

文章编号: 2096-1618(2019)02-0162-10

# WRF 模式中积云对流参数化方案 对南海土台风“Ryan”模拟的影响研究

梁家豪, 陈科艺, 李毓

(成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225)

**摘要:**为了研究数值模式中不同积云对流参数化方案对南海土台风模拟的影响,以 T9514 号南海土台风“Ryan”为例,利用中尺度 WRF-ARW 模式(版本 3.7.0)作对比试验,分析比较使用不同积云对流参数化方案模拟的台风路径、强度和物理量。结果表明,由 Kain-Fritsch (KF) 方案模拟得到的台风路径有北折过程,台风移速较快,台风强度较弱;由 Betts-Miller-Janjic (BMJ) 方案模拟得到的台风移动速度快,台风中心对流强,台风强度较强;由 Tiedtke (TDK) 方案模拟得到的台风路径最接近实况路径,台风强度较弱。

**关键词:**大气科学;数值模拟;南海土台风;WRF 模式;积云对流参数化方案;台风路径;台风强度

**中图分类号:**P444

**文献标志码:**A

**doi:**10.16836/j.cnki.jcu.2019.02.010

## 0 引言

南海诸岛及其附近海域,是侵袭中国的台风发源地之一。南海海域较小,是西太平洋最大的半封闭边缘海域,每年在南海生成的热带气旋占西北太平洋热带气旋总数的 30% 左右,通常把发生发展在南海地区的台风称为“南海台风”。南海台风主要分为两类:第一类是生成于西北太平洋后逐渐发展移入南海,俗称“洋台风”或“客台风”;第二类是生成于南海海域的台风,俗称“土台风”<sup>[1]</sup>。在气象学上,南海土台风也称为“非常态台风”,具有来势急(常在生成后较短时间内就登陆),强度弱(台风的强度多为强热带风暴等级,只有少数能达到台风等级以上),范围小(直径大约只有 200 km),路径复杂(台风移动路径复杂,台风登陆点难预测)等特点。南海土台风受到复杂的近海地形、青藏高原地形以及亚洲季风、西太平洋副热带高压等天气系统的共同影响,检测和预报的难度较大。

台风路径和强度的预报误差来源主要有两方面:第一方面是数值模式本身的误差;第二方面是大气和海洋初始状态的误差。模式中物理参数化方案的不确定性是模式误差的一个重要组成部分,选用不同物理参数化方案组合会对台风路径和强度的预报产生较大影响<sup>[2-3]</sup>。由于模式分辨率一般大于积云的尺度,在模式中总体的积云效果通常用积云对流参数化方案描述<sup>[4-6]</sup>。在中尺度模式中,积云对流参数化方案描述的积云尺度和中尺度之间的能谱差距,与实际大气相

比有较大误差,是中尺度数值预报最大的误差来源之一<sup>[7]</sup>。高栓柱等<sup>[8]</sup>和王振会等<sup>[9]</sup>的研究认为,数值模式的物理参数化方案中,积云对流参数化方案对 500 hPa 高度场预报的影响最大,因此对台风路径预报的影响更为显著。有学者做了关于印度洋区域台风对 MM5 或 WRF 模式中物理参数化方案选择的敏感性的研究<sup>[10-14]</sup>,指出在中尺度数值模式中,选用不同物理参数化方案对印度洋区域台风路径与强度的模拟均有一定影响,积云对流参数化方案对台风路径预报的影响最大。Karyampudi 等<sup>[15]</sup>认为模式对台风路径以及强度模拟的敏感性主要是不同物理参数化方案对积云中潜热计算的描述不同而导致的。Davis 等<sup>[16]</sup>认为台风路径模拟的差异主要是由对流层的 Potential-Vorticity 异常以及深对流风的差异引起的,而强度模拟的差异主要是由于各自不同的触发机制导致的。

虽然目前有较多关于不同物理参数化方案对西北太平洋区域热带气旋路径与强度影响的研究,但有关南海热带气旋的研究仍很少且不够深入,尤其是在南海生成的“本土台风”。文中研究的个例为 1995 年第 14 号台风“Ryan”,是南海历史上土生的最强台风。它生成发展于南海,逆向穿越巴士海峡,掠过台湾东南近海无明显减弱,进入西太平洋后向北移动并两次登陆日本。利用 WRF-ARW 模式,选取 3 种不同积云对流参数化方案(Kain-Fritsch, KF; Betts-Miller-Janjic, BMJ; Tiedtke, TDK)对 T9514 号台风“Ryan”进行模拟,研究不同积云对流参数化方案对南海土台风“Ryan”路径和强度模拟预报的敏感性。

# 1 资料与研究方法

## 1.1 资料

采用欧洲中期天气预报中心提供的 ERA-interim (Jan 1979-present) 全球再分析资料,时间分辨率为 6 h,水平分辨率为  $1^\circ \times 1^\circ$ ,垂直方向为 10 ~ 1000 hPa 共 32 层,作为模式的驱动场,并用作环境场分析研究。台风资料采用日本气象厅东京台风中心提供的台风最佳路径数据集资料。实况降水资料由台湾地区气象局提供。

## 1.2 积云对流参数化方案

采用中尺度数值模式 WRF-ARW (3.7 版本),选取 3 种常用的积云对流参数化方案分别是: Kain-Fritsch (KF) 方案<sup>[17-19]</sup>, Betts-Miller-Janjic (BMJ) 方案<sup>[20-22]</sup>和 Tiedtke (TDK) 方案<sup>[23-25]</sup>,其差异如表 1 所示,并且设计不采用任何积云对流参数化方案的控制试验,下称其为 NO 方案。

表 1 KF, BMJ 和 TDK 方案的对比

积云对流参数化方案	水汽相态	动量	浅对流
KF	云水、雨水、云冰、雪	No	Yes
BMJ		No	Yes
TDK	云水、云冰	Yes	Yes

**Kain-Fritsch (KF) 方案:**该方案是对流有效位能释放式方案,由原 Kain-Fritsch (1990, 1993) 方案的基础上改进发展而来。KF 方案是基于“在某一格体内,对流有效势能在对流的寿命期内会被对流活动完全消耗”的假设下,考虑了积云中上升和下沉气流的卷入卷出过程及相对粗糙的微物理过程等影响,描述伴随有水汽上升下沉的一种简单云模式<sup>[17-19]</sup>。

**Betts-Miller-Janjic (BMJ) 方案:**该方案是对流调整式方案,是从 Betts-Miller 方案发展来的。在存在特征温湿结构的对流区发生对流活动时,通过对流调整方法,调整大气的温湿结构向着这种设定的特征结构转变<sup>[20-22]</sup>。

