

陕西关中层状云降雨雷达回波特征^①

李金辉^{1,2} 陈保国³ 罗俊颖³

(1. 兰州大学资源环境学院, 730000; 2. 陕西省宝鸡市人工影响天气领导小组办公室;
3. 陕西省人工影响天气领导小组办公室)

提 要

利用探空和雷达回波资料对层状云降雨进行了分类。对稳定性层状云和混合性层状云的各种参数进行了统计分析,得出的结论为降雨量的估算及高炮、火箭、飞机人工增雨作业提供了科学依据。

关键词: 层状云 雷达回波 人工增雨

引 言

我国北方气候干旱,自 20 世纪 90 年代以来,各地陆续开展了以高炮、火箭、飞机等工具为主的人工增雨作业,作业对象主要为层状云,而层状云降雨,量级差别较大,云层结构复杂。另外利用雷达回波对层状云降雨量的估算虽然有多种方法,但由于误差较大,在业务中难于运行,因此有必要对层状云降雨雷达回波进行更为细致的分类,并对各类雷达回波分析,为降雨量的估算及指挥飞机、地面高炮、火箭增雨作业提供科学依据^[1]。资料是利用 1997~2002 年 6 年 113 天,239 个个例的 711 雷达层状云降雨回波资料,结合探空进行了云层的分类、统计,将层状云降雨雷达回波分为冷云 4 天 7 例,暖云 16 天 23 例,稳定性层状云 37 天 84 例,混合性层状云 56 天 136 例,见表 1。其中渭南 18 天 20 例,宝鸡雷达资料 95 天 219 例,占整个资料的 84%,所有雷达资料的高度均换算为海拔高度。

1 层状云降雨雷达回波分类及相互之间的关系

层状云降雨雷达回波,按云内的温度(以探空站的零度层高度为标准)分为冷云、暖

表 1 1997~2002 年稳定性层状云和混合性层状云在各月的分布

月份	稳定性层状云个例 (天/个)	混合性层状云个例 (天/个)
3	1/5	2/2
4	7/13	8/18
5	8/18	10/18
6	7/12	11/27
7	1/2	7/17
8	4/7	12/36
9	9/27	5/18
合计	37/84	56/136

云、有融化层的层状云降雨回波^[2~4],冷云在冬季及初春容易出现。暖云在 4~9 月份易出现,有融化层的层状云降雨根据雷达回波中有无对流及融化层上下有无强回波区又分为稳定性层状云降雨和混合性层状云降雨。暖云可以发展形成稳定性层状云降雨,降雨量量级较小,一般为小到中雨;也可发展形成混合性层状云降雨,降雨量量级较大;混合性层状云降雨随着降雨时间的延长可以转化为稳定性层状云降雨。

冷云、暖云降雨量量级较小,24h 降雨量不大于 6.0mm,不作为人工增雨的研究对象,下面主要对有融化层的稳定性层状云和混合性层状云做了分析。

① 获国家科技部“西部开发科技行动”重大攻关项目(2001BA901A41)资助

2 适合人工增雨稳定性层状云雷达回波特征

稳定性层状云降雨3~10月均可出现,4~6月和9月出现较多,7月份出现个例最少,一天(两例),此类云层的雷达回波特征:PPI强回波区在近距离处,分布均匀,抬高仰角可观测到圆型亮带;RHI显示融化层明显,融化层回波强度较强,有时可水平延伸到40km远,融化层上、下均无强回波区,云层高度一般在5.8km以上。降雨稳定、均匀,日降雨量 $R \leq 15\text{mm}$,适合人工增雨作业。

以下分为春季(3、4、5月)、夏季(6、7、8月)、秋季(9月)来讨论(表2)。

由表2可以看出:

表2 稳定性层状云雷达回波各种参数统计

月份	春季		夏季		秋季	
	平均	变化范围	平均	变化范围	平均	变化范围
回波最大强度/dBz	45.56	30~60	46.05	30~65	49.63	25~70
PPI最大距离/km	49.22	25~70	52.63	25~80	49.28	25~110
云顶高度/km	6.97	3.0~9.13	8.84	6.63~11.13	7.31	5.63~10.63
冷云厚度/km	4.21	1.8~6.7	4.27	2.0~6.5	3.64	2.5~6.6
暖云厚度/km	2.14	1.0~3.6	3.93	3.0~4.8	3.06	2.4~4.2
零度层高度/km	2.77	1.63~4.23	4.56	3.63~5.43	3.66	3.13~4.83
冷云/暖云	2.20		1.12		1.19	

(1)回波强度:利用711雷达探测稳定性层状云降雨,回波最大强度变化范围为25~70dBz之间,回波最大平均强度出现在秋季为49.63dBz,春季最小为45.56dBz;回波最大强度之间的差距春季最小,相差30dBz,秋季最大,在25~70dBz之间,相差45dBz。

(2)PPI最大距离:雷达观测稳定性层状云的距离在25~110km之间(半径),平均最远距离为49.22~52.63km之间,雷达架设海拔高度越高,探测距离越远,雷达在宝鸡(海拔高度为630m)观测的云层最远距离(半径)为73km,在延安(海拔高度为1170m),最大可探测到110km。

(3)云顶高度:雷达探测到云顶高度变化范围为3.0~11.13km之间,平均高度变化范围为6.97~8.84km,夏季平均云顶高度为8.84km,较其它季节偏高,春季平均云顶高

度较低;云顶高度高低夏季相差最小,为4.5km,春季云顶高度变化较大,最低与最高之间相差6.13km。

(4)冷云厚度:冷云厚度变化范围为1.8~6.7km之间,平均厚度为3.64~4.27km,秋季平均冷云厚度最薄为3.64km;春、夏季平均冷云厚度相差不大,春季冷云厚度差异较大,最大与最小厚度相差4.9km。

(5)0℃层高度:0℃层高度变化范围为1.63~5.43km,春季0℃层平均高度最低为2.77km,夏季平均0℃层高度最高,为4.56km;0℃层高度最低出现在4月为1.63km,最高出现在8月为5.43km;春季0℃层高度变化范围较宽,在2.6km之间,秋季0℃层高度变化范围较窄,在1.7km之间。

(6)暖云厚度:暖云厚度变化范围为1.0~4.8km,平均厚度在2.14~3.93km之间,夏季平均暖云较厚,为3.93km,春季平均暖云厚度较薄为2.14km;最小厚度出现在4月,为1.0km,最大厚度出现在8月为4.8km,暖云厚度春季差异最大为2.6km。

(7)冷云与暖云之比:平均冷云厚度均大于暖云厚度,春季冷云厚度大于暖云厚度两倍以上,适宜飞机增雨作业。

3 混合性层状云雷达回波特征

混合性层状云降雨是最常见的雷达回波,占层状云降雨的50%,多发生在春季后期和夏季,降雨量量级较大,日降雨量一般在15mm以上,在PPI上有明显的强回波区域,在RHI上融化层明显且位置偏高,由于受近地面风切变的影响,云层融化层以下下挂回波明显倾斜或呈规律性锯齿型排列,有时可形成暴雨,适合人工增雨作业。

由表3可以看出:

(1)回波强度:混合性层状云雷达回波强度在20~70dBz之间,平均回波强度在35~58dBz之间,3月份平均回波强度较弱为35dBz,9月份平均回波强度较强为58dBz,7~9月回波强度大于3~6月;回波强度最大与最小之间4~8月差异较小,在25~30dBz之间,9月份回波强度差异较大,变化范围相

差 50dBz。

(2)探测距离:混合性层状云 711 雷达观测的最远距离为 100km(半径),探测到的最小距离为 20km,平均距离为 40~58.88km,雷达回波衰减 15dBz 后可以探测平均距离为 31.88~41.17km。

