

青藏高原地形对孟加拉湾热带气旋影响的对比研究

王允宽

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

吴迪生 曹勇生 李勤

(广州海洋预报台, 广州 510300)

摘要 本文用我们的实验室模拟、个例诊断分析的结果与综合分析方法得到的热带气旋的典型结构相对比, 进一步探讨了高原地形对孟加拉湾热带气旋的影响(消亡及降水等)机制问题。

关键词 青藏高原 孟加拉湾 地形 热带气旋 对比研究

1 引言

青藏高原地区的天气工作者, 对北上移近高原南侧的孟加拉湾热带气旋的活动较为关注^[1]。70年代以来, 随着卫星云图在我国的广泛应用, 使人们确认了孟加拉湾热带气旋的云系可以爬越长期以来被认为不易越过的世界屋脊——喜马拉雅山^[2]。从而使有关这方面的天气分析研究工作有了一些进展^[3~4]。

天气实践表明, 一旦孟加拉湾热带气旋的云系到达高原后与有利的环境流场相结合, 会给高原及邻近地区带来重大影响。另外还观测到在无有利的环流形势影响时, 仍能给高原的南部或东南部造成强降水天气。其原因何在? 由于高原及其附近地域测站稀少, 观测资料缺乏, 致使80年代至今对北上移到高原南侧的孟加拉湾热带气旋的结构及其与环境流场(南支槽、冷空气活动等)、高原地形相互作用等研究不够, 对有关影响机制更是了解甚少。

采用物理模拟的实验研究方法可摆脱研究地域观测资料不足的困扰。1986年王允宽等以流体动力学模拟实验方法, 研究了青藏高原地形对孟加拉湾热带气旋的动力影响。初步揭示了青藏高原地形对移到高原南侧25°N附近的孟加拉湾热带气旋, 存在着明显的地形效应^[5]。近期在收集了尽量多的有关实测资料的基础上, 对1981年12月3~12日, 北上影响青藏高原的孟加拉湾热带气旋个例进行了诊断分析, 从而对影响青藏高原的孟加拉湾热带气旋的非对称结构特征有了初步了解。这些就为本文深入探讨高原地形对孟加拉湾热带气旋的影响机制提供了依据。

2 影响青藏高原及其邻近地区天气的孟加拉湾热带气旋的路径

2.1 影响高原及其邻近地区天气的孟加拉湾热带气旋的主要路径

我们曾用 1971~1980 年 10 年资料, 分析绘制出了影响我国天气的孟加拉湾热带气旋的主要路径, 见图 1a 中的 A、B、C (或 C')。若粗略地分, 可把北上移近高原的孟加拉湾热带气旋的路径分为两类, 一是北上后沿偏东方向转向, 即图 1a 中的 A、B 路径, 另一是北上后沿 C 或 C' 路径向偏西方向移动。

2.2 在物理模拟实验转盘内孟加拉湾热带气旋移动路径

图 1b 为模拟实验转盘内的热带气旋移动路径。它与图 1a 不同之处是这 3 条路径均取为直线路径, 所以这样改, 是为了模拟实验实施的方便。比较图 1a 与 1b, 可以看到它们是十分相近的。

