

杨文霞, 2013. 台风螺旋雨带云结构和降水形成机制研究. 气象, 39(2):194-202.

台风螺旋雨带云结构和降水形成机制研究^{* 1}

杨文霞^{1,2}

1 河北省人工影响天气办公室, 石家庄 050021

2 河北省气象与生态环境重点实验室, 石家庄 050021

提 要: 应用数值模式结果, 选择台风登陆后两个不同时次螺旋雨带中两个强降水中心, 对台风螺旋雨带的云结构和降水形成机制进行诊断分析。结果发现螺旋雨带云结构和降水形成机制有如下特点: 在 9~13 km 高空范围内冰晶的非均质核化非常活跃, 冰晶转化率高于台风眼壁暴雨数倍, 但是冰晶通过贝吉龙过程生长为雪、雪通过凝华增长生长为霰的过程相对台风眼壁很弱, 螺旋雨带雨水形成微物理机制以霰粒子融化成雨水 (pgmlt) 为主, 冰相粒子转化率大值区位于垂直上升气流大值区, 8 km 高度霰收集雪 (dgacs) 干增长是最主要的冰相粒子生长过程, 与北方层状云比较, 螺旋雨带暴雨冷云中的凝华过程和撞冻过程非常活跃。螺旋雨带云水凝结过程呈双峰型, 位于 7~8 km 高度冷云区的云水凝结峰值较大, 暖云区 0.5~1.5 km 高度云水凝结峰值次之。

关键词: 台风, 螺旋雨带, 降水机制, 数值模拟

中图分类号: P426

文献标识码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2013.02.008

Study on the Cloud Structure and Precipitation Forming Mechanisms for the Spiral Rain Bands of Typhoon

YANG Wenxia^{1,2}

1 Hebei Provincial Weather Modification Office, Shijiazhuang 050021

2 Hebei Key Laboratory of Meteorology and Ecological Environment, Shijiazhuang 050021

Abstract: The data of numerical simulation are used to analyze the microphysical structures and the precipitation forming mechanisms for the spiral rain bands of typhoon. Two precipitation centers of different times are chosen as the cases being studied in the paper. The main microphysical characters of the spiral rain bands are as follows. The heterogeneous nucleation is very intense at altitudes 9–13 km, the ice crystal conversion ratio is several times higher than that in typhoon eyewall. However, the deposition processes of ice crystal and snow are very weak. The spiral rain bands are mainly produced by melting graupels (pgmlt). The graupel grows mainly through accretion with snow microphysical processes (dgacs). The peak value of the processes “dgacs” stays at altitude 8 km with big vertical vector. Compared with the stratiform clouds in the northern China, the deposition and accretion processes are very fierce in the typhoon spiral storms due to high moisture content. The profiles of the cloud water condensation processes in the spiral rain bands show a double peak type. The biggest peak stays at altitude 8 km in the cold cloud, and the secondary peak stays at altitudes 0.5–1.5 km in warm clouds.

Key words: typhoon, spiral rain bands, precipitation forming mechanism, numerical simulation

* 国家重点基础研究发展计划(2009CB421505)和公益性行业(气象)科研专项(201206051)共同资助
2012年3月1日收稿; 2012年7月18日收修定稿
作者: 杨文霞, 主要从事云和降水研究. Email: ywx418@163.com

引 言

陈联寿(2006;2010)认为台风暴雨可以分为 6 部分,台风环流范围内暴雨主要包括台风眼壁暴雨和台风外围螺旋雨带降雨。台风螺旋雨带的形成和涡旋 Rossby 波有关(余志豪,2002;朱佩君等,2005;王勇等,2008;陆汉城等,2007),台风螺旋雨带内部低层有多个强回波区,水平速度大值区主要分布在强回波带上;强回波带的低层有较强的上升气流,在螺旋雨带中存在多个辐合辐散对、上升下沉气流对,降水分布不均匀,具有中尺度强降水特征,螺旋雨带具有独特动、热力结构(周海光,2010a;2010b)。近十年来的研究表明,对台风暴雨的天气学、动力学研究较多,在台风系统与其他系统相互作用等方面取得了重要进展,但是几乎没有做过台风暴雨的微物理过程研究(李江南等,2003;程正权,2005),那么螺旋雨带云结构和降水形成机制具有什么特征,与台风眼壁降水微物理过程有什么异同,也是人们关注的重点,本文使用 ARPS 模式对 0713 号热带风暴韦帕进行数值模拟研究,从台风登陆后两个不同时次螺旋雨带中选择雨水转化率较强的两个点相互对比印证,研究其云结构和降水形成机制,并与台风眼壁降水微物理过程进行对比分析。

1 “韦帕”登陆活动简介

0713 号热带风暴韦帕于 2007 年 9 月 16 日 00 UTC 在西北太平洋洋面上生成,生成后向西北方向移动,16 日 18 UTC 加强为台风,17 日 10 UTC 加强为强台风。17 日 18 UTC 在台湾以东洋面加强为超强台风,中心附近最大风力 16 级($55 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$),并逐渐向浙江沿海靠近。18 日 12 UTC 减弱为强台风并于 18 日 18:30 UTC 在浙江省苍南县霞关镇登陆,登陆时中心附近最大风力 14 级($45 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)。登陆后,强度迅速减弱。18 日 21 UTC 进入福建减弱为台风,23 UTC 减弱为强热带风暴。19 日 00 UTC 进入浙江并于 03 UTC 减弱为热带风暴,“韦帕”在浙江滞留约 15 小时 30 分钟之后,先后经过安徽、江苏,于 19 日 23 UTC 时前进入黄海。“韦帕”北上穿过山东半岛东部后,在黄海北部变性为温带气旋。

