第 33 卷第 1 期
2005 年 2 月

气 象 科 技
METEOROLOGICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY

Vol .33 , No .1
Feb . ,2005

陕西省中北部人工增雨适宜时段及层状云特征

李金辉[1]　陈保国[2]　罗俊颉[2]

(宝鸡市人工影响天气办公室 ,宝鸡 721006 ; 陕西省人工影响天气办公室 ,西安 710014)

摘要　统计分析了陕西中北部 1991 ~ 2001 年 4 个 711 雷达站附近 15 个气候观测站日降雨量大于等于 5 mm 降水过程的时空分布及雷达回波特征。陕西中部适宜人工增雨的时段为 2 月 10 日至 11 月 15 日 ,北部为 2 月 25 日至 11 月 10 日。陕西降雨性层状云 0 ℃层高度变化范围为 3.63 ~ 5.03 km ,平均高度为 4.65 km ,融化层强回波区厚度为 0.4 ~ 1.0 km。冷云 暖云降雪(雨) 量级较小 ,不适宜大范围开展人工增雪(雨) 作业。适宜人工增雨的稳定性层状云雷达回波特征为 :PPI 回波结构密实 ,范围大于 30 km ,雷达回波强度大于等于 30 dBz ,RHI 显示云顶高度大于等于 5.8 km 或者融化层明显 ,强度达 30 dBz 以上。适宜人工增雨的混合性层状云雷达回波特征为 :PPI 有明显强回波中心 ,强度大于等于 30 dBz ,15 dB 回波宽度大于等于 25 km ,回波最大高度大于等于 5 km ;或者融化层明显 ,雷达观测融化层下挂回波明显倾斜或呈锯齿型排列。

关键词　人工增雨　适宜时段　层状云　雷达回波

1　资料来源和标准化处理

利用 1991 ~ 2001 年宝鸡、渭南、旬邑和延安 711 雷达站的层状云雷达回波资料和每个雷达站周围覆盖 60 km 范围内的 4 个气候观测站的气象资料作为校准雷达回波图的雨量站点。宝鸡市校准雷达回波图的雨量站为渭滨区、宝鸡县、凤翔和千阳县 ;渭南的雨量站为临渭区、华县、蒲城和富平 ;旬邑选的雨量点为彬县、淳化、长武和耀县 ;延安选的雨量点为宝塔区、安塞和甘泉。

由于陕西 711 雷达数字化改造没有统一实施 ,是在各市(县) 各自完成改造 ,改造前后持续 10 年 ,造成数字化版本不一 ,且各种版本之间的雷达资料不能共享 ,雷达回波强度未能统一标定 ,以往雷达图以对流云为主等问题 ,有必要对各地区的雷达资料进行标准化处理 ,找出层状云的共同特征 ,如层状云的云顶高度、云层厚度、0 ℃层高度、融化层强回波区厚度 ,云层有无对流泡和云层微观结构等特征。雷达资料分析以 1997 ~ 2002 年为准 ,所有雷达资料的高度均换算为海拔高度。

2　人工增雨适宜时段的确定

2.1　5 mm 以上降水日数出现的频率

关中与延安地区 5 mm 以上降雨日数在各月出现的频率明显不同 ,图 1 为关中和延安 1991 ~ 2001 年日降雨量 5 mm 以上的降雨日数在各月平均出现频率。

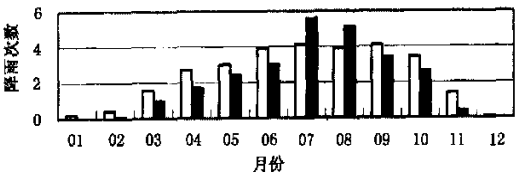

图 1　1991 ~ 2001 年关中(白) 、延安(黑) 5 mm 以上降雨各月平均出现次数

由图 1 可以看出关中冬季(12 、1 月) 5 mm 以上降雪日数每年出现频率为 0.1 次和 0.2 次 ;延安冬季(12 月至次年 2 月) 5 mm 以上降雪日数每年出现频率为 0.0 、0.0 、0.1 次 ,且降雪量量级较小 ,从 2 ~ 7 月 5 mm 以上降雨日数逐渐增多 ,从 9 月开始到 11 月 5 mm 以上降雨日数逐渐减少。关中 12 月至次年 1 月 ;延安 12 月至次年 2 月因 5 mm 以上降雪日数每年出现频率太少 ,为 10 年一遇或 5 年一遇。