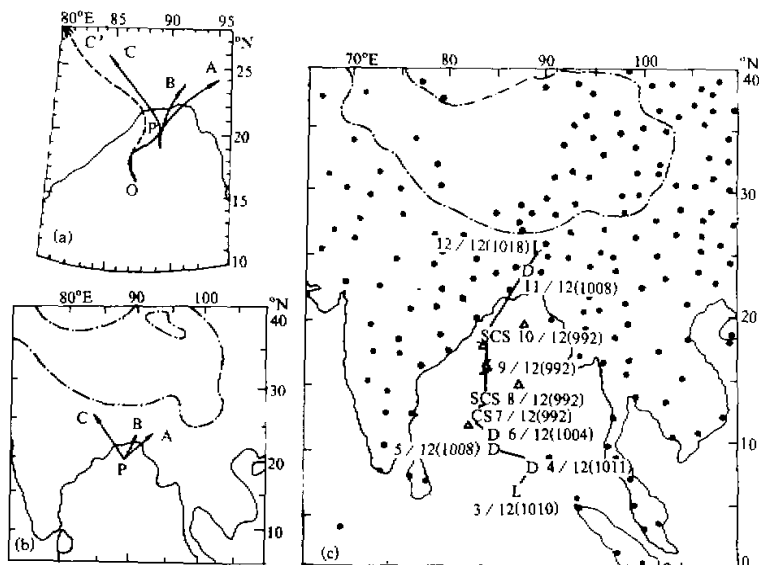


图 1 影响高原及其邻近地区天气的孟加拉湾热带气旋的移动路径
(a) 主要移动路径; (b) 模拟实验转盘内的主要移动路径; (c) 1981 年 12 月 3~12 日
孟加拉湾热带气旋的路径及气象要素测站分布图(• 陆地测站, △ 船舶测站)

2.3 1981 年 12 月 3~12 日, 北上影响青藏高原地区天气的孟加拉湾热带气旋个例的路径

为了便于与物理模拟实验的事实做对比, 以及考虑收集有关实测资料的难易, 我们选取了如图 1c 所示的个例。从卫星云图及天气实况看, 1981 年 12 月 3~12 日, 在这个孟加拉湾热带气旋生消发展过程中, 无有利的环境流场的影响存在。这就与物理模拟相近, 均仅着眼于探讨高原地形的影响。

另外将图 1c 与图 1a 及 1b 比较可知, 此个例孟加拉湾热带气旋的移动路径, 类似于 A 与 B 型路径之间的北上偏东型路径。

3 对比研究的结果

3.1 降水特征及其影响机制

3.1.1 1981年12月3~12日个例与综合法分析的降水分布特征

本个例热带气旋的移动路径图示表明, 它11日从孟加拉湾登陆, 12日到达了高原

南侧 25°N 以北。图 2a 及 2b 是这个热带气旋登陆过程中, 两天内在高原地区的降水分布图。从这两天的降水分布看, 降水区位在高原的东南部, 即位于这个热带气旋中心的右前方。图 2c 为在高原南部的几个主要测站: 贡山、波密、昌都、拉萨及昆明的降水量廓线图。可以看到 11 日波密降水最大, 近于 300 mm, 其次是昌都近 150 mm, 拉萨降了 130 mm 左右。到了 12 日最大降水中心东移到贡山, 出现了高原地区有史以来罕见的强降水, 降雨量达 349 mm。最大降水中心位在距热带气旋中心 500 km 以内的区域。而在距热带气旋中心 500 km 以外的昆明站, 几乎观测不到降水, 见图 2c。可见这次降水量不仅大, 而且降水地域也很集中。

综合法分析表明, 在无明显地形影响时, 热带气旋的右后象限降水量最大^[6]。

3.1.2 影响机制

人们已知因地形影响, 山地爬坡的降水量与地形坡度 ∇H 及潮湿水汽的供应量成正比, 且降水分布在热带气旋的右上方第一象限内^[3]。青藏高原地形平均高度接近 5 km, 由高原地形坡度导致的动力抬升作用之大, 是其它山地无法相比的。为了考察潮湿水汽的供应情况, 我们计算了这个个例的热带气旋登陆前后的水平水汽通量散度 (见图 3)。从图 3a 可以看到在热带气旋登陆后, 其北半部主要是水汽辐散, 400 hPa 附近为辐散的高值区。而在南半部 (见图 3b) 700 hPa 以下均为水汽辐散, 其高值区在 850 hPa 附近。自 700

