

手功能康复软体机器人研究报告

刘锦洋

北京市第一六六中学 北京 100010

摘要：本研究制备了磁控智能材料，观察研究了打印模型对磁场的响应情况，通过磁控 4D 打印制作出了手功能康复软体机器人样品。

关键词：4D 打印；智能材料；磁场

1 研究基础

1.1 研究背景

在世界机器人大会上，软体机器人展台的气动手功能康复手套吸引了我的注意力，我发现它的体积和重量较大，携带不方便，穿戴也不舒适，限制了手部关节的自由度。怎样能优化这款手功能康复手套呢？我查询了很多软体机器人和智能材料的相关资料，找到了正在做相关研究的北京交通大学的李振坤老师，跟随老师研究磁控 4D 打印手功能康复软体机器人。

1.2 研究目的与研究内容

本实验是利用磁控 4D 打印技术制作的一种新型软体康复机器人。4D 打印多出的一个“D”是时间维度，4D 打印制作出的物体可随时间的变化而发生变化。普通的 3D 打印只是制作出一个固定的模型。李老师团队将现有的 3D 打印机改造成了一个可以进行磁畴编程的磁控 4D 打印设备。

本研究主要是通过制备磁控智能材料，观察打印模型对磁场的响应情况，最终用磁控 4D 打印技术，让智能材料实现预设计的弯曲度和力度，满足手功能康复治疗的需求。

1.3 研究方法

本研究采用的研究方法主要有：

文献法：查阅康复软体机器人的有关文献和书籍，梳理总结。

实验观察法：对 4D 打印机设置不同的变量观察总结磁控智能材料的弯曲度，对实验结果进行分析。

2 研究过程

2.1 人手结构及功能的背景知识

2.1.1 人手结构分析

人手骨骼结构主要由腕骨、掌骨、指骨所组成，指骨又由近端指骨、中指骨和远端指骨组成。

腕骨、掌骨和近端指骨、中指骨和远端指骨之间又形成了腕掌关节、掌指关节、近端指间关节、远端指间关节。人手自由度共有 21 个，大拇指除了指间关节以及掌指关节各 1 个自由度外，腕掌关节有 3 个自由度，

共有 5 个自由度。四指每个手指有 4 个自由度，其中掌指关节有 2 个自由度，近端指间关节和远端指间关节各有 1 个自由度。正常成人手指关节活动范围，如表 1。

手指关节	活动方式和范围
拇指掌指关节	外展40°，内收45°
四指掌指关节	掌屈60°-90°，伸直0°，过伸/背屈20°
近端指尖关节	掌屈90°，伸直0°
远端指尖关节	掌屈60°-90°，伸直0°
腕掌关节	掌屈0°-60°

表 1 正常成人手指活动方式和范围

2.1.2 人手功能分析

人生来就拥有双手进行劳动操作和生产，手和我们的生活息息相关，手的功能和外观都较为重要。手有十三种基本的功能：悬垂、托举、触摸、推压、击打、动态操作、球形掌握、球形指尖握、柱状抓握、勾拉、二指尖捏、多指尖捏、侧捏。这些动作需要各个手指之间的配合来完成。各个手指的功能如表 2 所示。

手指	功能
拇指	抓、握、旋转、移动
食指	触摸屏幕、按按钮、操作小型装置
中指	检点物品的大小、形状和纹理等细节
无名指	夹持物体
小指	支撑物体或将物体固定在手掌

表 2 正常成人手指的功能

如果人类的手指无法工作的话，人类也就丧失了劳动能力，我希望每个存在手功能障碍的病人都能有一双灵活的手，所以我开展了此次研究。

2.2 气动手功能康复软体机器人存在的问题

气动软体机器人的动作主要依靠气体压力变化引起的伸缩行为来完成运动，由于压力系统是必不可少的部分，所以需要笨重的、刚性的驱动气体设备，导致无法在户外环境使用，同时价格昂贵。

