

台风路径的某些模拟实验研究

魏鼎文 张捷迁*

(中国科学院大气物理研究所)

摘 要

以模拟实验方法,研究了海南岛五指山地区地形对台风路径的影响。结果表明:由东方或东南方海面上正对五指山(或稍偏北)移动的台风,在登陆点附近,不按直线前进,会明显地向北转一个较陡的弯子,绕过该地区之后,继续偏西行。

在实验中,我们发现了作用在整个台风上的地转偏向力使得北半球上移动的台风右偏,在南半球则左偏;而在偏转过程中产生了对整个台风的摩擦阻力与地转偏向力相适应平衡,形成了等角偏转、偏转量正比于地转偏向力的大小。

一、引 言

台风移动路径是台风预报成败的关键因素。在我们上一报告中^[1],关于中国台湾省地形对台风结构和移动路径的影响,作了初步实验研究。从那里可以看出特定的地形对台风移动路径是确有影响的。广东省的一些预报员同志,在他们的经验中,看到海南岛五指山地区地形对登上海南岛台风的移动路径有影响;一些西行台风本来正对五指山地区移动,但当其中心接近该地区时,往往有北绕现象。为了弄清楚这种地形影响,我们进行了模拟实验研究。

一般认为,控制台风运动的因素,在无地形影响下,是引导气流,以及 β 效应所引起的内台风力^[2];特别是前者,在决定台风路径上,无疑是极为重要的。但我们在一次实验中,没有偏转性的引导气流和 β 效应,却发现了一个很有意义的现象,即模拟的北半球上移动的台风,显著地向右偏转。我们对此现象进行了比较深入的反覆的实验研究。找到了一些新的规律性。它们可能在台风的运动理论,和预报台风路径实践上都具有意义。

二、实验装置与方法

实验的理论依据,相似性和基本装置如我们上一报告^[1]所述,这里不再重覆。只是在激发模拟台风的红外加热系统上,作了一些改进。主要是用球面反射式聚焦系统,代替了红外线灯。球面聚焦镜的直径为60厘米;曲率半径约为64厘米。镜的顶部距容器底部100厘米。红外光源的灯头大小尺寸约为2厘米直径,它被置于镜下。调整其位置,使其

1978年7月11日收到修改稿。

*美国华盛顿天主教大学教授,应邀来中国科学院大气物理研究所短期工作。

成像在容器的窗口上,成像光班的直径大小,实测约为 8 厘米。在 10 厘米的深度上,此光班的大小变化不大。估计红外辐射进入窗口的能量功率,在几百毫瓦量级。作了这样的改进以后,就便于连续拍摄照片,和拍摄电影,方便了研究。

地形大小和高低大体上按比例制作。五指山的高度,在模型地形上五指山高为 0.8 厘米,海南岛与台风的水平尺度比大约为 1:2 到 1:3。为了摄影清晰起见,在地形边缘,五指山顶划以不同色彩。地形包括整个海南岛,北部湾海面,及其西北部的大陆的一部分。

用马达带动地形,其移速折合于实际台风移动速度,约为 10—15 公里/小时。摄影取资料时,水平片光由五指山顶部稍高处切过去,用暗场照像,每间隔 5 秒钟摄一张照片,以研究其路径变化。

关于无地形影响时,相当于海洋上移动的台风。用模拟实验观察了它的路径偏转情况。实验的作法是:先把一块光滑的平板,放在转盘容器的一边。平板是用有机玻璃作的,它厚约一毫米,面积为 40×60 [厘米]²。大约有两个模拟台风面积那么大。其上涂有座标。座标先后曾用两种,一是直线表示的方格,二是用点表示的方格。其大小是一致的,这些座标在拍摄模拟台风照片时,可以一并被摄入。

模拟台风先在转盘容器的中央形成。然后用马达带动平板,于是台风就处于移动的平板上;亦即台风相对于平板作运动。我们用不同移动速度,和不同的转盘角速度进行了实验,观察了台风中心以及整个台风位置的变化情况。

三、海南岛地形对台风路径的影响

1. 台风北绕现象 台风由东东南和东南方向,正对着五指山移动,当接近五指山地区时,它就向北方转一个较陡的弯子。绕过该地区之后,继续偏西行。它们的路径分别由图 1 中 I, II 表示。