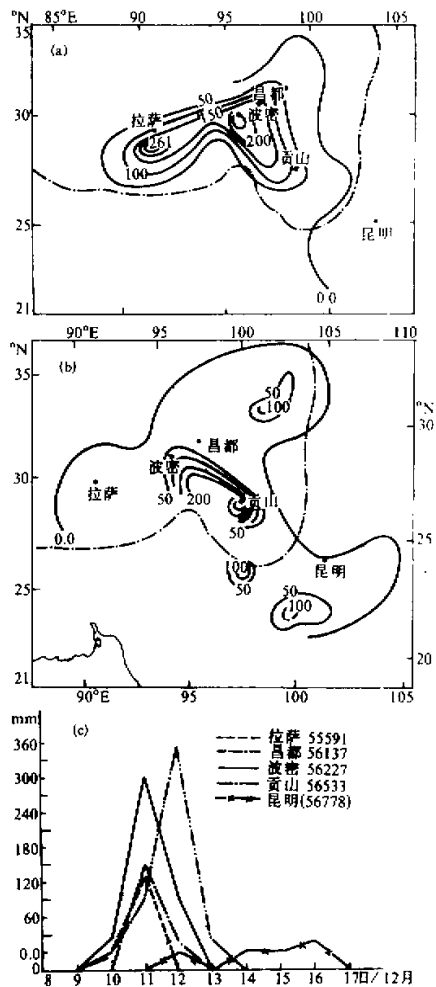


图 2 1981 年 12 月 9~17 日青藏高原南部雨量 (mm) 分布图
(a) 1981 年 12 月 11 日 08 时; (b) 1981 年 12 月 12 日 08 时; (c) 1981 年 12 月 9~17 日贡山、波密、昌都、拉萨、昆明各站降雨量廓线图

hPa 到 350 hPa 为辐合区。将其与 9 日热带气旋登陆前（成熟发展期）的水汽通量散度廓线相比较，可以看到登陆前后水汽的辐散、辐合分布特征存在一定差异。

这种登陆前后水汽通量散度分布情况的差异，可能是由于高原大地的作用所致。由图所示当热带气旋登陆后，其南半部几乎整层为水汽辐合，其高值区位在 500 hPa 附近。它的北半部中层为水汽辐散，高值区位在 400 hPa 附近。此种分布特征与西太平洋的热带气旋不同^[7]，它有利于将孟加拉湾热带气旋提供的充沛水汽源源不断地输送到高原上空，形成了强降水过程。

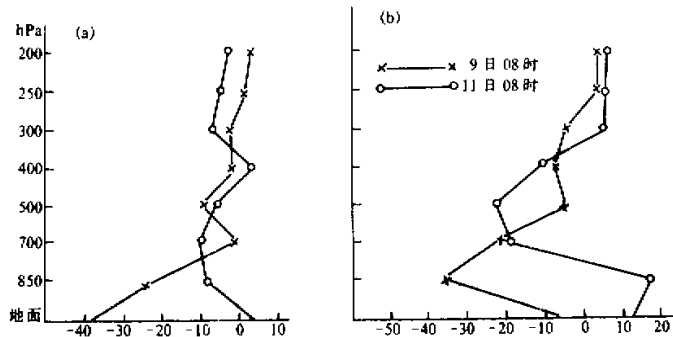


图3 孟加拉湾热带气旋登陆前后距其中心 550 km 半径范围内的平均水汽通量散度廓线(单位: $10^{-6} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1}$)

(a) 北半圆; (b) 南半圆

3.2 高原地形对移近高原的热带气旋填塞、消亡的影响

物理模拟实验事实表明，当热带气旋到达高原南侧，其北部云系在地形的抬升作用下迅速向北伸展，在靠地形一侧的对流环明显减弱，靠近地形的部分呈现了下沉运动，眼区趋于衰亡^[5]。

由图 1c 的实况亦可看到，自 12 月 7~10 日热带气旋在洋面上处于发展、成熟期时中心气压较低，均为 992 hPa，到了 12 月 11 日登陆后中心气压上升到 1008 hPa，衰减为低气压。到 12 日这个气旋移到 25°N 以北，中心气压上升到 1018 hPa 表明了这个热带气旋的消亡。从卫星云图上可以清楚看到，11 日登陆后眼区已经消失，云系结构变得更不对称了。上述天气实况亦表明高原地形的作用是明显的。

为了进一步分析高原地形的影响，我们通过对 1981 年 12 月 3~12 日北上影响高原地区天气的孟加拉湾热带气旋个例的诊断分析后，给出了这个热带气旋中心的温度距平和垂直速度的南北剖面时空演变图，见图 4 和图 5。

一个成熟的热带气旋均具有暖心结构，一般最大温度距平出现在 250~300 hPa 附近，从图 4 可以看到，这个热带气旋在洋面上处于成熟发展期，在 300~500 hPa 各层均为暖区，并存有暖心，尤其以 300 hPa 最突出，在中心部位有一暖核，但到了 11 日登陆后，不仅暖中心消亡了，在 300 hPa 的暖区变为冷区。在 500 hPa 表现为冷区偏向地形一侧。另外，从图 5 这个热带气旋中心附近的垂直速度的南北剖面时空演变特征可

