

多层引导气流与热带气旋移速移向突变的统计分析*

张蓝蓝 仲荣根 练江帆 段朝霞

(中山大学大气科学系, 广州 510275)

摘要 对29个热带气旋资料进行统计, 分析了多层引导气流与热带气旋的移速、移向及其突变的关系。结果表明: 用多层气流作引导气流优于仅用某一层。多层引导气流方向与热带气旋移向比较接近, 而其速度变化与热带气旋移速变化有密切关系。当引导气流微弱且风向不稳定时, 热带气旋易出现移速、移向的突变。

关键词 热带气旋, 引导气流, 突变

热带气旋的移动与大尺度环境流场之间有着密切关系。对这种引导作用, 国内外许多气象工作者作了大量研究。林超英^[1]等用多层引导气流设计了一个预报方案, 取得较好的预报效果; 杨平章、张建安^[2]也把环境流场考虑进去, 设计了一个预报模式。这些工作偏重于研究引导气流与热带气旋路径的预报的关系, 本文则尝试对多层引导气流与热带气旋移速移向突变的关系进行分析。

1 资料与计算方法

选取1980~1986年出现在6~10月的29个热带气旋, 采用欧洲中期预报中心20时的网格点资料(格距 2.5×2.5 经纬度)。并取以热带气旋中心为圆心, 半径为5个纬距的圆周内某层的平均风场作为该中心位置时次该层的引导气流。

统计各个例逐日的850, 700, 500, 300, 200, 100, 700~500(hPa), 及三层、四层共两种引导气流, 其中三层、四层的引导气流分别定义为

$$\vec{v}_s = \frac{1}{3} (\vec{v}_{700} + \vec{v}_{300} + \vec{v}_{200}) \quad (\text{以下简称三层气流}).$$

$$\vec{v}_s = \frac{1}{4} (\vec{v}_{700} + 2\vec{v}_{500} + \vec{v}_{300}) \quad (\text{引自 [3], 此实为加权的三层气流, 简称四层气流})$$

据《台风年鉴》算出每个热带气旋连续4天逐日20时前后12h、24h的平均移速移向, 及后12h(24h)与前12h(24h)的平均移速差。全部计算在M340计算机上完成。(为了便于比较, 本文将引导气流方向化作风的方向, 风速化作以km/h为单位。)

收稿日期: 1995-07-03

* 国家“八五”攻关资助项目

本文采用本课题组统一规定的热带气旋移向、移速突变的标准:

移向突变: 前后 12h 平均移向变化的绝对值 $\geq 45^\circ$.

移速突变: ① 原移速 $> 5\text{km/h}$, 前后 12h 平均移速差的绝对值 $\geq 15\text{km/h}$. ② 原移速 $\leq 5\text{km/h}$, 前后 12h 平均移速差的绝对值 $\geq 10\text{km/h}$.

2 多层引导气流与热带气旋移动的关系

2.1 风向与移向的关系

经比较 9 种引导气流的所有统计结果, 可发现多层引导气流优于某一层. 而三层气流与四层气流的结果出入不大, 所以下文着重介绍四层气流的统计结果.

对 29 个热带气旋逐日 20 时未来 12h, 24h 内平均移向与引导气流去向的偏差角进行统计. (统计次数 12h 为 $29 \times 4 = 116$ 次, 24h 为 $29 \times 3 = 87$ 次). 统计表明, 12h 平均移向与四层气流去向的偏差角 $< 30^\circ$ 占近 70% 的次数, 偏差角最小为 0.21° , 最大为 150.4° ; 24h 两者的偏差角 $< 30^\circ$ 的约占总次数 69%, 偏差角最小为 0.17° , 最大为 159.9° . 12h, 24h 平均偏差角分别为 26.1° 和 24.4° , 且热带气旋未来移向大多偏于四层引导气流的左侧. 两者关系较好, 可考虑在实际工作中以四层引导气流来分析热带气旋未来的移向.

按上述的突变标准, 在统计的个例中共有 10 个移速、移向突变的热带气旋. 表 1 给出了突变当天它们的 12h 平均移向移速和四层引导气流的统计结果. 其中 8407, 8408 号热带气旋连续 2 天出现突变, 突变总次数计为 12 次. 从表 1 可见引导气流风向与热带气旋移向偏差角 $> 30^\circ$, 占总次数 8/12. 其中 8221 号热带气旋突变当天偏差角最大, 达 -115.73° . 较大的还有 8407, 8408, 8621 号热带气旋. 分析这些个例的天气形势可发现,

表 1 四层引导气流与突变热带气旋个例的移速移向

Tab. 1 Four-level steering flow and speed and direction of suddenly change tropical cyclone cases