关中和延安进入雨季的时间有差异 ,全年除 7 、8 月延安 5 mm 以上的降雨日数多于关中外 ,其它月份关中 5 mm 以上的降雨日数明显多于延安。

2.2　5 mm 以上降水日开始及结束日期的确定

图 2 为宝鸡雷达站附近 4 个气候站 5 mm 以上降雨(雪) 的开始日点聚图。由图 2 可知 ,宝鸡 1991 ~

科技部“西部开发科技行动”“黄河中游(陕甘宁) 干旱半干旱地区高效人工增雨(雪) 技术开发与示范”项目(2001BA901A41) 资助
作者简介 :李金辉 ,男 ,1967 年生 ,学士 ,高级工程师 ,在职研究生 ,从事人工影响天气研究工作 ,Email :lijinhui_1 @sina .com
收稿日期 :2003 年 10 月 20 日 ;定稿日期 :2003 年 11 月 6 日

2001 年,11 年中 2 月上旬 5 mm 以上降雨(雪)量出现的次数仅 1 次,降雨(雪)量为 5.3 mm,中旬 5 mm 以上降雨(雪)量出现的次数明显增多,达 8 次,平均为 7.71 mm,日降水量最大达 12.3 mm,下旬出现 12 次,平均降雨量为 9.93 mm,日最大降雨量为 15.9 mm。

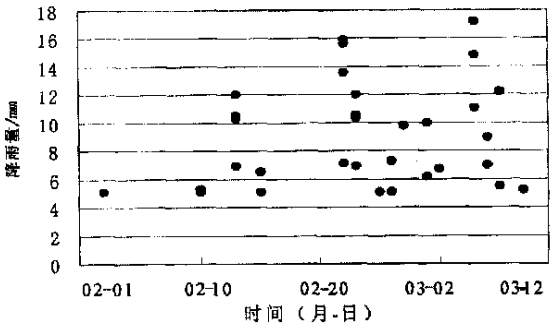

图 2 宝鸡雷达站 2、3 月份 5 mm 以上日降雨量开始日点聚图

统计表明,从 2 月 1 日开始,随着天气变暖,冷暖空气团活动活跃,降水量 5 mm 以上降水日次数明显增加,平均降水量亦增加。这些事实表明,自然降水形成条件较好,选择适合增雨系统开展人工增雨,使人工引入的降水胚元充分利用自然降水条件较好的增长环境形成降水,是取得人工增雨有较大增量的基本条件。关中地区拟选取在 2 月中旬开始人工增雨(雪)作业较合适。表 1 给出宝鸡雷达站附近 4 个气象站 1991 ~ 2001 年 9 ~ 11 月,日降雨量 5 mm 以上降水最晚出现日期,各年相差很大。风翔相差跨两月(1991-09-16 ~ 1994-11-14),千阳相差 51 天(1991-10-03 ~ 1996-11-23),渭滨相差 42 天(2001-10-14 ~ 1996-11-25),宝鸡相差 31 天(2001-10-14 ~ 1996-11-14)。5 mm 以上日降雨量最晚出现日期,主要出现在 10 月和 11 月(4 站累计各为 19 日和 24 日),其中 11 月 15 日后仅出现 3 天,主要在 11 月 14 日前。因此,既考虑 5 mm 以上日降雨量出现次数,又考虑其出现日期,拟选在 11 月 15 日为关中地区人工增雨结束日期为宜。

用同样统计分析方法,确定延安人工增雨开始日期为 2 月 25 日,结束日期为 11 月 10 日。

表 1 1992 ~ 2001 年渭滨区、宝鸡县、凤翔和千阳县 5 mm 以上日降雨量(*R*)最晚出现日期(月-日)

