

文章编号: 2096-1618(2017)02-0175-09

# WRF 模式不同边界层参数化方案对四川盆地 夏季两次强降水的模拟分析

徐 伙<sup>1</sup>, 肖天贵<sup>1</sup>, 李跃清<sup>2</sup>

(1. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225; 2. 中国气象局成都高原气象研究所, 四川 成都 610072)

**摘要:**使用中尺度模式 WRF3.6 研究不同边界层参数化方案对四川盆地夏季强降水的影响。通过只改变边界层参数控制其他物理参数化方案不变的方法,模拟 2 次四川盆地强降水来试验不同边界层参数对降水的影响。结果表明:5 种边界层参数化方案,从降水分布来看除边界层参数 YSU 表现的偏西之外,其他参数都能模拟主要的降水中心和大致性强降水范围,但是对于盆地南部宜宾周边地区的强降水两组模拟试验都未能预报出降水。模拟的垂直速度与降水中心的模拟较好地对应。从 TS 评分来看,小雨和大暴雨的评分是所有降水等级里面平均评分最高的,而各种边界层参数之间的 TS 评分差异明显,边界层参数化的选择对 TS 评分影响较大。

**关键词:**气象学;WRF 模式;四川盆地;强降水;边界层参数化方案;TS 评分

**中图分类号:**P458.1<sup>+</sup>21.1

**文献标志码:**A

**doi:**10.16836/j.cnki.jcuit.2017.02.011

## 0 引言

随着大气探测、计算机的计算能力的长足进步,中尺度天气预报模式在近几十年来得到迅猛的发展。自 WRF 模式应用的十多年来,在科研与业务上被很多专家学者广泛应用。边界层在大气如何影响天气也成为研究数值模式物理参数化方案的一块重要内容<sup>[1-5]</sup>。边界层主要是应和下垫面的摩擦力、蒸发、蒸腾、热量输送以及影响地形等作用。其在大气与地表之间的能量和水汽的互相交换作用中扮演十分重要的角色,而这种作用主要是通过湍流运动得以实现。

自模式应用以来,中国不少学者开展许多关于边界层参数的选择对模拟降水结果的影响的研究。陈炯等<sup>[6]</sup>针对模式 WRF 中两种边界层参数进行对比试验,发现当网格水平分辨率为 20 km 时,大致能够模拟降水范围、降水中心及强度,同时发现两种参数模拟结果相差并不大,其中参数 MYJ 并没有明显的优越性。李刚等<sup>[7]</sup>利用 WRF 模式组合 20 种不同的物理过程参数方案,对江淮区域一次暴雨进行集合预报试验,发现对于当降雨等级大于 25 mm 时,边界层参数对降雨的模拟结果影响要小于积云对流参数。赵鸣<sup>[8]</sup>认为,边界层过程与陆面过程共同影响暴雨的强度及暴雨中位置,改进边界层参数化方案能够有效改善模式对暴

雨的模拟能力。徐慧燕<sup>[9]</sup>等使用 7 种边界层参数对长江下游地域的强降水进行模拟试验,发现边界层参数 QNSE 与 MYJ 模拟的 24 小时降雨优于其他参数化方案,同时表明参数 QNSE 的 TS 评分相对最优。后面陆续有许多学者相关工作<sup>[10-15]</sup>,不过却没有一致结论,在不同的个例中或者是不同的地区其边界层参数对降水的预报能力是不同的。

由于四川地形较为复杂,降水的预报也比较难,影响四川盆地降水的天气尺度系统有高空低槽,各种锋面系统,还有低空切变线、低空低涡、低空急流等<sup>[16]</sup>。因此试验多种边界层参数模拟盆地的强降水,研究对比选择不一样的边界层参数是否对盆地强降水的模拟有较大的影响。

## 1 试验参数化设计及降水个例

### 1.1 试验设计

研究使用中尺度模式 WRF3.6 模拟试验 5 种边界层参数对两个四川盆地暴雨的个例,采用双层嵌套,以 104°E、31°N 为中心,粗网格水平分辨率为 10 km,格点数为 110×110,细网格水平分辨率为 3.3 km,网格数为 133×133。垂直方向分成 27 层,低层气压为 50 hPa。初始场资料选用 NCEP 全球在再分析资料 1°×1°FNL,一日 4 个时次。模式时间总积分 72 小时,时间积分步长为 60 s,结果为每小时输出一次。其中主要研究边界层方案参数选择对暴雨模拟影响,所以控制其他的参数方案不变(见表 1)。

收稿日期:2016-09-20

**基金项目:**国家自然科学基金重点基金资助项目(91337215);国家重点基础研究发展计划资助项目(2013CB733206,2012CB417202);中国气象局西南区域气象中心重大科研资助项目(西南区域 014-5);四川省应用基础研究计划资助项目(2013JY0063)

表1 试验参数设计	
名称	24小时降水等级/mm
边界层参数化方案	YSU、MYJ、QNSE、MYNN2、MYNN3
微物理参数化方案	Lin
积云对流参数化方案	BMJ
长波辐射方案	RRTM
短波辐射方案	Dudhia
近地面层方案	Monin-Obukhov、MYJ Monin-Obukhov
陆面过程方案	Noah

1.2 两次强降水个例选择

主要是选择在成都周边的强降水进行模拟试验并且强降水与高原低涡有一定关系。个例1发生于2011年7月3日川西高原上的低涡生消而引发的强降水,四川中部至北部有成片的大雨,降雨日数为1天极值位于四川浦江降水达188.8 mm/24 h。个例2发生于2013年7月9日青藏高原东部上低涡生成并北移消失与四川中部至北部的强降水有关,此次系统影响的降水天数为2天极值位于四川大邑24小时降水达244.8 mm,此次降水造成成都双流机场两度被迫关闭,40个航班被取消,51个航班备降附近的机场,80%的进出港航班被延误,近3万人次的旅客受到不同程度的影响。宝成铁路部分列车晚点绕行,成灌高铁因部分站点进水严重停运。

