

0519号台风“龙王”中尺度螺旋雨带的数值模拟

蒋荣复¹, 陈艺芳¹, 林卫华²

(1.福建省莆田市气象局, 福建 莆田 351100; 2.福建省莆田市秀屿区气象局, 福建 莆田 351146)

摘 要: 本文研究0519号“龙王”台风中尺度螺旋雨带结构特征及其与闽东北沿海地区特大暴雨的关系。通过对台风中尺度螺旋雨带特征的分析确定其引发福建暴雨的事实, 并采用MM5模式对台风的中尺度降水进行数值模拟。模拟得到的降水分布和强度与实况基本相符, 效果较好。在此基础上, 我们对此降水过程进行B、C方案的地形敏感性试验, 结果表明地形高度增加使迎风坡及山脉东侧的降水增加, 地形降低则反之, 山脉东侧地势较低地带受地形影响较小, 台风降水受地形影响呈现出类重力波式正负相间的降水差值波列形式, 但MM5对短时强降水的模拟效果较差。

关键词: 螺旋雨带; 结构; 暴雨; MM5 数值模拟

中图分类号: P731 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2010)05-0020-07

1 引言

台风螺旋云带是形成单纯的台风暴雨的主要系统之一。一个台风中, 常具有多条多方向对称或不对称的螺旋云带, 云带影响所及常伴有阵性降水和大风, 但因福建复杂地形, 台风影响福建时, 螺旋云带引发的降水和大风程度往往各有所异。陈瑞闪研究了地形对福建台风暴雨的影响, 指出地形对台风暴雨增幅作用很大^[1]; 吴启树等^[2]通过不同地形高度来模拟台风登陆前后时段台风暴雨过程, 结果表明福建东部沿海的特殊地形对登陆福建中部沿海的台风暴雨有着明显的增幅作用, 地形对台风暴雨的最大增幅作用发生在山脉迎风坡的地形坡度与气流正交速度乘积最大的时段。本文利用MM5模式输出的高分辨率产品, 较好地模拟了台风“龙王”登陆前后中尺度螺旋云带引发福建暴雨的强度和分布, 并通过对地形的模拟, 较为细致地分析了地形对福建台风暴雨的增强作用。

2 台风概况

0519号台风“龙王”(LONGWANG)9月26日08时在西太平洋洋面上生成后以稳定的西北偏西路径移向我国东南沿海, 9月27日02时~28日05时从强热带风暴迅速加强为强台风, 于10月2日05:15在台湾花莲县丰滨乡附近登陆, 2日21:35擦过晋江围头, 减弱为强热带风暴, 而后穿过金门岛南部, 于2日23:40再次在厦门登陆。台风“龙王”登陆后经漳州进入龙岩, 3日03时减弱为热带风暴, 3日08时减弱为热带低压。

台风“龙王”给福建带来的强降水主要集中在10月2~3日, 沿海大部分县市出现暴雨或大暴雨。据统计, 共有28个县市过程雨量超过100 mm, 其中有5个县市超过200 mm, 长乐市过程雨量最大达到334.1 mm。此次过程短时强降水的特征极为显著, 1 h降水极值大于100 mm的有4个站, 其中3个站集中在福州地区, 以长乐152 mm为最大, 此值创福建短历时降水历史极值, 且1 h降水

