

直升机客货舱系留装置结构设计探析

邹全 贺伟 全梦彧

北京通用航空江西直升机有限公司 江西 景德镇 333000

【摘要】：直升机在设计方面比较注重轻量化，其蜂窝夹层复合材料的结构较为独特，具有极高的比刚度、比强度，在直升机的机身结构中，蜂窝夹层结构占据着一定的比例。系留装置是确保直升机客货舱内人或物的固定，以保证不会因飞机的振动而发生磕碰。本文针对直升机客货舱系留装置的结构设计展开探究，并通过试验对其承载能力进行验证。

【关键词】：直升机；客货舱；系留装置结构设计

前言

直升机属于飞行器中的一种，有效拓展了飞行器的应用范围，并且在医疗、探测、救援等多个领域广泛应用。在直升机客货舱内，系留装置主要用于固定，也是较为常用的装置，直升机客货舱系留装置的可靠性对飞行的安全有着重要作用，直升机客货舱系留装置结构的合理设计，有助于优化系留布局形式。

1 直升机系留的相关概述

1.1 系留影响因素

直升机客货舱系留装置能够确保直升机平稳停留，如果直升机机体受到多方向较大的荷载，当某一方向的荷载超过系留承载力，那么直升机系留装置则会受到破坏。系留应考虑直升机运动速度因素，通过计算运行惯性，然后转化至直升机客货舱内；构建客货舱、系留座、索具之间的力学模型，以此计算系留索具的受力情况；优化系留座布局，确保顺利完成系留，并保证直升机机体、系留索具等满足荷载需求^[1]。在系留计算过程中，使用有限元仿真方法构建模型，确保模型与实际情况相符合。

1.2 系留结构分析与优化

在以往的系留结构设计中，系留座布局大多是根据人的经验来设计的，通过加强优化，提升结构设计的可靠性。直升机客货舱系留装置应满足相应的要求，能够快速完成固定，并且在系牢的时候，系留不能够影响可能需要的维护操作，不能影响维护口盖的操作，系留索具和系留接头的连接应便捷化，并且能够快速完成拆卸，不会接触直升机以及外挂物。

2 直升机客货舱系留座的优化布置

2.1 荷载的计算

(1) 系留的外荷载。通常情况下，直升机客货舱货物、系留索等，各种构件产生的变形都能够对力地分布有一定的

影响，不过，一般是系留索构件产生的变形比较大，直升机客货舱自身产生的变形比较小，所以，可以将其作为刚体进行处理。直升机客货舱系留时，直升机的运动对影响客货舱内货物的受力情况，应对其初始荷载、运动产生的惯性荷载等各种外荷载进行计算。对于初始荷载，结合直升机客货舱货物的重量以及系留索的预紧力；对于惯性荷载，包括舰船的横纵摇、前行、升沉等。

(2) 系留索张力。如果直升机客货舱货物荷载足够大的时候，货物则会产生较小的刚体位移。一根等截面系留索，如果其两端都处于固定状态，索只会受张力作用，不会发生松软现象，不过，只是具备初始的张力。索只能受拉，所以，横截面上的内力只有张力，即沿着轴线切向的拉力，由于索的形状、两端张力不清晰，所以无法直接求出索的张力，应建立平衡方程来进行求解。

2.2 系留力数学模型的建立

直升机型号不同，客货舱大小和规格也不同，相应的系留方式也有所不同，应根据实际情况确定系留方式。直升机客货舱的系留方式有四条索、六条索、八条索系留，其中，八条索系留是在直升机内部的前、中、后部分各使用两条索进行系留；六条索系留是较为普遍采取的系留方式，是在直升机内部的前中位置使用索具固定；四条索系留是在紧急情况下使用。在直升机系留的时候，其受力情况主要表现在五个方面：客货舱货物自身重量，作用于重心处；惯性力，将其转化为惯性加速度，作用于重心处；系留索具的系留力，作用于每一个系留环；支撑力、摩擦力，作用于客货舱货物^[2]。

2.3 系留点优化布置

首先，优化数学模型，对于直升机系留问题，通过综合分析建立相应的数学模型。其次，明确编码的方法以及解码的方法，对个体适应度进行评价，然后选择算子，系留点是在内部两侧布置，若个体是随机配对成为一组，在交叉之后

的个体，不一定还是在两侧分布，很容易产生混乱情况。因此，在交叉之前，应添加限制条件，防止出现这种情况。根据内部不同侧，将系留点分为两个小群体，先在所在群体内进行随机配对，之后再交叉配对，通过这样的方式有效防止交叉混乱情况的发生。最后，变异算子。随机进行变异操作，也可能出现一侧系留点变异为另一侧系留点，虽然这样的概率不大，但是对遗传搜索过程不利。在子个体变异之后，校对新个体，若出现以上情况应立即淘汰，避免对后面个体的运算产生影响。

