

赛题一：工程结构的抗冲击与防护

题目：超材料填充无人机防撞结构的抗冲击性能模拟

1. 问题背景

随着低空经济的蓬勃发展，无人机安全已成为制约其产业升级的关键技术瓶颈。在民用无人机广泛应用于快递物流、应急救援等核心领域的当下，复杂多变的运行环境使得无人机面临着前所未有的坠落风险挑战。以快递物流场景为例，无人机需要在城市楼宇间频繁起降、精准投递，而应急救援时则要穿越复杂地形与恶劣气象条件，这些都极大增加了无人机意外坠落的可能性。当无人机在实际应用中发生坠落时，因角度差异，同一坠落地域会产生截然不同的冲击工况，涉及冲击力方向、大小、作用时间的多维变化，这对无人机的结构安全防护提出了极高要求。超材料的出现为破解这一技术难题开辟了全新路径。其独特的结构设计，能够有效应对无人机在不同角度冲击载荷下的受力需求，通过材料性能的渐进式变化，实现对冲击力的高效分散与缓冲。超材料的多孔结构特性更是与无人机轻量化发展趋势高度契合，科研数据显示，商用无人机每减轻 1 克重量，即可延长数分钟的续航时间，而超材料的轻质高强特性恰好满足这一需求，在保障结构强度的同时显著降低整机重量，空心圆管或方管是无人机中最常见的两类结构，如图 1 所示。

