

电子产品中结构件的失效模式与可靠性分析

张 琪

河北远东通信系统工程有限公司 河北 石家庄 050000

摘要: 本文旨在深入探讨电子产品中结构件的失效模式及其可靠性分析方法, 为提升电子产品的整体质量和延长使用寿命提供理论依据和实践指导。通过系统梳理结构件的主要失效模式, 结合可靠性工程理论, 分析失效机理, 并提出相应的预防和改进措施, 以期促进电子产品行业的可持续发展。

关键词: 电子结构件; 失效模式; 可靠性

引言

随着电子技术的飞速发展, 电子产品已成为现代社会不可或缺的一部分。然而, 电子产品中的结构件作为支撑和保护内部元器件的关键部分, 其可靠性和耐久性直接影响产品的整体性能和使用寿命。因此, 对电子产品中结构件的失效模式进行深入研究, 并开展可靠性分析, 对于提高产品质量、降低维护成本具有重要意义。

1 电子产品结构件的主要失效模式

1.1 机械失效

机械失效是电子产品结构件常见的失效模式, 其中断裂和变形是最主要的两种形式。断裂通常源于材料内部的缺陷, 如夹杂物、裂纹或气孔, 这些缺陷在结构件承受应力时可能成为裂纹源, 进而引发断裂。应力集中也是导致断裂的重要因素, 特别是在结构件的几何形状突变处, 如孔洞、凹槽或尖角。过载则是直接超过结构件承载能力的应力状态, 长期承受交变载荷或冲击载荷的结构件, 如振动环境下的连接器, 易发生疲劳断裂^[1]。变形方面, 弹性变形是结构件在应力作用下形状的改变, 卸载后可完全恢复。而塑性变形则是结构件在应力超过弹性极限后发生的永久形状改变, 过大的塑性变形不仅影响结构件的尺寸精度, 还可能导致其功能失效, 如配合面的松动或卡滞。

1.2 环境失效

环境失效是电子产品结构件面临的另一大类失效模式, 其中腐蚀和热应力失效尤为突出。腐蚀主要发生在金属结构件上, 当它们处于潮湿、酸性或碱性环境中时, 金属表面会与周围介质发生化学反应, 导致材料逐渐损失其原有的性能。这种化学反应不仅会削弱结构件的机械强度, 还可能引起外观的改变, 如锈蚀斑点的出现。热应力失效则是由于温度变化引起的, 不同材料具有不同的热膨胀系数, 当结构件由多种材料组成时, 温度变化会导致各材料之间产生热应力。长期受到热应力作用的结

构件, 如经常经历高温和低温循环的电池壳体, 易发生裂纹或断裂, 从而影响其整体性能和可靠性。

1.3 材料失效

材料失效是电子产品结构件失效的又一重要模式, 其中老化和杂质与缺陷是主要的失效原因。老化主要发生在塑料、橡胶等有机材料中, 这些材料在长期使用过程中, 会因氧化、紫外线照射、温度变化等因素逐渐发生化学和物理性能的变化, 导致材料变硬、变脆或失去弹性, 从而使其力学性能下降甚至完全失效。例如, 塑料外壳在长期使用后可能会因为老化而变得脆弱, 容易破裂。杂质与缺陷则是材料失效的另一大原因。原材料中的杂质, 如金属夹杂物、未反应的化学物质等, 以及制造过程中产生的缺陷, 如裂纹、气泡、夹杂等, 都会降低结构件的力学性能, 如强度、韧性和疲劳寿命, 从而增加其失效风险。这些杂质和缺陷可能成为结构件中的应力集中点, 引发裂纹的萌生和扩展, 最终导致结构件的失效。

2 电子产品结构件的可靠性分析方法

2.1 失效模式与影响分析(FMEA)

失效模式与影响分析(FMEA)是一种结构化的、系统性的可靠性分析方法, 它专注于识别、评估电子产品结构件所有可能的失效模式, 以及这些失效模式对产品整体功能、性能和安全性的潜在影响。FMEA的核心在于详细分析结构件在设计、制造、使用等各个阶段可能遇到的每一种失效模式, 这包括但不限于机械失效、环境失效和材料失效等。在进行FMEA分析时, 首先需要建立一个全面的失效模式清单, 列出所有可能的失效模式及其原因。随后, 对每个失效模式进行严重性(S)、发生概率(O)和检测难度(D)的评估, 这三个参数共同决定了失效模式的风险等级(RPN)。严重性评估主要考察失效模式对产品功能的影响程度, 发生概率则评估失效模式在实际使用中出现的可能性, 而检测难度则反映了

