

# 电子结构工程中的抗震设计与结构优化方法

吴俊洋

浙江东方科信网络有限公司, 中国·浙江 温州 325609

**摘要:** 论文系统探讨了电子结构抗震设计与优化方法, 分析了隔震、减震、加固等抗震措施对设备稳定性的提升作用, 并结合拓扑优化、形状优化、尺寸优化和布局优化等方法, 实现结构的轻量化与高效性设计。研究表明, 通过综合运用抗震设计与优化方法, 可以显著提高电子设备在地震环境下的抗震性能, 为设备安全与可靠运行提供保障。

**关键词:** 抗震设计; 结构优化; 电子设备

## Seismic Design and Structural Optimization Methods in Electronic Structure Engineering

Junyang Wu

Zhejiang Dongfang Kexin Network Co., Ltd., Wenzhou, Zhejiang, 325609, China

**Abstract:** This paper systematically explores the seismic design and optimization methods of electronic structures, analyzes the improvement effect of seismic measures such as isolation, damping, and reinforcement on equipment stability, and combines topology optimization, shape optimization, size optimization, and layout optimization methods to achieve lightweight and efficient design of structures. Research has shown that by comprehensively applying seismic design and optimization methods, the seismic performance of electronic devices in earthquake environments can be significantly improved, providing guarantees for the safe and reliable operation of equipment.

**Keywords:** seismic design; structural optimization; electronic devices

### 0 前言

随着电子设备在各类工程和日常生活中应用的增多, 其抗震设计的需求愈发迫切。电子结构工程涉及大量精密、复杂的结构和元件, 一旦发生地震等突发振动, 电子结构的稳定性和功能性将受到严重威胁, 尤其在通信、医疗、军工等关键领域, 地震可能导致设备失效或数据丢失, 进而引发更为广泛的社会问题<sup>[1]</sup>。因此, 为确保电子设备在地震中能够维持稳定性和功能, 研究其结构的抗震设计方法具有重要现实意义。

## 1 电子结构工程中的抗震设计概述

### 1.1 电子结构工程的定义与特点

电子结构工程是围绕电子设备及其内部系统的结构设计和性能优化而展开的学科, 涉及从元器件布局、材料选择到系统集成的各个环节。电子设备结构通常由壳体、支架、印刷电路板 (PCB)、电气连接件等组成, 其共同作用形成一个支持和保护内部敏感元件的整体。电子结构的特点包括轻量化、精密化和高集成度。在抗震设计中, 这些特点使得电子结构需要更加灵活的设计方案, 以应对复杂的振动载荷条件。

轻量化设计是现代电子结构的重要趋势, 旨在减少设备总重量, 提升便携性和结构灵活性。然而, 轻量化同时也降低了结构在地震中的惯性抗震能力。精密化设计要求在有限空间内整合更多的元件, 使得内部空间布局更为紧凑, 但

这也增加了振动传递的复杂性。高集成度则使得设备内部各个元件紧密相连, 在振动载荷下易发生位移或挤压。因此, 在电子结构工程中, 必须根据设备的特性采取不同的抗震设计策略, 既保障设备整体的稳定性, 也保护内部敏感元件免受震动影响。

### 1.2 抗震设计的基本原则

电子结构抗震设计的基本原则在于保护核心功能元件, 保证振动传递过程中的能量吸收和分散, 从而避免结构和元件的损坏。首先, 抗震设计要确保设备的核心功能不受地震干扰, 特别是对于通信设备、医疗设备等关键领域的设备, 抗震设计的核心在于保护功能元件, 使其能够在地震后迅速恢复工作。抗震设计的第二个原则是减震和吸能, 通过减震材料和结构设计吸收地震能量, 减少震动传递至核心元件的可能性。此外, 抗震设计还要考虑设备的耐久性和功能恢复性, 即在反复地震或余震作用下, 设备的抗震设计能够维持其性能, 并在震动消失后快速恢复到正常工作状态。为了实现这些原则, 抗震设计需要综合应用隔震、减震、加固和柔性设计等多种方法, 根据设备的不同结构特点进行合理的设计优化。

