

新疆乌鲁木齐地区冬季层积云研究

——一个例的观测结果与分析*

王 谦 游来光 胡志晋**

(国家气象局气象科学研究所人工影响天气研究所)

提 要

通过分析两个乌鲁木齐冬季层积云个例的观测结果,初步揭示了它发生、发展和消亡各阶段的结构演变情况及云的宏、微观结构情况,得出了有关该种云的发生、发展及消散过程的一些概念模式。

一、引 言

高压系统控制下的层积云系比较稳定,对地气系统特别是混合层内的能量平衡影响很大。对这种云的研究开展较早,近年来又在逐渐增多^[1-8]。本文研究的冬季出现在新疆准噶尔盆地乌鲁木齐附近的层积云也属于这一类云。它覆盖范围大,云顶很低,覆盖区域的地形复杂。由于常以浓雾形式出现而随后抬升成云,因而又被称为低云雾^[9]及阴雾低云等。统计研究表明^[10],这种云每年11月至次年1月期间在乌鲁木齐附近平均出现1.2次,每次维持达6天左右。由于它的出现,使得云层覆盖下的大片地区地面附近水平与垂直能见度降低,且在地面形成雾凇,因此对航空和地面交通及通讯和人民生活等方面都有影响。这种云内的过冷水含量约 0.15 g/m^3 ,能否进行人工影响也是值得研究的问题。因而对它的研究具有一定的应用价值。

本文通过分析两个冬季层积云个例的观测结果,初步揭示了它发生、发展及消亡各阶段的结构演变情况。

二、观 测 内 容 简 介

本文所用资料是在气象科学研究所人工影响天气研究所与新疆气象局人控办和科研所合作进行的“新疆冬季层状云研究”项目实施期间(1982年冬季和1983年冬季),于新疆所做外场观测中获取的。观测的地点在乌鲁木齐附近,观测的主要内容有:

1. 云物理和降水物理观测(表1);
2. 系留气球悬挂常规探空仪探空(地点在乌鲁木齐地窝堡机场,探测高度为距地1 km以下);
3. 常规探空仪定时探空(地点在乌鲁木齐气象台,时间为07,19时BST);
4. 常规测风(地点同上,时间为07,13和19时BST);
5. 加密探空和测风(地点同上)。

* 本文于1985年7月16日收到,1986年5月12日收到最后修改稿。

** 马培民,陈万奎,何绍钦等及新疆气象局王鼎丰、高子仪、傅家模等同志参加了观测。

其中,云物理飞机观测使用的主要仪器是引进的美国 PMS 公司生产的光电粒子谱仪系列^[11]。

表 1 “冬季新疆层状云研究”项目所进行的云物理、降水物理观测内容一览表

项 目	装 置、仪 器 或 方 法	观 测 或 仪 器 安 置 点
飞 行	苏制 Mi-14 型飞机	起降点: 乌鲁木齐地窝堡机场
温 度	航空铂电阻测温计(加倒流罩)	机舱右侧窗外
露 点	镜面热电调温露点仪	机舱左侧窗外
空速(飞机)	机械传动式压差表	前 舱
高度(飞机)	气压式航空高度表	前 舱
云 滴	FSSP-100	右翼下
液态含水量	FSSP-100	右翼下
云内大粒子	OAP-2D-C	右翼下
降水粒子	OAP-2D-P	左翼下
地面降雪量	称重法	北疆各气象台站
地面冰雪晶	Formvar 复制与实时显微摄影	地窝堡机场和乌鲁木齐气象台
地面融滴谱	融滴滤纸色斑法	地窝堡机场
地面冰核	仿 Bigg 型小云室 2.3 liter	地窝堡机场
地面云核	MEE130 型云核计数器	地窝堡机场
飞机上目视和照像		

三、个例的背景情况

本文主要分析出现于 1982 年 12 月 4 日和 1983 年 12 月 13 日的两次层积云个例(以下分别简称为个例 1 和个例 2)。

个例 1 始于 1982 年 12 月 4 日。据气象记录和飞行日志,乌鲁木齐地区 3 日为晴天;4 日 10 时 56 分开始出现浓雾,以后抬升为 Sc 云且一直稳定存在。7 日 01 时 50 分左右,乌鲁木齐附近出现大风,云全部消散。

个例 2 始于 1983 年 12 月 13 日。据气象记录和飞行日志: 乌鲁木齐地区 11 日 12 日为晴天;12 日午后飞机观测发现较浅薄逆温层和逆温底部霾层的存在,霾层均匀铺开覆盖着盆地中沿天山一线的大片地区,在盆地中部没有霾层;13 日 8 时以后,地窝堡机场出现 Sc 云,9 时 30 分云层已趋稳定且地面有浓雾,此时在机场东南上坡方向的乌鲁木齐市开始出现浓雾;17 日中午,地窝堡机场上空云层破碎且明显上抬,Sc 云消散。

这两次层积云出现时的天气形势大致相同,都是处于高空脊控制下、地面高压后部。这样的一种形势在云维持期间基本没有变化,而在云消散时则表现为高空脊被槽所替代,地面高压也有所减弱或东移。