这种路径的作法是:以地形为标准,划出台风中心相对于地形的位置。在这里我们给出路径 I 中几张具有代表性的照片 1a-d。在这一组照片中,地形的边缘由较粗的白线表示,那个亮的三角形的白点就是五指山(原地形上五指山是圆的,由于照像时,光的反射不均匀,故成三角形)在五指山周围的那一小白圈为地势较高的五指山地区。照片上的小黑点是固定于容器上不动的极座标。照片 1a 表示台风中心距五指山较远,尚未受地形影响,这时台风中心在极座标原点很偏西的地方。在 1b 上台风中心已靠近海南岛五指山地区,受到高地影响;这时台风中心位置已明显地向北移动;在 1c 上台风中心更向高地东北方向移动。如果从极座标来看,此时五指山已占据了原来台风中心的位置,而台风中心此刻已转移到了极座标原点以北稍偏西的方向。而在 1d 上,台风中心已转移到了极座标圆点的北方。在这一整个过程中,台风中心

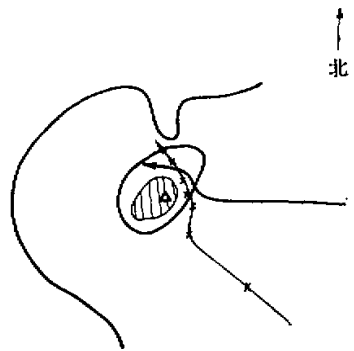


图 1 模拟台风路径在海南岛五指山附近地区转弯现象。

向北转了一个较陡的弯子,绕过五指山地区,此弯子的曲率半径,按比例折合,大约为 70 公里左右。

台风路径距五指山较远时,则其受该地区的地形影响较小,转弯现象不明显。

2. 未发现过五指山地区的台风向左绕陡弯现象

在发现了上述的五指山地区的台风路径向北绕陡弯子现象之后,我们曾预计,由东方或东南方海面过五指山地区的台风,其路径也许会发现向南转陡弯现象。但是事实上我们始终未见到这种现象。而是在五指山地区西南边登陆的台风,其路径仍然略微偏向东北方向,如图 2 所示。

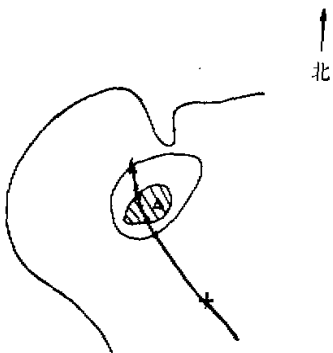


图 2 由五指山地区西南边登陆的台风路径。

对此我们也给出了三张比较具有代表性的照片。2a 表示在受五指山地区地形影响较小时,台风中心的位置。在 2b 上台风中心已登上海南岛,其位置比起 2a 来略有东北偏;当台风继续前进,其中心仍略有东偏,这在比较了 2c 与 2b 之后即可看出来。对于这一现象,从下几节中所给的实验结果,可以得到解释。

3. 与天气事实的比较

上述的台风过海南岛五指山地区时路径向北绕的实验结果,与一些实际台风的路径比较接近。例如 7314 号台风,7423 号台风,其路径如图 3。这两个台风路径由雷达观测资料给出。由此可以看出,它们的路径基本上是由东向西移动,在五指山地区附近,向北转了一个较陡的弯子,然后继续西行。这和我们的模拟实验结果——图 1 中的路径,大体上是相似的。

四、由于地球的旋转所引起的台风路径的偏转

相当于海洋上,无地形影响的台风,我们用模拟实验研究了这类台风的路径偏转情况。按照第二节内所述的方法,得到了以下一些结果。

1. 北半球移动的台风,其路径向右偏,偏转量正比于转盘的角速度

图 4 表示了这一组的实验结果。图中 4A 与 4B 为两个不同的转盘角速度下,台风路径的右偏情况。为了便于和实际台风由东向西的走向进行比较,所以我们的模拟台风也取为东西走向。由于平板的移速是均匀的,故横座标可以视为时间;假如模拟台风在移动中不偏转,那么它的路径将与横座标重合或平行(视初始位置而定)。因此图中的纵座标 S 就表示在不同的时刻,移动台风的向右偏转量。在路径 4A 中,平板的移动速度 v 为 0.169 厘米/秒,转盘的角速度 ω 为 0.273 弧度秒⁻¹;路径 4B 中 $v = 0.169$ 厘米/秒, $\omega = 0.084$ 弧度秒⁻¹。图中 $\times$ 和 $\triangle$ 分别表示台风的中心, $\odot$ 与 $\otimes$ 分别表示台风的重心。所以还要用重心表示,是因为目前红外光热源尚不能随台风

