

RegCM 3.1
用户手册
(中文版)

Nellie Elguindi, Xunqiang Bi, Filippo Giorgi, Badrinath Nagarajan,
Jeremy Pal, Fabien Solmon, Sara Rauscher, and Ashraf Zakey

Trieste, 意大利
2007 年 7 月

翻译: 王跃
翻译时间: 2007 年 10 月 18 日

摘要:

由于 Abdus Salam 国际理论物理中心 (ICTP) 的主要目标之一是促进发展中国家的高等学术研究进展, 这个区域气候模式 (REGional Climate Model(RegCM)) 用户教程笔记着眼于为模式使用者提供一个学习整个 RegCM 模式系统的导航。

作为 ICTP 天气与气候物理学 (PWC) 组织的一系列工作组的扩展手册, 这个 RegCM 用户教程为此而提供。

RegCM 最初由国家大气研究中心 (NCAR) 发展而来, 并已经被广泛用于区域气候研究及全球季节预测研究。欢迎各位同行使用 RegCM 进行不同兴趣和领域的区域气候模拟, RegCM 可以在万维网上下载: <http://www.ictp.trieste.it/~pubregcm/RegCM3>

目录

1	介绍.....	5
1.1	历史.....	5
1.2	RegCM 模型水平和垂向网格.....	6
1.3	地图投影方式和地图尺度因子.....	6
2	模式描述.....	9
2.1	动力学.....	9
2.2	物理过程.....	11
2.2.1	辐射方案.....	11
2.2.2	陆面模型.....	11
2.2.3	行星边界层方案.....	11
2.2.4	对流降雨方案.....	12
2.2.5	大尺度降雨方案.....	14
2.2.6	海洋通量参数.....	15
2.2.7	压力梯度方案.....	15
2.2.8	湖泊模型.....	15
2.2.9	气溶胶和尘埃模型（化学模型）.....	16
3	预处理过程.....	17
3.1	Terrain.....	17
3.2	ICBC.....	20
3.2.1	表层海温.....	20
3.2.2	初始和侧边界条件数据.....	20
3.2.3	侧边界条件.....	20
3.2.4	运行 ICBC.....	21
4	RegCM.....	24
4.1	选择合适的时间步长.....	25
4.2	开始模拟.....	26
4.3	restart 模拟.....	26
5	后处理.....	27
5.0.1	从 sigma 坐标转换到压力坐标.....	27
5.1	观测数据内插.....	27
6	实际运行.....	31
6.1	获取模式代码和数据.....	31
6.2	预处理.....	31
6.2.1	设置区域.....	31
6.2.2	ICBC.....	33
6.3	运行模式.....	33
6.3.1	restart 模拟.....	34

6.4	后处理.....	35
6.4.1	把观测数据内插到你的 RegCM 网格.....	35

插图目录

插图 1:	模式垂向结构示意图。这个例子是垂向 16 层。虚线代表半 sigma 层，实线代表全 sigma 层。（引自 PSU/NCAR 中尺度模拟系统教程和用户手册）	7
插图 2:	dot 和 cross 网格点交错的 Arakawa B 型水平交错网格示意图.....	8

表格目录

表格 1:	陆地类型/植被.....	17
表格 2:	BATS 陆地/植被类型.....	19
表格 3:	domain.param 文件中变量列表.....	23
表格 4:	Terrain (DOMAIN) 输出文件中变量列表.....	23
表格 5:	ICBCYYYYMMDDHH 文件中变量列表.....	23
表格 6:	regcm.in 文件中定义的 restart，时间步长和输出参数.....	24
表格 7:	regcm.in 文件中物理过程选项列表.....	25
表格 8:	大气输出结果中变量列表.....	28
表格 9:	陆面模型输出结果列表.....	28
表格 10:	辐射模型输出变量列表.....	29
表格 11:	化学模型输出变量列表.....	29
表格 12:	不同分辨率情况下时间步长选择.....	30
表格 13:	domain.param 文件中需要修改的变量列表.....	32
表格 14:	regcm.in 中需修改的变量列表.....	33

1 介绍

1.1 历史

有限区域模型(LAMs)可以用于区域研究的思想最初由 Dickinson 等(1989)和 Giorgi (1990)提出。这个思想基于单步嵌套的概念,即来自通用环流模型(GCM)的大尺度天气场可以为高分辨率区域气候模型(RCM)提供初始条件和依赖时间的天气侧边界条件(LBCs),而 RCM 却不向驱动的 GCM 提供反馈。

第一代 NCAR RegCM 于 1980s 晚期(Dickinson 等, 1989; Giorgi, 1989)在 NCAR—宾西法尼亚州立大学(PSU)中尺度模型版本 4(MM4)的基础上建立起来。模式的动力学分量源自 MM4,是一个可压缩,有限差分模型,并带有流体静力平衡和垂向 σ 坐标。之后,模型中加入了显式裂步时间积分方案,以及一个减少在较大地形梯度时产生的水平辐散的算法(Giorgi 等, 1993a,b)。结果就是 RegCM 的动力内核与中尺度模型的版本 5(MM5)(Grell 等, 1994)中的流体静力版本类似。

当 MM4 应用于气候研究时,很多物理参数化方案被取代,大部分是辐射传输和陆面物理过程,这就导致了第一代 RegCM(Dickinson 等, 1989; Giorgi, 1990)的产生。第一代 RegCM 包括:对于陆表过程,生物圈—大气传输方案: BATS(Dickinson 等, 1986); 共同气候模型版本 1(CCM1)的辐射传输方案;中等分辨率的局部行星边界层方案; Kuo 型积云对流方案(Anthes, 1977)和显式水汽方案(Hsie 等, 1984)。

模式物理过程和数值方案的第一个主要升级在(Giorgi 等, 1993a, b)中进行了说明,并由此产生第二代 RegCM,后面指区域气候模式版本 2(RegCM2)。RegCM2 的物理过程基于 NCAR CCM2(Hack 等, 1993),以及中尺度模型 MM5(Grell 等, 1994)。特别地, CCM2 的辐射传输包(Briegleb, 1992)被用作计算辐射量,非局部边界层方案(Holtslag 等, 1990)取代了旧的局部边界层方案,质量通量积云方案(Grell, 1993)也作为可选方案加了进去, BATS1e(Dickinson 等, 1993)的最新版本也包括在模式当中。

最近一些年, RegCM 中使用一些新的物理过程方案变为可能,这些方案大部分基于 CCM 的最新版本——CCM3(Kiehl 等, 1996)中的物理过程。首先, CCM2 的辐射传输包已经被 CCM3 取代。在 CCM2 中, H_2O , O_3 , O_2 , CO_2 和云的影响由模型进行叠加,太阳辐射传输用 δ -Eddington (爱丁顿)方法进行处理,云辐射依赖于三个云参数:云覆盖百分比,云液态水含量,云有效液滴半径。CCM3 方案保留了 CCM2 的同样结构,并包含了新的特征,比如另外的温室气体 (NO_2 , CH_4 , CFCs) 的影响,大气气溶胶,云中冰晶的影响等。

其他主要的改变在于云和降雨过程。由于在气候模型中计算量太大, Hsie 等 (1984) 的原始显式水汽方案已经被简化版本替代。在该简化版本中,只包含了一个云水预测方程,用于计算云水生成、平流传输、湍流混合、在不饱和条件下的再蒸发,并通过一个体积自转换项转换为降雨。这个方案的主要创新不在于简化的微物理过程,而在于预测的云水变量可以直接用于云辐射计算。在模式的前面版本中,用于辐射计算的云水变量以局部相对湿度的形式进行预测。这个新的特征为水循环模拟和能量通量计算添加了一个非常重要而影响深远的元素。

模式物理过程的改变还包括一个大尺度云和降雨方案,该方案考虑了云的次网格尺度变化(Pa1 等, 2000); 还包括海洋表层通量的新参数化方案(Zeng 等, 1998),一个积云对流方案 (Emanuel, 1991; Emanuel 和 Zivkovic-Rothman, 1999)。模式中新的东西还包

括一个马赛克型参数化方案(Giorgi 等, 2003b), 以对次网格尺度上地表高程和土壤类型不均匀进行处理。RegCM3 的其他改进包括输入数据。USGS 全球陆地覆盖特征化数据 (GLCC) 和全球 30 弧度分高程数据(GTOP30)用于产生地表(terrain)文件。另外, NCEP 和 ECMWF 全球再分析数据被用作初始和边界条件。最近, 模型的用户友好性进行了改进, 包含了一些新的脚本, 使得程序运行更简单; 并且一个新的网站也建立起来, 以方便用户自由下载整个 RegCM 系统, 例如一次模拟所必须的所有输入数据。

RegCM 模拟系统包括四个部分: 地表(Terrain), 初始/侧边界 ICBC, RegCM, 和后处理(Postprocessor)。Terrain 和 ICBC 是 RegCM 预处理阶段的两部分。Terrain 变量(包括高程, 地表类型(landuse), 表层海水温度(sst))以及三维等压气象数据, 都从经纬度网格上水平内插到高分辨率区域中, 该区域可以是旋转(或正交)麦卡脱(Mercator)投影、兰勃特(Lambert)映射投影, 或者极射投影。同时也进行从压力层坐标到 RegCM 中采用的 σ 坐标系统的垂向内插。在贴近地表处, σ 面随地形而变化, 在高层, σ 面倾向于接近等压面。

由于垂向和水平分辨率以及区域大小都可以改变, 模拟程序软件包随参数量纲变化所要求的内存总量在变化, 要求的硬盘空间也相应变化。

1.2 RegCM 模型水平 和垂向网格

首先介绍模型的网格配置很有用。模拟系统通常在压力面上获取、分析数据, 但在输入模式之前, 这些数据必须内插到模式的垂向坐标上。垂向坐标随地形而变(图1), 意味着底层网格随地形而变, 而高层比较平, 中间的层随着压力向模型顶部递减而逐渐变得平缓。一个无量纲的 σ 坐标用于定义模型层, p 是压力, p_t 是顶层压力常量, p_s 是地表压力。

$$\sigma = \frac{(p - p_t)}{(p_s - p_t)} \quad (1)$$

可以从方程(1)和图1看出, σ 在顶部为0, 在地表为1, 并且每个模式的层由 σ 值进行定义。模式垂向分辨率有一系列在0和1之间的值定义, 这些值不必是均匀分布。通常边界层的分辨率比上面层的要高, 并且其层数可以随用户要求而变化。

水平网格为 Arakawa-Lamb B 型交错网格, 网格中除了标量, 还有速度变量。据图2所示, 标量(T , q , p 等)定义在网格中心, 而速度分量的东向分量(u)和北向分量(v)则位于角点上。网格区域中心点定义为叉(cross)点, 而角点则定义为 dot 点。因此水平速度定义在 dot 点上, 数据输入模型时, 预处理程序为确保网格一致性会做必要的内插。

上面所有的变量都定义在模型中每个垂直层的中间, 或者说半层上, 在图1中用虚线表示。垂向速度定义在全层上(实线)。我们所定义的 sigma 层指的是这里列出的全层, 包括 σ 值=0 和 1 的层。因此模型的层数总是比全 sigma 层的个数少一层。

当然, 无论梯度或均值在方程中的表示形式如何, 模型的有限差分总是严重依赖于网格交错形式。

1.3 地图投影方式和 地图尺度因子

模拟系统的可以有四种地图投影方式选择。Lambert 映射投影适合中纬度, 极射投影适合高纬度, 正交麦卡脱投影适合低纬度, 旋转麦卡脱投影则用于其他选择。除了正交麦卡脱投影之外, 模式中的 x 和 y 方向与东西向、南北向并不对应, 因此观测的风场通常需要旋转到模式网格上, 而模式的 u , v 分量在和观测值进行比较之前也需要进行旋转。这些转换在模式的预处理阶段(提供模式网格数据)和后处理阶段中进行。地图尺度因子, m , 定义为如下形

