

安徽夏季中 γ 尺度对流云的雷达回波特征

蒋年冲¹ 刘娟² 胡雯³ 卢海² 宋子忠²

(1. 安徽省人工影响天气办公室, 合肥 230061;
2. 安徽省阜阳市气象台; 3. 安徽省气象局)

提 要: 探讨夏季不同类型降水系统中对流性降水云的结构、降水形成机制, 旨在为人工影响天气提供技术途径。利用合肥新一代天气雷达(CINRAD) 监测到的 13933 个中 γ 尺度对流云体, 按 5 种天气类型对其生命史、基本反射率、回波顶高、回波厚度、垂直累积液态水含量进行了统计分析。结果表明: 在 5 种天气系统中, 对流云生命史在 1 小时以内的占统计总数的 90%~95%; 对流单体云的厚度一般都有 2~5km, 最大厚度也有超过 10km 的。副高外围及副高控制时, 对流云单体的云顶高度 70% 以上都超过了 0℃ 层; 在华北低槽、沿海低槽、南支槽影响时, 云顶高度大部分出现在 0℃ 层以下或 0℃ 层附近。这为指挥人工增雨作业提供了很好的指标。

关键词: 雷达回波 中- γ 尺度 对流云

Summer Meso- γ Scale Convective Cloud's Radar Echo Characteristics in Anhui

Jiang Nianchong¹ Liu Juan² Hu Wen³ Lu Hai² Song Zizhong²

(1. Weather Modification Office of Anhui Province, Hefei 230061;
2. Fuyang Meteorological Observatory, Anhui Province; 3. Anhui Institute of Meteorology)

Abstract: For the sake of providing technical methods for precipitation modification, the structure and precipitation formation mechanism of precipitating convection clouds of different types in summer are investigated. Based on 13933 meso- γ scale convection clouds observed by New Generation Weather Radar (CINRAD) in Hefei, the life time, primary reflection rate, echo top height, echo thickness and vertical integrated liquid water are statistically analyzed according to 5 kinds of synoptic systems. The results about the 5 kinds of synoptic systems declared that the life time of convection clouds less than 1 hour accounted for a major percentage of 90% - 95% of the total

本文由中国气象局气象新技术推广项目《基于新一代天气雷达的省级人影业务系统》(编号:CMATG2005M34)和中国气象局多轨道业务建设《安徽省人影作业效果检验业务建设》项目共同资助

收稿日期: 2007 年 6 月 12 日; 修定稿日期: 2007 年 8 月 10 日

sample, and the thickness of convective cell clouds are often 2—5km with maximum over 10km. Under controlling of subtropical high and its outer circle, the height of cloud top of 75% convective cells exceeded 0℃ layer. But under the influence of low troughs and southern branch trough, the height of most cloud top is below or near 0℃ layer. Top heights of convection cloud cells are mainly near or below 0℃ level when they are affected by the low trough of North China, the low trough along coast and the south branch trough. These results are helpful for the operation of artificial enhancement of rain.

Key Words: radar echo meso- γ scale convection cloud

引 言

对流云降水是南方主要降水云系。我国南方大部分地区人工增雨的作业对象主要是以对流云为主。对流云人工增雨是缓解安徽干旱和水资源短缺的重要途径。夏季不同的天气系统对安徽影响有诸多不同。研究表明:华北低槽型平均云量和降水量最多,对大别山和江南影响显著;沿海低槽出现次数最多,平均云量和降水量自北向南增多;副高控制平均云量和降水量最少,主要出现在安徽的西部和北部;副高外围出现次数最少,平均云量和降水量南少北多;南支低槽平均云量和降水量较多,对淮河以南影响显著^[1]。2001 年陈秋萍^[2]等利用“713”雷达对夏季对流云回波特征、生命史进行初步探讨,取得一些有意义的结果。2004 年蒋年冲^[3]等利用安徽合肥市、福建建阳市和龙岩市三部新一代天气雷达对 2000 年、2001 年和 2002 年 6—9 月夏季对流云进行系统的观测,通过对观测资料的统计分析得出不同类型夏季南方对流云生命史、尺度、强度、液态水总量等特征并给出了不同阶段、不同高度层辐合辐散特点。

