

强天气冷涡云系结构的分析和物理解释

杨红梅

陶祖钰

(国家气象局, 气象科学研究院, 北京, 100081) (北京大学地球物理系, 北京, 100871)

提 要

本文分析了三个产生强对流天气冷涡过程的卫星云图。冷涡云系的结构可归纳为单纯的冷涡结构和具有锢囚气旋结构两类。利用诊断分析对冷涡云系中各个组成部分, 即涡旋云区、不稳定云区、正涡度平流云区、冷涡云区及暖锋云区与有关物理量的配置关系进行了讨论。

关键词: 冷涡; 云系; 诊断分析。

一、引 言

夏季, 冷涡是发生雷雨、冰雹等强对流天气的主要系统之一, 对京津冀地区尤甚。国内外众多学者对此进行了研究, 但研究的侧重点多异, 有的侧重天气形势的演变^[1-2], 有的侧重云图特征变化^[3-4]。为了进一步分析冷涡云系的结构及探讨形成冷涡云系的物理机制, 我们在多次冷涡过程中选取了各有特色的三个过程。其中有GMS云图中云系发展演变过程明显的例子, 有降水范围广、雨强大的个例及雨强一般但伴有飑线活动的个例, 以便对其云系的结构及产生天气的原因进行比较。本文对选取三例的云系结构进行了分析, 并利用辽宁省气象台提供的物理量诊断分析资料(格距为100km)对其成因进行了探讨, 目的在于深化对卫星云图上云系的认识, 为预报冷涡过程所带来的强对流天气作参考。

二、冷涡云系的结构

查阅大量冷涡过程的GMS云图(1978—1987年资料), 由此而把冷涡的云系大致分为两种类型。第一种是比较单纯的冷涡云系, 它由散布的对流云块组成, 从云块的排列上可以看出明显的涡旋特征。第二种类型的冷涡云系具有锢囚气旋云系的特征, 它和冷涡的动力学结构及冷涡的演变过程有关。下面以1986年8月上旬末的冷涡过程为例, 说明这两类冷涡云系的结构。图1和图2分别给出此过程的卫星云图及其素描图。

1. 单纯的涡旋云系结构

如图1a(见图版I)和图2a所示, 单纯的冷涡云系主要由涡旋云区C和不稳定云区U两

1989年10月19日收到, 1990年3月31日收到修改稿。

部分组成。涡旋云区 C 和低层冷涡的气旋环流相配合,其范围大致和 850 hPa, 1460 位势米的闭合等高线吻合。云区内排列着呈螺旋状并旋入低涡中心的云块显示出气旋式辐合流场的特征。云区 U 为不稳定云区,它位于涡旋云系的南侧和西南侧。在上午的可见光云图(图略)中 U 区内已存在一些白亮的云块,说明 U 区中的大气层结相当不稳定。从 850 或 700hPa 天气图可见此云区为低层暖脊所控制,而 500 hPa 为冷槽控制,这表明此区域中大气层结是较不稳定的。不稳定云区 U 中有一条或多条由分散的积云排列成的积云线,走向呈东北西南向。850hPa 实测风表明,不稳定云区 U 中的积云线是和低涡西侧或西南侧的切变线相联系的。这是因为在不稳定大气中积云生成在切变线附近的低空辐合区中。不稳定云区内的积云有明显的日变化,午后到傍晚可发展成积雨云。当低涡云系上游的高空急流通过不稳定云区上空时,高空急流下方强大的