根据地面和 850 hPa 天气图所作的分析^[10]表明: 两次云出现前后都看不出有明显的水汽入流,而此时在地面早已形成了雪盖。在两次层积云维持期间,乌鲁木齐附近均有微量降雪。

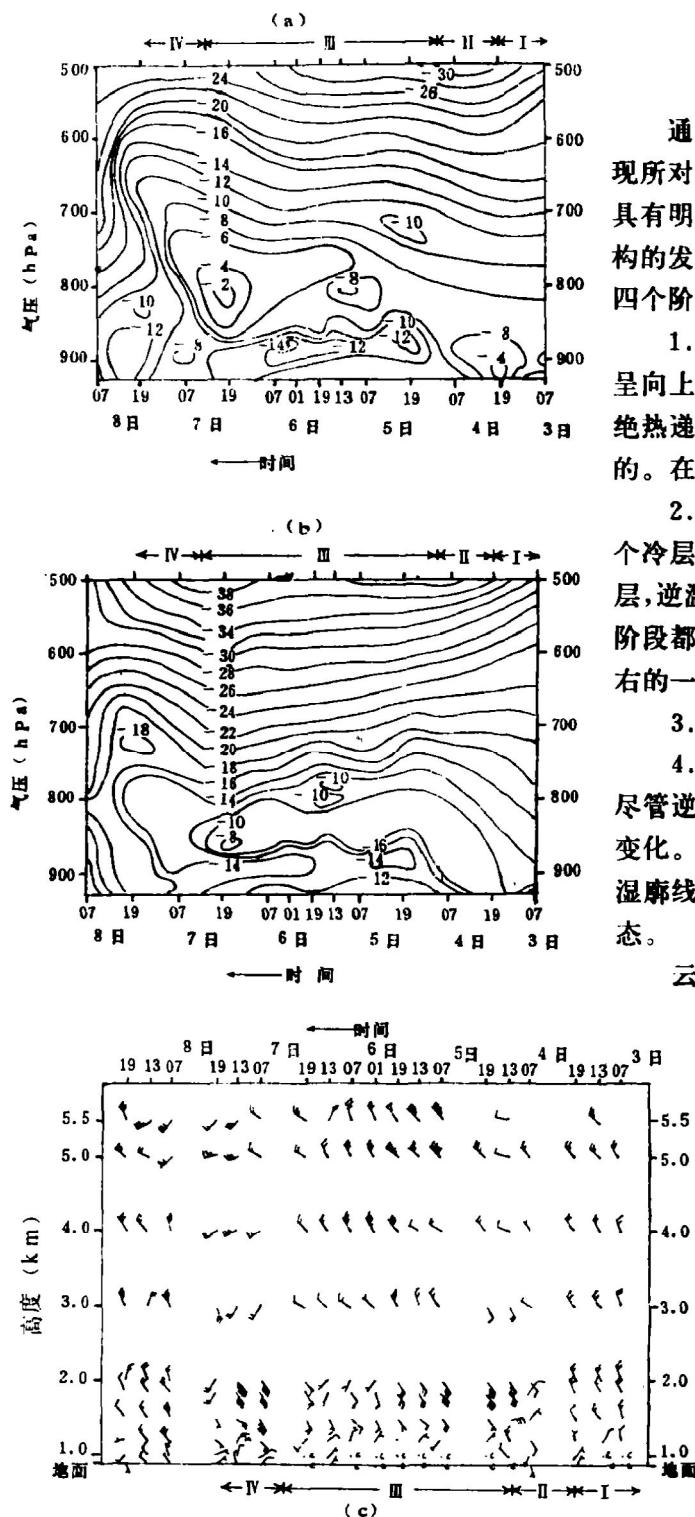


图 1 1982 年 12 月 3 日—8 日乌鲁木齐温、湿、风时高剖面图
 (a. 温度(°C), b. 露点温度(°C), c. 风, I. 前期, II. 酝酿期, III. 维持期, IV. 消散期)

四、局地热、动力结构及演变

通过分析发现,与冬季层积云出现所对应的局地热、动力结构的演变具有明显的阶段性(图 1)。以热力结构的发展为基础,我们将其分为如下四个阶段:

1. 前期,云尚未出现,温、湿层结呈向上的递减状态,但递减率小于干绝热递减率,因此层结是比较稳定的。在地面附近有一暖层。

2. 酝酿期,地面附近逐渐形成一个冷层并上抬。同时,中层也出现暖层,逆温开始形成。在两个个例中,该阶段都对应于夜间和日出后一小时左右的一段时间。

3. 维持期,逆温结构稳定存在。

4. 消散期,自维持期后期开始,尽管逆温仍然存在,但中高层已开始变化。逆温结构在消散期中消失,温、湿廓线重又成为随高度向上递减的状态。

云和浓雾的出现对应于酝酿期与维持期的交替阶段。而云稳定后,其顶部基本对应于逆温层底(参见下节)。同此,维持期的图象基本上反映了这种层积云对应的主要结构特征。其主要特点有:

