

Abby (8305) 台风路径的动力诊断分析

刘 科 成

(上海台风研究所)

提 要

根据 G. J. Holland 关于热带气旋运动的理论, 对 Abby 台风路径作了诊断分析, 揭示了台风在其路径的各个阶段的动力特征及其演变。

一、引 言

热带气旋(包括台风)的运动, 实质上是气旋自身与环境场、地转涡度场、下垫面和湿对流场之间相互作用的结果。在相互作用中有线性关系, 也有非线性关系。后者在数学上是较复杂而难处理的。如何从准线性的角度, 掌握热带气旋运动的主要机制, 使计算公式简化而便于实用, 是一个重要问题。Holland 最近几年提出的热带气旋运动理论和方程组^[1-3], 抓住了热带气旋短期(一、二天)运动的主要机制, 是一个具有较多优点的理论。Holland 在检验和运用这个理论时所用的主要参数, 是标准气旋参数(如形态[Shape]指数 x 、相互作用有效半径 R 和定常平均流入角正切 γ 等), 并且采用资料综合处理方法, 把不同的台风按类别和路径加以综合。其计算结果取得了不少有价值的东西^[1-3], 但也不可避免地会平滑掉一些值得注意的动力特征; 同时, 也不可能连续追踪台风路径各阶段的动力变化。而这两者对实际的台风路径预报来说, 都是很重要的。本文的目的, 就是企图通过对 Abby 台风的个例分析, 具体揭示台风路径不同阶段的动力特征及其演变顺序。这不仅能多少弥补 Holland 研究的不足, 而且也多少具有实用和理论上的意义。文中所应用的 Holland 方程, 这里不列举, 请查阅原文。而有关参数的计算, 将在下面说明。

二、对 Abby 台风资料的处理和计算

台风移向和移速。1983年8月6—11日 Abby 台风的路径见图1。依据台风每6h的位置^[4], 算出其逐日24h(0000Z—0000Z)的平均移向和平均移速以及它们与前一日相比较的变化, 列于表1。

1985年9月17日收到, 1987年1月24日收到再改稿。

表 1 Abby 台风逐日 24h 平均移向 * 移速

日 期	移 向 (°)	移 速 (m/s)	与前一日的移向变化 (°/d)	与前一日的移速变化 (m·s ⁻¹ ·d ⁻¹)
8月6日	307	5.0	—	—
7 日	320	5.7	右偏 13 °	快 0.7
8 日	320	4.0	0 °	慢 1.7
9 日	335	1.8	右偏 15 °	慢 2.2
10 日	11	2.1	右偏 36 °	快 0.3
11 日	357	2.6	左偏 14 °	快 0.5

* 表中的移向,是按气象上常用的方位角表示的,在代入Holland方程时必须转换为Holland所用坐标的方位角。以下对基本气流方向角也是这样处理的。

计算所用的其他资料来源从略。

采用 George 与 Gray 的资料综合技术^[5],将每日 (0000Z—0000Z) 在不同观测时间和相对于台风中心不同位置的所有测风资料,加以综合与计算,以求取台风及其周围的每日平均风场,并在此基础上算出如下各参数:

基本气流 V_B ,是取自离台风中心 5—7 纬距环形带内 700—500hPa 的平均风向量。对称切向风分量 V_s ,也是取自同样的环形带和同样的层次中的平均切向风分量。形态指数 x ,是按修正的 Rankine 涡在 700hPa (因为在这个层次上测风资料最多,而且一般而论,其风速廓线与地面或低空的廓线相差无几) 上的风速廓线计算的。定常平均流入角正切

γ ,是按公式 $\frac{\text{径向风}}{\text{切向风}} = -\gamma$,先分别求取

1000hPa 和 700hPa 各自从中心到 5—7 纬距每一环形段内的 γ 值,再求取各层平均值,对各层 γ 的平均值再作算术平均,即为最后选用的 γ 值。为消除台风移动的影响,求 γ 时是采用移动—转动坐标的。相互作用有效半径 R 的计算,是按 Holland 的规定,取前一日的台风各参数,代入文献 [1] 中 (24) 和 (25) 式求出的相互作用有效半径,作为今日诊断计算时的有效半径 R 使用的。现只把基本气流 V_B 列成表 2,其余各参数从略。

