

系统共振问题的识别与解决设计策略

郭仁辉

康迪电动汽车(海南)有限公司 海南 海口 571157

摘要: 系统共振问题因其对结构稳定性和运行效率的潜在威胁而备受关注。本文探讨了系统共振问题的识别方法,包括振动测试与分析,非常规失效分析等。随后详细阐述解决系统共振问题的设计策略,如改变系统固有频率、增加阻尼与减震措施、隔振设计以及调整外部激励频率。通过综合运用这些识别与解决策略,可以有效地降低系统共振的风险,提高系统的稳定性和安全性。

关键词: 系统共振; 共振识别; 解决策略; 振动控制; 结构优化

引言: 系统共振问题是一个复杂且重要的工程问题,它涉及多个学科领域的知识。在实际应用中,系统共振可能导致结构破坏、性能下降甚至设备失效等严重后果。因此识别和解决系统共振问题对于确保系统的稳定性和运行效率至关重要。本文将深入探讨系统共振问题的识别与解决设计策略,以期为相关领域的工程实践提供有益的参考。

1 共振现象的定义

共振现象是指一个物理系统在特定频率下,由于外界驱动力的作用,使得系统内部的振动幅度显著增强的现象。当外界驱动力的频率与系统的固有频率相匹配时,系统会发生共振,此时系统的振动能量达到最大,振幅显著增大。这种现象在声学、力学、电磁学等多个物理学领域中广泛存在,并且在实际应用中既有积极的一面(如共振筛分、声纳探测等),也有可能直接导致破坏作用(如桥梁、建筑物的共振倒塌,机器的共振损坏等)。因此理解和控制共振现象对于工程设计和安全评估具有重要意义。

2 共振现象的危害与影响

共振现象,作为一种物理现象,在特定条件下能够引发一系列的危害与影响,这些影响不仅关乎系统的稳定性,更可能直接威胁到系统的安全。

2.1 振幅增大导致的系统破坏

当外界驱动力的频率与系统的固有频率相匹配时,系统会发生共振,导致振幅显著增大。这种振幅的增大,对于许多结构系统来说,是灾难性的。例如,在桥梁、建筑物等土木工程中,如果受到的风力、地震波等外界激励的频率与结构的固有频率相近,就可能引发共振,导致结构振幅急剧增大,进而造成结构破坏^[1]。历史上,不乏因共振导致的桥梁坍塌、建筑物损毁的案例,这些事件不仅造成了巨大的经济损失,更对人们的生命

安全构成了严重威胁,在机械系统中,共振也可能导致零部件的疲劳破坏,如轴承、齿轮等关键部件在共振条件下,可能因振幅过大而加速磨损,甚至断裂。

2.2 共振对设备寿命与运行稳定性的影响

共振现象对设备的寿命和运行稳定性同样具有不可忽视的影响。在共振条件下,设备的振动幅度增大,会导致设备内部的应力分布发生变化,加速设备的疲劳过程,从而降低设备的寿命。例如,在精密机械、电子设备等领域,微小的振动都可能对设备的性能产生显著影响,共振则可能直接导致设备失效。共振还可能引发设备的噪声污染,影响设备的运行环境和操作人员的身心健康。在航空航天领域,共振现象更是需要严格控制的因素之一,因为共振可能导致飞行器的结构破坏,影响飞行安全。

3 系统共振问题的识别方法

系统共振问题因其潜在的破坏性和对系统性能的影响,需要在设计和维护阶段进行有效的识别。

3.1 振动测试与分析

振动测试与分析是识别系统共振问题的最直接、最常用的方法之一。这种方法基于振动的物理特性,通过测量系统的振动响应来评估其动态性能。振动测试与分析的过程通常包括以下几个步骤:首先,确定测试的目标和范围,这需要根据系统的特点和潜在的共振问题,选择合适的传感器和测试设备,以及确定测试的参数,如频率范围、测试时间等。其次,进行实际的振动测试,测试过程中,将传感器固定在系统的关键部位,采集系统的振动信号。这些信号可以反映系统的振动状态,包括振幅、频率、相位等关键信息。另外,对采集到的振动信号进行分析,分析过程包括信号的预处理、特征提取和模式识别等步骤。预处理阶段主要是去除噪声和干扰,提高信号的信噪比;特征提取阶段则是从信

号中提取出能够反映系统振动特性的关键参数；模式识别阶段则是利用机器学习等算法，对提取的特征进行分类和识别，从而判断系统是否存在共振问题。最后，根据分析结果，提出针对性的解决方案，如果系统存在共振问题，需要进一步优化设计，调整系统的固有频率，或者增加阻尼装置等，以减少共振的影响。