**Tiedtke (TDK) 方案:**TDK 方案是湍流扩散式方案,是结合了 Kuo 方案和 Arakawa Schubert 方案的优点,同时克服两者缺点的总体质量通量型积云方案<sup>[26]</sup>。该方案用一支总体上升或下沉气流描述该网格内所有积云单体的等效效果。TDK 方案能够描述各种类型的对流,包括基于对流有效位能调整的闭合假设,与大尺度辐合流相联系的穿透对流;基于次云层水汽收支平衡假设的

抑制条件下的浅对流;以及基于大尺度水汽辐合平衡假设,边界层以上的位势不稳定大气和大尺度上升相联系的热带外有组织中层对流<sup>[23-25]</sup>。

## 1.3 试验设计

试验中采用 3 层移动嵌套模拟,模式模拟区域分为 d01, d02, d03 (图 1): 其中 d01 ( $0^\circ \text{N} \sim 57^\circ \text{N}, 85^\circ \text{E} \sim 164^\circ \text{E}$ ) 是最外层的粗网格区域,该层的模式积分结果用于对比分析各组试验的环流形势;第二层 d02 ( $10^\circ \text{N} \sim 30^\circ \text{N}, 106^\circ \text{E} \sim 130^\circ \text{E}$ ) 是固定嵌套网格区域,第二层的模式积分结果用于物理量诊断;最内层红色框 d03 是移动嵌套网格区域,该层模式预报结果会提供模拟的台风中心坐标和最低气压,用于台风路径和强度的分析。3 层网格的模式水平分辨率分别为 36 km、12 km 和 4 km,垂直方向为 36 层不等距的  $\sigma$  层。

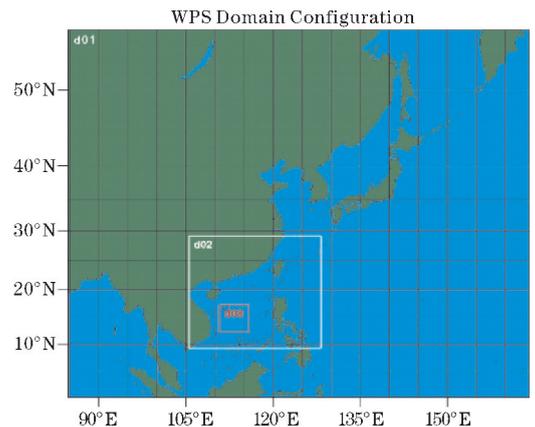


图 1 WRF 模拟区域

区域 d01 和 d02 采用积云对流参数化方案,区域 d03 的水平分辨率为 4 km,该分辨率可识别积云尺度,因此区域 d03 不采用积云对流参数化方案;其中 3 组敏感性试验采用的 3 种常用积云对流参数化方案分别为: Kain-Fritsch (KF) 方案<sup>[17-19]</sup>, Betts-Miller-Janjic (BMJ) 方案<sup>[20-22]</sup>和 Tiedtke (TDK) 方案<sup>[23-25]</sup>;控制试验的 3 层区域均不采用任何积云对流参数化方案(定义为 NO 方案)。模式的其他物理参数化方案(表 2)均在 3 层积分区域中启用,4 组试验除积云对流参数化方案不同,其他设置均一致。

模拟时段为 1995 年 9 月 17 日 00 时至 22 日 06 时(世界时,下同),模拟时长共为 126 h,时间积分步长为 180 s。该时段为台风“Ryan”从热带风暴,逐渐加强到四级超强台风的过程(表 3)。d01 区域模拟启动时间为 1995 年 9 月 17 日 00 时,先模拟 12 h; d02 和 d03 区域模拟启动时间为 1995 年 9 月 17 日 12 时,1995 年 9 月 17 日 00 时至 18 日 00 时共 24 h 为模式的 spin-up

时间。

表2 模式的其他参数设定

模式部分	设定	
模式	WRF3.7	
水平分辨率/km	36:12:4	
模式积分时间/h	126	
边界层参数化方案	YSU	
微物理参数化方案	WSM6	
辐射方案	短波	RRTMG
	长波	RRTMG
积云对流参数化方案(仅在积分区域d01和d02中启用)	EXP1:KF	
	EXP2:BMJ	
	EXP3:TDK	
	EXP4:NO	

## 2 台风个例介绍

选取的台风个例为1995年第14号台风“Ryan”(生命历程见表3),是南海历史上土生的最强台风。台风“Ryan”生成发展于南海,逆向穿越巴士海峡进入西太平洋,掠过台湾东南近海无明显减弱,并两次登陆日本。

表3 1995年台风“Ryan”生命历程

时间段	台风等级
9月15日00时-9月16日00时	热带低压
9月16日06时-9月17日18时	热带风暴
9月18日00时-9月19日06时	强热带风暴
9月19日12时-9月23日15时	台风
9月23日18时-9月23日21时	强热带风暴
9月24日00时-9月24日06时	热带风暴
9月24日09时-9月25日18时	温带气旋

1995年09月15日(图2a),西太平洋地区存在T9512台风“Oscar”,在其西南方菲律宾上空存在一个低压区;16-18日(图2b~d),台风“Oscar”逐渐向东北方向移动消亡;东亚以及沿海地区处于鞍形气压场的环流形势下,菲律宾上空的低压断裂,在南海中部和西太平洋地区分别形成一个热带低压。位于西太平洋地区的热带低压逐渐发展,成为T9513台风“Polly”向东北方向发展移动;位于南海中部的热带低压在形成初期,处于鞍形气压场,受环境场的影响较小,在自身的内力作用下,摆动向北发展;9月16日,该热带低压持续发展加强,强度升级为热带风暴,并正式被JMA RSMC TOKYO命名为“Ryan”;9月17日至18日,热

带风暴“Ryan”继续发展,强度加强为强热带风暴等级;9月19日开始,500 hPa上(图2e~i)副高由经向型转变为纬向型,西风急流中的西风槽东移,槽前的西南风与副高西北侧西风结合成西南急流,使“Ryan”向东北方向发展移动,移速逐渐加快;而后东亚大槽东移,受槽前西南气流和西风急流共同作用,“Ryan”开始出现爆发性增强,路径移向转为东北偏东方向,强度达到强台风等级,而后增强速度减慢,但仍持续缓慢增强。9月22日,在掠过台湾以南前,在近海岸地区测得最大风速达到66.8 m/s,“Ryan”成为南海本土产生的第一个超强台风。9月22-23日,“Ryan”在台湾东南近海掠过,以西南东北向的方向,逆向经过巴士海峡,移出南海。期间台风虽然受到台湾的中央山脉等高大地形影响,但没有明显减弱,直至抵达台北以东洋面海域后强度才开始逐渐减弱。“Ryan”继续维持强台风的强度向东北方向移动,在9月23日,维持该强度登陆日本九州地区;登陆后继续横跨日本进入日本海,强度减弱为台风等级,并于9月24日再次登陆日本本州北部地区,见图3(f)和表3。