式:

$$m = \frac{(\text{distance on grid})}{(\text{actual distance on earth})}$$

m 的值通常接近于 1，并随纬度变化。模式投影方式保存了小块区域的形状，所以无论何处都有 $dx = dy$ ，但区域中格点长度会不断变化以把一个球面区域表示在平面上。不管水平梯度是否采用，都要考虑地图尺度因子。

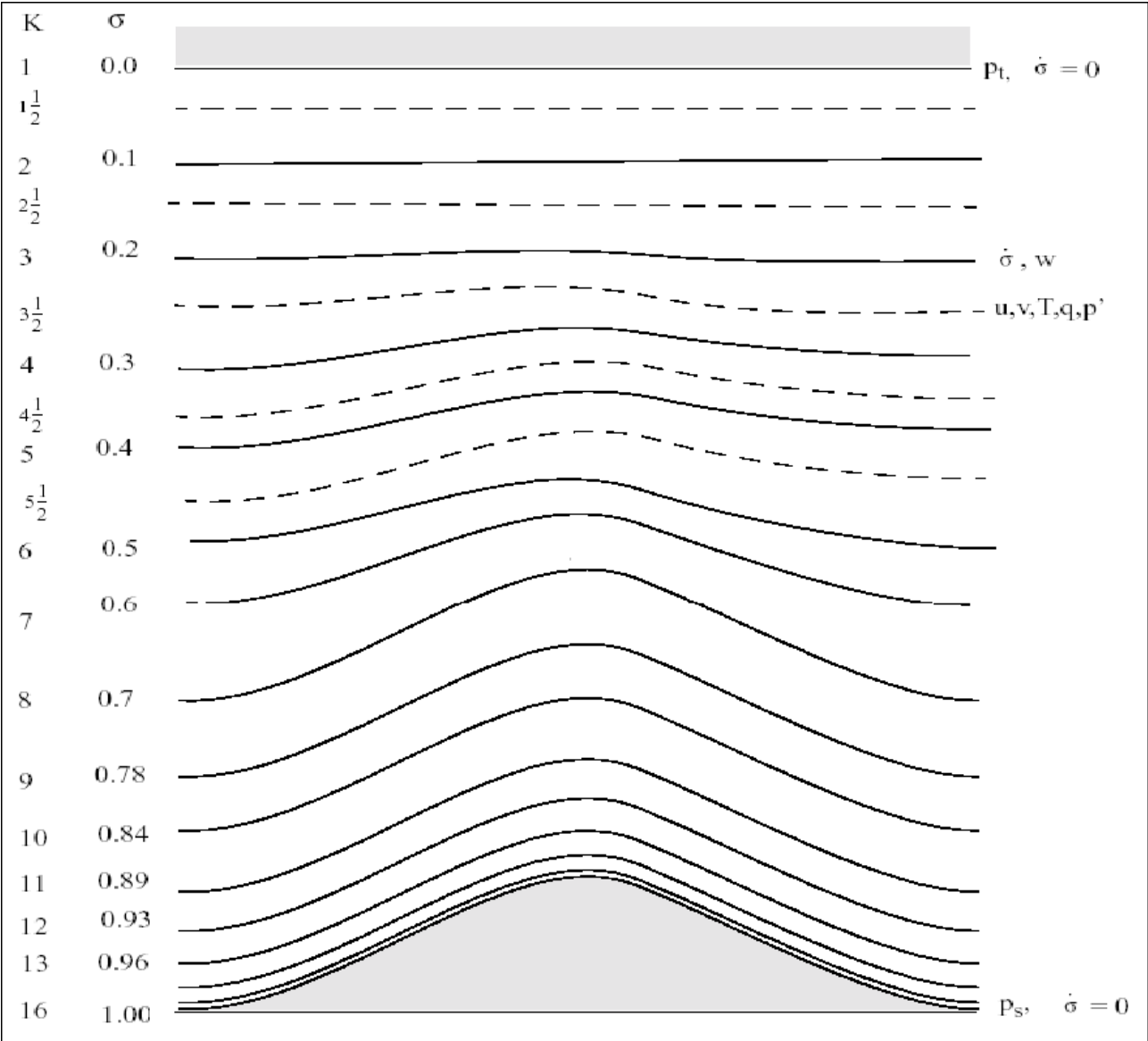


插图 1: 模式垂向结构示意图。这个例子是垂向 16 层。虚线代表半 sigma 层，实线代表全 sigma 层。（引自 PSU/NCAR 中尺度模拟系统教程和用户手册）

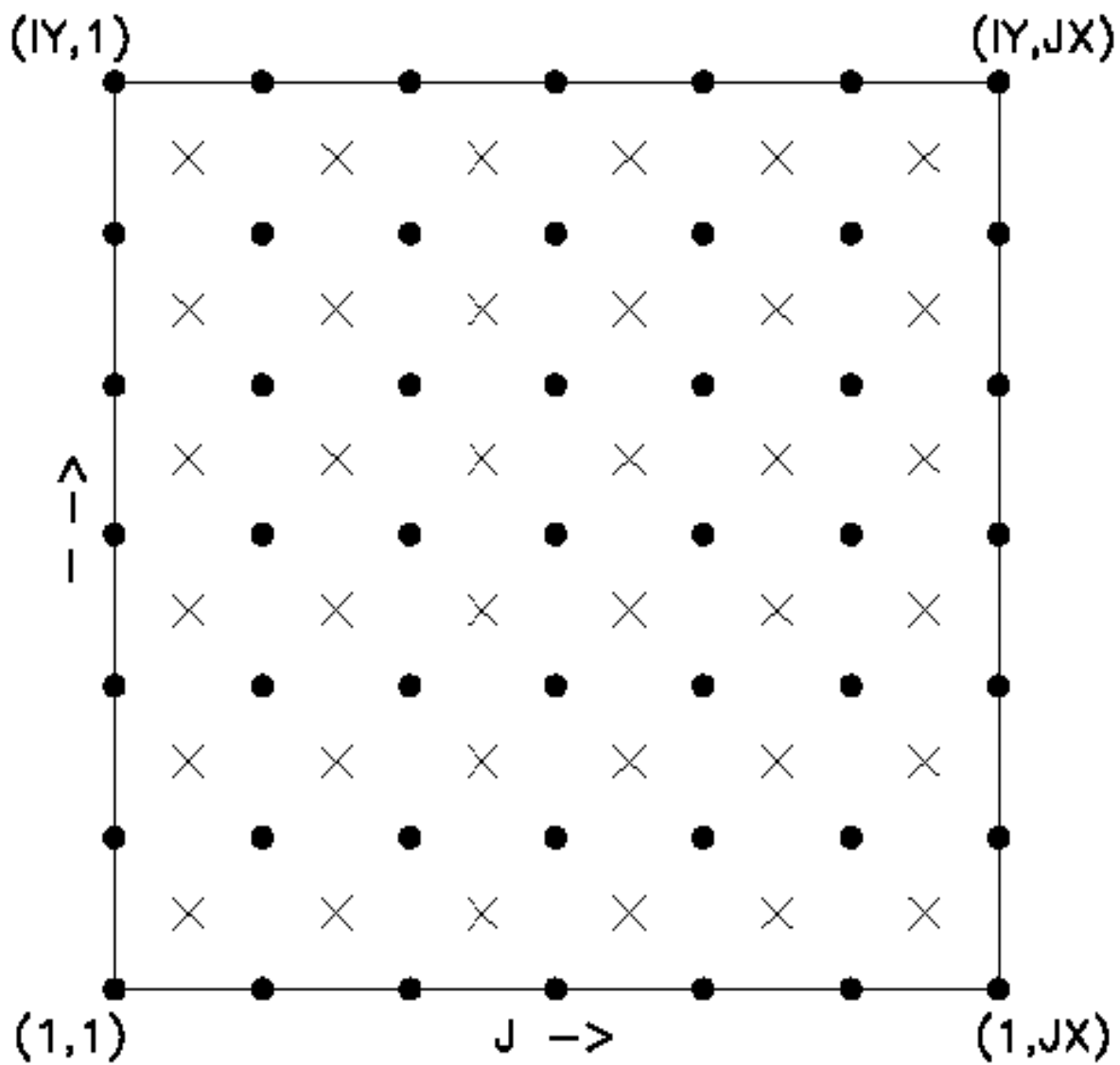


插图 2: dot 和 cross 网格点交错的 Arakawa B 型水平交错网格示意图

2 模式描述

2.1 动力学

模型动力学方程和数值离散由 Grell 等（1994）进行过描述。

水平动量方程

$$\begin{aligned} \frac{\partial p^* u}{\partial t} = & -m^2 \left(\frac{\partial p^* u u / m}{\partial x} + \frac{\partial p^* v u / m}{\partial y} \right) - \frac{\partial p^* u \dot{\sigma}}{\partial \sigma} \\ & - m p^* \left[\frac{R T_v}{(p^* + p_t / \sigma)} \frac{\partial p^*}{\partial x} + \frac{\partial \phi}{\partial x} \right] + f p^* v + F_H u + F_V u, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial p^* v}{\partial t} = & -m^2 \left(\frac{\partial p^* u v / m}{\partial x} + \frac{\partial p^* v v / m}{\partial y} \right) - \frac{\partial p^* v \dot{\sigma}}{\partial \sigma} \\ & - m p^* \left[\frac{R T_v}{(p^* + p_t / \sigma)} \frac{\partial p^*}{\partial y} + \frac{\partial \phi}{\partial y} \right] + f p^* u + F_H v + F_V v, \end{aligned} \quad (3)$$

这里， u 和 v 是速度的东向和北向分量， T_v 是实际温度， ϕ 是位势高度， f 是科里奥利参数， R 是干空气的气体常数， m 是地图尺度因子（不管是极射投影、兰勃脱投影，还是麦卡托投影方式）， $\dot{\sigma} = \frac{d\sigma}{dt}$ ，而 F_H 和 F_V 代表水平和垂直辐散的影响， $p^* = p_s - p_t$ 。

连续性和 sigma 点（ $\dot{\sigma}$ ）方程

$$\frac{\partial p^*}{\partial t} = -m^2 \left(\frac{\partial p^* u / m}{\partial x} + \frac{\partial p^* v / m}{\partial y} \right) - \frac{\partial p^* \dot{\sigma}}{\partial \sigma} \quad (4)$$

方程 4 的垂向积分可以用于计算模式中表层压力的时间变化：

$$\frac{\partial p^*}{\partial t} = -m^2 \int_0^1 \left(\frac{\partial p^* u / m}{\partial x} + \frac{\partial p^* v / m}{\partial y} \right) d\sigma. \quad (5)$$

表层压力的时间变化趋势 $\frac{\partial p^*}{\partial t}$ 可以通过方程（5）求出；而模型中每一层的垂向速度 $\dot{\sigma}$ （sigma 坐标下）也可以通过方程 4 的垂向积分进行计算：

$$\dot{\sigma} = \frac{-1}{p^*} \int_0^\sigma \left[\frac{\partial p^*}{\partial t} + m^2 \left(\frac{\partial p^* u / m}{\partial x} + \frac{\partial p^* v / m}{\partial y} \right) \right] d\sigma' \quad (6)$$

