

The Cloud Characteristics Parameters and the Precipitation Correlation Studies of Hunan Province

Zhongbo Zhang, Zuxian Li, Lin Tang

Hunan Weather Modification Center, Changsha Hunan
Email: zhongbo900@163.com

Received: Mar. 26th, 2017; accepted: Apr. 11th, 2017; published: Apr. 14th, 2017

Abstract

Using the observation cloud data in the recent years of Hunan province, center of China, combination of inversion FY2C satellite cloud parameters and sounding cloud analysis, the relationship between the different cloud structure and precipitation characteristic parameters is analyzed. Furthermore, the relationship between different precipitation cloud system's cloud parameters and the intensity of the rain was studied, which includes: frequency distribution characteristics of satellite cloud parameters inversion and its relationship with precipitation, the thickness of the cloud frequency distribution characteristics and its relationship with precipitation, the cloud optical thickness and the correlation of rainfall and correlation analysis of cloud parameters of convective clouds and precipitation. The research purposes in the grasp of the principle of the origination, development and oblivion of cloud precipitation, which is benefit for the estimate of the artificial precipitation cloud seeding condition.

Keywords

Satellite Inversion, Cloud Characteristic Parameters, Precipitation, Correlation

湖南省云特征参数与降水相关性研究

张中波, 黎祖贤, 唐 林

湖南省人工影响天气领导小组办公室, 湖南 长沙
Email: zhongbo900@163.com

收稿日期: 2017年3月26日; 录用日期: 2017年4月11日; 发布日期: 2017年4月14日

摘要

综合利用FY2C卫星反演云参数和探空云分析方法,针对近几年湖南地区云的综合观测资料,统计分析不同云结构特征参数与降水的关系,进而探讨不同降水云系的云参数与雨强的对应关系,主要包括卫星反演云参数的频数分布特征及其与降水的关系、分析云厚度频数分布特征及其同降水的关系、云光学厚度与降水的相关性;对流云的云参数和降水的相关性分析,目的是为认识云降水发展演变规律,识别人工增雨播云条件和效果提供技术支撑。

关键词

卫星反演, 云特征参数, 降水, 相关

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

云的结构特征与云辐射特性、云降水条件、降水机制、降水效率及人工增雨潜力等紧密相关。不同云系的云结构特征有很大的差别[1] [2] [3]。国内外关于云特征参数与降水关系的研究,已有一些进展[4] [5] [6]。盛日锋等利用FY2/D卫星反演的云特征参数与地面降水对2009年9月19~20日过程作了相关分析,结果发现:云顶高度、云顶温度、过冷层厚度和云光学厚度对本次降水过程指示性不强,而云粒子有效半径及云液水路径对降水有较好的指示作用,且云液水路径指示作用更强[7]。刘贵华等通过卫星多光谱资料的定标,利用可见光反射率、3.7 μm 和 11 μm 辐射亮温,反演了云顶粒子有效半径、云顶温度等云特征参数,同时结合增雨假设,总结出适宜人工增雨作业的卫星判据为:云厚大于 1.5 km,云顶温度 $-5^{\circ}\text{C}\sim-15^{\circ}\text{C}$ 时,有效半径小于 25 μm ;或云顶温度 $-15^{\circ}\text{C}\sim-25^{\circ}\text{C}$ 时,有效半径小于 15 μm 。利用可见光反射率、云顶温度和有效半径多阈值建立人工增雨播云等级和分级显示。通过静止卫星跟踪云系演变,进一步确定播云部位和作业时机,指导人工增雨作业[8]。彭亮等对2004年3月31日河南一次云降水过程的微观物理特征实施了综合探测,结果表明降水形成前,云中粒子谱型主要为单峰型,粒子直径大部分在 5~10 μm 之间变化,大粒子浓度很低,不到 0.1 个/ cm^3 ,且呈不连续分布,随着云中微物理过程的发展和降水的形成,粒子谱型逐渐转为双峰或多峰型,粒子浓度明显增高,粒子直径逐渐增大[9]。傅云飞利用卫星双光谱反射率算法反演的云参数指出云顶附近的云粒子尺度及云水路径可以很好地指示对流降水云团的厚度及强度[10]。

