

我国南方地区一次连续降雹 过程的卫星云图分析

陈渭民 郭亚田*

提 要

应用日本GMS卫星3小时一次的红外和可见光云图,结合常规气象资料对1983年4月26日开始的连续三天的降雹过程进行了中尺度分析,讨论了过程的天气特点和发生发展的物理条件以及各种天气系统、天气条件间的相互作用,及其对强对流天气发生发展的作用。

近十多年,国内外利用静止卫星云图研究分析中小尺度系统和强对流的发生发展,取得了不少进展。Purdum等(1974、1976)^[1,2]利用卫星云图分析中高压、飑线位置,并指出当太阳辐射是地面加热的主要因子时,早晨层云(雾)区将抑制强对流天气发展,以及当云线与云线或其它天气系统云系相交时,常促使强对流的发生发展。Adler、Fenn^[3]和David、Reynolds^[4]用3—5分钟间隔的云图导得云顶温度、云顶增长速率等来判断强对流天气的出现。肖稳安(1981)^[5]用GMS云图较系统地分析了我国北方冷涡雷暴的发生发展过程和云图特征。陈桂祥(1985)^[6]利用云图分析了我国北方冷锋飑线的云系特征,指出在其初始、发展、旺盛和消亡诸阶段的云型不同。文献[7]分析了发生于金华地区的一次强降雨雹过程,指出高空急流云系与云团合并将引起强对流天气的发生发展。国外工作注重于分析对流云团本身的结构、小尺度云系间的相互作用等与强对流天气间的关系。国内多讨论北方地区强对流天气的发生发展,对南方地区强对流天气分析研究较少。为更好发挥云图在中小尺度天气分析预报中的作用,我们收集了近年来发生在南方地区的强对流天气的云图和气象资料,发现这一地区的强对流天气云系较北方要复杂得多。本文通过1983年4月下旬连续三天的强对流天气分析,找出中小尺度天气系统的天气图和云图特征,为作好强对流天气分析预报提供一些依据。

一、降雹过程及环流背景

1983年4月26—28日,苏、皖、浙、沪、赣、鄂、湘、黔等10多个省市发生了降雹天

1986年6月2日收到,1987年2月25日收到修改稿

* 我院1985届毕业生

气，其范围广、时间长，大部分地区的雹粒大如核桃、鸡蛋，是近年来少见的。这次降雹由26—28日3次降雹过程组成。第一次从26日20时(北京时，下同)在黔北开始，24时加强，降雹区东移到湘、鄂、赣等地区，造成强烈的冰雹、大风天气(平均风力在8级以上，最大风速达11级)，至27日11时减弱，14时降雹结束。第二次于27日17时开始，次日凌晨结束。第三次是冷锋激发造成，28日上午冷锋云带位于北方，其上云团造成较弱的雷雨天气，到14时，冷锋云带南移加强，前缘有多条飑线生成，至傍晚飑线移到湘、赣、浙、沪等地区，造成强烈的冰雹大风天气，降雹2—30分钟。20时，大部分飑线减弱，29日凌晨，降雹过程结束。

4月25日前，500百帕环流特点是副高较弱，位置偏南，孟加拉湾有一南支槽，西伯利亚有一冷涡，乌拉尔山附近为一高压脊。长波形势在25日开始调整，其特点是副高加强，位置偏西偏北，南支槽前脊区明显，并与副高叠加，使其西北侧西南气流加强；长波脊整体东移，其前的短波槽发展加深，引导西北气流向南爆发。26日南支一高原槽东移时，在槽前云区内引起对流发展，造成长江中下游一次降雹天气。28日高纬地区短波槽东南移，槽后偏北风加强，北方冷空气直抵江南，在南方造成强对流天气。

二、降雹过程的天气尺度云系

1. 青藏高原槽云系

青藏高原槽云系是造成26—27日降雹的主要天气系统，它为一片盾状卷云带，自青藏高原以南向东北伸到华西一带，云系结构略松散，色调差异明显，左界整齐且与副热带急流轴相一致，云区东北一侧有明显的纤维状卷云。

2. 低槽冷锋云系

低槽冷锋云系是造成28日降雹的主要天气系统，表现在华北地区有一与涡旋云系相联的呈东北西南走向气旋性弯曲的云带，相应地面有冷锋，高空有短波槽。由于有冷空气侵入云区，形成一条伸到云区内的黑色舌区，使云区呈逗点状。比较27、28日两天云图，可看到这条云带是从新疆移来的，其前界曾有对流出现。

