

卫星云图在局地强雷暴天气预报中的应用

1. 前 言

局地强雷暴天气（尤其是龙卷风）的出现要有一定的气象条件。将卫星云图资料和常规资料配合应用，能更好地分析出局地强雷暴出现的条件。从卫星云图可以直观地看出局地强雷暴生成的动力学条件和引起局地强雷暴生成的一些天气图尺度或中尺度系统。极地轨道卫星的可见光、红外云图和地球静止卫星云图可提供以下一些有关局地强雷暴生成的资料：

- (1) 定出活跃飢线的位置（飢线是最强对流天气的区域）；
- (2) 定出低空急流（指 850 毫巴）、高空极锋急流和副热带急流轴的位置；
- (3) 确定对流层上部和下部风速铅直切变；
- (4) 定出低空急流和中空急流相交的地区（在这个交点上最可能有龙卷生成）；
- (5) 定出即将有龙卷风出现的区域（范围甚小，只有 15 平方哩），这个区域是由卫星云图、地面风场和雷达资料配合起来确定的。

2. 根据卫星云图确定飢线

在大多数情况下，对流性不稳定的飢线是在低空流线的汇合区中形成的，这条气流汇合区把暖而潮湿的海洋气团同暖而干燥的大陆气团分隔开。人们把这条气团的分界区称作“干线”。

这种“干线”可以好几天维持准静止状态，在线上也没有活跃的天气。但在一定条件下，它能促使强雷暴和强飢线形成。当 500 毫巴上出现有利于对流生成的系统时，“干线”变成“飢线”的可能性最大。

最猛烈的对流天气是出现在深厚的、潮湿空气对流区域内，这种区域一般是和干线相联。

在卫星云图上飢线是一条由雷暴群（积雨云群）组成的线，这些积雨云群相互合并，所以表现成一条明亮的云带。在云图上如果飢线的形状表现成头部大、尾部愈来愈变细的形状，在这种飢线上对流性天气最为猛烈。飢线云带愈向南愈窄，这是因为在飢线的最南部分是最有利于有新的雷暴形成。在这个部位的雷暴都是一些小而没有成熟的系统，而在北面的地方则是一些老而成熟的雷暴。

3. 根据卫星云图确定 850 毫巴最大风速轴

低空急流轴是与活跃的飢线相平行的。至于低空急流轴应该定在飢线云带下面什么地方？这决定于低空气流的曲率和等风速线的分布情况。把 850 毫巴急流轴定在位于活跃的飢线云带的后部边界处，其方向同飢线平行，这个位置与实际位置最接近。

4. 根据卫星云图确定对流层中部和上部的急流

在预报强雷暴天气时，要考虑一个重要的条件，即在对流层上部要有生成高空辐散的机制。在大多数的情况下，生成高空辐散的机制是急流。关于从卫星云图确定急流的方法在以前有关卫星云图的分析应用的文章中已介绍过。

长时期以来人们一直认为极锋急流是引起强烈雷暴的一个重要因子。龙卷风出现的地区是位于低空急流和高空急流相交的地方。极锋急流轴可以出现在强雷暴区的南面，也可以出现在强雷暴区的北面。

图 1 是在强雷暴出现时所接收到的一张典型的红外云图的例子。图中有一条头部粗、尾部细的云带（其后部边界为 ABC），这是一条活跃的飢线，这也是雷

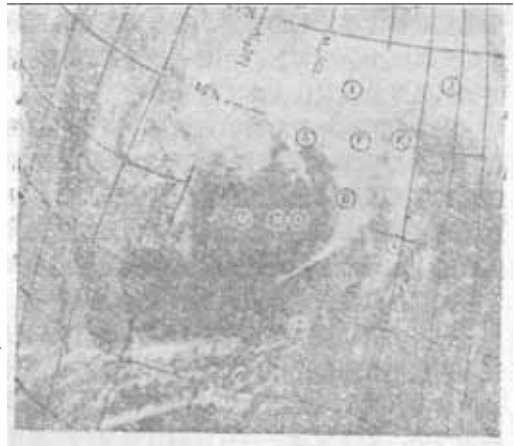


图 1 1971年 2 月 18 日 2125 世界时
诺阿 1 号白天红外云图。



图2 1971年2月19日2026世界时
诺阿1号白天红外云图

变的差异(在本文第5节中将讲到如何根据卫星云图定风速铅直切变)。在北部切变矢量的方向为 300° ，在南部切变矢量的方向为西南—东北。这种在飑线南部和北部切变的变化，也表示500毫巴急流轴是位于飑线的南面。