## 3 试验结果分析

### 3.1 台风“Ryan”模拟路径检验

由台风“Ryan”的路径模拟结果对比(图3)可知,各组试验均能模拟出与JMA实况资料一致的台风“Ryan”的西南-东北的移动过程,并且TDK方案的路径模拟结果优于KF、BMJ和NO方案。

其中,TDK方案(图3e)能很好地模拟9月17-20日期间,台风移动先向西,而后折向北,最后转为西南-东北方向的全过程,并且路径的整体走势与JMA的实况路径基本一致。而其他3组试验则不能很好地模拟上述路径转折的过程。NO、KF和BMJ3种方案模拟的台风路径与JMA实况路径相比,台风向东北方向移动的速度均比实况更快,台风的移动方向与实况一致。NO方案组试验(图3b)和KF方案组试验(图3c)的台风路径与JMA实况路径相比有不同程度的北折。NO方案试验从9月21日06时开始,模拟的台风偏北分量增大,开始逐渐偏离实况路径。KF方案试验从9月21日18时开始,模拟的台风偏北分量增大,路径迅速北折,偏离实况路径移动方向。BMJ方案组试验(图3d)模拟的台风向东北方向移动速度比JMA实况更快,台风移动路径与JMA实况所示的台风发展移动趋势较为一致。

