

雷暴型风切变及其对飞机飞行 影响的初步探讨

王学永 金维明 洪钟祥 赵德山
(空军气象研究所) (中国科学院大气物理研究所)

提 要

本文利用北京320米气象观测塔的实测资料和715测雨雷达回波图片。对1980年8月31日晚影响北京地区的两次雷暴天气过程对塔层各要素和参数的影响情况进行了综合分析。结果表明,尽管两次雷暴天气过程的主体路径偏北,但塔层资料仍然明显地反映出雷暴冷性外流气流的存在。冷外流前沿离雷暴云体20公里左右。两次雷暴天气过程的外流气流中都出现了大于 0.2秒^{-1} 的严重风切变。这足以使飞机纵向运动发生不稳定而危及安全。为此提出,应把飞机远离雷暴云主体20—30公里飞行作为一个重要的安全措施,不要侥幸地去抢飞这一危险空域。

一、引言

七十年代中大量的观测事实和一些恶性飞行事故已经证明,低空风切变是对飞机飞行安全的一大威胁,而雷暴型风切变更是其中危害最大的。它具有尺度小,时间短,切变强度大,突发性明显的显著特征,许多飞机失事^[1]均与其有关。

雷暴型风切变的研究,鉴于它的小尺度的基本时空特征,常规的气象仪器观测网设置几乎对其无能为力。近年来,国外以大量的人力、物力和财力投入了低空风切变探测和警报系统的研制中,并取得一些进展,如有“低空风切变警报系统”、“气压涌升计探测系统”、“多普勒雷达测风系统”^[2]等。进而,根据许多观测事实作了雷暴流场的分析研究,提出了一些有助于安全飞行的建议^[3]。但是,低空风切变研究在国内尚为空白,没有专用的探测设备和实测资料可供专题研究用,唯一能借鉴的就是气象观测塔的实测资料。而且,由于塔基固定,雷暴移动路径多变,气象塔实测雷暴天气过程的机率也并不高。这里仅用资料较完整的两次雷暴天气过程中的风切变情况作一分析。

二、资料情况

本文所用的资料主要是北京市北郊中国科学院大气物理研究所的320米气象观测塔各高度上的风向、风速、气温和垂直速度的实测资料。另外,还有空军气象研究所的715测雨雷达的平显、高显回波图片。下面对上述资料的有关情况作一简单介绍。

1984年4月21日收到, 1984年8月16日收到修改稿。

1. 320 米气象观测塔和 715 测雨雷达的相对位置

为了正确地使用上述资料,首先必须弄清塔与雷达的配置情况。气象观测塔处在 715 测雨雷达南南东方向(约 150°)约 18 公里的位置上。

2. 320 米气象观测塔的实际资料情况

1) 风向、风速和温差 塔层的风向(D)、风速(V)和温差(Δt)资料是原始的实测数据。在 15 个高度上装有上述三要素的感应元件。塔体高度分层为 8, 15, 32, 47, 65, 80, 102, 120, 140, 160, 180, 200, 240, 280, 320 米, 每个高度在西北和东南方向的伸臂上各装有一套完全相同的测风仪器,本文所取的是西北测量臂的数据。上述三要素每一分钟有一个观测记录值。

2) 垂直速度 在塔层的 15, 47, 140, 240 和 320 米 5 个高度上装有垂直速度测量仪器,此处取为每 5 秒钟记录一次的实测垂直速度值。为了和其它资料一致,这里均取每分钟开始第 5 秒的垂直速度值代表该分钟的垂直速度。

3. 由 320 米气象观测塔实测数据导出的资料情况

1) 气温 $t_i = t_{i-1} + \Delta t_i \quad (i = 1, 2, 3, 4, \dots, 15)$

其中 i 为层数, Δt_i 为 i 与 $i - 1$ 层之间的温差值,

$$\begin{aligned} 2) \text{位温} \quad \theta &= T \times \left(\frac{1000}{P}\right)^{0.2857} \\ &= T \times \left(\frac{1000}{P_0}\right)^{0.2857} \times \left(\frac{P_0}{P}\right)^{0.2857} \\ &\approx 0.9989 \cdot (273.15 + t) \times 10^{0.004239} \times \frac{Z}{(273.15 + t)} \text{ (K)} \end{aligned}$$

t 为塔层气温(℃)。

3) 风向量垂直切变值

$$M = \frac{\sqrt{(V_{\pm} \cdot \sin D_{\pm} - V_{\mp} \cdot \sin D_{\mp})^2 + (V_{\pm} \cdot \cos D_{\pm} - V_{\mp} \cdot \cos D_{\mp})^2}}{(Z_{\pm} - Z_{\mp})}$$

其中 M 为风向量的垂直切变值,取 1/秒。

V 为风速 (米/秒);

D 为风向 (度);