为获得云系结构的连续变化,周毓荃等利用风云静止卫星的观测资料,融合其他多种观测资料,反演了云顶高度、云顶温度、云光学厚度、云粒子有效半径等近 10 种云宏观物理特征参数并开展应用研究[11]-[16]。基于这些现状,综合利用FY2C/D卫星反演云参数技术结合云物理分析方法,针对2014~2016年3~9月期间湖南省区域云综合观测资料,分析云系发展演变与降水的时空演变规律,为短时临近精细天气预报、准确分析云系的人工增雨作业条件和可播性,科学指导人工影响天气作业提供帮助。

2. 资料介绍

主要利用2014~2016年3~9月FY2C/D卫星反演的湖南区域宏观云特征参数资料和地面中小尺度

雨量观测资料。其中, FY2C/D 卫星反演的宏观云特征参数包括云顶高度(Ztop)、云顶温度(Ttop)和云过冷层厚度(hh), 微观云特征参数包括云光学厚度(τ_e)和云粒子有效半径(Re)。反演时段为每日 08~20 时。FY-2C/D 静止卫星资料为等经纬度格距资料, 空间分辨率为 $0.05^\circ \times 0.05^\circ$, 时间分辨率为 1 小时。

主要云特征参数产品的物理意义介绍如下:

- 1) 云顶高度(Ztop): 云顶相对地面的距离, 单位为(km)。有助于了解云系的发展程度和演变趋势。
- 2) 云顶温度(Ttop): 云顶所在高度的温度, 单位为($^\circ\text{C}$)。可用于进行人工增雨云系播云温度窗的选择。
- 3) 云过冷层厚度(hh): 0°C 层到云顶之间的厚度, 单位为(km)。可用于了解云系冷暖云垂直结构配置。
- 4) 云光学厚度(τ_e): 是指云系在整个路径上云消光的总和, 为无量纲参数。可用于了解云系垂直方向密实程度。
- 5) 云粒子有效半径(Re): 在假设云层水平均一且较厚的条件下, 云顶粒子的有效半径, 单位为(μm)。可用于进行云中平均粒子大小的判断。

3. 云特征参数反演方法

3.1. Ttop 和 Ztop 的反演

即计算分析卫星红外两个通道的亮温与 Ttop 之差随高度的变化。给出在两个红外通道拟合得到的卫星亮度温度和 Ttop 的差值随着有效半径和 Ztop 的变化。最后, 拟合得到各个有效半径时温度差值随 Ztop 变化的关系式:

红外通道1 (a_1 随有效半径变化):

$$T_{top} - T_{b_1} = a_1 \log(Z_{top}) + b_1 \quad (1)$$

红外通道2 (a_2 随有效半径变化):

$$\log(T_{top} - T_{b_2}) = a_2 \log(Z_{top}) + b_2 \quad (2)$$

式中 T_{b_1} , T_{b_2} 为卫星亮温, T_{top} 为 Ttop, Z_{top} 为 Ztop。 a_1 , a_2 , b_1 , b_2 分别为有效半径的函数。对方程进行联合求解, 得到云顶温度和 Ztop 的初步计算值。

为了提高反演精度, 在反演计算中改用实时探空资料参与反演计算。利用局地探空资料建立温度和高度之间的相关关系式, 即

$$T_{top} = a_3 Z_{top} + b_3 \quad (3)$$

$$\text{这里 } a_3 = \frac{n \sum Z_{top} T_{top} - \sum Z_{top} \sum T_{top}}{n \sum Z_{top}^2 - (\sum Z_{top})^2}, \quad b_3 = \overline{T_{top}} - k Z_{top}。$$