在产品制造或使用过程中发现该失效模式的难易程度^[2]。通过FMEA分析,设计师和工程师可以在产品设计阶段就识别出潜在的失效风险,并采取相应的预防措施或设计改进,从而避免或减少这些失效模式在实际产品中的出现。此外,FMEA还可以为产品的制造、测试和维护过程提供重要的参考信息,帮助制定更为有效的质量控制和故障排查策略。

2.2 加速寿命试验

加速寿命试验是一种高效的可靠性分析方法,它通过在比正常工作条件更为严苛的环境中测试电子产品结构件,以加速其老化过程。这种方法能够在相对短的时间内,有效地评估结构件的长期可靠性,从而显著缩短产品开发和验证的周期。在加速寿命试验中,通常会选择一种或多种主要的失效模式作为测试的重点,例如机械疲劳、腐蚀或材料老化等。然后,通过调整测试环境的温度、湿度、振动等参数,模拟出比正常使用条件更为严酷的工作环境。在这样的环境下,结构件的老化过程会被显著加速,使得在较短时间内就能观察到其性能的变化和失效模式的出现。加速寿命试验的关键在于确定合适的加速因子,即测试环境与正常工作环境之间的差异程度。加速因子需要足够大,以便在短时间内观察到显著的性能变化,但又不能过大,以免导致失效模式与实际使用情况不符。因此,在进行加速寿命试验之前,需要对结构件的材料、制造工艺以及预期的使用环境进行深入的分析研究。通过加速寿命试验,可以获得结构件在严苛环境下的性能数据,包括失效时间、失效模式以及性能退化速率等。这些数据可以为产品设计、材料选择和制造工艺的优化提供重要的参考依据。同时,加速寿命试验还可以帮助制定更为合理的产品维护计划和故障排查策略,从而提高产品的整体可靠性和使用寿命。

2.3 有限元分析(FEA)

有限元分析(FEA)是一种在电子产品结构件可靠性分析中广泛应用的数值方法,它通过将复杂的结构件划分为若干个简单的有限元(即小的子区域或单元),并基于这些单元的力学行为来预测整体结构的响应。在FEA过程中,首先需要建立结构件的几何模型,这通常通过CAD软件完成。随后,将模型划分为一系列相互连接的有限元网格,网格的密度和质量直接影响分析结果的准确性和计算效率。对于复杂的电子产品结构件,可能需要采用高级网格划分技术来确保关键区域的网格精度。在FEA中,需要准确输入每个有限元单元的材料属性,如弹性模量、泊松比、密度、热膨胀系数等。这些属性对

于预测结构件在不同应力条件下的行为至关重要。根据结构件的实际工作环境,设置合适的边界条件,如固定约束、滑动约束等。施加相应的载荷,这些载荷可以是静态的(如重力、压力),也可以是动态的(如振动、冲击)。利用FEA软件求解结构件的应力、应变、位移等响应。分析结果,识别结构件中的高应力区域、薄弱点以及潜在的失效模式。根据分析结果,优化结构设计,提高结构件的可靠性。FEA还可以用于模拟热应力、疲劳损伤等复杂现象,以进一步评估结构件的长期可靠性。通过多物理场耦合分析,考虑温度、电磁场等因素对结构件性能的影响。

3 提高电子产品结构件可靠性的措施

3.1 优化结构设计

优化结构设计是提高电子产品结构件可靠性的关键措施之一。这涉及到对结构件的形状、尺寸和连接方式进行合理设计,以减少应力集中和变形风险。具体来说,可以通过采用圆角过渡、优化截面形状等方法来降低应力集中,从而提高结构件的抗疲劳性能。同时,合理选择结构件的尺寸也是至关重要的,这包括厚度、宽度、长度等参数的确定,以确保结构件在承受预期载荷时不会发生过度变形或破坏。除了形状和尺寸的优化,连接方式的选择也对结构件的可靠性有着重要影响。在实际应用中,应优先考虑采用焊接、粘接等高强度连接方式,以提高结构件的整体强度和稳定性^[3]。同时,还可以采用冗余设计或容错设计策略,即在关键部位设置多个相同或相似的结构元件,以提高产品的容错能力。这种设计策略可以在某个结构元件发生故障时,通过其他元件的替代作用来保证产品的正常工作,从而进一步提高产品的可靠性。

