传统的形状检测方法主要有三维视觉检测法、应变片测量技术、激光扫描测量法、光弹效应检测法等，其中三维视觉检测法[1]又分为接触式和非接触式两类：接触式的代表为三坐标测量机（CMM），其测量时测量头与被测物之间有接触压力，所以不适合测量柔性物体，并且是以逐点扫描的方式进行测量的，所以测量速度慢，尤其在测量较大物体时，非常耗时；非接触式的种类较多，但都有检测装置复杂，笨重，测量对象与检测系统分离，以及检测时间较长这些缺点。应变片测量技术[2]很好的解决了测量分辨率与空间分辨率的矛盾，并且易于建立精确的形状参数与对应形状的表达式，但其检测范围小，并且不易于埋入式布设。激光扫描测量法[3]具有快速、高精度、非接触获取研究物体表面空间信息的特点虽然这些方法被大量用于对地面上静止的机翼形状检测，但不适应于飞行状态下的机翼形状检测，难以在可变形机翼形状监测领域应用。基于光纤光栅的形状检测技术[4]，具有体积小，重量轻，响应快，传输损耗小，不受电磁干扰，并可以在材料中埋入布设等优点。这些优点使得其在可变形机翼的形状传感中有非常好的应用前景。

近几年在光纤形状传感领域已取得众多研究成果.在国外，Blandino等人[5]研究了具有臂架结构的FBG传感器，用于飞机的形状感应和运动跟踪；美国 LUNA 创新公司的 Duncan R G 等人[6]利用波分复用的光纤光栅传感器阵列构建光纤全局定位系统，实验数据表明利用光纤传感技术可以准确重构出结构的二维和三维形状，误差值可以达1.2%。Seung-Man Yang以记忆合金驱动器和复合材料板设计了可变形机翼模型，并在机翼根部布设光纤光栅传感器，成功检测到机翼的空气弹性变形不稳定现象[7]；NASA将所开发的光纤光栅形状传感器阵列粘贴在无人机Ikhana的机翼表面，准确测量机翼在飞行中的变形，从而可通过操控飞机操纵面来补偿由于机翼的应力负荷而产生的变形，实现机翼的自适应控制功能[8]； Christine V. Jutte等提出利用光纤光栅传感器阵列，在机翼地面载荷试验中进行全尺度的机翼弯曲和扭曲形态实时测量研究[9]；M Ciminello在可变形机翼模型中布设光纤光栅传感器，通过检测应变分布来评估机翼的变形情况，但是未实时重构出机翼的形状[10]；Guangkai Sun等人使用FBG传感器的测量BWS值和线性插值算法计算在不同翼型轮廓下的聚酰亚胺薄膜表皮的弯曲曲率，FBG测量之间的最大误差小于5％[11]；Francisco Pena等人研究利用来自光纤应变网络的信息，在小型无人机系统（sUAS）机翼上的传感器可以主动重新分配沿翼展方向提升载荷，从而控制机翼的偏转形状[12]。

国内对光纤光栅形状传感器的研究方兴未艾，正处于蓬勃发展的阶段，但大部分研究还处于起步阶段，主要是光纤光栅的传感理论和实验验证研究，还未能实现在工程和商业上的广泛应用。上海大学钱晋武教授[13]领导的研究团队对利用光纤光栅传感器阵列获取结构的空间曲率信息，实现结构形态重构的方法技术进行了研究，并成功地应用于地下管线弯曲定位、机器人内窥镜形状实时检测系统和太阳能帆板面形动态检测，以及废墟搜救机器人的空间形状重建系统等领域；刘仁强等[14]研制了一种检测结构形状变化的埋入式曲率光纤传感器，利用准分布式传感系统进行结构的形状变化检测，并重建结构的形状；上海大学的研究者将光纤光栅传感网络应用于医学上的内窥镜中，通过感知内窥镜的形状变化诊断肠胃等器官的病变；易金聪等人[15]以翼形结构作为研究对象，将分布式光纤光栅传感阵列粘贴于结构表面，实现了对翼形结构的形态实时感知、重构与可视化主动监测。南京航空航天大学翟宏州[16]提出利用光纤布拉格光栅（FBG）光谱特性分析拉伸过程中蒙皮倾斜胞壁处受到的非均匀应变情况和铺层失效过程。南京航空航天大学的何超[17]以机翼作为研究对象，通过结构力学仿真和流体力学仿真的手段对机翼变形情况进行研究，并以碳纤维结构模拟机翼，结合FBG传感网络对其变形进行监测，检测结果同实际形状十分吻合，同时通过FBG传感器对机翼的失速状况进行评估。西安电子科技大学的魏传达[18]结合Ko位移理论和铁木辛柯梁理论研究了一种基于应变信息的机翼变形测量方法。山东大学王方正等人[19] 针对监测过程中的光纤光栅传感系统由于光谱畸变或传感器损坏可能造成关键点数据突然缺失的问题,研究基于支持向量机(Support Vector Machine,SVM)的缺失数据修补方法.哈尔滨工程大学傅程[20]搭建了布里渊光时域分析系统,设计并制作了一种二维光纤形状传感器,对制作的形状传感器进行了详细的实验,验证了布里渊频移变化量与弯曲曲率的关系.同时成功对多芯光纤的纤芯进行了定位,实现了多芯光纤形状特征参数的解调。哈尔滨工程大学的孙博[21]采用粘接式光纤光栅传感器,对船用蒸汽动力系统中冷凝器换热管道的振动情况进行了测量。