2 环流形势及降水实况

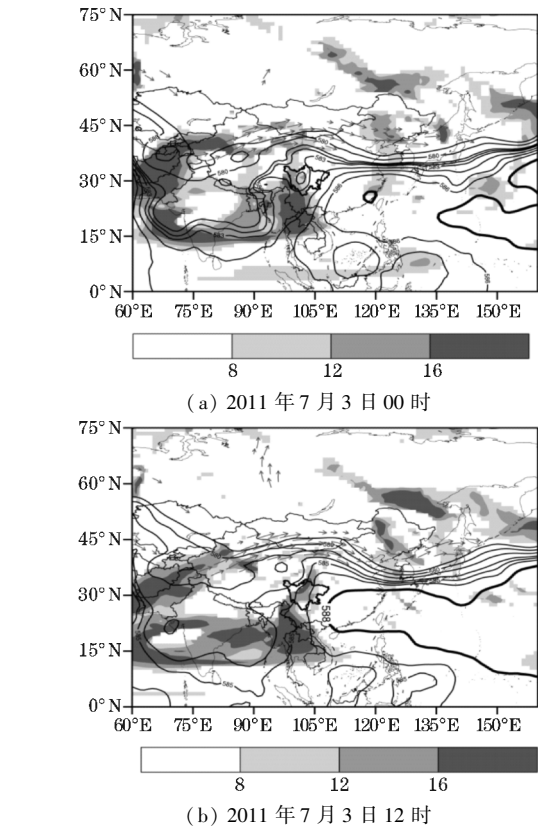


图1 500 hPa高度场(实线)、700 hPa低空急流(阴影部分)及高空急流(箭头 $\geq 30$  m/s)

图1为3日00时及12时FNL资料环流形势图。可以看到在中纬度地区500 hPa大致可看做为两槽一脊,但是由于西太平洋副高的影响,亚洲东岸的低槽并未深入到华南地区,在200 hPa的高空也存在着高空急流。在高原南部、印度洋孟加拉湾、四川的南部及云南区域有一支明显的低空急流提供水汽输送。从图1(a)可以看出在3日00时四川西部的川西高原上面有一个低涡活动,其活动范围四川北部及盆地中西部,在9日12时消失。而西太副高在此次过程活动比较强,其高压脊西进比较明显,588线及伸入大陆且扩大的比较厉害。

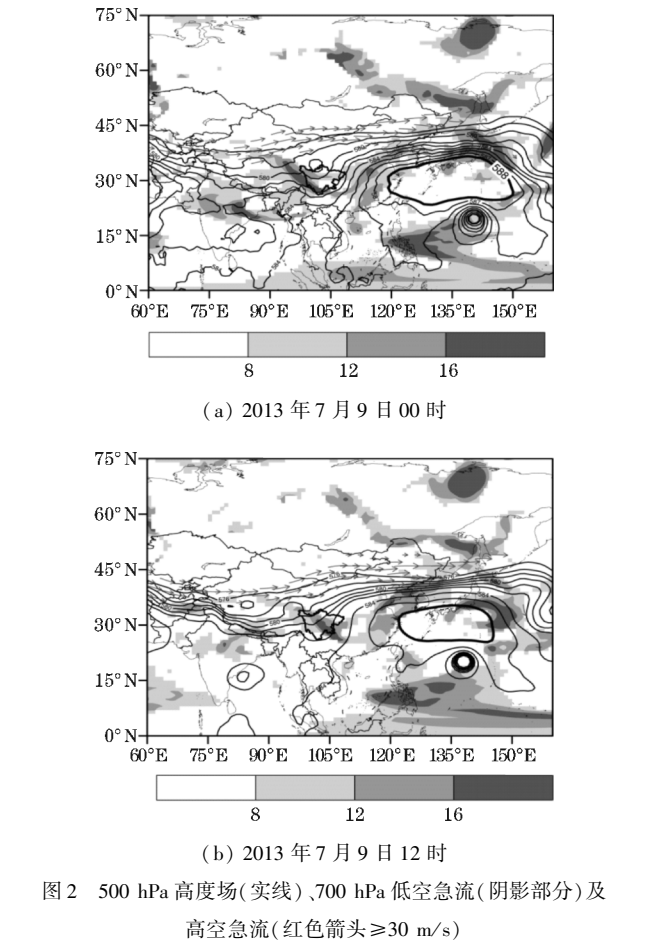
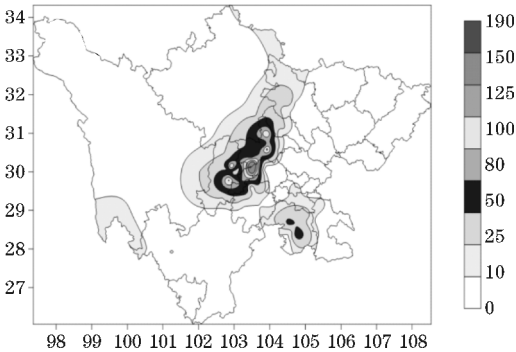
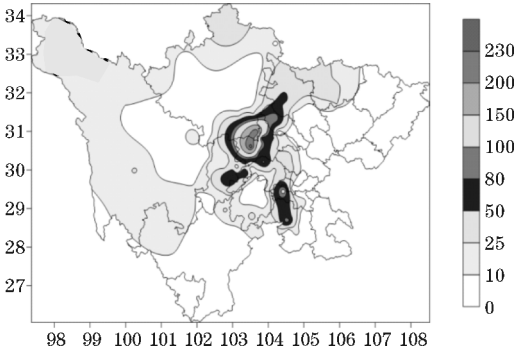


图2 500 hPa高度场(实线)、700 hPa低空急流(阴影部分)及高空急流(红色箭头 $\geq 30$  m/s)

图2为9日00时及12时FNL资料环流形势图。可以看到在中纬度地区500 hPa大致是一个平直的等高线,在200 hPa的高空也存在着高空急流。在高原东南部、四川南部及东部,贵州区域有一支明显的低空急流。图2(a)可以看出9日00时如图1(a)在四川西北部与青海的高原地区有一个低涡活动,其活动范围影响四川北部及盆地中西部,在9日12时向北移动,移出了四川地区,最后在青海地区消失。而太平洋副热带高压在此次过程中略微西退。



