

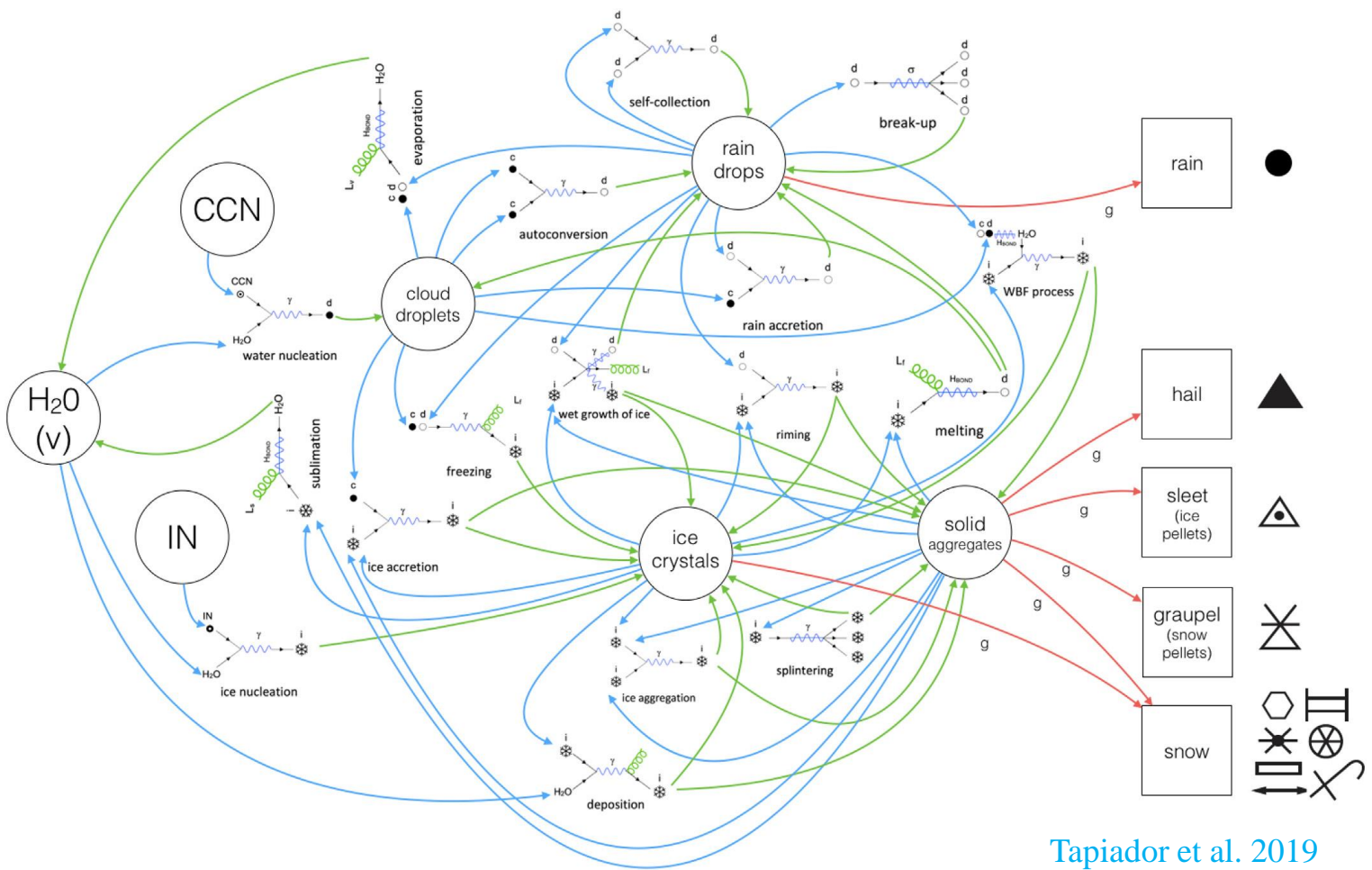


基于飞机观测的云微物理方案评估： 以一次华北层云降水过程为例



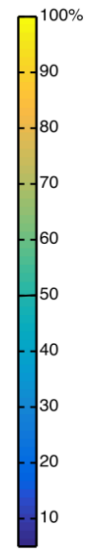
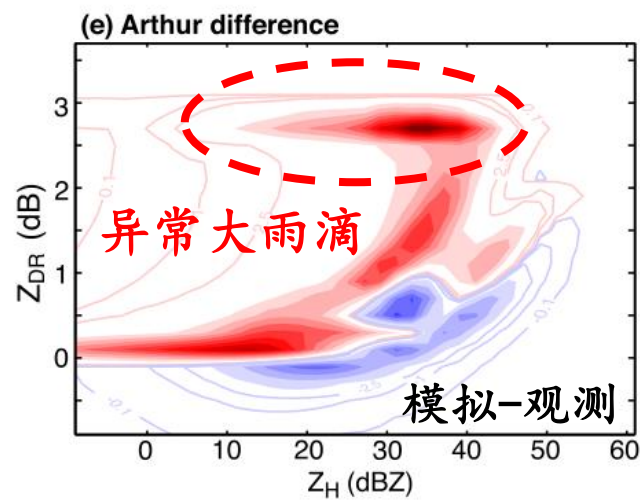
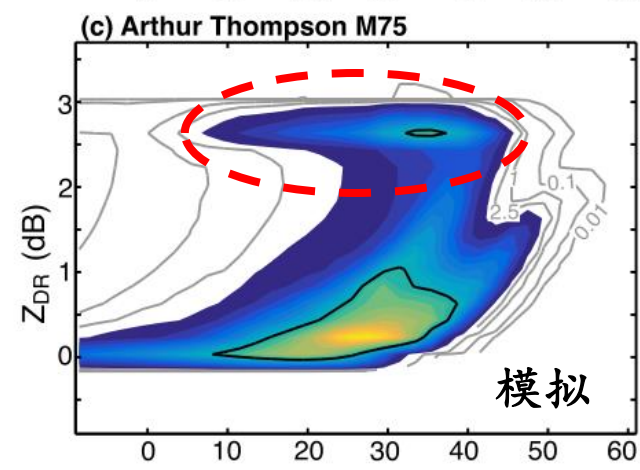
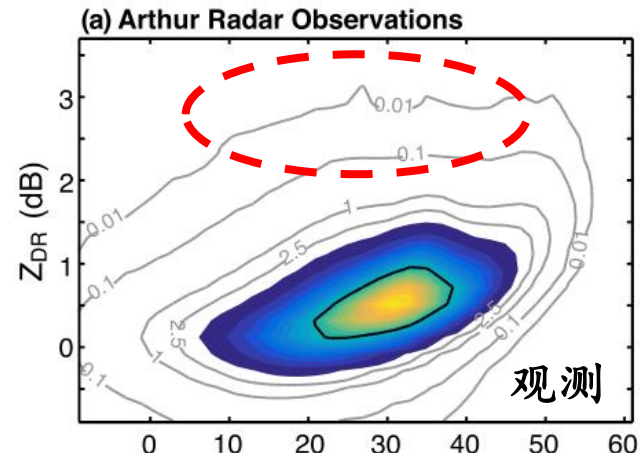
花少烽
8月 银川





- 无法描述所有的粒子，需要对粒子群参数化
 - 对微物理过程认识有限，需要对微物理过程参数化
 - 为了使得总体的模拟效果（如降水）接近观测，对微物理方案进行调参
- 在参数化、调参的过程中引入了大量不确定性
- 不确定性在哪？
 - 不确定性有多大？

Thus, one of our central arguments is that microphysics scheme complexity is “running ahead” of current cloud physics knowledge and the ability to constrain schemes observationally.



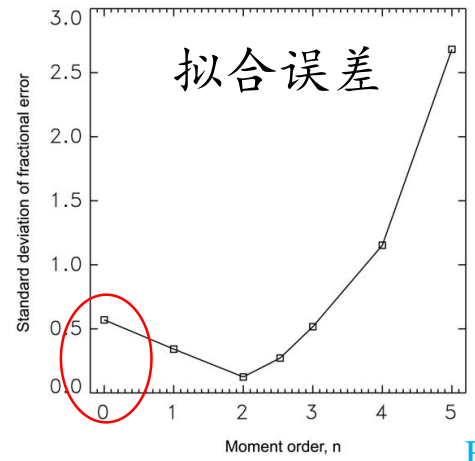
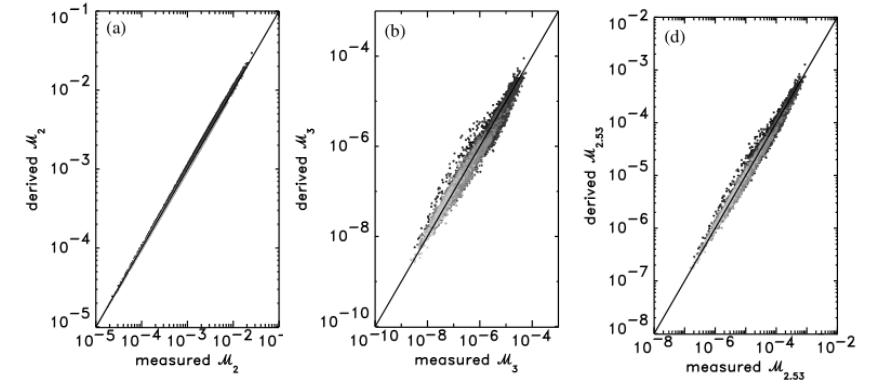
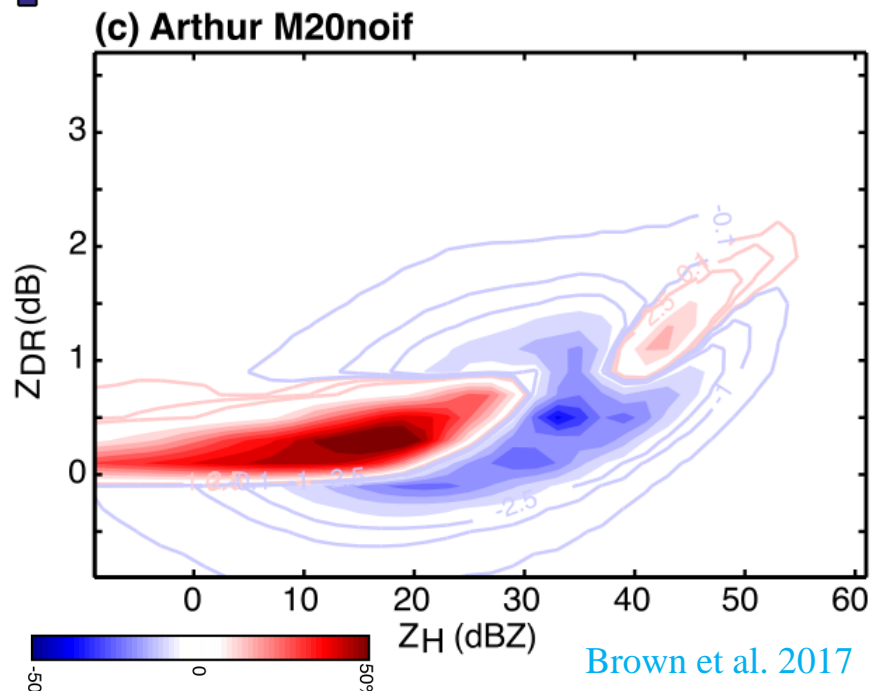
雪融化形成的雨滴的数量

$$\left[\frac{dn_r}{dt} \right]_{sml} = \frac{M_0 10^{mT_c}}{q_s \rho} \left[\frac{dq_r}{dt} \right]_{sml}$$

