

仿生机器人面部机械设计中3D 打印技术的运用探索

薛婷, 薛宇程

江苏省扬州技师学院, 江苏 扬州 225009

DOI: 10.61369/SSSD.2025180005

摘 要 : 随着新一代信息技术的快速发展, 人工智能技术已经被广泛应用于服务行业, 尤其是智能交互领域, 随着技术的完备和功能的多元, 人们对于仿生机器人的需求已经不仅仅满足基础功能, 更期待其可以展现出丰富的情感表达, 这对机器人面部表情的表现提出了更为严格的要求, 而3D 打印技术凭借分层制造、材料多样、快速成型的独特优势, 为仿生机器人面部机械设计提供新思路。基于此, 本文将从优势和局限两个方面, 探讨仿生机器人面部机械设计中3D 打印技术的运用路径, 为仿生机器人设计制造模式创新提供新思路。

关 键 词 : 人工智能技术; 3D 打印技术; 仿生机器人; 面部设计

Exploration of the Application of 3D Printing Technology in the Facial Mechanical Design of Biomimetic Robots

Xue Ting, Xue Yucheng

Jiangsu Yangzhou Technician College, Yangzhou, Jiangsu 225009

Abstract : With the rapid development of a new generation of information technology, artificial intelligence technology has been widely applied in the service industry, especially in the field of intelligent interaction. As technology improves and functions diversify, people's demand for biomimetic robots is no longer limited to basic functions, but also expects them to show rich emotional expressions. This puts forward stricter requirements for the expression of robot facial expressions. 3D printing technology, with its unique advantages of layered manufacturing, diverse materials and rapid prototyping, provides new ideas for the facial mechanical design of biomimetic robots. Based on this, this paper discusses the application path of 3D printing technology in the facial mechanical design of biomimetic robots from both advantages and limitations, aiming to provide new ideas for the innovation of biomimetic robot design and manufacturing models.

Keywords : artificial intelligence technology; 3D printing technology; biomimetic robots; facial design

引言

仿生机器人面部机械设计需兼顾结构复杂性、运动灵活性与外观仿真度, 既要复刻人类面部数十个自由度的精细运动, 又要兼顾机械结构的轻量化与自然触感, 传统制造技术因加工限制难以满足多维需求。3D 打印技术作为新一代信息技术的核心部分, 有着速度快、高集成度、灵活性高、精度高、定制化等特点, 能极大简化并改善机械产品从设计到制造的复杂工序, 为实现高仿真、高灵动的面部机械系统提供可行方案^[1], 同时为仿生机器人设计制造模式创新提供技术参考。在此背景下, 探索3D 打印技术在仿生机器人面部机械设计中的运用路径, 具有重要的理论与实践价值。

一、3D 打印技术在仿生机器人面部机械设计中的应用优势

(一) 突破传统制造技术局限, 提升面部机械系统集成度

传统制造技术不仅难以实现微小尺寸部件的高精度成型, 还需通过多部件装配完成复杂机构构建, 易产生装配误差、增加系统体积与重量, 对复杂内腔、镂空结构、异形曲面的加工存在天然局限。而3D 打印技术具有一定的自由性, 可以利用设定好的工艺逻辑实现面部复杂机械结构的一体化^[2]。一方面, 3D 打印可基

于数字化模型直接将材料堆积成三维实体, 无需考虑传统加工中的“刀具可达性”问题, 能够精准实现具有复杂拓扑结构的机械部件制造; 另一方面, 3D 打印的结构自由度可支持设计师采用拓扑优化方法, 在保证机械强度的前提下去除冗余材料, 实现面部机械部件的轻量化设计, 进一步优化运动灵活性, 提升仿生面部机械系统的集成度、精度与运动性能。

(二) 实现材料精准排布, 增强面部机械的仿生适配性

仿生机器人面部机械系统不仅要有高强度的骨架结构保证系统稳定性, 又须具备柔性的表皮基底与传动部件以实现自然的表

情运动。3D 打印技术凭借多材料复合打印能力，可在同一打印过程中实现不同性能材料的精准排布，为面部机械系统的材料协同设计提供了关键支撑^[3]。

从材料应用看，3D 打印可根据面部机械不同部位的功能需求，适配多样化的材料类型，比如对于面部机械骨架，可选用高强度光敏树脂、聚酰胺等刚性材料，保证结构支撑性能；从功能上来看，相较于传统制造的多部件拼接模式，3D 打印的多材料成型可显著提升部件间的连接一致性与运动协调性，减少因材料界面分离导致的故障风险^[4]。同时，多样化的材料选择也为面部机械的外观仿真提供了可能，如通过彩色树脂打印或后期材料着色，可使机械系统更接近人类面部的肤色与质感，增强仿生效果。

