

适用于无人机巡检平台的远距离激光测振技术

现如今，多旋翼智能无人机早已为大家所熟知，如大疆无人机、零度无人机等，并在商业与消费领域获得了相当突出的应用。随着 MEMS 惯导系统广泛应用，姿态控制算法的逐渐成熟，到 2005 年，稳定的多旋翼飞行控制器日益成熟，到了 2012 年，大疆推出了世界上第一款到手即飞的多旋翼航拍无人机——Phantom。并于 2016 年推出 Phantom 4，首次将机器视觉应用在自家的消费级无人机上，实现了无人机的自主避障和视觉跟拍。2017 年，大疆则推出了 M200 系列，主攻电力巡检、安防巡逻和警用救援等行业，同时推出了如风系列大载重智能无人机，用于物流和特勤应用。至此智能无人机已经形成了消费级和工业级无人机两大市场，无人机的巡检应用也开始获得快速发展。



随着无人机操控技术，视觉技术，传感器技术的日趋成熟，无人机巡检已广泛应用于电力（包括风电）、海事、城市管理、环保、军事、物流等多个行业，成为替代巡检人员高效安全完成巡检作业的工具。以电力巡检为例，传统的架空输电力巡检的主要方式为人工沿线路步行或借助交通工具，使用望远镜和红外热像仪等对线路设备和通道环境进行近距巡视和检测。传统巡线存在的主要问题，一方面，巡线距离长、工作量大效率非常缓慢，无法提高巡线效率。如果遇到冰雪、地震、滑坡等自然灾害天气时，巡线工作将无法开展。另一方面，山区巡线具有高风险性，时刻威胁巡线人员生命安全。无人机电力巡检的引入，首先大大提高了作业环境的适应性和准确性，即使在遇到电网紧急故障和在异常气候条件下，无人机电力巡检弥补了线路维护人员不具备有利的交通优势、利用普通仪器或肉眼来巡查设施准确性低、效率低等缺点。其次，无人机巡线比人工巡线效率高，约高出 30~50 倍，采用无人机进行常规输电线路巡查，可降低劳动强度，并且大大降低了成本，提高了电力维护和检修的速度和效率，使许多工作能在完全带电的环境下迅速完成，确保了用电安全。更重要的是，无人机巡检人工作业时视觉的盲区，以全视角 360 度巡检，能够及时提供准确信息，避免造成事故或重大财产损失。

近年来针对不同的工业级巡检应用，无人机开始搭载除可见相机之外的各类传感器，如激光雷达、红外和紫外相机等。新传感器的引入，使无人机巡检更加的智能化和专业化。比如激光雷达的运用，就可以使得巡检所获得的信息在普通 2D 图像信息基础上也更加完整、精准，而红外和紫外相机的使用也可以获得如温度信息等其他维度的物理量信息。同样以电力巡检为例，通过激光雷达获取的三维点云分图和关键点提取识别输电线路中每个电力线组件的三维坐标，随后通过路径规划自动生成无人机巡检的飞行航迹，从而支撑常规巡检中任意无人机系统的自动巡检作业。而依据先进的深度学习技术和充足样本训练数据，则可以通过机器学习使点云分类达到高准确度，为后续的故障检测提供良好的数据基础。类似于激光雷达，扫描式激光测振传感器的运用可以让巡检无人机增添获取远距离被测物体表面振动信号的能力，而这一振动物理量反映了被测物体的动态信息，例如电力、风场巡检、建筑桥梁安全等诸多巡检应用领域中实现精准信息提取的一个重要信息量。如图所示，用于无人机巡检的扫描式激光测振传感器将是一个特殊设计的巡检模块。



