



中国复合材料工业协会·先进复合材料专业委员会

复合材料结构设计中的几个问题

程小全

北京航空航天大学 航空科学与工程学院

2022-06-10●北京



内 容 提 要



结构与结构强度专业的区别



结构设计技术的四个层次



结构设计人员的基本素质



复合材料结构设计中须注意的问题

1. 结构与结构强度专业的区别



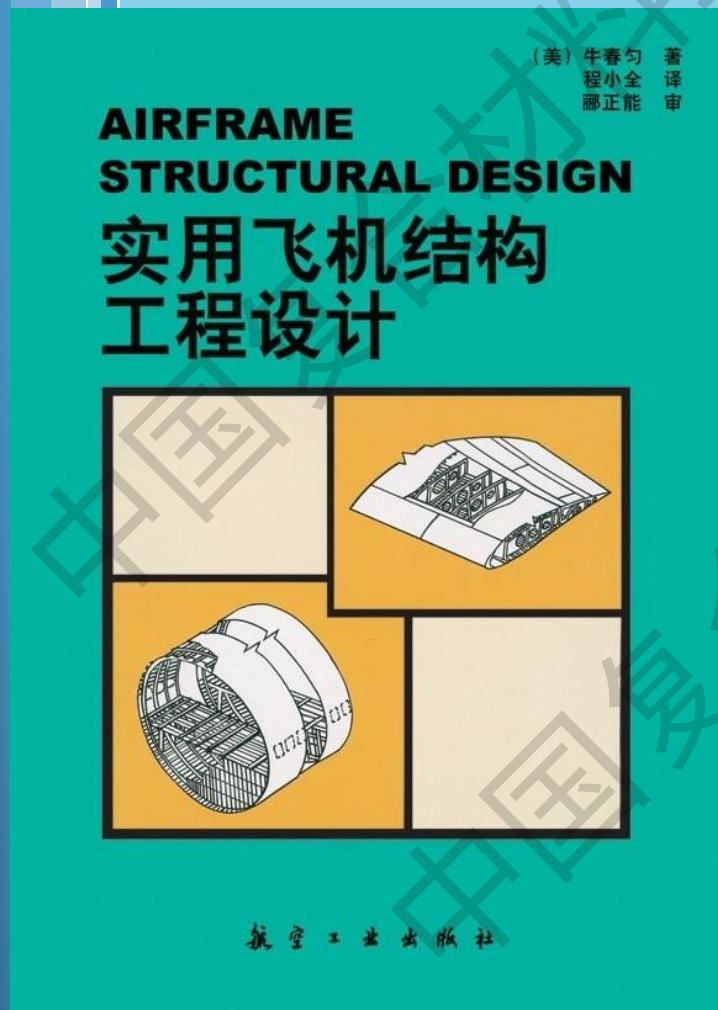
结构设计

- 从无到有，主动
- 功能+性能
- 选材+工艺
- 修理与售后
- 结构分析为主

结构强度

- 已有结构，被动
- 结构的力学性能
- 须要考虑材料性能
- 不须考虑修理与售后
- 应力、应变分析为主

1. 结构与结构强度专业的区别



飞机结构设计定义

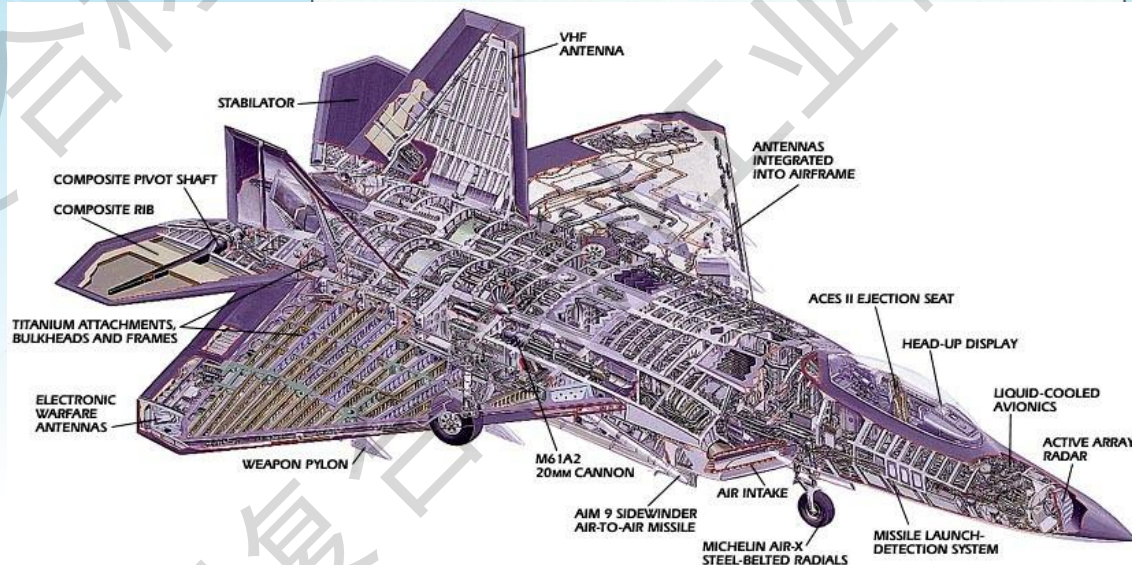