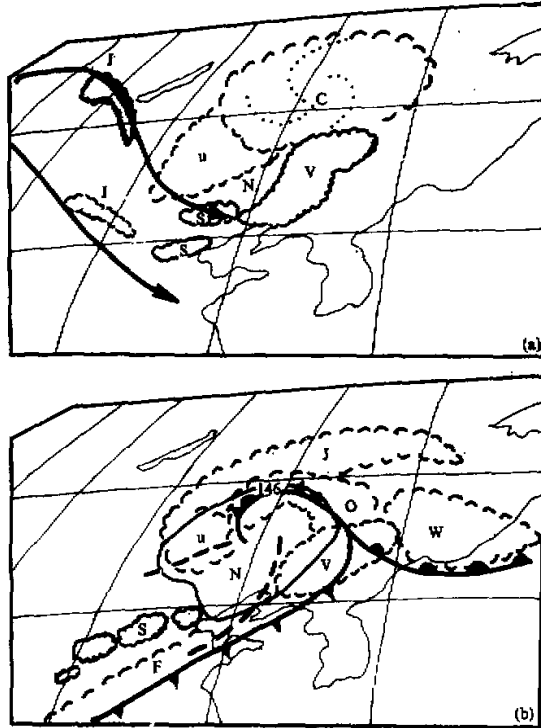


图2 图1的素描图

粗虚线为 850hPa 槽线,点虚线表示螺旋状积云线,波状线为云区边缘。(a)图中矢线为 200hPa 急流轴。

风速垂直切变表明大气稳定度的里查逊数 Ri 是比较小的,不稳定云区中的积云单体会合并和发展成强对流云团。图 2a 给出了根据等风速线分析确定的 200hPa 急流轴,图中的 S 就是在高空急流下发展起来的强对流云团,它具有卵状的外形和光滑的边界的中尺度云团特征。冷涡上游的急流在卫星云图上常表现为呈反气旋性弯曲的急流卷云线(如图 2a 中的 J)。此云线的东端与不稳定云区相接,说明不稳定云区上空的风速较大,有利于午后对流的发展。它对预测不稳定云区 U 中积云能否发展成强对流云团有

重要的指示意义。特别是当急流云带表现出疏散的特征时。

不稳定云区 U 中的积云线有时也会进一步发展成正涡度平流云区。如图 2a 中的 V 云区。正涡度平流云区的水平尺度较大, 达 1000 km 左右。它具有突出的盾状云的特征, 西侧边缘光滑。它是由不稳定云区 U 中积云线的合并或强烈发展而成。正涡度平流云区 V 位于低涡的东南侧, 它的出现和低涡后部东西走向的切变线南下形成比较明显的伸向南方的低槽相联系。这是因为低槽生成后, 低涡东南方的正涡度平流加强造成系统性的上升运动, 从而形成面积较大形状规则的厚实云区。在正涡度平流云区的上游为一片晴空区 N, 它是由槽后负涡度平流和冷平流所带来的下沉运动而形成的。

2. 具有锢囚气旋特征的云系结构

这类冷涡云系的结构比较复杂, 范围也较大。除了具有单纯性涡旋云系的结构, 即有涡旋云区 C、不稳定云区 U、正涡度平流云区 V 和晴空区 N 外, 还具有锢囚气旋所具有的冷锋、暖锋、锢囚锋和急流云区。如图 2b 所示。其中冷锋云区 F 和冷涡中心有向南伸的强低槽和冷平流相联系, 暖锋云区 W 则与低涡东侧出现暖性切变线及较强的暖平流相联系。位于冷涡北部的弧状卷云区 J 是由于低层暖平流使低涡中心的东北方有高空脊发展, 形成低涡北侧呈反气旋弯曲的强风速区。张元箴在分析 1972 年 9 月 18—21 日冷涡过程的卫星云图时曾指出^[5], 冷涡过程中形成锢囚锋云系是由于冷涡云系和它南边的一条冷锋云带相连接。这种过程后来被称为“直接锢囚”。图 1 所示的 1986 年 8 月 8—9 日冷涡过程中出现具有锢囚气旋特征的云系过程不同于上述的直接锢囚过程。在下一节中, 我们将会看到这类具有锢囚气旋特征的云系结构, 它是冷涡本身的热力和动力结构相联系的。