分类	热带气旋编号	突变日期	移速 (km/h)	引导气流 风速 (km/h)	风速-移速 (km/h)	移向 ($^\circ$)	引导气流 风向 ($^\circ$)	偏差角 ($^\circ$)
移速突变	8005	1980-06-28	29.3	12.02	-17.28	266.6	316.03	49.43
	8221	1982-10-18	28.0	0.66	-27.34	230.2	114.47	-115.73
	8106	1981-07-03	16.4	14.38	-2.02	303.7	282.94	-20.76
	8504	1985-06-22	19.2	19.93	0.73	303.7	310.79	7.09
	8516	1985-09-16	11.2	24.44	13.24	270.0	302.99	32.99
	8407	1984-08-06	40.0	4.28	-35.72	329.9	264.21	-65.69
移向突变	8407	1984-08-07	26.4	12.92	-13.48	317.7	240.58	-77.12
	8015	1980-09-16	11.6	7.71	-3.89	302.5	289.16	-13.44
	8408	1984-08-18	9.8	1.70	-8.10	259.7	310.36	50.66
		1984-08-19	7.9	13.25	5.35	20.6	46.87	26.27
移向移速突变	8621	1986-10-15	5.1	7.35	2.25	315.0	39.52	84.52
移向移速突变	8616	1986-08-23	13.8	11.78	-2.02	225.0	187.23	-37.77

注: 表中风向指风的去向

它们多处于引导气流微弱, 风向多变的形势背景下, 有的处于两环副高共同控制下, 有的上下层引导气流风向不一致. 在这种形势背景下, 热带气旋的移动出现了突变.

以 822 号热带气旋为例来分析, 移速突变出现在 10 月 18 日, 在 500h Pa 等压面上, 它处于两环副高之间 (图 1). 当日四层引导气流去向为 114.47° (即为西北西风), 但热带气旋平均移向是 230° , 即向西南西方向移动. 按牵引原理, 热带气旋应向东南偏东方向移动, 而它却向西南偏西方向移动. 虽然从天气图上尚难很好解释此问题. 但有两点值得注意: 第一, 从表 1 可见其引导气流是所有个例中最弱的, 只有 0.66 km/h (0.18 m/s), 引导气流如此微弱, 起不了牵引作用. 此外, 引导气流极微弱之时, 往往是天气形势调整之际, 在此背景下, 热带气旋不受引导气流牵引, 移动变得不规律. 第二, 该热带气旋已登陆, 影响移动的因素会更复杂.

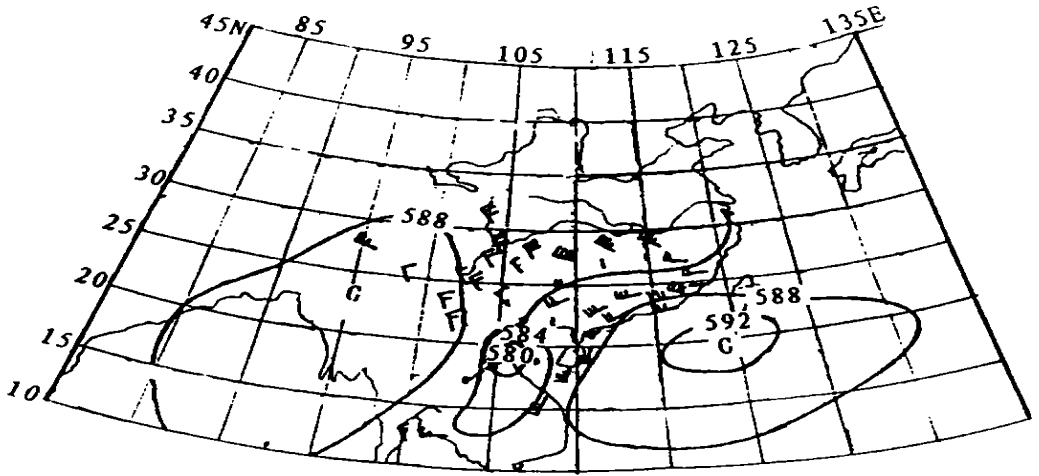


图 1 1982 年 10 月 18 日 20 时 (北京时间) 500h Pa 图

Fig. 1 500hPa isohypse chart for October 18, 1982, 20:00 (local time)

2.2 风速与移速的关系

因格点风资料只有 20 时的, 所以风速差只能计算 24h 的. 每个个例只调用 4 天的资料, 以第 2 天与第 1 天引导气流 24h 风速差, 对应第 2 天 20 时以后 12h (24h) 内平均移速减去其前 12h (24h) 内平均移速之差, 来统计两者的相关关系. 第 3, 4 天类推, 12h 移速差可计算 3 天 (共 $29 \times 3 = 87$ 次), 24h 只能计算第 2, 3 天 (共 58 次).