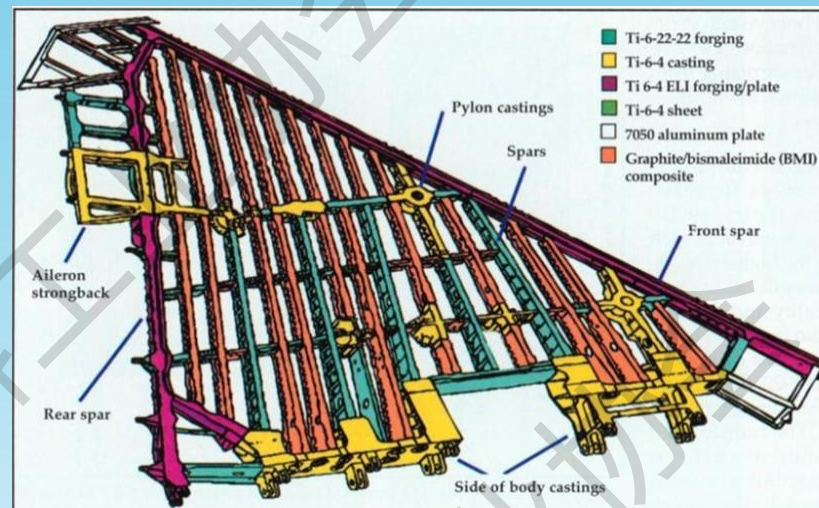
根据结构设计的原始条件，按照结构设计的基本要求，在飞机总体设计基础上，提出先进合理的结构形式，进行：

- ✓ 结构打样设计
- ✓ 全机结构强度计算、试验研究
- ✓ 绘制结构图纸
- ✓ 编制相应的技术文件

1. 结构设计与结构强度专业的区别

原始条件:

- 1 结构的外载荷和受力特点
- 2 结构外形和空间协调
- 3 结构的使用条件
- 4 结构的生产条件





1. 结构与结构强度专业的区别

基本要求:

- 1 气动要求——主要对应于结构的性能
- 2 重量要求——主要对应于结构的经济性
- 3 使用维护要求——主要对应于结构的使用过程
- 4 工艺要求——主要对应于结构的生产过程
- 5 经济性要求——对应于结构的全寿命过程
- 6 可靠性要求——主要对应于结构的使用过程

