

C-130飞机相控阵 天线罩 支承结构受力分析

步恒祚

摘 要 C-130预警机的相控阵雷达天线罩与机身的连接结构在飞机部件对接设计中具有代表性,本文从飞机结构力学的角度,分析C-130预警机相控阵天线罩支承结构的受力与传力特点。

关键词: C-130预警机 相控阵天线罩 结构受力分析

C-130飞机在现代电子战中被改装过多种电子侦察、电子对抗专业机,扮演了十分重要的角色,C-130相控阵轻型预警机就是其中的一种。从外观看上去,其机身背部高高地架着十多米长的相控阵天线罩,与瑞典的萨伯340轻型预警机很相似。C-130飞机所安装的相控阵天线的具体技术资料以及天线罩自身结构情况我们不得而知,但天线罩与机身的连接结构在飞机部件对接设计中很有代表性,值得我们分析、研究。本文的目的主要是从飞机结构力学的基本观点出发,分析和探讨这一典型结构的受力、传力特点和概念,而并不是对结构进行设计和计算分析。

1 结构受力形式

C-130飞机相控阵天线罩与机身由6个长长的柱子相连,如图1所示。柱子的横断面为对称翼型以便减小飞行阻力。

确定结构受力形式是结构设计的最基本要点。结构受力形式确定的合理与否关系到所设计的结构能否满足强度——重量要求,即满足最小重量原则。

C-130天线罩用6根细长的“杆”与机身相连(图2)。这样的细长杆最好的受力形式是仅承受杆轴向力,而且受拉力比受压力更有利。细长杆在承受弯矩时,很容易发

生较大的挠度,如果再叠加轴向压力,将造成细长杆的总体失稳,导致结构破坏。为了不使杆失稳破坏,则需加大杆件相关尺寸,势必导致重量大幅度增加,结构效率下降。

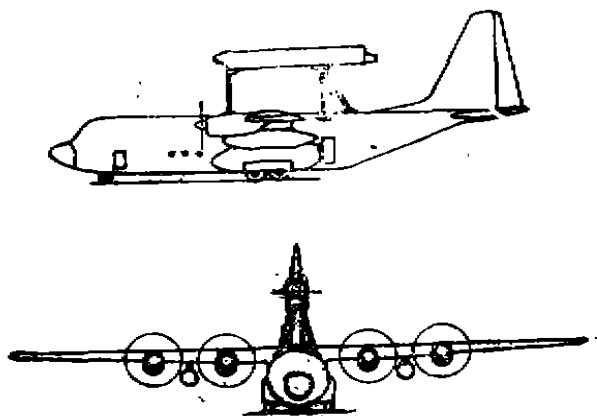


图1 C-130相控阵雷达轻型预警机

我们确认这6根杆全是受轴向力的杆,即二力杆,也就是说每根杆对天线罩的连接仅起到一个约束的作用。分析系统的几何不变性时,先把系统视为刚体,来判定它们之间的几何特性。天线罩作为一个刚体相对于机身有6个自由度,6个二力杆提供6个约束,满足了天线罩与机身之间的连接为几何不变系统的必要条件,即 $C - N \geq 0$,式中 C 为约束数, N 为相对自由度。可以认为,6个杆组成的连接系统的受力形式是二力杆桁架力系,对天线罩提供了必要的约束。

