



## 飞机起落的影响

飞机在机场起飞或落地时，地面的风向、风速不仅影响飞机起飞、落地的方向，而且还影响到飞机在跑道上滑跑距离的长短。

飞行实践也告诉我们，飞机（特别是大中型飞机）在正常落地过程中，其飞行速度的改变都必须考虑地面的平均风和阵风。

根据国际民航组织 26 个国家在 1953—1968 年发生的着陆事故资料，其中 20% 以上冲出跑道和 10% 过早着陆都是由地面风所造成。由此可见，地面风对飞机的安全起落关系很大。因此，作为保障飞行的气象预报人员，深入探讨地面风对飞机起落的影响，弄清它们之间的关系，对于提高预报准确率，确保飞行安全和航班正常都有很重要的作用。现就有关问题，简述如下。

设  $V$  表示空速， $a$  表示飞机相对空气的加速度， $dL/dt$  为地速， $W$  为风速

$$\text{按定义 } a = dV/dt = \frac{dV}{dL} \cdot \frac{dL}{dt} \quad (1)$$

在逆风条件下， $\frac{dL}{dt} = V - W$ ，代入（1）式

$$a = dV(V - W)/dL \quad (2)$$

$$\text{或 } dL = \frac{dV^2}{2a} - \frac{WdV}{a} \quad (3)$$

当飞机停留在起飞线时，地速为 0，空速等于风速， $V = W$ 。

如果设  $V_0$  为飞机离陆速度， $L_p$  为飞机在跑道上滑跑的距离，由（3）式积分

$$L_p = \frac{1}{2} \int_w^{V_0} \frac{dV^2}{a} - W \int_w^{V_0} \frac{dV}{a} \quad (4)$$

如以加速度的平均值  $\bar{a}$  代替  $a$ ，（4）式可写成

$$L_p = \frac{1}{2\bar{a}} (V_0 - W)^2$$

可见在逆风条件下，飞机起飞滑跑距离正比于离陆时速度与风速之差的平方。

我们计算了一个实例：安-24PB 型飞机在机场标高 1,000 米，气温 15°C，起飞重量 21 吨，水泥跑道无坡度，当风速为 5 米/秒，离地速度为 190 公里/小时，由顺风起飞改为逆风起飞，飞机滑跑长度可缩短约 30%。

同理，如果设  $L_n$ 、 $V_n$  表示飞机着陆的滑跑距离和着陆速度， $t_p$  表示着陆滑跑时间，飞机空速的变化是由  $V_n$  改变到  $W$

$$L_n = \frac{1}{2} \int_{V_n}^W \frac{dV^2}{a} - W t_p \quad (6)$$

可见，逆风着陆的滑跑距离，等于飞机的空速由  $V_n$  改变到  $W$  时所走过的距离，减去在滑行时间内空气所走过的距离。

如以着陆时平均加速度  $\bar{a}_n$  代替  $a$ ，（6）式可写成

$$L_n' = (V_n - W)^2 / 2\bar{a}_n \quad (7)$$

如果是顺风起飞或着陆，（4）、（6）两式可写成

$$L_p' = \frac{1}{2} \int_w^{V_0} \frac{dV^2}{a} + W t_p' \quad (8)$$

$$L_n' = \frac{1}{2} \int_{V_n}^W \frac{dV^2}{a} + W t_p' \quad (9)$$

比较（6）、（9）两式

$$\Delta L = L_n' - L_n = W(t_p' + t_p) \quad (10)$$

所以  $W$  值的观测值及预报值之大小，直接影响到飞机起落的滑跑长度，尤其在一些跑道较短或单向起落的机场， $W$  值的准确与否就显得特别重要。

飞行实践指出：风对飞机的着陆影响更为复杂。

如果顺风（逆风减小或顺风增大）着陆，飞机空速就减小，正常情况下飞机在长五边的高度（第五边的沿长线为长五边，一般指距跑道头 15 公里以内的距离，见图 1）就会低于下滑道（见图 2），则便有可能造成飞机冲出跑道的危险。如果逆风（顺风减小或逆风增大）着陆，飞机的空速就增大，正常情况下，飞机在长五边的高度就会高于下滑道，以致会产生过迟接地的倾向，这时若顶（推）杆使飞机低于下滑道，则便有可能造成飞机场外接地的危险。飞行实践证实，前一种情况下，因飞机的下滑速度大，飞行员目测往往偏高，故冲出跑道的机率比逆风着陆时飞机过早接地多一倍。特别在能见度不好，飞行员对着陆位置判断不清楚时更为严重。为此，民航规定在侧风着陆过程中，当逆、顺风为 8 米/秒或更大时，着陆前的下滑速度应增加 10—15 公里/小时；并规定：禁止飞机在顺风风速  $\geq 3$  米/秒的情况下落地。在起飞时，最理想的情况是飞机以最有效的方法并在最短的时间内离地升空，这时若选择逆风条件是最好的。因此，通常情况下，飞机起、落都选择逆风条件。

