



物理过程参数化方案 对加勒比海台风模拟的影响

田琦, 郭延祥

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 针对大气模式的多个物理过程, 研究不同微物理过程和积云对流参数化方案组合对 WRF 模拟加勒比海地区台风路径和强度的影响。结果表明: 虽然台风路径模拟对于参数化方案组合的选择具有一定的“个例依赖”特性, 但综合来看, WSM5-Kessler 的组合方案对模拟加勒比海地区台风路径的模拟效果最好, 其次是 WSM6-Kessler 组合。台风强度模拟“个例依赖”特征不明显, 以 KF 积云方案为最优, 微物理过程方案对强度模拟影响不明显。

关键词: 港航工程; 台风; 物理过程参数化; 加勒比; WRF

中图分类号: U 61; U 65

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)S1-0007-04

Influence of physics scheme on cyclone simulation in Caribbean area

TIAN Qi, GUO Yan-xiang

(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: The numerical model WRF was applied to explore the impacts of different micro-physics schemes and cumulus parameterization schemes on the simulation of the track and intensity of cyclones which influenced Caribbean area. The results showed that even the best combination of parameterization scheme was different for each cyclone on the simulation of the track, the combination of WSM5-Kessler produced the best simulation of the track overall; Secondly, the combination of WSM6-Kessler was better. The simulation results of cyclone intensity are consistent. The result showed that the cumulus parameterization schemes KF was the best, and the effect of micro-physics schemes on the intensity simulation was not obvious.

Keywords: port and waterway engineering; cyclone; physics scheme; Caribbean; WRF

港口建设不断向远海、深水和开敞环境发展^[1], 这对获取外海风场及深水波要素提出了更高的要求。大气科学对风的研究有较为完善的观测和方法体系。在计算机技术发展、模式物理过程改善、大量非常规观测资料涌现和四维同化技术进步的推动下, 现代数值天气预报精度得到大幅提高^[2]。采用中尺度大气模式模拟外海风场, 并以此为驱动场模拟外海深水波浪场, 正成为确

定港航工程设计风浪参数的重要技术途径^[3]。

由于优越的地理位置, 加勒比海及中美洲地区正成为筑港热点地区^[4], 然而加勒比海地区是台风多发区, 台风及其引发的大浪严重影响着港航工程的安全。准确模拟台风路径及强度对提高加勒比海地区港航工程安全有重要意义。

中尺度大气模式是一个复杂的模型系统, 在采用数值方法求解控制大气运行的动力、热力学

收稿日期: 2016-06-16

作者简介: 田琦 (1982—), 女, 博士, 工程师, 从事河流海岸水沙数值模拟。

方程组的模型主体外,各种物理过程参数化方案对模拟结果有重要影响^[5]。李响^[6]通过 WRF-ARW 模拟了西北太平洋 20 个台风个例模拟,说明台风路径模拟对积云对流方案有“个例依赖”特点,同时模拟的台风强度以 KF 方案较好;刘还珠等^[7]研究了物理过程方案对我国东部海域台风预报的路径和气旋强度的影响,显示不同物理过程方案对台风中心位置预报有上百千米的差别,对预报台风强度也有重要影响。

1 试验方案设计

1.1 数值模式

采用国际上广泛使用的中尺度大气模式 WRF V3.4.1 作为基本模式^[8]。WRF 被称为下一代中尺度预报模式和同化系统,由美国大气研究中心(NCAR)和美国环境预报中心(NCEP)联合其他多家研究机构共同开发。WRF 有两个动力核心——用于预报的 NMM 和用于研究的 ARW,目前只有 ARW 在保持更新。WRF ARW 主控制方程为完全可压、非静力欧拉方程组,在水平方向采用笛卡尔坐标,在垂直方向采用地形追随质量坐标。空间离散采用 Arakawa-C 交错网格,时间离散方案采用时间分裂积分方案。WRF 在微物理过程、积云、边界层、表面层、陆面层、长波辐射、短波辐射等各物理过程方面都提供了多种常用的参数化方案。同时,WRF 也提供了逼近、三维变分、四维变分等数据同化方法。