### 1.3 抗震设计的主要方法概述

电子结构抗震设计方法主要包括隔震设计、减震设计、加固设计和柔性设计。隔震设计通过在设备结构与地面之间设置隔震装置, 隔离地震能量的传递, 从而保护设备内部元件不受直接震动影响。常用的隔震装置包括橡胶垫、减震器

和阻尼材料,能够有效降低震动的传递路径,使设备在地震过程中保持相对稳定<sup>[2]</sup>。

减震设计是通过选择和应用具有高阻尼性能的材料,如弹性元件和阻尼材料,来吸收振动能量,从而降低振动对设备结构的破坏。减震设计可以是被动减震,也可以是主动减震。被动减震依赖于材料本身的阻尼特性,而主动减震则利用传感器实时监测震动,并通过调节系统参数来抵消震动影响。

加固设计则侧重于增强设备结构本身的抗震能力,通常对关键部位如支撑架、连接件和底座进行加固。通过加厚材料、增加支撑结构或采用高强度连接方式,加固设计可以增强设备的整体刚性,提高其在地震中的抗剪切能力。

柔性设计通过采用柔性支撑结构,将部分震动能量分散至设备整体,防止震动集中于单一部件。柔性设计在电子结构抗震设计中尤为重要,因为其能够避免关键部件因震动集中而过度受力。

#### 1.4 电子结构抗震设计的实际应用场景

电子结构抗震设计在多种场景中得到了广泛应用,尤其是通信、医疗、交通和工业控制领域。通信设备抗震设计主要关注通信信号传输的连续性和设备的耐久性,通过隔震和减震设计确保设备在地震后仍能正常运转。医疗设备的抗震设计尤为重要,特别是在震后需要立即使用的设备中,抗震设计不仅要确保设备完好,还需保障设备内部数据和存储系统的安全。

工业控制设备的抗震设计则通常结合加固和柔性设计,确保控制系统在振动环境下不因元件损坏或连接松动而失效。交通设备中的电子控制系统对抗震设计也有极高要求,通过隔震和减震设计来保护系统不受地震冲击,以保证交通的安全性和稳定性。

## 2 电子结构抗震性能影响因素

### 2.1 地震特性对电子结构的影响

地震特性是影响电子结构抗震性能的首要外部因素,包括震动频率、加速度和冲击力等。不同地震波会对电子结构产生不同的影响,例如低频地震波可能导致结构的整体晃动,而高频振动则容易引发电子元件内部的细小振动和松动。在强烈震动下,电子设备的支撑结构可能会受到显著应力,导致位移、变形甚至失效。此外,振动加速度直接影响电子结构内部元件的稳定性,大加速度会导致结构内部的连接件、插件和电路板等遭受较大冲击,从而加剧电子结构的失稳。对于复杂的电子设备而言,地震时的多重冲击力会在不同位置形成应力集中区域,增加震动破坏的风险,因此地震特性成为设计抗震措施时必须考虑的关键因素。

### 2.2 结构特性对抗震性能的影响

电子结构的材料和形状特性对其抗震性能有重要影响。材料特性方面,不同材料的强度、韧性和质量分布决定了设

备结构在地震中的抗冲击能力。例如,金属材料通常具备较高的强度和韧性,可以有效承受振动应力,而塑料或复合材料则可能在强烈震动下发生变形或断裂。

结构形状和设计也会直接影响抗震性能。例如,框架结构能够均匀分散震动应力,适用于承受较大冲击的场合;壳体结构具有良好的封闭性和整体性,能够在一定程度上保护内部元件不受震动影响;而悬挂结构则能通过吊装方式分散震动冲击,从而减轻关键部位的应力集中。然而,每种结构形状也存在其抗震性能的限制性,设计过程中需要根据设备应用环境和抗震需求选择最优结构。

