

热带东风喷射气流之天气学研究

刘昭民

(民航局飞航服务总台气象中心, 台北市)

提 要

根据台湾省及东南亚地区高空天气图资料及探空资料, 分析东风喷射气流¹⁾之平均位置和特性, 并就青藏高原、副热带西风喷射气流²⁾和东风喷射气流之关系, 讨论东风喷射气流之成因以及对北半球天气和气候之影响。东风喷射气流之南北两侧存在着极强烈的温切现象³⁾, 这种温切现象不但与东风喷射气流有关, 而且对高空民航机之飞航安全有极重大的影响。

关键词: 东风急流 温度切变 飞行

前 言

热带东风喷射气流和南北半球的其他各种喷射气流一样, 同是大气环流之一支, 惟迄目前为止, 一般气象学和天气学的专书对热带东风喷射气流的叙述都十分简略(盛承禹、陆渝蓉, 1986; 陈廷良 1992), 此乃天气学和气象学上之一大憾事。鉴于热带东风喷射气流与南亚地区高空飞航之关系极为密切, 因此有详加研究之必要, 以下将就热带东风喷射气流之天气学问题详加探讨。

1 热带东风喷射气流之平均位置和特性

热带东风喷射气流之发现仅仅是四十余年前之事(Scherhag 1948; Ven kiteswaran 1950; K Rao 1952; R Frost 1952, 1959; Koteswaram 1958), 有关热带东风喷射气流平均位置和特性方面之叙述, 均非常稀少, 过去的说法, 有谓热带东风喷射气流从中国大陆东南沿海向西南伸, 经中南半岛, 西经印度半岛南部和阿拉伯海, 直到非洲东部苏丹等地上空(Koteswaram, 1958, 1968)。亦有谓热

带东风喷射气流轴心起自菲律宾之民答那峨上空, 直到非洲中部上空(H Flohn 1959)。

分析最近 20 年来南亚和东南亚高空天气图资料, 可以看出夏季热带东风喷射气流之平均位置有由南向北逐月变化之情形, 即 5 月份靠近赤道地区, 由沙捞月西经马来西亚南部、苏门答腊、印度洋。6 月上旬北移至西沙群岛、越南南部、暹罗湾、印度洋。6 月下旬, 起自台湾南部, 向西延伸经海南省、越南中部、泰国、孟加拉湾、印度南部、阿拉伯海、非洲东部。7 月和 8 月份时, 起自琉球群岛、台湾、香港、华南、中国与越南、老挝、缅甸之边界, 印度半岛、阿拉伯海等地上空。图 1 所示即 5 月至 8 月间东南亚地区东风喷射气流之平均位置图。

在垂直分布方面, 分析最近 20 年来之气象资料, 亦可以发现, 热带东风喷射气流伸展层次在 200hPa 与 100hPa 之间(见图 2)。所据纬度带之范围在 5—20°N, 无论在位置、气流之方向和强度等各方面, 均有显著之持久