(a) 2011 年 7 月 2 日 20 时至 3 日 20 时



(b) 2013 年 7 月 8 日 20 时至 9 日 20 时

图 3 24 小时降水分布图

图 3(a)为 2011 年 7 月 2 日 20 时至 3 日 20 时 24 小时降水分布图。从图中可以看出四川盆地中西部大部分处于暴雨之中,更有范围比较大的大暴雨,而在四川盆地南部宜宾地区也有小部分的暴雨。降水极值位于四川浦江 24 小时降水达 188.8 mm 位于 (30.2°N, 103.52°E)。而图 3(b)为 2013 年 7 月 8 日 20 时至 9 日 20 时降水图。从图中可以看出四川盆地中西部大部分处于暴雨之中,更有大范围大暴雨,而在四川盆地南部也有小范围的暴雨。此次降水主要分布着两个降雨带。一个是四川盆地中西部为主要强降水区域,另一个是四川南部少部分暴雨。降水极值位于四川大邑 24 小时降水达 244.8 mm 位于 (30.6°N ~ 103.52°E)。

3 模拟结果分析

3.1 2011 年 7 月 3 日降水模拟结果

图 4 是微物理参数 Lin、积云对流参数 BMJ 与 5 种边界层参数模拟 2011 年 7 月 2 日 20 时至 3 日 20 时 24 小时降水分布结果,从整体来看 5 种边界层参数

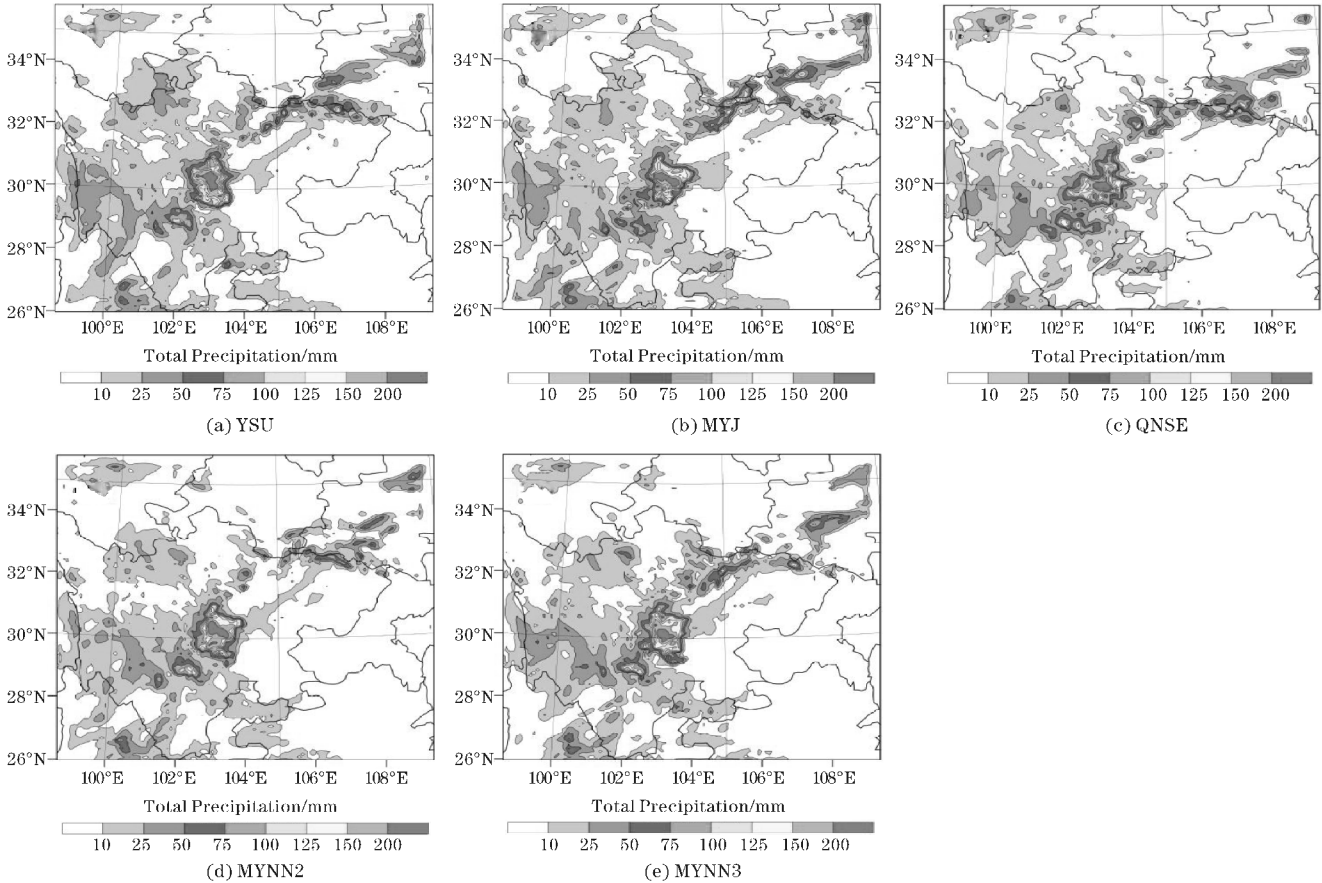


图 4 边界层参数化方案 YSU、MYJ、QNSE、MYNN2、MYNN3 模拟结果



对降水中心模拟都比较好,能模拟主要一个位于四川盆地西南部的降水中心,不过所有方案都没有模拟出宜宾区域的降水,但是各个参数对暴雨的范围模拟还是有不同的地方。从图 3(a)的实况降水可以看出此次降水从盆地北部的绵阳地区至盆地西南部的雅安地区的一条西南东北走向的降水带,主要的降水中心在眉山、成都地区。从模拟的图中看到所有的参数模拟的降水中心 24 小时降水量都偏大,在 (30.5°N, 103°E) 都有超过 200 mm/24 h 的降水量。