在图3中，急流轴位置不难定在云区边界A—B—C处。但C点的位置在卫星云图上不清楚。遇到这种情况时，最好根据当时的500毫巴图来确定只根据云图不能定出的急流位置，在图3中，把急流轴从C延伸到E。

人们还发现副热带急流对强雷暴的发生也起着重要作用。在副热带急流中所见到的龙卷风，一般是位于副热带急流轴北面，并且在急流轴同飑线相交的地方。在没有气象卫星观测的时候，人们并不知道副热带急流对强雷暴天气的作用，这是因为沿着副热带急流的资料太少。事实上，在有一些强雷暴出现时，人们把副热带急流误认为南支极锋急流。

图4中，副热带急流轴可以由一条反气旋性弯曲的云区(AB)决定。根据以后时刻的ATS云图，发现这条急流轴线同一条南北走向的飑线(C)相交，这条飑线是在美国堪萨斯州东部和俄克拉俄马州北部生成的。在这个交点上出现许多摧毁性的龙卷风。

5. 根据卫星云图确定风速铅直切变

在有铅直切变的气流中，如果有对流性云生成时，云顶向水平方向伸展，这使得积雨云砧表现成一条狭长的轴，其走向与铅直切变方向平行。在大多数强雷暴天气中，如果雷暴是在有强铅直切变的气流中发展起来的，积雨云的砧伸向飑线的右方，并与对流层下部和上部之间风速铅直切变方向平行。由于对流层下

部最猛烈的地区。在A处附近从1930世界时到2210世界时有四个龙卷风出现。在B处附近在2045世界时有一个龙卷风出现。在C处附近从2055世界时到2335世界时有三个龙卷风出现。850毫巴急流轴与飑线平行。在这个例子其位置位于无对流性云的区域(CF)，500毫巴上极锋急流轴的位置沿着云区边界M—N—D处。副热带急流容易从云图上看出(GH)。但在这个例子中极锋急流是促发强雷暴出现的主要机制。云带IJ是一条暖锋，KL是一条卷云带，这是前一天(2月17日)雷暴的残余。

在图2中，Q是一条飑线。它从美国衣阿华州伸展到伊利诺斯州西部。1935世界时在飑线的南端出现龙卷。

在图3中的X附近，在2100世界时出现的龙卷是位于低空和中空急流相交的部位。

在图2中，极锋急流轴是不难定在云区边界B—C—D处。另外在A附近高云区的西部边界表现为反气旋性曲率，这也表示有急流存在。把急流轴从D延伸到A，急流轴位置正好位于飑线(Q)南面。从这张云图我们还可以比较在飑线南部和北部风速铅直切

