

德庆,徐珺,宗志平,等. 2015. 孟加拉湾超级风暴费林对西藏强降水的影响分析. 气象, 41(9):1086-1094.

孟加拉湾超级风暴费林对 西藏强降水的影响分析^{*1}

德 庆¹ 徐 珺² 宗志平² 赤 曲¹ 罗布坚参¹ 代华光¹

1 西藏自治区气象台,拉萨 850000

2 国家气象中心,北京 100081

提 要: 利用 NCEP/NCAR(2.5°×2.5°)再分析资料和常规、非常规观测资料,通过环境场和中尺度特征较全面细致地分析了孟加拉湾风暴费林(Phailin)对西藏特大暴雪的影响。研究表明:“费林”对强降水的影响主要是登陆减弱为低压后,低压云系分两个阶段形成三个中尺度对流云团,对流云团在南支槽的作用下上高原。而强降水的发生和南风风速的大小有直接的对应关系,西南低空急流建立后西藏南部才出现强降水,而低空急流的建立是靠南支槽的贡献。南风风速和强降水的这一重要关系为此类天气提供了预报着眼点。

关键词: 费林(Phailin), 西藏, 强降水, 南风风速

中图分类号: P44

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2015.09.005

Analysis on Impact of Superstorm Phailin on Severe Precipitation in Tibet

DE Qing¹ XU Jun² ZONG Zhiping² CHI Qu¹ LUO Bujiancan¹ DAI Huaguang¹

1 Tibet Meteorological Observatory, Lhasa 850000

2 National Meteorological Centre, Beijing 100081

Abstract: Using NCEP/NCAR (2.5°×2.5°) reanalysis data, conventional and unconventional data and based on the environmental and mesoscale characteristics, this paper analyzes the impact of the superstorm “Phailin” in the Bay of Bengal on the severe precipitation in Tibet. The results show that after Phailin’s landing, it weakens into a low pressure. The development of the low pressure clouds is divided into two stages, forming three mesoscale convective cloud cluster, which controls the Tibetan Plateau severely under the influence of southern branch. The occurrence of severe precipitation has direct corresponding relations with the speed of southern winds. The southern part of Tibet does not see severe precipitation until the establishment of the low-level southwestern jet while the establishment of the low-level jet results from the contribution of the southern branch. The important relationship between the speed of southern winds and severe precipitation is quite conducive to forecasting such weather events.

Key words: Phailin, Tibet, severe precipitation, speed of southern winds

引 言

印度洋孟加拉湾地区是全球热带气旋频繁活动

的海域之一,阿特金森(1974)研究发现平均每年出现 5 个左右,约占全球热带气旋总数的 10%,主要出现在初夏和秋季,以秋季出现最多。我国是受孟加拉湾风暴直接影响的国家,它能引发西藏和云南

* 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201406015)和干旱气象科学基金项目(IAM201310)共同资助

2013 年 12 月 30 日收稿; 2015 年 6 月 30 日收修定稿

第一作者:德庆,从事西藏中短期天气预报. Email:38011595@qq.com

等地大范围的强降水,秦剑等(1997)指出初夏孟加拉湾风暴出现早迟和活跃与否和高原地区雨季迟早、汛期雨量大小有重要关系;段旭等(2004)对影响高原的6个孟加拉湾风暴进行了分析,认为孟加拉湾风暴、副热带高压(以下简称副高)和南支槽的位置和强度对高原的影响很大;王允宽等(1986;1996)研究了青藏高原地形对孟加拉湾风暴降水的影响,提出高原大地形对移动至高原以南的孟加拉湾风暴的作用非常显著;何晓红(2012)统计得出2000年以来生成于北印度洋孟加拉湾洋面上的热带风暴共46个,其中有21次影响到西藏高原,西藏是受孟加拉湾风暴灾害性影响的地区,几乎每年都会对西藏造成不同程度的影响,风暴所带来的暴雪雨天气,往往造成西藏大面积的积雪、洪涝、泥石流、山体滑坡和雪崩等灾害,常导致交通和通讯中断,人员受阻被困,农田、道路、水利和电力设施毁坏,雪灾还会直接导致大量的牲畜死亡,给农牧民群众生产生活造成严重影响,例如:2008年10月26—28日西藏受孟加拉湾风暴影响出现特大暴雪,日降水量米林(103 mm)和错那(84 mm)突破历史极值,错那县城平均积雪达64 cm,有4122人受灾,死亡和失踪大小牲畜多头(只、匹);又如2009年5月25—26日,受孟加拉湾风暴影响西藏出现强暴雨雪天气,26日帕里(130 mm)、聂拉木(58.4 mm)、米林(42.4 mm)降水量突破历史同期极值,山南、日喀则、那曲和林芝四个地区总受灾人口112283人,因灾死亡7人,并造成大量牲畜死亡、棚圈及房屋倒塌、农作物受灾、冲毁林地、苗圃、温室大棚倒塌等,共造成直接经济损失15374.69万元(不含那曲)。

我国气象工作者对台风和热带气旋的研究主要集中在西太平洋地区,但关于孟加拉湾风暴的活动也有不少研究(曹晓岗等,2012;董美莹等,2011;吴雪等,2013;杨文霞等,余锦华等,2012;Frank et al, 1971)。Gray(1968)对1948—1967年孟加拉湾风暴的活动特征进行分析后指出5月和10—12月是孟加拉湾风暴的活动高峰期;王友恒等(1988)通过统计分析得出孟加拉湾风暴主要出现在春秋两季,具有双峰型分布的特征;李英等(2003)通过分析孟加拉湾对流云团影响的云南强降水,得出青藏高原横槽是孟加拉湾云团在云贵高原产生强降水的重要天气系统;张腾飞等(2006)对初夏孟加拉湾风暴造成云南连续性强降水的中尺度进行了分析,指出孟加拉湾风暴以分裂中尺度对流云团、外围云系以及

