

降落伞资料



国外航空编辑部

1973.10

第一部分

降落伞的稳定性
理论与试验

前 言

在降落伞的实际应用中，稳定性是个很重要的问题。一具不稳定的降落伞，由于降落过程中产生摆动或自转等不稳定运动，容易使跳伞员、飞行员或宇航员在空中昏迷，並可能造成着陆时人员伤亡或物资遭受严重损坏的事故。因此，必须对降落伞提出稳定性要求，並对降落伞的稳定进行必要的研究。

对降落伞稳定性的理论研究早在第一次世界大战期间就已开始进行。我们遵循伟大领袖毛主席关于“古为今用，洋为中用。”的教导，在这本小册子里，综合编译了美、英、西德等几个主要资本主义国家历年来有关降落伞稳定性方面的部分研究报告，以便对降落伞稳定性的理论和试验情况有所了解，作为科研、生产、教学参考之用。由于时间和水平的限制，错误之处，尚希同志们批评指正。



30157704

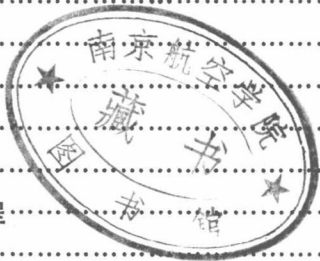
目 录



第一部分 降落伞的稳定性理论与试验

前 言

| | |
|------------------------------------|------|
| 第一章 降落伞稳定性的意义、要求与试验方法 | (1) |
| 第一节 降落伞静稳定性的意义..... | (1) |
| 第二节 降落伞动稳定性的意义..... | (4) |
| 第三节 对各种降落伞稳定性的要求..... | (6) |
| 第四节 各种降落伞稳定性的比较..... | (7) |
| 第五节 降落伞稳定性的试验方法..... | (11) |
| 第二章 影响降落伞静稳定性的因素 | (13) |
| 第一节 伞衣形状对静稳定性的影响..... | (13) |
| 第二节 伞衣尺寸对静稳定性的影响..... | (16) |
| 第三节 伞衣排气孔直径对静稳定性的影响..... | (17) |
| 第四节 伞衣透气量对静稳定性的影响..... | (19) |
| 第五节 载荷轻重及其联接形式与下降速度对静稳定性的影响..... | (21) |
| 第六节 静稳定性小结..... | (22) |
| 第三章 降落伞的线性运动方程及稳定性方程 | (23) |
| 第一节 线性运动方程..... | (23) |
| 第二节 稳定性方程..... | (25) |
| 第三节 对线性运动方程和稳定性方程的讨论..... | (28) |
| 第四节 影响降落伞动稳定性的因素..... | (29) |
| 一、透气量对动稳定性的影响..... | (29) |
| 二、伞绳长度对动稳定性的影响..... | (30) |
| 三、附加表观质量对动稳定性的影响..... | (30) |
| 四、阻力系数对动稳定性的影响..... | (31) |
| 第五节 稳定性方程的试验验证..... | (32) |
| 第四章 降落伞的非线性运动方程及稳定性方程 | (42) |
| 第一节 非线性运动方程及稳定性方程..... | (42) |
| 第二节 对人用导向面降落伞的计算实例..... | (43) |
| 第三节 对计算结果的分析..... | (44) |
| 第五章 降落伞动稳定性试验特性 | (53) |
| 第一节 滑翔..... | (53) |
| 第二节 侧向摆动..... | (58) |
| 第三节 伞衣呼吸..... | (69) |
| 一、呼吸频率与下降速度的关系..... | (70) |
| 二、呼吸频率与伞绳张力的关系..... | (73) |



| | |
|----------------------------|-------|
| 三、呼吸频率与伞衣阻力的关系····· | (73) |
| 第四节 动稳定性小结····· | (79) |
| 附录 1 非线性运动方程的推导····· | (81) |
| 附录 2 符号表····· | (83) |
| 附录 3 参考资料····· | (84) |
| 第二部分 降落伞译文集 | |
| 各种物—伞系统的轨迹计算····· | (90) |
| 物—伞空投系统两体轨迹的分析····· | (109) |
| 在低空超音速和跨音速条件下带条降落伞的展开····· | (126) |
| 一般情况下开伞作用力的计算方法····· | (140) |
| 开伞载荷的研究与确定开伞载荷新的工程方法····· | (151) |
| 用风洞试验进行开伞动力分析····· | (166) |
| 刚体降落伞模型的三分力测量····· | (180) |

