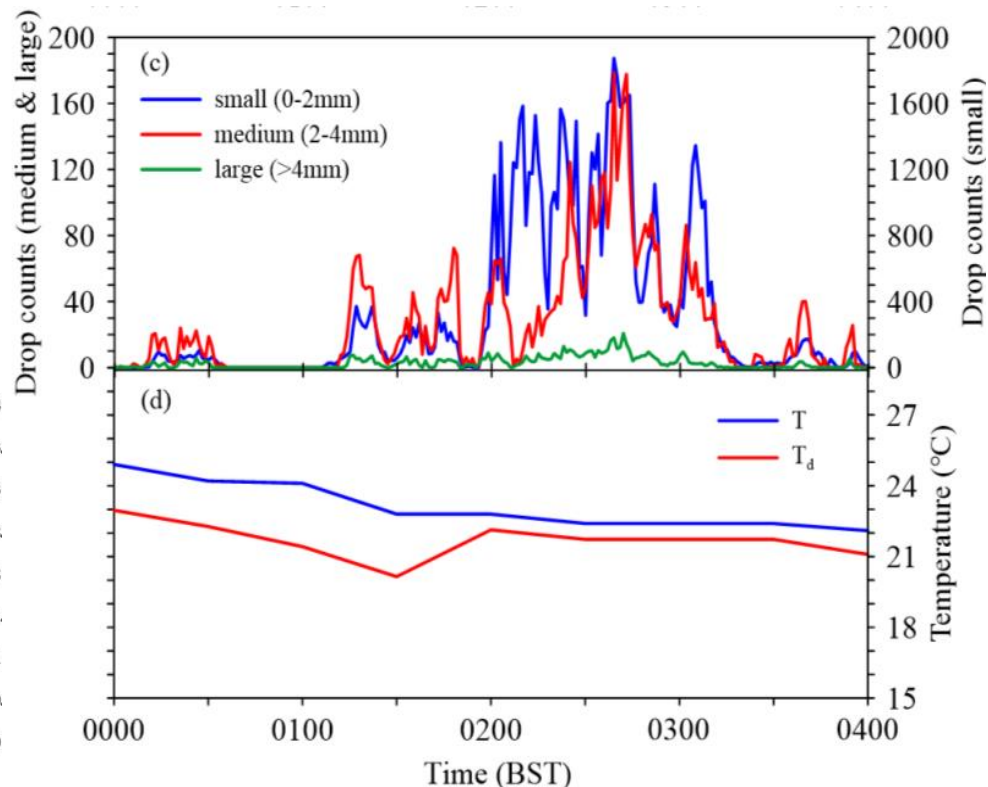
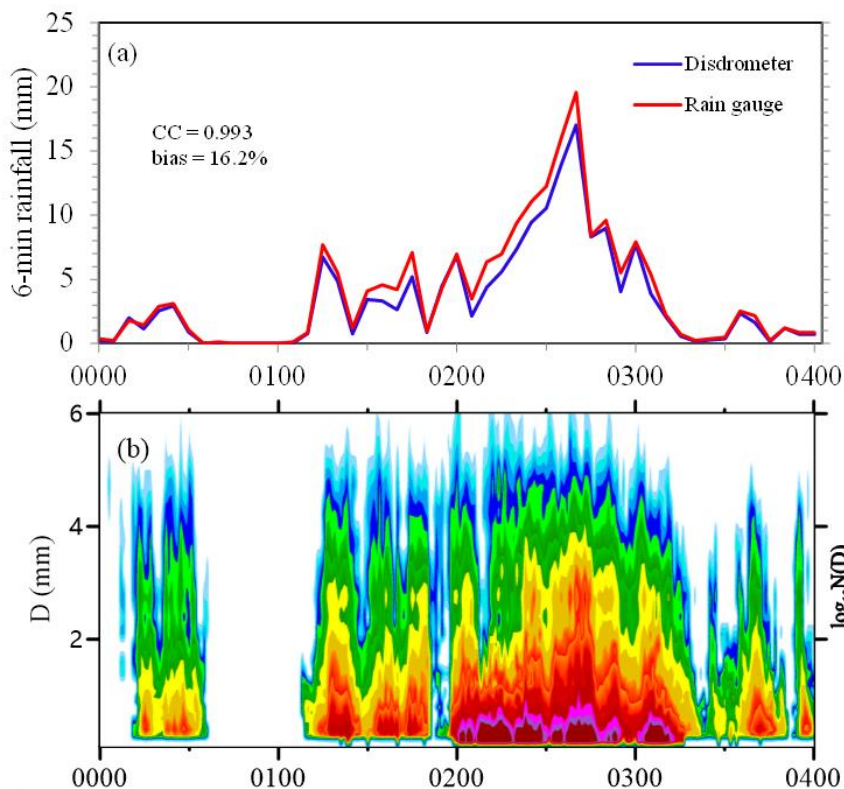