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
凤翔	09-16	10-03	11-08	11-14	10-22	11-06	11-11	10-09	11-10	11-10	10-13
R/mm	11.1	17.9	7.6	15.7	11.2	19.1	5.3	19.0	5.2	6.4	10.9
千阳县	10-03	10-20	10-10	11-14	10-23	11-23	11-11	10-25	11-10	10-25	10-13
R/mm	5.1	15.6	6.7	17.0	13.6	5.7	8.0	14.0	7.6	12.6	7.2
渭滨区	11-06	11-06	11-20	11-14	10-23	11-25	11-11	10-27	11-10	11-10	10-14
R/mm	11.4	5.1	6.8	14.1	8.5	5.9	10.4	11.4	6.5	8.6	6.0
宝鸡县	11-06	10-21	11-08	11-14	10-23	11-14	11-11	10-27	10-30	11-10	10-14
R/mm	9.0	12.6	6.0	21.8	6.9	12.0	5.7	10.9	6.7	9.8	5.2

3 降雨性层状云雷达回波分类

对降雨性层状云雷达回波 112 天个例进行分析[1],按云内温度分为冷云(4 天)、暖云(13 天)、有融化层的层状云降雨回波(93 天)(以探空站的 0 ℃层高度为标准),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又分为混合性层状云降雨(56 天)和稳定性层状云降雨(37 天)。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。

3.1 冷云雷达回波特征

冷云云体温度小于 0 ℃[2],此类云层 711 雷达 PPI 特征是由中心向外强度逐渐减弱,层次分明,RHI 特征由近到远回波强度呈辐射状递减,有时云顶高度达到 8.5 km,云顶有凸体,回波最大强度不超过 50 dBz,一般强度 40 dBz,地面降雨(雪)量量级较小,24 h 降雨(雪)量不大于 4.0 mm,不适宜大范围的人工增雨(雪)。

3.2 暖云雷达回波特征

暖云云顶温度高于 0 ℃[3],在 711 雷达 PPI 上回波强度较弱,或云层分散,孤立;RHI 显示云顶高度一般为 4.0 km 左右,较低,强回波区接近地面,无融化层,降雨量量级较小,24 h 降雨量不大于 6.0 mm,不适宜人工引晶催化增雨作业。

3.3　稳定性层状云降雨雷达回波特征

稳定性层状云降雨回波 4 ~ 9 月均可出现,4 ~ 6、9 月份出现较多。此类云层的雷达回波特征为 PPI 强回波区在近距离处,分布均匀,抬高仰角可观测到圆形亮带; RHI 显示融化层明显,融化层回波强度较强,范围在 30 ~ 65 dBz 之间,有时可水平延伸到 40 km,融化层上、下均无强回波区,云层高度一般在 5.8 km 以上。这类云层降雨稳定、均匀,日降雨量 15.0 mm 以上。适合人工增雨作业的 711 雷达回波特征为:PPI 回波云层结构密实,范围大于 30 km;雷达回波强度 30 dBz 以上;RHI 显示云顶高度 5.8 km 以上,15 dBz 雷达回波高度 4.5 km 以上;融化层明显,强度大于等于 30 dBz;融化层强回波区厚度大于 0.5 km。

3.4　混合性层状云降雨回波

混合性层状云降雨最为常见,降雨量量级较大,一般在 15 mm 以上,多发生在 7 ~ 9 月,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,回波强度为 25 ~ 70 dBz,平均回波强度在 35 ~ 58 dBz 之间,除 3 月份回波强度较弱外,4 ~ 8 月份平均回波强度在 44.44 ~ 48.09 dBz 之间,比较均匀;混合性层状云云层厚度变化趋势明显,云层厚度变化范围为 3.73 ~ 10.74 km,平均厚度 3 月份最低,为 6.14 km,然后平均厚度逐渐升高,7 月份最高,达 8.80 km,随后平均云层厚度逐渐降低。