1) 即东风急流

2) 即西风急流

3) 温度切变

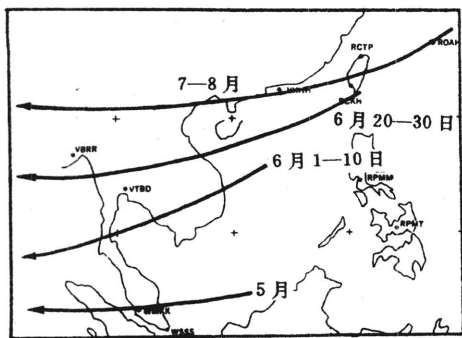


图1 5—8月东南亚地区东风喷射气流平均位置

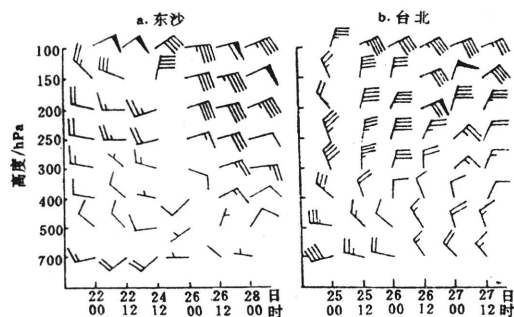


图2 1987年6月下旬东沙(a)和台北(b)探空站各高度上逐日风场变化图

性,平均轴线在 $10^{\circ}\text{--}15^{\circ}\text{N}$ 之间,靠近 150hPa 之高空,其上有强度较弱之平流层东风层(见图3)。热带东风喷射气流轴心最大风速常常和前人分析的一样超过 $50\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,过去印度孟买 18km 上空曾经出现过 $76\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 之纪录。正如西风喷射气流一样,热带东风喷射气流也有分段分条之情形,即同时有两条或三条之情况出现,例如7月份在 80°E 之平均纬向风和温度距平图上(见图3),我们可以看出,从 45°N 到 20°S 之间,热带东风喷射气流有两个轴心,一个在赤道上空 150hPa 之高空,平均风速为 $32\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,另一个在 $15^{\circ}\text{--}20^{\circ}\text{N}$ 之间 100hPa 高空,平均风速为 $40\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,从温度距平梯度之分布情形来看,可见斜压现象十分明显。高空冷心在赤道上空东风喷射气流轴心之右上方,暖心则在东风喷射气流轴心之北方(即图中之左下方),其温度梯

度由北向南渐减。根据气象纪录,在热带东风喷射气流上方之对流层顶温度有低至 -91°C 者(林碧初,1959),可见热带东风喷射气流中心附近之冷心与 30°N 之暖心温度差距可达 60°C 或以上。

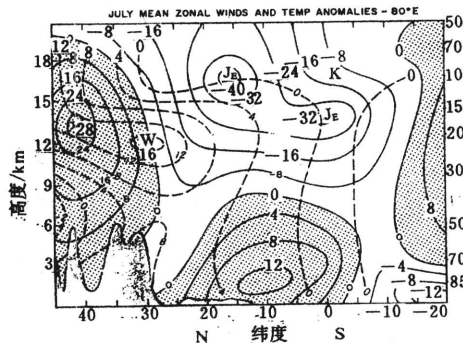


图3 80°E 7月份之平均纬流风和温度距平分布图

点区表示西风区,空白区表示东风区域,阴影区代表高山高原地带,W代表暖心区,K代表冷心区(P. Koteswaram, 1968)

1960年代末期,曾经有气象学家使用过去高空风资料,以电子计算机进行之环流分析和各种辐散及垂直速度之各种不同动力参数之计算,得出 150hPa 和 100hPa 之平均纬向流¹⁾图(Koteswaram, 1968)也证明在 150hPa 高空有两个最大东风层存在,一个在印度西方之阿拉伯海上空,另一个在赤道海洋上空(见图3)。在 100hPa 高空,则只有一个最大东风层存在于印度半岛南部上空(见图3)。

关于夏季高层东风喷射气流与低层西南季风层之间的哈得利环流²⁾(Hadley cell)也有不少气象学家研究,例如弗劳恩(H. Flohn)曾研究1956—1962年期间7月、8月份热带东风喷射气流之动力和热力性质,认为在 90°E 以东入口区域有直接力管环流,在出口区域有间接力管环流(见图4)。由图4

1) 纬向气流

2) 哈德莱环流

可以看出在南亚和东南亚之赤道地区属于下沉辐散区,在孟加拉、华南和台湾琉球地区属于辐合上升区。在中东北非之情况则完全相反,赤道地区属辐合上升区,阿拉伯、伊朗、印度半岛属于下沉辐散区。

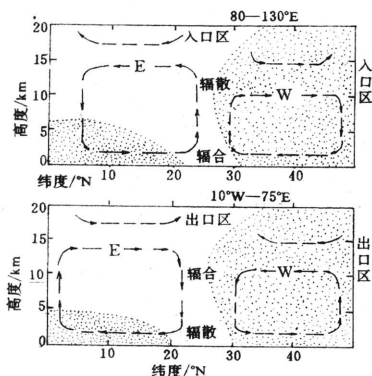


图4 热带东风喷射气流入口区和出口区域之平均经向环流理想模型图

点区表示西风区,空白区表示东风区域,上图代表南亚、东南亚及其北方中纬度地区情形,下图代表中东、北非情形(参考自 P. Koteswaram, 1968)

2 热带东风喷射气流存在之季节

统计20年来,东南亚和南亚高空风资料和高空气流,可知每年从5月份开始,高空西风带即很快地退却,南亚300hPa高空改盛行强盛的东风,到了5月下旬时南亚高压已北移至中南半岛北部地区,强盛之东风已涵盖马来半岛、孟加拉湾、印度半岛等地区,热带东风喷射气流已开始存在。6月份时,在200hPa和300hPa高空图上可以看到强盛的高压存在于喜马拉雅山和横断山脉上空,热带东风喷射气流已逐渐加强。到了7月份时,台湾之梅雨季结束,各地400hPa以上皆为东风层,最大东风出现在400hPa高空,200hPa和300hPa高压则继续存在于青藏高原上空,整支热带东风喷射气流之强度大为增强。8月份时高空之青藏高压仍维持不变,热带东风喷射气流势力达到全年最强之地步(见图5)。到了9月初,高空东风开始减弱,