（三）缩短设计周期，降低仿生面部研发成本

仿生机器人面部机械设计是一个反复迭代过程，需通过多次调整结构参数、材料组合、运动逻辑以达到理想的仿生效果。3D 打印技术基于数字化驱动的制造模式，可实现从设计模型到物理实体的直接转化，极大缩短设计迭代周期，降低研发成本。3D 打印无需传统制造中的模具准备环节，设计师只需在计算机中修改数字化模型，即可快速生成新的打印文件，实现部件的快速试制，促使研发团队能够在短时间内对多种设计方案进行测试与比较^[5]。此外，对于小批量定制化的仿生面部机械研发，3D 打印无需承担传统模具的固定成本，可直接根据需求打印不同规格的部件，进一步降低研发投入，为仿生机器人面部机械设计的创新提供了高效、经济的技术路径。

二、传统制造技术在面部机械设计中的局限

（一）材料选择和使用较为单一

传统制造技术受限于工艺特性，难以在单一制造流程中实现不同性能材料的精准集成，导致面部机械系统的材料适配性不足。具体而言，一方面，传统制造技术多针对单一类型材料设计，难以实现刚性材料与柔性材料的同步成型，易出现连接强度不足、界面应力集中等问题，在长期动态运动中可能发生松动或断裂，影响系统可靠性；另一方面，传统制造技术的材料选择范围相对有限，难以满足仿生面部表皮对高弹性、高仿真度、生物相容性的材料需求，进一步对面部机械系统的仿生效果产生影响。

（二）复杂结构加工具有一定的局限性

仿生机器人面部机械设计需构建高密度的多自由度传动网络，以实现人类面部喜怒哀乐等精细化表情运动，这要求机械系统包含大量微型化、嵌套式、镂空状的复杂结构部件。然而，由于传统制造技术具有固定的工艺逻辑，对于复杂结构的加工存在一定的技术局限，从而难以保证面部机械加工的精确度和表面质量^[6]。同时传统制造技术难以实现复杂机构的一体化成型，需将面部机械系统拆解为多个简单部件分别加工后再进行装配，这不仅会因部件间的配合间隙产生装配误差，还会在一定程度上增加重量，影响运动传递的准确性与灵活性。

（三）模具设计和调试周期较长

传统制造技术因依赖模具开发或复杂工装准备，在设计迭代

过程中存在周期长、成本高的显著局限，严重影响了面部机械设计的创新效率。从研发流程看，传统制造技术在新产品试制阶段需投入大量时间与成本制作模具或工装夹具，还需要对磨具进行综合调整和试制，长时间的尝试导致设计团队无法快速验证新方案的可行性，从而延长整体研发周期。同时，传统制造技术的修改成本极高，若在测试中发现结构设计缺陷，需重新修改模具或工装，不仅增加额外成本，还会进一步延误研发进度。此外，传统制造技术的规模化生产特性与面部机械设计的个性化需求也存在矛盾，难以快速响应不同仿生机器人面部的定制化设计需求。

三、3D 打印技术在面部机械设计中的具体运用路径

（一）突破传统装配模式，提升结构的精确度与稳定性

为了更好地增强人机交互过程中的情感体验，需要对仿生机器人面部机械进行重新设计，已达到可以模拟人类丰富表情的效果，对此，需要突破传统装配模式的精度与体积限制，充分利用 3D 打印技术复刻人类面部表情运动，实现复杂传动机构的一体化制造^[7]。首先，在结构设计阶段需基于面部运动生物力学分析，明确各表情单元的运动自由度与力传递需求，利用拓扑优化算法对传动机构进行结构重构，保留关键受力路径，形成轻量化且高强度的拓扑结构，这样不仅能降低机械系统的惯性负载，提升运动响应速度，还能充分发挥 3D 打印在镂空、内腔等复杂结构上的成型优势，避免传统制造中因结构简化导致的功能损失。

其次，在仿生机器人面部表情设计过程中，3D 打印技术可以提供高度的设计自由度，使得复杂结构的制造变得相对简单且经济，比如可以根据传动机构的精度与性能需求适配相应技术，提升结构强度与耐磨性^[8]；最后，还可以利用 3D 打印技术的后处理技术精细打磨去除层间纹路，并采用表面涂层技术提升部件耐磨性与耐腐蚀性，不仅可以大幅度减少面部传动机构部件数量，还能将装配误差控制在微米级，显著提升机械系统的运动精度与稳定性，为精细化表情模拟提供核心结构支撑。