### 2.3 电气组件与连接方式

电气组件的布局 and 连接方式也是影响抗震性能的关键内部因素。在振动载荷作用下,电子结构内部的元件布局会影响设备的整体稳定性。例如,将重心位置合理地布置在设备中心有助于提升整体平衡,减少振动引起的倾斜和位移风险。同时,元件的布局也需要避免相互碰撞和振动引起的相对位移,特别是在多层结构的电子设备中,合理的层级设计和布局可以提高抗震能力。

连接件和电气接插件的抗震性能也极为重要。抗震设计中常用的连接件类型包括螺栓连接、焊接和卡接等,每种方式对震动的耐受能力不同。焊接和螺栓连接通常较为稳固,适用于高振动环境,而卡接方式虽然便于安装和维护,但在强震下可能出现松脱风险。

## 3 电子结构的抗震设计方法

### 3.1 隔震设

隔震设计通过在电子设备的结构与地面之间设置隔震装置,有效隔离地震能量的传递,减少震动对设备内部元件的直接影响。隔震设计的关键在于减弱设备与地面的刚性连接,从而避免震动直接传递到敏感元件。常见的隔震装置有橡胶垫、弹簧减震器和高阻尼材料等。橡胶垫因其弹性特性,能够吸收震动并缓冲冲击力,适用于小型和轻量化的电子设备。弹簧减震器则适用于较大型的设备,弹簧的回弹性可有效减少震动的传递,常用于需要额外支撑的大型电子设备。高阻尼材料通过其内部的分子摩擦耗散能量,能够显著降低振动能量的传递,是隔震设计中的理想选择。隔震设计通过阻隔地震力传递,显著提高设备在震动条件下的稳定性。

### 3.2 减震设计

减震设计旨在通过使用具有高阻尼特性的材料吸收振动能量,从而降低振动对设备结构的破坏。减震材料常见的有弹性体和阻尼材料。弹性体材料如硅胶和橡胶能够通过变形吸收振动能量,适合应用于设备内部的关键连接部位。阻尼材料则包括高分子聚合物、阻尼胶等,这些材料在振动环境下能通过分子层间摩擦消耗能量,起到良好的减震作用。减震设计可以分为被动减震和主动减震两种类型。被动减震通过材料本身的特性来吸收能量,而主动减震则依赖于传感

器实时监测振动数据,并通过控制系统调整设备参数,以达到最佳的减震效果。减震设计适合应用在对抗震要求较高的电子设备中,例如医疗设备和通信设备,确保设备在震动环境下的耐久性。

### 3.3 加固设计

加固设计主要针对电子设备的关键结构部位,通过增强结构刚性和强度来提升整体抗震能力。加固设计通常适用于设备的支撑架、连接件、底座等位置,主要措施包括材料加厚、增加支撑件和高强度连接。材料加厚是增加结构壁厚或加固框架,以提升结构的抗剪切和抗弯性能,从而降低振动应力的集中效应。增加支撑件是一种增强支撑刚性的措施,通常在设备内部增设横向或纵向支撑杆,防止振动引发的位移和变形。高强度连接则通过采用高强度螺栓、焊接等方式连接关键部件,使得整体结构更加稳固,避免因震动而发生连接松动。加固设计是提升电子设备结构稳定性的有效方法,适用于需要长期稳定性的工程电子设备。

### 3.4 柔性设计

柔性设计是一种通过引入柔性支撑结构来提升设备抗震性能的方法。通过柔性支撑结构,设备可以在震动时产生一定的弹性变形,从而分散震动应力、降低震动集中度,减少关键元件的损伤风险。柔性支撑结构通常采用橡胶支撑、悬挂系统等方式,通过弹性变形来缓解冲击。柔性支撑能够有效地避免设备在震动条件下产生应力集中,尤其在对冲击敏感的元件周围增加柔性支撑,可以显著提升设备的抗冲击能力。