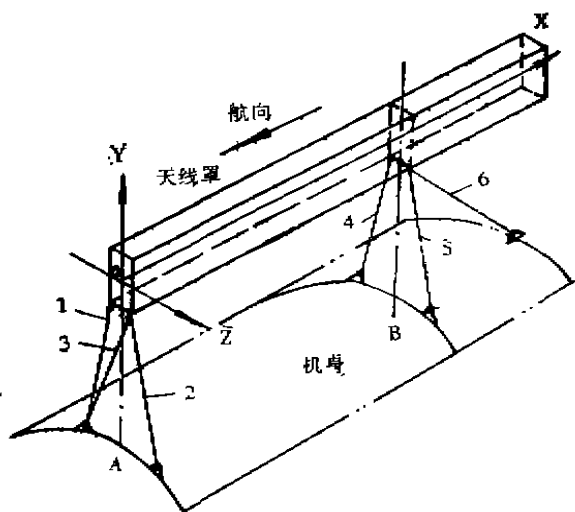


图2 C-130天线罩与机身连接受力形式

2 支承结构为几何不变系统

如上所述,天线罩用6个二力杆与机身相连,相当于对天线罩有6个约束,正好与天线罩自由度相等。但这仅是天线罩与机身之间几何不变的必要条件,还必须判明它们不是瞬时可变系统。因此,必须分析这种二力杆系统布置的合理性。其合理性的判别主要是看它能否承受三个方向的力(P_x 、 P_y 、 P_z)和三个方向的力矩(M_x 、 M_y 、 M_z)的作用。从图2可以看出:

- 6杆轴力主要平衡X方向的外力;
- 1、2、3、4、5杆轴力平衡Y方向的外力和力矩 M_z ;
- 1、2、3杆共面且不平行,组成该平面的有效约束,平衡外力矩 M_x ;
- 关键是外力 P_z 和 M_y 能否由系统平衡。

天线罩可看作是在A、B两处支承的一根外伸悬臂梁,外力 P_z 在A处的分力为 P_{zA} ,在B处的分力为 P_{zB} 。在A剖面(见图3),

$$\sum Y = 0; \quad 1、2、3杆受拉;$$

$$\sum Z = 0; \quad 1、3杆受拉,2杆受压;$$

$$\sum M = 0; \quad 1、2杆合力与3杆轴力$$

组成力偶与外力矩 M 平衡。所以A剖面是几

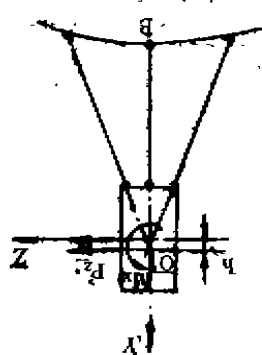


图3 A剖面受力分析

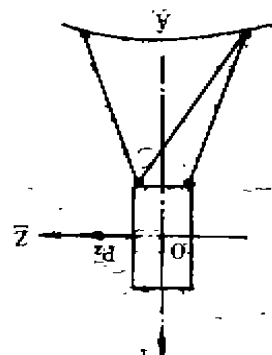


图4 B剖面受力分析

何不变的。

在B剖面(见图4):

4、5杆轴线相交于 O' ,称 O' 为虚铰。

将外力 P_{zB} 平移至 O' ,则有一附加力矩 M_x ,

$$M_x = P_{zB} \cdot h$$

这一扭矩 M_x 是不能由杆4、杆5的轴力平衡的,因杆4、杆5的轴力均通过虚铰,力臂为零。但是,当我们在B处切开,取分离体时(图5),B剖面上必然会产生一个支反力矩或称之为内力矩 M'_x , M'_x 与 M_x 大小相等,方向相反。也就是说B剖面的扭矩 M_x 将向前传至A剖面,而A剖面如前所说,可以承受 M_x 。