Z 为塔层高度 (米)

参加风切变计算的每相邻两层取层标准。

$M_1:$	8—15	$M_6:$	80—102	$M_{11}:$	180—200
$M_2:$	15—32	$M_7:$	102—120	$M_{12}:$	200—240
$M_3:$	32—47	$M_8:$	120—140	$M_{13}:$	240—280
$M_4:$	47—65	$M_9:$	140—160	$M_{14}:$	280—320
$M_5:$	65—80	$M_{10}:$	160—180		

4. 715 测雨雷达回波图片情况

3 厘米波长的 715 测雨雷达回波图片有平面显示回波图片和高度显示回波图片两种。平显回波图片的天线仰角位置在 0—2° 范围内。对于直展云属的雷暴云体而言，即使 2° 的天线仰角其回波所示云体范围与实际云体的范围之间是无多大差别的。高显回波图片的天线仰角除 30 公里档是 0—90° 扫描外，其余均为 0—30° 扫描。高显图片的剖面，尽可能取在雷达与塔体的连线的方位上（约 330°）。

5. 各种资料的起止时间

为了既能反映整个雷暴过程的结构特征，又顾及实际观测资料的可能，塔层资料取自 1980 年 8 月 31 日 19 时 00 分至 23 时 00 分的每分钟的风向、风速、温差和垂直速度值。雷达图片也在此时段相应地选取。

三、雷暴天气过程简述

1980 年 8 月 31 日下午至 9 月 1 日凌晨，北京地区出现了一次较强的雷暴天气过程。据文献[4]所述，整个过程是由四次中尺度天气系统活动所造成的。每次中尺度天气系统

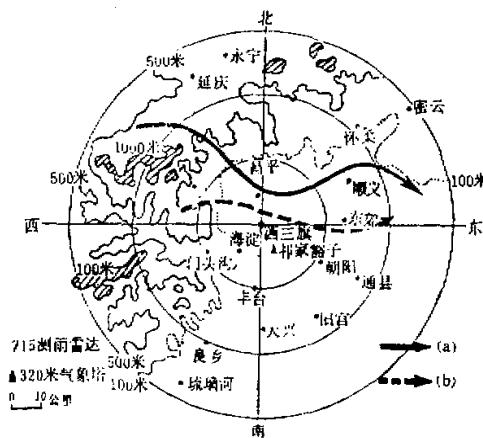


图 1 两次雷暴天气过程的回波主体移动路径

- (a) 第一次雷暴天气过程雷暴主体移动路径；
- (b) 第二次雷暴天气过程雷暴主体移动路径

活动都伴随着强对流天气，大部分地区都有雷雨，北部山区还下了冰雹。在这四次中尺度天气系统活动中又有两次影响到 320 米气象塔，即第二次和第三次。本文为阐述方便起见，称上述两次为第一次雷暴天气过程和第二次雷暴天气过程。从图 1 可见：两次过程的主体路径均偏北，气象塔处在其南部边缘。图 2、图 3 分别为 715 测雨雷达回波的平面显示

