

沈晓燕, 颜玉倩, 肖宏斌, 等. WRF 模式不同参数化方案组合对青海气温、降水及风速模拟的影响[J]. 干旱气象, 2018, 36(3): 423-430. [SHEN Xiaoyan, YAN Yuqian, XIAO Hongbin, et al. Influence on Simulation of Temperature, Precipitation and Wind Speed by Using Different Combinations of Parameterization Schemes in WRF Model in Qinghai Province[J]. Journal of Arid Meteorology, 2018, 36(3): 423-430], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2018)-03-0423

## WRF 模式不同参数化方案组合对青海 气温、降水及风速模拟的影响

沈晓燕<sup>1,2</sup>, 颜玉倩<sup>1,2</sup>, 肖宏斌<sup>1,2</sup>, 权晨<sup>1,2</sup>

(1. 青海省气象科学研究所, 青海 西宁 810001; 2. 青海省防灾减灾重点实验室, 青海 西宁 810001)

**摘要:** 利用 50 个气象站观测资料, 对比讨论 WRF 模式不同微物理过程、积云对流和边界层参数化方案组合对青海省气温、降水及风速的模拟效果。结果表明: (1) 微物理过程和积云对流参数化方案分别选用 Eta (Ferrier) 和 KF 时, 气温模拟效果较好; Thompson 方案、KF 方案和 ACM2 方案的组合对降水模拟普遍较好; 边界层方案的选取对风速的模拟较为重要。(2) 对比不同季节的模拟效果可以看出, 夏季气温、降水模拟效果均较好。(3) 最低气温模拟效果均好于最高气温, 最高气温偏低明显。(4) 小雨预报普遍偏多, 中雨预报略偏少, 大雨整体预报偏少。

**关键词:** WRF 模式; 参数化方案; 青海

**文章编号:** 1006-7639(2018)03-0423-08 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2018)-03-0423

**中图分类号:** P457

**文献标志码:** A

### 引言

青海省位于青藏高原东北部, 地势西高东低, 约占高原总面积的三分之一, 气温日较差大, 年较差小; 降水地区差异大, 东部雨水较多、西部干燥寒冷<sup>[1]</sup>。青藏高原因其巨大的地形和极为复杂的天气气候变化成为数值预报技术发展的难点、重点。数值模式可以提供任意地点、任意时段的气象要素预报, 但模式提供的物理参数化方案众多, 包含了辐射、微物理、积云对流、边界层、近地层以及陆面过程等参数化方案<sup>[2-3]</sup>。模式的区域预报效果与参数化方案的适应性至关重要, 选出较为适合本地的物理过程参数化方案是很必要的工作<sup>[4]</sup>。因此对模式内部不同物理参数化方案模拟效果的对比试验众多<sup>[5-19]</sup>。

微物理过程通过调节湿湿场结构及过程中水汽相变潜热的释放、降水粒子的拖曳作用影响积云对流发生发展的条件<sup>[20]</sup>, 积云对流参数化过程被认为是模式中最重要湿(非绝热)物理过程之一, 其对

降水的模拟至关重要<sup>[21]</sup>; 边界层在大气模式中的地位也十分重要, 它不仅影响低层大气要素, 通过边界层垂直输送也能对高层大气产生影响<sup>[20-22]</sup>。屠妮妮等<sup>[23]</sup>对不同积云对流参数化方案进行了典型降水预报的对比试验, 得出 KF(new ETA) 和 GD(Grell-Devenyi) 方案能较好地反映观测实况; 张小培等<sup>[24]</sup>评估了复杂地形区 WRF 模式中 4 种边界层方案, 得出 YSU 和 ACM2 方案误差最小; 朱庆亮等<sup>[2]</sup>对 WRF 模式中物理过程参数化方案进行组合对比试验, 认为没有确定的某个物理过程参数化方案在所有试验方案中的模拟效果一致好, 不同方案配合使用模拟效果更佳; 黄海波等<sup>[21]</sup>比较新疆地区不同量级降水微物理参数化方案的优劣, 得出对于大尺度强迫作用的暴雨, 云微物理过程的影响远大于积云对流参数化方案。不同量级降水, 预报效果较好的微物理方案不同, 整体而言 WSM3 方案最好; 段旭等<sup>[25]</sup>在对比试验的基础上, 选取了适合云南的积云过程、微物理过程和辐射过程的方案组合。

本文选取 2014 年 4 月、7 月、10 月和 2015 年 1

收稿日期: 2017-12-07; 改回日期: 2018-01-16

基金项目: 干旱气象科学研究基金(IAM201610)和公益性行业(气象)科研专项(GYHY201506001)共同资助

作者简介: 沈晓燕(1992—), 女, 青海乐都人, 助理工程师, 主要从事数值模拟及检验工作. E-mail: sxygw@163.com.

通信作者: 肖宏斌(1966—), 男, 青海西宁人, 高级工程师, 主要从事高寒生态系统及气候变化研究. E-mail: 985866717@qq.com.