1. 深厚的逆温。其厚度为 300—1000m 不等,强度 $\left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)$ 可达 $8^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。从系留气球观测的维持期温度场局地演变情况(图 2)可以看出,在一昼夜间,逆温层底

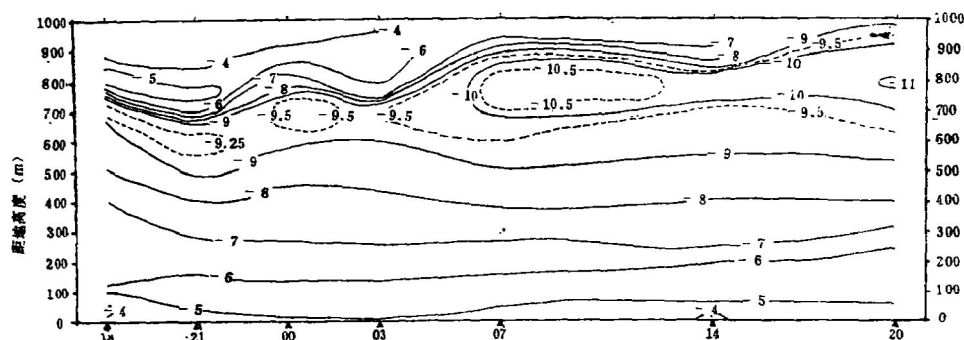


图 2 系留气球观测的维持期温度时高剖面图
(地窝堡机场, 1983 年 12 月 13 日—14 日)

高度虽有起伏但总的来说仍较稳定。逆温层下部等温线很密集, 反映出温度逆增的程度。而逆温层以下却维持着一个近中性的层结, 这反映了混合层中混合的充分性和所导致的均匀性。

2. 风的分层性。在酝酿期内, 逆温层以下可看出有明显的山谷风交替(图 1 c), 地面风也如此(图 3)。而自酝酿期与维持期的交替阶段即云或浓雾生成时起, 风便显出明显的分层特性且在维持期中一直保持着这种图象。分层性表现为上层的系统风(西北风)、对应于逆温层的下坡风(东南风)和逆温层下的上坡风。维持期中, 地面附近风速不大, 一般小于 3 m/s , 但这种上坡风在山坡上会形成一定的上升扰动。对应于逆温层的东南风系比较强劲, 由于是下坡风, 可以估计它会起加热作用同时在逆温层底即云顶附近形成风切变。风的分层性反映了一定的地形作用。风的分层在消散期中消失。

3. 逆温层中的绝对湿度较高, 即对应于逆温层还存在着绝对湿度的逆增现象。

在维持期中, 地面气象要素变化较缓。温度日变化很小(一般小于 2°C), 过程降温率约为 1°C/d 。比湿的过程递减率约为 $0.2 \text{ g}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ 。临近消散期时, 各要素变化明显, 突出的是气压先降后升的现象, 这在其它一些个例的分析中也得到了证实^[10]。

两次个例中, 酝酿期都对应于夜间, 而出现云或浓雾时又对应于日出和风向转为上坡向。从热力结构的演变来看, 低温层次和高的绝对湿度都是自地面向上发展而成的。因此可以推断: 酝酿期内夜间地面的长波辐射冷却及混合层内的湍流混合造成自地面逐渐向上的降温, 配以中上层的下沉趋势而在混合层顶附近形成一浅薄逆温。日出后增强的雪面蒸发和湍流混合以及此时出现的上坡风带来的平流降温和弱上升运动使得凝结易于形成。因此, 这种云的形成除决定于特定的天气形势外, 还与层结及地表附近情况有关。统计表明^[10], 出现云或浓雾的当天, 乌鲁木齐的日平均气温在 $-6 \sim -10^\circ\text{C}$ 之间, 日平均相对湿度高于 85% 。

云或雾生成后, 其顶部的辐射冷却与中层东南风的加热作用使深厚逆温维持。而下层的上坡风和湍流混合提供了对云层的水份供应。

逆温层中的绝对湿度较高, 其原因可能是云生成前水汽向较高层次的扩散及云顶附近的液水蒸发等。云内凝结使得绝对湿度降低也是一种原因。

消散期的图象表明, 云的消散是大的天气形势发生变化的结果。在两次个例中, 这一

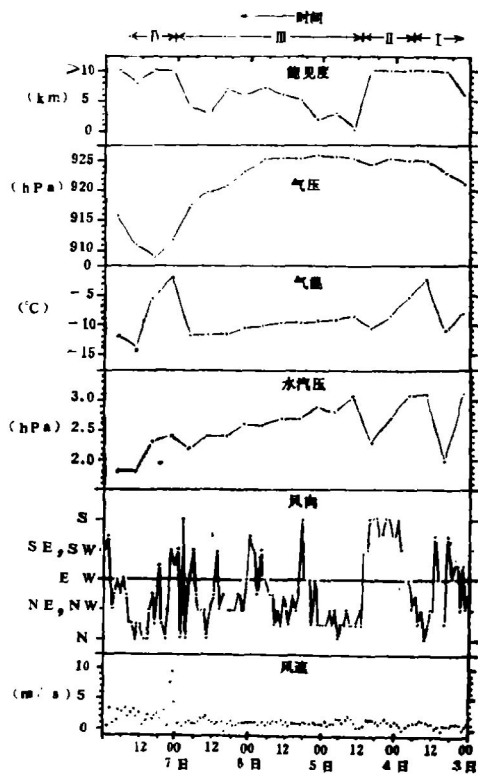


图 3 乌鲁木齐地面气象要素变化图
(I. 前期, II. 酝酿期, III. 维持期, IV. 消散期)

