

冷水面对积云的影响——数值试验

孔凡铀 黄美元 徐华英

(南京气象学院) (中国科学院大气物理研究所)

提 要

采用二维平面对称暖积云模式研究了夏季午后水面对移行过境积云的影响。讨论了过冷水面积云发展演变过程、流场结构和雷达回波结构。试验中考虑整层均匀环境风,并对水陆温差进行了适当处理。计算表明,冷水面对过境积云的影响表现在两个方面:水陆环流辐合上升运动使移近水面的积云受到一定程度增强;水陆环流的下沉运动和冷变性气层的共同作用使积云移入水面后发展受抑,强度减弱。受冷水面作用后的积云流场和液水场均发生很大变化,有些积云移过水面后可以重新增强。

一、引 言

大量观测事实和理论分析表明,夏季午后由于水陆温差的存在,积云移行遇到较大水体时往往受阻转向,绕岸而行,或者移过水体后变弱^[1,2]。湖南芷江的观测表明,夏季午后15时水陆表面温差一般超过10℃,最高甚至可达20℃以上^[3]。

国外不少学者对水陆环流和由此产生的气象过程作了大量研究。例如 Haurwitz (1947)^[4], Pearce (1955)^[5], Fisher (1961)^[6], Neumann 和 Mahrer (1971, 1974, 1975)^[7-9], Physick (1976)^[10] 等工作,这些研究旨在解决水陆局地环流的形成机制、演变特征以及对局地云生成和发展所起的作用等问题。本文则将通过数值模拟方法着重研究冷水面对外来积云发展过程的影响,弄清主要影响机制,了解移过水面的积云演变特征和流场结构特征以及积云受影响的程度与本身强度和生长阶段的关系。

二、模 式

1. 基本模式和初、边条件

模式基本结构类似徐华英等(1980)^[11]的二维平面对称暖积云模式,微物理过程采用类似 Kessler (1969)^[12] 和 Berry (1968)^[13] 的参数化方案。湍流交换系数取为常数。本文对模拟域作了扩充,加入水平环境风场。下边界引入了一定宽度的冷水面,在模拟时段内,水面和陆地温度均假定为常数。

模式所用环境大气层结为4公里高度以下是对流性不稳定层。在初始时刻加入自左

向右的水平均匀环境风场,风速分别取 5 米/秒和 10 米/秒。初始云雨场为零。由温、湿扰动触发对流。

模式域上、下边界假定为刚性、自由滑动边界,温度和水汽比湿保持环境值。侧边界允许有空气流入和流出。

2. 水面处理方法

假定模式域平面与有限宽度水面岸线正交。由于热传导等作用,冷水面上方存在一变性气层。本模式不改变平均温度场 $\bar{T}$ 的水平均匀特征,而是在初始时刻采用一种“转嫁赋值”方法把变性层内每点与陆上同高度大气之温差作为扰动温度场 T' 在该点的初始值。这相当于分解 T' 为对流扰动温度场 T'_1 和初始叠加负温场 T'_2 两部分,显然 T'_2 只在变性层内才有非零值。

设水面比陆面温度低 ΔT , 初始变性层厚度 Z_c 。则在初始时刻变性层内实际温度递减率 Γ' 可用下式表示

$$\Gamma' = \Gamma - \frac{|\Delta T|}{Z_c}$$

Γ 为环境大气温度递减率。由 Γ 和 Γ' 可以很容易确定 T'_2 。

3. 计算方法

模拟域高 12 公里、宽 39 公里,水平格距 1 公里、垂直 0.5 公里,时间步长为 10 秒。初始对流发生在域中部近地层,模拟冷水面在初始对流的下风侧,距离和水面宽度可调。

