

Analysis of the Radar Z-I Relationship for Lhünzê County, Shannan Based on Observations of Raindrop Size Distribution

Yongli Dou¹ Ci Zhen^{1*} Junqing Liu² Baima Quzhen¹ Suolang Quzhen¹

1. Meteorological Information Network Center of Tibet Autonomous Region, Xizang, Lhasa, 850000, China

2. Weather Modification Center of the Tibet Autonomous Region, Xizang, Lhasa, 850000, China

Abstract

This study, based on data from a disdrometer at the meteorological station in Longzi County, Shannan City, Tibet, analyzed the radar Z-I relationship in the region. The research found that precipitation in Longzi can be categorized into three types: stratiform, mixed, and convective clouds. Mixed-cloud precipitation is the predominant type, accounting for 83.6% of total precipitation, followed by convective cloud precipitation at 16.1%. The fitted Z-I relationship for Longzi precipitation overall was $Z = 197.8 I^{1.687}$. The specific relationships for each type were: $Z = 302.8 I^{1.581}$ for convective cloud precipitation, $Z = 220.6 I^{1.367}$ for stratiform cloud precipitation, and $Z = 186.5 I^{1.7}$ for mixed-cloud precipitation. Given the limited sample size of convective cloud precipitation, which lacks representativeness, and considering that mixed-cloud precipitation is the primary type in Longzi, the Z-I relationship for mixed-cloud precipitation is recommended for operational radar-based precipitation estimation.

Keywords

Longzi; Raindrop spectrum; Z-I relationship

基于雨滴谱观测的山南隆子县雷达 Z-I 关系分析

豆永丽¹ 次珍^{1*} 刘俊卿² 白玛曲珍¹ 索朗曲珍¹

1. 西藏自治区气象信息网络中心, 中国·西藏 拉萨 850000

2. 西藏自治区人工影响天气中心, 中国·西藏, 拉萨 850000

摘 要

基于西藏山南市隆子县气象站降水现象仪雨滴谱数据, 对山南隆子县雷达 Z-I 关系分析, 研究发现隆子降水分为层云、混合云降水和对流云降水三类, 混合云降水是隆子降水的主要类型, 其中混合云降水占总降水的 83.6%, 其次是对流云降水占 16.1%。对隆子县降水的 Z-I 关系拟合发现, 隆子降水的雷达 Z-I 关系 $Z = 197.8 I^{1.687}$, 其中对流云降水 Z-I 关系分别为 $Z = 302.8 I^{1.581}$, 层云降水结果为 $Z = 220.6 I^{1.367}$, 混合云降水结果为 $Z = 186.5 I^{1.7}$ 。鉴于对流云降水的样本较少, 缺乏一定的代表性, 而混合云降水是隆子的主要降水类型, 因此混合云降水 Z-I 关系可以用于雷达降水估测业务。

关键词

隆子; 雨滴谱; Z-I 关系

1 引言

雨滴谱观测是云降水物理观测的重要内容, 有助于了解自然降水的微物理特征和云内发生的微物理过程, 对研究成云致雨机理、云数值模拟、雷达定量估测降水以及科学开展人工增雨和作业效果检验等有着非常重要的意义。近年来, 国内外雨滴谱观测和研究迅猛发展, 其成果广泛用于区域降水观测和人工影响天气业务。青藏高原夏季多对流性降

水和混合云降水, 于建宇^[1]研究指出 Γ 拟合适用于青藏高原对流云和混合云雨滴谱分布。在降水机制研究方面, Oue 发现冲绳海域梅雨季节的层云降水带中的对流系统、对流降水带中的对流系统及独立对流单体的微物理特征反映各自的降水机制。杨俊梅^[2]研究指出, 山西汾阳对流云降水中较小粒子对对流云和层状云雨强贡献最大。李娟指出青海玛曲冷雨过程是主要的降水机制, 暖雨过程对降水有一定的贡献。常伟发现那曲对流性降水的大粒子对降水量贡献白天大于夜间, 夜间降水强度主要由小粒子贡献。