登陆减弱的本身沿孟加拉湾槽前和副高外围的西南气流北上影响云南;鲁亚斌等(2006)对一次孟加拉湾风暴和冷空气影响下滇西大暴雨进行了中尺度分析;杨祖芳等(2000)对比分析两个孟加拉湾风暴对我国降水的影响,发现降水落区和强度的差别主要决定于中纬度冷空气活动和低纬系统的相互作用;韦革宁等(2000)研究了孟加拉湾风暴对广西降水的影响。柳龙生等(2015)也对孟加拉湾风暴费林做了研究分析。

可见关于风暴本身和风暴对云南等地的影响有不少论著,而目前对孟加拉湾风暴影响西藏的研究和分析显得不足,风暴对西藏的影响方式,各种天气系统之间的相互作用机制等方面的认识还不明确。本文以2013年10月10—15日孟加拉湾风暴费林(Phailin)影响西藏南部的强降水过程为例,采用NCEP/NCAR(2.5°×2.5°)再分析格点资料,结合FY-2E卫星TBB产品以及物理量场等常规和非常规观测资料,详细分析了孟加拉湾风暴对西藏强降水的影响方式和与中高纬度系统的相互作用关系,重点揭示和提出了南风风速和西南低空急流对西藏强降水的关键性作用。

1 风暴活动和降水特点

1.1 影响西藏强降水的风暴特征概述

根据王友恒等(1989)总结分析,北印度洋风暴分为7种类型,其中对西藏降水有影响的有三类:(1)风暴在22°N以北的孟加拉湾东部沿海和17°N以北的孟加拉湾西部沿海一带登陆;(2)风暴在65°E以东的阿拉伯海东部海区活动或在其西部沿海登陆;(3)风暴在14°~17°N孟加拉湾西部沿海登陆。根据统计当风暴是(1)类时肯定会给西藏带来降水,当属于(2)类时71%的风暴会给西藏带来降水,属于(3)类时33%的风暴会影响西藏,而属于(1)类时风暴一般会给88°E以东的地区带来降水,而属于(2)、(3)类时的风暴对西藏的影响更偏西,一般在80°E以东地区。此次的风暴是在17°N以北的孟加拉湾西部沿海一带登陆,应属于第(1)类风暴,但降水大致出现在83.5°E以东地区,这点不符合之前的统计结果。

根据何晓红(2012)总结分析:影响西藏暴雨雪天气的孟加拉湾风暴年变化呈现双峰型分布特征,

峰值在5和10月,24 h降水量大于50 mm的暴雨或特大暴雨也基本出现在5和10月这两个峰值期,影响区域主要位于喜马拉雅山脉一线和藏东地区,而对藏西北地区影响很小。 $80^{\circ}\sim 95^{\circ}\text{E}$ 是影响西藏暴雨雪天气的关键区,当风暴中心位于 90°E 及以东时,主要带来藏东的暴雨,中心位于 90°E 以西时,造成喜马拉雅山脉一线的特大暴雨,其次强度越强(风速越大)所带来的降水也越大,风暴强度相当时,移动越偏北降水也越大,通过对12个影响西藏暴雨雪天气的孟加拉湾风暴的最大风速分析,风暴最大风速均在 $18\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上,其中75%的风暴风速在 $25.7\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,最强风暴的最大风速可达 $72\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,因此就其风暴的最大风速情况分析,影响西藏暴雨雪天气的孟加拉湾风暴非常强大。

1.2 风暴“费林”的强度和移动路径

“费林”于2013年10月9日18时(世界时,UTC,下同)在孟加拉湾东部海面上生成,10日00时(图1)其中心位于印度加尔各答市南偏东方约955 km的海面上($14.3^{\circ}\text{N}, 91.0^{\circ}\text{E}$),中心附近最大风力有10级($28\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,相当于我国的强热带风暴),中心最低气压为985 hPa(图2),10日14时位于印度加尔各答市南偏东方约895 km的海面上($14.9^{\circ}\text{N}, 91.0^{\circ}\text{E}$),中心附近最大风力有12级($33\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,相当于我国的台风),中心最低气压为976 hPa,11日00时加强成为超级气旋风暴,位于印度加尔各答市偏南方约750 km的海面上($15.8^{\circ}\text{N}, 88.6^{\circ}\text{E}$),中心附近最大风力有17级以上($65\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,相当于我国的超强台风),中心最低气压为910 hPa,此后强度维持继续向西北方向移动,12日18时在印度东部登陆,到了10月13日00时强度减弱,中心气压985 hPa,风速 $28\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,13日06时

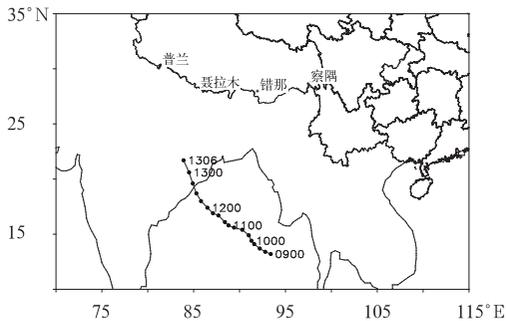


图1 “费林”移动路径

Fig. 1 Track of Phailin over the Bay of Bengal

变成热带低压,中心位于印度奥里萨邦境内($21.7^{\circ}\text{N}, 83.9^{\circ}\text{E}$)。13日夜开始“费林”的外围云系影响高原,西藏南部开始遭受强降水天气。