第一章 降落伞稳定性的意义、要求与试验方法

降落伞的稳定性分析通常分为两大类：（一）静稳定性；（二）动稳定性。现将这两种稳定性的物理意义分述如下：

第一节 降落伞静稳定性的意义

所谓静稳定性，就是当物体受到扰动而离开平衡位置时，物体出现一种恢复平衡状态的力矩的趋势。

用导数来表示，如果降落伞攻角的变化为正，而力矩的变化为负时，换句话说，就是当力矩随着攻角的增大而减小，亦即当 $dC_M/d\alpha$ 为负时，那末，降落伞围绕这一平衡位置（ $C_M=0$ ）是静稳定的。

有的力系没有平衡位置，而有的力系则有一个或几个平衡位置。然而，在任何一个平衡位置上，系统是不是静稳定的，要看在这一平衡位置上的 $dC_M/d\alpha$ 的符号是正还是负，才能确定。 $dC_M/d\alpha$ 为负时是稳定的；为正时则是不稳定的。

图1所示为具有不同平衡位置的三种力系。系统I没有平衡位置，系统II只有一个平

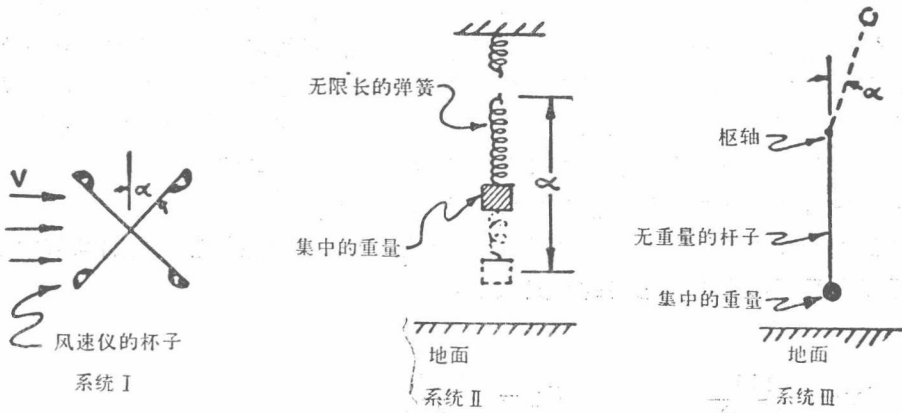


图1 具有不同平衡位置的三种力系(I)(注)

衡位置，而系统III则有两个平衡位置。如果用力矩系较 C_M 与攻角 α 的关系曲线表示，则如图2所示。可见系统I在任一 α 值上， $C_M=0$ ；系统II和III则分别在一个或两个 α 值上， $C_M=0$ 。

从静稳定性的定义，可以明显地看出，系统I既不是稳定的，也不是不稳定的，因为它没有平衡位置。

系统II有一个平衡位置（在 $\alpha = \alpha_{M=0}$ 处）。由于 $(dC_M/d\alpha)_{\alpha_{M=0}} < 0$ ，因此，系

(注)：(I)——表示该图取自参考资料(I)，以后照此类推。

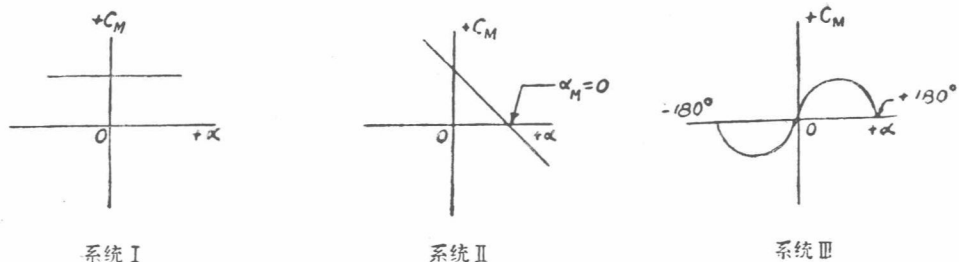


图2 三种力系的 $C_M-\alpha$ 曲线(I)

统在这一平衡位置上稳定的。

系统Ⅲ有两个平衡位置(在 $\alpha=0$ 和 $\alpha=\pm 180^\circ$ 处)。在 $\alpha=0$ 处, $dC_M/d\alpha > 0$, 所以系统在这一位置上是不稳定的。而在 $\alpha=\pm 180^\circ$ 处, $dC_M/d\alpha < 0$, 因此系统在这个平衡位置附近是稳定的。

如上所述, 可以看出, 一个力系可以是稳定的; 或者是不稳定的; 或者既是稳定的, 又是不稳定的。这要根据作为基准的平衡位置来决定。

因此, 说某一力系是静稳定的, 或是静不稳定的, 是指系统的一个平衡位置而言。在讨论飞机的稳定性, 以及用在小攻角或中等攻角下的力矩曲线的斜率($dC_M/d\alpha$)来说明飞机的静稳定性时, 就是这样规定的。

