

加固电子设备结构设计探究

党博 李熹

北方电子研究院有限公司 陕西 西安 710100

摘要: 针对加固电子设备在严苛环境下的服役需求, 本文围绕结构加固设计展开探究。首先明确结构加固的核心需求、理论支撑与约束条件, 分析材料选型、内部布局等关键影响因素, 阐述材料选型原则与性能评估体系, 重点研究抗冲击振动、密封防尘防水及热-结构协同等核心防护设计技术。研究旨在为加固电子设备结构设计提供理论与技术参考, 实现设备在复杂环境下的环境适应性、结构可靠性与性能兼容性平衡, 保障核心功能稳定发挥。

关键词: 加固; 电子设备; 结构设计技术; 影响因素

引言: 随着电子设备应用场景向极端环境延伸, 力学冲击、恶劣温湿度等环境胁迫对设备结构稳定性提出严苛要求, 结构失效易导致核心功能瘫痪, 因此加固设计成为保障设备可靠运行的关键。当前加固设计面临防护性能与轻量化、多性能协同等多重矛盾, 现有研究仍需进一步完善技术体系。本文系统探究加固电子设备结构设计的核心逻辑与关键技术, 分析影响因素与设计要点, 为提升设备环境适应能力与长期可靠性提供解决方案, 具有重要工程实践意义。

1 加固电子设备结构设计的核心需求与理论基础

1.1 结构加固的核心需求维度

结构加固的核心需求源于设备服役环境的严苛性与自身功能的稳定性要求, 主要涵盖三个维度: (1) 环境适应性需求, 需抵御力学冲击、振动、极端温湿度、粉尘、水汽等多类环境胁迫, 确保结构在复杂环境中不发生失效; (2) 结构可靠性需求, 要求结构具备足够的承载能力、抗疲劳性能与长期稳定性, 避免因结构损坏导致内部电子元器件失效; (3) 性能兼容性需求, 结构设计需与设备的电气性能、热性能等协同匹配, 不能因结构加固影响设备核心功能的正常发挥, 实现结构防护与设备性能的平衡。这三大需求相互关联、不可割裂, 工程设计中需统筹兼顾, 通过科学的设计方案实现需求间的最优适配, 为设备在复杂工况下的长效稳定运行筑牢基础。

1.2 结构加固设计的理论支撑体系

结构加固设计的科学性依赖于多学科理论的支撑, 核心理论体系包括结构力学与材料科学两大核心领域。

(1) 结构力学为结构设计提供受力分析基础, 通过对结构的静力学、动力学特性分析, 明确结构在各类载荷作用下的应力分布、变形规律, 为结构强度优化、抗冲击振动设计提供理论依据; (2) 材料科学则为结构选型

提供支撑, 明确不同材料的力学性能、环境耐受性等核心指标, 指导材料的合理匹配与应用, 确保结构材料能满足加固需求, 同时兼顾结构轻量化等设计目标。热力学理论也为结构与热设计的协同优化提供理论参考, 保障结构在温度变化环境下的稳定性。唯有如此, 才能充分发挥结构加固价值, 保障设备在全生命周期内的可靠服役。

1.3 结构设计的核心约束条件

结构加固设计要在满足核心需求的基础上, 应对以下多重约束条件的限制。(1) 为结构尺寸与重量约束, 加固结构不能过度增大设备体积或增加重量, 需在防护性能与轻量化之间寻求平衡; (2) 为工艺可行性约束, 结构设计需适配现有加工制造工艺, 确保结构能够精准成型, 同时控制制造成本; (3) 为性能协同约束, 结构加固不能破坏设备的电磁兼容性、散热效率等关键性能, 需通过结构布局优化、材料选型匹配等方式, 实现结构防护与其他性能的协同兼容, 避免设计冲突^[1]。

2 加固电子设备结构设计的关键影响因素

2.1 材料选型对结构加固效果的影响

材料选型是结构加固设计的基础, 直接决定结构力学承载能力与环境耐受性。不同材料的弹性模量、抗拉强度等力学指标影响抗冲击振动能力, 耐高低温、耐腐蚀等特性决定恶劣环境长期稳定性。同时, 材料密度、加工性能间接影响加固效果, 如高密度材料可能与轻量化需求冲突, 加工性能差易导致成型精度不足。因此, 材料选型需综合权衡加固性能、环境适配性与设计约束。

2.2 设备内部布局与受力合理性分析

内部布局科学性直接影响受力分布与加固有效性。布局需遵循受力均衡原则, 避免应力集中, 合理规划载荷传递路径以分散承载压力; 兼顾结构稳定性, 防止重

心偏移产生额外惯性力加剧损伤；同时预留连接、密封及热设计空间，避免设计冲突，保障加固与其他性能协同实现。

2.3 连接方式与密封结构的加固作用

连接方式与密封结构是加固关键，影响结构整体性与环境防护能力。连接方式需适配受力特点与应用场景，确保连接部位承载可靠，避免松动断裂；密封结构需阻断环境介质侵入，其设计需与结构受力状态适配，防止结构变形导致密封失效，同时增强自身抗冲击振动能力，保障防护持续性。