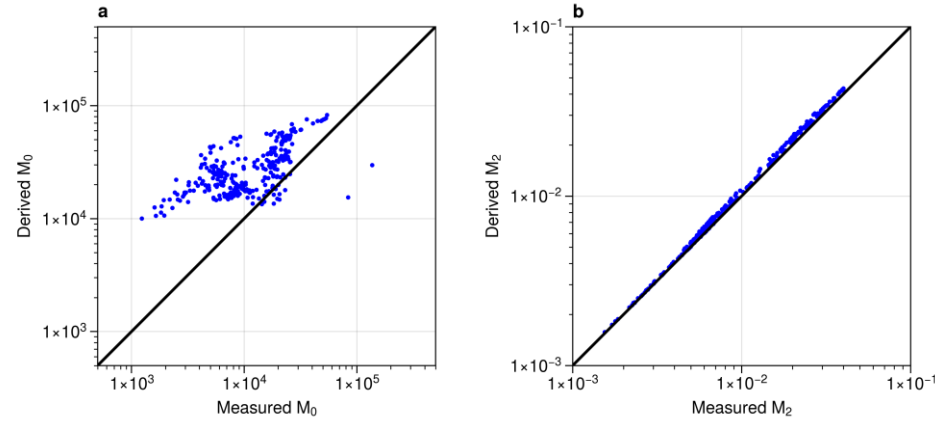
M0为M2通过拟合关系计算的

原始方案: $m = -0.75$

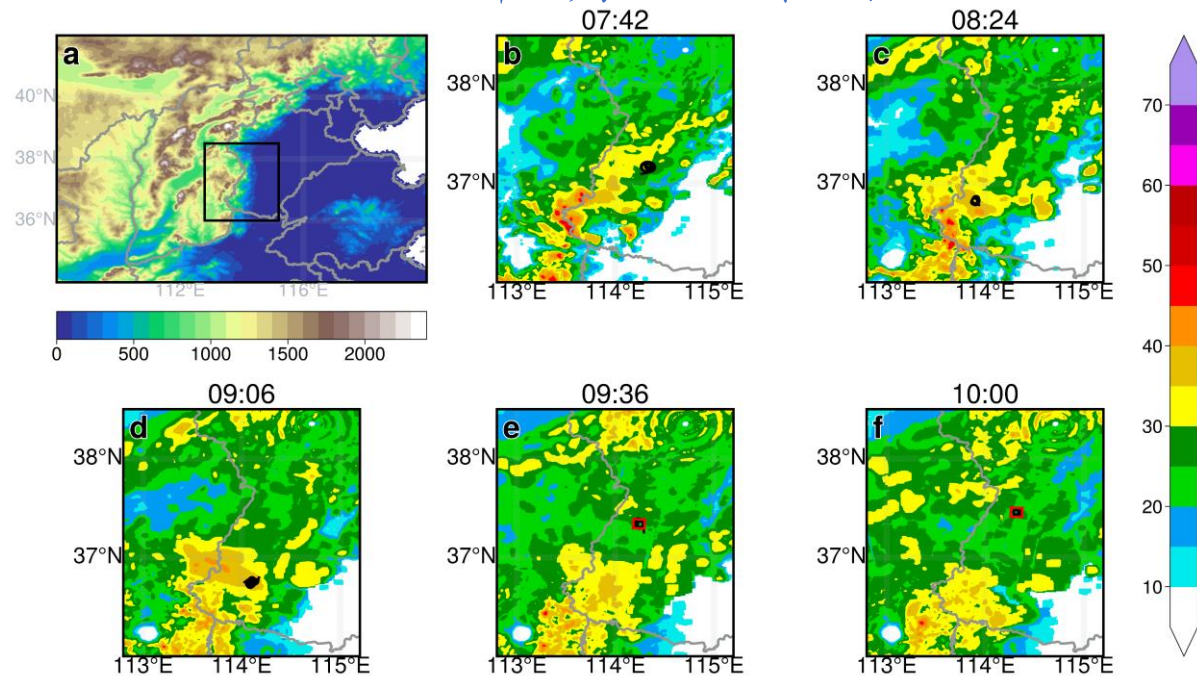
修改后: $m = -0.25$ (使融化形成的雨滴增多)



Field et al. 2005



2017年5月22日个例



SPEC公司改装的King Air 探测飞机



b-f中的黑线为飞机探测轨迹，前三次探测在对流区域中，**第四、五次探测在层云中**；红框为模式中用来与观测对比的区域

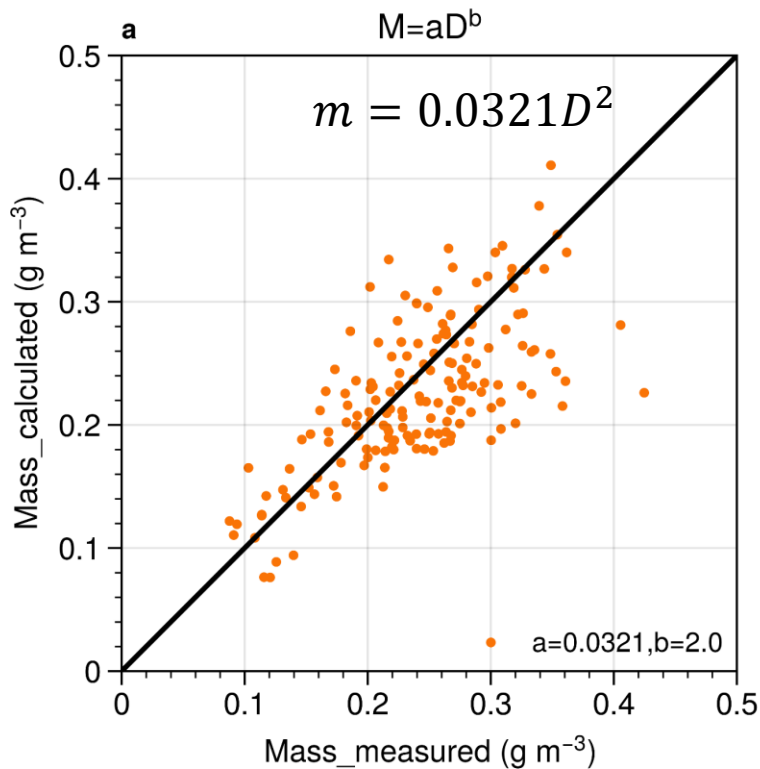
- 不同微物理方案模拟结果和飞机观测之间有哪些偏差，偏差的程度有多大？
- 模拟偏差可能的来源是哪里？
- 如何根据飞机观测改进微物理方案？

飞机观测数据：

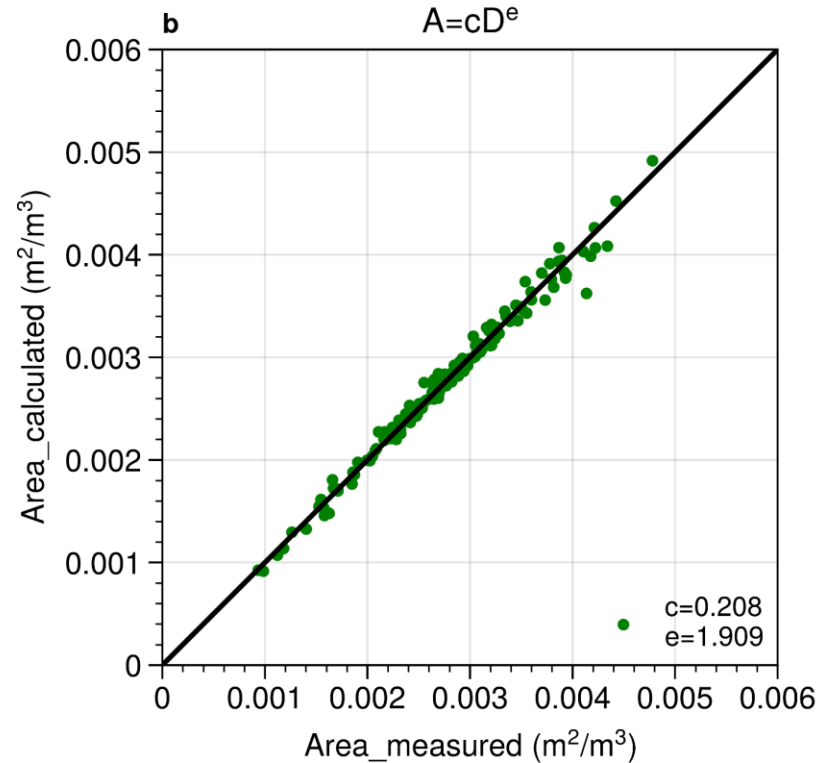
- CDP、FCDP 2 - 50 μm
- 2D-S 10 - 1280 μm
- HVPS 150 - 19200 μm
- King Hotwire 液态水含量(LWC)
- Nevzorov Hotwire 液态(冰)水含量(LWC, IWC)
- AIMMS 经纬度 高度 温湿度