WRF 的应用范围非常广泛,在尺度上从大的涡旋到全球模拟,实际应用包括实时数值天气预报、数据同化开发和研究、物理过程参数化研究、区域气候模拟、空气质量模拟、大气-海洋耦合和理想大气模拟。WRF 目前保持每年 2 版的更新速度,以吸收大气研究的最新成果。

本文主要研究对台风模拟影响最大的微物理过程和积云参数化方案组合对模拟台风路径和强度的影响,其他模式参数取值如表 1 所示。为了便于统一比较,模拟时段选择台风在海面上强度较大的 72 h。

表 1 模式参数取值

动力核心	ARW
计算域个数	1
地表数据分辨率/(°)	2
时间步长/s	30
输出间隔/min	360
地图投影	墨卡托
计算域中心	(29°N, -65°E)
格点数	311×291
d_x /km	21
d_y /km	21
垂向格点	28
长波辐射	RRTMG
短波辐射	RRTMG
表面层	Revised MM5 M-O
陆面层	unified Noah
边界层	YSU
格点分析逼近	不使用
格点表面分析逼近	不使用

模式地形地表数据采用 WRF 自带静态数据。模式初始和边界条件由 NCEP 全球再分析数据 FNL 提供,该数据采用全球预报模式 GFS 同化分析全球观测数据形成,比业务化预报系统晚 2 个小时启动,同化更多观测数据,精度更高。FNL 数据水平分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$,时间间隔 6 h (0、6、12、18 UTC)。

1.2 物理过程组合方案

由于模式网格不可能无限小,一些大气物理过程人们还没有完全理解,有些物理过程太复杂不易用方程求解,等等,所以单纯求解模型控制方程并不能很好地反映真实大气的所有运动过程,而这些物理过程对大气变化又有很重要的影响,在模式中通过参数化的方式加以考虑,用模式格点的可知变量值对次网格物理过程的反馈影响作“间接”近似估计^[9],只考虑小尺度运动对大尺度运动的总体影响,不考虑小尺度运动的微观结构,达到允许模型较大网格、较简单的物理模式和较少计算量的目的。WRF 包括 17 种微物理过程方案和 7 种积云对流参数化方案,本文仅研究较为典

型的 6 种微物理过程和 2 种积云参数化方案的组合, 每种组合的代码如表 2 所示。

表 2 物理过程组合方案代码

物理过程	Kain-Fritsch 积云方案	Betts-Miller-Janjic 积云方案
Kessler	K-K	K-B
WSM5	W5-K	W5-B
Lin	L-K	L-B
Ferrier	F-K	F-B
WSM6	W6-K	W6-B
WSM3	W3-K	W3-B

1.3 台风个例

台风信息使用美国海洋和大气局 (NOAA) 历史台风路径及信息数据。为保证台风受陆地影响较小, 选择 2003—2014 年间经过西北大西洋、对加勒比海地区影响较大的 10 个台风个例进行研究, 具体台风名称和模拟时段如表 3 所示。

表 3 所选台风个例及模拟时段

编号	台风名称	模拟时段
1	GONZALO	2014-10-14T00:00—2014-10-17T00:00
2	KATIA	2011-09-05T00:00—2011-09-08T00:00
3	OPHELIA	2011-09-30T00:00—2011-10-03T00:00
4	EARL	2010-09-01T00:00—2010-09-04T00:00
5	IGOR	2010-09-17T00:00—2010-09-20T00:00
6	BILL	2009-08-20T00:00—2009-08-23T00:00
7	HELENE	2006-09-17T00:00—2006-09-20T00:00
8	KARL	2004-09-19T00:00—2004-09-22T00:00
9	ISABEL	2003-09-12T00:00—2003-09-15T00:00
10	FABIAN	2003-09-01T00:00—2003-09-04T00:00