可以看出光纤形状传感技术在近几年已成为国内外研究热点，虽然国内在光纤形状传感方面已取得众多研究成果。但相较于国外，我国对可变形机翼中光纤形状传感研究较少，且进度较慢。因此开发出一套能够实时监测可变形机翼形状的光纤传感系统是十分必要的。

[1] 周文莲.物体形态的三维测量技术[J].人类学学报,2000,19(4):324~331.

[2] Grédiac, M., Sur, F., and Blaysat, B. (2016) The Grid Method for In‐plane Displacement and Strain Measurement: A Review and Analysis. Strain, 52: 205–243. doi: [10.1111/str.12182](https://doi.org/10.1111/str.12182).

[3] 毕讲超,三维激光扫描技术在危岩体变形监测中的应用研究（2015）

[4] Yanlin He, Mingli Dong, Guangkai Sun, Fanyong Meng, Yanming Song, Lianqing Zhu, Shape monitoring of morphing wing using micro optical sensors with different embedded depth,Optical Fiber Technology,Volume 48,2019,Pages 179-185,ISSN 1068-5200,

[5] J. R. Blandino, R. G. Duncan, M. C. Nuckels, et al. Three-dimensional shape sensing for inflatable booms. In: 46th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference, 2005, pp. 1–10.

[6] L. Qiu, L. Liang, D. Li, et al.Theoretical and experimental study on FBG accelerometer based on multi-flexible hinge mechanism Opt. Fiber Technol., 38 (2017), pp. 142-146

[7]Seung-Man Yang, Shin-Hyun Kim, Seung-Kon Lee, Hyo Sung Park. Optofluidic fabrication of functional particles with controlled sizes, shapes and structures[P]. Lasers and Electro-Optics, 2009 and 2009 Conference on Quantum electronics and Laser Science Conference. CLEO/QELS 2009. Conference on,2009.

[8]David O. Bell.NASA Tests Adaptive Compliant Flap Designed to Reduce Airframe Noise[J].Noise Regulation Report: The Nation's Only Independent Noise Control Publication,2014,41(11):104-.

[9] Christine V. Jutte Deformed Shape Calculation of a Full-Scale Wing Using Fiber Optic Strain Data from a Ground Loads,Test NASA/TP—2011–215975

[10] R. Pecora, A. Concilio, I. Dimino, F. Amoroso, M. Ciminello, "Structural design of an adaptive wing trailing edge for enhanced cruise performances", 24th AIAA/AHS Adaptive Structures Conference AIAA SciTech, January, 4–8, 2016.

[11] Guangkai Sun, Hong Li, Mingli Dong, Xiaoping Lou, and Lianqing Zhu, "Optical fiber shape sensing of polyimide skin for a flexible morphing wing," Appl. Opt. 56, 9325-9332 (2017)

[12] Francisco Pena,Benjamin L. Martins,W. Lance Richards Active In-flight Load Redistribution Utilizing Fiber-Optic Shape Sensing and Multiple Control Surfaces，NASA/TM—2018–219741,Feb 01, 2018

[13] 钱晋武. 光纤光栅传感器旋转扭转时管道曲率的检测方法[A].上海大学，2006

[14] 刘仁强. 新型智能结构中埋入式曲率光纤传感器的研究[A].哈尔滨工业大学，2003

[15] 易金聪. 模拟高性能飞行器翼面结构形态的非视觉检测[A].上海大学，2014

[16] 翟宏州. 具有传感与驱动功能的蜂窝结构机翼蒙皮特性研究[D].南京航空航天大学,2014.

[17] 何超. 基于光纤光栅的飞行器结构健康监测技术研究[D]. 南京航空航天大学, 2016.

[18] 魏传达. 基于应变信息的飞机机翼变形测量及形变重构理论研究[D]. 西安电子科技大学, 2015.

[19] 王正方. 桥隧工程安全监测的光纤光栅传感理论及关键技术研究[D].山东大学,2014.

[20] 傅程. 基于分布式布里渊光时域分析技术的形状传感研究[D].哈尔滨工业大学,2017.

[21] 孙博. 直粘式光纤光栅在管束振动监测中的研究[D].哈尔滨工程大学,2016.