a、装载激光雷达的无人机

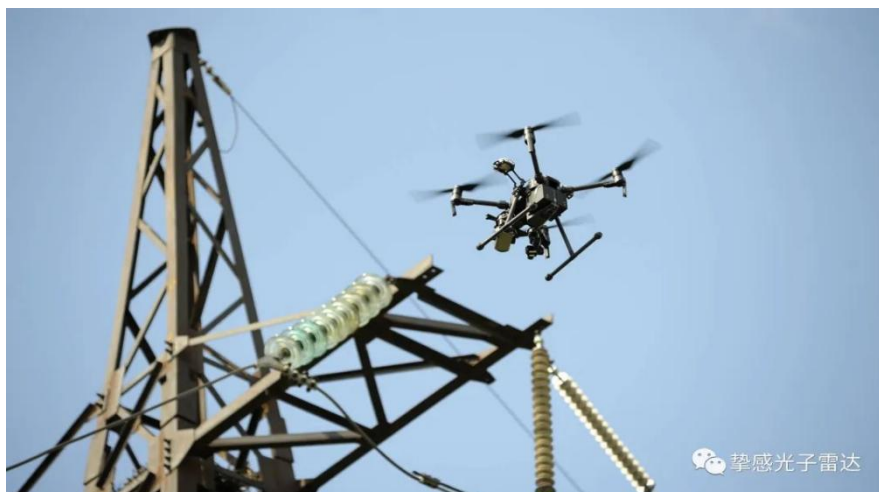


b、装载扫描式激光测振传感器的无人机

装载有扫描式激光测振传感器的巡检无人机可以进一步的拓广其应用领域，这些应用体现在以下几个案例中：

(1) 输电塔巡检：

再次以电力系统巡检为例，输电塔系受强风、裹冰、地震、基础沉降、山体滑坡、采空区地质变化等因素造成应力超限或振动疲劳，在服役器内强度性能下降甚至突发倒塔事故以致产生重大经济损失，因此定期对这些输电塔进行振动特征信号的采集是保证其安全运行的重要环节。虽然可以通过安装永久性的振动传感器（包括供电系统和数据采集卡）可以部分解决振动特征信号采集的问题，但将会是一笔不小的投资。而通过无人机巡检进行振动特征信号采集则是一个十分经济且高效的方式。装载有测振设备的巡检无人机可以选择整个输电塔的多个测量点进行测量，获得更充分的信息以进行状态判断。



(2) 风场发电机扇叶的振动状况巡检，如今风力发电是非常常见的。而且这种能源是比较安全可靠的。当中风力发电机是必不可少的。而风机叶片就是其中的一个部件。如果风机叶片出现故障的话，是会影响到风力发电的。风机出现故障的原因有很多。其中，这个风机振动就是最大的原因之一。对于风力发电机来说，出现故障是非常常见的。风力发电机的实时运营情况，是发现风电设备的故障和维修的重要依据。而对于风机叶片来说，它的加速度是可以利用相关的传感器来测试的，它的参数是可以反映出风机设备当中的叶片的振动程度的。其速度大小可以通过数学的方式来计算出来。同时，风机的叶片振动幅度的快慢，也可以通过速度表现的方式来进行表达，从而可以对风机叶片的振动幅度进行分析。因为在风力发电的过程当中每一片风机叶片都有它固定的工作频率。根据这样一个固定的数值，可以对风机叶片的速度和位移等重要的一些数据进行一个十分重要的判断，如果说加速度的值越大的话，那么说明发生故障可能性的标准就更加的。



风机如果长时间在高强度的振动条件下运行会导致材料的刚度大大降低，从而导致整台机器出现故障。如果风机的振动幅度太大，再加上机器的底座性能不好，就会使得轴承容易裂开。在风机实际工作的时候，叶片和主轴发生明显变形之后，作用在叶片和气流上的作用力也会发生明显的变化，此时，空气动力的干扰力也会发生变化。当运行状态比较稳定的时候，干扰力也非常稳定，进而可以进行动平衡工作，在这种情况下，平衡是由弹性变形引起的。经过分析可以得出，材料的刚性对风机的振动也是有一定影响的，但是这种平衡风扇的产生是有一定条件的：刚开始启动的时候一定要保证合适的振动，慢慢加大振动的幅度，风扇正常工作之后，振动将保持在一个稳定的状态。

