DOI: 10.3901/JME.2020.15.157

三维气动软体驱动器弯曲建模与分析*

谢荣臻 黄东煜 苏满佳 管贻生 朱海飞
(广东工业大学机电工程学院 广州 510006)

摘要: 为设计弯曲性能优越的三维气动软体驱动器, 针对单腔通气时驱动器的弯曲变形机理, 展开了弯曲特性的研究。首先基于 Yeoh 模型的能量密度分布函数, 结合驱动器弯曲时的静力平衡方程, 建立驱动气压与驱动器弯曲角度变形的非线性数学模型; 其次, 通过数学模型分析气腔半径、中心圆半径以及壁厚对弯曲的影响, 并通过建立单目标多约束优化模型寻找最优尺寸组合; 然后通过有限元仿真, 进一步研究两腔通气时驱动器弯曲角、偏转角与末端点坐标的变化规律。最后通过对比理论模型、有限元仿真、样机试验的数据。结果表明: 在 60 kPa 气压的范围内, 理论结果、仿真结果与试验结果的表明上述分析参数对弯曲影响的趋势保持一致, 从而验证了理论模型的正确性。上述研究为设计气动软体弯曲驱动器提供了可靠的理论基础。

关键词: 气动软体驱动器; 弯曲性能; 变形模型; 优化设计; 有限元仿真

中图分类号: TG156

Modeling and Analysis of 3D Pneumatic Soft Actuator on Bending

XIE Rongzhen HUANG Dongyu SU Manjia GUAN Yisheng ZHU Haifei
(The School of Electro-mechanical Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006)

Abstract: In order to efficiently design a three-dimensional pneumatic soft actuator with flexible and excellent bending performance, the bending mechanism of the actuator are studied for the single-chamber structure. Based on the energy density distribution function of the Yeoh model, combining with the static equilibrium equation of the actuator bending, a nonlinear mathematical model between the actuating pressure and the bending angle of the actuator is established. Secondly, the chamber radius, the central circle radius and the wall thickness which effect on bending are analyzed by the mathematical model that searching the optimal size combination of them using the single-objective multi-constraint optimization model. Then, the variation of the bending angle, deflection angle and end point coordinates of the actuator with the two-chamber ventilation is further studied by finite element simulation. Finally, comparing the data of theoretical model, finite element simulation and prototype experiment, it shows that the theoretical results, simulation results and experimental results are basically consistent in the range of 0-60 kPa, which verifies the correctness of the theoretical model. The above studies provide a reliable theoretical basis for designing pneumatic soft bending actuators.

Key words: pneumatic soft actuator; bending performance; deformation model; optimization design; finite element simulation

0 前言

相比于传统的刚性机器人, 由柔性材料制成、新型智能材料为依托的软体机器人在完成任务时有更好的环境自适应性、灵活性与安全性, 因此, 各种柔性驱动器应运而生并成为学者的研究热点。

软体机器人按照驱动方式可分为: 绳索驱动,

智能材料驱动与流体驱动(气压/液压)三大类^[1]。目前在软体机器人控制策略研究上, 主要是集中于对软体机器人整体变形形态的控制与机器人末端位姿的控制, 故对软体机器人正运动学的研究是非常有必要的。里尔大学提出一种结合有限元仿真与 RGBD 相机检查变形后的特征点位置的作对比的方法, 可反求出绳索驱动型软体机器人受力点与受力大小^[2]; CHENEVIER 团队^[3]结合 Neo-Hookean 超弹性材料模通过降阶建模策略对索缆驱动软体机器人运动的非线性运动进行描述。智能材料驱动的软体机器人具有代表性的是由形状记忆合金(Shape memory alloys, SMA)驱动的机器人, 上海交通大学通过研究

* 国家自然科学基金(51975126, 51705086)、广东省前沿与关键技术创新专项(2019B090915001)和广东省“扬帆计划”引进创业创新团队(2017YTOSG026)资助项目。20190926 收到初稿, 20200209 收到修改稿