2 台风路径模拟结果分析

采用表 2 设定的物理过程组合方案, 分别模拟 10 场台风个例, 每 6 h 保存模拟结果, 与同时刻 NOAA 台风位置比较。将每个方案各时间点的路径误差求算术平均作为该方案的路径误差。统计结果如图 1 所示。

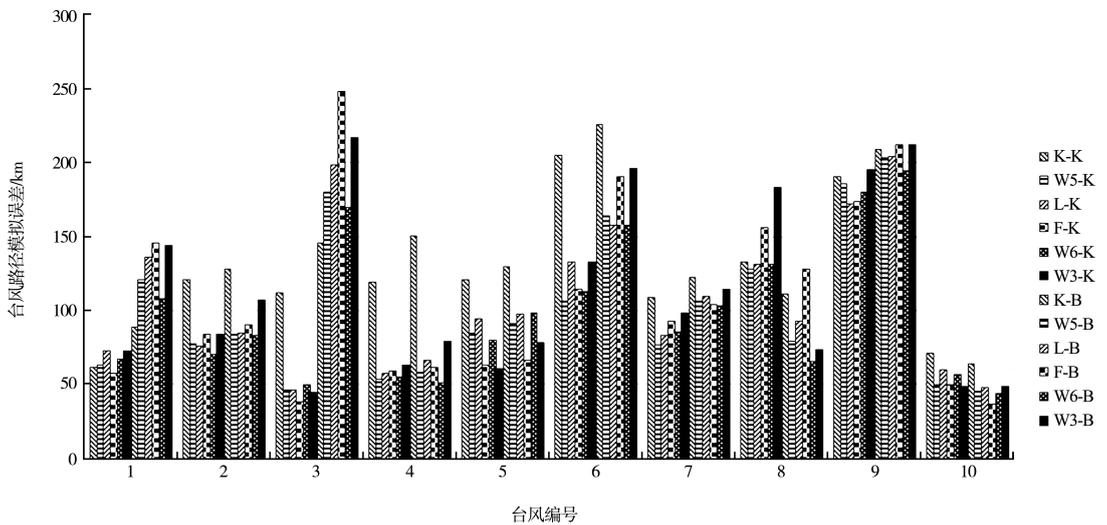


图 1 各方案模拟台风路径误差统计

对于个例 2、4、5、7、9、10, 除个别方案外, 各方案组合模拟路径误差相差不大, 一般小于 50 km, 但个例 1、3、6、8 各方案组合模拟路径误差相差较大, 最大误差与最小误差相差 100 km 以上, 从侧面说明物理过程参数化方案选择对模拟结果的重要性。路径误差统计显示出“个例依赖”的特征, 即每个个例的路径模拟最优方案组合并不相同, 这与文献结论一致。为了从总体上衡量

每个方案组合的优劣, 将每个个例中每个方案组合的模拟路径误差从小到大排序, 序号为 1~12, 每个方案的序号即为该方案组合在该个例模拟中的积分, 将每个方案组合在各个例中的积分相加即得到各方案组合的总积分 (表 4)。由于积分只能体现方案组合在路径模拟中的总体水平, 不能体现在各个例中的积分变动情况, 所以将各方案组合的积分方差也一并计算, 列在表 4 积分之后。

表 4 各物理过程组合方案模拟路径误差积分和方差

物理过程	Kain-Fritsch 积云方案	Betts-Miller-Janjic 积云方案
Kessler	88/9.9	99/6.1
WSM5	37/4.6	66/4.6
Lin	49/8.1	79/5.1
Ferrier	45/10.2	77/12.2
WSM6	44/6.6	53/9.0
WSM3	55/8.5	88/11.2

根据各方案组合总积分结果可以定性得出下列各微物理过程和积云组合方案对模拟加勒比海地区台风路径的效果较好：W5-K、W6-K、F-K。结合各方案的方差可以看出，在 3 个较优方案中 W5-K 的方差最小，即每个个例模拟台风位置与实

