

温州“9.4”台风倒槽特大暴雨分析

郑峰, 张天河, 吴贤笃, 余贞寿

温州市气象局, 浙江温州 325027

[摘要] 运用 T106 数值预报产品、MM5 模式结合 Q 矢量计算 NCEP 资料、天气实况及卫星云图等非常规资料, 对 1999 年 9 月 4 日凌晨在远离 9909 号热带风暴中心的浙江省温州市引发的特大暴雨进行了探讨。发现秋季在厦门以南至广东东部登陆的台风, 在浙中南沿海形成台风倒槽, 该倒槽内的暖湿切变线的中尺度对流复合体 (Mesoscale Convective Complex, MCC) 是引起特大暴雨的重要条件。从计算得出的 Q 矢量散度分布看, 本次特大暴雨降水发生时间和量级与该时段内温州经历的强 Q 矢量散度梯度发展有密切联系。同时, 温州呈东北-西南走向的海岸线及境内雁荡山脉有利地形的抬升作用, 对本次热带风暴倒槽降水局地特大暴雨的形成有重要贡献。

[关键词] 远距离台风暴雨; 台风倒槽; 中尺度对流复合体 (MCC); Q 矢量散度梯度

[中图分类号] P435

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2007)11-0034-05

Analysis of Wenzhou Abnormal Heavy Rain Associated with 9909 Tropic Cyclone

ZHENG Feng, ZHANG Tianhe, WU Xiandu, YU Zhenshou

Meteorological Observatory of Wenzhou, Wenzhou 325027, Zhejiang Province, China

Abstract: By use of T106 numerical products, satellite data and observations, this paper analyzes Wenzhou abnormal heavy rain associated with 9909 tropic cyclone. The results show that the autumn tropic cyclone landing at the east of Guangdong province is often accompanied with an inverted trough extending to the middle-south Zhejiang coast. At the special place, one may see Mesoscale Convective Complex (MCC), which is responsible for the abnormal heavy rain.

Key Words: abnormal heavy rain; inverted trough; Mesoscale Convective Complex (MCC); front of Q vector divergence

CLC Number: P435

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2007)11-0034-05

0 引言

台风灾害的主要部分往往是由台风暴雨引起的, 对台风暴雨的研究有利于提高对台风天气的预报水平。远距离台风发生的暴雨是台风暴雨分析预报中的难点之一, 天气气候分析表明, 在浙闽登陆的台风往往会给华北以至东北带来 100 mm 以上的特大暴雨。这种远距离的台风暴雨常与高空急流、台风登陆后强度维持不衰、西风槽、台风中有倒槽向北伸展, 以及北方有冷空气南下等许多物理因子有关。远距离台风暴雨是在有利的大尺度背景下, 中、小尺度系统活动的结果, 该类强降水在空间和时间上都具有中尺度特征^[1-2]。由于这块暴雨的位置远在台风北方, 相距甚远, 利用常规预报方

法^[3]难度大, 往往容易被忽视。

1 方法

利用 MM5 中尺度数值模式并结合表征引起温度场变化的地转扰动的 Q 矢量计算 NCEP 2.5×2.5 资料, 得出 Q 矢量散度的分布。

1.1 新形式的准地转方程

1978 年, Hoskins 等由准静力、准地转、绝热、无摩擦、 f 平面的 p 坐标系运动方程组出发推导出了下列新形式的准地转 ω 垂直运动方程

$$-A^2\omega = -2\nabla \cdot Q$$

上式表明, 在 f 平面上准地转的垂直运动仅由 Q 矢量的

收稿日期: 2007-04-06

基金项目: 国家自然科学基金项目 (404050009, 40205008), 国家重点基础科研发展规划项目 (2004CB418301)

作者简介: 郑峰, 男, 浙江省温州市横河南新村温州市气象局, 高级工程师, 研究方向为天气气候预测;

