

蒋年冲,胡雯,邵洋,等. 安徽大别山一次强降雨雪天气过程降水粒子特征分析[J]. 气象,2010,36(6):79-84.

# 安徽大别山一次强降雨雪天气过程降水粒子特征分析<sup>\* 1</sup>

蒋年冲<sup>1</sup> 胡雯<sup>2</sup> 邵洋<sup>1</sup> 周述学<sup>1</sup>

1 安徽省人工影响天气办公室,合肥 230031

2 安徽省气象局,合肥 230031

**提 要:** 通过对降水粒子特征研究,以便探讨云、降水的形成机制。利用一台安装在安徽大别山区潜山县气象局楼顶无障碍平台上,德国 OTT 公司生产的 Parsivel 激光降水粒子测量系统所获取的 2008 年 1 月 26—28 日强降雨雪天气过程的 2540 份资料,对不同降水类型的粒子数浓度及其谱分布、下落速度及其谱分布进行了特征分析。结果表明:(1) 这次强降雨雪天气过程中不同降水类型降水粒子中雨夹雪平均数浓度最大,每分钟可达 589 个;雨最小,为每分钟 255 个。(2) 雪与冻雨的数浓度是双峰型,其他降水的数浓度都是单峰型。(3) 不同类型降水粒子尺度谱主要出现在直径为 0.125~1.00 mm 之间。谱最宽的是雪,最窄的是毛毛雨。整个过程的平均谱分布都是单峰型,但峰值却有所不同。(4) 整个过程不同降水类型降水粒子的最大下落速度主要集中在 1.0~4.8 m·s<sup>-1</sup> 段。在此段中毛毛雨、毛毛雨与雨、雨、雨夹雪、冻雨和雪的粒子数分别占各自粒子总数的 98.68%、98.46%、97.72%、94.79%、93.69%,和 85.83%。(5) 不同类型降水粒子平均速度谱中雨和雨夹雪的谱最宽,最大落速可达 9.6 m·s<sup>-1</sup>,毛毛雨最窄,最大落速只有 5.6 m·s<sup>-1</sup>;其他大体相当。在整个过程中不同类型降水粒子平均速度谱都是单峰型,但峰值所处的位置却有较大差异。

**关键词:** 强降雨雪过程,降水粒子,谱分布

## Analysis of Characteristics of Precipitation Particle on Heavy Rain-Snow Process in Dabie Mountain in Anhui Province

JIANG Nianchong<sup>1</sup> HU Wen<sup>2</sup> SHAO Yang<sup>1</sup> ZHOU Shuxue<sup>1</sup>

1 Anhui Weather Modification Office, Hefei 230031

2 Anhui Meteorological Bureau, Hefei 230031

**Abstract:** The cloud and precipitation mechanism could be studied by investigating the characteristics of precipitation particle. Characteristic analysis of particle concentration, falling velocity as well as their spectrum distribution in different precipitation patterns was made according to 2540 sharing data during 26—28 January 2008 observed by OTT Parsivel laser precipitation particle measuring system installed at the top unobstructed platform of the building of Anhui Qianshan Meteorological Station near Dabie Mountains. The results have shown: (1) During the snowstorm, the average number concentration is the largest in the case of sleet, up to 589 per min, and the least is in rain, only 255 per min. (2) The concentrations of snow and freezing rain exhibit a form of double peak, other forms of precipitation are in single peak. (3) Different precipitation particle sizes mainly lay between 0.125—1.00 mm, with the widest spectrum being snow, and the narrowest being drizzle. The mean spectrum of each form of precipitation has a single peak with different peak values. (4) The maximum falling velocity of each form of precipitation is primarily concentrated within 1.0—4.8 m·s<sup>-1</sup>, 98.68% in drizzle, 98.46% in drizzle with rain, 97.72% in rain, 94.79% in sleet, 93.69% in freezing rain, while 85.83% in snow. (5) The widest mean velocity spectra are in rain

\* 中国气象局《国家级人工影响天气决策指挥系统维持项目》;十一五国家科技支撑计划《人工影响天气关键技术与装备研发》编号:2006BAC12B00;国家自然科学基金项目(编号 40675001)共同资助

2008 年 11 月 5 日收稿; 2009 年 10 月 18 日收修定稿

第一作者:蒋年冲,主要从事大气物理和人工影响天气工作. Email:jncong@sina.com

and sleet, and the maximum velocity could be up to  $9.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . The narrowest velocity spectrum is in drizzle, with its maximum being  $5.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Other velocity spectra appear generally similar. The mean velocity spectrum of each form of precipitation has a single peak, but their peak positions are different each other. These results provide reference for the investigation on mechanism of icy rain and snow weather, and also provide theoretic basis for weather modification.