月,分别代表春、夏、秋、冬4个季节,根据中/短期天气预报质量检验办法中的降水和气温客观评分办法<sup>[26]</sup>,选取适合青海省的微物理、积云对流和边界层参数化方案组合,以期为更好地在青海地区应用和改进 WRF 模式提供基础。

## 1 资料和方法

### 1.1 资料

所用资料有:美国国家环境预报中心和美国国家大气科学研究中心(NCEP/NCAR)提供的2014年4月、7月、10月和2015年1月逐6h FNL再分析资料(水平分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$ );青海省50个国家级地面气象观测站(图1)同期逐日降水、气温、风速资料。

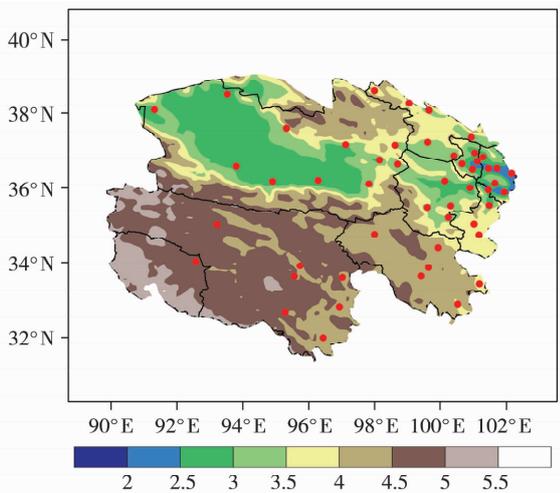


图1 青海省地形(阴影,单位:km)与气象站点分布  
Fig.1 Terrain (the shaded, Unit:km) and distribution of meteorological stations in Qinghai Province

### 1.2 模式及方案介绍

WRF(weather research and forecasting)模式是由美国国家环境预测中心(NCEP)、美国国家大气研究中心(NCAR)等机构研发的中尺度天气预报模式,为完全可压缩非静力模式,采用F90语言编写。水平方向采用Arakawa C(荒川C)网格点,垂直方向采用地形跟随质量坐标,时间积分采用3阶或4阶的Runge-Kutta算法。其对中尺度系统模拟较好,本文使用的模式是WRFV3.7.1版本。模式的初始和侧边界条件均采用FNL全球再分析资料,模拟区域如图2所示,采用2层嵌套方案,其中D02包含整个青海省。模式参数设置如下,整个模拟区域中心点位于 $36^\circ\text{N}, 95^\circ\text{E}$ ,垂直层次为30层,D01水平网格距为27 km,格点数为 $150 \times 130$ ,D02水平网格距为9 km,格点数为 $160 \times 130$ 。模拟积分时间分

别选用2014年4月、7月、10月及2015年1月,积分时间均为一个月,模式前5d视为模式调整期数据予以舍弃。

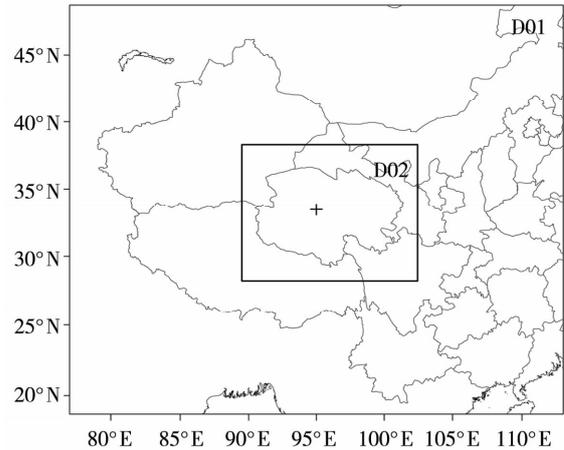


图2 模式嵌套区域

(符号“+”为D01区域中心点)

Fig.2 The setting of model domain

(the symbol “+” for the center point of D01)

表1列出方案设计所选的参数化方案组合,其中微物理参数化方案为Eta(Ferrier)、WSM3、WSM5、WSM6、Lin、Thompson共6种,边界层参数化方案为YSU、ACM2、MYNN2.5共3种,积云对流参数化方案为KF、G3共2种。为了计算效率,首先固定微物理过程为Thompson方案,在此基础上组合积云对流和边界层参数化方案,综合考虑气温和降水,得出其中评分相对较高的组合,为最优组合。在最优组合的基础上,改变微物理方案,从而选出最优参数化方案组合。其余物理参数化方案选取如下:长波和短波辐射过程参数化方案分别选择RRTM和Duhbia方案,近地层方案选用Monin-Obukhov方案,陆面过程选用Noah方案。

### 1.3 统计方法

在进行模拟效果检验时,选用青海省50个地面气象观测站作为检验站点,利用最近点赋值法,采用距离检验站点最近的模式输出格点与相应站点进行对比,计算相应检验指标。

降水检验采用风险评分(threst score, TS)、去除随机事件后的公平TS评分(equitable threat score, ETS)及预报偏差(BIAS)。气温检验采用平均误差(mean error, ME)、均方根误差(root mean square error, RMSE)检验差异性,以及气温预报误差 $\leq 2^\circ\text{C}$ 的预报准确率( $TT_2$ )作为检验指标<sup>[27-28]</sup>。风速采用风速预报平均绝对误差( $MAE_w$ )作为检验指标。其公式如下:

表1 参数化方案组合

Tab.1 The combined schemes of the parameterized physical processes

方案	微物理过程	春季		夏季		秋季		冬季	
		积云对流	边界层	积云对流	边界层	积云对流	边界层	积云对流	边界层
1	Thompson	KF	YSU	KF	YSU	KF	YSU	KF	YSU
2	Thompson	KF	MYNN2.5	KF	MYNN2.5	KF	MYNN2.5	KF	MYNN2.5
3	Thompson	KF	ACM2	KF	ACM2	KF	ACM2	KF	ACM2
4	Thompson	G3	YSU	G3	YSU	G3	YSU	G3	YSU
5	Thompson	G3	MYNN2.5	G3	MYNN2.5	G3	MYNN2.5	G3	MYNN2.5
6	Thompson	G3	ACM2	G3	ACM2	G3	ACM2	G3	ACM2
7	Lin	KF	ACM2	KF	ACM2	KF	MYNN2.5	KF	YSU
8	WSM3	KF	ACM2	KF	ACM2	KF	MYNN2.5	KF	YSU
9	WSM5	KF	ACM2	KF	ACM2	KF	MYNN2.5	KF	YSU
10	Eta(Ferrier)	KF	ACM2	KF	ACM2	KF	MYNN2.5	KF	YSU
11	WSM6	KF	ACM2	KF	ACM2	KF	MYNN2.5	KF	YSU

$$\left\{ \begin{aligned}
 TS_K &= \frac{NA_K}{NA_K + NB_K + NC_K} \\
 ETS_K &= \frac{NA_K - R_K}{NA_K + NB_K + NC_K - R_K} \\
 BIAS_K &= \frac{NA_K + NB_K}{NA_K + NC_K} \\
 ME &= \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N (F_i - O_i) \\
 RMSE &= \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \\
 TT_2 &= \frac{Nr}{N} \\
 MAE_w &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |F_i - O_i| \\
 R_K &= \frac{(NA_K + NB_K)(NA_K + NC_K)}{NA_K + NB_K + NC_K + ND_K}
 \end{aligned} \right. \quad (1)$$

式中:K 为降水检验级别;NA<sub>K</sub> 为 K 级别降水预报正确的站点样本数;NB<sub>K</sub> 为 K 级别降水空报的站点样本数;NC<sub>K</sub> 为 K 级别降水漏报的站点样本数;ND<sub>K</sub> 为无降水预报正确的站点样本数;N 为站点样本总数;F<sub>i</sub> 为第 i 个站点样本预报值;O<sub>i</sub> 为第 i 个站点样本实况观测值;Nr 为 |F<sub>i</sub> - O<sub>i</sub>| ≤ 2 °C 的站点样本数;R<sub>K</sub> 为 ETS 评分中所需变量。

## 2 结果分析

### 2.1 气温对比

图3 为 2014 年青海省不同季节最高、最低气温预报的平均误差 (ME)、均方根误差 (RMSE)。从气

温预报平均误差来看,最高和最低气温模拟值普遍比观测值偏低,最高气温偏低比最低气温明显。春季和秋季,对于最高和最低气温,方案 10 偏差均最小,其中春季最高和最低气温的 ME 分别为 -4.36 °C 和 -2.45 °C,秋季 ME 分别为 -2.91 °C 和 -0.04 °C;方案 8 偏差均最大,其中春季最高和最低气温的 ME 分别为 -5.36 °C 和 -3.95 °C,秋季最高和最低气温的 ME 分别为 -3.76 °C 和 -0.99 °C。夏季,最高气温模拟值略偏低,方案 10 偏差最小 (-0.88 °C),方案 5 偏差最大 (-2.2 °C);最低气温方案 1 和方案 2 偏差最小,方案 8 偏差最大 (-0.78 °C)。冬季,从最高气温模拟结果可看出,方案 4 偏差最小 (-4.31 °C),方案 8 偏差最大 (-5.62 °C);最低气温方案 7 偏差最小,约等于 0 °C,方案 8 偏差最大 (-1.18 °C)。

从气温预报均方根误差来看,春季和秋季,最高和最低气温方案 10 均方根误差均最小,其中春季最高和最低气温的 RMSE 分别为 5.83 °C 和 4.7 °C,秋季最高和最低气温的 RMSE 分别为 4.19 °C 和 3.01 °C;方案 8 误差均最大,其中春季最高和最低气温的 RMSE 分别为 6.65 °C 和 5.53 °C,秋季最高和最低气温的 RMSE 分别为 4.75 °C 和 3.17 °C。夏季,最高气温方案 3 RMSE 最小(3.42 °C),方案 5 RMSE 最大(4.04 °C);最低气温方案 2 RMSE 最小(2.65 °C),方案 4 和方案 6 RMSE 最大,均为 2.87 °C。冬季,最高气温方案 10 RMSE 最小(5.84 °C),方案 8 RMSE 最大(6.81 °C);最低气温方案 8 RMSE 最小(4.99 °C),方案 4 RMSE 最大(5.27 °C)。

