

# 航空电子产品盖板结构设计及优化

赵路 高青松

陕西长岭电子科技有限责任公司 陕西 宝鸡 721000

**摘要:** 追求重量最轻是航空电子产品极其重要的指标之一, 本文通过对航空电子产品上一个具体的零件进行了材料选择分析, 内部结构尺寸设计, 使用CAE软件进行强度仿真设计, 并根据仿真结果进行了结构优化设计, 对优化设计进行验证, 最终设计出安全可靠的航空电子产品零件。本文利用CAE技术对零件进行整体结构分析, 发现其中的薄弱环节, 进而对薄弱环节针对性加强设计, 使设计出的零件重量轻, 强度高, 使设计的航空电子产品更具有竞争力。

**关键词:** 减重设计、材料选择、结构设计、ANSYS有限元仿真、优化

## 引言

“为减轻每一个克重量而奋斗, 一克重量比金贵”, 这是一句来自飞行设计领域的至理名言。随着科学技术的飞速发展, 飞机为了携带更多的设备, 更快的飞行速度, 更远的航行距离, 就需要对各个航空电子产品进行严格的重量控制, 实行减重设计<sup>[1]</sup>。

### 1 盖板简介

首先, 减重设计最基本的对象是产品零件, 要使零件在满足使用条件下, 越轻越好。影响零件重量的因素有: 材料、外形尺寸、内部结构等。航空电子产品受空间和位置限制, 其外形尺寸一般情况下为固定尺寸。所以减重设计一般以材料选择与内部结构优化为主。

其次, 某型航空电子产品的盖板外形尺寸387mm×354mm×3mm及安装孔位已固化, 目标重量要求不大于480g。通过对整机的各类环境试验要求进行分析, 需满足GJB150A中的耐久振动试验、20g加速度的冲击试验、6个方向的耐久加速度试验等力学试验要求, 并在设计盖板的过程中考虑散热、电磁屏蔽性、整机密封性(防水、防尘)、耐海洋环境腐蚀防护性等。所以盖板材料的选择和盖板结构尺寸的设计是本文重点讨论的问题, 下面就这两个方面进行详细论述。

### 2 材料选择

首先, 通过盖板外形尺寸分析可知, 盖板为薄板零件, 材料强度不够的情况下会出现变形, 飞机运动过程中会发生大幅度颤振现象, 甚至会产生较大的噪音, 所以盖板材料应选择具有高的弹性模量及比刚度, 目前使用的高强度的航空材料有金属材料: 铝合金、钛合金、镁合金等; 增强复合材料: 碳纤维增强材料、玻璃纤维增强材料、蜂窝夹层等。

其次, 增强复合材料如玻璃纤维增强材料(俗称玻璃钢)虽然密度轻(大约为铝的三分之二), 抗拉强度

和屈服强度很高, 但大部分为绝缘材料或低导电材料, 电磁屏蔽性较差, 异形结构成型难度高, 模具成本高, 优化成本高。增强复合材料其虽沿纤维方向上强度高, 但切向上抗剪切力较差, 盖板厚度方向上最大尺寸只有3mm, 去除材料后部分地方厚度可能仅有1mm左右, 使用增强复合材料后可能在飞机运动过程中撕裂整个盖板。另已通过试验验证, 薄壁的碳纤维复合材料无法通过试验室的电磁兼容性试验, 所以盖板不考虑使用增强复合材料。

然后, 钛合金密度一般在4.51g/cm<sup>3</sup>左右, 比强度远大于其他金属材料, 是硬质铝合金的2至3倍, 但其导电性和导热性较差, 纯钛的导热系数 $\lambda=15.24\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 约铝的1/14, 而各种钛合金的导热系数比钛的导热系数约下降50%。钛合金的弹性模量较差, 约为钢的1/2, 故其刚性差、易变形, 不宜制作薄壁件, 切削时加工表面的回弹量很大, 约为不锈钢的2~3倍, 造成刀具后刀面的剧烈摩擦、粘附、粘结磨损。材料成本非常高, 机械加工难度大, 且在体积变化较小的情况下, 相对密度较铝合金仍然过大, 所以盖板不考虑使用钛合金材料。

最后, 镁合金虽然密度轻(大约为铝的三分之二), 能比铝合金承受更多的冲击载荷, 具有良好的机械加工性能, 良好的导电导热性能。但镁合金材料耐蚀性很差, 尤其在海洋环境下极易腐蚀, 根据调研及查询资料后发现, 即使使用微弧氧化及表面喷漆后, 只要漆层稍有破损, 就会迅速产生腐蚀, 为飞机上限用材料, 所以盖板不考虑使用镁合金材料。

总之, 铝合金材料密度2.7g/cm<sup>3</sup>左右, 具有良好的导热导电性能、耐腐蚀能力及机械加工性能。借鉴以往成熟产品经验及各类材料特性, 最终选用铝合金板7075 T651作为盖板的加工材料, 该种材料密度2.81g/cm<sup>3</sup>, 为超强铝合金, 比强度高, 最大抗拉强度可达490MPa, 屈