飞机观测数据分析处理

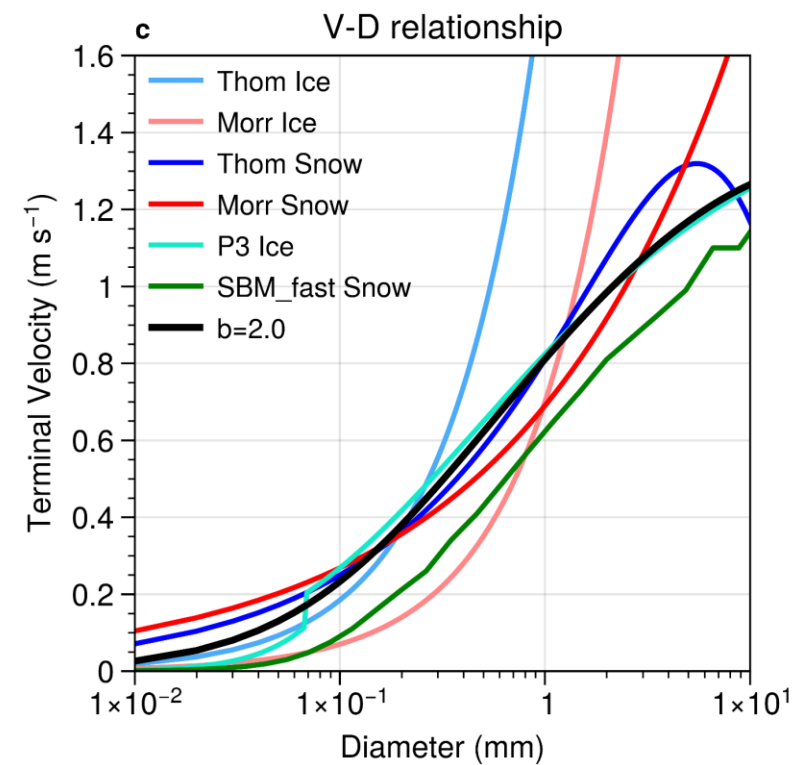
拟合m-D关系



拟合A-D关系

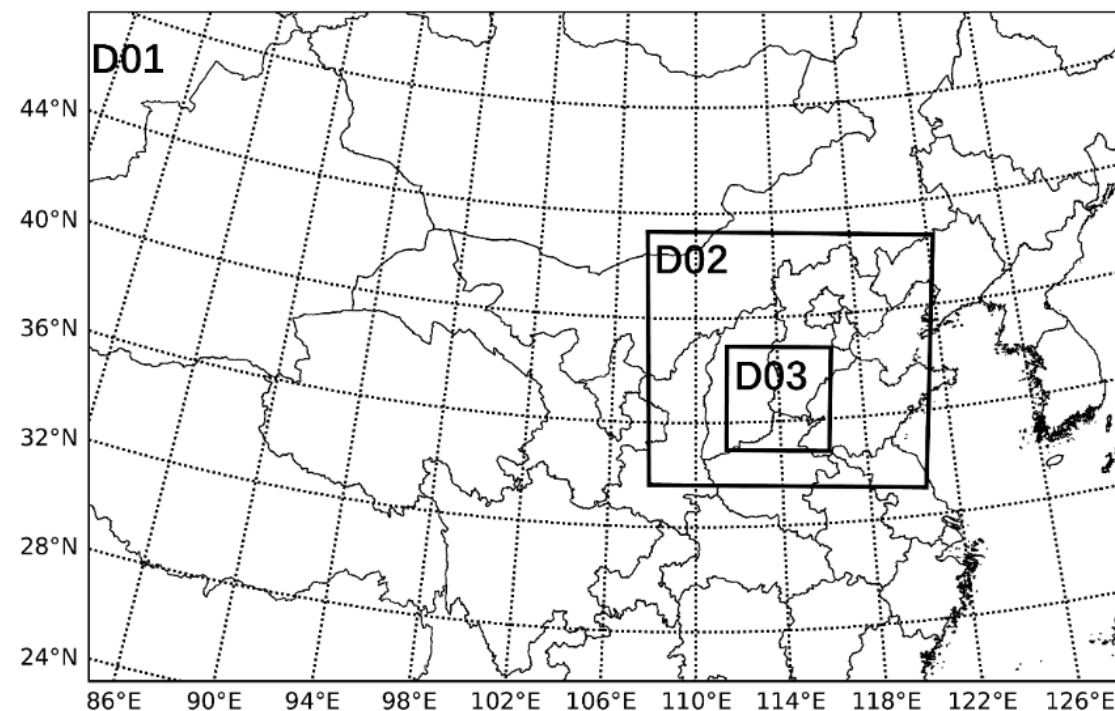


计算V-D关系



模式设置

- 模式: WRF-ARW
- 初始和边界条件: NCEP FNL 资料 ($1^\circ \times 1^\circ$)
- 模拟时间: 2017年5月21日18时 -- 22日12时 (UTC)
- 模拟区域设置:
 - 水平方向: 3层双向嵌套, 分辨率为9、3、1 km
 - 垂直方向: 51层, 近地面的~10 m, 模式层顶~1000 m
- 参数化方案:
 - 微物理方案: Thompson、Morrison、P3(P3_1ice, P3_2ice)、ISHMAEL, SBM_fast方案
 - 边界层方案: YSU 方案
 - 辐射方案: RRTM 长波辐射方案; Dudhia 短波辐射方案
 - 积云参数化方案: 只在最外层使用 Kain-Fritsch 方案



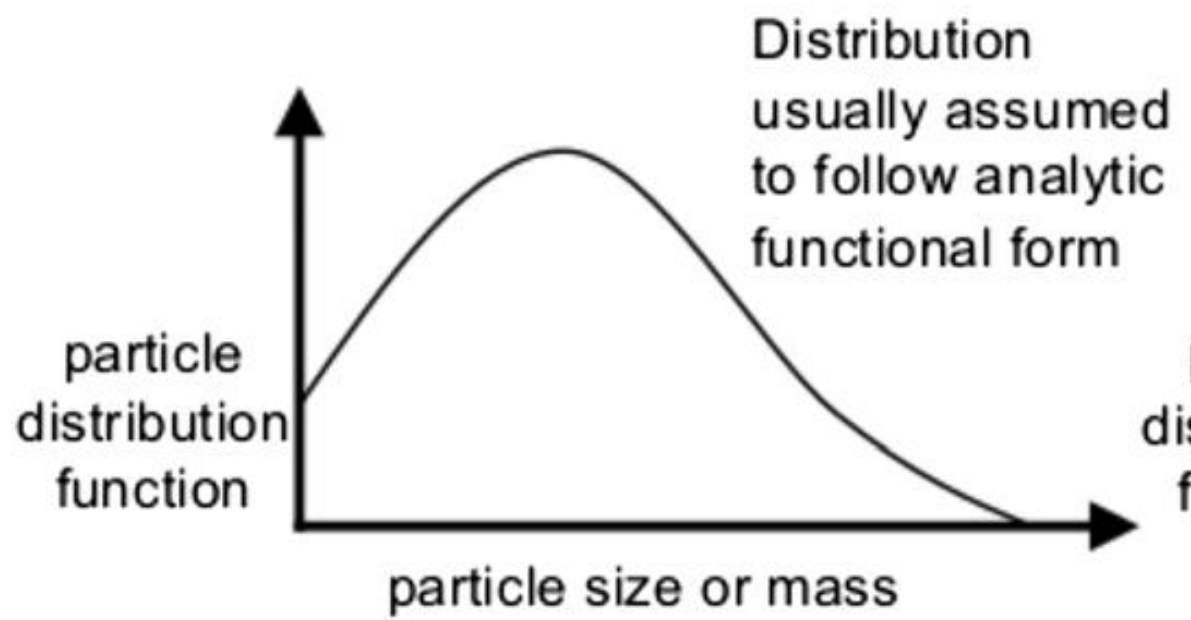
模拟区域设置

传统BULK方案: Morrison, Thompson
人为区分冰相粒子种类, 并固定每个种类粒子的属性 (密度、下落末速度等)

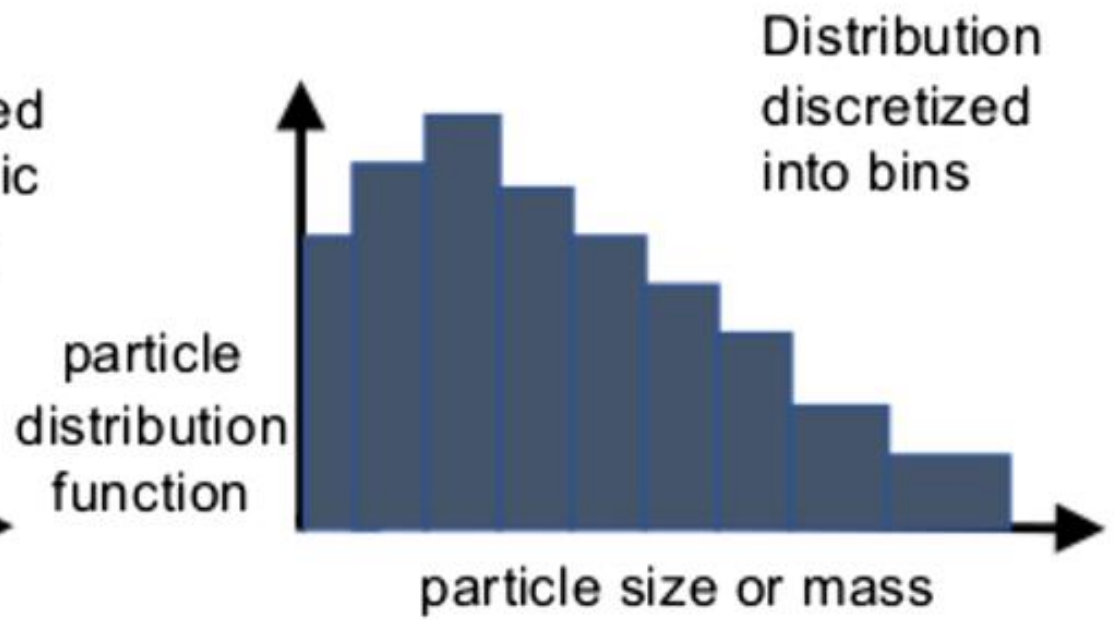
允许粒子属性自由演化的BULK方案:
P3_1ice, P3_2ice, ISHMAEL
不再区分冰相粒子种类, 冰相粒子的属性可以自由演化