此处 σ' 是积分虚变量，并且 $\dot{\sigma}(\sigma=0)=0$

热动力方程和 Ω (ω) 方程

热动力方程为：

$$\frac{\partial p^* T}{\partial t} = -m^2 \left(\frac{\partial p^* u T/m}{\partial x} + \frac{\partial p^* v T/m}{\partial y} \right) - \frac{\partial p^* T \dot{\sigma}}{\partial \sigma} + \quad (7)$$

$$\frac{R T_v \omega}{c_{pm}(\sigma + p_t/p_{ast})} + \frac{p^* Q}{c_{pm}} + F_H T + F_v T \quad (8)$$

c_{pm} 是常压力下潮湿空气的特定比热容， Q 是非绝热加热量， $F_H T$ 代表水平辐散的影响， $F_v T$ 代表了垂直混合与干对流调整的影响， ω 则由下式决定：

$$\omega = p^* \dot{\sigma} + \sigma \frac{dp^*}{dt}, \quad (9)$$

$$\frac{dp^*}{dt} = \frac{\partial p^*}{\partial t} + m \left(u \frac{\partial p^*}{\partial x} + v \frac{\partial p^*}{\partial y} \right) \quad (10)$$

表达式 $c_{pm} = c_p(1 + 0.8 q_v)$ ，其中 c_p 为干空气在常压下的特定比热容， q_v 是水蒸汽混合比。

流体静力学方程

流体静力学方程用于从实际温度 T_v 来计算位势高度：

$$\frac{\partial \phi}{\partial \ln(\sigma + p_t/p^*)} = -R T_v \left[1 + \frac{q_c + q_r}{1 + q_v} \right]^{-1} \quad (11)$$

这里 $T_v = T(1 + 0.608 q_v)$ ，而 q_v, q_c, q_r 是水蒸气、云水/冰、降雨/雪的混合比。

2.2 物理过程

2.2.1 辐射方案

RegCM3 使用 NCAR CCM3 的辐射方案, Kiehl 等(1996)的文章进行了很好的描述。简要的说, 按照 Kiehl 等(1996)的文章中的 δ -爱丁顿近似方法, 太阳分量考虑了 O_3 , H_2O , CO_2 和 O_2 的影响。这个方案包含从 0.2 到 $5\mu m$ 的 18 个谱段。云的散射和吸收参数按照 Slingo (1989), 云中液滴的特征属性(消光特征深度, 单体散射反射率, 对称参数)都用云中液态水含量和有效液滴半径表示。当积云形成时, 网格点上的云量百分比需要如此设置, 从而使模型计算的云层底部到云层顶部(假定随机上覆层)之间的柱体中总云量为水平网格采样的函数。云层厚度假定为和模型层相等, 并且中层云和低云的云水含量进行了不同设置。

2.2.2 陆面模型

地表物理过程使用 Dickinson 等(1993)描述的生物-大气传输方案 1e 版本(BATS1e)。BATS 主要用于描述植被和相对土壤湿度对大气-地表间动量、能量、水蒸汽交换的影响。模型包括一个植被层, 一个雪层, 一个 10cm 厚的地表土壤层, 或者 1-2m 厚的根区层, 一个 3m 厚的深土壤层。土壤层温度的预测方程采用 Deardoff(1978)应力恢复方法的推广形式求解。顶层温度通过包括感热、辐射、潜热通量在内的能量平衡方程式动态求解。

土壤水分的计算包括土壤层水含量的预测方程, 这些方程考虑了降雨, 融雪, 顶层水滴, 蒸发蒸腾作用, 表层逸散, 根区以下渗透, 土壤层之间的水分扩散交换。土壤水分计算公式从 Dic(1984)高分辨率土壤模型的结果中匹配得到, 表层逸散速率用降雨速率和土壤水饱和度来表示。积雪深度通过计算降雪、融雪、升华进行预测。当模型最底层温度低于 271K 时, 降雨以雪的形式计入降雪量中。

表层的感热、水蒸汽和动量通量通过一个基于表层相似理论的基准表面拖曳系数公式进行计算。拖曳系数取觉于表面粗糙长度和表层大气稳定性。表层蒸发蒸腾速率取决于土壤水分的含量。BATS 有 20 种植被类型(表 2); 土壤类型也从粗糙(沙地)到中等(沙质粘土), 再到细粒(泥质粘土); 颜色也从浅到深变化, 土壤反射率就是据此进行计算。上述在 Dickinson 等(1986)中进行了详细描述。

在最近版本中, BATS 做了另外的修改, 即: 通过马赛克方法来计算地形和陆地类型的次网格尺度变化(Giorgi 等, 2003a), 对每个粗网格采用了规则小尺度表层次网格。天气变化按照高程差从粗网格分解到细网格中。BATS 的计算在每个次网格中独立进行计算, 对输入大气模型的网格而言, 表层通量最后汇集到粗网格中。这个参数化方案对山区的表层水循环描述是个明显的改进(Giorgi 等, 2003a)。

2.2.3 行星边界层方案

行星边界层方案(Holtslag 等, 1990)基于非局部扩散概念, 考虑了不稳定-混合完全大气中大尺度漩涡产生的反梯度通量。PBL 中垂向涡通量由下式给出:

$$F_c = -K_c \left(\frac{\partial C}{\partial z} - \gamma_c \right) \quad (12)$$

此处 γ_c 是反梯度传输项, 描述由干深对流产生的非局部传输。涡扩散由非局部公式给出:

$$K_c = k w_t z \left(1 - \frac{z^2}{h} \right) \quad (13)$$

k 是冯卡门常量, w_t 是湍流对流速度, 取决于摩擦速度、高度、和 Monin-Obhukov 长度;
 h 是 PBL 高度。温度和水蒸汽的反梯度项由下式给出:

$$\gamma_c = C \frac{\phi_c^0}{w_t h} \quad (14)$$

C 为常数, 等于 8.5, ϕ_c^0 是表层温度或水蒸汽通量。方程 14 可以用于 PBL 顶层和表面层顶部 (假定为 $0.1h$) 之间区域。该区域之外或者对动量而言, γ_c 假定为 0。

对于涡扩散和反梯度项的计算, PBL 高度由下式动态计算:

$$h = \frac{Ri_c r [u(h)^2 + v(h)^2]}{(g/\theta_s) [\theta_v(h) - \theta_s]} \quad (15)$$

$u(h)$, $v(h)$ 和 θ_v 是 PBL 高度上的风矢量和实际位温, g 是重力加速度, Ri_c 是临界体积 Richardson 数, θ_s 近地表的近似温度。更详细的描述可以在 Holtslag 等(1990), Holtslag 和 Boille(1993)中找到。

2.2.4 对流降雨方案

对流降雨可以使用如下三个方案中一个来计算: (1) 修正的 Kuo 方案(Anthes, 1977); (2) Grell 方案(Grell, 1993); (3) MIT-Emanuel 方案(Emanuel, 1991; Emanuel 和 Zivkovic-Rothman, 1999)。此外, Grell 参数化方案的实现包含两个封闭假设: (1) Arakawa 和 Schubert 封闭(Grell 等, 1994); (2) Fritsch-Chappell 封闭(Fritsch 和 Chappell, 1980), 这里分别称作 AS74 和 FC80。

1. Kuo 方案: 在 Kuo 方案中, 当柱体中水汽辐合 M 超过给定的阈值, 并且垂向空气对流不稳定时, 对流活动进行初始化。部分水汽辐合 β 使柱体变潮湿, 其余部分按如下关系转换为降雨 P^{cu} :

$$P_{cu} = M(1 - \beta) \quad (16)$$

β 是空气平均相对湿度 $\overline{RH}$ 的函数:

$$\beta = \begin{cases} 2(1 - \overline{RH}) & \overline{RH} \geq 0.5 \\ 1.0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (17)$$

注意到水汽辐合项只包含了水蒸汽的平流传输。然而, 前一个时间步长的蒸发蒸腾作用 (倾向

于使底层大气潮湿)间接地包含在 M 中。因此,假定柱体不稳定,当蒸发蒸腾加强时,越来越多的水蒸汽转化为降雨。冷凝作用产生的潜热在云层顶部和底部之间进行分配,使云层上部获得最大程度加热。为了限制数值点风暴,加入了一个水平扩散项和时间松弛常数,使得水汽和潜热可以非瞬时释放 (Giorgi 和 bates, 1989; Giorgi 和 Marinucci, 1991)。

2. Grell 方案: Grell 方案(Grell, 1993), 类似于 AS74 参数化方案, 把云作为两个稳定状态的环流: 一个向上, 一个向下。除了环流顶部和底部之外, 含云的空气和环境空气之间不发生直接混合。某一个高度上的质量通量为常数, 在云边界处不发生卷吸或释放。向上和向下的初始层由湿度静力能的极大和极小层来给定。当一个上升部分获得湿度对流时, Grell 方案就开始作用。上升过程中的冷凝通过饱和比进行计算。向下的质量通量(m_0)按如下关系取决于上升的矢量通量(m_b):

$$m_0 = \frac{\beta I_1}{I_2} m_b \quad (18)$$

I_1 是归一化的上升冷凝, I_2 是归一化的下降蒸发, β 是上升冷凝过程中又重新向下蒸发的百分比。 β 取决于切向风矢量, 通常在 0.3 和 0.5 之间变化。降雨由下式给定:

$$P^{cu} = I_1 m_b (1 - \beta) \quad (19)$$

Grell 方案中热量和湿度由质量通量和云顶部、底部逸散决定。除此之外, 湿度下沉的冷却效应也包含进来。

由于 Grell 方案的简化特征, 采用了一些封闭假设。RegCM3 的早期版本直接采用了 AS74 的准平衡假定。该假设认为: 对流云使环境稳定, 非对流过程使环境不稳定, 两者的速度一样快:

$$m_b = \frac{ABE'' - ABE}{NA \Delta t} \quad (20)$$

ABE 是对流过程中的浮力能量, 包括在时间间隔 Δt 中由非对流过程产生的浮力能量, 对流过程中的总浮力能量为 ABE'' , NA 是 ABE 每个单位 m_b 内的变化速率。 $ABE'' - ABE$ 可以认为是 Δt 时间内的不稳定性。当前场加上由热量、水汽平流和干绝热调整产生的未来趋势就是 ABE'' 。

RegCM3 的最新版本中, 我们采用了基于稳定性的封闭假设——FC80 型封闭假设, 这个假设在 GCMs 和 RCM 中应用很普遍。该假设假定: 对流在给定时间尺度中按如下公式移除 ABE:

$$m_b = \frac{ABE}{NA \tau} \quad (21)$$

τ 是 ABE 移除时间尺度。

两个假设方案之间的基本差异在于: AS74 封闭假设中对流通量和降雨与大气状态的变

化趋势有关，而 FC80 方案中对流通量和大气不稳定程度有关。两个方案在大尺度过程和对流之间都达到了静态平衡。

3. MIT-Emanuel 方案: RegCM3 中最新的积云对流选项是 MIT 方案。详细描述可以在 Emanuel (1991), Emanuel 和 Zivkovic-Rothman(1999)中找到。该方案假定云的混合是高度偶然和非均匀的（相对于连续混合体积），并在一个次云尺度上升下沉理想模型的基础上考虑对流通量。当云层中部浮力大于云底层时，发生对流。在这两个层之间，空气上升，部分潮湿水汽形成降雨，而剩下的则形成云。这里假定云和周围空气以混合物均一谱进行混合，该谱逐渐上升或下降到云层中部浮力的相对层上。混合卷入和逸散速率是云浮力垂向梯度的函数。每层总的云基本质量通量中与周围环境混合部分平行于随高度改变的未稀释浮力速率。向上的云基本质量通量向次云层准平衡态松弛。