2 模式、模拟方案简介

使用完善后的 ARPS 模式进行三重嵌套模拟,ARPS 模式是美国 Oklahoma 大学研发的非静力高分辨率区域预报系统,主要针对风暴尺度预报,完善后的 ARPS 模式增加了微物理过程转化率的预报。三层网格格距分别为 $27 \text{ km} \times 9 \text{ km} \times 5 \text{ km}$,第三层区域关闭了积云参数化方案,仅采用了 Lin-Tao 冰相微物理显式方案,并输出云微物理过程产生量;网格区域中心为 ($31^\circ \text{N}, 120^\circ \text{E}$),垂直 31 层,垂直格距 500 m。边界层参数化方案采用 Blackadar 方案;侧边界采用时间可变结合 Radiation 侧边界方案。

模拟利用 NCEP 逐 6 h 全球最终分析资料(FNL)与 MICAPS 系统下全球地面资料和探空资料进行四维同化做为初始场和侧边界,每 6 h 利用实测雨带反插调整模式初始水汽场,具体方法见参考文献(杨文霞等,2011)。

3 数值模拟结果检验

经与国家气象中心客观定位路径比较,模拟的台风中心登陆地点稍偏南,但台风中心移动情况与客观定位非常接近,ARPS 模式成功地模拟出 0713 号台风的登陆与登陆后的北移。模式海平面台风中心强度和实况对比显示,模式海平面台风中心强度比实况稍偏弱,最大相差 11.6 hPa。模式 6 h 累积降水量与实况对比显示,ARPS 模式成功地模拟出 6 h 累积雨带的范围、强度及结构,模拟的台风 6 h 强降水中心的强度和位置与实况比较一致,说明模式结果能够反映大气的基本状况和规律,可以用模式结果分析台风云微物理过程及动、热力过程。详细检验过程见文献(杨文霞等,2010)。

4 螺旋雨带水物质以及动、热力场特征

ARPS 模式 Lin-Tao 冰相微物理方案包括 6 种水物质,即水汽(q_w)、云水(q_c)、雨(q_r)、冰晶(q_i)、雪(q_s)、霰/雹(q_h),将 6 种水物质的格点比含量进行垂直平均,简称水物质垂直平均值,图 1 和图 2 分别为 2007 年 9 月 18 日 18:00 UTC 和 19 日 06:00 UTC 的水物质垂直平均值,选取图 1c 中雨水混合比较高

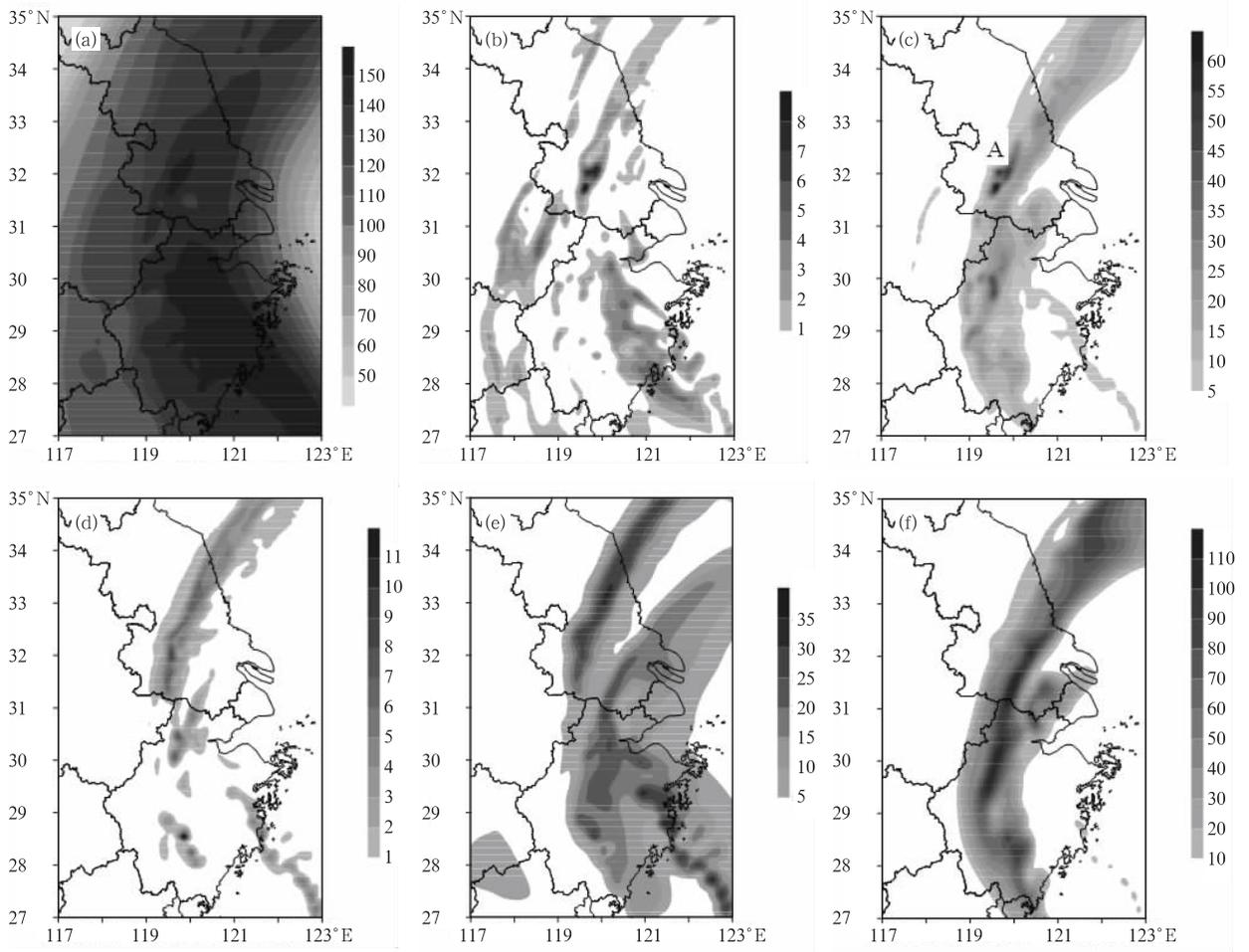


图1 2007年9月18日18:00 UTC水物质垂直平均值(单位: $10^{-5} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$),
(a)水汽(q_v), (b)云水(q_c), (c)雨(q_r), (d)冰晶(q_i), (e)雪(q_s),
(f)霰/雹(q_h), 台风中心位于(26.7°N, 120.7°E)