E-mail: zhengfeng121@yahoo.com.cn

散度决定。其中, f 平面指科氏力参数 f 在局地直角坐标系中某个小区内取常数且去掉球面性; p 坐标是指为了适应分析等压面上的气象要素场而引入以气压 p 代替高度 Z 作垂直坐标的 p 坐标系。当 ω 场具有波状特征时, ω 与 Q 矢量散度呈正相关。由此可推断出, 当 Q 矢量散度小于零时, ω 小于零, 为上升运动; 反之则为下沉运动。这种以 Q 矢量散度为唯一强迫项的新形式的准地转 ω 方程避免了传统方程的大量计算, 而且具有物理意义清楚、计算简便的特点。

1.2 数值模式

中尺度数值模式为第 5 代美国 NCAR 宾州州立大学的中尺度数值模式(MM5V2)。其水平网格距取 54 km, 水平区域的中心点设在 (36°N, 105°E), 东西向格点数 129 个, 南北向格点数 121 个; 嵌套内域网格距取 18 km, 东西向格点数 85 个, 南北向格点数 85 个; 铅直方向为 21 个非均匀 σ 层; 地形分辨率为 10'; 积云对流参数化方案为 Betts/Miller 积云对流参数化方案, 行星边界层方案取 MRF 方案, 且考虑由云引起的长、短波辐射; 时间步长为 2 min, 积分为 48 h, 所需机时超过 2 h。

2 分析

2.1 天气形势

2.1.1 台风倒槽与特大暴雨

9909 号热带风暴引发的百年未遇的特大暴雨, 主要集中在温州、台州和丽水部分地区。据统计, 1999 年 9 月 3 日 8 时至 4 日 8 时, 温州本站雨量为 392.7 mm, 永嘉 235.6 mm, 据水文部门统计 5 个县(市)共 12 个水文站降水量超过 200 mm。此次特大暴雨于 9 月 4 日凌晨零时在远离台风登陆区的倒槽内(温州上空)有中尺度对流云团产生, 至凌晨 5-8 时达到最强盛, 且该对流云团在温州就地生成后维持少动、呈准静止状, 因而降水集中在凌晨 5-8 时, 温州本站 3 h 降水量达 347 mm, 超过温州市历史最高记录, 同时也是浙江省历年最高记录, 在国内也不多见。特大暴雨导致山体滑坡和城市低洼地区受淹, 人员与经济损失惨重。

对 1949-1989 年共 11 个个例进行统计分析, 发现秋季(9、10 月份)台风西北或西西北行在厦门以南至广东东部登陆后, 台风大降水主要在远离台风登陆区的浙东南沿海^[4]。由于受到台风外围倒槽影响温州地区降水 100~200 mm, 局部 200 mm 以上有 7 次, 其中降水在 200 mm 以上、局部 300 mm 以上有 2 次, 分别是 8116 号台风和 9909 号热带风暴。8116 号台风和 9909 号热带风暴属于典型的东风急流型, 台风外围低层东风急流里热带云团产生强降水, 其特征为: ① 副热带高压稳定, 120°E 脊线在 30°N 以北; ② 地面和低层处于东西向高压带或变性高压的 S-SW 侧; ③ 中低层台北、石等附近的洋面上有一个 E-SE 急流, 该急流速度可高达

34 m/s, 且很宽厚; ④ 台风低压北部的暖湿气流里不断有东风扰动, 随台风倒槽自东南向西北方向传播。该类台风外围的大暴雨过程中, 大都存在一条由偏南风 and 偏东风形成的暖性切变线。该暖性切变线对大暴雨过程起很强的增幅作用, 可导致突发性局地 300 mm 以上的特大暴雨^[5]。此外, 若冷空气与台风倒槽相遇也可能产生特大暴雨^[6]。