3.2 非常规失效分析

非常规失效分析，作为一种深度挖掘系统失效根源的分析方法，其核心在于精准捕捉并解析系统失效过程中展现出的异常特征，特别是那些可能指向共振问题的线索。这一过程的起始点是广泛而细致地收集系统的失效数据，这些数据如同散落的历史碎片，记录着系统运行、维护以及故障发生的点点滴滴。在数据的海洋中，寻找着那些标志着系统失效的异常特征，如振动模式的突变、噪声水平的异常提升等。这些特征，如同隐藏在数据背后的密码，等待着我们去解读。通过对这些特征的深入分析，我们得以窥探到导致失效的潜在原因，包括材料的老化、结构设计的缺陷，甚至是共振现象的存在。仅凭数据分析往往难以全面揭示问题的本质。因此失效复现实验成为了验证异常特征与共振问题关联的关键步骤。在这一阶段，精心策划并实施实验方案，力求在实验环境中重现系统的失效过程。通过精确的测量和观察，得以进一步确认异常特征与共振之间的内在联系。最终，基于深入的分析 and 实验结果，制定针对性的解决方案。这些方案不仅考虑系统的固有特性和应用需求，还充分权衡成本效益。通过实施并验证这些方案，得以评估其实际效果，并在此基础上进行必要的优化，以确保系统在未来能够稳定运行，远离共振问题的困扰。

4 系统共振问题的解决设计策略

系统共振问题因其对结构稳定性和运行效率的潜在威胁，需要采取一系列的设计策略来有效解决。改变系统固有频率、增加阻尼与减震措施、隔振设计以及调整外部激励频率是解决系统共振问题的四种主要设计策略。每种策略都有其独特的优点和局限性，需要根据具体的应用场景和需求进行选择和优化。通过综合运用这些策略，可以有效地解决共振问题，提高系统的稳定性和运行效率。

4.1 改变系统固有频率

改变系统固有频率是解决共振问题的直接且有效的方法。固有频率是系统自身的振动特性，当外部激励频率与之接近时，会引发共振。因此通过调整系统的结构或材料属性，可以改变其固有频率，从而避免与外部激励频率的匹配。可以通过改变系统的质量分布或刚度来

实现固有频率的调整。例如，在结构设计中，可以通过增加或减少质量块的位置和数量，或者调整结构的支撑方式，来改变系统的质量分布。通过改变材料的弹性模量或增加额外的支撑结构，可以调整系统的刚度。这些调整可以显著影响系统的固有频率，从而避免共振的发生^[1]。对于复杂系统，如机械设备或建筑物，可以通过有限元分析（FEA）等仿真技术来预测和优化系统的固有频率。通过模拟不同设计参数下的系统响应，可以找到最优的设计方案，确保系统的固有频率与外部激励频率保持足够的距离，防止共振的发生。需要注意的是，改变系统固有频率可能会对其他系统性能产生影响，如结构的强度、刚度或稳定性等。在设计过程中需要综合考虑各种因素，确保解决方案的可行性和有效性。

4.2 增加阻尼与减震措施

增加阻尼与减震措施是另一种有效的解决共振问题的方法。阻尼是指系统振动时消耗能量的能力，而减震则是指通过特定的结构或装置来吸收和分散振动能量。可以通过在系统中添加阻尼材料来增加阻尼，这些材料通常具有高内阻，能够有效地吸收振动能量，并将其转化为热能或其他形式的能量。常见的阻尼材料包括橡胶、泡沫、粘弹性材料等。在机械设计中，可以将这些材料用于制造减震器、隔振器等部件，以提高系统的阻尼性能。可以通过调整系统的结构形状和尺寸来增加阻尼，例如，在结构设计中，可以采用波浪形、蜂窝状等复杂形状来增加结构的阻尼性能。通过增加结构的厚度或减小结构的尺寸，也可以提高系统的阻尼。还可以采用主动或被动减震技术来减少系统的振动，主动减震技术通常涉及传感器、控制器和执行器等元件，能够实时监测系统的振动状态，并根据需要调整减震器的输出力，从而有效地控制振动。而被动减震技术则主要依赖于减震器的物理特性来吸收和分散振动能量。需要注意的是，增加阻尼与减震措施可能会增加系统的成本和复杂性。因此在设计过程中需要权衡利弊，确保解决方案的经济性和实用性。

4.3 隔振设计

隔振设计是通过在系统与外部激励之间设置隔振装置来减少振动传递的方法。这种方法可以有效地隔离外部激励对系统的影响，从而防止共振的发生。首先，需要选择合适的隔振装置，常见的隔振装置包括橡胶隔振器、空气弹簧、液压隔振器等。这些装置通常具有低刚度和高阻尼的特性，能够有效地吸收和分散振动能量。在选择隔振装置时，需要考虑其承载能力、频率响应、耐久性等因素，以确保其满足系统的需求。其次，需要