图 4(a) 边界层参数为 YSU 时,就其降水分布而言其暴雨以上降水的范围最广,相比于实况模拟暴雨的降水范围及降水中心略微偏西,且暴雨雨带呈南北走向,对绵阳德阳一带的中雨、大雨的降水模拟比较差,对于宜宾地区的降水也没有模拟出来。图 4(b) 边界层参数为 MYJ 时,其降水中心及暴雨的降水范围比参数 YSU 时要更接近实况降水,总体来说其暴雨的降水范围要比实测降水稍微小一些,对德阳的降水又存

在着漏报,宜宾地区的降水也没有模拟出来。图 4(c) 边界层参数为 QNSE 时,其降水中心及暴雨的降水范围相比于其他边界层参数时要更接近实况降水,也能大致看出其东北西南走向的降水带,对绵阳降水的降水模拟略微偏大,德阳部分地区降水依然存在着漏报现象,宜宾地区的降水也没有模拟出来。图 4(d) 边界层参数为 MYNN2 时,其降水中心及暴雨的降水范围相比于实况要略微偏西,总体来说其模拟暴雨的降水范围要比实况稍微小一些,对绵阳和德阳部分地区降水中雨、大雨的漏报现象比较严重,宜宾地区的降水也没有模拟出来。图 4(e) 边界层参数为 MYNN3 时,其降水中心及暴雨的降水范围相比于其他边界层参数时要更接近实况降水,对绵阳模拟结果略微偏大,德阳的部分区域模拟地比其他参数要好一些,宜宾地区的降水也没有模拟出来。

3.2 2011 年 7 月 3 日垂直速度模拟结果

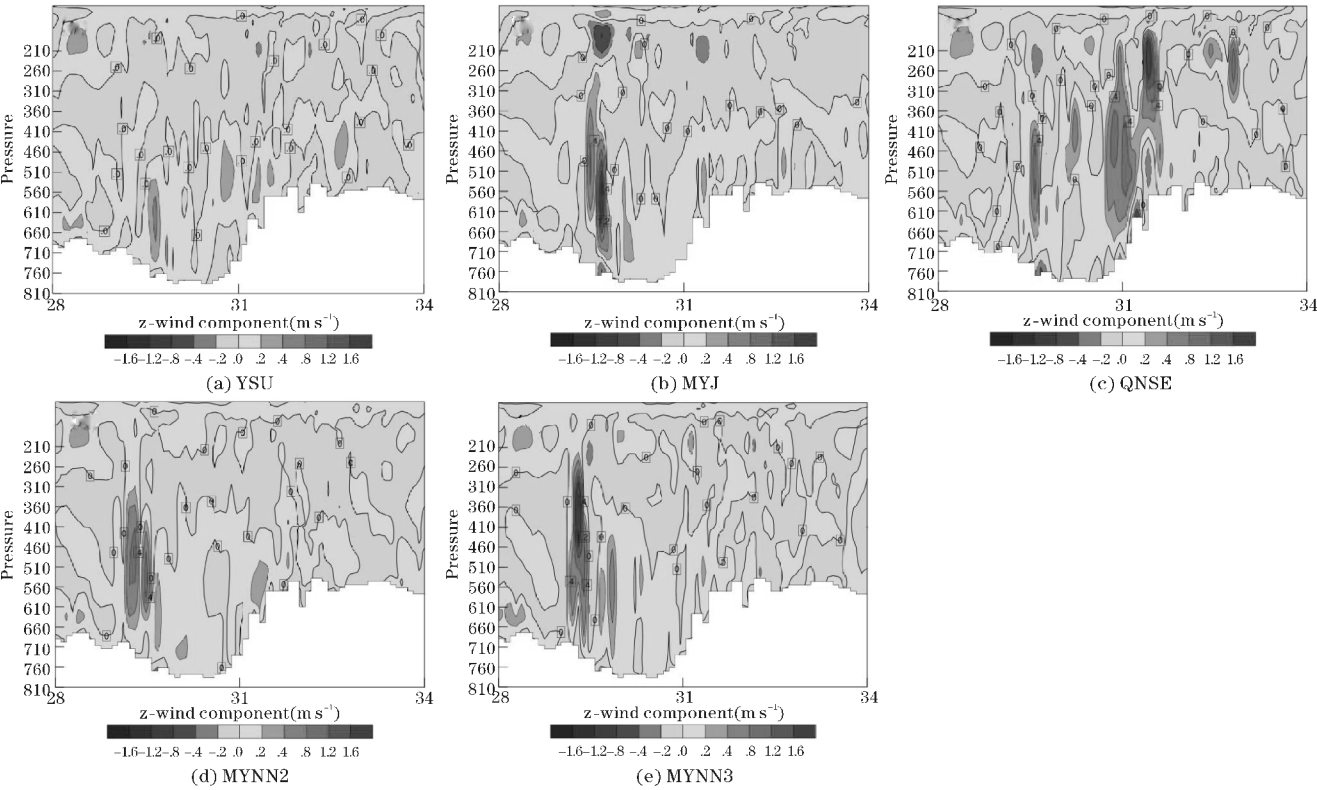


图 5 边界层参数化方案 YSU、MYJ、QNSE、MYNN2、MYNN3 沿 103.5°E 日 00 时垂直速度模拟结果

图 5 是模拟结果的垂直速度,深色部分代表的是上升运动,由于地处川西高原周边,所以浅色部分是地形部分。图中所以图在 30°N 左右都具有上升运动,但是各图大小及范围还是有差别的。图 5(a) 上升运动最小,与其对应的模拟降水中心比实况偏西,其他图在此处都有比较强的上升运动,与其对应的模拟降

水中心相对还是接近实况。其中图 5(c) 边界层参数 QNSE 时在 31°N 对流层中高层有比较强的运动。总的看出模拟的上升运动大小与模拟降水中心有较好的对应。