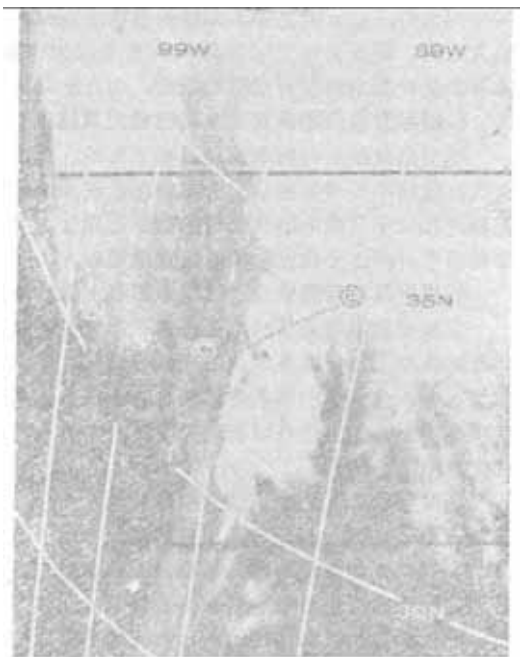


图3 1971年2月21日2016世界时
诺阿1号白天红外云图



部和上部之间风速铅直切变矢量与对流层中部的等温线相平行，我们可根据卫星云图来确定对流层中部的温度脊线位置。在这条温度脊线位置上层结的不稳定性最大。温度脊线的决定方法如下：根据最近时刻的对流层中部（如500毫巴或700毫巴）温度场和从以后时刻的卫星云图所定出在飑线中铅直切变的方向，推出温度脊的位置。举例说明，在图3中（2016世界时）卷云砧的走向是从西北向东南的（热成风方向大约为 300° ）。飑线的走向近乎南北向，故卷云砧走向与飑线走向有交角，偏于飑线的右方。根据1200世界时的500毫巴高空图分析，把温度脊线位置作适当移动，使其与切变矢量方向 300° 一致，这时温度脊线位置必须位于飑线的西部边界处。我们从1971年2

月22日0000世界时的高空天气图，证实这个位置是正确的。

从卫星云图定出低空急流和500毫巴急流轴位置以后，就可以推断在这两层之间风向随高度顺逆的度数。风向随高度作顺转，这在强雷暴预报中是个重要指标。在图3中，低空急流轴定在飑线的西部边界，而500毫巴急流轴是穿过飑线的，沿着CE方向。根据这些资料，可以推算出风随高度顺转的度数为 40° 。根据1971年2月22日0000世界时高空天气图分析，发现850毫巴风向为 190° ，500毫巴为 235° ，风向顺转的度数为 45° 。

6. 根据ATS—3号云图分析飑线成长的特征

ATS—3号气象卫星能够在白天对地球上同一地区相隔很短的时间进行一次观测。这种资料用来发布危险天气警报很有用处。在估计有强雷暴出现的日子，可以指令卫星每隔11分钟拍摄一次北半球的照片，有了这些每隔11分钟一张的照片，预报员对强雷暴的警报能够指出一些中尺度的细节。

在卫星云图上常常可以观看到在干线上积云形成的情况，它比起雷达最初观测到飑线要早二小时。在卫星云图上飑线前身的云系最早表现成一条长的细云线，尔后，在这条细云线上有一块块小的对流性云区出现，这些小的对流性云区不断长大，并合并为积雨云团，这样就形成活跃飑线的初始阶段。这些强雷暴群可以持续几小时，每个雷暴区与四周环境大气相互有猛烈作用。在云图上每个雷暴区四周可看出是下沉运动区域，这可以从飑线中看到有一条条窄的灰色区域来识别。在飑线发展的初始阶段，在每个雷暴四周一般是晴空区。在以后随着飑线上雷暴群的成长，并与四周环境空气相互作用，雷暴区的卷云砧会叠加在其他种类的云上面，并与其他雷暴区的卷云砧合并。但飑线中各个雷暴单体仍可以分辨出来，即在雷暴区的边界处某些地方出现晴空。当飑线上有龙卷出现时，它们是位于某一个雷暴区的低空气流流入区中；并且在雷暴区的任何部位都可能出现冰雹。

7. 根据卫星云图定出强雷暴的威胁区域

根据卫星云图、雷达和地面风资料，我们可以定出即将会有龙卷风威胁的局部地区。确定的方法用图5—图8来说明。在确定即将会有龙卷风威胁的地区时，第一步定出飑线上各个雷暴团的边界，第二步进行地面风场的流线分析，定出低空流线上气流汇合线（这条汇合线一般是平行于活跃飑线的后部边界），并标明每个雷暴团中低空气流的流入区，最后一步，在雷暴团的低空流入区一边定出雷暴团的边界与气流汇合线的交点。在雷暴团中这个交点附近是有利于龙卷出现的区域。此外，把雷达荧光屏上的回波图或者把传真的雷达天气图上的回波线同低空湿空气流入区相比较，可以进一步把威胁区域范围缩小。我们定出在雷暴团中湿空气流入区域内的雷达回波，在这个回波区的愈来愈细的尾部附近，这是我们所能确定的最小威胁范围。一般说来，威胁区范围不能超出雷达回波面积的 $1/2$ ，威胁区出现在边界以内15哩的地方。威胁区确定以后，我们根据雷达荧光屏上回波的移动，预报威胁区的移动。如果可能的话应该用前面几张连续的ATS的云图，因为雷暴群随着时间会有变化，这种变化会引起威胁区发生变化。1971年5月5日的龙卷就是一个例子。