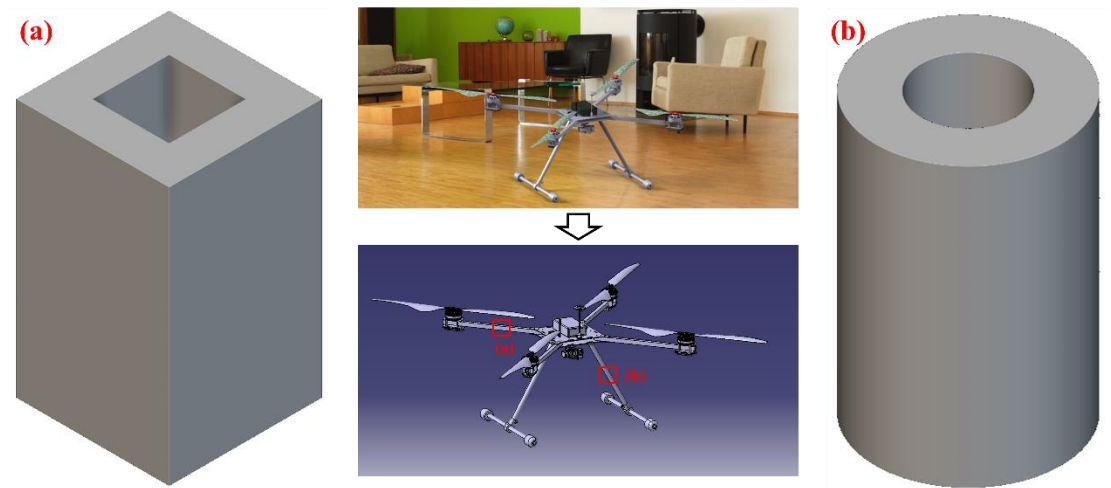


图 1

2. 结果讨论

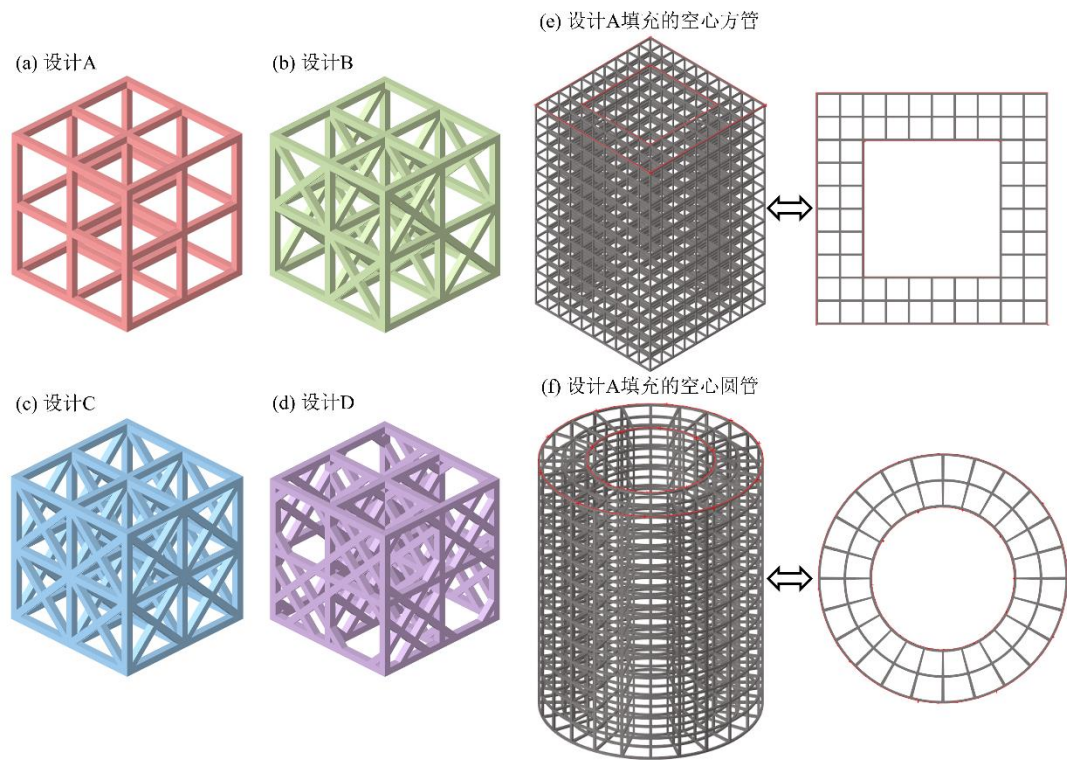


图 2

本赛题中，无人机填充结构主要采用图 1 所示的空心方管 and 空心圆管形式，并以图 2 中（a）、（b）、（c）和（d）四类桁架晶格结构作为单胞类型。仿真计算所需材料参数请自行查阅相关文献确定，所选材料应贴合实际制造条件（可选用铝合金）；无人机模型也需自行建立。为评估不同填充无人机的抗冲击性能，如图 3 所示，为便于分析，约定当压缩力急剧上升至平台段载荷的 3 倍时，即认为结构达到最大压缩位移 ξ_{max} 。

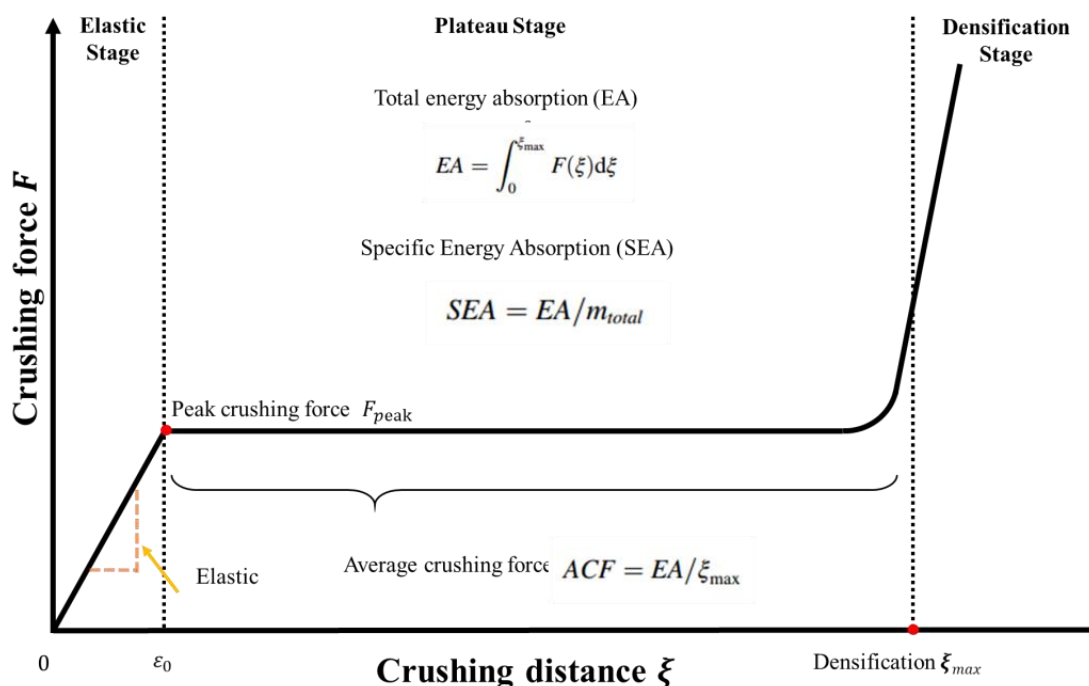


图 3

分别对以下三个问题进行探讨：

- (1) 以四类单胞作为基本填充单元，分别构建空心方管与空心圆管填充形式，自定义填充的胞元数量，进而分析其能量吸收能力，得到最优的胞元构型。（对比不同胞元构建的空心方管与空心圆管的密度应保持一致。）
- (2) 基于第（1）问中的最优设计胞元构型，进一步研究填充胞元杆件直径和薄壁管厚度对能量吸收的影响规律，针对空心方管与空心圆管分别给出最优的杆件直径与薄壁管厚度组合方式。
- (3) 自选一种无人机模型，自主确定无人机需重点防护的区域，并对其他典型零部件实施填充设计，系统分析填充设计对防护区域的保护效果；需通过与未进行填充设计的情形进行对比，评估其防护性能差异，至少分析 3 种不同角度的坠毁工况。（提示：不仅要考虑能量吸收，同时需要考虑降低防护区域的初始峰值力和平台力，且可以考虑无人机的动态破碎。）

3. 参考资料

- [1] Fernandes M C, Aizenberg J, Weaver J C, et al. Mechanically robust lattices inspired by deep-sea glass sponges[J]. Nature Materials, 2021, 20(2): 237-241.

- [2] Chao X, Hu H, Lin J, et al. Bioinspired twist-hyperbolic metamaterial for impact buffering and self-powered real-time sensing in UAVs[J]. Science Advances, 2025, 11(36): eadw6179.
- [3] Xiao R, Li X, Jia H, et al. 3D printing of dual phase-strengthened microlattices for lightweight micro aerial vehicles[J]. Materials & Design, 2021, 206: 109767.

（注：上述信息仅供参考，更多信息和资料请自行查找）