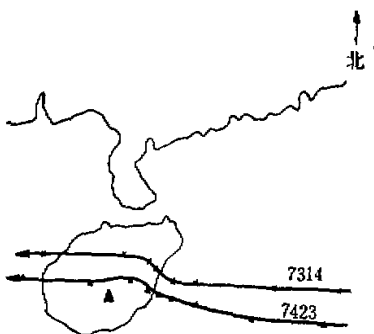


图 3 7314 号, 7423 号台风路径

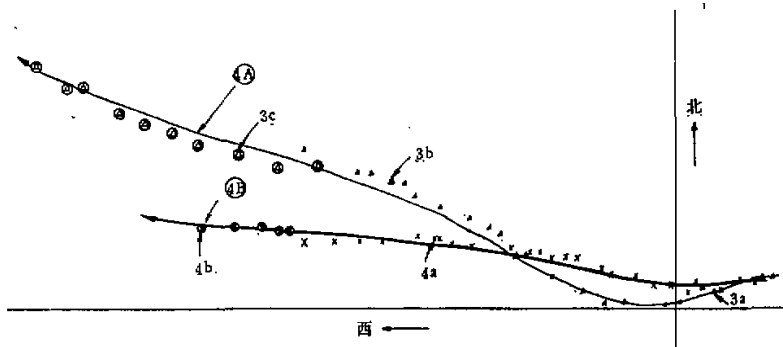


图4 不同的转盘角速度下两个台风的右偏情况

右偏而跟踪。到一定限度后,台风中心不能再继续偏转,但是整个台风将继续右偏而形成了不对称于中心的椭圆台风;我们把这种拉长了的台风1/2处所在的位置,定为台风重心。对应于路径4A和4B,我们给出了两组实验照片3a—c和4a—b它们的位置都标明在图4中。结果是明显的,我们可以清楚地看出:1)在北半球移动的台风,对于其路径来说,都要向右偏转。2)偏转的量正比于转盘的角速度。3)偏转量随时间的增长,基本上是直线关系;或者称为等角偏转。至于为什么会呈等角偏转,下面我们将要讨论。

2. 偏转量正比于台风的移动速度 我们将转盘的速度一定,而去改变平板的移速,即去改变台风的相对运动速度,以观察台风的右偏情况。这一组的实验结果如图5其中路径5A与5B的实验参数分别为 $\omega = 0.139$ 弧度秒 $^{-1}$, $v = 0.169$ 厘米秒 $^{-1}$, 和 $\omega = 0.139$ 弧度秒 $^{-1}$, $v = 0.087$ 厘米秒 $^{-1}$ 。由此图可以看出:当台风移速小一倍的时候,其右偏量

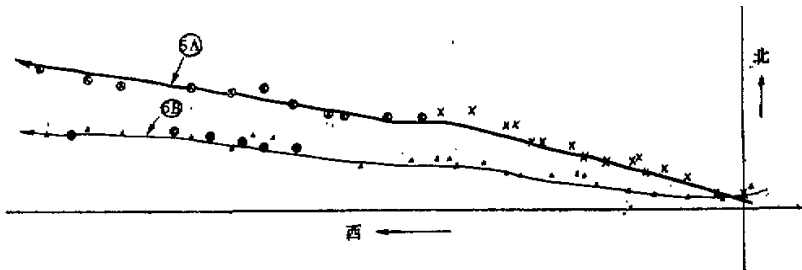


图5 不同的台风移速下,两个台风路径的右偏。

也大约小一倍。亦即偏转量正比于台风的移速。由于这一组实验照片的式样与前面给出的大体相类似,所以在此就省略了。

3. 南半球台风的左偏 南半球地转偏向力的方向与北半球相反,故南半球台风呈顺时针方向旋转。在我们发现了模拟的北半球台风右偏之后,即预料到在南半球移动的台风将向左偏转。实验与预料的相符合。这从下面的一组结果里可以清楚地看到。这一组的实验参数为 $\omega = 0.273$ 弧度秒 $^{-1}$, $v = 0.169$ 厘米秒 $^{-1}$ 。

