# HWRF模式使用的参数化格式

## 1微物理过程

HWRF使用Ferrier-Aligo微物理参数化格式。FA微物理格式是修改版的热带Ferrier微物理格式，是基于Eta网格尺度的云和降雨格式(Rogers et al. 2001; Ferrier et al. 2002)。



图1 FA为物理过程内部使用的水相(water species)及其他们与总冷凝的关系。左边的主题表示微物理格式中涉及的变量（水蒸气、冰、雪、雨和云水的混合比）。右边的柱体表示模型中其他的物理量：仅水蒸气和总冷凝可对流。对流执行后，总冷凝在各相间，基于冰和雨的比例，重分配。

在2017年，FA格式做了一点升级(Aligo et al. 2017)。

关于FA格式的细节可参考Aligo et al. (2014)。

Ferrier, B.S., Y. Jin, Y. Lin, T. Black, E. Rogers, and G. DiMego, 2002: Implementation of a new grid-scale cloud and precipitation scheme in the NCEP Eta model, 19th Conf. on weather Analysis and Forecasting/15th Conf. on Numerical Weather Prediction.

Aligo, E., Ferrier, B., J. Carley, E. Rodgers, M. Pyle, S. J. Weiss, and I. L. Jirak, 2014: Modified microphysics for use in high resolution NAM forecasts. 27 AMS

Conference on Severe Local Storms. 3-7 November, Madison, WI.

Aligo, E, Ferrier, B., G. Thompson, J. R. Carley, E. Rogers, J. Dimego, 2017: The New-Ferrier-Aligo Microphysics in the NCEP 3-km NAM nest, 97th AMS Annual Meeting, 21-26 January, Seattle, WA.

## 2积云参数化格式

从2016年开始，HWRF采用扩展的简化Arakawa-Schubert (SAS)格式，该格式是尺度相关的，不依赖于求解格子(resolved)与压格子对流(sub-grid convection)之间的尺度分离。因此，在父区域(13.5 km水平网格间距)和2个嵌套网格(4.5 km和1.5 km水平网格间距)上，都激活该参数化格式。

Han, J. and H.-L. Pan, 2011: Revision of Convection and Vertical Diffusion Schemes in the NCEP Global Forecast System. *Wea. Forecasting*, **26,** 520-533.

## 3表面参数化格式

表面层格式计算摩阻流速和交换通量，计算LSM的表面的热通量、湿度通量和动量通量。在水面上，表面通量和表面诊断场由表面格式自己计算。这些通量，连同辐射表面通量和降雨，用作海洋模式的输入。

HWRF表面层格式是基于 Powell et al. (2003), Black et al. (2007)。海气通量计算使用基于Monin-Obukhov相似理论的bulk参数化。

2个重要参数：中性拖拽力系数Cd和中性热和湿度系数Ck，计算公式分别是：







Black, P. G., E. A. D’Asaro, W. M. Drennan, J. R. French, T. B. Sanford, E. J. Terrill, P.P. Niiler, E. J. Walsh and J. Zhang, 2007: Air-Sea Exchange in Hurricanes: Synthesis of Observations from the Coupled Boundary Layer Air-Sea Transfer Experiment. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **88,** 357-374.

Powell, M. D., P. J. Vickery and T. A. Reinhold, 2003: Reduced drag coefficient for high wind speeds in tropical cyclones, *Nature*, **422**, 279-283.

## 4陆地表面过程

NCEP和WRF社区广泛使用Noah LSM，有很长的开发历史(Mahrt and Ek 1984; Mahrt and Pan 1984; Pan and Mahrt 1987; Chen et al. 1996; Schaake et al. 1996; Chen et al. 1997; Koren et al. 1999; Ek et al. 2003)。从2015年，融入HWRF。

Noah LSM由NCAR和NCEP联合开发，已成为统一的代码。

土壤分层厚度，模拟土壤湿度的日、周和季节变化(Chen and Dudhia 2001)。改进的城市处理(Liu et. al. 2006)。

Noah LSM的细节可参考Chen and Dudhia (2001)和Mitchell (2005)。

Chen, F., and J. Dudhia, 2001: Coupling an advanced land surface–hydrology model with the Penn State-NCAR MM5 modeling system. Part I: Model description and implementation. *Mon. Wea. Rev.*, **129**, 569-585.