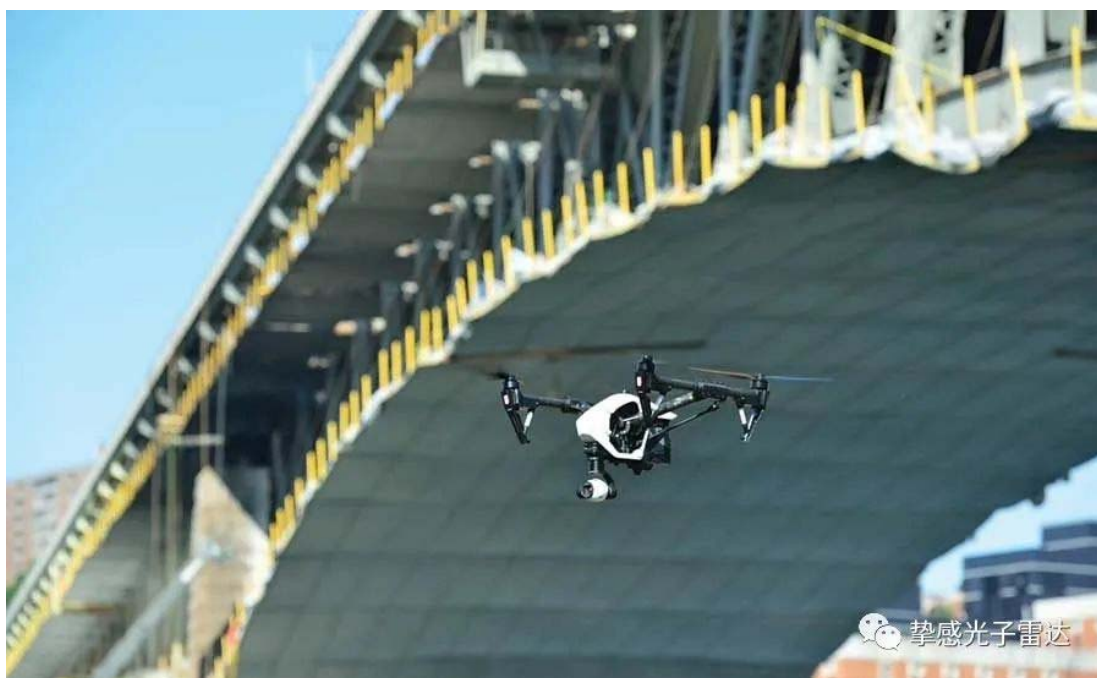
风扇的对中通常被认为是满足安装要求的对中。然而，我们可以进一步扩展：风扇的振动是空间力系统综合作用的结果，这种振动引起的变形可以称为弹性变形范围内的定心，反之亦然。现场动平衡很难做到。主要是关于如何判断风扇是否在弹性变形范围内运行。了解风机叶轮的受力情况，同时可以判断风机振动的变形是否在弹性变形范围内，使得现场动平衡相对简单。当风机叶轮振动超标时，应该从多个方面找出原因。通过对振动原因的分析，可以消除设备的潜在故障，实现稳定运行。一般来讲风扇振动的来源包括轴承座的振动、转子和临界速度引起的振动导致旋转失速。

装载有扫描式激光测振传感器的巡检无人机可以在一定的距离之内，对风机的扇叶进行半跟踪式的扫描测量，获取每一个叶片的振动特性信号。这项技术的成熟，将为风机叶片的巡检提供一个最有效的测量方式。

（3）桥梁建筑的安全状态巡检

桥梁作为公共交通的重要载体，对区域交通的通畅运行、社会经济发展起到至关重要的作用。随着社会经济的飞跃式发展，桥梁交通流量快速提升，桥梁安全危害影响加剧。桥梁因为恶劣使用环境、荷载作用、年限过长等因素导致桥梁损伤，产生病害，威胁桥梁安全，引起桥梁事故。为了实现各阶段桥梁生命线状态的可知性、可测性，及时了解、掌握桥梁的健康动态与安全状态，验证设计理论并指导后续同类型桥梁的设计，对其建立一个科学的运营期健康与安全监测系统显得尤为重要。通过桥梁结构安全健康监测系统的建设及运行，可准确、全面掌握桥梁运营期的环境参数及结构响应参数，并通过数据的分析对桥梁的使用状态和力学行为进行预警和初步评估，为桥梁的安全运营提供有力的保障。桥梁结构安全健康数据监测子系统分为：结构监测、环境监测、荷载监测及视频监控四大部分功能数据监测。而结构监测又可以分为挠度监测、裂缝监测、振动监测、索力监测、位移监测及应变监测等类型。其中振动监测检测尤为重要：桥梁动力特性参数（频率、振型和阻尼）和振动水平（强度和幅值）是桥梁整体安全的标志，桥梁材料的强度的退化会引起结构振动特性的改变，例如桥梁结构刚度的降低会引起桥梁自振频率的降低，桥梁局部振型的改变可能预示着结构局部损坏。因此对桥梁动力特性及振动水平的监测能够起到整体上对桥梁结构。

装载有扫描式激光测振传感器的巡检无人机可以在一定的距离之内，对桥梁的多个部位进行振动扫描测量，获取必要的振动信息。这项技术的成熟，将为桥梁的巡检提供一个十分有效的测量方式。



要广泛推广上述各类巡检应用，还需要克服一些技术以及经济瓶颈：

(1) 首先，要实现扫描式激光测振传感器的小型化和低成本化。我们知道，由于车载激光雷达市场的推动，激光雷达的小型化和低成本化已经基本实现，因此小型的巡检无人机也可以搭载激光雷达这样的测量传感器。类同于激光雷达，扫描式激光测振传感器在可以实现远距离（20 米~50 米或更远）振动测量的基础上也需要集成一定的角度搜索和锁定功能，以适应巡检飞控中的复杂技术要求，扫描式激光测振传感器的成本也十分重要，传统的设备高达 10 万美金，肯定是不适合此类应用。