2.1.2 特大暴雨的天气形势

9909 号热带风暴于 9 月 3 日 5 时编号, 以后一直往西北方向移动, 见图 1。图中虚线为 20 时 850 hPa 暖湿切变线。此次热带风暴外围特大暴雨就发生在热带风暴低压缓慢北上时其北侧的倒槽中。3 日 8 时的天气形势: 500 hPa 长江中下游、黄海、东海东部, 以及朝鲜半岛、日本均受西太平洋副热带高压控制, 高压中心位于日本以南的海面上, 登陆热带风暴与副热带高压之间在我国东部沿海形成宽广的低空偏东风急流。3 日 20 时之后副热带高压加强西伸, 北侧副热带高压维持强势, 特别是台湾东北侧附近副热带高压加强西进明显。热带风暴西北行倒槽北抬, 使得登陆热带风暴与副热带高压之间的偏东急流进一步得到加强, 水汽输送增强。由于副热带高压西伸和倒槽北上, 使得我国东南沿海的流场呈一定的气旋性弯曲, 表现为一条辐合线——热带风暴倒槽顶的切变线, 在温州南侧生成并在温州呈准静止状态, 从而引发了特大暴雨。

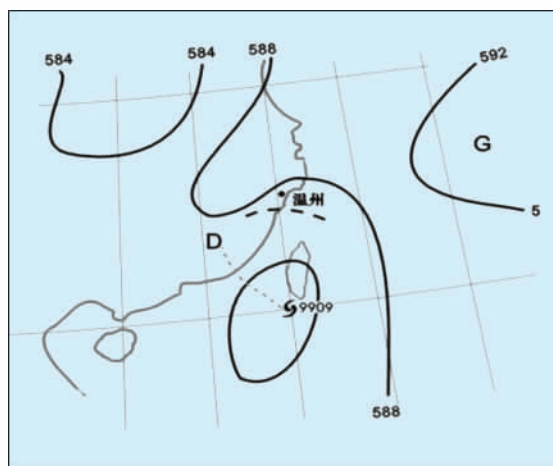


图 1 1999 年 9 月 3 日 8 时天气形势图

Fig. 1 The 500 hPa height field at 0000 UT Sept. 3, 1999

2.2 云顶最低温度 TBB 与雨团强度变化

选取 4 日凌晨至上午温州市上空卫星云图观测到的云团各时次云顶最低温度 TBB, 从云顶最低温度 TBB 的发展变化看 (见图 2), TBB 值有一个涨落过程, 反映了中尺度对流云团由弱到强、再由强到弱的一个过程。随着 TBB 的不断降低, 相应的强降水强度迅速地增强, 至 6 时云顶温度发展到最低, 雨强亦达最大值

137.6 mm/h,以后,7、8 时次 TBB 亦呈低值,实况分别表现为 97.5 mm/h 和 87.7 mm/h 的持续性降水,与 TBB 是低值不无关系,说明大降水强度与云顶低温有一定的对应关系。

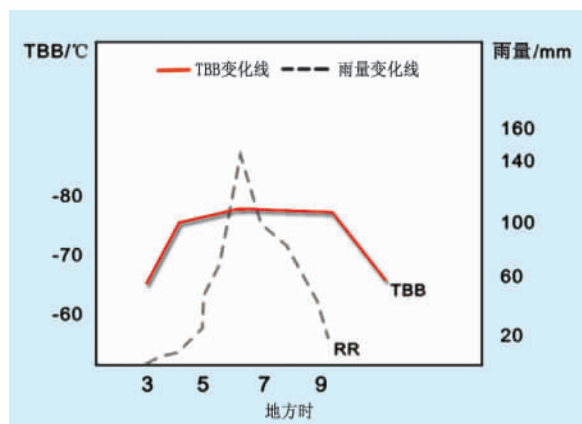


图2 1999年9月4日早晨云顶温度TBB与雨团强度变化图
Fig. 2 Relation of TBB and rainstorm in the morning of Sept. 4, 1999

