

黄钰, 阮征, 葛润生, 等. 2013. 2010 年夏季北京零度层亮带特征统计. 气象, 39(6):704-709.

## 2010 年夏季北京零度层亮带特征统计<sup>\*</sup>

黄钰<sup>1</sup> 阮征<sup>2</sup> 葛润生<sup>2</sup> 马建立<sup>1</sup> 嵇磊<sup>1,3,4</sup>

1 北京市人工影响天气办公室, 北京 100089

2 中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室, 北京 100081

3 云降水物理研究与云水资源开发北京市重点实验室, 北京 100089

4 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029

**提 要:** 零度层亮带对研究层状云降水机理和人工影响天气作业具有意义, 应用风廓线雷达对北京 2010 年 4—9 月不同类型的降水进行观测, 提出了针对北京地区的亮带识别算法, 通过订正的亮带识别算法对降水数据进行亮带识别, 得到了延庆地区亮带出现的高度、持续时间以及和降水量、降水类型的对比等数据。根据统计结果得到了 2010 年夏季北京延庆地区融化层的分布特征, 回波强度最大值主要出现在 36~40 dBz 之间, 亮带厚度主要为 1000~1500 m, 上下边界速度差值主要为 4~5 m·s<sup>-1</sup>。

**关键词:** 零度层亮带, 风廓线雷达, 回波强度, 速度

中图分类号: P412

文献标识码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2013.06.006

## Feature Statistics on Bright Band in Beijing in 2010 Summer

HUANG Yu<sup>1</sup> RUAN Zheng<sup>2</sup> GE Runsheng<sup>2</sup> MA Jianli<sup>1</sup> JI Lei<sup>1,3,4</sup>

1 Beijing Weather Modification Office, Beijing 100089

2 State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081

3 Beijing Key Laboratory of Cloud, Precipitation and Water Resources, Beijing 100089

4 Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

**Abstract:** Bright band is meaningful for stratus precipitation mechanism research and weather modification. By using the observed data of wind profile radar of different types of precipitation in Beijing from April to September 2010, this paper puts forward the bright band recognition algorithm, distinguishing bright band information from precipitation data by the corrected recognition algorithm, and obtaining the height and duration of bright band as well as the comparison of precipitation amount and precipitation type in Yanqing, Beijing. According to the statistical result, the distribution characteristics of the melt layer in Yanqing, Beijing in the summer of 2010 are got. The maximum of echo intensity mainly appears in 36—40 dBz, the thickness of bright band is 1000—1500 m, and the difference of upper and lower boundary velocity is 4—5 m·s<sup>-1</sup>.

**Key words:** bright band, wind profile radar, echo intensity, velocity

## 引 言

天气雷达探测层状云降水时, 在云体回波的垂直结构中常出现一条水平延伸的强回波带, 带所在

的高度约在大气温度为 0℃ 高度附近。20 世纪 40 年代末, Byers 等(1947)首先观测到这种现象, 称其为亮带(bright line)。零度层亮带是雷达判断层状云降水的一个主要特征, 它的出现表示了降水云体中大气垂直运动微弱, 降水质点的冰水转换过程压

\* 国家自然科学基金项目(41075023)和北京市优秀人才培养资助项目(2012D002034000001)共同资助  
2012 年 3 月 20 日收稿; 2012 年 12 月 17 日收修定稿  
第一作者: 黄钰, 主要从事风廓线雷达研究. Email: woaimama568@yahoo.com.cn

缩在一个狭窄的高度区间内。通过对零度层亮带区的仔细观测(党娟等,2009;高茜等,2011;罗俊颖等,2012),获取了降水云中冰水转换的微物理过程信息,王扬锋等(2007),辛乐等(2011),于丽娟等(2009)和仲凌志等(2007)认为其对研究层状云降水机理和人工影响天气作业是有意义的。

