

兰州大学

硕士学位论文

新疆中尺度对流系统时空分布特征的研究

姓名：王凤梅

申请学位级别：硕士

专业：大气科学 天气动力学

指导教师：王旭;王文

20061101

摘 要

新疆四周高山环绕，天山山脉横亘中央，形成南北两大盆地，地势平坦开阔。虽然这里远离海洋，气候干燥，但却时常发生冰雹、局地大降水、沙尘暴等严重灾害性天气。为了对新疆的中尺度对流系统有较全面的认识，进行了本研究。本研究分六章，主要内容包括：

(1) 通过对 1998~2000 年 3 年日本 GMS-5 静止气象卫星逐时红外云图数字资料的普查，共获得 160 个发生在新疆的中尺度对流系统（简称 MCS），分析了新疆 MCS 的地理分布。结果表明：新疆有两个明显的 MCS 集中区，一处伊犁河谷东边天山山脉的迎风坡，这里正是新疆年降水日数最多的区域；另一处在西天山东侧背风坡的柯坪附近，这里是新疆沙尘暴出现最多的地方。还有两个次集中区，一个在包括博斯腾湖的焉耆盆地，另一个在昆仑山北麓、塔克拉玛干沙漠西部。新疆北部的古尔班通古特沙漠中几乎没有 MCS 发生，而南部的塔克拉玛干沙漠的 MCS 不在少数，塔克拉玛干沙漠的西部和北部是 MCS 的多发区。

(2) 分析了新疆 MCS 的年变化特征，通过分析发现：MCS 多发生在春末及整个夏季，秋季和冬季少见。6 月为高发月份，占总数的 24%，远远超过其它月份，其次是 7 月和 5 月，占总数的 17%和 16%，最少的是 2 月和 3 月。塔克拉玛干沙漠是发生在 5 月最多。

(3) 对新疆 MCS 的生命史进行了统计，结果表明：多数 MCS 形成于午后到傍晚（14 时~19 时），还有一部分在夜间形成（20 时~24 时），甚至有小部分在凌晨（04 时）形成。MCS 成熟于傍晚至午夜，冷云盖的面积达到最大，夜间至凌晨消散，新疆的 MCS 具有明显的夜发性。新疆 MCS 有 60%持续 4~6h，以持续 4h 的最多。

(4) 统计分析表明，新疆产生 MCS 的环流形势主要有两种：纬向型和经向型。在纬向型势下，500hPa 中纬度欧亚范围多短波槽活动，在这种形势下有利于北疆西部、北疆沿天山、南疆的阿克苏和巴音郭楞蒙古自治州北部的 MCS 的发生和发展；经向型形势下，西西伯利亚—巴尔喀什湖南部为一冷性深槽，易于造成天山西部和中部 MCS 的发生和发展。

ABSTRACT

Xinjiang is surrounded by high mountains. With the Tianshan Mountains span through the central area, it is divided into two wide open basins, one in the south, and the other in the north. Although it is far away from oceans and has arid climate, there are frequent occurrences of disastrous weather such as hailstones, local heavy storms, and sandstorms. This study is undertaken in order to get a comprehensive understanding of the Meso-scale Convective System (MCS hereafter) in Xinjiang. This thesis consists of six chapters. The main conclusions include:

(1) By studying the Japanese geosynchronous weather satellite GMS-5 hourly infrared cloud data from 1998 to 2000, there were totally 160 occurrences of MCS in Xinjiang. The spatial distribution of those MCS was analyzed. The result shows that the MCS primarily occur in two regions. One is the windward of Tianshan Mountains, east to Yili river valley and exactly where the days of annual precipitation occurs in Xinjiang. The other is the surrounding area of Keping, leeward of western Tianshan Mountains where has the most frequent occurrences of sandstorms. In addition, there are another two secondly regions. One is the Yanqi basin where the Bositeng Lake is located in. The other is in the north of Kunlun Mountains, west to Taklimakan Desert. There is barely occurrence of MCS in Guerbantonggute Desert, north of Xinjiang, whereas fairly in the south of Taklimakan Desert, and frequently in the west as well as the north of Taklimakan Desert.

(2) Analysis on annual cycle of Xinjiang MCS shows that: MCS occur mostly in later spring and throughout the summer, and rarely in autumn and winter. It peaks in June, with 24% of MCS happening in this month, much more than the other months, followed by July and May, totaling 16% and 7% respectively, and least in February and March. For Taklimakan Desert, it peaks in May.

(3) Statistical analysis on Xinjiang MCS life span was conducted. The result shows that: a majority of MCS are formed in the afternoon to the evening (14:00 ~19:00AM), a part of them in the evening (20:00 ~24:00PM), and even a small part of them in the early

morning (04:00AM). MCS become fully developed in the evening to midnight. At that time, the cold cloud cover reaches maximum. It is dissipated at the night till early morning. Therefore, Xinjiang MCS is a phenomenon of apparently nocturnal occurrence. 60% of Xinjiang MCS can last 4~6h, mostly around 4h.

(4) Xinjiang MCS circulation pattern have two types by statistical analysis. One is latitudinal pattern, another is longitudinal pattern. At latitudinal pattern, there is many shortwave trough in 500hPa mid-latitude Eurasian. This type can bring MCS of west of North Xinjiang and Tianshan Mountain along North Xinjiang, Akesu and north of Bayinguoleng Mongolia Autonomy State. At longitudinal pattern, Siberia to Balkhash Lake is cold and deep trough, this type can bring MCS of west and middle part Tianshan Mountain.

原创性声明

本人郑重声明：本人所呈交的学位论文，是在导师的指导下独立进行研究所取得的成果。学位论文中凡引用他人已经发表或未发表的成果、数据、观点等，均已明确注明出处。除文中已经注明引用的内容外，不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的科研成果。对本文的研究成果做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。

本声明的法律责任由本人承担。

论文作者签名：王同松

日期：2006.10.15

关于学位论文使用授权的声明

本人在导师指导下所完成的论文及相关的职务作品，知识产权归属兰州大学。本人完全了解兰州大学有关保存、使用学位论文的规定，同意学校保存或向国家有关部门或机构送交论文的纸质版和电子版，允许论文被查阅和借阅；本人授权兰州大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用任何复制手段保存和汇编本学位论文。本人离校后发表、使用学位论文或与该论文直接相关的学术论文或成果时，第一署名单位仍然为兰州大学。

保密论文在解密后应遵守此规定。

论文作者签名： 王旭 导师签名： 王旭 日期： 2006.10.15

第一章 国内外现状

近年来国内外对中尺度对流系统（简称为 MCS），进行了大量的研究。这不仅包括对 GATE（全球大气研究计划大西洋热带试验）等资料进行的分析研究，也包括一直在进行的理论研究。MCS 之所以引起人们的极大关注，不仅是因为许多天气灾害，诸如暴雨、洪涝、强风暴、雷暴和龙卷等经常是由中尺度对流系统(MCS)造成的，更因为它们对对流层热量收支，乃至全球的水循环都有着重要的影响。

国内外每年都有 MCS 造成暴雨洪涝和暴雪冻害及其他灾害的各种报道。在我国，MCS 每年造成的暴雨洪涝灾害尤为严重，特别是 1998 年夏季长江流域特大暴雨洪涝期间(国家气象中心，1999)。在美国，芝加哥 Metropolitan 地区 1996 年 7 月 17~18 日导致严重洪涝的大暴雨就是由两个巨大的 MCS 造成的 (Changnon S A, 1999)。在日本，正在实施对 MCS 结构和发生、发展机制研究项目的五年(1998~2003 年)计划 (JST-CREST, 2000)。在我国暴雨试验研究项目(中国气象科学研究院气象科技信息中心，2000)的五年(1999~2003 年)计划中，对与梅雨锋相伴的 MCS 演变和结构的观测研究十分关注。在欧洲，已注意到 MCS 位涡距平对数值天气预报的重要影响 (Gray M E B, 2001)。在其他国家，对于 MCS，特别是对 M_sCS 和 M_vCS 发生和发展的研究也作了很多工作。但总的来说，对 M_vCS 的研究相对少些，这是由于其水平尺度(2~20km)较小，且生命史只有 1h 或更短。

国外的研究表明，在美国大平原地区、热带海洋和副热带的陆地区域以及南美的中纬地区，MCS 是一种常见的天气现象。对于 MCS 的研究基本分为两类，一类根据红外卫星图像，这主要是描述中尺度对流复合体 (MCC, mesoscale convective complexes) 的特点；另一类是使用雷达反射率资料，描述降水的组织和结构特点。

中尺度对流复合体 (MCC) 是中纬度地区一种活跃的中尺度系统。

MCC 可引起多种多样的对流天气，包括龙卷、冰雹、大风和闪电，但通常的特征是引起广阔地区的暴雨天气，甚至产生暴洪。1977 年 7 月 19~20 日夜间美国宾夕法尼亚州 Johnstown 地区的暴洪夺去 76 人生命，成为美国一次重要的气象灾害。分析表明，这是一个生命期长达 96h 的 MCC 所导致 (L F Bosart and F Sanders, 1981)。

最先提出 MCC 定义的是 Maddox (1980)，他把红外卫星云图上 TBB (黑体辐射温度) 小于 -32°C 的连续冷云区面积至少达到 10 万平方公里， $\text{TBB} \leq -52^{\circ}\text{C}$ 的连续冷云区面积至少达到 5 万平方公里，并且这些云区至少维持 6 小时以上的雷暴复合体定义为 MCC (见表 1.1)。此外，判据还要求冷云区在最大范围时，短轴与长轴之比不小于 0.7，即云顶为准园形。同时 Maddox 还给出了 MCC 的生命史模式。通过对 43 个 MCC 的研究，提出 MCC 具有夜间性。一般 MCC 的初始雷暴在下午开始发展，在后半夜达到冷云区范围最大即成熟期，清晨开始消散，但其云区残骸和轻度降水可能还要持续几个小时。Maddox 还指出 MCC 可能是美国中部夜间雷暴最多和降水量最大的主要原因。MCC 与它所在的大尺度环境相互作用，并且改变着大尺度环境场；同时在它们消散之后，对其下游地区的天气仍会产生较长时间的影响。

表 1.1 在增强红外卫星云图上定义中纬度 MCC 的判据

	物理特性
尺度	(A) 红外温度 $\leq -32^{\circ}\text{C}$ 的连续冷云区面积 > 10 万平方公里 (B) 红外温度 $\leq -52^{\circ}\text{C}$ 的内部冷云区面积 > 5 万平方公里
生成	第一次满足尺度定义 (A) 和 (B) 的时刻
生命期	满足尺度定义 (A) 和 (B) 的时间 $> 6\text{h}$
最大的空间范围	连续冷云罩 (红外温度 $\leq -32^{\circ}\text{C}$) 的最大面积
形状	在最大空间范围时椭圆率 (短轴/长轴) ≥ 0.7
消亡	尺度定义 (A) 和 (B) 不再满足的时刻

1996 年 8 月 4 日，河北省发生了一次特大暴雨 (简称“96·8”暴雨)。此次特大暴雨是 1963 年以来河北省发生的最大一次暴雨。3 日 08 时到 5 日 08 时 (北京时) 石家庄等 5 个市县的降水量在 400mm 以上。“96·8”暴雨在河南最大的一小时雨强达 106.8mm (新乡)，接近“75·8”暴雨的 178.1mm 的最大雨强 (林庄)。造成“96·8”特大暴雨的天气系统是 1996 年 8 月 1 日在福建登陆的 9608 号台风蜕化成的低压。9608 号台风在 850hPa 等压面上的低压环流到达湖北后还一直向北移动到 40°N 附近。在 850hPa 台风低压路径的东侧有一南北向的大一暴雨带，最大日降水量超过 300mm 的特大暴雨位于河北省石家庄地区。特大暴雨由 MCC 造成 (见图 1.1)。

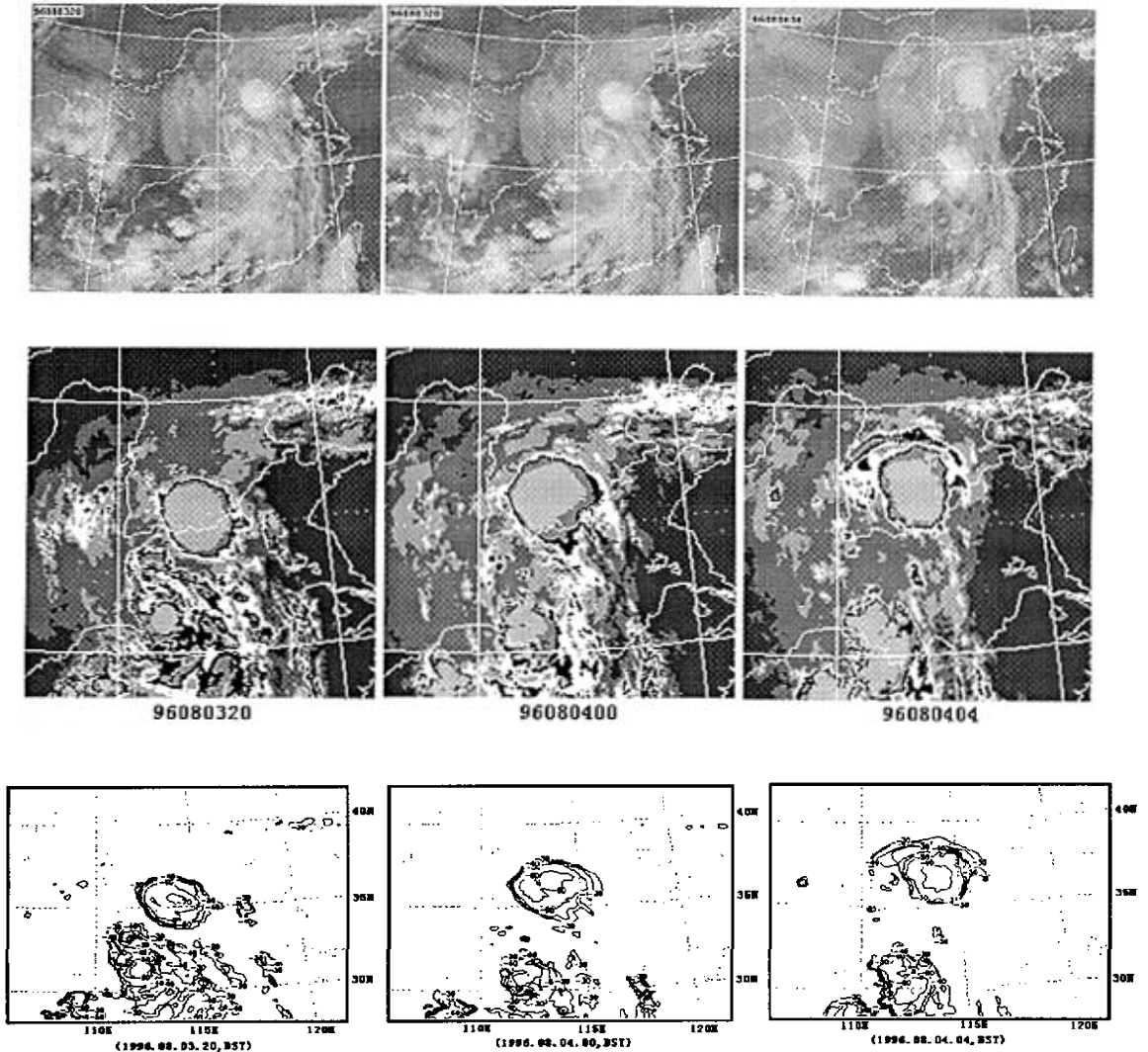


图 1.1 1996 年 8 月上旬河北特大暴雨 MCS

马禹等（1997）指出中尺度对流系统是我国夏季造成暴雨和洪涝灾害的主要天气系统之一。每年都有 MCS 带来暴雨的报道。例如 1993 年 8 月 4~5 日的一次 MCS 过程给山东、河北、安徽和江苏数省带来特大暴雨，最大降水量高达 540mm。