清楚看到: 这个热带气旋登陆前, 300~500 hPa 各层均为上升运动。但到了 11 日登陆后, 300~500 hPa 各层南北两侧呈现明显不对称分布, 靠地形一侧为下沉运动, 另一侧为上升运动。同用综合法^[6,8]分析的在洋面上活动的热带气旋的温度距平等对称结构相比, 孟加拉湾热带气旋登陆后的这种分布特征, 导致了这个热带气旋的迅速填塞及消亡。

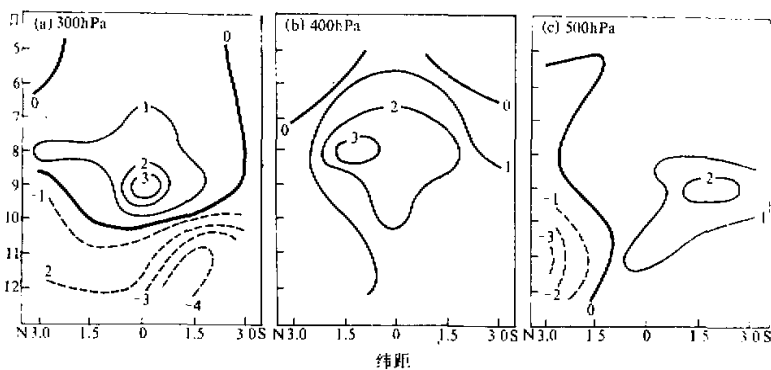


图 4 孟加拉湾热带气旋中心附近的温度距平, (对区域平均温度值的偏差) 南北剖面时空演变图

(a) 300 hPa; (b) 400 hPa; (c) 500 hPa。单位: $^{\circ}\text{C}$

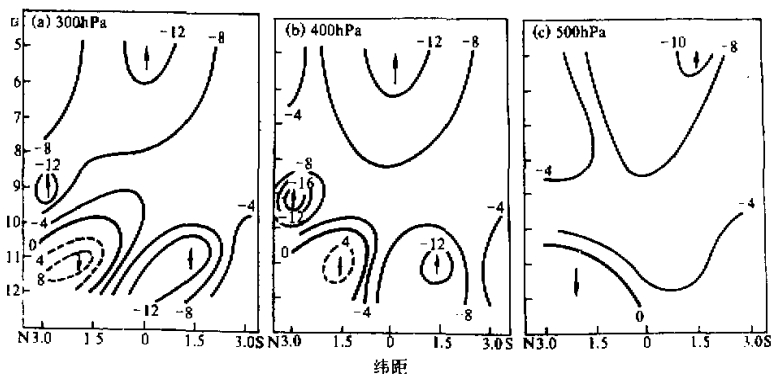


图 5 孟加拉湾热带气旋中心附近的垂直速度, 南北剖面时空演变图

(a) 300 hPa; (b) 400 hPa; (c) 500 hPa。单位: 10^{-3} hPa/s

通过以上不同研究方法对比, 可以得到这样的认识, 高原地形效应可能是促使移近高原的孟加拉湾热带气旋填塞、消亡的主要原因。

3.3 高原地形上空风、温度及水汽等要素的分布特征

已有的物理模拟实验研究发现, 由于高原地形影响, 当孟加拉湾热带气旋移到 25°N 以北其北部云系伸入高原上空后, 在地形上空 300 hPa 高度附近存在一个晴空

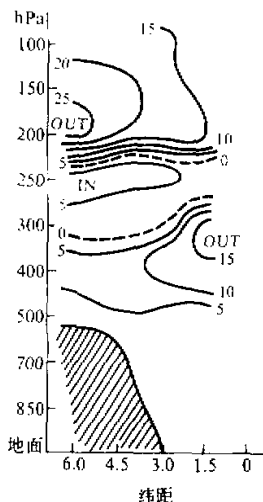


图 6 1981 年 12 月 11 日
08 时孟加拉湾热带气旋
径向风 ($\bar{V}_r$) 北半圆
(平均) 垂直剖面图
(阴影区为高原地形)