际台风位置都比较吻合，可以说 W5-K 的组合方案是模拟加勒比海地区台风路径的最优方案。需要说明的是，由于路径模拟有“个例依赖”特征，这里的最优方案只是总体统计结论，并不适用于所有台风，当采用最优方案模拟台风路径误差较大时一定要试验其他可能的物理过程方案组合以获得最优的结果。

3 台风强度模拟结果分析

以台风中心低气压作为台风强度变量，将每方案各时刻的台风强度模拟误差做时间平均作为该组合方案的模拟强度误差，按个例统计结果如图 2 所示。

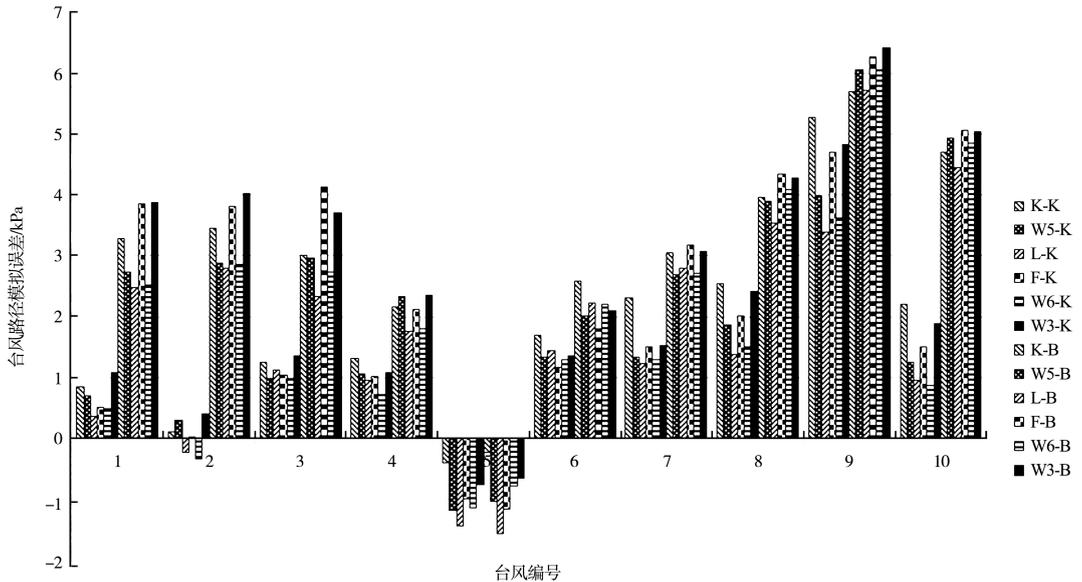


图 2 各方案模拟台风强度误差统计

从统计结果看，除 5 外，其他个例采用 KF 积云方案比采用 BMJ 积云方案误差要小 1~2 kPa，而采用哪种微物理过程方案对结果影响不大，即强度误差的“个例依赖”特性不明显。对于 5 (2010IGOR)，Kessler 微物理过程明显优于其他过程，而积云方案影响反倒不明显，且各方案模拟台风强度均大于实际台风强度，可能原因是同时期附近存在有另一气旋，双气旋互相影响使模拟结果出现特殊性。考虑到 5 中各方案强度模拟误差都较小，应结合台风路径模拟情况综合选择最优方案。

4 结论

1) 在未采用数据同化等技术手段的条件下，

WRF 较准确地模拟了台风的路径和强度，说明采用中尺度大气模式模拟台风有较高的精度，可以用于工程风浪的计算。

2) 台风路径模拟总体上 W5-K 组合较优，其次是 W6-K 组合，但台风路径模拟有明显的“个例依赖”特征。当采用较优方案模拟出现较大误差时应考虑采用其他物理过程进行模拟。

3) 台风强度模拟“个例依赖”特征不明显，以 KF 积云方案为最优，微物理过程方案对强度模拟影响不明显。总体上，台风强度模拟误差较大年个例数较少，说明台风场模拟关键是台风路径的模拟精度。