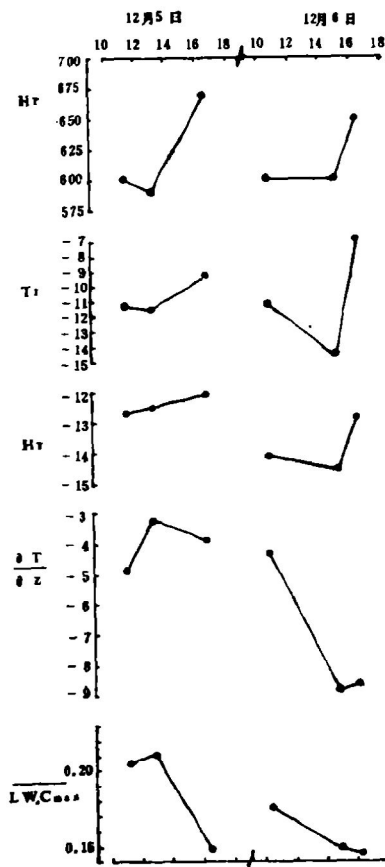


图 4 云的宏观特征量时变图
(H_r : 云顶高度(m); T_t : 云顶温度($^{\circ}\text{C}$);
 T_r : 逆温层底部温度($^{\circ}\text{C}$); $\frac{\partial T}{\partial z}$: 云底到逆温层底减的
温率($^{\circ}\text{C}/\text{km}$); $\overline{\text{LWC}}_{\max}$: 最大含水量区平均值(g/m^3))

变化表现为较强冷空气或锋面过境。

表 2 飞机穿云观测资料时段选用简况表(穿云地点: 乌鲁木齐地窝堡机场上空)

日 期	起始时刻	截止时刻	飞行姿态	起始时刻高度	截止时刻高度	编 号
5/12	11:11:45	11:20:40	降 落	600 ¹⁾	200	1
5/12	13:04:28	13:07:30	降 落	590	270	2
5/12	16:28:25	16:32:40	降 落	670	340	3
6/12	10:31:36	10:33:05	降 落	600	340	4
6/12	14:51:35	14:52:35	爬 升	365	600	5
6/12	16:15:51	16:19:57	降 落	657	425	6
5/12	11:15:30	11:17:10	平 飞	585	580	7 ²⁾
5/12	15:11:00	15:12:30	爬 升	150	695	8

1) 此处为距地窝堡机场地面高度, 单位为米。

2) 该段资料取自第 1 号资料中的一个平飞时段。

五、云的宏、微观结构情况

根据对飞机穿云观测资料的分析,了解到维持期中云的一些结构情况。选取的飞机穿云时段见表 2,它们分别对应于维持期中不同的两天。

飞机观测结果表明云顶在逆温层底附近,同时大部分时段的数据显示存在着云顶伸入到逆温层中的现象。从图 4 中可以看出,云顶在下午有上抬现象,与此对应的是云顶和逆温层底的温度有所升高,而云内液态含水量最大区的平均值却有所减小。实际上,温度和含水量的变化可以认为是云顶上抬带来的结果。从图中还可以看到,第二天(12 月 6 日)午后的两例中,云底到逆温层底部的温度梯度有所增大,因为此时已临近消散期,所以云内可能存在着不稳定现象。在 6 个时段中除 5 号资料外,逆温层底均在云内。

从图 5 a 中可以看出,FSSP 所测液态含水量从云底开始向上基本呈递增趋势,而在云上部达到峰值,此后变化不大直至在云顶附近剧降。实际上液态含水量分布有两种类型,图中情况代表的是其中一种,而在另外一些时段中含水量的极大值出现在云顶附近。峰值液态含水量在 $0.15\text{--}0.21\text{ g/m}^3$ 之间。FSSP 测得的云滴浓度在 $300\text{--}400\text{ 个/cm}^3$ 之间,云滴浓度在垂直方向上没有明显的系统变化但有一定的起伏,这种起伏对云内含水量影响不大。与含水量增加相对应的是云滴平均直径的增大,这一点在云的中下部尤为明显,这说明含水量的增加主要是滴长大的结果,滴的最大平均直径在 $8\text{--}9\text{ }\mu\text{m}$ 左右。FSSP