2.3 数据分析

2.3.1 要素场分析

在动力气象与数值天气预报上,确定暴雨最主要是看中尺度的水汽通量辐合,即

$$\nabla \cdot qv = v \cdot \nabla q + q \nabla \cdot v$$

式中, v 表示速度, q 表示比湿;右端第1项需要有足够的水汽来源,第2项需要有足够的辐合动力上升,两者缺一不可。

运用特大暴雨发生前的9月3日20时T106实况物理量场资料对上述两项各要素进行综合分析。

2.3.2 垂直运动的作用

从这次特大暴雨的要素分析来看,整个暴雨区的对流发展强盛,中低层有剧烈辐合上升运动。如图3所示,从距离特大暴雨区最近的网格点上的平均垂直速度 ω 、相对涡度 ξ 、散度 D 的垂直分布看,特大暴雨发生在整层上升运动区, ω 最大值在700 hPa,为 $-3.2 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。 D 分布在500 hPa以下为辐合,以上是辐散;辐合最大值在850 hPa,为 $-3.8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$; ξ 的分布表明,整层是正值层区,700 hPa以上涡度最大,最大值为 $7.0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,这些特征有利于强降水的发生。图3中,实线划定涡度高值区,虚线划定散度高值区,阴影划定垂直运动高值区,斜划区域是 D 、 ξ 和 ω 的高值叠加区。

2.3.3 能量条件

从9月3日850 hPa代表对流稳定度的 θ_{se} 分布图看,浙东南沿海存在一个高能区,能量从东南海上源源不断地向大陆输送,在温州附近存在明显的 θ_{se} 大值梯度区,见图4。对于能量场锋区和台风降水量的关系曾

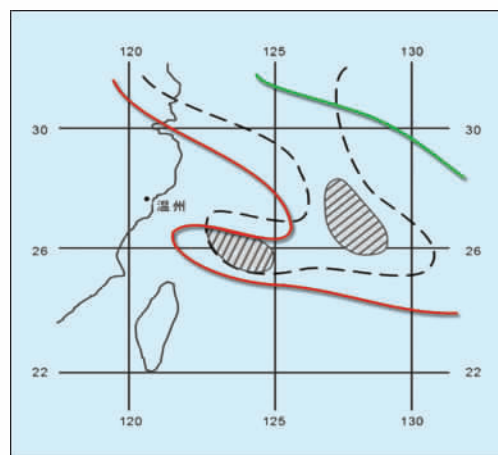


图3 1999年9月3日20时850 hPa散度、850 hPa涡度和700 hPa垂直速度分布图

Fig. 3 850 hPa divergence, 850 hPa vorticity and 700 hPa vertical velocity at 1200 UT Sept. 3, 1999

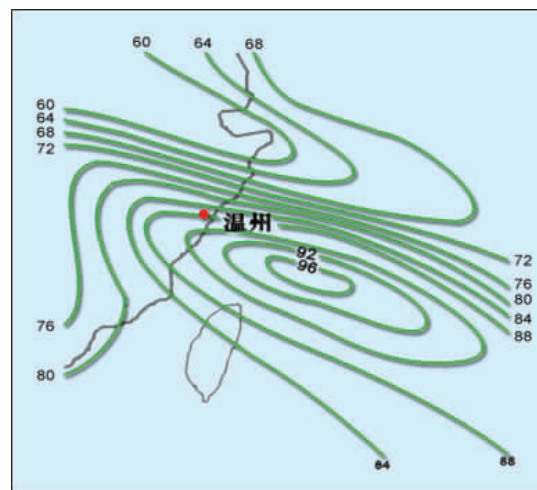


图4 1999年9月3日20时850 hPa的 θ_{se}
Fig. 4 The 850 hPa θ_{se} at 1200 UT Sept. 3, 1999

经有过不少研究。文献[7]指出,台风暴雨强度与能量场锋区强度呈正相关,能量场锋区越强,降水量越大。本次特大暴雨与该高能梯度有密切关系,正落在该 θ_{se} 强能量锋区中。