三、冷涡云系的诊断分析

为了对上述冷涡云系的结构给出适当的物理解释, 下面以 1986 年 8 月 31 日 20 时过程为例, 分析冷涡云系各部分云区与各种物理量诊断场之间的关系。从图 3 所示的增强显示的素描云图可见, 此冷涡过程一开始就具有锢囚气旋云系的特征, 有明显的正涡度平流云区和冷暖锋云区。图中的斜线区表示云顶的温度达到 $-46 \sim -57^{\circ}\text{C}$, 表示云区内对流发展旺盛。雨量资料表明此过程带来了暴雨灾害。如图 3 中南部的斜线区对应河北省曲周 22—23 时出现 90mm 的大暴雨和馆陶 5 小时降了 101.6mm; 图中北部的斜线区造成北京地区普降大到暴雨, 6 小时降水量大于 50mm 的有 8 个站, 其中古北口 6 小时降水量为 91mm。在雷达回波显示图(图略)上显示, 23 时的回波最强。从图 3 中所给出的 200 hPa 急流轴可见, 对流发展最旺盛的区域正好在 200hPa 高空急流轴散开的区域。

为了进一步说明云系发展和高空急流的关系, 图 4 给出了 8 月 31 日 20 时的 300hPa 散度分布图。图中的矢线是 200hPa 的高空急流。由图可见, 在急流轴有明显散开特征的急流出口区为大片辐散区, 而且散度的量级达 $3 \times 10^{-3} \text{s}^{-1}$, 图 3 表明高空急流所伴随的辐散是形成强大的冷涡云系的重要原因。根据准地转理论, 斜压扰动中上升运动的强度是和高空的正涡度平流及低层的暖平流相联系的。由此我们还考察了与 GMS 云

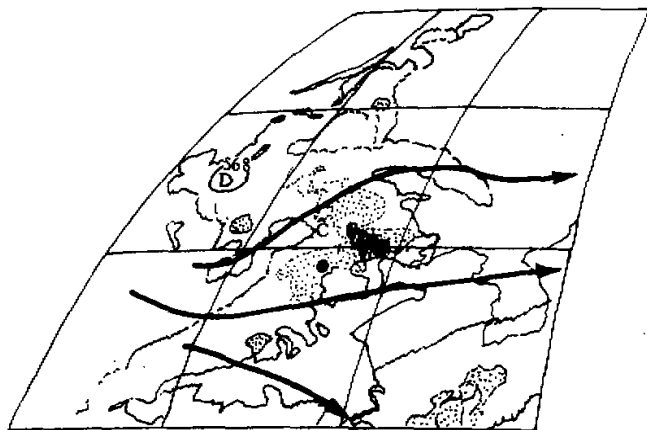


图3 1986年8月31日20时GMS增强显示云图示意图

图中的矢线表示200hPa高空急流,斜线区表示云顶温度为 $-46 \sim -57^{\circ}\text{C}$,点区表示云顶温度为 $-33 \sim -46^{\circ}\text{C}$. 500hPa低压中心用D表示,850hPa冷涡中心用C表示.

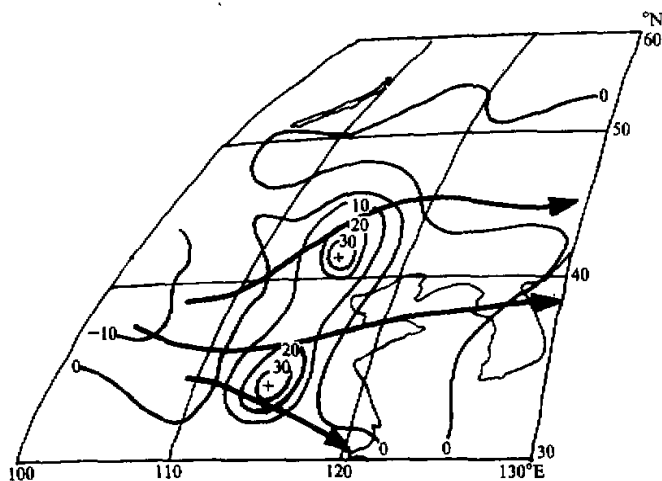


图4 1986年8月31日20时300hPa散度($10^{-6}/\text{s}$)分布图

图中的矢线表示急流轴

图相对应的500hPa相对涡度场和700hPa温度平流的分布.在500hPa图上(图略),冷涡南侧的等高线具有明显的疏散槽的特征,相对涡度值高达 $8.5 \times 10^{-5}\text{s}^{-1}$,几乎与地球自转涡度的量级相当.在其下游的高空脊则为一片负涡度区,强烈发展的冷涡云系恰好位于等高线和等涡度线接近正交的正涡度平流区.它表明高空的正涡度平流是造成冷涡云系发展的动力学机制之一.从图5中给出的700hPa的形势及温度平流分布可见,冷涡东侧存在较强的偏南气流.在偏南气流中有一暖平流中心.和图3