服强度可达310MPa，易于加工，耐蚀性较好，具有良好的导电性及电磁屏蔽性能。

### 3 结构与优化

#### 3.1 结构设计

盖板因外形尺寸及安装孔位已经固定，按照现有外形尺寸计算后总体积达396.524cm<sup>3</sup>，按2.81g/cm<sup>3</sup>密度计算，总重量高达1114g，远高于480g指标要求，所以需对盖板内部腔体进行去材料减重设计。参照以前同类产品设计，在保证盖板四周边及两个插座位置沿7mm宽度的尺寸内有足够的厚度和强度用来镶嵌压紧导电密封衬垫外，其他部分内腔厚度由3mm减至1mm和0.8mm，中间使用加强筋进行强化，加强筋筋宽2mm，由1横1纵加两条斜向加强筋（规定两插座相连的斜向加强筋为加强筋1，另一条斜向加强筋为加强筋2）组成，所有的加强筋均与四周连通且每根均为连续状态，不允许中间出现断裂。具体结构设计见图1盖板结构设计，盖板腔体厚度1mm总重量467g，盖板腔体厚度0.8mm时重量403g，均小于480g满足设计要求。（厚度1mm盖板简称盖板1，厚度0.8mm盖板简称盖板2）

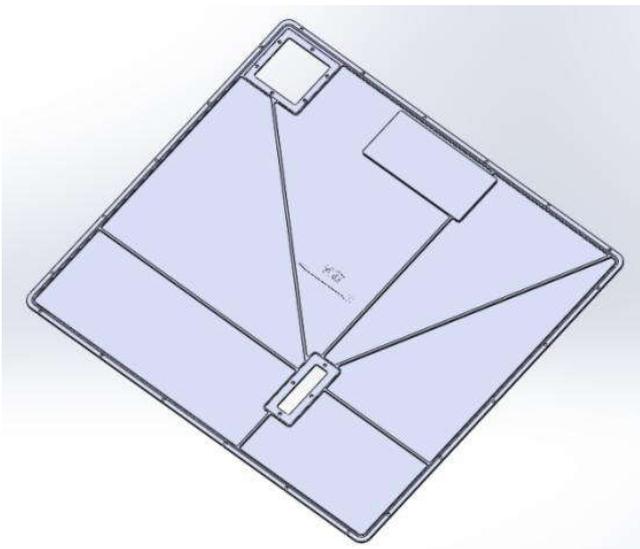


图1 盖板结构设计

#### 3.2 验证

针对上述两种盖板结构，使用ANSYS Workbench 17.0对其分别进行强度仿真分析，仿真内容包括模态分析、随机振动分析、瞬态动力学分析（冲击试验）、静态结构分析（加速度试验），依据标准为GJB150A中航空电子产品振动、冲击、加速度技术要求。经过仿真分析，盖板在厚度方向施加20g加速时变形最大，承受的等效应力最大。图2为盖板1在厚度方向上施加20g加速度时的等效应力云图，经过分析结果可知，盖板1在加强筋1

的中间位置上承受最大变形0.32745mm，在加强筋1顶端承受最大应力34.126MPa。

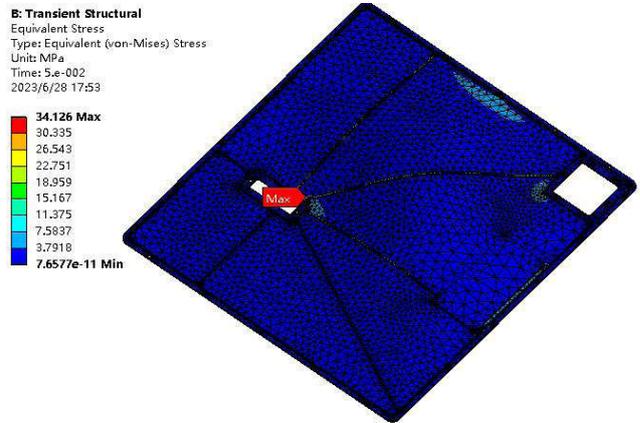


图2 盖板1等效应力云图

图3为盖板2在厚度方向上施加20g加速度时的等效应力云图，经过分析结果可知，盖板2在加强筋1的中间位置上承受最大变形0.86734m，在加强筋1顶端承受最大应力83.782MPa。

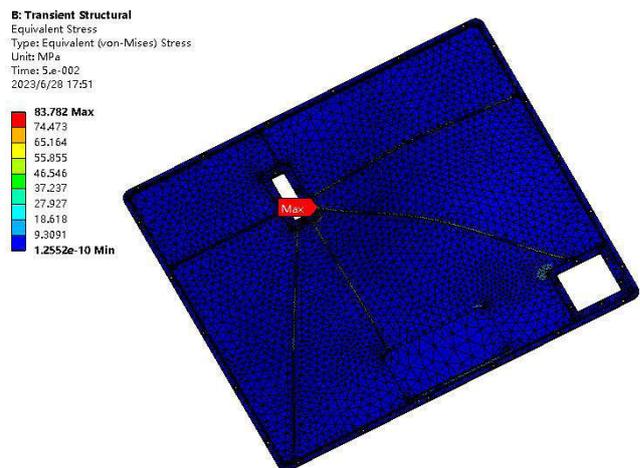


图3 盖板2等效应力云图

#### 3.3 优化

首先，盖板的厚度在0.8基础上再次减小时，加工难度急剧上升，加工时易颤振和振捣，严重影响加工精度和表面质量且容易变形，严重时直接撕裂，故厚度方向不再进行优化设计。

