



利用城市通信网络的微波链路定量反演降雨的研究

On the Potential of Using Microwave Links for Cities Rainfall Monitoring



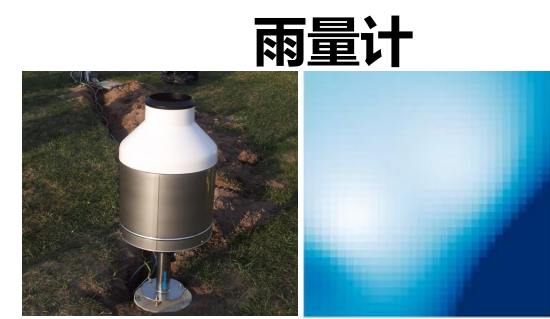
高时空分辨率的、准确的降雨观测数据对国家防灾减灾和气候应对决策至关重要。随着微波通信技术的发展，国际上出现了一种利用通讯基站之间的微波链路进行环境科学研究的新方法，典型应用是通过分析无线电信号的传播和衰减来监测区域降水。该方法不仅可以作为独立的观测手段，也可以与雨量筒、天气雷达等常规设备结合使用，已经被越来越多的气象机构所采用。



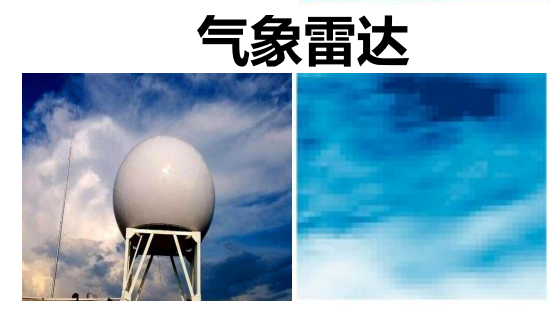
北京731大暴雨



局部强降雨引发灾害



雨量计

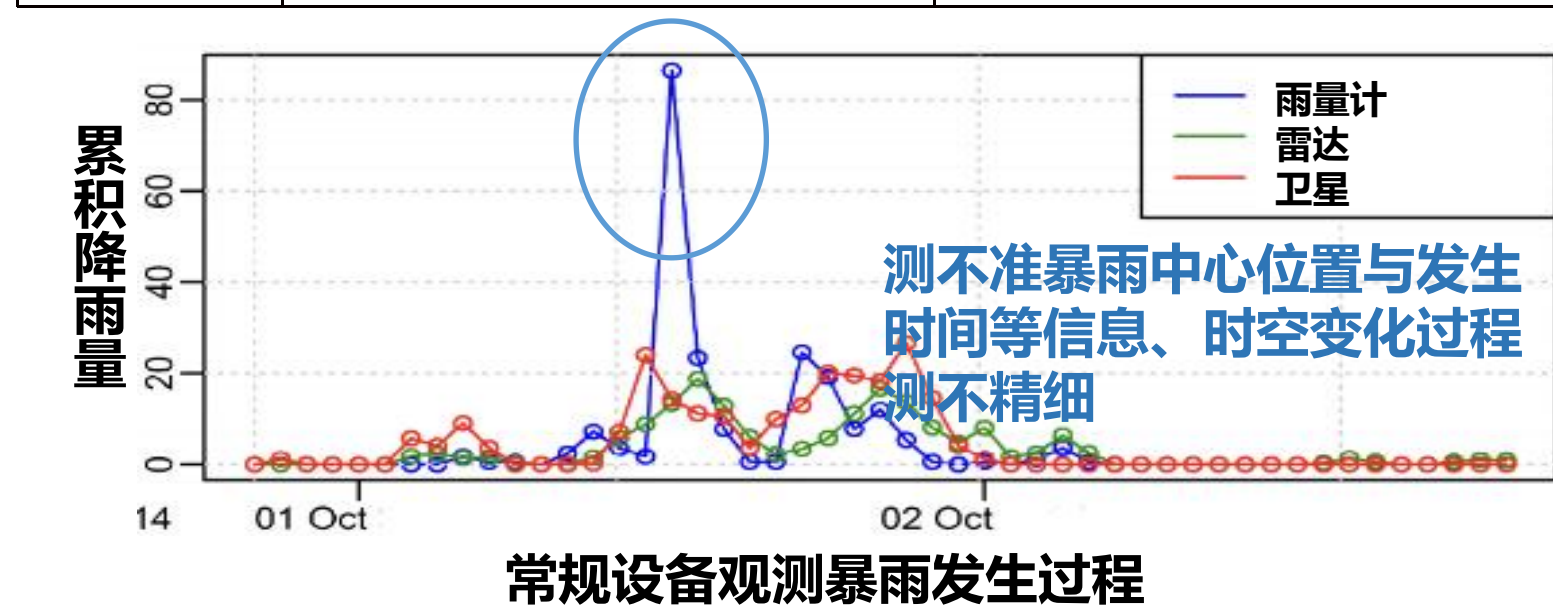


气象雷达



测雨卫星

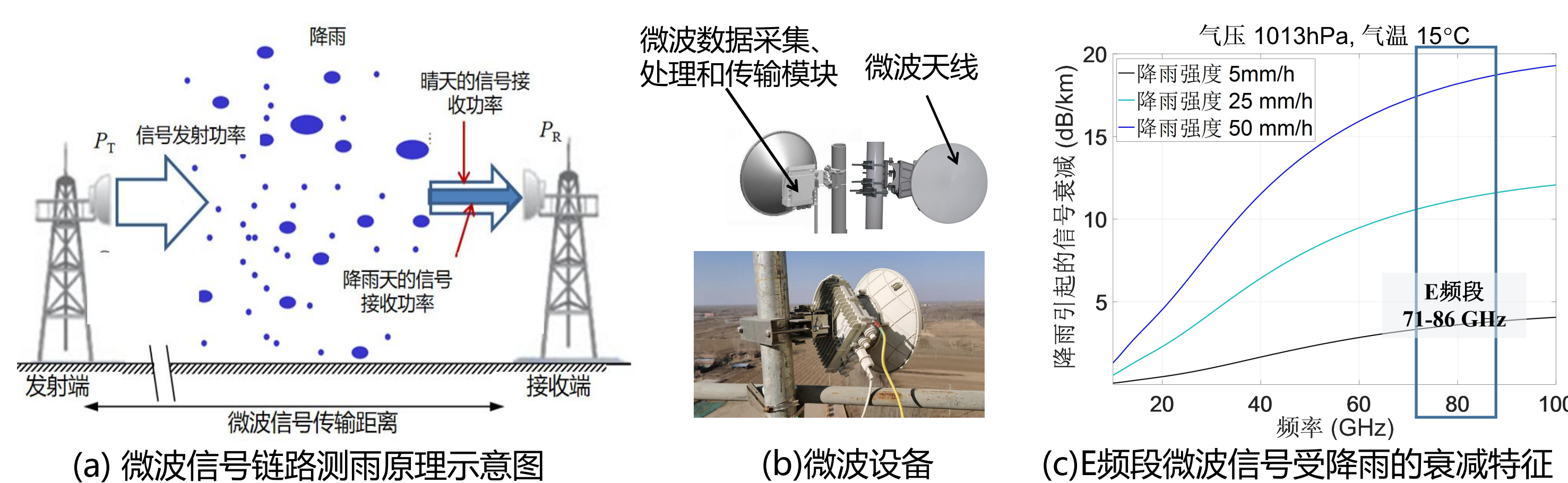
技术	优势	局限
雨量计	准确测量单点降水，可测宏观参量，可用于遥感校正	站点稀疏、空间分辨率低，易受环境影响，强降雨测量效果不理想
雷达、卫星	空间代表性好，可测宏观参量，可大范围监测降水监测和预警	测站少、存在盲区，雷达回波与地表降水有差异，实时性有待提高