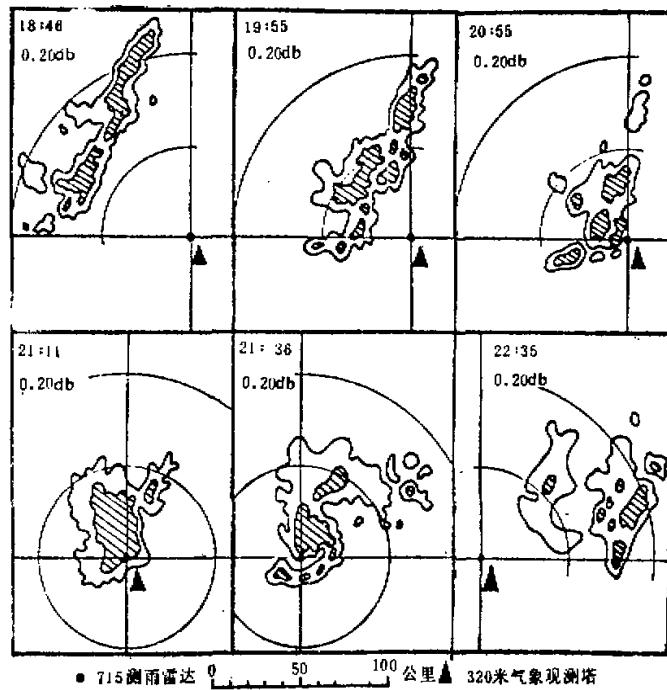


图 2 715 测雨雷达平面显示回波

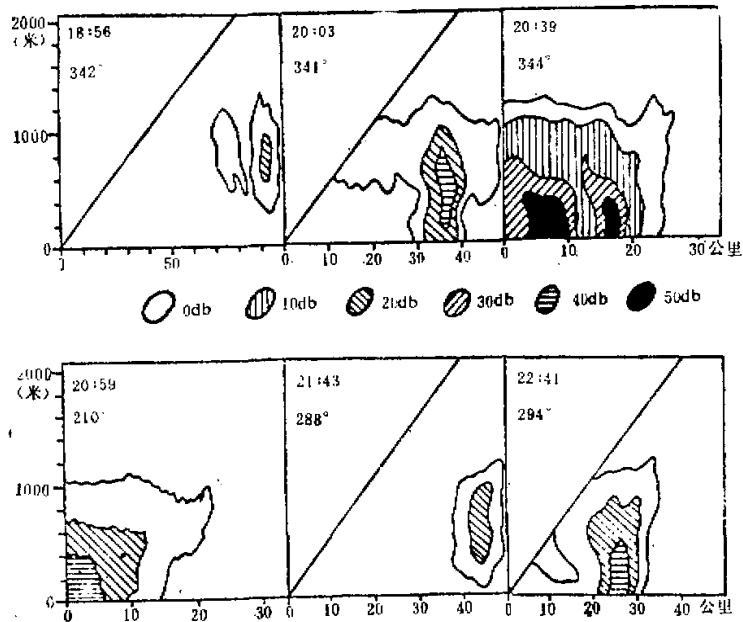


图 3 715 测雨雷达高度显示回波

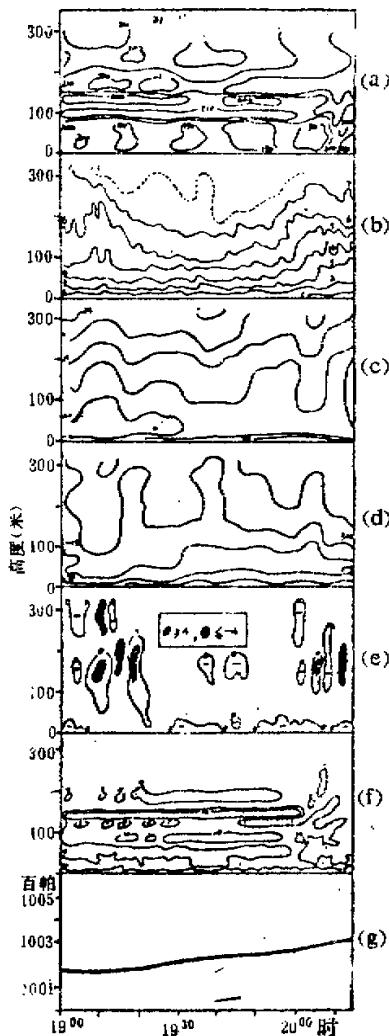


图4 雷暴来临前塔层各要素连续演变情况
图中(a)为风向(度);(b)为风速(米/秒);(c)为气温;(d)为位温($^{\circ}$ K);(e)为垂直速度(分米/秒);(f)为风切变($\times 0.01$ 1/秒);(g)为地面气压(百帕)

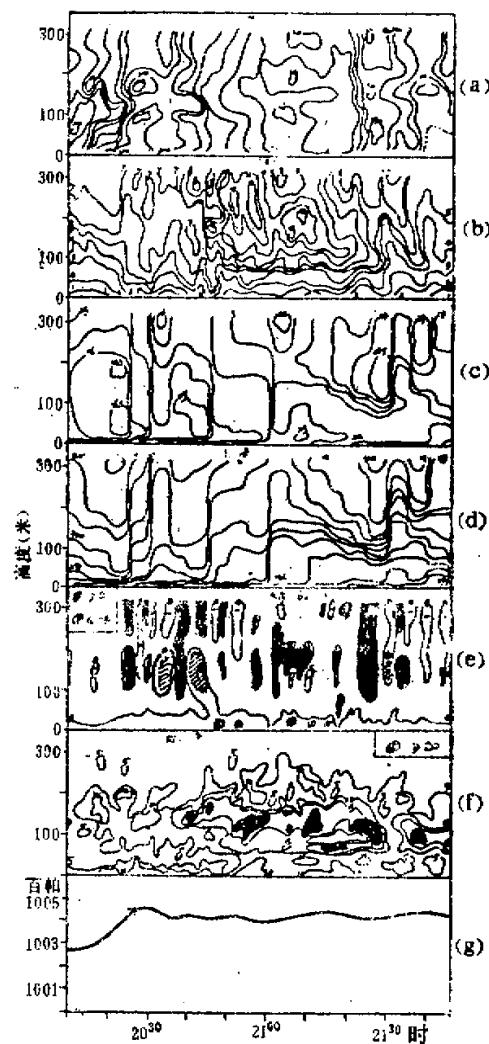


图5 第一次雷暴天气过程塔层各要素
连续演变情况

图片和高度显示图片。平显图片共取了6个时刻，较完整地反映了对塔体有影响的第一次雷暴天气过程的情况。高显图片亦取了6个时刻，20时59分前的4张高显图片主要反映第一次雷暴天气过程的影响情况，21时43分后的2张高显图片主要反映第二次雷暴天气过程的影响情况。为了反映雷暴云体和320米气象塔在各时刻的相对位置，以便