**Key words:** heavy rain-snow process, precipitation particle, spectrum distribution

## 引 言

2008年1月下旬,受冷空气影响,安徽大别山区出现了3场强雨雪天气过程,持续时间之长,为50年一遇。全国积雪深度最深的地区集中在安徽省大别山区,其中大别山区的金寨县、潜山县积雪深度分别为54 cm、39 cm。长时间积雪、冰冻给该地区交通、电力、通信、人民生活等方面造成严重影响,工农业损失惨重。

研究不同降水云的微物理特征,尤其是强雨雪天气过程的云和降水的物理特征将有助于改进天气预报并提高预报天气的能力,也可为人工影响天气提供理论依据。降水是云微物理过程、云动力学过程以及其他许多因素综合作用的结果,研究降水物理特征及降水形成机制,必须将宏观过程和微观过程结合,降水粒子观测是微观云降水物理的重要内容之一。深入研究降水粒子特征,对于更清楚地认识降水的发展演变过程,揭示云中的降水机制,具有重要的现实意义。

我国从20世纪60年代就开始在地面对雨滴谱进行观测和研究<sup>[1-2]</sup>。20世纪80年代,卞礼智等、蒋年冲等、陈万奎等、陈德林等利用滤纸色斑法对这项工作进行了较深入研究<sup>[3-6]</sup>。由于该方法的条件限制,对地面雨滴谱不能进行连续观测研究。20世纪90年代至21世纪初期,李淑日<sup>[7]</sup>、党娟等<sup>[8]</sup>、于丽娟等<sup>[9]</sup>利用飞机粒子探测仪分别对甘肃、西北地区以及河南层状云的微物理特征进行了分析总结;刘红燕等利用DISDROMETER测雨仪,对北京2004年45次降水过程的雨滴谱进行了研究<sup>[10]</sup>;宫福久等、陈宝君等、张云峰等、袁成等、石爱丽等利用美国PMS公司生产的GBPP-100型地面雨滴谱仪的连续观测资料,对不同地区、不同降水类型的雨滴谱分布形式分类分析,进而分析降水特征和形成机制,使得该项研究工作更加深入<sup>[11-15]</sup>。GBPP-100型地面雨滴谱仪,虽然解决了地面雨滴谱连续观测

问题,但不能解决对多种降水粒子观测。21世纪初,德国OTT公司生产的Parsivel激光降水粒子测量系统,可以较好解决降水过程中多种降水粒子自动测量难题。目前国内外已有了应用方面的报告<sup>[16-17]</sup>。

该仪器是以激光为基础的新一代高级光学粒子测量器及气象传感器,可同时测量降水中所有液态和固态粒子的尺度和速度,并根据各种参数的综合信息对降水粒子进行分类。水汽凝结体在测量区域下降的过程中会导致检测射线亮度的变化,其数字处理系统会计算出降水粒子的大小、数量和速率。它在测量各种类型降水的降水量、颗粒大小和速率时可以分辨出降雨类型,如毛毛雨、雨、雪、冻雨、冰雹及其混合降水,并按美国国家海洋局天气代码对其进行分类,为各种天气状况下的降水过程提供了降水类型和强度等报告。它的一体化加热装置可以把冰冻天气对仪器表面的负面影响降到最低,在恶劣户外天气中仍可对多种降水粒子进行自动测量。

2008年1月下旬,安徽大别山区出现了3场强雨雪天气过程,由于强雨雪天气过程含有多种降水粒子,国内外对其微物理特征研究的还很少。本文利用1月26—28日Parsivel降水粒子测量系统取得的一套完整资料,对降水粒子特征进行初步分析。

## 1 天气条件概述

分析1月下旬末500 hPa位势高度场可知这次天气过程的形势及其演变是:“北脊南槽”为持续低温雨雪冰冻过程提供了稳定的环流背景。此次持续过程的低温、雨雪、冰冻也正是在稳定的“北脊南槽”形势下,冷暖气流在大别山区持续交汇的结果。分析1月下旬低层925 hPa平均水平风场和温度场,可以看到在青藏高原的阻挡作用下,中高纬度西路冷空气自西北方向沿着河西走廊从高原东北侧频繁南下,低于 $0^\circ\text{C}$ 的区域已越过长江,大别山区上空已受东北风控制(图略)。另外,计算850 hPa水汽通