常规设备观测暴雨发生过程

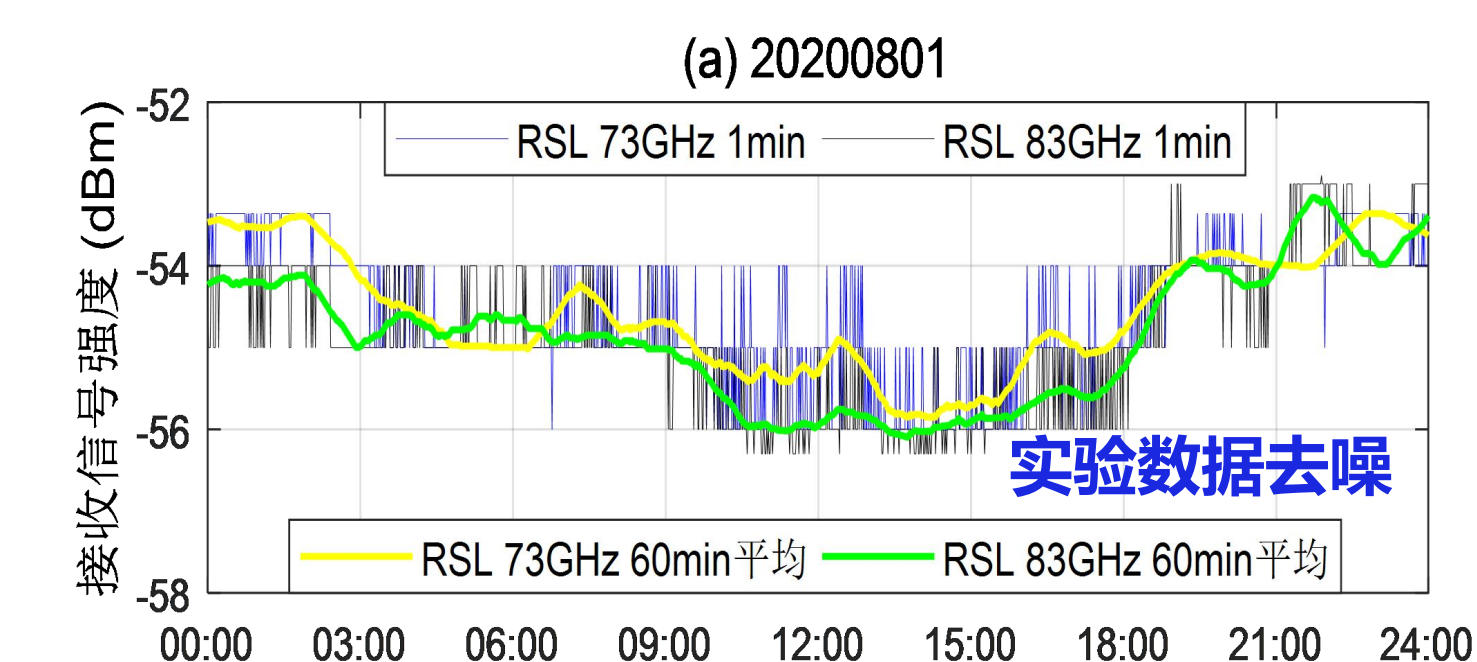
研究方法和数据处理

在南京利用E频段毫米波链路获得降雨强度信息的实验。该实验链路长约3km，工作频率为71GHz和81GHz，架设方式是垂直极化。每分钟采集一次观测数据，分辨率是0.1dB。

