



# 地球系统数值模拟装置项目 ( 地球系统模式数值模拟系统 ) 大气环流模式分系 统培训

培训人：柴兆阳 张贺

2022年6月1日

01

背景介绍

02

模式原理

03

数据制备

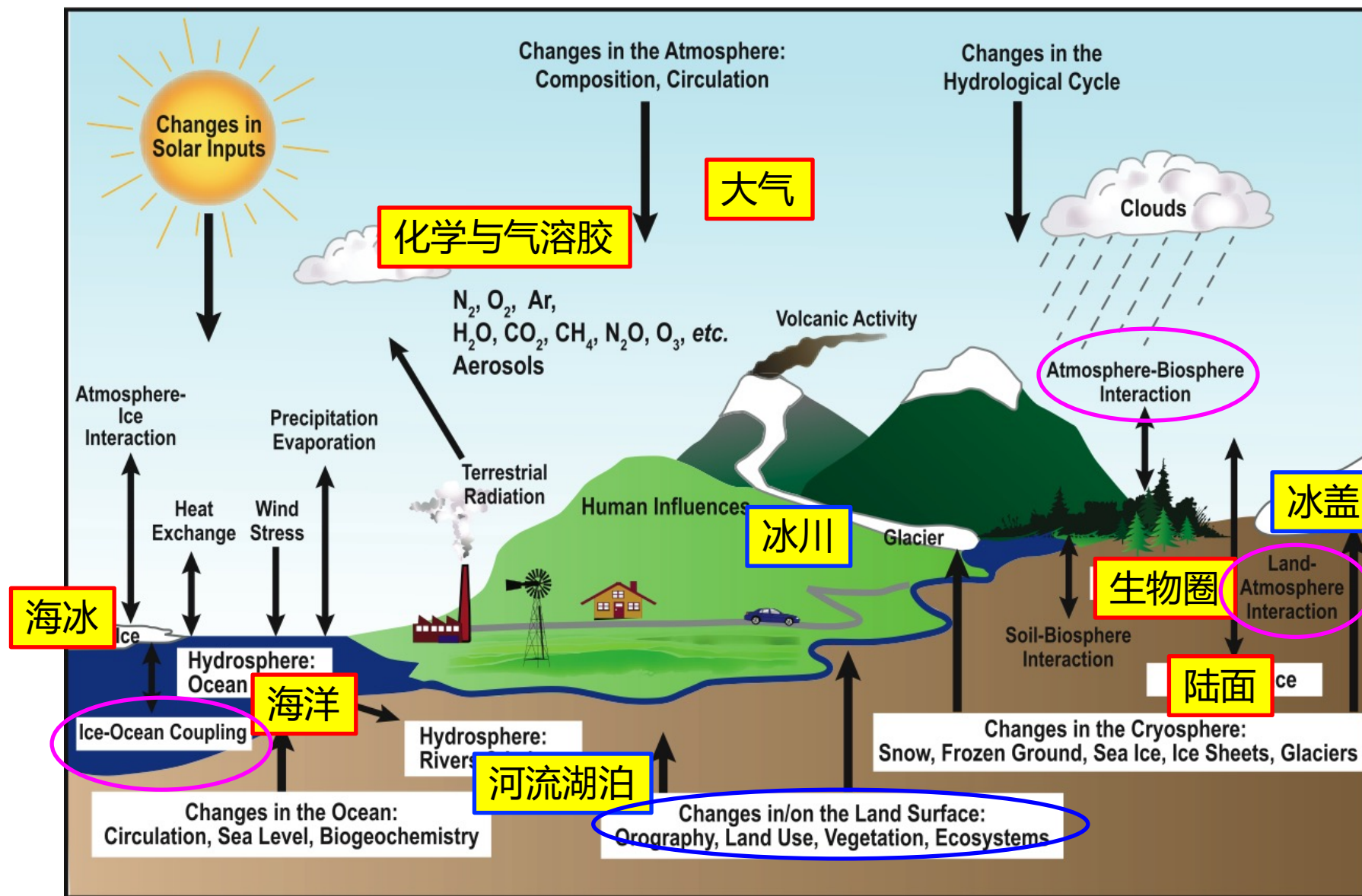
04

结果诊断分析与应用案例



# 地球/气候系统组成

- 大气圈
- 水圈
- 生物圈
- 岩石圈



# 地球/气候系统模式

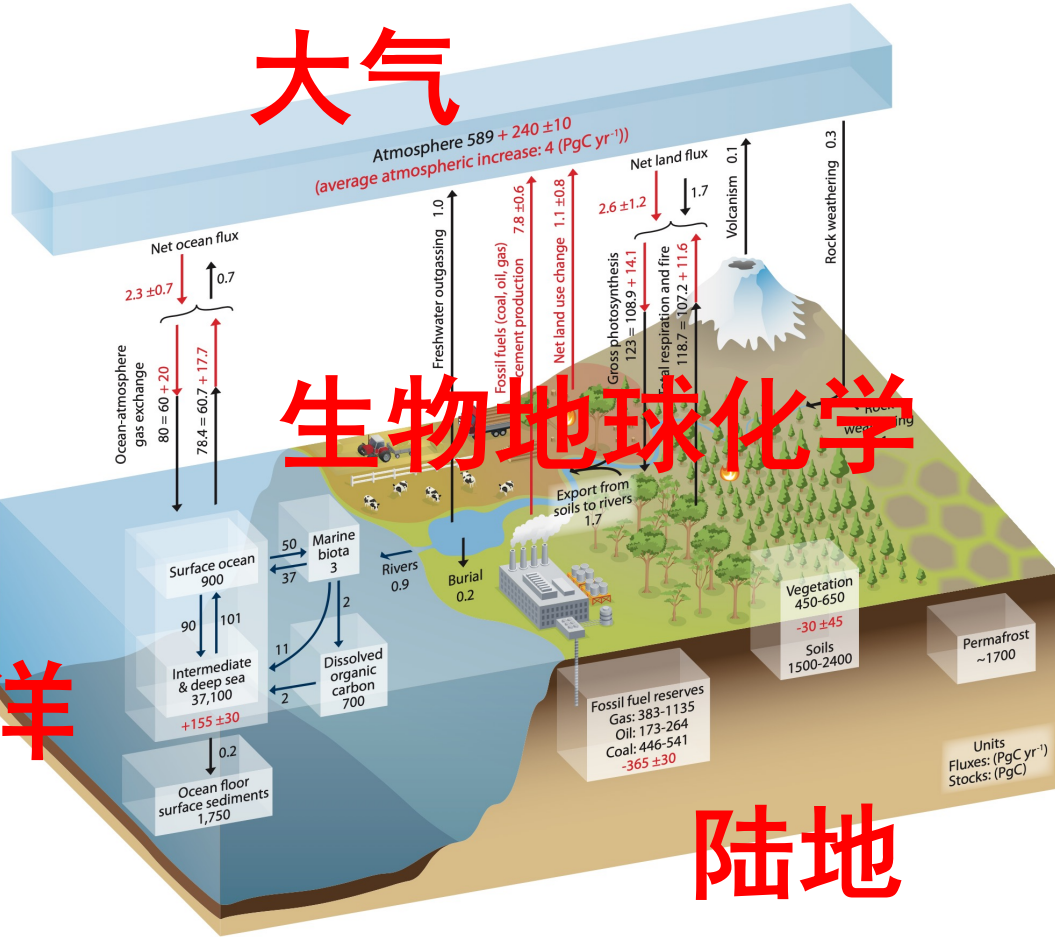
地球系统各部分紧密联系相互作用，**地球系统模式**是探索和理解相互作用过程和机制的重要研究工具。

大气

生物地球化学

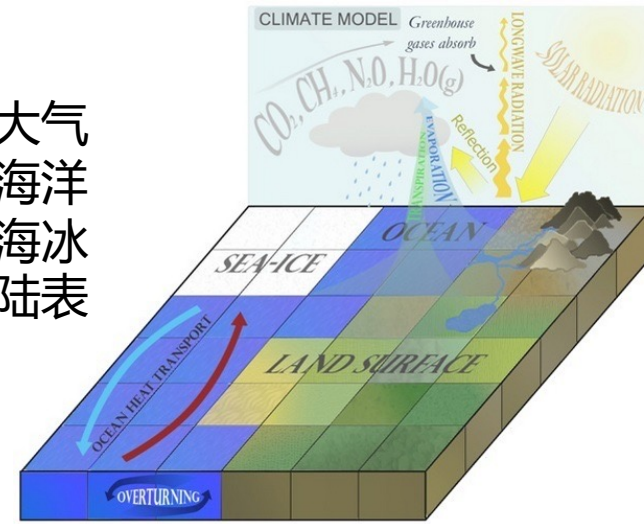
海洋

陆地



IPCC AR5

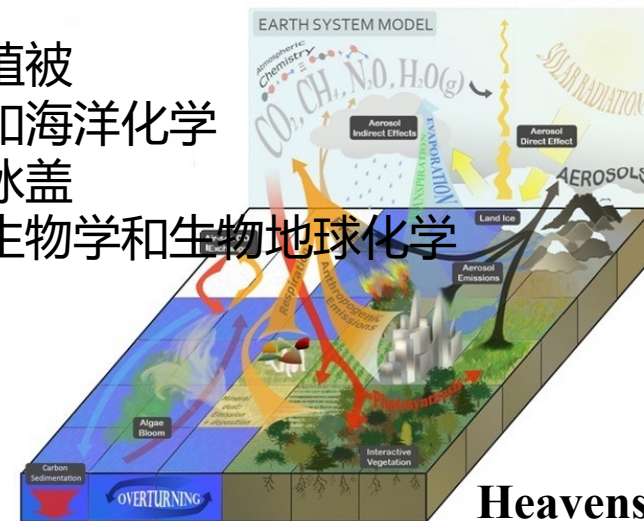
大气  
海洋  
海冰  
陆表



气候模式

碳循环

动态植被  
大气和海洋化学  
陆地冰盖  
海洋生物学和生物地球化学



Heavens et al. 2013

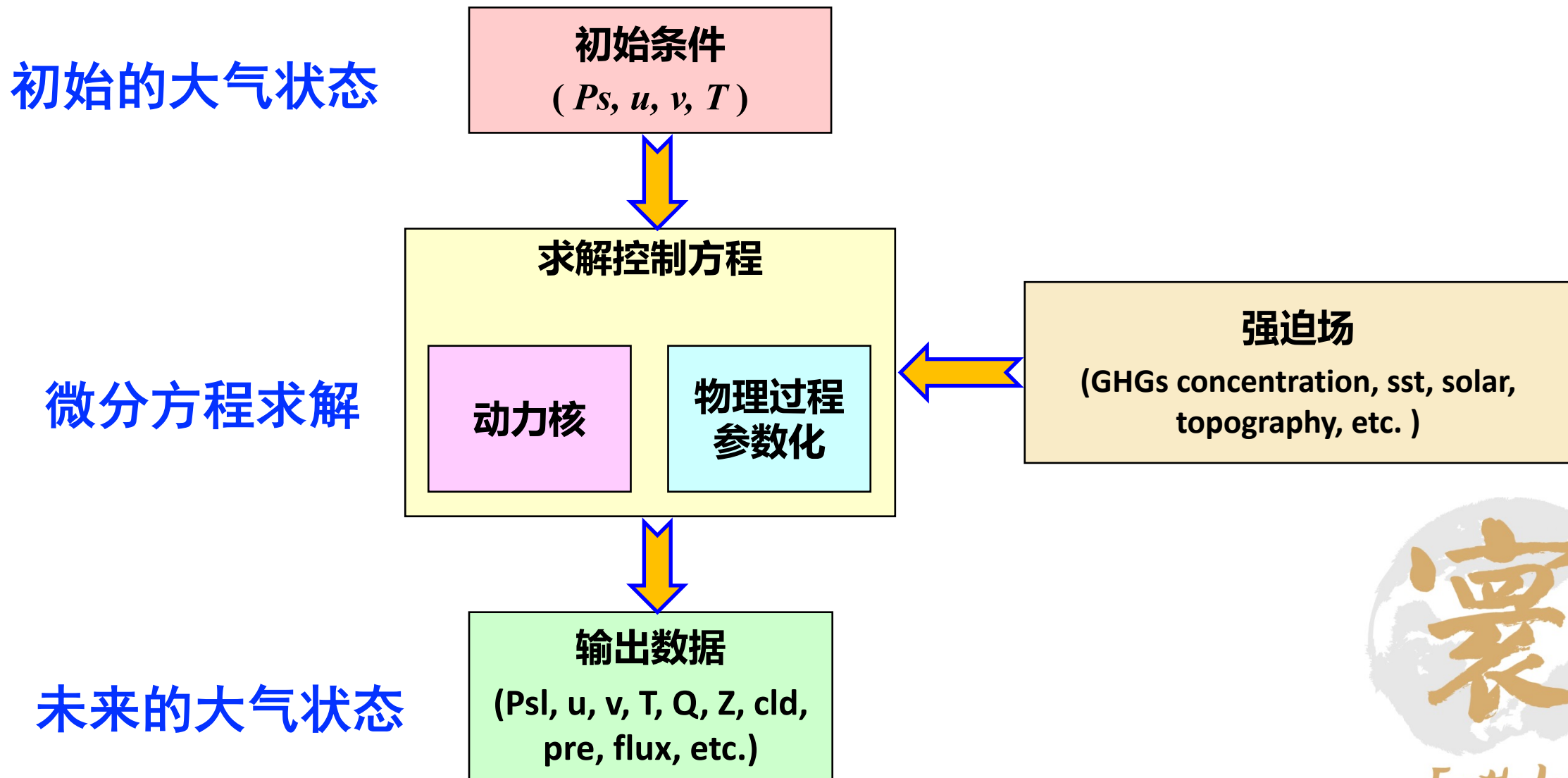


# 什么是地球/气候系统模式

- 地球/气候模式是一个大型的**科学软件**。
- 根据气候系统的动力学和物理过程，采用一系列的数学方程（包括动力学方程和参数化方案）来量化气候系统的各个组成部分及其相互作用。
- 这些方程构成气候系统的数学-物理模型，然后由计算机通过一个大型综合计算程序进行数值求解。
- 该程序为模拟和预测气候系统的复杂行为和过程提供了重要的科学工具。



# 模式流程：以大气模式为例



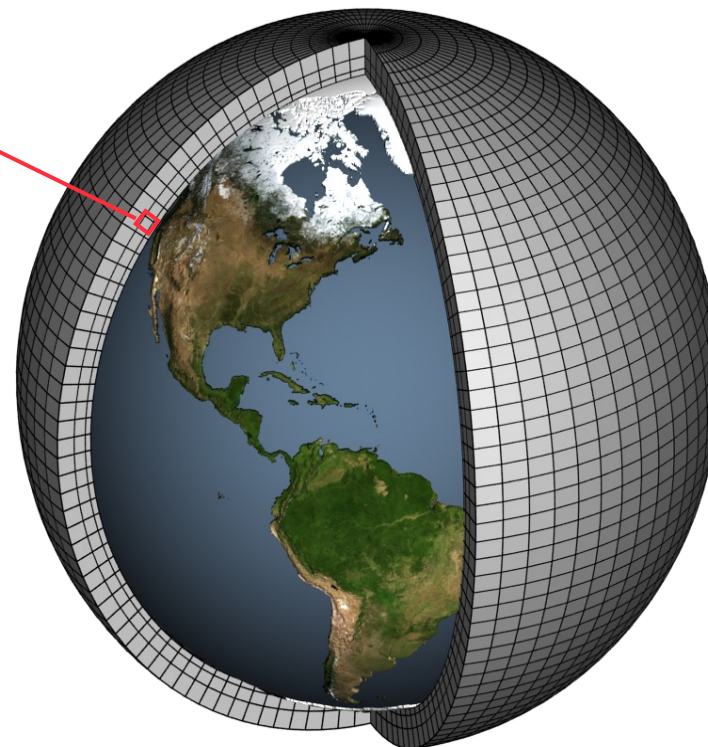
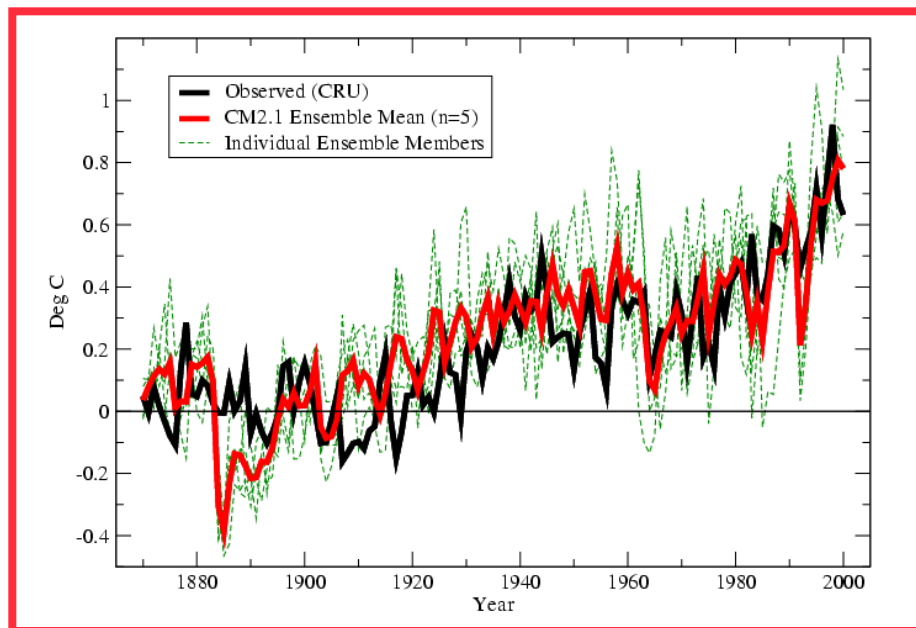
# 模式评估

## 模拟

- 通过模拟过去的气候，检查结果与观测结果的匹配程度，对模型进行测试和改进。

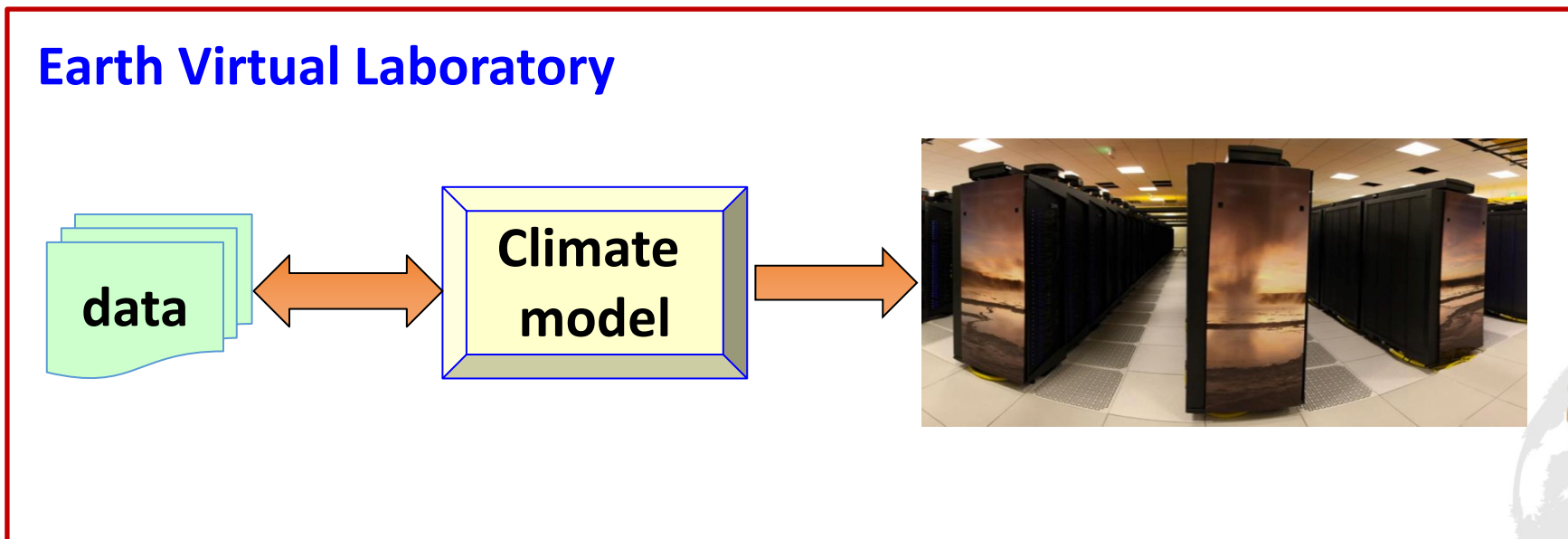
## 预测

- 如果模型输出与真实观测相匹配，科学家们就会对模型预测未来气候的能力更有信心。



# 虚拟实验室

气候/地球系统模式是地球科学的虚拟实验室。我们可以用模式设计并进行一系列的试验，以研究许多与气候相关的科学问题，例如“在全球变暖的情况下，洪水事件的频率会增加吗？”