在反演计算中, 还使用相应站点的探空资料, 以改进 Ttop 和 Ztop 的反演精度。

3.2. hh 的反演

在改进 Ttop 和 Ztop 的同时, 由实时探空得到云的 0°C 层高度参数, 结合反演的 Ztop, 进而得到 hh。

3.3. 微观云特征参数反演方法

FY-2C/D 静止卫星的中红外通道 ($3.5\sim 4.0 \mu\text{m}$) 对于粒子大小具有较高的敏感性, 据此利用 FY-2C/D 静止卫星可见光、近红外和红外一通道三个通道数据联合反演得到 τ_e 和 Re 这两种参数。

3.3.1. 理论基础

当 τ_e 足够大, 并且反射辐射场为各向同性时, 云层的反射函数可以用渐近式表示。在守恒散射的情况下, 有

$$R(\tau_c, \mu, \mu_0, \varphi) = R_\infty(\mu, \mu_0, \varphi) - \frac{4(1-A_g)K(\mu)K(\mu_0)}{3(1-A_g)(1-g)(\tau_c + 2q_0) + 4A_g} \quad (4)$$

式中 $R_\infty(\mu, \mu_0, \varphi)$ 是半无限大气的反射函数, $K(\mu)$ 是逸出函数, q_0 是对于守恒散射的外推长度, g 为非对称因子, $q = (1-g)q_0$ 是还原外推长度。

对于非守恒散射的情况, 云顶的反射函数为

$$R(\tau_c, \mu, \mu_0, \varphi) = R_\infty(\mu, \mu_0, \varphi) - \frac{m \left[(1-A_g A) l - A_g m n^2 \right] K(\mu) K(\mu_0) e^{-2k\tau_c}}{(1-A_g A) (1-l^2 e^{-2k\tau_c} + A_g m n^2 l e^{-2k\tau_c})} \quad (5)$$

式中 k 是一个描述漫散射辐射衰减的指数, m 和 l 是依赖于单次散射反照率和不对称因子的常数, 这些函数和常数可以通过拟合方法决定。

3.3.2. τ_e 的反演

求解式(4)可得守恒散射情况下定义 τ_e 为

$$\tau_e = (1-g)\tau_c = \frac{4K(\mu)K(\mu_0)}{3[R_\infty(\mu, \mu_0, \varphi) - R(\tau_c, \mu, \mu_0, \varphi)]} - 2q' - \frac{4A_g}{3-(1-A_g)} \quad (6)$$

可以看出, 在非水汽吸收波段, 尺度化的光学厚度 τ 与 q' 、 A_g 、 $K(\mu)$ 以及测量辐射与大气辐射间的差相关。因此, 在 q' 、 A_g 、 $K(\mu)$ 以及 $R_\infty(\mu, \mu_0, \varphi)$ 可以近似确定的情况下, 能够建立尺度化的光学厚度 τ 与非吸收波段的反射函数测量值 $R(\tau_c, \mu, \mu_0, \varphi)$ 的对应关系。

3.3.3. R_e 的反演

云粒子有效半径 r_e 是一个光学物理量, 研究 R_e 对于云雾物理、大气物理过程的研究有重要意义。研究发现, 对于明显的暖云和冷云降水来说, 云滴的有效半径至少要达到 $12 \mu\text{m}$ 。

从式(5)可以看出, 在水汽吸收波段, 反射函数 $R(\tau_c, \mu, \mu_0, \varphi)$ 除了与 $R_\infty(\mu, \mu_0, \varphi)$ 、 A_g 、 $K(\mu)$ 、 τ_c 相关外, 还与 k 、 A 、 m 、 n 、 l 这5个常数相关, 这5个参数可综合利用相似性参数 s 表示, s 主要与 r_e 有关, 因此, 在 $R_\infty(\mu, \mu_0, \varphi)$ 、 A_g 、 $K(\mu)$ 、 τ_c 可近似确定的情况下, 同样能够建立有效粒子半径 r_e 与反射函数测量值 $R(\tau_c, \mu, \mu_0, \varphi)$ 的对应关系。