除了对对流过程的更多物理表达之外，MIT-Emanuel 方案相对于 RegCM3 其他对流选项还有一些优点。例如包含了一个积云中云水自动转换为降雨的公式，通过使自动转换临界水含量依赖于温度把冰过程考虑进来。此外，降雨也被添加到一个单独的流体静力学非绝热下沉过程（传输水和热量）中。最后，MIT-Emanuel 方案考虑了惯性示踪元素的传输。

2.2.5 大尺度降雨方案

次网格显式水汽方案(SUBEX)用于处理模型可分辨的非对流云和降雨。这是模式中的一个新分量。SUBEX 按照 Sundqvist(1989)的工作把网格平均相对湿度和云含量和云水含量联系起来，从而考虑了云的次网格变化。

云覆盖的网格百分比 (FC) 由下式决定:

$$FC = \sqrt{\frac{RH - RH_{min}}{RH_{max} - RH_{min}}} \quad (22)$$

RH_{min} 是相对湿度阈值，在该点上云开始形成； RH_{max} 是 FC 达到单位值时的相对湿度。当 RH 小于 RH_{min} 时，FC 假定为 0，而 RH 大于 RH_{max} 时，FC 假定为单位值，即为 1。

当云水含量超过自动转换阈值 Q_c^{th} 时，降雨 P 按如下关系形成:

$$P = C_{ppt} (Q_c / FC - Q_c^{th}) FC \quad (23)$$

此处 $1/C_{ppt}$ 可以认为是云滴转化为雨滴的特征时间。把云中液态水含量方程进行尺度化，得到如下形式的临界值:

$$Q_c^{th} = C_{acs} 10^{-0.49 + 0.013T} \quad (24)$$

T 是摄氏温度， C_{acs} 是自动转化的尺度因子。降雨假定为瞬时的。

SUBEX 也包括雨滴增大和蒸发的简单公式。云滴以雨滴降落形式的增大过程基于 Beheng (1994) 的公式:

$$P_{acc} = C_{acc} Q_{sum}^P \quad (25)$$

P_{acc} 是增大的云水总量, C_{acc} 是增大速率系数, P_{sum} 是通过云的累计降雨。
降雨蒸发基于 Sundqvist 等 (1989), 形式如下:

$$P_{evap} = C_{evap} (1 - RH) P_{sum}^{1/2} \quad (26)$$

P_{evap} 是蒸发降雨总量, C_{evap} 是速率系数, SUBEX 的更多细节和参数值列表可以在 Pa1 等 (2000) 中找到。

2.2.6 海洋通量参数

1. BATS: BATS 使用标准 Monin-Obukhov 近似关系计算通量, 对于对流和非常稳定的条件没有特殊处理。此外, 粗糙程度设为常数, 而不是风和稳定性的函数。

2. Zeng: Zeng 方案描述了所有稳定条件, 并包括了一个阵风速度来计算边界层尺度变化产生的额外通量。海平面和底层大气之间的感热 (SH)、潜热 (LH) 和动量通量 (τ) 使用下面空气动力学体积算法计算:

$$\tau = \rho_a u_*^2 (u_x^2 + u_y^2)^{1/2} / u \quad (27)$$

$$SH = -\rho_a C_{pa} u_* \theta_* \quad (28)$$

$$LH = -\rho_a L_e u_* q_* \quad (29)$$

u_x 和 u_y 是平均风矢量, u_* 是摩擦风速度, θ_* 是温度尺度参数, q_* 是特定湿度尺度参数, ρ_a 是空气密度, C_{pa} 是空气特定比热, L_e 是蒸发潜热。这些参数计算的细节可以参考 Zeng 等 (1998)。

2.2.7 压力梯度方案

计算压力梯度力时有两个可选选项。正常方式用到全部场, 另一个方式是流体静力递推方案, 用到了扰动温度。在这个方案中, 为减小与 PGF 计算相关的误差, 在顶部进行了外推平滑。

2.2.8 湖泊模型

湖泊模型 (Hostetler 等, 1993) 可以和大气模型进行交互耦合。在该模型中, 热通量、水汽通量和动量通量都基于天气学输入、湖泊表层温度和反射率进行计算。热量在湖泊模型层之间通过漩涡和对流混合进行传输。冰雪可以覆盖部分或全部湖泊表面。

在湖泊模型中, 温度预测方程为:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = (k_e + k_m) \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (30)$$

T 是湖泊层温度, k_e 和 k_m 分别是涡扩散和分子扩散。Henderson-Sellers (1996) 的

参数化方案用于计算 k_e ，而除了冰下和湖泊最深点处， k_m 均设为常数值：
 $39 \times 10^{-7} m^2 s^{-1}$ 。

来自湖泊的感热和潜热通量使用 BATS 参数化方案 (Dickinson 等, 1993) 进行计算。潜热通量 (F_q) 和感热通量 (F_s) 的空气动力学体积公式如下所示：

$$F_q = \rho_a C_D V_a (q_s - q_a) \quad (31)$$

$$F_s = \rho_a C_p C_D V_a (T_s - T_a) \quad (32)$$

这里下标 s 和 a 指表层和大气； ρ_a 是空气密度， V_a 是风速， C_p, q 是绝对湿度，T 是温度。动量拖曳系数 C_D 取决于粗糙长度和表层体积 Richardson 数。

在无冰自由条件下，湖泊表面反射率作为太阳天顶角的函数进行计算 (Henderson-Sellers, 1986)。湖泊吸收的长波辐射按照 Stefan-Boltzmann 定律进行计算。湖泊模型使用 Patterson 和 Hamblin (1988) 的部分冰覆盖方案来表示开放水面、冰面和大气之间不同的热量水分交换方式，并计算湖冰和上覆雪层的表面能量。更详细的说明可参考 Hostetler 等 (1993), Small 和 Sloan (1999)。

2.2.9 气溶胶和尘埃模型 (化学模型)

灰尘吸收过程是尘埃模型中的关键点，该过程取决于风力条件，土壤特征、和颗粒大小。按照 Marticorena 和 Bergametti (1995), Alfaro 和 Gomes (2001)，这里灰尘吸收过程的计算基于土壤颗粒跳跃和扬沙过程的参数化。主要计算步骤为：指定每个网格点上土壤颗粒大小分布，计算导致土壤剥蚀和跳跃的临界摩擦速度，计算水平跳跃土壤颗粒通量，最后是计算由跳跃颗粒产生的垂向灰尘颗粒质量通量。对于 BATS 界面，这些参数化方案对有沙漠和半沙漠沙地覆盖的网格点相当有效。

3 预处理过程

在进行区域气候模拟之前，需要完成两步预处理过程。第一步是定义模拟区域和网格间距，并把陆地类型和高程数据内插到模型网格点上。这个过程在 RegCM/PreProc/Terrain 子目录下进行。第二步为产生模拟过程中用到的初始条件和边界条件文件。这步在 RegCM/PreProc/ICBC 子目录下进行。运行模式必需的输入数据可以从 PWC 网站上下载，URL 为：<http://www.ictp.trieste.it/~pubregcm/RegCM3>

Terrain 和 ICBC 程序用到的输入数据存储在 RegCM/PreProc/DATA 子目录下。当数据存在其他地方时，这个目录下有个脚本 datalinker.x，可以修改之，运行就可以建立 RegCM/PreProc/DATA 目录和其他目录的软链接。

RegCM3 现在的版本支持 UNIX(或 LINUX)系统下多个平台上的运行，例如 IBM, SGI, SUN, DEC, PC-LINUX(PGI FORTRAN 编译器(非免费)或者 IFC FORTRAN 编译器(免费))。你必须在 PreProc/Terrain, PreProc/ICBC, Main/ 目录下选择合适的 Makefile 文件。

3.1 Terrain

模拟区域的选择在 Terrain 中进行定义。选择区域分辨率，投影方式，分辨率时必需考虑慎重。分辨率取决于你选择的科学问题和可用的计算资源。RegCM 是一个流体静力学模型，因此，水平网格采样率不能低于 10km。通常 Lambert 投影用于中高纬度地区，而标准 Mercator 和旋转 Mercator 投影用在热带副热带地区。当选择模型的中心点（纬度，经度）和地图投影方式时，最好使区域地图因子尽可能地接近于 1，这对模型的计算稳定性有很大帮助。地图因子可以在 GrADS 中用 DOMAIN_INFO.CTL 和 DOMAIN_INFO 文件进行检查。

1	Crop/mixed farming	11	Semi-desert
2	Short grass	12	Ice cap/glacier
3	Evergreen needleleaf tree	13	Bog or marsh
4	Deciduous needleleaf tree	14	Inland water
5	Deciduous broadleaf tree	15	Ocean
6	Evergreen broadleaf tree	16	Evergreen shrub
7	Tall grass	17	Deciduous shrub
8	Desert	18	Mixed Woodland
9	Tundra	19	Forest/Field mosaic
10	Irrigated Crop	20	Water and Land mixture

表格 1: 陆地类型/植被

对区域本身的选择，取决于感兴趣的区域和具体应用。区域模型的解是侧边界驱动和内部模式物理过程的组合。区域越小，侧边界条件施加的影响也越大。这对于季节预测或其他应用可能很合适（虽然大区域也可以用于此目的）。对敏感性实验，如改变陆地类型或土壤含水量，大的区域可能更适合，这是因为它允许内部模式以更大的自由对应用的改变进行响应

(Seth 和 Giorgi, 1998)。关于计算花费和管理输出数据也很重要。水平网格点数目每增加一倍, 计算所花费的时间(假定同样的水平采样间隔)将乘以 4, 输出数据量也会以略低于 4 的倍数递增(并非 RegCM3 的所有输出都是三维的)。同样, 进行长期模拟所需要的的数据存储空间也是很昂贵的。

如下文章更详细, 也更深刻地讨论了区域选择的问题: Seth and Girogi, 1998; Vannitsem and Chom, 2005; Rauscher et al., 2006.