2.3.4 水汽条件

此次特大暴雨有着充沛的水汽输送。该特大暴雨可归于“东向暴雨”中之台风倒槽型,水汽自海上向大陆输送,主要源自上游的冲绳一带,850 hPa和700 hPa上均存在一条水汽通量高值水汽舌,最大值中心位于台湾东北方向冲绳附近,其值为 $120 \text{ g}/(\text{hPa} \cdot \text{cm} \cdot \text{s})$,从而为特大暴雨的出现提供了充沛的水汽来源。

另外,在台湾偏东方向有水汽通量散度辐合大值区域,中心最大值为 $-200 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{cm} \cdot \text{hPa}$,水汽辐合区与

东风急流有较好的对应,与东风带中低空扰动有关,见图5。

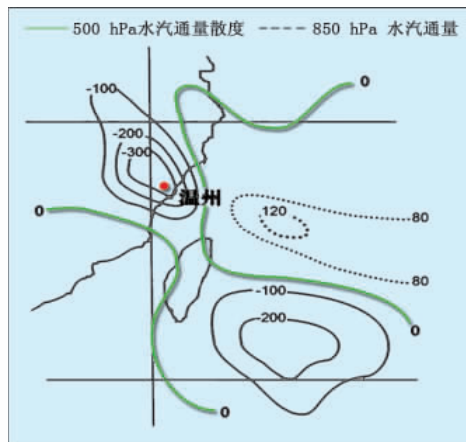


图5 1999年9月3日20时500 hPa水汽通量散度和850 hPa水汽通量分布图

Fig. 5 The 850 hPa and 500 hPa moisture fluxes at 1200 UT Sept. 3, 1999

2.3.5 东风急流

由于登陆热带风暴低压环流与副热带高压的共同作用,3日夜在温州东南方向至台湾偏东方向存在一支强的偏东低空急流,该急流伸展到暴雨云区,它对暴雨云团的形成和维持起了非常重要的作用;直至4日8时低空急流逐渐转为偏南急流,实况图上表明为中、低层东南风的高值风速中心,风速一般为14~16 m/s;850 hPa与700 hPa风速相比,前者风速大,说明水汽通道位置偏低,天气实况表现为大气中空云系输送明显,且最大风速均小于20 m/s,反而有利于大降水的出现^[8],如图6所示。

天气尺度的低空急流上存在着中尺度扰动的强风速中心,这种最大风速中心不断向下游传播到暴雨云团

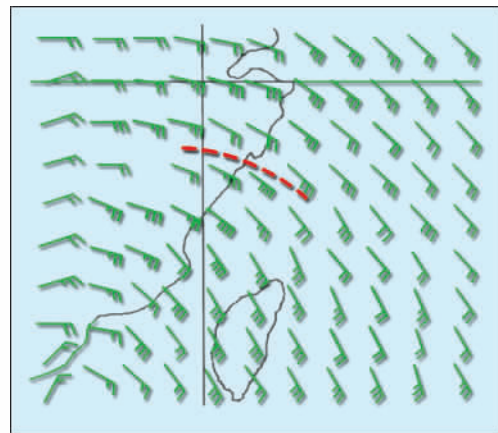


图6 1999年9月3日20时850 hPa流场

Fig. 6 The 850 hPa wind stream field at 1200 UT Sept. 3, 1999

上风方,在它前方可产生明显的质量辐合,形成强上升运动,不仅触发产生暴雨云团,也有利于暴雨云团的加强。

3日20时之后,副热带高压西伸及倒槽北挺使冲绳附近的触发区西进,台湾偏东存在的中尺度扰动大风区得到加强并向下游传递。从以上要素分析可以知道在具备了充沛的水汽条件、强烈的动力触发机制后,强中尺度对流云团在温州上空迅速发展并维持少动,最终产生本次百年未遇的特大暴雨。