BIN方案: SBM_fast
将粒子划分为不同的档位, 在不同档位上计算微物理过程

Bulk

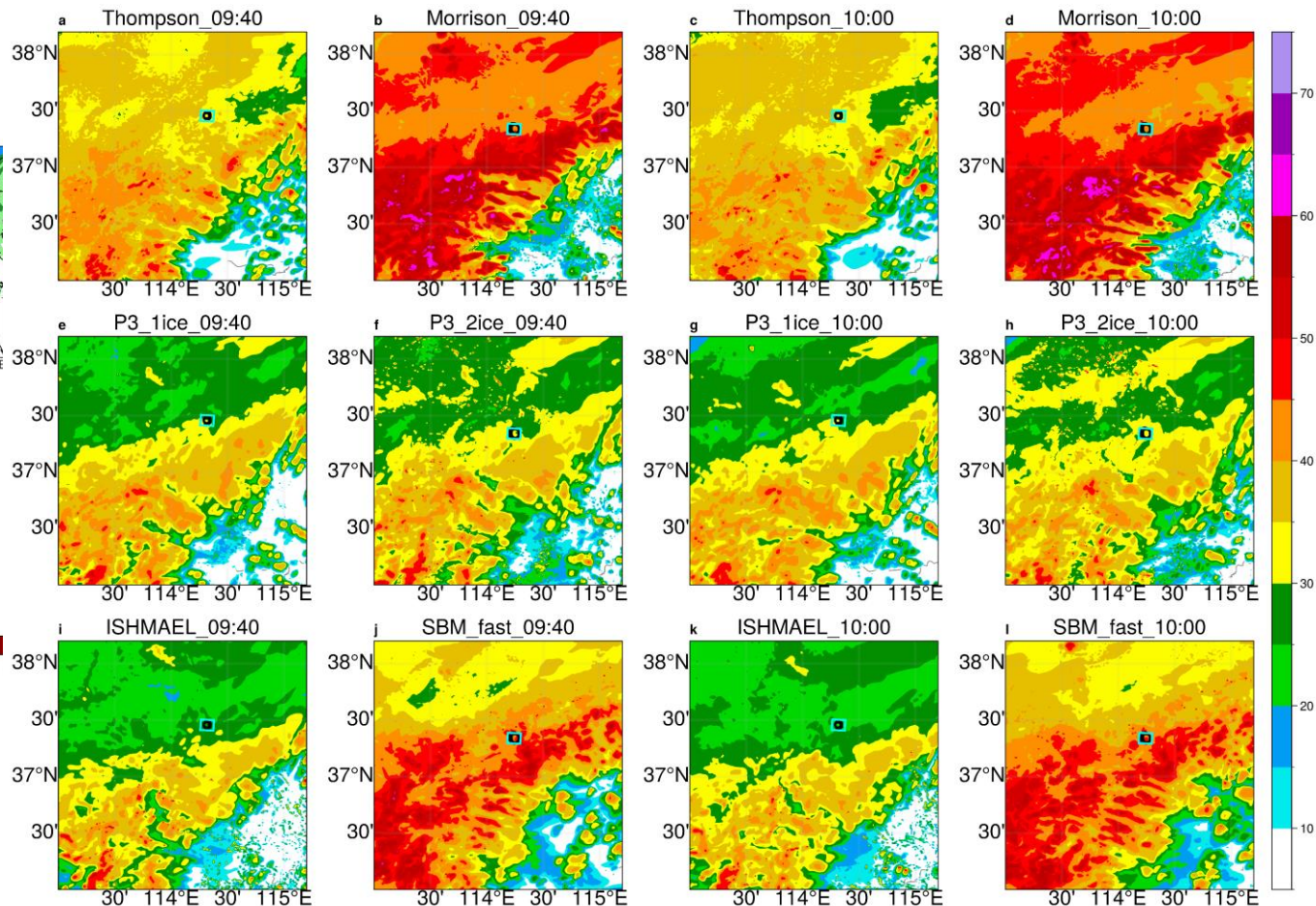
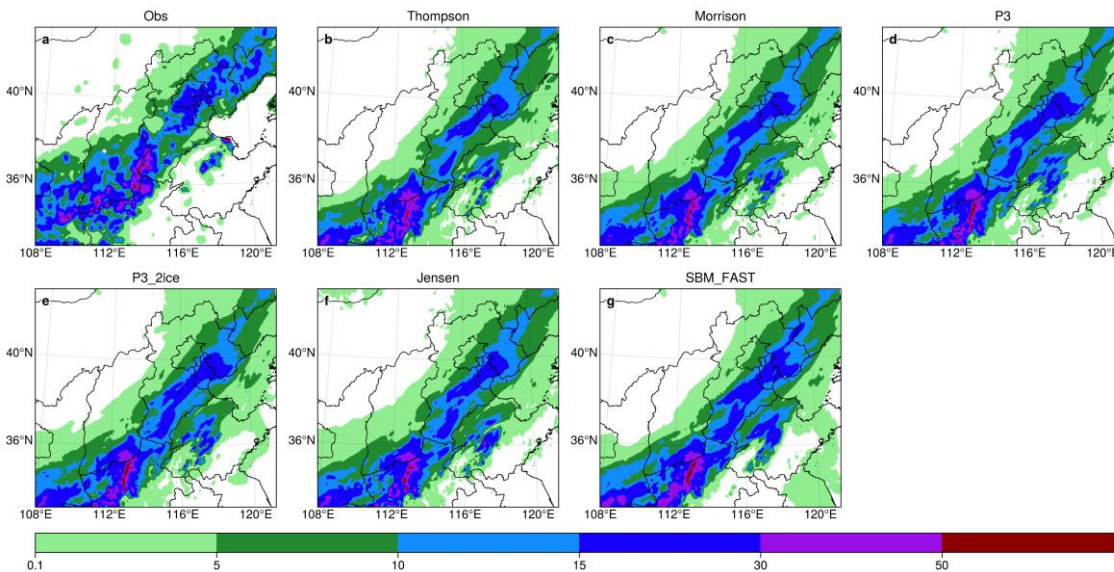