Terrain 程序把陆地类型和高程数据从经纬度网格水平内插到选择区域的笛卡尔坐标系中。RegCM 现在使用全球陆地覆盖特征 (GLCC) 数据库作为植被、陆地类型数据。GLCC 数据从 1km 高级高分辨率辐射数据 (AVHRR) (从 1992 年 4 月到 1993 年 3 月) 中导出, 并且该数据基于 BATS 方案定义的植被/陆地覆盖类型。20 种植被/陆地覆盖类型和相关参数在表 2 中列出。模式的每个格点都分配到十八个类型中的一种。关于 GLCC 可以参考:

<http://edcdaac.usgs.gov/glcc/glcc.html>

高程数据来自美国地质勘探局 (USGS)。陆地类型和高程数据文件都有 60 分、30 分、10 分、5 分、3 分和 2 分的分辨率:

<http://www.ictp.trieste.it/~pubregcm/RegCM3/globedat.htm>

区域大小、输入数据、模拟长度等参数值都在 RegCM/PreProc/Terrain/目录下的 domain.param 文件中定义 (表 3)。修改该文件之后, 运行 terrain.x 脚本进行编译和执行 terrain 程序。运行结束后会产生输出文件 DOMAIN.INFO, 该文件包含高程, 陆地类型和其他变量 (表 4), 位于 RegCM/Input 子目录下。同时也生成了一个 GrADS 描述文件 DOMAIN.CTL。

如果你对自己区域中的陆地类型不满意, 可以修改 RegCM/PrePROC/Terrain/目录下的 LANDUSE 文件, 以修改分配到独立网格点上的陆地类型值, 然后需要把 RegCM/PreProc/Terrain/domain.param 文件中的 FUDGE_LND 参数值 (和或者 FUDGE_LNDs, 对于 sub-BATS) 改为真。LANDUSE 文件包含被分配到每个网格点上的陆地类型/植被 (表 1)。陆地类型/植被 10-20 代表从 A-K 的单独特征, A 代表类型 10, B 代表类型 11, 依次类推。如果修改了 LANDUSE 文件和 domain.param 中的参数, 必须重新运行 terrain 程序。

	植被 / 陆地类型																		
参数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
植被覆盖最大百分比	0.85	0.80	0.80	0.80	0.80	0.90	0.80	0.00	0.60	0.80	0.35	0.00	0.80	0.00	0.00	0.80	0.80	0.80	0.80
植被覆盖最大值与269K时覆盖百分比差值	0.6	0.1	0.1	0.3	0.5	0.3	0.0	0.2	0.6	0.1	0.0	0.4	0.0	0.0	0.2	0.3	0.2	0.4	0.4
Roughness length (m)	0.08	0.05	1.00	1.00	0.80	2.00	0.10	0.05	0.04	0.06	0.10	0.01	0.03	0.0000	0.0000	0.10	0.10	0.80	0.3
Displacement height (m)	0.0	0.0	9.0	9.0	0.0	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Min stomatal resistance (s/m)	45	60	80	80	120	60	60	200	80	45	150	200	45	200	200	80	120	100	120
Max Leaf Area Index	6	2	6	6	6	6	6	0	6	6	6	0	6	0	0	6	6	6	6
Min Leaf Area Index	0.5	0.5	5	1	1	5	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0	5	1	3	0.5
Stem (dead matter area index)	0.5	4.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	0.5	0.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
leaf dimension 负平方根 ($m^{-1/2}$)	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
感光因子($m^2 W^{-1}$)	0.02	0.02	0.06	0.06	0.06	0.06	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.06	0.02
顶部土壤层深度 (mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
根区土壤层深度 (mm)	1000	1000	1500	1500	2000	1500	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	2000	2000
土壤总深度(mm)	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
土壤纹理类型	6	6	6	6	7	8	6	3	6	6	5	12	6	6	6	6	5	6	6
土壤颜色类型	5	3	4	4	4	4	4	1	3	3	2	1	5	5	5	4	3	4	4
<0.7μm波长植被反射率	0.10	0.10	0.05	0.05	0.08	0.04	0.08	0.20	0.10	0.08	0.17	0.80	0.06	0.07	0.07	0.05	0.08	0.06	0.06
>0.7μm波长植被反射率	0.30	0.30	0.23	0.23	0.28	0.20	0.30	0.40	0.30	0.28	0.34	0.60	0.18	0.20	0.20	0.23	0.28	0.24	0.18

表格 2: BATS 陆地 / 植被 类型

3.2 ICBC

ICBC 程序把表层海温 (SST) 和全球再分析数据内插到模式网格上。这些文件被用作模拟的初始条件和边界条件。

3.2.1 表层海温

在 RegCM/PreProc/Terrain/domain.param 文件中, SST 数据有几个选项, 包括全球表层海温 (GISST) 从 1871–2002 年 1 度月平均格点数据, 可以从哈得莱中心官方网站下载: <http://badc.nerc.ac.uk/data/gisst/>。请注意: 要使用 GISST 数据, 需要获得哈得莱中心的授权。另一个可用的是最优插值表层海温 (OISST) 1 度 (1981–2005) 数据, 国家海洋和大气管理局上有周和月时间尺度的数据: <http://www.cdc.noaa.gov/>。此外, 也可以使用用于气候变化参考和情景运行的 SST 数据。

3.2.2 初始和侧边界条件数据

在 RegCM/PreProc/Terrain/domain.param 文件中, 可以选择下面数据用作初始和侧边界条件:

ECMWF: 欧洲中心中等范围天气预测再分析数据 (T42, L15), (1993–1997)

ERA40: ECMWF40 年再分析数据 (2.5 度格点, L23 层), (1957–2002)

ERAHI: ECMWF40 年再分析数据, 原始模型测场: T, U, V, 和 $\log(P_s)$ 在谱系数上, 地形和 Q 在降低的高斯网格上, T159L60 (N80L60), (1957–2002)

NNRP1: 国家环境预测中心 (NCEP) 再分析数据 (2.5 度格点, L17) (1948–现在)

NNRP2: 国家环境预测中心 (NCEP) 再分析数据 (2.5 度格点, L17) (1979–2005)

NRP2W: NNRP2 小窗口 (而非全球) 数据, 以节省磁盘空间, (例如, 非洲窗口从 40W–80E, 60S–70N)

FVGCM: 对气候变化实验, 可以选择来自 NASA–NCAR 有限体积 GCM 的输出结果驱动 RegCM。我们已经在 ICTP 运行了 FVGCM (1*1.25 度网格, L18), 并有 4 个 30 年模拟结果, 两个现代参考试验 (从 1961–1990), 两个未来 A2 IPCC 释放情景实验 (从 2071–2100)。

EH50M: 来自 EC–Hamburg 耦合 GCM IPCC AR4 实验 (AGCM: Echam5, T63L31; OGCM: MPI–OM GR1.5 256*220 L40; 耦合器: OASIS), 20C (1950–2000) 和 A1B (2001–2100) IPCC 释放情景实验的 T63, 重生成压力层数据。

FNEST: 高分辨率 RegCM 模拟中可以使用单步嵌套选项, 使得来自粗分辨率的 RegCM 模拟的输出结果可以用于驱动子区域中高分辨率的模型。

3.2.3 侧边界条件

侧边界条件的数值处理是区域气候模型中一个复杂但却十分重要的部分。这里有五种类型边界条件可以用于模型中。模拟采用的边界条件类型在 RegCM/PreProc/Terrain/目录下的 domain.param 文件中进行设置。选项为:

Fixed (固定): 不允许侧边界随时间变化, 不推荐为实际数据应用。

时间依赖: 所有预测场中最外部两行和列有特定的值。推荐在母区域中提供时间依赖值的嵌套时使用。只有一个外部行列值有特定值的粗网格不推荐使用。

线性松弛：外部的行和列指定为依赖时间的边界值，靠近边界值的四个点按照松弛常数从边界开始线性递减。

Sponge: Perkey 和 Kreitzberg (1976)

指数松弛: Davies 和 Turner (1977) (默认选项)

3.2.4 运行 ICBC

不必修改 RegCM/PreProc/ICBC 子目录下的任何文件，SST_1DEG.f 和 ICBC.f 程序把 SST 和全球再分析数据内插到模式网格点上。运行 icbc.x 就会编译执行程序。之后会产生如下文件：

RegCM/Input/ICBC.YYYYYMMDDHH(其中变量见表 5)

RegCM/Input/ICBC.YYYYYMMDDHH.CTL

然而，如果你要开始新的模拟，却不想修改你的区域，只要在运行 icbc.x 之前，简单编辑 RegCM/PreProc/ICBC/icbc.param 中的日期参数即可。

参数	描述
iproj	地图投影方式 ‘LAMCON’ — Lambert 投影 ‘PLOSTR’ — 极射投影 ‘NORMER’ — 正交 Mercator ‘ROTMER’ — 旋转 Mercator
iy	y 方向 (i) 格点数目
jx	x 方向 (j) 格点数目
kz	垂向层数 (k)
nsg	一个方向上次网格数目
ds	格点间隔 (km)
ptop	模型顶部压力 (cb)
clat	模型区域中心纬度 (度)
clon	模型区域中心经度 (度)
plat	极地纬度 (只用于旋转 mercator 投影)
plon	极地经度 (只用于旋转 mercator 投影)
truelatL	lambert 真实纬度 (低纬一侧)
truelon	lambert 真实纬度 (高纬一侧)
ntypec	全球 terrain 和陆地类型数据分辨率: 60—1 度 5—5 分 30—30 分 3—3 分 10—10 分 2—2 分
ntypec_s	和 ntypec 一样, 针对次网格
h2opct	如果水含量 < h2opct, 则为陆地, 否则为水
ifanal	true, 执行 cressman 型目标分析 false, 执行 16 位迭代抛物线内插
smthbdy	true, 边界额外平滑
lakadj	true, 根据观测调整湖泊层
igrads	true, 输出 GrADS 控制文件
ibigend	1—big_endian (通常为 1)
ibyte	对直接存取开关状态 (1 或 4) 对 IFC8, SGI, DEC 取 1; PGI, IFC7, SUN, IBMW 取 4;
FUDGE_LND	陆地类型虚拟, true 或 false
FUDGE_TEX	纹理虚拟, true 或 false
FUDGE_LND_S	次网格陆地类型虚拟, true 或 false
FUDGE_TEX	次网格纹理虚拟, true 或 false
filout	terrain 输出结果文件名 (包含路径)
filct1	输出结果 GrADS 控制文件名 (包含路径)
IDATA1	模拟开始时间 (YYYYMMDDHH)
IDATA2	模拟结束时间 (YYYYMMDDHH)

DATTYP	全球再分析数据: 'ECMWF' 'ERA40' 'ERAHI' 'NNRP1' 'NNRP2' 'NRP2W' 'FVGCM' 'FNEST' 'EH50M'
SSTYP	SST 数据类型: 'GISST', 'OISST', 'OI_NC', 'OI_WK', 对 FVGCM: 'FV_RF', 'FV_A2' 对 ECHAM GCM: 'EH5RE', 'EH5A2'
LSMTYP	陆地类型说明, 'BATS' 或 'USGS'
AERTYP	AEROSOL 数据: 'AER00D0' 既无气溶胶, 也无灰尘 'AER01D0' 生物量, SO ₂ +BC+OC, 无灰尘 'AER10D0' 人类影响, SO ₂ +BC+OC, 无灰尘 'AER11D0' 人类影响+生物量, SO ₂ +BC+OC, 无灰尘 'AER00D1' 无气溶胶, 有灰尘 'AER01D1' 生物量, SO ₂ +BC+OC, 有灰尘 'AER10D1' 人类影响, SO ₂ +BC+OC, 有灰尘 'AER11D1' 人类影响+生物量, SO ₂ +BC+OC, 有灰尘
ntex	土壤纹理类型的个数, 17
NPROC	用于并行计算的 CPU 个数

表格 3: domain.param 文件中变量列表

变量	描述
ht	地表高程
htsd	地表高程标准差
landuse	表层陆地类型
xlat	cross 点纬度
xlon	crpss 点经度
dlat	dot 点纬度
dlon	dot 点经度
xmap	cross 点地图因子
dmap	dot 点地图因子
coriol	科里奥利力
snowam	初始雪量
mask	海陆分布底图
texture	土壤纹理

表格 4: Terrain (DOMAIN) 输出文件中变量列表

变量	描述
date	模拟日期 (头信息)
u	西向风 (ms^{-1})
v	南向风 (ms^{-1})
t	空气温度 (K)
q	水汽含量 (kg kg^{-1})
px	地表压力 (10hPa, 或 cb)
ts	地表空气温度 (K)