区^[5]。这可能意味着这里是风、温、水汽等要素值变化较大的区域。

1981 年 12 月 3~12 日, 北上影响高原地区天气的孟加拉湾热带气旋个例分析的风、温、水汽等要素的分布特征是否如此呢? 我们现在首先看风场, 图 6 为 1981 年 12 月 11 日孟加拉湾热带气旋登陆后, 在地形上空 (气旋中心的北部) 径向风的垂直剖面图, 可以看到在 300 hPa 高度附近, 是径向风流入与流出的风向切变明显的区域。再看温度距平图 4a 及 4b, 当 11 日登陆后 300 hPa 为冷区, 400 hPa 为暖区, 显然在 300 hPa 附近是温度要素值变化较大的地域。从图 3a, 11 日登陆后热带气旋北部的水汽通量散度的廓线分布特征可以看到, 在 300 hPa 高度以上为弱辐合, 而在 300 hPa 以下为辐散, 到 400 hPa 辐散达最大值。确实在 300 hPa 附近, 亦存在着水汽要素的变化较大区。若与综合法分析的典型热带气旋的结构相对比, 上述特征是独特的。我们认为, 在 300 hPa 附近存在着风、温及水汽要素分布的不连续面, 可能与地形影响有关。本文仅是在物理模拟揭示的实验事实

的基础上, 进一步用天气诊断分析一个实例予以了验证。至于它的形成机制问题有待进行更进一步的理论探讨。

4 小结

通过对比研究进一步揭示出青藏高原地形对北上移近高原 (移动方向属正面爬坡型) 的孟加拉湾热带气旋的影响如下:

(1) 孟加拉湾热带气旋登陆后, 因大地形动力抬升作用存在, 以及热带气旋北部主要以辐散为主, 其南部中上层以辐合为主的这种水平水汽通量散度的分布形势, 提供了适宜的水汽通道。有利于将孟加拉湾热带气旋携带的充沛水汽, 源源不断地输送到高原上空, 形成了青藏高原南部或东南部地区的强降水天气。

(2) 高原地形效应致使登陆后孟加拉湾热带气旋结构的非对称分布特征更加突出, 暖中心的消失, 气旋中心北侧由上升运动变为下沉运动, 此种地形效应促使了热带气旋填塞、消亡。

(3) 从登陆后气旋北半部的风场 (径向风), 温度距平场以及水平水汽通量散度的分布特征可以看到, 在 300 hPa 附近存在一个风、温及水汽要素值变化较大的区域, 这可能与地形影响有关。

(4) 通过对比研究可以看到, 物理模拟提供的一些重要实验事实与个例分析的结果一致。

参 考 文 献

- 1 西藏自治区气象局, 拉萨气象台, 1974, 孟加拉湾台风对青藏高原的影响, 青藏高原论文选, 114~123.
- 2 叶笃正、高由禧等, 1979, 青藏高原气象学, 科学出版社.
- 3 陈联寿、丁一汇, 1979, 西太平洋台风概论, 科学出版社.
- 4 丁一汇, 1976, 南支槽与台风高空流场的相互作用及其对天气的影响, 全国气象卫星云图接收应用会议文集, 科学出版社.
- 5 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, No.1, 27~34.
- 6 W. M. Frank, 1977: The structure and energetics of the tropical cyclone I: Storm structure, *Mon. Wea. Rev.* **105**, No. 9, 1119~1135.
- 7 丁一汇、刘月贞, 1986, 7507 号台风中水汽收支的研究, 海洋学报, 8, No. 3, 291~301.
- 8 Gray, W. M., 1981, Recent advances in tropical cyclone research from vawinsonde composite analysis, WMO

Comparative Study on the Effect of the Qinghai-Xizang Plateau on Tropical Cyclone over the Bay of Bengal

Wang Yunkuan

(*Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*)

Wu Disheng, Cao Yongsheng and Li Qin

(*Guangzhou Regional Station of Marine Environmental Forecasting,*

State Oceanic Administration, Guangzhou 510300)

Abstract In this paper, by comparing the results from author's laboratory simulation, diagnostic analysis and the typical structure of tropical cyclone revealed from synthesis analysis method, the mechanism of the dynamical effects of the Qinghai-Xizang Plateau topography on the tropical cyclone over the Bay of Bengal are further investigated.

Key words Qinghai-Xizang Plateau Bay of Bengal topography tropical cyclone comparative study