



区域云可分辨天气预报模式分系统 使用流程培训

汇报人：周括（IAP-LACS）

2023年6月7日



提纲

- 1 区域云可分辨天气预报模式分系统介绍
- 2 分系统关键技术
- 3 模式运行设置





分系统指标及组成

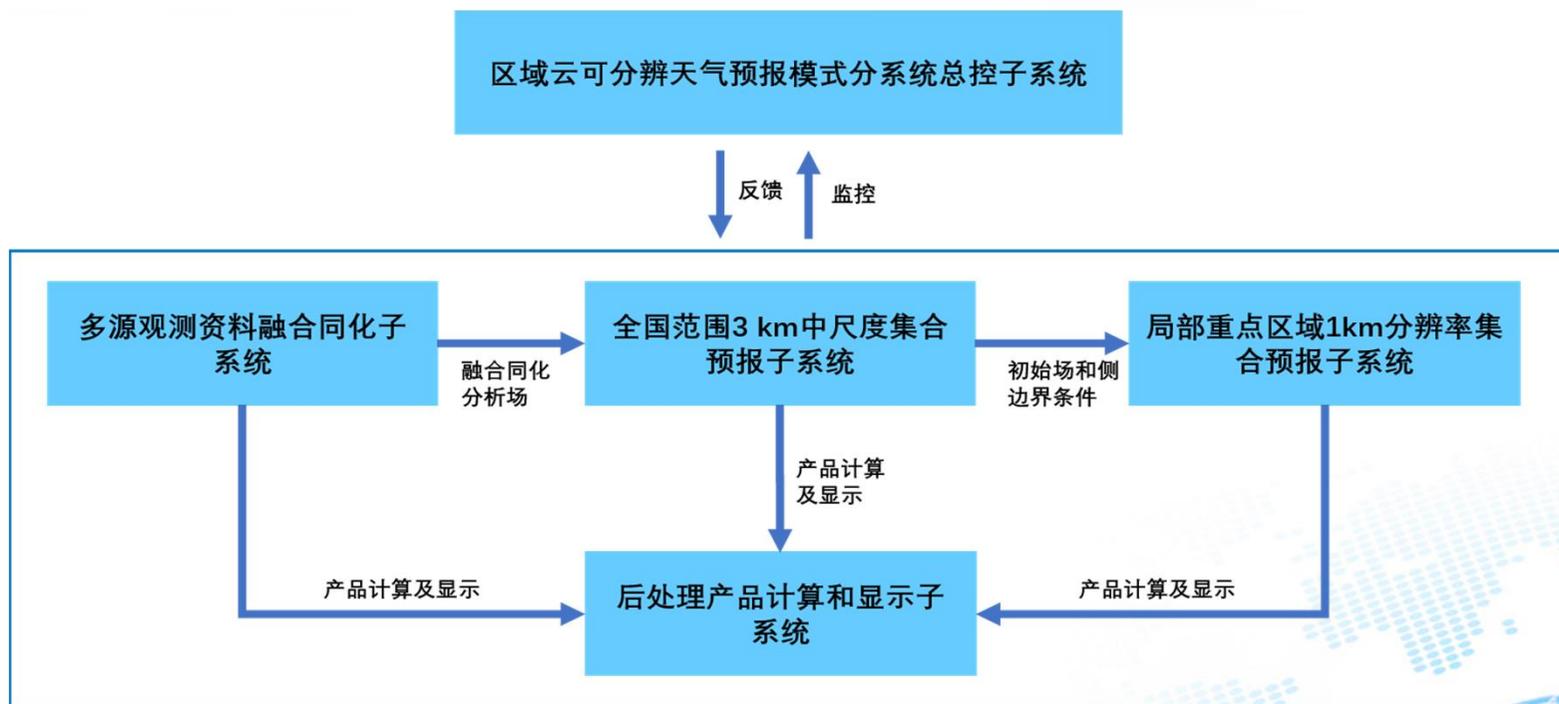
分系统共分为以下5个子系统内容，建设过程中完成以下设计指标的研究工作：

- 空间分辨率：全国**3KM**，重点区域**1KM**；
- 垂直层数：**61层**；
- 24小时暴雨预报精度提高现有预报水平的**5-10%**；
- 12小时雷暴和短时强降水预报精度提高现有预报水平的**10%**；