量及其散度分布得出,热带地区水汽输送异常明显,主要的水汽通道有两个,一个是来自孟加拉湾经中南半岛的西南气流水汽通道,另一条是来自南海的水汽通道。受到活跃的南支槽槽前西南气流和稳定偏强的副高西侧的偏南气流共同影响,孟加拉湾和南海地区的暖湿水汽源源不断地往北到东北方向输送,使得暖湿水汽与北方冷空气持续在南方地区交汇;而在冷暖交汇区上空,暖湿气流位于上部,对流层中低层(700 hPa 以下)持续出现了大范围强烈而稳定的逆温层,导致了我国中东部地区大范围雨雪发生。分析大别山区各层温度也得出,从地面到850 hPa,温度逐渐下降,即850 hPa到近地面为冷盖,再往上850~700 hPa为逆温层,这种温度垂直分布导致该地区持续降雪。

## 2 资料来源与处理方法

统计分析资料主要是利用一台安装在安徽大别山区潜山县气象局楼顶无障碍平台上的 Parsivel 激光降水粒子测量系统获取的资料。资料设定为1分钟一个记录(即一个样本),记录有天气现象、粒子数浓度、下落速度、粒子谱分布等。

2008年1月26—28日这次强降雨雪过程,共取得资料2540份。根据仪器所记录的天气现象并与测站地面观测资料比对,将这些资料进行分类,得出:毛毛雨,400份;毛毛雨与雨,469份;雨,258份;雨夹雪,381份;雪,729份;冻雨,303份;然后对分类后的资料进行分析、计算。

## 3 暴雪过程的不同降水粒子特征分析

降水粒子的物理特性是云内动力过程和微物理过程的综合体现。观测降水粒子并分析其微物理特征,对进一步了解自然降水的微物理过程,研究其成云至雨机制,评估人工影响降水条件、检验效果以及为数值模拟提供科学依据有着重要作用。

### 3.1 不同类型降水粒子总数浓度特征

将不同类型的降水粒子不分大小求和,再求各自的平均值。图1给出了不同降水类型粒子总数浓度的平均特征。从图中可以看出:雨夹雪平均数浓度最大,每分钟可达589个;其次是毛毛雨加雨,每分钟为423个;雪、冻雨大致相当,分别为每分钟

331个、301个;毛毛雨每分钟为265个;雨最小,为每分钟255个。此外,将得出的不同类型的降水粒子数浓度的平均值和实测的数浓度绝对极大值、绝对极小值列于表1。

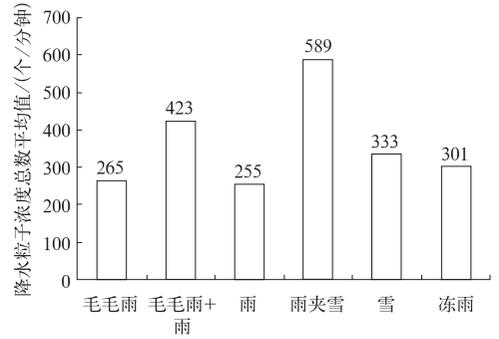


图1 不同降水类型粒子总数浓度平均值分布图

Fig. 1 Histogram of the total particle number concentrations in different precipitation types

表1 不同降水类型降水粒子数值

Table 1 Precipitation particle number concentrations in different precipitation types

降水类型	样本数	平均值/ 个·min <sup>-1</sup>	绝对极大值/ 个·min <sup>-1</sup>	绝对极小值/ 个·min <sup>-1</sup>
毛毛雨	400	265	1017	6
毛毛雨与雨	469	423	1904	4
雨	258	255	780	5
雨夹雪	381	589	1831	10
雪	729	333	6386	7
冻雨	303	301	1703	5

从表1中可以看出:毛毛雨、毛毛雨与雨、雨夹雪、雪和冻雨数浓度的绝对极大值与平均值有量级的差异,而雨只有倍数之差。这表明在整个降水过程中,气象条件是相当复杂的。从数浓度绝对极大值和数浓度绝对极小值可以看出,两者有 $10^2 \sim 10^3$ 的差异,这说明在整个降水过程中阵性是比较强烈。