Fig. 1 The distributions on the vertical average of water substances at
18:00 UTC 18 September 2007 (unit: $10^{-5} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$)
(a) water vapor q_v , (b) cloud water q_c , (c) rain q_r , (d) ice crystal q_i ,
(e) snow q_s , and (f) hail or graupel q_h

的A点(32.5°N, 120°E)和图2c中雨水混合比较高的B点(33.5°N, 120.3°E)进行云结构和降水微物理机制研究。图1和图2可见, 2007年9月18日18 UTC和19日06 UTC台风都有明显的海上水汽输送通道, 螺旋雨带结构完整, 呈逆时针旋转的带状, 从台风眼附近北延至35°N, 螺旋雨带形状和霰粒子混合比含量高值区形状最接近, 螺旋雨带降水不均匀, 同时存在多个6小时累积强降水中心, 本文选取云水、雨水、冰晶、雪和霰粒子混合比含量均较高的A和B点进行分析, 选取的A和B点位于螺旋雨带强降水区, 冷、暖云过程都比较强, 有一定的代表性。

图3和图4分别给出A和B点的热、动力场重

直结构。如图所示, A点上空0.6 km高度以下气流下沉, 0.6 km高度以上为垂直上升气流, 垂直速度高值区位于1~12 km高度范围内, 高值中心出现在3.5 km高度附近, 与这种垂直结构相对应, 4 km高度以下的气流辐合, 其上为气流辐散区。

B点近地面层是下沉气流, 整个对流层以垂直上升气流为主, 最大上升速度约为 $1.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 位于8.5 km高度附近, 对流层高层气流以辐散为主, 而对流层低层辐合、辐散比较弱。虽然A和B点对流层都有垂直的上升气流, 但A点的动力场辐合辐散明显强于B点。

在热力场上, A和B点的 0°C 线从南向北逐渐

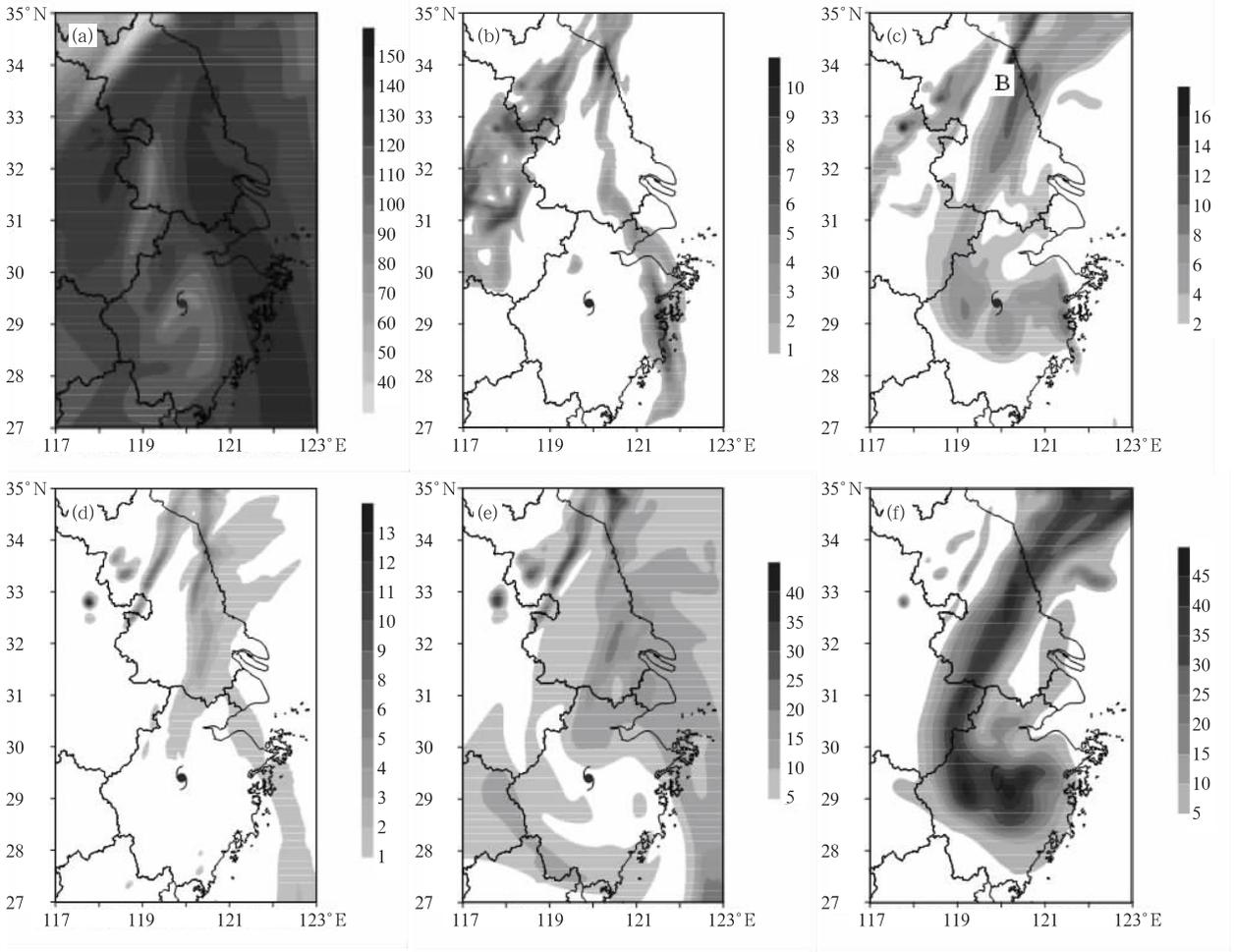


图 2 2007 年 9 月 19 日 06:00 UTC 水物质垂直平均值
 (a)水汽(q_v), (b)云水(q_c), (c)雨(q_r), (d)冰晶(q_i), (e)雪(q_s), (f)霰/雹(q_h)
 (单位: $10^{-5} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$, 图中台风符号为台风眼所在位置)