3. 高空急流云系

高空急流云系在降雹过程中始终起着重要作用。其在云图上表现为纬度较高的极锋急流云系和从低纬伸向中纬的副热带急流云系，后者有时不很清楚、云系断裂。

三、天气系统的相互作用和强对流云团的云图分析

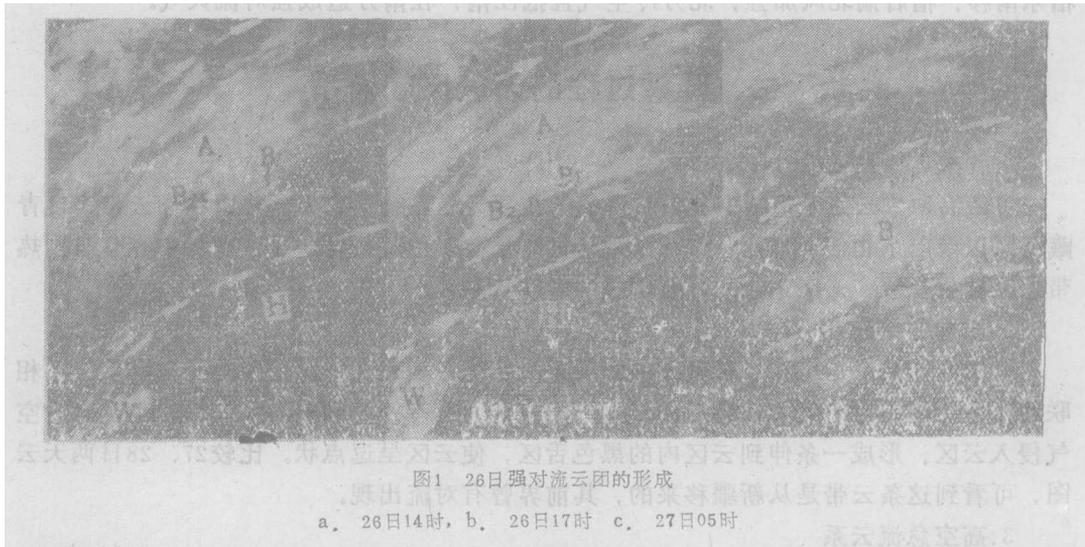
现将26—27日两次由高原槽东移引起的强对流过程和28日的冷锋飑线天气过程分别讨论于下：

1. 青藏高原槽引起的强对流云团演变特征

从26—27日云图上看到，由高原槽引起的强对流云团包括两次过程。

(1) 26日强对流云团的发生发展 26日08时500百帕图上华西地区有发展较深的低槽，槽后最大风速达44米/秒的干冷空气经河套影响长江流域，与南支槽前的西南气流交

汇于武汉—杭州一线。东南沿海受脊线在 15°N 的副高控制。850百帕四川盆地为一低涡,与其相联的切变线位于宜宾—常德一线。地面图四川盆地为一辐合中心。200百帕长江流域有中心风速达52米/秒的高空急流。在此形势下,对流云团的演变可分为四个阶段: A. 预兆阶段(26日08时),在这阶段高原槽云系位于青藏高原南侧,呈盾状卷云区,华南地区有一片破碎的中低云区。从中印半岛至华南有自热带向东北伸的卷云。B. 初生阶段(26日14时,图1a),高原槽盾状卷云区A明显东移,云区中纤维状纹理变得清楚,在这云区的右前缘处出现小而亮的对流单体群 B_1 、 B_2 ,其尺度只有几千米。有的单体受强风速垂直切变作用呈细长的对流云线。C. 发展阶段(26日17时,图1b),云区A向东北方向推进到长江流域,仍为盾状,且纤维状卷云很清楚。其东南方的对流单体群相互合并发展为两个较大的强雷暴云团 B_1 、 B_2 ,它们都呈现西南上风边界光滑、东北下风边界有明显的卷云砧,云团的长轴为200千米、短轴为100千米左右。其中 B_2 云团的西南边界呈一尖角,东南边界为向东南凸起的弧状。D. 成熟阶段(27日05时,图1c),云区A与云团 B_1 、 B_2 及其它对流云单体合并为雷暴云团B,其长轴700千米,短轴500千米左



右,色调白亮、结构密实,南到西南边界光滑分明呈弧状,东北边界卷云砧明显。在云团南界附近有多个强对流单体。新的强对流单体出现在云团西南端。云团在这阶段持续时间较长。E. 消散阶段(27日08时),27日8—11时,云团开始消散,色调变暗,边界模糊。