极值大于100 mm的站数,也为历年登陆和影响福建台风的短历时降水之最。

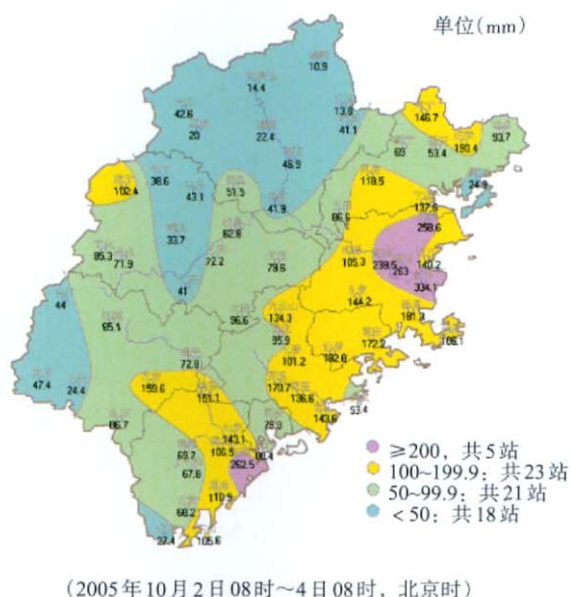


图1 0519号台风中尺度螺旋雨带的雨量分布

3 中尺度螺旋雨带活动的基本事实

台风“龙王”台风从强热带风暴加强为强台风整个过程仅用了27 h,在登陆花莲前,台风的结构非常典型。台风眼清晰可见,眼壁云区呈对称分布,螺旋云带主要分布在台风中心的西-北侧和南-东侧,眼壁区的云系和螺旋云带都具有很强的辐散流出层,表明此阶段螺旋云带发展极为旺盛,这也促使台风“龙王”快速发展。

台风“龙王”登陆花莲后,中高纬的冷锋云系随之加强东移,冷锋后的冷空气侵入台风北侧的螺旋云带,2日09时台风北侧的螺旋云带不仅与冷锋云系相衔接,云带上密实、白亮的对流云团也开始活跃。同时,台风眼区逐渐模糊,但南-东侧的螺旋云带仍然较为明显。2日16时,随着冷空气的进一步入侵,台风整体云系开始松散,眼壁云

系迅速减弱,从雷达回波图上看,台风近于空心,台风外围的螺旋云系占主导,云带上的对流云团已从云带的尾部向靠近台风中心的头部发展,在雷达回波图上,除第1现象外,外围云系的螺旋结构非常清晰。台风螺旋云带的维持是台风“龙王”登陆时仍维持台风量级的一个重要原因。

从台风登陆前后来看,10月2日09时后螺旋云带开始影响福建中北部沿海,随着台风向福建沿海靠近,云带开始横向深入福建的内陆地区。据观察,在降水集中的10月2日09时~10月3日08时期间,台风西-北侧先后有4条中尺度螺旋雨带,以下我们对螺旋雨带进行特征分析。

3.1 中尺度螺旋雨带的活动情况

从台风“龙王”外围螺旋云带发展过程来看,4条螺旋雨带均起源于台风中心西-北侧,距中心约150 km的半环形区;平均生命史为16.6 h,最短11.5 h,最长23 h;每条螺旋雨带向外传播的时间间隔不一,一般1~2 h(见表1)。

分析螺旋雨带和其引发的福建沿海地区的降水情况之间的关系,结果表明:前3条螺旋雨带对福建降水的影响集中在2日9~14时,以阵性降水为主,期间累积降水超过30 mm的仅有5个站,降水范围较小,主要分布在福州、莆田的部分沿海县市。这是因为这3条螺旋云带都在靠近海岸或进入内陆几十公里后便快速减弱。

第4条螺旋雨带对此次暴雨贡献最大。此雨带2日15时开始影响福建沿海地区,2日15时~3日02时福建沿海各市普降大雨,部分暴雨,莆田和福州出现全市性暴雨天气,以长乐310.6 mm为最。此阶段的降水以短时强降水为主,是由螺旋云带和台风环流北侧的中尺度涡旋共同作用的结果,这与刘爱鸣等^[3]在《台风龙王中尺度暴雨成因分析》中对福州大暴雨过程的成因分析结果是一致的。

表1 台风中尺度螺旋雨带活动过程表

螺旋雨带编号	螺旋雨带生命史			初始时距台风中心距离	影响时间
	初始发现时间	消失时间	历时		
1	2日04时	2日15时	12 h	140 km	2日09时
2	2日05时30分	2日17时	11.5 h	100 km	2日10时
3	2日07时	3日03时	20 h	80 km	2日12时
4	2日09时	3日08时	23 h	30 km	2日15时

3.2 中尺度螺旋雨带的传播特征

螺旋雨带以脉冲的形式径向向外传播,一般在海洋上时强度变化不明显,有的甚至减弱,一旦接触海岸或进入内陆几十公里范围内便迅速加强,但当螺旋雨带深入到距海岸100 km以外的鹭峰山的半坡时,迅速减弱,除少数越过山峰外,大多数在半坡上消散。可见,螺旋雨带的活动与海陆、地形的分布关系密切。