2.3 磁控 4D 打印技术的原理

4D 打印能直接把设计以编程的方式内置到打印材料中，并在打印后，在特定环境中，让物体变形为预期的形状。磁控 4D 打印是一种使用磁场作为驱动方法的 4D 打印技术。

2.4 磁控 4D 打印特性对手功能康复软体机器人设计思路的指导

磁控 4D 打印软体机器人除了具有高度的灵活性和简单的构造外，在磁场驱动下可以实现运动的能力。其驱动可设计、重量轻、价格低，具有独特的形状记忆和变形能力。与热驱动相比，磁驱动可以更快速的响应；与水驱动相比，磁驱动可以远程操作，实现非接触控制；与电驱动相比，磁驱动更安全便捷。

将 4D 打印出的磁控材料用硅胶胶水粘在硅胶手套上，手套底部放置一块手掌大小的磁铁即可进行手康复训练，如图 1。



图 1 磁控 4D 打印硅胶手套

2.5 实验计划制定

我在制定实验计划时，主要考虑了以下几个因素：

第一：配置磁控材料，记录所需材料的成分及配比。
第二：记录不同变量 / 实验数据所制作的磁控材料的弯曲度。
第三：如何实现根据每根手指的不同需求给出相应的力度和弯曲度。
第四：记录不同的温度条件下，磁控弯曲度是否会发生变形。

2.6 实际实验及数据对比

具体实验时间分别为 2023 年 8 月 18 日 10:30-17:30，2023 年 8 月 22 日下午 14:00-17:30，2023 年 9 月 17 日下午 14:00-17:00。

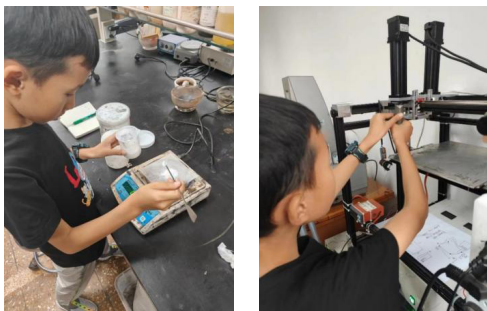


图 2 我在实验室做实验的照片

2.6.1 实际实验过程

磁控智能材料制备步骤：

步骤 1：用量筒量取 17.4ml T05B 硅胶倒入烧杯。

步骤 2：称取 1.98g KH570 二氧化硅粉末倒入步骤 1 的烧杯内，将烧杯放置搅拌架进行搅拌，设置转速为 500 转每分钟，搅拌 5 分钟。

步骤 3：用天平称取 9.81g SE1700 硅胶放入步骤 2 的烧杯内继续搅拌，转速设置为 700 转每分钟，搅拌 5 分钟。

步骤 4：用天平称取 23.61g 钕铁硼颗粒倒入步骤 3 的烧杯内继续搅拌，转速设置为 900 转每分钟，搅拌 5 分钟。

步骤 5：用量筒量取 2ml 催化剂倒入步骤 4 的烧杯内继续搅拌，转速为 900 转每分钟，搅拌 5 分钟。最终制得磁控智能材料。

4D 打印界面及步骤：

本次打印的磁控手功能康复软体机器人由多个单模块粘在硅胶板上拼接而成，每个单模块都对应手指的一节。每个单模块拼接的时候磁极朝一个方向，保证在磁场下运动时能完成手指的伸展与蜷缩。每个模块的打印如图所示，箭头的方向是打印头移动的方向，同时也代表磁畴编程的方向，打印时为单程出料，回程不出料，这样保证了每个线条磁极的方向都朝一个方向。

打印界面：

打印基点：开始打印的位置；

磁畴宽度：正方形块的边长；磁畴层数：打印几层磁；合页宽度：磁畴与磁畴之间相隔的距离；单次磁畴宽度：每两小条的磁畴之间的距离；单次合页宽度：每两小条合页之间的距离；单次高度：每层小条的高度；规避高度：每打完一排打印头会抬起之后的高度；打印速度：打印头一秒可以打印几毫米长；