Bin



模拟验证

00:00-12:00 (UTC) 累积降水对比

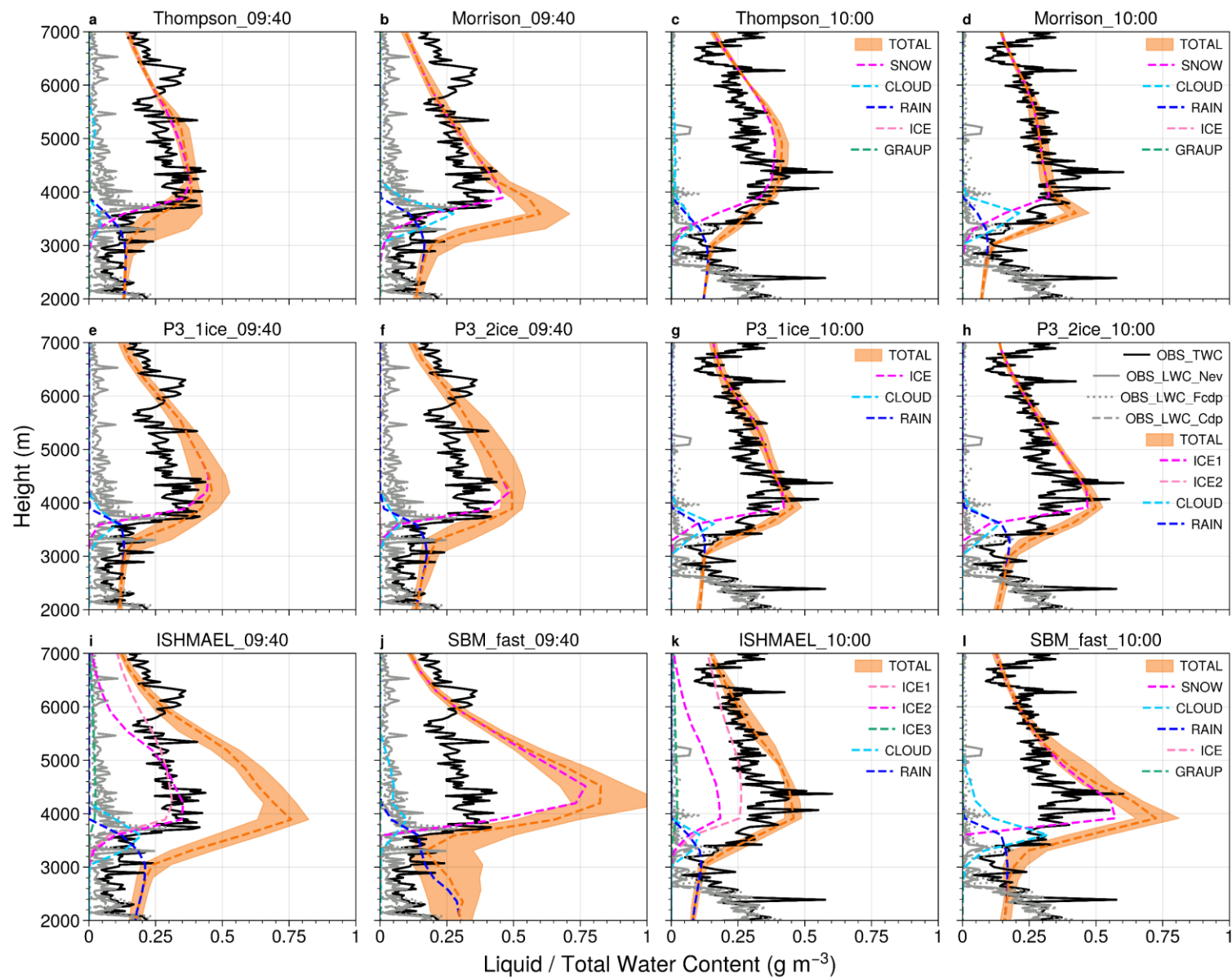


黑色实线是飞机轨迹，青色方框为模式中的对比区域

观测（黑色实线）和模拟（虚线）的温度廓线对比

- ✓ 12小时累积降水与观测接近；
- ✓ 层云、对流云的相对位置和相对强度与观测接近；
- ✓ 在同一时刻，同一区域内的温度廓线与观测接近。

模拟评估-液/总水含量

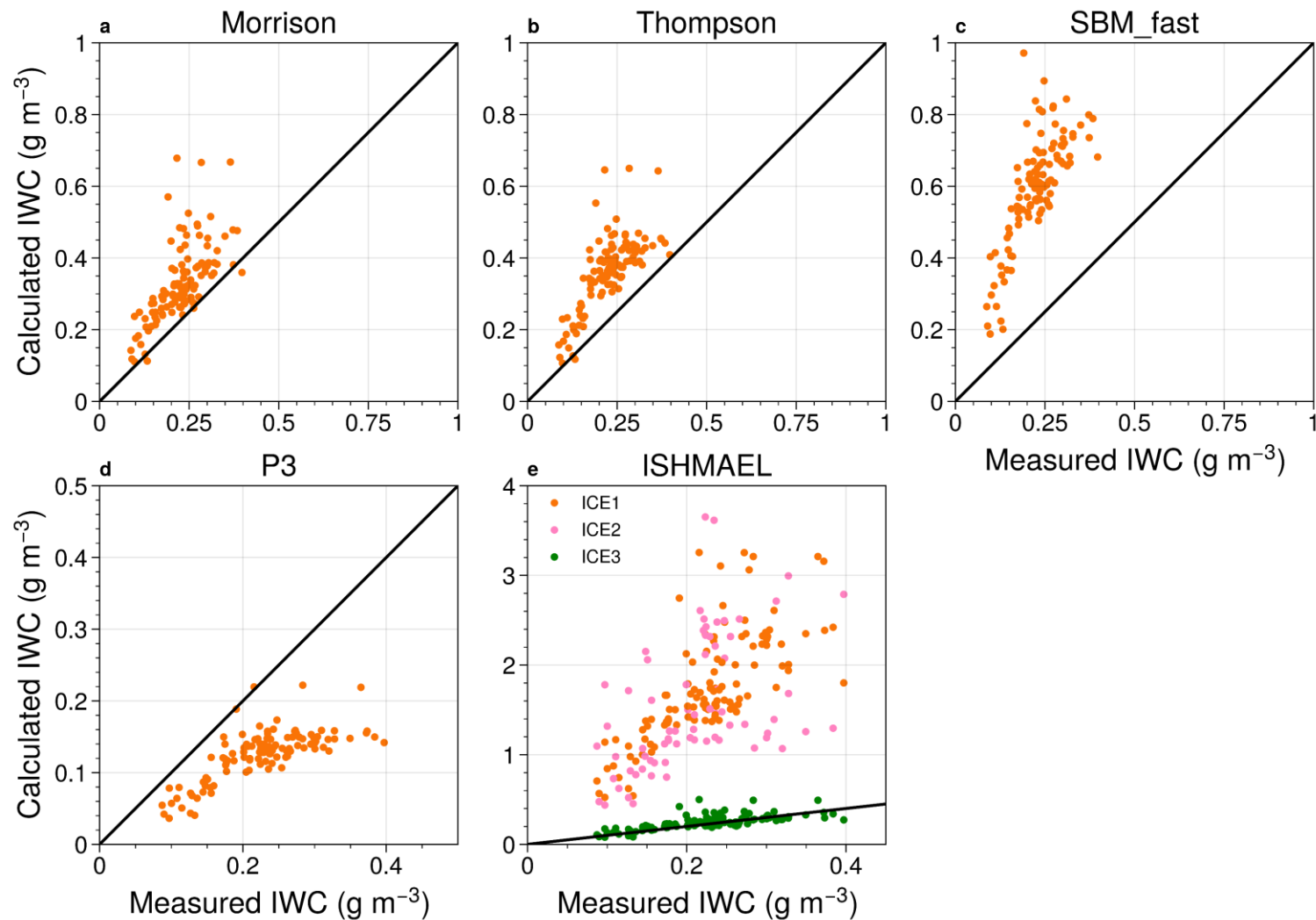


模拟评估 - m-D关系

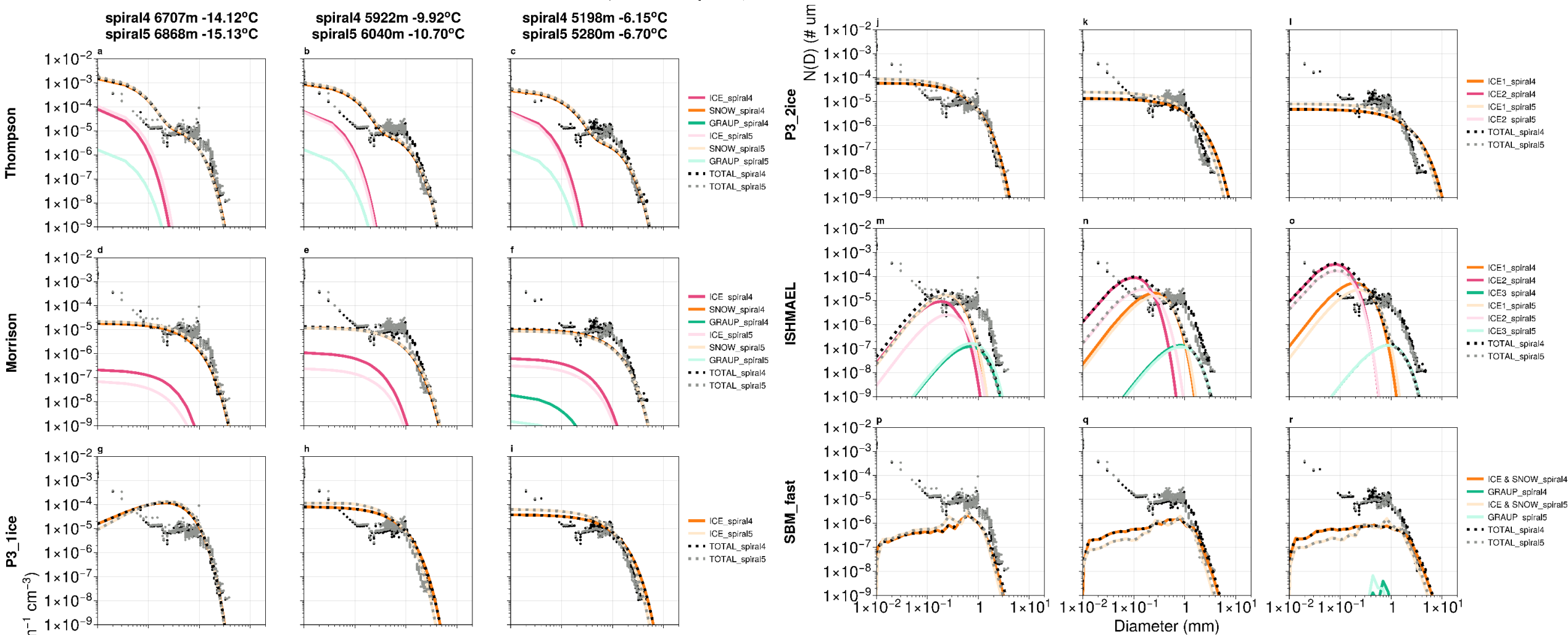