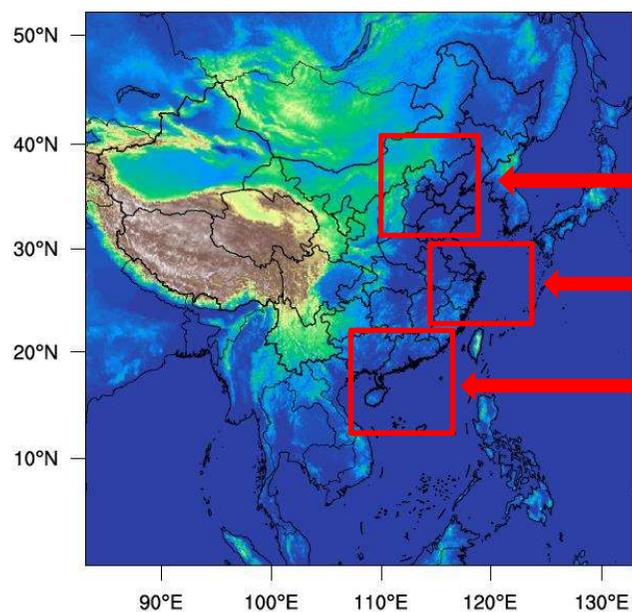
分系统内部接口





分系统区域设置

模拟区域

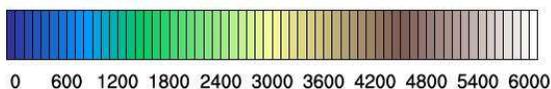


3km分辨率全国范围

1km分辨率重点区域

1km分辨率重点区域

1km分辨率重点区域





分系统运行环境与输入数据

运行环境

操作系统	3.10.0-1127.el7.x86_64 (Red Hat 4.8.5-39)
Kernel版本	3.10.0-693.el7.x86_64
编译器	compiler/intel/2017.5.239
UCX	1.6.0
MPI	mpi/intelmpi/2017.4.239
监控与作业调度系统	Gridview4.6 PBS

```

...../public/home/rank1/module
compiler/intel-2013.sp1  mathlib/hdf5/intel/1.10.3  mathlib/netcdf/intel/4.7.4  mpi/intelmpi/2018.4.274
...../public/software/modules
apps/anaconda3/5.3.0  compiler/intel/2021.3.1  mathlib/netcdf/gnu/4.4.1
apps/esmf/intelmpi/7.0.0  compiler/intel/2022.1.0  compiler/rocm/4.6  mathlib/netcdf/intel/4.7.4
apps/esmf/intelmpi/8.0.1  mathlib/antlr/gnu/2.7.7  mathlib/netcdf/intel/4.8.1
apps/lammps/intelmpi/29Sep2021  mathlib/antlr/intel/2.7.7  mathlib/pio/gnu/hpcx-2.7.4-gcc7.3.1-2.5.1
apps/lammps-2022/hpcx-gcc-7.3.1  mathlib/cdo/intel/1.18.19  mathlib/pio/gnu/openssl-1.0.4-gcc4.8.5-2.5.1
apps/ml/universa1/1.4.18  mathlib/grib_api/intel/1.19.0  mathlib/pio/intel/2.5.1
apps/ncl_ncarg/6.3.0  mathlib/gsl/intel/2.6  mathlib/pnetcdf/gnu/hpcx-2.7.4-gcc7.3.1-1.12.1
apps/ncl_ncarg/6.5.2  mathlib/hdf4/gnu/4.2.13  mathlib/pnetcdf/gnu/openssl-1.0.4-gcc4.8.5-1.12.1
apps/nco/gnu/4.8.1  mathlib/hdf4/intel/4.2.13  mathlib/pnetcdf/intel/1.12.1
apps/nco/intel/4.8.1  mathlib/hdf4/intel/4.2.15  mathlib/pnetcdf/intel/1.12.3
apps/ncview/gnu/2.1.7  mathlib/hdf5/gnu/1.8.29  mathlib/zip/gnu/2.1.1
apps/ncview/intel/2.1.7  mathlib/hdf5/intel/1.10.3  mathlib/zip/intel/2.1.1
apps/PyTorch/1.7.0-mmcv/pytorch-1.7-mmcv1.3.8-rocm-4.0.1  mathlib/hdf5/intel/1.12.0  mathlib/udunits/gnu/2.2.28
apps/PyTorch/dtk-22.10/1.10.0a0  mathlib/hdf5/intel/1.12.2  mathlib/udunits/intel/2.2.28
apps/singularity/3.8.0  mathlib/hdf5/intel/1.8.20  mathlib/wrlib2/2.0.8
apps/TensorFlow/tf1.15.3-rocm4.0.1/hpcx-2.7.4-gcc-7.3.1  mathlib/jasper/gnu/1.900.1  mathlib/zlib/gnu/1.2.11
apps/TensorFlow/tf2.5.0-rocm4.0.1/hpcx-2.7.4-gcc-7.3.1  mathlib/jasper/intel/1.900.1  mpi/intelmpi/2017.4.239
benchmark/lmb/intelmpi/2017  mathlib/jpeg/gnu/9a  mathlib/zlib/intel/1.2.11
compiler/cmake/3.20.1  mathlib/jpeg/intel/9a  mpi/intelmpi/2021.3.0
compiler/gtk/22.04.2  mathlib/lapack/gnu/3.9.1  mpi/intelmpi/2021.3.1
compiler/gtk/22.10.1  mathlib/lapack/intel/3.9.1  mpi/intelmpi/2022.1.0
compiler/gcc/7.3.1  mathlib/libpng/gnu/1.2.12  mpi/openssl/gnu/4.0.4
compiler/intel/2021.3.0  mathlib/libpng/intel/1.2.12
...../opt/hpc/software/modules
compiler/devtoolset/7.3.1  compiler/rocm/3.3  mpi/hpcx/2.7.4/intel-2017.5.239
compiler/intel/2017.5.239  mpi/hpcx/2.7.4/gcc-7.3.1  mpi/openssl/4.0.4/gcc-7.3.1

```

```

module load compiler/intel/2017.5.239
module load mpi/intelmpi/2017.4.239
module load mathlib/hdf5/intel/1.8.20
module load mathlib/libpng/intel/1.2.12
module load mathlib/zlib/intel/1.2.11
module load mathlib/jpeg/intel/9a
module load mathlib/jasper/intel/1.900.1
module load mathlib/szip/intel/2.1.1
module load mathlib/hdf4/intel/4.2.13
module load mathlib/netcdf/intel/4.4.1
module load mathlib/pnetcdf/intel/1.12.1
module load apps/nco/intel/4.8.1
module load apps/ncview/intel/2.1.7

```

输入数据

- GDAS、GFS、GEFS (NCEP)、ERA5 (ECMWF)、GRAPES_GFS (中国气象局)
- 雷达、风云4卫星二级数据、闪电、常规地面探空、地面自动站、风廓线、AMDAR、葵花卫星8号、GPS、metop系列卫星、NOAA系列卫星、闪电定位仪等 (中国气象局)
- 全球地形和下垫面数据





区域云可分辨天气预报模式分系统

■ 系统概述

系统可进行多源观测资料融合同化，全国范围3 km中尺度集合预报，以及局部重点区域1 km分辨率集合预报。

■ 分系统构成

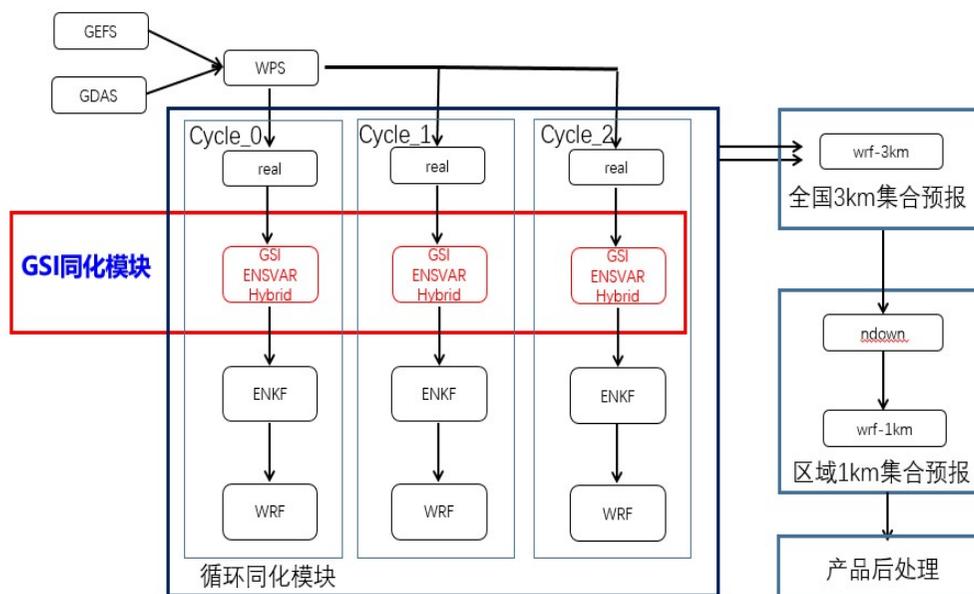
由5个子系统，27个模块构成

■ 分系统建设指标

空间分辨率：全国3KM，重点区域1KM；

垂直层数：不少于30层；

系统示意图





分系统执行流程

1. 检查GFS、GDAS、GEFS等全球中期数值预报数据是否齐全

```
ls $Home/CREWF/Data/Background/GDAS/YYYYMMDDHH/  
ls $Home/CREWF/Data/Background/GEFS/YYYYMMDDHH/  
ls $Home/CREWF/Data/Background/GFS0p5/YYYYMMDDHH/
```

2. 进入全国3 km分辨率中尺度集合预报主控脚本目录

```
cd $Home/CREWF/Control/scripts/ensemble_3km
```

3. 查看主控制脚本和环境变量设置, 检查格点数、分辨率、垂直层数和积分时间等指标

```
vi Ensemble_Hybrid.csh  
vi set_Ensemble_envars.csh
```

4. 执行脚本, 启动全国3 km分辨率中尺度集合预报

```
./Ensemble_Hybrid.csh ${time}>& run.log &
```

5. 检查3 km集合预报成员gec00、 gep01、 gep02.....gep21目录是否生成

```
cd $Home/CREWF/Forecast/National_3km_ENS  
/YYYYMMDDHH/; ls ge* -lt
```

6. 检查每个集合预报成员gec00、 gep01、 gep02.....gep21的预报数据文件 (此处以gec00成员为例, 其余成员操作方式类似)

```
cd $Home/CREWF/Forecast/National_3km_ENS/YYYYMMDDHH/ge**;  
ls wrfout* -lt
```