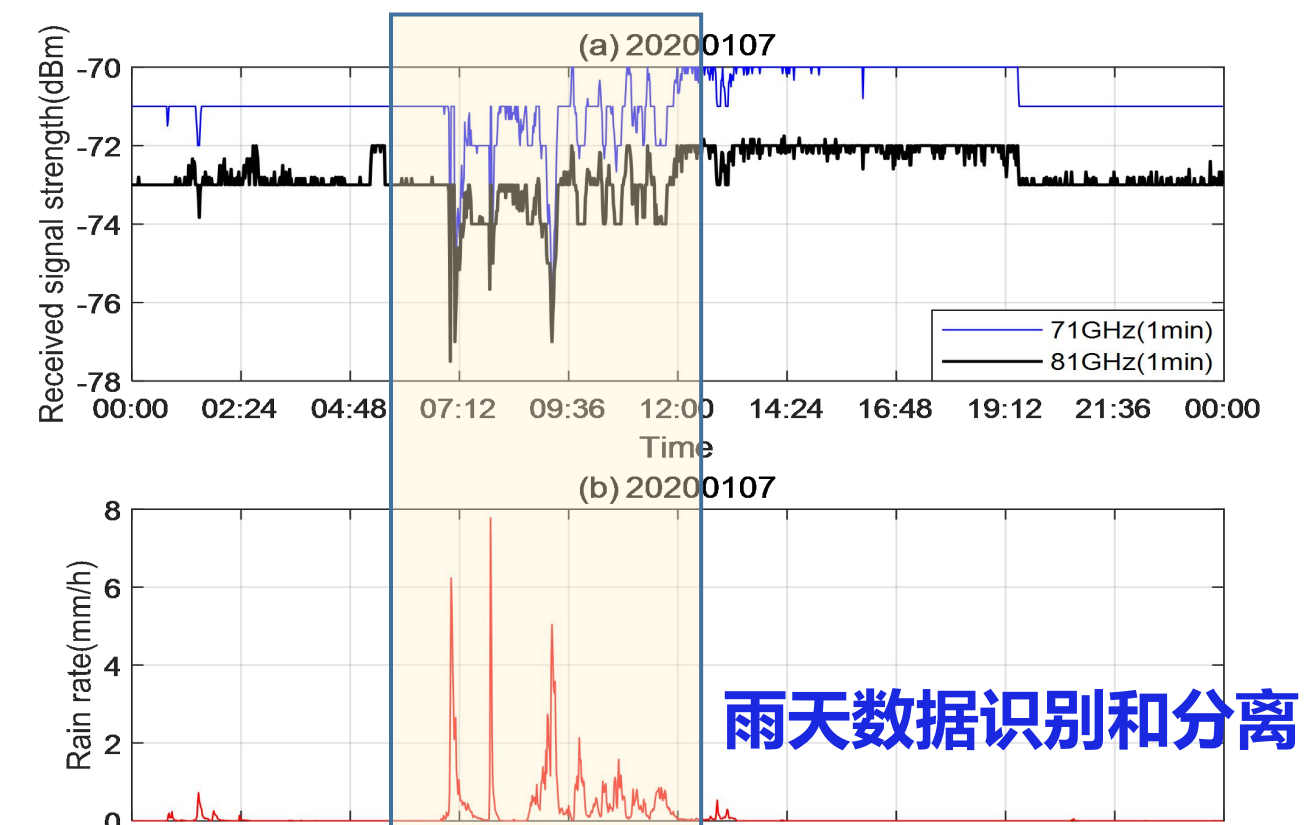


(1) 微波时空衰减特征识别

杂波去除和环境噪声过滤

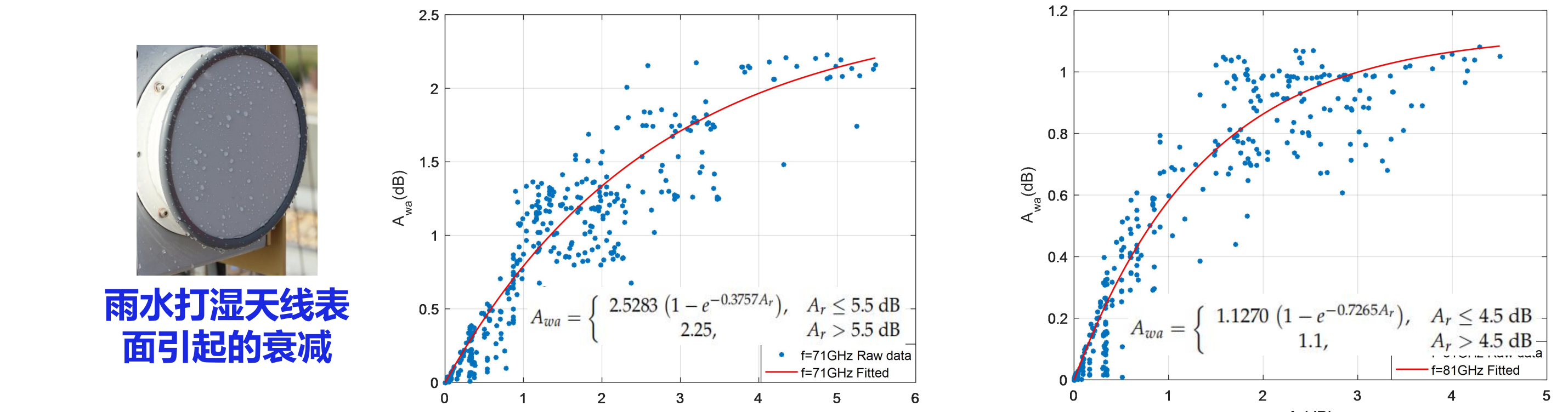