相比较可见, 偏南气流中的暖平流是和冷涡云系中的暖锋云区发展相配合. 由此可见, 暖平流是造成大尺度上升运动、及冷涡云系发展的另一重要动力作用. 暖平流区的加强和北移还引起高空脊的发展, 导致在低涡北部形成反气旋弯曲的高空急流. 对比图 3 和图 5 还可发现冷平流区与低涡后部的晴空区相配合, 冷平流区的前沿为冷锋云区.

水汽通量散度的计算结果表明, 冷涡东侧的气旋式辐合风场中有相当强的水汽辐合(图略), 为冷涡云系的发展提供了充沛的水汽. 对流发展的水汽条件还可在 850hPa 静力能量总温度图(图略)上看出, 图中展示了一北伸的锢囚高能舌, 在它的上风方和下风方均有低能区. 这一能量系统的出现, 也反映了低层三股气流的作用^[6]. 锢囚高

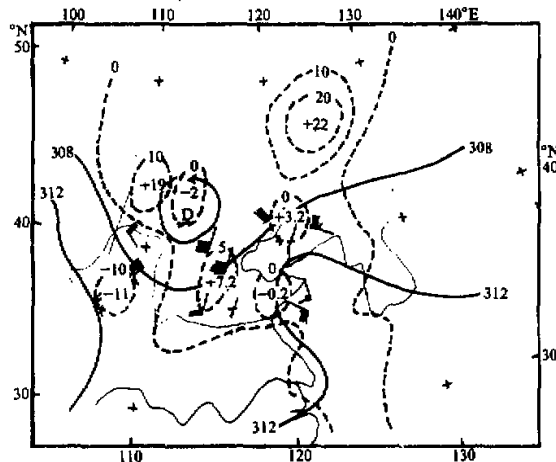


图 5 1986 年 8 月 31 日 20 时 700hPa 高度和温度平流分布

图中实线为等高线, 虚线为等温度平流线(单位: $10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C s}^{-1}$).

能舌是低层暖湿气流北上的结果, 这与图 5 的温度平流是一致的. 东西两股低能空气的存在, 使得在高能舌附近出现能量梯度很大的能量锋, 这一能量锋可起触发强对流天气的作用. 850hPa 上 $T_o^* - T_o$ (饱和能差) $\leq 6^\circ\text{C}$ 的准饱和区域和 $T_o^*_{500} - T_o_{850} < 0$ 的潜在不稳定区域与图 3 中冷涡云系内云顶温度较低的强对流区域相配合. 由此可见, 强对流云系的发展与锢囚高能舌附近的能量锋、深厚的高能、准饱和空气以及潜在不稳定能量有很密切的联系.

四、冷涡过程的强对流天气

1987 年 6 月 16 日至 18 日冷涡过程的云图特征与上述(1986 年 8 月 31 日)冷涡过程大体相似. 但降水的强度则有很大差异, 1986 年 8 月 31 日过程出现大范围的大到暴雨, 而 1987 年 6 月 18 日仅出现大范围的中雨.