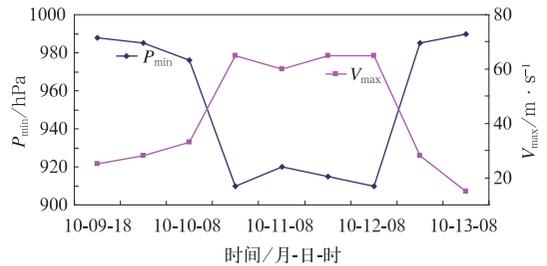


图2 Phailin海平面中心气压和中心最大风速的时间演变图

Fig. 2 Temporal evolution curves of Phailin minimum sea level pressure and maximum wind speed curves

1.3 降水特点和灾情

2013年10月10—15日“费林”风暴活动过程中,西藏地区发生一次特大暴雨天气过程,图3给出风暴影响期间累计降水量分布,强降水主要出现在藏南,聂拉木站过程累计降水量达到191 mm,另外较明显的降水出现在东北部,但强度不大。逐日降水量分布(图略)表明:风暴生成和发展期间(10—12日)没有出现降水,13日风暴登陆减弱后西藏南部开始出现降水天气,14日减弱后的风暴低压在南支槽的作用下继续北上高原,当日聂拉木降雪量达118 mm,降水范围也有明显扩大,南部、东北部和沿江地区都出现了降水,15日随着南支槽减弱东移,强降水落区开始从西南部向东部移动,16日随着南支槽的移出,降水天气基本结束。

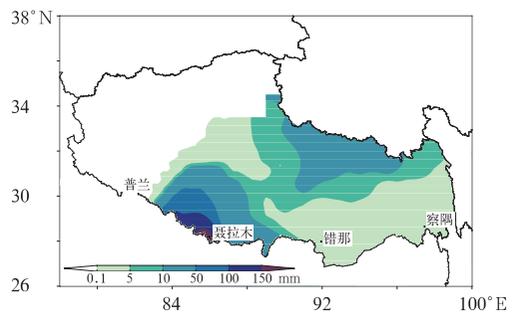


图3 风暴影响过程累计降水量(底图,西藏地图)

Fig. 3 Storm impact process of accumulative rainfall (background: Map of Tibet)

由此可见孟加拉湾风暴登陆之后在南支槽的共同作用下,从 13—15 日西藏出现了强降水天气,此次降水过程造成日喀则地区南部、那曲至昌都北部大面积积雪,聂拉木县通拉山最大积雪深度达 70 cm,暴雪使部分路段交通中断,帕里镇断电,珠峰大本营 86 名游客滞留,定日县曲塘乡 5 名游客被困。

2 环境场特征

2.1 500 hPa 环流背景

“费林”活动期间整个亚欧中高纬度呈三槽两脊型,西伯利亚地区冷空气活动频繁,热带洋面上热带

辐合带(ITCZ)更为活跃,10 日 00 时(图 4a)“费林”在孟加拉湾已经形成,此时高原受副高控制,整个高原盛行反气旋环流,11 日 00 时“费林”向西北方向移动,副高开始从高原上东撤,高原 90°E 以东地区受副高控制,而 90°E 以西开始仍盛行西南风气流,12 日 00 时(图 4b)“费林”即将登陆印度东部地区,副高完全撤离西藏,沿着副高边缘 584 线,风暴外围向西藏南部形成水汽通道,但最大南风风速只有 $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,13 日 12 时(图 4c)风暴登陆减弱为低压其低压中心北上高原,南风分量显著加强,南风风速明显增大,最大风速达 $16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,形成强大的低空急流,西藏南部遭受强降水天气,14 日 12 时(图 4d),低压随着南支槽的移动进一步北上,西南急流维持,

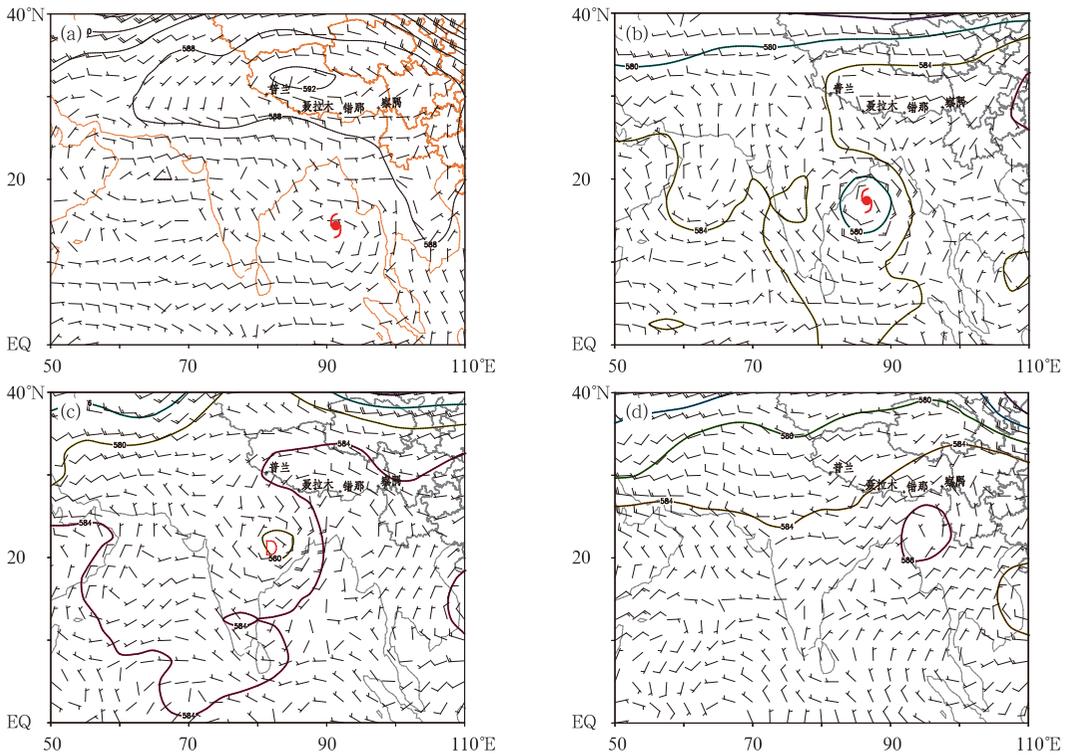


图 4 2013 年 10 月 10 日 00 时(a)、12 日 00 时(b)、13 日 12 时(c)和 14 日 12 时(d) 500 hPa 风场(矢量,单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)与位势高度(等值线,单位: dagpm)