其次，针对上述仿真结果，在盖板2的基础上对承受应力最大的加强筋1进行结构尺寸优化，将加强筋1由2mm增加至4mm（简称盖板3）重新进行仿真计算，盖板3在厚度方向上施加20g加速度时的等效应力云图见图4。经过分析结果可知，盖板3在加强筋2的中间位置上承受最大变形0.086359，在加强筋2顶端承受最大应力29.563MPa。

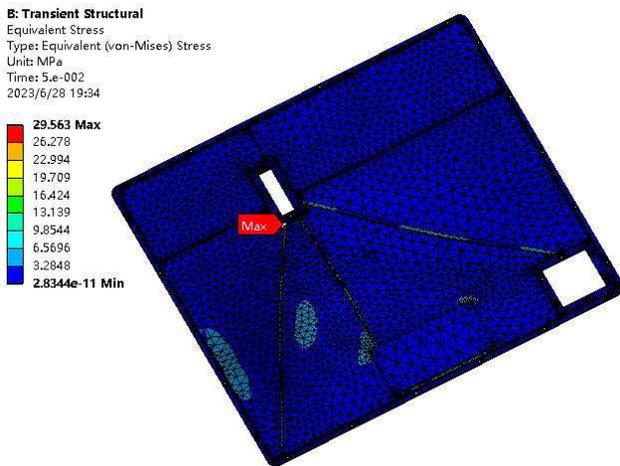


图4 盖板3等效应力云图

然后，在盖板3的基础上对承受应力最大的加强筋2继续进行结构尺寸优化，将加强筋2由2mm增加至4mm（简称盖板4）继续进行仿真计算，盖板4在厚度方向上等效应力及变形云图见图5。经过分析结果可知，盖板4的承受的最大变形0.035546，承受最大应力9.5711，整体强度已经大幅度提高。

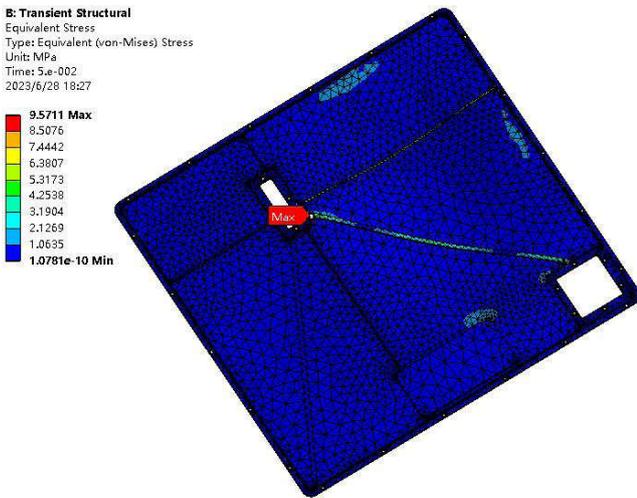


图5 盖板4等效应力云图

### 3.4 小结

针对上述四种盖板的结构进行统计比较，见表1、表2。

表1 前6阶固有频率

固有频率阶数Hz	一阶	二阶	三阶	四阶	五阶	六阶
盖板1	156.95	209.34	274.56	333.02	382.7	451.18
盖板2	148.42	195.64	245.43	292.64	355.76	399.13
盖板3	164.29	202.09	253.37	306.53	381.55	422.37
盖板4	164.89	204.41	253.09	307.73	383.71	423.04

表2 盖板属性统计表

	质量g	最大变形mm	最大应力MPa
盖板1	467	0.32745	34.126
盖板2	403	0.86734	83.782
盖板3	407	0.086359	29.563
盖板4	410	0.035546	9.571

优化后的盖板4（厚0.8mm，两条斜肋4mm宽）最大应力9.571MPa，最大变形0.035mm，总质量为410g，比要求的重量减少了70g，强度高，质量轻，完全满足了使用需求。由此可见，本次优化设计在不改变外形尺寸情况下，通过优化产品内部结构，大幅度提高了产品的强度，减少了产品的变形量，使产品在使用过程中的可靠性大幅提高。

### 结束语

CAE技术利用计算机的分析计算能力，大幅减少了传统设计中的资源消耗，缩短了产品周期，通过优化设计，让设计师找到好的产品设计方案，设计出质量更轻，可靠性更高，产品竞争力更强的航空电子产品。

### 参考文献

[1]周海亮，机载电子设备轻量化设计[J].科学技术与创新,2020（4）：159.