但是, 在研究降落伞系统的静稳定性时, 引用力矩曲线上任一点的斜率, 并不能很恰当地说明系统的稳定性。因为降落伞系统往往不只有一个平衡位置, 稳定性的“程度”必须以围绕某一平衡位置来说明。因为通常系统围绕某一个(或一些)平衡位置是稳定的, 而围绕另一个(或其他一些)平衡位置则是不稳定的。假如降落伞系统不只有一个静平衡位置, 则它至少在一个平衡位置附近是稳定的, 而且至少在另一个平衡位置附近是不稳定的。象这样的降落伞系统就可以认为它是静稳定的。因为在任一扰动之后, 它将从最近的静不稳定的平衡位置上离开, 而向着最近的静稳定的平衡位置移动。

图3所示是几种稳定性特性曲线的典型降落伞实例。

上述 $dC_M/d\alpha$ 这一参数连同其他两个参数 $dC_L/d\alpha$ 和 C_D 还将在以后的章节中出现, 这些参数可以在风洞中测得, 它们的定义如下:

$$C_M = \frac{2M}{qS_p D_p}, \quad C_L = \frac{L}{qS_p},$$

$$C_{D_0} = C_{D_p} \times \frac{S_p}{S_0} = \frac{D}{qS_p} \times \frac{S_p}{S_0}.$$

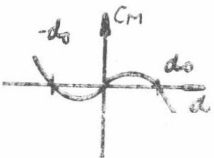
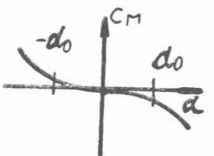
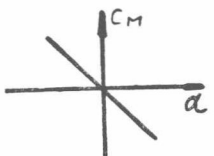
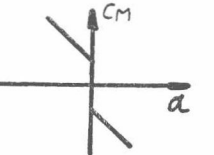
| 曲线类别 | 曲线形状 | 典型降落伞的实例 |
|------|---|---|
| I |  <p>当$\alpha=0^\circ$时, $dC_M/d\alpha > 0$, 不稳定</p> | 作为人用和投物降落伞投放的宽幅降落伞(4) 底边延伸 圆形平面 锥形 人用导向面 |
| I |  <p>当$\alpha=0^\circ$时, $dC_M/d\alpha = 0$, 中性</p> | 作为人用和投物降落伞投放的宽幅降落伞(4) (如 I 类所示) 以及作为阻力伞使用的带条降落伞(2) 环缝式, kosjelezKy, 平面带条型 |
| II |  <p>当$\alpha=0^\circ$ $dC_M/d\alpha < 0$, 稳定</p> | 作为稳定降落伞使用的带条降落伞(2): 平面带条型 |
| IV |  <p>当$\alpha=0^\circ$时, $dC_M/d\alpha = \pm\infty$ 不一定 当$\alpha \geq 0^\circ$时, $dC_M/d\alpha < 0$, 稳定</p> | 作为稳定降落伞使用的宽幅降落伞(2): 无肋式导向面 |

图 3: 对称旋转式降落伞的稳定性特性曲线(2)