螺旋雨带传播速度也存在较大不同。同一条螺旋雨带,一般在海洋上移动速度快,靠近海岸或进入内陆地区,传播速度迅速减慢;处在不同方位的螺旋雨带,传播速度也不尽相同,对应于台风北侧或西北侧传播速度要比西侧快,因为相对于台风,螺旋雨带的走向是朝台风内旋入。

4 模拟简介与数值模拟结果分析

利用2005年10月1日20时~3日08时台风登陆前后时段NCEP逐日4次再分析资料作为初估场,其水平分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$,再分析模块采用一天4次的地面资料和一天两次探空资料,采用MM5V3模式对此次台风暴雨过程进行数值模拟,从2005年10月1日20时起积分36 h。采用一层嵌套方法,中心点定位于 26°N 、 118°E ,格距30 km,南北、东西格数均为61,模式顶气压100 hPa, σ 面垂直分层共20层。动力学过程采用流体非静力平衡方案,显式水汽方案选择稳定性降水方案,积云对流为Grell方案,时间差分方案采用的是时间分裂方案,增加计算效率,侧边界条件采用时变松弛边界条件,大气冷却为简单大气辐射,大气辐射计算频率为30 min,不计算云层水汽的垂直扩散,行星边界层物理过程参数化类型为高分辨率Blackadar行星边界层模式。

4.1 0519号台风降水的数值模拟结果

图2为模式输出的10月2日08时~3日08时24 h雨量场,与实况雨量(见图1)比较,强降水中心在福建福州地区,强降水带呈东北-西南走向,雨区中心值达360 mm,降水强度总体比实况略大,模拟结果与实况降水场相比,大范围降水区的分布、降水的强度和降雨中心基本一致,可以认为MM5模式具有模拟本次台风暴雨过程的能力。

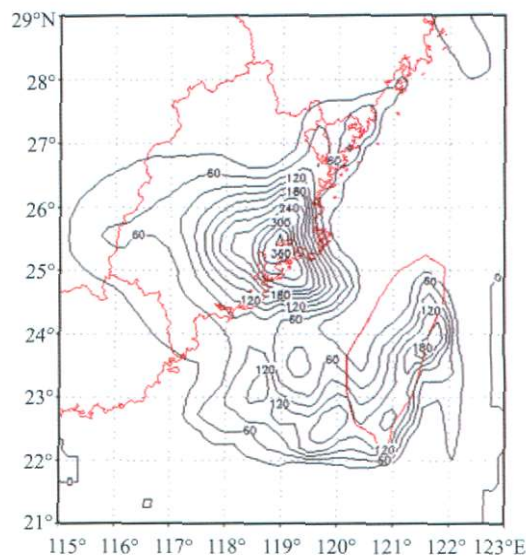


图2 模拟24 h降水量

4.2 地形对台风降水影响的数值模拟

福建东南沿海多丘陵,山区对降水的影响很大。福建中部有戴云山脉,主脊位于德化县境内,主峰1856 m;东北部有鹭峰山,主峰仁山1822 m,座落于宁德屏南县境内;东北部还有太姥山,主峰摩霄峰1008 m。太姥山、戴云山两山脉呈东北-西南向走向。我们设计了两个敏感性试验方案,分别是B方案(地形高度增加一倍),C方案(地形高度值为0 m,即去除地形的影响)。

4.2.1 模拟24 h降水量对比分析

福建省沿海山脉对台风暴雨的作用,与爬坡气流风速及山脉坡度有关。山脉爬坡气流产生的降水量(R)可表达为 $R = -\int_{p_0}^p F \cdot \omega \cdot \frac{dp}{g}$,其中, F 为凝结率, p 为气压, g 为重力加速度, ω 为山脉坡度所造成的垂直运动(而 ω 表达式又为 $\omega = -p \cdot g \cdot \bar{v} \cdot \nabla h$,其中 \bar{v} 为水平风矢量, ∇h 为地形高度梯度,即地形坡度)。 R 表达式说明山脉造成的雨量与凝结率、山脉坡度和正交气流速度成正比。通过对3种地形方案在选定时段进行数值模拟,选取降水强度较为集中的2日08时~3日08时(北京时间)24 h降水量的数值模拟(见图3)。