由式(4)可以看出, 对于非水汽吸收波段, 反射函数可由 $(\theta_0, \theta, \varphi)$ 3个角度, M 个光学厚度 τ_c 和 K 个地面反射率 A_g 来描述。由式(5)可以看出, 对于水汽吸收波段, 反射函数可由 $(\theta_0, \theta, \varphi)$ 3个角度, M 个光学厚度 τ_c , N 个有效粒子半径 r_e 和 K 个地面反射率 A_g 来描述。因辐射的计算量较大, 为实现静止卫星资料实时反演云的 τ_e 和 R_e , 需先期计算建立不同散射几何、不同云 τ_e 、不同 R_e 和不同地面反照率条件下, 非水汽吸收波段和水汽吸收波段的计算值数据库。在这里, 取FY-2C静止气象卫星上的可见光通道($0.65 \mu\text{m}$)为非水汽吸收波段, 红外4通道($3.7 \mu\text{m}$)为水汽吸收波段。形成了一个非常大的查算表, 在反演过程中, 根据实际情况和双通道的辐射值内插得到云的 τ_e 和 R_e [8]。

4. 分析与处理方法

4.1. 云参数和地面降水资料的分析处理

本研究考虑的云参数产品, 是空间分辨率为 5 km 的格点数据。在统计云参数与地面降水时, 空间上

以观测点经纬度为中心，取其周边最近的 9 个格点上相应的云参数的算术平均值，作为该点对应的云参数值；时间上取同一时次的卫星反演的云参数值，与其后一个时次的小时雨量观测值进行对比分析。

4.2. 降水分类方法

根据雨强 r 大小，分为：无降水、弱降水、一般降水和强降水四类。规定：无降水， r 为 0 mm/h；弱降水， $r < 1$ mm/h；一般降水， $1 \text{ mm/h} \leq r < 10 \text{ mm/h}$ ；强降水， $r \geq 10 \text{ mm/h}$ 。

4.3. 云特征参数分档

将各类云特征参数大小进行分档，并统计云参数在各档的出现频数。

4.4. 统计样本及降水概率

规定某时次、某站点对应的数据集为一个统计样本。降水概率定义为降水样本数在总样本中所占的比率。

5. 各类云参数的频数分布与降水的关系

利用 2014~2016 年 3~9 月 FY2C/D 卫星反演的湖南区域宏微观云特征参数，结合中小尺度雨量资料，进行云结构特征参量和降水的统计分析。该时段内共收集了 125 个降水样本，包括 40 个无降水样本和 85 个降水样本。

图 1 中分别给出了 Z_{top} 、 T_{top} 、 τ_e 和 Re 的频数分布情况。

为更好分析各类云参数与降水的关系，按照表 1 给出的云参数数值分档，对各档样本进行统计，然后用这一档里降水的样本除以这一档的总样本，计算得出各档云参数的降水概率，见表 2。

由图 1 可知，在统计时段内，无降水时的 Z_{top} 和 T_{top} 值在 5 个分档段的出现频数基本随 Z_{top} 增加和 T_{top} 降低，呈递减趋势。无降水样本数随云 τ_e 增大呈单调递减分布，数值大于 40 的样本较少。 Re 基本呈双峰型分布，峰值分别处于 0~10 μm 和 20~40 μm 范围档。

结合表 2 可知，降水时，各类云参数的分布有明显变化。降水概率随云 τ_e 值增加而增大， τ_e 值大于 30 时降水概率明显增加。云 Re 在 0~40 μm 之间分布较为均匀，降水概率随 Re 的增加总体上呈增加趋势，大于 40 μm 的样本数较少，但该档的降水概率较大。降水样本数和降水概率随 Z_{top} 增加和 T_{top} 降低，均呈增大趋势，在 Z_{top} 大于 5 km 和 T_{top} 小于 -30°C 时，降水概率出现较大增长。降水样本数随云 τ_e 增大呈单峰型分布，峰值在 10~30。

绝大部分降水样本的卫星反演 Z_{top} 大于 5 km， τ_e 大于 10。当卫星反演 Z_{top} 在 10~16 km 范围， τ_e 在 20~34 范围时，雨强大于 1 mm/h 的降水概率较大，约为 68%。