表格 5: ICBYYYYMMDDHH 文件中变量列表

4 RegCM

Restart 参数	描述
ifrest	是否 restart 模拟
idate0	第一次模拟开始日期
idate1	restart 模拟开始日期
idate2	restart 模拟结束日期
nslice	下一次模型运行天数
时间步长 参数	描述
radfrq	辐射模型时间步长
abemh	LW 吸收/释放时间步长
abatm	1sm 时间步长
dt	大气模型时间步长
ibdyfrq	侧边界条件频率
输出参数	描述
ifsave	保存 restart 输出结果
savefrq	保存 restart 输出结果时间间隔 (hr)
iftape	保存大气输出
tapfrq	保存大气输出结果时间间隔 (hr)
ifrad	保存辐射输出
radisp	保存辐射模型输出时间间隔 (hrs)
ifbat	保存地表模型输出结果
ifsub	保存 sub-bats 模型输出结果
batfrq	保存地表模型输出结果的时间间隔 (hrs)
ifprt	打印输出
prtfrq	打印输出时间间隔 (hrs)
kxout	打印输出水平切面的 k 层
jxsex	打印输出的南北向垂直切面的 j index
iotyp	输出文件类型：1—直接存取；2—顺序存取
ibintyp	1—big_endian；2—little_endian
ifchem	保存示踪元素模型输出结果
chemfrq	示踪元素模型输出结果保存时间间隔 (hrs)

表格 6: regcm.in 文件中定义的 restart, 时间步长和输出参数

物理过程参数	描述
iboudy	侧边界条件：0—固定；1—松弛（线性）； 2—时间依赖；3—时间和输入/输出流依赖 4—sponge；5—松弛（指数）
ibltyp	行星边界层方案：1—Holtslag
icup	积云方案：1—Anthes—Kuo；2—Grell；4—MIT—Emanuel
igcc	Grell方案中对流封闭方案： 1—Arakawa&Schubert； 2—Fritsch&Chappell
ipptls	大尺度降雨方案：1—SUBEX
iocnflx	海洋通量参数化方案：1—BATS；2—Zeng
ipgfl	压力梯度方案：0—正常方式；1—流体静力递推
lakemod	湖泊模型：0—无；1—有
ichem	化学模型：0—无；1—有
化学参数	描述
idirect	气溶胶直接辐射影响
chtrname	化学示踪元素名称
chtrsol	湿移除示踪元素百分比
chtrdpv	陆地/海洋干沉积速度
dustbsiz	灰尘颗粒大小范围

表格 7: regcm.in 文件中物理过程选项列表

模型源代码保存在 RegCM/Main 子目录下。RegCM/Commons 子目录下包含开始新模拟必须的两个文件（regcm.in 和 regcm.x）。在 2.2 中讨论过的物理过程选项（表 7），也和日期，时间步长，输出频率等参数一样，都是在 regcm.in 中设置的。

4.1 选择合适的时间步长

当选择合适的时间步长时，有些通用的规则。下面这些时间步长参数全部在 regcm.in 中定义。

radfrq—辐射模型时间步长（分钟）
abemh—LW 吸收和释放时间步长（小时）
abatm—陆面模型时间步长（秒）
dt—大气模型时间步长（秒）

首先，大气模型时间步长（dt）应该是你的区域水平分辨率（km）的 3 倍左右。如果你的分辨率是 60km，dt 就应该取 180s 左右。我们可以把时间步长略微增加到 200s。增加时间步长将会减少运行所需的时间，但必须小心，如果时间步长过大，模型将会崩溃。然后 radfrq、abemh 和 abatm 都应该可以被 dt 整除。这样，设置 radfrq 为 30 分钟，abemh 为 18 分钟，abatm 为 540s 都是合理的。不同水平分辨率情况下时间步长设置的例子可以参考表 12。

4.2 开始模拟

运行脚本 `regcm.x` 将编译执行模式程序。推荐为特定的项目新建一个文件夹，把这两个文件（`regcm.in` 和 `regcm.x`）复制到新文件夹下，运行脚本将实现如下功能：

产生到区域文件和初始边界条件文件的软链接：

```
fort.10---../Input/DOMAIN
```

```
fort.10x---../Input/ICBCYYYYMMDDHH
```

产生存放模式输出结果的文件夹 `output` 子目录

产生后处理输出结果所需的 `postproc.in` 文件—这将在下一节讨论

编译源代码，开始模拟

运行模型将会产生如下每月输出文件：

大气模型输出（表 8）：`ATM.YYYYYMMDDHH`

陆面模型输出（表 9）：`SRF.YYYYYMMDDHH`

辐射模型输出（表 10）：`RAD.YYYYYMMDDHH`

化学模型输出（表 11）（如果化学模型运行了）：`CHE.YYYYYMMDDHH`

Restart 文件：`SAVTMP.YYYYYMMDDHH` 或者 `SAV.YYYYYMMDDHH`

4.3 restart 模拟

如果你的模拟崩溃了，或者你想从前一个模拟结束时开始 `restrart` 模拟，你可以使用 `restart` 选项。模式运行时每月都会在 `output` 子目录下保存 `restart` 模拟所需的输出文件（`SAV.YYYYYMMDDHH`）。如果模式崩溃了，模式也会在你的工作目录下更频繁地产生一个临时文件（`SAVTMP.YYYYYMMDDHH`）。要 `restart` 一次模拟，只要把 `regcm.in` 文件中 `ifrest` 参数改为 `true`，并修改必要的日期参数就可以了。你还要创建一个从 `SAV.YYYYYMMDDHH` 到名为 `fort.14`（你工作目录下）的文件的软链接（注意：`YYYYMMDDHH` 应该和你想开始 `restart` 模拟的日期匹配）。你可能还要创建新的 `ICBC` 文件，并修改该 `regcm.x` 脚本中的链接，这取决于你的模拟。

5 后处理

模型每月都在 output 子目录下产生三个输出文件:

大气模型输出 (变量列表见表 8): ATM.YYYYYMMDDHH

陆面模型输出 (变量列表见表 9): SRF.YYYYYMMDDHH

辐射模型输出 (变量列表见表 10): RAD.YYYYYMMDDHH

如果运行了化学模型, 还会产生输出文件:

化学模型输出 (变量列表见表 11): CHE.YYYYYMMDDHH

RegCM 后处理程序把这些模型输出文件转换成新的输出文件, 新的输出结果进行了变量平均, 格式采用 NetCDF 或 GrADS。你需要修改你工作目录下的 postproc.in 文件, 指定如何进行变量平均 (日平均, 月平均等) 和文件格式。然后运行 postproc.x 脚本编译执行程序。

5.0.1 从 sigma 坐标转换到压力 坐标

通常我们需要在压力坐标而非 sigma 坐标下看输出结果。我们提供了一个转换程序产生一个 GrADS 格式数据文件。SIGMAtoP.f 在 RegCM/Commons/tools 目录下, 程序顶部两行给出了编译选项。在编译和运行之前, 你必须修改该文件中的如下参数值:

iy,jx,kx: 网格维度 (应该和 OUT_HEAD.CTL 中匹配, 而非和 DOMAIN_INFO.CTL 匹配)

np: 压力层数目

plev: 指定你想创建的压力层, 单位 hPa (总数量应该和 np 匹配)

nfile: 你要处理的 ATM 文件数目

inout: 你要处理的 ATM 文件名

number: 每个 ATM 文件中时间切面数量

针对转换后数据结果, 在 regCM/Commons/tools 下有一个 GrADS 描述文件的例子: PLEV_VAR.ct1。要使用这个文件, 根据你的区域特征简单编辑 pdef,xdef,ydef,zdef,tdef 行就可以。你可以从 OUT_HEAD.CTL 中复制其 pdef, xdef,ydef 行信息, zdef 行信息应该包含和你在 SIGMAtoP.f 文件中设置的 np 数目一样多的压力层。tdef 则应该设置为输出文件中总的时间切面数 (数据数的总和 - 如果你的数据数目为 /20,40/, 那你在结果中就有 60 个时间切面)。然后用数据开始时间代替开始时间 (例子中为 06z01Ju11994), 你就可以在 GrADS 中看你的转换后的数据了。

5.1 观测数据内插

在 RegCM/Obs 目录下, 为方便和观测数据进行对比, 我们提供了把一些观测数据内插到你的 RegCM 格点上的脚本。

一个常用的数据库是气候研究单位 (CRU) 高分辨率全球数据, 这是一个全球陆地数据库, 0.5 度的分辨率。该数据库包括如下月平均变量: 降雨, 云覆盖, 每日白天温度范围, 日最大温度, 日最低温度, 温度, 蒸汽压, 潮湿天频率, 雾天频率。CRU 具体网址为:

<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/>

另一个降雨数据库是 CPC 融合降雨分析 (CMAP), 2.5 度分辨率全球数据, 覆盖陆地和海洋。数据从 1979 年到最近。月平均数据和五天平均可以从 CDC 网站上下载:

<http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.cmap.html>。这些数据的使用说明和帮助可以在 Xie 和 Arkin (1996, 1997) 的原始文献中找到。

第三个数据源是来自 Delaware 大学的全球降雨和温度场, 大部分数据是从 1950 年到 1999 年。网址为: <http://climate.geog.udel.edu/climate/>

变量	描述
u	东向风 (ms^{-1})
v	北向风 (ms^{-1})
w	Omega (hPa) 压力层速度
t	温度(K)
qv	水蒸汽混合比($g\ kg^{-1}$)
qc	云水混合比($g\ kg^{-1}$)
psa	地表压力(Pa)
tpr	总降雨(mm)
tgbl	土壤层底部温度(K)
smt	总土壤水分(mm)
rno	底流 ($mm\ day^{-1}$)

表格 8: 大气输出结果中变量列表

变量	描述
u10m	风速计 (10m 处) 东向风 (ms^{-1})
v10m	风速计 (10m 处) 北向风 (ms^{-1})
uvdrag	表层拖曳力
tgb	地表温度 (K)
t1ef	树叶温度 (K)
t2m	风速计温度 (K)
q2m	风速计绝对湿度 $kg\ kg^{-1}$
ssw	顶层土壤水汽 (mm)
rsw	根部层土壤水汽 (mm)
tpr	总降雨 ($mm\ day^{-1}$)
evp	蒸发量 ($mm\ day^{-1}$)
runoff	表层流失 ($mm\ day^{-1}$)
scv	雪水平衡 (mm)
sena	感热 ($W\ m^{-2}$)
flw	总长波辐射 ($W\ m^{-2}$)
fsw	总太阳吸收 ($W\ m^{-2}$)
flwd	向下长波辐射 ($W\ m^{-2}$)
sina	太阳入射量 ($W\ m^{-2}$)
prcv	对流降雨 ($mm\ day^{-1}$)
psb	地表压力 (Pa)
zpb1	PBL 高度 (m)
tgmax	地面最大温度 (K)
tgmain	地面最小温度 (K)
t2max	2m 处最大温度 (K)
t2min	2m 处最小温度 (K)
w10max	10m 处最大风速 (ms^{-1})
psmin	地表最小压力 (hPa)

表格 9: 陆面模型输出结果列表

变量	描述
fc	云量（百分比）
clwp	云中液态水（ $g\ m^{-2}$ ）
qrs	太阳加热速率（ KS^{-1} ）
qrl	LW 冷却速率（ KS^{-1} ）
fsw	表层绝对太阳能（ $W\ m^{-2}$ ）
flw	LW 表层冷却（ $W\ m^{-2}$ ）
clrst	净天空绝对太阳能（ $W\ m^{-2}$ ）
clrss	净天空表层绝对太阳能（ $W\ m^{-2}$ ）
clrlt	净天空总向上通量（ $W\ m^{-2}$ ）
clrls	净天空 LW 表层冷却（ $W\ m^{-2}$ ）
solin	瞬时入射太阳能（ $W\ m^{-2}$ ）
sabtp	柱体中绝对太阳能（ $W\ m^{-2}$ ）
firtp	在 TOA 处的总向上 LW 通量（ $W\ m^{-2}$ ）