7. 查看WRF参数控制文件, 检查格点数、分辨率和垂直层数以及模式区域范围

```
vi namelist.input  
显示dx= 3000 ; dy= 3000; e_vert = 61
```

8. 执行重点区域1km主控脚本

```
cd $Home$Home/CREWF/Control/scripts/ensemble_1km;  
./Ensemble_Ndown.csh ${time}
```

9. 查看1km分辨率集合预报初始场和边界场文件和参数控制文件

```
cd /LACS_1km_ENS/*/ndwon/; ls wrfinput_d01 -lt;ls wrfbdy_d01 -lt  
vi ndown_namelist.input; 显示  
dx = 1km;dy = 1km;e_vert = 61
```



提纲

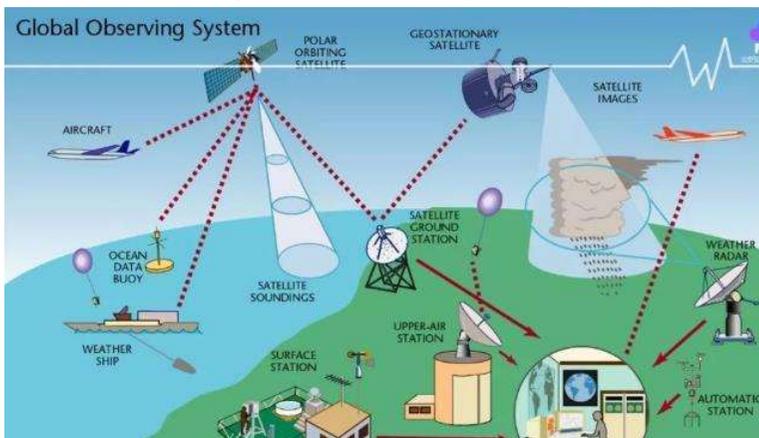
- 1 区域云可分辨天气预报模式分系统介绍
- 2 分系统关键技术
- 3 模式运行设置





多源观测资料融合化

多源观测资料



资料预处理模块

并行提交

资料预处理
模块

常规地面、探空
观测预处理模块

飞机报观测预处
理模块

自动站观测预处
理模块

风廓线雷达观测
预处理模块

FY-4A温湿廓线
预处理模块

葵花8号卫星亮温
预处理模块

闪电定位仪观测
预处理模块

雷达径向风和反射
率预处理模块

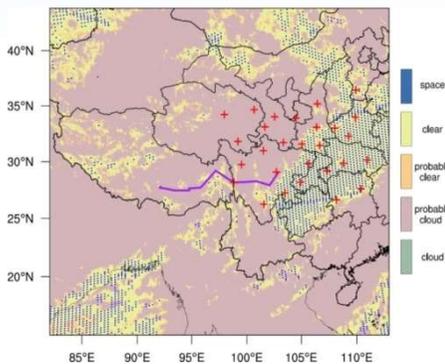
确定性预报变
分同化模块

集合预报变分
同化模块

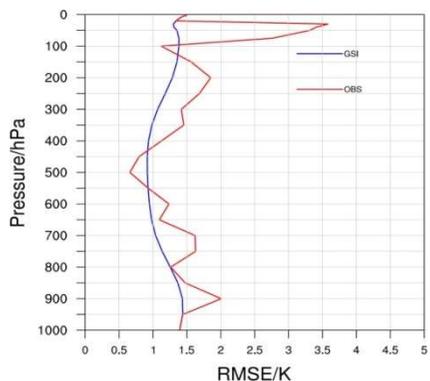


FY-4A卫星温度廓线同化

常规探空VS卫星云检测



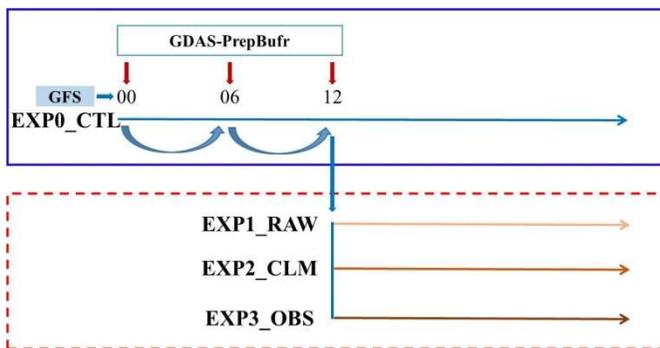
卫星温度廓线误差订正



卫星资料质量控制

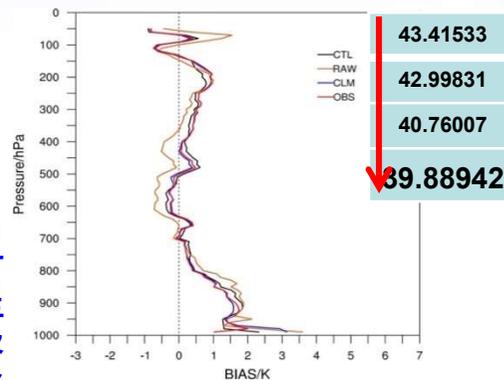
基于高分变率卫星观测

循环同化更新预报系统

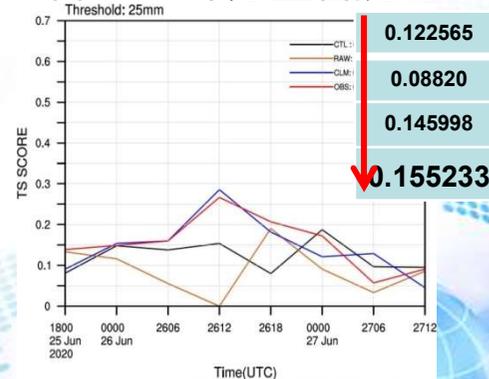


卫星资料同化评估

预报场温度偏差减小



降水TS评分显著提高





发展云分辨尺度集合扰动技术

初值扰动

- ❑ GDAS+GFS、GEFS、EC
- ❑ randomCV 扰动方法
- ❑ BGM
- ❑ 时间采样
- ❑ 融合扰动

随机扰动

- ❑ 物理倾向随机扰动
- ❑ 边界层参数随机扰动
- ❑ 陆面模式参数随机扰动

物理参数化方案扰动

- ❑ 云微物理、边界层、陆面模式方案组合
- ❑ 粒子下落末速度

侧边界扰动

- ❑ 不同物理方案集合成员扰动
- ❑ 不同集合时间扰动

下垫面扰动

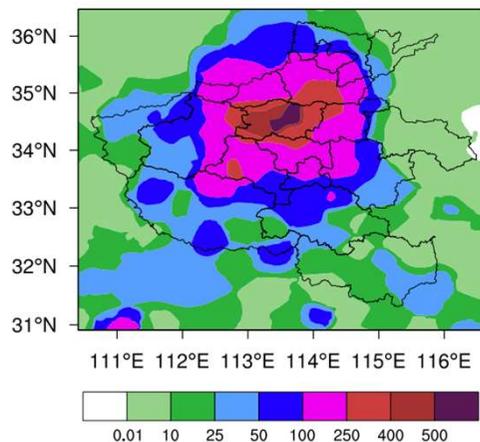
- ❑ 土壤温度 (TSLB)
- ❑ 土壤湿度 (SMOIS)
- ❑ 植被覆盖率 (VEGFRA)