(2) 晴雨天数据分离和基准值计算

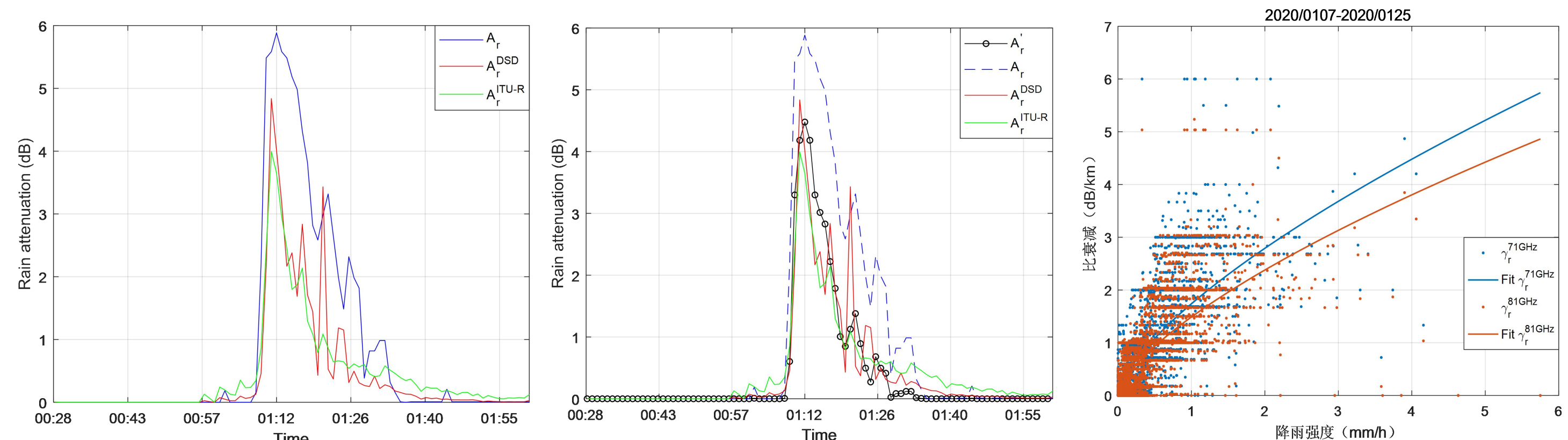


衰减基线是随时间变化的。首先对降雨引起的信号衰减和晴天的衰减进行区分，确定分类阈值，并采用Schleiss提出的实时计算衰减基线方法。