Fig. 2 As in Fig. 1, but for 06:00 UTC 19 September 2001

(The standard typhoon symbols stand for the position of typhoon eyes)

降低,由 27°N 的 5.5 km 高度逐渐降为 5 km,但是 9.8 km 高度处 -30°C 线没有明显变化。

5 螺旋雨带中的云物理过程

5.1 A 和 B 点水物质混合比垂直分布

2007 年 9 月 18 日 18:00 UTC 强降水中心 A 点和 2007 年 9 月 19 日 06:00 UTC 强降水中心 B 点 6 种水物质 q_v 、 q_c 、 q_r 、 q_i 、 q_s 和 q_h 混合比含量垂直分布特征如图 5 所示, A 点冰相粒子混合比含量大值区的高度分别位于: q_i : $7 \sim 14.5 \text{ km}$; q_s : $7 \sim 14.5 \text{ km}$; q_h : $3 \sim 14.5 \text{ km}$ 。 B 点冰相粒子混合比含量大值区分别位于: q_i : $6 \sim 14.5 \text{ km}$; q_s : $7 \sim 14.5 \text{ km}$; q_h :

$3 \sim 14.5 \text{ km}$ 。与台风眼壁相比(见图 5c),螺旋雨带冰相粒子混合比含量较低,螺旋雨带中水汽含量仍然比较丰富,但是冷云中云水混合比含量较低, A 点云水混合比含量大值区在 6 km 高度以下, B 点云水混合比含量大值区在 5.5 km 高度以下。

5.2 螺旋雨带雨水微物理形成机制

如图 6 所示,螺旋雨带中 A 和 B 点的雨水形成机制有些相似,贡献最大的 2 个雨水形成机制分别为:霰融化(pgmt)和雨水碰并云水(pracw),其他雨水增长的微物理过程很弱,转化率接近零;pgmt 峰值出现在 4 km 高度附近,生长高度主要位于 $2 \sim 4 \text{ km}$ 之间。 A 点的 pracw 主要发生在 2 km 以下高度,而 B 点 pracw 主要发生在 7 km 以下高度。螺

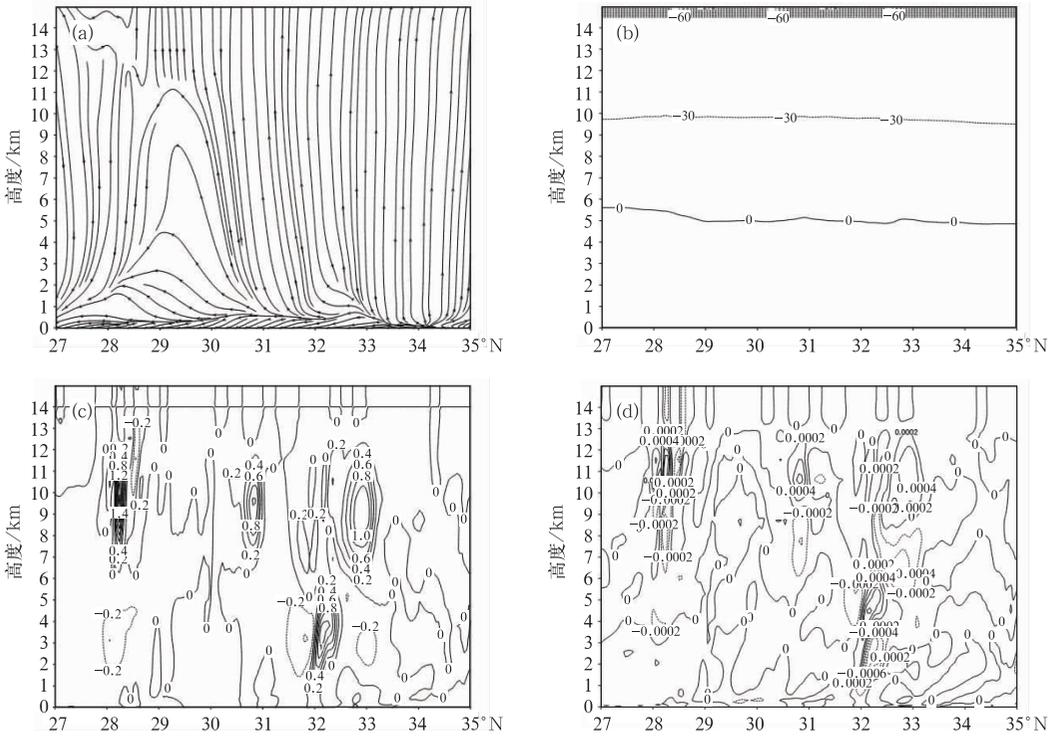


图 3 2007 年 9 月 18 日 18:00 UTC A 点热、动力场垂直结构(沿 120°E)

(a)垂直流场(单位: $m \cdot s^{-1}$), (b)温度(单位: $^{\circ}C$), (c)垂直速度(单位: $m \cdot s^{-1}$), (d)散度(单位: s^{-1})

Fig. 3 The vertical-zonal cross-sections (along 120°E) of thermodynamic and dynamic structures at point A at 18:00 UTC 18 September 2007: (a) wind field (unit: $m \cdot s^{-1}$), (b) temperature (unit: $^{\circ}C$), (c) vertical velocity (unit: $m \cdot s^{-1}$), and (d) divergence (unit: s^{-1})