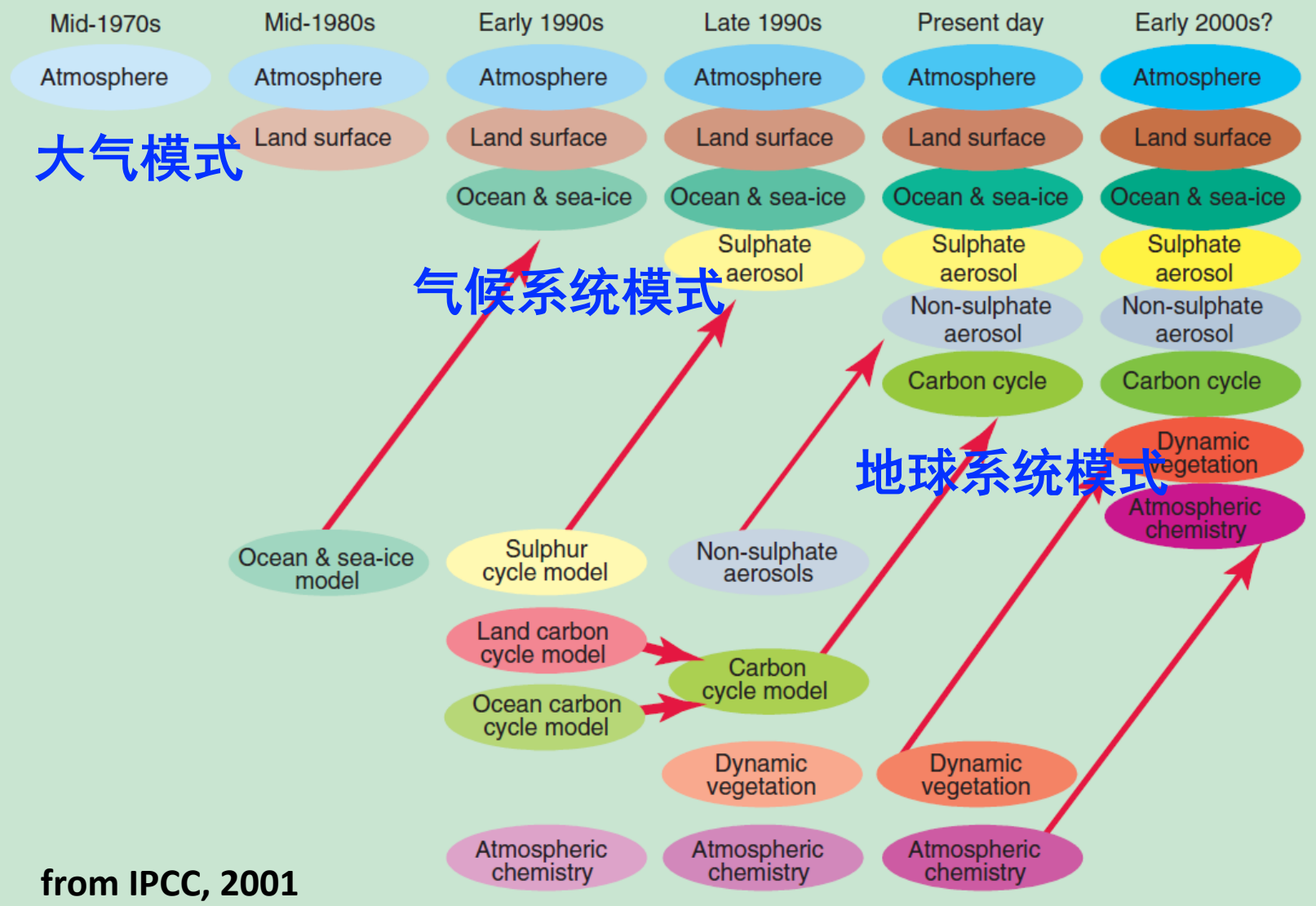
试验：Test/Trial，测试已知，核试验，随机试验，模拟试验，一系列试验的总和可以成为“实验”  
实验：Experiment，探索未知，研究方法，与“理论”对立，可升华为理论。



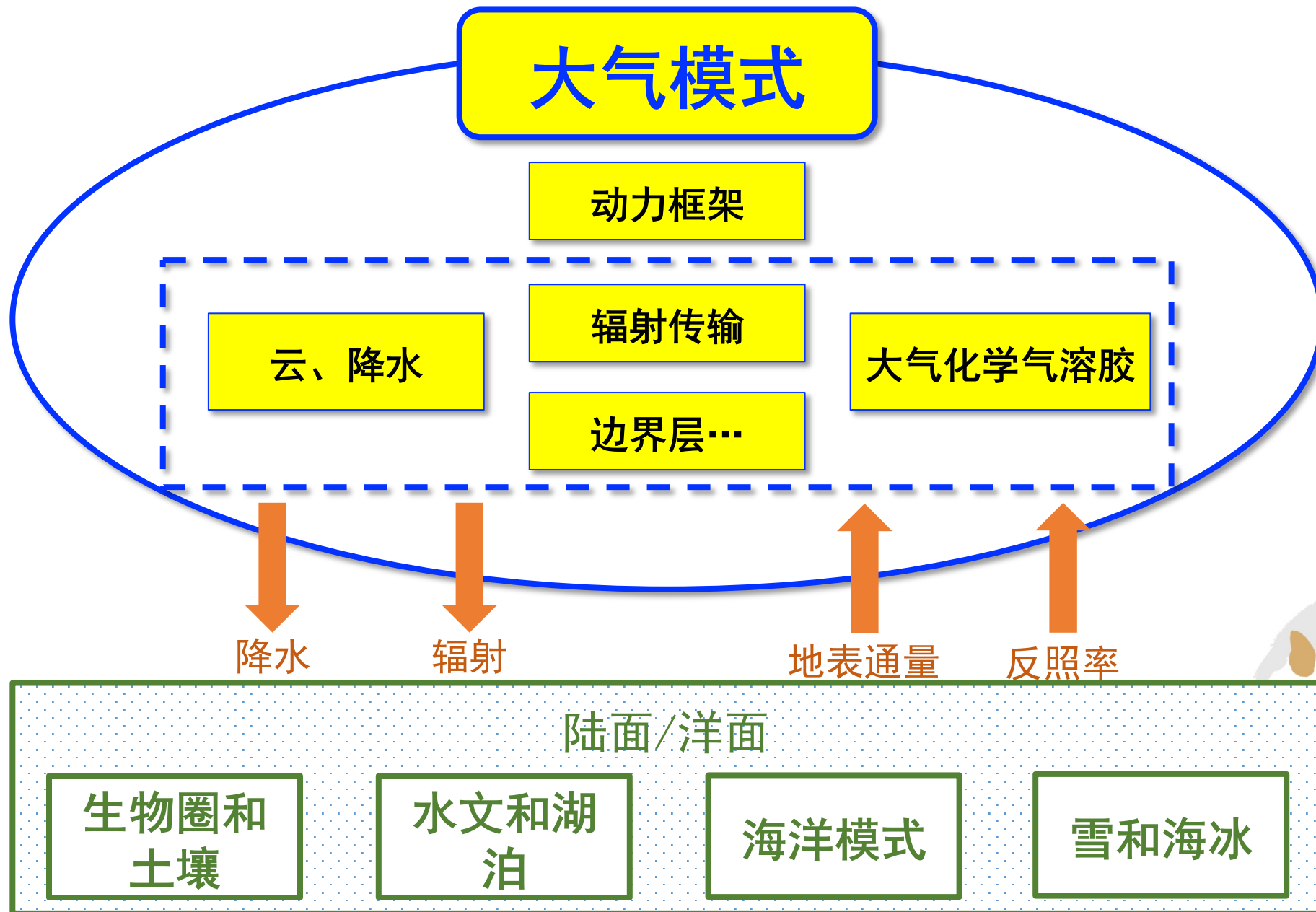


# 模式的发展过程

## The Development of Climate models, Past, Present and Future



# 气候系统模式中的大气模式



01

背景介绍

---

02

模式原理

---

03

数据制备

---

04

结果诊断分析与应用案例

---



# 控制方程

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = -\nabla\phi - f^*\vec{k}^0 \times \vec{v} + \vec{F}$$

水平动量

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{C_p} \frac{RT\omega}{p} + \frac{Q}{C_p}$$

热力学能量

$$\nabla \cdot \vec{v} + \frac{\partial \omega}{\partial p} = 0$$

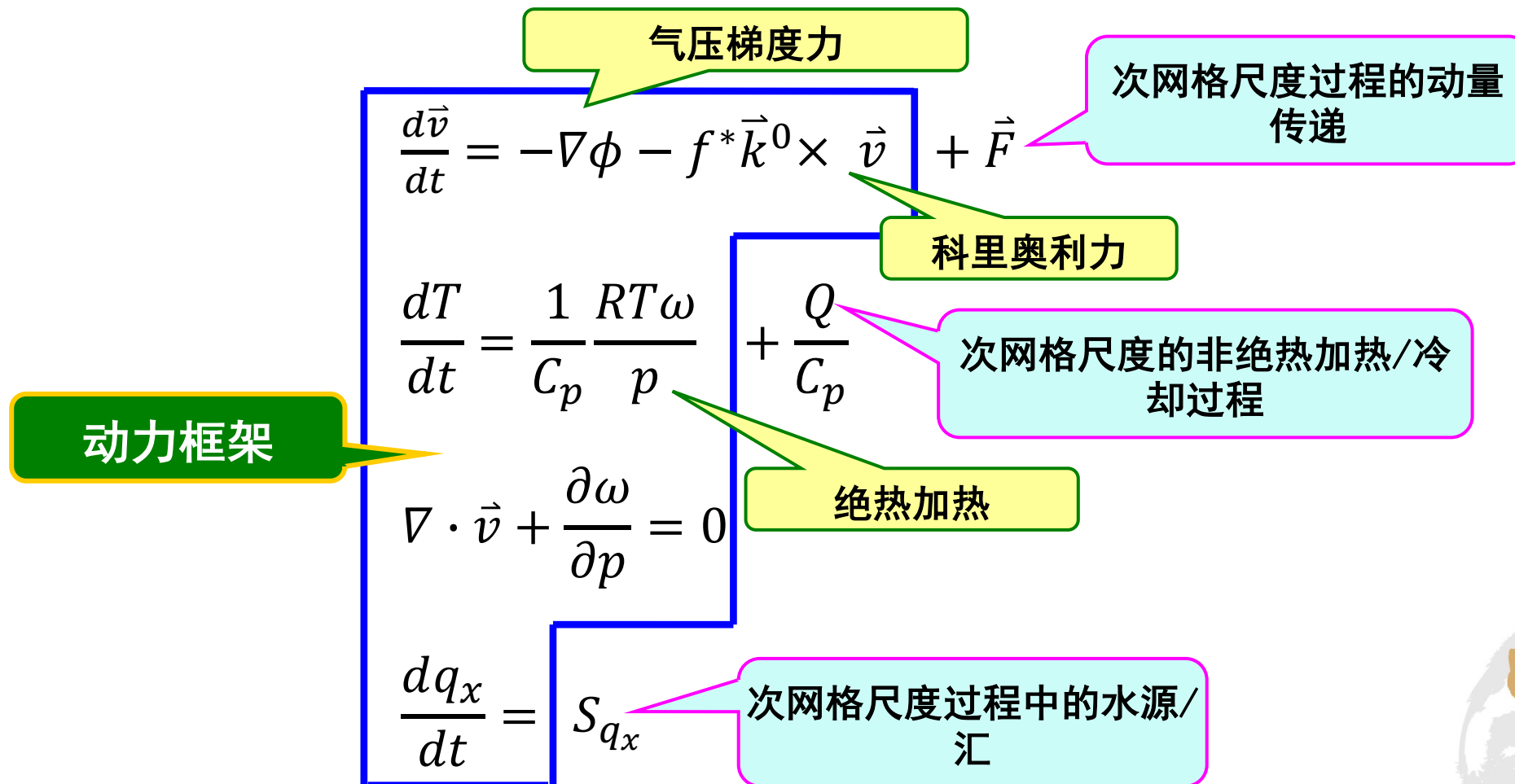
质量的连续性

$$\frac{dq_x}{dt} = S_{q_x}$$

水汽质量连续性



# 动力与物理框架



$\vec{F}$ ,  $Q$ , 和  $S_{q_x}$  代表物理过程

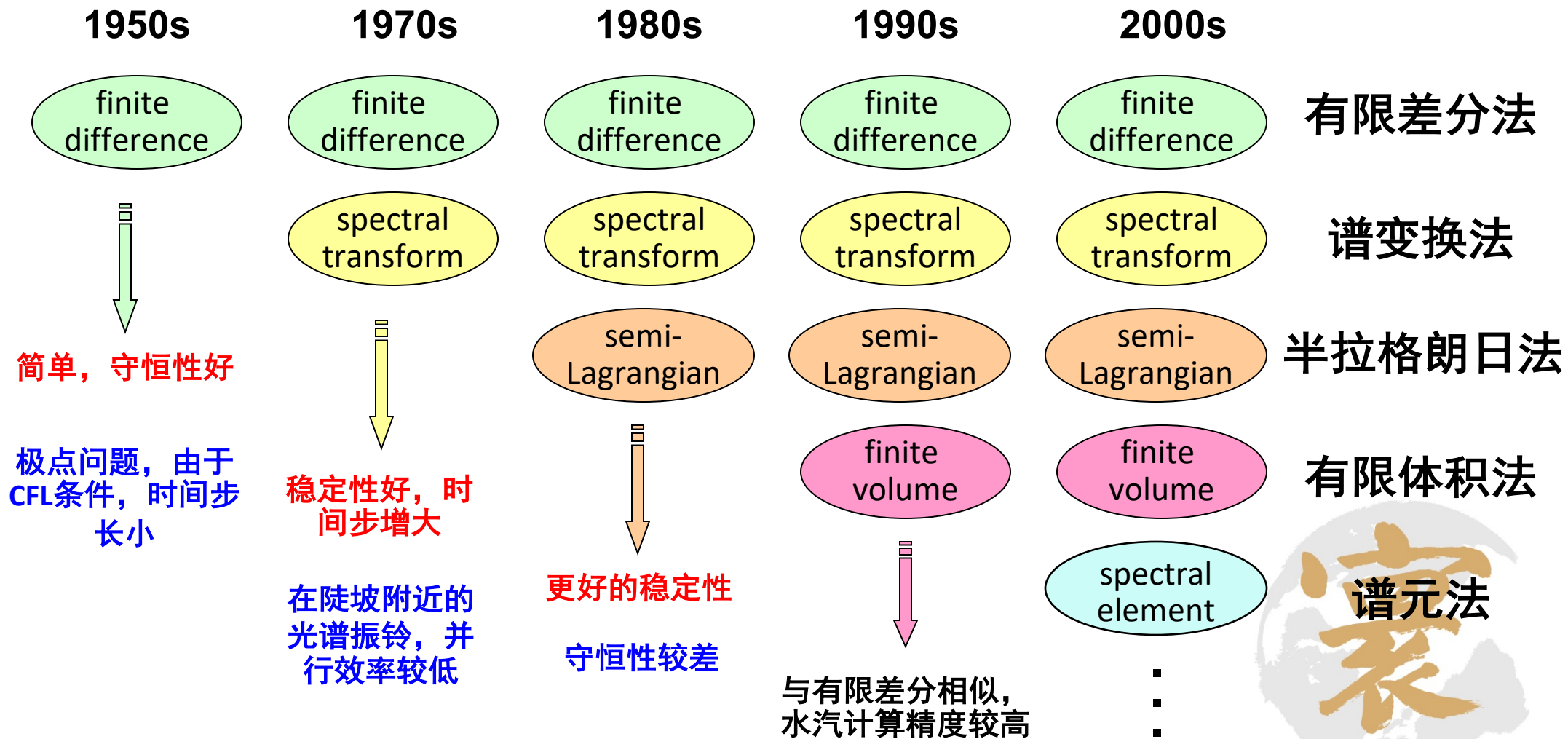


# 动力框架的数值方法

- 控制大气运动的微分方程是高度非线性的方程，需要进行数值离散求解。
- 动力框架的目的是将控制方程离散化，并对其进行数值求解。
- 动力框架刻画的是模型可解析的流体的运动规律。

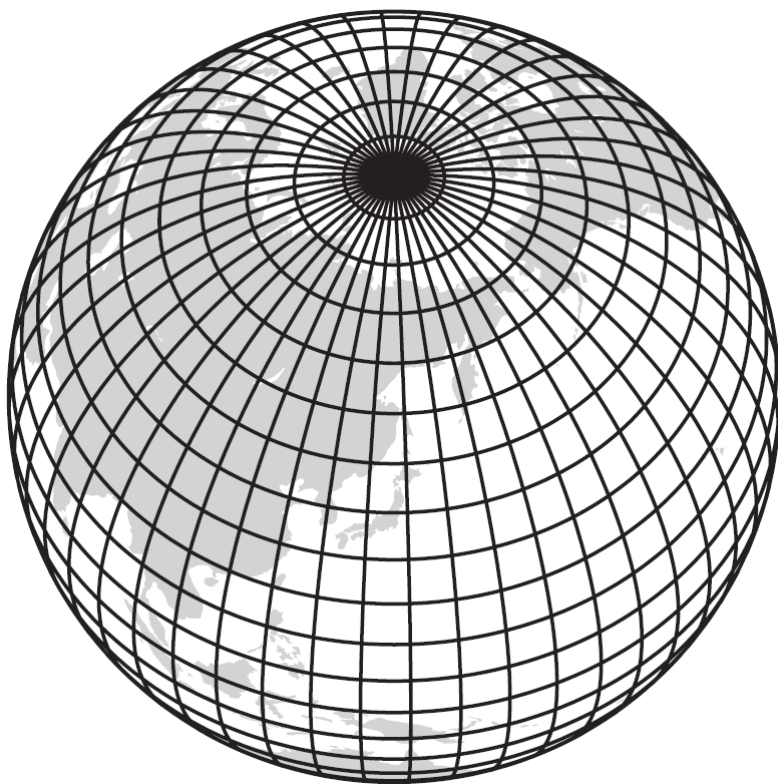


# 动力框架的数值方法



# 动力框架网格结构(一)

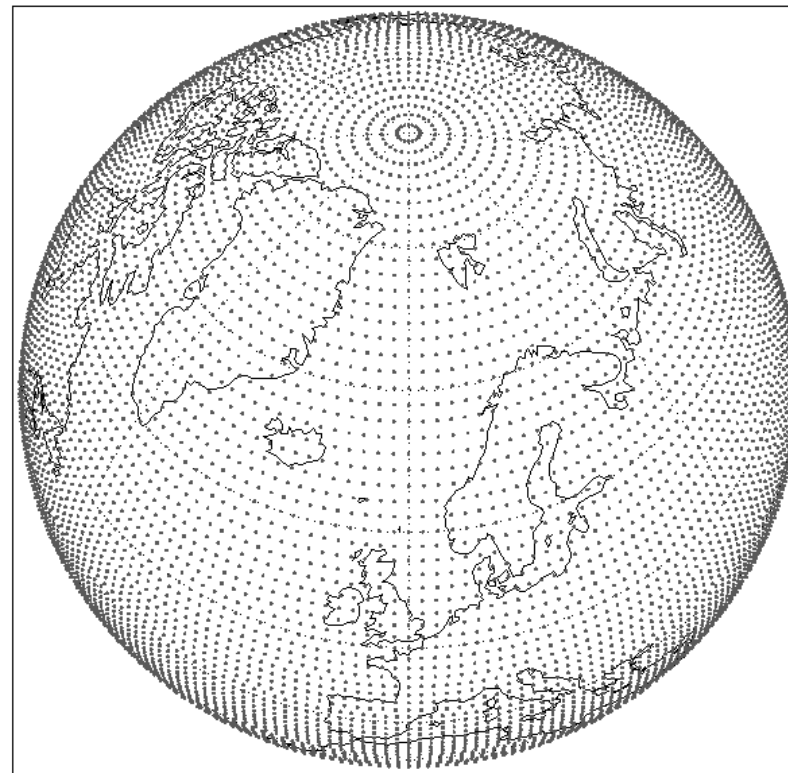
## 经纬度网格



有限差分、半拉格朗日、有限体积

- 规则的经纬度网格，它用于有限差分，半拉格朗日和有限体积方法。
- 不规则的高斯网格，用于谱变换、半拉格朗日方法。

## 高斯网格

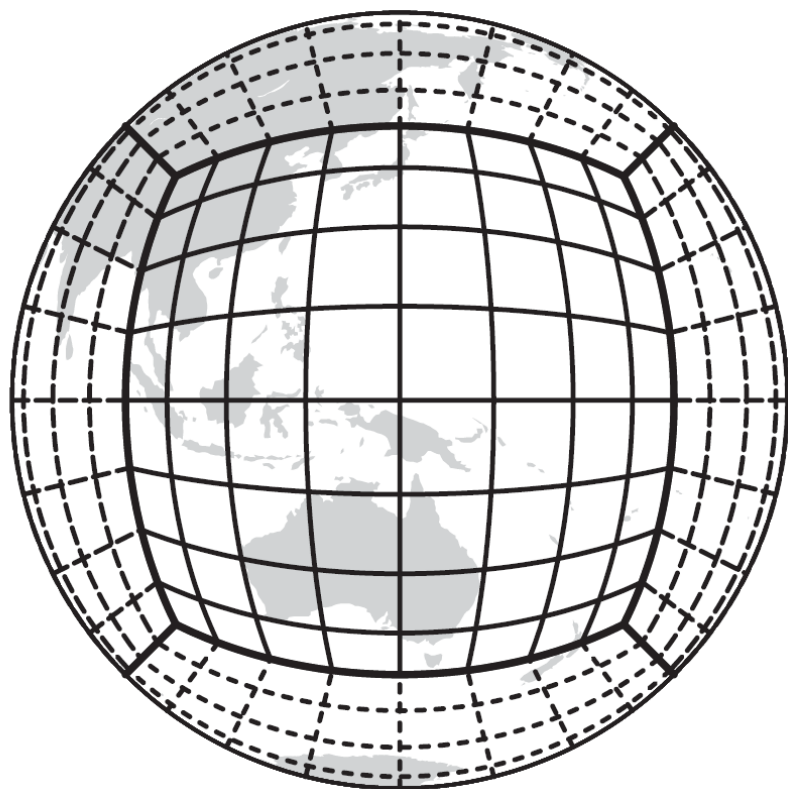


谱变换、半拉格朗日

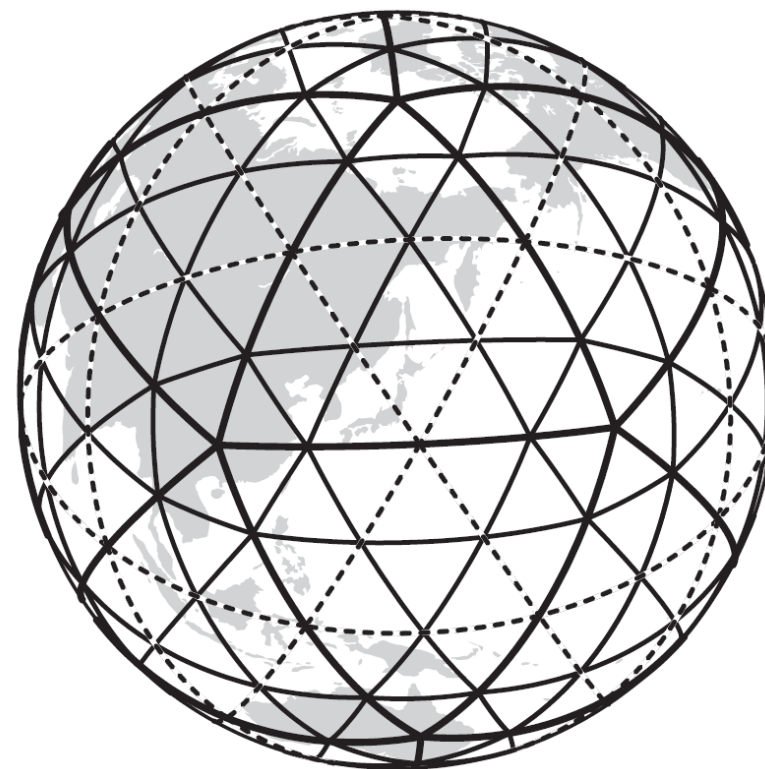


# 动力框架网格结构(二)

立方球网格



二十面体网格



谱元、有限体积

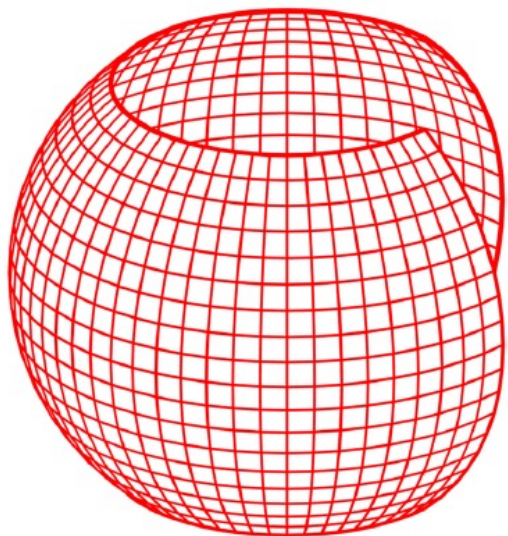
- 左是常用于光谱元素和有限体积方法的立方体球面网格。右是二十面体网格
- 通常非结构化网格采用有限元法