雷达定量估测降水基于反射率因子 Z 和降水率 I 的关系, 即经验公式 $Z = A I^b$, 目前业务中的 $Z-I$ 的参数一般为 $A = 300$ 、 $b = 1.4$, 而 A 、 b 的大小同降水粒子谱的分布和降水粒子的落速有关。雨滴谱可检测降水离子的直径和下落速度, 因此雨滴谱特征常常作为反演反射率因子 Z 和降水率 I 的关系

【基金项目】四川省科技厅项目(项目编号: 2024YFHZ0139)气象大数据服务技术(NMIC-2024-ZD08)资助。

【作者简介】豆永丽(1987-), 女, 本科, 中国河南周口人, 从事气象信息技术研究。

的一种重要手段。同时,雨滴谱特征与降水类型和地理位置等多种因素有关,目前,西藏雨滴谱研究始于藏北那曲开展青藏高原科考项目,在藏东南墨脱地区也有研究,而其他地市的雨滴谱研究几乎为空白。因此,需开展高原不同地区的雨滴谱特征、演变规律、微物理机制及谱分布等研究,可为科学开展科学的雷达定量估测降水提供技术支撑。

2 观测设备和资料来源

本研究中雨滴谱资料来自西藏山南市隆子气象站(28.41°N, 92.46°E)的2017-2024年5-9月的DSG5降水现象仪观测。该仪器根据不同降水粒子对激光信号衰减的影响程度,检测降水离子的直径和下落速度,可估算降水量、降水动能和降水类型等等物理量;雨滴可测量范围为0.25~5mm,精度为0.125~0.5mm,每分钟得到一次数据。项目研究中的雨滴谱数据均经过质量控制。

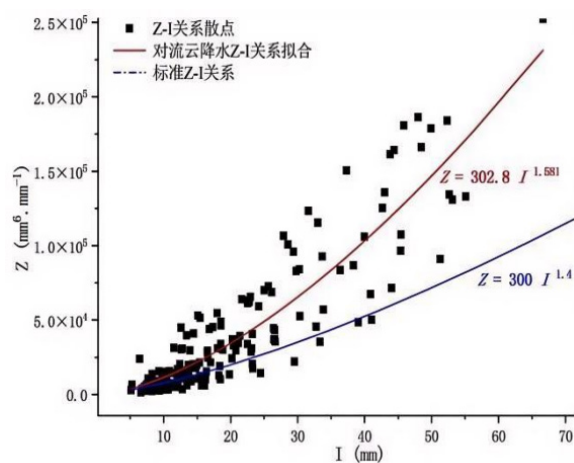
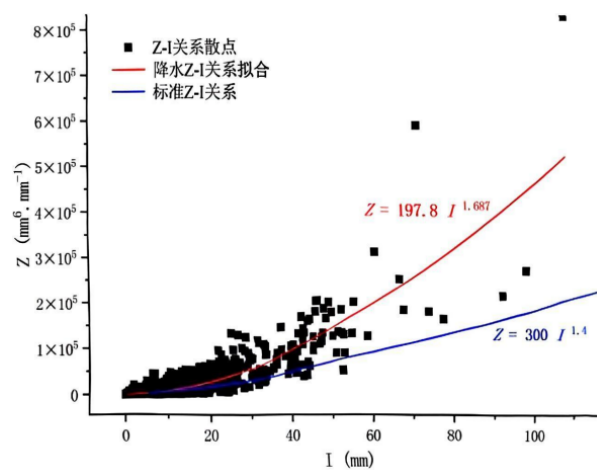
文中一次降水事件的定义如下:基于雨滴谱数据,对时间分辨率为10s的观测数据进行分钟求和,采样时间为60s的数据可以直接应用。对于每一分钟的数据,当仪器输出的雨滴总个数 ≥ 10 ,同时降水强度 $R \geq 0.1 \text{ mm h}^{-1}$ 时视为一个降水分钟,否则视为非降水数据。另外,降水分类是雨滴谱研究的关键,通常情况下将降水分为两类:对流云降水和层状云降水。Marzano et al以10mm/h为阈值,区分开对流云降水和层云降水。Chen et al根据雨强及其随时间的变化划分为层云降水和对流云降水,而既不属于层云降水又不属于对流云降水的即视为混合性降水。根据2018年7月8-9日降水的开始时间和结束时间挑选了6842个降水滴谱样本,以Chen et al为标准进行降水分类。