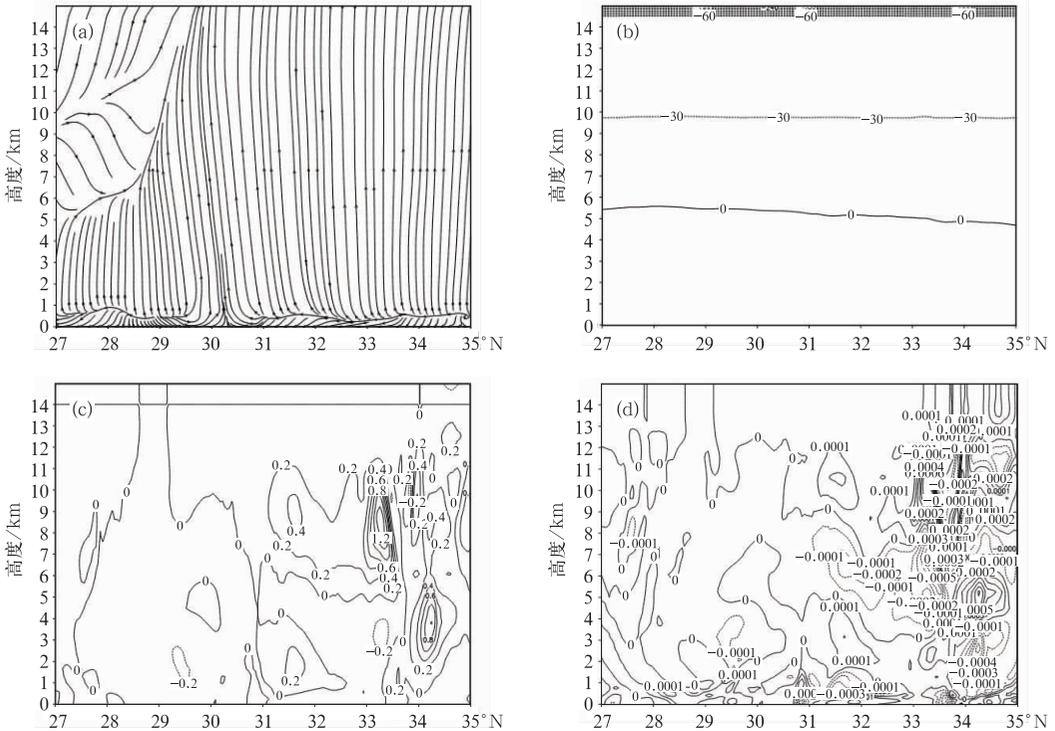


图 4 2007 年 9 月 19 日 06:00 UTC B 点热、动力场垂直结构(沿 120°E)

(a)垂直流场(单位: $m \cdot s^{-1}$), (b)温度(单位: $^{\circ}C$), (c)垂直速度(单位: $m \cdot s^{-1}$), (d)散度(单位: s^{-1})

Fig. 4 As in Fig. 3, but for point B at 06:00 UTC 19 September 2007

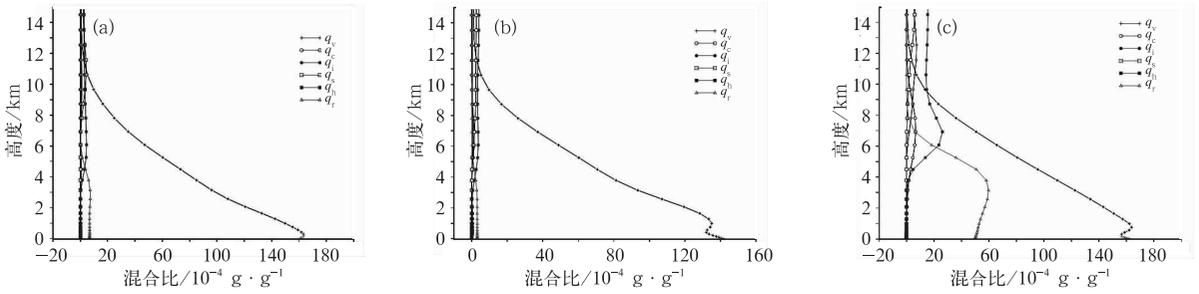


图 5 2007 年 9 月 18 日 18:00 UTC 强降水中心 A 点, 2007 年 9 月 19 日 06:00 UTC 强降水中心 B 点, 2007 年 9 月 19 日 00:00 UTC 台风眼壁强降水中心 6 种水物质 q_v 、 q_c 、 q_r 、 q_i 、 q_s 和 q_h 垂直分布特征

(a)A 点结果,(b)B 点结果,(c)台风眼壁强降水中心(29.5°N,121.8°E)结果

Fig. 5 The vertical distributions on the mixing ratios of 6 kinds of water substances at points A (a) and B (b), and the rainstorm center (29.5°N,121.8°E) (c) of the typhoon eyewall at 00:00 UTC 19 September 2007 (unit: $10^{-4} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$)

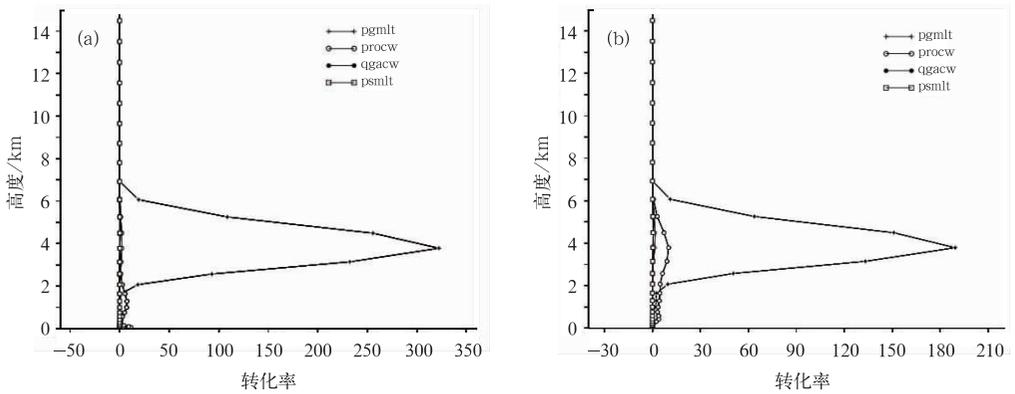


图 6 2007 年 9 月 18 日 18:00 UTC A 点(a)和 2007 年 9 月 19 日 06:00 UTC B 点(b)螺旋雨带雨水微物理形成机制 (单位: $10^{-4} \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig. 6 The rain forming mechanisms for two precipitation centers A (a) and B (b) of the spiral rain belts (unit: $10^{-4} \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