Mitchell, K., 2005: The community Noah Land Surface Model (LSM). http://www.ral.ucar.edu/research/land/technology/lsm/noah/Noah\_LSM\_USERGUIDE\_2.7.1.pdf

## 5行星边界层

当启用PBL格式时，不在计算垂向扩散，因为假设PBL参数化格式就是处理该过程。因此，水平和垂向的混合是独立处理的。

概念上，PBL参数化与积云参数化有补充和矛盾的情况。当网格降到几百米以下时，边界层涡可能开始被求解，这种情况下，需要使用完全3D的压格子紊流格式代替PBL格式。HWRF使用非局部的垂向混合格式，基于GFS PBL选项，适于飓风等环境条件。

从2016年开始，HWRF使用非局部的混合涡扩散质量通量(Hybrid EDMF)，其中对流条件下的非局部混合采用质量通量的方法来表征。



是局部通量，是非局部通量。非局部通量计算可参考Han et al. (2016)，与Yonsei University (YSU)和中期预报(MRF)格式相似。

局部格式是1阶垂向扩散参数化，使用表面bulk-Richardson方法，迭代计算距离地面向上的PBL高度。PBL高度(h)与地面和PBL顶部之间的垂向温度剖面有关，与PBL顶部的风速有关，还与临界Richardson数(Ric)有关：

上述过程决定了动量涡扩散的局部分量，计算为：



**为von Karman常数（0.4），*u\**是摩阻流速，Z是距离地面的高度，是表面层顶部的风速剖面函数；是控制涡扩散幅度的参数(Gopalakrishnan et al. 2013)。

直到2014年，HWRF中，仅与网格间距有关。从2015年开始，作为一个变量，可以在飓风区域，基于风速，计算涡扩散。细节参考Bu (2015)。

Bu, Y., 2015: Influence of cloud-radiative forcing and the planetary boundary layer on tropical cyclone structure, PhD Thesis submitted to UCLA., PhD Thesis submitted to UCLA.

Gopalakrishnan, S. G., F. Marks Jr., J. A. Zhang, X. Zhang, J.-W. Bao, and V. Tallapragada, 2013: Study of the impacts of vertical diffusion on the structure and intensity of the tropical cyclones using the high-resolution HWRF system. J. of the Atmos. Sci., 70, 524-541.

## 6大气辐射传输过程

2016 HWRF实施RRTMG参数化格式(Iacono et al., 2008)的长波和短波辐射传输格式，是对Mlawer et al., 1997的格式的修改，提高了计算效率和处理压格子尺度的云变化。

Iacono, M. J., J. S. Delamere, E. J. Mlawer, M. W. Shephard, S. A. Clough, and W. D. Collins, 2008: Radiative forcing by long-lived greenhouse gases: Calculations with the AER radiative transfer models, J. Geophys. Res., 113, D13103

## 7物理过程的相互作用

各物理参数化过程之间可以通过模式的状态变量（潜热、湿度、风等）及其变化趋势(tendencies)，通过表面通量相互作用。

表面物理过程(surface physics)不直接产生大气状态变量的变化，负责更新陆地状态变量以及更新与海洋耦合时的通量。

微物理过程不输出变化趋势，但在计算时间步结束后更新大气状态变量。

辐射、积云参数化以及PBL格式都输出变化趋势，但直到求解结束后，才添加到变化趋势中。因此，调用顺序不重要。并且，物理参数化过程不一定必须以相同的频率调用，也不必以动力学核心时间步调用。当使用较低频率时，他们的变化趋势在各次调用之间保持不变，或者在调用间隔之间做时间插值。

陆地表面模型和海洋模型，除了简化模式外，也需要来自微物理和积云参数化格式的降雨。

在执行陆地表面格式后，要激活边界层格式，因为路表格式需要热通量和湿度通量。