Fig. 4 Distributions of wind vectors (vectors, unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) and geopotential height at 500 hPa in October 2013 (contour, unit: dagpm)

(a) 00:00 UTC 10, (b) 00:00 UTC 12, (c) 12:00 UTC 13, (d) 12:00 UTC 14 October 2013

急流影响范围扩大到西藏南部和南部以外的那曲和昌都等偏北地区,15 日 12 时随着南支槽减弱东移,高原上环流变得较平直,降水天气基本结束。由此可见,风暴登陆之后能不能并入西风槽(南支槽),南

风风速能不能增强,对西藏强降水至关重要。

2.2 高低空急流配置

200 hPa 风场和正散度场显示,10 日 00 时

(图 5a) 风暴刚开始生成之时, 南亚高压中心位于西藏上空, 中心散度值有 $3 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, 高空急流位置非常偏北, 在 39°N 附近, 最大风速 $64 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 11 日 00 时(图略), 急流位置变化不大, 西藏上空南亚高压减弱东移, 风暴上层为气旋性环流, 气旋中心明显, “费林”垂直方向深厚, 12 日 00 时(图 5b), 高空

急流开始迅速南压, 急流轴到达 35°N , 最大风速 $44 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 这对风暴登陆减弱为低压后, 对低压的维持和移动北上产生重要作用, 13 日 12 时和 14 日 12 时(图 5c 和 5d) 急流继续南压至 31°N 左右, 风速 $36 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 并在藏南形成两个高空辐散中心, 这对强降水的发生发展提供了极为有利的高空条件。

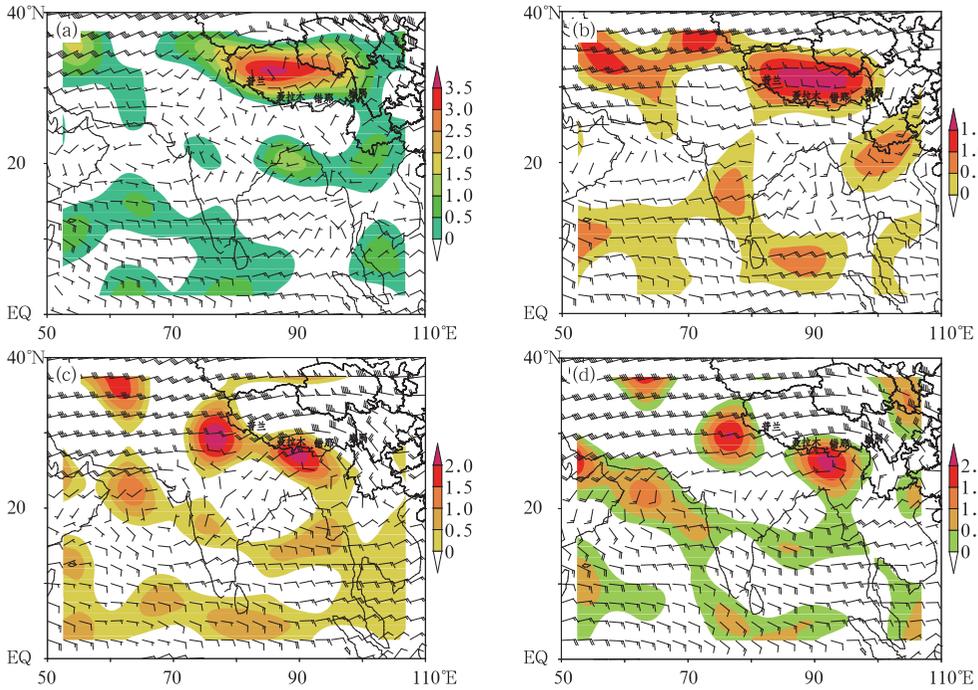


图 5 2013 年 10 月 10 日 00 时(a)、12 日 00 时(b), 13 日 12 时(c)和 14 日 12 时(d)200 hPa 风场(矢量, 单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)和散度场(阴影, 200 hPa 仅给出正值, 单位: 10^{-5} s^{-1})分布图

Fig. 5 200 hPa wind (vector, unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) and divergence (shaded, only positive values shown, unit: 10^{-5} s^{-1}) in October 2013

(a) 00:00 UTC 10, (b) 00:00 UTC 12, (c) 12:00 UTC 13, (d) 12:00 UTC 14

500 和 700 hPa(700 hPa 主要看高原以南低海拔区域)风场和负散度场上, 低空急流的建立和形成非常清楚, 风暴生成到登陆之前, 500 hPa 风场(图 4)上明显看到沿着副高边缘有西南气流上高原, 从 700 hPa 风场上能判断此时孟加拉湾地区到高原南部并没有建立低空急流, 随着风暴登陆, 500 和 700 hPa 风场都显示南风风速增强, 负散度区域和低压对应良好, 最大负散度值为 $3 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, 另外从前面描述(200 hPa 风场和散度场)中可知此时负散度区域上空为大范围的正散度场, 13 日 12 时 500 和 700 hPa 两层(700 hPa 图 6b)都达到低空急流的标准, 500 hPa 风场上南风风速达 $16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 700 hPa 风速达 $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 此时风暴减弱为低压后和南支槽合并, 强大的低空急流把风暴的暖湿气流源源不