由于新一代天气雷达(CINRAD)为夏季对流云特征研究提供了很好的探测手段。许多研究者根据多普勒天气雷达观测资料分析了冰雹、暴雨等强对流的雷达回波特征,初步

掌握了降水分布情况以及降水性质、移动、强度演变情况^[4-5]。作者的工作是利用新一代天气雷达的风暴结构产品(62# 产品)对安徽不同天气系统下对流云的中 γ 尺度结构进行一些分析和研究。通过统计分析夏季对流云基本特征,为进一步探讨夏季对流性降水云的降水形成机制、结构以及人工增雨作业提供一些参考指标。

1 资料来源

主要使用合肥新一代天气雷达的风暴结构产品(62# 产品)进行统计。该产品能给出风暴单体的多个属性。如:风暴编号,可用来标识每一个风暴单体,以便区别和追踪;方位/距离,能指出风暴单体相对于雷达的位置,即风暴质心的位置;云底高度,风暴最低二维分量的高度,即是云体下部至少 30dBz 所在高度;云顶高度,风暴最高二维分量的高度,也就是云体上部至少 30dBz 所在高度;基于单体的垂直累积液态含水量;雷达反射率因子最大值(对同一体积扫描中某个云体的所有高度取最大);雷达反射率因子最大值所在高度等。所有这些都为分析对流云中 γ 尺度结构特征提供了便利。

2 统计方法

主要分为 3 个步骤:第一步建立基本数

数据库,用来存放每个体扫的对流单体属性值,也就是 62 号产品的数据;第二步根据基本数据库中的风暴编号和体扫时间确定风暴单体,也就是在风暴单体所经历的若干个体扫中选出具有代表性的属性值,作为该风暴单体的属性;第三步是按照 5 种不同的天气系统分类进行统计。

3 夏季对流云特征统计结果

积云降水通常具有比较密实的结构,反射率因子空间梯度较大,其强中心的反射率因子通常在 35dBz 以上。因此,所研究夏季对流云的各种特征都是针对不小于 30dBz 的

对流云而言的。

3.1 对流云生命史特征

这里的对流云生命史,是指基本反射率不小于 30dBz 的对流云生命史。因为雷达自动识别对流单体的最小阈值是 30dBz,且考虑到安徽夏季当雷达回波小于 30dBz 时一般不进行增雨作业,因此文中所讨论的对流云生命史及其它特征均是指回波强度不小于 30dBz 的对流云。表 1 给出了不同天气系统下对流云生命史的基本特征。

从表 1 可以看出:在 5 种天气系统中,对流云生命史在 1 小时之内的占统计总数的 90%~95%,为绝大多数;生命史在 1~1.5

表 1 对流云生命史统计

生命史	副高外围		华北低槽		沿海低槽		副高控制		南支槽	
	样本数	百分比	样本数	百分比	样本数	百分比	样本数	百分比	样本数	百分比
总样本	7009		3448		1561		1387		528	
6 分	3547	51	1519	44	742	48	536	39	264	50
7~17 分	1210	17	549	16	298	19	194	14	97	18
18~60 分	1794	28	1189	34	451	29	519	37	144	27
61~90 分	219	3	157	5	51	3	113	8	21	4
91~120 分	59	1	34	1	19	1	25	2	2	1

小时的占统计总数的 3%~8%;生命史在 1.5~2 小时的占统计总数的 1%~2%,为数不多。从单体总数可知,副高外围天气型出现的对流单体数最多,华北低槽次之,南支槽型对流最弱。

3.2 对流云性质特征

分清对流云的性质对选择人工增雨作业工

具和指挥人工增雨作业十分有用。表 2 给出了不同天气系统下雷达回波强度 $\geq 30\text{dBz}$ 的对流云初始云顶出现的平均高度及其所占总体样本数的比例和安徽不同天气系统下的 0℃层平均高度。并且定义:当对流云 30dBz 回波出现时,其云顶高度即视为初始云顶高度,若其出现在 0℃层以下则为暖云,若在 0℃层附近及 0℃层以上则为混合云或冷云。