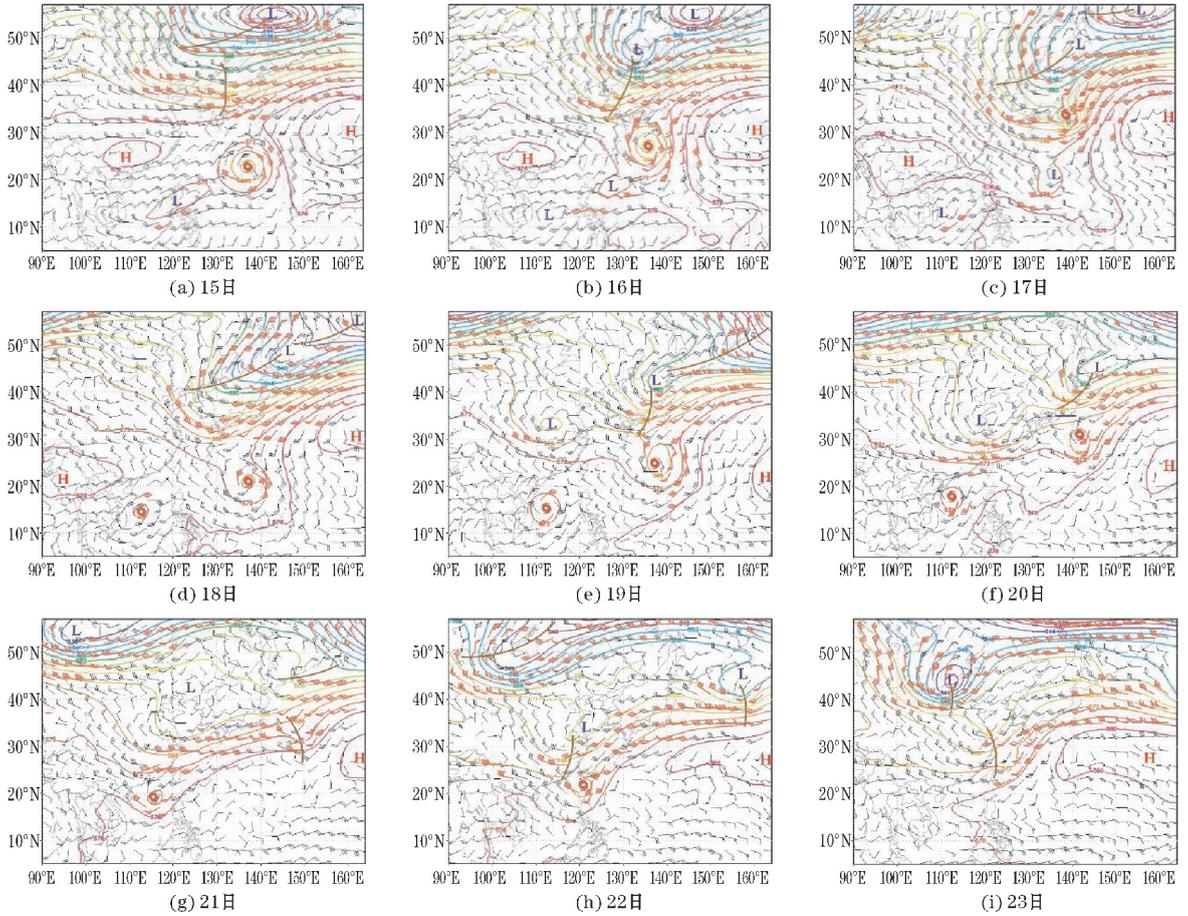


图 2 1995 年 9 月 15-23 日每日 00 时的东亚地区 500 hPa 天气形势图

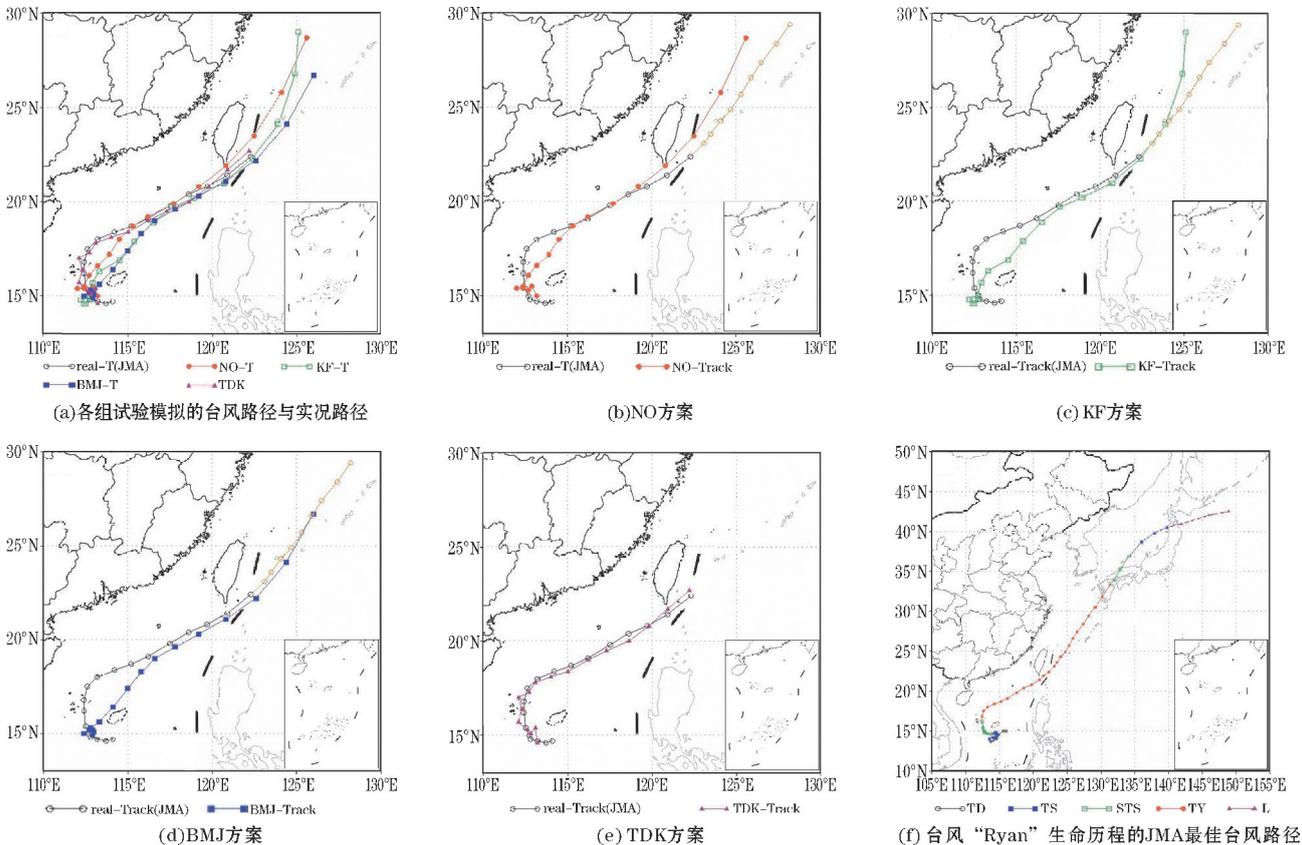


图 3 不同积云对流参数化方案模拟的台风“Ryan”的路径与 JMA 最佳台风路径对比

图4为在地球球面坐标系下,4组试验方案模拟的台风路径误差。4组试验中,台风移动路径误差最小的为TDK方案试验,误差最大的为KF方案试验。虽然NO方案试验和BMJ方案组试验模拟的路径误差不是最大,但第120小时预报时次的平均误差仍达到150 km以上。这4组试验模拟结果均较好的时间段为1995年9月18日00时至19日18时,该时段台风路径平均误差小于100 km。而在1995年9月19日18时(约模拟了3 d)后,NO方案试验、KF方案试验和BMJ方案试验模拟得到的台风移速开始增大(图3 b~d),模式预报的台风路径逐渐偏离实况路径,台风路径误差也逐渐增大。

