

暖底积云自然降水过程和 人工催化个例数值模拟

曾光平 郑淑真 张长安 隋平

(福建省气象科学研究所, 福州 350001)

李茂伦

(吉林省气象局, 长春 130062)

摘要 利用一维积雨云双参数模式模拟福建省的暖底积云自然降水过程和催化过程。模拟结果表明: 暖云催化影响了降水的演变过程, 不仅使总降水量增加, 而且改变了降水的分布, 使降水提前出现。冷云催化对降水过程没有发生明显的影响。对催化云和自然云云水和雨水含量的模拟表明: 暖云催化使云中碰并过程提前出现, 导致催化云中云水含量明显少于自然云中的云水含量; 催化云雨水含量先是明显大于自然云中的雨水含量, 随后明显小于自然云中的雨水含量。

关键词: 暖底积云; 自然降水; 人工催化; 数值模拟

1 引言

随着云、降水物理学的发展以及人工影响天气研究和应用的深入, 人工催化对降水演变过程的影响研究越来越深入。许多研究者研究结果表明, 人工催化影响了降水形成的物理过程, 改变了降水的时间和空间分布。吴明林利用胡志晋的一维时变双参数积云模式模拟福建省雨季(4~6月)一块发展中等云底较暖的积雨云自然发展过程和催化试验, 结果表明, 对于一小部分有冰粒降水过程的积雨云引晶催化可能增加降雨。本文利用这一模式, 模拟福建省前汛期另一种类型的积雨云自然降水过程和人工催化过程。这一类型积雨云云底低, 上升气流速度小, 云中水汽85%以上位于暖区, 仅有一个高云水区位于暖区, 与该云水区对应产生暖雨降水。这是一种重要的降水类型, 对这类积雨云作了大量的自然过程和催化过程的数值试验, 结果表明, 通过暖云催化的方法可以改变自然降水发展演变过程, 增加降水并使降水提前出现。文中介绍其中一个个例的数值试验结果。其结果对研究南方暖底积云自然降水机制和人工催化原理有一定参考价值。

2 模式概况

本文选用胡志晋的一个微物理过程考虑得比较全面的积云双参数微物理模式。结合

福建雨季的观测事实, 调试出一套适合福建省雨季的一维时变双参数积云模式^[1,2]。

3 自然模式云数值模拟

个例时间是 1985 年 6 月 12 日, 天气类型为锋前。分析探空资料可以看出大气中水汽主要集中在 5 000 m 以下, 0°C 高度在 5 500 m 左右。因此, 暖云催化云数值试验的催化高度在 5 500 m 以下。

以当天福州 08 时探空资料输入模式模拟产生一块强度中等降水积雨云, 其生命史为 84 min (以云体初生到降水终止时间计算生命史), 云顶高度为 7.8 km。

图 1 是自然云云水和雨水含水量时空剖面图。由图 1 可以看出云中只有一个高云水区, 位于 4.0 km, 时间为 18 min, 中心值为 5.1 g kg^{-1} 。云雨转化过程约在 21 min 开始, 基本无冰相过程参与, 是单纯的暖雨降水过程。

分析自然云冰晶浓度、苞水和霰水时空剖面图可以看出, 由于云顶不高, 冰晶核化率很低, 当云体进入零度层后很长一段时间冰晶浓度小于 10^3 kg^{-1} , 最大浓度为 10^4 kg^{-1} , 出现在 42 min。大约在 27 min 开始云雨转化雨滴和冰晶撞冻产生霰。通过“撞冻—繁生”正反馈过程冰粒子浓度和霰粒子很快增长, 部分霰转化成苞, 霰和苞在零度层以下融化成小雨滴, 雨滴通过碰并长大, 因此第二阵降水是暖雨发动的冰相降水。

图 2 是自然模式云地面 3 min 雨强分布图。分析图 2 可以看出降水呈双峰型分布, 第一个峰值出现在第 42 min, 3 min 雨强为 $2.846 \text{ mm} / 3 \text{ min}$; 第二个峰值出现在第 60 min, 3 min 雨强为 $2.456 \text{ mm} / 3 \text{ min}$ 。整个过程降水时间长达 54 min, 总降水量为 20.230 mm。第一阵降水对应于单纯的暖雨降水过程, 第二阵降水对应于暖雨过程发动