1998 年夏季长江流域降水量超过 500mm，8 月长江上游的四川、重庆等地降水频繁。持续的强降水使得长江干、支流和沿江湖泊水位猛涨，引发了自 1954 年以来长江又一次全流域的特大洪水。张顺利等（2001）指出长江流域持续性强降水是多种尺度相互作用的结果，是受副热带高压、南海季风涌、中、高纬冷空气以及青藏高原 MCS 等 4 种系统的共同影响，这 4 个影响因子的最佳组配造成梅雨锋上的持续性强暴雨。其中，青藏高原的 MCS 在 1998 年长江流域两段梅雨期，先

后有 9 次从高原东移，加入到梅雨锋中，并引起强降水。

吴庆丽等（2003）对 1998 年 7 月 20~25 日发生在湖北的一场暴雨进行了分析，指出，这次暴雨过程的天气系统就是中尺度对流系统。此次过程，使得武汉市在 20~22 日降雨量高达 457.4mm,造成市区严重积水，黄石、蕲春、鄂州、黄梅和武昌达到了特大暴雨的等级(日降水量>200mm)，黄石雨强最强，日降雨量高达 270.8mm。利用逐时雨量资料，分析出雨峰主要同 MCS 发展初期相联系,即 MCS 尚处于 β 尺度甚至 γ 尺度时就可以产生雨峰。

2002 年 6 月 18~20 日贵州省中北部地区的遵义市、贵阳市、铜仁地区、毕节地区东南部及安顺市北部出现暴雨天气。造成暴雨的原因是连续数日每天出现中尺度对流系统（MCS）（杜晓玲，2003）。

2002 年 8 月 1 日晚北京东北部密云县发生了降雨量达到 280.2mm 的局地短历时特大暴雨，并引发了洪水和泥石流。卫星云图分析表明，它是由一个中- β 尺度对流系统在北京北部山区停留造成的（王迎春等，2003）。

MCS 中研究较多的中尺度对流复合体(MCC) (Maddox R A, 1980)是属于 $M_{\alpha}CS$ 。Velasco 等(1987)、Miller 等(1991)及 Laing 等(1993)对南北美洲、西太平洋和非洲的 MCC 进行了普查。他们普查的范围几乎覆盖了全球。而 Laing 等(2000)对世界上 MCC 在 5 个大环境区,即非洲、澳大利亚、中国、南美洲和美国的平均生成环境进行了研究。但这些结果尚不足以代表 MCS 时空分布的全貌，特别是在他们的结果中，我国东部广大地区 MCC 的数量非常少(Miller D, 1991)，不符合我国实际情况。李玉兰等(1989)和项续康等(1995)分别普查了 1983~1986 年及 1989~1993 年我国南方的 MCC，但他们都只给出了这些年中的部分个例(5 个和 10 个)，而未给出全部普查结果。马禹等(1997)利用地球同步卫星每小时一次的红外云图资料将 MCS 的普查从数量较少的 MCC 扩大到 $M_{\alpha}CS$ 和 $M_{\beta}CS$ 。通过对 1993~1995 年 3 年夏季 GMS 卫星红外云图的普查，共获得 234 个 $M_{\alpha}CS$ 和 585 个 $M_{\beta}CS$ ，发现黄河和长江中下游地区是 $M_{\alpha}CS$ 的多发区， $M_{\alpha}CS$ 和 $M_{\beta}CS$ 的生命史分别为 7~8h 和 5~6h。

1998年进行的淮河流域能量与水分循环试验是全球能量与水分循环试验计划（GEWEX）在亚洲季风区开展的气象、水文观测试验（HUBEX/GAME），是国家自然

科学基金“九五”期间支持的重大基础研究项目，也是中日合作项目。该项目的实施主要是利用在以淮河流域为中心的广大区域内开展外场观测试验所获得的气象、水文、雷达、卫星遥感等加密观测和特殊观测资料，进一步了解东亚季风区(主要是江淮梅雨区)中尺度降水系统的能量与水循环过程，建立区域气候—水文数值模式及四维资料同化系统，提高梅雨的气候模拟能力。

淮河流域能量与水分循环试验是第一次包括了数字化天气雷达和多普勒雷达组成的三维观测网，观测了梅雨锋系统中的中- α 尺度和中- β 尺度的云和降水的四维结构；也是国内外首次在东亚半干旱半湿润季风区开展的气象与水文联合观测试验。通过研究，该项目取得了一批创新性研究成果：(1)研制了区域资料同化系统及四维同化资料数据集，该数据集已广泛地被国际和国内相关研究工作应用。这些资料对于开展东亚季风和梅雨锋系统的诊断分析和机理研究具有很重要的价值。HUBEX 资料的高质量获取，对于东亚季风试验计划(GAME)中高质量再分析资料集的建立，做出了重要贡献。对世界气候研究计划起到推动作用。

(2)研究了淮河流域水热循环中不同物理过程的作用及其对区域气候的影响，获得了淮河流域能量和水循环的综合物理图像，以及陆面过程中的定量参数和地气交换特征。(3)利用最新的 TRMM 等卫星、多普勒雷达和数字化雷达探测资料，反演和提出了淮河流域梅雨锋系统中的中尺度云雨结构特征，为深入了解梅雨锋暴雨的形成机制和暴雨预报，提供了重要的物理依据。(4)利用获取的试验数据，改进了区域气候模式，研制出新的陆面过程模式和水文模型，并且进行了区域气候模式与水文模型的耦合研究，在江淮梅雨和淮河汛期降水的气象水文预报中，特别是 2003 年淮河暴雨洪水预报中取得了明显效果。

Laing 等(2000)对世界上 MCC 出现的 5 个大尺度环境区(非洲、澳大利亚、中国、南美洲和美国)的平均生成环境进行了研究，发现它们非常相似并显示出许多与美国本土系统相同的动力和热力结构。特别是 MCC 初生在明显的斜压区内，该区以对流层低层垂直风速强切变和高值对流有效位能(CAPE)为特征。典型情况是：一支静力稳定度低而相当位温高的低空急流，沿几乎与斜压区垂直的方向切入 MCC 生成区域，被迫沿相对较浅的地面冷气层抬升。叠置在地面冷气层上的明显暖平流在对流层低空伴有强的顺转(veering)。局地绝对湿度最大和静力稳定度最小成

为适宜对流系统生成的标志。低空辐合、高空辐散和高层涡度趋于最大并与弱短波槽相伴都是典型的生成环境特征。Laing 等(2000)根据中国 1983 年(6 例)、1984 年(1 例)和 1985 年(5 例)分析了中国 MCC 平均天气环境。但这主要是中国南方的个例。Zheng 等(1999)利用 1993 年 6~8 月 1h 间隔的 GMS 卫星数字红外云图和日常地面观测和探空资料分析了我国黄海地区 M.CS 发展的环境,并对活跃(active)和不活跃(null) M.CS 期间的合成天气环境作了比较。此外,康风琴等(2001)还对我国南方 MCC 的涡度、水汽和热量收支进行了诊断分析。

Hane 等(1995)利用地基双多普勒雷达资料及其它一些资料,从动力学上研究了 1985 年 6 月 3~4 日成熟于 Kansas 中部的一个 MCS。该系统有明显的三维结构,因两个对流带的交叉而形成了波状。文中比较了这两个对流带的速度、气压、浮力结构及动量输送贡献。从风场动力反演气压和浮力能洞察系统的结构,并能计算用于水平动量方程的气压梯度。文中用几种独立的检测手段保证气压计算的准确性。结果表明:如反演过程中包括了速度时间导数,气压计算会更准确一些。Raymond 等(1990)认为长生命史的 MCS 是通过准平衡垂直运动和湿对流非绝热效应的相互作用而维持其自身的。同时指出,降水的潜热释放、蒸发和融化以及热力辐射都是贡献于对流层下部正位涡距平的产生。该距平能与具有切变的环境相互作用,从而引发低空空气的再抬升,继而导致条件不稳定的释放。Kain 等(1998)在 MCS 中多尺度对流翻转的论述中指出,一个模式的中尺度动力学必须以某种方式把在对流方案中表示的热塔与模式格点可清楚分辨的非线性中尺度环流间断跨接起来。Gray(2001)用位涡(PV)反演技术和数值天气预报(NWP)模式研究了 MCS 形成的位涡距平对下游气流的影响。他们发现,在模式中引入 MCS PV 距平,会使预报误差有所减小。这一结果提示,试图将 MCS PV 距平同化到 NWP 模式中,可能有益于预报精度的提高。

Bryan 等(2000)在讨论大气静力稳定度时,特别提出第六种静力稳定度态:湿绝对不稳定度(Moist Absolute Instability),即 $\gamma_s > \Gamma_s$, 其中, γ_s 是饱和直减率(saturated lapse rate), Γ_s 是湿绝热直减率(moist adiabatic lapse rate)。他们通过对 130000 个探空的分析和对一次观测过程的数值模拟结果指出,湿绝对不稳定能够在大气中尺度地区上空产生并维持,特别是在 MCS 区内。对我国高

原暴雪过程中的 MCS，会有湿对称不稳定(王文等，2000)出现。Schultz 等(1999)对有关 MCS 中的湿对称不稳定(MSI)问题从观测理论和模拟研究结果作了详细的综述和述评。他们指出，MSI 释放的倾斜对流通常用于解释温带的云带和雨带，但 MSI 中的条件对称不稳定(CSI)作为动力诊断工具而估算倾斜对流时，有误用的。对深的湿重力对流和深的湿倾斜对流都要求不稳定、水汽和抬升同时出现，三者任缺其一都足以使湿倾斜对流不发生。Schultz 等(1999)还给出了中纬度 MCS 中逆尺度(upscale)和顺尺度(downscale)对流—对称不稳定的示意图。

Velasco 和 Fritsch (1987) 使用增强红外卫星图像、常规地面和探空资料描述了南美中纬度地区和北美、南美之间热带地区的 MCC。研究表明，上述地区内 MCC 是非常常见的，但无论是南美还是北美，热带 MCC 群体要比中纬度系统群体大。在热带海洋上出现的 MCC 中，一部分发展为热带风暴。作者提出，一个有暖核心的中尺度涡旋环流可能有利于海洋上 MCC 生长成热带风暴。同时，这一研究还表明，MCC 趋向于位于最大西风气流纬度区(如洛基山东边大平原最大西风)和最大东风气流纬度区(墨西哥西马德雷山脉西边的最大东风)内的重大山系的近处下风方。

Miller and Fritsch (1991) 指出在西太平洋地区 MCC 仍是常见的对流系统，表现出许多与美洲 MCC 相同的特征。在此地区的 MCC 具有明显的夜间性，多形成在陆地上或紧靠陆地的邻近地区。它的季节分布与美洲相似，春末和夏初是中纬度地区 MCC 发生最多的时期，热带地区的系统趋于较为均匀地发生在整个暖季中。在春末和夏初(5~6 月份)80%以上的系统发生在中国的东南部和孟加拉国。它的地理分布，有四个密集中心，澳洲北部，新几内亚，印度东北部和孟加拉国，中国大陆和南海。

之后 Laing and Fritsch (1993) 对印度次大陆和非洲的 MCC 进行了研究。结果表明上述地区 MCC 的气候学特征与其它地区基本相似，它们的夜间性，近大陆性以及季节性都类似于其它地区。在非洲的 MCC 有一个非常有趣的现象，即非洲撒哈拉地区 MCC 频繁出现，而热带雨林地区 MCC 却很少。

对于 MCC 区域性气候学的研究表明，它是一种全球性的对流系统，那么对它的形成过程，以及内部结构和降水结构的分析研究工作就非常有意义。

在早期的研究中 Maddox and Perkey 等 (1981) 对发生在密西西比河谷的一个强 MCC 个例进行分析, 发现在此期间对流层上层的温度风场特征发生了强烈变化, 作者认为中尺度对流系统的发展可能导致大尺度环流的明显变化。Cotton 等 (1983) 利用中尺度资料描述了一个由多尺度对流元形成的 MCC。详细说明了该 MCC 由对流胞开始向东越过山脉盆地, 逐渐发展, 东移到科罗拉多, 当到达堪萨斯时形成 MCC, 其后移向东海岸并移过西大西洋。作者详尽阐述了一个 MCC 的形成过程, 以及在此过程中环流背景及地形的作用。

Kane 等 (1987) 及 McAnelly 和 Cotton (1989) 对中纬度 MCC 降水气候学及其特征以及与云盖 (由红外卫星资料推断) 发展有关的降水生命期进行了详细研究。Leary 和 Rappaport (1987) 则详细讨论了一个 MCC 个例的结构和组织。Kane 等把 74 个 MCC 过程与 32 个 MCS 过程进行了比较。比较内容包括卫星红外图像的特征、雨区面积及雨量。他发现除了雨区总面积的大小 (MCC 雨区面积一般要比 MCS 雨区面积大 80%) 之外, 平均最大降雨量和平均单位体积雨量接近于相等。这一发现表明 MCC 是一种生命期更长的非常大的 MCS。McAnelly and Cotton 研究了 122 例 MCC 的逐时降水资料和卫星红外云图资料, 结果发现, 逐时雨量在时间上的分布是以范围最大时为中心, 对称分布的, 当云盖的面积范围达到最大的前后出现最大雨量。Leary 和 Rappaport 利用雷达、地面、高空及卫星资料给出了 MCC 的内部三维结构。

还有一部分作者对冬季季风试验期间热带 MCS 进行了研究: 有的作者提出了 MCC 的出现具有时段性, 即存在 MCC 的间歇期 (Augustine J A, 1987)。

第二章 气象卫星的遥感及其图像特征

2.1 气象卫星的观测方式、特点和作用

2.1.1 气象卫星的观测方式

1960年4月1日，美国第一颗气象试验卫星泰罗斯-1号发射成功，开创了人造卫星应用于气象探测的新纪元。收集电磁辐射信息的装置（如扫描辐射仪或相机）称做传感器。装载传感器的设备（如卫星、飞机、火箭）称做运载工具。气象卫星在几百公里、甚至几万公里的太空对地球—大气系统进行观测，是一种以遥感探测为主的技术。所谓遥感，就是在一定距离之外，不直接接触被测物体和有关物理现象，通过探测器接收来自被测目标物发射或反射的电磁辐射信息，并对其处理、分类和识别的一种技术。

气象卫星上的遥感仪器并不像雷达和激光那样发射电磁波，再接收反射信号。卫星上装载的都是被动遥感仪器，即这些仪器主要是接收地球—大气系统反射的太阳辐射（可见光和近红外），或接收地球—大气系统发射的热辐射（红外、微波等）。这些探测器对电磁波能量谱的某些频段很敏感。卫星上的光谱辐射计可以探测到不同波长的辐射能量。

极轨气象卫星是指其轨道平面与赤道平面的夹角常为 $98^{\circ}\sim 99^{\circ}$ 之间，绕地球飞行，且轨道通过地球南北两极的卫星也叫太阳同步轨道气象卫星。

静止气象卫星是位于赤道上空约36000 km高度，与地球自转速度相同，也称地球同步轨道气象卫星。每个系列装载不同的遥感探测器，每个探测器都有其相应的光谱通道特性。静止气象卫星的S—VISSR（展宽数字资料）数据中，不仅包含了卫星观测到的一行红外和四行可见光数据，还加进了地面中小型利用站所需的同步码和文件信息。它相对于卫星收集到的原始VISSR资料，在时间上经过了“展宽”，码速率也大为降低，故称为展宽数字资料。

2.1.2 气象卫星遥感的特点

气象卫星在固定轨道上进行观测；实现了全球观测和大范围观测；在空间自上而下进行观测；卫星进行的观测是遥感探测；便于新的探测技术的使用，受益面积广。

卫星资料在气象研究中的作用：(1) 增加了气象资料的内容和范围；(2) 青藏高原天气分析预报的重要依据；(3) 监测暴雨和强雷暴天气；(4) 监测海洋上的天气系统；(5) 加深了对天气系统的理解；(6) 改进了长期天气预报（海面温度、地表和洋面上的冰雪覆盖资料等）；(7) 为海上活动提供有用的资料；(8) 提供农业气象资料；(9) 在军事气象方面的应用；(10) 收集和转发各种气象资料；(11) 空间环境监测（太阳质子、 α 粒子、电子等，为研究外空提供一些物理参数）。