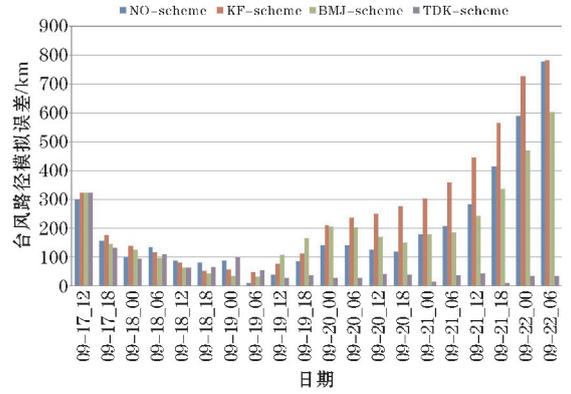


图4 不同积云对流参数化方案模拟的台风“Ryan”路径误差统计

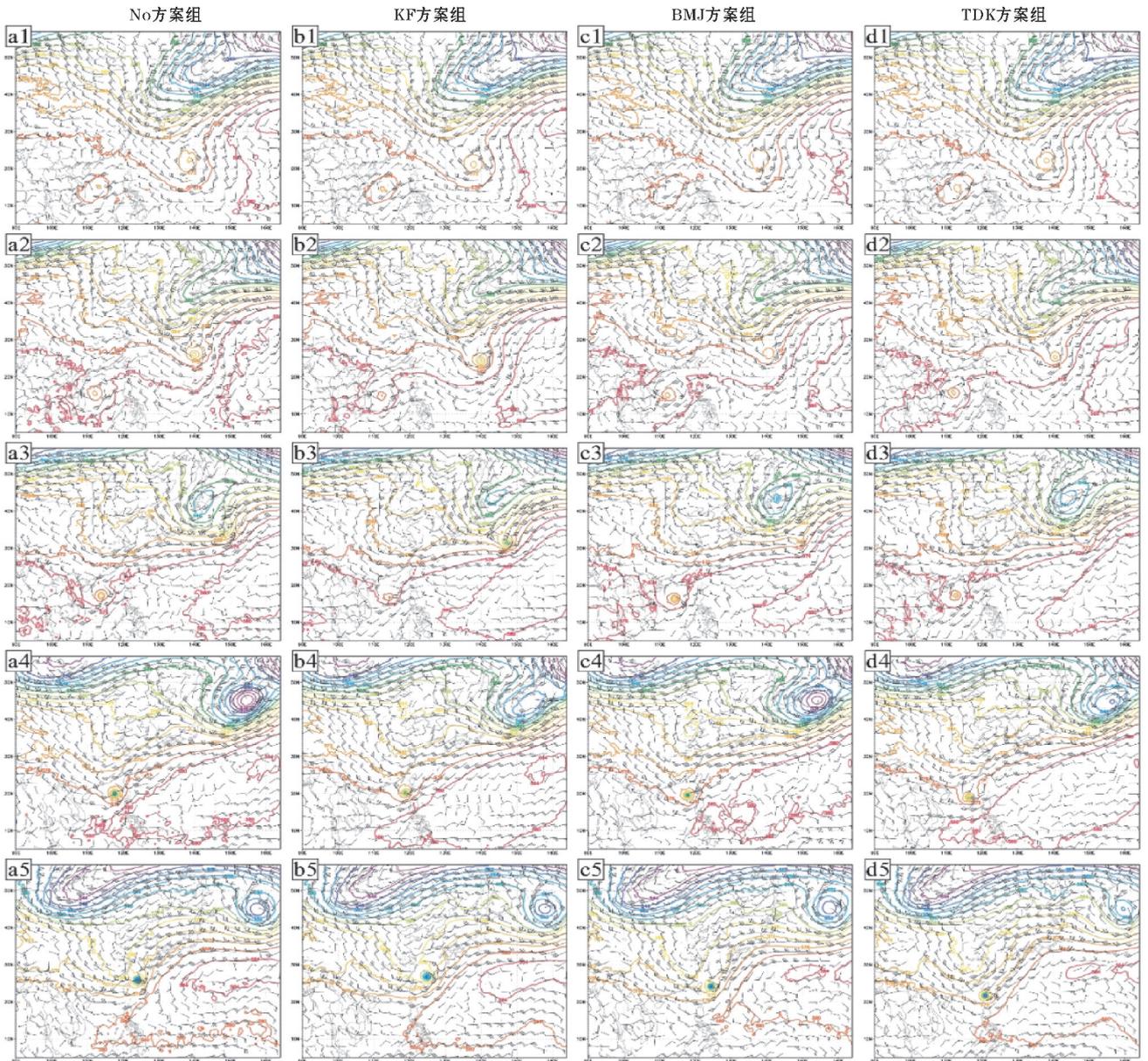


图5 不同积云对流参数化方案模拟 T9514 号台风“Ryan”第 24,48,72,96 和 120 时预报时次的 500 hPa 高度场与流场的对比

在500 hPa高度上(图5),各组试验均能模拟得到1995年9月18日至19日(图5 1-2),东亚及南海地区处于鞍型气压场下,台风“Ryan”强度较弱,发展较慢,在自身内力作用下向北移动的过程;1995年9月18日至22日(图5 1~5),副热带高压由经向转变为纬向的过程,东亚大槽东移过程以及台风沿着副高西北侧的西南气流向东北移动的过程等均能呈现。

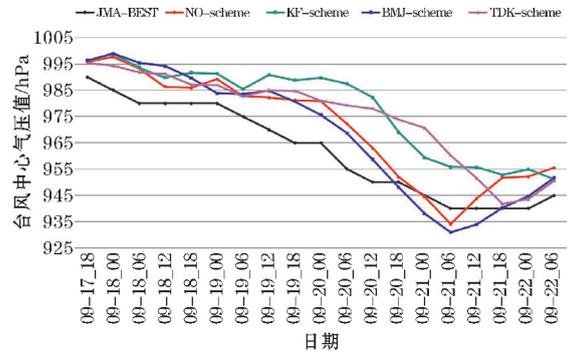
各组试验模拟结果(图5)与ERA-interim再分析资料相应时刻的高度场和流场(图2d~h)对比发现:500 hPa高度上,NO方案组试验(图5a1~a5)和KF方案组试验(图5b1~b5)的副高范围比ERA-interim再分析资料(图2d~h)所示范围大,副高主体及其西北侧的引导气流偏北,台风“Ryan”的偏北分量增大,路径出现北折。BMJ方案组试验模拟得到500 hPa上(图5c1~c5)的副高范围比ERA-interim再分析资料(图2d~h)所示范围小,副高主体偏东偏弱,台风向东北方向发展移动阻力较小,使台风能保持沿西南-东北方向加速移动。TDK方案组试验(图5d1~d5)模拟得到500 hPa上的副高范围最接近ERA-interim再分析资料(图2d~h)所示副高范围,台风“Ryan”最先处于鞍形气压场中,在自身的内力作用下向北移动一段距离,接着在副高西北侧的西南气流引导下,向着东北方向移动,模拟的路径较符合实况。

综上所述,模式采用不同积云对流参数化方案会产生不同的预报结果,台风路径的预报对积云对流参数化方案的选择具有较强敏感性。

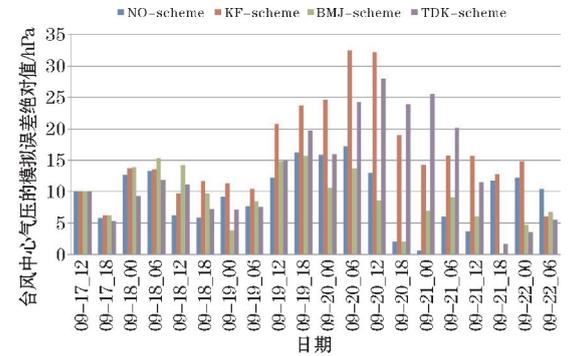
### 3.2 台风“Ryan”模拟强度检验

如图6所示,选择不同积云对流参数化方案模拟得到的台风中心最低气压相差较大。各组试验模拟的台风强度在9月19日06时(即第54小时预报时次)前后开始产生较大的差异,这种差异随着模拟时间的延长呈现先增大后减小的趋势(图6a),并且在模拟的9月19日12时至21日12时(即第60至108小时预报时次)误差较大(图6b)。BMJ方案组试验模拟得到的第96小时预报时次台风强度与TDK方案组试验模拟结果相差达到了33 hPa,可见台风强度模拟对积云对流参数化方案的选择具有很强的敏感性。

BMJ方案组试验模拟得到的台风强度跟JMA实况比较接近,而KF方案组试验和TDK方案组试验模拟得到的台风强度偏弱,不使用积云对流参数化方案的NO方案组试验模拟得到的台风强度介于KF方案组试验和BMJ方案组试验的结果之间。



(a) 台风“Ryan”的中心气压



(b) 台风“Ryan”的强度误差统计

图6 4种不同积云对流参数化方案模拟台风“Ryan”的中心气压与强度误差统计

假相当位温 $\theta_{se}$ 是综合考虑温湿度和气压等物理量的一个指标,它随高度的变化是气层对流稳定度的重要判据。第48、72、96小时预报时次(即9月19日00时、20日00时和21日00时),台风中心100 km半径范围内,平均假相当位温随高度变化的特征如图7所示,3个预报时次,4组试验模拟的1000~600 hPa假相当位温随高度减小,存在对流不稳定区域。而在第48、72小时预报时次(图7a、b),KF方案组试验和TDK方案组试验的600~450 hPa为对流中性层。在不稳定层(1000~600 hPa)中,NO方案组试验和BMJ方案组试验的假相当位温比另外两组试验的结果更高,表明BMJ方案组试验和NO方案组试验中,能量可以更多地从低层传输到对流层中上层,因此模拟的台风暖心结构更为显著,台风的强度更强。