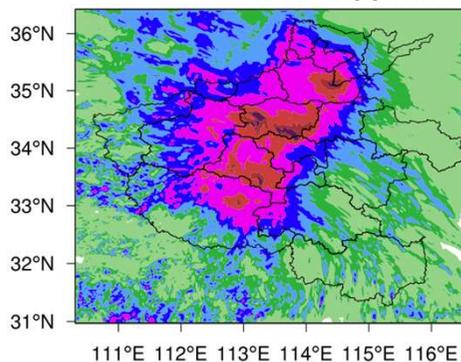
Morrison方案改进

Morrison方案综合改进试验

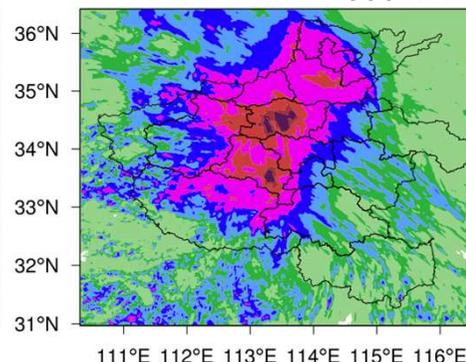
观测 (19日00时至20日16时)
Max=818 mm



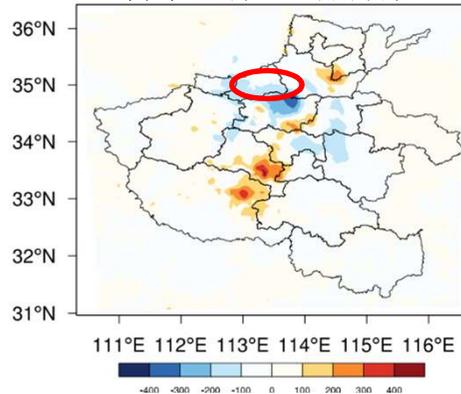
原始方案
Max=755 mm



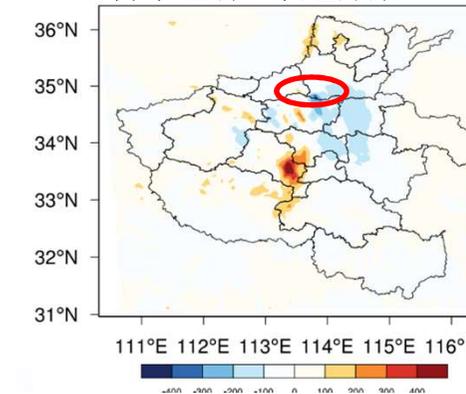
改进方案
Max=830 mm



降水差场 (原始方案)



降水差场 (改进方案)