表 2 冷暖层 30dBz 对流云初始云顶平均高度及 0℃层高度统计表

	副高外围	华北低槽	沿海低槽	副高控制	南支槽
样本总数	7009	3448	1561	1387	528
暖层平均高度/km	4.5	3.5	4.2	4.4	3.8
0℃层以下占百分比/%	6.0	5.5	7.9	19.0	17.0
0℃层平均高度/km	5.4	4.5	4.9	5.3	4.8
0℃层附近占百分比/%	54.8	29.6	32.2	16.7	28.0
冷层平均高度/km	6.3	5.6	6.1	7.7	5.9
0℃层以上占百分比/%	39.2	64.9	59.9	64.3	55.0

从表 2 可以看出:安徽夏季对流云 80% 以上是混合云或冷云。在副高外围及副高控制天气系统下,0℃层都大于 5km,比较适合高炮、火箭增雨作业;在华北低槽、沿海低槽、南支槽天气系统影响时,0℃层都在 5km 以

下,比较适合飞机增雨作业。

3.3 对流云单体最大雷达回波反射率特征

对于不同天气系统影响下的对流单体最大雷达反射率因子的统计特征列于表 3。

表 3 对流云最大雷达回波反射率因子统计表

反射率因子/dBz	副高外围		华北低槽		沿海低槽		副高控制		南支槽	
	样本数	百分比	样本数	百分比	样本数	百分比	样本数	百分比	样本数	百分比
总样本	7009		3448		1561		1387		528	
30~35	380	5	608	18	121	8	40	3	32	25
35~40	1791	26	1173	34	478	30.6	121	8.7	244	46
40~45	2760	39	814	24	598	38	209	15	136	26
45~50	1688	24	491	14	292	19	371	26.7	17	3
50~55	325	5	226	6	64	4	393	28.3		
55~60	62	0.9	117	3	6	0.3	199	14.3		
>60	3	0.1	19	1	2	0.1	54	4		
极大值	69		65		66		72		51	

从表 3 中可以看出:在副高控制下,对流单体最大雷达反射率因子 70% 以上的可达到 45~60dBz,极大值为 72dBz;副高外围、沿海低槽对流单体最大雷达反射率因子 80% 以上的可达到 35~50dBz,极大值分别为 69、66dBz;华北低槽的对流单体最大雷达反射率因子则集中出现在 30~50dBz,极大值可达 65dBz;南支槽对流单体最弱,其最大雷达反射率因子绝大多数出现在 45dBz 以下,极

大值仅达到 51dBz。

3.4 夏季不同天气系统对流云单体的云顶高度特征

降水云的回波顶高,表示降水发生的高度,它能反映降水过程发展的情况,并可用来判断降水的性质。现将安徽夏季不同天气系统影响下的对流单体云顶高度统计特征列于表 4。

表 4 对流云云顶高度 h 统计

h/km	副高外围		华北低槽		沿海低槽		副高控制		南支槽	
	样本数	百分比	样本数	百分比	样本数	百分比	样本数	百分比	样本数	百分比
总样本	7009		3448		1561		1387		528	
$h \leq 3$	132	1.9	190	5.5	58	3.7	47	3.4	32	6.1
$3 < h \leq 5$	1989	28.4	1020	29.6	568	36.4	216	15.6	206	39
$5 < h \leq 6$	2139	30.5	909	26.4	485	31.1	231	16.6	142	26.9
$6 < h \leq 8$	2421	34.5	945	27.4	394	25.2	454	32.7	143	27
$8 < h \leq 10$	264	3.8	237	6.9	51	3.3	217	15.6	5	1
$10 < h \leq 12$	49	0.7	90	2.6	5	0.3	105	7.6		
$12 < h \leq 15$	15	0.2	46	1.3			76	5.5		
$h > 15$			11	0.3			41	3		