### 3.3 台风“Ryan”降水检验

在WRF模式中,总降水量为对流降水量与非对流降水量之和。由于NO方案组试验没启用积云对流参数化方案,因此NO方案组试验降水量预报结果为非对流降水量。

4组试验模拟的第72小时和第96小时预报时次,模式预报的台湾地区24 h累积降水量与实况降水量空间分布如图8所示,各方案组的降水预报的结果

差异很大,模式预报效果不理想。4组试验中,TDK方案组试验预报效果最好,降水落区和24 h累积降水量最接近实况,但仍存在空报漏报的地区;NO方案组试

验、KF方案组试验和BMJ方案组试验预报效果较差,模式预报的台湾地区24 h累积降水量空间分布与实况相比,存在很多空报漏报的地区。

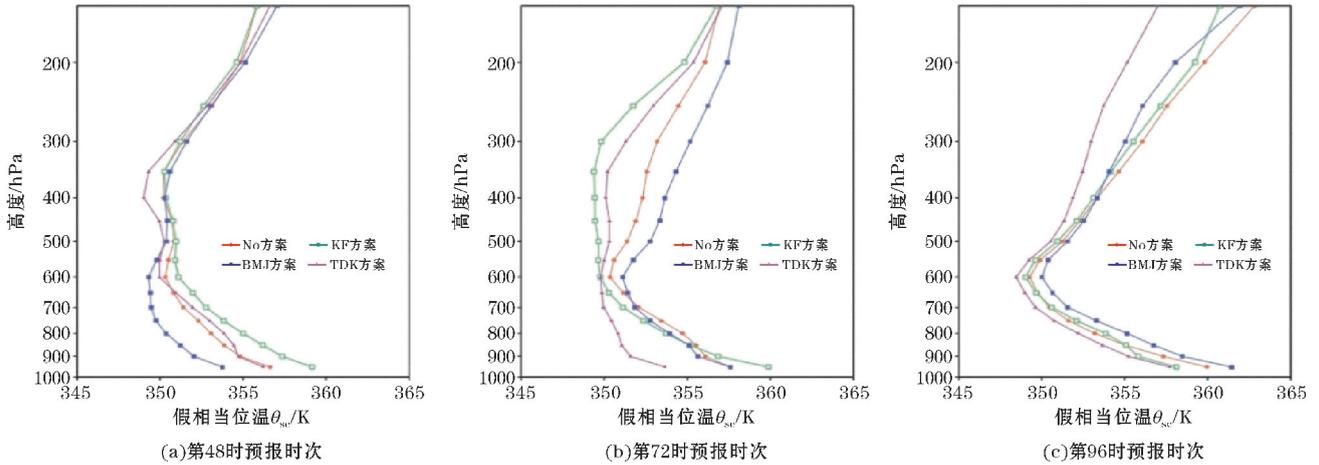


图7 采用不同积云对流参数化方案模拟 T9514 号台风“Ryan”第 48、72、96 小时预报时次台风中心 100 km 半径的平均垂直假相当位温  $\theta_{se}$

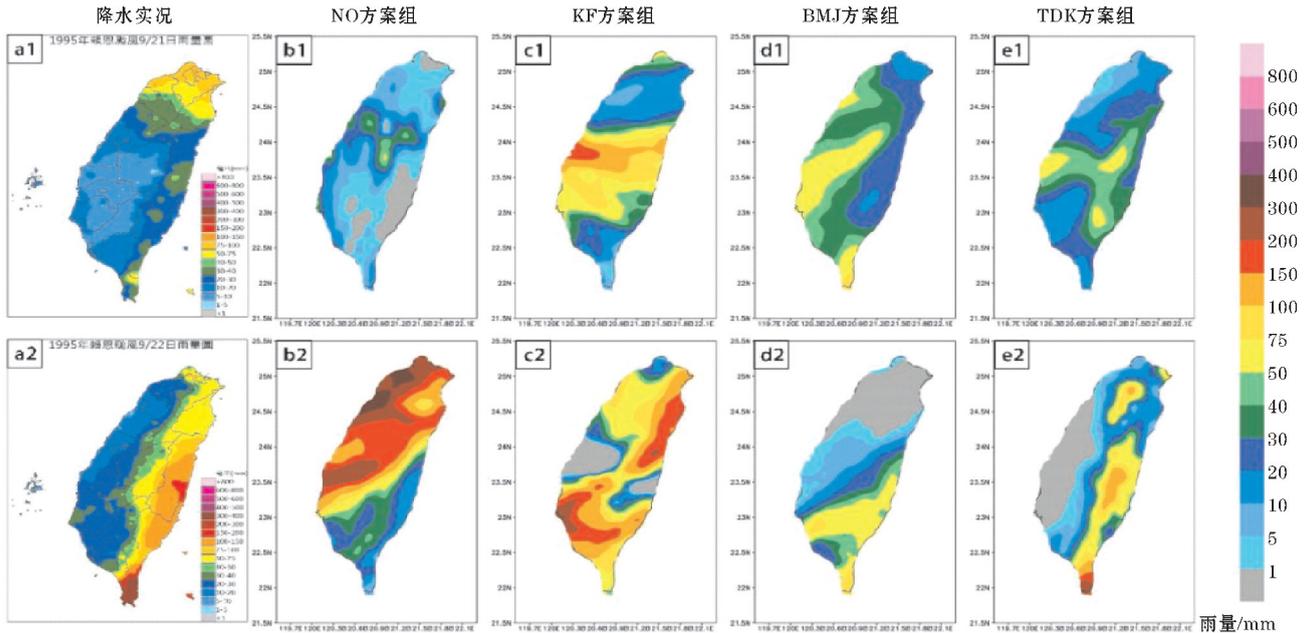


图8 不同积云对流参数化方案模拟 T9514 号台风“Ryan”第 72 时(a1 ~ e1)和第 96 时(a2 ~ e2) 预报时次在台湾地区的累积 24 h 降水量与实况降水量的空间分布

图 9 和图 10 的垂直廓线为模拟的第 48、72、96 小时预报时次(即 9 月 19 日 00 时、20 日 00 时和 21 日 00 时),台风中心 100 km 半径范围内面积平均的温度和垂直速度随高度的变化。其中,温度廓线(图 9a ~ c)表明 NO 方案组试验的 0 °C 层高度随时间变化而上下波动;KF 方案组试验的 0 °C 层高度随时间抬升;BMJ 方案组试验的 0 °C 层高度随时间变化不大;TDK 方案组试验的 0 °C 层高度随时间逐渐下降。另外,TDK 方案试验的 0 °C 层高度最高,NO 方案试验的 0 °C 层最低,BMJ 方案试验和 KF 方案试验的 0 °C 层高度介于前两者之间。