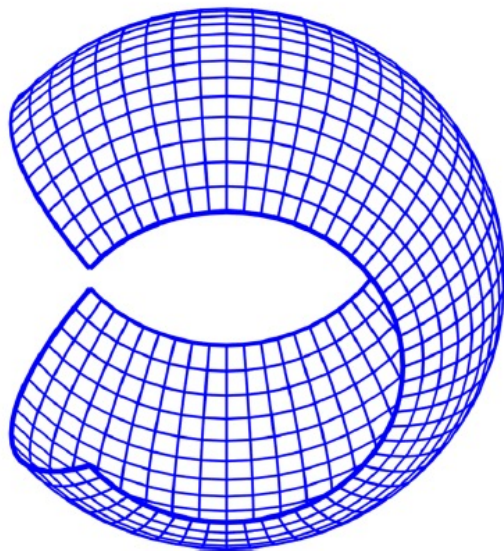
# 动力框架网格结构(三)

## 阴阳网格

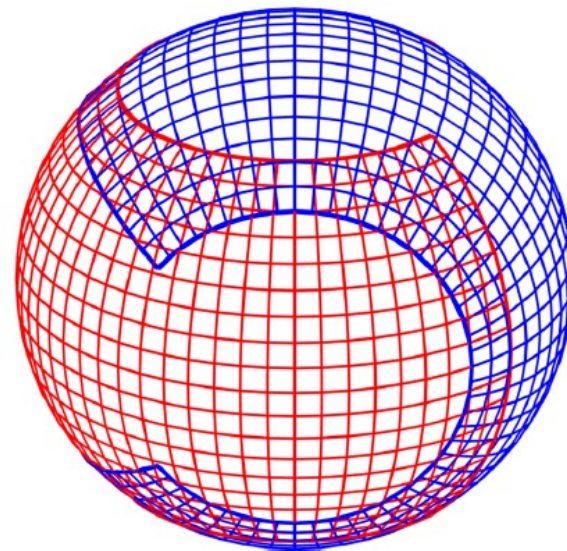
Yin



Yang



Yin-Yang

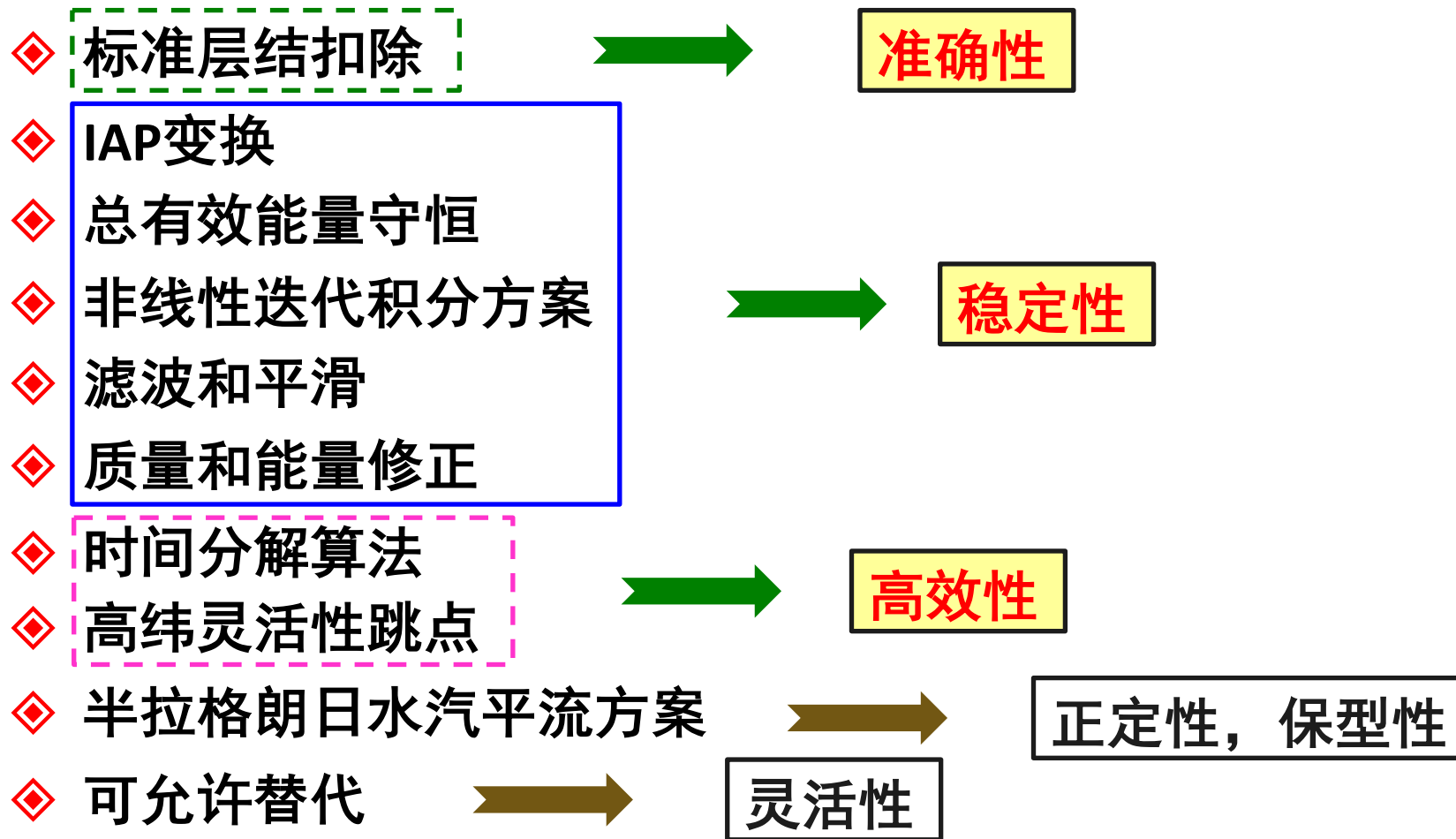


阴阳网格主要用于避免极点问题



# IAP AGCM5.0动力框架

动力框架需具备较好的**稳定性**，**准确性**和**高效性**



# 动力框架方程组的推导

## ◇ 标准层结扣除

减少计算误差，便于定义有效能量

$$\begin{cases} T'(\theta, \lambda, p, t) = T(\theta, \lambda, p, t) - \tilde{T}(p) \\ \phi'(\theta, \lambda, p, t) = \phi(\theta, \lambda, p, t) - \tilde{\phi}(p) \\ p'_{sa}(\theta, \lambda, t) = p_s(\theta, \lambda, t) - \tilde{p}_s(\theta, \lambda) \end{cases}$$

$$\begin{cases} R\tilde{T}(p) = -p \frac{d\tilde{\phi}(p)}{dp} \\ \tilde{p} |_{z=\tilde{z}_s(\theta, \lambda)} \equiv \tilde{p}_s(\theta, \lambda) \end{cases}$$

## ◇ 地形追随 $\sigma$ 坐标

便于给定下边界条件

$$\sigma \equiv \frac{p - p_t}{p_{es}}, \quad p_{es} = p_s - p_t$$

模式顶气压



# 动力框架方程组的推导

## ◇ IAP变换

便于构造能量守恒的差分格式

$$P \equiv \sqrt{p_{es}^*/p_0}, \quad C_0^2 \equiv b^2(1 + \delta_c)$$

$$V \equiv P \cdot v, \quad U \equiv P \cdot u \quad W \equiv P \cdot \dot{\sigma}, \quad \Phi = PRT'/b$$

$p_0$  为海平面气压标准值, 可取为  $p_0=1000$  hPa

$C_0$  为标准大气重力内波相速,

$$\tilde{C}_0^2 = R(\kappa\tilde{T} - d\tilde{T}/d \ln p), \quad \kappa = R/C_p$$

$b$  为  $C_0$  的标准值, 模式中取  $b=87.8$  m/s



# 动力框架方程组的推导

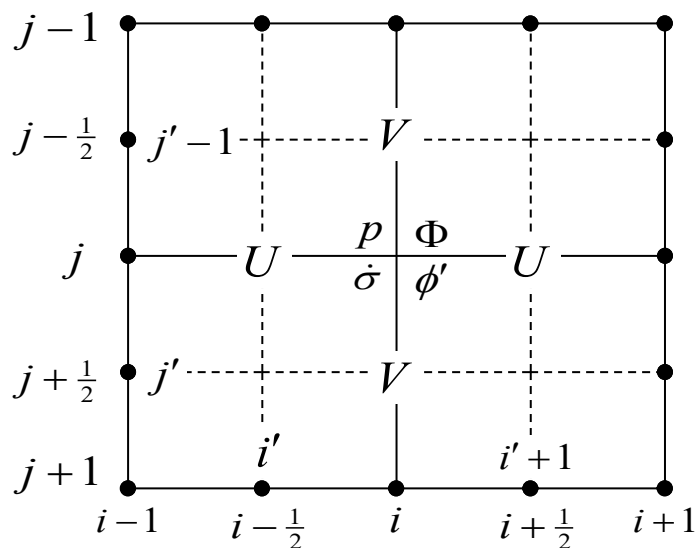
将标准层结扣除，地形追随坐标及IAP变换应用到原始方程组，可以得到如下的方程组（绝热）：

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial U}{\partial t} = -\sum_{m=1}^3 L_m(U) - P_\lambda^{(1)} - P_\lambda^{(2)} - f^* V \\ \frac{\partial V}{\partial t} = -\sum_{m=1}^3 L_m(V) - P_\theta^{(1)} - P_\theta^{(2)} + f^* U \\ \frac{\partial \Phi}{\partial t} = -\sum_{m=1}^3 L_m(\Phi) + (1 - \delta_p) [b(1 + \delta_c) + \delta \cdot \kappa \Phi / P] (\Omega^{(1)} + \Omega_\theta^{(2)} + \Omega_\lambda^{(2)}) \\ \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{p'_{sa}}{p_0} \right) + D(P) + \frac{\partial PW}{\partial \sigma} = \kappa^* D_{sa} / p_0 \end{array} \right.$$

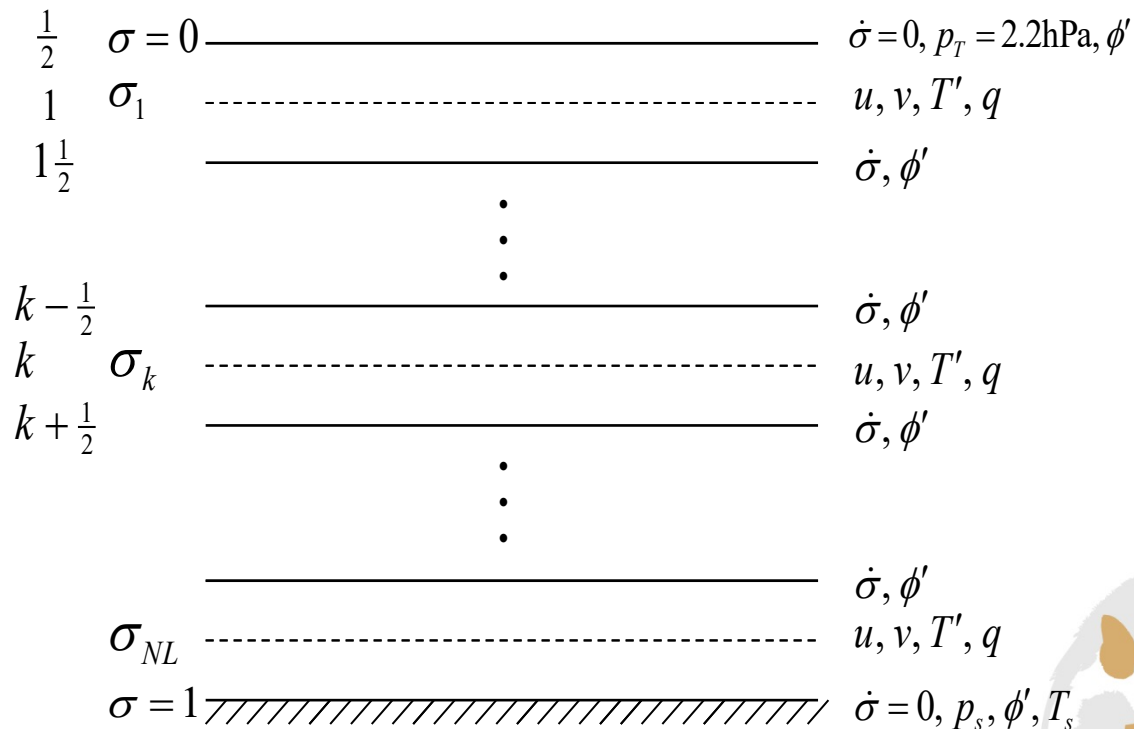


# 差分网格

水平C网格



垂直交错网格



空间差分为中央差格式



# 差分方程组

平流过程（慢）

tend\_adv.F90

$$\begin{cases}
 \left[ \frac{\partial V}{\partial t} \right]_{i,j',k} = \left[ -\sum_{m=1}^3 a_{1m} L_m(V) - P_{\theta}^{(1)} - P_{\theta}^{(2)} + f^* U \right]_{i,j',k} \\
 \left[ \frac{\partial U}{\partial t} \right]_{i',j,k} = \left[ -\sum_{m=1}^3 a_{2m} L_m(U) - P_{\lambda}^{(1)} - P_{\lambda}^{(2)} - f^* V \right]_{i',j,k} \\
 \left[ \frac{\partial \Phi}{\partial t} \right]_{i,j,k} = \left[ -\sum_{m=1}^3 a_{3m} L_m(\Phi) + (1 - \delta_p) [b(1 + \delta_c) + \delta \cdot \kappa \Phi / P] \right. \\
 \left. \cdot (\Omega^{(1)} + \Omega_{\theta}^{(2)} + \Omega_{\lambda}^{(2)}) \right]_{i,j,k} \\
 \kappa \left[ \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{p'_{sa}}{p_0} \right) \right]_{i,j} = - \left[ D(P) + \frac{\partial PW}{\partial \sigma} - \kappa D_{sa} \right]_{i,j}
 \end{cases}$$

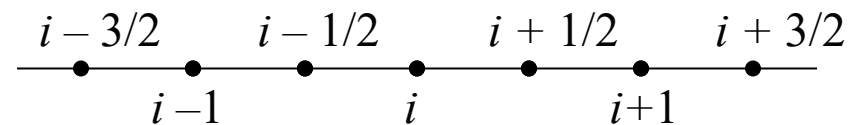
适应过程（快）

tend\_lin.F90





# 高纬灵活性跳点



$$\left( \frac{\partial F}{a \sin \theta \partial \lambda} \right)_{i,j} = \alpha_j \frac{F_{i+1/2,j} - F_{i-1/2,j}}{a \sin \theta_j \cdot \Delta \lambda} + \beta_j \frac{F_{i+3/2,j} - F_{i-3/2,j}}{a \sin \theta_j \cdot 3\Delta \lambda}$$

**CFL条件:**  $\Delta t \leq \frac{\Delta x}{U}$        $\Delta x \nearrow \longrightarrow \Delta t \nearrow$

$$\alpha_j = \begin{cases} 0 & \theta \leq \theta_{bn} \text{ or } \theta \geq \theta_{bs} \\ (\theta - \theta_{bn}) \cdot \Delta \alpha & \theta_{bn} < \theta < \theta_{en} \\ (\theta_{bs} - \theta) \cdot \Delta \alpha & \theta_{es} < \theta < \theta_{bs} \\ 1.0 & \theta_{en} \leq \theta \leq \theta_{es} \end{cases} \quad \beta_j = 1 - \alpha_j$$

$$\Delta \alpha = 1.0 / (\theta_{en} - \theta_{bn}), \quad \theta_{bn} = 20^\circ, \quad \theta_{en} = 60^\circ, \quad \theta_{bs} = 180^\circ - \theta_{bn}, \quad \theta_{es} = 180^\circ - \theta_{sn}$$



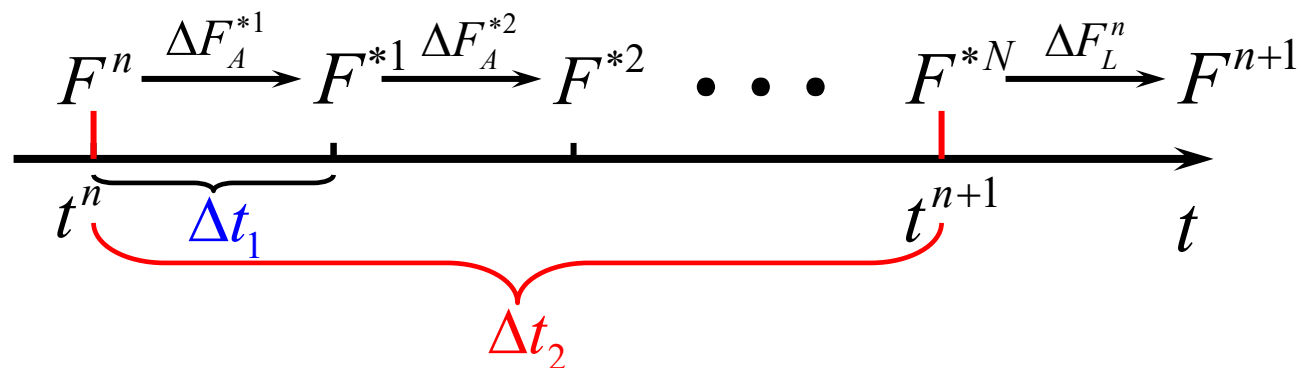
# 时间分解算法

平流过程  
(慢过程)

适应过程  
(快过程)

$$\frac{\partial F}{\partial t} = -L_F + A_F \quad F = (u, v, T')$$

$$\Delta t_2 = N \Delta t_1$$



	积分1天所需CPU时间	节省时间百分比
$N = 1$	261 s	-
$N = 5$	233 s	10.7%
$N = 10$	209 s	19.9 %



# 非线性迭代时间积分方案

nlitti.F90

$$F_{(1)}^{n+1} - F^n = \Delta t \cdot A(F^n)$$

前差

$$F_{(2)}^{n+1} - F^n = \Delta t \cdot A(F_{(1)}^{n+1})$$

后差

$$F_{(3)}^{n+1} - F^n = \Delta t \cdot A\left(\frac{F_{(2)}^{n+1} + F^n}{2}\right)$$

中央差

⋮

$$F_{(2m)}^{n+1} - F^n = \Delta t \cdot A(F_{(2m-1)}^{n+1})$$

后差

$$F_{(2m+1)}^{n+1} - F^n = \Delta t \cdot A\left(\frac{F_{(2m)}^{n+1} + F^n}{2}\right)$$