表 2 8月6—11日基本气流 V_B

日 期	8月6日	7 日	8 日	9 日	10 日	11 日
V_B 的方向 (°)	299	304	9	38	58	49
V_B 的速率 (m/s)	3.7	4.8	2.9	3.9	3.7	5.3

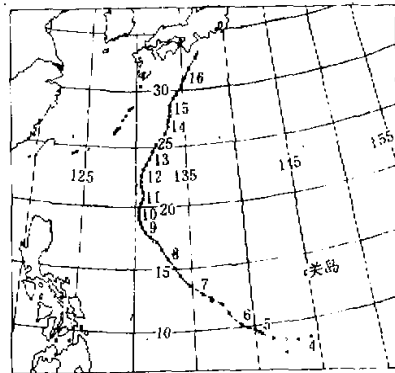


图 1 Abby 台风路径 (1983 年 8 月 6—11 日)

○ : 台风每 6h 中心位置

- - : 台风每日 0000Z 中心位置

三、台风运动中各动力因素的贡献及其对台风运动的影响

有了上述数据后, 根据相应的 Holland 方程, 求出 Abby 台风逐日的移向、移速, 并和实测值进行比较, 从而得表 3.

表3 计算的台风移动与实测值的比较

日期	A				B				C				实 测	
	行向 (°)	行速 (m/s)	行向 偏差	行速 偏差	行向 (°)	行速 (m/s)	行向 偏差	行速 偏差	行向 (°)	行速 (m/s)	行向 偏差	行速 偏差	行向 (°)	行速 (m/s)
8月6日	293	0.5	14	-4.5	299	4.2	8*	-0.8 [△]	254	-0.7	53	-5.7	307	5.0
7日	295	0.9	25	-4.8	303	5.4	17*	-0.3	297	5.9	23	0.2 [△]	320	5.7
8日	292	1.6	28	-2.4	310	5.6	10	1.6 [△]	329	8.3	-9*	4.3	320	4.0
9日	284	4.7	51	2.9	333	4.8	2*	3.0 [△]	340	5.3	-5	3.7	335	1.8
10日	291	1.9	80	-0.2	26	3.0	-15*	0.9	348	2.0	23	-0.1 [△]	11	2.1
11日	265	1.3	92	-1.3	39	4.3	-42	1.7	13	3.4	-16*	0.8	357	2.6

注: 带*者为该日行向最小偏差, 带[△]者为该日行速最小偏差.

表3的A栏, 是设 V_B 为零时, 依文献[1]中(10)和(11)式而计算的; B栏是设 V_B 定常且分布均匀时, 依同一文献中(16)和(17)两式而计算的; C栏是设 V_B 定常但分布不均匀和不对称时, 依同一文献(24)和(25)两式而计算的. 如计算行向偏于实测行向之左, 偏差角为正; 如计算行速快于实测行速, 则速率偏差为正.

从表3的行向偏差看, 最小偏差(绝对值)中的最大者不超过 17° , 最小只 2° . 就行速偏差(绝对值)看, 最小偏差中的最大者不超过 3.0m/s , 最小只 0.1m/s . 至于为什么有时是B栏偏差最小, 有时是C栏偏差最小, 下面将作分析(A栏仅供参考, 不作分析).

因为上述偏差不大, 而表3各栏的计算式都是在台风是向非对称涡度变化 $(\partial\zeta/\partial t)'$ 最大值处移动的假定下推导出来的, 所以, 文献[1]中(23)式右端各项可以表达台风运动中各动力因素的相互作用(此时 $\theta =$ 台风行向 θ_m)及其对运动所作的贡献. 现将上述各项的计算结果列成表4.