进一步分析雷暴云体前沿，云体内部和云体过后等不同阶段的各要素场结构特征和演变规律。对于 320 米气象塔所观测到的各要素值来说，19 时至 23 时的实测资料中 20 时至 22 时主要反映的是第一次雷暴天气过程的影响，22 时以后的资料则反映了第二次雷暴天气过程的影响情况。由于资料不足，故并未将第二次雷暴天气过程完整地反映出来。

四、雷暴天气过程中塔层各气象要素场的结构 特征和演变规律的初步分析

1. 雷暴临近前塔层各要素场的分布特征

这一阶段的大致时间为 19 时至 20 时 10 分，由图 4[(a)–(g)]可见。此阶段，塔层风向整层均为 $190\text{--}220^\circ$ 的偏西南风。风速不大，塔层最大风速仅 7.5 米/秒。中低层气温有一高值区存在，中心最高温度为 26.5°C ，贴地层有一浅薄的逆温层，估计是由地面辐射冷却所致，中上层为稳定层结。垂直运动速度亦不大，均小于 0.5 米/秒。垂直风切变值均小于 0.1 秒^{-1} 。地面气压为 1002 百帕左右，变化不大，略有递增，但其递增率远小于 1 百帕/10 分钟的警报标准。

2. 第一次雷暴天气过程的影响

这一阶段的大约时间为 20 时 10 分至 21 时 40 分左右。由图 2 可见，该次雷暴云体 0 分贝回波前沿在 20 时 10 分距离塔体约 27 公里。距离塔体 20、10、0 公里的时间分别为 20 时 25 分，20 时 45 分和 21 时 10 分。在雷暴云体逐步逼近塔体的过程中，塔层各要素场呈现出非常明显的变化，来自雷暴主体的偏北风和降温的出现证实了雷暴冷外流的存在。塔体处 21 时 15 分开始下雨。各要素和参量的分布特征和演变情况如下：

1) 地面气压 地面气压反映最为敏感，图 5(g)所示的是地面气压自记计的气压记录。该仪器安装在 320 米塔边的地面观测场上，从图上可清楚地看出，20 时 15 分以后气压明显上升，20 时 17 分—27 分的十分钟内气压涌升约 1.7 百帕，此值已超过气压涌升 1 百帕/600 秒的警报标准值。这一气压涌升曲线与文献 [6] 的两类个例相似，即呈现出成熟阶段或准稳态阶段雷暴流出气流的特征。据文献 [7] 报道，地面气压涌升计警报系统的预警时效为 15—20 分钟，预警距离为 8—15 公里。从移动路径上可查出，20 时 27 分气压峰值出现时，雷暴云体离塔约 17 公里。显见，将气压涌升计作为一种雷暴阵风锋先兆感应元件是可取的。

2) 风向 塔层风向是与地面气压相继反映变化的敏感要素，从图 5(a)可见，20 时 20 分左右，此时雷暴云体约离塔 25 公里，风向开始发生急剧的变化，整层风向从 $220^\circ\text{--}230^\circ$ 的西南风一下子(十几分钟内)全都顺转为 300° 左右的偏西北风。其后继续顺转，直至 21 时变为一致的偏北风，21 时 10 分雷暴云体移过后，风向在 $330^\circ\text{--}10^\circ$ 之间。

3) 气温 继风向顺转后，约过 10 分钟，气温开始降低(见图 5(c))此时塔体离雷暴云体 0 分贝回波前沿约 20 公里，雷暴冷外流空气开始影响塔体。起初高层气温下降明显， $280\text{、}320$ 米高度上十几分钟内气温下降了约 3°C ，而中层却仍维持一个弱暖中心。接着雷

暴云体逐渐靠近塔体，冷空气不断袭来，降温继续发生，中层的暖中心被破坏。当雷暴云体移至塔体时(21时左右)，高层温度出现最低值(22℃以下)，随后又逐渐回升，并在200米左右高度上出现25℃暖中心，但是，低层降温继续，至21时40分地面温度降到21.5℃。这样雷暴云体过后80—120米高度上出现了一个较弱逆温层，气温演变情况证实了雷暴冷外流的存在，但强度不很强。