昌图

- 单体不同发展阶段，列车效应
- 0200以后，后向传播结束，雨带变宽

五、极端降水期间微物理特征

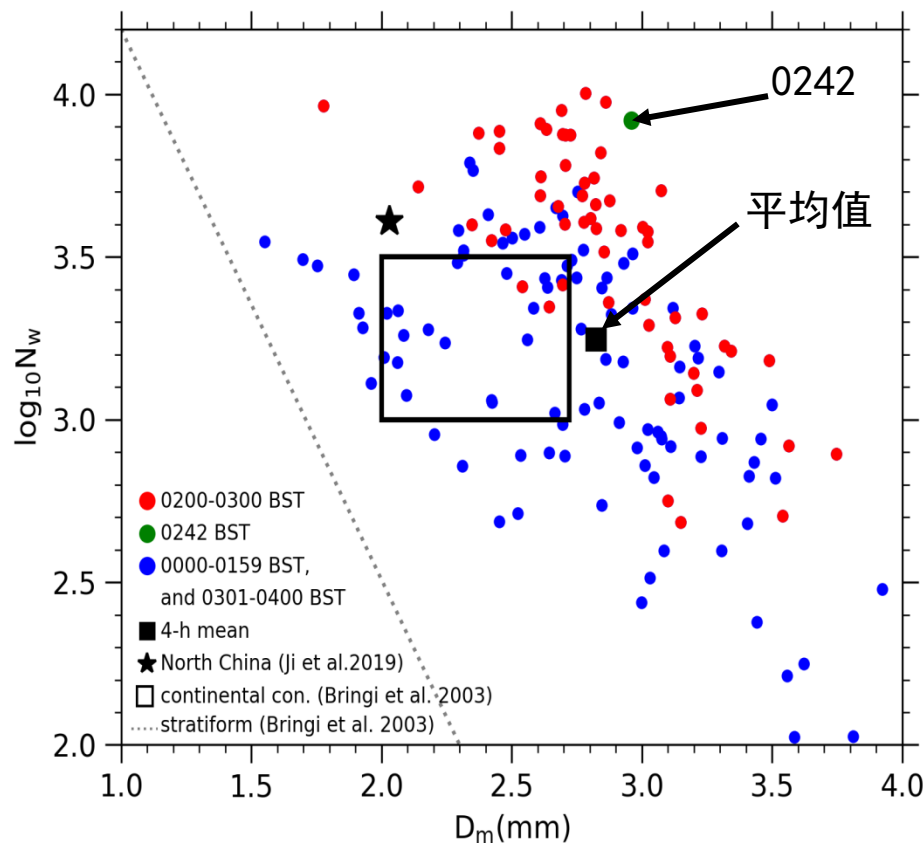
1、雨滴谱分布随时间变化



在极端降雨发生阶段，小、中、大雨滴的数浓度均迅速增加，但有时滞，且都在最大降雨量时达到峰值。

五、极端降水期间微物理特征

2、Dm和Nw分布



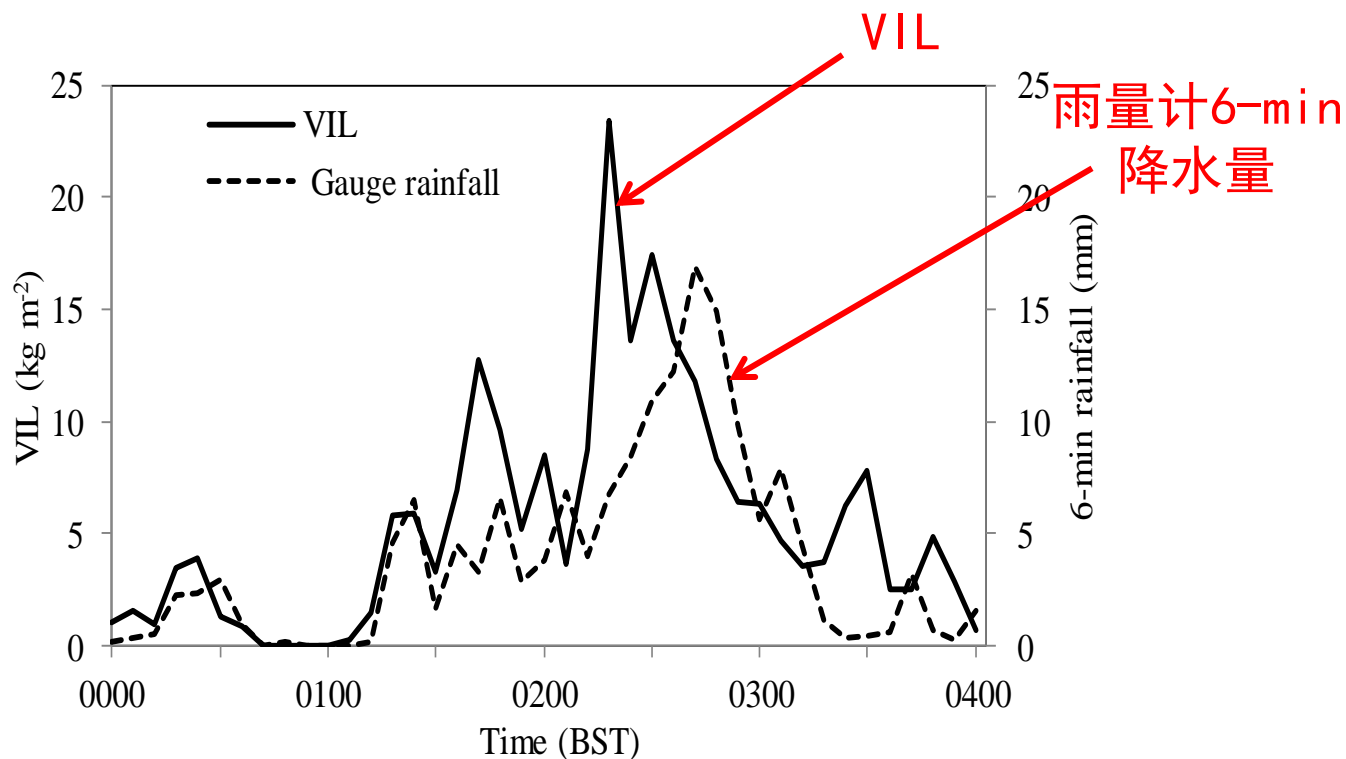
全部为对流云降水

0242BST : D_m : 3. 0mm ; $\lg(N_w)$: 3. 9

五、极端降水期间微物理特征

3、VIL随时间变化

最大降雨率的出现滞后于最强对流核心的出现约24分钟



Wang Gaili, Zhang Dalin, Sun Jisong. 2021. A Multiscale Analysis of the Extreme Heavy Rainfall Event on 14 July 2017 in Northeastern China, *Mon. Wea. Rev.*, 49, 173-187

六、结论与讨论

- 超过20m/s的西南方向LLJ携带暖湿气流，LLJ上方逆温层的减弱，破坏了昌图附近垂直大气的稳定状态。
- 对流单体初生在先前消散的线性MCS的弱回波区，与地面中尺度辐合线的发展一致，逆温层下LLJ对暖湿气流的输送促进了对流的触发
- 在地面辐合线、地形抬升和对流出流的共同作用下，单体不断后向传播，合并形成100-150km长的近纬向雨带，并维持准静止的状态。
- 后向传播结束后，雨带宽度增加，形成一个直径20-30公里的中尺度涡旋。小时降雨量达到96毫米，单个对流核心在迎风坡上依次经过昌图，形成列车效应
- 在极端降雨产生阶段，小、中、大雨滴的数浓度均迅速增加，有一定的时间滞后，但均在最大降雨速率时达到峰值。
- 最大降雨率的出现滞后于最强对流核心的出现约24分钟

A misty landscape with a large body of water and mountains in the background. The scene is hazy, with the sun or moon visible in the sky, creating a soft, diffused light. The water is calm, and the mountains are partially obscured by mist. The overall mood is serene and quiet.

敬请提出意见和建议！

谢谢！