3 Z-I 关系

雷达反射率 Z 与降水强度 I 的关系常用于雷达降水估

测^[3],而 $Z-I$ 关系往往随地域、季节以及不同降水类型而变化,这会导致降水估测偏差增大。国内外专家对不同类型降水的关系进行过许多研究,Rosenfeld et al指出 $Z-I$ 关系的差异取决于降水的微物理过程,不同类型云中的降水粒子的碰并、破碎、蒸发和上升气流的强度等多种因素会影响地面雨滴谱分布特征。Nzeke et al研究综合积云和层状云降水,其 $Z-I$ 关系为 $Z=368 I^{1.30}$,Tokay and Short et al分析对流云降水的 $Z-I$ 关系为 $Z=139 I^{1.43}$,层状云降水的 $Z-I$ 关系为 $Z=139 I^{1.30}$ 。由于不同类型降水的微物理过程存在较大差异,因此分类讨论高原地区不同类型的降水 $Z-I$ 关系,对改进高原地区特定季节降水的估测就显得尤为重要。

隆子降水分为层云、混合云降水和对流云降水三类,混合云降水是隆子降水的主要类型,其中混合云降水占总降水的83.6%,其次是对流云降水16.1%。研究中利用2017-2025年西藏山南市隆子县的DSG5降水滴谱信息计算得到夏季降水及其不同云分型的 $Z-I$ 关系如图1所示,可以看到文中拟合曲线能较好的反映。拟合得到隆子降水的雷达 $Z-I$ 关系 $Z=197.8 I^{1.687}$,对流云降水 $Z-I$ 关系分别为 $Z=302.8 I^{1.581}$,层云降水结果为 $Z=220.6 I^{1.367}$,混合云降水结果为 $Z=186.5 I^{1.7}$ 。层云降水的系数 A 和指数 b 均小于对流云的降水,混合云降水的系数 A 小于对流云的降水,指数 b 大于对流云的降水,即由于西藏的小时降水很少超过50mm/h,因此雨强相同时,混合云的雷达发射率因子最大,对流云次之和层状云最小。分析图1可知,隆子降水与目前雷达系统采用的标准 $Z=300 I^{1.40}$ 关系相比,对流云系数 A 和 b 均偏大;层云 A 和 b 均偏小。可见标准的 $Z-I$ 关系对流云对高原地区的降水估测存在一定的偏差。利用经典 $Z-I$ 关系,对流云和混合云降水雷达会出现高估降水现象;针对层云降水存在雷达低估降水现象。