(2) 27日强对流云团的发生发展 在500百帕上高原槽已移至平武—广南一线,槽前为大片西南气流,槽后有强的西北冷平流。26日发生的雷暴云团B作为短波槽从高原槽内分裂东移出去。850百帕上四川盆地仍有一低涡。这天的云团也经历了: A. 预兆阶段(27日08时,图2a),这时正在消散的云团B的西南方S处出现小的单体,并与从热带伸向中纬的云带W-H连成一片。R处有一条略呈反气旋弯曲的卷云线组成的云区正向东移。B. 初生阶段(27日14时,图2b),卷云区R东移与S处的对流单体合并,形成尺度约为100千米的强对流云团 S_1 、 S_2 ,与26日云图上 B_1 、 B_2 云团特征相似,即色调

白亮、结构密实，西南边界光滑和东北边界有卷云砧。 S_1 东南方还出现狭长的对流云线。这时降雹区一般在云团 S_1 、 S_2 上风一侧云体最明亮处。C. 发展阶段(27日17时，图2c)，

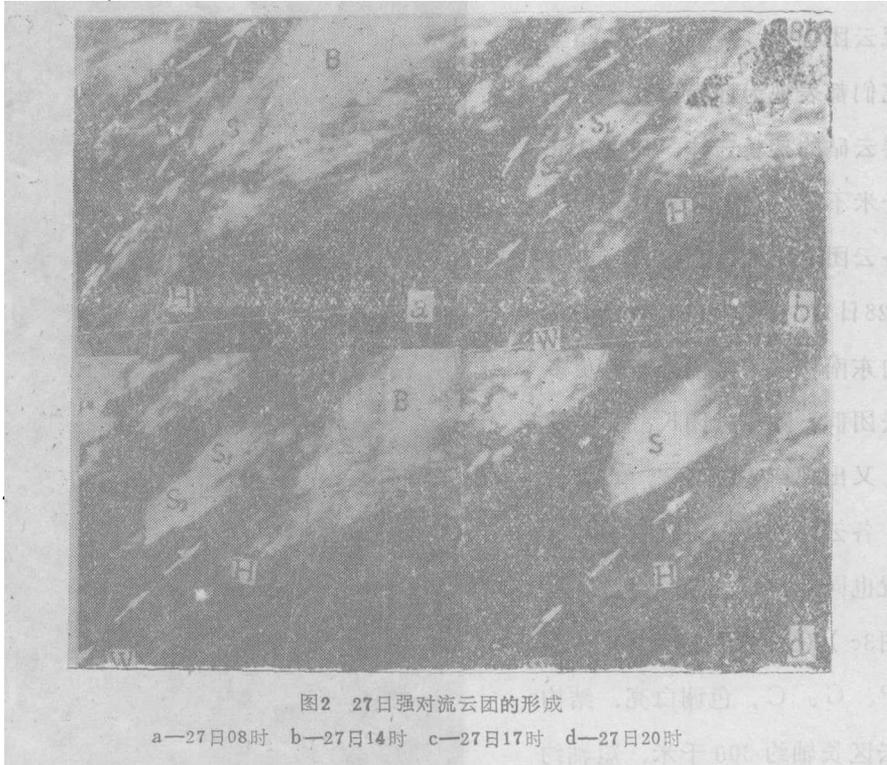


图2 27日强对流云团的形成

a—27日08时 b—27日14时 c—27日17时 d—27日20时

由于 S_1 、 S_2 云体发展及与四周小单体合并，已连成一片，但还能分辨。在云团的东北方向为明显的卷云砧，伸展达几百千米，西南边界光滑整齐，表现一尖角，还出现新生对流单体。这时降雹位于 S_1 上风一侧最明亮的积雨云母体附近和 S_2 的东南部最明亮处。D. 成熟阶段(27日20时，图2d)，此时 S_1 、 S_2 完全合并为一长轴达500千米、短轴300千米的椭圆形云团 S，其东北侧的卷云羽更清楚，西南到东南边界仍较光滑，云体密实、色调明亮，说明云团强度大。降雹区在云团西南部白亮处。E. 消散阶段(28日02时)，这时 S 云团结构松散、色调变暗、边界模糊，但其西南边界处仍可见到若干尺度为30—50千米的小对流云团。