2.2 遥感的基本要素

所有的卫星遥感系统都包括电磁辐射（EMR）测量装置。这种电磁辐射由大气或地面发射、反射或散射。这些电磁辐射测值可用于确定大气和地面的实际物理量。例如，洋面温度是通过观测由洋面发射的红外辐射，然后用普朗克定律推出的。当然，到达传感器的大气辐射透过了大气层，散射并吸收了一些地面辐射，如果数据要求准确，则大气的这些影响必须考虑到。遥感测量提供了全球范围的资料，它们不可能通过直接测量获得。而且遥感测量要达到直接观测的精度还有一定的难度。遥感的基本要素包括：(1) 电磁辐射源，如：太阳、地球及其大气、或卫星传感器本身；(2) 电磁辐射与观测目标的相互作用；(3) 电磁辐射从观测目标向传感器的传播；(4) 电磁辐射与传感器的相互作用；(5) 从遥感资料推导所需物理量的处理过程。

2.3 电磁辐射的特性和相互作用

虽然电磁辐射有波动性和微粒性双重特性，在红外波段通常还是用它的强度（ I ）和波长（ λ ）来从数量上表示，而在微波波段则用它的强度和频率（ γ ）从数量上表示。波长最常用的单位是米（ m ）和微米（ μm ， $10^{-6} m$ ），频率用赫兹（ Hz ）。虽然有紫外（ UV ）、红外（ IR ）、微波（ MV ）和可见光（ VIS ）波段的标称区域，但没有明确的波长值来区分它们。遥感系统工作于不同的波谱波段（ IR 、 MV 、 VIS ）。

辐射与物质的相互作用取决于许多因素。其中重要的是物质的状态（固态、液态或气态）和辐射的波长。这些因素决定了相互作用的形式，即发射、散射、吸收或反射。例如，对于降水云而言，在波长小于 $1 cm$ 的微波辐射波段，散射处于支配地位；而在红外波段，吸收更重要。

2.4 固体和液体的辐射作用

像液体和固体这样的观测目标（地球表面上的海洋和陆地、大气中的水滴和冰晶）在一个相当宽的波段范围内反射、吸收、发射和透射辐射能。发射的能量由一套理想黑体辐射定律来描述。由 Stefan—Boltzman 定律可知，单位面积黑体发射的能量 E 由： $E = \sigma T^4$ 表达。其中 σ 是 Stefan—Boltzman 常数

$(5.67 \times 10^8 Wm^{-2} K^{-4})$ ， T 是辐射体的温度（ K ）。黑体辐射的谱分布取决于黑体的温度。辐射值最大的波长（ λ_{max} ，以 μm 为单位）由 Wein 位移定律： $\lambda_{max} = C_1/T$ 给出。其中 $C_1 = 2898 \mu m \cdot K$ 。

因此，辐射温度大约是 $5900 K$ 的太阳，其峰值在 $0.5 \mu m$ ，位于绿色区域内，它是可见光波谱的中心。辐射温度大约是 $300 K$ 的地球，其峰值在 $10 \mu m \sim 12 \mu m$ 附近红外区域内。

由于太阳受到地球大气的吸收和散射的结果，在地面观测到的太阳辐射光谱有许多吸收暗线和带，与 $5900 K$ 的黑体辐射光谱有明显的差异。这些吸收线和带主要是由大气中的臭氧、氧、水汽、二氧化碳及大气中的尘埃等物质选择性吸收作用造成的。其主要特点是：（1）臭氧的吸收主要位于太阳光的紫外区 $0.2 \mu m \sim 0.3 \mu m$ 。（2）氧在紫外区的吸收也很强。（3）在大气吸收中，水汽吸收太阳能最多，在 $0.7 \mu m$ 以下有几条弱的吸收线，在 $0.7 \mu m \sim 0.8 \mu m$ 之间有不同强度宽的吸收带，在近红外波段，水汽吸收是重要的。（4）二氧化碳对太阳辐射的红外部分也有吸收作用，但不是主要的。

由于地球表面作为一个辐射体在其波谱范围内影响着总能量输出，所以它并不是理想的黑体。在特定的波长（ λ ）处，辐射，或者说发射辐射的强度（ I ）取决于地面温度 T 和地面的谱发射率 φ_λ ： $I(\lambda, T) = \varphi_\lambda \cdot B(\lambda, T)$ ，其中， $B(\lambda, T)$ 是普朗克函数，它描写了黑体的谱辐射，由：

$B(\lambda, T) = \frac{C_1}{\lambda^5 [\exp(C_2 / \lambda T) - 1]}$ 表达，其

中 C_1 和 C_2 是常数。

在地球上最常见的温度范围内，大部分辐射是在红外区域发出的。由于这个原因，它有时被称为热辐射或长波辐射，以区别于太阳短波辐射。除了温度以外，所测得的热辐射值还取决于地—气分界面上的反射，以及物体内部的吸收和散射性质。对许多实际应用而言， φ_λ 可取为 1，因为地面在红外波段的发射率接近 1.0。卫星测得的红外辐射代入普朗克方程，并由该方程解出 T ，以确定如果该物体事实上是一个黑体辐射体时具有的温度。这种温度被称为等效黑体温度 (T_{BB})。

2.5 日本静止气象卫星 GMS 的观测特点

2.5.1 日本静止气象卫星 GMS-5 探测器及 S-VISSR 资料

日本的 GMS-5 气象卫星定位于地球赤道上空约 35800 km 的地球同步轨道上，星下点中心位置为 (140°E、0°)，它以每分钟约 100 圈速率绕其自转轴旋转。卫星上搭载了可见光和红外自旋扫描辐射计 (VISSR) 对地球扫描成像。

VISSR 用扫描步进与卫星自旋相结合的方式及利用地球从西向东扫描，从北向南步进，获取地球的圆盘图像，其参数见表 2.1。卫星对地球的观测角约为 20°，一幅圆盘图由 2500 条红外扫描线或 10000 条可见光扫描线组成。每次扫描开始时，先对仪器定标，然后对地球扫描，扫到最南端停止正扫，再快速返回最北端，稳定下来，到此完成一次观测，全部过程为 25 分钟。卫星将探测的数据送回地面站处理，再通过卫星转发给用户。从 1995 年 5 月开始，日本 GMS-5 气象卫星正式开始发送 S-VISSR 资料。由于卫星观测扫描地球的时间只占其自旋周期 (60 ms) 的很小一部分 (33 ms ~ 35 ms)，在之后的 500 ms 的对空扫描时间内，卫星将转发经地 CDAS 站和 DPC 处理后的观测数据。在这些数据中，不仅包含了卫星观测到的一行红外和四行可见光数据，还加进了地面中小型利用站所需的同步码和文件信息，这就是 S-VISSR 资料。它相对于卫星收集到的原始 VISSR 资料，在时间上经过了“展宽”，码速率也大为降低 (660kbps)，故称为展宽数字资料。

表 2.1 GMS-5 S-VISSR 特征

名称	性能
自旋速率 (转 / 分)	100
扫描系统	扫描镜
扫描方向	从北向南、从西向东

扫描步		2500
每次观测所需时间		25 (分)
瞬时视场	红外	0.147 (毫弧)
	可见光	0.035 (毫弧)
星下点分辨率	红外	5 (公里)
	可见光	1.25 (公里)
波长 (微米)	红外 1	10.5—11.5
	红外 2	11.5—12.5
	红外 3	6.5—7.0
	可见光	0.55—0.90
扫描线数	红外	2500
	可见光	10000
量化精度	红外	8bit
	可见光	6bit

2.5.2 S—VISSR 资料的特点

(1) 数字化传输方式。可见光数据有效值为 6bit (0~63 灰阶), 红外数据为 8bit (0~255 灰阶), 这种方式精度高且抗干扰能力强, 便于计算机处理。

(2) 时间分辨率高。每小时发送一次, 在测风观测时, 有加密的半小时一次的观测。

(3) 实时性强。每一条扫描线数据的观测与发送在卫星自旋的一周中完成。

(4) 数据已定标, 便于用户处理。

(5) 图像数据中无网格叠加, 需从文件字中提取参数, 经计算机处理获取定位信息。

用计算机对 S—VISSR 数据进行处理, 不仅可以获取精度高、定位准确的图像产品, 而且可进一步提取更多有用信息, 生成多种气象产品, 如云顶高度、温度、降水估计、云量、云型、洋面温度、云风矢量等, 在天气分析、监测和预报及气候研究中, 起着重要作用。

2.6 卫星资料基本处理和图像基本特征

2.6.1 仪器定标

通常定标指一个传感器对外部源的曝光。此外部源已相对于某一国家实验室的主要或辅助标准源做了标定, 并且建立了传感器的电压输出与进入传感器的电磁辐射量之间的关系。

红外、微波仪器的定标: 在一个标准的红外或微波定标过程中, 辐射计相对

于黑体光源曝光，黑体源的温度在所感兴趣的整个动态范围内不断连续地变化。在可见光波段，光源的强度也是变化的。定标过程中记录的数据形成一组基准资料，辐射仪测值的准确度和精密度是由这些资料确定的。

可见光通道的定标：可见光通道的定标是要建立观测数据与地球反照率之间的直接关系。

可见光通道的归一化：可见光通道数据归一化的目的是消去图像中的“条纹”。此条纹即图像中某些线的亮度高于其他的线，其原因是由于 8 个可见光传感器的灵敏度和偏移的不同引起的。

2.6.2 卫星资料的地球定位

在卫星观测数据按资料来源分离、标识和定标后，它们必须与地球上的位置直接相关联，这一处理叫做“地球定位”。地球定位通常有三种：（1）定性使用的图像数据可以加上网格。某些采样点（对图像而言叫做“像素点”）被用于显示经纬度线、地理和政治边界线。尤其是当可以识别的陆地特征被较厚的云遮蔽时，加经纬度网格更是不可缺少的；（2）定量使用的资料，有可能需要知道任一或所有采样点的地球定位。这可以通过计算被选择的采样点的经纬度位置来实现，其它采样点的位置通过插值得到；（3）所有卫星资料场可按精确的投影方式做投影计算，如麦卡托投影、极射赤面投影或规定的卫星投影。

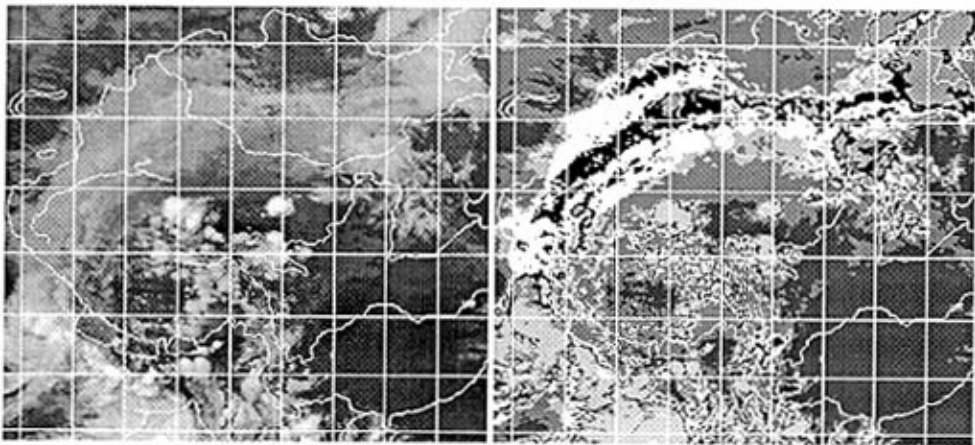
2.6.3 图像基本要素的解释

卫星的辐射测量可转换成云、陆地、海洋、大气水汽、尘埃和烟的图像。

在图像的分析中必须熟悉：①所有的天气过程；②图像的基本要素解释；③天气系统的辐射传输过程；④数字处理方法和这些方法在增强中的图像信息方面的使用；⑤图像显示工具的能力。

卫星探测的分辨率是指我们在图像上检测物体的能力。它包括空间、亮温和时间分辨率等三个参数。空间分辨率是指在图像上能清晰地分辨出两个物体之间的最小面积单元，也称之为“像素”或“像元”；红外云图上的亮温分辨率是指能分辨出的两个相邻卫星探测视场的最小温度差；时间分辨率是指卫星对地球表面进行一次观测的时间，也可以说是卫星对某地重复扫描的间隔时间。卫星的可见光感应器扫描地球和云表面反射太阳的辐射，红外感应器扫描地球和云表面发射

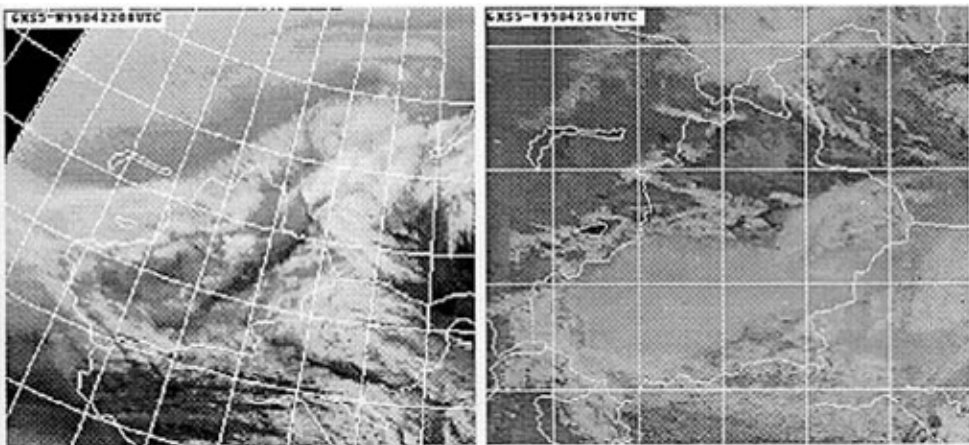
的红外辐射。水汽感应器扫描对流层中上部水汽发射的辐射。红外和水汽光谱域中探测到的辐射量和频率完全取决于发射体的温度。因此在红外云图上，色调越暗表示红外辐射越强，亮温越高；色调越浅表示红外辐射越小，亮温越低（图 2.1）。在水汽图像上，色调愈白表示大气中水汽含量愈多或者云顶亮温很低，反之则水汽含量愈少或云顶亮温高（图 2.2）。可见光光谱域获取的反照率，决定于被观测体的颜色、亮度及表面粗糙度等因子。因此，色调越浅表示反射太阳辐射越强，反之则越弱。



95090419 (原始红外云图)

95090419 (增强红外云图)

图 2.1 GMS-5 红外云图



99042208 (增强水汽图)

99042507 (原始可见光图)

图 2.2 GMS-5 红外水汽和可见光图

2.7 中尺度的天气学定义

在天气学意义上，中尺度包括两类：一类是雷暴、暴雨、冰雹、雷暴大风以及下击暴流等对流性天气；另一类是某些低云、浓雾等稳定性天气（包括局地污染）。Ligda（1951年）把中尺度现象定义为：对常规高空探测网（间隔几百公里）来说太小，以致捕捉不到；对单站雷达观测太大（缺乏遥感能力），又不能完全观测得到的那些大气现象。Orlanski（1975）给出的中尺度概念：中- γ 尺度：2km~20km；中- β 尺度：20km~200km；中- α 尺度：200 km~2000km。

第三章 研究内容及资料方法

3.1 研究区域概况

新疆四周高山环绕，天山山脉横亘中央，形成南北两大盆地，地势平坦开阔，理论上讲有利于对流系统的发展（见图 3.1）。虽然这里远离海洋，气候干燥，但却时常发生冰雹、局地大降水、沙尘暴等灾害性天气，它们具有明显的中尺度特征：突发性强，持续时间短，影响范围小，这是否与 MCS 的活动有关，过去一直未予重视。马禹等（1998）认为新疆暴雨过程有 MCS 发生并给出它们的特征，但这一结论具有局限性，不足以代表新疆 MCS 的全貌。新疆地区生态较脆弱，MCS 造成局地严重的自然灾害，给国民经济和人民生命财产带来巨大损失。我国对 MCS 的研究都是在华南地区及长江流域地区，对新疆的 MCS 没有进行系统深入的研究。