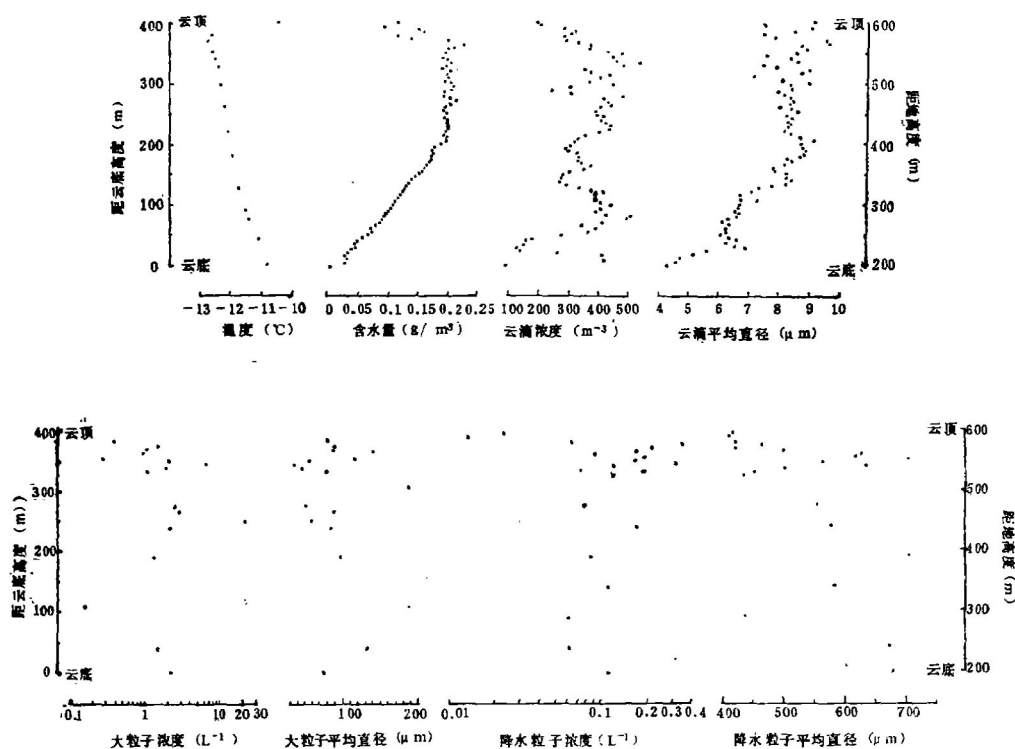


图 5 a 云内宏、微观量的高度分布(云滴浓度、含水量和平均直径为 FSSP 所测;大粒子由 2 D-C 所测;降水粒子情况为 2 D-P 所测。)

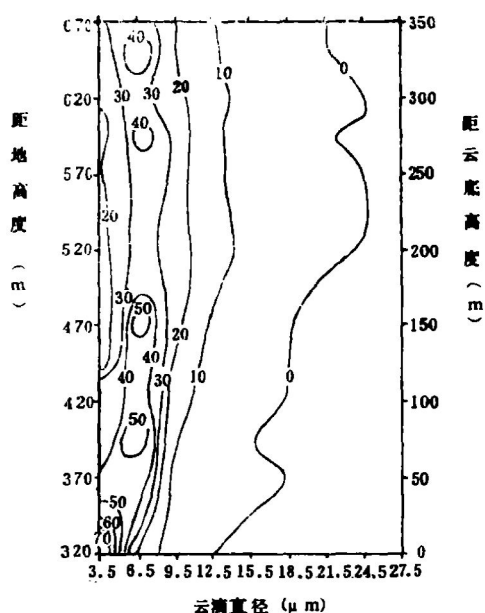


图 5 b 云滴相对谱的高度分布(图中数字=[某直径范围内云滴浓度/总云滴浓度] $\times 100$)

$\mu\text{m}/\text{km}$ 。降水情况的变化可能是动力过程变化的结果。

由于 2 D-C 所测大粒子中有一部分可能是大云滴,因此无法从图 5 直接推断水、冰粒子的浓度。图 6 给出了云内各种尺度粒子的总谱。从云上部的谱形来看,2 D-C 与 FSSP 所测结果相接较好,直径 $100\ \mu\text{m}$ 以下两谱趋势相同。而在 $87.5\text{--}237.5\ \mu\text{m}$ 之间有一个小的峰,它位于前面的云滴与后面的冰晶谱之间,可能兼有水滴和冰晶两种粒子,在云底的谱中可以看出它已与云滴谱连接起来。由于小冰晶主要集中于云顶附近逆温层底处,且冰晶生长到 $200\ \mu\text{m}$ 左右所需时间比水滴要短,因此可以判断,在云上部这一峰值区含有一部分冰晶,而在云底这一区域内则主要是大云滴。从图中还可以看出,云底的降水粒子谱比云上部宽,但并不是每个例子都是这样的。在一些例子中发现,云下部甚至云底的降水粒子谱反比云上部窄(图 5 a 中降水粒子平均直径的“之”字形分布也从一个方面说明了这一点)。一种可能的解释是云下部形成了雪团,它的落速比单晶要大 2—3 倍,因而在云中停留的时间较短,被仪器捕获的概率也就低。总的来看,在云滴中对凝结过程起作用的直径 $15\ \mu\text{m}$ 以上的滴,其浓度占总云滴浓度的 7% 左右,含水量占总液态含水量的 36% 左右;直径大于 $40\ \mu\text{m}$ 的滴(可发生重力碰并)浓度约为 3 个/L。在云上部,云滴和冰晶的浓度分别为 3×10^8 个/ m^3 和 10^2 个/ m^2 。地面冰核观测表明¹⁾,在该时段所对应的逆温层底部温度下(-12.7°C),冰核浓度约为 50 个/ m^3 。因此冰晶与冰核的浓度是大致相当的。冰晶浓度低、云层较薄等因素,使云内过冷水占优势,过冷水含量保持相对稳定。