出现强降水时 ($r \geq 10 \text{ mm/h}$)，云 τ_e 均大于 20，卫星反演的 Z_{top} 均大于 10 km。对于弱降水或无降水， τ_e 在 15~35 之间，卫星反演的 Z_{top} 在 7~12 km 范围内。从观测到的弱降水来分析，卫星反演的 Z_{top} 小于 3 km 的低云也能产生。但是当云顶很高时，如果 τ_e 较小，则地面通常观测到弱降水，或者观测不到降水。

6. 对流云的云特征参数和降水的相关性分析

6.1. 对流云降水的云参数频数分布及其同降水的关系

在 125 个降水样本中挑出 96 个对流云降水样本，此过程分有降水 and 无降水两种。分析这两种情况下 FY2D 卫星反演的 Z_{top} 、 T_{top} 、云 τ_e 和 Re 的频数分布及其与降水的关系可以发现：

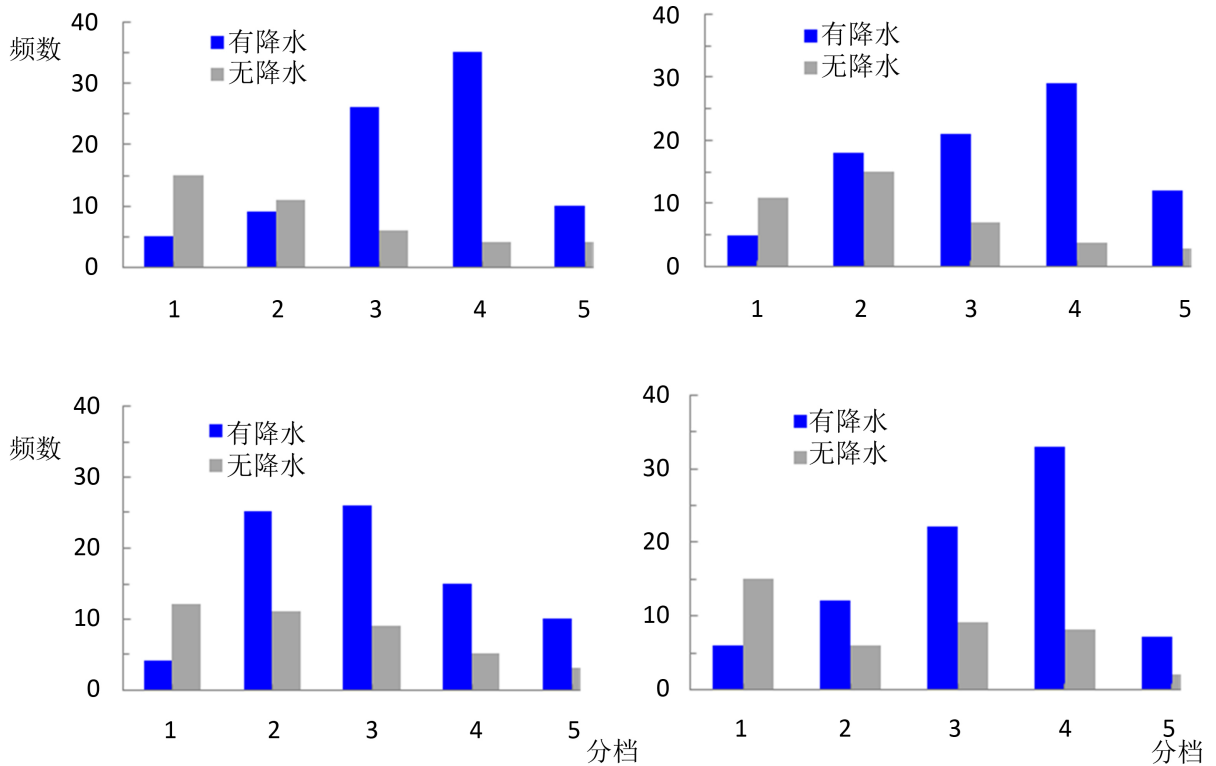


Figure 1. Frequency distribution of various types of cloud parameters (a. Ztop; b. Ttop; c. τ_e ; d. Re)
图 1. 样本中各类云参数的频数分布(a. 云顶高度; b. 云顶温度; c. 云光学厚度; d. 云粒子有效半径)