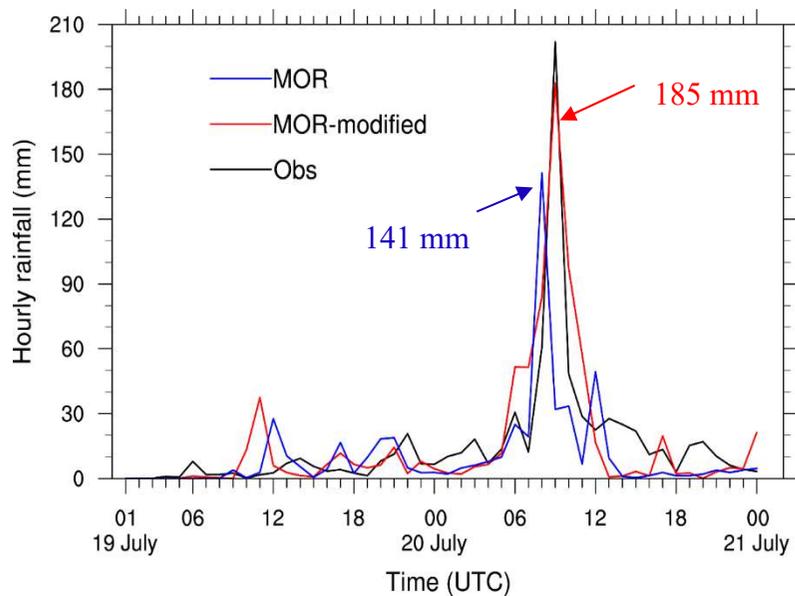
- 改进方案模拟的强降水落区更符合实况，累积降雨量与实况更接近。



改进云微物理方案对“21.7”河南暴雨的模拟

Morrison方案综合改进试验

观测和模拟的逐小时降水量

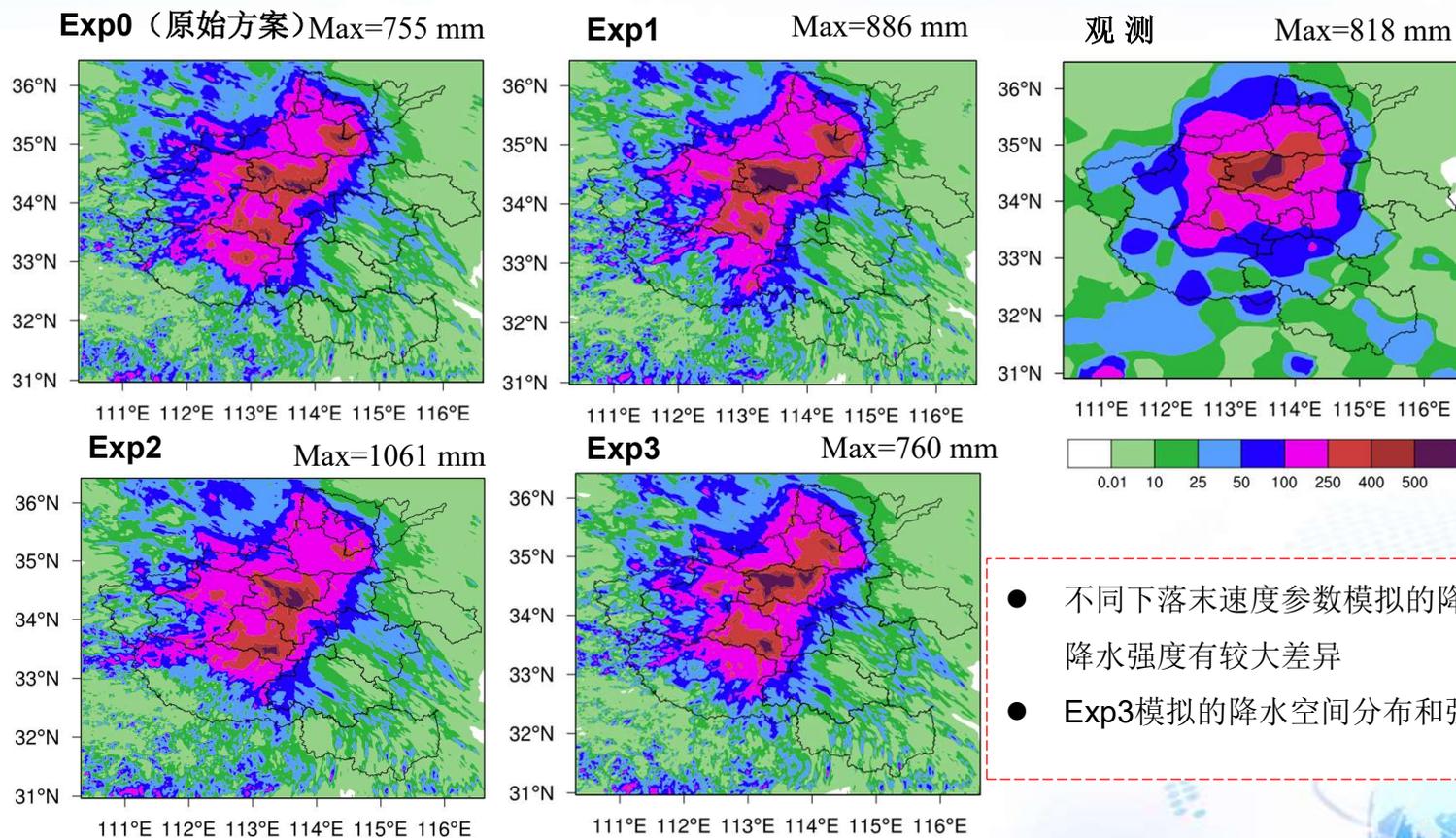


- 观测和模拟的最强小时降水所在站点/位置逐小时降水量的时间演变
- 改进方案模拟的最大小时降水量达185 mm，与观测更接近。



霰粒子下落末速度

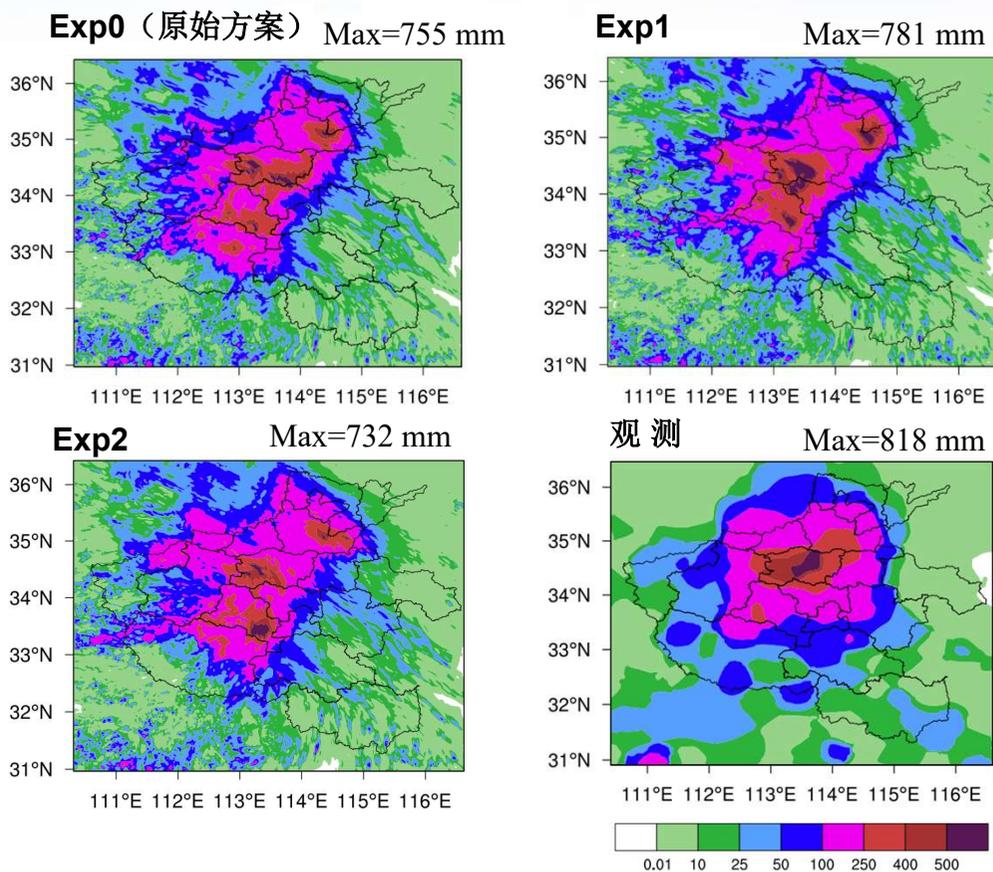
霰粒子下落末速度实验





CCN数浓度

CCN数浓度改进实验

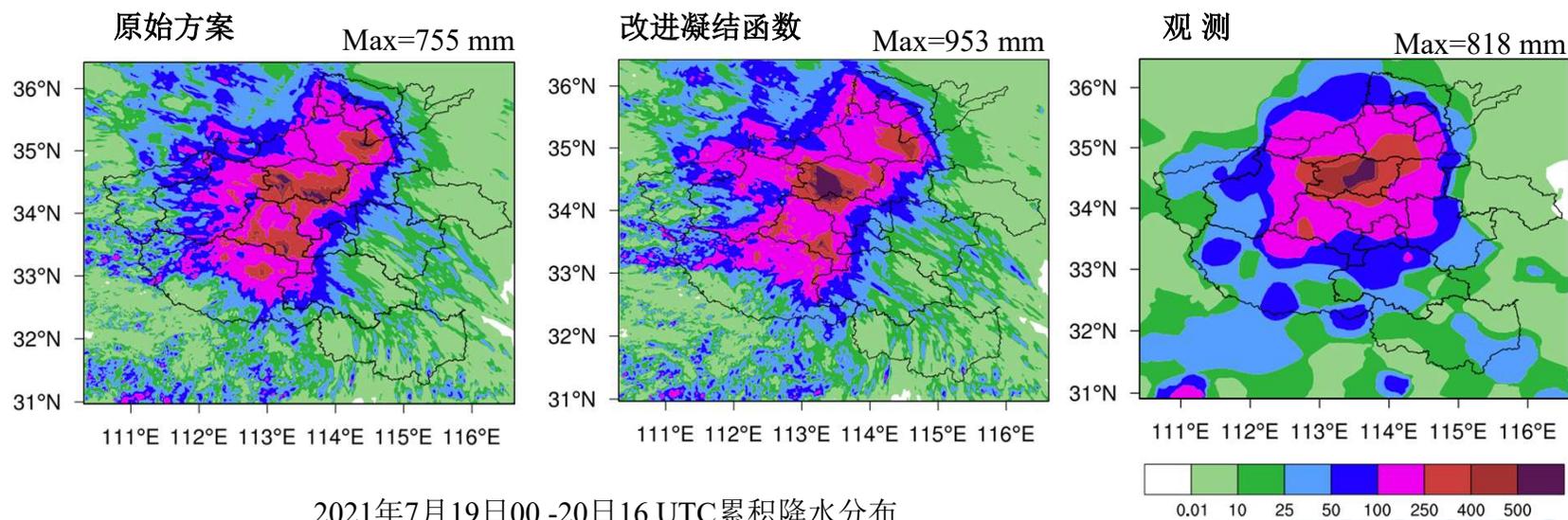


- 云滴数浓度增大后，对降水落区和降水强度均有改善
- 云滴数浓度设为 500 cm^{-3} 模拟结果最接近实况



凝结过程改进

凝结过程改进实验



- 改进凝结过程后对强降水的落区有所改善，对降水强度改进并不明显。



提纲

- 1 区域云可分辨天气预报模式分系统介绍
- 2 分系统关键技术
- 3 模式运行设置

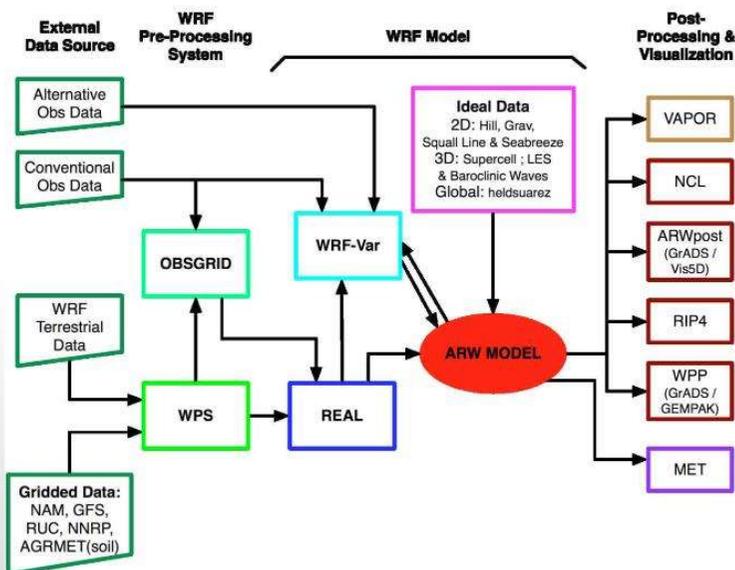




模式运行

模式运行流程

WRF Modeling System Flow Chart



公共数据池:/sharedata/dataset/realtime

- (1) GFS (00, 06, 12, 18时) (提供最近2周历史数据)
- (2) GDAS (00, 06, 12, 18时) (提供最近2周历史数据)
- (3) CFS (00, 12时) (提供最近2周历史数据)
- (4) EC预报数据 (EC已公开的数据) (提供最近2周历史数据)
- (5) ERA5再分析 (全球/全高度层/全变量) (1951年至今)
- (6) ERA5-Land (1950年至今)
- (7) FNL (1999年至今)
- (8) JRA-55 (1958年至今)

地形地表数据:

LANDUSE: MCD12Q1v006土地覆被数据, 空间分辨率为500m
 HGT: ASTER Global Digital Elevation Model V003, 30m



模式配置和资源利用

模式设置

水平分辨率	3km
格点数	1651 × 1251
垂直层数/模式层顶	51/50 hPa
预报时效	120h
微物理参数化方案	MORRISON
长短波参数化方案	RRTMG
陆面过程	Noah
边界层	YSU

资源与墙钟

逐12h启动

20节点*60CPU

< 6h



作业提交方式

编写提交作业文件

```
#!/bin/bash
#SBATCH -J WRF_CN3
#SBATCH -p bigmem
#SBATCH -N 20
#SBATCH --ntasks-per-node=60
#SBATCH -o log.%j
#SBATCH -e log.%j
#SBATCH --exclusive
#SBATCH --mem=110G

module purge
module load compiler/intel/2017.5.239