是什么原因造成如此大的雨强差异? 1987 年 6 月 18 日 08 时的诊断分析资料表明, 此过程高层的辐散气流不明显, 上升运动中心值、水汽通量的辐合中心值比 1986 年 8

月 31 日 20 时的值分别小($49 \times 10^{-4} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $31 \times 10^{-8} \text{g}(\text{s} \cdot \text{hPa} \cdot \text{cm})^{-1}$). 虽然 1987 年 6 月 16 至 18 日的冷涡过程降水较弱, 但却发生了严重的冷雹天气. 16 日 15—16 时, 北京附近的河北八个区县出现了雹灾. 18 日也出现了冰雹天气, 虽然降雹范围较小, 但出现大范围雷雨大风, 并出现中等雨强的不稳定性降水. 图 6 给出了 1987 年 6 月 16 日 14 时 GMS 云图的素描图. 图中除了显示明显的涡旋特征外, 其南部有几个发展旺盛的强对流云团 S. 值得强调的是在冷涡南侧有一支非常强的呈东西向的 200hPa 急流通过, 50ms^{-1} 的强风速区自河套北部向东延伸至山东沿海, 强对流云团正好位于 50ms^{-1} 强风速区的北侧. 实测风表明, 雹区上空的风速比前两个个例大

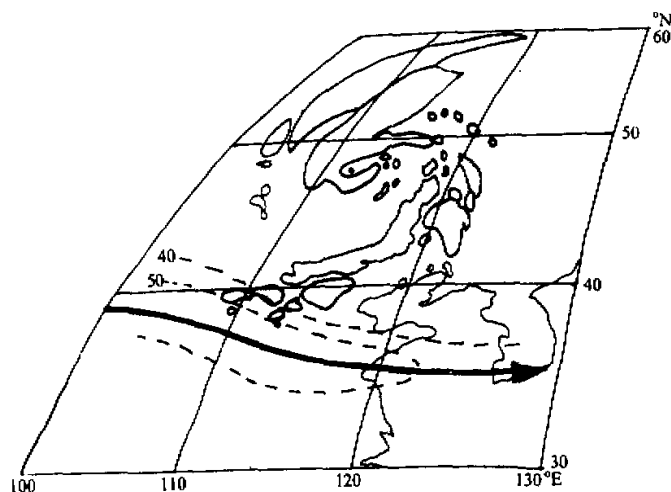


图 6 1987 年 6 月 16 日 14 时 GMS 云图的素描图

图中的实线表示 16 日 20 时 200hPa 急流轴线, 虚线表示 200hPa 等风速线.

$10-20 \text{ms}^{-1}$ 以上. 如此大的高空风为产生倾斜对流提供了不少的具有强垂直切变的环境风场. 急流轴附近的对流单体就是在这种有强垂直切变的风场中发展成为强对流单体的.

这次冷涡过程中对流活动强烈也与大气有较强的潜在不稳定能量有关. 我们计算了北京地区 1987 年 6 月 16 日到 18 日的潜在稳定度 $T_e^* - T_{e0}$, 其中 T_e^* 为 500hPa 饱和总温度, T_{e0} 为地面到 1000m 间的平均总温度. 结果表明, 16 日和 18 日大气具有潜在不稳定能量, 因此这两天出现了冰雹天气. 这种潜在不稳定能量的产生是 500hPa 冷涡后部不断有冷空气南下与 850hPa 或 700hPa 的暖切变迭加的结果. 总温度的计算还表明, 此过程中 850hPa 的 T_e 值小于 60°C , 这说明此过程低层水汽较少, 故只产生中等雨强的不稳定降水.

五、总 结

(1) 冷涡的云系结构可分成涡旋云区、不稳定云区和正涡度平流云区三个组成部分.

发展强盛的冷涡云系还可具有冷锋、暖锋和锢囚锋的结构。冷涡云系的结构是与冷涡的动力和热力结构相联系的。低层的气旋式辐合流场及切变线决定了涡旋云区中云块的排列。冷涡中高空冷槽和低空暖脊相叠置的区域是对流活动较强的不稳定云区。冷涡东南方槽前的正涡度平流区与正涡度平流云区相联系。当冷涡环流中有较强的冷暖平流时, 冷涡云系具有锋面气旋的云系结构。物理量诊断分析可以揭示冷涡云系中各部分云区的物理成因。