把各微物理方案的
M-D关系作用在观测
的PSD上得到的IWC

VS

飞机观测的IWC



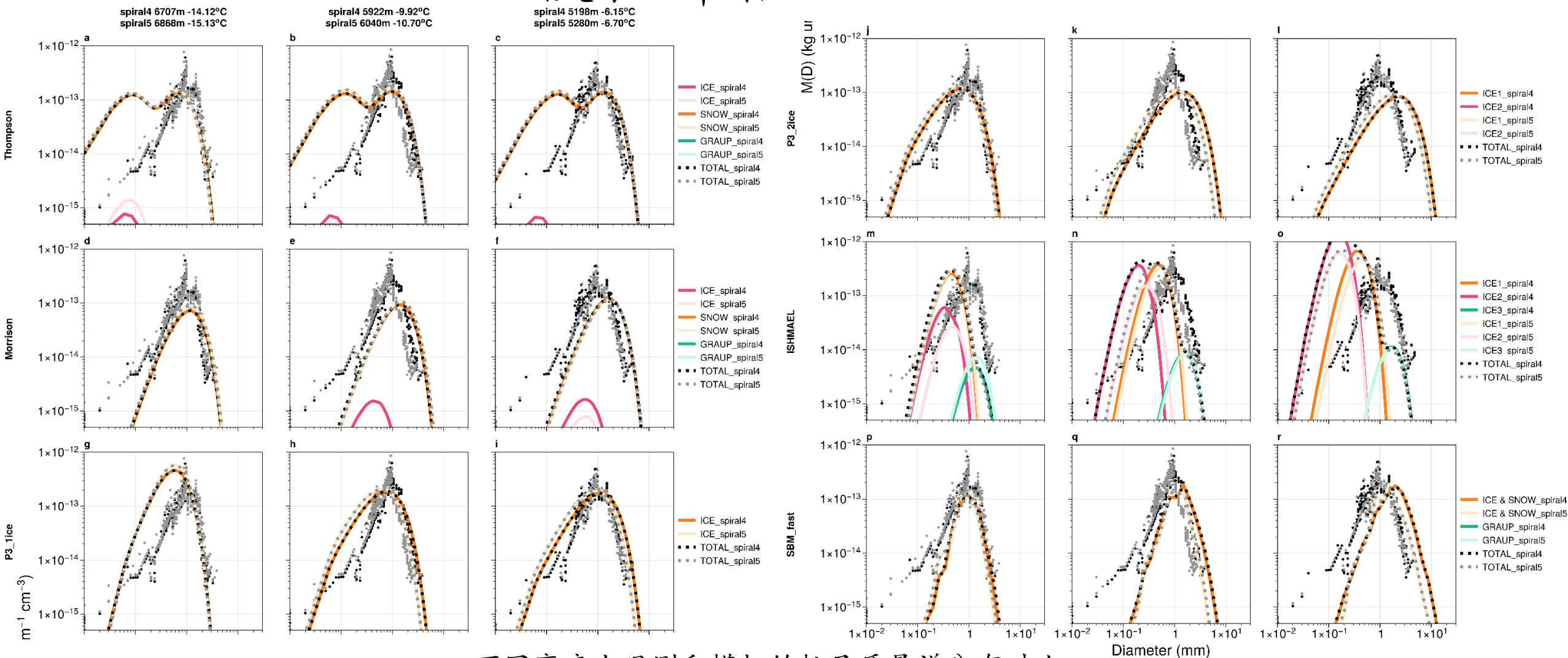
模拟评估 - PSD



不同高度上观测和模拟的粒子浓度谱分布对比

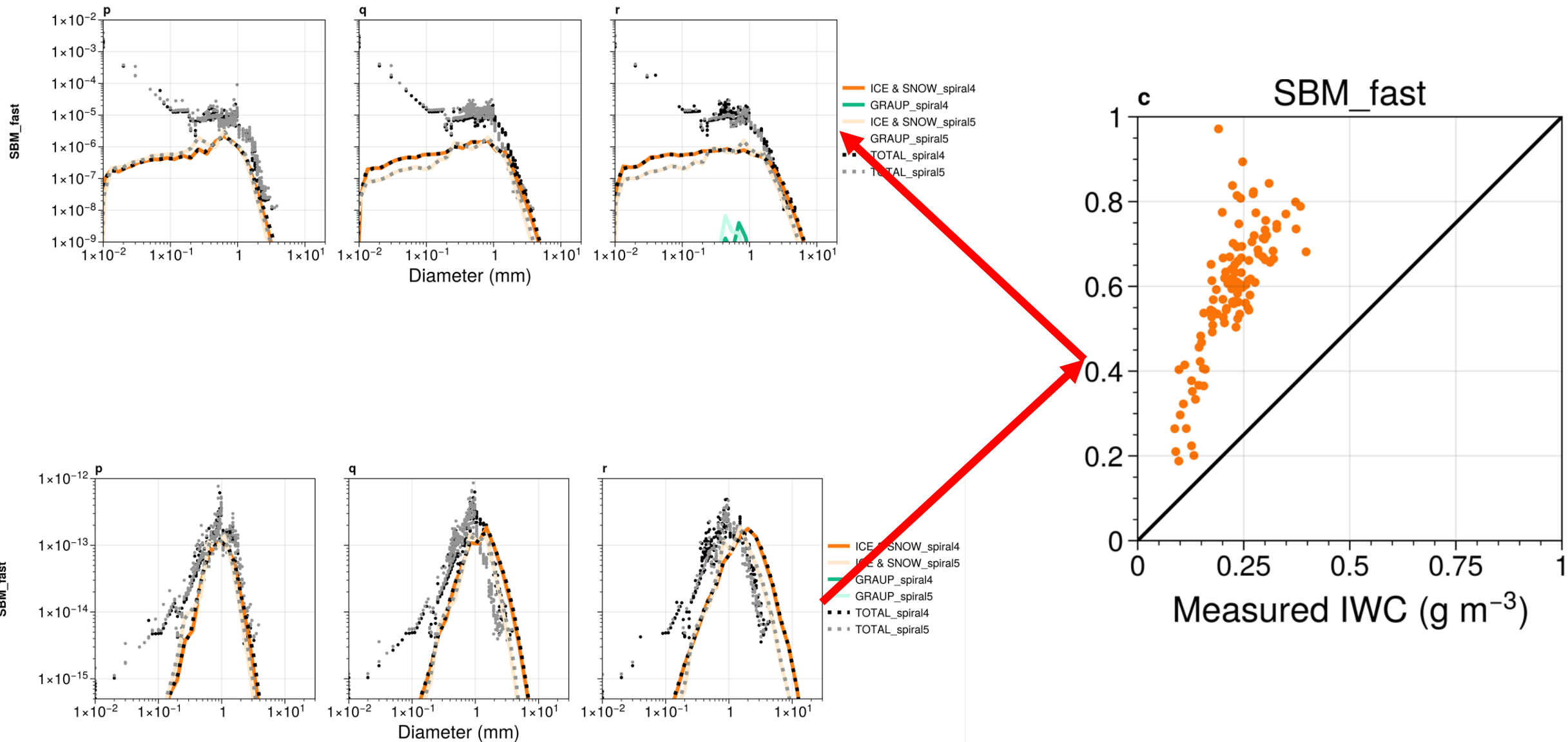
- 除了Thompson方案，其他方案都未能表示出观测中粒子的双峰分布形式；
- P3_1ice方案模拟的谱分布与观测最接近，P3_2ice方案在高层与观测接近，随着高度降低，逐渐偏离观测；
- ISHMAEL低估了大粒子(>1 mm)的浓度，SBM_fast方案低估了小粒子(<1mm)的浓度