#module load mpi/intelmpi/2017.4.239
#module load mpi/intelmpi/2018.4.274
module load mpi/hpcx/2.7.4/intel-2017.5.239
module load mathlib/hdf5/intel/1.8.20
module load mathlib/libpng/intel/1.2.12
module load mathlib/zlib/intel/1.2.11
module load mathlib/jasper/intel/1.900.1
module load mathlib/zip/intel/2.1.1
module load mathlib/netcdf/intel/4.4.1
module load mathlib/hdf4/intel/4.2.13
module load mathlib/jpeg/intel/9a
module load mathlib/pnetcdf/intel/1.12.1

scontrol show hostname > nd
NP=$SLURM_NPROCS
mpirun -np $NP -machinefile nd ./wrf.exe
```

← 资源申请

← 环境参数

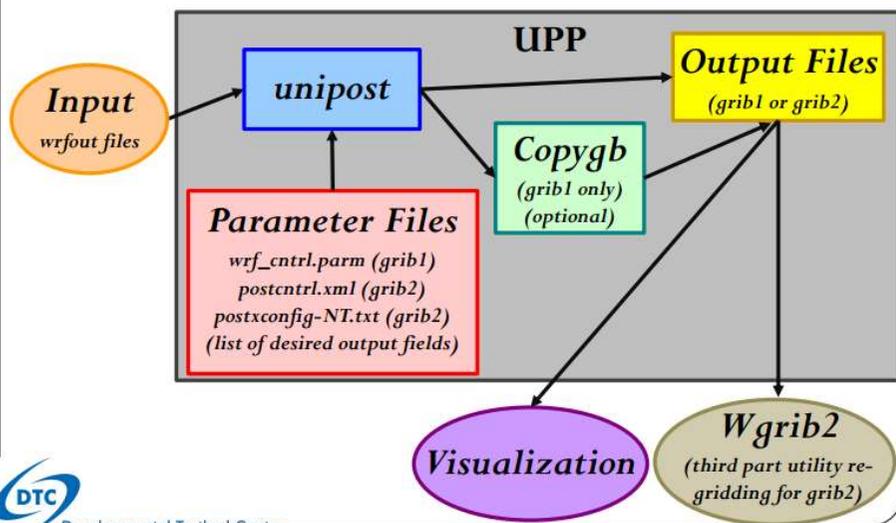
← 可执行文件



模式后处理

Components of the UPP

UPP has two components: 1) **unipost** 2) **copygb** (grib1 only)



- 垂直插值，将模式面的资料插值到等压面、高度面和其他指定层次
- 计算诊断量，完整的诊断量信息参见
 - grib1: <https://dtcenter.org/sites/default/files/community-code/upp-grib1-table.pdf>
 - grib2: <https://dtcenter.org/sites/default/files/community-code/upp-grib2-table.pdf>
- 将计算结果输出为标准的GRIB1或GRIB2格式（目前GRIB2不稳定）
- 支持并行计算



grib1控制文件



控制文件主体每条记录占两行，指定了输出的变量和层次

- 第一行指定了变量（WIND AT ANEMOM HT）和精度（SCAL=(3.0)）
- 第二行指定了垂直层次，0表示关闭输出，1表示打开输出
 - 对于10m风这类单层变量，通过第一位来控制是否输出
 - 对于等压面变量，不同位置代表不同气压，依次为2, 5, 7, 10, 20, 30, 50, 70 mb，接着从75到1000mb，间隔25 mb。

注意：每条记录必须对齐，unipost程序中是按位读取的

L= (00000 01001 01...)

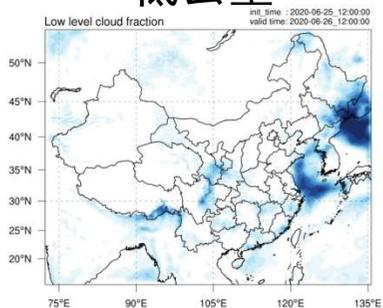
2	5	7	10	20	30	50	70	75	100	125	150
---	---	---	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----