总体上,对于最高气温而言,4 个季节预报值均偏低,春季偏低最为明显(11 组方案平均 ME 为  $-4.97\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),均方根误差最大(11 组方案平均 RMSE 为  $6.27\text{ }^{\circ}\text{C}$ );其次为冬季,11 组方案平均 ME 为  $-4.65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;夏季模拟效果最好,11 组方案平均 ME

为  $-1.65\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。对于最低气温,同样春季模拟值偏低最明显(11 组方案平均 ME 为  $-2.97\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),其余 3 个季节相近,其中冬季 11 组方案平均 ME 为  $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。从均方根误差来看,夏季和秋季 RMSE 较低,冬季和春季 RMSE 较大。

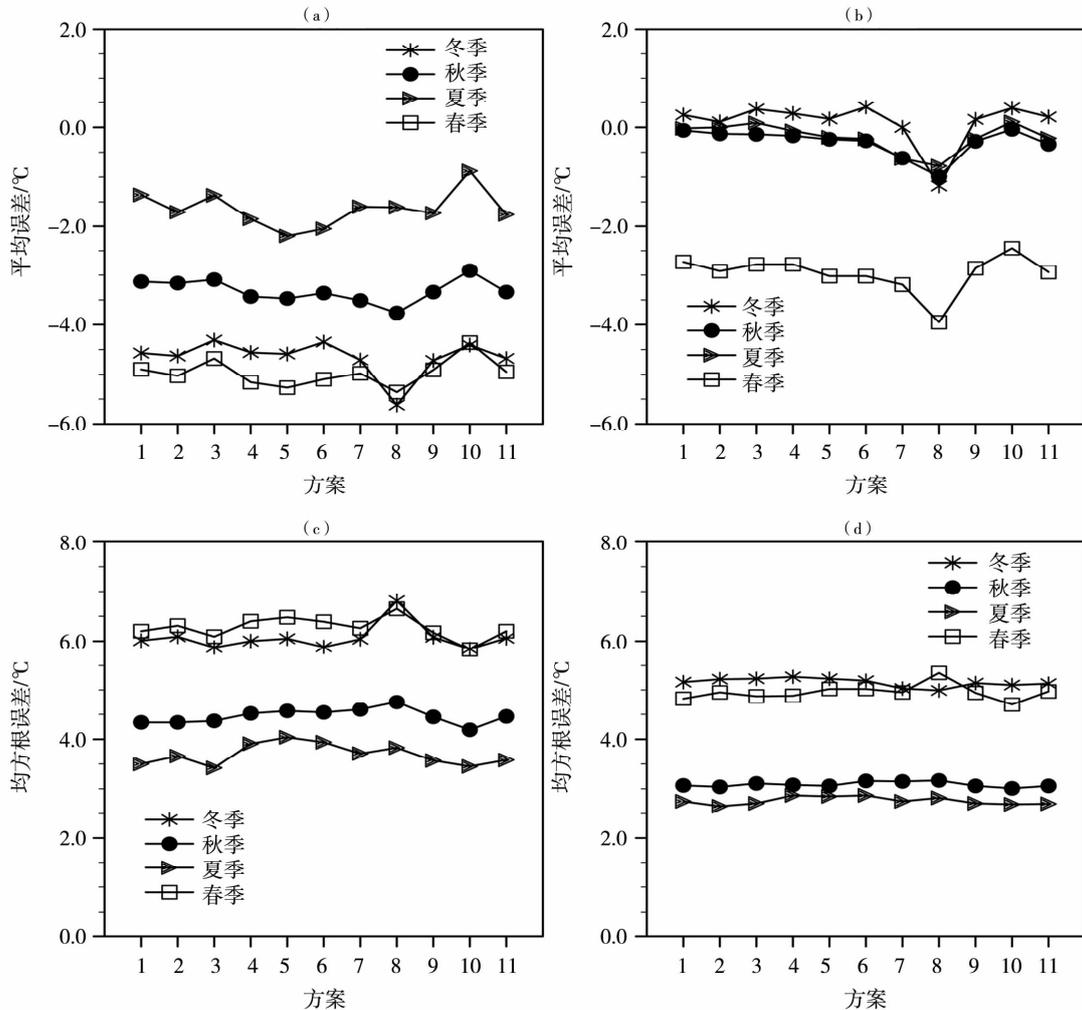


图3 2014年青海省不同季节最高(a,c)和最低气温(b,d)模式预报的平均误差(a,b)及均方根误差(c,d)

Fig. 3 The ME (a, b) and RMSE (c, d) of forecasted maximum (a, c) and minimum (b, d) temperature in different seasons in Qinghai Province in 2014

图4为2014年青海省不同季节气温预报误差 $\leq 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的预报准确率,可以看出,春季,对于最高气温,方案10准确率最高(19.47%),其次为方案3(19.20%),方案4最低(16.07%);最低气温,方案4准确率最好(38.13%),其次为方案1(38.00%),方案8最低(35.07%)。夏季,对于最高气温,方案3最高(41.10%),其次为方案1(40.84%),方案5最低(31.48%);最低气温,方案11预报模拟效果最好(55.81%),其次为方案9(55.42%),方案6最低(51.87%)。秋季,对于最高气温,方案10准确