副热带西风喷射气流亦逐渐南压,东亚东北季风开始盛行。10月份起,青藏高压消失,曼谷、清迈和印度半岛中北部已不再有东风,而改吹西风,热带东风喷射气流已经消失。

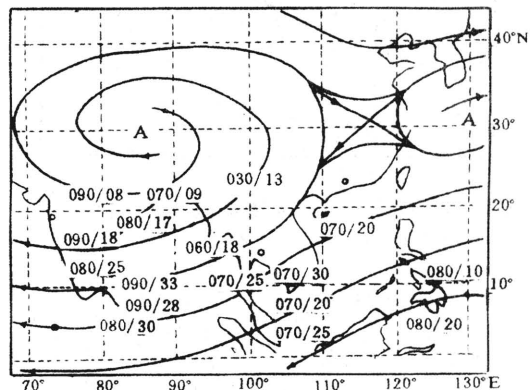


图5 近20年来8月份200hPa平均气流线图

图中数字代表平均风向(度)风速($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

由此可见,热带东风喷射气流存在时间是从5月起到9月初或中旬为止,约4个月或5个月不等。而且高空西风转变成强烈东风,比较急剧,强烈东风转变成西风比较缓慢。

3 热带东风喷射气流成因之探讨

西风喷射气流存在的季节是全年,而热带东风喷射气流存在的季节却只有夏季(5—9月),其成因自然与西风喷射气流不同。早在30多年前,气象学家已发现夏季7、8月份时,青藏高原500hPa至200hPa高空有一持久性高压存在(见图6)。统计近30年来南亚及东南亚200hPa高空图资料,制成高空平均气流线图时,亦可见每年夏季6、7、8月份时,有一持久性反气旋环流中心存在于青藏高原上空(见图5)。青藏高原面积有170万 km^2 ,平均高度约5000m,在西藏全境平均高度甚至达7000m,可见青藏高原在夏季是一个巨大的热源,将吸收之日照和辐射加热到对流层中层,使对流层上部产生强烈之力管场推动顺时针方向之环流(1958, P. Koteswaram)。此亦与低层印度半岛和中南

半岛暖心低压发展到高层变成青藏高压之大气层垂直结构原则相符合。

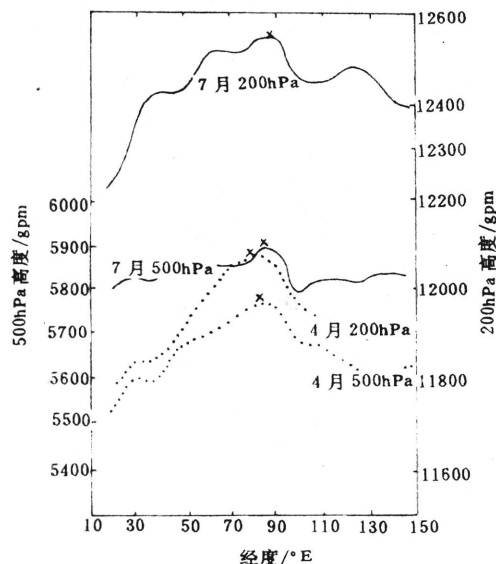


图6 4月份和7月份35—40°N、10—150°E地区500hPa和200hPa平均气压高度随经度变化情形

X表示最高值所在,在青藏高原上空

青藏高原高空之高压形成于夏至之前一个月(5月中旬左右),形成后,由于高原上空大气层之增暖作用,迫使原在高压北缘之副热带西风喷射气流强度逐渐减弱,并向北退到40—45°N地带。代之而起的是热带东风喷射气流自东向西横越15°N 150hPa之高空。等到6月下旬,台湾南部200—100hPa高空出现东风喷射气流时,台湾的梅雨季也宣告结束。7月份和8月份时,台湾全境高空经常出现 $30\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上之偏东风,证明热带东风喷射气流自琉球向西南延伸,越过台湾上空。

夏季青藏高原地面之加热作用不但提供青藏高压之热源,而且也增加了夏季中低纬之间高空之南北向温度梯度(见图2),使印度南方和中南半岛之间对流层上部之强烈东风产生最大风速,使之具有喷射气流之特性。此外,有理由确信,夏季青藏高原也是一个有