可能会有观点认为:当外力不通过4、

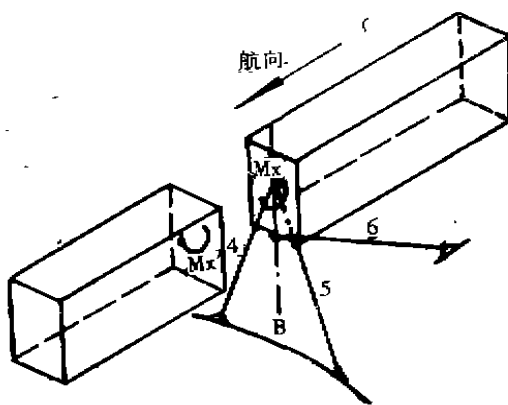


图5 天线罩扭矩传至A处平衡

5杆形成的虚铰时，B剖面将发生很大的刚体位移，而把虚铰变为实铰，即4杆和5杆连在同一点，就可消除刚体位移。实际上两种情况都发生位移，只是转动中心不同。对于实铰，B剖面很明显地绕实铰旋转，而对于虚铰，B剖面则绕虚铰瞬时转动。对于这两种情况的转动的约束都是由天线罩的扭转提供的，天线罩的扭转刚度越大，剖面的位移越小。4杆和5杆的轴力与扭转变形无关。在实铰、虚铰两种情况下，杆4和杆5都产生一定的弹性变形，这一弹性变形的合成即是“铰”的弹性位移，而决不是什么“位移突变”，更不是什么“广义”瞬时可变（见图6）。

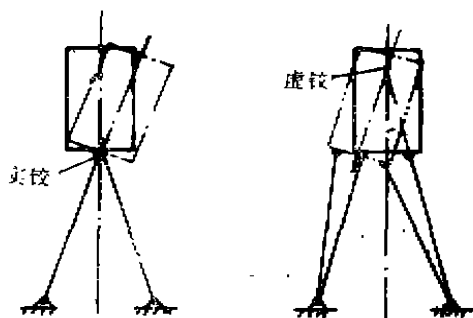


图6 实铰和虚铰的扭转变形

象C-130天线罩这样的支承形式，在某些机翼与机身的连接中，是经常采用的，如图7所示。

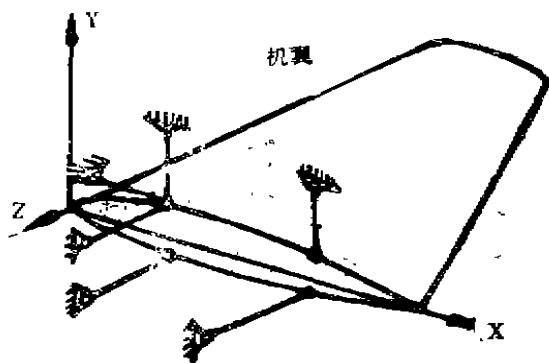


图7 双梁式机翼与机身的连接形式

图中杆的编号顺序与天线罩支承杆编号相对应。天线罩好比X向拉长，Z向缩短了一个机翼，这种支承结构是几何不变结构，而且是静定结构。

还有观点认为若在B剖面也加一个类似3杆的斜杆，可以大幅度减小B处的位移。但是这样一来，天线罩就成为由7根杆支承的静不定结构，这对已经被实践验证的C-130天线罩和萨伯340天线罩的支承结构而言完全是画蛇添足之举。而且这样的支承将导致机身的扭转变形叠加到天线罩上，这是由于在B剖面增加一个斜杆，使之能传递扭矩 M_x 造成的。可见用这种方法减小B处变形并不可取。

3 第3号杆布置在哪里为好

第3号杆布置在A剖面还是B剖面，对天线罩的变形影响不一样，那么究竟布置在哪里好呢？

在侧向阵风气动力 P_z 的作用下，天线罩除了自身产生弯曲和扭转变形，相对于机身还要产生一定的总体位移。由于6根杆细而长，在轴向力的作用下，会有相当的弹性变形，造成A剖面和B剖面的侧向位移。当3号杆位于A剖面时，A点支持刚度比B点大的多，所以B点的侧向位移大于A点，这就使天线罩附加一个负侧滑角 $\Delta\beta$ ，前方气流将在天线罩上产生一个附加力 ΔP_z ， ΔP_z 与 P_z 方向相反，使变形减小。从静气动弹性观点看，这是变形收敛，而不是变形发散（图8）。如果3号杆从A剖面移至B剖面，在侧向力 P_z 的作用下A点位移将大于B点位移，使天线罩有一个附加正侧滑角 $\Delta\beta$ ，气流在天线罩上产生一个附加力 ΔP_z ， ΔP_z 与 P_z 方向相同，使变形增加，显然这是个变形发散问题（图9）。因此，3号杆必须放在A剖面。应该指出，3号杆设置在A剖面，天线罩自身的扭转变形可能较大，因而需要增加天线罩自身的扭转刚度。天线罩内布满了相控阵