### 3.5 抗震设计方法的综合应用

在实际工程中,单一的抗震设计方法难以完全满足复杂环境中的抗震需求,通常需要将隔震、减震、加固和柔性设计结合使用,以实现最佳的抗震效果。例如,对于结构复杂的大型电子设备,可以在底部安装橡胶隔震垫以隔离地震能量,在内部关键部件添加阻尼材料用于减震,并通过加固关键连接件来增强整体强度。对于震动要求极高的设备,如医疗影像设备,则可以同时采用主动减震系统和柔性支撑,进一步提高抗震效果。

## 4 电子结构的优化设计方法

### 4.1 拓扑优化

拓扑优化是一种基于数学算法的结构设计方法,主要用于确定材料在结构中的最佳分布。通过拓扑优化,可以在满足结构抗震需求的前提下,去除非必要的材料,降低设备的重量,同时保持结构的整体刚性和强度。拓扑优化在电子结构中广泛应用于壳体、框架等主要承力部位,以确保结构在承受地震力时表现出更好的抗震性能。例如,对于较大或形状复杂的电子设备,可以通过拓扑优化设计出轻量化的支撑框架,确保在震动条件下既不牺牲稳定性,也能减少重量,有效提升抗震性能。

### 4.2 形状优化

形状优化侧重于通过调整结构的外形设计来提升其抗震性能。电子结构中的应力集中部位往往是振动最为敏感的区域,优化设计中可通过流线型设计或圆角设计来减小应力集中效应,从而提高结构的稳定性。此外,形状优化还能通过调整电子设备的外形,使其结构更为均匀,以减小振动传递过程中可能产生的共振效应。

### 4.3 尺寸优化

尺寸优化主要通过调整电子结构的各个组件尺寸、厚度和比例,以平衡材料的强度和韧性,从而提高抗震性能。尺寸优化的核心是确保结构在震动条件下的刚性与柔性之间的平衡。例如,在电子设备的支撑部件上适当增加壁厚可以增强抗震刚性,而在震动较小的部分减小壁厚以降低重量,则可有效减少震动传递。此外,尺寸优化还包括确定关键部位的厚度和尺寸,以防止在地震冲击下产生变形或断裂。通过对各部件进行尺寸优化,可以显著提升结构的整体抗震能力,并保持材料的经济性。

### 4.4 结构布局优化

结构布局优化是通过合理布置电子设备的各个元件和组件位置,以实现最佳的抗震性能。设备的重心位置和关键部件的布置对其在震动下的稳定性至关重要。合理的布局可以使震动能量均匀分散,从而减少震动引发的倾斜和位移风险。例如,将设备的重心位置设置于靠近中心部位,可以降低震动导致的失稳概率。对于多层电路板结构的设备,可以通过层级优化设计,使得不同层的电路板在震动条件下不相互干扰。布局优化还包括关键组件周围设置柔性缓冲层,进一步降低震动对敏感元件的影响。结构布局优化不仅能够显著提升设备的抗震性能,还可提高其内部空间利用率。

### 4.5 电子结构优化设计的综合应用

在实际电子结构优化设计中,通常会综合运用上述多种优化方法。不同设备的抗震需求和设计要求各异,因此需要结合实际情况确定最佳的优化方案。

## 5 结语

电子结构抗震设计与优化方法在保障设备安全性和稳定性方面具有重要的作用。可以通过隔震、减震、加固、柔性设计等多种抗震措施的结合应用,能够有效提升电子设备在震动环境下的抗震性能。与此同时,拓扑、形状、尺寸和布局优化方法的运用,使得结构设计更加的轻量化和高效。未来,将随着仿真技术和智能材料的进一步发展,电子结构的抗震设计和优化将更加精准,为复杂环境中的设备运行提供可靠保障。

### 参考文献:

- [1] 徐长城.二维材料堆叠结构间弱相互作用及电子结构研究[D].沈阳:辽宁大学,2023.
- [2] 刘歆.强关联多电子体系的优化模型与算法[J].计算数学,2023,45(2):141-159.