(2) 相对于通过激光雷达进行的厘米级三维测量，振动测量对精密度的要求更高。考虑到巡检无人机本身在飞行和悬停时旋翼的转动也会产生一定的振动，装备有激光测试传感器的系统就必须采用一定的技术来去除无人机本身振动的影响。一般有主动及被动两种消振模式：主动消振采用额外的加速度传感器实时测量无人机在飞行和悬停时的振动状况，作为背景振动信号；被动消振则采用特种的减振材料和设计来尽量降低激光测振传感器上受到的振动影响。实际应用中这两种方式也可以结合起来一起使用。

(3) 最后，还需要适当的目标锁定搜索和锁定软件。这一必要的控制功能需要结合无人机所携带或与激光测振传感器集成在一起的可见光摄像头，通过摄像头与激光测振传感器的扫描装置协调工作以实现测量激光能“长期”锁定到被测目标上，这与激光雷达在应用中与摄像头的结合也非常一致。

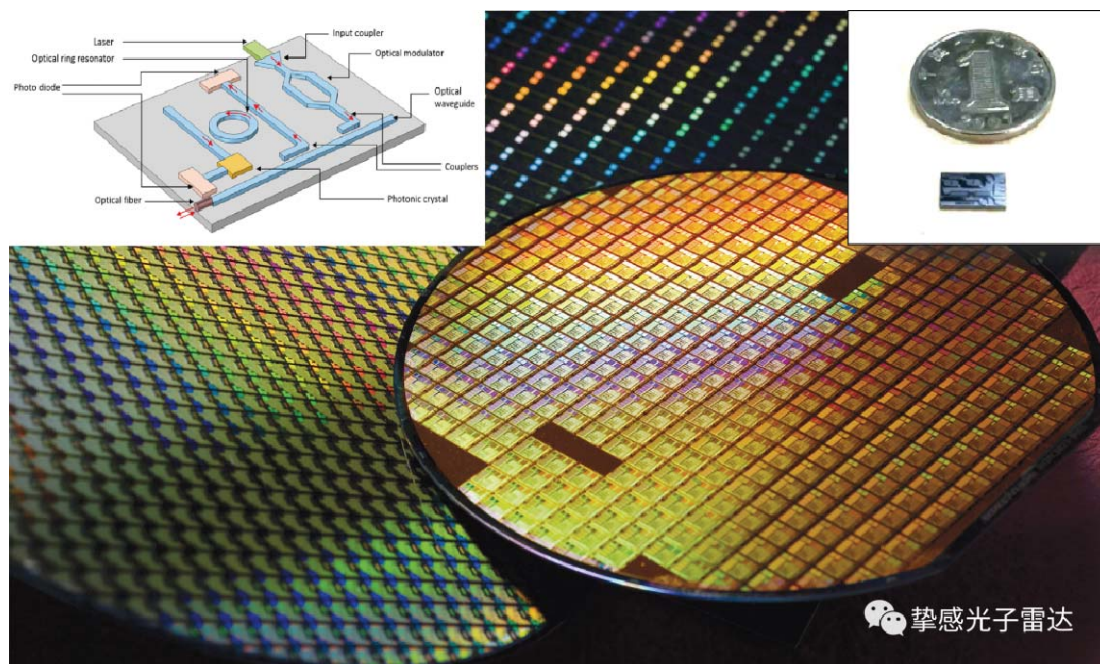


图 1 挚感光子核心技术



图 2 MV-H 小型化激光测振模块



图 3 扫描测振传感器和激光雷达产品设计

作为国内外在激光振动传感器和激光雷达产品系列的领先技术企业，挚感光子拥有从核心基础光电元器件、光模组到产品模块的设计、生产及集成的垂直整合能力（图 1）。到 2022 年下半年，公司已经开发完成了相对完整的 MV-H 型小型化激光测振传感器模块产品系列（图 2），具有扫描功能的激光雷达和测振传感器样机也接近完成（图 3）。针对于无人机巡检的特殊应用，也通过与高校和科研机构的合作，开始了关于无人机减振消振处理及测量激光目标锁定的控制方案研究。挚感光子将为无人机巡检市场提供完整的激光测振方案。

挚感光子简介

挚感（苏州）光子科技有限公司成立于 2018 年。公司基于核心团队在光电通信领域的深厚技术积累，致力于研发基于集成光学和相干通信的高端激光传感技术，以期颠覆传统的工业高精度传感技术，成为全球领先的集成相干光学传感器企业。目前开发的各类高性能、小型化、低成本、低功耗的激光传感器，正逐步应用于航空航天、精密制造、半导体、机器视觉、自动驾驶等新兴领域。公司拥有完整的自主知识产权，实现了对产品从芯片到模组、算法、软件和产品应用的垂直整合。

我司各类激光传感器还在快速的技术迭代中，欲了解详情，请登录我们的网页（www.osphotonics.com），或联系我司市场部（sales@osphotonics.com），联系电话：4006-899-870，感谢您的关注。