(3)云顶高度变化:混合性层状云云顶高度变化趋势明显,云顶高度变化范围为 4.37~11.37km,平均高度 3 月份最低,为 6.77km,然后平均云顶高度逐渐升高,7 月份最高,达 9.43km,随后平均云顶高度逐渐降低;云顶最大高度与最小高度 3、9 月份相差较小为 1.2km 和 2.5km,7 月相差较大,在

5.63~11.37km 之间,相差 5.74km;云顶高度最高出现在 7 月为 11.37km,最低出现在 4 月为 4.37km。

(4)0℃层高度变化趋势明显:0℃层平均高度变化范围为 2.17~5.47km 之间,由 3 月份开始 0℃层平均高度逐渐抬高,7 月份最高达 4.84km,随后平均 0℃层高度降低;0℃层高度最低为 2.17km,出现在 4 月,0℃层高度最高为 5.47km,出现在 7 月;0℃层高度 3、8 月变化区间较小,高度相差为 0.9、0.58,9 月份 0℃层高度相差最大,变化区间在 2.73~4.83km 之间,相差 2.1km。

表 3 混合性层状云雷达回波各种参数统计

月份	3月		4月		5月		6月		7月		8月		9月	
	平均	变化范围	平均	变化范围	平均	变化范围	平均	变化范围	平均	变化范围	平均	变化范围	平均	变化范围
回波最大强度/dBz	35.00	35	44.72	25~55	44.44	25~55	47.04	30~55	48.53	35~65	48.09	30~60	58.00	20~70
PPI最大距离/km	40.00	30~50	41.17	20~56	50.89	32~83	54.59	25~100	58.88	25~90	50.68	30~83	53.55	38~75
PPI 15 dBz 最大距离/km	41.00	40~42	31.88	16~50	41.17	30~70	36.78	18~60	38.24	20~60	36.65	24~63	47.5	26~63
云顶高度/km	6.77	6.17~ 7.37	7.36	4.37~ 9.13	7.41	4.83~ 9.13	8.32	6.63~ 10.63	9.43	5.63~ 11.37	8.25	6.23~ 10.63	8.54	7.13~ 9.63
冷云厚度/km	4.0	3.0~5.1	4.22	1.2~6.1	3.81	1.6~5.5	3.69	1.6~6.2	4.56	2.6~6.3	3.60	1.4~5.4	4.64	1.6~5.7
零度层高度/km	2.72	2.27~ 3.17	3.14	2.17~ 3.77	3.60	3.13~ 4.37	4.63	3.83~ 5.37	4.84	4.03~ 5.47	4.65	4.45~ 5.03	3.90	2.73~ 4.83
冷云/暖云	1.72		1.63		1.24		0.92		1.08		0.9		1.42	

(5)冷云厚度:冷云厚度变化趋势不明显,平均厚度在 3.60~4.64km 之间,最薄厚度为 1.2km,出现在 4 月份,最厚厚度为 6.3km,出现在 7 月;6 月冷云最大与最小厚度相差最大,相差 4.6km。

(6)暖云厚度

如图 1,暖云平均厚度变化趋势明显,

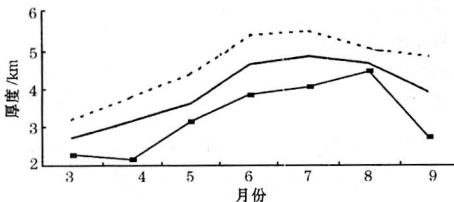


图 1 混合性层状云降雨雷达观测的暖云厚度随月份变化曲线

虚线:暖云最大厚度,实线:暖云平均厚度,点划线:暖云最小厚度

3月最低为 2.35km,7 月最高 4.24km,随后

暖云厚度降低;暖云厚度最薄为 1.80km,出现在 4 月,暖云厚度最厚为 5.01km,出现在 7 月;8 月暖云厚度相差最小,在 3.80~4.40km 之间,相差 0.6km,9 月暖云厚度相差最大,变化范围在 2.10~4.20km 之间,相差 2.10km。