模拟评估 - PMD



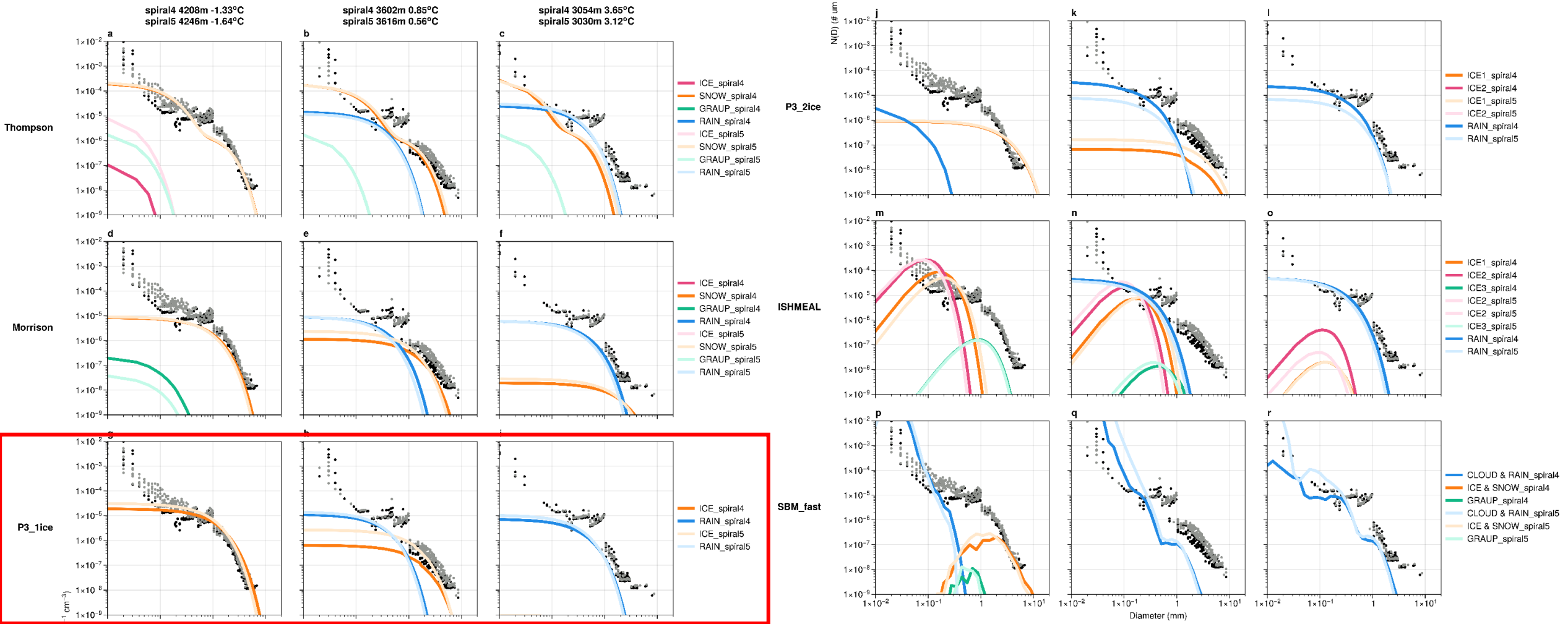
不同高度上观测和模拟的粒子质量谱分布对比

- Thompson方案的PMD也呈现双峰分布；
- P3_1ice模拟的PMD最接近观测，P3_2ice略偏大；
- SBM_fast的PMD与观测比较接近



SBM_fast方案的M-D关系不适合这次层云个例，它会导致质量高估；
所以在PMD与观测接近的情况下，SBM_fast方案的PSD与观测存在明显差距。

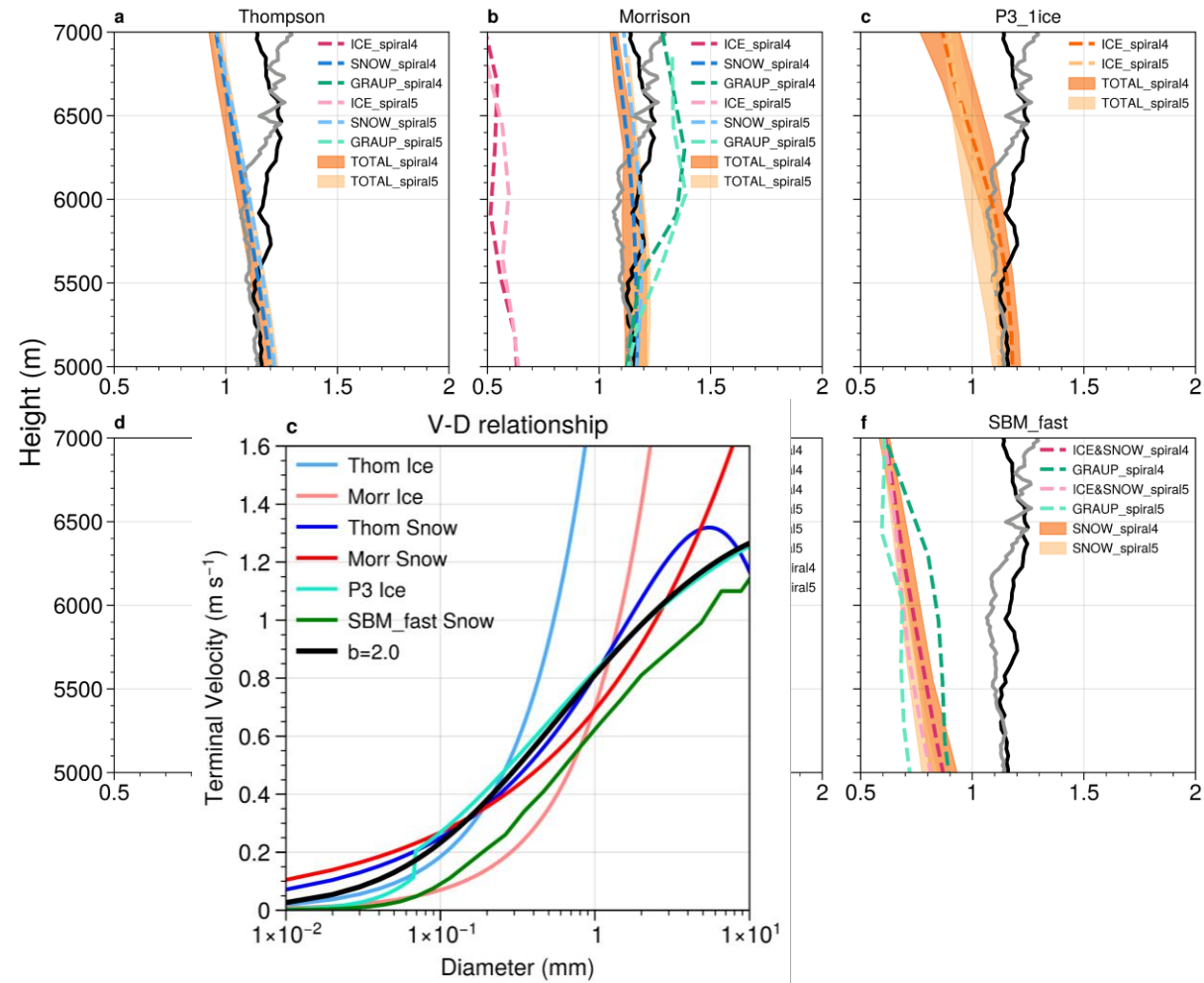
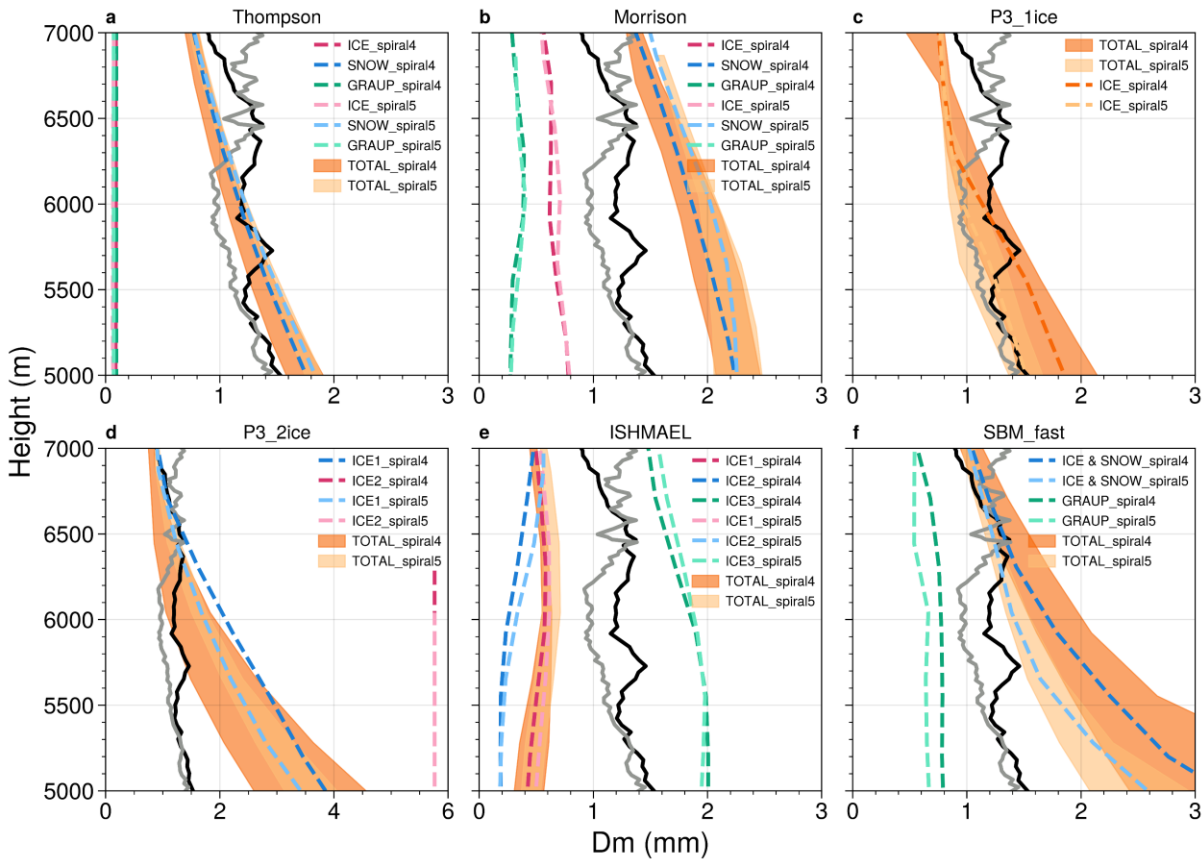
模拟评估-融化过程



融化前, 中, 后观测与模拟的谱分布的对比

➤ 即使是冰相谱分布模拟得最接近观测的P3_1ice方案, 模拟的融化后的谱分布也与观测存在差距

模拟评估 - Dm, Vm



- Thompson, P3_1ice的 D_m , V_m 都与观测比较接近;
- SBM_fast的 D_m 大于观测, V_m 小于观测

模拟评估-定量化偏差程度

$$\text{MAPE} = \frac{100\%}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i^{\text{obs}} - y_i^{\text{mod}}}{y_i^{\text{obs}}} \right|$$

Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

	Thompson	Morrison	P3_lice	P3_2ice	ISHMAEL	SBM_fast
IWC	24.9 41.2	31.5 25.4	31.5 26.8	34.5 26.0	45.9 30.3	51.7 28.0
m-D	133.5 93.6	126.5 73.2	20.8 33.1		ICE1 1045 794 ICE2 1616 1234 ICE3 68.0 33.3	296.6 219.9
D _m	15.6 26.6	47.0 67.7	22.3 19.5	66.1 70.9	57.5 53.5	43.3 35.8
V _m	9.8 9.9	4.8 5.8	12.0 12.2	11.8 12.0	19.8 18.8	38.3 40.4
PSD	4.5 3.8	5.5 5.5	1.5 1.9	2.2 2.1	34.8 30.8	28.6 41.0
PMD	2.3 2.5	3.8 4.5	1.9 2.1	3.0 2.6	16.7 7.2	4.7 7.6

- P3_lice方案的模拟偏差是最小的；
- P3_2ice作为P3_lice方案的改进版本，模拟效果反而变差了；
- 传统的Thompson, Morrison方案的模拟结果与观测比较接近；
- ISHMAEL方案模拟偏差较大，因为它模拟的aggregates太少；
- SBM_fast方案并没有比BULK方案模拟的更好

P3_2ice方案改进

P3_2ice方案比起P3_1ice方案只是增加了一个粒子种类，除此之外两者并没有差别。

P3_2ice多了一个粒子种类，所以它考虑了两种粒子之间的**碰并**，并规定如果两种粒子的性质足够接近，则将两种粒子**合并**。Milbrandt and Morrison (2016)承认P3_2ice方案中的**碰并效率**具有不确定性。

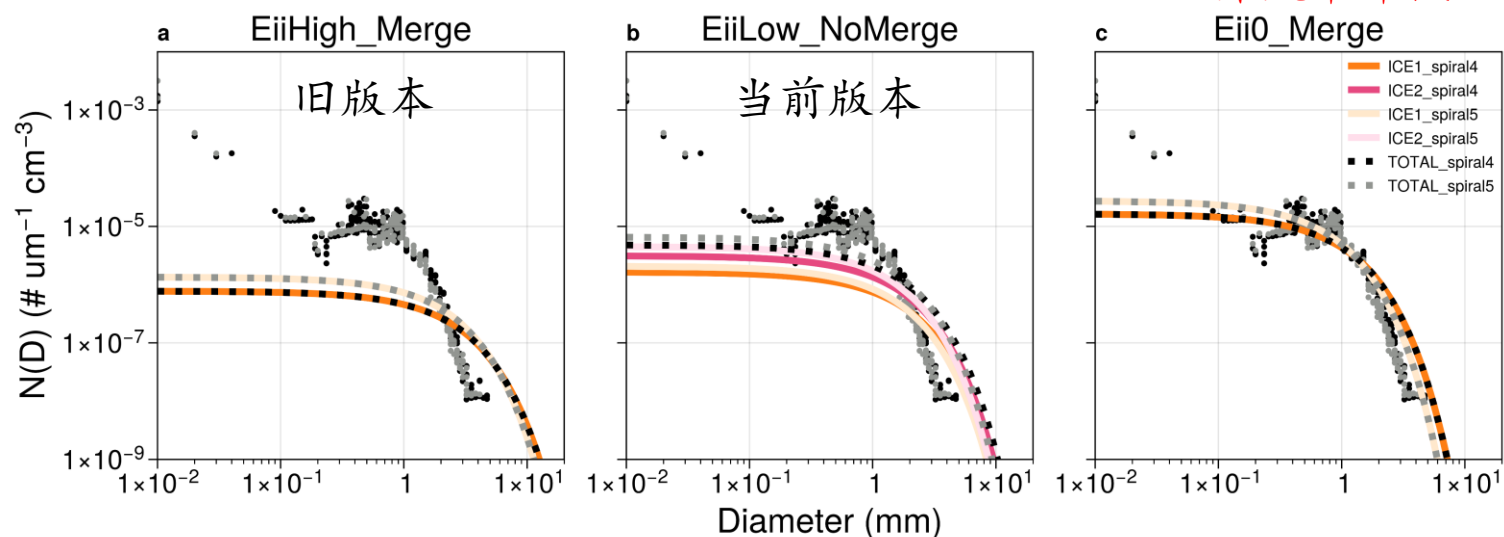
新增3个P3_2ice敏感性试验：

- 1) 高碰并效率 (0.1~1) + 合并 (EiiHigh_Merge)
- 2) 低碰并效率 (0.001-0.3) + 不合并 (EiiLow_NoMerge)
- 3) 碰并效率为0 + 合并 (Eii0_Merge)