探头所测的云滴谱自云底向上是有一定拓宽的(图 5 b),峰值自云底的 $2\text{--}5\ \mu\text{m}$ 转至中、上部的 $5\text{--}11\ \mu\text{m}$,在云的中上部峰值大致保持在相同的范围内。上述 FSSP 探头测得的云滴特征在各不同时段资料间相差不大。2 D-C 探头所测直径 $25\text{--}800\ \mu\text{m}$ 的大粒子浓度和平均直径离散较大。总的来说其浓度为 2 个/L 左右,平均直径在 $40\text{--}150\ \mu\text{m}$ 之间,最大达 $200\ \mu\text{m}$ 。2 D-P 探头所测降水粒子浓度在 $0.03\text{--}0.3$ 个/L 之间,平均直径自云顶向下大致是增长的,但呈现出“之”字形分布,造成这种分布的原因有待于进一步研究。实际上,两天的降水粒子情况是有差异的。5 日各时段降水粒子平均直径约在 $300\text{--}800\ \mu\text{m}$ 之间,随高度下降而增大的速率约为 $400\ \mu\text{m}/\text{km}$;而临近消散期的 6 日各时段中上述两数据分别为 $800\text{--}1500\ \mu\text{m}$ 和 2500

1) 刘延刚,新疆乌鲁木齐机场冬季地面冰核观测,气象科学研究院人工影响天气研究所技术报告,1984

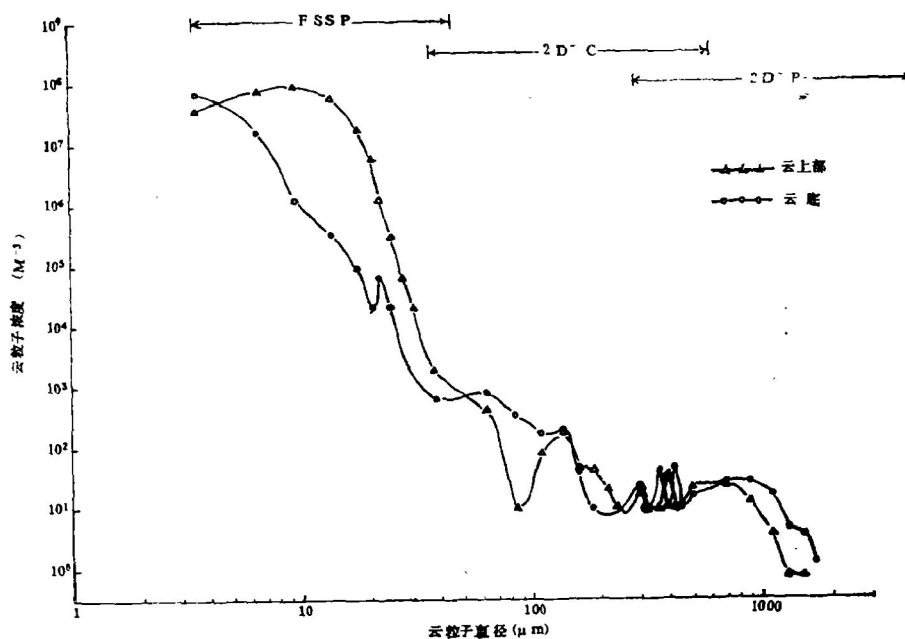
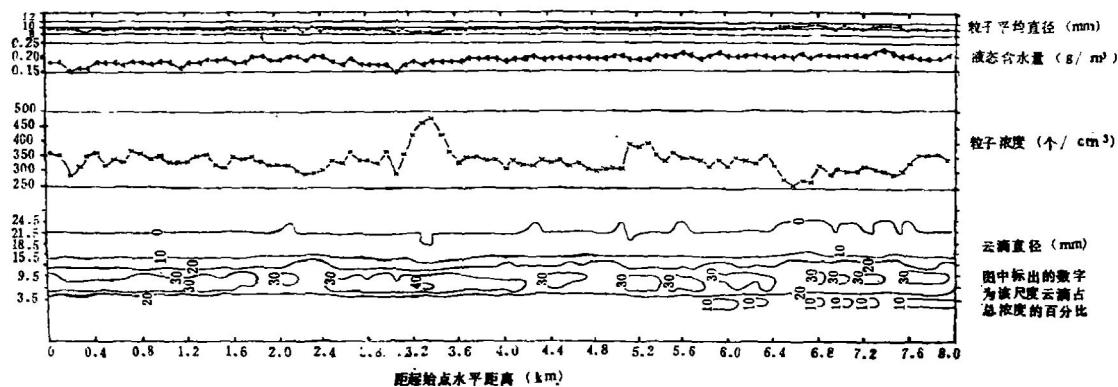


