

# 韩国平昌地区降雪微物理特征

于田甜 肖辉

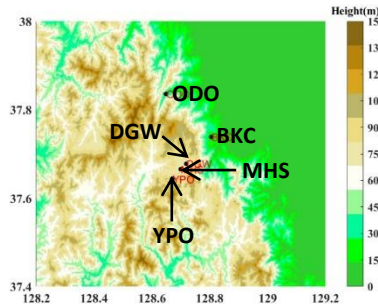
中国科学院云降水物理与强风暴重点实验室

## 1. 引言

降雪微物理特征是冬季云热力、动力和微物理过程的综合反映。通过对降雪粒子密度、尺度分布和降雪强度特征的观测研究对理解降雪形成机理和提高雷达定量反演降雪分布及数值预报水平具有重要的意义，同时可为开展人工降雪作业提供重要的理论依据。

## 2. 仪器与数据集

本文所用的资料来自韩国平昌冬奥会（ICE-POP 2018）期间在2017-2018年间收集的数据集。Parsivel<sup>2</sup>粒子谱仪位于三个站点：YPO站、ODO站和DGW站，PIP粒子成像仪位于MHS站和BKC站。



## 3. 降雪微物理参数的分布

雪花的密度 $\rho$ 在估计降雪强度 $S$ 、冰水含量 $IWC$ 以及建立微物理参数与偏振雷达测量量之间联系等方面有重要作用。与雨滴的密度不同，雪花的密度不是一个常数，它取决于各种因素，如降雪类型和地形。图2为雪花微物理参数的频率分布直方图， $\rho$ 的平均值为 $0.146 \text{ g cm}^{-3}$ ，其中密度为 $0.05\text{-}0.1 \text{ g cm}^{-3}$ 的频率最高，约为24%。小于 $0.2 \text{ g cm}^{-3}$ 的密度占60%以上，密度越高的频率越小。 $IWC$ 的平均值是 $0.1330 \text{ g m}^{-3}$ ， $S$ 的平均值为 $0.4417 \text{ mm h}^{-1}$ 。

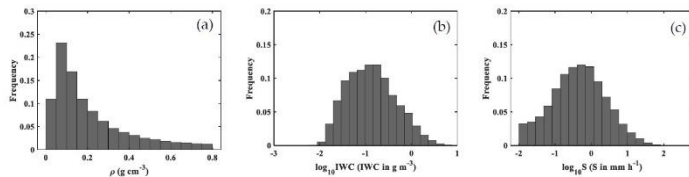


图2 雪花微物理参数分布的直方图：(a) 雪的密度 $\rho$  ( $\text{g cm}^{-3}$ )；(b) 冰水含量 $IWC$  ( $\text{g m}^{-3}$ )， $\log_{10}IWC$ ；(c) 降雪强度 $S$  ( $\text{mm h}^{-1}$ )， $\log_{10}S$

图3为雪花粒子数密度参数 $N_w$  ( $\log_{10}N_w$ )与等效直径 $D_m$ 的散点图， $\log_{10}N_w$ 与 $D_m$ 的分布范围很广， $\log_{10}N_w$ 主要位于 $0.6 - 6.1$ ， $D_m$ 位于 $0.3 - 19 \text{ mm}$ ， $D_m$ 大多数点集中在 $0.5 - 6.5 \text{ mm}$ 区域内， $\log_{10}N_w$ 大多数点是集中在 $2.8 - 5.6$ 区域内。图4给出了拟合得到的韩国平昌地区降雪强度 $S$ 与冰水含量 $IWC$ 之间的幂指数关系 $S = 7.6081 \times IWC^{1.2626}$ ，及 $\rho$ 与 $D_m$ 在不同的区间内的幂函数关系。

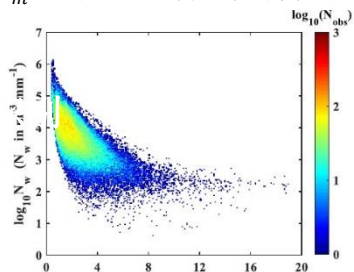


图3. 所有降雪个案中 $\log_{10}N_w$ 与 $D_m$ 的散点密度图

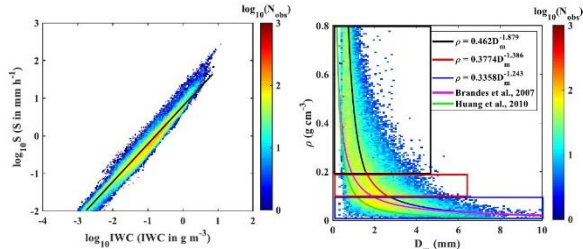
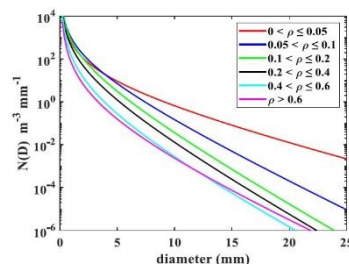