表格 10: 辐射模型输出变量列表

变量	描述
trac	示踪元素混合比（ $kg\ kg^{-1}$ ）
aext8	气溶胶混合指数系数 aer mix. ext. coef
assa8	气溶胶混合 aer mix. sin. scat. alb
agfu88	气溶胶混合 aer mix. ass. par
colb_tr	柱体质量（ $kg\ m^{-2}$ ）
wdlsc_tr	大尺度湿沉积（ $kg\ m^{-2}$ ）
wdlcvc_tr	对流湿沉积（ $kg\ m^{-2}$ ）
sdrdp_tr	地表干沉积（ $kg\ m^{-2}$ ）
xgasc_tr	化学气体含量（mg/m2/d）
xaquc_tr	化学 aqu 含量（mg/m2/d）
emiss_tr	地表释放（ $kg\ m^{-2}$ ）
acstoarf	TOA 辐射驱动 av（ $W\ m^{-2}$ ）
agfu88	SRF 辐射驱动 av（ $W\ m^{-2}$ ）

表格 11: 化学模型输出变量列表

dx(km)	dt(sec)	abatm(sec)	abemh(hr)	radfrq(min)
10	30	90	18	30
20	60	120	18	30
30	100	300	18	30
45	150	300	18	30
50	150	450	18	30
60	200	600	18	30
90	225	900	18	30

表格 12: 不同分辨率情况下时间步长选择

6 实际运行

这一节的目的在于：通过一次实际运行，帮助新手熟悉参数设置和运行 RegCM。这里列出了一步步的教程，进行 1994 年 7 月欧洲区域一个月时间的模拟。为演示如何使用 restart 选项，我们先进行 6 月底最后 5 天的模拟，然后模式 restart 进行 7 月份为期 31 天的模拟。

在这次实际运行中，在 terrain 文件中使用了 10 分分辨率的 GLCC 和 GTOPO 数据，初始和侧边界条件则使用了 ECMWF 全球再分析数据。这些数据存储在 /home/RAID2-D10/RCM3DATA/ 目录下，你可以用 RegCM/PreProc/DATA/datalinker.x 脚本创建一个从你的目录到这些目录的软连接。

6.1 获取模式 代码和数据

步骤 1: 在 scratch 或 scratch1 上建立你自己的工作目录

```
% cd /scratch or cd /scratch1
```

```
% mkdir yourname
```

```
% cd yourname
```

步骤 2: 从 RegCM3 网站下载 regcm.tar.gz 到你自己的帐户下，网址为：

```
http://www.ictp.trieste.it/~pubregcm/RegCM3/
```

步骤 3: 解压缩 regcm.tar.gz

```
% tar -zxvf regcm.tar
```

解压缩后，会产生一个名为 RegCM 的主目录，以及一些包含预处理、运行模式、后处理所必需文件的子目录。预处理程序在 RegCM/PreProc/Terrain 和 RegCM/PreProc/ICBC 目录下，模式源代码在 RegCM/Main/子目录下，后处理程序在 RegCM/PostProc 下。

6.2 预处理

运行模式之前必须进行一些预处理步骤，包括设置模式区域，创建必须的初始和侧边界条件文件。

6.2.1 设置区域

第一步是定义区域，把高程和陆地类型数据内插到模式网格上。这个在 RegCM/PreProc/Terrain 下进行。本次运行我们使用了以意大利 Trieste ($45.39^{\circ}\text{N}, 13.48^{\circ}\text{E}$) 为中心的欧洲区域，范围大小为 $2040\text{km} \times 3060\text{km}$ ，水平网格格点间隔为 60km 。区域参数在 domain.param 文件中定义，其值在表 13 中列出。

步骤 1: 把存储在 /home/RAID2-D10/RCM3DATA/ 下的必需数据文件链接到 RegCM/PreProc/DATA 子目录下:

```
% cd RegCM/PreProc/DATA
```

编辑 datalinker 脚本

```
%gedit datalinker.x 或者 vi datalinker.x
```

执行之:

```
%./datalinker.x
```

参数	值	描述
iproj	LAMCON	地图投影方式 'LAMCON' — Lambert 投影 'PLOSTR' — 极射投影 'NORMER' — 正交 Mercator 'ROTMER' — 旋转 Mercator
iy	34	y 方向 (i) 格点数目
jx	51	x 方向 (j) 格点数目
kz	18	垂向层数 (k)
ds	60.0	格点间隔 (km)
ptop	5.0	模型顶部压力 (cb)
clat	45.39	模型区域中心纬度 (度)
clon	13.48	模型区域中心经度 (度)
ntypec	10	全球 terrain 和陆地类型数据分辨率: 60—1 度 5—5 分 30—30 分 3—3 分 10—10 分 2—2 分
igrads	1	true, 输出 GrADS 控制文件
ibigend	1	1—big_endian (通常为 1)
ibyte	1 或者 4	对直接存取开关状态 (1 或 4) 对 IFC8, SGI, DEC 取 1; PGI, IFC7, SUN, IBMW 取 4;
IDATA1	1994062500	模拟开始时间 (YYYYMMDDHH)
IDATA2	1994080100	模拟结束时间 (YYYYMMDDHH)
DATTYP	'ECMWF'	全球再分析数据: 'ECMWF' 'ERA40' 'ERAHI' 'NNRP1' 'NNRP2' 'NRP2W' 'FVGCM' 'FNEST' 'EH50M'
SSTYP	'OISST'	SST 数据类型: 'GISST', 'OISST', 'OI_NC', 'OI_WK' 对 FVGCM: 'FV_RF', 'FV_A2' 对 ECHAM GCM: 'EH5RE', 'EH5A2'
NPROC	0: 串行; 1, 2...并行	用于并行计算的 CPU 个数

表格 13: domain.param 文件中需要修改的变量列表

步骤 2: 到 Terrain 目录下, 编辑 domain.param 文件 (包含区域和网格参数信息)

```
% cd RegCM/PreProc/Terrain
```

```
% gedit domain.param 或者 vi domain.param
```

步骤 3: 运行 terrain.x 脚本, 编译源代码并产生一个名为 terrain 的可执行文件, 该可执行文件会产生 DOMAIN 文件, 并创建两个到陆地类型和高程数据的符号链接: CAT.CDF 和 ELEV.CDF。

根据你工作所用的机器类型和编译器类型, 复制合适的 Makefile 文件:

```
% cp Makefile_PGI5 Makefile
```

执行脚本文件

```
% ./terrain.x
```

这将会在 RegCM/Input 子目录下产生两个文件：DOMAIN 和 DOMAIN.CTL（其中变量见表 4）。要在 GrADS 中查看文件：

```
% cd ../../RegCM/Input
```

打开 GrADS:

```
% gradsc
```

```
% grads% open DOMAIN.CTL  grads 中打开文件
```

```
% grads% q file  查看 DOMAIN 中的变量
```

```
% grads% d ht  显示区域上的高程等高线
```

6.2.2 ICBC

第二步是把用作初始条件和侧边界条件的表层海温和全球再分析数据内插到模式网格上。这步在 RegCM/PreProc/ICBC 中进行。

步骤 1: 到 ICBC 子目录下, 执行 icbc 脚本, 不必修改任何文件。只要执行 icbc.x 就会产生和执行程序, 产生初始和侧边界条件。

根据你的工作机器和编译器选择 Makefile 文件:

```
% cd ../../RegCM/PreProc/ICBC
```

```
% cp Makefile_PGI5 Makefile
```

```
% ./icbc.x
```

该步会在 RegCM/Input 下产生两个文件: ICBC1994062500 和 ICBC1994062500.CTL 这些文件用作模拟时的初始条件和边界条件。

6.3 运行模式

参数	值	描述
ifrest	.false.	是否 restart 模拟
idate0	1994062500	第一次模拟开始日期
idate1	1994062500	restart 模拟开始日期
idate2	1994070100	restart 模拟结束日期
radfrq	30	辐射模型时间步长
abemh	18	LW 吸收/释放时间步长
abatm	540	1sm 时间步长
dt	180	大气模型时间步长

表格 14: regcm.in 中需修改的变量列表

为方便起见, 最好为本次模拟创建一个新的目录, 以存储可执行文件和模式输出结果文件。

步骤 1: 创建子目录 RegCM/PracticeRun, 把 RegCM/Commins 目录下的 regcm.in 和 regcm.x 文件复制到该目录下。

```
% mkdir PracticeRun
```

```
% cd PracticeRun
% cp ../Commons/regcm.in ./
% cp ../Commons/regcm.x ./
```

步骤2: 运行模拟之前只需修改 regcm.in 文件, 这个文件包括 restart 文件的使用和物理过程选项等参数。根据表 6 和表 14 编辑该文件。首先将进行从 1994 年 6 月 25 日 00 点 UTC 到 1994 年 7 月 1 日 00UTC 为期 5 天的模拟。

```
% gedit regcm.in or vi regcm.in
% cp ../Main/Makefile PGI ../Main/Makefile
```

步骤3: 运行 regcm.x 脚本文件, 将编译源代码, 开始模拟。

```
% ./regcm.x
```

模拟完成后, 在 RegCM/Practice/output 子目录下会有如下每月输出结果文件:

大气模型输出 (表 8): ATM.1994062500

陆面模型输出 (表 9): SRF.1994062500

辐射模型输出 (表 10): RAD.1994062500

Restart 文件: SAV.1994062500

6.3.1 restart 模拟

运行 restart 模拟, 需修改 regcm.in 中的一些参数, 并链接合适的 SAV 文件。

步骤0: 在 restart 运行前, 检查 restart 模拟所需的 ICBC 数据 (RegCM/Input 下) 是否准备好, 如果没有, 需要回到 RegCM/PreProc/ICBC, 编辑 icbc.param 文件, 然后运行 icbc.x 产生 restart 运行所需的 ICBC 文件。

步骤1: 编辑 regcm.in 文件中如下 restart 参数:

```
ifrest=.true. 表明这是一次 restart 运行
idate0=1994062500 第一次模拟开始日期
idate1=1994070100 restart 模拟开始日期
idate2=1994080100 restart 模拟结束日期
```

步骤2: 从前面的输出结果 SAV 文件创建符号链接到 fort.14, 这次我们把 output/SAV.1994070100 链接到 fort.14

```
% ln -s output/SAV.1994070100 fort.14
```

你也可以把链接命令添加到你的 regcm.x 脚本中, 只要你愿意。

步骤3, 运行 regcm.x 脚本开始 restart 模拟

```
% ./regcm.x
```

模拟完成后, 你就在 RegCM/PracticeRun/output 目录下得到如下月输出模式结果:

```
ATM.1994070100 - output from the atmospheric model
RAD.1994070100 - output from the radiation model
SRF.1994070100 - output from the land surface model
SAV.1994080100 - restart file
```

6.4 后处理

现在你可以用 RegCM 后处理程序把你的输出结果转为包含日平均变量的 NetCDF 格式文件。由于这是第一次使用后处理程序，首先需要到 RegCM/PostProc 目录下复制合适的 Makefile 文件：

```
% cd RegCM/PostProc
```

```
% cp Makefile PGI5 Makefile
```

你也需要把 RegCM/PostProc/postproc.x 脚本文件复制到你工作目录下：

```
% cp postproc.x ../PracticeRun/
```

步骤 1: 编辑你工作目录下已经生成的 postproc.in 文件，这个文件中可以指定你要做的平均类型（如日平均、月平均）和文件格式。本次模拟你可以生成月平均 Netcdf 格式的文件。

```
% cd ../PracticeRun
```

```
% gedit postproc.in
```

```
% ./postproc.x
```