率最高(27.81%),其次为方案1(25.94%),方案8最低(20.58%);最低气温,方案5最好(49.55%),其次为方案2(49.35%),方案3最低(45.23%)。冬季,对于最高气温,方案6最高(22.52%),其次为方案10(22.00%),方案8最低(14.97%);最低气温,方案8最好(35.03%),其次为方案7(31.81%),方案3最低(28.97%)。总体上,最高气温预报误差 $\leq 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的预报准确率,夏季>秋季>冬季>春季,11组方案的平均预报准确率分别为36.68%、23.8%、20.48%、17.5%。最低气温预报误差 $\leq 2\text{ }^{\circ}\text{C}$

的预报准确率,夏季 > 秋季 > 春季 > 冬季,11组方案的平均预报准确率分别为 54.01%, 47.73%, 37.02%, 30.78%。可以看出,最低气温模拟效果均好于最高气温。

综上所述,对于春、夏、秋季,方案10效果最好,其次为方案3;对于冬季气温模拟而言,最高气温方

案6和10效果最好,最低气温方案7模拟效果最好。综合不同季节模拟结果可以看出,微物理过程选用Eta(Ferrier)方案,积云对流选用KF方案模拟预报效果最好。边界层方案不同季节有差异,春、夏季边界层方案为ACM2,秋季边界层方案为MYNN2.5,冬季边界层方案为YSU,模拟预报效果最好。

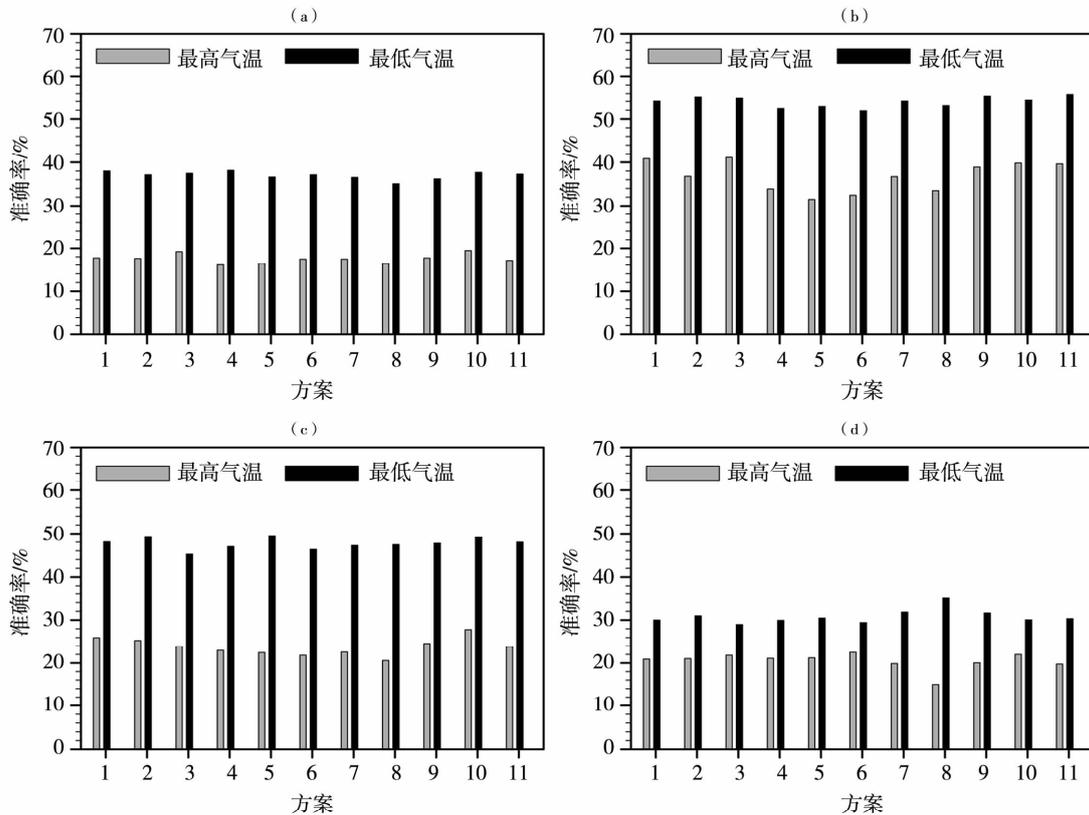


图4 2014年青海省不同季节最高、最低气温预报误差≤2℃的预报准确率  
(a)春季,(b)夏季,(c)秋季,(d)冬季

Fig.4 The TT<sub>2</sub> of maximum and minimum temperature in different seasons in Qinghai Province in 2014  
(a) spring, (b) summer, (c) autumn, (d) winter

### 2.2 降水对比

图5为春、夏、秋3个季节不同级别降水的TS评分和ETS评分。春季,小雨预报方案3TS评分最高(32.70%),方案1其次(31.77%),方案8最低(24.06%);中雨,方案6预报模拟效果最好,TS评分为2.67%,方案4其次(1.89%),方案7最低(0.48%)。ETS评分小雨各方案均为正值,说明均为正技巧,方案3相对较高;中雨方案4、5、6为正技巧预报。

夏季的小雨预报TS评分方案3最高(43.95%),方案6其次(43.20%),方案10最低(37.82%);对于中雨,方案7预报模拟效果最好,TS评分为6.51%,方案2其次(6.45%),方案8最低(1.71%);