采用交错网格分布,时间向前差分,非平流空间偏导项中央差分,平流项用季仲贞提出的混合格式。

三、计算结果

计算中均取地表温度 30℃,水面温度 20℃,初始变性层厚度 1 公里*,层内初始相对湿度为 90%,整个模拟域随环境风移动,以保证模拟的积云始终在域内。

表 1 主要例子简况

算 例	水面宽度 (km)	初始扰动距水面距离 (km)
对 比 例	0	-
例 1	3	3
例 2	5	3

1. 过水面积云强度的演变

计算了水面宽度为 3 公里和 5 公里的两块积云,并与无水面影响的对比例进行比较。这三个例子均取环境水平风速 5 米/秒,各例的水面条件如表 1 所示。

对比例模拟的积云生命史大约 60 分钟,气流最大增速约 13 米/秒,云厚达 10 公里,云发展到约 36 分钟时强度达到峰值。

图 1 给出了这三个例子积云中最大上升气流速度 w_{max} 随时间的变化,其它各物理量

* 随着引入水平环境风场,该变性层很快变薄

也有类似的随时间演变规律, 由图可见受冷水面影响的积云其演变过程与对比例有明显的

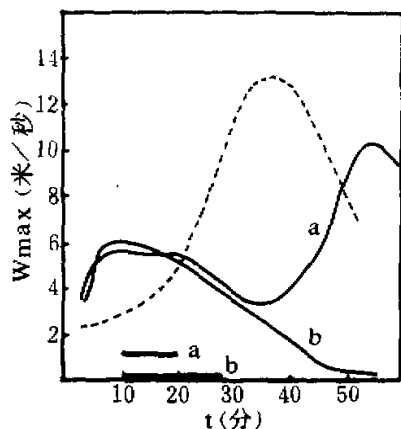


图1 云中最大上升气流速度随时间的变化
虚线为对比例 a 线为例1 b 线为例2 图下方
粗线 a, b 各表示对应算例水面影响的时段

差异。从云中最大上升气流速度的演变特征来看, 可以划分为三个阶段来分析, 第一阶段为积云移近水面时, 云的强度迅速增大, 两个有水面的例子这时云中最大上升气流速度均大于对比例。第二阶段为积云移入水面后及刚移出水面时, 云的强度开始减弱, 而相应时刻无水面的对比例云中最大上升气流速度却迅速增大, 很快就超过了移过水面积云的强度。第三阶段为积云已移出水面, 两个移过水面积云的例子出现完全不同的情况, 例2过水面后强度一直减弱, 大约到50分钟时云中上升速度已降为零, 云已趋于消亡, 而例1经过水面后, 大约在36分远离水面时云又重新发展起来, 其强度甚至超过相应时刻无水面积云的强度, 以后才逐渐减弱。

水面宽度不同的这两个例子除了在远离水面云发展后期有显著差异外, 在积云发展的前期位于水面附近和水面上方时两块云的演变特征和强度均十分接近。只是在进入水面前积云强度增加时例2增大得快一些, 在水面上积云强度减弱时例2也减弱得快一些。

2. 过水面积云的二维流场和水量场

过水面积云的演变特征还可以从二维流场结构和表示云中水量场的雷达回波结构来分析。在有水平环境风情况下, 水面冷下垫面的作用形成水陆环流, 在水面上方为下沉气流, 两岸各有一环流, 且上风岸的环流较下风岸强得多, 因此在上风岸有较强的上升气流区。从图2的流场分布可以看出水面附近流场的上述特征。下面从积云移过水面各阶段的二维流场和雷达回波场来分析。

(1) 移近水面积云的二维结构, 图2为例1在4分钟时的流场和雷达回波场。由图

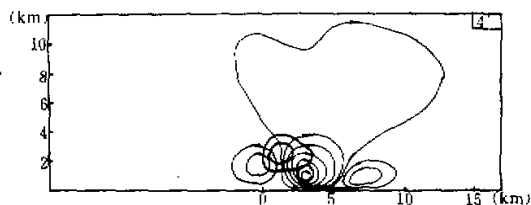


图2 移近水面积云的二维结构(例1, 4分钟)