3.3 2013 年 7 月 9 日强降水模拟结果

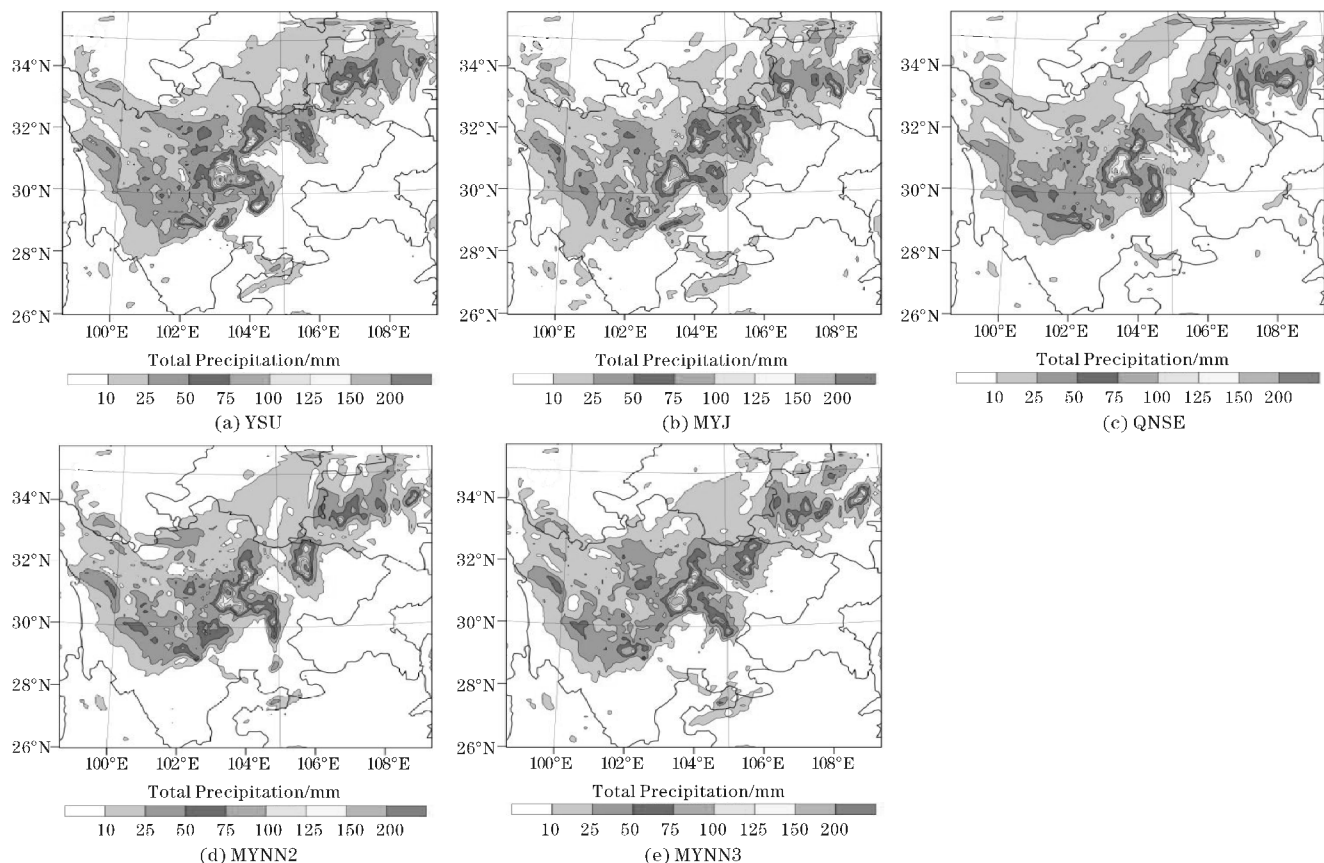


图6 边界层参数 YSU、MYJ、QNSE、MYNN2、MYNN3 模拟结果

图6是5种边界层参数模拟24小时降水分布结果,从整体来看5种边界层参数对降水中心及暴雨的范围模拟都不错,能模拟出主要一个位于成都地区的降水中心,同样都没有模拟出宜宾区域的降水,但是各个参数对暴雨的范围模拟还是有不同的地方,从图6(b)的实况降水可以看出,此次降水从盆地北部的绵阳地区至盆地西南部的雅安地区及南部的宜宾地区,大致是一条西南东北走向的降水带,主要的降雨中心在成都地区。从图中看到所有的参数模拟此次的降水中心24小时降水量比实测降水量都偏小,在( $31^{\circ}\text{N}$ ,  $103.5^{\circ}\text{E}$ )降水中心区域都没有超过 $200\text{ mm}/24\text{ h}$ 的降水量。

图6(a)边界层参数为YSU时,就其暴雨的降水分布而言,其降水范围最广与实况暴雨降水范围更接近,不过比实况降水范围及降水中心略微偏西也偏南,对绵阳德阳一带的大雨、暴雨也有一定的模拟,对于宜宾地区降水的模拟结果较差,只是在自贡、内江地区预报出小范围的暴雨。图6(b)边界层参数为MYJ时,其降水中心更接近实况的降水中心,但是其降水量比实况低,暴雨的降水范围也比实况小,在绵阳、广元地区模拟的降水降水量偏大,对德阳的降水又存在着漏

报,宜宾地区的降水也没有模拟出来。图6(c)边界层参数为QNSE时,其降水中心更接近实况降水中心,但是其整体的暴雨降水范围比实况小得多,对自贡、内江区域的降水也没有很好地模拟出来。图6(d)边界层参数为MYNN2时,其降水中心及暴雨的降水范围与实况比较接近,对自贡、内江区域的降水也没有很好地模拟出来。图6(e)边界层参数为MYNN3时,能较好地模拟出降水中心,但是暴雨模拟范围偏小也比实况略微偏北。

### 3.4 2013年7月9日垂直速度模拟结果

图7是9日0时模拟结果的垂直速度。在北纬 $31^{\circ}$ 左右都具有上升运动,但是各图大小及范围还是有差别的。图7(a)、图7(c)和图7(e)上升运动最小,其中图7(a)与其对应的模拟降水中心比实况偏西,图7(c)、图7(e)降水范围比较小,降水中心的降水量也比较小。图7(b)和图7(d)在此处都有比较强的上升运动,与其对应的模拟降水中心相比其他参数更接近实况。总的看出模拟的上升运动的大小与模拟降水中心有较好的对应。