对零度层亮带的研究主要基于天气雷达的观测,早期运用常规雷达进行的大量探测从回波强度垂直廓线来研究亮带区的冰水转化。多普勒技术应用后,应用多普勒天气雷达获取的回波强度、速度和谱宽来对零度层亮带进行分析,曹俊武等(2006)、Cha等(2009)和Arai等(2006)进一步开展了有关层状云降水方面的研究,Zhang等(2008)和Jonathan等(2003)发展了自动识别零度层亮带的算法,判别层状云降水,以期提高雷达定量估测降水的精度。近年来风廓线雷达也用来对降水云体的垂直结构进行研究,它比天气雷达可以获取分辨率更高的细致云体结构和云体返回信号的全谱信息。阮征等(2002)利用风廓线雷达探测降水云体结构;王晓蕾等(2010)应用风廓线雷达探测到的云体数据进行反演获取降水云中雨滴谱的分布(Narayana et al, 2008)运用风廓线雷达对热带降水系统进行分类研究。也有不少学者利用风廓线雷达对零度层亮带进行了细致探测:White等(2002)运用风廓线雷达获取的垂直速度、信噪比等谱参数识别零度层亮带;Williams(2002)运用风廓线雷达对对流云降水后期出现的零度层亮带区的特征进行探测;Battaglia等(2003)应用风廓线探测到的零度层亮带来对卫星的微波亮温数据进行校正等。

本文运用风廓线雷达资料对北京2010年4—9月夏季降水特征进行统计分析,对北京夏季零度层亮带特征进行归纳总结,风廓线雷达在研究零度层亮带和降水类型分类方面具有重要意义。

## 1 降水和探空资料统计

进行降水统计的资料取自北京延庆地区的风廓线雷达,雷达型号CFL-08,站址:40.45°N、115.96°E,海拔高度为487.90 m。探测波长为674 mm,采样周期4.5 m,采用5波束进行探测。高模式距离库长240 m,43个距离库,FFT点数为512,采样起始高度为1950 m,终止高度为12030 m;低模式距离库长120 m,27个距离库,FFT点数为

256,采样起始高度为150 m,终止高度为3270 m。

延庆位于北京的北部山区,在风廓线雷达站点出现的降水日数相对较少。2010年4—9月风廓线雷达对延庆地区进行连续观测,共观测到22次雨量较大、持续时间较长的降水过程。

延庆地区降水量普遍不大,持续时间较长,出现零度层亮带的可能性较大。由于本文不涉及水平速度,取垂直波束数据进行分析,获得降水粒子的回波强度和垂直降落速度。垂直速度下降为正,上升为负,文章后面将垂直速度简称为速度。对各个降水过程较强时刻进行平均,获得回波强度和垂直速度的平均廓线图。如图1所示,平均回波强度从6750 m到5070 m由38 dBz缓慢增加到45 dBz,5070 m到4350 m快速增加到57 dBz,然后减小,到3630 m为52 dBz,再往下变化较小。下降速度从6750 m处的 $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 到5070 m的 $1.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,变化不大。5070 m到4350 m下降速度由 $1.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 迅速增大到 $7.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,3630 m以下速度基本不变。

3630 m以下粒子下降速度基本不变,回波强度不变,降水质点基本为液态降水;5070 m以上粒子下降速度随高度减小增大不明显,强度也随之缓慢增加,基本为固态降水粒子;3630~5070 m为冰水转化区。

## 2 亮带识别

根据图1制定符合延庆地区零度层亮带识别方案(见图2)。

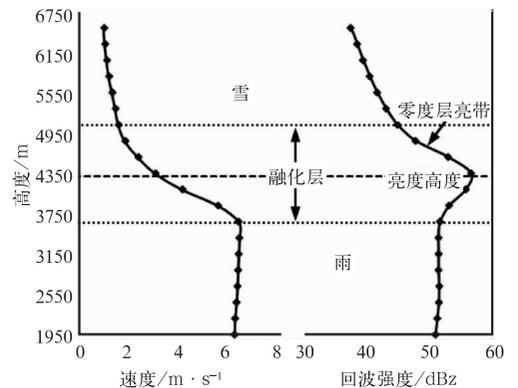


图1 风廓线雷达获得北京2010年4—9月回波强度和速度平均廓线图

Fig. 1 Average contour chart of echo intensity and velocity by wind profile radar in Beijing from April to September 2010