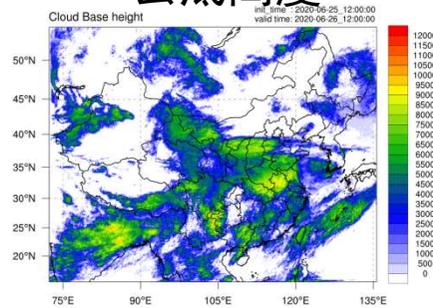
分系统图形产品

输出多种云产品

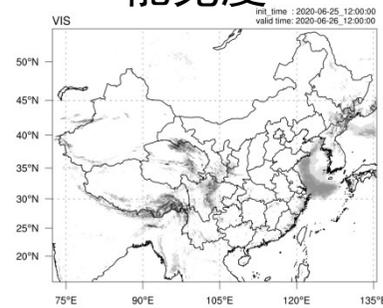
低云量



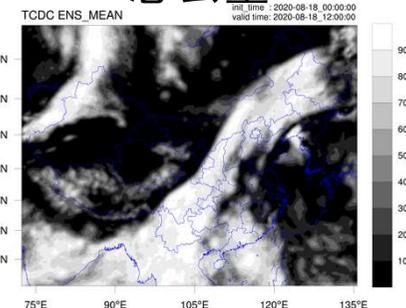
云底高度



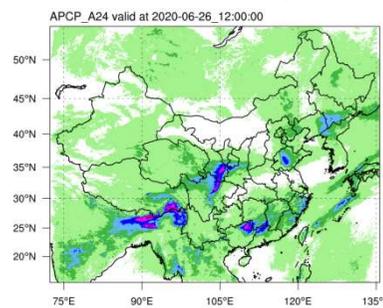
能见度



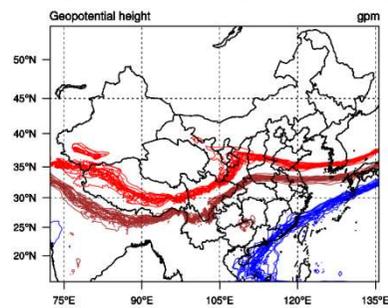
总云量



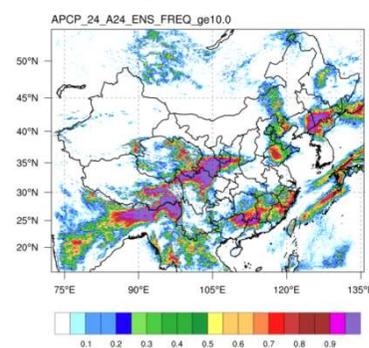
24小时降水量



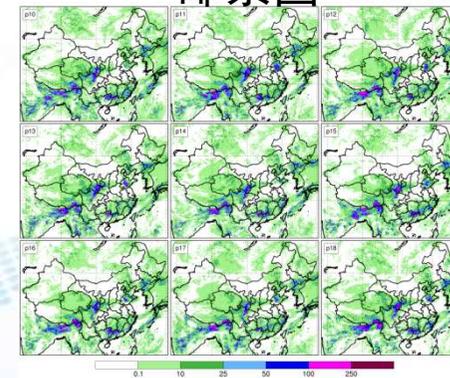
位势高度面条图



降水概率预报



邮票图





MET编译

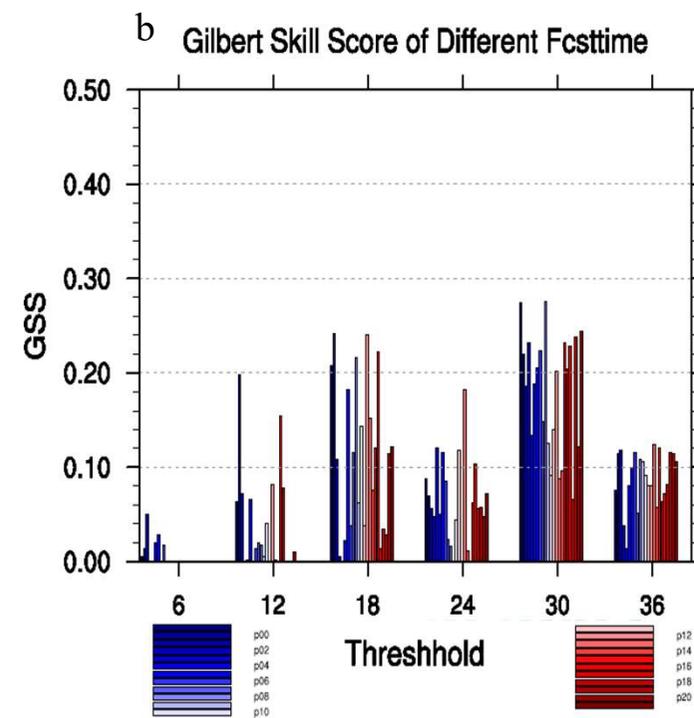
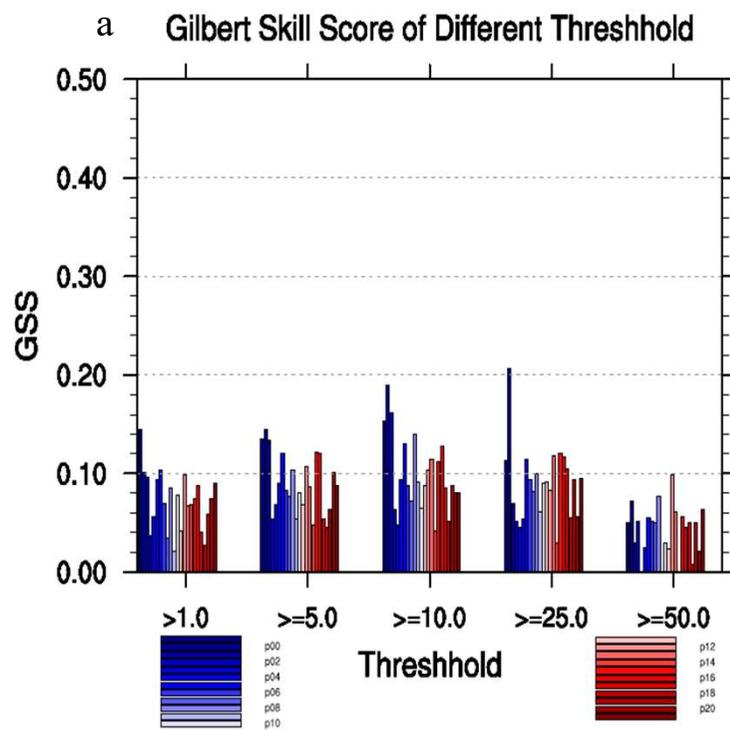
- 设置环境变量
 - export MET_BUFRLIB=/public/home/sanqingpf2/model/MET5.2/BUFRLIB
 - export MET_GSL=/public/home/sanqingpf2/model/MET5.2/gsl
 - export MET_NETCDF=/public/home/sanqingpf2/tools/netcdf-4.4.1.1
 - export LD_LIBRARY_PATH=/public/home/sanqingpf2/tools/netcdf4.4.1.1/lib:\
 - /public/home/sanqingpf2/model/MET5.2/gsl/lib:\${LD_LIBRARY_PATH}
- 下载 met-5.2_bugfix.20170403.tar.gz
 - <https://dtcenter.org/community-code/model-evaluation-tools-met/download>
- 解压 tar zxvf met-5.2_bugfix.20170403.tar.gz
- ./configure --prefix=`pwd`
- make install >& make_install.log &

编译成功后，产生以下可执行文件：

```
[sanqingpf2@admin1 bin]$  
[sanqingpf2@admin1 bin]$  
[sanqingpf2@admin1 bin]$ls  
ascii2nc      gsidens2orank  pb2nc          regrid_data_plane  tc_pairs  
ensemble_stat madis2nc       pcp_combine    series_analysis    tc_stat  
gen_vx_mask   mode           plot_data_plane shift_data_plane   wavelet_stat  
grid_stat     mode_analysis  plot_point_obs  stat_analysis      wwmca_plot  
gsid2mpr      mtd            point_stat      tc_dland           wwmca_regrid  
[sanqingpf2@admin1 bin]$
```



模式评估



2020年8月11日1200 UTC-13日1200 UTC 时间平均(a)和阈值平均 (b) 的6h降水预报ETS评分



成果推广应用：北京冬奥会

参加2022年冬奥会和冬残奥会崇礼赛区环境要素预报保障

建立冬奥会百米级监测预报模式系统，重点模拟预报强风、局地重雾和降雪等冬奥会影响天气过程，实现百米级格点化预报，模式水平分辨率可降尺度到90米，时间分辨率可至15分钟，为2022年2月冬奥会和3月冬残奥会前礼赛区顺利举行提供技术支撑。在2022年冬奥会和冬残奥会比赛中参加崇礼赛区气象预报保障服务工作，实时提供云顶1号和蓝台2号等多条赛道的风速、温度、相对湿度、湿球温度和积雪深度等要素0-84小时预报。