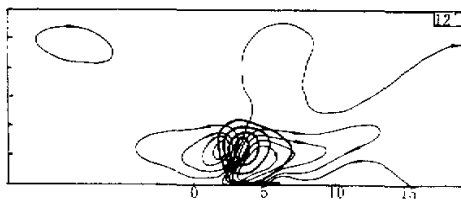


图3 水面上积云的二维结构(例 1,12 分钟)

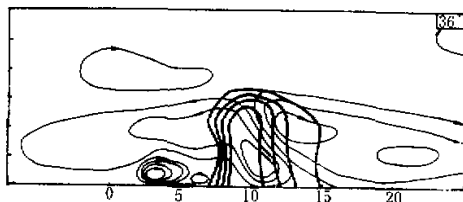


图4 移出水面积云的二维结构(例 1,36 分钟)

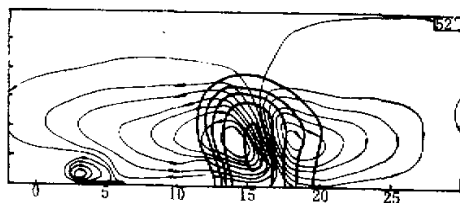


图5 远离水面积云重新加强的二维结构(例 1,52 分钟)

可见积云已移近水面,由于上风岸有较强的上升气流,因此积云中对流环流的右支,即靠近水面一侧气流较强。而对比云此时的环流左右对称,强度要低一些,雷达回波的范围和强度都小一些,例2由于水面较宽其局地环流更强,积云发展强盛甚至形成降水。

(2) 积云移入水面后由于局地环流作用上升气流轴向下风方倾斜,图3为例1于12分钟时云刚移入水面时的二维结构。由图可见云下主要人流来自云的后部,而前方的人流来自中空,大量干冷空气进入云内,抑制了积云发展。

(3) 积云移出水面后,上升气流轴转向后倾,图4为例1于36分钟时移出水的二维结构。对比例在发展后期也有这种流场结构,各例出现这种流场结构时,地面上开始出现较大降水。因此可以认为这种环流形式与强降水有密切关系。

(4) 积云中心远离水面时,两个例子演变过程不同。例2环流明显变弱,44分钟时云下部由下沉气流控制,回波强度较弱,而例1当积云移出水面约5公里后重新加强,图5为52分钟时的二维结构,由图可见环流轴接近直立,环流较强且回波强度和范围也大。

3. 水面条件对积云发展的影响

计算了四种水面宽度及对流扰动位置离水面四个不同距离的各例。图6是一组算例的云中最大上升气流速度随时间的变化曲线,各例的初始扰动中心距水面为5公里,水面

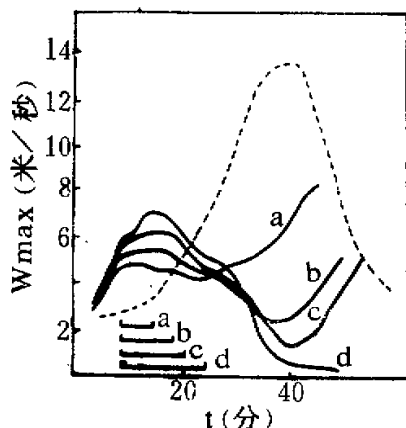


图6 不同水面宽度条件下云中最大上升气流速度随时间的变化。扰动中心距水面3公里,水平风速为10米/秒,虚线为对比例。曲线a, b, c, d分别对应3公里、5公里、7公里和10公里宽的水面