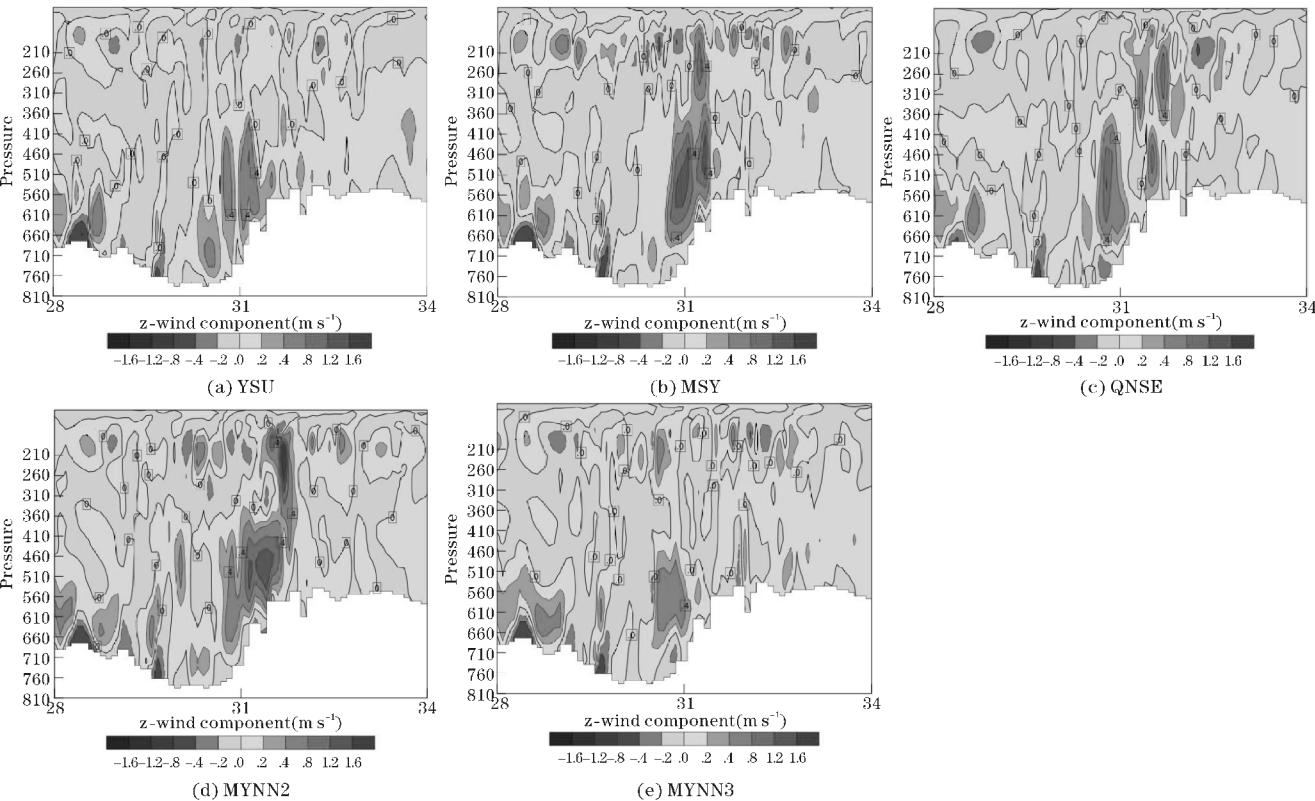


图7 边界层参数化方案 YSU、MYJ、QNSE、MYNN2、MYNN3 沿 103.5° 9 日 0 时垂直速度模拟结果

4 降水结果检验

TS 评分方式是目 前气象部门多种检验短期数值预 报产品的方法之一。常用的 TS 评分方法可有多种表达 形式,采用模拟站点降雨量对观测站点降雨量的方法, 即对同一个站点的预报降水预报值和实测值进行比较。 试验四川盆地 104 个站点进行评分检验。

TS 评分、空报率及漏报率表达式可写成:

TS 评分  $TS = \frac{N_a}{N_a + N_b + N_c}$

空报率  $KB = \frac{N_b}{N_a + N_b}$

漏报率  $LB = \frac{N_b}{N_a + N_b}$

其中  $N_a$  表示模式预报的降水量与实测降水量在 同一个等级,  $N_b$  表示实测无某个等级的降水而预报出 现了此等级的降水,  $N_c$  表示实测有某个等级降水而预 报没有预报出。

表2 降水等级划分	
名称	24 小时降水等级/mm
小雨	0.1 ~ 10
中雨	10 ~ 25
大雨	25 ~ 50
暴雨	50 ~ 100
大暴雨	100 以上

4.1 2011 年 7 月 3 日模拟降水检验

表3 2011 年 7 月 3 日降水模拟 5 种边界层参数方案 不同等级降水的 TS 评分

边界层	小雨	中雨	大雨	暴雨	大暴雨
YSU	0.135	0.133	0	0.067	0.273
MYJ	<b>0.197</b>	<b>0.154</b>	<b>0.056</b>	0	0.231
QNSE	0.182	0.071	0.050	<b>0.133</b>	<b>0.455</b>
MYNN2	0.175	0.103	0	0.071	0.357
MYNN3	0.149	0.103	0	0.059	0.286
平均	0.1676	0.1128	0.0212	0.066	0.3204

注:黑色加粗的为各类降水等级中最高评分

表 3 为各边界层参数对不同降水等级的 TS 评分。 从表中的结果来看各方案存在一定的差异,并没有一 致的分布,总体来看大暴雨评分高于其他等级降水的 评分。其中小雨至大暴雨的平均评分分别为0.1676、 0.1128、0.0212、0.0660、0.3204。

小雨、中雨和大雨最高评分是边界层参数 MYJ 其 值分别是0.197、0.154、0.056,小雨最低评分是参数 YSU 为0.135,中雨最低评分是参数 QNSE 为0.071,大 雨有多个参数评分为0。暴雨和大暴雨最高评分是方 案 QNSE 分别为0.133、0.455,暴雨最低评分是方案 MYJ 为0,大暴雨最低评分是方案 MYJ 为0.231。