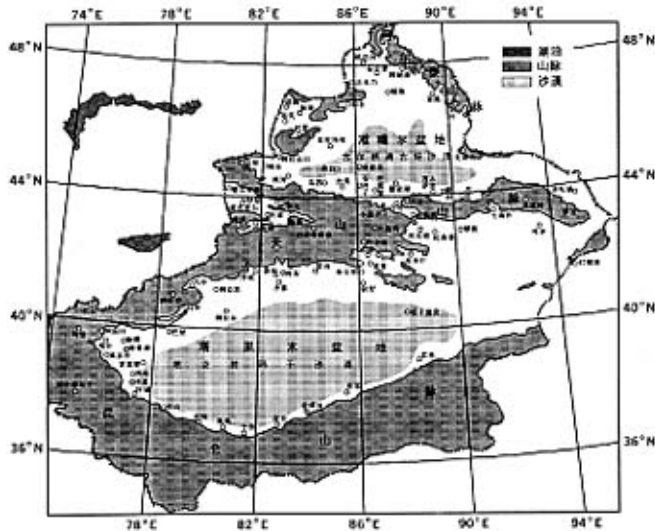


图 3.1 新疆地形图

1998 年 6 月 13 日~16 日南疆伽师县连续遭到特大冰雹和暴风雨的袭击，全县 13 个乡中有 10 个乡的 10.3 万亩棉花、3.6 万亩小麦、1.18 万亩玉米、0.8 万亩伽师瓜受到严重灾害，其中棉花重灾面积达 5.8 万亩，绝收面积 2.1 万亩，小麦绝收面积 1.8 万亩，死亡牲畜 1419 头，直接经济损失 1.16 亿元（图 3.2）。因此，及时、准确地监测和预测发生的灾害性天气事件，防灾减灾，为石油生产和农牧业生产服务，对于新疆的石油基地和棉花基地建设具有十分重要的意义。

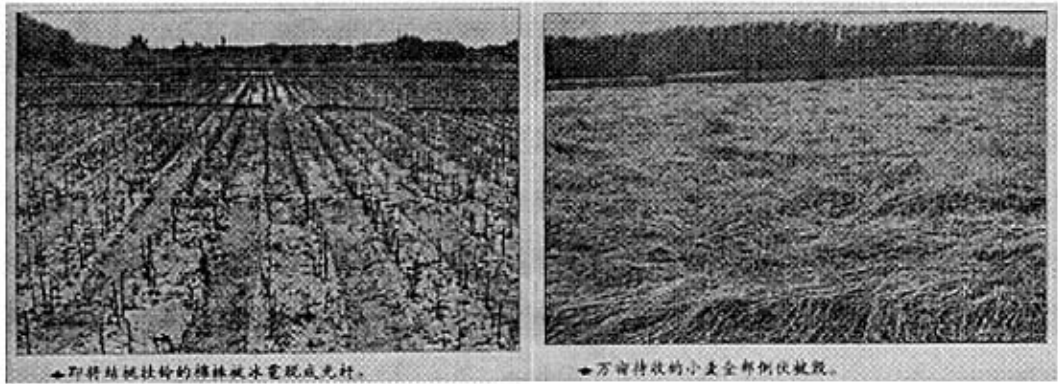


图 3.2 南疆伽师县灾害损失

3.2 本研究的工作和意义

3.2.1 为了对新疆 MCS 有一个全面的了解，本研究普查了 1998~2000 年 3 年 GMS-5 静止气象卫星数字资料。

3.2.2 分析 1998~2000 年发生在新疆的 MCS 的时空分布特征及其季节变化特点。

3.2.3 通过一些个例展示新疆 MCS 在发生发展过程和冷云盖的 TBB (黑体温度) 等方面所具有的特点，为今后的预报工作提供理论依据。

3.3 资料选取

本文所用资料为国家气象卫星中心处理系统产生的 Lambert 投影 GMS-5 静止气象卫星的红外云图数字资料。资料的长度为 1998~2000 年，3 年共 36 个月，共计 26280 张红外云图数字资料，一张云图的数据量为 512×512 个字节，云图时间间隔为 1h，范围为 $5^{\circ} \sim 60^{\circ}N$ 、 $70^{\circ} \sim 140^{\circ}E$ 。

3.4 MCS 的具体判据和基本规定

中尺度对流系统，简称 MCS (mesoscale convective system)，由于它带来的强烈天气现象而引起人们的关注，如冰雹、暴雨、破坏性大风、龙卷等。MCS 的空间尺度小、维持时间短，并多在傍晚和夜间发生，因此高时空分辨率的地球同步静止气象卫星红外云图是监测 MCS 的主要手段。

根据 Orlanski (1975) 尺度划分标准，中尺度系统是从 $2\text{km} \sim 2000\text{km}$ 。本研究只对 20km 以上的 MCS 进行普查，对于更小尺度的 MCS，由于尺度太小，生命史小于 1h，目前 GMS-5 卫星的时空分辨率还难以对它进行追踪，故不在本文的研

究范围内。

为了与已有的普查结果相比较，同时在云图上又容易确定 MCS，本研究沿用马禹等（1997）的定义方法，结合新疆 MCS 的实际情况（马禹等，1998），将 MCS 定义为红外云图上具有圆形或椭圆形冷云盖的对流系统，其 -32°C 冷云盖的短轴长度在 1.0 纬距（约为 111km）以上，椭圆率（短轴与长轴之比）大于 0.5，对 MCS 的维持时间未作限定。表 3.1 给出了本研究中用来判定 MCS 及其生命史的具体判据和基本规定。

表 3.1.1 中- α 尺度 MCS 的判据和基本规定

判据	描述
最小尺度	TBB $\leq-32^{\circ}\text{C}$ 的连续冷云区的短轴不小于 3.0 个纬距
持续时间	不限
形状	-32°C 的连续冷云区达最大范围时, 椭圆率（短轴/长轴） ≥ 0.5
几个规定	
发生时间	开始满足最小尺度的时间
最大范围（成熟）时间	连续冷云区（TBB $\leq-32^{\circ}\text{C}$ ）达到其最大面积的时间
终止时间	不再满足最小尺度的时间

表 3.1.2 中- β 尺度 MCS 的判据和基本规定

判据	描述
最小尺度	TBB $\leq-32^{\circ}\text{C}$ 的连续冷云区的短轴不小于 1.5 个纬距
持续时间	不限
形状	-32°C 的连续冷云区达最大范围时, 椭圆率（短轴/长轴） ≥ 0.5
几个规定	
发生时间	开始满足最小尺度的时间
最大范围（成熟）时间	连续冷云区（TBB $\leq-32^{\circ}\text{C}$ ）达到其最大面积的时间
终止时间	不再满足最小尺度的时间

表 3.1.3 中- γ 尺度 MCS 的判据和基本规定

判 据	描述
最小尺度	TBB $\leq-32^{\circ}\text{C}$ 的连续冷云盖的短轴不小于 1.0 个纬距
持续时间	不限
形 状	-32°C 的连续冷云盖达最大范围时, 椭圆率 ≥ 0.5
几个规定:	
发生时间	开始满足最小尺度的时间
最大范围（成熟）时间	-32°C 连续冷云盖达到其最大面积的时间
终止时间	不在满足最小尺度的时间

3.5 GMS-5 静止气象卫星 TBB 对照表

GMS-5 静止气象卫星 TBB、计算机灰度和计算机二进制对照表见表 3.2。

表 3.2 TBB、计算机灰度和计算机二进制对照表

二进制	TBB	灰度	二进制	TBB	灰度	二进制	TBB	灰度	二进制	TBB	灰度
0	327.866	0	64	305.087	64	-128	277.007	128	-64	236.446	192
1	327.537	1	65	304.698	65	-127	276.500	129	-127	276.502	193
2	327.208	2	66	304.308	66	-126	275.995	130	-62	234.735	194
3	326.877	3	67	303.916	67	-125	275.485	131	-61	233.862	195
4	326.547	4	68	303.523	68	-124	274.972	132	-60	232.976	196
5	326.215	5	69	303.128	69	-123	274.456	133	-59	232.078	197
6	325.882	6	70	302.733	70	-122	273.938	134	-58	231.167	198
7	325.549	7	71	302.336	71	-121	273.416	135	-57	230.242	199
8	325.215	8	72	301.938	72	-120	272.892	136	-56	229.302	200
9	324.880	9	73	301.538	73	-119	272.364	137	-55	228.347	201
10	324.545	10	74	301.137	74	-118	271.834	138	-54	227.377	202
11	324.208	11	75	300.735	75	-117	271.301	139	-53	226.391	203
12	323.871	12	76	300.331	76	-116	270.764	140	-52	225.386	204
13	323.534	13	77	299.926	77	-115	270.224	141	-51	224.365	205
14	323.195	14	78	299.520	78	-114	269.681	142	-50	223.324	206
15	322.855	15	79	299.112	79	-113	269.135	143	-49	222.264	207
16	322.515	16	80	298.703	80	-112	268.584	144	-48	221.184	208
17	322.174	17	81	298.292	81	-111	268.031	145	-47	220.081	209
18	321.832	18	82	297.880	82	-110	267.475	146	-46	218.955	210
19	321.489	19	83	297.466	83	-109	266.914	147	-45	217.805	211
20	321.145	20	84	297.051	84	-108	266.350	148	-44	216.630	212
21	320.801	21	85	296.635	85	-107	265.783	149	-43	215.427	213
22	320.456	22	86	296.216	86	-106	265.212	150	-42	214.196	214
23	320.110	23	87	295.797	87	-105	264.639	151	-41	212.934	215
24	319.763	24	88	295.375	88	-104	264.060	152	-40	211.639	216
25	319.415	25	89	294.953	89	-103	263.477	153	-39	210.309	217
26	319.066	26	90	294.528	90	-102	262.889	154	-38	208.941	218
27	318.716	27	91	294.102	91	-101	262.298	155	-37	207.533	219
28	318.365	28	92	293.675	92	-100	261.701	156	-36	206.082	220
29	318.014	29	93	293.245	93	-99	261.102	157	-35	204.583	221
30	317.662	30	94	292.814	94	-98	260.498	158	-34	203.032	222
31	317.309	31	95	292.382	95	-97	259.890	159	-33	201.426	223
32	316.955	32	96	291.948	96	-96	259.276	160	-32	199.763	224
33	316.600	33	97	291.511	97	-95	258.659	161	-31	198.031	225
34	316.243	34	98	291.073	98	-94	258.036	162	-30	196.220	226
35	315.886	35	99	290.634	99	-93	257.408	163	-29	194.326	227

36	315.529	36	100	290.192	100	-92	256.776	164	-28	192.338	228
37	315.170	37	101	289.749	101	-91	256.139	165	-27	190.243	229
38	314.810	38	102	289.304	102	-90	255.496	166	-26	188.027	230
39	314.449	39	103	288.857	103	-89	254.848	167	-25	185.668	231
40	314.087	40	104	288.409	104	-88	254.194	168	-24	183.144	232
41	313.725	41	105	287.958	105	-87	253.535	169	-23	180.423	233
42	313.361	42	106	287.506	106	-86	252.871	170	-22	177.603	234
43	312.996	43	107	287.051	107	-85	252.200	171	-21	174.339	235
44	312.630	44	108	286.594	108	-84	251.523	172	-20	170.688	236
45	312.263	45	109	286.136	109	-83	250.840	173	-19	166.520	237
46	311.896	46	110	285.676	110	-82	250.151	174	-18	161.614	238
47	311.527	47	111	285.213	111	-81	249.456	175	-17	155.553	239
48	311.157	48	112	284.749	112	-80	248.754	176	-16	147.374	240
49	310.786	49	113	284.281	113	-79	248.045	177	-15	133.580	241
50	310.414	50	114	283.813	114	-78	247.328	178	-14	130.000	242
51	310.041	51	115	283.342	115	-77	246.605	179	-13	130.000	243
52	309.667	52	116	282.869	116	-76	245.875	180	-12	130.000	244
53	309.291	53	117	282.393	117	-75	245.137	181	-11	130.000	245
54	308.915	54	118	281.915	118	-74	244.391	182	-10	130.000	246
55	308.537	55	119	281.435	119	-73	243.637	183	-9	130.000	247
56	308.159	56	120	280.953	120	-72	242.874	184	-8	130.000	248
57	307.779	57	121	280.469	121	-71	242.104	185	-7	130.000	249
58	307.398	58	122	279.982	122	-70	241.324	186	-6	130.000	250
59	307.016	59	123	279.492	123	-69	240.535	187	-5	130.000	251
60	306.633	60	124	279.000	124	-68	239.737	188	-4	130.000	252
61	306.248	61	125	278.506	125	-67	238.930	189	-3	130.000	253
62	305.863	62	126	278.009	126	-66	238.112	190	-2	130.000	254
63	305.476	63	127	277.509	127	-65	237.284	191	-1	130.000	255

3.6 GMS-5 红外云图增强方式

为了找出红外云图上新疆范围内全部的 MCS，首先对展宽红外云图的数字资料进行增强处理，用白色、黑、深灰和浅灰分别表示 TBB 在 $-21^{\circ}\text{C}\sim-31.5^{\circ}\text{C}$ ， $-32^{\circ}\text{C}\sim-41.5^{\circ}\text{C}$ ， $-42^{\circ}\text{C}\sim-51.5^{\circ}\text{C}$ ，和低于 -52°C 的云区（表 3.3）。为了能够与其它研究结果相比较，考虑到新疆的地理位置，本文采用北京时。图 3.3 给出了一个位于新疆西南部的 MCS 的个例。

表 3.3 GMS-5 红外数字云图增强 TBB 与二进制值之间关系

温度 (T)	计算机二进制值 (A)
$4^{\circ}\text{C} < T$	A=66
$-13^{\circ}\text{C} < T \leq 4^{\circ}\text{C}$	A=103
$-21^{\circ}\text{C} < T \leq -13^{\circ}\text{C}$	A=-84

$-32^{\circ}\text{C} < T \leq -21^{\circ}\text{C}$	A=-14
$-42^{\circ}\text{C} < T \leq -32^{\circ}\text{C}$	A=20
$-52^{\circ}\text{C} < T \leq -42^{\circ}\text{C}$	A=120
$-75^{\circ}\text{C} < T \leq -52^{\circ}\text{C}$	A=-56
$T \leq -75^{\circ}\text{C}$	A=-1

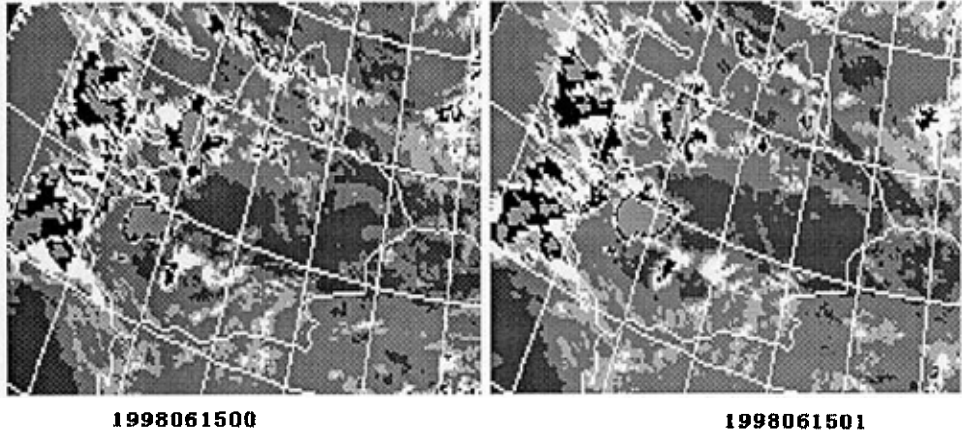


图 3.3 1998 年 6 月 15 日 GMS-5 增强红外云图

(白色区域的云顶温度低于 -21°C ，黑色区域低于 -32°C ，深灰色区域低于 -42°C ，浅灰色区域低于 -52°C)