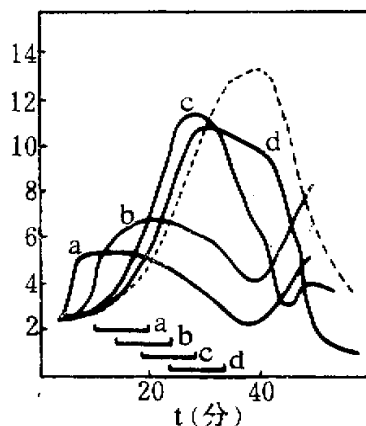


图7 扰动中心距水面不同距离时云中最大上升气流速度随时间的变化。水面宽度为5公里,水平风速为10米/秒,曲线a, b, c和d分别对应扰动中心与水面距离为5公里、7公里、10公里和13公里

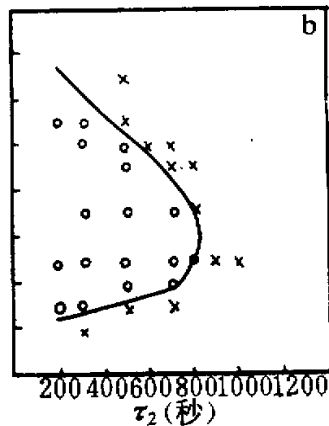
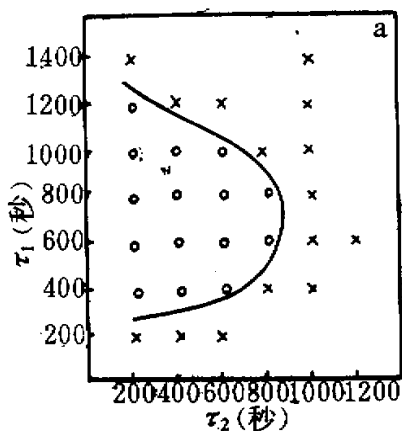


图8 移出水面积云是否重新增强与水面宽度(τ_1)和扰动中心离水面距离(τ_2)的统计关系

○——积云重新发展的例子 ×——积云不重新发展的例子
a. 水平风速为5米/秒 b. 水平风速为10米/秒

宽度不同。不难看出,水面愈宽,曲线增强段愈陡,第一峰值愈大,同时,减弱过程也愈快。这说明宽水面形成了较强的局地环流,而对积云的抑制作用也较强烈。

图 7 是固定水面宽度,初始扰动中心距水面不同远近的另一组算例。图中表明,积云生成位置愈远离水面,其发展过程受水体的影响愈弱,待积云移近水面附近时云已发展得十分旺盛,强中心位置较高,受到水面影响相应小些。图 7 还间接表明,水面对较强烈的过境积云的影响小于对弱积云的影响。观测也证实,较强的对流云系统容易越过长江,而弱单体则受阻。

4. 积云移过水面后重新发展的条件

前面提到,移出水面的积云有的减弱消失,有的则会重新获得发展,出现第二峰值。同样的大气条件 and 环境风速,水面较窄的例 1 出现重行增强过程,例 2 则不出现。下面就来研究一下水面宽度和积云生成位置与重行增强的关系,其他诸条件均已给定。调节这两个参量计算了若干例子,图 8 按其是否出现重行增强分类点绘出计算结果。横坐标表征积云移过冷水面的时间,称为“负影响时间”;纵坐标表征积云生成后移到水面所需的时间,称为“正影响时间”。从图中可清楚看到,在重行增强例子与未重行增强例子之间存在一明显的分界,而且不同环境风速所对应的分界曲线十分吻合。

图 8 揭示出这样两个特点:(1)水面愈宽,愈不利于出现重行增强,当达到某一定宽度后(对本组算例 $\tau_2 > 900$ 秒时),移过水面的积云全部减弱消散。这一特点还表明,随着水面的加宽,水面对积云的促进作用(局地环流动力机制)的增加始终慢于抑制作用(动力和热力机制共同作用)的增强。(2)积云生成位置到水面的距离过小、过大都不利于出现重行增强。存在着一个最佳距离段(对于本组算例, $\tau_1 = 600$ 秒附近), τ_1 愈偏离这一区域,能出现重行增强的临界宽度愈窄。当 $\tau_1 < 200$ 秒和 $\tau_1 > 1000$ 秒时,不再出现重行增强。出现这一特点是由于冷水面对初生期和发展末期的积云均有较强的抑制作用的缘故。图 8 虽然只是在某种特定的大气层结、水陆温差等情况下得出的结果,但所得的上述概念可能有普遍性,可以供天气预报中参考。