(3) 湿天线衰减订正



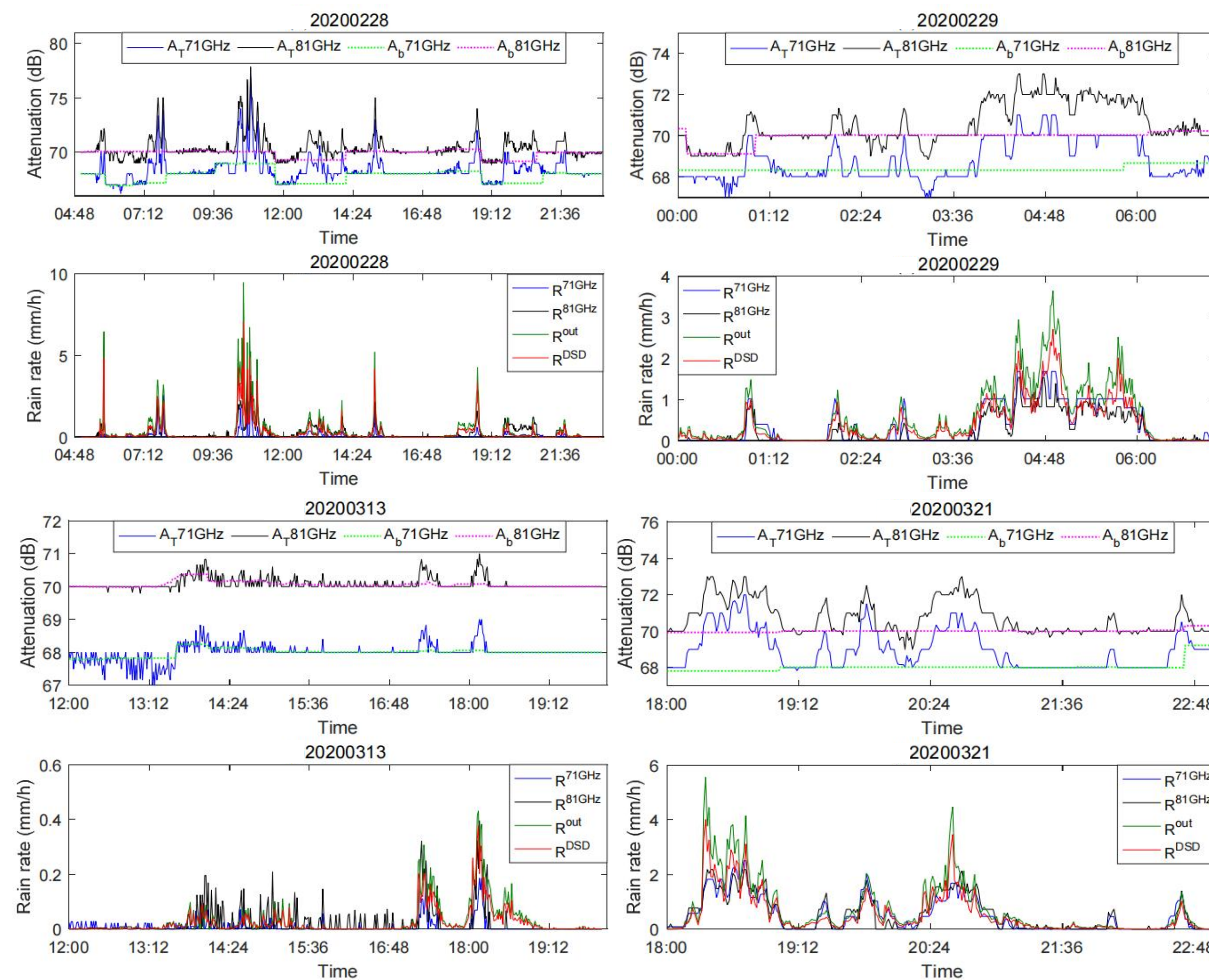
湿天线衰减随降雨过程逐渐变化，最后达到了饱和值，在71GHz和81GHz的最大值分别是2.25dB和1.1dB。