中央差

当前模式中，迭代次数为3



# 物理参数化

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = -\nabla\phi - f^*\vec{k}^0 \times \vec{v} + \vec{F}$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{C_p} \frac{RT\omega}{p} + \frac{Q}{C_p}$$

$$\nabla \cdot \vec{v} + \frac{\partial\omega}{\partial p} = 0$$

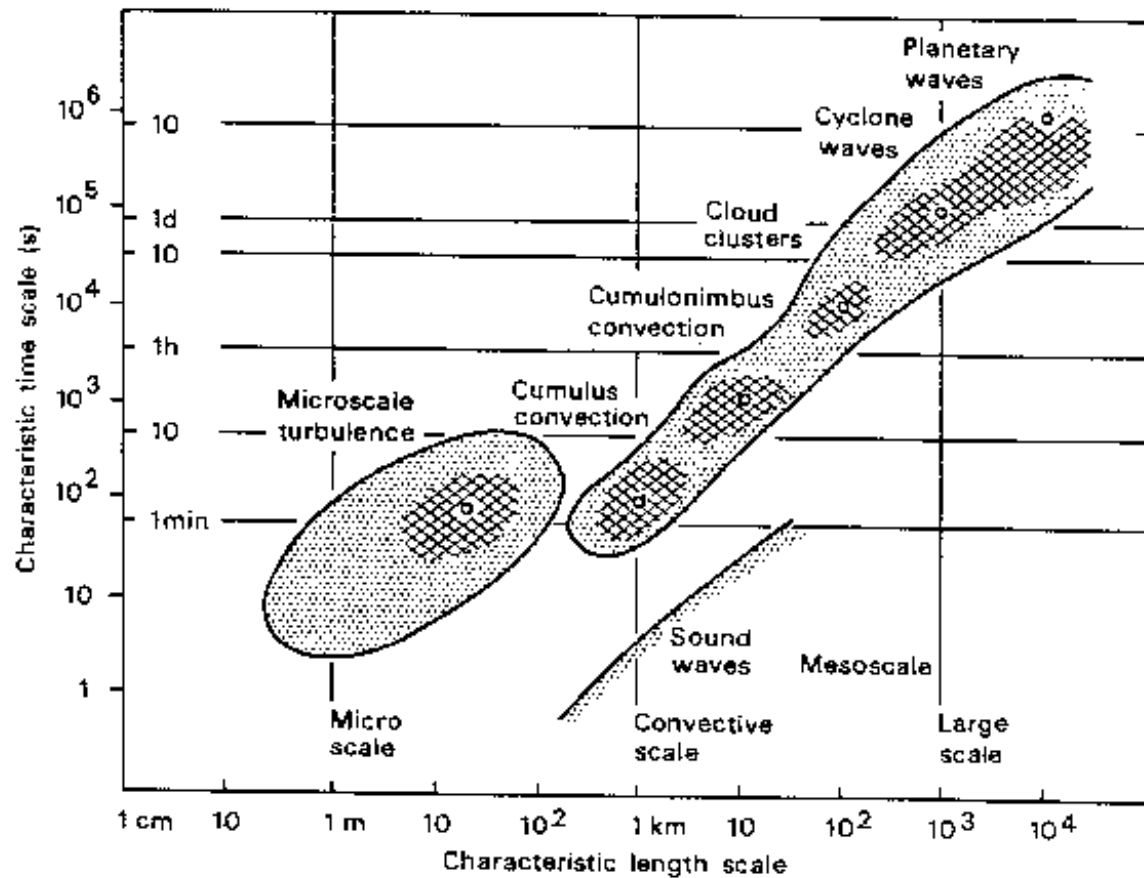
$$\frac{dq_x}{dt} = S_{q_x}$$

参数化的本质是利用模式可以解析的物理量表征不可以解析的物理量

动力框架不能解析的次尺度过程应该被参数化



# 为什么要参数化?



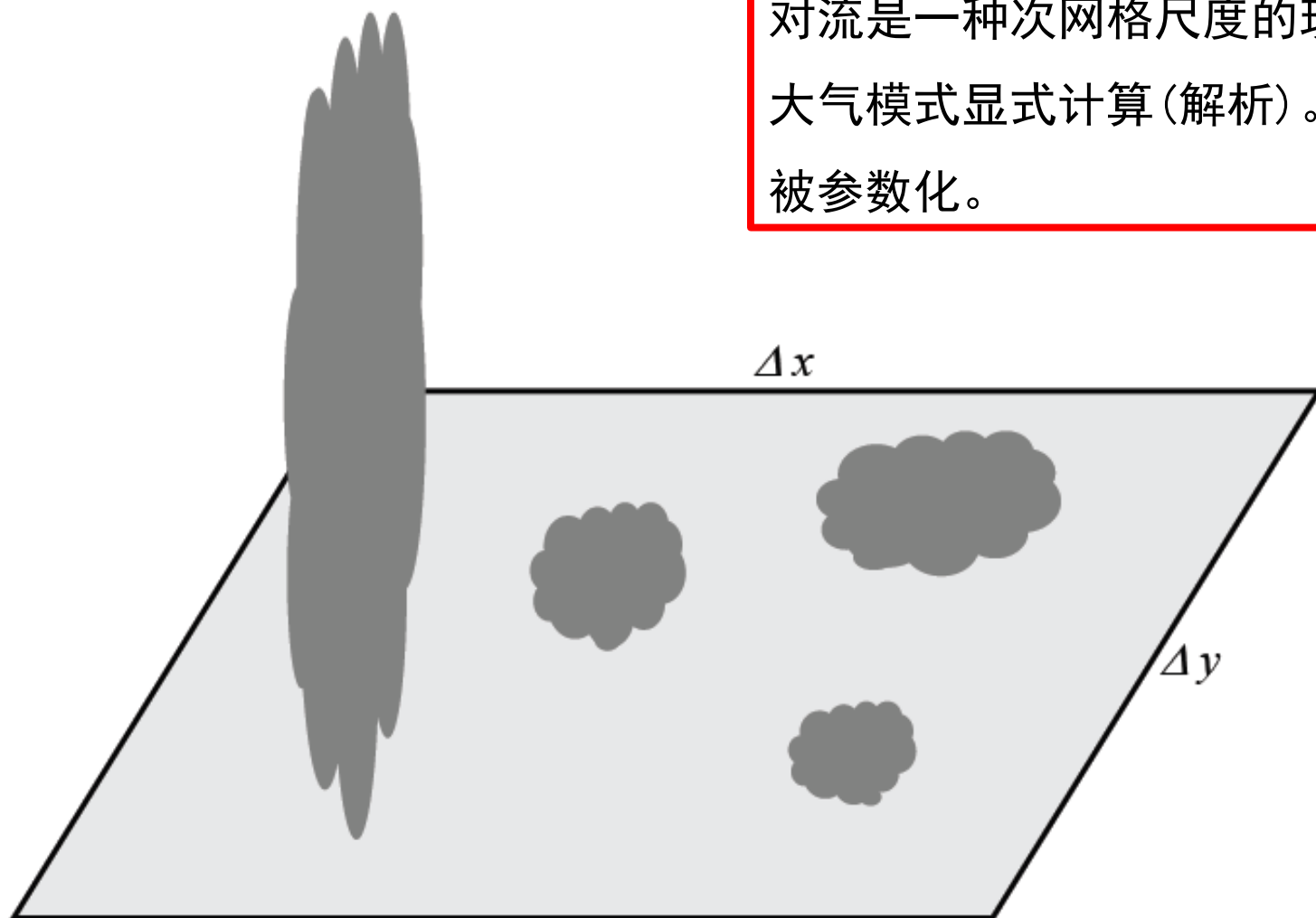
大气过程的特征尺度

- 大气运动有不同的尺度
- 大气模式的分辨率
  - 区域模式典型分辨率: 50 km
  - 全球模式典型分辨率: 100-200 km
- 次网格尺度过程:
  - 模式不能显式地解析具有尺度的大气过程。
- 物理参数化:
  - 利用可分辨尺度场来表示次网格过程的影响

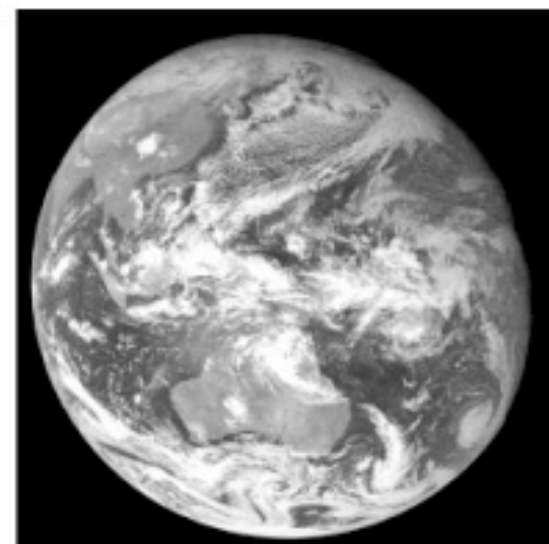
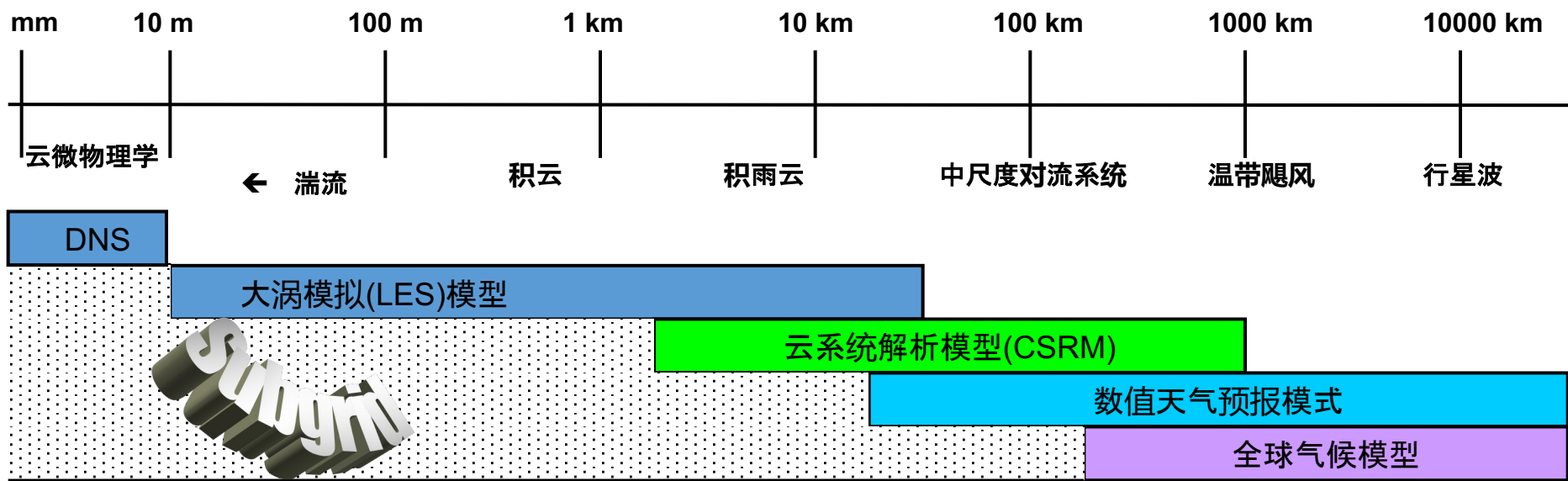


# 一个需要参数化的例子

对流是一种次网格尺度的现象。它不能由大气模式显式计算(解析)。因此，它应该被参数化。



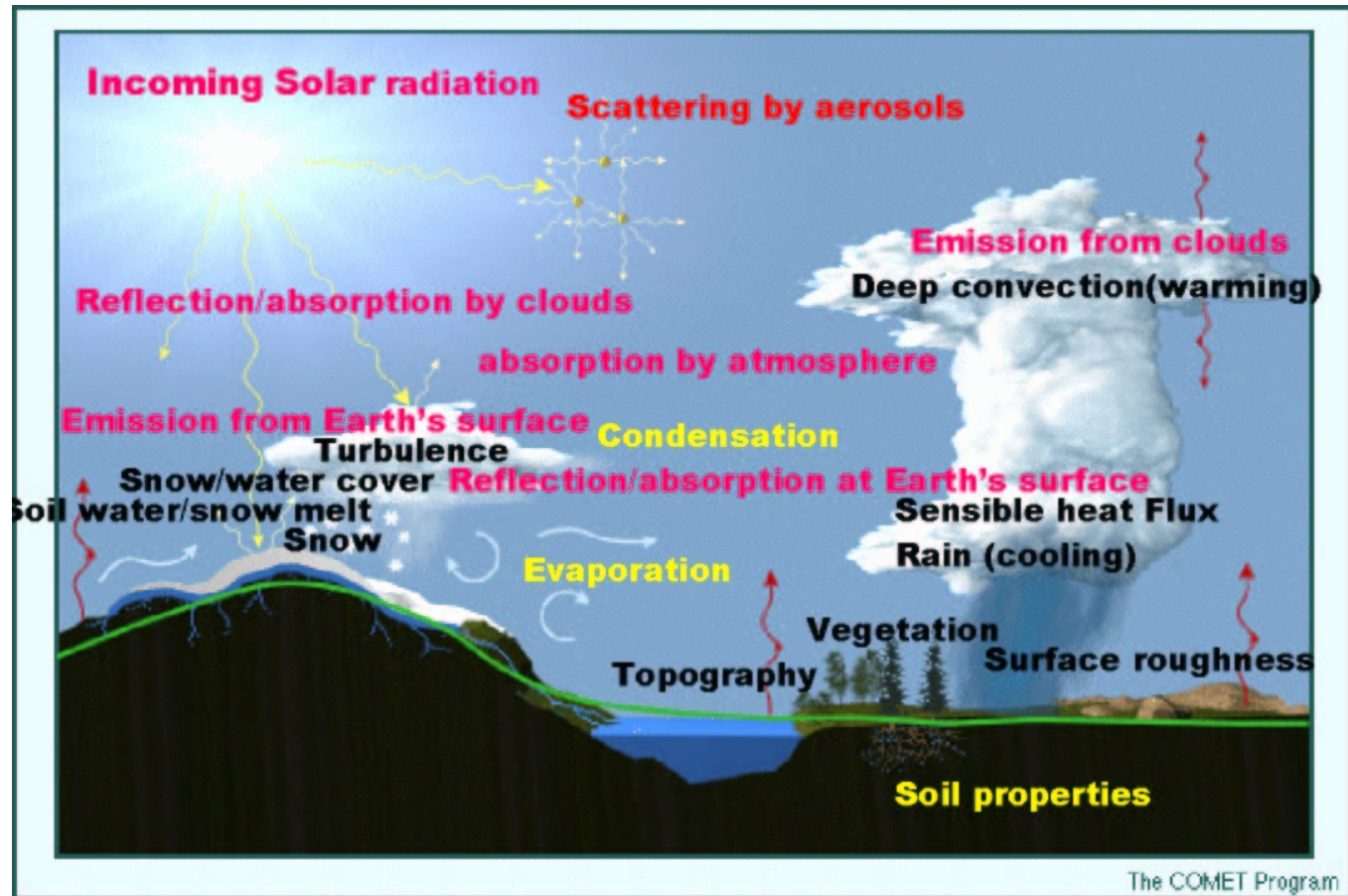
# 没有一个单一的模型能够包含所有相关的过程



# 在大气模式中应该参数化什么？

物理过程包括：

- 辐射传输
- 近地表过程
- 垂直湍流过程
- 云和大尺度凝结
- 积云对流
- 重力波拖曳
- ...



16 major physical processes in climate system. (from <http://www.meted.ucar.edu/nwp/pcu1/ic4/frameaset.htm>)



# 辐射的物理过程

## —短波/长波传输和辐射加热/冷却

### ■ 传输

透射率：有多少波或光通过材料表面

### ■ 反射

反射率

### ■ 散射

■ 散射率：通过光与物质的相互作用使光重定向

### ■ 吸收

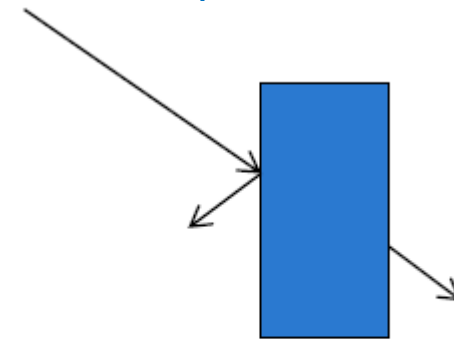
■ 吸收率：吸收能量的比率

■ 导致加热

### ■ 发射：有温度的物理辐射能量

■ 发射系数

■ 导致冷却



反射率

$$\alpha + \beta + \tau = 1$$

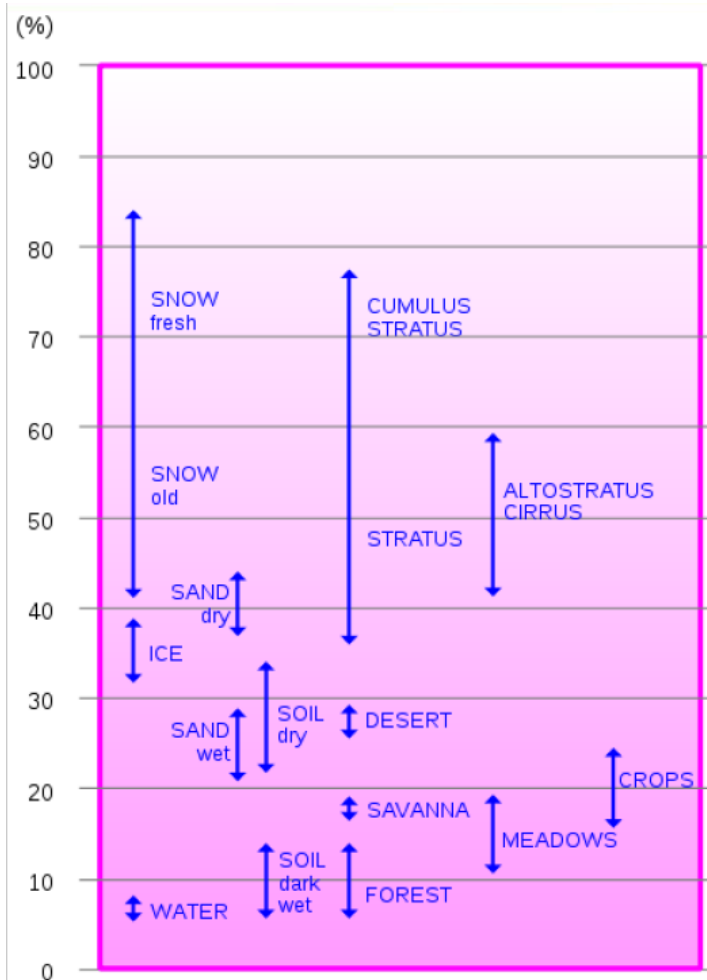
吸收率

透射率



# (行星) 反照率

反照率：通常是指物体反射太阳辐射与该物体表面接收太阳总辐射的两者比率，反射辐射与入射总辐射的比值，依赖于频率。

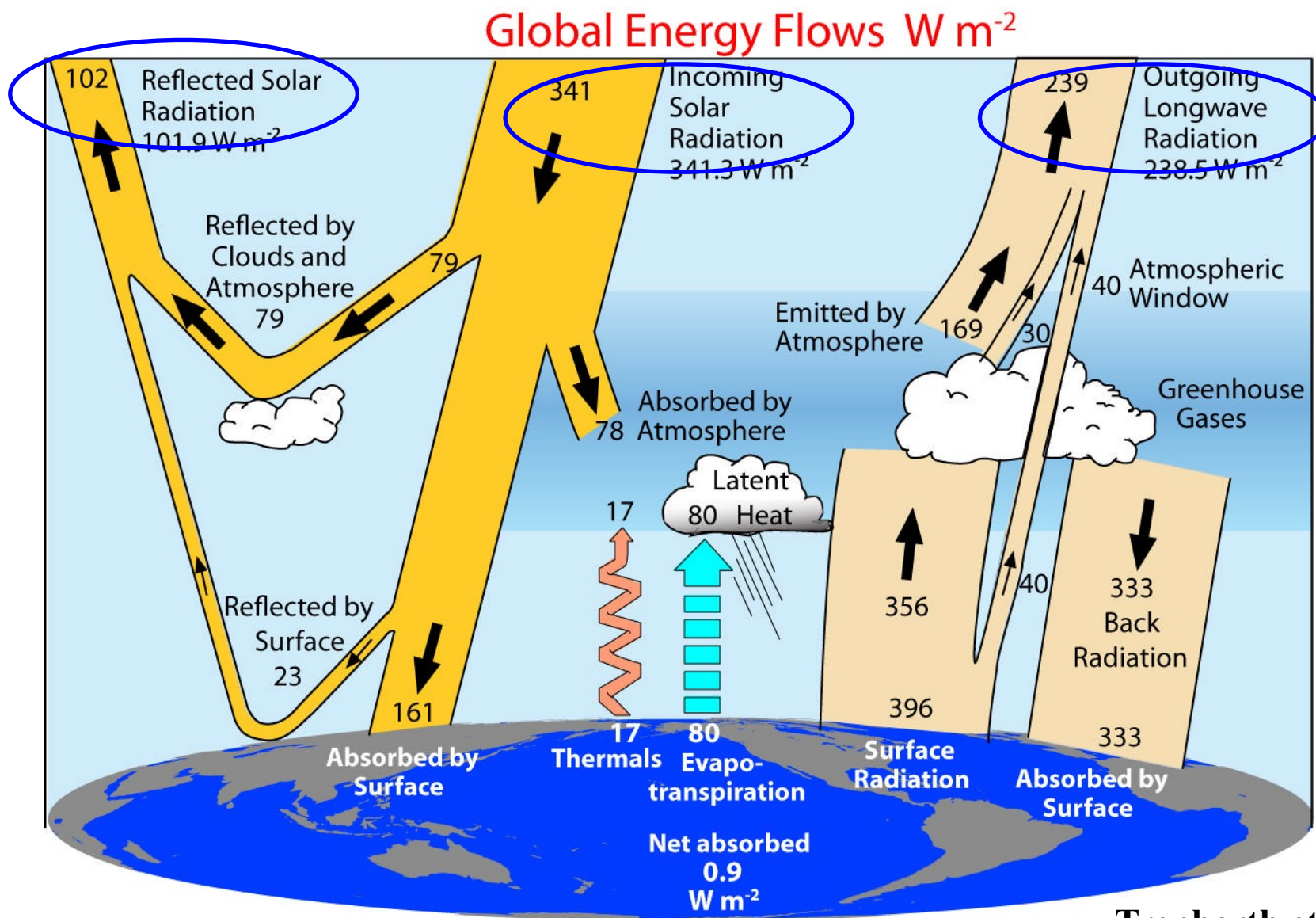


指定表面的典型反照率

Surface	Albedo(%)
雪	79-95
冰	30-40
浓厚的云层	60-90
薄云	30-50
湿砂	20-30
干砂	35-45
草地	10-30
森林	5-15
水	10 (avg.)
陆地	34-42