从表 4 可以看出:在副高控制下和副高外围,对流云单体的云顶高度 70% 以上都超

过了 0℃层,特别在副高控制下,有 3% 的云顶高度超过了 15km。而其他 3 种天气系统

的云顶高度大部分是出现在 0°C 层以下或 0°C 层附近。由此可见,在副高控制下和副高外围,真正产生有效降水的是混合云或冷云,而暖性对流云能产生降水的并不多。从华北低槽的对流云云顶高度统计来看,最容易产生降水的云顶高度为 $5\sim 8\text{km}$ 。

3.5 夏季不同天气系统对流云单体的厚度特征

对流云的云体厚度是指人工增雨作业的一项重要指标。为此,统计了 5 种天气系统影响下对流云单体的云体厚度特征(表 5)。

表 5 对流云云体 $\geq 30\text{dBz}$ 厚度统计

反射率因子 $\geq 30\text{dBz}$ 厚度	副高外围		华北低槽		沿海低槽		副高控制		南支槽	
	样本数	百分比	样本数	百分比	样本数	百分比	样本数	百分比	样本数	百分比
总样本	7009		3448		1561		1387		528	
$\leq 2\text{km}$	871	12.4	700	20.3	276	17.7	112	8.1	110	20.8
$2\sim 3\text{km}$	1708	24.4	1123	32.6	594	38.1	275	19.8	202	38.3
$3\sim 4\text{km}$	2509	35.8	908	26.4	521	33.4	411	29.6	174	32.9
$4\sim 5\text{km}$	1354	19.3	377	10.9	155	9.9	134	9.7	42	8
$5\sim 6\text{km}$	371	5.3	95	2.8	5	0.3	119	8.6		
$6\sim 7\text{km}$	142	2	101	2.9	5	0.3	83	6		
$7\sim 8\text{km}$	35	0.5	53	1.5	5	0.3	73	5.3		
$8\sim 10\text{km}$	10	0.2	46	1.3			77	5.6		
$> 10\text{km}$	9	0.1	45	1.3			103	7.3		

从表 5 可以看出:在副高外围,对流单体云的厚度主要在 2km 以上, 6km 以下;大于 6km 的约占了 3% ;华北低槽对流单体云的厚度主要在 5km 以下, $5\sim 10\text{km}$ 厚度云体个数占其总数的 8.5% ,大于 10km 厚度云体个数仅占其总数的 1.3% ;沿海低槽对流单体云的厚度主要在 5km 以下,最厚不超过 8km ;在副高控制下,对流单体云的厚度小于 2km 的仅占 8.1% ,而 $2\sim 5\text{km}$ 的占了 59.1% ,大于 10km 则占了 7.3% ;南支槽对

流单体云的厚度 92% 小于 4km ,最大厚度不超过 5km 。

3.6 不同天气系统对流云单体的垂直积分液态水含量特征

用来判断对流强度的一个十分有用的参数是垂直累积液态水含量 VIL 。对于不同的天气系统、不同的季节和地区, VIL 值的大小有较大的不同。表 6 给出了影响安徽夏季降水主要天气系统对流单体云的 VIL 特征。

表 6 对流云云体垂直积分液态水含量(VIL)最大值统计

$VIL/\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$	副高外围		华北低槽		沿海低槽		副高控制		南支槽	
	样本数	百分比	样本数	百分比	样本数	百分比	样本数	百分比	样本数	百分比
总样本	7009		3448		1561		1387		528	
$1\sim 5$	5108	72.9	2571	74.6	276	17.7	112	8.1	110	20.8
$6\sim 10$	1432	20.4	463	13.4	594	38.1	275	19.8	202	38.3
$11\sim 15$	338	4.8	185	5.3	521	33.4	411	29.6	174	32.9
$16\sim 20$	94	1.4	88	2.6	155	9.9	134	9.7	42	8
$21\sim 25$	23	0.3	24	0.7	5	0.3	119	8.6		
$26\sim 30$	9	0.1	21	0.6	5	0.3	83	6		
$31\sim 40$	5	0.1	48	1.4	5	0.3	73	5.3		
$41\sim 50$			35	1			77	5.6		
$51\sim 60$			13	0.4			103	7.3		