(7)冷云与暖云之比:图 2,混合性层状云降雨 3~5 月平均冷云厚度大于暖云厚度,6~8 月平均冷云与暖云厚度相当,9 月份后冷云厚度逐渐增厚。

(8)融化层下挂回波:混合性层状云雷达回波融化层以下均有强回波区,简称下挂回波,60km 之内出现的下挂回波数为 1~7 个,平均 2.61 个,下挂回波的最大厚度 5km,最小 2.5km,平均厚度为 3.79km,下挂回波的最大强度 65dBz,最小强度 15dBz,平均强度为 39.47km。

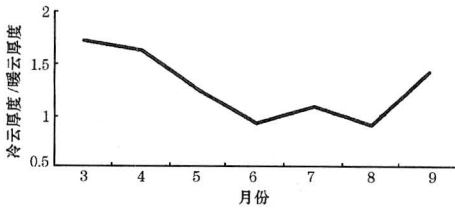


图2 混合性层状云降雨冷云与暖云厚度之比随月份变化

4 稳定性层状云与混合性层状云的关系

一般来说稳定性层状云日降雨量小于混合性层状云,表现在雷达回波上如表4,稳定性层状云雷达回波强度、云顶高度、零度层高度、暖云厚度小于混合性层状云;而PPI最大探测距离、冷云厚度、冷云与暖云之比大于混合性层状云,另外混合性层状云下挂回波明显。

表4 稳定性层状云、混合性层状云雷达回波各种参数统计

	混合性层状云	稳定性层状云
回波最大强度/dBz	46.55	46.29
PPI最大距离/km	49.97	51.84
云顶高度/km	8.01	7.82
冷云厚度/km	4.07	4.34
零度层高度/km	3.93	3.54
暖云厚度/km	3.63	2.92
冷云/暖云	1.27	1.64

5 小结

(1)稳定性层状云和混合性层状云3~5月和9月平均冷云厚度大于暖云厚度,因此适合飞机增雨作业。

(2)利用711雷达观测层状云降雨,由于电磁波在降雨云中衰减明显,平均观测距离仅为50.91km。

(3)稳定性层状云日降雨量小于混合性层状云,表现在雷达回波上稳定性层状云雷达回波最大强度、云顶高度、零度层高度、暖云厚度小于混合性层状云,混合性层状云降雨下挂回波明显。

(4)由于雷达未定标校准,文中测量值和实际值可能有出入,但文中所列数据为同一类型的雷达测量值,且宝鸡711雷达资料占84%,因此相对趋势是有价值的。待新一代天气雷达安装调试后,将作进一步对比分析。

参考文献

- 1 李金辉,陈保国,罗俊颖. 关中、延安地区适宜人工增雨的时段及层状云雷达回波模型,陕西气象,2003(5):21~24.
- 2 B. J. 梅森. 云物理学. 北京:科学出版社,1978:478~490.
- 3 章澄昌. 人工影响天气概论. 北京:气象出版社,1992:204~217.
- 4 王雨增,李风声,伏传林. 人工防雹实用技术. 北京:气象出版社,1994:134~145.

The Radar Echo Feature for Precipitable Stratiform Clouds in Middle Shaanxi Province

Li Jinhui^{1,2} Chen Baoguo³ Luo Junjie³

(1. Department of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, 730000;

2. Baoji Meteorological Office, Shaanxi Province

3. Shaanxi Province Meteorological Bureau)

Abstract

Based on the data of sounding and 711 radar echo, the precipitable stratiform clouds in the middle of Shaanxi Province are analyzed, and classified. A statistical analysis of various parameters of stable and mixing stratiform clouds is made. The results provided scientific background for estimation of rainfall amount and operation of precipitable enhancement with anti-aircraft gun, rocket, and plane.

Key Words: stratiform cloud radar echo precipitation enhancement