图4. (a)  $S$ 和 $IWC$ 的散点密度图，黑线是拟合曲线；(b)  $D_m$ 与 $\rho$ 之间的散点图及不同密度区间内 $\rho$ - $D_m$ 幂函数拟合曲线

## 4. 不同雪花密度的平均粒子谱特征

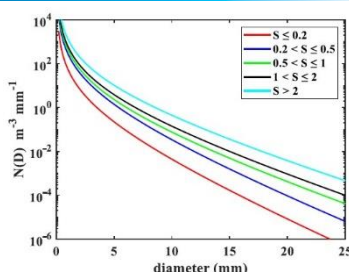
将雪花密度分为6个区间： $0 < \rho \leq 0.05 \text{ g cm}^{-3}$ ， $0.05 < \rho \leq 0.1 \text{ g cm}^{-3}$ ， $0.1 < \rho \leq 0.2 \text{ g cm}^{-3}$ ， $0.2 < \rho \leq 0.4 \text{ g cm}^{-3}$ ， $0.4 < \rho \leq 0.6 \text{ g cm}^{-3}$ 和 $\rho > 0.6 \text{ g cm}^{-3}$ 。 $D_m$ 随雪花密度的增加而减小，而 $\log_{10}N_w$ 和斜率参数 $\mu$ 随雪花密度的增加而增大，谱型随着雪花密度的增加而变窄。



Density ( $\text{g cm}^{-3}$ )	No. of Samples	$D_m$ (mm)	$\log_{10}N_w$ ( $N_w$ in $\text{m}^{-3}\text{mm}^{-1}$ )	$\mu$
$0 < \rho \leq 0.05$	7683	4.4961	3.1277	0.6635
$0.05 < \rho \leq 0.1$	16,310	2.8786	3.6187	0.4665
$0.1 < \rho \leq 0.2$	19,594	2.2275	3.7387	0.4884
$0.2 < \rho \leq 0.4$	16,097	1.7091	3.8635	0.9272
$0.4 < \rho \leq 0.6$	6799	1.2663	3.9888	1.9253
$\rho > 0.6$	3894	1.0627	4.0082	3.3837

## 5. 不同降雪强度的平均粒子谱特征

将降雪强度 $S$ 分为五类： $S \leq 0.2 \text{ mm h}^{-1}$ ， $0.2 < S \leq 0.5 \text{ mm h}^{-1}$ ， $0.5 < S \leq 1.0 \text{ mm h}^{-1}$ ， $1.0 < S \leq 2.0 \text{ mm h}^{-1}$ ，和 $S > 2 \text{ mm h}^{-1}$ ，得到各区间内雪粒子谱分布及Gamma分布参数。随着降雪强度的增大，雪花粒子谱变宽，同时， $D_m$ 和 $\log_{10}N_w$ 增大， $\mu$ 减小。



$S$ ( $\text{mm h}^{-1}$ )	No. of Samples	$D_m$ (mm)	$\log_{10}N_w$ ( $N_w$ in $\text{m}^{-3}\text{mm}^{-1}$ )	$\mu$
$S \leq 0.2$	11,192	1.3051	3.6499	2.2676
$0.2 < S \leq 0.5$	17,458	1.6050	3.7050	1.2885
$0.5 < S \leq 1.0$	13,734	1.9254	3.7684	0.8777
$1.0 < S \leq 2.0$	11,307	2.1615	3.7661	0.4709
$S > 2$	16,686	2.7693	3.8013	0.0058

## 6. 结论

本文的研究结果使我们加深了对东亚沿海地区降雪的微物理特征的理解，研究获得如下主要结论

- (1) 超过一半的降雪个案中雪花的密度小于 $0.2 \text{ g cm}^{-3}$ ，降雪强度与冰水含量的关系可以表示为幂函数，拟合出每个密度区间内密度和粒径之间的幂函数关系能够很好地描述两者之间的关系；
- (2) 降雪粒径 $D_m$ 随雪花密度 $\rho$ 的增加而减小，而 $\log_{10}N_w$ 和 $\mu$ 随雪花密度的增大而增大，谱型随着雪花密度的增大而变窄；
- (3) 随着降雪强度的增大，雪花粒子谱变宽， $D_m$ 和 $\log_{10}N_w$ 增大，而 $\mu$ 则减小。

## 参考文献

Yu Tiantian, V. Chandrasekar, Hui Xiao\*, and Shashank S. Joshil. Characteristics of snow particle size distribution in the PyeongChang region of South Korea[J]. Atmosphere, 2020, 11(10), 1093.  
 Yu Tiantian, V. Chandrasekar, Hui Xiao\*, and Shashank S. Joshil. Snowfall estimation using dual-wavelength radar during the PyeongChang 2018 Olympics and Paralympic winter games[J]. J. Meteor. Soc. Japan, 2021, 99, 67-77.