断输送到西藏南部和南部以外的那曲等地区。

2.3 水汽输送

500 hPa 风场和水汽通量场上分析, 10 日 00 时至 12 日 00 时, 自孟加拉湾地区向北有水汽分布, 但和风场配合不佳, 风速较弱, 13 日 12 时至 14 日 12 时(图 7), 水汽配合风场走向对西藏水汽的输送非常清晰, (图 7a) 上水汽通量值为 $15 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 分布从孟加拉湾向西藏南部呈带状分布, (图 7b) 上水汽通量值为 $15 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 、分布在西藏南部地区, 最大水汽通量值达到 $27 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, 而这个分布区域也是西藏强降水出现区域, 并且水汽通量场高值区和强风速分布对应良好, 这再次证明南风风速

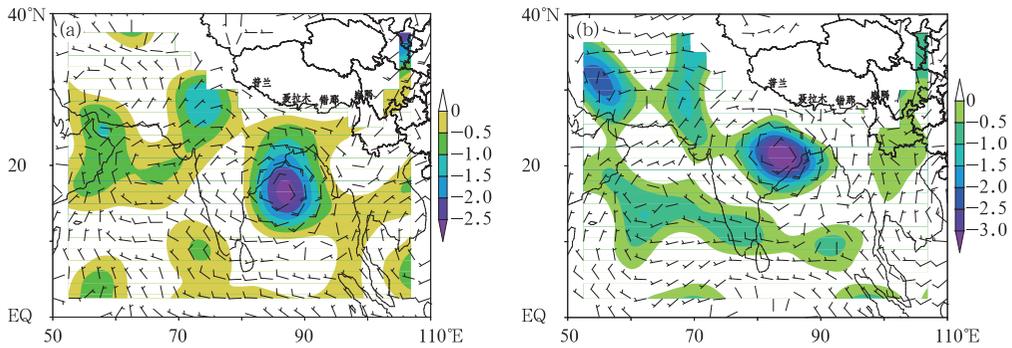


图 6 2013 年 10 月 12 日 00 时(a)和 13 日 12 时(b)700 hPa 风场(矢量,单位: $m \cdot s^{-1}$)和散度场(阴影,700 hPa 仅给出负值,单位: $10^{-5} s^{-1}$)分布图

Fig. 6 700 hPa wind (vector, unit: $m \cdot s^{-1}$) and divergence (shaded, only positive values shown, unit: $10^{-5} s^{-1}$) in October 2013
(a) 00:00 UTC 12, (b) 12:00 UTC 13

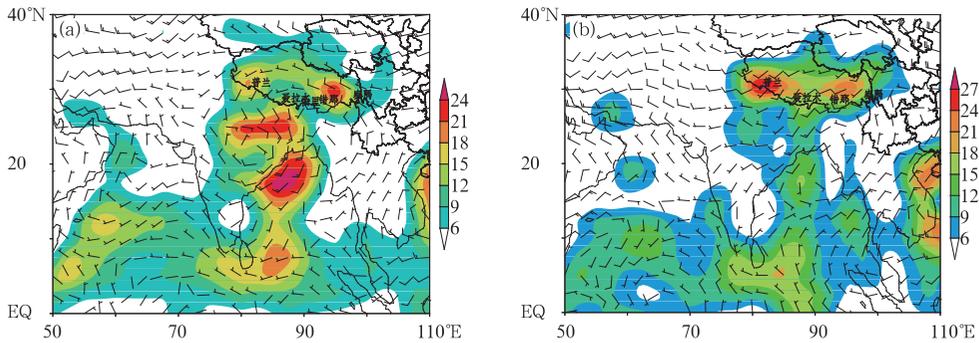


图 7 2013 年 10 月 13 日 12 时(a)和 14 日 12 时(b)500 hPa 风场(矢量,单位: $m \cdot s^{-1}$)和水汽通量场(阴影,单位: $10^{-3} g \cdot cm^{-1} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$)分布图

Fig. 7 500 hPa wind (vector, unit: $m \cdot s^{-1}$) and water vapor flux (shaded, unit: $10^{-3} g \cdot cm^{-1} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$) in October 2013
(a) 12:00 UTC 13, (b) 12:00 UTC 14

的大小对水汽输送和对西藏降水起到关键作用。

2.4 地形作用

近几年的天气实践表明:孟加拉湾风暴的云系到达西藏南部后与有利的环境场相结合,会给西藏造成灾害性的降水天气,另外还观察到在无有利的环流形势影响时,仍能给西藏南部或东南部造成强降水天气,其原因是大地形效应。强降水与地形有着密切的关系,气流越过山脉时会引起波动,迎风坡上升,背风坡下沉,王腾云(1998)也证实了地形强迫抬升的巨大作用,王允宽等(1986;1996)做了青藏高原地形对孟加拉湾风暴影响方面的研究,得出很多地形影响风暴强降水相关的结论,孟加拉湾陆地海拔 300~600 m,西藏高原平均海拔 4000 m 左右,西藏南部喜马拉雅山脉属于全球最高点(海拔 8848

m),气流从南至北影响高原南部,存在非常明显的海拔梯度,垂直运动非常强烈,王允宽等(1996)提出大地形对带有大量水汽、热量的热带气旋的动力抬升使这些水汽和热量从中上层不断输送到西藏及邻近地区上空,给强降水天气提供了必要条件。为了揭示藏南上空垂直上升运动情况,经过强降雨区聂拉木站做了垂直速度的经向空间剖面图(图 8),发现垂直上升运动经历了从无到有、由弱到强的发展阶段,13 日 12 时(图 8a)最大上升运动仍处在印度半岛至孟加拉湾地区,上升运动主要集中在 500 hPa 高度以下,但靠向藏南地区上升运动达到了 300 hPa 高度,到了 13 日 18 时(图 8b),强降雨区上空 200 hPa 以下为一致的上升运动,并在 300 hPa 处形成 $0.25 Pa \cdot s^{-1}$ 为中心的上升速度区域覆盖藏南,这充分体现了地形对气流抬升的作用。