方案3对大雨模拟效果最好,TS评分为1.61%。从夏季降水ETS评分来看,除了方案8,其余各方案的ETS评分均为正值,说明均为正技巧。小雨所有方案ETS评分都在0.12左右,方案8和方案11相对较高,方案4最低;中雨方案2、7、9较高;大雨仅方案3为正技巧预报。

从秋季降水预报的TS和ETS评分来看,小雨方案1TS评分最高为23.62%,方案3其次(23.58%),方案9最低(18.04%);中雨,方案7预报模拟效果最好,TS评分为1.19%,方案9其次(0.71%),方案1和方案11最低,均为0.18%。小雨的ETS评分均为正值,说明均有正技巧,方案1、2、3、8相对较高。

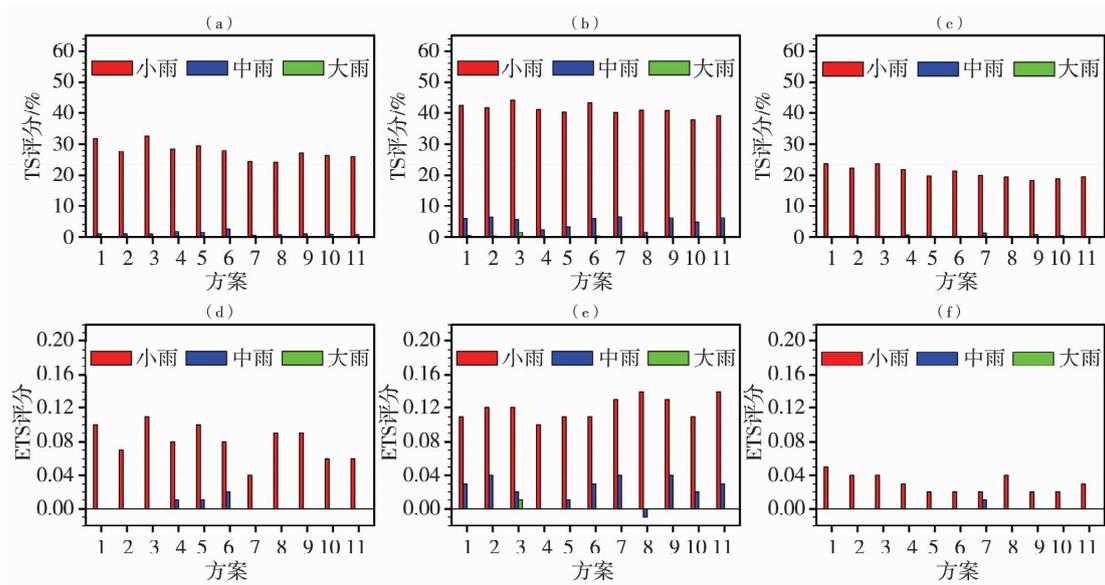


图5 2014年青海省不同季节小雨、中雨、大雨预报的TS评分(a、b、c)及ETS评分(d、e、f)

(a、d) 春季, (b、e) 夏季, (c、f) 秋季

Fig. 5 The TS (a, b, c) and ETS (d, e, f) of forecasted light, moderate and heavy rain in different seasons in Qinghai Province in 2014

(a, d) spring, (b, e) summer, (c, f) autumn

综合春、夏、秋3个季节降水评分可以看出,总体上夏季评分最高、春季次之、秋季最差,且方案3即微物理过程为Thompson方案、积云对流为KF方案、边界层为ACM2方案时对各季节降水模拟效果相对较好。

图6为春、夏、秋3个季节不同级别降水的预报

偏差(BIAS),其中预报偏差等于1代表预报最佳,大于1说明预报降水量偏多,小于1代表预报降水量比实况偏少。从图6可以看出,小雨预报普遍偏多,尤其秋季偏多较为明显;夏季中雨预报偏差接近1,即预报效果最佳,春季和秋季偏少;大雨整体预报偏少,夏季预报偏差小于春季和秋季。

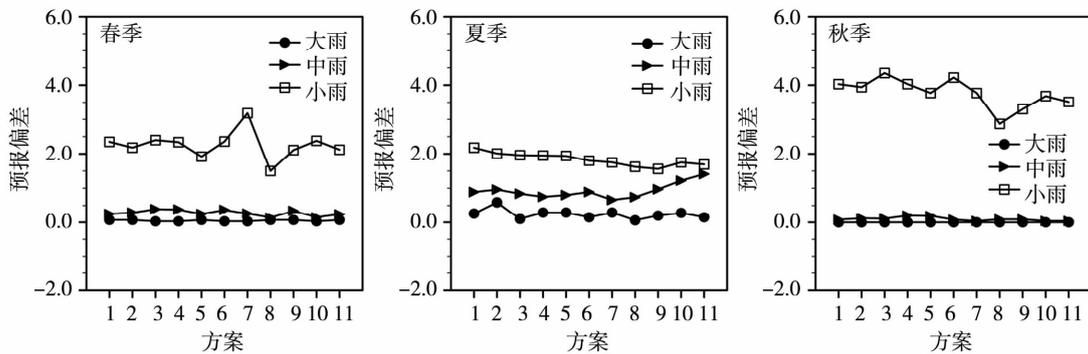


图6 2014年青海省不同季节小雨、中雨、大雨预报偏差

Fig. 6 The BIAS of light, moderate and heavy rain forecasted by the WRF model in different seasons in Qinghai Province in 2014