3.7 GMS-5 数据文件和位图 (BMP) 之间的转化程序使用说明

为了把红外数字云图转化为位图，我们设计了转换程序 Gmstobmp.exe，其使用方法如下：

在 Windows 下运行，程序目录 D:\GMSTOBMP\

- Rowcal.dat: 数据文件，第 1 行为 0，第 2 行为数据文件的行数，第 3 行为数据文件的列数

- Gmstobmp.exe: 数据文件转换为 BMP 位图，运行 Gmstobmp.exe 输入以下参数：

Select COLOR (G-256 gray, C-256 color index?) ? 【选择 256 层灰度或彩色】

>>G ✓ 【选择灰度】

Number of pixels in head 【图形文件起始行】

>>0 ✓ 【从 0 行开始】

Number of lines in image 【图形文件的行数】

>>512 ✓

【行数 512】

Number of pixels in one line

【图形文件的列数】

>>512 ✓

【列数 512】

Please input source file name

【请输入数据文件名】

>>I2080300.gms ✓

【输入文件名】

Please input target file name

【请输入图形文件名】

>>I2080300.bmp ✓

【输出文件名, 必须以 BMP 为后缀】

数值文件转为图形文件, 按 CTRL+C 退出。

第四章 普查与分析

4.1 MCS 发生年际不均衡

1998 年 1 月到 2000 年 12 月, 新疆共发生了 160 个 MCS (见附表 4.1~4.3), 可见新疆 MCS 不在少数, 相当频繁的。1998 年有 83 个 MCS 发生, 1999 年只有 34 个, 2000 年共有 43 个, MCS 的发生具有年际的不均衡性, 1998 年为多发年, 1999 年为少发年。新疆 MCS 尺度较小, 一般只是中- β 尺度, 很少达到中- α 尺度。

4.2 MCS 的地理分布特征

由图 4.1 给出的地理分布图可见, 新疆有两个明显的 MCS 集中区。一处是在伊犁河谷东边天山山脉的迎风坡, 这里正是新疆年降水日数最多的区域 (李江风等, 1990); 另一处是在西天山东侧背风坡的柯坪附近, 这里是新疆沙尘暴出现最多的地方 (李江风等, 1990)。还有两个次集中区, 一个在包括博斯腾湖的焉耆盆地, 另一个在昆仑山北麓、塔克拉玛干沙漠西部。新疆北部的古尔班通古特沙漠中几乎没有 MCS 发生, 而南部的塔克拉玛干沙漠不仅有, 而且数量不少, 即使在沙漠腹地也有 MCS 出现。并通过个例普查, 发现塔克拉玛干沙漠的西部和北部是 MCS 的多发区。徐希慧 (1995) 利用美国 NOAA 气象卫星资料监测到塔克拉玛干沙漠雨迹的存在, 这说明沙漠腹地确实有强对流活动。可见 MCS 不仅对新疆降水贡献很大, 还会带来沙尘暴等灾害性天气。

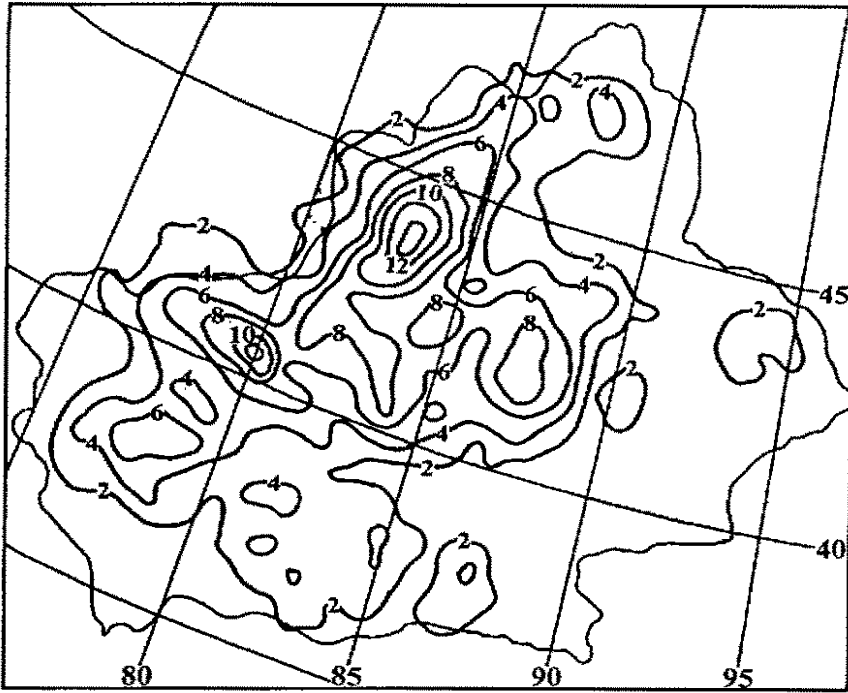


图 4.1 MCS 的地理分布图

4.3 MCS 的月分布特征

图 4.2 是新疆 MCS 的月分布曲线，从中可以看出，MCS 多发生在春末及整个夏季，秋冬少见。6 月为高发月份，占总数的 24%，远远超过其它月份，其次是 7 月和 5 月，占总数的 17% 和 16%，最少的是 2 月和 3 月（见表 4.4）。塔克拉玛干沙漠以 5 月最多。王鼎丰等（1999）认为新疆冰雹多发生在 5~9 月，集中于 6 月，这与 MCS 的高发月份一致。何清等（1996）统计塔克拉玛干沙漠沙尘暴的时空分布特征指出，4~6 月是沙尘暴的高发时段，柯坪则在 6 月，这与 MCS 的高发时段相对应，说明 MCS 的发生极易引发沙尘暴、冰雹等灾害性天气。

表 4.4 新疆中尺度对流系统年变化

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合计
个数	5	2	2	10	26	38	28	18	5	9	8	9	160
%	3.1	1.3	1.3	6.3	16.3	23.8	17.5	11.3	3.1	5.6	5.0	5.6	100.0

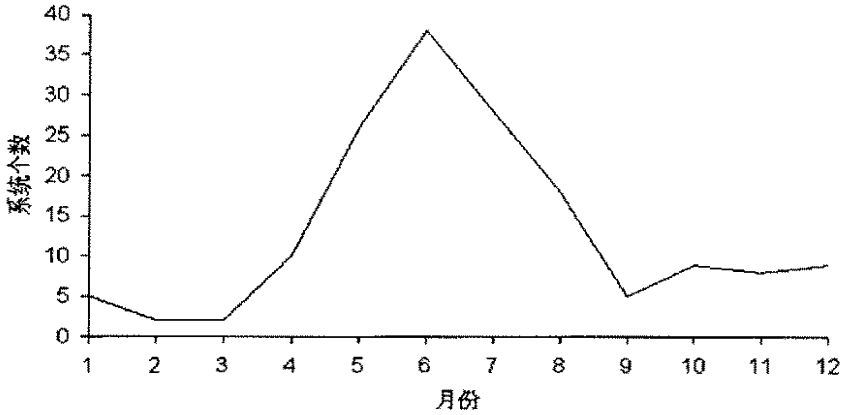


图 4.2 MCS 的年变化

4.4 新疆 MCS 的发生时间

对新疆 MCS 的生命史进行统计（见表 4.5），结果表明，多数 MCS 形成于午后到傍晚（14 时~19 时），还有一部分在夜间形成（20 时~24 时），甚至有小部分在凌晨（04 时）形成。午后形成的 MCS 在 3h 后冷云盖的面积达到最大（即成熟时间），随即消散。傍晚生成的 MCS 在 1h 后即成熟，持续 1~2h 后消散。夜间形成的 MCS 在 2h 后冷云盖面积最大，持续 2~3h 后消散。凌晨形成的 MCS 在 2h 之后成熟，维持 2h 后消散（见图 4.3）。这表明新疆的 MCS 也有明显的夜发性。另外，统计出塔克拉玛干沙漠 MCS 的生命史有两种类型，一种在午后到傍晚期间形成，1~3h 后冷云盖的面积达到最大（即成熟时间），午夜后消散；另一种在午夜形成，1h 后即成熟，凌晨消散。

表 4.5 新疆 MCS 的生命史

时间	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
形成	8	6	3	1	6	3	3	0	2	4	3	5
最大范围	11	8	8	4	1	4	7	2	2	0	5	3
消散	7	15	6	7	5	12	4	6	8	1	2	3
时间	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
形成	7	6	11	10	8	11	14	15	9	9	9	7
最大范围	3	4	6	4	11	12	11	6	15	11	10	12
消散	3	2	4	4	0	9	13	6	12	12	11	9

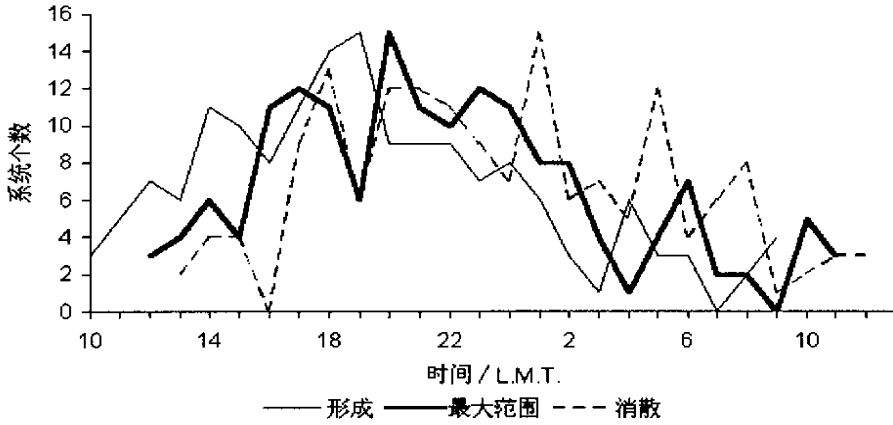


图 4.3 新疆 MCS 的生命史曲线

4.5 新疆 MCS 的生命史长度

新疆有 60% 的 MCS 可维持 4h~6h 左右, 只有少数可持续到 9h 以上(见表 4.6, 图 4.4)。同我国东部地区的中- β 尺度的 MCS 相比(马禹, 1997), 新疆发生的 MCS 同样表现出明显的夜间性。塔克拉玛干沙漠沙漠 MCS 一般持续 5~8h, 以持续 6h 的最多。

表 4.6 新疆 MCS 的生命史长度

时间	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	合计
次数	0	0	17	37	26	32	19	13	4	4	2	2	2	0	1	0	1	160
%	0	0	10.6	23.1	16.3	20.0	11.9	8.1	2.5	2.5	1.3	1.3	1.3	0	0.6	0	0.6	100

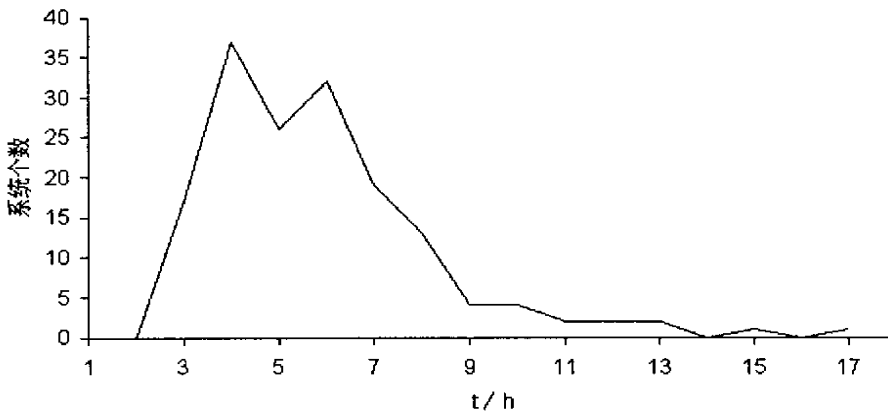


图 4.4 MCS 的生命史长度

4.6 新疆 MCS 个例的 TBB 特征分析

4.6.1 南疆个例的 TBB 特征

1998 年 6 月 14~15 日在塔里木盆地西部发生一例 MCS, 它是造成南疆伽师县连续特大冰雹和暴雨灾害的天气系统之一。14 日夜间翻过帕米尔高原进入盆地的散碎云体融合发展, 22 时已成为 M_0 CS, 缓慢向西北方向扩展并移动, 午夜冷云盖达到最大, 之后减弱变形。在它的发展过程中, 冷云盖向 TBB 等值线稀疏的东北方向扩展 (见图 4.5)。

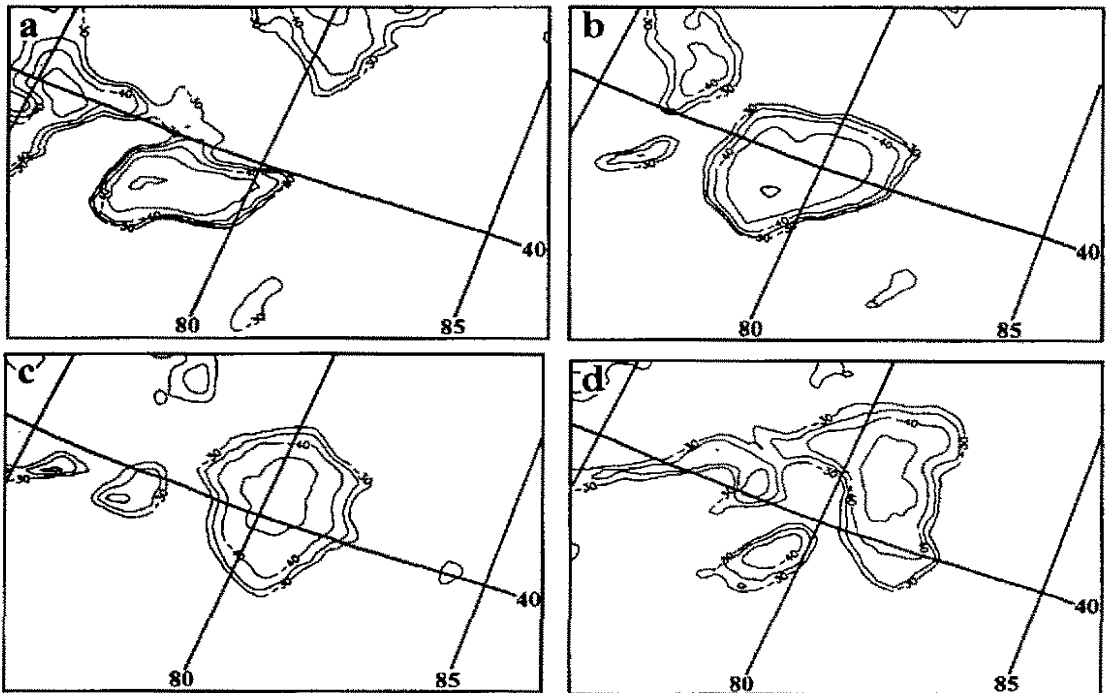


图 4.5 1998 年 6 月 14~15 日南疆 MCS 个例

(a 为 14 日 22 时, b、c、d 分别为 15 日 00、02、04 时冷云盖 TBB 分布图。从 -30°C 开始, 间隔 5°C , 下同。)

4.6.2 北疆个例的 TBB 特征

2000 年 5 月 20 日北疆的阿勒泰地区发生了一例 MCS。中午 12 时有一对流单体在境外发展起来, 扩展的同时向东移动, 16 时冷云盖面积最大时已移过了 3 个经距。此后 3h 内在原地消散殆尽。在它发展过程中, 冷云盖四周 TBB 等值线均较密集, 由于西边与主体云团有一线相连, 冷云盖主要向东北扩展 (见图 4.6)。