内 容 提 要



结构与结构强度专业的区别



结构设计技术的四个层次



结构设计人员的基本素质



复合材料结构设计中须注意的问题



2. 结构设计技术的四个层次

一、面向功能的设计

二、面向制造的设计

三、面向服务的设计

四、面向大数据的设计



2. 结构设计技术的四个层次

一、面向功能的设计：

利用现有的工具和手段，设计出满足用户使用（功能）要求的结构或产品。

二、面向制造的设计：

利用现有的工具和手段，不仅设计出满足用户使用要求的结构或产品，而且设计出来的结构或产品制造方便、成本低廉、工艺性能稳定，能够避免工艺不稳定带来的结构使用问题及高昂的维护费用。



2. 结构设计技术的四个层次

三、面向服务的设计：

在面向功能设计和面向制造设计的基础上，利用现有的工具和手段，设计出用户体验感好、维护周期长、维护方便、维护成本低的结构或产品。

四、面向大数据的设计：

根据结构分析原理，基于材料、结构、失效情况等数据库，以及使用环境、结构在线监测数据库，建立快速数据分析方法与问题分析模型，利用现有的技术、工具和手段，设计出能够对其进行状态监控、使用规划的结构和产品。该技术实际上是把结构作为智能系统进行设计。

内 容 提 要



结构与结构强度专业的区别



结构设计技术的四个层次



结构设计人员的基本素质



复合材料结构设计中须注意的问题



3. 结构设计人员的基本素质



结构设计人员基本素质：

- 综合协同创新能力
- 沟通协调能力
- 结构分析能力
- 先进工具使用能力



3. 结构设计人员的基本素质

一、综合协同创新能力：每个飞机、直升机新型号的设计都有质量和全寿命周期成本控制要求，综合协同创新思维能够综合材料、工艺、质量控制以及使用维护等多学科的知识与技术，提出创新结构形式，进行结构细节设计，提高结构效率。即使对于一般的工业产品或日常用品，也须要创新设计来提高自己的竞争力。否则，结构设计人员就成了制图员。

二、沟通协调能力：结构设计人员除了完成结构制图与结构分析外，更多的工作是协调用户、材料供应商、结构制造部门、成品供应商、结构验证与试验方、使用人员、维护人员等多方面的关系，以保证所设计的结构能够按期按质生产出来，并能被正确使用和维护。沟通协调能力是结构设计人员应该具备的另一项素质。实际上，专业能力、人际沟通协调能力以及信用三方面才构成了一个专业人员的整体实力。



3. 结构设计人员的基本素质

三、结构分析能力：结构分析是对新、旧结构载荷传递路线合理性、结构寿命、结构质量与工艺性等所作的定性和初步定量分析。结构分析能力的提升，能保证设计人员所设计的结构从原理上不会出现颠覆性问题，也能保证具体结构或细节分析、试验验证等方法的正确使用，提高结构设计效率。

四、先进工具应用能力：利用最新、最先进的制图、分析软件或其他工具，提高结构设计、分析、验证的效率，并为后续结构制造提供方便快捷的数字接口。通过提高结构分析精度，降低结构质量及制造成本。