使用雨滴谱实测数据计算降雨强度和雨致衰减，估计和校正了湿天线衰减的影响，然后通过降雨率与衰减率之间的幂律关系反演出降雨率。2020年1月7日的降雨事件中，71GHz的链路在校正湿天线影响后的雨致衰减 A_r' 与校正前 A_r 相比，显示出更好的拟合效果，更加接近雨滴谱数据计算的衰减 A_r^{DSD} 和ITU-R P.838-3方法估算的衰减 A_r^{ITU} 结果。

降雨反演结果和分析

用毫米波链路收集2019年12月至2020年3月的数据，分析这四个月的降雨事件，应用上述预测模型反演降雨率，通过计算Pearson相关系数(r)和均方误差(MSE)来评估反演效果。



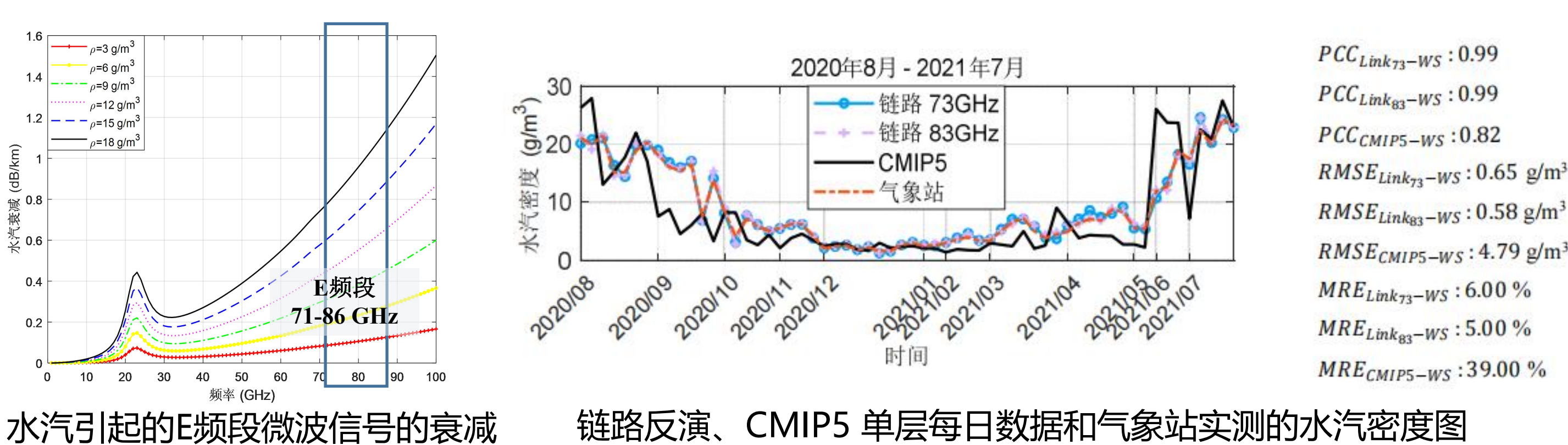
71GHz、81GHz的接收信号强度 P_r ；链路反演降雨率 R^{71GHz} 、 R^{81GHz} 与雨滴谱仪输出降雨率 R^{out} 以及基于雨滴谱数据计算的降雨率 R^{DSD} 的对比