四、小 结

通过上面的计算和讨论,在所给出的条件下,有限宽度冷水面对移行孤立积云的主要影响可归纳为:

(1) 水面对积云影响主要由水陆环流(动力影响)作用和冷变性(热力影响)作用组成。水陆温差是本质因素。

(2) 积云移入冷水面前先受到促进而加速增长,进入冷水面后才被抑制而加速减弱。水面愈宽,促进作用和抑制作用均愈大,而抑制作用总是强于促进作用。

(3) 有些积云移过水面后会重新发展,这与积云所处的发展阶段和水面宽度等有关。存在着一个合适的发展阶段,若积云移入水面时处于该阶段,则最易于重行发展,过早或过迟移入水面均不易重行增强。水面愈宽,愈不易于重行增强。

(4) 水面对弱积云的影响比对强盛积云的影响大;对初生和发展前期的积云影响比

对发展后期以及消亡阶段积云影响大。

(5) 积云移入冷水面后一段时间内,云内流场结构有明显变化,出现前倾斜升轴,雷达回波的强中心下降,范围缩小。

参 考 文 献

- [1] 王鹏飞, 1972, 冰雹移动规律初探, 全国人工降水、防雹科技座谈会报告选编(下)。
- [2] 黄美元, 洪延超, 1984, 锋面云系和降水回波特征, 近代气象雷达及其应用, 256—258。
- [3] 南京气象学院, 冰雹物理和人工防雹讲义。
- [4] Haurwitz, H. B., 1947, *J. Meteor.*, Vol. 4, P1.
- [5] Pearce, R. P., 1955, *Quart. J. R. Meteor. Soc.*, Vol. 81, p253.
- [6] Fisher, E. L., 1961, *J. Meteor.*, Vol 18, 216—233.
- [7] Neumann, J. and Y. Mahrer, 1971, *J. Atmos. Sci.*, Vol. 28, 534—542.
- [8] Neumann, J. and Y. Mahrer, 1974, *J. Atmos. Sci.*, Vol 31, 2027—2039.
- [9] Neumann, J. and Y. Mahrer, 1975, *Mon. Wea. Rev.*, Vol 103, 474—485.
- [10] Physick, W., 1976, *J. Atmos. Sci.*, Vol 33, 2107—2135.
- [11] 徐华英、李桂忱等, 1986, 积云降水过程数值模拟研究, 南方云雾物理与人工影响天气文集, 气象出版社。
- [12] Kessler, E., 1969, *Meteor. Monogr.*, Vol 10, No. 32.
- [13] Berry, E. X., 1968, Modification of the warm rain process, proc. 1st National Conf. Weather Modification, Albany, 81—88.

THE EFFECTS OF COLD WATER SURFACE ON WARM CUMULUS CLOUDS —NUMERICAL EXPERIMENT

Kong Fanyou

(Nanjing Institute of Meteorology)

Huang Meiyuan Xu Huaying

(Institute of Atmospheric Physics, Academia Sinica)

Abstract

The effects of water surface in the summer afternoon on development process, flow pattern and echo structure of cumulus which moves with a vertical uniform ambient wind were investigated by a two-dimensional slab-symmetric warm cumulus cloud model. A simple method by which water surface is introduced into the model was used.

It is found that the effects are expressed in two aspects: one is that the updraft of water-land wind strengthens the cumulus when it moves to the water surface; the other is that the downdraft of the circulation and the cold air layer above the water restrains the development of the cumulus while it is across the water surface. Under the effects of the cold surface, the flow pattern and the field of radar reflective factor of cumulus are largely changed. After the clouds move away from the water, some of them can be re-enhanced.