内 容 提 要



结构与结构强度专业的区别



结构设计技术的四个层次



结构设计人员的基本素质



复合材料结构设计中须注意的问题

4. 复合材料结构设计中须注意的问题

- 1 材料与结构性能数据库
- 2 积木式验证并不须照做所有试验
- 3 成形工艺与模具选择
- 4 整体结构设计与制造要有一定的基础

4. 复合材料结构设计中须注意的问题



1 材料与结构性能数据库

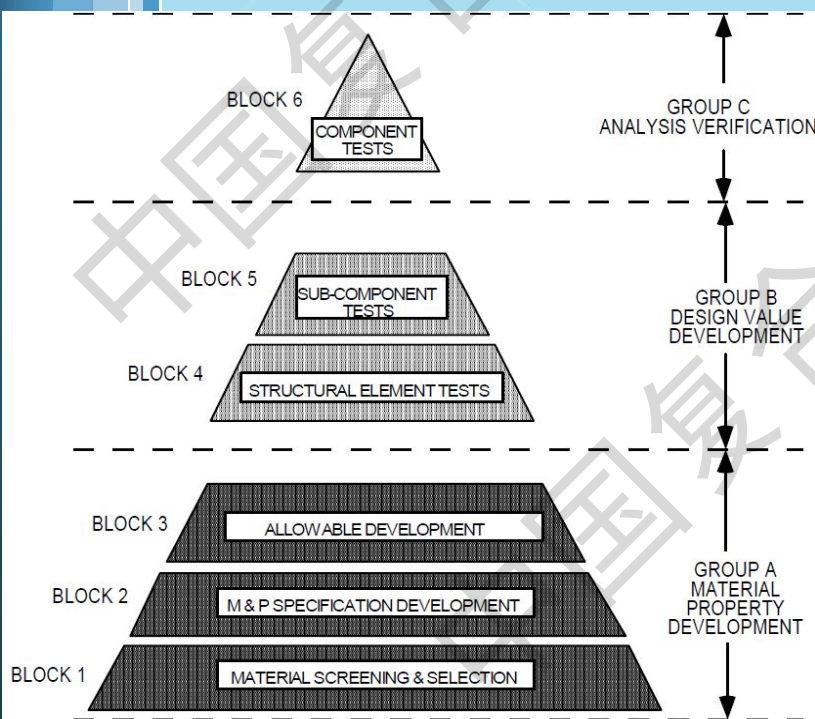
- ❑ 材料性能数据必须来自稳定工艺后的测试数据
- ❑ 材料供应商提供的数据不可作为最终设计依据
- ❑ 材料和结构的性能与成形工艺相关
- ❑ 材料和结构性能测试方法对测试结果有直接影响

4. 复合材料结构设计中须注意的问题

2 积木式验证并不须照做所有试验

以航天器为例

- 复材结构极易受损，部件翻修成本高；
- 任务环境与任务载荷特殊，执行任务期间鲜少检修；
- 生产数量少，飞机工业的一些先进技术不能直接使用在航天器之上；
- 由于生产数量有限，“积木式”方法不适用于航天器设计；
- 运用的大多是新技术，没有可靠的经验数据，需要考虑特殊的测试方式。



4. 复合材料结构设计中须注意的问题

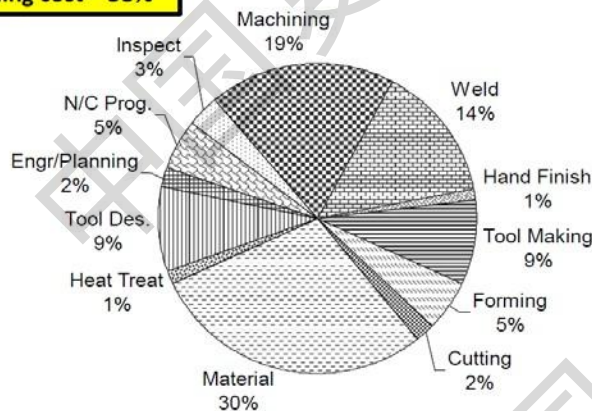
3 成形工艺与模具选择

- ❑ 成形工艺与材料和结构的性能直接相关
- ❑ 成形模具与制件成本、制件质量直接相关
- ❑ 成形模具对之间成本直接相关

Invar Tooling Cost Breakdown

HIGHEST FACTORS:

- Material cost (Invar 36, 42) – 30%
- Machining & Forming cost – 38%



Machined CFRP/Carbon Foam Mold

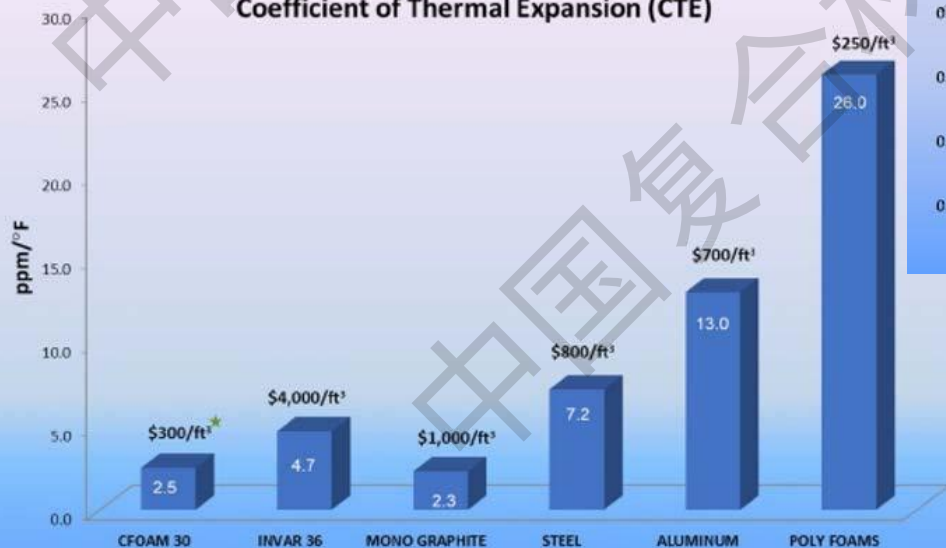


Internal Mold Line (IML) Beaded Stringer tool

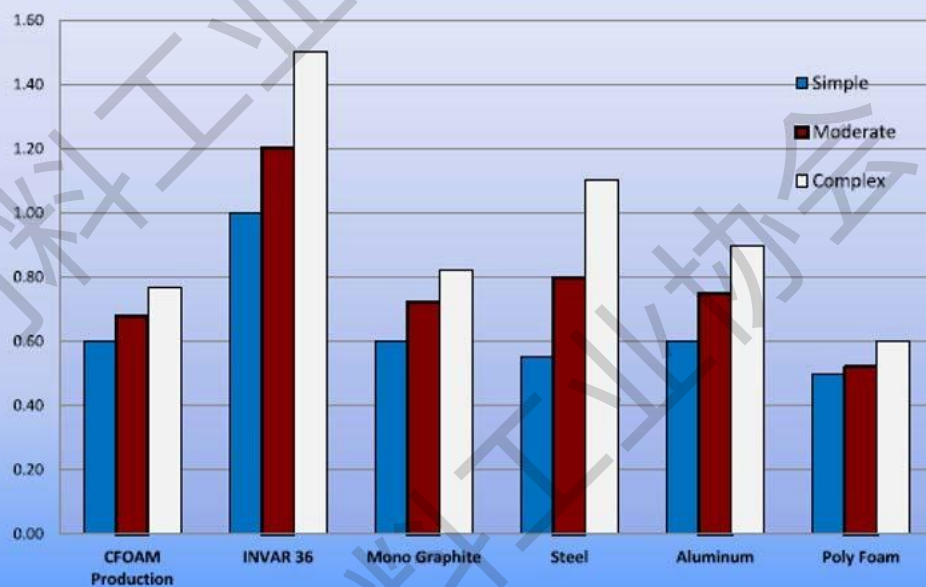
4. 复合材料结构设计中须注意的问题

(3) 成形工艺与模具选择

Coefficient of Thermal Expansion (CTE)