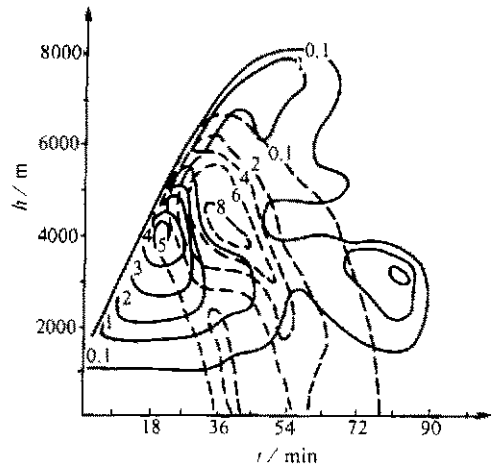


图 1 自然云云水和雨水含水量时空剖面图
——: 云水; ---: 雨水

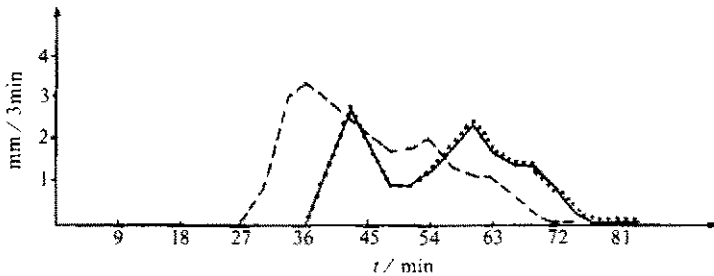


图 2 自然云和催化云地面 3 min 雨强分布图
——: 自然云; ---: 暖云催化云;: 冷云催化云

的冰相降水。

根据地面观测该积雨云在闽侯站降水 18.4 mm, 以及长乐站雷达观测表明实测自然云特征与自然模式云特征基本一致。

4 暖云催化数值试验

在暖底积云暖区增加一定浓度的雨滴胚胎 (质量为 4.2×10^{-6} g) 进行暖云催化数值试验^[3]。

4.1 暖云催化灵敏度试验

催化灵敏度试验结果表明: 催化效果随时间、高度、催化剂量不同而异, 在初始回波出现的时间高度上进行暖云催化效果最好。在本例中取模式运行在 15 min 3 000 m 高度上以 $N_c = 10^5$ 个 kg^{-1} 剂量进行暖云试验。这一催化剂量与吴明林、胡志晋在研究福建省另一类型暖底积雨云催化个例试验时一样^[4]。

4.2 暖云催化增雨机制

根据灵敏度试验结果以 $N_c = 10^5$ 个 kg^{-1} 剂量在初始回波出现时间 ($t = 15$ min) 和高度 ($h = 3$ 000 m) 上进行暖云催化。从图 2 可以看出, 模式运行到 56 min 前, 催化云雨强大于自然云雨强, 在这段时间内催化云降雨量为 20.403 mm, 而自然云降水仅为 9.465 mm, 增雨 10.938 mm; 56 min 后催化云雨强小于自然云雨强, 在这段时间内催化云降雨量为 5.426 mm, 而自然云降雨量为 10.765 mm, 负增雨为 5.339 mm。整个过程降水时间长达 60 min, 总降水量为 25.829 mm。比自然云增雨 5.599 mm, 相对增雨 27.68%。

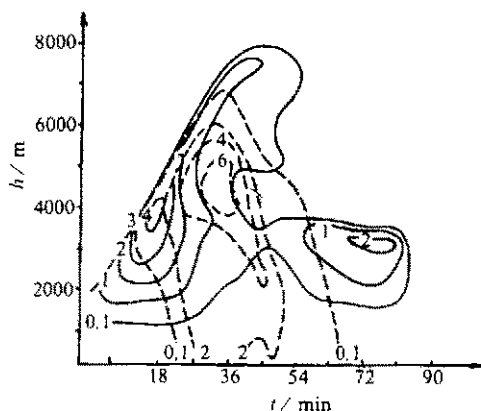


图3 暖云催化过程云水、雨水时空剖面图

——云水, ---雨水

即暖云催化使暖云降水和暖云过程发动冰相降水都提前了, 而且使暖云降水增强, 而暖云过程发动的冰相降水减弱, 但总降水量增加。

图 3 是暖云催化过程云水、雨水时空剖面图。将图 3 与图 1 对照分析可以看出, 暖云催化促使云雨转化过程提前并增强。云雨碰并率 (C_{cr}) 最大值自然云为 $54 \times 10^3 \text{ g kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$, 出现在 27 min 高度为 4 400 m, 在相应高度和时间上催化云 C_{cr} 值为 $24 \times 10^3 \text{ g kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 。催化云 C_{cr} 最大值为 $28 \times 10^3 \text{ g kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 出现在 24 min, 高度为 4 000 m, 在相应高度和时间上自然云 C_{cr} 为 $3 \times 10^3 \text{ g kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 。从 C_{cr} 最大值的变化, 可以看出:

(1) 播云后催化云云水含量消耗比自然云快。

(2) 自然云与催化云水含量时空分布与地面 3 min 雨强的分布 (即在 56 min 前催化云 3 min 雨强大于自然云, 其后小于自然云) 是基本一致的。