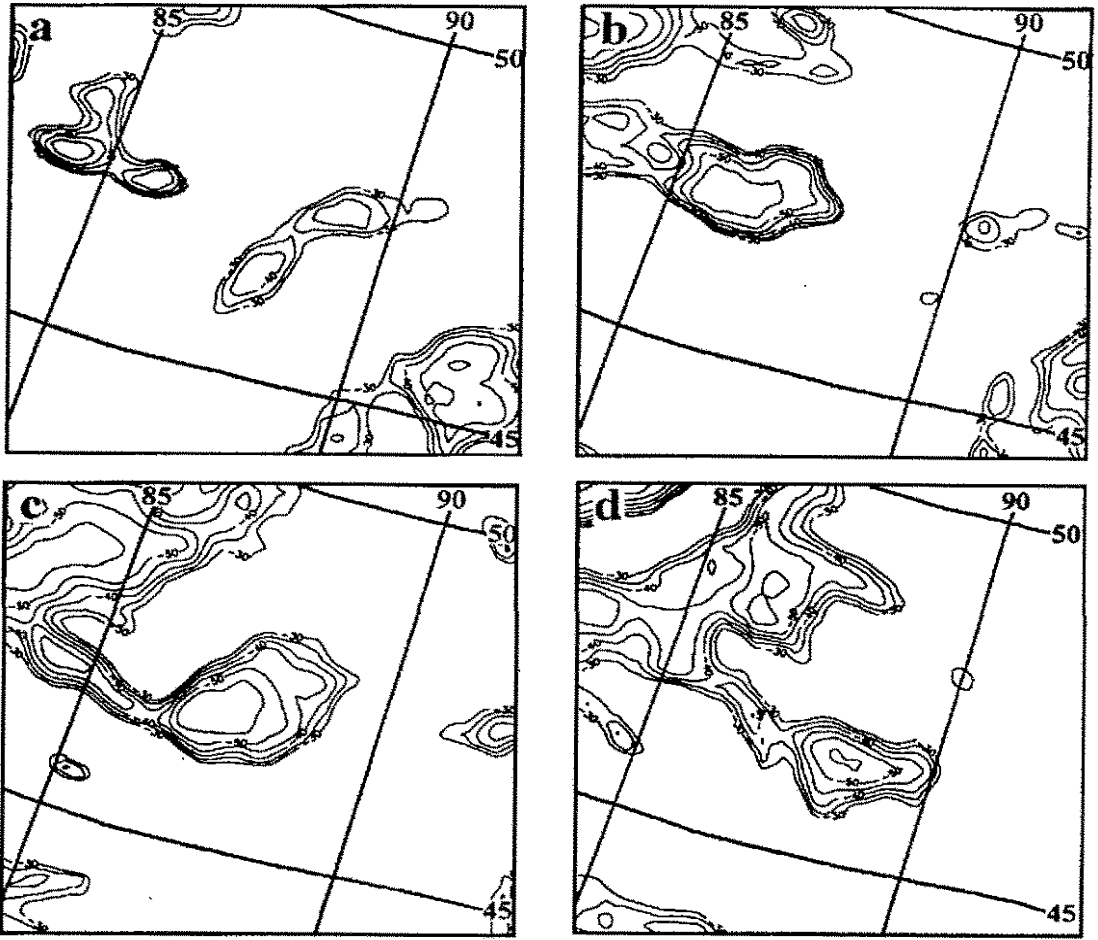


图 4.6 2000 年 5 月 20 日北疆 MCS 个例
(a、b、c、d 分别为 20 日 12、14、16、18 时冷云盖 TBB 分布图)

4.6.3 东疆个例的 TBB 特征

2000 年 5 月 28~29 日在东疆发生了一例 MCS。28 日晚上不断有对流泡在东疆出现并相互合并，在 22 时已发展成一尺度很小的 MCS，1h 后就扩展成为 M_b CS，维持 2h 后云团东移破碎。在它发展过程中，冷云盖也向 TBB 稀疏的东北方向扩展（见图 4.7）。

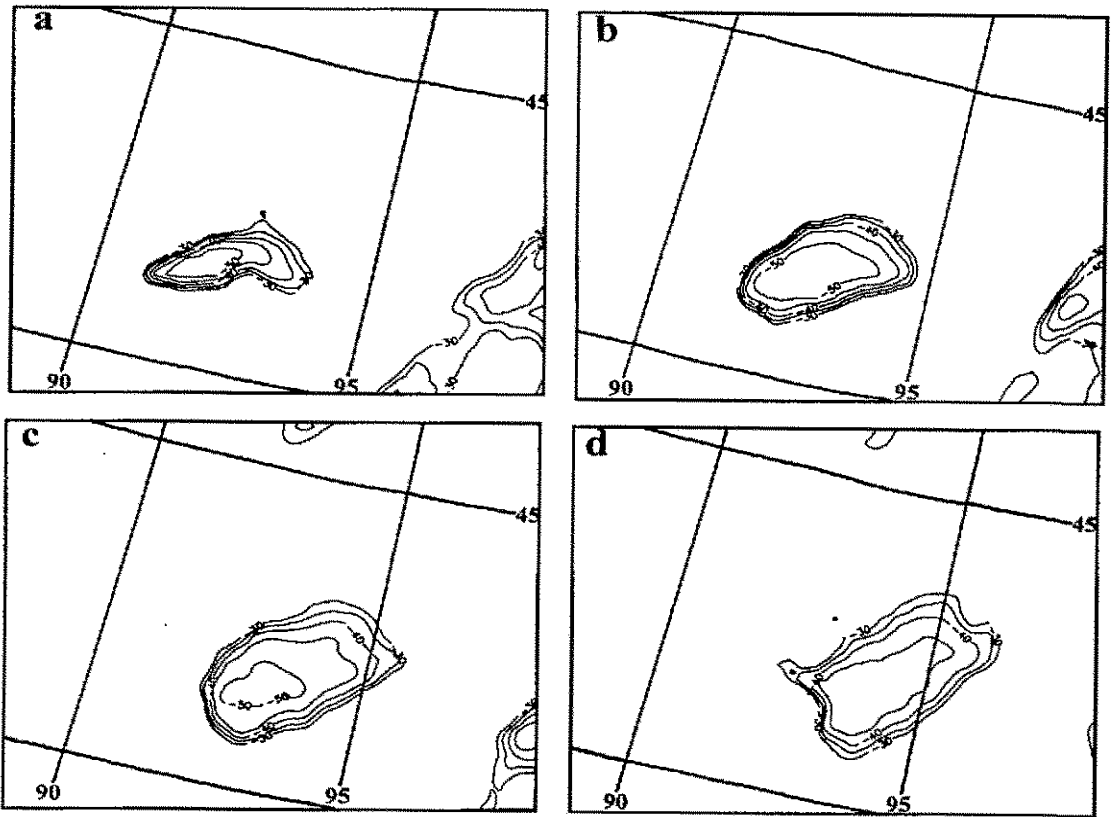


图 4.7 2000 年 5 月 28~29 日东疆 MCS 个例

(a、b 分别为 28 日 22、23 时, c、d 分别为 29 日 00、01 时冷云盖 TBB 分布图)

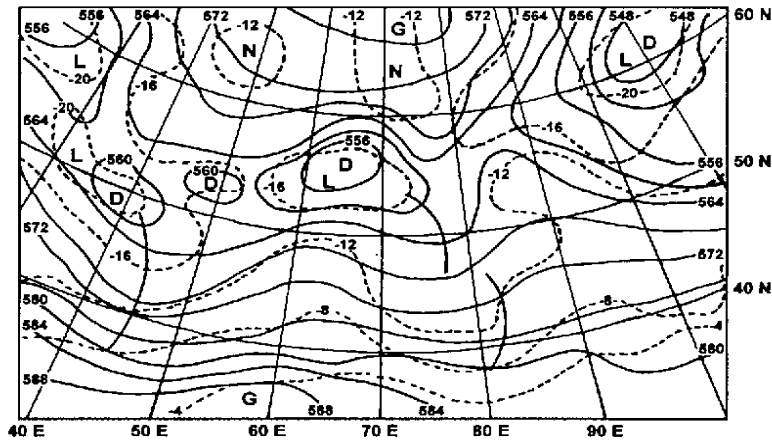
4.7 新疆 MCS 的天气学特征

从 1998~2000 年 160 个中尺度对流系统中, 挑选出中 β 尺度以上的 50 个中尺度对流系统, 根据云图上大范围云系的分布特征并参考历史天气图分别进行归类。新疆产生 MCS 的环流形势主要有两种, 即纬向型、经向型。

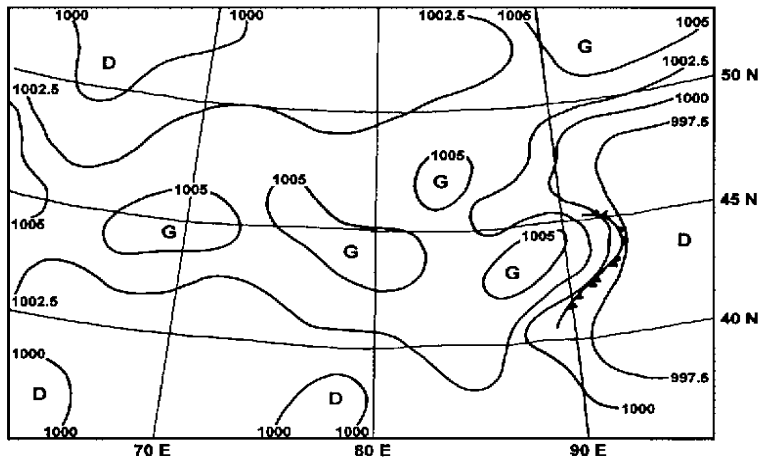
4.7.1 纬向型

在纬向型形势下, 500hPa 中纬度 ($35^{\circ} \sim 60^{\circ} \text{N}$) 欧亚范围锋区平直, 其上多短波槽活动。在黑海—里海、巴尔喀什湖、贝加尔湖地区分别为浅槽区(见图 4.8a), 欧洲沿岸、咸海、蒙古为浅脊。高度场上的槽脊系统与温度场上的冷暖配合, 温压场上表现为浅的冷槽和浅的暖脊, 相应在地面图上, 沿 45°N 在高空槽前脊后为中尺度高压(见图 4.8b)。地面中尺度高压由巴尔喀什湖附近自西向东移入新疆后, 中尺度高压前部有时伴有局地地面锋生现象。当中尺度高压进入新疆后, 随

着高空咸海脊强弱的不同，地面中尺度高压可向东北、东、东南方向移动，分别形成北疆西部、北疆沿天山、南疆的阿克苏和巴音郭楞蒙古自治州北部的 MCS。中低层（850~700hPa）的环流形势，700hPa 与 500hPa 类似，表现为短波槽东移进入新疆，850hPa 上有闭合高压自巴尔喀什湖南部向东北方向影响新疆。



(a)



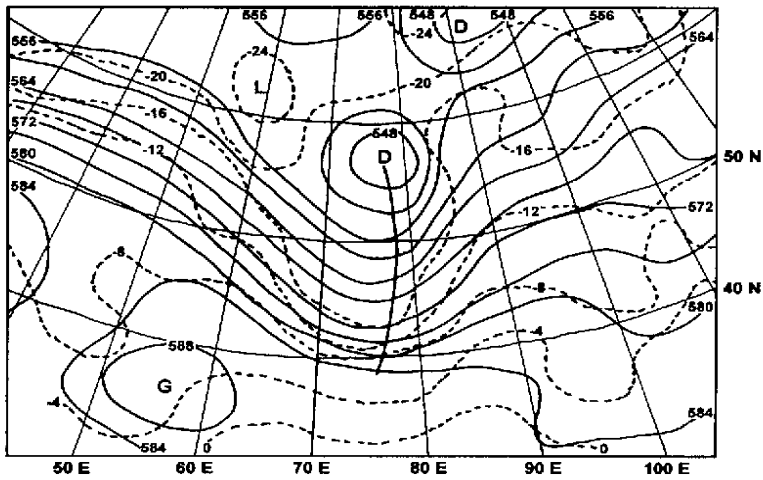
(b)

图 4.8 纬向型 500hPa 环流形势 (a) 和地面形势 (b)

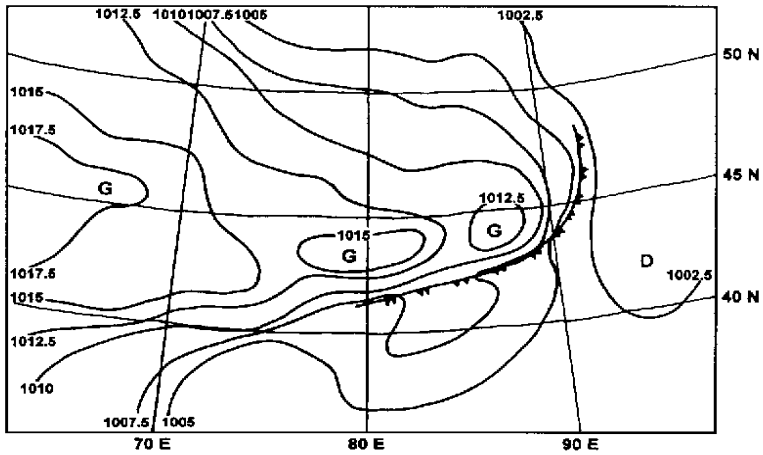
4.7.2 经向型

在经向型形势下，欧亚范围 500hPa 中纬度（35°~65° N）环流经向度较大，欧洲和贝加尔湖地区为高压脊区，黑龙江省、欧洲沿岸为浅槽区，西西伯利亚—巴尔喀什湖南部为一冷性深槽（见图 4.9a），深槽内的温度与新疆高空温度之差达到 10~15℃，斜压性较强，该深槽东移影响新疆。700hPa 的环流形势与 500hPa

类似，所不同的是，巴尔喀什湖附近的低槽与新疆温度之差达 5°C ，随着低槽的东移，低槽断裂为南北两部分，北部向东北方向移动，对新疆影响不大，南部向东扫过新疆。850hPa 上沿 45°N 从沿岸到巴尔喀什湖南部为一宽广的带状高压区，这一高压带中有 3~4 个闭合中心，闭合中心东移影响新疆。该类形势下地面图上西西伯利亚存在一个强大的锋面气旋，咸海地区为一高压。从咸海高压前部在中亚地区不断分离出中尺度高压（见图 4.9b），中尺度高压沿气旋南部从巴尔喀什湖南部地区东移进入新疆。地面 3 h 变压明显，达 $3\sim 6\text{hPa}$ ，中尺度高压前部伴有明显的冷锋。这类中尺度高压常造成天山西部和中部的 MCS。



(a)



(b)

图 4.9 经向型 500hPa 环流形势 (a) 和地面形势 (b)

第五章 1998年6月13~16日西天山MCS的特征分析

1998年6月13~16日喀什地区连续遭到了冰雹的袭击，直接经济损失1.16亿元。喀什地区的县站大多数为气候站，不进行夜间天气现象的观测，而此次冰雹天气发生在夜间和农村，气象记录很少，只有灾情记载。作者依据灾情，根据每小时一张的GMS-5静止气象卫星红外云图资料，重点分析13日、15~16日云图上明显的MCS，并对MCS进行诊断分析。

5.1 中尺度云团分析

13日欧亚范围内乌拉尔山为稳定的阻塞高压控制，中亚地区为较深的位置偏南的低槽活动区。喀什位于西风和南风的辐合区，在 $80^{\circ}\sim 85^{\circ}\text{E}$ ， $35^{\circ}\sim 45^{\circ}\text{N}$ 范围内存在 $10\sim 20\text{m/s}$ 偏南风区。在GMS-5红外云图上，受中亚槽的影响新疆西部地区表现为大范围结构松散的槽前云系。13日16时开始有云团移入喀什地区，19时有一对流云团在喀什北部强烈发展起来，冷云盖的云顶亮温 $\leq -52^{\circ}\text{C}$ ，20时已发展成椭圆形、 β 尺度、冷云盖云顶亮温 $\leq -52^{\circ}\text{C}$ 的中尺度对流系统(MCS)(见图5.1)，23时面积最大，达到 α 尺度，冷云盖已伸至伊塞克湖，14日00时开始消散，3h后消失殆尽。它从生成到消散位置少动，维持了5h。在MCS发展过程中喀什地区出现降雹，伽师降雹最重。

14日20时低槽西退到巴尔喀什湖地区并切涡，喀什位于低涡前的西南气流中。14日夜间GMS5红外云图上，槽前云系减弱消散，有一残余云团在喀什地区东北发展起来，15日01时成为 β 尺度MCS(见图5.2)，02时最大，中心在 80°E 、 40°N ，冷云盖云顶亮温 $-42\sim -52^{\circ}\text{C}$ ，05时开始消散。它在发展过程中向东北方向移过约4个经距，造成喀什地区和阿克苏地区的柯坪县出现雷暴冰雹天气，冰雹直径为12mm。