从图3a可以看出,在其他条件不变的情况下,增高地形高度后,降水中心位置不变,中心强度上升了40 mm,且在太姥山福鼎段的东侧形成

了100 mm降水中心。进一步分析B方案控制试验结果(见图3c),地形增加一倍时,太姥山和戴云山迎风坡及其东侧地区的降水明显增加,增强的降水中心均位于两座山脉东侧的沿海县市,中心强度均约120 mm;戴云山和鹗峰山之间的地势较低地带负降水中心为50 mm左右;两座山脉的背风坡降水没有明显增加,但在戴云山脉主峰附近降水却有所减少。据陈瑞闪的分析结论:地形的摩擦辐合及抬升作用,往往会使雨量成倍增长,并随地形高度增加,大者可达3~5倍之多,但一

般超过2500 m以上的山坡上又开始减小。而戴云山主峰高度增加一倍后达到3712 m,这与陈瑞闪的理论较为符合^[1]。

当地形高度降到零时(见图3b),降水范围和强度都明显减弱,降水中心往戴云山和鹗峰山之间地势较低的地带转移,从此地带到沿海形成了一条西北-东南向的雨带。从图3d上看,福建沿海中部、东北部各地区降水都显著偏少,戴云山脉东侧降水减少最为显著,负中心值达到210 mm,主峰位置减少180 mm左右,背风坡降水也减少