对隔振装置进行合理的布置,在机械设计中,可以将隔振装置安装在设备与基础之间,以减少设备振动对基础的影响。在建筑物设计中,则可以在楼层之间或设备与楼层之间设置隔振层,以减少地震或风荷载对建筑物的影响。另外,还需要对隔振装置进行定期的维护和检查,由于隔振装置在使用过程中可能会受到磨损或老化等因素的影响,因此需要定期进行检查和更换,以确保其始终处于良好的工作状态。需要注意的是,隔振设计可能会受到空间限制和成本等因素的影响,在设计过程中需要综合考虑各种因素,确保解决方案的可行性和有效性。

4.4 调整外部激励频率

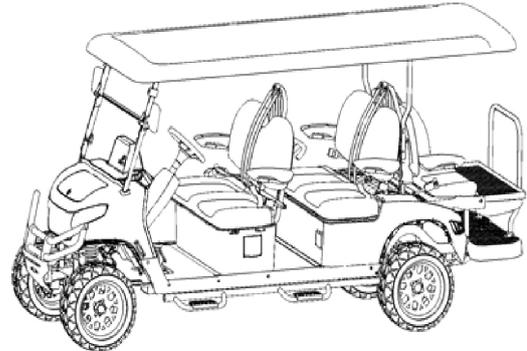
调整外部激励频率是解决共振问题的另一种方法。虽然这种方法在某些情况下可能受到限制,但在某些特定情况下却是一种有效的解决方案。首先需要了解外部激励的来源和特性,例如,在机械设备中,外部激励可能来自电机、齿轮等旋转部件的振动;在建筑物中,则可能来自地震波或风荷载等自然因素。了解外部激励的来源和特性有助于制定有效的调整策略^[4]。可以通过调整外部激励的频率来避免与系统固有频率的匹配。例如,在机械设备中,可以通过改变电机的转速或齿轮的传动比来调整激励频率;在建筑物中,则可以通过改变结构的支撑方式或增加阻尼装置来调整系统的固有频率。这些调整可以显著减少共振的发生。需要注意的是,调整外部激励频率可能会受到技术或经济等因素的限制。例如,在某些情况下,可能需要改变设备的整体设计或增加额外的设备来实现频率的调整。因此在设计过程中需要综合考虑各种因素,确保解决方案的可行性和经济性。还需要考虑外部激励频率的调整可能对系统性能产生的影响。例如,在某些情况下,调整激励频率可能会导致系统效率下降或噪声增加等问题,在制定解决方案时需要综合考虑各种因素,确保解决方案的综合效益最大化。

5 系统共振问题案例

在某个六座车路试过程中,乘员发现车辆在空载行驶过程中抖动比较厉害,而在满载的情况下该现象不明显。在而后调查发现空载时顶棚晃动明显,特别在颠簸路面座椅靠背也有晃动现象。

经调查分析,该车设计时为了增加负载,使用了刚

性较强的减震器,同时为了减轻车辆重量,A柱和B柱使用铝合金材质的铝管。故车辆空载行驶时整车共振现象明显,晃动量较大。



对比分析后,采用刚性相对柔软的减震器,同时把铝合金材质的A柱和B柱换成方管。再次行车时发现车辆晃动明显降低,座椅靠背不再有晃动现象。车辆空载时共振现象得到解决。

结束语

综上所述,系统共振问题的识别与解决设计策略是确保系统稳定性和运行效率的关键。通过综合运用多种识别方法和设计策略,可以有效地识别和解决系统共振问题,降低潜在的风险和损失。未来,随着技术的不断进步和创新,将继续探索更高效、更智能的识别与解决策略,为系统的安全、可靠运行提供更加坚实的保障。让我们携手共进,共同推动相关领域的发展与进步。

参考文献

- [1]李天文,柳振方,王斌,等.一种电机测试的检测平台设计与应用[J].机电工程技术.2024,53(2).DOI:10.3969/j.issn.1009-9492.2024.02.065.
- [2]许红姝,马文奇.系统共振对电机振动的影响分析[J].防爆电机,2020,55(5):30-33.DOI:10.3969/J.ISSN.1008-7281.2020.05.10.
- [3]廖志娟,孙跃,叶兆虹,等.无线电能传输系统共振机理及共振点分布特性研究[J].电工技术学报,2020,35(2):215-224.DOI:10.19595/j.cnki.1000-6753.tces.181614.
- [4]李阳,董维豪,杨庆新,等.过耦合无线电能传输功率降低机理与提高方法[J].电工技术学报.2018,(14).DOI:10.19595/j.cnki.1000-6753.tces.171530.