2. 低槽冷锋南下引起强对流云团的演变特征

28日08时500百帕上由新疆东移的低槽已抵达包头至天水一线，槽后高脊在暖平流作用下迅速发展。850百帕槽线于北京—西安一线。长江流域为一致的西南气流控制，并有西南急流。地面图上，强冷空气前锋已达信阳—成都一线，锋后等压线密集，最大 ΔP_3 为+8.4百帕。表明强冷空气将向南爆发。在云图上降雹的各云团并非均处于同一发展状态，而是分先后次序的。为分析方便，云团的演变分为如下阶段：A. 预兆阶段(28日08时)，华北地区为一冷锋，其尾部有一明亮边界光滑的对流云区。北支高空急流云系在冷锋后的晴空区内穿过，且与锋面相交，在晴空区部分有横向波动云系，与锋面相交处为宽的盾状云区。长江以南有一副热带急流云带，从西南伸到长江口。B. 初生

阶段(28日14时, 图3a), 冷锋及高空急流明显南移, 冷干舌侵入冷锋云系, 呈螺旋结构。在冷锋云带 F 与急流云系 W-H 之间出现对流云团群 K、C, 有些达相当强度, 它们都表现为西南界光滑、东北界有卷云砧的狭长云体, 尺度从几—100 千米不等。这时降雹已开始, 出现在各云团上风侧明亮处。C. 发展阶段(28日17时, 图3b), 冷锋云带 F 继续向东南移动, 其前方产生更多的对流云团群, 除原云团 K、C 继续发展外, 又出现新生的对流单体群 P、G, 各云团的外形特征都相似, 降雹位置也同上。D. 成熟阶段(23日20时, 图3c) 对流单体发展合并为大的云团 P、G、C, 色调白亮、结构密实, 云区长轴约 300 千米、短轴约 200 千米, 每个云团南界向外凸起呈弧状。E. 消散阶段(28日24时) 除各大云团西南部略有发展外, 大部云区已松散, 色调变暗, 表明云团正在消散。



图3 28日强对流云团的形成

a—28日14时 b—28日17时 c—28日20时

四、降雹云团形成的条件分析

由云图发现, 这三天降雹云团的初生地和影响区域几乎在同一地区, 为说明这一现象, 根据所算的物理量、云团的天气背景等作一分析。

1. 降雹云团发展地区的分析

从这三天的资料分析说明, 在长江流域出现了层结不稳定、强风速垂直切变等有利

于降雹的条件,云图上也表现出对降雹有利的云系。

(1)水汽条件、不稳定能量分布有利于云团的发生 从三天的水汽分布图可见,强对流云团一般发生于低层湿舌前方干、湿分界线(露点锋)上。如26日08时水汽分布图(略)表明贵阳附近为高湿舌区,延伸到长沙、南昌一带。湿舌与低空急流位置重合,由此为云团的发展输送了充足的水汽。850百帕上汉口到蚌埠为一辐合区,南来的水汽在此辐合,在长江流域形成深厚湿层,有利于云团的形成。如取云团最亮区中心代表云团位置,求出云团路径,它基本上与低层辐合带和干湿分界线相一致,与低空急流轴相平行。在剖面图上,汉口到福州是片上干下湿区(500百帕以上较干,以下较湿),此时一旦有外力触发,低层水汽抬升,引起云团发生发展。从14时可见光云图也发现,长江以南为积云浓积云区,说明该地区低层较湿、增暖明显。

这三天沙氏指数分布图上,长江流域为不稳定带,如26日08时,贵阳到上海为不稳定带,中心于贵阳附近,这天的云团首先从该地发生,然后沿不稳定带东移发展。从天气图上看,26日长江流域中低空辐合线不重合,并有大的交角。700百帕辐合线呈东南西北向,850百帕为东北西南向,在这两个辐合线组成的东南扇形区内,低层有强的暖平流,中层有强的干冷平流,从而在长江流域形成一片上干冷下暖湿的不稳定区。另外低层的强烈增温和高空降温也促使不稳定度加大,在26日08、14时地面图上,长沙、武汉和南昌增温分别为8.8、5.0和4.8℃,在400百帕上降温分别为0.6、0.8和2.2℃,说明该区不稳定能量加大。

(2)垂直运动、散度场和风垂直切变是云团形成原因之一 如26日500百帕高空槽位于孟加拉湾,槽前是正涡度平流区,它有利850百帕西南涡的发展及其切变的加强。700百帕低空急流轴于低涡右侧,它的存在加大了低涡的正涡度,从而加剧低层辐合上升。在云图上,高原槽前是一片与急流相联的盾状云区,东移至低涡上空形成一高空辐散场。28日08时850百帕散度图上,杭州、九江和长沙为三个辐合中心,最大值达 $-5 \times 10^{-5} \text{秒}^{-1}$,相应700百帕垂直速度分布图上均为上升运动区。这些都有利于云团的形成。