### 3.2 不同类型降水粒子数浓度特征

降水粒子数浓度是云雾过程的最终产物,通过降水粒子数浓度观测,可以进一步了解自然降水的物理过程;同时也提供了研究降水瞬时变化的方法,对云雾降水物理研究、大气遥感探测、大气污染研究等都具有一定的意义。图2给出了不同类型降水粒子不同尺度平均数浓度分布情况。

从图2中可以看出:毛毛雨、毛毛雨与雨、雨、雨夹雪的数浓度都是单峰型,浓度峰值集中出现在粒子测量通道的第4通道,其峰值直径最大为0.50 mm。

雪与冻雨的数浓度是双峰型,峰值分别出现在粒子测量通道的第 5 通道和第 11 通道,即数浓度峰值直径最大为 0.625 mm 和 1.50 mm。

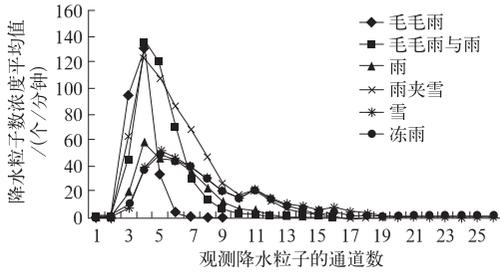


图 2 不同类型降水粒子平均数浓度分布图  
Fig. 2 Average particle number concentration versus particle channel in different precipitation types

### 3.3 不同类型降水粒子谱分布特征

观测表明,不同的降水类型,其降水的粒子谱分布有较大的差别。图 3 给出了这次强雨雪天气过程中不同类型降水粒子谱的平均分布特征。

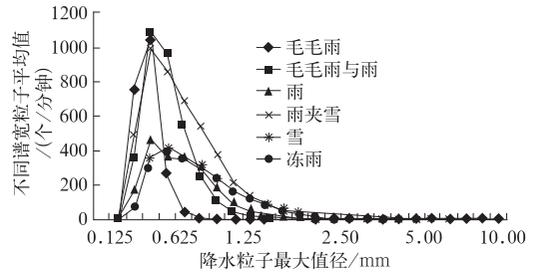


图 3 不同类型降水粒子平均谱分布图  
Fig. 3 Average size distributions of precipitation particle in different precipitation types

从图 3 中可以看出:不同类型降水粒子尺度谱主要出现在直径为 0.125~1.00 mm 之间。谱最宽的是雪,最大粒子直径达 9.00 mm;冻雨次之,最大粒子直径为 7.00 mm;毛毛雨的谱最窄,最大粒子直径只有 1.25 mm,约是雪的 1/7、冻雨的 1/6。

从图 3 中还可以看出:这次强雨雪天气过程中,不同降水类型的平均谱分布都是单峰型,但峰值却有所不同,毛毛雨、毛毛雨与雨、雨、雨夹雪的谱峰值

表 2 各类降水粒子在不同下落速度下的分布特征

Table 2 Distributions of the dropping velocity of different precipitation particles

粒子速度 观测通道数	粒子最大下落 速度/m·s <sup>-1</sup>	不同大小下落速度粒子总数/个					
		毛毛雨(400)	毛毛雨与雨(469)	雨(258)	雨夹雪(381)	雪(729)	冻雨(303)
1	0.1	0	0	0	0	23	3
2	0.2	7	1	0	1	85	13
3	0.3	7	5	4	12	370	71
4	0.4	7	22	6	37	972	160
5	0.5	21	55	15	133	2268	348
6	0.6	44	164	42	400	4134	605
7	0.7	156	374	104	889	6458	980
8	0.8	301	691	161	1560	9141	1390
9	0.9	621	1099	316	2369	11855	1930
10	1.0	1048	1620	482	3457	14011	2431
11	1.1	3942	5058	1636	10588	32697	6353
12	1.4	6999	8022	2826	14215	33163	7105
13	1.6	10559	11478	3836	15654	30342	7490
14	1.8	12397	14544	4332	15787	24796	8044
15	2.0	12780	16562	4734	15842	19417	8337
16	2.4	23253	36447	10386	32407	26319	16630
17	2.8	16684	35922	11211	31753	14000	13569
18	3.2	9581	30894	9939	27771	7329	8618
19	3.6	3021	15795	6342	18169	2897	3746
20	4.0	2917	11835	4931	14320	1594	1959
21	4.8	1517	7673	3790	12745	836	1154
22	5.6	229	579	610	3587	130	204
23	6.4	11	60	171	1500	28	39
24	7.2	/	13	49	649	4	10
25	8.0	/	2	19	255	/	1
26	9.6	/	/	5	54	/	/
27	11.2	/	/	/	2	/	/
最大落速 1.0~4.8 的粒子 占总数的百分比/%		98.68	98.46	97.72	94.79	85.83	93.69