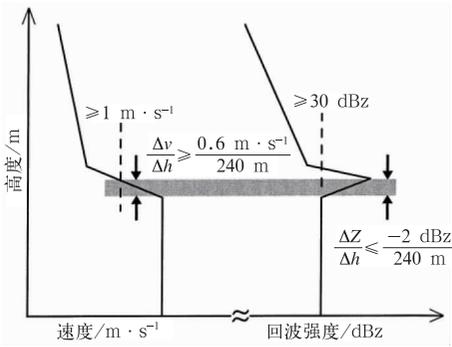


图 2 识别方案模型图

Fig. 2 Model chart of identification scheme

## 2.1 获取风廓线雷达速度、回波强度数据,进行质量控制

## 2.2 判断是否存在零度层亮带

廓线从下至上进行检索,如果在高度跨度为 240 m 的范围内出现回波强度增大 2 dBz 并且垂直速度减小  $0.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,那么只要在每一个高度边界上(例如在图 2 阴影部分的顶部和底部)垂直速度大于  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、回波强度大于 30 dBz,就认为这个时刻的这组数据含有零度层亮带的可能性很大。

## 2.3 初步获取零度层亮带高度

对于存在亮带的降水云体,亮带以上为固态粒子区,回波强度小,亮带以下为液态粒子区,回波强度趋于稳定。在亮带内部,上半部分由于融化引起的介电常数改变和粒子碰并作用导致回波强度剧烈增大,而在亮带下半部分,由于冰晶框架瓦解,粒子数密度浓度减小,回波强度减小。因此,普遍认为,将回波强度最大值所在高度定义为亮带高度。

根据以上的分析,进一步获取亮带高度。如果判断了零度层亮带存在,那么就执行一个搜索,去寻找图 2 阴影底部向上回波强度的最大值  $Z_{\max}$ ,将最大值  $Z_{\max}$  的高度定为零度层亮带的高度。

## 2.4 对初步获取的亮带高度进行测试,去除奇异值和不连续值

步骤 2.3 得到的亮带数据可能存在奇异值,要对其进行筛选。对上面求得的所有亮带高度进行平均,只有位于平均值高度上面(下面)500 m 内、处于公认的亮带高度范围内(3000~6000 m),并且一个小时内至少存在 5 个观测时次(不低于 10 min)的亮带数据才认为是有效的。

## 2.5 获取零度层亮带高度和回波强度最大值 $Z_{\max}$ 等数据

根据亮带特点,在亮带顶层,冰晶落入融化层开始融化,密度变大,下降速度增大,速度下降的变化率增大;而冰晶粒子经过融化层之后,完全融为水滴,下降速度增大到一定范围便趋于稳定。从上往下,在融化层内降水粒子速度的变化率一般高于融化层上下的区域,因此分别定义速度变化率变化的临界值为亮带的顶部和底部。

在本文中,若廓线高度从下至上垂直速度减小  $0.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,并且高度边界垂直速度大于  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (图 2 阴影部分的底部),就将这个高度定义为亮带的底;从下至上检索,廓线垂直速度减少小于  $0.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的临界高度则定义为亮带的顶,亮带顶与底之间的高度定义为亮带厚度。

保存有效的亮带数据的回波强度的最大值  $Z_{\max}$ 、最大值  $Z_{\max}$  所在的速度  $v_{\max}$ 、亮带厚度和亮带高度  $H_{\text{BB}}$ 。

## 2.6 求亮带高度平均值 $\bar{H}_{\text{BB}}$ 以及亮带的一些相关参数

对所有有效的亮带高度求平均,平均值即为亮带高度平均值  $\bar{H}_{\text{BB}}$ ,并且可对识别出的有效的亮带数据进行计算得到亮带的其他参数(见图 3)。