速度廓线(图 10a ~ c)表明 NO 方案组试验和 KF 方案组试验垂直速度很小,在 0 值线附近波动;BMJ 方案组试验的垂直速度呈现一个波动状态,在第 48 小时预报时次后(图 10a),从 600 hPa 无辐合辐散层到对流层顶,该方案模拟的垂直速度迅速增大;在第 72 小时预报时次(图 10b),台风中心低层系统的垂直速度开始增大;而在第 96 小时预报时次后(图 10c),1000 ~ 500 hPa 层的垂直速度减小;BMJ 方案组试验在此 3 个时刻的模拟结果呈现为 500 hPa 以上的对流层,台风中心的上升速度强烈,对流较强,台风强度较强;TDK 方案组试验在此 3 个时刻的垂直速度是最大的,只在第

72 小时预报时次后(图 10 b),1000~350 hPa 层中,该试验的上升速度小于该时刻的 BMJ 方案组试验的结果。

综上,由于 NO 方案组试验和 KF 方案组试验模拟的 0 °C 层偏低,而且上升气流偏弱,水汽凝结形成降

雨,降水偏多(图 8 b1、b2、c1、c2)。而 BMJ 方案试验和 TDK 方案试验在以上 3 个预报时刻模拟的 0 °C 层高度较高,垂直速度较大,液态水粒子从低层抬升至凝结高度,在高层凝结为固态水粒子,使得落到地面的降水减少(图 8 d1、d2、e1、e2)。

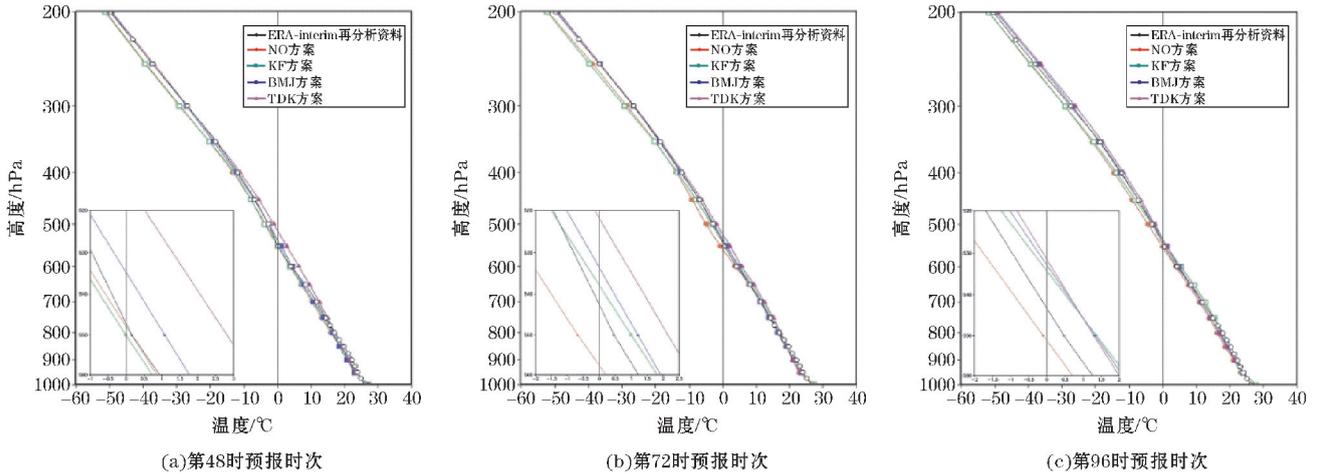


图 9 采用不同积云对流参数化方案模拟 T9514 号台风“Ryan”第 48、72、96 时预报时次台风中心半径 100 km 范围内面积平均的温度廓线

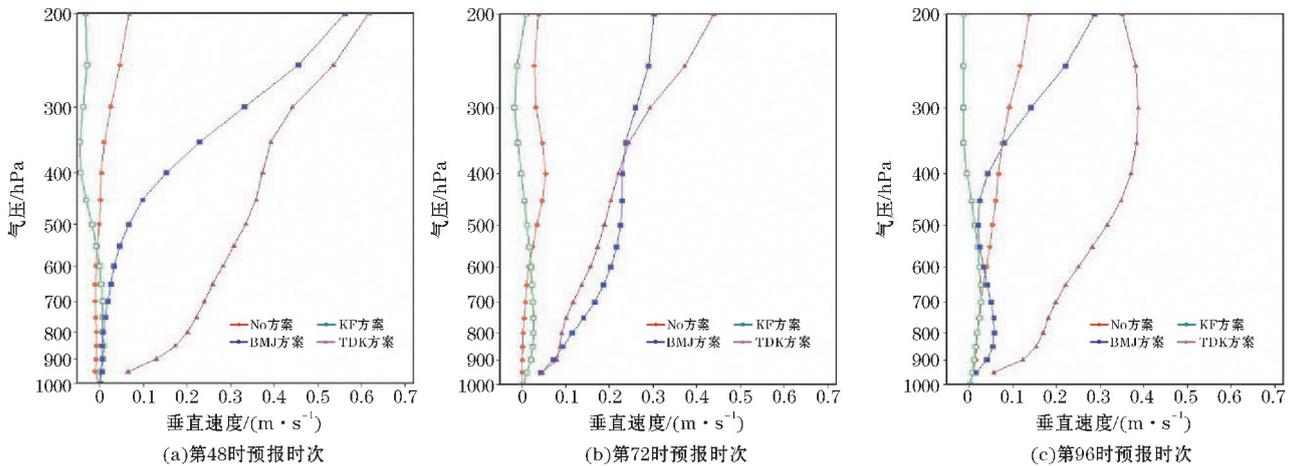


图 10 采用不同积云对流参数化方案模拟 T9514 号台风“Ryan”第 48、72、96 时预报时次台风中心半径 100 km 范围内面积平均的垂直速度

## 4 结论

利用 WRF-ARW 模式 3.7 版本,研究不同积云对流参数化方案(KF, BMJ 和 TDK)对 T9514 号台风“Ryan”路径、强度、垂直速度等物理量模拟的敏感性,以及初步探究其中的物理机制,主要结论如下:

(1) 南海土台风“Ryan”的模拟结果表明:土台风“Ryan”的数值预报对积云对流参数化方案的选取有较强的敏感性。

(2) 3 组试验中,采用 TDK 积云对流方案的平均路径模拟误差最小,不同积云对流参数化方案对环境场模拟的差异是造成台风路径预报差异的主要原因。

(3) 台风“Ryan”的模拟结果所示,选用 BMJ 方案

模拟的台风强度最强,而由 KF 方案模拟得到的台风强度相对较弱,另外 TDK 方案和不采用积云对流参数化方案的 NO 方案模拟得到的台风强度介于两者之间。

(4) 模式预报的台风移动路径出现差异后,台风偏离实况路径,此时台风处于不同的环境场下,模式模拟的台风强度会受此影响而出现差异,同时也导致台风降水的空间分布和降水量出现较大差异。