4) 风速 风速的反应较迟钝，约到20时40分左右才有明显的增大[见图5(b)]。比风向旋转晚了20分钟左右，比降温晚了约10分钟。风速增大现象开始出现时，雷暴云体距塔约10公里。随着雷暴云体向塔靠近，风速逐渐增大，整层风速普遍增大5米/秒以上。雷暴云体在塔附近时风速达到最大，最大风速达13米/秒。出现在140—240高度上，地面风速亦从静风增加到5米/秒。气温降低和风速增大是雷暴云体前面外流冷空气的表征，由于强回波中心没有经过塔体，所以风速增大不是很强，但是即使较弱的雷暴云体同样亦有冷外流现象的存在，可见雷暴冷外流现象的普遍性。当雷暴云体过塔且远离东去10公里以外时，风速明显地减小，与雷暴来临前的状态相似。

5) 垂直速度 垂直速度在20时25分以前无明显反映[见图5(c)]，当雷暴云体0分贝前沿离塔约20公里时，垂直速度开始发生明显变化。这种变化比较复杂，并非一致的上升或下降气流，而是升降交替出现，呈现出某种周期性变化规律。如果把20时25分左右的一股较强上升气流看作是冷外流源头的上升运动的话，那末升、降交替的现象恰好反映了冷外流区内的一种涡旋状运动，升降运动大值区出现在140米高度上，升降速度最大值均近于2米/秒，但对下降气流速度而言，并未达到3.6米/秒的下冲气流的标准，下降速度最大值发生在雷暴云体离塔约10公里的时候，它彻底破坏了中层的暖中心区，此后中低层降温更为明显。另外，47米以下基本上被下沉运动所占据，配合温度场，更可见到冷性外流的存在。这一低层冷性空气，在没有明显暖空气到达或日变化增温的条件下，是能够存在下去的，直至23时，此状况仍然维持。

6) 风的向量垂直切变 这一参量的分析是本文的重点，这里首先把国际民航组织的强度标准介绍如下(见表1)：然后，需说明的是：计算风切变的气层厚度问题的影响，由于320米塔层高度的特殊分层，使得相邻两层间的高度并不等于30米，除 M_1 为7米，

表1

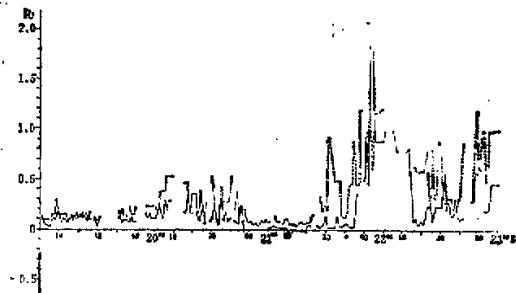
低空风切变强度	数 值 标 准	
	米/秒/30米	1/秒
轻 微	0~2.0	0~0.07
中 度	2.1~4.0	约 0.08~0.13
强 烈	4.1~6.2	约 0.14~0.19
严 重	≥6.2	≥0.20

M_3 ， M_4 为40米外，大部份气层均在15—20米之间，据风切变计算中的气层厚度问题的分析表明，若气层厚度大于30米则计算结果要比用30米气层厚计算的小，反之，气层厚度小于30米，则风切变计算值要比用30米气层厚的计算值大。不过除了 M_1 外，其余各层的差异并不很大，其最大误差约为15—20%，一般在10%以下，且高度越高误差越小，所以可以认为，本文计算结果除 M_1 外可以近似看作为30米气层厚的计算结果。

风的向量差垂直切变在雷暴影响过程中有明显的变化,它有如下特征:

- (i) 风向急速顺转。起初,风切变增大不太明显,20时40分前风切变值一般小于0.1秒⁻¹。
- (ii) 当冷空气外流侵袭塔体,塔层风速明显增大时,风切变亦发生明显增强,在约140米左右高度上首先出现大于0.2秒⁻¹的严重风切变。
- (iii) 雷暴云体越靠近塔,切变强度越大,呈现强烈风切变的时间约在20时40分,此时雷暴云体离塔约13公里。最大切变强度在0.3秒⁻¹以上,出现0.25秒⁻¹以上的严重风切变值在0分贝回波前,距离塔前后3公里的范围内。
- (iv) 最大风切变高度在47—140米之间,且由高层逐渐向下层传递的趋势,47米以下风切变强度不强。
- (v) 在140米—47米高度范围内,严重风切变(≥ 0.2 秒⁻¹)区约隔15分钟出现一次,亦呈现出某种周期性变化。

7) R_i 数 图6是15—47米(实线)和8—102米(点线)两个气层的 R_i 数演变图。其中线条断开处为缺测情况,从图中可看出以下几点:



减小, 整层均在 3 米/秒以下, 气温呈现为一强逆温存在, 200 米以上出现暖中心, 风切变值小于 0.5 秒⁻¹, Ri 数大于 0.5, 并有不太强的上升运动(小于 0.4 米/秒). 此时, 第二次雷暴云体 0 分贝回波前沿离塔体约 35 公里, 但是过 15 分钟, 当雷暴移至离塔 30 公里以内时, 各要素又开始呈现明显的变化, 雷暴的冷空气外流现象同样存在, 不过强度不如第一次. 此时, 风向又发生顺转, 中高层从 330° 转至 10°, 低层风向多变转为 330° 左右的西北风, 但当雷暴云体移至 20 公里以内时, 整层风向又逆转过来, 但风向垂直分布却是由低层向高层明显顺转. 高、低层之间的风向差达 90°, 与此同时风速的增大现象亦较明显, 但强度不大. 风速大值区最大风速才 7 米/秒, 且高度偏低, 在 120 米以下. 从垂直运动来看, 22 时 05 分从 320 米高度开始有一较强上升运动(0.6 米/秒). 从温度场看, 20 时 20 分有一明显的冷区, 且间隔 10—15 分钟, 冷暖区交替出现, 呈现出某种周期性变化的趋势, 关于风的向量垂直切变值同样有着明显变化, 其最大值亦超过 0.2 秒⁻¹, 达严重程度. 此外, 虽然风速值不大, 但风向在垂直方向上有明显差异(高低层之间的风向差达 90°), 致使风向量差切变值增大, 可见, 风向对风切变的贡献在这里比在第一次雷暴天气过程中明显, 在这里如果用标量差计算风切变测其值远小于向量差风切变, 因此, 风切变计算应采用向量差的计算方法.

通过上述分析. 可以看出, 二次雷暴天气过程对塔体的影响虽然有所不同, 但共有的冷外流现象是很明显的. 风的向量差垂直切变均大于 0.2 秒⁻¹.

五、雷暴型风切变对飞机起飞、着陆和低空平飞的影响

雷暴风切变对飞机飞行活动的影响是多方面的, 它可造成飞行航迹的偏离, 飞行速度的损失等等. 但从飞机运动稳定性角度来看, 有人认为, 风切变造成飞机失事是由于飞机在风切变作用下, 飞机纵向运动发生不稳定发展的缘故, 美国的 Gera^[3] 和 Sherman^[7] 都曾专门作过研究. 这里着重讨论风切变对飞机纵向运动稳定性的影响问题.

1. 飞机纵向运动方程组 本文的飞机纵向运动方程组是引用美国的 W. L. Shortman 在文献[6]中所建立的含有风切变项的线性化飞机纵向运动方程组.

2. 计算方法 上述方程组的求解计算, 可利用专用程序在 T1-59 高级可编程序计算器上完成计算. 计算并打印出一种风切变情况下的飞机纵向运动稳定性的各个参数, 约需 4 分钟左右的时间, 其计算精度较高, 可以取 10 位有效数字. 时间值精度至少准确到 0.001 秒.

3. 飞机性能参数和气动导数 机种不同, 风切变对其影响的情况亦是不同的, 这里所讨论的是对 B-727 中型喷气运输机的影响, 在稳定性计算中作为输入参数的有飞机性能参数和气动导数, 对于 B-727 飞机的具体数值是:

质量 $m = 90909.1$ 千克 平均气动弦长 $\bar{C} = 7.0104$ 米

机翼 面积 $s = 267.1$ 米² 翼展 $b \approx 43.4$ 米

稳定轴旋转半径: $K_x = 6.559296$ 米, $K_y = 10.463784$ 米,

$K_z = 12.249912$ 米, $K_{xz} = -1.28016$ 米

飞机平稳定态航迹角 $\gamma_0 = -6, -3^\circ$ (下滑), 0° (平飞), $5^\circ, 10^\circ$ (爬升).

飞机平稳定态速度, $v_0 = 77.12$ 米/秒。

形状因子 $A = 7.03$; 阻力系数 $C_{D,0} = 0.038$; 升力系数 $C_{L,0} = 0.705$;

力矩系数 $C_{m,0} = 0$;

各种导数: $C_{T,\alpha} = -0.0002484111$, $C_{m,\alpha} = -1.115$, $C_{D,\alpha} = 0.529$

$C_{L,\alpha} = 4.87$, $C_{L,\dot{\alpha}} = 0.283$, $C_{L,\dot{\alpha}} = 0.0889$, $C_{m,\dot{\alpha}} = -0.241$

$C_{m,\dot{\theta}} = -0.707$, $C_{\alpha,\gamma} = -0.057$, $C_{\alpha,\beta} = 0.173$, $C_{\alpha,\rho} = -0.0182$

$C_{\alpha,\dot{\beta}} = 0$, $C_{L,\beta} = -0.21$, $C_{L,\rho} = -0.111$, $C_{L,\gamma} = 0.0614$

$C_{\alpha,\dot{\rho}} = 0$, $C_{T,\beta} = -0.866$, $C_{\rho,\dot{\beta}} = 0$

$C_{Y,\gamma} = 0.0881$, $C_{Y,\rho} = 0.0539$.