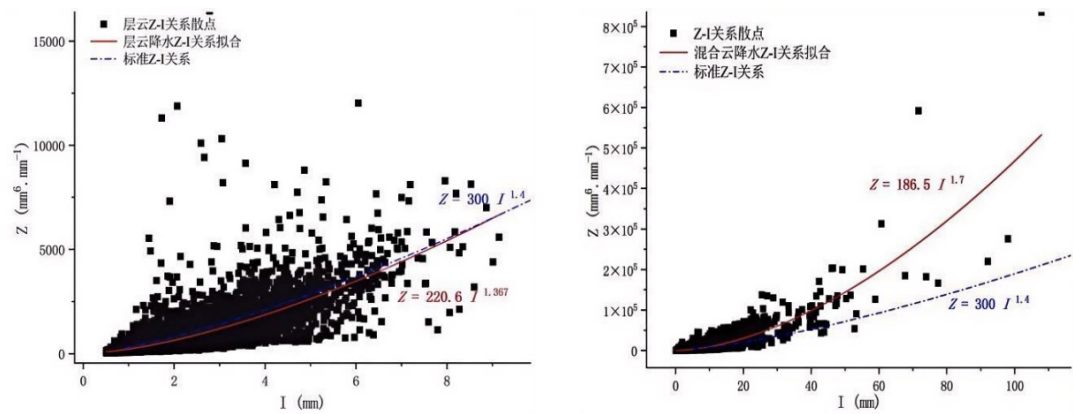


图 1 隆子站不分型、对流云、层云和混合云降水的 Z-I 关系

4 各地 Z-I 关系对比分析

由于 $Z-I$ 与降水类型、地理区域和气候特点等有关，实际业务中，对流云 $Z=300 I^{1.4}$ 关系已广泛应用于新一代天气雷达，而 $Z=200 I^{1.6}$ 通常应用于中纬度地区的层状云降雨。Tokay 研究指出中纬度对流降水的 A 值越高， b 值越低，而热带的 A 值越低， b 值越高^[31]。分析各地不同类型降水的 $Z-I$ 关系（表 1）发现，与其他地区相同，隆子对流云降水中 A 与拉萨、贵州、青藏高原玉树和祁连山、华南地区等相比较

小，远远大于西藏墨脱和那曲地区； b 值与拉萨、祁连山和那曲差别不太大，比华南地区、贵州和高原地区玉树大，远小于墨脱。对于层云降水，隆子 $Z-I$ 关系的 A 值与祁连山基本相当；而 b 值则小于祁连山和拉萨。混合云降水 $Z-I$ 关系常数 A 小于拉萨和玉树，大于那曲和贵州；常数 b 大于那曲、玉树和贵州，小于拉萨。总的来说，各地 $Z-I$ 关系各有不同，其原因与海拔高度、降水机制以及数据拟合方法等因素有关。

表 1 各地不同云型降水的 Z-I 关系

地域	降水类型	A	b	地域	降水类型	A	b
隆子	层云	220.6	1.367	祁连山	层云	173.1~232.5	1.29~1.74
	对流云	302.8	1.581		对流云	322.2~581.5	1.26~1.62
拉萨	混合云	274.2	1.8	西藏墨脱	对流云	53.69	7.71
	对流云	497.2	1.5	华南	对流云	498~525.7	1.3
那曲（wu）	混合云	170	1.3	玉树	混合云	254	0.95
	对流云	69.83	1.8		对流云	484	1.28
那曲（于）	混合云	153.9	1.5	贵州	混合云	172.0	1.4
	对流云	178.8	1.4		对流云	498.86	1.12

5 结语

基于西藏山南市隆子县气象站降水现象仪雨滴谱数据，将隆子降水分为层云、混合云降水和对流云降水三类，混合云降水是隆子降水的主要类型，其中混合云降水占总降水的 83.6%，其次是对流云降水 16.1%。对隆子县降水的 $Z-I$ 关系拟合发现，隆子降水雷达 $Z-I$ 关系 $Z=197.8 I^{1.687}$ ，其中对流云降水 $Z-I$ 关系分别为 $Z=302.8 I^{1.581}$ ，层云降水结果为 $Z=220.6 I^{1.367}$ ，混合云降水结果为 $Z=186.5 I^{1.7}$ 。

参考文献：

[1] 于建宇,李茂善,阴蜀城,等.青藏高原那曲地区云降水微观特征雨滴谱分析[J].成都信息工程大学学报,2020,35(02):188-194. DOI:10.16836/j.cnki.jcuit.2020.02.010.

[2] 杨俊梅,孙鸿娉,田晓婷,等.山西中部一次积层混合云降水微物理特征[J].沙漠与绿洲气象,2024,18(03):24-31.

[3] 曾静,张杨,苏德斌,等.基于双偏振雷达的雨滴谱反演技术的对比分析[J/OL].高原气象,1-15[2025-11-12].https://link.cnki.net/urlid/62.1061.P.20250722.1400.014.