3 直升机客货舱系留装置的结构设计

以某运输直升机为例，在运载大量货物时，对客货舱的系留装置进行结构设计，并对其承载力进行验证。

3.1 系留装置结构设计

(1) 直升机的飞行姿态比较多变，并且很容易受到客货舱里面的空间影响，所以说，应设计承载能力强的系留装置，且系留角度可任意调整。如图1所示，立柱可以绕地板翻转，其中，系留环与叉耳可以绕销轴1与销轴2旋转，形成系留装置，且满足15°-90°系留。

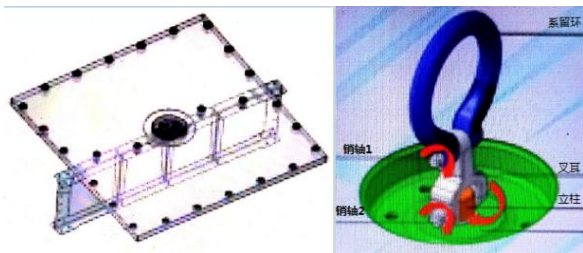


图1 蜂窝夹层复合材料地板系留装置示意图

(2) 如表1所示，在实际结构设计过程中，应在碗型件的底部布置纵梁传递荷载，并借助四个螺栓互相连接。在两者的对接区，强化腹板局部，消除应力集中所带来的负面影响，并布置加强筋，形成双角形角盒，这样对地板法向荷载扩散有一定的积极作用^[3]。此外，在没有使用系留环时，为避免暴露，可以将其折叠在碗型件里面。

表1 蜂窝夹层复合材料地板系留装置的各部件材料

名称	材料	备注
地板面板	2A12-T4	上/下面板的厚度分别为0.6mm/0.4mm
地板蜂窝	铝蜂窝芯材 84-4-0.08(II)	高度 18mm
碗型件	1Cr17Ni3A	
梁	7075-T7351	机加件

立柱	30CrMnSiNi2A	
系留环、销轴、叉耳	40CrNiMoA	

3.2 理论应用

把系留环比作等截面圆环，在强度的计算，假设圆形截面高度远远小于半径；轴力、剪力引起的变形与弯矩引起的变形相比可以忽略不计；圆形截面的中性轴和剪切线重合。如图2所示，为系留环受载示意图，系留环受径向拉伸载荷。

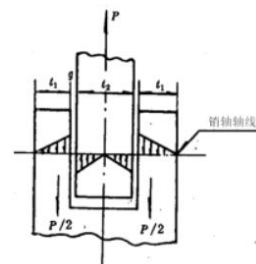


图2 系留环受载示意图

3.3 试验验证

如表2所示，为试验件和数量，表3为试验设备。四周地板，使用螺栓和夹具连接，固定四周；将地板与梁连接，将腹板与梁的上下边缘连接。系留的角度应大于15°，当系留的角度为15°的时候，蜂窝夹层地板的荷载最严重，角度为90°的时候，梁的荷载最严重，所以选择角度为15°与90°来进行验证。地板系留装置试验件-碗型件在中央90°与15°加载，验证承载力，边界试验件与此较为类似。分别在33kN、50kN、60kN进行试验，结果表明，当加载到33kN的时候，目测检查没有发现任何变形现象；当加载到50kN的时候，目测检查发现变形现象；当加载到60kN的时候，叉耳出现断裂现象。

表2 试验件的状态

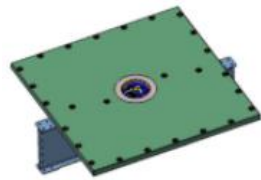
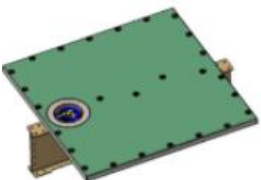
名称	数量	备注
系留装置试验件-碗型件在中央	2	
系留装置试验件-碗型件在边界	2	

表3 试验设备

设备名称	规格	误差
荷载传感器	8t	$\leq 1\%$
协调加载系统	MTS Flex Test 200	$\leq 1\%$

4 结语

直升机客货舱蜂窝夹层地板系留装置的设计,有效避免了以往承载力弱等各种缺点,并且操作比较简单,能够快速系留、卸载,可以满足直升机的货物装载、卸载等要求。

参考文献:

- [1] 朱枫,安强林,温其穆.舰载直升机通用矩阵式系留座优化设计方法研究[J].舰船科学技术,2018,40(15):133-136+140.
- [2] 龙海斌,吴裕平.无人直升机系留气动载荷 CFD 计算分析[J].北京航空航天大学学报,2021,47(09):1765-1773.
- [3] 李林杰,王宇,龙健辉.直升机客货舱系留装置结构设计[J].中国科技信息,2019(06):30-32.