图 6 云内粒子总谱
(其中云上部指云底以上距云底 3/4 云厚处)



(a) FSSP

图 7 云上部含水量最大区的水平飞行情况

从水平飞行观测结果来看,云上部含水量最高的层次中 FSSP 所测云滴浓度、含水量及平均直径等的水平分布较为均匀(图 7 a),而 2 D-C 和 2 D-P 的数据则离散较大(图 7 b)。

图象资料表明,云内降水粒子主要是平面枝星状冰晶,这和一些冰晶生长形态实验的结果^[12]是一致的。分析图象资料发现,在逆温层底部温度低于 -14°C 的两例中可明显地看到攀附现象(图 8 a 中箭头所指),而在逆温层底部温度高于 -13°C 的例子中几乎没有这种情况(图 8 b)。

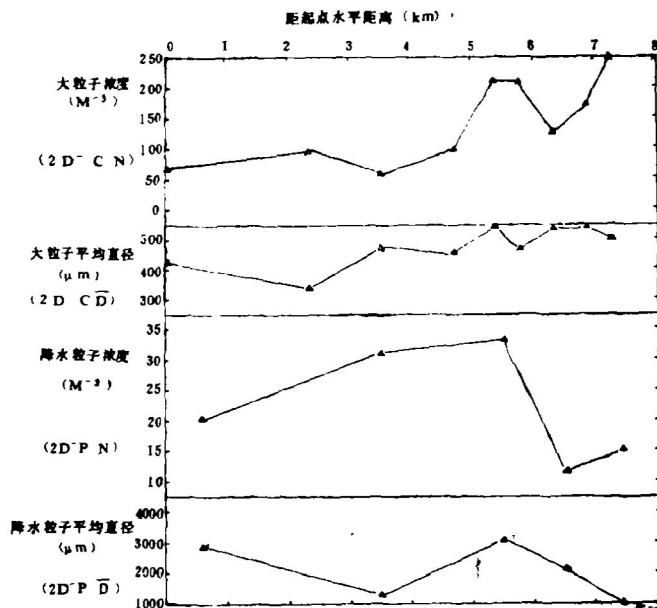
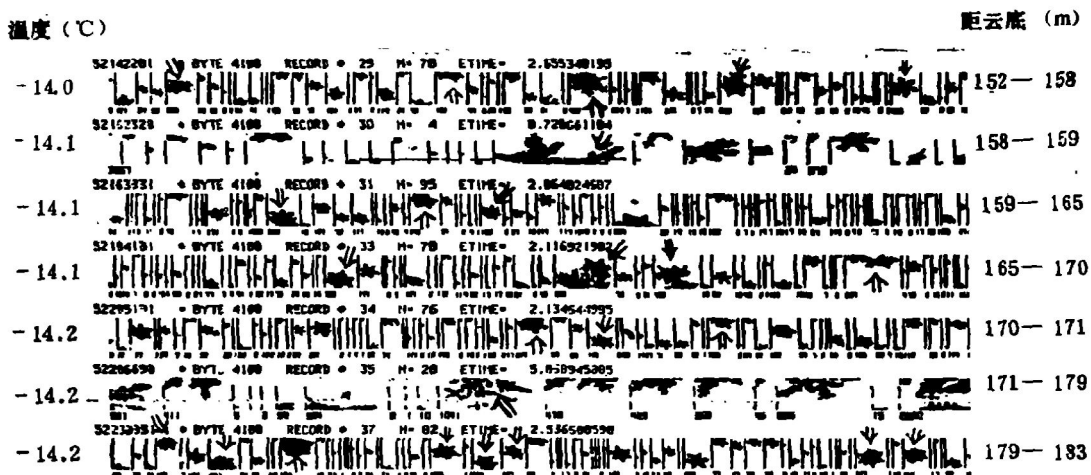
(b) 2D-C 和 2D-P (--- 云滴平均直径, $\triangle$ — $\triangle$ —液态含水量, $\times$ — $\times$ 云滴浓度)

图 7 云上部含水量最大区的水平飞行情况



(a)

图 8 降水粒子和大粒子的图象(有攀附)