表4第一项是均匀基本气流输送的对称气旋涡度平流; 第二项是由对称气旋环流所导致的地转涡度平流与辐散; 第三项是由非均匀非对称基本气流的不对称分量所导致的地转涡度平流与辐散. 表4显示, 6—7日, 当台风稳定地向西北行时, 第一项所占百分比很大, 为 $81—85\%$, 故计算的台风行向会与基本气流方向接近(比较表2与表3B栏). 而第二项与第一项相比, 所起的作用就小得多, 因为所占百分比只有 $12—15\%$. 但与第一项合计, 则百分比高达 $96—97\%$. Holland指出, 在澳大利亚地区, 台风在转向前的西南行阶段, 主要是在均匀基本气流和 β (Rossby参数, 下同)相互作用下移

动的^[1]。按这一观点,在北半球也应该有类似的机制,只不过“西南行”换成“西北行”而已。Abby 台风也的确是这样。表 3 的 B 栏,就是在均匀基本气流和 β 效应作用下台风移动的计算值与实测值的比较:在 6—7 日,行向偏差最大为 17° ,最小为 8° ;行速偏差最大为 0.8m/s ,最小仅 0.3m/s 。如把非均匀非对称基本气流的不对称分量和 β 的相互作用也计算进去(表 3C 栏),其偏差反而更大:行向, $+23^\circ \sim +53^\circ$;行速, $+0.2 \sim -5.7\text{m/s}$ 。这就从反面证实了上述论断的正确性。

表 4 6—11 日逐日台风运动中各项动力因素所作贡献

日 期	各项值及所占百分比	第一项		第二项		第三项		总和(绝对值)	
		值(10^{-10}s^{-2})	%	值(10^{-10}s^{-2})	%	值(10^{-10}s^{-2})	%	值(10^{-10}s^{-2})	%
8月6日		10.8424	85	1.5161	12	0.3603	3	12.7189	100
7日		9.7222	81	1.7577	15	0.5145	4	11.9943	100
8日		0.9080	23	1.8080	46	1.2131	31	3.9290	100
9日		0.8557	28	1.4410	48	0.7255	24	3.0221	100
10日		3.5341	78	0.4789	11	-0.5131	11	4.5261*	100
11日		7.4221	85	-0.0847	1	-1.2439	14	8.7508*	100

* 10日和11日,考虑正负号的总和分别为 $3.4999 \cdot 10^{-10}\text{s}^{-2}$ 和 $6.0935 \cdot 10^{-10}\text{s}^{-2}$ 。

8日,基本气流方向从原来的西北骤转到北偏东,9日更转为东北(表2)。同时,台风行速也急降(表1)。显然,台风正处于转向酝酿阶段。表4中三项值的总和与前二日相比,下降到以前的 $1/4 \sim 1/3$ 。这和台风的显著减速是吻合的。其次,各项所占的百分比也显著地改变了:第一项由原来的 $81 \sim 85\%$,降到 $23 \sim 28\%$,已不再占最重要的地位;而第二项却从原来的 $12 \sim 15\%$,升到 $46 \sim 48\%$,其重要性显著增加了;第三项百分比的上升幅度更大,从 $3 \sim 4\%$ 的微小百分比,跃升到 $24 \sim 31\%$,也显得相当可观了。这意味着非均匀非对称基本气流的不对称分量和 β 效应的相互作用在台风酝酿转向阶段的贡献是不容忽视的。所以C栏的行向偏差最小,惟行速偏差稍大些。总之,在台风酝酿转向阶段,不仅第二项的贡献显得突出,尤其第三项所占百分比的大幅度增长,更引人注意。