当边界层参数为 MYJ 时,小雨、中雨及大雨的 TS



评分相对于其他参数要高。参数为 QNSE 时,模拟的暴雨及大暴雨的 TS 评分最高,一定程度上说明此参数模拟的降水中心效果较好。从整体来看所有参数大雨和暴雨的评分都比其他等级降水小。小雨和大暴雨的评分是所有降水等级里面评分最高,特别是大暴雨 5 种方案的平均 TS 评分为0.3204,这说明此次降水的降水中心比较成功。

表 4 2011 年 7 月 3 日降水模拟 5 种边界层参数方案的不同等级降水空报率和漏报率

边界层	小雨	中雨	大雨	暴雨	大暴雨
YSU	0.845	0.765	1	0.750	0.571
	0.476	0.765	1	0.917	0.571
MYJ	0.786	0.692	0.833	1	0.667
	0.286	0.765	0.923	1	0.286
QNSE	0.800	0.846	0.875	0.600	0.444
	0.333	0.882	0.923	0.833	0.286
MYNN2	0.803	0.800	1	0.667	0.588
	0.381	0.824	1	0.917	0.286
MYNN3	0.828	0.800	1	0.833	0.636
	0.476	0.824	1	0.817	0.429

注:表格中每一大层中第一行为空报率,第二行为漏报率

表 4 为各边界层参数模拟降水的空报率和漏报率。不同降水等级的空报和漏报有很大的不同,其中小雨和大暴雨的空报率和漏报率明显比其他等级的降水要小。大雨的空报率和漏报率最大。小雨和大暴雨的空报率要大于漏报率,中雨、大雨和暴雨则与之相反。

4.2 2013 年 7 月 9 日模拟降水检验

表 5 2013 年 7 月 9 日 5 种边界层参数方案不同等级降水的 TS 评分

边界层	小雨	中雨	大雨	暴雨	大暴雨
YSU	0.197	0.103	<b>0.292</b>	0.143	0
MYJ	0.200	<b>0.151</b>	0.217	0.227	0.333
QNSE	0.220	0.098	0.038	0.158	0.143
MYNN2	<b>0.221</b>	0.061	0.091	0.200	0.125
MYNN3	0.212	0.115	0.148	<b>0.263</b>	<b>0.500</b>
平均	0.2100	0.1056	0.1572	0.1982	0.2202

注:黑色加粗的为各类降水等级中最高评分

表 5 为各方案对不同降水等级的 TS 评分。从表中的结果来看各方案存在一定的差异,并没有一致的分布,总体来看中雨和大雨评分比较低。其中小雨至大暴雨的平均评分分别为0.2100、0.1056、0.1572、0.1982、0.2202。

小雨、最高评分是边界层参数 MYNN2 为0.221,

其次是参数 QNSE 为0.220,小雨最低评分是参数 YSU 为0.197。中雨最高评分是边界层参数 MYJ 为0.151,最低是 MYNN2 为0.061。大雨最高评分是参数 YSU 为0.292,其次是参数 MYJ 为0.217,大雨的最低评分是参数 QNSE 为0.038。暴雨和大暴雨最高评分是参数 MYNN3 分别为0.263、0.500,暴雨和大暴雨最低评分都是方案 YSU 分别为0.143、0。

边界层参数为 MYNN2 时,对小雨的评分相对于其他参数评分要高。参数为 MYJ 时,模拟的中雨 TS 评分最高。参数为 YSU 时,大雨的 TS 评分最高。当参数为 MYNN3 时,暴雨和大暴雨评分最高,一定程度上说明此参数模拟的降水中心和降水范围效果相对比较好。从整体来看所有参数中雨和大雨的评分都比其他等级降水小。小雨和大暴雨的评分是所有降水等级里面评分最高,大暴雨 5 种方案的平均 TS 评分为 0.2202,这与上一个个例一样,说明微物理参数为 Lin,积云对流参数为 BMJ 模拟此次降水的降水中心比较成功。

表 6 2013 年 7 月 9 日 5 种边界层参数方案的不同等级降水空报率和漏报率

边界层	小雨	中雨	大雨	暴雨	大暴雨
YSU	0.764	0.833	0.611	0.700	1
	0.458	0.786	0.462	0.786	1
MYJ	0.750	0.792	0.667	0.615	0
	0.500	0.643	0.615	0.643	0.667
QNSE	0.729	0.871	0.929	0.625	0.500
	0.458	0.714	0.923	0.786	0.833
MYNN2	0.733	0.905	0.818	0.688	0.667
	0.500	0.857	0.846	0.643	0.833
MYNN3	0.750	0.800	0.778	0.500	0
	0.417	0.786	0.692	0.643	0.500

注:表格中每一大层中第一行为空报率,第二行为漏报率

表 6 为各边界层参数模拟降水的空报率和漏报率。不同降水等级和参数之间,其空报率和漏报率明显不同,其中暴雨和大暴雨的空报率明显比其他等级的降水要小,中雨的空报率最大。小雨的漏报率最小,中雨的漏报率最大。小雨的空报率大于漏报率,大暴雨则与之相反。

5 结论

通过比较分析 2 次降水天气系统和 WRF 模式 5 种边界层参数模拟降水结果和检验得出以下结论:

(1)此次 2 次降水都发生在成都区域附近,而且降水的发生都与中尺度低压系统有一定的关系,不同

的是2011年个例高原低涡位于川西高原,2013年个例高原低涡位于青海地区。

(2)在2011年个例中,5种边界层参数模拟7月2日20时至3日20时24小时降水分布结果,从整体来看5种边界层参数对降水中心模拟都比较好,都能模拟主要位于四川盆地西南部的降水中心,不过所有方案对宜宾和盆地北部绵阳等地区的降水模拟较差,但是各个参数对暴雨的范围模拟有不同的地方,且这5种边界层参数在降水中心模拟的降水量比实况大。从降水分布来看,5种边界层参数之间的差别不是特别大。模拟的垂直速度与降水中心的模拟较好的对应,总的来说在降水中心上升运动较强其降水中心模拟也比较好。从TS评分来看,小雨和大暴雨的评分是所有降水等级里面评分最高,特别是大暴雨5种方案的平均评分为0.3204,边界层参数为MYJ时,对大雨降水等级以下的评分最高,参数为QNSE时,模拟的暴雨等级以上降水的TS评分最高。