其中 $dC_M/d\alpha$ ——俯仰力矩系数对于攻角的变化率。

$dC_L/d\alpha$ ——升力系数对于攻角的变化率。

C_{D_0} ——降落伞织物总面积 S_0 的阻力系数。

C_{D_p} ——降落伞投影面积 S_p 的阻力系数。

D_p ——降落伞的投影直径。

q ——动压。

在本书中所提出的力矩数据和力的数据均系参考图 4 中所规定的共同轴系而得出的。在第三、四章中将对这些数据作更详细的讨论。除非另加说明, 这些数据均已转换到共同

基准面积上（在 C_M 和 C_L 的情况下为 S_P ，而在 C_D 的情况下为 S_0 ）和共同的基准长度上（对于 C_M 为 $D_P/2$ ）。

第二节 降落伞动稳定性的意义

所谓动稳定性，是指物体出现力矩阻止运动的趋势。换句话说，物体在受到扰动以后，如果运动被制止下来，则该物体具有动稳定性。

在降落伞中，对于动稳定性的需要，可以用两种主要用途的降落伞特性来说明：一种是重量比较轻的、用于一般空投和跳伞的降落伞；另一种是重量很重、用于飞机着陆减速

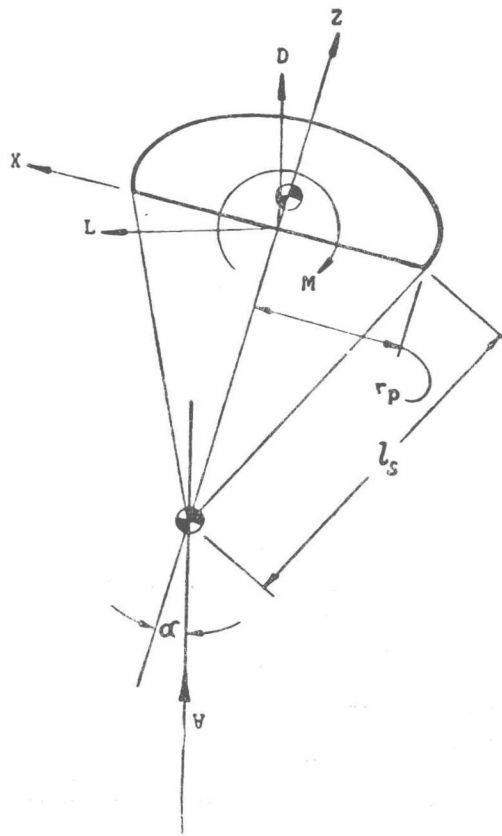


图4 降落伞轴系(I)

的阻力伞。在第一种情况下，不稳定性引起大的摆动角。这种摆动角使得悬挂重物产生某些速度分量（如图5所示），因而造成了周期性地下降速率过大，而且还往往引起很大的水平速度而导致货物损坏。在第二种情况下，降落伞的不稳定性可能引起稳定的物体产生一个相当大的扰动力矩。

很多种类的降落伞在零攻角时是不稳定的。但是，由于在大攻角下，产生了一些起稳定作用的气动力和力矩，使不稳定性限制在一定限度以内，这些气动力和力矩使降落伞在较大的攻角下获得了稳定性。通常，以无阻尼的降落伞或小阻尼的降落伞为一方，而以大

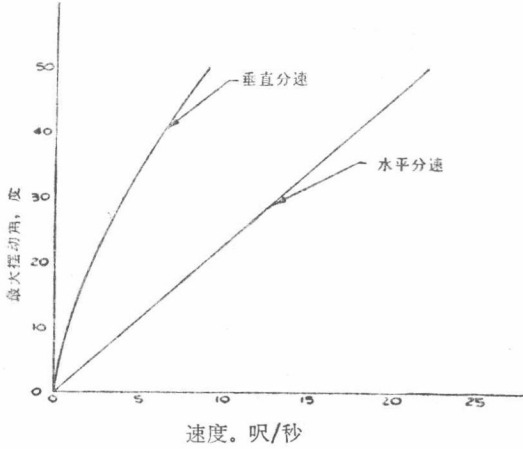


图5 常用人用伞在伞绳汇合点上由于摆动所产生的最大速度分量(I)

阻尼的降落伞为另一方加以区别。前一种伞一般称为不稳定的降落伞，因为它们在受到明显的扰动以后，继续保持大的摆动角。实际上，一种不稳定的降落伞，就是在小扰动以后，增加和保持大摆动角，产生并保持其他型式不稳定运动的那种降落伞；而稳定的降落伞则是指那种静稳定的而且是有阻尼的降落伞。其阻尼程度的大小将确定稳定程度的大小。

对于具有动稳定性的降落伞来说，静稳定性不是一个充分条件，但是，一个静不稳定的系统不可能是动稳定的。

因为伞衣是一种空气动力装置，降落伞的不稳定性起源于围绕伞衣的气流流线。无数研究表明：在任一中等大小的攻角下，围绕伞衣的气流流线倾向于在伞衣的一边分离，而在另一边附着，因此，出现了一种使攻角增大的力和力矩。这种性质导致了静不稳定性。

当系统在加速时，除了在稳定状态下作用在降落伞上的气动力和力矩以外，还必须考虑加速度对于稳定性的附加效应。一个正在加速的降落伞所具有的惯性，要比从伞和载荷的质量计算出来的惯性大得多。换句话说，降落伞具有这样的性质，好象它具有一个由伞衣的影响而附加的空气质量。这个质量就是所谓“附加表观质量”。对于人用降落伞来说，附加表观质量同载荷的大小差不多，它对于系统的阻尼特性有很大的影响。

因此，降落伞的稳定性必须包括静稳定性和动稳定性两个方面。

第三节 对各种降落伞稳定性的要求

降落伞所要求的稳定程度，随着它所悬挂的载荷型式而不同，并随着投放高度而改变。一般说来，人用降落伞就不如投放货物、炸弹或水雷的降落伞要求的稳定性那样高。因为前者可以把摆动控制在限定的范围以内，而且人在下降过程中还可以控制方向；而后者则必须对准一个较小的目标。这种投物降落伞必须稳定，因为大的摆动角在撞击地面时将产生大的横向加速度，这种加速度可能使空投物品受到严重的损坏。