相当多潜热释放到大气中的地区,夏季青藏高原上空经常有雷雨发生,对青藏高原高空对流层上部之反气旋的发展和维持,以及南亚高空热带东风喷射气流的产生,也起相当大的作用。

青藏高原是产生热带东风喷射气流之最主要枢纽。然而,太平洋副热带高压之辐散气流对热带东风喷射气流之生成,也有很重要的作用。因为青藏高原高压与太平洋副热带高压之辐散气流合流后,使东风气流大大地增强,在东南亚和孟加拉湾造成热带东风喷射气流。但是以青藏高原高压之环流具有最重要之角色。

4 热带东风喷射气流对北半球天气和气候之影响

天气现象乃上层下层大气之间,大规模上升辐合作用和沉降辐散作用所造成之结果。所以缅甸、印度、东南亚的夏季季风豪雨、热带扰动(包括海面上之台风)与青藏高原之高空高压,以及热带东风喷射气流之存在,四者之间有极密切之关系。常年5月下旬以后,副热带西风喷射气流自喜马拉雅山一带向北退至中纬度地区,青藏高空高压形成并逐渐增强以后,西南季风雨也同时出现在缅甸和印度东北部地区,南亚高空热带东风喷射气流也开始存在,可见5月下旬以后,低层西南季风和高层强烈东风之同时来临,决非偶然。

前述夏季高层东风喷射气流与低层西南季风层之间的哈得利胞环流型式,正是热带东风喷射气流维持广大辐合地区之举升作用和对流作用,并且是维持北非、中东上空之强烈沉降作用和干燥作用之主宰。图4上图代表东南亚和缅甸、印度东北部及北半球中纬度地区情形,下图代表阿拉伯海、沙特阿拉伯、非洲等地区之情形。由于热带东风喷射气流的动力作用,使东南亚入口区域有暖空气上升,冷空气下沉,形成哈得利直接环流。在非洲、沙特阿拉伯和阿拉伯海上空出口区中则有哈得利间接环流。图5上图显示高空有

东风辐散,下层则有一支上升气流,即在10—25°N、70—120°E 范围中辐合上升,但下降气流却彼此分开,沉降在赤道地区者造成巽他海、婆罗洲和西里伯斯之夏季干燥气候,其沉降在40—50°N 者,则造成中亚和内蒙古、新疆沙漠气候(见图4及图7)。而后者份

量则可能较重,故沙漠范围比较广阔。在60°E 以西,20—30°N 之间,阿拉伯海和沙特阿拉伯、伊朗、东北非洲的对流层上层有东风辐合,但中层以下则有沉降作用,故造成沙漠气候。赤道非洲则有上升气流,形成热带雨林气候(见图7)。

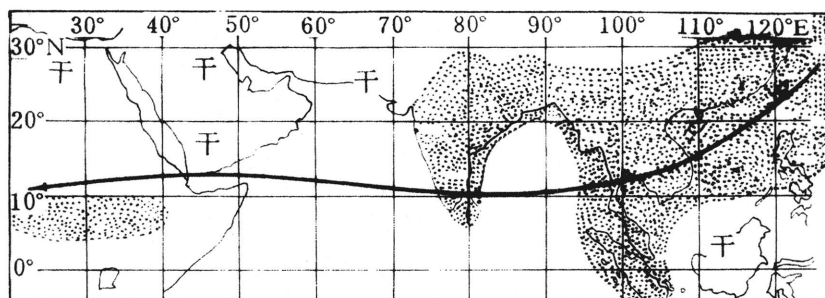


图7 热带地区7月平均雨量超过254mm之多雨区(图中之点区)
及东风喷射气流位置(P. Koteswaram, 1958)

由上所论,可知夏季热带东风喷射气流存在期间,200hPa 高空青藏高原高压之辐散作用,位于季风槽右前方之东南亚、华南、印度北部和东北部500hPa 以下强大季风层之辐合作用,乃造成此等区域夏季持久性倾盆豪雨,阿萨密省6—9月之夏季季风雨量更高达12000mm 以上,常使印度东北部和孟加

拉遭受极惨重之洪水灾害。其他南亚和东南亚地区夏季季风雨量也是集中在5—9月间(见附表)。当青藏高原高空高压和热带东风喷射气流消失时,上述地区之西南季风雨也跟着嘎然停止,印度、缅甸、泰国等地区也就进入干燥之凉季。