\* 括号内数字为此类降水样本数

均出现在 0.50 mm;而雪与冻雨的谱峰值则出现在 0.625 mm 处。这与梅雨锋暴雨的雨滴谱 80% 为多峰型有很大的差别<sup>[4]</sup>。

### 3.4 不同类型降水粒子下落速度特征

降水粒子的下落速度不仅与粒子的大小、形状有关,而且也与气象的因子,诸如风速、湍流、降水强度等有关。表 2 给出了这次强降雨雪天气过程中降水粒子不同下落速度下的数分布特征。

从表 2 可以看出:粒子的最大下落速度主要集中在 1.0~4.8 m·s<sup>-1</sup> 段。在此下落速度段中毛毛雨、毛毛雨与雨、雨、雨夹雪和冻雨的粒子数分别占各自粒子总数的 98.68%、98.46%、97.72%、94.79% 和 93.69%,而雪只占到 85.83%。此外,毛毛雨、毛毛雨与雨、雨夹雪和冻雨粒子的下落速度峰值均出现在粒子的第 16 观测通(即最大下落速度为 2.4 m·s<sup>-1</sup>)处;雨则出现在 2.8 m·s<sup>-1</sup> 处;而雪下落速度峰值分别在 1.4 m·s<sup>-1</sup> 和 2.4 m·s<sup>-1</sup> 处。

### 3.5 不同类型降水粒子平均速度谱特征

图 4 给出了这次暴雪过程中不同类型降水粒子平均速度谱特征。

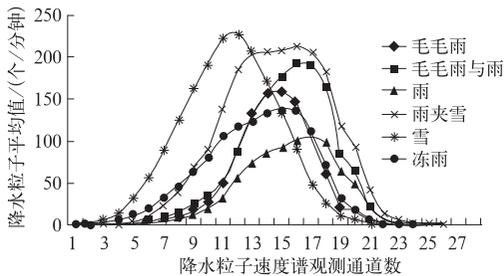


图 4 不同降水类型降水粒子平均速度谱分布图

Fig.4 Average spectral distributions of precipitation particle in different precipitation types

从图 4 可以看出:降水粒子平均速度谱中雨和雨夹雪最宽,最大达到 9.6 m·s<sup>-1</sup>,冻雨次之;毛毛雨最窄,最大达到 5.6 m·s<sup>-1</sup>;其他两者大体相当。在这次强降雨雪天气过程中降水粒子平均速度谱都是单峰型,但峰值所处的位置却有较大差异。毛毛雨和冻雨峰值出现在第 15 速度观测通道,即下落速度在 1.8~2.0 m·s<sup>-1</sup> 之间;毛毛雨加雨和雨夹雪则出现在第 16 速度观测通道(下落速度为 2.0~2.4 m·s<sup>-1</sup>);雪在第 14 速度观测通道(下落速度为 1.6~1.8 m·s<sup>-1</sup>);雨在第 17 速度观测通道(下落速度为

2.4~2.8 m·s<sup>-1</sup>)。

## 4 结 语

根据对强降雨雪天气过程降水粒子特征分析得出以下主要结论:

(1) 这次强降雨雪天气过程中降水粒子平均数浓度最大为雨夹雪,每分钟可达 589 个;雨最小,为每分钟 255 个。毛毛雨、毛毛雨与雨、雨夹雪、雪和冻雨数浓度的绝对极大值与平均值有量级的差异,雨仅倍数之差。表明在整个降水过程中,气象条件是相当复杂的。从数浓度绝对极大值和数浓度绝对极小值的差异中也可说明在整个降水过程阵性比较强烈。

(2) 毛毛雨、毛毛雨与雨、雨、雨夹雪的数浓度都是单峰型,其峰值直径最大为 0.50 mm。雪与冻雨的数浓度是双峰型,数浓度峰值分别出现在直径最大为 0.625 mm 和 1.50 mm 处。

(3) 不同类型降水粒子尺度谱主要出现在直径为 0.125~1.00 mm 之间。谱最宽的是雪,最大粒子直径达 9.00 mm;冻雨次之,最大粒子直径为 7.00 mm;毛毛雨的谱最窄,最大粒子直径只有 1.25 mm,约是雪的 1/7、冻雨的 1/6。