3.2 选用优质材料

选用优质材料是提高电子产品结构件可靠性的另一项关键措施。为了确保结构件在恶劣环境下仍能保持良好的工作状态,必须选择那些具有优良力学性能和耐腐蚀性能的材料。例如,对于需要承受高应力的结构件,可以选择高强度、高韧性的合金材料;而对于需要在腐蚀性环境中工作的结构件,则可以选择具有优异耐腐蚀性能的不锈钢或钛合金材料。在选择材料时,除了考虑其力学性能和耐腐蚀性能外,还需要关注其加工性能、成本以及可获得性等因素。同时,对原材料进行严格的质量控制也是至关重要的。这包括对原材料进行化学成分分析、力学性能测试以及无损检测等,以确保其符合设计要求,并避免杂质和缺陷对产品性能的影响。为了进一步提高电子产品结构件的可靠性,还可以在材料表

面涂覆保护层或进行表面强化处理。例如，通过喷涂防腐涂料或电镀一层耐腐蚀金属，可以有效提高结构件的耐腐蚀性能；而通过表面淬火或渗碳等工艺，则可以增强结构件的表面硬度和耐磨性，从而提高其使用寿命。

3.3 加强制造工艺控制

加强制造工艺控制是提高电子产品结构件可靠性的重要环节。为了实现这一目标，必须严格控制制造过程中的各个环节，确保结构件的加工精度和表面质量。这包括对原材料的预处理、加工设备的选择与维护、加工工艺参数的设定与优化，以及加工过程中的质量检测与控制等。在制造工艺过程中，应优先采用先进的制造工艺和设备，以提高产品的制造质量和一致性。例如，使用高精度的数控机床和加工中心，可以确保结构件的尺寸和形状精度；而采用先进的表面处理技术，如电镀、喷涂等，则可以进一步提高结构件的表面质量和耐腐蚀性能。同时，加强制造工艺控制还需要建立完善的质量管理体系，对加工过程中的关键环节进行实时监控和记录，以便及时发现并纠正潜在的质量问题。此外，定期对制造工艺进行评审和改进，也是提高产品可靠性的重要手段^[4]。加强制造工艺控制对于提高电子产品结构件的可靠性具有重要意义。通过严格控制制造过程中的各个环节，采用先进的制造工艺和设备，并建立完善的质量管理体系，可以有效提高结构件的加工精度和表面质量，进而提升电子产品的整体可靠性和使用寿命。这些措施对于确保电子产品在长期使用过程中的稳定性和耐久性具有重要作用。

3.4 实施定期维护与检查

实施定期维护与检查是提高电子产品结构件可靠性的重要策略。这一策略的核心在于，通过对电子产品进行定期的专业维护和细致检查，能够及时发现并妥善处理结构件可能存在的潜在问题，从而有效防止这些问题的进一步恶化和对电子产品整体性能的影响。在具体实施上，首先需要建立一套完善的维护计划，明确维护的周期、内容和方法。维护周期可以根据电子产品的使用频率、工作环境以及制造商的建议来确定，以确保在

关键的时间节点对电子产品进行全面的检查和维护。维护内容则包括清洁、紧固、润滑、更换磨损件等，以确保结构件的正常运转和延长使用寿命。在维护过程中，还应特别注重对结构件的细致检查。这包括观察结构件是否有变形、裂纹、腐蚀等迹象，检查连接部位是否松动或磨损，以及评估结构件的整体状态是否满足使用要求。对于发现的任何问题，都应及时记录并采取相应的处理措施，如修复、更换或加固，以防止问题的进一步扩大。为了更好地跟踪和管理电子产品的维护情况，还应建立完善的维护档案和故障记录系统。维护档案应记录每次维护的时间、内容、发现的问题以及处理措施，以便对电子产品的维护历史进行追溯和分析。故障记录系统则用于记录结构件出现的故障现象、原因、处理过程以及结果，为后续的故障分析和改进提供宝贵的数据支持。

结语

电子产品中结构件的失效模式多种多样，涉及机械、环境和材料等多个方面。通过系统的可靠性分析方法，如FMEA、加速寿命试验和FEA等，可以有效识别潜在的失效风险，并制定相应的预防和改进措施。同时，优化结构设计、选用优质材料、加强制造工艺控制以及实施定期维护与检查等措施也是提高电子产品结构件可靠性的有效途径。未来，随着科学技术的不断进步和可靠性工程的深入发展，电子产品结构件的可靠性将得到进一步提升。

参考文献

- [1]田磊.关于电子元器件失效分析方法的讨论[J].家用电器,2024,(05):126-129+142.
- [2]罗雨薇,江佳,刘倩,等.电子元器件失效分析技术探讨与展望[J].环境技术,2024,42(04):185-189.
- [3]范培培.电子元件失效分析及技术发展分析[J].现代工业经济和信息化,2022,12(12):240-242.
- [4]李斐.电子元器件可靠性评价与质量控制策略研究[J].电子元器件与信息技术,2024,8(01):16-19.