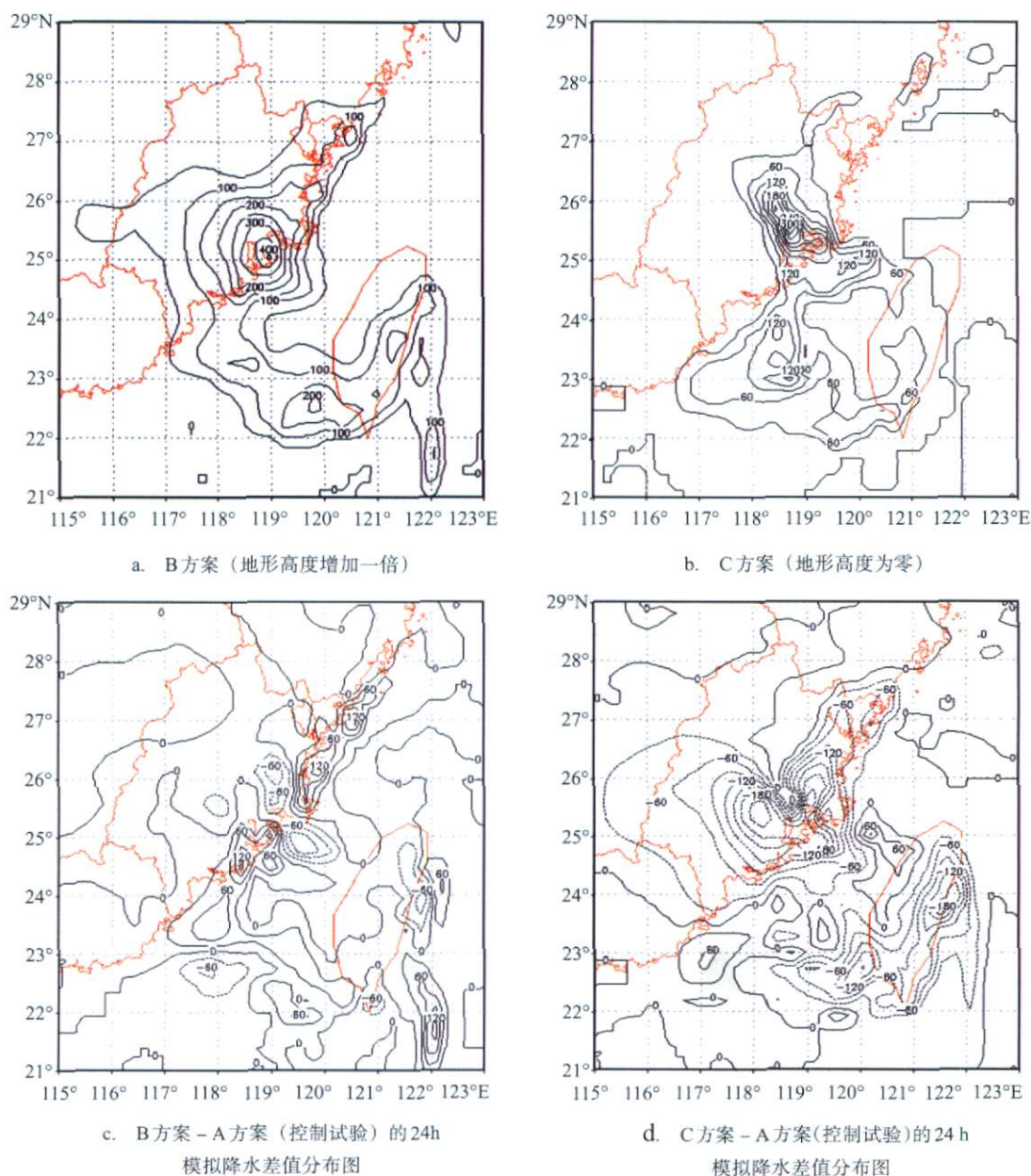


图3 模拟24 h降水量 (单位: mm; 等值线间隔: 30 mm)

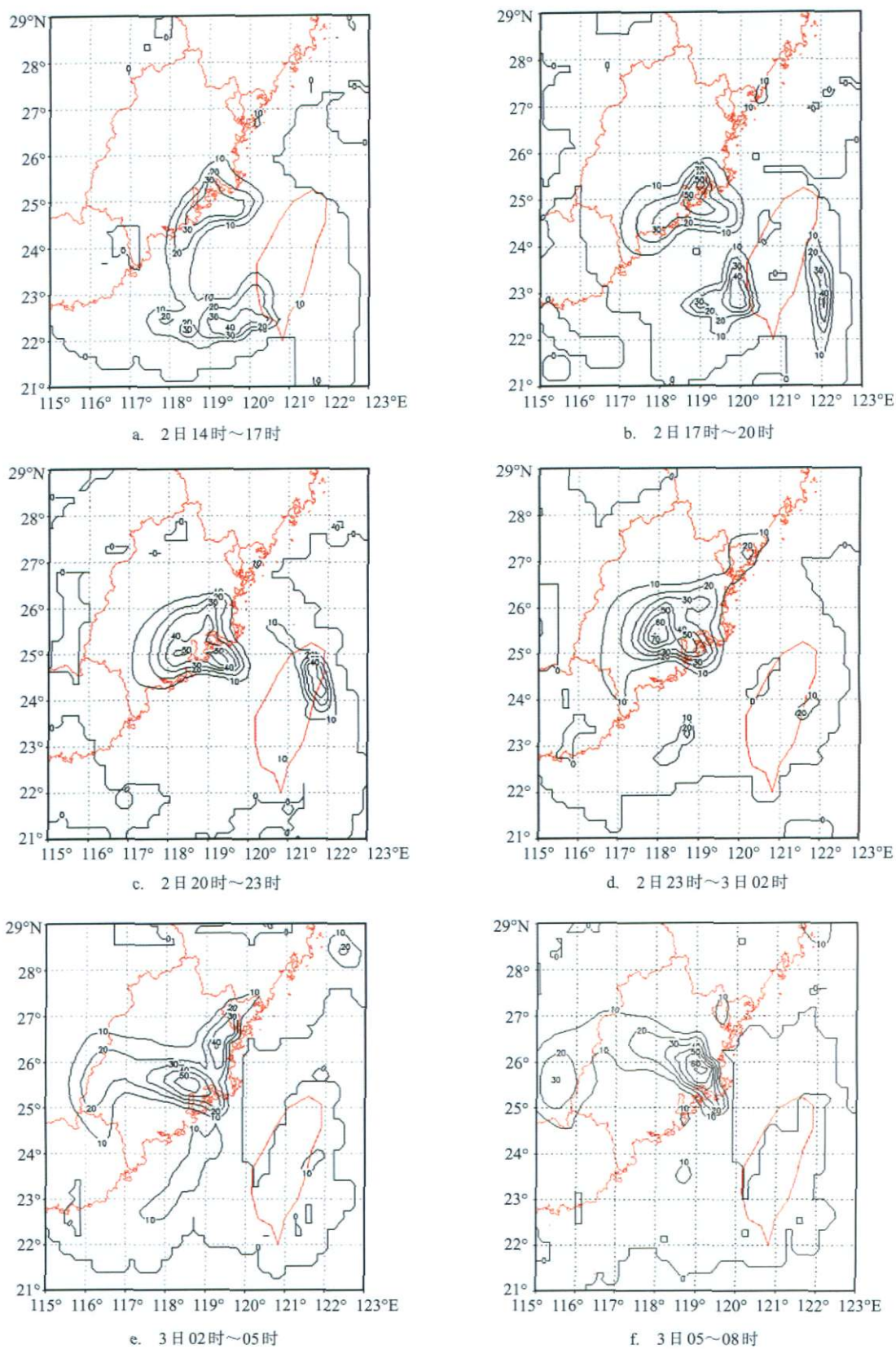


图4 模拟逐3 h降水分布图 (单位: mm; 等值线间隔: 30 mm)