(2) 冷涡云系的发展和对流层高层的流场密切相关。当有高空急流通过冷涡南部时, 不稳定云区中的对流云可发展成强对流云团, 造成局地暴雨或冰雹天气。当冷涡位于上游的高空急流出口区的疏散流场中时, 冷涡云系会强烈发展, 并产生区域性暴雨天气。从卫星云图上的急流云系可判别是否有高空急流影响冷涡过程。

(3) 潜在稳定度指标、高空槽前的正涡度和低空偏南气流中的暖平流等物理量对估计冷涡云系的发展及所带来的天气有指示意义。

参 考 文 献

- [1] 吴正华, 1983, 华北冷涡连续雷雨的大尺度环境条件分析, 强对流天气文集, 气象出版社, 53—60.
- [2] 徐葆真, 1983, 蒙古冷涡雹暴发生条件的合成对比分析, 强对流天气文集, 气象出版社, 25—32.
- [3] 肖稳安, 1981, 华北一次冷涡飑线天气的 GMS 云图分析, 北方灾害性天气文集, 气象出版社, 103—107.
- [4] 肖稳安, 1985, 北方冷涡与强雷暴天气的地球静止卫星云图分析, 气象卫星资料分析应用文集, 气象出版社, 126—134.
- [5] 张元箴, 1973, 卫星云图应用于天气分析和预报的一个个例分析, 卫星云图的分析 and 接收文集, 4, 14—29.
- [6] 马鹤年, 1980, 次天气尺度 Ω 系统和暴雨落区, 暴雨文集, 吉林人民出版社, 171—176.
- [7] 雷雨顺、吴正华, 1980, 静力稳定度的能量分析, 气象学报, 38, 367—373.

Analysis and Physical Interpretation on Cloud System Structure for the Cold Vortex with Severe Weather

Yang Hongmei

(Institute of Mesoscale meteorology, Academy of
Meteorological science, Beijing, 100081)

Tao Zuyu

(Department of Geophysics, Peking University,
Beijing, 100871)

Abstract

In this paper, the satellite images of three cases of cold vortices, which caused the severe convective weathers, are studied. The structure of cold vortex cloud system is catalogued by two types, the simple vortex structure and the occluded cyclone structure. The physical interpretation of various constituent parts of the cold vortex cloud system, i.e. the eddy cloud area, the instable cloud area, the positive vorticity advection cloud area, the cold front cloud area and the warm front cloud area, are discussed with diagnostic data.

Key words: Cold vortex; Cloud system; Diagnosis.