执行该脚本之后，你会被提示你要转换哪种输出结果（ATM，SRF，RAD），你只能一次选择一个，所以要运行三次 postproc.x 脚本以产生所有输出结果的日平均 NetCDF 文件

6.4.1 把观测数据内插到你的 RegCM 网格

现在为了和模式输出结果对比，你需要把观测数据内插到 RegCM 网格上。CRU 预处理程序把 0.5*0.5 度全球 CRU 观测数据（降雨，温度，日间温差，云量，水蒸汽）内插到你的模式网格上。该预处理程序位于 RegCM/Obs/CRU 目录下。

```
% cd ../Obs/CRU
```

你只需改变 cru.param 文件中两个参数：

```
idatecru1=199407(开始日期)
```

```
idatecru2=199407(结束日期)
```

以及输出文件名（如果你愿意）

然后运行 cruPGI5.x 脚本，将会编译执行 CRU2RCM.f 程序。

```
% ./cruPGI.x
```

之后会产生如下 5 个 NetCDF 文件：

CRUPRE.CDF - CRU 月平均降雨文件

CRUTMP.CDF - CRU 月平均温度文件

CRUDTR.CDF - CRU 月平均日间温差文件

CRUVAP.CDF - CRU 月平均水蒸汽文件

CRUCLD.CDF - CRU 月平均云量文件

References

- 1984: Climate Processes and Climate Sensitivity, chap. Modeling evapotranspiration processes for three-dimensional global climate models, pp. 52—72, American Geophysical Union.
- Anthes, R. A., 1977: A cumulus parameterization scheme utilizing a one-dimensional cloud model, *Mon. Wea. Rev.*, 105, 270—286.
- Beheng, K. D., 1994: A parameterization of warm cloud microphysical conversion processes, *Atmos. Res.*, 33, 193—206.
- Briegleb, B. P., 1992: Delta-eddington approximation for solar radiation in the ncar community climate model, *J. Geophys. Res.*, 97, 7603—7612.
- Davies, H. C., and R. E. Turner, 1977: Updating prediction models by dynamical relaxation: An examination of the technique, *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, 103, 225—245.
- Deardoff, J. W., 1978: Efficient prediction of ground surface temperature and moisture with inclusion of a layer of vegetation, *J. Geophys. Res.*, 83, 1889—1903.
- Dickinson, R. E., P. J. Kennedy, A. Henderson-Sellers, and M. Wilson, 1986: Biosphere-atmosphere transfer scheme (bats) for the ncar community climate model, Tech. Rep. NCARE/TN-275+STR, National Center for Atmospheric Research.
- Dickinson, R. E., R. M. Errico, F. Giorgi, and G. T. Bates, 1989: A regional climate model for the western United States, *Climatic Change*, 15, 383—422.
- Dickinson, R. E., A. Henderson-Sellers, and P. J. Kennedy, 1993: Biosphere-atmosphere transfer scheme (bats) version 1e as coupled to the ncar community climate model, Tech. rep., National Center for Atmospheric Research.
- Emanuel, K. A., 1991: A scheme for representing cumulus convection in large-scale models, *J. Atmos. Sci.*, 48(21), 2313—2335.
- Emanuel, K. A., and M. Zivkovic-Rothman, 1999: Development and evaluation of a convection scheme for use in climate models, *J. Atmos. Sci.*, 56, 1766—1782.
- Fritsch, J. M., and C. F. Chappell, 1980: Numerical prediction of convectively driven mesoscale pressure systems. part i: Convective parameterization, *J. Atmos. Sci.*, 37, 1722—1733.
- Giorgi, F., 1989: Two-dimensional simulations of possible mesoscale effects of nuclear war fires, *J. Geophys. Res.*, 94, 1127—1144.
- Giorgi, F., 1990: Simulation of regional climate using a limited area model nested in a general circulation model, *J. Climate*, 3, 941—963.
- Giorgi, F., and G. T. Bates, 1989: The climatological skill of a regional model over complex terrain, *Mon. Wea. Rev.*, 117, 2325—2347.
- Giorgi, F., and M. R. Marinucci, 1991: Validation of a regional atmospheric model over europe: Sensitivity of wintertime and summertime simulations to selected physics parameterizations and lower boundary conditions, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 117, 1171—1206.
- Giorgi, F., G. T. Bates, and S. J. Nieman, 1993a: The multi-year surface climatology of a regional atmospheric model over the western united states, *J. Climate*, 6, 75—95.
- Giorgi, F., M. R. Marinucci, and G. T. Bates, 1993b: Development of a second generation regional climate model (regcm2) i: Boundary layer and radiative transfer processes, *Mon. Wea. Rev.*, 121, 2794—2813.

- Giorgi, F., X. Q. Bi, and Y. Qian, 2003a: Indirect vs. direct effects of anthropogenic sulfate on the climate of east asia as simulated with a regional coupled climate-chemistry/aerosol model, *Climatic Change* , 58 , 345—376.
- Giorgi, F., R. Francisco, and J. S. Pal, 2003b: Effects of a subgrid-scale topography and land use scheme on the simulation of surface climate and hydrology. part 1: Effects of temperature and water vapor disaggregation., *Journal of Hydrometeorology* , 4 , 317—333.
- Grell, G., 1993: Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations, *Mon. Wea. Rev.* , 121 , 764—787.
- Grell, G. A., J. Dudhia, and D. R. Stauffer, 1994: Description of the fifth generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5), Tech. Rep. TN-398+STR , NCAR, Boulder, Colorado, pp. 121.
- Hack, J. J., B. A. Boville, B. P. Briegleb, J. T. Kiehl, P. J. Rasch, and D. L. Williamson, 1993: Description of the ncar community climate model (ccm2), Tech. Rep. NCAR/TN-382+STR , National Center for Atmospheric Research.
- Henderson-Sellers, B., 1986: Calculating the surface energy balance for lake and reservoir modeling: A review, *Rev. Geophys.* , 24 (3), 625—649.
- Holtslag, A. A. M., and B. A. Boville, 1993: Local versus nonlocal boundary-layer diffusion in a global climate model, *J. Climate* , 6 .
- Holtslag, A. A. M., E. I. F. de Bruijn, and H.-L. Pan, 1990: A high resolution air mass transformation model for short-range weather forecasting, *Mon. Wea. Rev.* , 118 , 1561—1575.
- Hostetler, S. W., G. T. Bates, and F. Giorgi, 1993: Interactive nesting of a lake thermal model within a regional climate model for climate change studies, *Geophysical Research* , 98 , 5045—5057.
- Hsie, E. Y., R. A. Anthes, and D. Keyser, 1984: Numerical simulation of frontogenesis in a moist atmosphere, *J. Atmos. Sci.* , 41 , 2581—2594.
- Kiehl, J. T., J. J. Hack, G. B. Bonan, B. A. Boville, B. P. Breigleb, D. Williamson, and P. Rasch, 1996: Description of the ncar community climate model (ccm3), Tech. Rep. NCAR/TN-420+STR , National Center for Atmospheric Research.
- Pal, J. S., E. E. Small, and E. A. B. Eltahir, 2000: Simulation of regional-scale water and energy budgets: Representation of subgrid cloud and precipitation processes within RegCM, *J. Geophys. Res.—Atmospheres* , 105 (D24), 29,579—29,594.
- Patterson, J. C., and P. F. Hamblin, 1988: Thermal simulation of a lake with winter ice cover, *Limn. Oceanography* , 33 , 323—338.
- Perkey, D. J., and C. W. Kreitzberg, 1976: A time-dependent lateral boundary scheme for limited area primitive equation models, *Mon. Wea. Rev.* , 104 , 744—755.
- Rauscher, S. A. and Seth, A. and Qian, J.-H. and Camargo, S. J., 2006: Domain choice in an experimental nested modeling prediction system for South America, *Theor. App. Climatol* , 86 , 229—246.
- Seth, A. and F. Giorgi, 1998: The effect of domain choice on summer precipitation simulation and sensitivity in a regional climate model, *J. Climate* , 11 , 2698—2712.
- Slingo, J. M., 1989: A gcm parameterization for the shortwave radiative properties of water clouds, *J. Atmos. Sci.* , 46 , 1419—1427.
- Small, E. E., and L. C. Sloan, 1999: Simulating the water balance of the aral sea with a coupled regional climate lake model, *J. Geophys. Res.* , 104 , 6583—6602.
- Sundqvist, H., E. Berge, and J. E. Kristjansson, 1989: The effects of domain choice on

- summer precipitation simulation and sensitivity in a regional climate model, J. Climate, 11, 2698—2712.
- Vannitsem, S., and F. Chom, 2005: One-Way Nested Regional Climate Simulations and Domain Size, J. Climate, 18, 229—233.
- Xie, P. and P. A. Arkin, 1996: Analysis of global monthly precipitation using gauge observation, satellite estimates and numerical model predictions, J. Climate, 9, 840—858.
- Xie, P. and P. A. Arkin, 1997: Global precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates and numerical model outputs, Bull. Amer. Meteor. Soc., 78, 2539—2558.
- Zeng, X., M. Zhao, and R. E. Dickinson, 1998: Intercomparison of bulk aerodynamic algorithms for the computation of sea surface fluxes using TOGA COARE and TAO data, J. Climate, 11, 2628—2644.

BATS Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme
 BATS1e Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme version 1e
 CAM Community Atmosphere Model
 CAPE convective available potential energy
 CCM Community Climate Model
 CCM1 Community Climate Model version 1
 CCM2 Community Climate Model version 2
 CCM3 Community Climate Model version 3
 CLM0 Common Land Model version 0
 CLM2 Community Land Model version 2
 CLM3 Community Land Model version 3
 CMAP CPC Merged Analysis of Precipitation
 CRU Climate Research Unit
 CPC Climate Prediction Center
 ECMWF European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
 ERA40 ECMWF 40-year Reanalysis
 ESP Earth Systems Physics
 FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations
 fvGCM NASA Data Assimilation Office atmospheric finite-volume general circulation model
 GLCC Global Land Cover Characterization
 GCM General Circulation Model
 HadAM3H Hadley Centre Atmospheric Model version 3H
 ICTP Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics
 IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change
 IBIS Integrated Biosphere Simulator
 LAI leaf area index
 LAMs limited area models
 LBCs lateral boundary conditions
 MC2 Mesoscale Compressible Community model
 MIT Massachusetts Institute of Technology
 MM4 Mesoscale Model version 4
 MM5 Mesoscale Model version 5
 MERCURE Modelling European Regional Climate Understanding and Reducing Errors
 NNRP NCEP/NCAR Reanalysis Product
 NNRP1 NCEP/NCAR Reanalysis Product version 1
 NNRP2 NCEP/NCAR Reanalysis Product version 2
 NCAR National Center for Atmospheric Research
 NCEP National Centers for Environmental Prediction
 PBL planetary boundary layer
 PC Personal Computer
 PIRCS Project to Intercompare Regional Climate Simulations
 PFT plant functional type
 PSU Pennsylvania State University
 PWC Physics of Weather and Climate
 RCM Regional Climate Model
 RegCM REGIONal Climate Model
 RegCM1 REGIONal Climate Model version 1

RegCM2 REGional Climate Model version 2
RegCM2.5 REGional Climate Model version 2.5
RegCM3 REGional Climate Model version 3
RegCNET REGional Climate Research NETWORK
RMIP Regional Climate Model Intercomparison Project
SIMEX the Simple EXplicit moisture scheme
SST sea surface temperature
SUBEX the SUB-grid EXplicit moisture scheme
USGS United States Geological Survey
JJA June, July, and August
JJAS June, July, August, and September
JFM January, February, and March