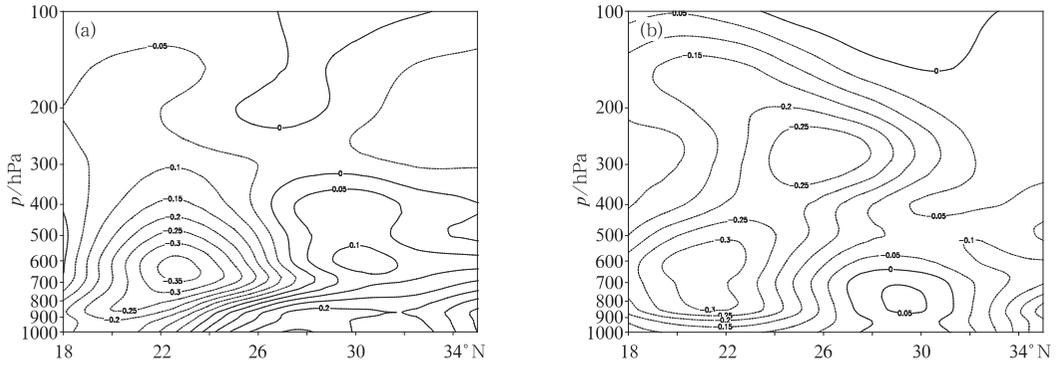


图 8 2013 年 10 月 13 日 12:00(a)和 18:00(b)沿 86°E 的垂直速度经向剖面图(单位:Pa·s⁻¹)

Fig. 8 Longitudinal section of vertical velocity (unit: Pa·s⁻¹) along 86°E at 12:00 UTC (a) and 18:00 UTC (b) 13 October 2013

3 中尺度特征

3.1 对流云团演变

通过卫星 FY-2E 红外云顶亮温演变图(图 9)可

以清楚地看到中尺度对流云系的发生、发展和减弱消亡的过程,此次强降水过程实际是有三个不同的对流云团起作用,本文分别命名为 A、B、C, A 是第一阶段影响系统,B 和 C 是第二阶段的影响系统。12 日 12 时(图 9a)风暴还未登陆,结构清晰,热带气旋云系中心 TBB 值可达 -70℃,中心以外有大范围

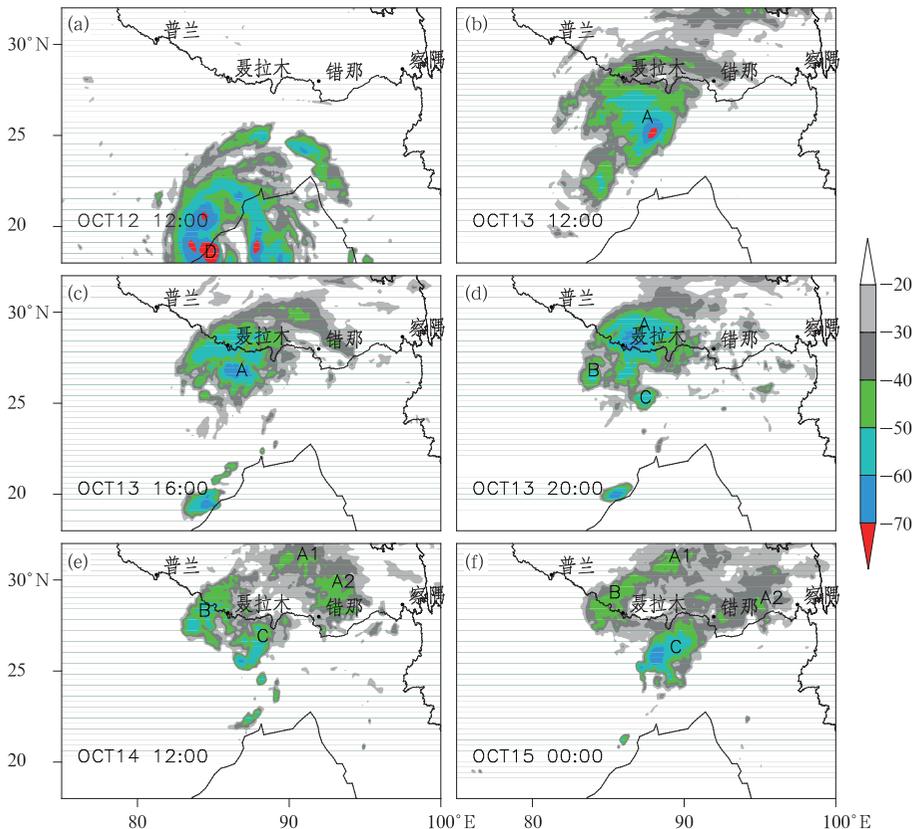


图 9 2013 年 10 月 12—15 日 FY-2E 卫星红外云顶亮温(阴影区,单位:℃)