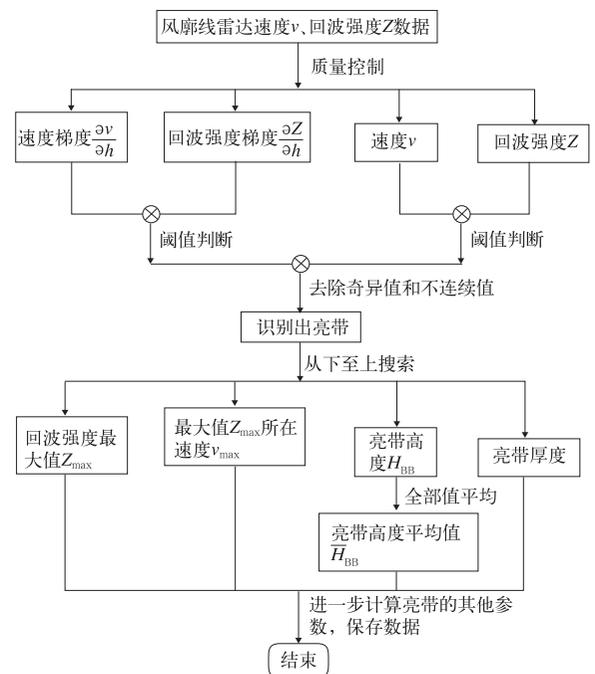


图 3 识别算法流程

Fig. 3 Flow chart of recognition algorithm

### 2.7 算法验证

获取亮带识别结果之后,运用天气雷达对识别出的亮带进行验证,本文任取一天验证结果为例。2010 年 8 月 21 日 08—16 时风廓线雷达识别出零度层亮带,在相应时段取位于河北怀来的双线偏振雷达观测数据进行对比,得到雷达平面位置显示(Plan Position Indicator, PPI)图,图中每相邻圈距离 30 km,最外圈距离雷达 150 km,沿着风廓线雷达位置方向获得雷达距离高度显示(Range Height Indicator, RHI)图,如图 4 所示。从图中可明显看出,图 4a 双线偏振雷达 PPI 上风廓线雷达地区附近出现明显半环状亮带特征,图中用橙色区域标出,回波强度约为 25~30 dBz;图 4b RHI 上 4 km 左右出现一条平展且比较强的回波带,回波大小在 35~40 dBz 范围内。通过常规探空 0℃ 高度资料和天气雷达资料对风廓线雷达识别出的亮带结果进行了有力的验证。

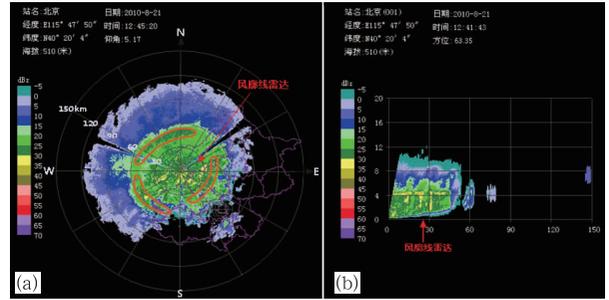


图 4 2010 年 8 月 21 日 12:45 双线偏振雷达观测北京地区降水回波图

(a)PPI 图(橙色区域为半环状亮带回波),(b)RHI 图(红色箭头处为风廓线雷达位置)

Fig. 4 Precipitation echo chart of Beijing by dual linear polarization radar at 12:45 BT 21 August 2010

(a) PPI display, (b) RHI display (red rows point the wind profile radar fix)

### 3 亮带特征统计结果

对降水时刻数据进行亮带识别,运用天气雷达验证之后,统计亮带个数,如表 1。2010 年 4—9 月

北京延庆地区主要为层状云或者混合型降水,18 次降水过程中存在零度层亮带,在 5891 个时次数据中,降水持续次数为 1717 次,共识别出 289 次亮带现象,持续时间超过半小时的亮带次数有 135 次,每一时次的持续时间为 4.5 min。对持续时间短于半小时的亮带时刻,其回波强度谱密度分布图出现分布范围展览现象的概率超过 80%。可以看出,亮带在混合型降水出现的概率较大。