旋雨带两个重要的雨水形成微物理过程都和霰有关。

与台风眼壁雨水形成机制不同的是(周海光, 2010):螺旋雨带中 pgmlt 过程最强,是雨水形成的主要机制,其他微物理过程的作用相对较小,而台风眼壁降水形成的微物理机制中 pracw 过程非常强;螺旋雨带雨水快速增长微物理过程主要发生在 7 km 以下高度,低于台风眼壁雨水生长峰值的发生高度。

5.3 螺旋雨带霰微物理形成机制

如图 7 所示,螺旋雨带 A 和 B 点的霰形成机制以霰收集雪干增长 (dgacs)、霰撞冻云滴增长 (dgacw)和雨水接触雪使其成霰 (pracs) 为主,B 点雨水收集云冰转化成霰 (praci) 过程也较强,转化率

峰值达到 $0.2 \times 10^{-4} \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,由于 praci 和其他过程非常弱,图中不再显示。A 点 4 种主要霰生长过程的峰值依次出现在 9、8、9.5 和 10 km 高度; B 点 4 种主要霰生长过程的峰值依次出现在 8、7、8.5 和 9 km 高度。A 和 B 点霰主要生长高度位于上升气流大值区边缘,处在弱的高空辐散区。B 点霰转化率峰值低于 A 点,A 和 B 点的高度与垂直上升气流高值中心相对应。

螺旋雨带降水中心霰产生生长机制与台风眼壁有很大差异,首先螺旋雨带霰产生过程远远弱于台风眼壁强降水中心的霰增长过程;起主要作用的微物理过程也有很大差异,螺旋雨带霰主要由雨水接触雪使其成霰 (pracs) 和雨水收集云冰转化成霰 (praci) 产生,霰收集雪干增长 (dgacs)、撞冻云滴增

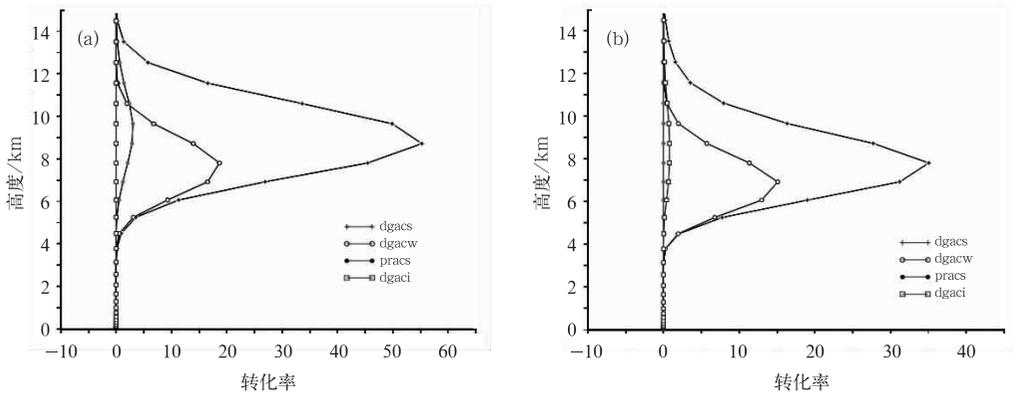


图 7 2007 年 9 月 18 日 18:00 UTC A 点(a)和 2007 年 9 月 19 日 06:00 UTC B 点(b)螺旋雨带霰微物理形成机制 (单位: $10^{-4} \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig. 7 The graupel forming mechanisms for two precipitation centers A (a) and B (b) of the spiral rain belts (unit: $10^{-4} \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

长(dgacw)和霰撞冻云冰干增长(dgaci),螺旋雨带雨水冻结产生霰(pgfr)微物理过程非常微弱,pgfr峰值接近零(图略)。霰收集雪干增长(dgacs)是霰最主要的微物理生长过程,而台风眼壁以霰撞冻云冰干增长(dgaci)为主,造成这种差异的原因是螺旋雨带霰过程发生的高度较低,由于冰相粒子在下落过程中不断增长而尺寸较大,雪混合比含量较高有关。

螺旋雨带和台风眼壁霰微物理过程也有一些相似点,例如,主要生长过程都位于垂直上升区和气流辐合区;但是螺旋雨带上升气流速度相对较小,此例螺旋雨带 B 点 3~4 km 高度范围还有一个弱的下沉气流区,不能把低层雨水带入高空,所以螺旋雨带没有雨水冻结成霰的过程。

5.4 螺旋雨带雪微物理形成机制

如图 8 所示,螺旋雨带中 A 点雪转化率高于 B 点;A 点雪微物理增长的强度从大到小依次为雪收集冰晶增长(psaci),峰值位于 9.5 km 高度附近;冰晶通过贝吉龙过程凝华增长成雪(psfi),峰值位于 9 km;雪撞冻云水增长(psacw),峰值位于 9 km;雪的凝华增长(psdep),峰值位于 7 km;云水通过贝吉龙过程凝华繁生形成雪(psfw),峰值位于 8 km。A 点雪的生长高度位于 5~14.5 km。B 点雪形成机制从大到小依次为雪撞冻云水增长(psacw),峰值位于 8 km;雪收集冰晶增长(psaci),峰值位于 9 km;冰晶通过贝吉龙过程凝华增长成雪(psfi),峰值位于 8 km;雪的凝华增长(psdep),峰值位于 8 km;云