对照催化云和自然云冰晶浓度、霰水和雹水时空分布可以看出暖云催化对霰水雹水和冰晶浓度影响只表现在时间提前。如霰水最大值均为 1.0 g kg^{-1} , 催化云出现在 36 min 6 400 m 高度上, 而非催化云 48 min 在同一高度上出现。雹水最大值均为 1.5 g kg^{-1} , 催化云出现在 40 min 5 400 m; 非催化云 54 min 在同一高度上出现。

5 冷云催化数值试验

在暖底积云冷区增加一定浓度的冰晶进行冷云催化数值试验。

采用不同催化时间高度和剂量对冷云催化进行灵敏度试验, 结果表明不同催化时间、高度和剂量进行催化试验催化效果均在 $-0.845\% \sim 2.995\%$ 之间变化, 即催化没有产生明显的增雨效果, 而且对不同催化的时间、高度和剂量反应也不灵敏。

从 3 min 雨强分布看冷云催化对总降水量没有产生明显的影响。数值试验结果表明催化的动力效应很小, 云顶高度没有明显的变化。从图 1 可以看出由于自然云高云水区位于暖区, 冷区云水含量最大值仅为 1.6 g kg^{-1} , 云体最大云水含量为 5.1 g kg^{-1} , 位于 4 km。雨水含量最大值为 9.1 g kg^{-1} , 位于 4.2 km, 因此冷区没有充分的过冷水。该例催化高度上云水量为 0.4 g kg^{-1} , 雨水量为 3.2 g kg^{-1} 。催化后仅在催化时刻催化高度以上 600 m 高度出现浓度为 10^5 kg^{-1} 的冰晶, 同时使 10^4 kg^{-1} 浓度的冰晶比自然云提前出现, 且高度也稍有下降, 但经 6~9 min 后冰晶浓度的时空分布很快恢复到自然云状态, 即催化对云体冰晶浓度含量没有明显的影响。

6 结语

(1) 本文所模拟计算是个云底较暖、发展缓慢, 云中水汽 85% 以上位于暖区且仅有一个高云水区个例。这是福建省前汛期一种重要类型的积雨云。

(2) 对这类积雨云在暖区采用暖云催化方法可以达到增雨目的。模式云地面 3 min 雨强分布表明, 催化使过程总降水量发生变化。催化后, 相对增雨 27.68%。催化后使降水产生重新分布, 不仅使降水提前发生, 而且在播云后先出现增后出现减雨。催化后 41 min 前增雨, 其后为减雨, 但总的降水量增加。

(3) 由于这类云中高云水区和雨水区位于暖区, 冷区过冷水含量较低, 使得在过冷区采用冷云催化剂催化后, 云中冰晶浓度、霰水量和雹水量没有出现明显的变化导致冷云催化对地面总降水没有发生明显的影响。

参 考 文 献

- 1 胡志晋, 积雨云微物理过程的数值模拟 (一) 微物理模式, 气象学报, 1987, 45(4), 467~484.
- 2 胡志晋, 严采繁, 盐粉催化不同生命史浓积云的数值模拟, 大气科学, 1985, 9(1), 62~72.
- 3 何观芳, 胡志晋, 人工影响积雨云机制的数值研究, 应用气象学报, 1991, 2(1), 32~39.
- 4 吴明林, 胡志晋, 人工催化暖云底积雨云的个例数值试验, 应用气象学报, 1990, 1(2), 142~152.

A Numerical Simulation on Natural Precipitation Process and Cloud Seeding in Cumulonimbus Clouds with Warm Cloud Base

Zeng Guangping, Zheng Shuzhen, Zhang Chang'an and Sui Ping

(Fujian Institute of Meteorological Science, Fuzhou 35001)

Li Maolun

(Jilin Meteorological Bureau, Changchun 130062)

Abstract The natural precipitation and cloud seeding of cumulonimbus clouds with warm cloud base in Fujian are simulated by using a dual-parameter cumulonimbus cloud model. The results show that large droplet seeding cloud affects the precipitation process, which enhances the precipitation, changes the precipitation distribution, and makes precipitation occur early. Ice-seeding cloud has few obvious influence. The analysis of water content of clouds and rainwater show large droplet seeding cloud advances the collecting appearance. So the water content of seeding clouds is obviously smaller than that of natural clouds. And the rainwater of seeding clouds is greater than that of natural clouds at first, is smaller than that of nature next. In this paper, we will discuss the precipitation mechanism of cumulonimbus and get some revelations.

Key words: cumulonimbus cloud with warm cloud base; natural precipitation; artificial seeding; numerical simulation