129

杨伟恩等：夏季青藏高原热力场和环流场的诊断分析 I

图版 I

I. 盛夏高原西部地区的水汽状况

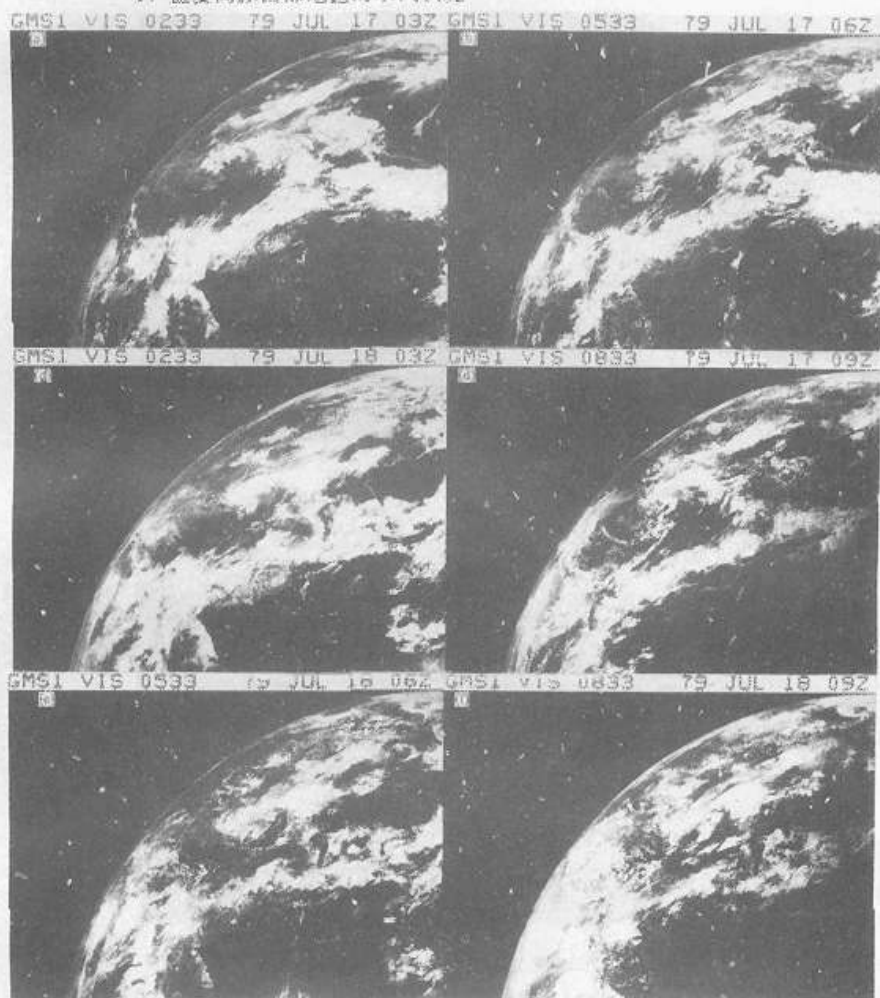


图 5 1979 年 7 月 GMS1 地球同步卫星可见光云图

(a) 17 日 9 时, (b) 17 日 12 时, (c) 18 日 9 时, (d) 17 日 15 时, (e) 18 日 12 时, (f) 18 日 15 时。

130

杨红梅等：强天气冷涡云系结构的分析和物理解释

图版I

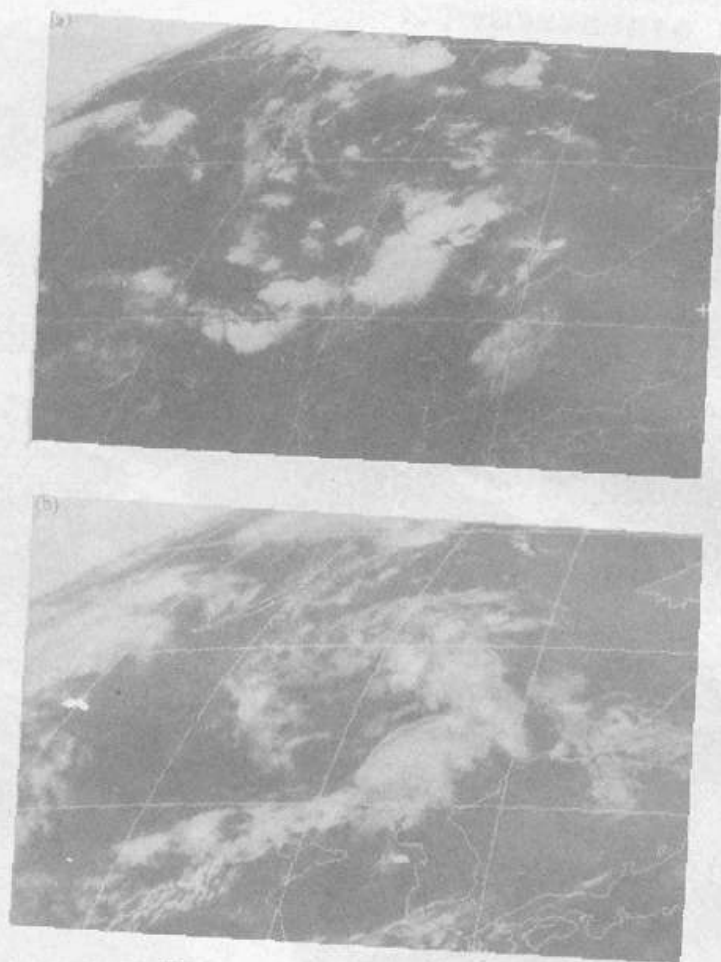


图1 1986年8月8—9日QMS红外云图
(a) 8日20时, (b) 9日08时。