(a) 12 日 12:00, (b) 13 日 12:00, (c) 13 日 16:00, (d) 13 日 20:00, (e) 14 日 12:00, (f) 15 日 00:00
Fig. 9 Infrared bright temperature (shaded, unit: °C) from FY-2E satellite in 12—15 October 2013
(a) 12:00 UTC 12, (b) 12:00 UTC 13, (c) 16:00 UTC 13, (d) 20:00 UTC 13, (e) 12:00 UTC 14, (f) 00:00 UTC 15

TBB 值 $-60 \sim -50^{\circ}\text{C}$ 区域,最北外围云系伸展至 25°N 附近,没有对西藏形成影响,此时高原上无对流云团,也没有出现降水;13 日 12 时(图 9b)风暴已经登陆渐弱为低压,低压云团 A 的 TBB 中心值 -70°C ,A 不断向北发展移动,外围云系已经开始覆盖聂拉木上空,TBB 为 -40°C ,降水由此开始;13 日 16 时(图 9c)A 的主体已经上高原,TBB $< -60^{\circ}\text{C}$ 范围和上高原之前相比明显扩大,说明地形抬升作用加剧了上升对流运动,TBB $< -50^{\circ}\text{C}$ 覆盖整个聂拉木,TBB 值 -40°C 区域覆盖帕里;13 日 20 时(图 9d)A 的主体 TBB 值以 -60°C 的强度扫过聂拉木上空并稳定维持数时,直至 14 日 00 时云团 A 才开始减弱并向东北方向移出,结合地面降水量发现,正是 A 造成了第一阶段(13 日 12 时至 14 日 00 时)聂拉木降水量 64 mm,帕里 15 mm;另外(图 9d)上发现 A 扫过藏南后向东北方向移动的同时西藏以南区域有新的对流云团在发展,正是 B 和 C 造成了第二阶段(14 日 00 时至 15 日 00 时)聂拉木降水量 118 mm,帕里 30 mm;14 日 12 时(图 9e)B 和 C 已经北上到达藏南上空,其中心 TBB 值 -50°C ,此时 A 已

远离藏南向东北方移动,并分裂成 A1 和 A2 影响东北部地区后带来小雨雪,15 日 00 时(图 9f)B 和 C 持续影响西藏南部后逐渐减弱,B 的主体全部越过藏南且分裂的碎云向 A1 和 A2 补充,而 C 主体未能完全上高原,其外围影响帕里后主体云系南落,只有小部分外围云系上高原后东移减弱向 A2 补充,所以帕里降水比聂拉木小。

3.2 不稳定条件

利用 500 hPa 假相当位温逐日分布得知强降水前期 θ_{se} 分布不均匀,其值自南向北逐渐降低,13 日 12 时(图 10a)高原以南印度半岛至孟加拉湾地区为高值区,中心值达 348 K,能量锋区基本位于高原以南,随着时间的推移能量在急剧增强,并逐渐向北发展,13 日 18 时(图 10b)西藏大部分地区,尤其是南部和东南部处在高能区中,这种能量的聚集为对流不稳定层结的建立奠定了基础。为进一步揭示强降水区上空大气的不稳定性,过聂拉木做了 θ_{se} 的经向空间剖面图(图 11),(图 11a)13 日 12 时降水即将开始前,高原以南 $18^{\circ} \sim 26^{\circ}\text{N}$ 为高能区,随着主体云

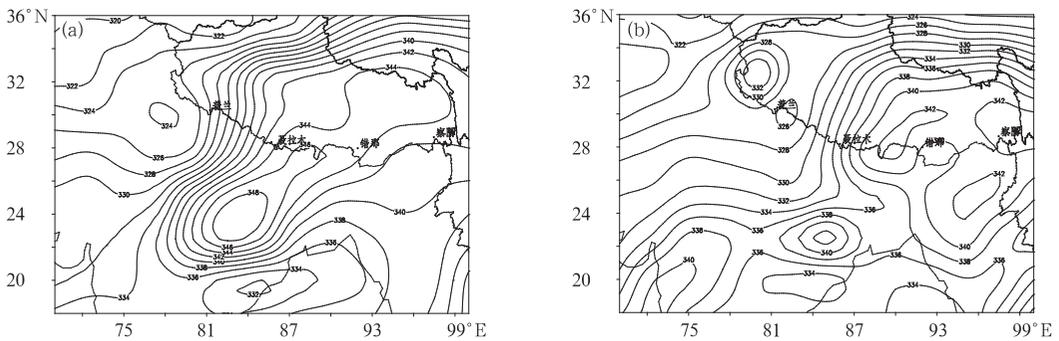


图 10 2013 年 10 月 13 日 12:00 (a)和 18:00 (b) 500 hPa θ_{se} (单位: K)分布图

Fig. 10 Distribution of θ_{se} (unit: K) at 500 hPa at 12:00 UTC (a) and 18:00 UTC (b) 13 October 2013

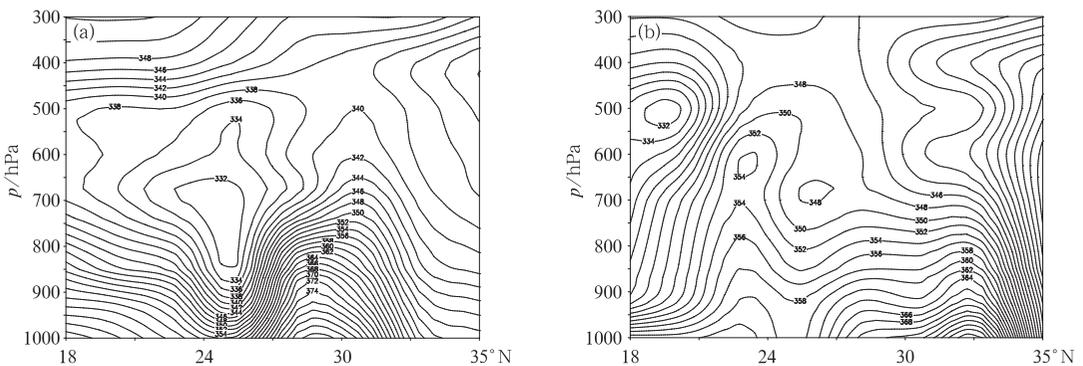


图 11 2013 年 10 月 13 日 12:00 (a)和 18:00 (b)沿 86°E 的 θ_{se} (等值线,单位: K)经向剖面图

Fig. 11 Longitudinal section of θ_{se} (contours, unit: K) along 86°E at 12:00 UTC (a) and 18:00 UTC (b) 13 October 2013