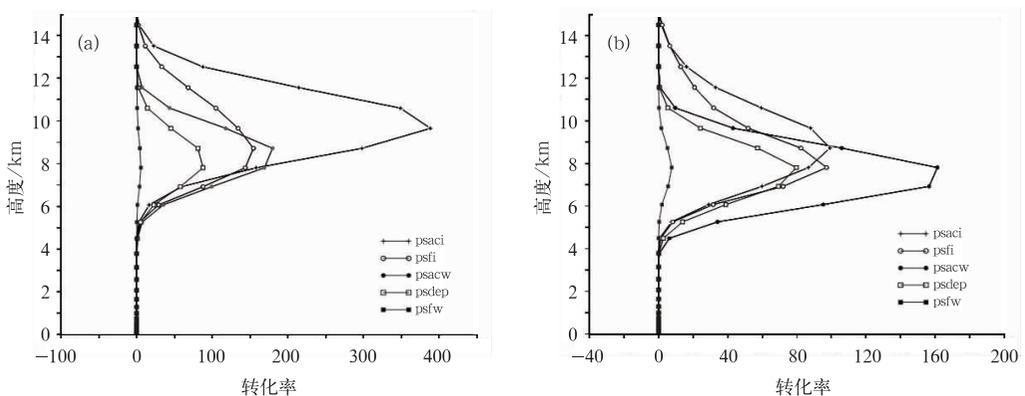


图 8 2007 年 9 月 18 日 18:00 UTC A 点(a)和 2007 年 9 月 19 日 06:00 UTC B 点(b)螺旋雨带雪微物理形成机制 (单位: $10^{-5} \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig. 8 The snow forming mechanisms for two precipitation centers A (a) and B (b) of the spiral rain belts (unit: $10^{-5} \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

水通过贝吉龙过程转化成雪 (psfw), 峰值位于 8 km。B 点雪的微物理增长的高度区间位于 4~14.5 km。A 点最主要的雪微物理生长过程是 psaci, B 点是 psacw; A 点的 psfi 过程强于 B 点。

台风眼壁强降水中心冰晶通过贝吉龙过程凝华增长成雪 (psfi), 云水通过贝吉龙过程转化成雪 (psfw) 在雪的微物理增长中占有很大比例, 雨水收集冰晶产生雪 (praci) 和冰晶接触雨水转化为雪 (piacr) 对雪微物理增长的贡献相对较小; 雪产生后, 雪凝华增长 (psdep)、雪收集冰晶增长 (psaci)、雪撞冻雨水增长 (psacr) 和雪撞冻云水增长 (psacw) 进一步促进雪增长, 其中雪收集冰晶增长 (psaci) 和雪撞冻云水增长 (psacw) 是两个主要的增长过程 (周海光, 2010)。

另外, 螺旋雨带雪形成机制中攀附、粘连和撞冻过程较强, 与台风眼壁相比, 贝吉龙过程相对较弱。

5.5 螺旋雨带冰晶微物理形成机制

如图 9 所示, 云冰初生 (pint) 和云水均质核化 (pihom) 是螺旋雨带冰晶增长的主要微物理机制, A 和 B 点的主要微物理过程非常相似, 云水均质核化过程 (pihom) 发生的高度为 9~13 km, 峰值位于 10.5 km 高度左右, 与台风眼壁暴雨均质核化的发生高度近似; 云冰初生过程 (pint) 最大值出现在 8.5 km 高度左右; 螺旋雨带中 A 点冰晶微物理增长率高于 B 点。台风眼壁两个降水中心云冰初生 (pint) 峰值为 $8.5 \times 10^{-4} \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, 而螺旋雨带中 A 点 pint 峰值为 $85 \times 10^{-4} \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, 是台风眼壁的 10 倍, B 点 pint 峰值为 $32 \times 10^{-4} \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, 几乎是台风眼壁的 4 倍, 可见螺旋雨带中冰晶转化率高于台风眼壁数倍。

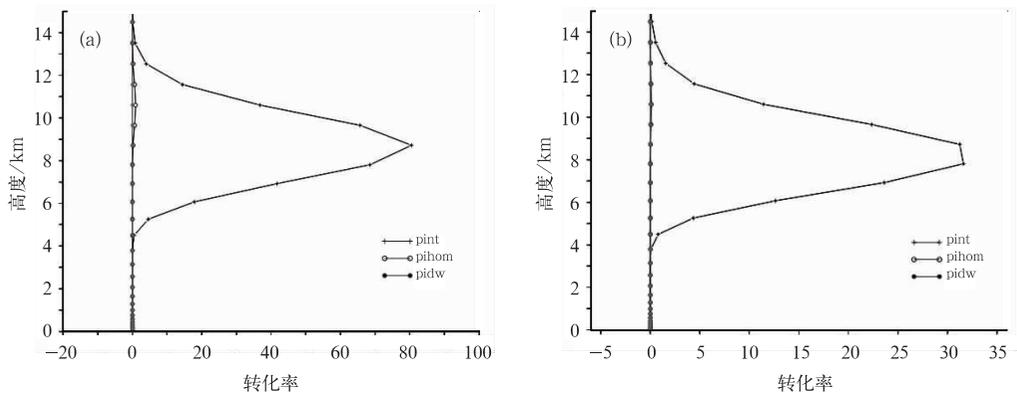


图 9 2007 年 9 月 18 日 18:00 UTC A 点 (a) 和 2007 年 9 月 19 日 06:00 UTC B 点 (b) 螺旋雨带冰晶微物理形成机制 (单位: $10^{-4} \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig. 9 The ice forming mechanisms for two precipitation centers A (a) and B (b) of the spiral rain belts (unit: $10^{-4} \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