表 1 北京 2010 年 4—9 月零度层亮带特征统计情况

Table 1 Statistics on bright band in Beijing from April to September 2010

日期/月日	地面降水量/mm	探空 0℃ 高度/m	识别亮带高度/m	降水类型	识别时次	降水时次	亮带时次	亮带出现时段	亮带回波最大值/dBz	亮带平均厚度/m	亮带速度/m·s <sup>-1</sup>
0422	6.2	1235	1094	混*	316	98	5	10—15	31.65	1248	2.8
0514	0.9	3065	2894	层*	310	56	5	15—18	39.85	1248	5
0518	20.5	2419	2133	混	128	85	5	06—08	37.88	1920	4.44
0527	4.5	3204	3006	层	325	150	21	12—19	35.18	1131	3.97
0610	2.5	3100	2989	混	324	95	7	03—08	33.5	1097	3.8
0612	6.2	4160	3986	混	380	65	33	20—24	37.1	1869	6.06
0616	16.2	3799	3702	混	284	96	24	17—20	36.06	1730	5.68
0701	12.8	5231	5206	混	325	126	3	08—11	33.74	1360	3.63
0709	2.8	4342	4234	混	324	84	42	15—19	30.32	1474	3.84
0803	9.8	5485	5293	混	325	84	20	06—08	38.04	1320	5.46
0804	8.2	5454	5198	混	325	56	4	09—10	33.8	1200	5.4
0807	9.7	4786	4739	混	324	56	18	17—23	35.74	1653	4.29
0818	8.9	4612	4383	混	325	258	30	21—24	35.14	1704	4.86
0821	30.8	4752	4327	混	271	175	32	08—16	36.49	1635	4.83
0901	5.9	3627	3519	混	432	56	11	05—06	35.1	1724	4.52
0903	5.4	3793	3575	混	324	56	6	13—14	30.21	1240	3.57
0918	24	4722	4611	混	424	56	17	00—06	30.34	2400	5.4
0921	17	3543	3308	混	425	65	6	00—01	34.46	1454	4.73

注: \* 降水类型“混”表示混合型降水,“层”表示层状云降水;

探空 0℃ 高度中带阴影的表示探空 0℃ 高度取自当日 08 时探空资料,其他的取自当日 20 时探空资料

对识别出的 289 次亮带特征进行统计平均,北京 4—9 月亮带持续时间在几分钟至几小时不等,平均厚度约为 1556 m;回波强度最大值平均约为 35 dBz,垂直速度一般在  $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。并且在表 1 可以看出,对比常规探空  $0^\circ\text{C}$  资料结果,识别出的亮带高度绝大部分都出现在探空  $0^\circ\text{C}$  高度以下几十米至几百米范围内。这是由于冰晶和雪花粒子落入融化层以后,融化引起表面电介质改变和碰并作用需要一定的时间,回波强度增大需要一定过程,因而出现回波强度最大值的高度(即亮带高度)距离探空  $0^\circ\text{C}$  高度有一定差异。

图 5 为亮带回波强度最大值概率分布图。由图可以看出,回波强度最大值绝大部分分布在 34~40 dBz 之间,占了 55.4%,回波强度最大值在 38~40 dBz 之间出现次数最多,共有 61 次,概率为 21%,出现比例稍小的在 36~38 dBz 之间,为 53 次,概率 18.3%;回波强度最大值小于 24 dBz 和大于 42 dBz 的亮带出现概率很小,都只出现了 2 次,概率 0.7%。

图 6 为亮带上下边界回波强度值与最大值的差值统计图。可以看出,上下边界回波强度与最大值的差值分布形式基本类似,不过上半边界回波强度与最大值差值比下边界的整体要大几个 dBz。图 6a 看出,上边界回波强度与最大值的差值主要在 7~11 dBz 之间,概率为 42%,一共 122 次,这是因为大部分的冰晶和雪花粒子除了介电指数变化导致的回波强度增大 7 dBz 以外,还有碰并会导致回波强度增大。此外,上半部分差值小于 7 dBz 的亮带出现的概率为 17.3%,共 50 次;在 11~17 dBz 出现的次数为 101,概率为 34.8%,大于 17 dBz 出现的概率很小,只占 5.9%;由图 6b 看出,下边界回波强度与

最大值的差值主要在 3~7 dBz 之间,共 209 次,占 72.3%,这部分差值是由粒子完全融化,速度增大,单位体积数浓度减小导致的回波强度减小造成,另外粒子由固态完全融化为液态,尺度减小,也会导致粒子散射能力下降,回波强度减小。随着回波差值的增大,出现的概率迅速减小,大于 12 dBz 的次数为 9 次,概率为 3%。

图 7 为亮带厚度概率分布图。厚度平均值为 1556 m,超过半数的亮带厚度在 1000~2000 m 之间,其中厚度在 1000~1500 m 之间的亮带出现的概率最大,共 122 次,概率为 42.1%,其次是 1500~2000 m 之间,出现次数 94,概率为 32.4%;厚度小于 1000 m 和大于 2000 m 的亮带概率差不多,分别为 36 和 38 次,概率为 12.4%和 13.1%。