(3)在2013年个例中5种边界层参数模拟来看5种边界层参数对降水中心及暴雨的范围模拟都不错,能模拟出主要一个位于成都地区的降水中心,不过都没有模拟出宜宾区域的降水,但是各个参数对暴雨的范围模拟有不同的地方,且5种参数在降水中心模拟的降水量与个例1相反,比实况小。从降水分布来看,不同的边界层参数之间的差别不是特别大,都大致能模拟出成都一带的强降水。垂直速度与2011年个例中也有类似情况,上升运动与降水中心有比较好的对应。从TS评分来看,小雨和大暴雨的评分是所有降水等级里面评分最高,也是具有两头大中间小的特点,大暴雨5种方案的平均TS评分最高为0.2202。改动边界层对此次降水的评分影响比较大,暴雨和大暴雨的评分参数MYNN3具有比较明显的优势。

综上所述,2次降水在不同边界层参数模拟下,降水中心及强降水范围的模拟,除边界层参数YSU表现的偏西之外,其他参数都能模拟出这2次降雨的主要降水中心和大致的强降水范围,但是对盆地北部与南部降水模拟较差。在TS评分方面,不同的边界层参数相差比较大,TS平均值2次强降水都表现大暴雨和小雨的评分比其他等级降雨高。

## 参考文献:

- [1] Morrison, H G Thompson, V. Tatarskii. Impact of cloud microphysics on the development of trailing stratiform precipitation in a simulated squall line: Comparison of one- and two-moment schemes [J]. Submitted to Monthly Weather Review, 2008, 1 (1):991-1007.
- [2] Xiao-Ming Hu, Fuqing Zhang, John W. Nielsen-Gammon, 2010b. Ensemble-based simultaneous state and parameter estimation for treatment of mesoscale model error: A real-data study [J]. Geophysical Research Letters, 2010, 37:1-7.
- [3] Deng A, Stauffer D R. On improving 4-km mesoscale model simulations [J]. Journal of applied meteorology and climatogy, 2006, 45 (3):361-381.
- [4] Jankov I, Gallus W A, Shaw B, et al. An investigation of IHOP convective system predictability using a matrix of 19 WRF members [C]//20th Conference on Weather Analysis and Forecasting/16th Conference on Numerical Weather Prediction. 2004, 10-15.
- [5] W, Nielsen-Gammon, John, et al. Evaluation of Planetary Boundary Layer Scheme Sensitivities for the Purpose of Parameter Estimation [J]. Monthly Weather Review, 2010, 138:3400-3417.
- [6] 陈炯, 王建捷. 边界层参数化方案对降水预报的影响 [J]. 应用气象学报, 2006, 17:11-17.
- [7] 李刚, 王铁, 谭言科, 等. WRF3.0 参数化敏感性及其集合预报试验 [J]. 解放军理工大学学报, 2010, (1):89-96.
- [8] 赵鸣. 大气边界层动力学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006:1-12.
- [9] 徐慧燕, 朱业, 刘瑞, 等. 长江下游地区不同边界层参数化方案的试验研究 [J]. 大气科学, 2013, 37(1):149-159.
- [10] 张小培, 银燕. 复杂地形地区 WRF 模式四种边界层参数化方案的评估 [J]. 大气科学学报, 2013, 36(1):68-76.
- [11] 周强, 李国平. 边界层参数化方案对高原低涡东移模拟的影响 [J]. 高原气象, 2013, 32(2):334-344.
- [12] 王颖, 张镭, 胡菊, 等. WRF 模式对山谷城市边界层模拟能力的检验及地面气象特征分析 [J]. 高原气象, 2010, 29 (6):1397-1407.
- [13] 蔡芎宁, 周庆亮, 钟青, 等. 边界层参数化对“雅安天漏”降水数值模拟的影响 [J]. 气象, 2007, 33(5):12-19.
- [14] 朱蓉, 徐大海. 中尺度数值模拟中的边界层多尺度湍流参数化方案 [J]. 应用气象学报,



2004,15(5):543–555.

大学, 2011:31–32.

[15] 王寅钧. 青藏高原东南部 WRF 边界层模拟与  
观测对比探讨研究[D]. 南京:南京信息工程

[16] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等. 天气学原理和方  
法[M]. 北京:气象出版社,2007:320–437.

## Simulation and Analysis of Two Summer Heavy Rainfall in Sichuan Basin with Different Planetary Boundary Layer Schemes of WRF Model

XU Huo<sup>1</sup>, XIAO Tian-gui<sup>1</sup>, LI Yue-qing<sup>2</sup>

(1. College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. China Meteorological  
Administration Institute of Plateau Meteorology CMA Chengdu, Chengdu 610072, China)

**Abstract:** In this paper, the effects of different boundary layer parameterization schemes on the strong precipitation in summer in Sichuan basin are studied by using the mesoscale model WRF3.6. The influence of different boundary layer parameters on precipitation is simulated by using the method which only changes the boundary layer parameters to control other physical parameterization schemes. The results show that the 5 schemes of boundary layer parameters from precipitation distribution in addition to the boundary layer parameters of the YSU performance of the west he other parameters can simulate the range of rainfall centers and roughly the strong precipitation, but for the southern part of the basin of Yibin surrounding areas of strong rainfall two simulation experiments have failed to forecast precipitation. The simulation of vertical velocity and precipitation center is better. From the TS score, light rain and heavy rain are all precipitation levels inside the average score the highest score, and between the boundary layer parameters of the TS score was significant, boundary layer parameterization selection has great influence on the TS score.

**Keywords:** meteorology; WRF model; Sichuan basin; heavy rainfall; planetary boundary layer schemes; TS score