### 2.3 风速对比

图7为不同季节11组方案的风速预报平均绝对误差(MAE<sub>w</sub>)。可以看出,不同季节模拟效果存在差异,冬季误差最大,11组方案中,最大MAE<sub>w</sub>为1.60 m·s<sup>-1</sup>;春季和夏季次之,11组方案中,最大MAE<sub>w</sub>分别为1.29和1.22 m·s<sup>-1</sup>;秋季误差最小,

11组方案中,最大MAE<sub>w</sub>为1.05 m·s<sup>-1</sup>。

边界层方案的选取对于风速的模拟较为重要。冬季,当选取YSU方案时(方案1、4、7、8、9、10、11),风速的平均绝对误差较小,均在1.45 m·s<sup>-1</sup>左右,而选取MYNN2.5方案(方案2、5)及ACM2方案(方案3、6)时,风速模拟绝对误差较大,均在

1.60  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右。秋季,方案4模拟效果最好( $\text{MAE}_w$ 为1.00  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ),方案1次之( $\text{MAE}_w$ 为1.01  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ),其中方案4和方案1的边界层均为YSU方案。春季,方案1模拟效果最好( $\text{MAE}_w$ 为1.16  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ),方案1边界层同样为YSU方案。因此秋季和春季当选取YSU方案时,模拟效果较好。夏季情况较为复杂,边界层选取ACM2方案时风速模拟相对较好,但当边界层均为ACM2方案时,微物理参数化方案不同,风速模拟的绝对误差有所不同。

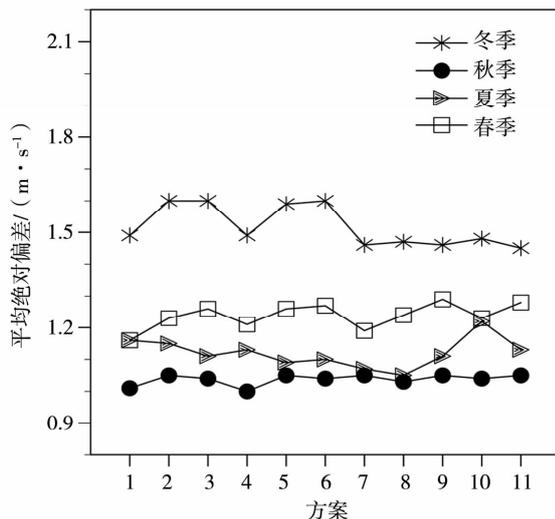


图7 2014年青海省不同季节风速预报平均绝对误差  
Fig.7 The mean absolute errors of forecasted wind speed in different seasons in Qinghai Province in 2014

### 3 结论

(1)微物理过程和积云对流参数化方案分别选用Eta(Ferrier)和KF时,不同季节气温模拟效果均较好;边界层方案不同季节略有差异,春、夏季选用ACM2,秋季选用MYNN2.5,冬季选用YSU,模拟预报效果最好。Thompson方案、KF方案和ACM2方案的组合对降水模拟普遍较好。边界层方案的选取对风速的模拟较为重要,冬季最为明显;夏季ACM2方案对风速模拟较好,其余季节YSU方案较好。

(2)不同季节对比可以看出,气温夏季模拟效果较好,秋季次之,春季最差;降水夏季模拟效果最好,春季次之,秋季最差;风速秋季模拟结果最好,夏季次之,冬季误差最大。

(3)最低气温模拟预报效果均好于最高气温。最高气温偏低明显,最低气温春季偏低,其余季节偏低较小。分量级降水来看,小雨预报普遍偏多,中雨预报略偏少,大雨整体预报偏少。