强风速垂直切变是区分云团是否降雹的条件之一。从高低空天气图可见,长江流域有一强风速垂直切变带,500与850百帕的风速垂直切变最大值在恩施、长沙和九江一线,达18米/秒。强风垂直切变使云团上风边界光滑,下风边界为卷云砧,是用作判别云团有否强天气的依据。

(3)高空急流是激发强对流云团形成的重要机制,它提供了风速垂直切变和 不稳定能量存贮条件,同时使高空辐散加强,促进了低层辐合。这三次降雹过程中,高层始终有两支急流。在28日08时剖面图上,邵武上空有一支中心风速达57米/秒的副热带急流,南阳上空有一支中心风速为52米/秒的北支急流。从云图上可见,南支急流的南北位 移较小,北面一支较大。据涡度方程分析知,在直线型急流入口区左侧为辐合下沉运动,右侧为辐散上升运动;反映在云图上,其右侧常是云区,左侧是无云区。南支急流的左侧是下沉运动,它在对流层中部最大,下沉气流使空气压缩增温,并阻止低层能量向上输 送。同时该处云系稀少,太阳辐射直达地面引起强烈增温,所以下沉运动是对流发生前 大气低层能量贮存的重要机制^[8]。由于南支急流持续少动,使长江流域能量不断积聚。

北支高空急流入口区是辐散场,它总是以右侧先接近不稳定区,在不稳定区上叠加一辐散场,触发对流发生。故降雹云团正好处于这两支急流之间。

(4)中低纬天气系统相互作用对降雹的作用 这几天在中印半岛到孟加拉湾始终有一热带云团,由于南支槽作用,在热带云团顶部向北伸出卷云砧,并逐步向北扩展,最后在我国南方形成一条副热带急流云系,其间叠加一团团离散云系,沿急流云带向北推进。由于热带云团稳定少动,使急流持续少动,从而将热带水汽、能量输送到长江流域,且为降雹提供背景场。

2.降雹云团初生地的条件分析

这三天的降雹云团都先在 $28^{\circ}-32^{\circ}\text{N}$ 、 $108^{\circ}-111^{\circ}\text{E}$ 范围内发生发展起来,初步分析成因如下:

(1)低层气流和中层强风轴的作用 低层的辐合有利于能量积聚和触发对流发生。三天08时地面图上,川南到云贵均维持一低压槽,14时倒槽内气旋性环流明显加强,出现一片负变压区,最大 ΔP_3 达 -4.5 百帕,气旋性环流中心在安顺附近,相应倒槽发展,850百帕上出现低涡,其前方为暖式切变,该地低空为辐合场控制;同时贵阳—芷江一线为低空急流轴,云团初生地地位于其左侧,说明该地有强烈辐合。

中层强风轴对降雹的生成有重要作用^[9],在三天08时500百帕上降雹初生地西北方出现20米/秒以上的强西北气流,强风轴在酒泉、兰州、西安一线,伴随此轴有强冷空气向南爆发,促使云团初生地不稳定性加大,为强对流发展提供条件。

(2)层云(雾)和积云浓积云效应 Purdom指出,早晨的层云(雾)对午后强对流的发生具有触发作用。三天的08时云图和地面图上,在恩施、安康、酉阳等地都出现雾区。雾的存在表明该处水汽充足和常有逆温存在。由于雾的反照率较四周无云区高,使太阳对无云区地表加热较雾区高,由于地面加热不均匀而触发对流生成。

26日14时云图上,长江以南大部分地区为积云浓积云区,西北界位于长江三峡南侧。当高原槽云系与其相交接时,在交接处云团初生。27日情况也很类似,28日冷锋尾部进入巫山地区时,云团在其尾部初生。

(3)地形作用 地形对降雹云团生成虽不是决定因子,却是一个重要因子。在云团初生地,地形复杂,北面有巫山,南面有武陵山和大娄山系。山地可使气流抬升或形成绕流或造成重力波;也可造成热力分布不均匀,向阳坡上对流容易发生或引起山谷风等,该地的地形对云团的生成十分有利。