4. 风切变参数 参加稳定性计算的风切变参数是无因次风切变参数 σ_u 和 σ_w 两个。

$\sigma_u = \frac{v_0 \cdot u'_w}{g}$ 是表征水平风的垂直梯度的无因次参数, 式中 v_0 为飞机速度, g 为重力加速度。它的符号取决于水平风的垂直梯度 w'_w (即 $\frac{\partial w}{\partial z} = M$) 的符号。本文规定逆风为负, 顺风为正, 则正风切变 ($u'_w > 0$) 即从逆风至顺风或逆风减小或顺风增大。负风切变 ($u'_w < 0$) 与之相反。

$\sigma_w = \frac{v_0 \cdot w'_z}{g}$ 是表征垂直风沿航迹梯度的无因次参数。它的符号取决于 w'_z 的符号, 本文规定下降气流为正, 上升气流为负。正值切变 ($w'_z > 0$) 即从上升气流至下降气流或上升气流减小或下降气流增大。负值切变 ($w'_z < 0$) 与之相反。

在(四)中我们已经给出了 w'_w 的连续演变面图。我们对 w'_z (15, 47, 140, 240, 320 米五个高度)用 DJ-C₃ 型计算机也作了计算。

5. 输出参数 这里一共建算并输出八个稳定性参数。它们是:

半幅阻尼时间 $t_{1/2}$, 表征扰动振幅从初扰减至一半幅度所经历的时间, 以秒为单位, 此值越小越稳定。 $t_{1/2} = -\frac{0.693}{R_e(x)}$ ($R_e(x) < 0$)

倍幅增长时间 t_D , 表征扰动振幅从初扰增大至两倍幅度所经历的时间, 以秒为单位, 此值越小越不稳定。 $t_D = -\frac{0.693}{R_e(x)}$ ($R_e(x) > 0$)

周期 t , 表征飞机扰动运动中所包含的某种振荡周期(振荡一次的时间), $t = \frac{2\pi}{I_m(x)}$ 以秒为单位。

半幅阻尼的周数 $N_{1/2}$, 表征扰动减至半幅所需经历的振荡次数。 $N_{1/2} = -0.11 \cdot \frac{I_m(x)}{R_e(x)}$ ($R_e(x) < 0$)

倍幅增长的周数 N_D , 表征扰动增至双幅所需经历的振荡次数。 $N_D = -0.11 \cdot \frac{I_m(x)}{R_e(x)}$ ($R_e(x) > 0$)

$$\text{对数衰减量 } \Delta; \text{ 分别为 } \Delta = \frac{0.693}{N_{1/2}} \text{ 或 } \Delta = \frac{0.693}{N_D}$$

$$\text{无阻圆周频率 } \omega_n = \{[R_e(x)]^2 + [I_m(x)]^2\}^{1/2}$$

$$\text{阻尼率 } \eta = \frac{R_e(x)}{\omega_n}$$

这里, $R_e(x)$ 为飞机纵向运动方程特征根之实部, $I_m(x)$ 为虚部。当根为实根, 即 $I_m(x) = 0$ 时, 则稳定性参数仅有 $t_{1/2}$ 或 t_D 。

6. 风切变对飞机飞行影响情况的探讨 为了与美国纽约肯尼迪机场 1975 年 6 月 24 日东方 66 号飞机失事坠毁时的风切变影响情况相比较, 这里仅取第一次雷暴天气过程影响期间, 最强风切变出现时刻 (20 时 52 分), 47 至 120 米高度范围内的风切变情况加以讨论。

1) 风切变强度比较, 这可以用表 2 来说明。

表 2

1975 年 6 月 24 日纽约肯尼迪机场东方 66 号失事 ^②		1980 年 8 月 31 日北京地区第一次雷暴天气过程影响	
高度间隔(米)	风的垂直切变(1/秒)	高度间隔(米)	风的垂直切变(1/秒)
116—102	0.10	120—102	0.27
102—80	0.35	102—80	0.09
80—68	0.09	80—65	0.20
68—50	0.27	65—47	0.04
平均	0.20	平均	0.15

从表 2 可见: 本次雷暴风切变强度虽不及东方 66 号失事时的风切变强度, 但也相差不多。飞机进入这样的风切变环境亦将难以应付。

2) 风切变对纵向运动稳定性的影响。

根据上述风切变平均值, 对于 B-727 飞机 3° 下滑着陆飞行影响情况的计算结果如下:

(i) 对纵向短周期运动的影响。

表 3

		无风切变 ($\omega_1' = 0$)	正风切变 $\omega_1' = 0.15$	正风切变 $\omega_1' = 0.20$
特征根情况		实部为负(稳定)	实部为负(稳定)	实部为负(稳定)
稳定性参数	$t_{1/2}$.9910092931	.9974007403	.9996210179
	t	7.80232911	7.87146844	7.894363969
	$N_{1/2}$	0.126675541	0.1262778581	0.1252866818
	Δ	5.470669353	5.483555509	5.487514519
	ω_n	1.066538428	1.058084934	1.055500987
	η	.6556604681	.6565396131	.6568091766

从上述计算结果可以看出, 风切变对于短周期运动部份几乎没有什么影响。短周期运动都是稳定的, 其半幅阻尼时间仅约 1 秒。

(ii) 对纵向长周期运动的影响:

表 4

		无风切变 ($u'_2 = 0$)	正风切变 $u'_2 = 0.15$	正风切变 $u'_2 = 0.20$
特征根情况		实部为负	实部有一为正	实部有一为正
稳定性参数	$t_{1/2}(T_D)$	112.115844	-13.32098523	-7.114397435
	ζ	46.31530048	-	-
	$N_{1/2}$	2.414247685	-	-
	Δ	0.2870459416	-	-
	ω_n	0.1358018565	-	-
	ξ	0.0455156278	-	-

从上述计算结果可以看出, 正风切变对飞机纵向长周期运动有着极显著的影响。无风切变时飞机存在着一个周期为 46.3 秒的长周期振荡运动, 其半幅阻尼时间为 112.1 秒。但当处在正风切变 $u'_2 = 0.15$ 和 $u'_2 = 0.20$ 的环境中, 飞机长周期振荡已被破坏而不稳定发展。其倍幅增长时间随风切变强度的增大而缩短。前者为 13.3 秒, 后者为 7.1 秒。如果飞机以 3° 下滑角从 120 米高度下滑着陆, 速度为 77.12 米/秒, 整个下滑时间约为 30 秒, 那么当在 120 米高度受到初始扰动后, 飞机在快着地时, 该初扰幅度将分别增加 4.9 倍和 18.6 倍。显然, 第一次雷暴天气过程中风切变对飞行的影响不及东方 66 号失事时风切变影响程度严重, 但也已有足够强度而不可忽视。

风切变对飞机飞行影响还涉及到许多方面, 这里不再一一阐述了。

六、结 束 语

雷暴性风切变对飞机飞行的影响是显著的, 通过本文的分析计算, 飞机不仅应该避开强大的雷暴云体, 而且在雷暴移动方向前部 20 公里左右范围内也是一个危险的空域。在航空气象保障中, 应该宣传不去抢飞这一危险空域的保障方法, 而不要侥幸地去闯。1983 年 4 月 4 日广州白云机场“空中国王-200 型”飞机失事就是深刻的教训。另外, 雷暴中的气流是极为复杂的三维不均匀分布的流场, 它并不是象一般模型那样单纯。流场分布和演变的某些特征(如周期性特征)将有待于进一步探讨。

● 考 文 献

- [1] 王学永、金维明, 典型的风切变飞行事故, 国际航空, 1983 年第 9 期。
- [2] 王学永、金维明, 低空风切变的研究现状, 军事气象, 1980 年第 3 期。
- [3] Fujita, T. T., Caracena, F., An analysis of three weather-related aircraft accidents, *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 58, No. 11, 1977.
- [4] 张义增、刘金玉, 强对流回波的中尺度分析, 航空气象, 1982 年第 4 期。
- [5] Gers, J., The influence of vertical wind gradients on the longitudinal motion of airplanes, NASA, TN D-6430.
- [6] Sherman, W. L., Airplane stability calculation with a card programmable pocket calculator, N 78—30138.

- [7] Sherman, W. L., A theoretical analysis of airplane longitudinal stability and control as affected by wind shear, NASA, TN-D-8496.

THE THUNDERSTORM WIND SHEAR AND ITS EFFECTS ON FLIGHT

Wang Xueyong Jin Weiming

(Institute of Meteorology, Air Force)

Hong Zhongxiang Zhao Deshan

(Institute of Atmospheric Physics, Academia Sinica)

Abstract

In this paper the data from a meteorological tower and radar pictures are used for analysing the thunderstorm occurring in Beijing on 31 August, 1980. The results show that a cold outflow was in existence under cumulonimbus (Cb), from which about 20 km away stood the front of cold outflow. The severe wind shear larger than 0.2 s^{-1} appeared in the cold outflow. That is able to make the longitudinal motion of airplane unstable. Therefore, for the sake of safety, airplanes must fly at a distance 20—30 km away from the body of Cb.

说 明

本刊第9卷第3期“关于中性层结大气边界层湍流参数铅直分布的计算分析”一文
(作者苗曼倩、王彦昌),系中科院科学基金资助课题,特此说明。