# 大气辐射收支



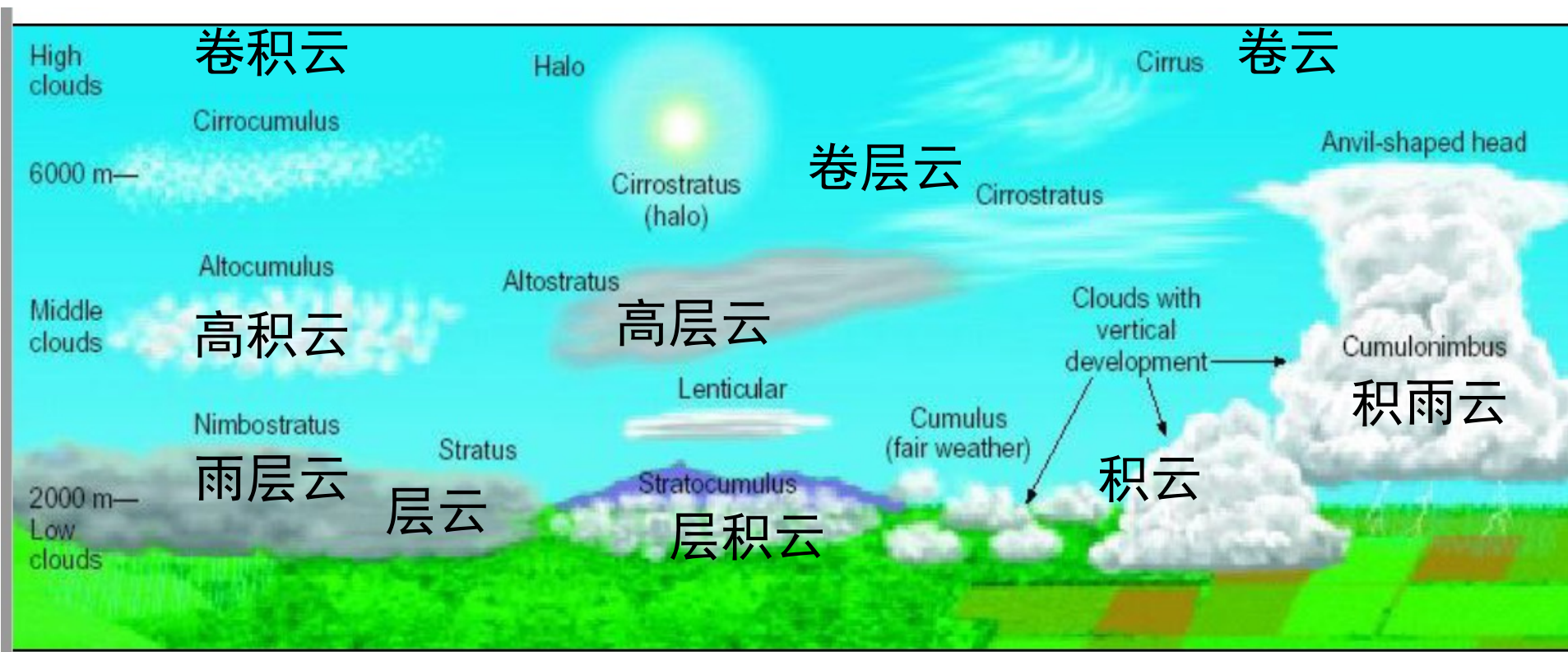
Trenberth et al., 2009

# 云的种类繁多

高云

中云

低云



云种类繁多，不同的云具有不同的特性，模式难以对其进行解析，是大气模式重要的不确定性来源。

# 云对其他过程的影响

## ■ 云辐射效应：

改变辐射的吸收，散射，发射。

## ■ 云影响PBL：

热量、水汽和动量的垂直输送。

## ■ 云的水文影响：

凝结、蒸发和降水

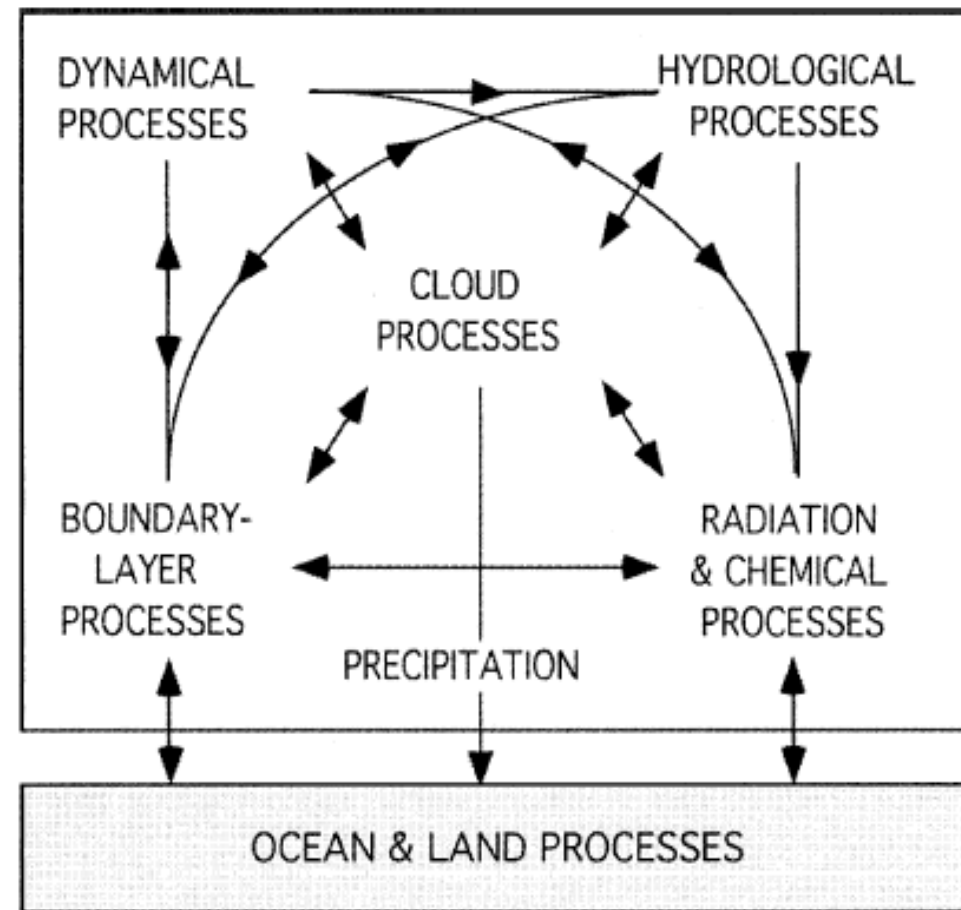
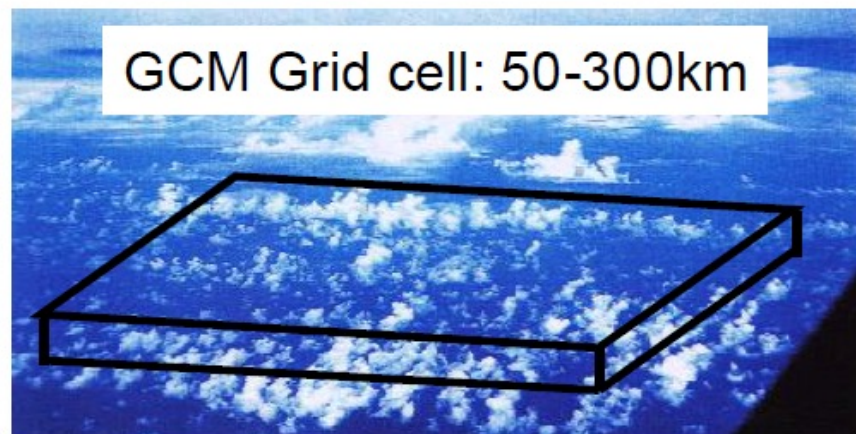


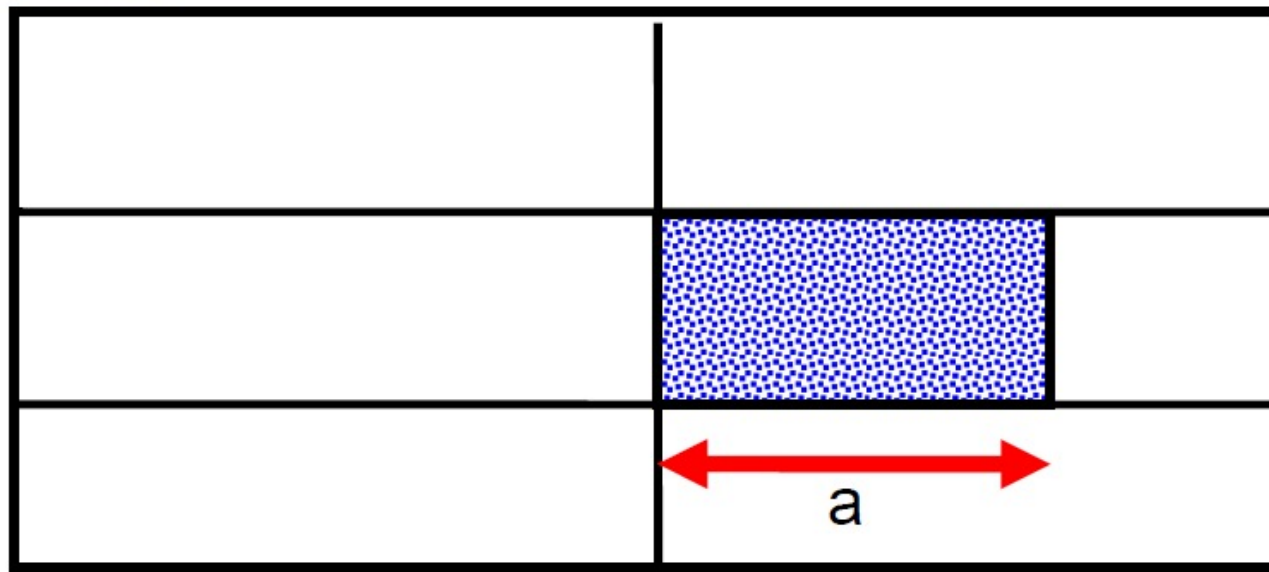
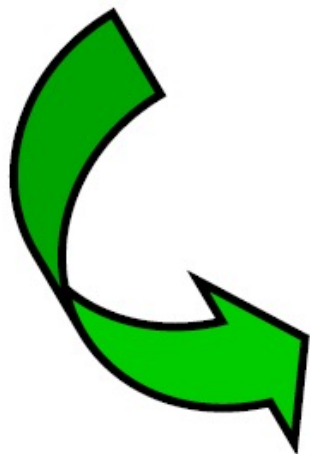
FIG. 1. Interactions between various processes in the climate system.

Physical processes and interactions.  
(from Arakawa, 2004)

# 云量



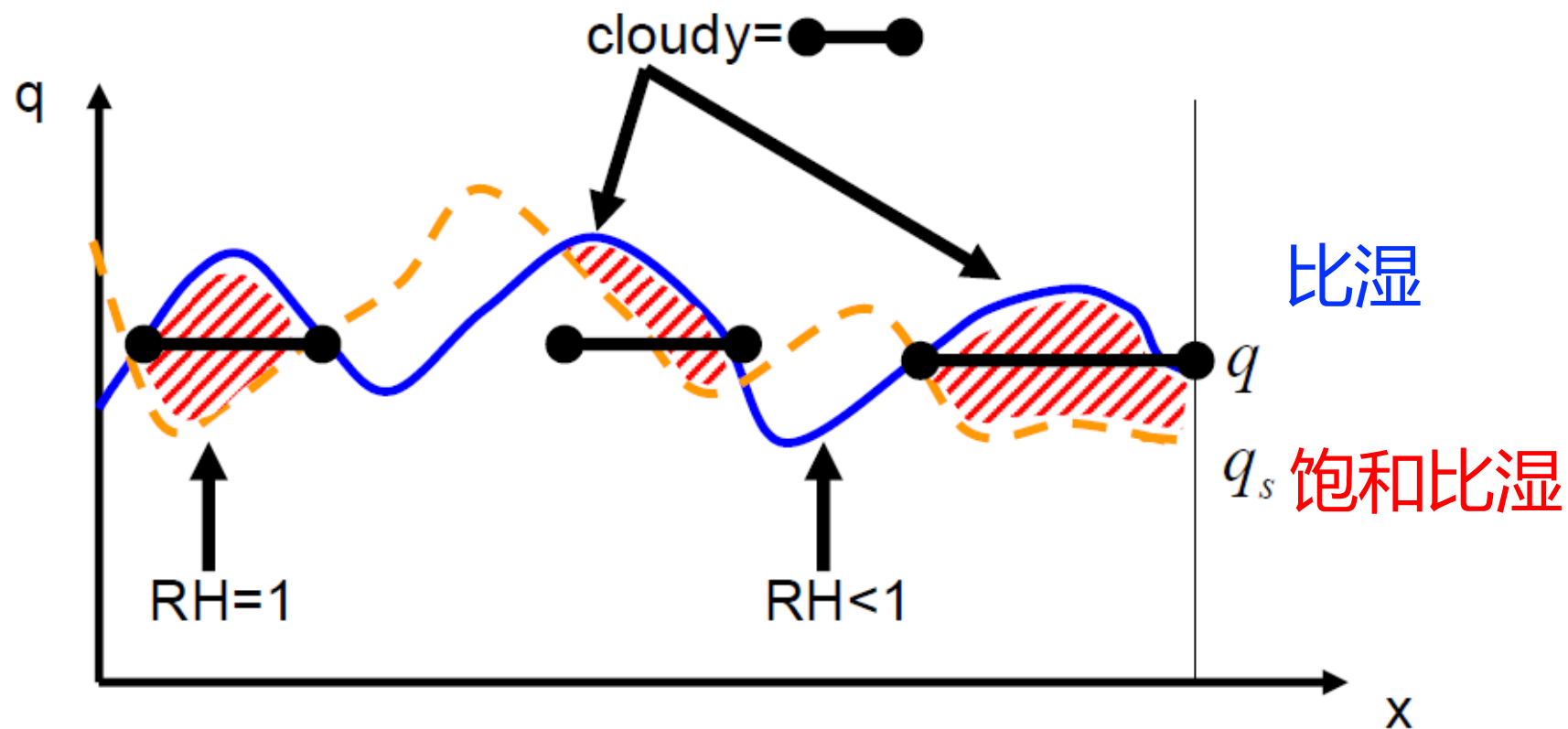
大多数方案假设云以垂直的方式填充GCM网格框，还需要表示水平云量。



GCM Grid

# 云在网格中的不均匀性-部分覆盖

- 温度、湿度的不均匀性造成了云在网格中的部分覆盖；
- 在网格平均相对湿度达到1之前就存在云。

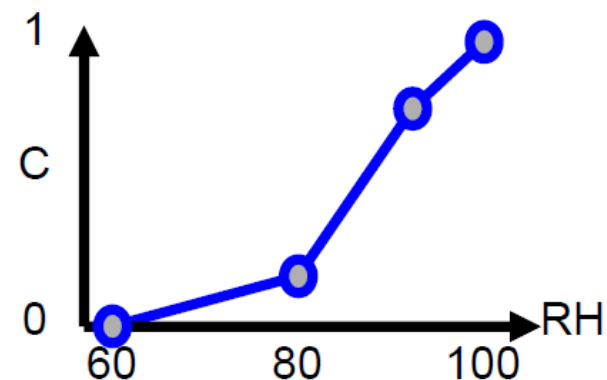


# 简单的云量计算方案

- 许多方案都是以相对湿度 (RH) 为基础的云量。
- 云形成的临界相对湿度 (与高度有关, 典型值为60- 80%)

- Many schemes base cloud cover on the relative humidity (RH)
- e.g. Sundqvist et al. MWR 1989:

临界湿度



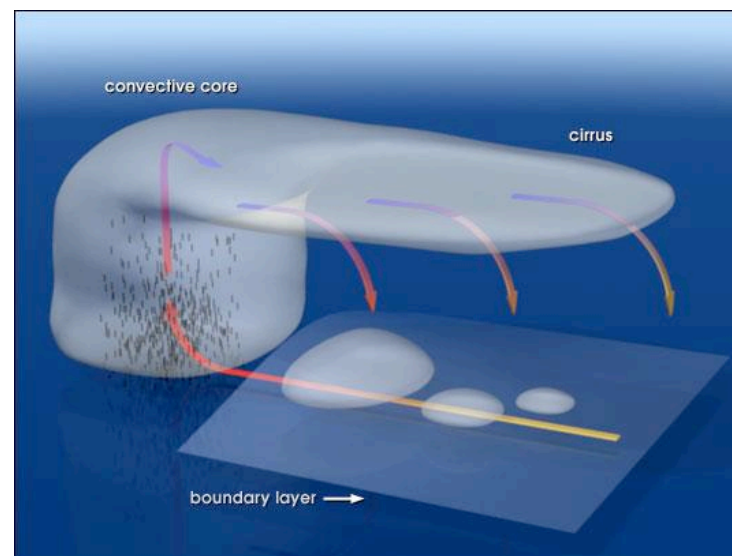
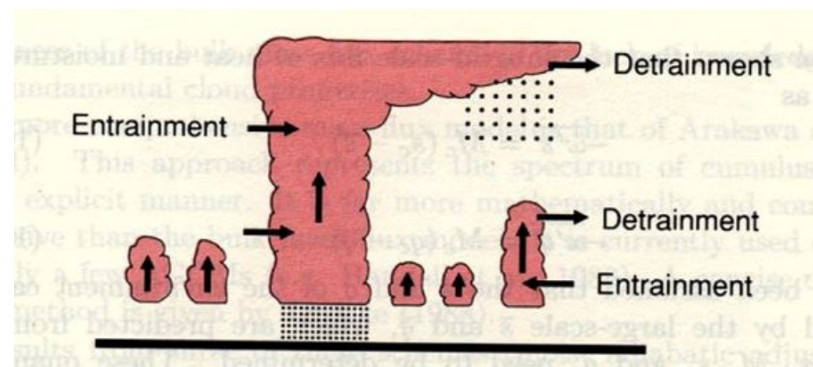
$$C = 1 - \sqrt{\frac{1-RH}{1-RH_{crit}}}$$

$RH_{crit}$  = critical relative humidity at which cloud assumed to form (function of height, typical value is 60-80%)



# 对流参数化的作用

- 积云对流参数化主要目的：估算垂直总体的积云加热、确定对流过程使大气加热、变干的垂直分布，以及估算对流降水量
- 大多数模型将浅（非降水）对流视为一个单独的过程



# 对流层参数化基本方程

模型网格中描述干静能 ( $s=C_pT+gz$ ) 和水汽 ( $q$ ) 的时间演化方程为

$$\frac{\partial \bar{s}}{\partial t} = \underbrace{-\bar{\mathbf{V}} \cdot \nabla \bar{s}}_{\text{I}} - \underbrace{\bar{\omega} \frac{\partial \bar{s}}{\partial p}}_{\text{II}} + \underbrace{L(\bar{c} - \bar{e})}_{\text{III}} - \underbrace{\frac{\partial \overline{\omega' s'}}{\partial p}}_{\text{IV}} + \underbrace{C_p Q_R}_{\text{IV}}$$

$$\frac{\partial \bar{q}}{\partial t} = \underbrace{-\bar{\mathbf{V}} \cdot \nabla \bar{q}}_{\text{I}} - \underbrace{\bar{\omega} \frac{\partial \bar{q}}{\partial p}}_{\text{II}} + \underbrace{(\bar{c} - \bar{e})}_{\text{III}} - \underbrace{\frac{\partial \overline{\omega' q'}}{\partial p}}_{\text{III}}$$

I = 大尺度水平和垂直移动 (在网格上显式解析)

II = 大尺度冷凝/蒸发

III = 次网格尺度传输 (湍流、对流)

IV = 辐射加热/冷却



# 对流参数化的结构

确定对流的**发生/位置**



**触发条件(CAPE, 水汽辐合)**

确定**热量、水汽和动量变化的垂直分布**



**云方案(单个云、云谱)**

确定**网格尺度上的能量转化**

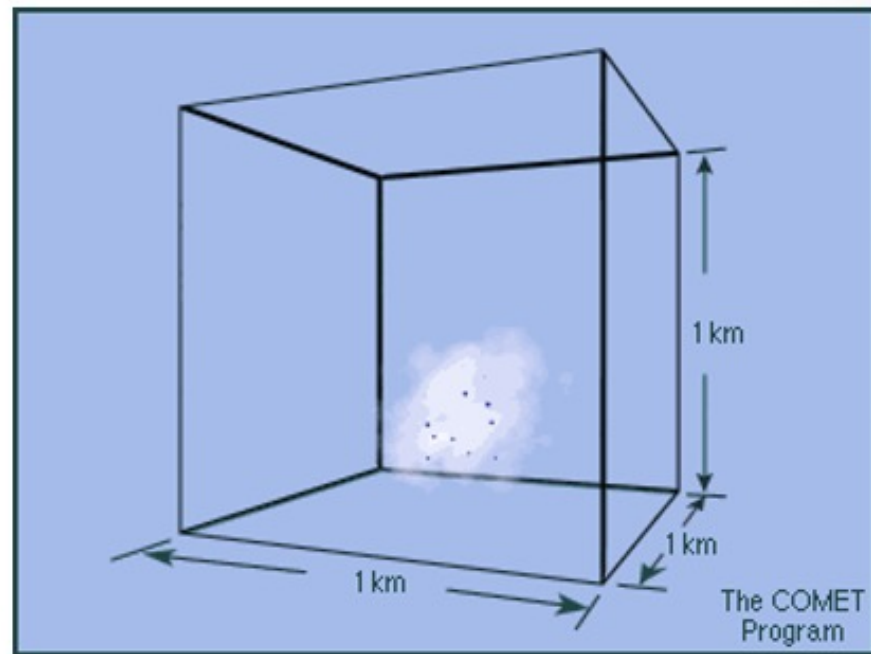
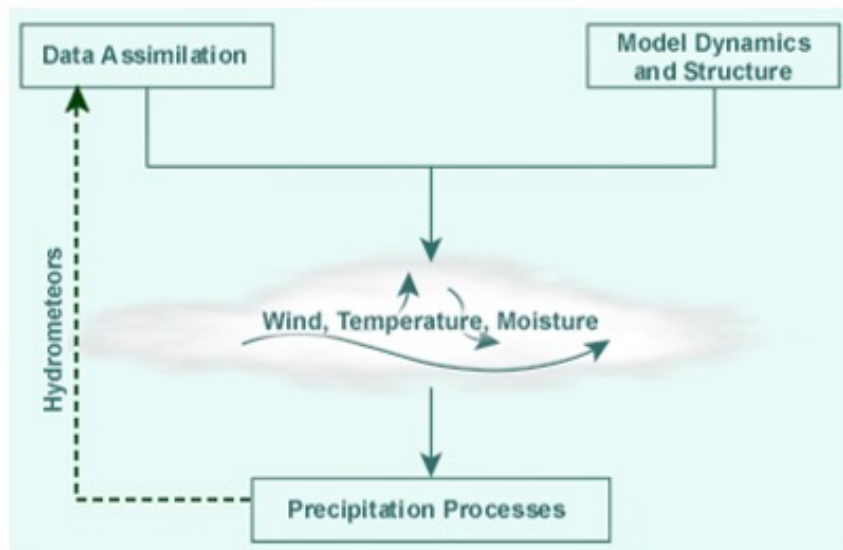


**闭合(平衡, 能量释放的时间尺度)**



# 什么是云微物理？

- 云在微尺度(即微米)上的性质
- 包括液滴浓度、大小、冰晶形成、液滴-液滴相互作用、雨滴形成等。



# 云微物理过程

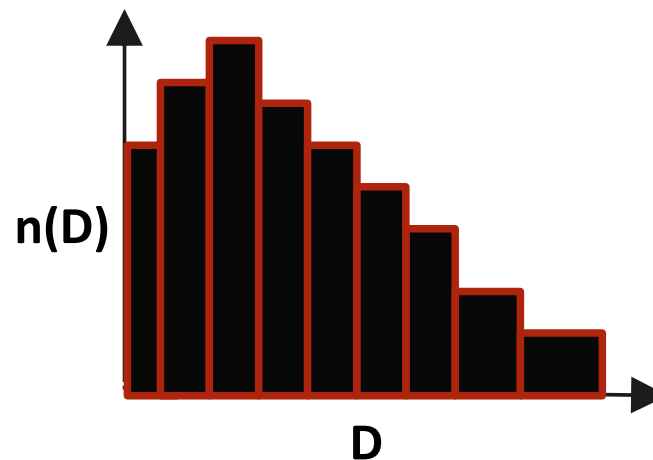
- 水汽形成水滴和冰晶
- 云滴的扩散生长(凝结)和冰晶(沉积)
- 云滴的收集过程(碰撞-合并), 冰晶(聚集)和冰和液体(边缘)导致降水大小的颗粒
- 粒子的平流和沉降(下落)
- 云和降水粒子的蒸发/升华/融化



