

题目：纤维金属层板的低速冲击后压缩失效模拟

1. 问题描述

在服役期间，飞机结构不可避免地会遭受外来物的低速冲击事件（例如维修工具跌落、跑道碎石或冰雹撞击等）。低速冲击损伤是纤维金属层板飞机结构最危险的一种损伤形式，它会导致结构力学性能的大幅下降但损伤却不易被发现。因此，在飞机结构的初步设计阶段就要充分考虑结构的损伤容限问题，特别是当纤维金属层板材料用于飞机的主承力结构。由于冲击损伤对纤维金属层板剩余压缩强度的影响最为关键，因而普遍使用冲击后压缩强度来评价纤维金属层板结构的损伤容限。通过构建数值模型，准确分析纤维金属层板的低速冲击后压缩强度，以及其失效过程将为飞机结构冲击损伤容限适航验证提供技术支撑。

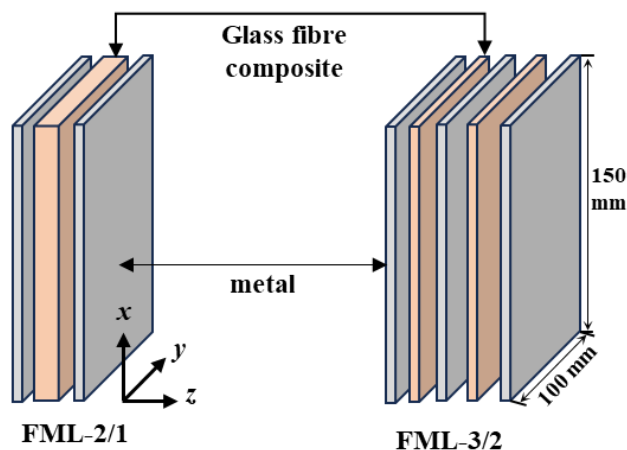


图 1 纤维金属层板示意图

2. 数值模型

根据 ASTM D7136 和 D7137 标准，建立纤维金属层板低速冲击及冲击后有限元模型，如图 2 所示。低速冲击模型至少包含刚性支撑底座、纤维金属层板、钢制冲击头三部分，其中刚性支撑底座内部含有 125 mm×75mm 的矩形开口；层板模型的长度为 150mm，宽度为 100mm，厚度不限（根据实际建模，自行确定），建模过程中需要对复合材料层、金属层单独进行几何建模，且需要考虑复合材料层/金属层的界面影响；冲击头为半球形，直径为 16 mm，其质量与初始冲击速度不限（可自行设计）；低速冲击后模型要模拟载荷边界条件约束，施加位移载荷（可自行设计），建议不超过 1-2 mm/min。

纤维金属层板的纤维类型选择玻璃纤维，且复合材料层的铺层可采用单向铺

层、角铺设铺层、正交铺层、准各向同性铺层；金属类型选则航空铝合金；几何构型可选择 2 层金属与 1 层复合材料组成的 2/1 构型，也可以采用 3/2 构型。

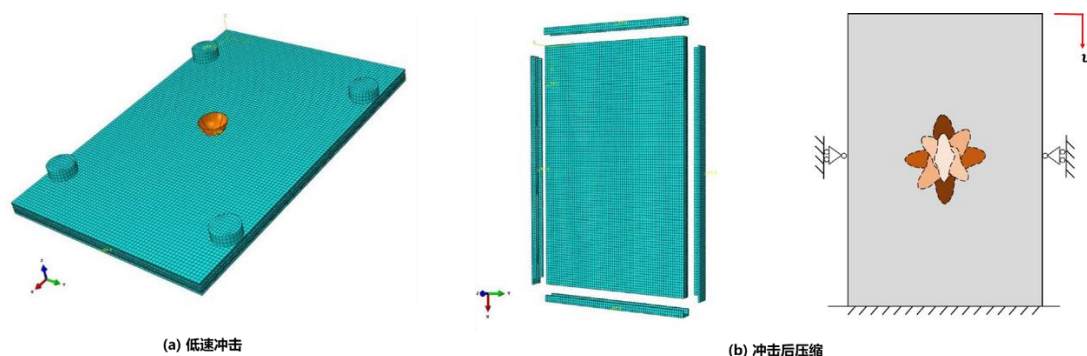


图 2 有限元模型示意图: (a) 低速冲击示意图；(b) 低速冲击后压缩示意图。

3. 计算要求

- (1) 分析低速冲击加载下纤维金属层板的初始损伤形貌；
- (2) 分析低速冲击后压缩加载下的载荷-位移曲线规律及冲击后损伤形貌；
- (3) 解释复合材料层内铺层顺序、层板构型、复合材料/金属界面、外部冲击能量等任意两种因素对低速冲击后压缩强度的影响；
- (4) 建立低速冲击能量与低速冲击后压缩强度的关联关系。

参考文献

- [1] Liu H B, Falzon B G, Tan W. Predicting the Compression-After-Impact (CAI) strength of damage-tolerant hybrid unidirectional/woven carbon-fibre reinforced composite laminates[J]. Composites Part A Applied Science & Manufacturing, 2018, 105:189-202.
- [2] Cheng Z Q, Xia J, Liu H, Zhu Z W, Tan W. Compressive failure mechanisms of fibre metal laminates with 2/1 and 3/2 configurations after low-velocity impact [J]. Thin-Walled Structures, 2025, 211: 113112.

(注：上述信息仅供参考，更多信息和资料请自行查找)