特别是对于空投炸弹或水雷的降落伞来说，稳定性的要求特别高。因为炸弹或水雷往往依靠撞击地面或水面时的轴向制动来点燃头部的雷管，因此，它们必须要有非常稳定的降落伞。也只有对这种降落伞才要求接近于绝对的动稳定性。

大多数用于高速刹车的阻力伞，允许非阻尼摆动在 $\pm 2^\circ$ 以下。而对于其他用途的降落伞，平均摆动角在 $\pm 5^\circ$ 以下就认为稳定性很好了。

对于火箭回收系统的主伞来说，根据在陆上飞行或是水上飞行的不同，平均摆动角分别要求在 $\pm 5^\circ$ 和 $\pm 15^\circ$ 的范围以内。

在轻型货物投放和人员降落中，通常允许较大的摆动角。但一般的反对意见是，应减少摆动倾角，以减轻撞击地面所造成的损坏和伤害。因此，平面圆形降落伞的平均摆动角在 $\pm 30^\circ$ 左右。任何一种效率比较好的降落伞很少是不太稳定的，而且，象圆锥形降落伞、底边延伸降落伞以及人用导向面降落伞，通常都是比较稳定的。

但是，对稳定性的要求，通常都不是孤立地提出来的，而往往是同其他参数组合协调以后提出的。下面就拿导向面降落伞的设计标准做例子，它们考虑了稳定和摆动的全部要求，代表几种有利的组合方案：

1. 制动用导向面伞：

在12.7毫米水柱压差下，透气量=30.5米³/分/米²

阻力系数： $C_{D_p}=1.2$ （近似）

摆动幅度： $\pm 5^\circ$

2. 制动用导向面伞：

在12.7毫米水柱压差下，透气量=42.6米³/分/米²

阻力系数： $C_{D_p}=1.0$ （近似）

摆动幅度： $\pm 2^\circ$ 以下

3. 稳定型导向面伞：

在12.7毫米水柱压差下，透气量=25.9米³/分/米²

阻力系数： $C_{D_p}=0.80$

摆动幅度： $\pm 1.5^\circ$ 以下

} 马氏数在0.70以下

4. 稳定型导向面伞：

在12.7毫米水柱压差下，透气量=12.2米³/分/米²

阻力系数： $C_{D_p}=0.85$

摆动幅度： $\pm 3^\circ$ 以下

} 马氏数在0.70以下

第四节 各种降落伞稳定性的比较

现将几种主要型式的降落伞形状示于图 6 中，并将各种降落伞的稳定性以及其他性能特征综合在表 1、2 和 3 中。表 1 中列举了五种平面型伞的平均性能特征；表 2 中举出了六种成形伞的平均特性；表 3 中列举了五种高速阻力（刹车）伞和稳定伞的平均特性。这些特性是根据各种不同来源的性能数据进行比较而获得的。表 1 和表 2 中的数据是直径在 3.6 米和 8.5 米之间 ($l_s[*] = D$ 或 $l_s = D_0$) 的降落伞的典型平均性能，虽然其中大多数数据是根据 $D_0 = 3.66$ 米的模型投放试验的结果得来的。密致平面圆形伞所给的性能数据是从许多来源得出的一般平均值。为了避免重复，表 3 中略去了环缝和平面带条型两种伞的数据。

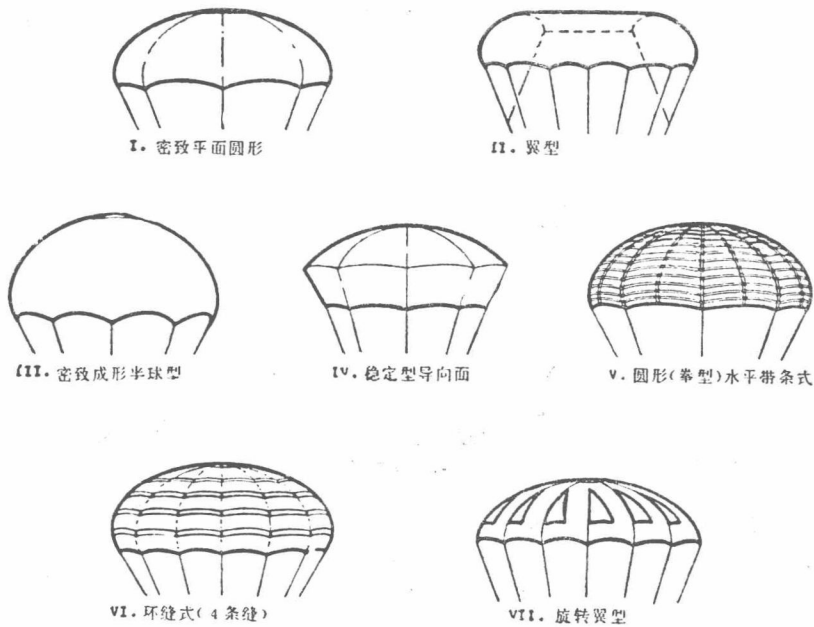
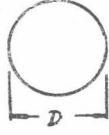