# 分档法与整体法的云微物理参数化

## ◇ 分档bin云微物理

- 将微物理颗粒分成不同大小的bin
- 粒度分布(PSD)是输出而不是输入
- 对于业务用途来说太贵了



## ◇ 整体Bulk云微物理

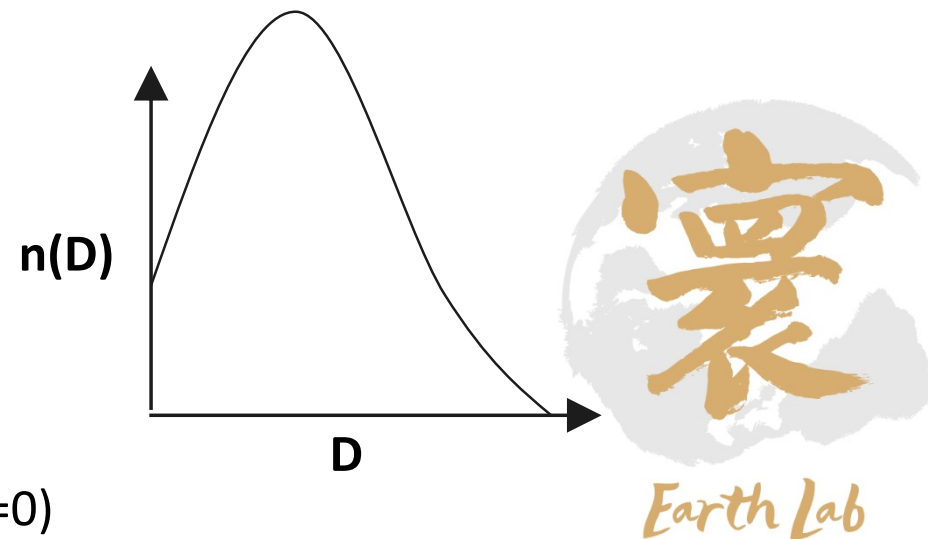
- 用半经验的PSD计算
- 大部分方案使用Gamma分布

$$n(D) = N_0 D^\mu e^{-\lambda D}$$

$D$  = 粒子直径;  $n$  = #单位体积粒子数

$\mu$  = 形状参数;  $\lambda$  = 斜率参数

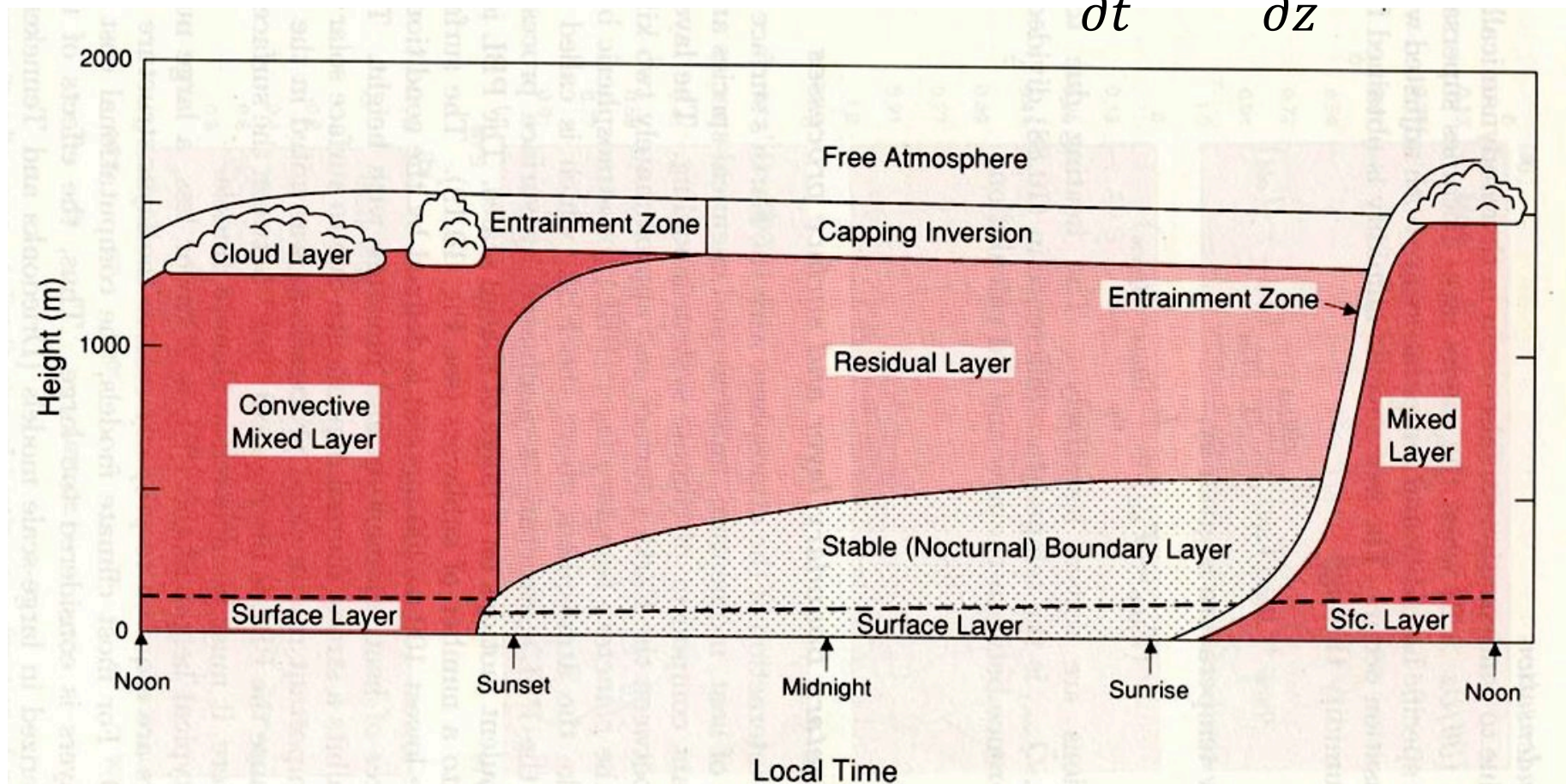
$N_0$  = 截距参数(max # of particles per volume at  $D=0$ )



# 边界层过程

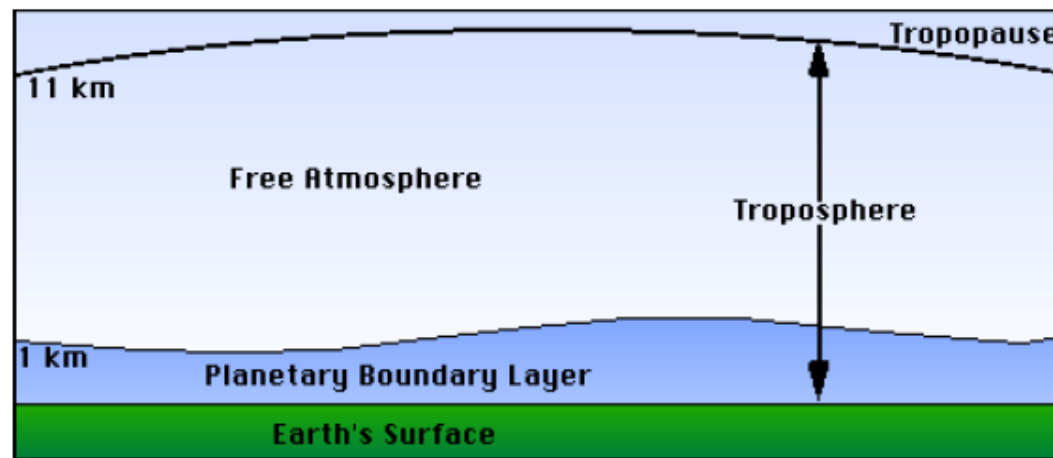
PBL (湍流) 方案模拟了从地面到对流层自由大气的动量、能量和水汽的垂直输运。

$$\frac{\partial \bar{A}}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial z} \overline{w' A'}$$



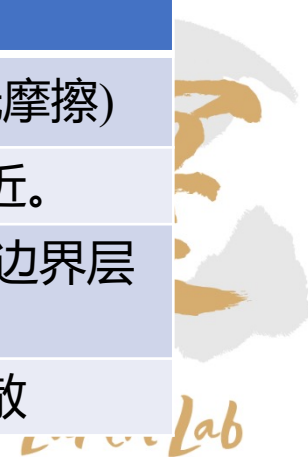
# 边界层与自由大气

- 受湍流(摩擦)过程影响的低层空气被称为行星边界层(PBL)。
- 对流层中剩余的部分被称为自由大气。



## 大气边界层与自由大气的比较

特性	行星边界层	自由大气
摩擦	对地球表面的巨大阻力。高能量耗散(由于摩擦)	无关紧要的阻力。能量耗散小(无摩擦)
湍流	连续的湍流贯穿整个层。	湍流只存在于对流云和急流附近。
厚度	在100 - 3000米之间, 陆地上的日变化	在8到18公里之间, 变化不大。在边界层和对流层顶之间。
混合	垂直和水平的快速湍流混合	快速水平混合, 少量分子扩散





# 动力框架与物理过程的耦合

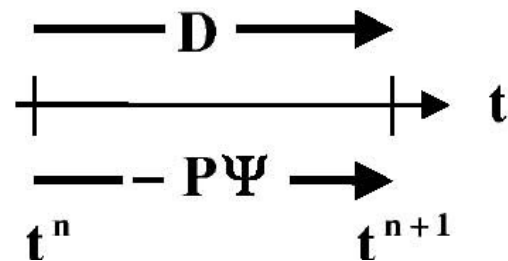
动力框架计算而来的倾向

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} = D(\psi) + P(\psi)$$

物理过程计算而来的倾向

## ◇ 过程拆分

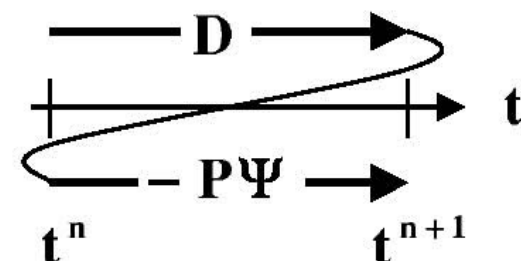
$$\psi^{n+1} = \psi^n + \Delta t D(\psi^n) + \Delta t P(\psi^n)$$



## ◇ 顺序拆分

$$\psi^* = \psi^n + \Delta t D(\psi^n)$$

$$\psi^{n+1} = \psi^* + \Delta t P(\psi^*)$$



过程拆分法对于谱变换和有限差分动力框架比较方便，顺序拆分对有限体积动力框架比较方便



# 预报量与诊断量

## ◆ 预报量

由控制方程预测的变量通常包括风、气温、表面气压、比湿、云水、云冰等。

$$\frac{\partial \psi_P}{\partial t} = D(\psi_P) + P(\psi_P)$$

## ◆ 诊断量

由预测变量诊断的变量通常包括云量、降水、辐射通量、位势高度等。

$$\psi_D = f \left( \psi_P^1, \dots, \psi_P^n, \frac{\partial \psi_P^1}{\partial t}, \dots, \frac{\partial \psi_P^n}{\partial t}, \dots \right)$$



01

背景介绍

02

模式原理

03

数据制备

04

结果诊断分析与应用案例



# IAP-AGCM大气模式数据制备

- 模式初始场的准备
- 模式代码的配置与编译
- 模式参数的设置
- 模式的运行与数据输出



# 大气模式初始场的制备

- 大气环流模式的初始场的选择并不唯一，往往需要根据模式使用者的目的、关注的对象以及所要解决的问题等方面的因素，来确定选择什么样的初始场。
- 大气环流模式的运行所需要的初始场包括纬向风、经向风、气温以及地表气压，包含有坐标信息的经度、纬度、表示地形追随坐标的因子也需要给出，所有数据不能出现缺省值。
- 大气模式能够识别的初始场文件格式为NETCDF文件。
- 初始场的制备就是要形成一个包含有水平风场、地表气压、**三维**气温以及坐标信息的、格式为NETCDF的文件。



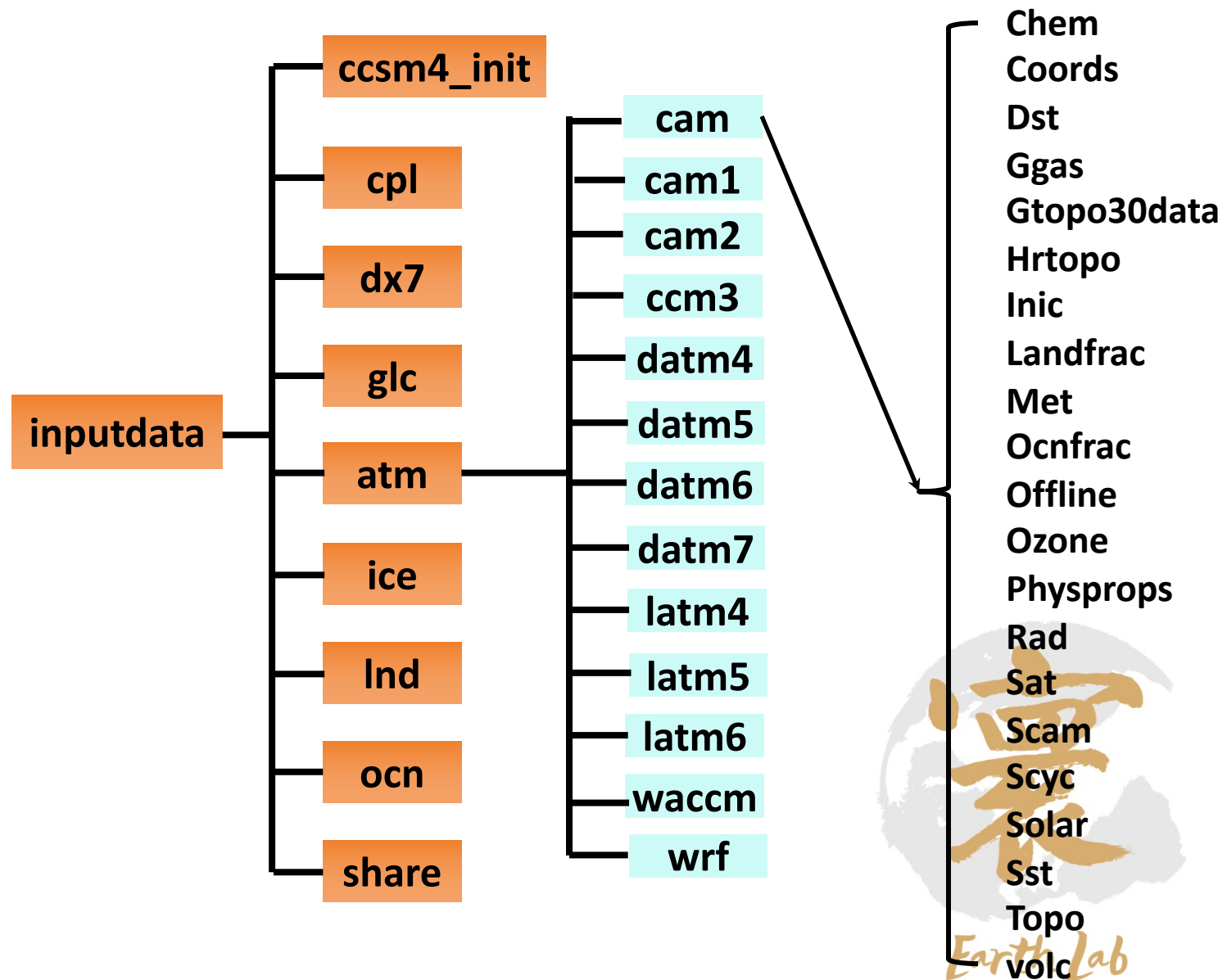
# 大气模式初始场制备一般流程

- 1) 根据大气模式的水平分辨率确定水平格点信息（经纬均匀网格），即经度lon和纬度lat；
- 2) 根据大气模式的垂直分辨率确定垂直格点信息，即地形追随坐标lev及其相关的参数hyam以及hybm；
- 3) 根据所要解决的问题，选取包含有纬向风场U、经向风场V、气温场T以及地表气压PS的观测数据/再分析数据/模式输出数据。
- 4) 一般而言，所选取数据的格点信息与模式格点信息存在差异。找出二者的差异，选取恰当的水平插值和垂直插值方法，将物理场插值到模式格点。
- 5) 将插值好的数据写入到NETCDF文件中，同时，将创建时间、创建者、原始文件信息等内容作为属性信息写入到文件，并以“ IAPi\_YYYY-MM-DD\_NLATxNLON\_LNLEV\_cyyyymmdd.nc”方式进行命名。



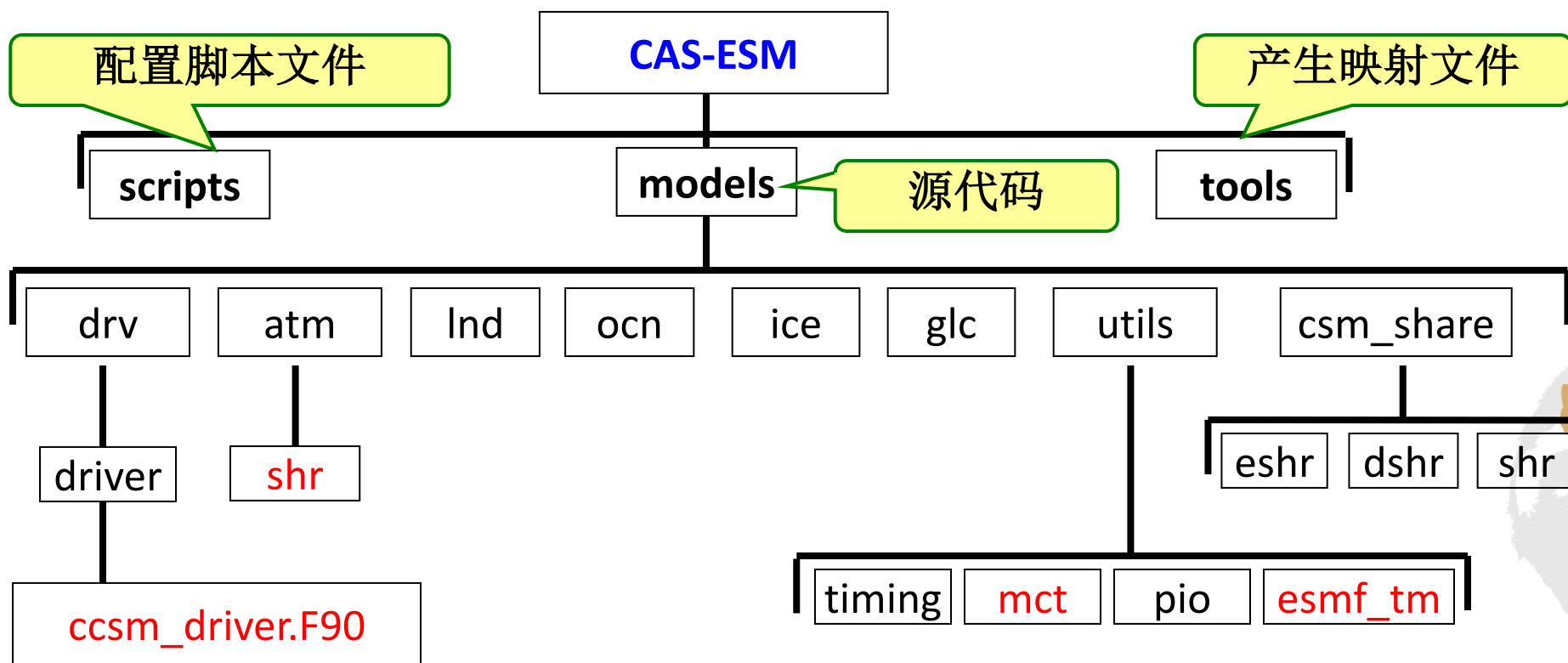
# 默认的初始场和强迫场数据

- CAS-ESM模式输入数据inputdata包含了大气模式运行所需要的默认的初始场和强迫场数据



# 模式代码的配置、编译与运行

- 大气模式 IAP-AGCM5.0 的编译与运行需要在 CAS-ESM2 的框架内进行





# 模式的配置、编译与运行

## (1) 新建case

```
cd cas-esm/scripts/
```

```
./create_newcase -case /your/path/to/cases/famipc5x -compset FAMIPC5X -  
res fd14_fd14 -mach your_machine
```

## (2) 配置

```
cd /your/path/to/cases/b1850c5xnch
```

```
./configure -case #成功后会生成b1850c5xnch.your_machine.build等文件
```

## (3) 编译

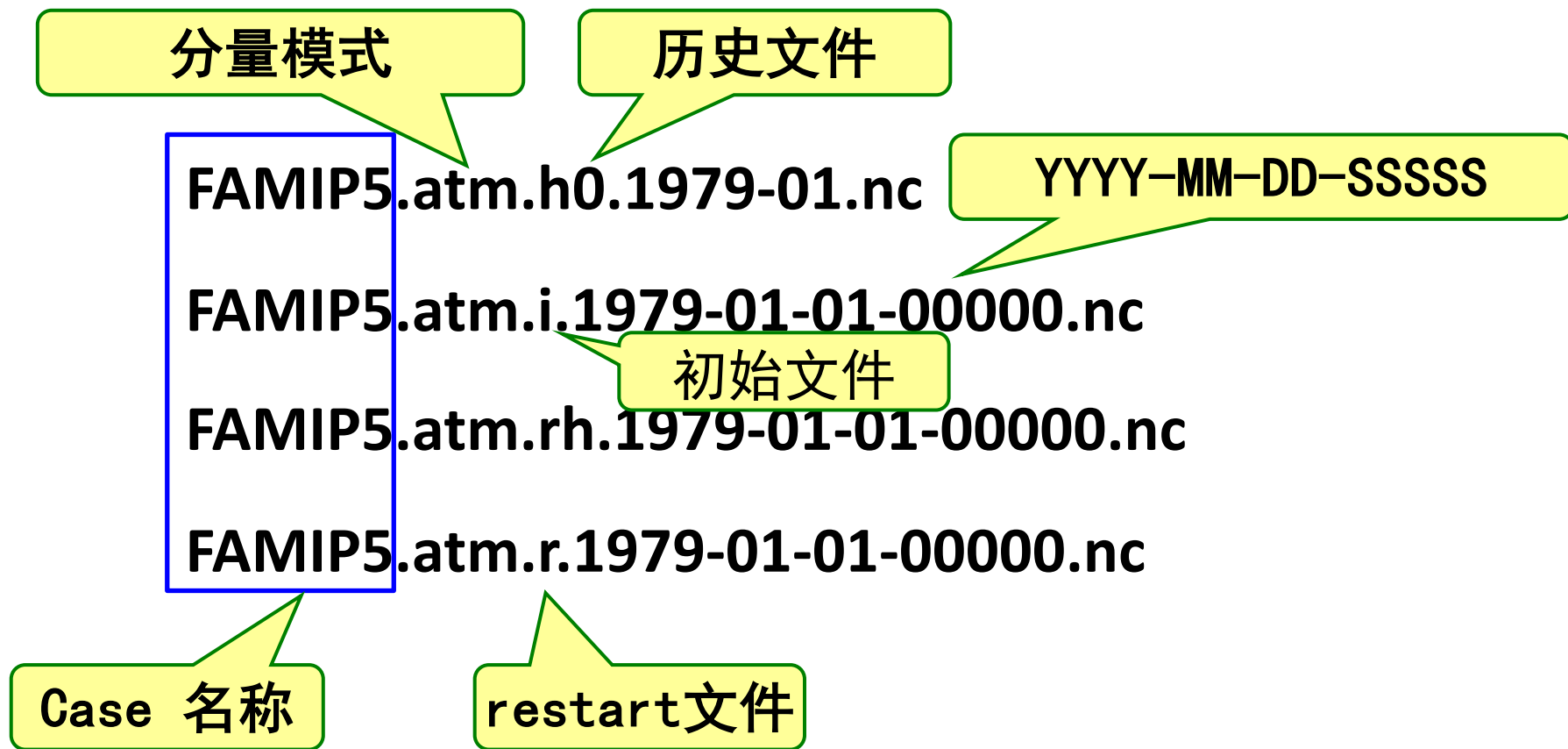
```
./b1850c5xnch.your_machine.build #成功后会有提示
```

## (4) 运行

编译成功后，进入运行路径，ccsm.exe为可执行程序。需要修改atm\_in, drv\_in, lnd\_in, docn.stream.txt等文件，然后运行。



# 大气模式的输出文件



... ..