系北上高原,13日18时(图11b)和14日12时(图略),能量从南向高原聚集,从低层向高层输送,能量中心值在强降水区域,并从低层到高层是逐渐增大,400 hPa θ_{se} 值达348 K,能量锋区在强降水区上空,稳定维持数小时,表明大气是对流不稳定,为强降水提供了重要条件。

4 结 论

(1) “Phailin”的移动路径和登陆地点符合风暴影响西藏降水的风暴类型,但降水出现在83.5°E以东地区,这点不符合之前的统计结果(88°E以东的地区带来降水)。

(2) 中高纬呈三槽两脊型,西伯利亚地区冷空气活动频繁,热带洋面 ITCZ 非常活跃,风暴生成时西藏受副高控制,高空急流位置非常偏北;风暴即将登陆时,高空急流迅速南压,副高完全撤离高原,沿着副高边缘(584线)对西藏形成西南风带水汽通道(但未出现降水);随着风暴登陆减弱为低压后在南支槽的作用下,南风风速明显增大,建立低空急流后西藏南部才出现强降水。水汽通量场高值区和强风速分布也(低空急流位置)对应良好,再次说明南风顺风速的大小对水汽的输送,对西藏强降水起着关键作用。

(3) 强降水过程有三个不同的 MCS,分两个阶段影响西藏。当风暴外围气流移动至高原南部,由于地形的阻挡作用,中低层风速减弱明显,而后由于阻挡后的强迫抬升作用,高层风速加强显著,垂直运动非常剧烈。

参考文献

阿特金森. 1974. 热带天气预告手册. 上海:上海人民出版社,147-153.
曹晓岗,王慧,漆梁波. 2012. 台风珍珠和鲑鱼北折路径对比分析. 气象,38(7):841-847.
戴加洗. 1990. 西藏气候. 北京:气象出版社,125-188.
董美莹,陈联寿,程正泉,等. 2011. 地形影响热带气旋“泰利”降水增幅的数值研究. 气候与环境研究,5(3):235-246.

段旭,李英,许美玲,等. 2004. 低纬高原地区中尺度天气分析与预报. 北京:气象出版社,54-58.
何晓红. 2012. 孟加拉湾低压云团造成西藏暴雪天气个例分析 (CMAYBY2013-066).
李英,张腾飞,索涉清. 2003. 孟加拉湾云团影响下云南强降水分析. 气象科学,23(2):185-191.
柳龙生,李英,赵毅勇. 2015. 孟加拉湾风暴“费林”(1302)对藏南一次暴风雪过程的影响. 气象分析,气象,41(9):1079-1085.
鲁亚斌,张腾飞,徐八林,等. 2006. 一次孟加拉湾风暴和冷空气影响下滇西大暴雨中尺度分析. 应用气象学报,17(2):201-205.
秦剑,琚建华,解明恩. 1997. 低纬高原天气气候. 北京:气象出版社,73-78.
王腾云. 1998. 台湾岛地形对台风雨影响的数值研究. 高原气象,28(3):634-641.
王友恒,王素贤. 1988. 孟加拉湾热带风暴的初步分析. 气象,14(6):19-22.
王友恒,王素贤. 1989. 北印度洋热带风暴及其与西藏降水的天气关系. 气象,15(11):33-34.
王允宽,刘俊清,黄中华. 1986. 青藏高原地形对孟加拉湾热带气旋动力影响的模拟实验研究. 大气科学,10(1):27-33.
王允宽,吴迪生,曹勇生,等. 1996. 青藏高原地形对孟加拉湾热带气旋降水的影响. 大气科学,20(4):446-451.
韦革宁,廖石. 2000. 孟加拉湾风暴云系对广西“99.10”大范围长时间降水的影响. 广西气象,21(4):12-14.
文永仁,魏娜,张雪蓉,等. 2014. 1323号强台风菲特登陆后迅速衰亡的原因分析. 气象,40(11):1316-1323.
吴雪,端义宏. 2013. 超强台风梅花(1109)强度异常减弱成因分析. 气象,39(8):965-974.
杨文霞,赵利品,邓育鹏,等. 2011. 台风眼壁的云结构与降水形成机制分析. 气象,37(12):1481-1488.
杨祖芳,李月安,李伟华. 2000. 两个孟加拉湾风暴对我国降水不同地形的对比分析. 海洋预报,17(4):41-46.
余锦华,唐家翔,戴雨茜,等. 2012. 我国台风路径业务预报误差及成因分析. 气象,38(6):695-700.
张腾飞,段旭,张杰. 2006. 初夏孟湾风暴造成云南连续性强降水的中尺度分析. 热带气象学报,22(1):67-73.
周福,钱燕珍,朱宪春,等. 2014. “菲特”减弱时浙江大暴雨过程成因分析. 气象,40(8):930-939.
Frank N L, Husain S A. 1971. The deadliest tropical cyclone in history?. Bull Amer Meteor Soc,52:438-444.
Gray W M. 1968. Global view of the origin of tropical disturbances and storms. Mon Wea Rev,96:669-700.