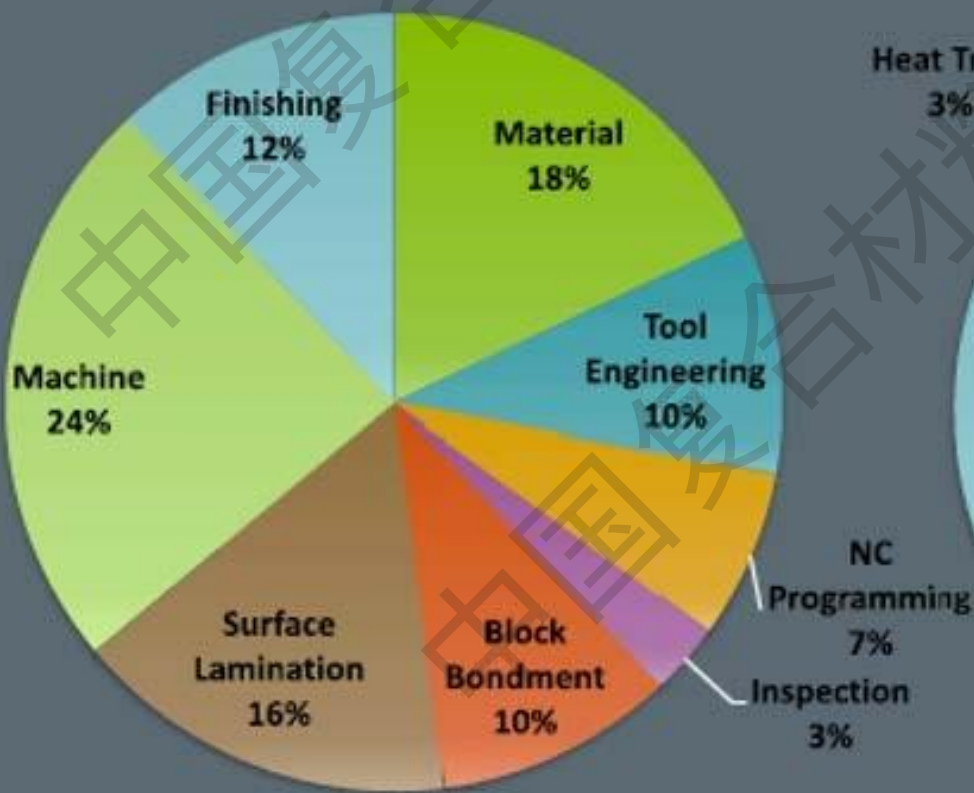
Comparative Costs: Tool Type and Complexity



