

关于直升机蒙皮结构的探析

全梦戥 李新平 贺伟 邹全

北京通用航空江西直升机有限公司 江西 景德镇 333000

【摘要】：直升机属于低空交通工具，应用优化拓扑优化进行结构设计能够有效减轻机身自重，减少油耗，使直升机的飞行更加灵活，在市场中具有广阔的应用前景。本文以直升机蒙皮结构优化为主题展开讨论，对复合材料层合板进行优化设计，确保蒙皮强度、刚度以及稳定满足实际需求，介绍优化拓扑技术在蒙皮优化设计中的应用，减轻直升机质量，提升直升机飞行稳定性。

【关键词】：直升机；结构设计；拓扑优化技术

复合材料属于新型材料，具有比刚度大、强度高的优点，层合板为复合材料典型结构，在直升机蒙皮设计中应用广泛。层合板具备可设计性，按照具体情况设计铺设角、铺层厚度、层块形状参数，确保应用效果最佳。同时，需要应用拓扑优化技术对直升机蒙皮进行进一步的优化设计，减轻蒙皮结构的质量，提升直升机飞行性能。

1 复合材料层合板优化设计

本文以 Altair Optistruct 软件的应用为基础，对层合板优化方案进行讨论分析，设计时对制造约束问题加以充分考虑，保证设计结果可以应用至工程实际。

1.1 自由尺寸的优化

对自由尺寸进行优化时，对层合板的各单元中不同方向铺层厚度加以调整，保证符合设计性能需求，确定各单元最佳厚度。在此阶段，需引入“超级层”概念，指的是将具备相同的铺设角的铺层视作集合，并将超级层厚度视作自由尺寸的优化变量。在壳单元的建模零件设计中适宜应用该方式，将各单元各超级层厚度视作变量优化自由尺寸，能够保证零件超级层厚度最优分布，获取各铺设角铺层最佳厚度，需明确各层铺层形状和铺设位置。所以，需把超级层分解为不同形状铺层块。

1.2 尺寸优化

在尺寸优化时，将不同形状铺层块厚度尺寸视作设计变量，从而测定不同形状铺层块最佳厚度，进而获得各种铺层块实际的铺设层数。在对自由尺寸进行优化时，可制造性的约束在该阶段将自动继承，并在对尺寸进行优化时继续生效。优化结构决定着不同的铺设方向铺层块厚度尺寸最大值。在此阶段对铺层最小制造尺寸定义^[1]。最小制造尺寸和层合板采用纤维材料存在密切关系，为产品性能参数，代表制造时铺设纤维层实际厚度。层块厚度为最小制造尺寸整数

倍，换句话说，实际制造时，能够确定不同形状铺层块由多少层增强纤维单向带来铺设。

1.3 次序优化

获取不同角度、不同形状铺层块实际的铺设层数之后，需要对实际铺层层叠次序进行优化，确定加工方案。此阶段，把全部铺层块打乱重排，对实际铺层层叠次序进行优化。按照层合板相关构件生产特点，该阶段可引入更为严格制造约束，确保优化结果具备最优良制造性。

2 直升机蒙皮优化

在设计方案中直升机蒙皮所采用材料为 T300 碳纤维，铺设方式为单向带铺，固化成型。模型选择四边形形式进行网格划分，数量为 15076 个，约束蒙皮四周边界节点全自由度，蒙皮单元施加的压力和航向平行压力载荷，对直升机飞行机翼前缘受力状态进行模拟。对复合材料的模型进行定义时，选择经典铺设角， -45° 、 0° 、 45° 、 90° 方式铺设，确定蒙皮模型具有超级层四个，将上蒙皮和下蒙皮视作两个独立设计区域，为单一分区方式，借助 PCOMG 对全部铺层编号，确保铺层连续性，各超级层厚度应当赋予较大初始尺寸，为后续的优化过程提供优化空间。

2.1 蒙皮概念设计

在此阶段采取自由尺寸的优化方式进行蒙皮概念设计。在优化时对 50% 复合材料的用量进行限定，优化目标是在满足荷载工况的前提下保证刚度结构保持最优状态。为确保设计结果具备可制造性，在概念的设计阶段，便考虑制造约束。例如，对 0° 、 90° 的铺层占比进行限制，限制范围为 10% 至 60%， -45° 、 45° 的铺层铺设保证比例均衡，最小制造铺层的厚度定位 0.1mm。优化结束之后，可获得各超级层和层合板的整体厚度分布。需要注意，需对铺层铺设角度加以优化，从理论角度分析可以获得不同铺层最佳的铺设角，而实