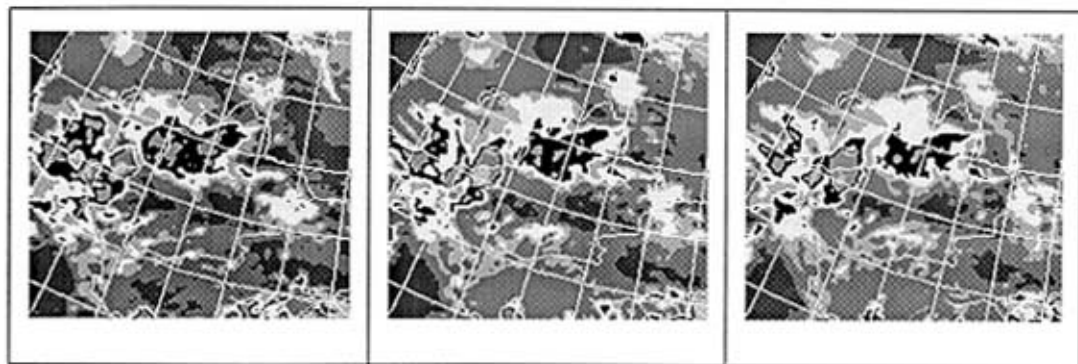


图 5.1 1998 年 6 月 13 日增强云图

(增强后云图从外到里, 白色: $-32^{\circ}\text{C} < \text{TBB} \leq -21^{\circ}\text{C}$, 黑色: $-42^{\circ}\text{C} < \text{TBB} \leq -32^{\circ}\text{C}$, 深灰色: $-52^{\circ}\text{C} < \text{TBB} \leq -42^{\circ}\text{C}$, 浅灰: $-75^{\circ}\text{C} < \text{TBB} \leq -52^{\circ}\text{C}$, 白色: $\text{TBB} \leq -75^{\circ}\text{C}$ 。)

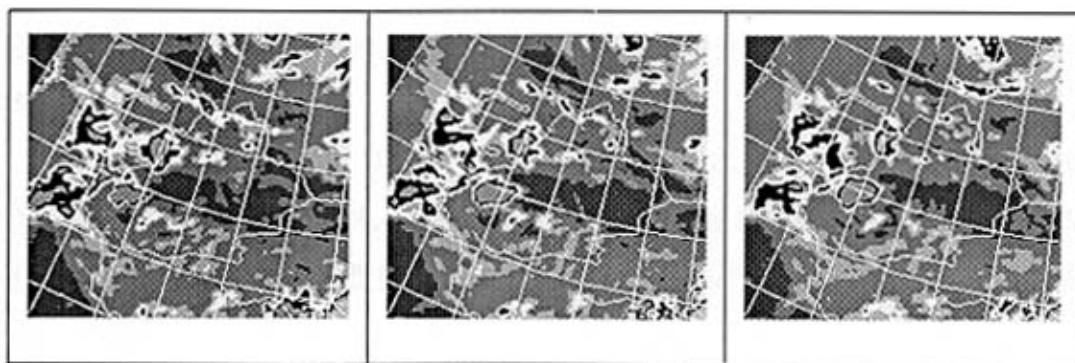


图 5.2 1998 年 6 月 15 日增强云图 (说明同图 5.1)

15 日到 16 日中亚低涡西退并加强。16 日 20 时中亚低涡东移到新疆西部边界, 喀什位于低涡底部的气旋环流中, 高空有 14m/s 的西南风。15~16 日低涡已脱离北支锋区, 低涡稳定。16 日晚的 GMS5 红外云图上喀什有对流泡开始合并发展, 到 23 时发展成为边界清晰的 β 尺度 MCS, 云顶亮温在 $-42 \sim -52^{\circ}\text{C}$ 之间 (见图 5.3)。17 日 02 时面积最大, 达到 α 尺度, 冷云盖伸至伊塞克湖, 维持 4h 后开始消散。此 MCS 位置少动, 冷云盖向北扩展了近 3 个纬距。在 MCS 发展过程中喀什地区开始出现雷暴和冰雹, 尤其在伽师县境内, 冰雹随降随化。

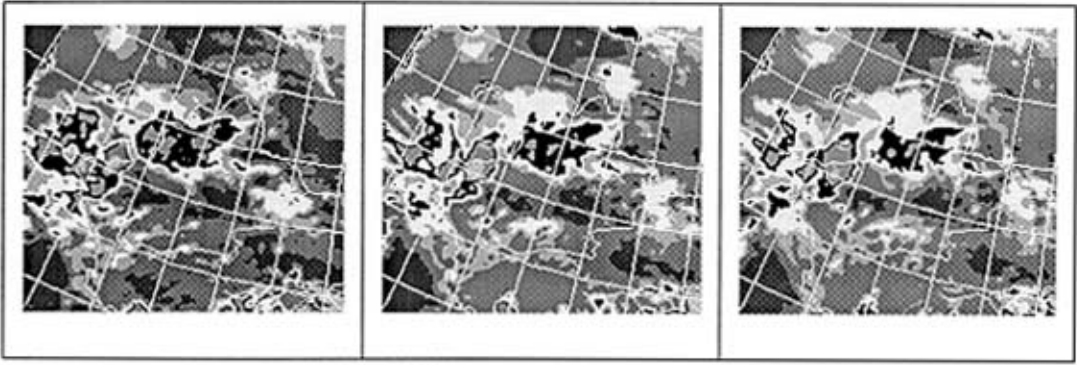


图 5.3 1998 年 6 月 17 日增强云图（说明同图 5.1）

这次天气过程在 5d 内连续出现 3 个 MCS，且尺度较大，有两个达到了中 α 尺度，这在新疆是非常少见的，也就造成了此次罕见的雹灾。

5.2 诊断分析

利用 1998 年 6 月 13、14、16 日 20 时的高空报文，进行客观分析得到 $100\text{km} \times 100\text{km}$ 网格距的格点资料，对格点资料进行物理量场的计算。这三天 20 时，喀什地区对流层低层水汽通量散度为 $-2 \sim -6 \times 10^{-6} \cdot \text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ，对应有水汽的辐合；500hPa 上，喀什地区有 ω 为 $-1 \sim -4 \times 10^{-3} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 的上升运动；在喀什地区存在闭合的 $-\frac{\partial \theta}{\partial P} < 0$ 的对流性不稳定，地面 $\sim 850\text{hPa}$ $-\frac{\partial \theta}{\partial P}$ 值为 $-16 \sim -24 \times 10^2 \text{K/hPa}$ ，700 $\sim 850\text{hPa}$ $-\frac{\partial \theta}{\partial P}$ 值为 $-4 \sim -8 \times 10^2 \text{K/hPa}$ ；沙氏稳定度指数（SI）在这三天 20 时喀什地区为闭合的低值区，SI 为 $-1 \sim -3^\circ\text{C}$ ，指示有对流（或雷暴）发生；在总温度形势图上，地面 $\sim 700\text{hPa}$ 喀什地区为“ Ω ”型的高能舌，其值为 $52 \sim 62^\circ\text{C}$ ，冰雹天气发生在“ Ω ”型高能舌西部的能量锋区中。

第六章 结论

6.1 结论

利用 1998~2000 年 3a 期间完整的 GMS-5 静止气象卫星云图数字资料, 对新疆 MCS 的普查和分析得出以下结论:

6.1.1 新疆有两个明显的 MCS 集中区, 一处是在年降水日数最多的伊犁河谷东边天山山脉的迎风坡, 另一处是在西天山东侧背风坡沙尘暴出现最多的柯坪附近。还有两个次集中区, 一个在焉耆盆地, 另一个在昆仑山北麓、塔克拉玛干沙漠西部。新疆北部的古尔班通古特沙漠中几乎没有 MCS 发生, 而南部的塔克拉玛干沙漠的 MCS 不在少数, 塔克拉玛干沙漠的西部和北部是 MCS 的多发区。

6.1.2 MCS 主要出现在春末和整个夏季, 6 月最多, 其次是 7 月和 5 月, 最少的是 2 月和 3 月。塔克拉玛干沙漠是以 5 月最多。

6.1.3 多数 MCS 形成于午后到夜间, 有小部分在凌晨形成, 傍晚至午夜冷云盖的面积达到最大(即成熟时间), 夜间至凌晨消散, 新疆的 MCS 也有明显的夜发性。

6.1.4 新疆 MCS 有 60%持续 4~6h, 以持续 4h 的最多。

6.1.5 统计分析表明, 新疆产生 MCS 的环流形势主要有两种: 纬向型形势下, 500hPa 中纬度欧亚范围多短波槽活动, 在这种形势下有利于北疆西部、北疆沿天山、南疆的阿克苏和巴音郭楞蒙古自治州北部的 MCS 的发生和发展; 经向型形势下, 西西伯利亚—巴尔喀什湖南部为一冷性深槽, 易于造成天山西部和中部 MCS 的发生和发展。

6.2 讨论

通过 3 年的 GMS-5 静止卫星云图资料, 得出了新疆 MCS 的时空分布特征及季节变化特点。这些研究工作为今后进一步研究新疆 MCS 奠定了良好的基础。但是, 由于资料限制和本人学识所限, 其中存在许多不足之处, 研究比较肤浅, 很多问题还有待于进一步探讨。今后应该从动力学和热力学角度等对新疆 MCS 的形成机理上进行研究, 这样对当地的预报服务工作将更加有利。

参考文献 (References) :

- Augustine J A, and K W Howard, 1987. Mesoscale convective complexes over the United States during 1986 and 1987. *Mon Wea Rev*, 119:1575-1589.
- Bryan G H, J M Fritsch, 2000. Moist absolute instability: The sixth static stability state. *Bull amer Meteor Soc*, 81:1207-1230.
- Changnon S A, K E Kunkel, 1999. Record flood producing rainstorms of 17-18 July 1996 in the Chicago Metropolitan area. Part I : Synoptic and mesoscale features. *J appl Meteor*, 38:257-265.
- Cotton W R, R L George, P J Wetzell, and R L McAnelly, 1983. A long-lived meso-scale convective complexes. Part I : The mountain-generated component Part II: evolution and structure of the mature complex. *Mon Wea Rev*, 111:1893-1937.
- Forture M A, W R Cotton, and R L McAnelly, 1992. Frontal-wave-like evolution in some mesoscale convective complexes. *Mon Wea Rev*, 120:1279-1300.
- Gray M E B, 2001. The impact of mesoscale convective system potential vorticity anomalies on numerical weather prediction forecasts. *Q J R Meteor Soc*, 127 (Part A): 73-88.
- Hane C E, D P Jorgensen, 1995. Dynamic aspects of a distinctly three-dimensional mesoscale convective system. *Mon Wea Rev*, 123:3194-3214.
- He Qing, Zhao Jingfeng, Nagashima H, 1996. The distribution of sandstorms in Taklimakan desert. *Journal of Arid Land Studies*, 5:185-193.
- Jiang Jixi and Xiang Xukang, 1993. Mesoscale convective complexes in China mainland. PRC-USA. SCREX. Planning Meeting. 77-86.
- JST-CREST, 2000. Studies on structure and formation/development mechanisms of mesoscale convective systems. *MRI-HP*, 3:1-8.
- Kain J A, J M Fritsch, 1998. Multiscale convective overturing in mesoscale convective systems: Reconciling observations, simulations and theory. *Mon Wea Rev*, 126:2254-2273.
- Kane R J, C R Chelius, and J M Fritsch, 1987: Precipitation characteristics of mesoscale

- convective weather systems. *J. Climate. Appl. Meter.* , 26:1345-1357.
- Laing A, Fritsch J M, 1993. Mesoscale convective complexes over the Indian monsoon region. *J Climate*, 6: 911-919.
- Laing A, Fritsch J M, 1993. Mesoscale convective complexes in Africa. *Mon Wea Rev*, 121(2):254-263.
- Laing A G, J M Fritsch, 2000. The large-scale environments of the global populations of mesoscale convective complexes. *Mon Wea Rev*, 128:2756-2776.
- Leary C A, and E N Rappaport, 1987. The life cycle and internal structure of a mesoscale convective complexes. *Mon Wea Rev*, 115:1503-1527.
- Li Yulan, 1990. The research on the mesoscale convective complexes over the mainland of China. Annual Report. Institute of Atmospheric Physics, Academic Sinica, 9(1): 44-52.
- Maddox R A, 1980. Mesoscale convective complexes. *Bull Amer Meteor Soc*, 61:1374-1387.
- Maddox R A, 1983. Large-scale meteorological conditions associated with midlatitude mesoscale convective complexes. *Mon Wea Rev*, 111:1475-1493.
- Maddox R A, D J Perkey, and J M Fritsch, 1981. Evolution of upper troposphere features during the development of a mesoscale convective complex. *J. Atmos. Sci.* , 38:1664-1674.
- McAnelly R L, and W R Cotton, 1989. The precipitation life cycle of mesoscale convective complexes over the central United States. *Mon Wea Rev*, 117:784-808.
- Miller D, J M Fritsch, 1991. Mesoscale convective complexes in the western Pacific region. *Mon Wea Rev*, 119:2978-2992.
- Miller D, Fritsch J M, 1991. Mesoscale convective complexes in the western Pacific region. *Mon Wea Rev*, 119(2):978-992.
- Orlanski L, 1975. A rational subdivision of scale for atmospheric processes. *Bull Amer Meteor Soc*, 56:527-530.
- Raymond D J, H J Jiang, 1990. A theory for long-lived mesoscale convective systems. *J Atmos Sci*, 47:3067-3077.

Schultz D M, P N Schumacher, 1999. Review: The use and misuse of conditional symmetric instability. *Mon Wea Rev*, 127:2709-2732.

Schultz D M, P N Schumacher, C A Doswell, 2000. The intricacies of instabilities. *Mon Wea Rev*, 128:4143-4148.

Sherwood S C, 2000. On moist instability. *Mon Wea Rev*, 128:4139-4142.

Smull B F, and J A Augustine, 1993. Multiscale analysis of a mature mesoscale convective complex. *Mon Wea Rev*, 121:103-132.

Trier S B, and D B Parsons, 1993. Evolution of environmental condition preceding the development of a nocturnal mesoscale convective complex. *Mon Wea Rev*, 121:1078-1098.

Velasco L, Fritsch J M, 1987. Mesoscale convective complexes in Americas. *J Geophys Res*, 192(9):591-613.

Zheng Y S, Tao Z Y, Wang H Q et al., 1999. Environments of meso- α -scale convective system development in Yellow Sea region. *Progr Natur Sci*, 9(11):842-848.

程麟生, 冯伍虎, 2002. 中纬度中尺度对流系统研究的若干进展. *高原气象*, 21(4): 337-347.

陈渭民, 1990. *卫星气象学*. 北京: 气象出版社.

杜晓玲, 2003. 2002年6月18~20日MCS的特征分析. 27(1): 25-28.

国家气象中心, 国家卫星中心, 1999. 98中国大洪水与原子. 北京: 气象出版社.

黄福均, 1992. 青藏高原背风坡西南低涡暴雨. *大气科学研究与应用*, (10): 52-59.

康风琴, 肖稳安, 2001. 我国南方MCC的涡度、水汽和热量收支平衡. *高原气象*, 20(3): 332-339.

李江风, 马淑红, 1990. 新疆气候之最. 新疆: 新疆人民出版社, 57-63.

励申中等, 1992. 登陆台风与其外围暴雨的相互作用. *气象学报*, 50(1): 33-40.

李玉兰, 1989. 我国西南—华南地区中尺度对流复合体(MCC)的研究. *大气科学*, 13(4): 417-422.

李玉兰, 陶诗言, 等, 1993. 梅雨锋上中尺度对流云团的分析. *应用气象学报*, 4(3): 278-285.

李玉兰, 王倩熔, 郑新江等, 1989. 我国西南—华南地区中尺度对流复合体(MCC)的研究. *大气科学*, 13: 417-422.

陆一强, 1983. 副高北侧的强对流云团与局地雨暴. *北方天气文集*(4).