附表 南亚及东南亚大城市每年平均降雨量(单位:mm)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
新德里	25	22	17	7	8	65	211	173	150	31	1	5	715
仰光	8	5	6	17	260	524	492	574	398	208	34	3	2530
西贡	6	13	12	65	196	285	242	277	292	259	122	37	1808
高雄	14	17	34	53	150	414	421	376	156	45	19	14	1714
台北	92	133	166	160	215	298	240	280	300	122	68	75	2087

5 热带东风喷射气流与高空温切现象

一如西风喷射气流北方温度梯度甚大之现象一样,热带东风喷射气流轴心附近和青藏高原高空高压之气温差也相当大,尤其是100hPa 高空东风喷射气流轴心附近常有-80℃(有时有低至-91℃之情形)之冷心存在,而青藏高原200hPa—150hPa 高空之暖

心温度大都为-32℃。差距如此之大,于是就造成温切现象。所谓温切(Temperature shears),就是指邻接空域间温度之急剧改变现象。全球只有东南亚和南亚地区夏季100—70hPa 高空才有这种温差如此巨大造成之特殊现象,对超音速民航机有很大的影响。因为民航机在16000—20000m 高空由

-30℃至-40℃突然进入-80℃之空域时,喷射引擎马力会变得更加有力,导致空速上升,自动飞行控制系统就会将机首拉升。反之,在此高空之民航机由冷心区域进入暖心区域时,引擎马力降低,自动飞行控制系统的反应是推下机首,以期重新建立马力,在这种情形下,驾驶人员必需立刻转换自动飞行控制系统而亲自驾驶;否则,就可能导致危险的情况。这是热带东风喷射气流与高空温切现象对民航机飞航安全之影响。

6 结论

由本文之讨论,可知热带东风喷射气流是大气环流之一支,应将之列入全球喷射气流种类之中。热带东风喷射气流是哈得利东风环流、太平洋副热带高压辐散气流以及青藏高原高空高压之辐散气流合流于东南亚与印度洋上空形成的。但以青藏高原高空高压为最主要之动力枢纽,它的夏季增暖作用增加了南北向之温度梯度,因而造成强烈东风之极强大风速,形成热带东风喷射气流。

青藏高原高空高压与热带东风喷射气流之存在,以及低层之西南季风层等三者,对亚非天气和气候有极大的影响,因此彼此之间有密切之关系。由于热带东风喷射气流轴心

附近存在着极强烈的温切现象,对高空飞行之喷射式民航机的飞航安全有极重大之影响,因此值得航空气象人员详加研究。

致谢:本文承蒙柳森先生协助校正和编排,谨此致谢。

参考文献

- 1 Edward N. Loreng. The Nature and Theory of the General Circulation of the Atmosphere, 1967: 61.
- 2 P. Koteswaram. Forecasting of Upper Winds and Temperature in Tropical Latitudes with Special Reference to Jet Stream. WMO Technical Notes No 95 Aeronautical Meteorology, 1968: 224-250.
- 3 Meteorological Department Bangkok Thailand. Upper Winds over Southeast Asia and Neighboring Areas. 1965: 30.
- 4 吴祖锡译. 超音速客机开航有待. 民航月报, 1975: 第二卷第十一期第1-8页.
- 5 林碧初. 热带气象学教程, 1959: 第2-17至2-18页.
- 6 戚启勋译. 季风气象学(C. S. Ramage 原著, 1971), 1973, 133, 210-211, 台湾: 维新书局印行.
- 7 盛承禹, 陆渝蓉. 中国气候总论, 北京: 科学出版社, 1986: 89.
- 8 陈廷良. 现代运输机航空气象学, 气象出版社, 1992: 184.
- 9 邹新助译. 热带东风喷射气流. 气象学报, 1959: 第五卷第2, 3期, 第25-32页.
- 10 简以明译. 亚洲南部与东部大规模夏季季风情况. 气象学报, 1959: 第五卷第2, 3期, 第33-36页.

A Study of the Tropical Easterly Jet Stream Over Asia and Africa

Liu Chaoming

(Taipei Meteorological Center ANWS, CCAA)

Abstract

The qualities and the causes of the tropical easterly jet stream over Asia and Africa are described, the relationships among the Tibetan High and the easterly jet stream in the upper troposphere and the climates in the region of the Asia and Africa are also discussed.

Temperature shears occur frequently in the vicinity of the tropical easterly jet stream over Asia, therefore the vicinity of the tropical tropopause 16-17km has now become a region of interest to high-level aviation. We must pay more attention to study the information regarding the tropical easterly jet stream at this altitude over nearly half of the tropics for about half of a year.

Key Words: easterly jet stream temperature shears aviation