（下转第 6 页）



图 1 飞机起落航线示意图



图 2 飞机正常进近的下滑航径示意图

飞机正常进近着陆是以  $2.5-3^\circ$  下滑角对准跑道上 300 米接地目标点。也就是使自己的视线与跑道面成  $177^\circ$  角度。

（顺风减小或逆风增大）着陆，飞机的空速就增大，正常情况下，飞机在长五边的高度就会高于下滑道，以致会产生过迟接地的倾向，这时若顶（推）杆使飞机低于下滑道，则便有可能造成飞机场外接地的危险。飞行实践证实，前一种情况下，因飞机的下滑速度大，飞行员目测往往偏高，故冲出跑道的机率比逆风着陆时飞机过早接地多一倍。特别在能见度不好，飞行员对着陆位置判断不清楚时更为严重。为此，民航规定在侧风着陆过程中，当逆、顺风为 8 米/秒或更大时，着陆前的下滑速度应增加 10—15 公里/小时；并规定：禁止飞机在顺风风速  $\geq 3$  米/秒的情况下落地。在起飞时，最理想的情况是飞机以最有效的方法并在最短的时间内离地升空，这时若选择逆风条件是最好的。因此，通常情况下，飞机起、落都选择逆风条件。

当我们计算侧逆风或侧顺风时的起飞着陆的滑跑长度，只需以风向风速在跑道方向的射影代替上列各式中的W即可。

当90度的侧风时，风向风速在跑道方向的射影为0，此时风速对滑跑长度虽无重要影响，但却带来了更复杂的困难。因为飞机的空速矢量对正跑道时，由于侧风的影响，地速矢量势必与跑道成一交角，其结果便有使飞机偏出跑道两侧的危险。

为了不致使飞机偏出跑道，着落过程通常采用以下两种方法：

1. 侧滑着陆。利用侧滑时的重力分力来抵消风力的影响，即飞机从拉平的高度起，用向侧风方向压坡度的方法来修正偏流，到飞机接地前将机翼改平，并向偏流方向蹬反舵。如果风力越大，则侧滑角也越大，但是侧滑角过大又容易造成飞机失速，尤其是机身上有积水尚未除尽时，更不允许有过大的侧滑角。另外侧滑角越大，机翼的迎风面积也越大，更重要的是这种侧滑姿势必须在飞机接地前迅速改正，否则会造成机翼接地或单轮着陆，乃至机身侧滚的危险。这种方法一般情况小型飞机训练时可采用，大型客机一般不使用。

2. 偏流着陆。这种着陆方式是将机头与跑道方向成一交角，即当飞机从拉平到接地前，用航向修正偏流，直至飞机接地前把航向对正跑道。这种方法最大

的缺点是飞机主轮上不仅受到滚动摩擦的影响，而且在主轮的侧面还受有较大的滑动摩擦的影响。这种滑动摩擦力足以使机身绕过通过重心的垂直轴扭转，前三点（安—24、三叉戟、波音等）的飞机重心在主轮稍偏前方，后三点（立—2、运—5等）的飞机重心在主轮的稍偏后方，因此前者的扭转趋势将使飞机顺风向旋转，直至机尾对正风的来向；后者扭转趋势将使机头迎风向旋转，直至机头对正风的来向。目前，民航班机飞行如遇有侧风着陆都采用这种方法。

由此可见：在大侧风条件下着陆比任何普通条件下着陆要复杂而困难得多。它一直是民航飞行方面的一个难题。所以每当冷空气影响机场时，往往因风而影响航班机正常。

以上所述情况还未考虑到地面阵风的影响。如果再把地面阵风因素考虑进去情况便更复杂了。

目前，安—24以上的民用客机，在正常仪表着陆过程中，当飞机切入下滑道后，其飞行速度的修正为“基准指标+1/2风+阵风”，即使临近落地时，其飞行速度修正仍为“基准指标+阵风”。因为，当飞机切入下滑道后，飞机的空气动力性能已很差，这时阻力最大，推力和升力最小，飞机不能做任何动作，倘若这时刮来意外的阵风，它会影响飞机的下滑姿态，所以即使飞机将落地的一刹那，我们也还必须加倍地注意阵风的影响。

(张朝光)