2.3.6 Q 矢量散度

4日2时700 hPa Q 矢量散度分布见图7。可以看出,在闽粤交界有一个强辐合区,在闽北存在 Q 矢量散度的梯度区。随着时间的推移,上述 Q 矢量散度强辐合区和梯度区沿海岸线北推(见图8),即在该时段内温州经历了强 Q 矢量散度梯度发展,这与本次特大暴雨降水发生时间和量级有很好的对应。

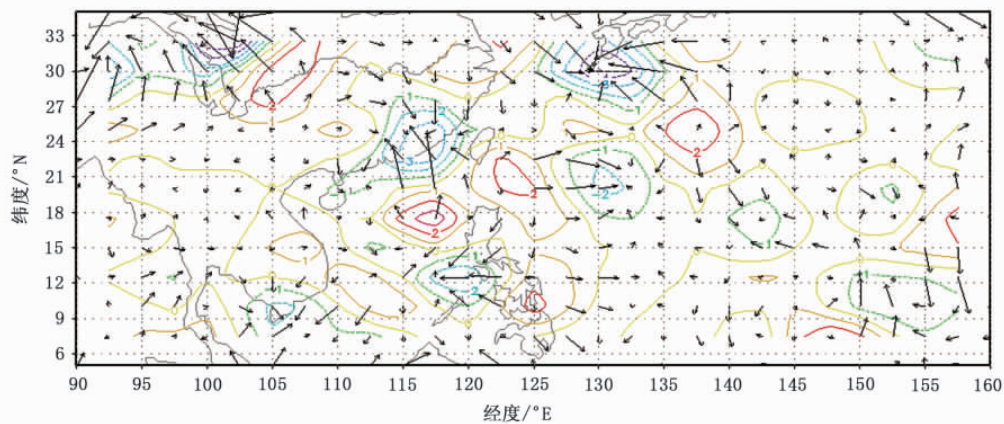


图7 9909号热带风暴1999年9月4日2时700 hPa Q 矢量散度分布

Fig. 7 The 700 hPa Q vector divergence at 1800 UT Sept. 3, 1999

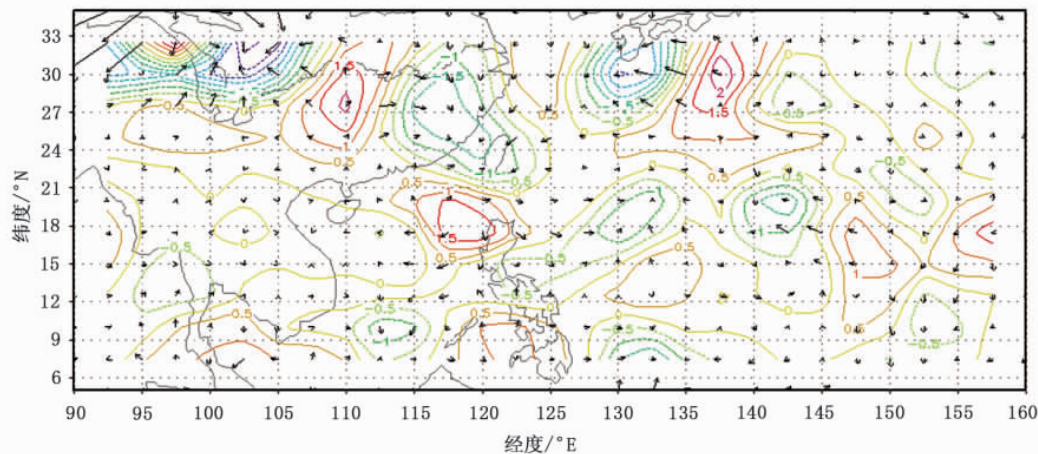


图 8 9909 号热带风暴 1999 年 9 月 4 日 8 时 700 hPa Q 矢量散度分布

Fig. 8 The 700 hPa Q vector divergence at 0000 UT Sept. 4, 1999

3 结论

1) 秋季(9、10 月)西北或西北北行于厦门以南至广东东部登陆的台风,可能在远离登陆区的浙东南沿海引起大降水。

2) 台风倒槽内暖湿切变线中尺度对流云团的生消是产生特大暴雨的重要条件,暖湿切变线对大暴雨过程起着很强的增幅作用,可导致突发性局地 300 mm 以上的特大暴雨。