（二）选择适配材料，提高面部机械设计的仿真度

3D 打印技术是一种通过逐层叠加材料来构建三维实体物体的技术，具有一定的灵活性与定制性，能够设计出传统制造工艺中难以实现的形状和触感。

仿生机器人面部的外观与触感仿真依赖于刚性机械骨架与柔性表皮基底的协同适配，而借助 3D 打印技术，设计团队可以利用复合打印完成仿生表皮基底的精准制造，解决传统单一材料无法兼顾刚性支撑与柔性触感的矛盾，实现不同材料间的无缝衔接与性能平滑过渡。一方面，为了适应仿生机器人不同的表情处理，需要根据面部不同区域的功能特性选择适配材料组合，比如骨架层应当选用高强度光敏树脂或聚酰胺材料，保证结构支撑性；而表皮层则选用高弹性 TPU 或硅胶基材料，模拟人类皮肤的触感与变形特性。

另一方面，需依托多材料 3D 打印技术构建分层分区的材料排布方案，骨架层与表皮层所用的材料不同，应当注意二者的过渡界面材料的含量，可通过材料比例渐变的方式实现，比如从骨架

层到表皮层，刚性材料占比逐渐降低，柔性材料占比逐渐升高，形成连续的性能梯度，避免因材料突变导致的界面剥离问题^[9]；同时在表层细节仿真层面，可以依托3D打印技术在表皮基底表面构建微米级纹理结构，模拟人类皮肤的毛孔、纹理特征，打造真实、自然的皮肤状态。另外，需要利用3D打印技术将压力、温度传感器集成于表皮层与机械骨架之间，实现表情运动与触觉感知的协同，避免表情运动时表皮褶皱或撕裂，显著提升仿生面部的外观与触感仿真度。

（三）借助3D打印技术，实现机械设计的快速转化

仿生机器人面部机械设计是一个长期工程，需要进行持续且定期地调整和优化，而3D打印技术具有较强的适应性、灵活性和持续性，可以大大缩短产品从概念到实体原型的时间，实现定制化生产。在初步设计阶段，需建立面部机械系统的多物理场仿真模型，通过有限元分析软件模拟不同设计方案下的运动性能、应力分布与疲劳寿命，初步筛选出最优方案，而后可以运用3D打印技术快速试制验证仿真结果的准确性，以此减少物理试制的次数，降低研发成本，提升后续仿真分析的可靠性。

在快速试制环节，3D打印技术可实现从数字模型到物理原型的快速转化，比如对于结构修改较小的迭代方案，可直接调用原有模型文件进行参数调整，无需重新开发模具；对于涉及材料或结构重大变更的方案，可利用多材料3D打印快速制作功能原型，在短期内完成多项性能测试^[10]；在测试数据反馈层面，需结合高精度运动捕捉设备与力传感器，采集仿生面部在不同表情运动下的位移数据与力传递特性，将测试结果与设计目标进行对比，识别性能短板并针对性优化。

四、结语

综上所述，3D打印技术以其核心优势，为仿生机器人面部机械设计突破传统制造局限提供了关键路径，通过突破传统装配模式、选择适配材料、实现机械设计的快速转化等措施，实现仿生机器人面部机械设计的高仿真性和灵动性，推动仿生机器人设计向更智能化升级。

参考文献

[1] 陈国军, 王宇, 陈巍, 等. 基于改进 PSO 的水下仿生机器人运动控制研究 [J]. 计算机仿真, 2025, 42 (01): 405-409+434.
[2] 冯育凯, 吴正兴, 余澍祎, 等. 基于多智能体强化学习的水下仿生机器人协同围捕 [J]. 人工智能, 2024, (06): 41-49.
[3] 罗自荣, 洪阳, 蒋涛, 等. 微型仿生机器人研究现状综述 [J]. 机械工程学报, 2025, 61 (03): 178-196.
[4] 郭天颖, 茆晓阳, 段齐骏. 仿生机器人在灾害搜救中的应用与发展分析 [J]. 机器人技术与应用, 2024, (05): 6-10+15.
[5] 王文娟, 张梦杰, 刘元博, 等. 基于仿生机器人的狭小空间裂纹检测技术 [J]. 航空科学技术, 2024, 35 (07): 104-110.
[6] 卢盟远, 徐嘉鑫, 叶尧汉, 等. 仿生机器人的创新与研究 [N]. 山西科技报, 2024-06-13 (A03).
[7] 刘强, 周涛, 肖梦, 等. 新型两栖仿生机器人的结构设计和运动学仿真 [J]. 舰船科学技术, 2024, 46 (10): 92-97.
[8] 董格羽. 人工智能仿生机器人产业发展对区域经济的影响——以广西为例 [J]. 现代工业经济和信息化, 2024, 14 (02): 53-55+61.
[9] 宋君君. 基于系统建模的仿生机器人研究 [J]. 设备管理与维修, 2022, (10): 44-45.
[10] 刘玲. 六足仿生机器人的视觉及步态稳定性分析 [D]. 兰州理工大学, 2021.