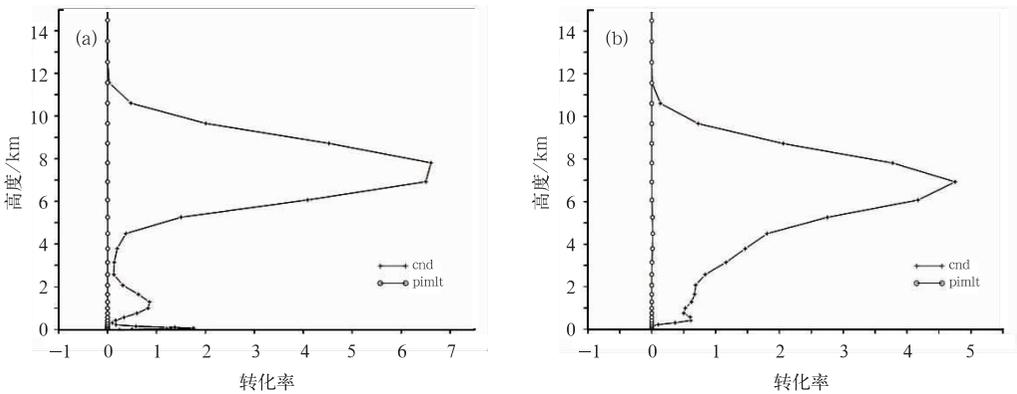


图 10 2007 年 9 月 18 日 18:00 UTC A 点 (a) 和 2007 年 9 月 19 日 06:00 UTC B 点 (b) 螺旋雨带云水微物理形成机制 (单位: $10^{-3} \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig. 10 The cloud water forming mechanisms for two precipitation centers A (a) and B (b) of the spiral rain belts (unit: $10^{-3} \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

5.6 螺旋雨带云水微物理形成机制

如图 10 所示,螺旋雨带中 A 和 B 点的水汽凝结过程转化率的最大值比较接近,约为 $5 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,A 点的两个峰值分别出现在 8 和 1.5 km 高度,B 点两个峰值分别出现在 7 和 0.5 km 高度。A 点和 B 点的冰晶融化产生云水过程 (pimlt) 都较弱,无法在图中同时显示,A 点 pimlt 过程为单峰型,峰值为 $0.004 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,位于 4.5 km 高度;B 点 pimlt 过程为单峰型,峰值为 $0.018 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,位于 4.5 km 高度。

与台风眼壁不同的是,螺旋雨带的云水凝结过程呈双峰型,第一个峰值较大,位于冷云区;第二个峰值较小,位于暖云区,而台风眼壁的云水凝结过程主要发生在暖云区。

6 结 语

本文选择台风登陆后两个不同时次螺旋雨带中两个强降水中心,对台风螺旋雨带的云结构和降水形成机制进行诊断分析。结果发现,螺旋雨带雨水形成微物理机制以霰粒子融化成雨水 (pgmlt) 为主,8 km 高度霰收集雪 (dgacs) 干增长是最主要的霰生长过程,冰相粒子转化率大值区均位于垂直上升气流大值区和高空较强气流辐合区。与北方层状云比较,台风暴雨由于云中含水量丰富,冷云中的凝华过程和撞冻过程非常活跃。螺旋雨带云水凝结过程呈双峰型,位于 7~8 km 高度冷云区的云水凝结峰值较大,暖云区 0.5~1.5 km 高度云水凝结峰值次之,并且低于台风眼壁暖云区云水凝结率。

螺旋雨带云结构和降水形成机制还有如下特点:在 9~13 km 高空范围内冰晶的非均质核化非常活跃,与台风眼壁暴雨冰晶产生机制相似,但是冰晶通过贝吉龙过程生长为雪、雪通过凝华增长生长为霰的过程相对很弱,致使螺旋雨带暴雨冷云过程相对较弱,而螺旋雨带暖云区云水凝结率相对台风眼壁也较低,以致螺旋雨带霰和雪粒子融化后碰并云水过程也较弱。

参考文献

- 陈联寿. 2006. 热带气旋研究和业务预报技术的发展. 应用气象学报, 17(6):672-681.
- 陈联寿. 2010. 热带气象灾害及其研究进展. 气象, 36(7):101-110.
- 程正权, 陈联寿, 徐祥德, 等. 2005. 近十年中国台风暴雨研究进展. 气象, 31(12):3-9.
- 李江南, 王安宇, 杨兆礼, 等. 2003. 台风暴雨的研究进展. 热带气象学报, 19(增):152-159.
- 陆汉城, 钟玮, 张大林. 2007. 热带风暴中波动特征的研究进展和问题. 大气科学, 31(6):1140-1150.
- 王勇, 丁治英. 2008. 台风“海棠”的螺旋雨带结构及特征. 南京气象学院学报, 31(3):352-362.
- 杨文霞, 冉令坤, 洪延超. 2010. 台风 (Wipha) 云微物理特征数值模拟研究. 科技导报, 28(23):33-39.
- 杨文霞, 赵利品, 邓育鹏, 等. 2011. 台风眼壁的云结构和降水形成机制分析. 气象, 37(12):1481-1488.
- 余志豪. 2002. 台风螺旋雨带——涡旋 Rossby 波. 气象学报, 60(4):502-507.
- 周海光. 2010a. 超强台风韦帕 (0713) 螺旋雨带中尺度结构双多普勒雷达研究. 大气科学学报, 33(3):271-284.
- 周海光. 2010b. 罗莎 (0716) 台风外围螺旋雨带中尺度结构的双多普勒雷达试验研究. 气象, 36(3):54-61.
- 朱佩君, 郑永光, 王洪庆, 等. 2005. 台风螺旋雨带的数值模拟研究. 科学通报, 50(5):486-494.