结果表明, 12h 移速差与三层、四层引导气流 24h 风速差呈正相关的比例分别为统计总次数的 69% 和 67%; 24h 移速差与三层、四层气流风速差呈正相关的比例均为 59%. 说明时间愈短, 引导气流速度的变化趋势与热带气旋移速的关系愈密切.

突变的热带气旋个例中, 风速差和移速差也有呈正相关的, 但所占比例较少, 不如负相关多. 8516 号热带气旋是一个正相关的例子, 引导气流风速突减对应它的移速突减, 下文将对其作具体分析.

负相关有两种情况, 其一为引导气流风速差为负, 热带气旋移速差为正; 其二与之相反. 统计结果说明, 引导气流风速减弱时对应热带气旋移速增加的情况居多.

突变的10个热带气旋中有7个出现这种负相关情况. 它们是8005, 8015, 8106, 8407, 8408, 8504, 8616号热带气旋, 其中8015, 8408, 8616属风速差为负, 移速差为正的情况, 其余4个则在不同的时间分别出现过上述两种负相关. 说明在突变热带气旋中易出现负相关这种小概率的情况, 而且以引导气流风速减弱对应热带气旋移速增大的情况居多.

3 多层引导气流与热带气旋移速、移向的突变

表2为10个突变个例所统计连续四天的四层引导气流的风向和风速, 从表上可见, 在突变当天引导气流的风速除8516和8504号热带气旋外, 其余8个均小于15 km/h (4.1 m/s), 其中4个小于10 km/h (2.8 m/s), 风速最小的是8221号热带气旋, 仅为0.66 km/h (0.18 m/s).

表2 突变热带气旋个例引导气流的统计

Tab. 2 Statistics of steering flow for cases of suddenly change tropical cyclones

热带气旋编号	引导气流方向 (去向)				引导气流速度 (km/h)			
8005	309.19	7.53	359.67	316.03	17.52	14.53	14.81	12.02
8221	259.9	292.5	333.06	114.47	14.45	13.12	10.19	0.66
8106	282.94	311.72	312.29	317.33	14.38	8.64	17.78	9.4
8504	292.88	304.46	310.79	266.04	12.09	19.47	19.93	13.05
8516	309.08	309.51	302.99	314.09	35.06	33.93	24.44	21.14
8407	251.53	314.17	264.27	240.58	9.06	10.03	4.28	12.92
8015	276.48	289.16	286.34	312.42	18.78	7.71	11.55	14.97
8408	227.05	228.62	310.36	46.87	8.46	7.18	1.7	13.25
8621	39.53	37.18	356.37	273.89	7.35	5.24	8.3	3.24
8616	87.0	73.42	187.23	256.16	22.8	19.00	11.78	27.67

* 为突变当天

从表还可看到, 这10个热带气旋中, 有7个突变出现在引导气流处于减弱或低谷点的时候 (其中8106, 8621号突变日在第1天, 无法判断) 这7个突变个例中, 只有8015, 8408是移向突变, 其余5个都是移速突变. 可见, 在引导气流风速减弱时, 热带气旋易出现移速突变.

此外, 从表还可以看到有8/10的突变次数, 引导气流的风速都小于热带气旋的移速, 这也说明引导气流风速小时热带气旋移速、移向易出现突变.

从表还可以看到, 突变当天引导气流风速 < 15 km/h 的8个例子中有6个引导气流方向多变, 只有8106和8015号热带气旋引导气流方向稳定. 即3/5突变个例出现在引导气流微弱且方向多变的情况下, 4/5出现在引导气流微弱的情况下. 有趣的是移向突变不仅可出现在引导气流方向多变的情况下, 还可以出现在引导气流微弱, 但方向稳定的情况下, 8015号热带气旋就是一例.

8504, 8516号热带气旋突变当天引导气流风速 > 15 km/h (4.1 m/s), 它们都是在引导气流稍强且方向稳定下出现移速突变的个例.

综上所述, 当引导气流微弱且方向多变时, 易出现热带气旋移速、移向突变. 这与

预报经验是一致的. 如在副高减弱 或热带气旋处于两个或以上的高压控制下, 或双热带气旋作用时, 热带气旋的移动变得不规律, 移速和移向多变, 易出现突变.

4 突变实例分析

(1) 8516号热带气旋 (1985年 9月).