3) 从要素场看,本次特大暴雨是由于冲绳附近的不稳定触发区、水汽通量高值区和台湾岛偏东方向的中尺度扰动的大风速中心,在副热带高压西伸与倒槽北抬的共同作用下,终在高压梯度区汇合而强烈发展维持,最终出现百年未遇的特大暴雨。

4) 利用 MM5 中尺度数值模式,结合 Q 矢量计算 NCEP 资料,得出 Q 矢量散度的分布。发现本次特大暴雨降水发生时间及量级与该时段内温州经历的强 Q 矢量散度梯度发展有很好的对应。

参考文献 (References)

- [1] 林爱兰, 丁伟钰, 万齐林, 等. 登陆广东热带气旋中尺度降水分布变化特征[J]. 气象, 2004, 30(10): 34–37.
LIN Ailan, DING Weiyu, WAN Qilin, *et al.* Distribution and variation characteristics of mesoscale precipitation of tropical cyclones[J]. Meteorology, 2004, 30(10): 34–37.
- [2] 许向春, 郝丽清, 翁小芳. 0308 号强热带风暴天鹅路径和降水分析[J]. 气象, 2004, 30(11): 17–18.
XU Xiangchun, HAO Liqing, WONG Xiaofang. Analysis of path and precipitation of severe tropical storm Koni[J]. Meteorology, 2004, 30(11): 17–18.
- [3] 刘还珠. 台风暴雨天气预报的现状和展望[J]. 气象, 1998, 24

(7): 5–9.

LIU Huanzhu. The current state and prospect of the operational weather forecast for tropical cyclone and torrential rain[J]. Meteorology, 1998, 24(7): 5–9.

- [4] 范永祥, 陈联寿, 解以杨, 等. 台风科学, 业务试验和天气动力学理论的研究[M]. 北京: 气象出版社, 1996: 67–69.
FAN Yongxian, CHEN Lianshou, XIE Yiyang, *et al.* Practical experiment and research of atmospheric dynamics [M]. Beijing: China Meteorological Press, 1996: 67–69.
- [5] 楼丽银, 黄克慧, 张意权. 秋季台风外围强降水的分析和预报[J]. 浙江气象科技, 2003, 21(3): 15–16.
LOU Liyin, HUAN Kehui, ZHANG Yiquan. The study of abnormal heavy rain associated with autumn typhoon[J]. Zhejiang Meteorology, 2003, 21(3): 15–16.
- [6] 张经珍, 侯淑梅, 张洪卫, 等. 中纬度系统相互作用对山东“99.8”大暴雨的影响[J]. 气象, 2000, 26(5): 36–39.
ZHANG Jingzhen, HOU Shumei, ZHANG Hongwei, *et al.* The effect of the interaction between mid and low latitude system on a heavy rain in Shandong [J]. Meteorology, 2000, 26(5): 36–39.
- [7] 叶子祥, 谷风鸣. 登陆台风的物理量场锋面分析及 1990 年 5、12、18 号台风过程雨量诊断[R]. 温州: 温州市科学技术协会, 1993: 77–79.
YE Zixiang, GU Fengming. The analysis of physical front and precipitation of landing typhoon [R]. Wenzhou: Wenzhou Association for Science and Technology, 1993: 77–79.
- [8] 李贵达. 利用低空急流的垂直切变判断暴雨强度 [J]. 浙江气象科技, 1997, 18(4): 53–55.
LI Guida. Using low wet jet to judge the strength of rain-storm[J]. Zhejiang Meteorology, 1997, 18(4): 53–55.

(责任编辑 朱宇)