图 8 为亮带上下边界速度差值概率分布图。上下边界速度差值的亮带主要出现在  $3\sim 7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  之

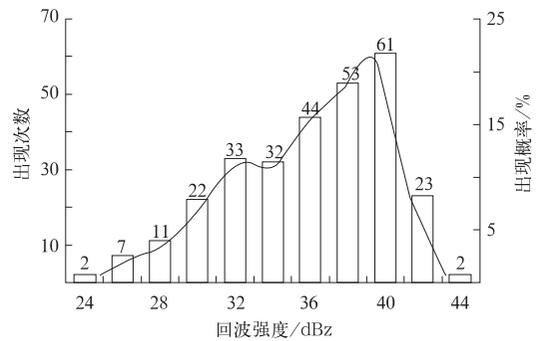


图 5 北京 2010 年 4—9 月亮带回波强度最大值概率分布图

Fig. 5 Probability distribution of the maximum of bright band echo intensity in Beijing from April to September 2010

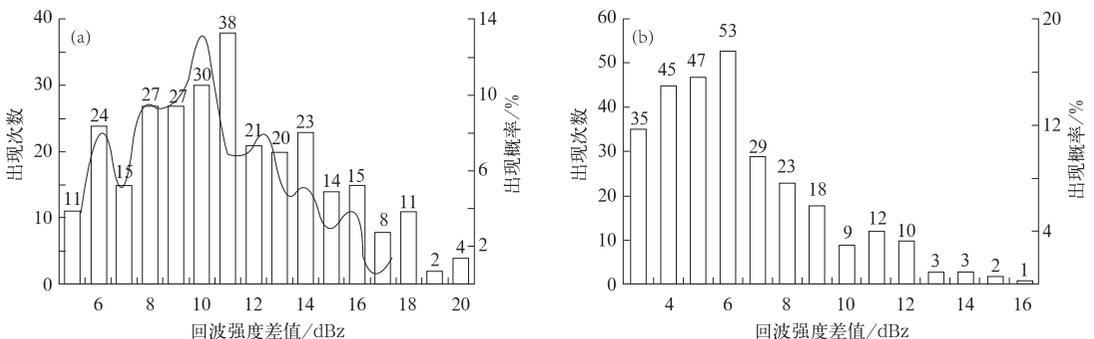


图 6 北京 2010 年 4—9 月亮带边界回波强度与最大值差值概率分布图

(a) 上半边界回波强度与最大值差值, (b) 下半部分回波强度与最大值差值

Fig. 6 Probability distribution of the difference between boundary value and the maximum of bright band echo intensity in Beijing from April to September 2010

(a) upper-part difference, (b) lower-part difference

间,共有 252 次,占了 86.9%, $4\sim 5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  出现的概率最高,289 次亮带中出现了 79 次,概率为 27.2%,其次为  $3\sim 4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,概率为 25.9%,上下边界速度的差值是由于冰晶粒子进入融化层以后,冰框架瓦解,融为球形水滴造成的速度迅速增大导致的。速度差值大于  $6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  的概率迅速减小,不超过 10%。

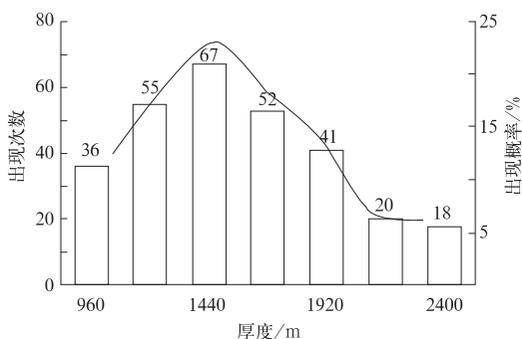


图 7 北京 2010 年 4—9 月亮带厚度概率分布图

Fig. 7 Probability distribution of thickness of bright band in Beijing from April to September 2010