- atm\_in为控制大气模式输出的namelist
- 所有的输出文件均为netcdf文件



01

背景介绍

02

模式原理

03

数据制备

04

结果诊断分析与应用案例

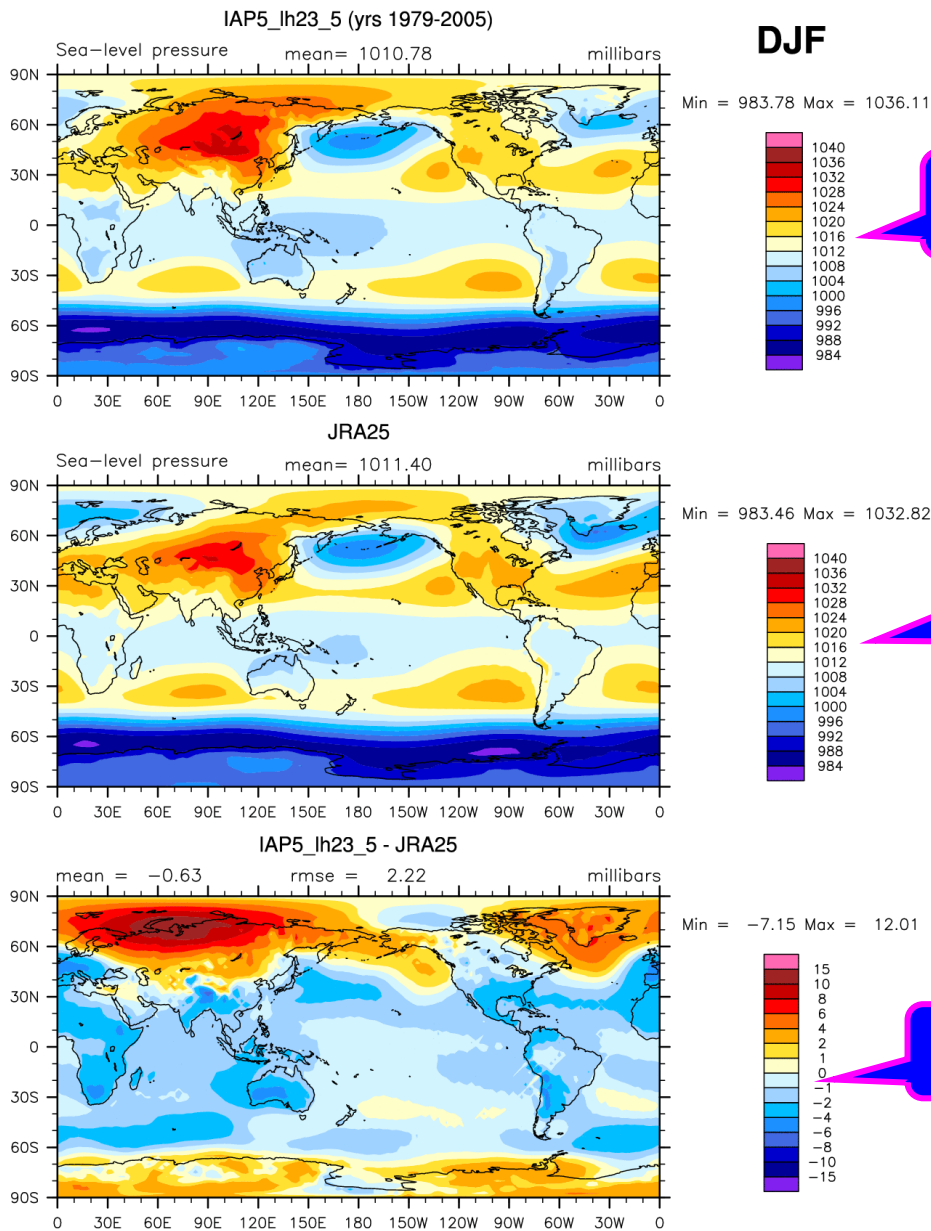


# 大气模式的诊断分析应用

- ◇ 气候态或平均态 (通常为10年)
  - 年度/季节性的平均
  - 年周期
  - 日循环
- ◇ 变率
  - 季节内变化, 如 MJO
  - 年际变化, 如 QBO
  - 年代际变化, 如 AMO
- ◇ 气候变化/长期趋势
- ◇ 一般指标, 如泰勒图、CPI



# 气候态-DJF平均



模型

观测

模型-观测

$$Bias = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\bar{m}_i - \bar{o}_i)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N w_i (\bar{m}_i - \bar{o}_i)^2}$$



# Bias与RMSE

$$Bias = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N w_i (\bar{m}_i - \bar{o}_i)$$

在第*i*个网格点的模型值

观测值

总网格点数

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N w_i (\bar{m}_i - \bar{o}_i)^2}$$

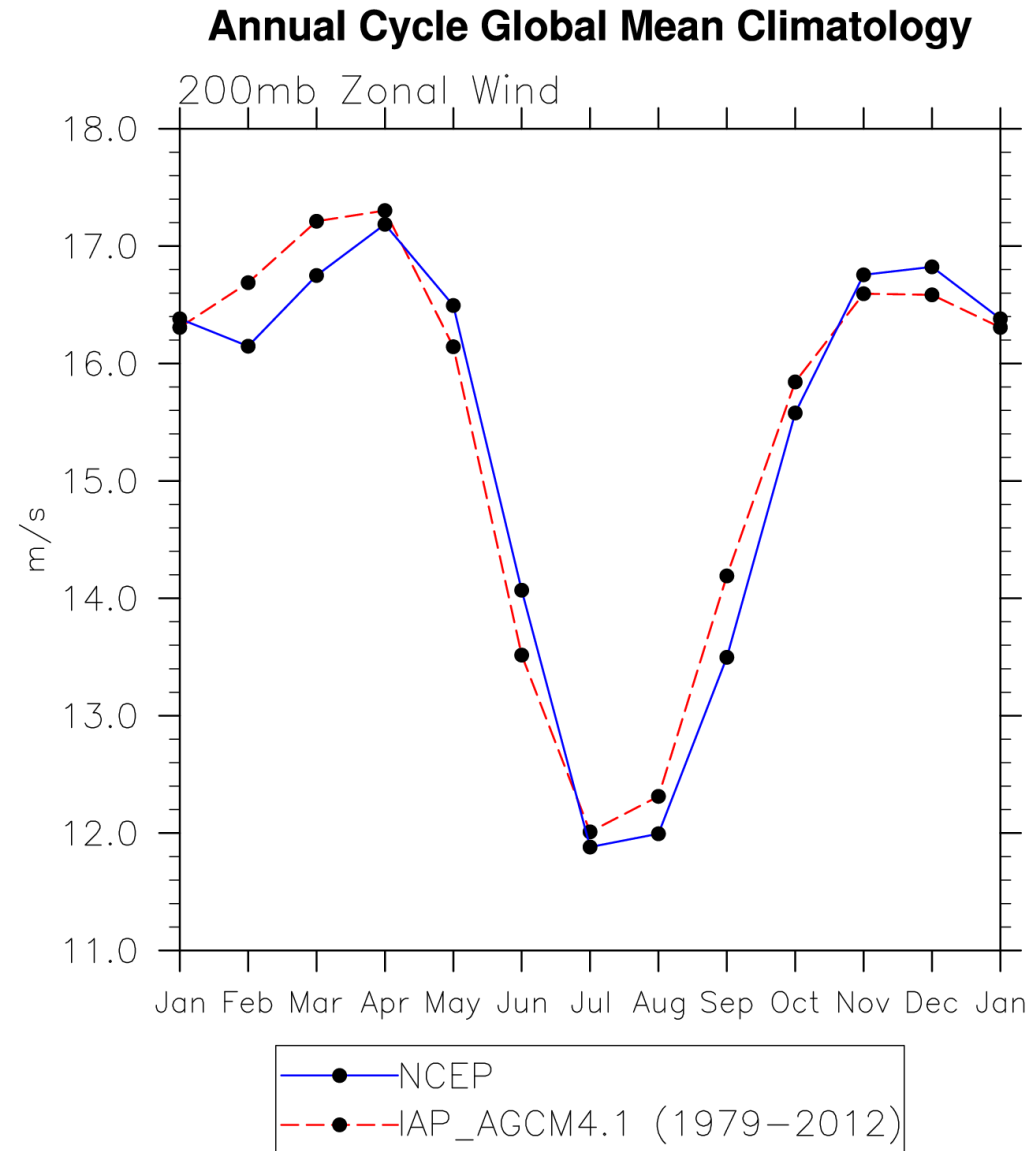
均方根误差

面积权重

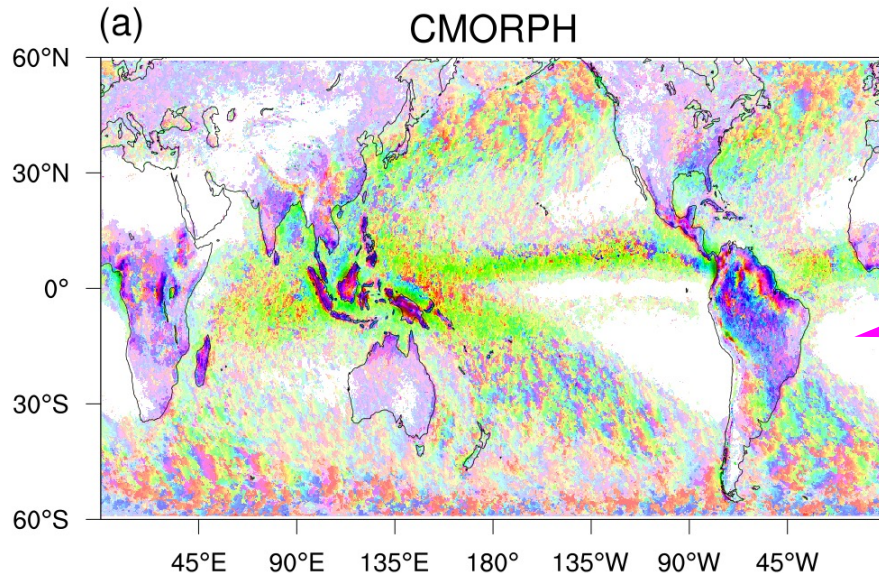
对于常规的经纬网格,  $w_i = \cos \varphi_i$ ,  $\varphi_i$ 是纬度



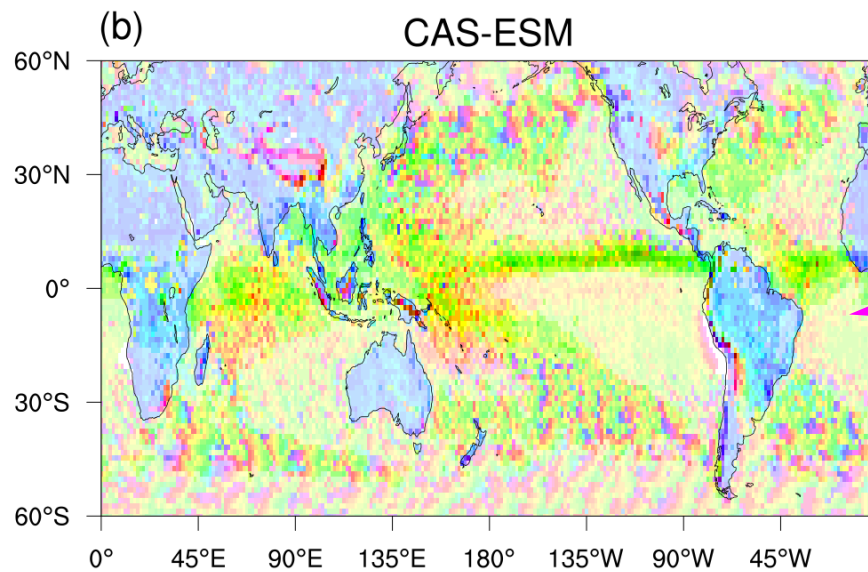
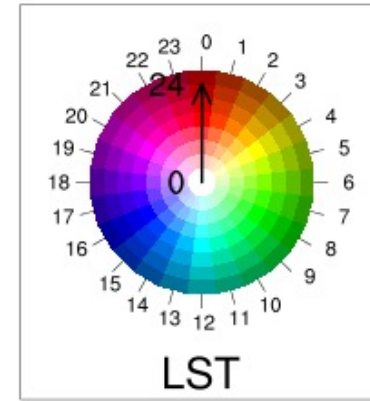
# 年循环特征-全球平均U200



# 日循环特征-降水



观测



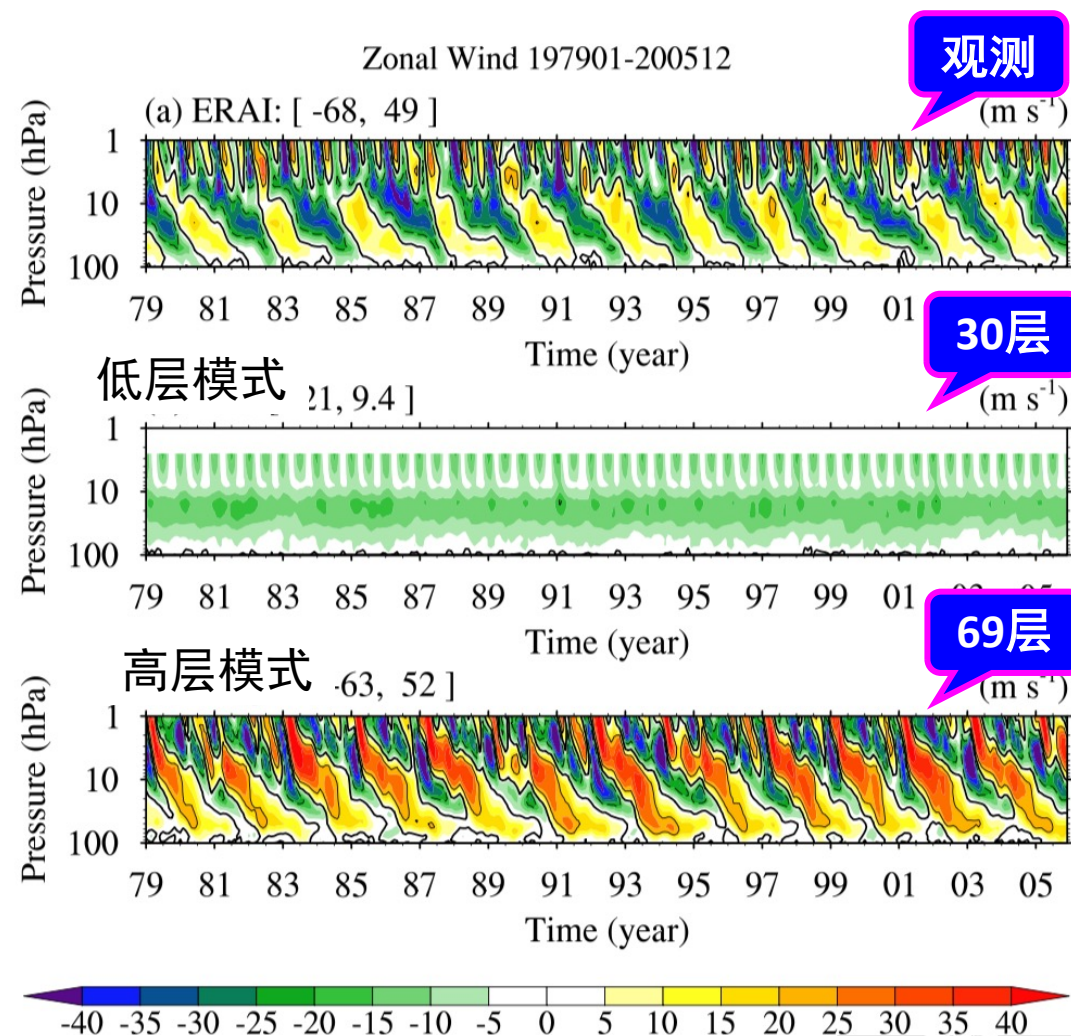
模型





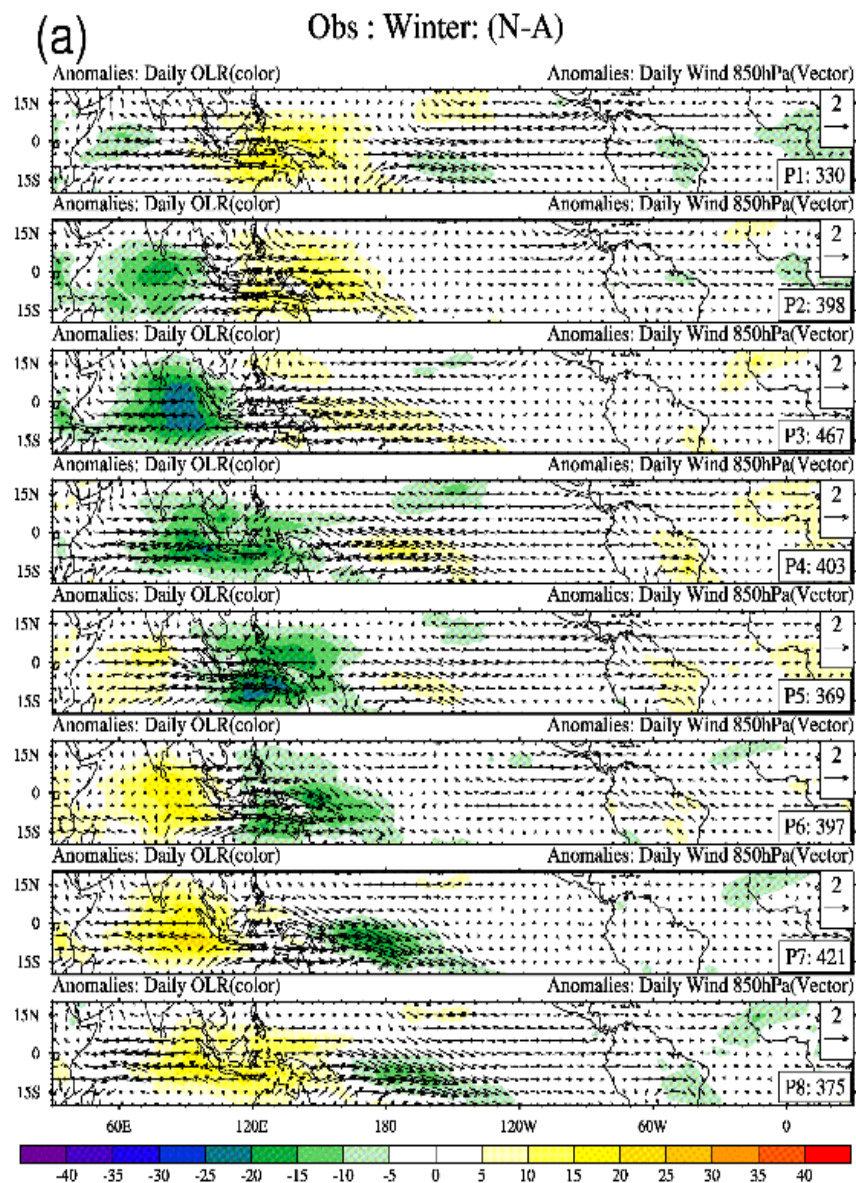
# 年际变率-QBO

- 平流层准两年振荡（QBO）是地为平流层年际变率最重要的模态
- 表现为东风西风下传交替出现，反映大气模式波动强迫刻画情况。

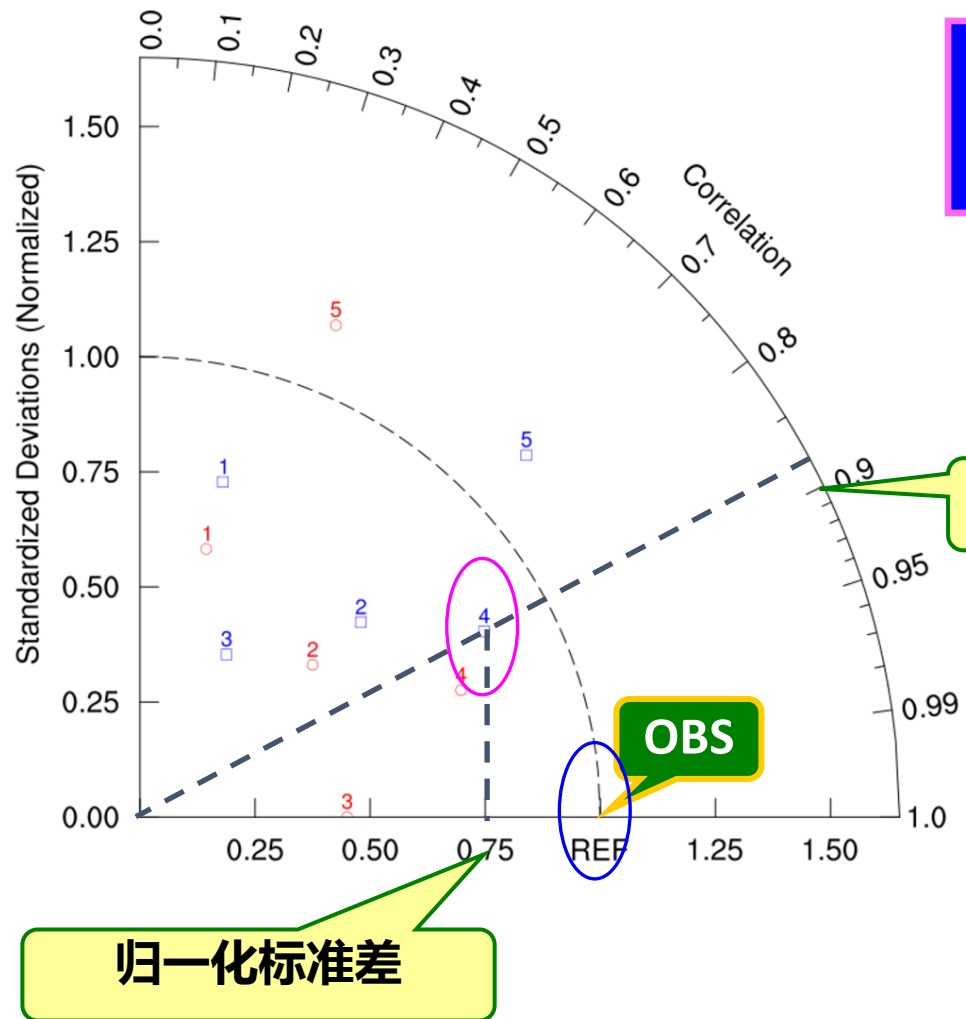


# 季节内变率-MJO

- Madden - Julian oscillation (MJO) 是**热带大气季节内(30-90天)**变化的最大因素。
- 它是**大气环流与热带深对流**的大尺度耦合。
- MJO是一个**向东传播**，大约4-8m/s的速度，经过印度洋和太平洋的暖池上空的大气。
- 美国气候变化和可预测性 (CLIVAR) MJO工作组开发了一系列标准化MJO诊断方法，请见 [http://climate.snu.ac.kr/mjo\\_diagnostics/index.html](http://climate.snu.ac.kr/mjo_diagnostics/index.html)