- Ming-sen Lin, Chong-chih Yang, 1992. 热带和中纬度系统相互作用导致的中尺度对流系统的降水和运动学结构. 气象科技, (6): 51-53.
- 马禹, 王旭等, 1998. 新疆特大暴雨过程中的中尺度对流系统特征. 新疆气象, 21 (6): 3-7.
- 马禹, 王旭, 陶祖钰, 1997. 中国及其邻近地区中尺度对流系统的普查和时空分布特征. 自然科学进展, 7(6):701-706.
- 孙力等, 1992. 东北夏季副高后部 MCC 暴雨的诊断分析. 应用气象学报, 3 (2) .
- 王鼎丰, 高子毅, 1999. 新疆冰雹的气候统计特征. 新疆云物理及人工影响天气文集, 北京: 气象出版社, 85-92.
- 王文, 程麟生, 2000. “96·1” 高原暴雪过程湿对称不稳定的数值研究. 高原气象, 19 (2): 129-140.
- 王迎春, 钱婷婷, 郑永光, 等, 2003. 对引发密云泥石流的局地暴雨的分析和诊断. 应用气象学报, 14 (3): 277-286.
- 吴庆丽, 郑永光, 李亚萍, 等, 2003. 1998 年 7 月 20~25 日湖北暴雨中尺度对流系统的分析研究. 北京大学学报(自然科学版), 39 (1) .
- 项继康, 江吉喜, 1995. 我国南方地区的中尺度对流复合体. 应用气象学报, 6 (1): 1-17.
- 项继康, 马岚等, 1993. 1991 年梅雨锋云系的中尺度分析. 应用气象学报, 4 (3): 286-292.
- 向元珍, 包澄澜, 1986. 长江中下游地区的四季天气. 北京: 气象出版社.
- 徐希慧, 1995. 塔克拉玛干沙漠雨迹卫星云图分析与研究. 中国科学, 25 (3): 325-328.
- 余远东, 陈良栋, 1994. 华北地区中尺度对流系统的维持机制. 第二届全国暴雨强对流科学研讨会.
- 张顺利, 陶诗言, 张庆云, 等, 2001. 1998 年夏季中国暴雨洪涝灾害的气象水文特征. 应用气象学报, 12 (4): 442-457.
- 中国气象科学研究院气象科技信息中心, 2000. 中国暴雨试验研究: 中尺度强暴雨外场观测实施方案. 研究动态, 16: 1-7.

在学期间的成果

一、近年来的获奖情况

2000 年度年终考核为优秀。

2001 年荣获新疆第三次科技期刊“优秀编辑”称号。

2003 获第七届《新疆气象》优秀编辑。

2003 年被聘为《新疆气象》第八届编辑委员会编委。

2004 年度《新疆气象》优秀编辑。

二、在学期间的科研及论文发表等情况

1、课题

(1) 2004~2005 年主持完成新疆气象局政策法规处软科学课题《新疆气候资源开发利用和保护的状况与前景分析》。

2、论文

(1) 《科技论文英文部分的书写规范化探讨》——第 1 作者，发表于《新疆气象》2002 年第 3 期上。

(2) 《试论现代科技期刊青年编辑的素质》——第 1 作者，发表于《新疆社会科学》2002 年增刊上。

(3) 《浅谈科技期刊编辑如何应对时代的挑战》——第 1 作者，发表于《新疆社会科学》2004 年增刊。

(4) 2001~2005 年在《新疆气象》上发表采访报道、简讯等共 19 篇。

致 谢

本文是在我尊敬的导师王旭研究员细心指导和严格要求下完成的，在此深深地表示我最诚挚的感谢！在我眼中王旭研究员思维缜密、学识渊博、以身作责、事必躬亲。在跟随导师做论文期间，导师不仅无私的给予指导，而且教授给我独立完成科研课题的方法，这一切使我受益匪浅。

我自参加工作以来，一直在《新疆气象》编辑部从事着编辑工作，由于工作、时间等条件限制，论文进行有些困难。在整个论文的进行过程中，王旭研究员不断地给予耐心地指导，可谓是呕心沥血，令我倍加感动。

在论文的完成过程中，王文副教授时刻关心论文的进展情况并给予了建设性的意见，这令我感动不已。在我眼中王文老师治学严谨、学识渊博、为人师表、平易近人，这一切使我终身难忘。

感谢兰州大学的各位老师，不远万里来到新疆为我们授课，在学习期间对我们谆谆教诲，使我学到很多知识。各位老师不吝赐教、学识之精、之广将使我受益终身。

感谢兰州大学研究生院的老师对我学习和论文完成工作中给予的鼎力相助。

感谢新疆气象局局领导和新疆气象局人事处、新疆气象局科技减灾处、新疆气象局编译室的各位领导，给予我这次学习提高的机会，以及在我学习和论文完成期间给予的大力帮助和关怀。

在整个论文的完成过程中，新疆环境气象中心马禹副研级高工也给予我莫大的帮助，在此一并表示最诚挚的感谢！

感谢江远安和王健两位同学在论文完成期间给予的大力协助！

最后还要感谢我的爱人和家人，是他们对我的大力支持和无微不至的关心，才使我得以顺利地完成了学业。

附 录

附表 4.1 1998 年新疆的中尺度对流系统

发生时间	地点	尺度	成因	成熟时间
1 月 24 日 12~17 时	沙漠	中 β		15 时
1 月 27 日 19~23 时	东疆	中 γ		21 时
2 月 5 日 13~16 时	中天山	小 γ		15 时
4 月 4 日 17~23 时	中天山			19 时
4 月 8 日 16~19 时	东疆	小 γ		17 时
4 月 11 日 18 时~12 日 04 时	西天山	中 γ	残云再生	23 时
4 月 14 日 20 时~15 日 02 时	伊犁河谷	小 γ	对流泡	23 时
4 月 18 日 07~16 时	沙漠	大 β		13 时
5 月 11 日 09~14 时	中天山	小 γ		12 时
5 月 13 日 22~14 日 09 时	中天山	大		05 时
5 月 15 日 11~13 时	沙漠	小 γ		12 时
5 月 18 日 13~20 时	沙漠	中 γ		16 时
5 月 25 日 16~19 时	西昆仑	小 γ		17 时
5 月 27 日 07~12 时	盆地	中 β		09 时
5 月 29 日 13~19 时	盆地	中 γ	残云	16 时
5 月 30 日 08~12 时	沙漠	大 β		10 时
5 月 30 日 19~21 时	沙漠	小		20 时
6 月 1 日 00~02 时	西天山	大 β		01 时
6 月 8 日 13~19 时	沙漠	中		15 时
6 月 10 日 11~14 时	伊犁河谷	小 γ		12 时
6 月 13 日 11~18 时	西天山	大 α		14 时
6 月 14 日 16~23 时	沙漠	大 β		18 时
6 月 16 日 14~23 时	西天山	大 α		19 时
6 月 20 日 09~12 时	伊犁河谷	小 γ		11 时
6 月 20 日 11~13 时	伊犁河谷	小 γ		12 时
6 月 20 日 14~18 时	伊犁河谷	小 γ		16 时
6 月 21 日 12~16 时	伊犁河谷	中 β	云瓦解	14 时
6 月 21 日 14~16 时	中天山	小 γ	残云	15 时
6 月 21 日 16~22 时	中天山	大		19 时
6 月 24 日 09~12 时	北疆北部	小 γ		10 时
7 月 1 日 11~18 时	盆地南边	大 β		14 时
7 月 5 日 08~12 时	东疆	中 γ		11 时
7 月 5 日 12~17 时	中天山	小 γ		15 时
7 月 8 日 08~11 时	伊犁河谷	中 γ		15 时
7 月 8 日 12~15 时	伊犁河谷	小 γ		13 时
7 月 12 日 00~06 时	北疆北部	小 γ		04 时
7 月 12 日 05~07 时	北疆北部	小 γ		06 时
7 月 14 日 07~11 时	东疆	小 γ		08 时

7月14日09~11时	沙漠	小 γ		10时
7月19日06~12时	中天山	小 γ		08时
7月19日14~18日01时	盆地	大 β		17时
7月19日22~20日00时	西天山	大 β		00时
7月20日10~19时	中天山	大 β		16时
7月20日11~15时	伊犁河谷	中 γ		12时
7月20日17~20时	伊犁河谷	中 γ		18时
7月21日12~15时	中天山	小 γ		13时
7月23日16~19时	西天山	中 γ		17时
7月24日15~20时	伊犁河谷	中 γ		18时
7月25日12~15时	北疆北部	小 γ		13时
7月31日12~14时	西天山	小 γ		13时
8月2日08~12时	中天山	小 γ		10时
8月4日17~22时	西天山	小 γ		19时
8月11日14~17时	西天山	中 γ		15时
8月15日03~05时	沙漠南边	小 γ		04时
8月17日10~15时	中天山	小 γ		11时
8月23日02~06时	西天山	中 γ		04时
8月28日14~17时	西天山	小 γ		16时
9月2日07~12时	盆地北边	小 γ		10时
9月9日09~12时	盆地南边	小 γ		10时
9月9日10~12时	沙漠南边	小 γ		11时
10月10日04~08时	盆地	小 γ	对流泡	05时
10月10日05~07时	盆地	小 γ	对流泡	06时
10月25日14~19时	沙漠	中 γ	残云再生	16时
10月28日13~15时	西天山	小 γ	云瓦解	14时
10月29日05~08时	西天山	中 γ	云瓦解	06时
11月3日15~18时	北疆北部	大 β	对流泡	17时
11月11日00~02时	沙漠	小 γ	对流泡	01时
11月11日03~05时	伊犁河谷	小 γ	对流泡	04时
11月11日11~16时	沙漠	中 γ	对流泡	12时
11月19日13~16时	东疆	小 γ	对流泡	14时
11月30日11~19时	沙漠	大 α	对流泡	17时
12月2日13~16时	沙漠	中 γ	对流泡	14时
12月3日17时~4日00时	中天山	大 β	残云再生	18时
12月5日08~11时	东疆	小 γ	对流泡	10时
12月11日23时~12日02时	伊犁河谷	大 β	对流泡	00时
12月12日04~11时	伊犁河谷	大 β	残云再生	07时
12月12日05~07时	盆地	中 β	对流泡	06时
12月14日14~23时	中天山	中 β	残云再生	16时
12月17日04~09时	盆地	中 γ	云瓦解	08时
12月20日13~19时	西天山	中 γ	对流泡	15时

附表 4.2 1999 年新疆的中尺度对流系统

发生时间	地点	尺度	成因	成熟时间
1 月 8 日 15~19 时	西天山	中 β	对流泡	18 时
1 月 22 日 14~19 时	中天山	中 β	残云再生	17 时
3 月 1 日 19~23 时	沙漠	小 γ	残云再生	21 时
4 月 1 日 22 时~2 日 01 时	北疆北部	中 β	对流泡	23 时
4 月 4 日 20 时~5 日 01 时	中天山	中 γ	残云再生	23 时
4 月 19 日 15~22 时	沙漠	中 γ	残云再生	20 时
5 月 3 日 16~22 时	西天山	大 β	残云再生	18 时
5 月 6 日 15~19 时	盆地	中 γ	对流泡	17 时
5 月 8 日 10~15 时	伊犁河谷	小 γ	残云再生	11 时
5 月 17 日 14~19 时	伊犁河谷	小 γ	对流泡	17 时
5 月 19 日 12~17 时	中天山	中 γ	对流泡	14 时
5 月 23 日 06~11 时	东疆	中 γ	对流泡	08 时
6 月 5 日 23 时~6 日 07 时	盆地	大 β	对流泡	00 时
6 月 8 日 12~17 时	伊犁河谷	大 β	云瓦解	14 时
6 月 12 日 23 时~13 日 04 时	伊犁河谷	大 β	云瓦解	02 时
6 月 15 日 12~16 时	伊犁河谷	中 β	对流泡合并	15 时
6 月 23 日 19~23 时	伊犁河谷	中 γ	对流泡	20 时
6 月 25 日 16~22 时	北疆北部	大 β	对流泡与云合并	17 时
6 月 26 日 08~14 时	中天山	中 γ	对流泡	11 时
6 月 26 日 09~15 时	东疆	大 β	对流泡合并	13 时
6 月 26 日 08~15 时	伊犁河谷	中 γ	对流泡	11 时
6 月 26 日 15~18 时	西天山	小 γ	对流泡	16 时
6 月 27 日 03~08 时	北疆北部	小 γ	残云再生	05 时
6 月 27 日 03~06 时	伊犁河谷	小 γ	对流泡	04 时
7 月 2 日 16~20 时	西天山	小 γ	对流泡	18 时
7 月 3 日 18 时~4 日 00 时	中天山	大 β	残云再生	21 时
7 月 7 日 18~21 时	中天山	中 γ	对流泡	19 时
7 月 28 日 09~12 时	盆地	小 γ	对流泡	10 时
8 月 11 日 15~18 时	伊犁河谷	大 β	对流泡合并	17 时
8 月 30 日 11~14 时	中天山	小 γ	对流泡	12 时
8 月 31 日 10~12 时	东疆	小 γ	对流泡	11 时
10 月 12 日 18 时~13 日 02 时	盆地	大 β	残云再生	00 时
11 月 2 日 23 时~3 日 01 时	北疆北部	小 γ	云瓦解	00 时
11 月 12 日 22 时~13 日 03 时	盆地	小 γ	云瓦解	23 时

附表 4.3 2000 年新疆的中尺度对流系统

发生时间	地点	尺度	成因	成熟时间
1 月 29 日 10~14 时	盆地	中 γ	云瓦解	12 时
2 月 9 日 05~09 时	西天山	小 γ	对流泡	08 时
3 月 19 日 07~23 时	沙漠	大 β	残云再生	20 时

4月27日06~11时	伊犁河谷	中 β	对流泡	07时
5月6日08~16时	中天山	大 β	对流泡	10时
5月9日13~16时	西天山	中 γ	对流泡	14时
5月14日17~23时	沙漠	中 γ	残云再生	18时
5月20日06~13时	北疆北部	中 β	对流泡合并	09时
5月25日17时~26日02时	沙漠	大 β	残云再生	18时
5月26日15时~27日00时	盆地	大 β	对流泡	20时
5月27日08~15时	沙漠	大 β	对流泡合并	11时
5月27日16~19时	盆地	γ	对流泡	17时
5月28日08~13时	沙漠	大 β	对流泡	10时
5月28日16~20时	东疆	大 β	对流泡	17时
5月31日18~23时	盆地	中 β	对流泡	20时
5月31日18~21时	西天山	中 γ	残云再生	19时
6月6日13~15时	西天山	中 γ	残云再生	14时
6月22日19~23日02时	沙漠	中 γ	对流泡	23时
6月23日08~14时	沙漠	中 β	对流泡合并	12时
6月23日07~10时	伊犁河谷	小 γ	对流泡	09时
6月23日09~13时	北疆北部	小 γ	云瓦解	11时
6月23日18~24日01时	西天山	中 γ	残云再生	20时
6月24日06~08时	伊犁河谷	小 γ	对流泡	07时
6月24日13~16时	东疆	小 γ	对流泡	14时
6月25日01~04时	沙漠	中 γ	对流泡合并	02时
6月25日11~14时	北疆北部	小 γ	对流泡	12时
6月26日13~18时	西天山	小 γ	对流泡	15时
6月26日13~17时	东疆	小 γ	对流泡	14时
7月1日09~13时	沙漠	中 β	对流泡	11时
7月22日13~19时	沙漠	小 γ	云瓦解	14时
7月22日16~20时	沙漠	小 γ	残云再生	18时
7月23日12~17时	盆地	大 β	云瓦解	14时
8月1日13~18时	中天山	中 β	对流泡合并	15时
8月1日15~17时	北疆北部	小 γ	对流泡	16时
8月2日22时~3日02时	沙漠	中 γ	对流泡	00时
8月4日06~11时	沙漠	中 γ	对流泡	08时
8月4日10~14时	沙漠	小 γ	对流泡合并	12时
8月4日21时~5日00时	沙漠	小 γ	残云再生	22时
8月5日12~16时	东疆	小 γ	残云再生	13时
9月24日17~21时	西天山	小 γ	残云再生	18时
9月30日18~21时	西天山	小 γ	云瓦解	19时
10月13日15~19时	西天山	小 γ	对流泡	16时
10月20日06~11时	伊犁河谷	大 β	对流泡	09时
10月22日19~23时	盆地	小 γ	残云再生	20时