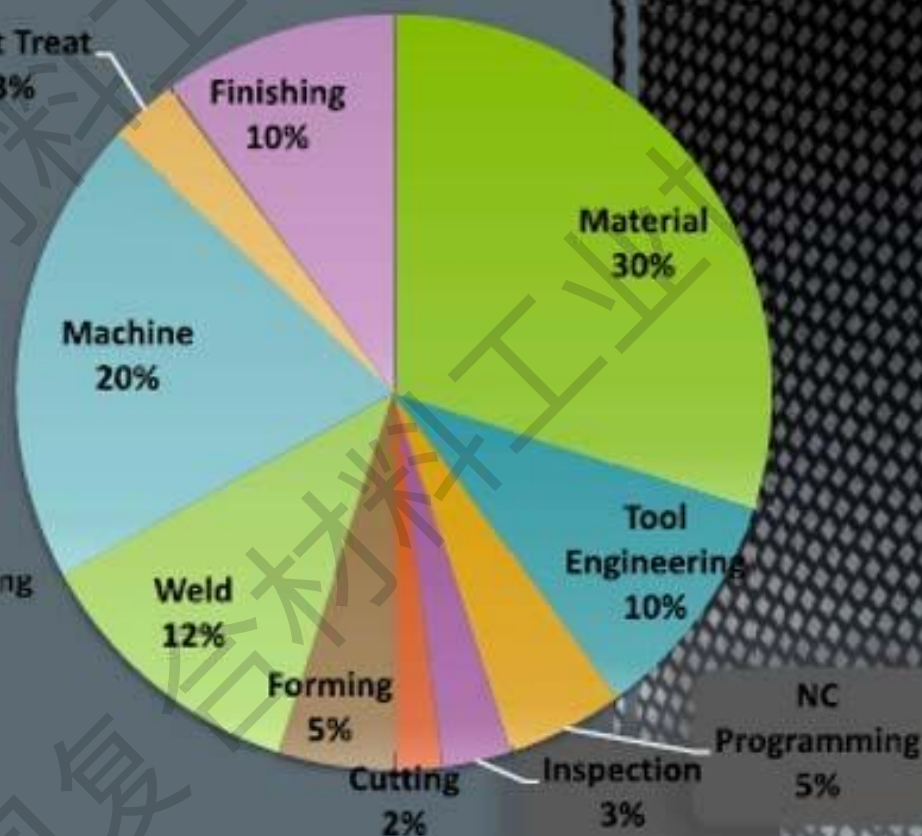
4. 复合材料结构设计中须注意的问题

(3) 成形工艺与模具选择

CFOAM Tool Cost Elements



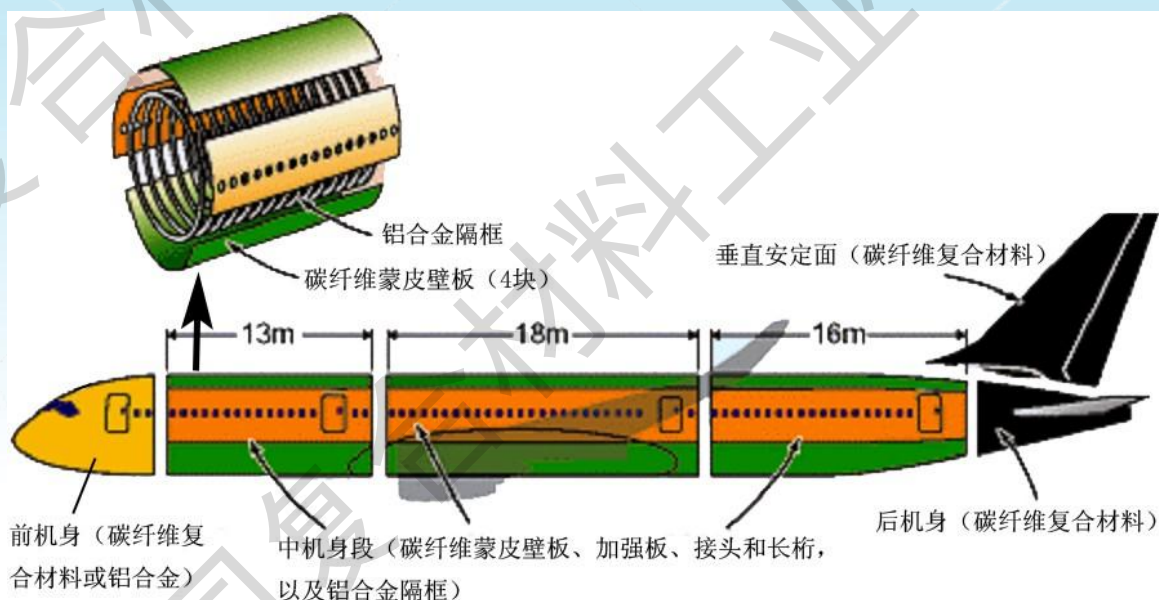
INVAR 36 Cost Elements



4. 复合材料结构设计中须注意的问题

4 整体结构设计与制造要有一定的基础

- 要有设计与分析经验
- 要有整体结构制造经验
- 应充分考虑结构的可修理性及使用维护成本





中国复合材料工业协会·先进复合材料专业委员会

敬请批评指正！





中国复合材料工业协会·先进复合材料专业委员会

中国复合材料工业协会成立于1984年，是经国家民政部注册，具有独立法人资格的社会团体（社证字第3258号），在国务院国资委党委领导下，由国家建材局发起，新中国对外开放后成立的第一批一级行业社团组织。协会多年来一直坚持党建为引领，积极服务行业、服务社会、服务企业，不断提升行业协会的凝聚力和组织力，推动着行业转型升级、创新发展规范着企业行为维护着企业间公平竞争发挥着行业自律的作用搭建起政府与行业、企业之间的桥梁和纽带，助力中国复合材料行业健康发展。



公众号
行业资讯、企业风采



视频号
会议直播、公益讲座

网站：www.ccia.xin

电话：010-88875799

地址：北京市海淀区板井路69号商务中心12FB