# 泰勒图



越接近REF模拟越好

模拟与观测的相关性

OBS

REF

归一化标准差



( Taylor, 2001, JGR)

Earth Lab

# 气候预测指标-CPI

(Murphy et al., 2004)

$$CPI_j = \sqrt{\frac{1}{\sigma_{ANN}^2} \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n w_i (m_i - o_i)^2}$$

格点数 (n) 指向分母中的 n

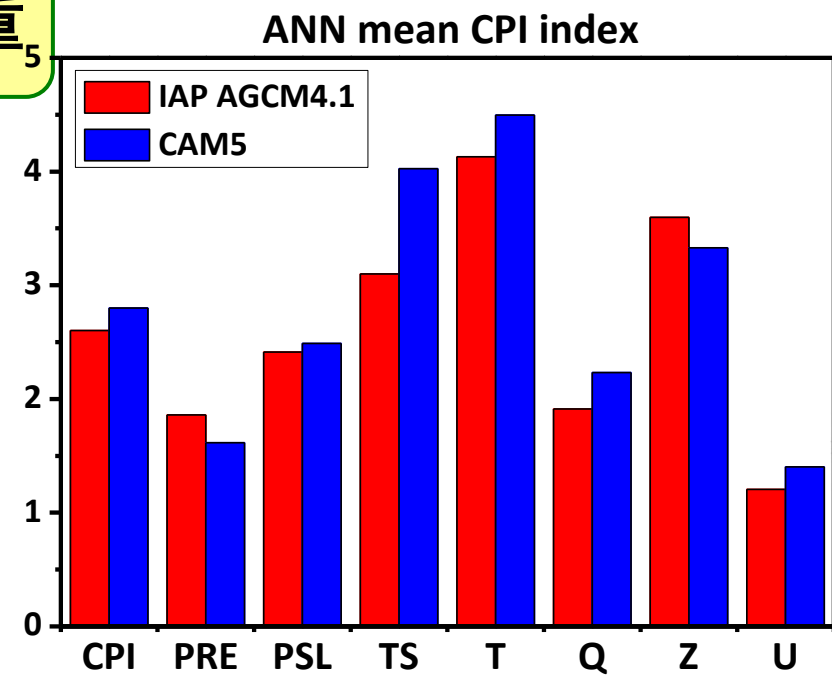
模拟 (m\_i) 指向分子中的 m\_i

观测 (o\_i) 指向分子中的 o\_i

模拟的年际变化 (σ<sub>ANN</sub><sup>2</sup>) 指向分母中的 σ<sub>ANN</sub><sup>2</sup>

面积权重 (w\_i) 指向分子中的 w\_i

**CPI 指数越小，模拟效果越好**



# 诊断工具

NCAR开发的诊断包:

[http://www.cesm.ucar.edu/models/cesm1.2/model\\_diagnostics/](http://www.cesm.ucar.edu/models/cesm1.2/model_diagnostics/)

气候变率诊断包

[http://www.cesm.ucar.edu/working\\_groups/CVC/cvdp/](http://www.cesm.ucar.edu/working_groups/CVC/cvdp/)

ESMValTool(地球系统模型评估工具)

<https://www.esmvaltool.org/>

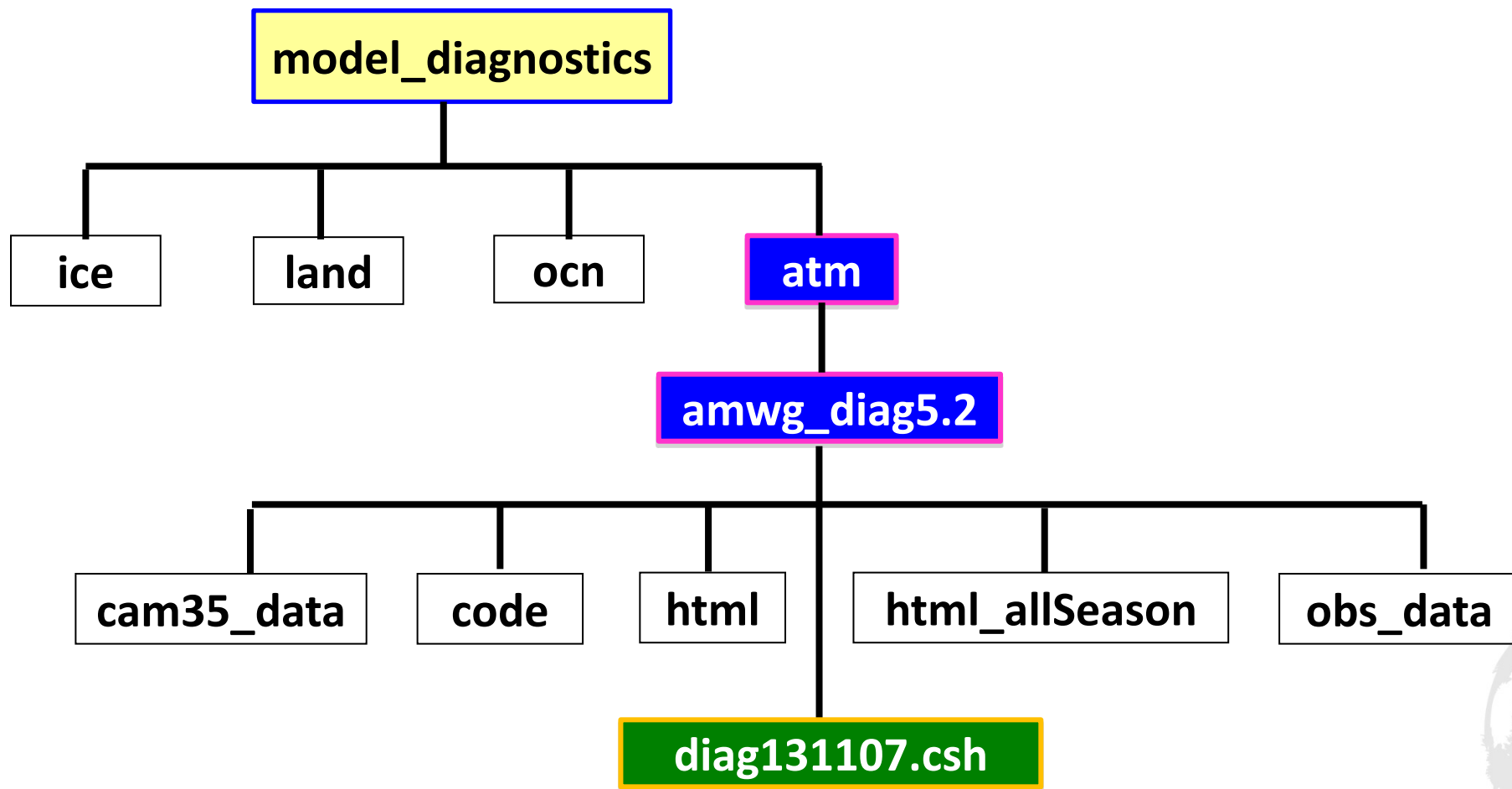


# NCAR大气模式诊断包基本情况

诊断包利用模式输出的月平均资料，可以生成600多张图表，它可以用来进行模式之间的月平均气候态的比较以及模式与观测或再分析资料之间的比较。

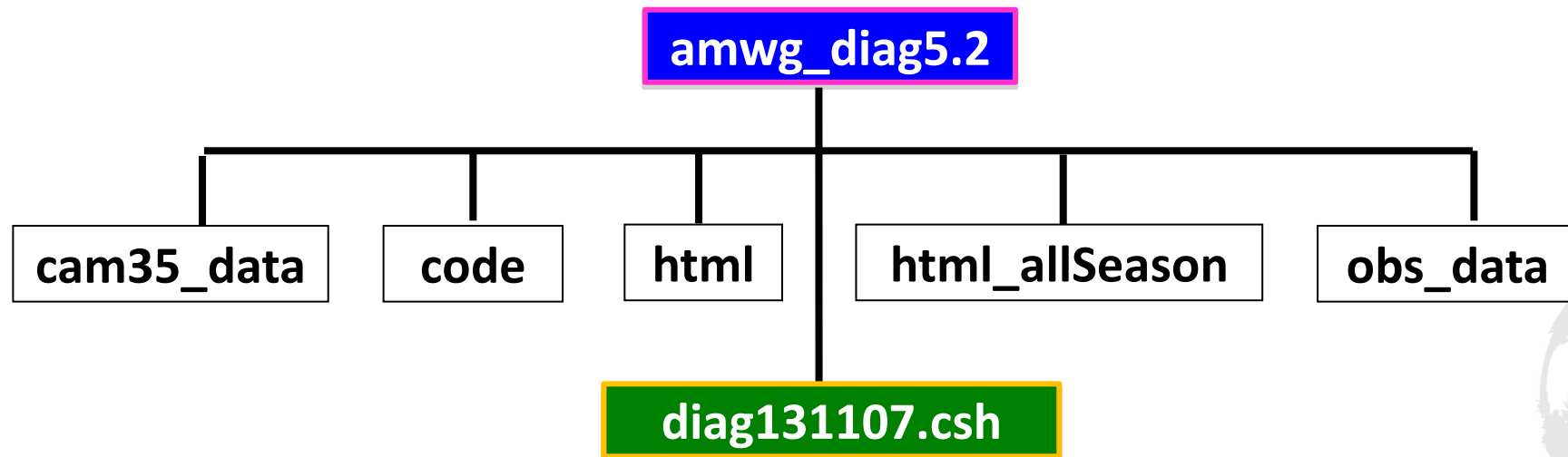
项目	说明
英文	AMWG DIAGNOSTICS PACKAGE
本质	程序包+数据集
构成	Shell脚本+NCL脚本+观测或再分析数据
目的	模式数据与模式数据的比较；模式数据与观测或再分析数据的比较
输入量	模式输出的月平均数据（模式间比较）； 模式输出的月平均资料和程序包自带的观测再分析数据（模式与观测比较）；
输出量	图表（输入数据变量不全会导致部分无输出）
注意	输入数据的变量必须按照某种规则（变量名，维数，维名）； 输入数据最好包括程序本身所需要的全部变量及坐标变量

# 诊断包结构



# 诊断包的运行

- ◆ 确保安装了NCL、NCO和ImageMagick
- ◆ 修改diag131107.csh
- ◆ 运行diag131107.csh
- ◆ 一组图像将被绘制出来



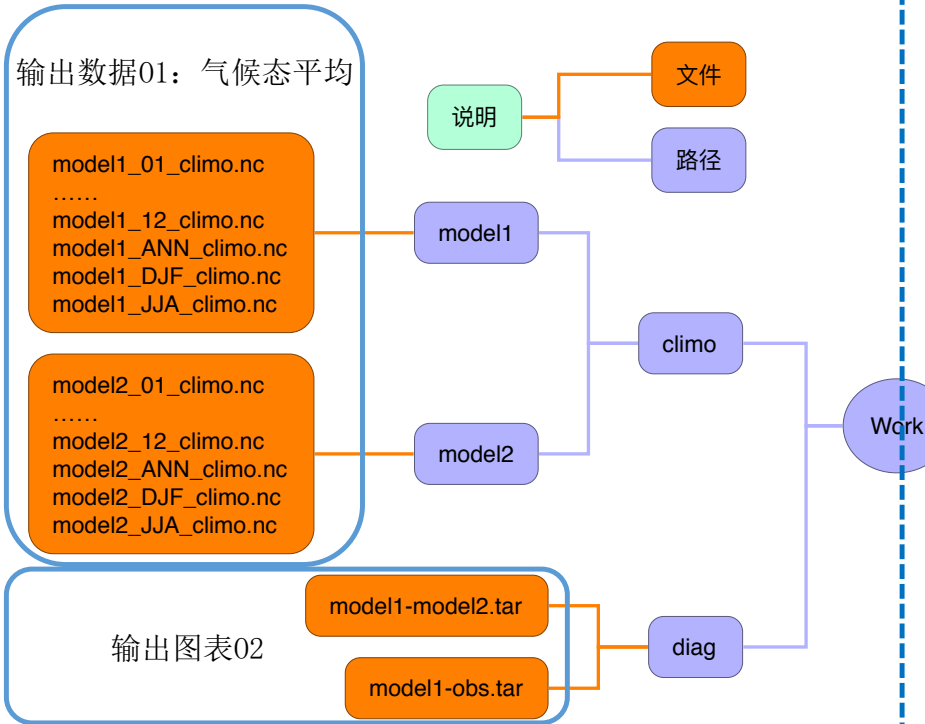
demo: <http://159.226.113.50/>



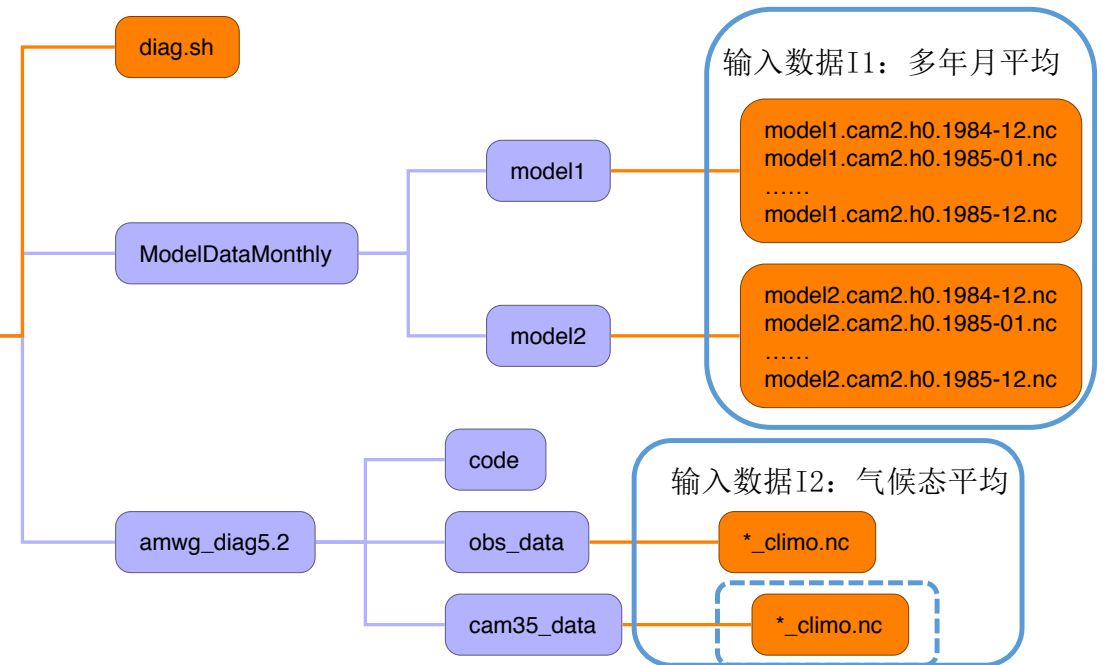


# 诊断包运行后输出文件

(左) 运行diag.csh之后生成的文件



(右) 运行diag.csh之前存在的文件



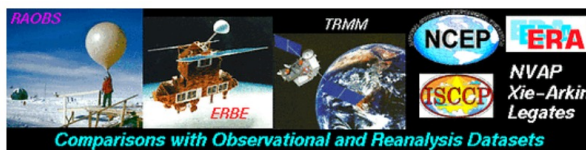
- 模式vs观测:  $I1\_modell + I2\_obs\_data$
- 模式vs模式:  $I1\_modell + I1\_model2$

$\implies O1\_modell + O2\_modell-obs.tar$

$\implies O1\_modell + O1\_model2 + O2\_modell-model2.tar$

# 诊断包的输出结果

AMWG Diagnostics Package  
famipc5xnchfd14169

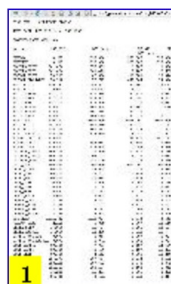
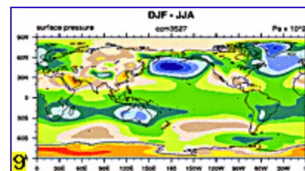
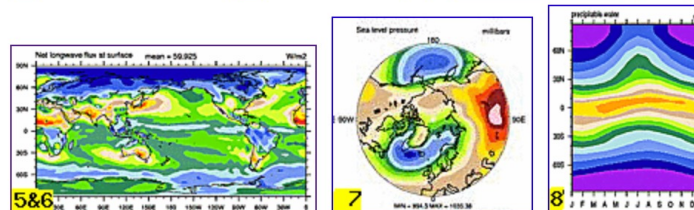
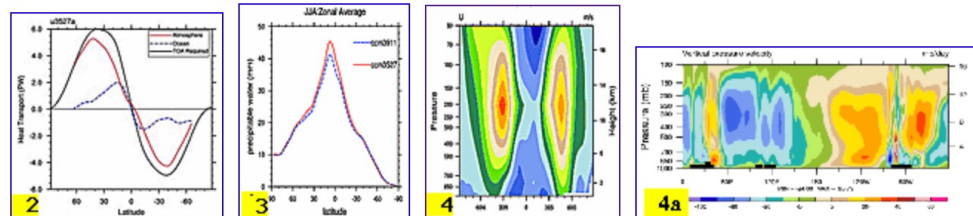


Plots Created  
Wed Dec 15 09:51:11 CST 2021

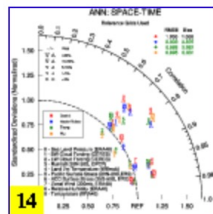
## Set Description

- 1 [Tables](#) of ANN, DJF, JJA, global and regional means and RMSE.
- 2 [Line plots](#) of annual implied northward transports.
- 3 [Line plots](#) of DJF, JJA and ANN zonal means
- 4 Vertical [contour plots](#) of DJF, JJA and ANN zonal means
- 4a Vertical (XZ) [contour plots](#) of DJF, JJA and ANN meridional means
- 5 Horizontal [contour plots](#) of DJF, JJA and ANN means
- 6 Horizontal [vector plots](#) of DJF, JJA and ANN means
- 7 Polar [contour and vector plots](#) of DJF, JJA and ANN means
- 8 Annual cycle [contour plots](#) of zonal means
- 9 Horizontal [contour plots](#) of DJF-JJA differences
- 10 Annual cycle [line plots](#) of global means
- 11 Pacific annual cycle, Scatter plot [plots](#)
- 12 Vertical profile [plots](#) from 17 selected stations
- 13 ISCCP cloud simulator [plots](#)
- 14 Taylor Diagram [plots](#)
- 15 Annual Cycle at Select Stations [plots](#)

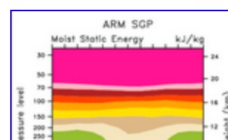
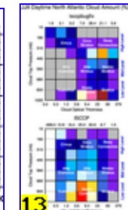
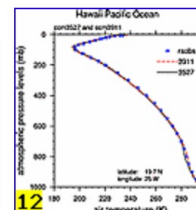
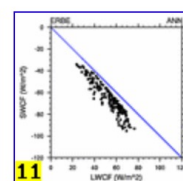
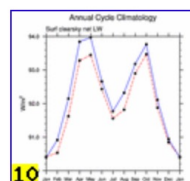
Click on Plot Type



TABLES



METRICS



谢 谢