据上分析,三次降雹与天气尺度云系、急流轴、水汽和不稳定分布的关系都十分类似。现以26日为例作了降雹的天气学示意图(见图4),图中降雹区基本位于两支高空急流之间、低空急流轴左侧;不稳定轴线、湿轴、露点锋都穿过雹区。

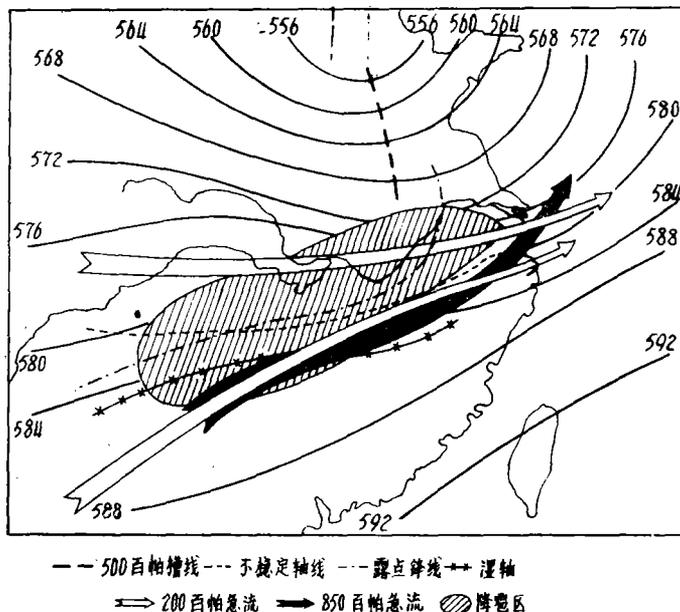


图4 26日降雹的天气学示意图

五、小 结

1. 三天降雹是在有利的天气尺度环流背景下发生的，它与低槽冷锋和高原槽有关。
2. 根据云系演变特征把降雹过程分成发生、发展、成熟诸阶段，为用云图预报冰雹提供一些依据。
3. 降雹是由强对流云团引起的，其表现为上风边界光滑，下风边界有卷云砧，云体有明显的长轴，降雹出现于云团上风部分明亮区。
4. 降雹云团位于南北两支急流之间，高空急流对降雹云团形成有重要作用。
5. 降雹云团一般发生于湿舌前方、低层增温剧烈、上干下湿的不稳定气层内。
6. 中低纬天气系统的相互作用和地形对云团的形成也有重要作用。

参 考 文 献

- [1] Purdom, J.F.W. and Gurka, J.G., The effect of early morning cloud cover on afternoon thunderstorm development, preprints, 5th conference on weather forecasting and analysis, 63—68, AMS, Boston, Mass., 1974.
- [2] Purdom, J.F.W., Some uses of high-resolution GOES imagery in the mesoscale forecasting of convection and its behavior, Mon. Wea. Rev., Vol. 104 (1976), 1474—1483.
- [3] Adler, R.F. and Fenn, D.D., Thunderstorm intensity as determined from satellite data, J. Appl. Meteor., Vol. 18 (1979), 502—517.
- [4] Reynolds, D.W., Observations and detection of damaging hailstorms from geosynch-

- ronous satellite digital data, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 108(1980), 337—348.
- [5] 肖德安, 用地球静止气象卫星云图分析我国几类强雷暴天气, *大气科学*, 5卷, 4期, 393—406, 1981.
- [6] 陈桂祥, 与冷锋有关的飑线的卫星云图分析, *气象卫星资料分析应用文集*, 118—125, 气象出版社, 1985.
- [7] 陈渭民, 使用地球静止气象卫星云图分析1979年4月29日浙江金华地区冰雹, *气象卫星资料分析应用文集*, 110—117, 气象出版社, 1985.
- [8] 蔡刚恰, 我国强对流发生前的能量贮存机制, *大气科学*, 9卷, 4期, 377—386, 1985.
- [9] 李平, 中层强风速轴对雹暴形成的作用, *强对流天气文集*, 153—159, 气象出版社, 1983.

ANALYSIS OF HAILSTORM PROCESS OVER SOUTHEAST CHINA BY MEANS OF SATELLITE CLOUD PICTURES

Chen Weimin Guo Yatian

ABSTRACT

Meso-analysis is made for the three hailstorm processes occurring on 26—28 April, 1983 by means of the three-hourly infrared and visible GMS cloud pictures together with the conventional synoptic and upper air data. The synoptic situation, including the interaction between weather systems and their effects on development of strong convection as well as the physical processes of the hailstorms are discussed.