际制造时，因为铺设的角度无法得到有效保证，因此实际工程中通常不采用除 -45° 、 0° 、 45° 、 90° 其他铺设角度。所以，本文所阐述优化方式不涉及铺设角度优化，直接选择4中较为常用铺设角进行模型搭建^[2]。优化结束，各超级层解析成4组形状不同铺层块。同理，其余角度超级层同样可以解析为4种形状不同铺层块，共16种，从11100至14400进行编号，第一位编号数字表示设计区域编号，该研究中设计区域仅有一个，所以该位均为1，第二位是超级层编号，共四层用1至4进行表示，第三位为各超级层所解析铺层块的编号，取值为1至4，后两位表示各铺层块具体的铺设层数，在下个阶段进行尺寸优化获得。因为解析铺层块的形状具备不规则形特征，对制造存在一定的影响，因此，需要修剪铺层块。

2.2 蒙皮系统设计

该设计阶段为详细的设计阶段，在概念设计环节获得铺层块厚度用为设计变量，展开尺寸优化。在自由尺寸的优化阶段可制造约束应用至该阶段，并在后续优化中继续生效。为保证设计结果可信度，应用复合材料的失效约束和金属结构的屈服约束，避免结构出现失效破坏。在该次研究中选择Tsai-Wu失效准则，防止层合板为载荷工况时出现单层失效情况，对金属结构最大应用进行限制，不可大于铝合金材料屈服极限。优化目标要求在现有工况下，符合制造约束、稳定性、刚度、强度等要求，并保证结构质量最小，在优化后能够获取个铺层块厚度尺寸最佳值，按照碳纤维的单向带最小制造尺寸，便可获得各铺层块铺层数，如下表所示。

铺设角	铺层块	铺层数		铺设角	铺层块	铺层数
-45°	141	1		45°	111	1
	142	4			112	4
	143	2			113	2
	144	3			114	3
	小计	10			小计	10
0°	121	2		90°	131	4
	122	3			132	3
	123	2			133	6
	124	1			134	2
	小计	8			小计	15
总计		43				

2.3 蒙皮详细设计

在对蒙皮进行详细设计时，需要将优化阶段所明确形

状、厚度、位置和铺设层数打乱重排，实现优化结果的进一步提升，该阶段优化约束、响应、目标继续选择尺寸优化设定，两个阶段所选用制造约束继续生效。同时，按照层合板铺贴固化要求，引入更为严格制造约束，确定最终铺层内相同角度连续叠层的数目不可大于4层，铺层对称约束。

3 拓扑优化技术在直升机蒙皮结构设计中的应用

当前我国民用直升机普遍存在发动机散热性能较差情况，究其原因便是蒙皮设计不合理，针对存在问题应用优化拓扑技术对蒙皮进行优化设计，所选用的材料具有强度高，抗疲劳性好等优势，可以有效提升直升机飞行性能，减少安全事故发生几率。同时为确保蒙皮使用性能，公司融合应用热防护技术，调节折射率、热导率，提升蒙皮散热性能，增加散热面积，提升直升机散热性能。

结构优化技术中拓扑优化技术的应用具备广泛的前景，并且创新性十足，能够在给定空间中合理设计材料分布、传力路径，在符合设计相关需求的同时减轻质量。直升机动力舱蒙皮使用的复合材料比强度、抗疲劳性能好，能够保障直升机飞行性能，降低事故的发生。但直升机动力舱蒙皮的使用时，经常存在高温焦化情况，对直升机蒙皮使用性能产生影响，增加安全事故的发生概率。所以，为确保直升机蒙皮使用安全性，防止高温焦化情况产生，应用热防护技术到。调节折射率、热导率，能够有效把直升机蒙皮的温度控制在安全范围，降低安全事故发生几率^[3]。另外企业通过优化拓扑技术对直升机的外形结构进行调整，提升蒙皮的散热性能，增加散热面积，提升直升机的散热性能，原本较不符合气动布局的蒙皮经修改，形成合理的方案。采用传统设计时，设计结果的精准性主要取决于人员实践经验，同一使用工况情况下，为符合功能需求，不同的设计人员所设计的直升机结构也有所不同，重量存在差异，设计结果难以达到最优化。在直升机结构最初设计阶段，借助初步载荷便能够通过拓扑优化技术确定结构基本构型，以此构型为基础详细设计，减少反复减重优化设计步骤，减小设计的难度，提升材料利用率，优化设计质量。

4 总结

因为直升机飞行的特殊需求，需要对结构进行优化设计，尽量减少自身质量，从而减小能源的损耗。同时结构对刚度、强度的要求较高，本文对层合板刚度、强度、稳定性优化设计进行分析，另外随着科学技术的不断提升，在直升机结构设计中拓扑优化技术的应用逐渐普及，通过拓扑优化技术能够准确获取结构可省去部分，减轻直升机总体质量，提升直升机飞行性能。

参考文献:

- [1] 纪斌,金栋平.柔性伸缩蒙皮支撑结构的多目标拓扑优化[J].计算力学学报,2018(01):1-6.
- [2] 吴元琦.飞行器舵翼结构的仿生轻量化设计及其力学性能研究[D].南京航空航天大学,2017.
- [3] 马文昌.直升机主桨叶翼尖蒙皮褶皱问题改进研究[J].纤维复合材料,2017,34(02):33-35.