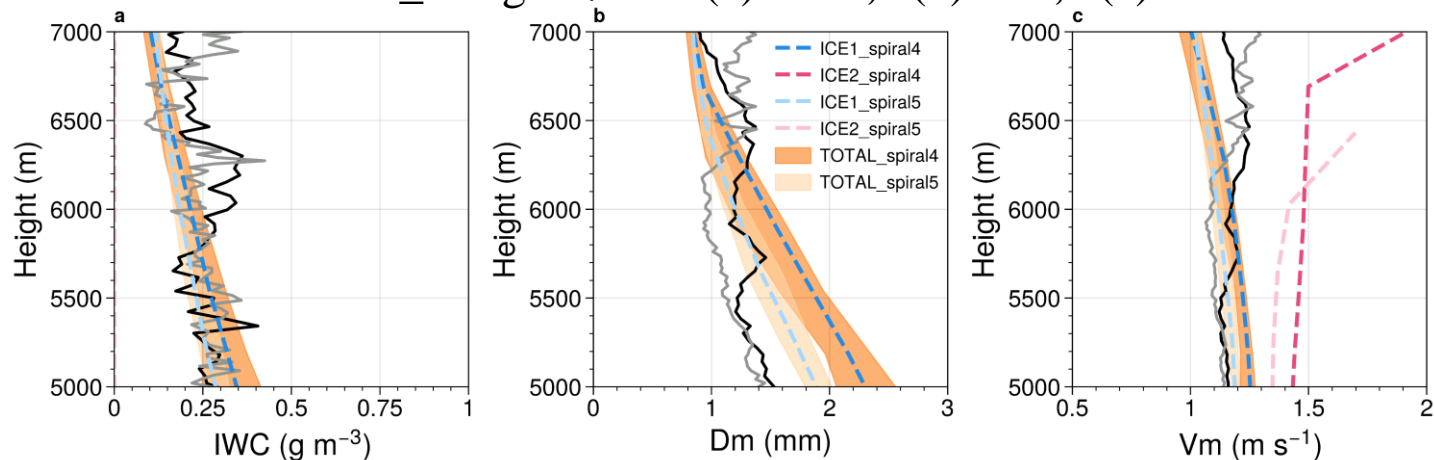
配合原始CTRL试验：

- 4) 低碰并效率 (0.001-0.3) + 合并

碰并效率降低



Eii0_Merge试验的 (a) IWC, (b) Dm, (c) Vm

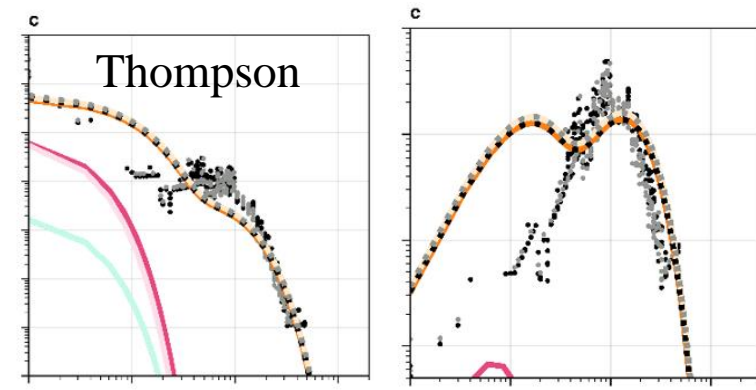
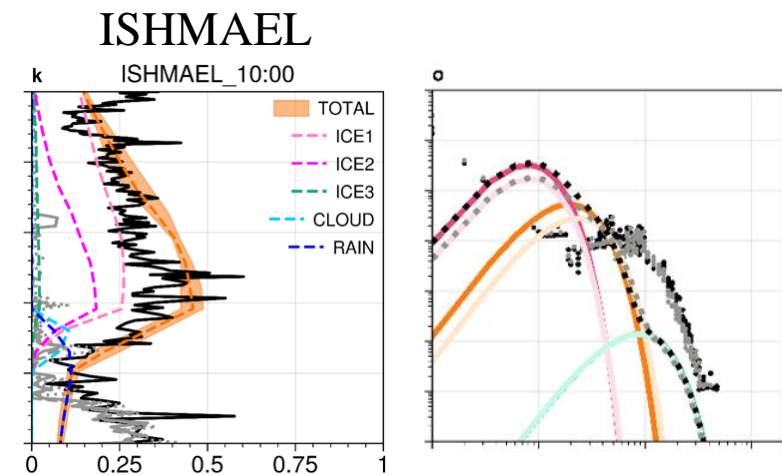
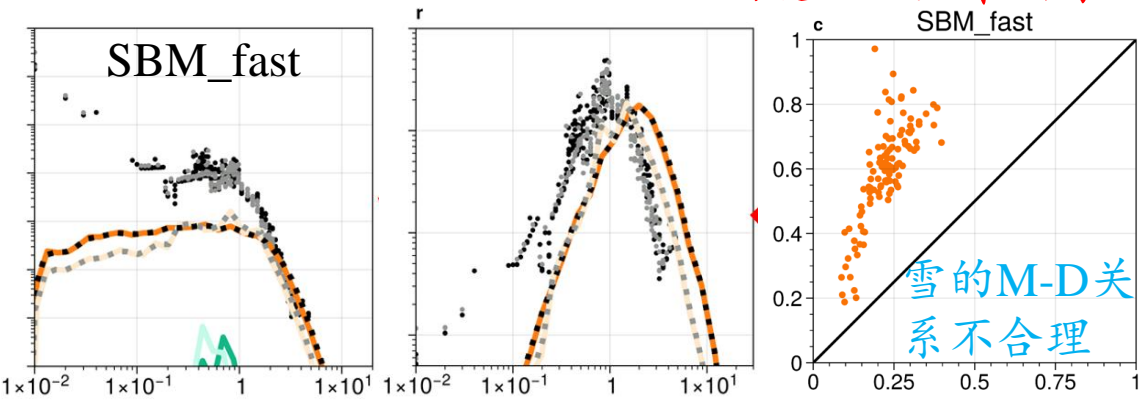


两种粒子因为性质接近而合并的过程，并不影响两种粒子的总谱分布。

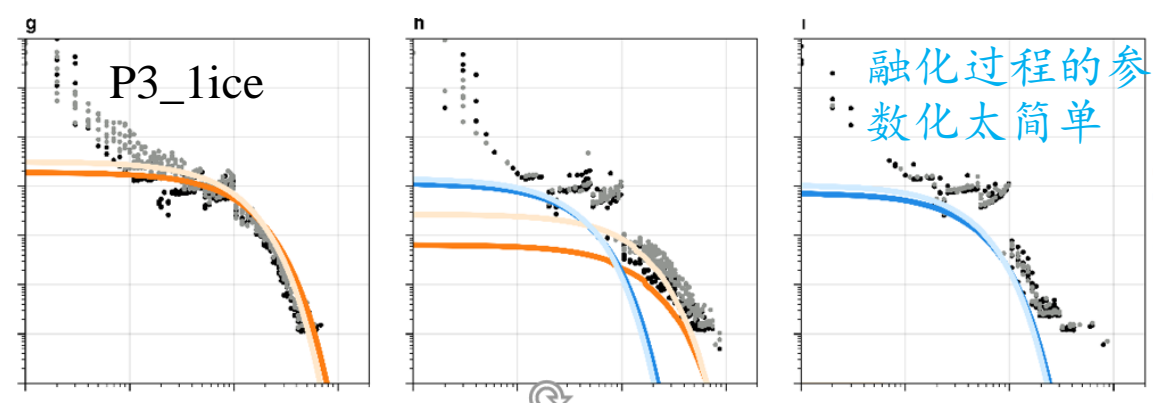
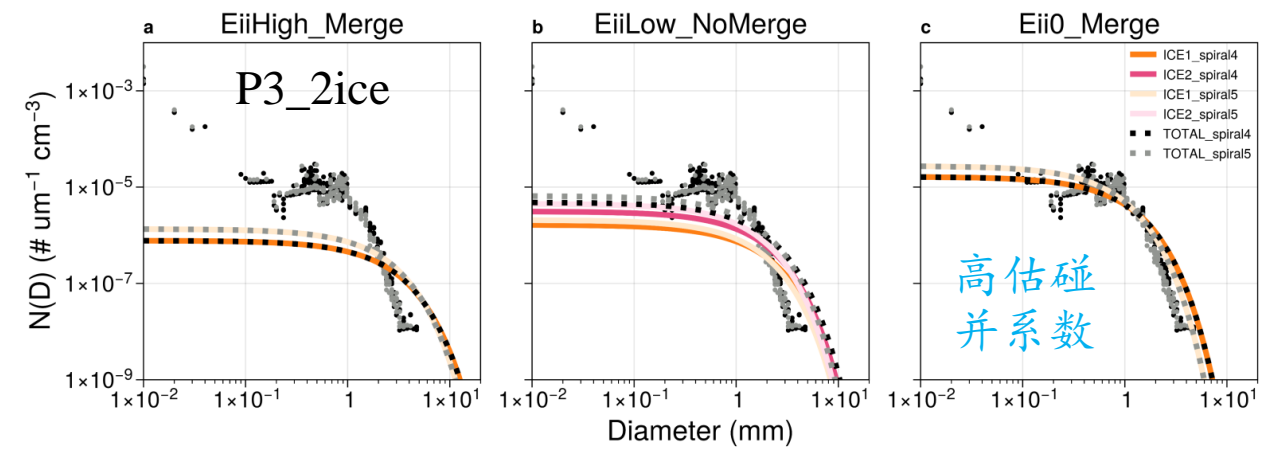
碰并效率降低，模拟的谱分布逐接近观测；碰并效率需要降低到0，才能和观测足够接近；

(CTRL试验0.001-0.3的碰并效率依然过高)

偏差的来源是什么？如何改进？



固定的谱分布参数可能不适用于此次个例



- P3_lice方案较好地模拟结果并不一定来自于其允许粒子属性自由演化这一优势；传统BULK微物理方案模拟结果也不错；
- BIN方案的模拟结果并不优于BULK；
- 微物理方案的框架与微物理过程的描述都重要

谢谢!



Hua, S., Chen, B. and Coauthors, 2023: Evaluation of the Ice Particle Simulation of Microphysics Schemes with Aircraft Measurements of a Stratiform Cloud in North China. *J. Atmos. Sci.*, 80, 1635–1656.



中国气象局人工影响天气中心
CMA Weather Modification Centre(WMC)