4. 偏转原因的讨论

A. 地转偏向力的作用

上一节的实验结果表明了,在北半球移动的模拟台风右偏,南半球则左偏;偏转量正比于转盘的角速度和台风的运动速度。

现在我们要问:实验中既无 β 效应,也没有弯曲性的引导气流,那么导致偏转性的原因是什么呢?由于台风的偏转量子比于 ω 和 v ,我们就比较容易判明:这个根本原因就是地转偏向力。该力用加速度表示,在自然界里即为大家所周知的

$$a_n = 2\omega_n v_n \sin \varphi$$

在实验室内则为

$$a_m = 2\omega_m v_m$$

式中 φ 为地理纬度。注脚 n 与 m 分别表示自然界里和实验室里的情况。在这里台风作为一个整体来考虑的,即地转偏向力是作用在整个台风涡旋上的力,而不是考虑作用在个别的空气质点上。这一情况谢义炳等^[2]提到过。

至此我们就可以理解,在第二节内提到的,为什么由东方或东南方过五指山地区的台风,观察不到向南绕陡弯现象。这是由于北半球台风的右偏,助长了过五指山地区地形影响,使其向北绕陡弯现象易于出现。而这种右偏,和地形影响向南绕弯,两者是相互妨碍的,所以观察不到向南绕陡弯现象。

B. 地转偏向力与总摩擦阻力相平衡

实验结果还表明,偏转量随着时间的增长,基本上是直线关系,即等角偏转。这就说明了它不是地转偏向力单一因子作用的结果。因为 a_m 是加速度,在单一的 a_m 的作用下,偏转量 S 随着时间 t 的增长,应由简单公式

$$S = \frac{1}{2} a_m t^2$$

来决定,这是一条抛物线。它清楚地表明了:控制台风右偏的因素,除了地转偏向力之外,还必须有另外一个力来与之平衡。这个平衡的力是什么力呢?分析起来,由于在实验中没有 β 效应及偏转性气流,所以在这方面可以不考虑。我们注意到台风水平流场结构是不对称的,特别是上层如此^[3]会不会因此而导致偏转呢?于是我们在其他条件不变的情况下,仅把台风移动的方向加以改变,观察其偏转有否异同。结果未发现与上述的偏转情况有什么差异。由此判断,台风的不对称性,不是偏转的原因,也不是与偏转平衡的因素。看来影响偏转的就剩下一个因素了,即台风与其周围上下环境的总摩擦阻力。这包括与地面的摩擦阻力,与周围相对比较平静的空气之间的摩擦阻力,以及与顶部的摩擦阻力。对于这种看法,我们作了实验来加以检验。即用表面相当粗糙的粗沙纸平板,代替了光滑平板,而其他条件均不变,以此来观察对偏转的影响结果如图六所示。该图中6A就是图五中的5A,它在这里是作为对比用的。6B是用粗沙纸平板所作出的结果;两者除了“地面”摩擦力不同而外,其他条件均一样。可见这两者的右偏量是不同的。为了更加清晰起见,我们给出4张对比照片,它们在图6上的位置已经标出。从照片上可以看出:在6A1与6B1上,台风中心均在平板的中心线上,此后台风西行,在6A3上,台风中心向

右偏了一格半以上;但在 6B3 上,其中心只右偏了不到一格。再者,如以固定的极座标为准,画出台风的中心位置,进行对比,也可以看出这种右偏量的差异,结果如图 7。根据上述的这些事实,我们可以肯定:地面的摩擦阻力,对台风的偏转量是确有影响的。即地面

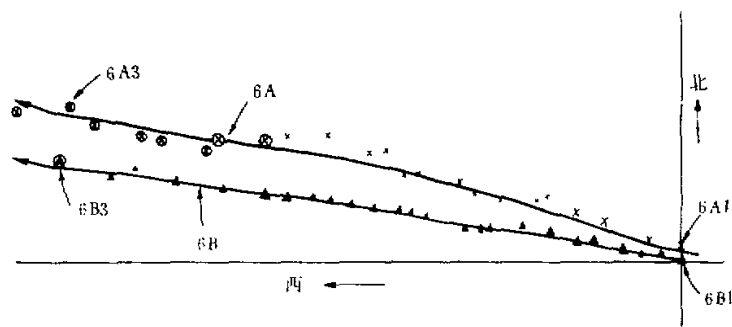


图 6 摩擦对台风偏转的影响

摩擦加大后,右偏量明显变小。根据这个结果,以及上面的分析,我们也许可以推断:北半球(或南半球)移动的台风,所以大体上成等角偏转,其原因是:由于地转偏向力,使台风右偏(或左偏),而随之总摩擦阻力,与之适应平衡。当台风受到的地转偏向力加大或减小时,总摩擦力也相应地加大或减小,它们之间总是维持着平衡的关系。由此形成了角度不同的等角偏转。