这是引导气流稍强且风向稳定下出现的移速突减的个例. 8516号热带气旋 14日 20时至 16日 20时平均移速在 20 km/h 以上, 自 16日 20时起的 12h内平均移速从前 12 h 的 33.9 km/h 突降至 11.2 km/h, 移速差高达 - 22.7 km/h, 达到突变标准.

9月 15~ 17日, 华南副高呈带状, 强度很强, 且有西伸趋势. 该热带气旋处于副高南缘, 引导气流方向一直很稳定处于 302° ~ 314° (去向) 范围内, 热带气旋移向也稳定. 而且引导气流风速较强, 四天风速都 > 20 km/h, 值得注意的是其处于逐日递减的趋势 (表 3). 16日 20时风速值减至 24.44 km/h, 风速差达 - 9.49 km/h. 16日 20时起热带气旋移速也出现突降. 风速差与移速差呈正相关.

表 3 8516号热带气旋 12h 平均移向、移速与四层引导气流的统计

Tab. 3 Statistics of 12 hour mean direction and speed of tropical cyclone 8516 and the Four-level steering flow

日 期	14日 20时			15日 20时		16日 20时		17日 20时	
引 方 向	309			309		302		314	
风 速 (km/h)	35.06			33.93		24.44		21.14	
风 速 差				- 1.03		- 9.49		- 3.3	
起 止 时 间	14 ⁰⁸ —	14 ²⁰ —	15 ⁰⁸	15 ⁰⁸ —	15 ²⁰ —	16 ⁰⁸	16 ⁰⁸ —	16 ²⁰ —	17 ⁰⁸
热 带 气 旋 平 均 移 向 (°)	308.7	275.9	308.2	282.9	262.7	270.0	307.7	346.0	
平 均 移 速 (km/h)	23.2	34.6	37.7	31.2	33.9	11.2	24.7	11.4	
移 速 差	11.4			- 6.5			- 22.7		- 13.3

(2) 8616号热带气旋 (1986年 8月)

这是所统计个例中唯一的移速 移向都出现突变的热带气旋. 它的移向从向东北转东南再转西南偏西, 明显转向发生在 8月 23日 08时到 20时之间, 移向从 104.0° 转到 198.4° , 达到突变标准. 与此同时移速也从前 12h 的 13.9 km/h 骤降至 2.9 km/h. 23日 20时以后, 它已完成了从偏东北到偏西南的转向, 稳定移向西南西, 随之移速猛升, 23日 20时~ 24日 08时平均移速升至 13.8 km/h, 达到移速突变的标准 (表 4).

它的引导气流风向风速也经历了明显的变化 (表 4). 21~ 22日为偏西气流, 23日骤转为偏北气流, 24日再转为东北偏东气流. 23日 20时引导气流的风速也降至最低值 11.8 km/h. 可见, 8616号热带气旋移向移速突变发生在其引导气流减弱至最低值, 方向骤变时候的前后.

在 500h Pa 等压面上, 21~ 24日副高很弱, 断裂或环状, 21~ 22日, 该热带气旋在其南侧高压北侧的偏西气流引导下向偏东方向移动. 23日 08时, 热带气旋南北两侧各

表4 8616号热带气旋12h平均移向、移速与四层引导气流的统计

Tab. 4 Statistics for 12 hour mean direction and speed of tropical cyclone 8616 and Four-level steering flow

日期	21	22	23	24				
引导气流 方向(去向)	87	73	187	256				
风速(km/h)	22.8	19.0	11.8	27.7				
风速差		-3.8	-7.2	15.9				
热带气旋 起止时间	21 ⁰⁸ -21 ²⁰ -22 ⁰⁸	22 ⁰⁸ -22 ²⁰ -23 ⁰⁸	23 ⁰⁸ -23 ²⁰ -24 ⁰⁸	24 ⁰⁸ -24 ²⁰ -25 ⁰⁸				
平均移向(°)	70.0	67.8	68.2	104.0	198.4	225.0	239.0	247.1
平均移速(km/h)	20.3	20.5	23.1	13.9	2.9	13.8	15.3	24.5
移速差			-9.2		10.9			9.2

有一个高压,在这种形势下,23日08~20时,热带气旋移动很少(图2)。但23日20时以后,热带气旋北侧高压发展起来,受其东北偏北气流引导,热带气旋迅速转向西南偏西方向移动,且移速也突然加大。