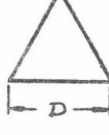

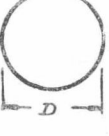

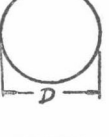



图 6 几种主要形式的降落伞〔I〕

注：拳型带条——即平面带条

*： l_s 表示伞绳长度； D 表示降落伞的名义直径。

| 降落伞型式 | 结构形状 | | 直径比 | | 阻力系数 | | 稳定性 | |
|---------|---|---|---------|---------|----------|-------------|----------------|-----|
| | 平面图 | 侧面图 | D_p/D | D_o/D | C_{D0} | V_e (米/秒) | 平均摆动角 | 备注 |
| 密致平面圆形 |  |  | 0.70 | 1.000 | 0.7 | 9.12 | $\pm 30^\circ$ | 不稳定 |
| | | | | | 0.8 | 7.62 | | |
| | | | | | 0.9 | 6.10 | | |
| 密致平面方形 |  |  | — | 1.128 | 0.79 | 9.12 | $\pm 20^\circ$ | 不稳定 |
| | | | | | 0.83 | 7.62 | | |
| | | | | | 0.90 | 6.10 | | |
| 密致平面三角形 |  |  | — | 0.743 | 0.83 | 9.12 | $\pm 15^\circ$ | 不稳定 |
| | | | | | 0.85 | 7.62 | | |
| | | | | | 0.91 | 6.10 | | |
| 环缝* |  |  | 0.70 | 1.000 | 0.65 | 9.12 | $\pm 5^\circ$ | 稳定 |
| | | | | | 0.68 | 7.62 | | |
| | | | | | 0.72 | 6.10 | | |
| 平面带条型* |  |  | 0.67 | 1.000 | 0.50 | 9.12 | $\pm 5^\circ$ | 稳定 |
| | | | | | 0.52 | 7.62 | | |
| | | | | | 0.55 | 6.10 | | |

* 环缝和平面带条型也可设计成阻力伞

表 1 五种平面形降落伞的平均性能特征(I)

D_p ——投影直径

D ——直径

D_o ——伞衣织物的当量直径 = $\sqrt{\frac{4S_o}{\pi}}$

S_o ——伞衣织物的总面积或设计表面积

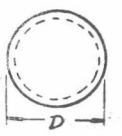
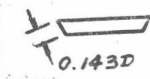
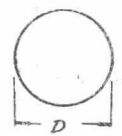
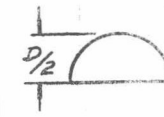
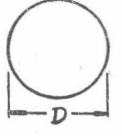
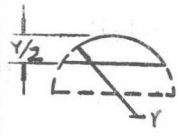
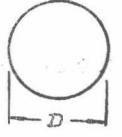

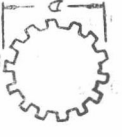

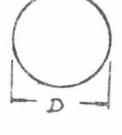

| 降落伞型式 | 结构形状 | | 直径比 | | 阻力系数 | | 稳定性 | |
|--------------------|---|---|---------|---------|-------------------------------------|-------|-------|----|
| | 平面图 | 侧面图 | D_p/D | D_o/D | $C_{D_0} \sqrt{v_e}$ (米/秒) | | 平均摆动角 | 备注 |
| 底边延伸 (延伸量14.3%) |  |  | ~0.76 | 1.24 | 0.83 9.12 0.83 7.62 0.86 6.10 | ±25° | 不稳定 | |
| 半球形 |  |  | ~1.0 | 1.41 | 0.78 9.12 0.80 7.62 0.85 6.10 | ±20° | 不稳定 | |
| 球形 (四分之一块) |  |  | — | 1.15 | 0.85 9.12 0.85 7.62 0.89 6.10 | ±15° | 不稳定 | |
| 密致圆锥形 (30°角) |  |  | ~0.7 | 1.08 | 0.89 9.12 0.90 7.62 0.96 6.10 | ±20° | 不稳定 | |
| 人用导向面 |  |  | ~0.73 | 1.15 | 0.72 9.12 0.74 7.62 0.76 6.10 | ±7.5° | 不稳定 | |
| 英国埃克塞特尔 12型 |  |  | ~1.0 | 1.46 | 0.80 9.12 0.80 7.62 0.82 6.10 | ±20° | 不稳定 | |