日期	频率	R^{out}			R^{DSD}		
		$PCC_1 (-)$	$RMSE_1 (mm/h)$	$MRE_1 (\%)$	$PCC_2 (-)$	$RMSE_2 (mm/h)$	$MRE_2 (\%)$
2020年02月28日	71 GHz	0.90	0.11	4.02	0.89	0.10	3.44
	81 GHz	0.91	0.15	0.99	0.89	0.06	0.68
2020年02月20日	71 GHz	0.88	0.19	0.57	0.86	0.33	0.40
	81 GHz	0.89	0.22	3.69	0.87	0.07	2.21
2020年03月13日	71 GHz	0.59	0.01	0.58	0.61	0.01	0.47
	81 GHz	0.63	0.01	0.48	0.63	0.01	0.40
2020年03月21日	71 GHz	0.87	0.36	0.52	0.87	0.13	0.36
	81 GHz	0.84	0.37	3.14	0.84	0.16	2.22

毫米波链路反演降雨的准确性较高，相关性最高达到0.91，均方误差小于5%。在相同条件下81GHz衰减较大，降雨率反演结果也要稍高于71GHz的结果，更加适合用于监测降雨。

水汽密度反演

微波链路除了可以用于降雨监测外，还可以反演水汽密度。



水汽引起的E频段微波信号的衰减 链路反演、CMIP5 单层每日数据和气象站实测的水汽密度图

微波链路除了可以用于降雨监测外，还可以反演水汽密度。我们搭建了分钟级微波链路，建立了高频水汽反演方法，实现高准确性反演：夏季平均相对误差达到5%

创新与特色

新一代通信网络、智慧城市广泛地使用毫米波频段，通讯链路反演的降雨强度与实验地点的雨滴谱仪测量的降雨率的对比结果，验证了监测降雨的可靠性和精度。该技术可以为现有的天气监测网络提供额外的丰富的数据源。

- S. Zheng *et al.*, "Research on rainfall monitoring based on E-band millimeter-wave link in East China," *Sensors*, 21(5), 1670, 2021.
- C. Han *et al.*, "Rainfall Monitoring Based on Next Generation Millimeter-wave Backhaul Technologies in Dense Urban Environment," *Remote Sensing*, 12(6), 1045, 2020.
- C. Han *et al.*, "Impact of Atmospheric Parameters on the Propagated Signal Power of Millimeter-Wave Bands Based on Real Measurement Data," *IEEE Access*, 7(1), 113626-113641, 2019.
- C. Han *et al.*, "Rain Rate Retrieval Test from 25 GHz, 28 GHz, and 38 GHz Millimeter-wave Link Measurement in Beijing," *IEEE JSTARS*, 12(8), 2835-2847, 2019.
- 苏桂杨, 韩琰琰等, 哥德堡地区基于无线通讯网络的水汽密度监测分析, 红外和毫米波学报, 39(1), 47-55, 2020.
- C. Han *et al.*, "Water vapour density retrieval studies using commercial millimeter-wave links at 38 GHz and E-band," *Remote Sensing*, 14(4), 946, 2022.
- S. Zheng *et al.*, "Water Vapor Estimation based on 1-year Data of E-band Millimeter wave Link in North China," *Atmospheric Measurement Techniques*, 15, 1675-1687, 2022.
- C. Han *et al.*, "Characteristics of Rain-Induced Attenuation Over Signal Links at Frequency Ranges of 25 and 38 GHz Observed in Beijing," *Remote Sensing*, 2021, 13(11), 2156.
- C. Han *et al.*, "On the potential of using emerging microwave links for cities weather monitoring," *IEEE Communications Magazine*, 2023.