2.4 热设计与结构加固的协同优化要求

热设计与结构加固存在相互制约关系，协同优化是设备稳定运行的关键。热量积聚会降低材料力学性能削弱加固效果，而加固设计若忽视散热可能遮挡通道、增加热阻。因此，需通过布局预留散热空间、选型兼顾导热与加固需求、采用利于散热的结构形式，实现加固性能与散热效率的平衡统一^[2]。

3 加固电子设备的材料选型与性能评估

3.1 加固电子设备材料选型的核心原则与适配逻辑

加固电子设备材料选型需基于环境需求、结构功能与工程可行性开展多维度协同决策，核心遵循三大原则。一是环境适配性优先，针对极端温湿度、腐蚀粉尘、冲击振动等核心环境胁迫，匹配材料对应的热稳定性、耐蚀性、强韧度等耐受性能。二是结构功能协同，在保障结构强度、刚度的前提下，选用低密度材料兼顾轻量化需求，同时确保材料加工成型性能适配结构复杂度，保障连接与密封可靠性。三是工程经济性与可行性，平衡材料性能与成本，确保材料采购渠道、加工工艺成熟度适配批量生产需求。在此基础上，遵循“环境胁迫分析—性能指标拆解—材料特性匹配—工程可行性验证”的适配逻辑，实现选型精准化。

3.2 加固电子设备材料的性能评估体系与实施要点

为保障材料可靠性，需建立覆盖基础力学性能、环境耐受性能与长期稳定性的全维度评估体系。基础力学性能评估聚焦抗拉强度、屈服强度等关键指标，明确材料在静动态载荷下的承载与变形规律，为结构设计提供数据支撑。环境耐受性能评估需模拟真实服役环境，通过高低温循环、湿热老化、盐雾沙尘等测试，全面考核材料的热稳定性、耐潮防腐及抗侵蚀能力。长期稳定性评估通过加速老化、疲劳循环等试验，预测材料性能衰减规律，保障服役寿命。实施中需确保测试条件与真实环境一致，同时建立评估数据与选型的反馈机制，形成“选型—评估—优化”闭环，保障材料性能与加固需求

精准匹配^[3]。

4 加固电子设备核心防护结构设计技术

4.1 抗冲击与抗振动结构设计技术

抗冲击与抗振动结构设计核心是通过结构形态优化、缓冲机制构建及载荷传递路径规划，削弱冲击振动对核心部件的影响，关键技术要点如下：（1）结构刚度与强度匹配设计：结合设备尺寸、重量约束及冲击振动载荷等级，精准计算壳体厚度，采用梯度厚度设计强化关键受力部位；加强筋沿载荷主传递方向优化布局（纵向、横向交叉或网格状），明确截面尺寸与间距，避免局部结构突变引发应力集中；壳体转角、边角采用圆弧过渡，合理设定半径以降低直角结构应力叠加。（2）缓冲减振系统参数设计：基于冲击振动载荷幅值、频率特性及衰减需求，选定适配缓冲减振材料并明确刚度、阻尼系数等核心参数；缓冲构件采用模块化设计，优先在设备与安装基座、核心元器件与壳体间设置缓冲层，确保载荷均匀分布与全方向振动衰减；严格控制压缩量与最大变形行程，避免材料失效或减振效能不足。（3）内部构件固定与限位设计：核心元器件、电路板采用刚性固定与柔性缓冲复合方式，关键部件配备定制支架，支架与壳体连接处增设减振垫圈并明确材料类型与压缩比；对大质量部件进行限位设计，设定合理位移范围防止窜动引发二次损伤；电路板避开壳体振动节点，采用悬空固定或弹性支撑降低振动传递效率。（4）载荷传递路径优化设计：通过结构力学仿真明确主传递路径，采用一体化成型工艺减少连接节点，降低能量损耗与应力集中；在关键节点设置能量吸收结构，通过局部塑性变形耗散冲击能量；优化内部腔体容积与形状，避免共振腔体形成以降低共振风险。（5）结构动态特性优化设计：开展模态分析明确固有频率，确保远离外部激励频率避免共振；针对性强化结构薄弱部位，提升整体抗疲劳性能与使用寿命。