针对南海土台风“Ryan”个例进行不同积云对流参数化方案的敏感性分析,但是参数化的作用会受到个例,模式区域选取,模式分辨率的设置和其他物理参数化方案的选取等诸多因素影响。而且台风模拟预报结果的好坏与积云对流参数化方案的选择相关,但存在“个例依赖”的特点,即不同台风的模拟需要选择最

合适的积云对流参数化方案才会得到最佳的预报效果<sup>[3]</sup>。各种积云对流参数化方案和各种物理量参数化方案组合都各有优点和不足,未来将开展采用不同的驱动场数据,增加台风研究个例的样本,通过多种物理参数化方案组合模拟多个个例,深入分析不同物理参数化方案各自的作用效果和各种组合的作用效果等,以揭示不同物理参数化方案在台风模拟中的作用。

## 参考文献:

- [1] 蒋迪,黄菲,郝光华,等.南海土台风生成及发展过程海气热通量交换特征[J].热带气象学报,2012(6).
- [2] 李响.WRF模式中积云对流参数化方案对西北太平洋台风路径与强度模拟的影响[J].中国科学(地球科学),2012(12).
- [3] Charney J G, Eliassen A. On the growth of the hurricane depression[J]. J Atmos Sci, 1964, 21: 68-75.
- [4] Kuo H L. Further studies of the parameterization of the influence of cumulus convection on large-scale flow[J]. J Atmos Sci, 1974, 31: 1232-1240.
- [5] Frank W M. The cumulus parameterization problem [J]. Mon Weather Rev, 1983, 111: 1859-1871.
- [6] Arakawa A. The cumulus parameterization problem: Past, present, and future [J]. J Clim, 2004, 17: 2493-2525.
- [7] Molinari J, Dudek M. Parameterization of convective precipitation in mesoscale numerical models: A critical review. Mon Weather Rev, 1992, 120: 326-344.
- [8] 高栓柱,孟智勇,杨贵名.台风麦莎渤海转向的可预报性研究[J].气象,2009,35:8-14.
- [9] 王振会,河惠卿,金正润,等.积云参数化和微物理方案不同组合应用对台风路径模拟效果的影响[J].热带气象学报,2009,25:435-441.
- [10] Mukhopadhyay P, Taraphdar S, Goswami B N. Influence of moist processes on track and intensity forecast of cyclones over the north Indian Ocean [J]. J Geophys Res, 2011, 116: D05116.
- [11] Osuri K, Mohanty U, Routray A, et al. Customization of WRF-ARW model with physical parameterization schemes for the simulation of tropical cyclones over North Indian Ocean [J]. Nat Hazards, 2011.
- [12] Raju P, Potty J, Mohanty U. Sensitivity of physical parameterizations on prediction of tropical cyclone Nargis over the Bay of Bengal using WRF model [J]. Meteorol Atmos Phys, 2011, 113: 125-137.
- [13] Srinivas C V, Venkatesan R, Rao D V, et al. Numerical simulation of Andhra severe cyclone (2003): Model sensitivity to the boundary layer and convection parameterization [J]. Pure Appl Geophys, 2007, 164: 1465-1487.
- [14] Mandal M, Mohanty U C, Raman S. A study on the impact of parameterization of physical processes on prediction of tropical cyclones over the bay of bengal with NCAR/PSU mesoscale model [J]. Nat Hazards, 2004, 31: 391-414.
- [15] Karyampudi V M, Lai G S, Manobianco J. Impact of initial conditions, rainfall assimilation, and cumulus parameterization on simulations of Hurricane Florence (1988) [J]. Mon Weather Rev, 1998, 126: 3077-3101.
- [16] Davis C, Bosart L F. Numerical simulations of the genesis of hurricane Diana (1984). Part II: Sensitivity of track and intensity prediction [J]. Mon Weather Rev, 2002, 130: 1100-1124.
- [17] Kain J S, Fritsch J M. A one-dimensional entraining/detraining plume model and its application in convective parameterization [J]. J Atmos Sci, 1990, 47: 2784-2802.
- [18] Kain J S, Fritsch J M. Convective parameterization for mesoscale models: The Kain-Fritsch scheme. The representation of cumulus convection in numerical models [J]. Amer Meteorol Soc Meteorol Monogr, 1993, 24: 165-170.
- [19] Kain J S. The Kain-Fritsch convective parameterization: An update [J]. J Appl Meteorol, 2004, 43: 170-181.
- [20] Betts A K. A new convective adjustment scheme. Part I: Observational and theoretical basis. Q J R Meteorol Soc, 1986, 112: 677-691.
- [21] Betts A K, Miller M J. A new convective adjustment scheme. Part II: Single column tests using GATE wave, BOMEX, and arctic air-mass data sets. Q J R Meteorol Soc, 1986, 112: 693-709.
- [22] Janjic Z I. The step-mountain coordinate: Physical package [J]. Mon Weather Rev, 1990, 118: 1429-1443.
- [23] Tiedtke M. A Comprehensive Mass Flux Scheme for Cumulus Parameterization in Large-Scale Mod-

- els[J]. Monthly Weather Review, 1989, 117(8): 1779.
- [24] Tiedtke M. Representation of Clouds in Large-Scale Models [J]. Monthly Weather Review, 1993, 121:3040.
- [25] 王德立. 积云对流参数化方案诊断和初步改进研究[D]. 北京:中国气象科学研究院, 2012:1-78.

## The Impact of Different Cumulus Parameterization Schemes of the WRF Model on the Typhoon “Ryan” Simulation over the South China Sea

LIANG Jiahao, CHEN Keyi, LI Yu

(College of the Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

**Abstract:** In order to study the impact of simulating the typhoon with different cumulus convective parameterization schemes. Taking typhoon T9514 “Ryan” developed over the South China sea in 1995 as a case, this report analyses and contrasts the results of different cumulus convection parameterization schemes on the simulating experiments from WRF-ARW mode (version 3.7.0) including the simulative tracks, intensity and other physical quantities. The results show that the typhoon track simulated by Kain-Fritsch (KF) scheme has the north folding process, the typhoon moves faster with more precipitation and the intensity is weaker. The Betts-Miller-Janjic (BMJ) scheme experiment shows that the track is ahead of the best track, the convection of the typhoon center is stronger with stronger intensity. In the results of the Tiedtke (TDK) scheme experiment, the typhoon track is very close to the best one, but the typhoon intensity is weaker.

**Keywords:** atmospheric science; numerical simulation; the South China Sea typhoon; WRF model; cumulus parameterization; typhoon track; typhoon intensity