表2 六种成形降落伞的平均性能特征(I)



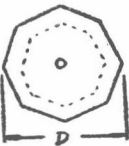

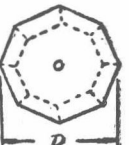

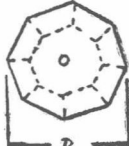


| 降落伞型式 | 结构形状 | | 直径比 | | 平均阻力系数 C_{D_p} 或 C_{D_o} | 开伞冲击 F_o/F_c | 平均摆动角 |
|------------------|---|---|-------------|-----------------|--------------------------------------|-------------------|-----------------|
| | 平面图 | 侧面图 | D_p/D | D_o/D | | | |
| 圆锥形带条 (超音速试验) |  |  | — | 1.17 | 在亚音速下 C_{D_o} 的近似值为0.55 | — | $\pm 5^\circ$ |
| 无肋式导向面 |  |  | ~ 0.95 | 对于10幅 为 1.51 | $C_{D_p} = 0.8$ 到 0.9 | 1.4~1.6 | $\pm 1^\circ$ |
| 制动导向面 |  |  | ~ 1.0 | 对于10幅 为 1.51 | $C_{D_p} = 1.0$ 到 1.1 | 1.2~1.5 | $\pm 1^\circ$ |
| 稳定导向面 |  |  | ~ 1.0 | 对于10幅 为 1.60 | $C_{D_p} = 0.8$ 到 0.85 | — | $\pm 1^\circ$ |
| 旋转翼型 (8幅) |  | — | 0.91 | 0.95 | $C_{D_p} = 0.93$ $C_{D_o} = 0.86$ | 1.06 | $\pm 1.2^\circ$ |

表3 五种高速阻力伞和稳定伞的平均性能特征(I)

第五节 降落伞稳定性的试验方法

大多数常用降落伞的稳定性数据是用三种主要方法来获得的：(1)根据对外场自由投放试验的观测；(2)根据对封闭的自由投放试验（亦即在飞船棚厂一类的高建筑物里）的观测；(3)从风洞试验中测量。其中，风洞试验是获得静稳定性数据最可靠的方法。

由于在一切织物伞衣中所固有的大的空气弹性性质，即使是在风洞里，有时也难以找到合适的测量方法。由于空气弹性的作用，很难把伞衣妥善地固定在任一预定的位置上，以获得高度可靠的测量。一种比较成功的方法是由丹尼尔—古根海姆航空研究院(DGAI)在他们的12呎(3.66米)见方的垂直风洞中所进行的方案(见图7)。在风洞的试验段里，

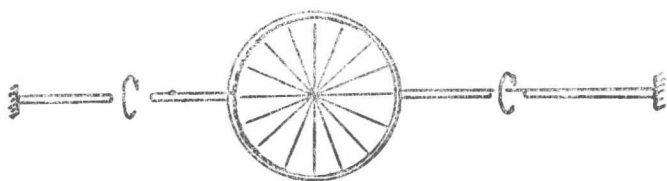


图 7

安装着两根杆子，在杆子的端头，支撑着一个用细钢丝沿径向绷紧的大金属环。然后，把一个充气直径小于圆环直径的降落伞伞衣的每个伞绳连接点联接到细钢丝上。因此整个组合件可以围绕杆子的轴线旋转到预定的攻角。

于是，利用装在杆子上的应变计天秤，可以测量出作用在此组合件上的各个力和力矩。因为伞衣只同细钢丝接触，而不同大圆环接触，故由装配所引起的非对称载荷可以忽略不计。

经过大量的风洞校正以后，发现由于风洞的收缩比小，试验段属于高度紊流。由于紊流对于雷诺数的影响，因此找出了一个紊流修正系数（以流过一个球体的气流为基础）来修正从风洞中所测得的数据。本书中所提出的全部DGAI数据都应用了这个系数。

德国人(1935到1944)在各种降落伞设计中作过很多风洞试验。他们企图通过试验不同几何尺寸的典型模型伞衣来研究降落伞的基本特性，而且只要找出定性的答案。这些模型大多数是用薄金属板制成的，并适合于直接作定性评价。然而这些模型在风洞试验段中的安装问题却是极端复杂。得出这些数据的模型都是从风洞天秤上悬臂安装的，如图8所示。



图 8

在这种安装中所采用的悬臂杆必然会影响到每个模型的流场。因而在另一项试验(14)中，对模型安装问题作了不同的处理。在这种情况下，把模型联接到沿着它的对称轴安放的一根杆子上，如图9所示。这个杆子对于围绕模型的气流特性的影响较小，但还不能忽略不计。