这次强降雨雪过程不同降水类型的平均谱分布都是单峰型,但峰值却有所不同。这与梅雨锋暴雨的雨滴谱分布有很大的差别。

(4) 这次强降雨雪天气过程降水粒子的最大下落速度主要集中在 1.0~4.8 m·s<sup>-1</sup> 段。在此下落速度段中毛毛雨、毛毛雨与雨、雨、雨夹雪和冻雨的粒子数分别占各自粒子总数的 98.68%、98.46%、97.72%、94.79% 和 93.69%,雪只占到 85.83%。

(5) 不同类型降水粒子平均速度谱中雨和雨夹雪的谱最宽,最大落速达到 9.6 m·s<sup>-1</sup>,冻雨次之;毛毛雨最窄,最大只有 5.6 m·s<sup>-1</sup>;其他两者大体相当。这次强降雨雪天气过程降水粒子平均速度谱都是单峰型,但峰值所处的位置却有较大差异。

(6) 这次强降雨雪天气过程中,降水粒子均没有观测到小于 1.25 mm 的,这可能与该仪器的探测精度有关。

**致谢:** 解放军理工大学气象学院濮江平教授提供了探测仪器和技术指导,安徽省潜山气象局提供了观测场地和有关气象资料,在此表示感谢。

## 参考文献

- [1] 阮忠家. 泰山两次雷雨云降水微结构的一些特征[C]. 中国科学院地球物理研究所集刊(第 10 号),“我国云雾降水微物理特征的研究”. 北京:科学出版社,1965:49-61.
- [2] 何珍珠. 泰山一次雷雨雨滴谱观测结果 [C]. 中国科学院地球物理研究所集刊(第 10 号),“我国云雾降水微物理特征的研究”. 北京:科学出版社,1965:69-71.
- [3] 卞礼智,邢克溥,蒋年冲,等. 一次梅雨锋降水的雨滴谱分析[J]. 南京气象学院学报,1984,(1):36-45.
- [4] 蒋年冲,卞礼智,邢克溥. 梅雨锋暴雨的雨滴谱分析[J]. 气象,1986,12(5):6-10.
- [5] 陈万奎,严采繁. 雨滴谱及其特征值水平分布的个例分析[J]. 气象,1989,14(1):8-11.
- [6] 陈德林,谷淑芳. 大暴雨雨滴平均谱的研究[J]. 气象学报,1989,47(1):124-127.
- [7] 李淑日. 西北地区云和降水微物理特征个例分析[J]. 气象,2006,32(8):59-63.
- [8] 党娟,王广河,刘卫国. 甘肃省夏季层状云微物理特征个例分析[J]. 气象,2009,35(1):24-36.
- [9] 于丽娟,姚展予. 一次层状云飞机播云试验的云微物理特征及响应分析[J]. 气象,2009,35(10):8-24.
- [10] 刘红燕,陈洪滨,雷恒池等. 利用 2004 年北京雨滴谱资料分析降水强度和雷达反射率因子的关系[J]. 气象学报,2008,66(1):125-129.
- [11] 宫福久,刘吉成,李子华. 三类降水云雨滴谱特征研究[J]. 大气科学,1997,21(5):607-614.
- [12] 陈宝君,李子华,刘吉成. 三类降水云雨滴谱分布模式[J]. 气象学报,1998,56(4):506-512.
- [13] 张云峰,黄建平,朱彬. 哈尔滨地区雨滴直径分布函数[J]. 南京气象学院学报,2001,24(4):505-511.
- [14] 袁成,樊玲,李亚滨. 哈尔滨地区春夏季降水微结构特征 [J]. 南京气象学院学报,2001,24(2):250-257.
- [15] 石爱丽,郑国光,黄庚,等. 2002 年秋季河南省层状云降水的雨滴谱特征[J]. 气象,2004,30(8):12-17.
- [16] 濮江平,赵国强,蔡定军,等. Parsivel 激光降水粒子谱仪及其在气象领域的应用[J]. 气象与环境科学,2007,30(2):3-7.
- [17] Sandrae E Yuter, Davide E Kingsmill, Louisa B Nance, et al. Observations of precipitation size and fall speed characteristics within coexisting rain and wet snow[J]. Journal of Applied Meteorology and Climatology,2006,45:1450-1463.