Table 1. The numerical classification of various FY2C cloud feature parameters
表 1. FY2C 卫星反演各类云特征参数数值分档规定

分档	顶高/km	顶温/ $^{\circ}\text{C}$	过冷层厚度/km	τ_e	Re/ μm
1	0~2.5	0 以上	0~2	0~10	0~10
2	2.5~5	-15~0	2~4	10~20	10~20
3	5~7.5	-30~-45	4~8	20~30	20~30
4	7.5~10	-45~-30	8~12	30~40	30~40
5	10 以上	-45 以下	12 以上	40 以上	40 以上

Table 2. Precipitation probability of cloud parameters
表 2. 云参数各档降水概率

	1 档	2 档	3 档	4 档	5 档
Ztop	4	10	15	20	25
Ttop	5	6	12	23	28
τ_e	4	8	12	25	30
Re	4	10	7	12	25

无降水时，云顶低于 3 km 和高于 9 km 的样本数最多；样本数随 Ttop 降低，峰值位于 -5°C ~ -10°C 范围内；样本数随云 τ_e 和 Re 值增大呈减小趋势。有降水时，云体上升非常明显，云顶普遍高于 7 km。

表 3 统计各类云参数不同档的降水概率，对流云降水随着 Ztop 和 τ_e 的增大，降水概率递增；若云

顶低于 3 km, τ_e 小于 10, 地面一般无降水; 云顶高于 7 km 和 τ_e 大于 25 时, 降水概率值均跃增。Ttop 低于 -10°C 的冰相降水过程产生降水的概率较大; 当云粒子超过 12 μm 时, 降水概率明显增大, 当粒子增长至 25~35 μm 时, 降水概率达到最大值(66%), 云粒子大于 35 μm 时, 降水概率反而降低。

6.2. 对流云云参数频数分布特征及其同雨强的关系

取地面观测到降水时的个例, 分析对流云的云参数频数分布特征及其与雨强的关系, 见下图 2。对流云降水时, 各种雨强降水样本都随 Ztop 增高而增多, 云顶高于 7 km 的降水明显增多。对流 τ_e 小于 12 的样本很少。对流云不同降水强度频数随 τ_e 增大一般有单峰型分布的特征, 峰值都处于 25~35 范围档。

6.3. 对流云 Ztop 和 τ_e 同降水的关系

将卫星反演的 Ztop 和 τ_e 结合, 分析对流云的降水概率分布, 结果显示 Ztop 和 τ_e 的相关性较好, 通常云顶越高, τ_e 越大。无降水的相关系数可达 0.78; 有降水的相关系数为 0.48, 比无降水时明显偏小,

Table 3. The precipitation probability of convective cloud of different grading parameters
表 3. 对流云的各类云参数不同分档的降水概率

	1档	2档	3档	4档	5档
Ztop	1	5	10	45	52
Ttop	2	3	30	60	50
τ_e	1	23	60	80	-
Re	5	50	65	30	22