崇礼冬奥赛区地形和观测站分布

0-84小时地面风速预报

CS216站 B3190站

天气气候 海洋环境 大气环境 返回
极地海洋 植被生态 聚焦北京 < >
气象要素保障系统 空气质量保障
冬奥空气质量保障系统

ACHIEVEMENT & APPLICATION

崇礼赛区赛道站点分布

越野3号风速预报

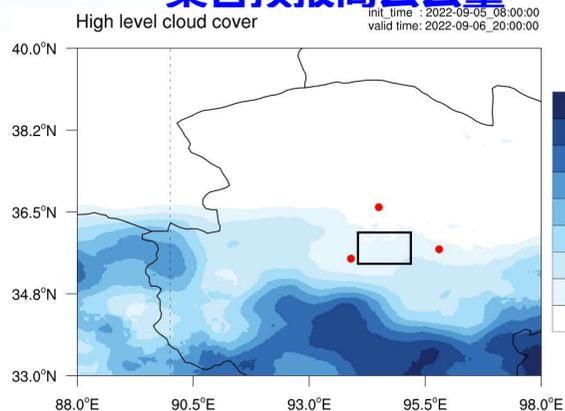
张家口温度预报

支持地球模拟器建设，建立区域云可分辨预报系统，服务冬季崇礼赛区精细化气象要素预报，一体化衔接河北业务预报和显示系统。

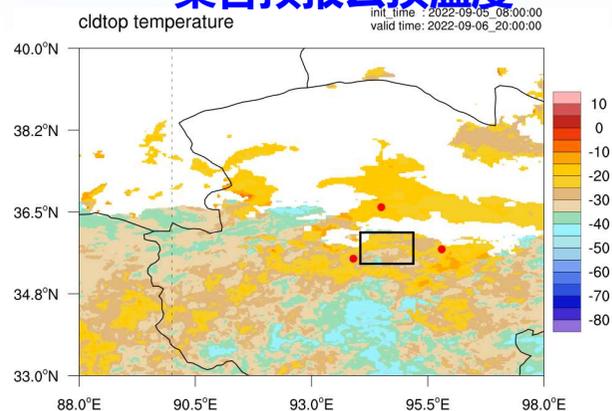


成果推广应用：青藏高原外场试验预报

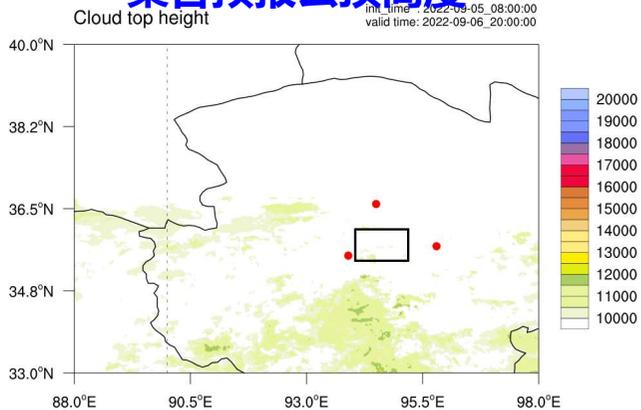
集合预报高云云量



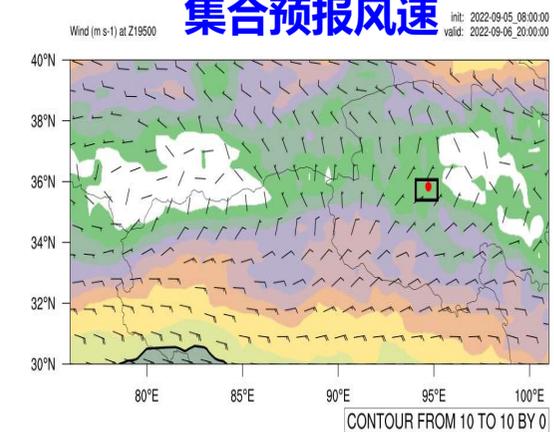
集合预报云顶温度



集合预报云顶高度



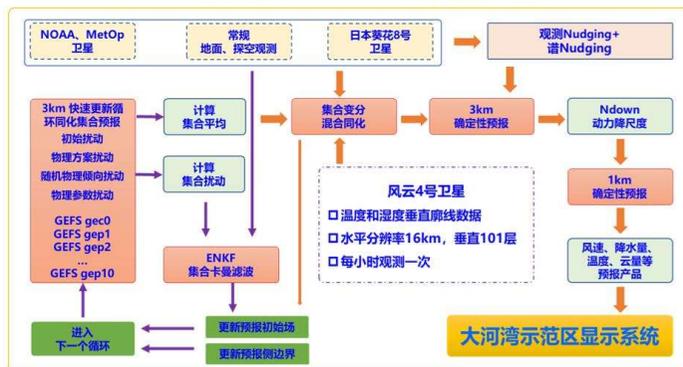
集合预报风速



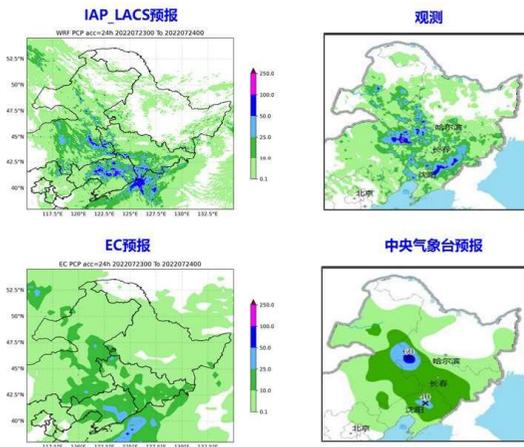


成果推广应用：东北黑土地

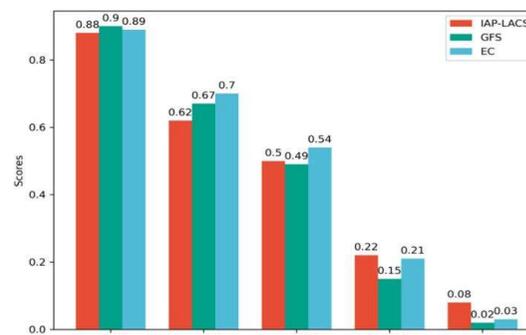
东北黑土地短期预报系统



2022年
7月23日
08时-24
时
24小时
降水预
报个例

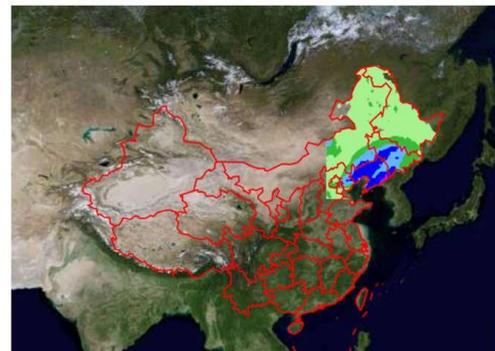


2022年8月4日08时-5日08时24小时降水TS评分



- 黑土地系统、GFS和EC对有无降水(>0.01)预报效果相当
- 黑土地系统和EC对中雨(>=10)的报效果相当, 优于GFS

2022年06月27日08时-28日0时24小时降水预报在大河湾示范区系统平台显示效果



- 经度范围: 115E-135E; 纬度范围: 38N-54.5N
- 每日推送6小时、24小时降水、反射率、总云量、地面温度、地面风速透明图片产品



谢谢!