从表 6 可以看出:在副高外围,对流单体云的垂直积分液态水含量最大值 99.6% 出现在 $1\sim 20\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$,其中出现在 $1\sim 5\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 的占样本总数的 72.9%;华北低槽对流单体云的垂直积分液态水含量虽然最大值在 $1\sim 60\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 范围都能出现,但出现最多的是 $1\sim 5\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$,它占样本总数的 74.6%;沿海低槽对流单体云的垂直积分液态水含量最大值集中出现在 $6\sim 20\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$,占样本总数的 71.5%;在副高控制下,对流单体云的垂直积分液态水含量最大值在 $1\sim 60\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 都出现,其中出现在 $50\sim 60\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 的占样本总数的 7.3%;南支槽对流单体云的垂直积分液态水含量最大值 92% 出现在 $1\sim 15\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$,其最大不超过 $20\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

4 小 结

(1) 在 5 种天气系统中,对流云生命史在 1 小时之内的占统计总数的 90%~95%,为绝大多数;生命史在 1.5~2 小时的占统计总数的 1%~2%,为数不多。从单体总数来看,副高外围天气型出现的对流单体数最多,华北低槽次之,南支槽型对流最弱。

(2) 安徽夏季对流云在副高外围及副高控制天气系统下,比较适合高炮、火箭增雨作业;在华北低槽、沿海低槽、南支槽天气系统影响时,比较适合飞机增雨作业。

(3) 从对流单体最大雷达反射率因子来看:在副高控制下,70% 以上可达到 45~60dBz,极大值为 72dBz;副高外围、沿海低槽 80% 以上可达到 35~50dBz;华北低槽则集中出现在 30~50dBz,最大可达 65dBz;南支

槽对流最弱,其绝大多数出现在 45dBz 以下,最大仅达到 51dBz。

(4) 对流云单体的云顶高度,在副高控制下和副高外围,70% 以上都超过了 0℃ 层,尤其在副高控制下,有 3% 的云顶高度超过了 15km。而其他 3 种天气系统的云顶高度大部分是出现在 0℃ 层以下或 0℃ 层附近。对流单体云的厚度一般都有 2~5km,最大厚度也有超过 10km 的。

(5) 副高外围、华北低槽对流单体云的垂直积分液态水含量最大值绝大多数出现在 $1\sim 20\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$,其中出现在 $1\sim 5\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 样本分别占样本总数的 72.9%、74.6%;沿海低槽对流单体云的垂直积分液态水含量最大值集中出现在 $6\sim 20\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$,占样本总数的 71.5%;在副高控制下,对流单体云的垂直积分液态水含量最大值在 $1\sim 60\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 都出现,其中出现在 $50\sim 60\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 占样本总数的 7.3%;南支槽对流单体云的垂直积分液态水含量最大值不超过 $20\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

参考文献

- [1] 吴有训,胡雯,袁野,等. 安徽夏季云系与东亚环流空间结构[J]. 现代农业科技,2006, 34(10): 2224-2227.
- [2] 陈秋萍,曾光平,隋平,等. 利用雷达回波资料对夏季对流云降水的初步探讨[J]. 应用气象学报,2002, 12(3): 339-346.
- [3] 蒋年冲,陈秋萍,陆大春,等. 利用 CINRAD 资料分析南方夏季对流性降水云的基本特征[J]. 应用气象学报,2005, 16(2): 264-266.
- [4] 郭燕,殷冬梅,刘冬梅. 江西“4.12”降雹过程多普勒雷达资料分析[J]. 气象,2005, 31(11): 47-51.
- [5] 周雨华,黄小玉,黎祖贤. 副高边缘暴雨的多普勒雷达特征[J]. 气象,2006, 32(1): 12-16.