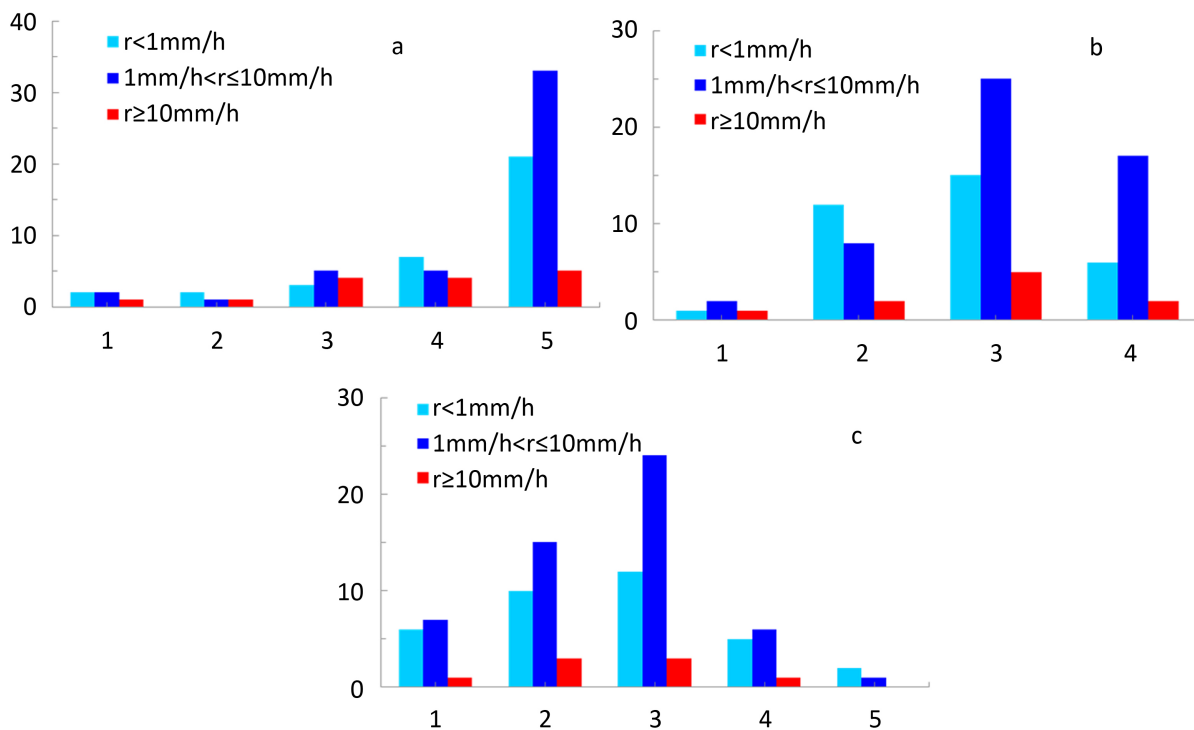


Figure 2. The precipitation intensity distribution of convective precipitation in different cloud parameters file
图 2. 对流云降水时不同云参数分档的降水强度分布

说明对流云降水时, 云体中不同相态的水分布极不均匀。对流云的云顶发展得很高, 但 τ_e 最大只到 42, 未达到最高值。无降水时, τ_e 大多数小于 28, 没有明显的分界线。有降水时, τ_e 大多数大于 16; Z_{top} 普遍大于 7 km, 且降水强度类型多样, 该区域的降水概率约为 65%; 从物理机制上分析, 更大的 Z_{top} 和 τ_e 值更可能降水, 但很少观测到。其余区域的降水概率仅为 6%。总的来说, 发生降水时, 对流云的 τ_e 大多集中于 16~28 之间, 云顶大多高于 7 km, 且降水强度类型多样。 Re 与降水的对应关系不如 τ_e 和 Z_{top} 显著。

7. 结论与讨论

针对湖南地区云的综合观测资料, 统计分析不同云结构特征参数与降水的关系, 主要得出以下结论:

1) 降水概率随云光学厚度值增加而增大, 光学厚度值大于 30 时降水概率明显增加。云粒子有效半径在 0~40 μm 之间分布较为均匀, 降水概率随粒子有效半径的增加总体上呈增加趋势, 大于 40 μm 的样本数较少, 但该档的降水概率较大。

2) 无降水时, 云顶低于 3 km 和高于 10 km 的样本数最多; 样本数随 T_{top} 降低呈单峰型分布, 峰值位于 -5°C ~ -10°C 范围内; 样本数随云光学厚度和粒子有效半径值增大呈减小趋势。有降水时, 云顶抬升非常明显, 云顶普遍高于 7 km, 且云顶高于 10 km 的样本数最多。