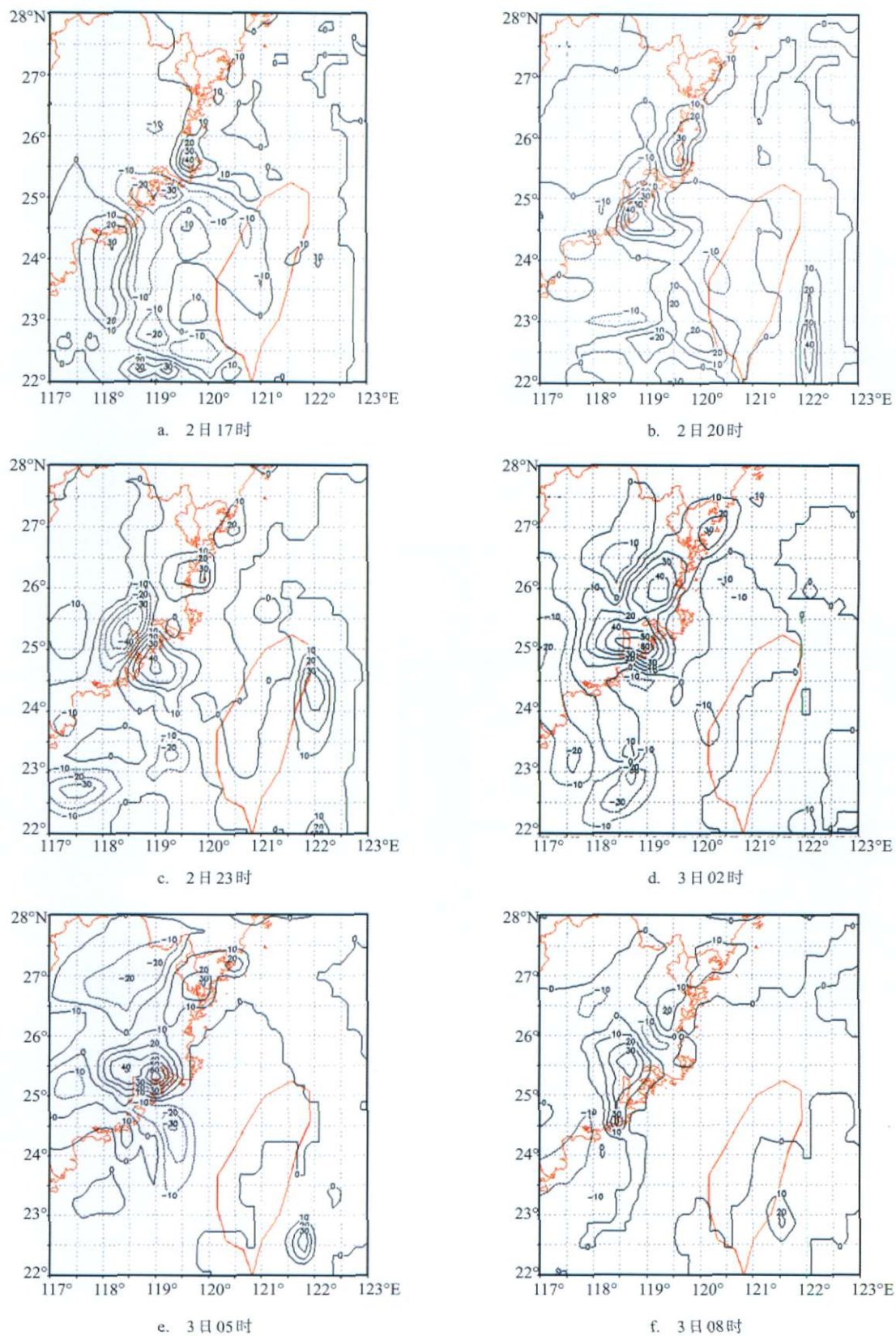


图5 敏感试验B方案与C方案的每3 h降水差值波列分布图(单位: mm; 等值线间隔: 30 mm)