还有,8日的台风中心早已处于其东侧热带高压脊线和高压中心的北面(图略);如前述,基本气流方向也已转到正北偏东。按一般预报经验,台风应大转向了。但是,次日(9日)的台风只向 335° 行走而无多大转向,其实,这和表4第二项的作用很有关系。该项的动力意义只是台风环流自身与 β 的相互作用,而与基本气流无关。表3的A栏就是设基本气流为零时,辐合台风与 β 相互作用对台风移动影响的计算结果,其单独作用就是促使台风向西偏北行^[1]。表3中8—9日A栏的值也的确是这样:8—9日行向在 $284 \sim 292^\circ$ 之间,行速在 $1.6 \sim 4.7\text{m/s}$ 之间,西移倾向是很显著的。所以台风在基本气流已转到北偏东(8日),甚至转到东北(9日)时,仍没有大转向,其原因就在这里。

10日又是另一种情况。表4第一项的百分比又升到78%，再占优势。所以当 V_B 方向从38°再转到58°时，台风行向也从9日的335°急转到11°，完成了大转向。但第三项却变成了负值，就是说，其作用是阻挠台风转向，即促使台风偏西行。这与台风在酝酿转向阶段的作用恰恰相反。为证实这一点，假定在计算台风移向、移速时略去第三项，即设 V_B 的涡度和散度为零，如表3的B栏，结果计算的行向为26°，与 V_B 方向58°较为接近，与实测行向偏差为-15°，行速偏差为0.9m/s，也不大。相反，如果考虑 V_B 的涡度与散度（表3C栏），则行向的计算值为348°，偏西；和偏东的 V_B 方向相差达70°，和实测台风行向偏差达+23°，也比前者（-15°）大得多，不过行速偏差（慢0.1m/s）小些。由此可见，作为负值的第三项，是不利于台风转向的。

11日，表4的三项值也与前不同。第一项的百分比到85%，再现其重大作用。但不仅第三项仍是负值，甚至第二项也成为负值。11日的 V_B 方向是49°（表2）。在第一项（均匀基本气流对台风涡度的平流）显现如此强大作用的情况下，如无第二、三项的负值作用，台风将向东北偏东的方向移动。上面说过，第三项的负值贡献迫使台风西行；同样，第二项的负值也起类似作用。例如，考虑了第一、二项作用的行向计算值为39°，比 V_B 方向49°偏西10°；同时考虑第一、二项和第三项作用的行向计算值为13°，比 V_B 方向偏西36°，与实测行向偏差最小，只有-16°，行速偏差仅0.8m/s。由此可见，为什么台风行向会从前一日的11°，再度摆回到357°。

四、结 论

基本气流方向从西北转向东北的时间，早于台风转向约48h，这对台风转向有先兆和指示作用。

当台风稳定向西北行时，均匀基本气流对台风涡度的平流最重要，而 β 效应也起一定的作用。此时台风行速也加快。当台风处于酝酿转向阶段，台风涡度沿均匀基本气流的平流、台风环流及非均匀非对称基本气流的不对称部分与 β 的作用，三者几乎同等重要。但台风环流自身与 β 的作用延缓台风转向，台风行速变慢。台风转向时，非均匀对称基本气流的不对称部分与 β 的作用，其贡献为负值，阻挠台风转向的作用最明显。此时，如果台风环流自身与 β 的作用的贡献也是负值，那就会迫使台风从北偏东行向更加向西逆转。

参 考 文 献

- [1] Holland, G. J., 1983, Tropic Cyclone motion: Environmental interaction Plus a beta effect, *J. Atmos. Sci.*, Vol. 40, 328—342.
- [2] Holland, G. J., 1983, Tropic Cyclones in the Australian Southwest Pacific region, *Atmos. Sci. Paper*, No. 363, Colorado State University, 260.
- [3] Holland, G. J., 1984, Tropic Cyclone motion: A comparison of the theory and observation, *J. Atmos. Sci.*, Vol. 41, 68—75.
- [4] 上海台风研究所, 西北太平洋台风路径简图, 1984年4月印.
- [5] George, J. E., and Gray, W. M., 1976, Tropic Cyclone motion and surrounding Parameter relationship, *J. App. Meteo.*, Vol. 15, 1252—1264.