由于受近地面风切变的影响,云层融化层以下悬挂回波明显,悬挂回波单体倾斜或呈有序锯齿形排列(呈锯齿形排列的雷达回波有时地面降雨量可达短时暴雨)。2001 ~ 2002 年混合性层状云分析表明:下挂回波的回波强度在 15 ~ 65 dBz 之间,平均回波强度为 39.47 dBz,小于或等于融化层最大回波强度;下挂回波的厚度在 2.5 ~ 5.0 km 之间,平均厚度为 3.79 km;下挂回波平均为 2.61 个。适宜人工增雨的混合性层状云 711 雷达回波特征为:PPI 回波有明显强回波中心,雷达回波强度大于等于 30 dBz,15 dBz 回波宽度大于等于 25 km,回波最大高度大于等于 5 km,15 dBz 雷达回波高度大于等于 4.4 km;或者融化层明显,雷达观测融化层下挂回波明显倾斜或呈锯齿形排列。

4　降水性层状云的雷达回波特征

4.1　0 ℃层高度月际变化

图 3 为宝鸡雷达站 1998 ~ 2002 年 3 ~ 10 月降水性层状云平均融化层高度逐月变化。降水资料统计 2 月 10 日到 11 月 20 日有 93 个有融化层的天气过程,其雷达观测资料表明:降水性层状云回波 0 ℃层平均高度有一个由低到高再到低的变化过程。同一月份 0 ℃层高度变化每年不尽相同,差异明显。如 7 月降水性层状云 0 ℃层高度变化范围为 3.63 ~ 5.03 km,平均高度为 4.65 km。

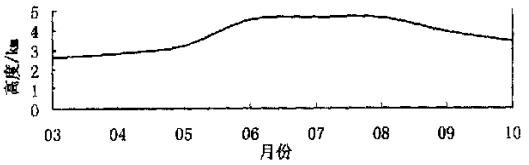

图 3　宝鸡雷达站 1998 ~ 2002 年 3 ~ 10 月降水性层状云平均融化层高度的逐月变化

4.2　融化层厚度对降水的影响

融化层强回波区厚度[4]:在层状云降雨 RHI 中呈水平分布,大于背景强度的回波平均厚度(通常俗称 0 ℃层亮带)。关中、延安层状云降水融化层强回波区厚度为 0.4 ~ 1.0 km,其中厚度 0.4 ~ 0.6,0.6 ~ 0.8,0.8 ~ 1.0 km 各占 36.5 %、36.5 %和 27 %,即 73 %厚度在 0.4 ~ 0.8 km 之间(图 4),水平伸展距离为 10 ~ 50 km,平均伸展距离 36.76 km(半径)。在层状云降水过程中,融化层强回波区厚度与地面雨强关系密切,同一性质层状云降雨雷达回波融化层强回波区厚度越厚,降雨时雨强越大。如凤翔 2001 年 9 月 20 日混合性层状云降雨回波 12:49、14:50(北京时,下同)雷达观测融化层强回波区厚度为 1.0 km,相对应的 12:00 ~ 13:00、14:00 ~ 15:00 雨强分别为 2.8 mm/h 和 2.7 mm/h;而宝鸡 2000 年 8 月 21 日混合性层状云降雨回波 14:54 雷达观测融化层强回波区厚度为 0.6 km,14:00 ~ 15:00,15:00 ~ 16:00 雨强分别为 0.3 和 0.5 mm/h。

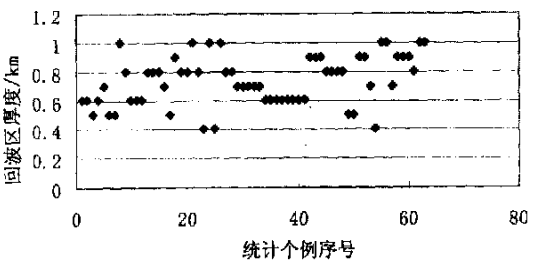

图 4　2000 ~ 2001 年融化层强回波区厚度变化

4.3　雷达观测云体细微特征与降水的关系

关中、延安层状云降水多为由西北冷空气向东

南推进的冷锋天气过程。在雷达回波图上能够观测到融化层以下有明显的倾斜特征。云体远离雷达方向上,云团上层远离雷达,下层云体靠近雷达,在云体移近雷达的方向上,上层云团靠近雷达,下层云体远离雷达,有时上、下偏离达10 km以上,偏离越大,降雨量越大。图5为2001年9月20日与2001年9月21日两天冷锋过境时宝鸡雷达站不同方位观测到的混合性层状云RHI回波,由图可见,云团明显倾斜,过程降水量达30 mm以上。