60~120 mm;太姥山山脉降水减少虽没有戴云山程度大,平均约60 mm,但减少趋势与戴云山脉一致;戴云山和鹞峰山之间的地势较低地带降水负等值线从沿海纵向往内陆延伸,即越靠近地势低的地带,降水减少越不明显。

综上所述,地形增加一倍会使福建沿海的降水增加,降低地形高度则使降水减少,但降水增加的程度弱于降水减少的程度,因此,消除地形因素影响对福建的暴雨影响最大。台风“龙王”在福建南部登陆,台风东北部偏东北气流与戴云山脉、鹞峰山和太姥山东侧形成交角,台风气流爬坡过山时,一方面台风高温、高湿、强风等等因素,另一方面大量潮湿的空气集中在低层,使得气流在越山过程中受到的抬升作用很明显,对降水增幅有很大作用。然而,在戴云山和鹞峰山之间的地势较低地带降水均呈现减少趋势,且都是越靠近鹞峰山迎风坡,越接近实际降水情况,这说明地形的增高或降低对山脉东侧地势较低的地带影响较小且一致。另外,在台风外围,特别是台风的西南侧和台湾海峡北部海区降水不但没有减少反而增加了。

4.2.2 模拟降水强度最强的18 h逐3 h降水分析

选取降水强度最强的16 h即2日14时~3日08时18 h降水量数值模拟,对比逐3 h的累积降水量。从模拟的结果(见图4a~c)来看,台风登陆前的螺旋雨带清晰可见,其中2日23时~3日02时的3 h累积降水中心超过70 mm,为此期间3 h累积降水最大值;且从2日17时开始连续15 h每3小时累积降水中心均在50 mm以上。然而,实况是降水主要集中在2日16时~2日22时,6 h累积降水中心达303.0 mm。这说明在短时强降水方面,MM5的模拟效果与实况还存在较大差距,这与福建中北部的地形有密切的关系。

4.2.3 不同地形高度逐3 h降水差值波列分析

从敏感试验B方案与C方案的每3 h降水差值分布图(见图5)可以看出,台风降水呈现出类重力波式正负相间的降水差值波列形式。图5b上显示

最为清楚,福建中部-北部沿海出现东北-西南走向的降水波列,这应该与台风的旋转结构翻越地形有关。敏感试验B方案与控制试验每3 h降水差值分布图上(图略),也呈现出类似的结果,只是波列强度略有减弱。

5 结论

(1) 龙王台风登陆福建前后,闽中北的暴雨是由4条螺旋云带造成的,其中以第4条螺旋云带作用最为显著,此云带上的强对流云团和台风北侧的中尺度涡旋共同作用,引发了福州地区短时强降水;

(2) 螺旋雨带以脉冲形式径向向外传播,到达沿海时强烈发展,移动速度减慢,但在深入距海岸100 km以外的鹞峰山半坡时便迅速减弱;

(3) 用MM5V3.6模式可以较好的模拟出台风“龙王”降水分布及强度。通过地形增加一倍和地形高度为零的两种地形敏感试验,得出消除地形因素影响对福建的暴雨影响最大,但在戴云山和鹞峰山之间的地势较低地带降水均呈现减少趋势,且都是越靠近鹞峰山迎风坡,越接近实际降水情况;

(4) 从MM5模拟的逐累积3 h降水情况看,当在山脉东侧出现短时强降水时,数值预报反映出的结果却相对较均匀,与实况存在较大差距;

(5) 通过不同地形高度逐3 h降水差值波列分析,台风降水呈现出类重力波式正负相间的降水差值波列形式,其东北-西南方向的降水波列分布,应该与台风的旋转结构翻越地形有关。

参考文献:

- [1] 陈瑞闪.台风[M].福州:福建科学技术出版社,2002:535-544.
- [2] 吴启树,沈桐立,李双锦等.影响福建沿海的0010号“碧利斯”台风暴雨的地形敏感性试验[J].台湾海峡,2005,24(2):236-242.
- [3] 林毅,刘铭,刘爱鸣等.台风龙王中尺度暴雨成因分析[J].气象,2007,33(2):22-28.