天线, 天线罩两侧有非金属结构的视窗, 要增加其扭转刚度有一定难度。但是我们可以选择合适的虚铰位置以减小天线罩的扭转变形。

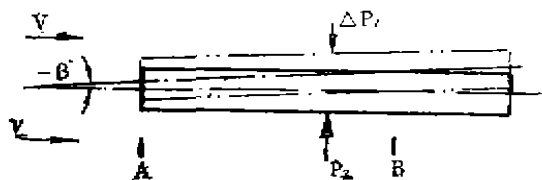


图8 变形收敛

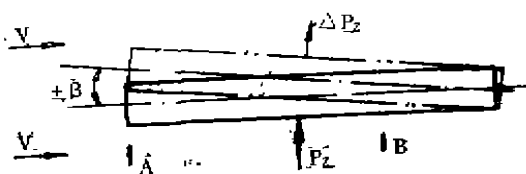


图9 变形发散

4 虚铰位置的选择

在 B 剖面, 4 杆、5 杆相交于 \$O'\$, 谓之虚铰。\$O'\$ 点的位置和 4 杆与 5 杆的夹角有关, 那么 \$O'\$ 点选在什么地方好呢, 下面从有利于减小天线罩扭转变形, 减小 B 剖面位移上进行分析。

为使问题简化又不失真实, 假设惯性力和气动力作用线一致 (实际上相差不多)。气动力与惯性力以均布的形式施加于天线罩, 表示为 \$P_z\$, 在 B 剖面的支反力为 \$N_B\$ (图 10)。

作用在天线罩上的均布力简化为作用于沿压心的单位长度上的均布力 \$p_z\$。一般情况, 压心与天线罩的侧向弯心不重合, 这一均布力 \$p_z\$ 对天线罩产生一个从末端到 A 剖面呈线性增加的扭矩 \$M_x\$, 在 A 剖面达到最大值 \$\Sigma p_z \cdot h_1\$ (\$h_1\$ 为压心到弯心的距离)。

在 B 剖面虚铰有支反力 \$N_B\$, 这一支反力不通过剖面弯心, 因而对剖面 B 有一集中扭

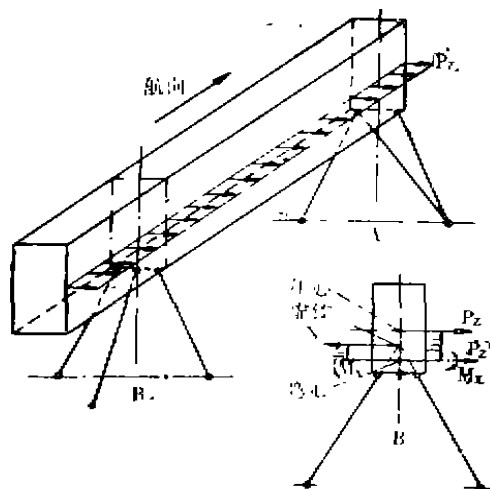


图10 B剖面虚铰的位置

矩 \$M_{xN}\$, $M_{xN} = N_B \cdot h_2$ (\$h_2\$ 为虚铰至弯心的距离), 当 \$M_{xB} = M_{xN}\$, 即 B 剖面上的扭矩为零, 这正是我们所希望的 (图 11)。