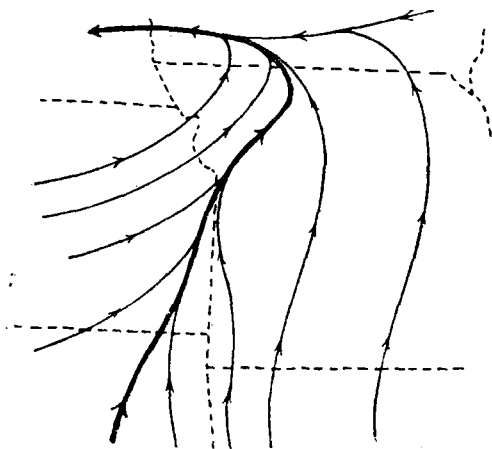


图5 1971年5月5日2300世界时地面流线图

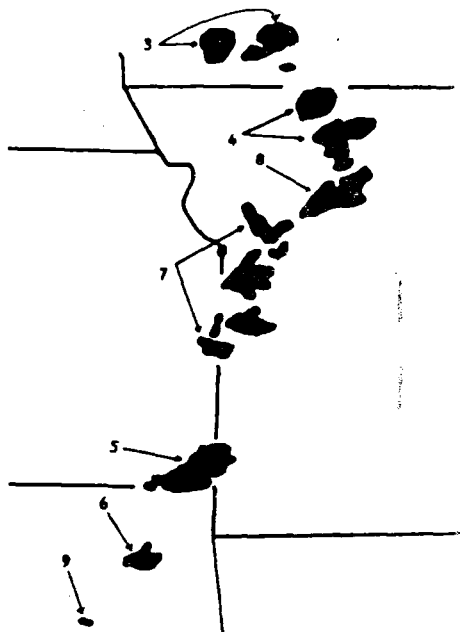


图7 1971年5月5日2256世界时雷达回波



图6 1971年5月5日2256世界时ATS-3云图。

把流线图(图5)和同时的卫星云图(图6)配合起来分析,可以定出颶线上各个雷暴团中低空流入区。这种流入区在图6上标上一个黑点。

图6表示在这条颶线中有七个活跃的雷暴团(分别用数目3—9表示),黑点所在就是各个雷暴团中有利于龙卷生成的区域

图7中,箭头表示对应图6中各个雷暴团的雷达回波,在各个回波团的低空流入区域内定出1/2回波区的面积或者边界以内15哩的区域。

图8中,回波区内的白色区域是龙卷威胁区,这是根据前面三张图上的资料定出的。每个威胁区的预期移动根据雷达和前后几张ATS云图定出,图中风的矢量表示威胁区的移动方向和速度。

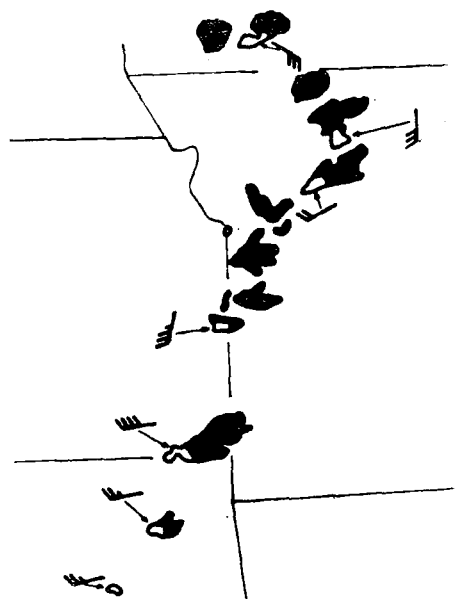


图8 1971年5月5日2256世界时龙卷威胁区

(中国科学院大气所卫星资料应用研究组根据美国ESSA技术报告

《气象卫星资料在天气分析和预报中的应用》第五章编译)