六、结 语

1. 乌鲁木齐冬季层积云是稳定天气背景下出现的气团内局地云系,它以这种稳定形势(高压系统控制)为其生成和维持的必要条件。

2. 地面的雪盖;地表的夜间长波辐射冷却;初期的地表以上温、湿层结及湍流混合是生成这种云的局地条件。同时,局地风场对它的生成和维持起了重要作用。

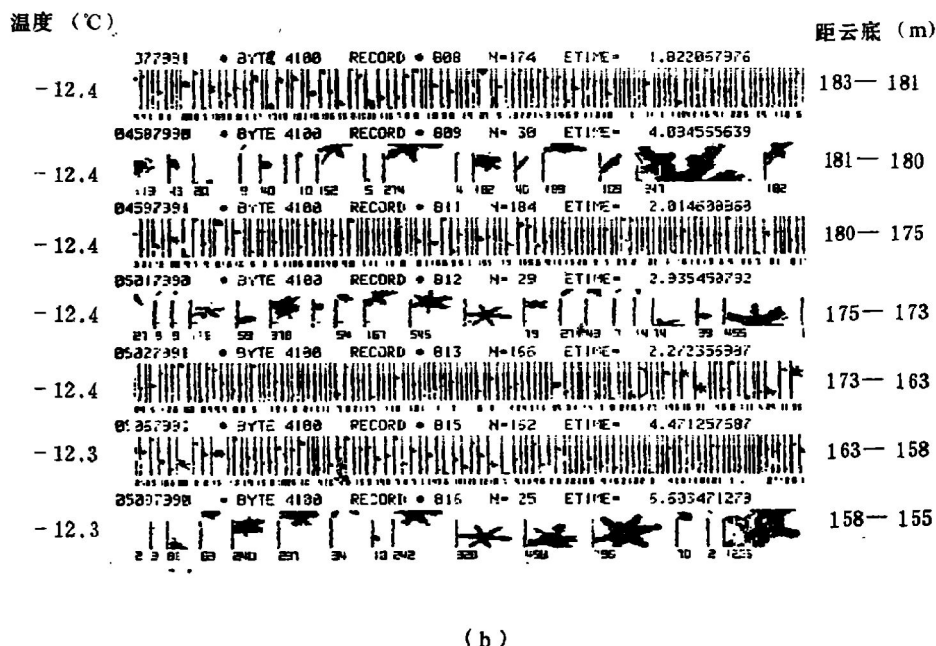


图 8 降水粒子和大粒子的图象(无攀附)

3. 冬季层积云的生消过程有明显的阶段性。在维持期中,它对应的主要热、动力结构特征为深厚的逆温,逆温层中绝对湿度的递增及风的分层等。

4. 云顶有伸入逆温层的现象;云内过冷水占优势,冰晶浓度与冰核浓度数量相当,最大液态含水量出现在云上部或云顶附近;降水粒子优势形态为平面枝星状,可能攀附成雪团下落;降水粒子的特征如大小和增长率等在不同阶段存在着差异;云的一些宏观量有日变化。

5. 该种云的消散对应于大的天气形势发生变化,如较强冷空气或锋面的过境等。

参 考 文 献

- [1] Conford, S. G., Stratocumulus—a review of some physical aspects. *Met. Mag.*, **95**, 292-304, 1966.
- [2] Roach, W. J., et al., A field study of nocturnal stratocumulus, I. Mean structure and budgets. *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, **103**, 103-124, 1982.
- [3] Cauchey, S. J., et al., A field study of nocturnal stratocumulus, II. Turbulence structure and entrainment. *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, **108**, 125-144, 1982.
- [4] Slingo, A., et al., A field study of nocturnal stratocumulus, III. High resolution radiative and microphysical observations. *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, **103**, 145-165, 1982.
- [5] Slingo, A., et al., Aircraft observations of marine stratocumulus during JASIN. *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, **108**, 833-856, 1982.
- [6] Cauchey, S. J., et al., Simultaneous measurements of the turbulent and microphysical structure of nocturnal stratocumulus cloud. *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, **110**, 13-34, 1984.
- [7] Tsay, S. -C., et al., Physical characteristic of Arctic stratus clouds. *J. Climate Appl. Meteor.*, **23**, 584-596, 1984.
- [8] Noonkester, V. R., Droplet spectra observed in marine stratus cloud layers. *J. Atmos. Sci.*, **41**, 829-845, 1984.
- [9] 新疆自治区气象台预报室, 准噶尔盆地低云雾个例分析, *气象*, **12**, 4, 1977.

- [10] 王谦, 新疆准噶尔盆地冬季阴雾低云研究, 硕士论文, 158 页, 国家气象局气象科学研究所, 1985。
- [11] Knollenberg, R. G., Techniques for probing cloud microstructure, "Clouds, their formation, optical properties and effects", (P. V. Hobbs & A. Deapuk eds.,) Acad. press, 15, 1981.
- [12] Pruppacher, H. R., and J. D. Klett, Microphysics of clouds and precipitation, D. Reidel Pub Comp., 1978.

THE STUDY ON THE WINTER STRATOCUMULUS CLOUD OVER ÜRÜMQI, XINJIANG, CHINA— STRUCTURE AND EVOLUTION

Wang Qian You Laiguang Hu Zhijin

(*Institute of Weather Modification, Academy of Meteorological Science,
State Meteorological Administration*)

ABSTRACT

Results of observations of two winter stratocumulus cloud over Ürümqi, which include aircraft, radiosonde and radiowind, tethered balloon and surface observations, are analysed. On the basis of these, a conceptual model of the winter stratocumulus cloud's formation, evolution and dissipation is proposed.