### 参考文献:

- [1] 王江山,李锡福. 青海天气气候[M]. 北京:气象出版社,2004.
- [2] 朱天亮,江灏,王可丽,等. WRF模式物理过程参数化方案对黑河流域降水模拟的影响[J]. 干旱区研究,2013,30(3):462-469.
- [3] 胡向军,陶健红,郑飞,等. WRF模式物理过程参数化方案简介[J]. 甘肃科技,2009,24(20):73-75.
- [4] 皇甫雪官. 地表物理过程参数化方案的研究进展[J]. 气象科技,1997(2):1-11.
- [5] 马红云,郭品文,宋洁. 耦合不同陆面方案的WRF模式对2007年7月江淮强降水过程的模拟[J]. 大气科学,2009,33(3):557-567.
- [6] NIU G Y, YANG Z L, MITCHELL K E, et al. The community Noah land surface model with multiparameterization options (Noah-MP): 1. Model description and evaluation with local-scale measurements[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2011,116,D12109:1-19.
- [7] 贵志成,郑益群,曾新民,等. 不同边界层参数化方案对东亚夏季风气候模拟的对比研究[J]. 气象科学,2014,34(6):638-646.
- [8] XIE B, FUNG J C, CHAN A, et al. Evaluation of nonlocal and local planetary boundary layer schemes in the WRF model[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2012,117,D12103:1-26.
- [9] GILLIAM R C, PLEIM J E. Performance assessment of new land surface and planetary boundary layer physics in the WRF-ARW[J]. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2010,49(4):760-774.
- [10] JIN J, MILLER N L, SCHLEGEL N. Sensitivity study of four land surface schemes in the WRF model[J]. Advances in Meteorology, 2010. <http://dx.doi.org/10.1155/2010/167436>
- [11] 孙科. WRF模式物理过程参数化方案对降水模拟影响研究[D]. 北京:华北电力大学,2011.
- [12] YANG Z L, NIU G Y, MITCHELL K E, et al. The community Noah land surface model with multiparameterization options (Noah-MP): 2. Evaluation over global river basins[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2011,116,D12110:1-16.
- [13] 马艳,董海鹰,陈尚. WRF中不同湿过程对青岛一次暴雨过程的预报性能检验[J]. 干旱气象,2016,34(3):494-502.
- [14] 郁红弟,赵德显,元慧慧,等. 不同物理过程参数化方案对梅雨锋暴雨的敏感性试验[J]. 气象与环境科学,2011,34(3):41-45.
- [15] 何光碧. MM5模式中积云参数化方案在西南地区适应性的进一步试验分析[J]. 高原山地气象研究,2009,29(3):12-19.
- [16] 屠妮妮,何光碧,张利红. 不同边界层和陆面过程参数化方案对比分析[J]. 高原山地气象研究,2012,32(3):1-8.
- [17] 马媛媛,杨毅,胡小明,等. WRF中三种边界层参数化方案对新疆“2·28”大风过程模拟的对比分析[J]. 沙漠与绿洲气象,2014,8(3):8-18.
- [18] 琚陈相,李淑娟,于晓晶,等. GRAPES模式中不同陆面方案对新疆一次强降水事件的模拟[J]. 沙漠与绿洲气象,2014,8(6):16-22.
- [19] 张利红,陈静,康岚,等. 背景场资料与参数化方案对暴雨预报

- 的影响[J]. 高原山地气象研究,2009,29(2):19-25.
- [20] 王晓君,马浩. 新一代中尺度预报模式(WRF)国内应用进展[J]. 地球科学进展,2011,26(11):1191-1199.
- [21] 黄海波,陈春艳,朱雯娜. WRF 模式不同云微物理参数化方案及水平分辨率对降水预报效果的影响[J]. 气象科技,2011,39(5):529-536.
- [22] MA M J, PU Z X, WANG S G, et al. Characteristics and Numerical Simulations of Extremely Large Atmospheric Boundary - layer Heights over an Arid Region in North - west China[J]. Boundary - Layer Meteorol, 2011,140:163-176.
- [23] 屠妮妮,何光碧,张利红. WRF 模式中不同积云对流参数化方案对比试验[J]. 高原山地气象研究,2011,31(2):18-25.
- [24] 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.
- [25] 段旭,王曼,陈新梅,等. 中尺度 WRF 数值模式系统本地化业务试验[J]. 气象,2011,37(1):39-47.
- [26] 霍文,秦贺,杨莲梅. 新疆 T213 数值预报降水评价[J]. 沙漠与绿洲气象,2010,4(3):12-17.
- [27] 张成军,纪晓玲,马金仁,等. 多种数值预报及其释用产品在宁夏天气预报业务中的检验评估[J]. 干旱气象,2017,35(1):148-156.
- [28] 袁有林,杨必华,周宏,等. WRF 模式不同集合预报方案对一次大范围暴雨过程的模拟研究[J]. 干旱气象,2016,34(6):1027-1036.

## Influence on Simulation of Temperature, Precipitation and Wind Speed by Using Different Combinations of Parameterization Schemes in WRF Model in Qinghai Province

SHEN Xiaoyan<sup>1,2</sup>, YAN Yuqian<sup>1,2</sup>, XIAO Hongbin<sup>1,2</sup>, QUAN Chen<sup>1,2</sup>

(1. Qinghai Institute of Meteorological Science, Xining 810001, China;  
2. Key Laboratory for Disaster Prevention and Mitigation in Qinghai Province, Xining 810001, China)

**Abstract:** Based on the observation data from 50 meteorological stations, the applicability of combined schemes of microphysical process, cumulus convection and boundary layer parameterization scheme in the WRF model in Qinghai in different seasons were discussed. The results are as follows: (1) When the Eta (Ferrier) and KF schemes were selected as the microphysical process and convection parameterization scheme, the temperature simulation results were better. The combination of Thompson, KF and ACM2 scheme was generally superior for precipitation simulation. The selection of the boundary layer scheme was more important to the simulation of wind speed. (2) Through the comparison of simulated results in different seasons, it can be seen that the simulation results of temperature and precipitation in summer were better. (3) The forecast effect of the minimum temperature was better than that of the maximum temperature, the simulated maximum temperature was obviously less than observation. (4) The forecast of light rain was generally more, for the moderate rain it was slightly less, while for the heavy rain it was generally less.

**Key words:** WRF model; parameterization scheme; Qinghai