3) 对流云降水时, 各种雨强降水样本都随 Z_{top} 增高而增多, 云顶高于 7 km 的降水明显增多。对流光学厚度小于 10 的样本很少, 且随光学厚度值增大。

4) Z_{top} 和光学厚度的相关性较好, 通常云顶越高, 云光学厚度越大。无降水时, 二者的相关系数可达 0.78; 有降水时, 二者的相关系数为 0.48, 比无降水时明显偏小。总的来说, 发生降水时, 对流云的光学厚度大多集中于 16~28 之间, 云顶大多高于 7 km, 且降水强度类型多样。粒子有效半径与降水的对应关系不如光学厚度和 Z_{top} 显著。

基金项目

湖南省气象局科研课题《湖南省云特征参数与降水相关性研究》和《湖南春季防雹作业条件诊断分析》共同资助。

参考文献 (References)

- [1] 王晨曦, 郁凡, 张成伟. 基于 MTSAT 多光谱卫星图像监测全天时我国华东地区的梅雨期降水[J]. 南京大学学报: 自然科学, 2010, 46(3): 305-316.
- [2] 郑媛媛, 傅云飞, 刘勇, 等. 热带测雨卫星对淮河一次暴雨降水结构与闪电活动的研究[J]. 气象学报, 2004, 62(6): 790-802.
- [3] 周毓荃, 欧建军. 利用探空数据分析云垂直结构的方法及其应用研究[J]. 气象, 2010, 36(11): 50-58.
- [4] 刘健, 张文健, 朱元竟, 等. 中尺度强暴雨云团云特征的多种卫星资料综合分析[J]. 应用气象学报, 2007, 18(2): 158-164.
- [5] 张杰, 张强, 田文寿, 等. 祁连山区云光学特征的遥感反演与云水资源的分布特征分析[J]. 冰川冻土, 2006, 28(5): 722-727.
- [6] Rosenfeld, D. and Gutman, G. (1994) Retrieving Microphysical Properties near the Tops of Potential Rain Clouds by Multispectral Analysis of AVHRR Data. *Atmospheric Research*, **34**, 259-283.
- [7] 盛日锋, 龚佃利, 王庆, 等. FY2/D 卫星反演的云特征参数与地面降水的相关分析[J]. 气象科技, 2010, 38(S1): 68-72.
- [8] 刘贵华, 余兴, 岳治国, 等. 卫星遥感人工增雨作业条件 II: 层状云[J]. 气候与环境研究, 2012, 17(6): 758-766.
- [9] 彭亮, 姚展予, 戴进, 等. 河南春季一次云降水过程的宏微观物理特征分析[J]. 气象, 2007, 33(5): 3-11.
- [10] 傅云飞. 利用卫星双光谱反射率算法反演的云参数及其应用[J]. 气象学报, 2014, 72(5): 1039-1053.

-
- [11] 周毓荃, 陈英英, 李娟, 等. 用 FY-2C/D 卫星等综合观测资料反演云物理特性产品及检验[J]. 气象, 2008, 34(12): 27-35.
- [12] 陈英英, 周毓荃, 毛节奏, 等. 利用 FY-2C 静止卫星资料反演云粒子有效半径的试验研究[J]. 气象, 2007, 33(4): 29-34.
- [13] 陈英英, 唐仁茂, 周毓荃, 等. FY-2C/D 卫星微物理特征参数产品在地面降水分析中的应用[J]. 气象, 2009, 35(2): 15-18.
- [14] 蔡淼, 周毓荃, 朱彬. FY2C/D 卫星反演云特征参数与地面雨滴谱降水观测初步分析[J]. 气象与环境科学, 2010, 33(1): 1-6.
- [15] 蔡淼, 周毓荃, 朱彬. 一次对流云团合并的卫星等综合观测分析[J]. 大气科学学报, 2011, 34(2): 170-179.
- [16] 廖向花, 周毓荃, 唐余学. 重庆一次超级单体风暴的综合分析[J]. 高原气象, 2010, 29(6): 1557-1565.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: crl@hanspub.org