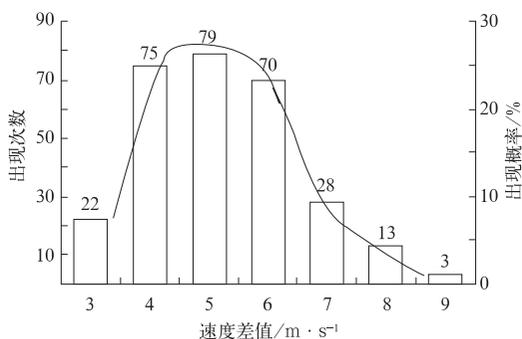


图 8 北京 4—9 月亮带上下边界速度差值概率分布图

Fig. 8 Probability distribution of the difference between upper and lower boundaries of bright band velocity in Beijing from April to September 2010

## 4 结论和讨论

(1) 北京夏季降水较多,降水类型以层状云和混合型为主,出现零度层亮带的可能性大,选择这个时期进行亮带特征统计效果较好。

(2) 对北京的零度层亮带特征进行统计有助于对北京夏季的降水类型有更深入的认识和理解,对北京的降水云类型也有更好把握。

另外,虽然本文对 2010 年夏北京零度层亮带特征进行了统计分析,但对北京延庆地区零度层亮带和降水量之间的影响关系有待于进一步的观测研究。

## 参考文献

曹俊武,刘黎平,陈晓辉. 2006. 3836C 波段双线偏振多普勒雷达及其在一次降水过程中的应用研究. *应用气象学报*, 17(2):192-201.

党娟,王广河,刘卫国. 2009. 甘肃省夏季层状云微物理特征个例分析. *气象*, 35(1):24-36.

高茜,王广河,史月琴. 2011. 华北层状云系人工增雨两个例数值研究. *气象*, 37(10):1241-1251.

罗俊颖,贺文彬,李金辉,等. 2012. 2003 年春季陕西省层状云降水的雨滴谱特征. *气象*, 38(9):1129-1134.

阮征,葛润生,吴志根. 2002. 风廓线仪探测降水云体结构方法的研究. *应用气象学报*, 13(3):330-338.

王晓蕾,阮征,葛润生. 2010. 风廓线雷达探测降水云体中雨滴谱的试验研究. *高原气象*, 29(2):498-505.

王扬锋,雷恒池,樊鹏. 2007. 一次延安层状云微物理结构特征及降水机制研究. *高原气象*, 26(2):388-395.

辛乐,姚展予. 2011. 一次积层混合云飞机播云对云微物理过程影响效应的分析. *气象*, 37(2):194-202.

于丽娟,姚展予. 2009. 一次层状云飞机播云试验的云微物理特征及响应分析. *气象*, 35(10):8-24.

仲凌志,刘黎平,顾松山. 2007. 层状云和对流云的雷达识别及在估测雨量中的应用. *高原气象*, 26(3):593-602.

Arai K, Saka M, Seto K. 2006. Bright band height assignment with precipitation radar data based on multi-resolution analysis (MRA) of wavelet analysis. *Space Research*, 37:2197-2201.

Battaglia A, Kummerow C. 2003. Constraining microwave brightness temperatures by radar bright band observations. *J Atmos Ocean Tech*, 20:856-871.

Byers H R, Coons R D. 1947. The "bright line" in radar cloud echoes and its probable explanation. *J Meteor*, 4(3):75-81.

Cha Joo-Wan, Chang Ki-Ho. 2009. Comparison of the bright band characteristics measured by micro rain radar (MRR) at a mountain and a coastal site in south Korea. *Atmos Sci*, 26(2):211-221.

Jonathan J G, Chris M Calvert. 2003. Automated detection of the bright band using WSR-88D data. *Weather and Forecasting*, 585-599.

Narayana Rao T, Kirankumar N V P. 2008. Classification of tropical precipitating systems using wind profiler spectral moments. *J Atmos Ocean Tech*, 25:884-897.

White A B, Daniel J G. 2002. An automated bright band height detection algorithm for use with Doppler radar spectral moments. *J Atmos Ocean Tech*, 19:687-697.

Williams C R. 2002. Simultaneous ambient air motion and raindrop size distributions retrieved from UHF vertical incident profiler observations. *Radio Science*, 37(2):1024-1029.

Zhang J, Carrie L. 2008. Brightband identification based on vertical profiles of reflectivity from the WSR-88D. *J Atmos Ocean Tech*, 1859-1871.