4.2 密封与防尘防水结构加固设计

密封与防尘防水结构设计核心是构建连续可靠防护屏障，阻断粉尘、水汽侵入，关键技术要点如下：（1）密封结构类型选型：根据密封等级、服役环境介质特性及安装空间约束，合理选择静密封（平面、圆柱面密封）或动密封（旋转、往复密封）类型，明确适用场景与设计规范，确保与需求精准匹配。（2）密封面精准设计：严格控制加工精度与表面粗糙度，去除毛刺、划痕等缺陷；保证平面密封面平面度与曲面密封面弧度一致性，根据密封压力等级设定密封面宽度；预留合理加工与装配余量便于后续调整。（3）密封件选型与参数

设计：结合密封介质、工作温度、压力等工况，选择橡胶、硅胶、聚四氟乙烯等适配材料，明确耐温性、耐腐蚀性等参数；精确定义密封件截面形状、尺寸规格与压缩量，确保压缩均匀，避免过压永久变形或欠压密封失效；恶劣环境采用组合密封件提升可靠性。（4）结构拼接密封设计：壳体拼接处采用连续密封工艺与合理密封槽结构，确保密封件精准嵌入；螺栓连接采用对称均匀紧固方式并设定统一力矩标准，避免受力不均产生缝隙；拼接面采用台阶式或迷宫式结构，延长介质侵入路径提升密封效果。（5）动态密封专项设计：相对运动部位采用弹性密封结构，确保运动中与部件紧密贴合；合理设定配合间隙，避免过大失效或过小过度磨损；增设防尘圈形成多级防护。（6）排水排尘辅助设计：低洼部位设排水孔、易积尘部位设排尘通道，明确位置、尺寸与数量；配备可拆卸密封塞，兼顾非工作状态密封与维护清理；优化外形为流线型，减少粉尘堆积与水汽滞留。（7）密封可靠性强化设计：关键部位采用双重密封提升防护冗余；设计考虑温度变化、结构变形影响，预留补偿空间避免环境变化导致失效。

4.3 加固电子设备的热-结构协同设计

热-结构协同设计核心是平衡结构加固性能与散热效能，避免二者制约，关键技术要点如下：（1）热-结构协同布局：结合内部热源分布与加固需求规划布局，确保散热通道畅通，避免加固构件遮挡；核心发热元器件靠近散热面布置缩短传热距离；满足强度要求前提下优化内部支撑结构，减少散热空间占用。（2）材料热-力学性能协同选型：优先选择高强度与高导热性结构材料，明确导热系数、弹性模量、抗拉强度等参数，实现加固与散热协同；复合结构设计合理匹配不同材料热膨胀系数，减少温度变化引发的热应力，避免结构变形或密封失效。（3）散热与加固结构一体化：将散热肋片、通道与壳体一体化设计，提升散热面积同时增强刚度；肋片沿传热方向优化布局，合理设定高度、间距与厚度，兼顾散热效能与抗断裂能力；关键部位增设加强筋提升抗

冲击振动性能。（4）热应力补偿设计：开展热-结构耦合仿真明确热应力分布，在集中部位设计柔性连接段、伸缩缝等温度补偿结构；合理选择补偿材料与尺寸，确保自由伸缩释放热应力避免结构损伤。（5）散热介质流路优化：强制散热设备优化风扇、管路安装位置确保流通顺畅；管路采用柔性连接减少振动影响，避免干扰结构加固；连接处增设隔热垫，减少热量传递对密封性能的影响。（6）热防护与结构加固协同：高温环境设备外层设计隔热防护层，选择耐高温、低导热材料并明确厚度与固定方式，确保冲击振动下固定可靠且不影响整体刚度；低温环境设计保温结构，减少热量流失避免结构低温脆化失效。（7）性能验证与优化：开展热-结构耦合性能测试，检测不同温度工况下的温度分布与应力状态，验证加固与散热效能；根据测试结果优化参数，形成“设计-仿真-测试-优化”闭环流程，确保协同性能达标^[4]。

结束语：本文全面梳理了加固电子设备结构设计的核心需求、约束条件与关键影响因素，构建了材料选型评估体系，深入剖析了三类核心防护结构设计技术。研究表明，结构加固设计需依托多学科理论，实现材料、布局、密封与热设计的协同优化。未来可结合仿真技术深化动态性能研究，探索新型高性能材料应用，进一步提升设计精准度与设备防护等级。本研究成果可为相关工程设计提供借鉴，助力推动加固电子设备技术的迭代升级。

参考文献

- [1]黄巍,李理,秦小晋.某机载电子设备抗振加固优化设计[J].智能制造,2025(2):74-79.
- [2]缪伟,顾鑫,陈健,李涛.电子设备机箱结构设计技术研究[J].中国设备工程,2025(18):129-131.
- [3]南瑞亭.模块化电子设备机箱散热结构与仿真[J].机电工程技术,2022,51(12):187-193.
- [4]董伟,姜健,刘治虎,苗力.基于正向设计方法的机载电子设备结构设计研究[J].机械工程师,2022(6):36-38+42.