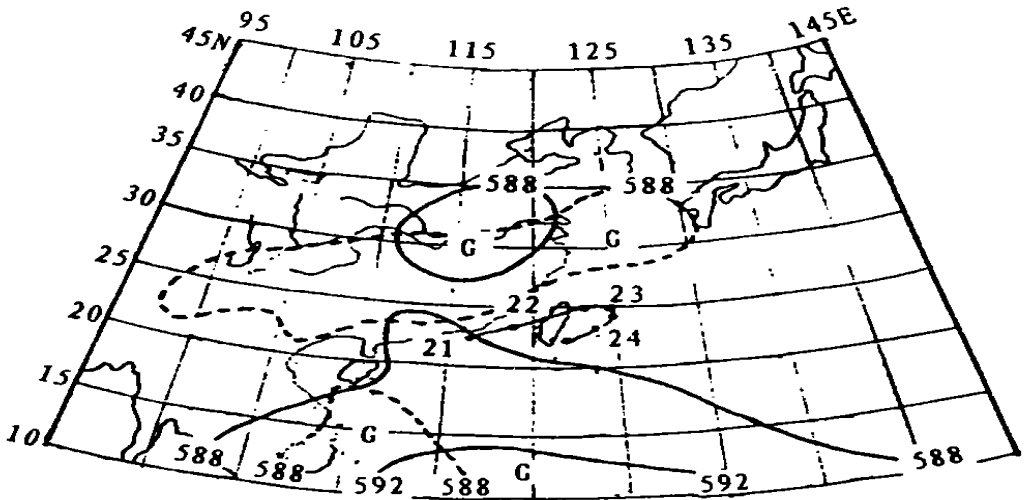


图2 1986年8月23日~24日20时(北京时间)500hPa形势演变图

Fig. 2 500hPa Isohypse chart for August 23~24, 1986, 20:00 (local time)

粗实线: 23日, 虚线: 24日; 细实线: 热带气旋路径, 数字为日期

从表4可见23日20时引导气流24h风速差与热带气旋未来12h平均移速差呈负相关,但这并不反映引导气流微弱而使热带气旋突然加速的因果关系。

负相关反映了这样一种对应关系,当风速差为负值时,说明引导气流趋于减弱,它往往是天气形势调整的反映。在这种背景下,热带气旋移向变化、移速减慢。一旦调整完成,热带气旋移向重新趋于稳定,移速容易出现突增。本例的情况就很典型。在突变个例中,多出现负相关的小概率事件,引导气流风速差为负值对应热带气旋移速突增多属此类情形。

5 结 语

(1) 经统计分析发现, 用多层引导气流优于用某一层来分析热带气旋未来的移速移向变化。

(2) 热带气旋未来 12h、24h 的移向与四层引导气流的方向偏差角在 30° 以内的占统计总数的约 70%, 且移向多偏于四层引导气流去向的左侧, 而突变的热带气旋上述偏差角多大于 30° , 可考虑应用四层引导气流来分析热带气旋未来的移向。

(3) 四层引导气流的风速差和未来 12h 热带气旋的移速差属正相关的占统计总数的约 70%, 24h 占约 60%。突变热带气旋多属上述两者呈负相关的小概率事件, 且以风速差为负, 移速差为正的情况居多。

(4) 当引导气流方向稳定且四层引导气流风速 $> 15\text{km/h}$ 情况下, 其风速的变化也可使热带气旋移速出现突变, 但这种情况在突变个例中占少数。

(5) 热带气旋移速的突变往往出现在引导气流微弱之时, 与此同时如引导气流方向不稳定, 热带气旋易出现移向或移速的突变。

参 考 文 献

- 1 林超英, 潘永祥, 杨平章等. 用多层基本气流综合预报台风路径. 中山大学学报 (自然科学版), 1984(2): 100-109
- 2 杨平章, 张建安. 低纬西太平洋热带气旋路径中短期预报. 海洋预报, 1991(8): 58-68
- 3 吴池胜. 台风结构的非对称性对台风运动的影响. 中山大学学报论丛, 1994(5): 21-25

Statistical Analysis on the Multi-level Steering Flows and Sudden Changes in Speed and Direction of Tropical Cyclones Movement

Zhang Lanlan* Zhong Ronggen Lian Jiangfan Duan Zhaoxia

Abstract We make statistics on 29 cases of tropical cyclone and analyse the relationship between the multi-level steering flow (MLSF) and the speed and direction (including their sudden changes) of tropical cyclone movement. The results show that the MLSF is more indicative than a single lever steering level flow. The direction of MLSF approaches relatively the direction of tropical cyclones movement. Furthermore, the change in speed of MLSF closele relates to that of tropical cyclone. When the speed of MLSF is weak and its direction is variable, sudden changes in the speed or direction of tropical cyclone will occur frequently.

Keywords tropical cyclone, steering flow, sudden change

* Department of Atmospheric Sciences, Zhongshan University, Guangzhou 510275.