5. 与天气实况的比较 经验使我们知道,特别是我们比较熟悉的西北太平洋的台风,在深厚的东风气流引导之下西行,但均有北偏(右偏)现象。这与我们的实验模拟结果在定性上是一致的。

为了定量地进行比较,我们统计了从 1964 年到 1969 年六年的西北太平洋台风路径的右偏情况。其中约定:由东经 140°E 以东开始的台风,西行到中

国登陆或进入南海,只有这种情况我们才统计。这是因为这样的台风有较长一段的西行路径,便于观察其右偏情况。我计算了这些台风在转向前的平均北偏(右偏)的角度。结果如下表。在计算时,由于一些条件的限制,准确度不高,但仍有一定的可信度,而且数量较多,所以仍然具有参考价值。从我们计算的结果,可以看出:西北太平洋台风的右偏实况,和我们的实验结果,在定量上也是基本符合的。

此外,自然界里与实验室里的地转偏向加速度 a_n 与 a_m 在量上是相似的。我们取实际台风的移速为 20 公里/小时, $\omega \sin \varphi$ 取 20°N 上的值,则

$$a_n = 2.8 \times 10^{-3} \text{ 厘米秒}^{-2}$$

在实验室内,模拟台风移速为 0.169 厘米/秒。转盘角速度平为 $\omega = 0.16$ 弧度秒 $^{-1}$ 。则

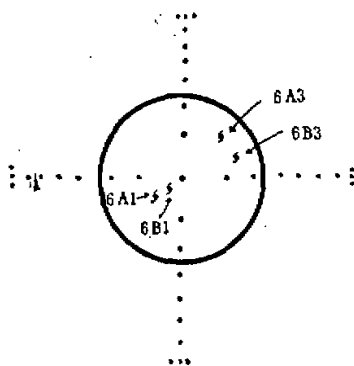


图 7 有无摩擦时,模拟台风右偏量的差异

表 1 西北太平洋台风右偏实况与模拟台风右偏比较

台风编号	右偏角 (度)	台风编号	右偏角 (度)	台风编号	右偏角 (度)	台风编号	右偏角 (度)	实际台风右 偏角总平均 (度)	模拟台风 右偏角 (度)
6403	18.8	6422	18.8	6703	26.8	6811	11.2	18.4	20.9
6405	12.1			6705	27.8	6814	29.8		
6407	8.2	6424	14.0	6710	19.6				
6411	23.7	6431	11.0	6713	8.2	6820	12.2		
6412	19.8	6506	17.4	6714	21.7	6819	0.0		
6416	18.7	6510	26.7	6719	19.9	6903	25.5		
6421	11.9	6509	22.8	6720	21.5	6906	33.0		
6417	11.0	6615	31.5	6721	22.5	6910	27.5		
		6701	18.8	6806	10.2	6911	14.4		
				6808	18.6				

$$a_m = 5.4 \times 10^{-2} \text{厘米秒}^{-2}.$$

这个参数定量上的相似,对于形成实际台风的右偏量和模拟台风的右偏量,在量上的相似,可能具有意义。

五、结 束 语

从模拟实验结果,可以看出海南岛五指山地区地形,对台风路径是确有某些影响的。当台风由东方或东南方接近该地区时,可能向北转一个较陡的弯子,绕道偏西行。但在实验上始终未观察到向南绕弯的现象。

在无地形影响,例如海洋上移动台风的路径,模拟实验的结果是:在北半球整个台风向右偏转,在南半球则向左偏转。实验分析表明:台风作为一个整体,它受到了一种力的作用,这种力就是地转偏向力,这才使得台风在移动中向右(或向左)偏转。但是由于这种偏转基本上为等角偏转,因而还必须有一种力与地转偏向力相适应平衡。实验证明:这另一种力就是整体台风在偏转中所遇到的上下四周的总摩擦阻力。亦即在地转偏向力和总摩擦阻力的适应平衡之下,才形成了等角偏转。偏转量正比于所受到的地转偏向力的大小。我们把实验结果与天气实况作了比较,两者不仅定性地相符合,而且也大体上定量地相符合。

本文承叶笃正教授,陶诗言教授,广东省气象局预报科的同志提出宝贵意见;与宋正山同志作过有益的讨论。冉沈丽同志参加了部份工作,大气所模拟组同志给予支持。作者谨致谢意。

参 考 资 料

- 【1】 张德迁、魏鼎文、何阜华,中国科学,1975, 3, 302—314.
- 【2】 谢义炳、陈秋士,气象学报,1956, 4, 283—305.