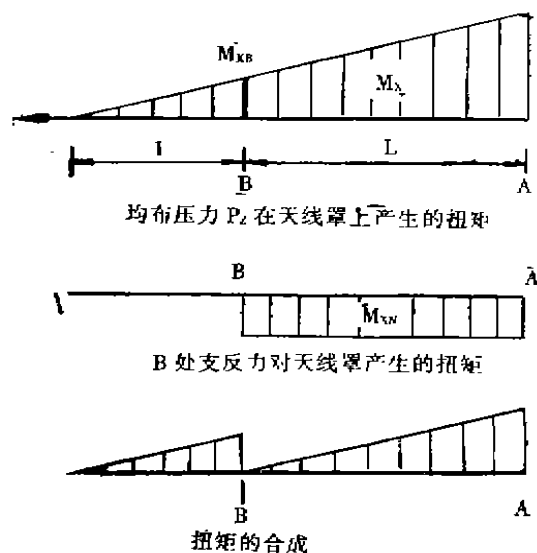


图11 天线罩上的扭矩

现在, 我们看看要使 \$M_{xB} = M_{xN}\$, 虚铰

21世纪初军用运输机研制趋势分析

潘振文

摘 要 分析了当前军用运输机研制环境的新变化,阐述了应引起重视的若干发展趋势,对国产军用运输机的研制和发展提出建议。

关键词: 环境变化 重要趋势 发展建议

军用运输机是进行快速部署和空运兵员、装备、物资及空降空投等军事任务的运输机,和陆运、海运一起组成完整的军事运输系统。军事空运在现代战争中所处的突出地位和应付突发事件中的快速反应能力,引起了美、欧和原苏联等军事大国的高度重视,各自形成了庞大的军事空运能力。近年的局部战争中大量使用了军用运输机。

尽管随着原苏联的解体和冷战的结束,一些西方国家开始削减军备,但其全球战略

目标基本没有改变,仍然在加强其空运能力,强化其空军军机体系建设,以保证将部队快速部署至事发战区。因此,对21世纪初军用运输机研制的趋势,需要认真分析,从中得出有益的启示和借鉴。

1 军用运输机研制环境新变化

1.1 世界军事环境发生了剧烈的变化

世界军事环境也同国际政治、经济环境

位置的选择:

$$M_{XB} = M_{XN} \quad (1)$$

$$p_z \cdot l \cdot h_1 = N_B \cdot h_2 \quad (2)$$

由简单的平衡方程可得:

$$N_B = \frac{(1+L)^2}{2} p_z \quad (3)$$

式中: 1 为天线罩末端到 B 点距离

L 为天线罩 A 端到 B 点距离

将 (3) 代入 (2):

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{(1+L)^2}{2L^2} = \left(1 + \frac{1^2 + L^2}{2L^2}\right) > 1 \quad (4)$$

$$h_2 = \frac{2L}{(1+L)^2} h_1 \quad (5)$$

(4) 式表明虚铰必须在压心与剖面弯心之间, (5) 式为 h_2 的计算公式。

由于推导时有一定的简化条件,所以 (5) 式可用于初步分析,而 h_2 的精确计算需通过细节分析计算。

对于虚铰在压心以上,即 $h_2 > h_1$ 的情况,由简单的推导可知, B 剖面上的扭矩不可能为零。

当虚铰与压心重合时, B 剖面的扭矩为

$$\frac{1^2 + L^2}{2L} \cdot h_1 \quad (\text{或 } h_2, h_1 = h_2)$$

不为零。

从上面的分析可知,为了使虚铰在压心和弯心之间, 4 杆与 5 杆的夹角要适当地加大,即是说 4、5 杆与机身的交点离机身中心面要远些,这一点在 C-130 飞机天线罩和其它类似天线罩的支承杆上表现的很明显。

综上所述, C-130 飞机相控阵天线罩与机身的连接是静定的几何不变系统,每根杆为只承受轴向力的二力杆。杆系布置简单,受力合理,并考虑了静气弹方面的因素,是非常完善的典型设计。▲