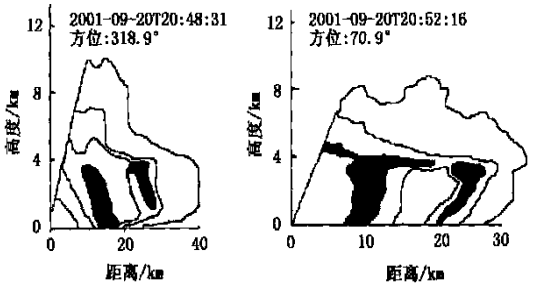

图5 宝鸡雷达站混合性层状云RHI回波
(由外到里依次为0、30、40、50 dBz,图中阴影部分为40 dBz)

5 小结

(1)关中适宜人工增雨日期为2月10日至11月15日,延安为2月25日至11月10日。

(2)从2月到11月,层状云降雨回波0 ℃层高度有一个由低到高再到低的过程,在层状云降雨过程中,融化层强回波区厚度在0.4~1.0 km之间。

(3)关中、延安层状云降雨多为由西北冷空气向东南推进的冷锋天气过程,雷达观测融化层下挂回波有明显倾斜特征。

(4)适宜人工增雨的稳定性层状云雷达回波特征为:PPI回波云层结构密实,范围大于30 km;雷达回波强度大于等于30 dBz;RHI显示云顶高度大于等于5.8 km,15 dBz雷达回波高度大于等于4.5 km,;融化层明显,强度为30 dBz以上,融化层强回波区厚度大于0.5 km以上。

(5)适宜人工增雨的混合性层状云雷达回波特征为:PPI回波有明显强回波中心,雷达回波强度大于等于30 dBz,15 dBz回波宽度大于等于25 km,回波最大高度大于等于5 km,15 dBz雷达回波高度大于等于4.4 km;或者融化层明显,强度为30 dBz以上,雷达观测融化层下挂回波明显倾斜或呈锯齿形排列。

致谢:本文得到樊鹏、张忠平、苏长年、刘士亮、万里等同志的支持和帮助,特此一并致谢。

参考文献

1 李金辉,陈保国,罗俊颉. 陕西关中层状云降雨雷达回波特征. 气象,2004,30(12):53-56
2 王雨增,李风声,伏传林,等. 人工防雹实用技术. 北京:气象出版社,1994. 134-145
3 章澄昌. 人工影响天气概论. 北京:气象出版社,1992.
4 梅森 B J. 云物理学. 北京:科学出版社,1978. 478-490

Periods and Stratiform Cloud Radar Echo Patterns Suitable for Precipitation Enhancement in Middle and Northern Parts of Shaanxi Province

Li Jinhui[1] Chen Baoguo[2] Luo Junjie[2]
(1 Baoji Meteorological Bureau, Shaanxi Province, Baoji 721006;
2 Shaanxi Provincial Meteorological Bureau, Xian 710014)

Abstract: The data from four Model-711 Radar stations located in the middle and northern parts of Shanxi Province from 1991 to 2001 were analyzed, and the variations of the precipitation processes with a daily rainfall of more than 5 mm from 15 climatological stations nearby the radar stations were statistically calculated. The suitable period for precipitation enhancement in the middle part is from 10 February to 15 November and that in the northern part is from 25 February to 10 November. The 0 ℃ level for precipitable stratiform clouds ranges from 3.63 km to 5.03 km with its average being 4.65 km. The strong echo depth of the melting layer is from 0.4 km to 1.0 km. The radar echo features of stable and mixing stratiform clouds suitable for rain enhancement are summarized.

Key words: precipitation enhancement, period, stratiform cloud, radar echo