图 9

另一个方法是，通过研究围绕降落伞的流场，确定降落伞伞衣的相对稳定程度。这种方法是DGAI把灯烟引入模型气流的上游来进行试验的。德国的风洞人员用过一种灯烟

和稍带粘性的石油的混合物，把它涂在装在试验段里的一块反射平板的表面上。在这种情况下，一个半剖伞衣安装在湿的平板上，而且风洞气流从伞衣中吹过。继续挥发的混合物（因而变得更稠密和更带粘性）被吹走并不同程度地堆积在平板上。因此，完全没有混合物的区域就说明气流流过得很快。

必须指出，上述流谱研究表明，无论是用烟或用灯烟和石油的混合物做试验，得出的伞衣流谱特性都具有相同的型式。由于这种试验的结果更便于鉴定，下面将继续讨论。

图10所示是几个在 15° 攻角下的典型流谱图(14)。从这些流谱图中，可以看出，随着透气量的增大，因而也就是随着稳定性的提高，在气流偏离开伞衣的那一边（形成一个低压区或吸力场）。看来空气粘附得愈来愈少。然而，对于导向面伞衣来说，与其说由于透气量的增大，还不如说由于导向面顶部交线的壁立边的破坏作用，使得伞衣在旋转平面两侧的压差减小。从这些流谱图中，还可以看出，使空气产生最大阻力的伞衣底边还造成一个高压区，这个高压区反过来又产生一个恢复力矩。看来有两种方法减少不稳定力对于伞衣的影响：一种是增大伞衣的透气量，亦即使附着空气分离；另一种方法是适当地设计伞衣，使得空气提早从伞衣上分离，并提供一个壁立的伞衣底边表面来产生恢复力矩。

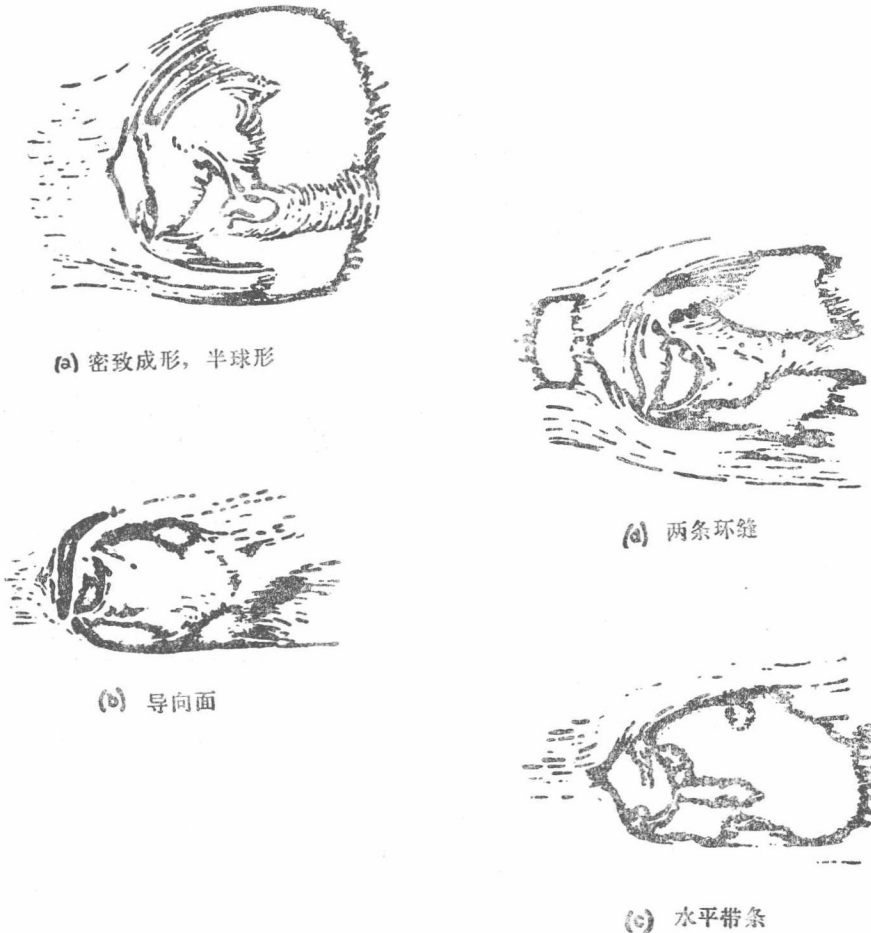


图10 降落伞的流谱特性(14) (改变降落伞形状的影响) ($\alpha=15^\circ$)