排料位置：打完磁畴以后由于充磁的材料剩下了一点，需要排干净以后再打印不含磁畴的合页；

排料时间：排料需要几秒。

打印步骤：

第一：4D 打印机 XYZ 坐标归零；

第二：调节机器变量；

第三：开始打印，同时用电磁铁充磁；

第四：打印成品放入烘干机约 10 分钟，将材料固化；

第五：用夹子取出打印好的材料。

2.6.2 磁控手功能康复软体机器人的打印制作

打印制作：

首先打印制作出软体机器人所需要的单模块，打印的单模层数为 3 层、宽 15mm，所需块数为 14 块。打印结束后将每个单模块粘在硅胶板上。

在磁场下的响应：

用海绵制作“模型手”，将粘有单模块的硅胶板

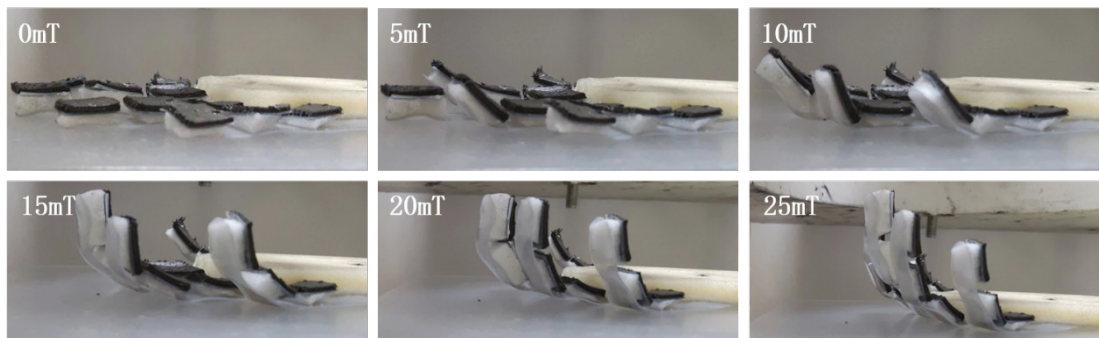


图3 实验时我用拍摄的方式记录的数据

粘在模型手的手指处，放置于亥姆霍兹线圈内部，观察其在不通磁场下的伸展及蜷缩情况，如图3。

3 全文总结

3.1 总结并给出研究建议

我选择这个研究项目，一是因为我的爸爸在医学领域工作，经常给我科普医学常识，让我对医学产生了好奇心。二是我的姥姥就是脑卒中后遗症，身边还有很多爷爷奶奶因脑卒中导致手功能受损。现阶段的治疗方法，不管是医生的一对一康复治疗，还是市场上的气动康复手套，费用都比较昂贵，同时，气动装置体积较大，不方便移动和携带。如果磁控4D打印能实现手功能康复训练，将会让手功能受损的人群恢复手部的活动能力，

提高他们的生活质量。

在整个研究过程中，首先，我学会了通过网络搜索资料，提炼总结文献的重点内容。其次，我学会了通过实验的方式验证理论知识和自己的想法：

- 第一：通过调节实验数据，改变磁控材料的弯曲度；
- 第二：通过磁控4D打印技术优化手功能康复手套。

这次的论文写作持续了三个月以上的时间，从资料搜集、提出设想、实验、总结数据，再到最后的论文撰写，我感受到了不一样的科学魅力，也体会到了科学工作者的不易。希望在未来，有机会继续完善我的课题，为手功能受损患者的康复贡献自己的力量。

参考文献：

[1] 《中国脑卒中防治报告2020》编写组.《中国脑卒中防治报告2020》概要[J].中国脑血管病杂志,2022,19(2):136-144.

[2] 韩天宇.一种仿生变刚度软体机械手的设计、制造与控制[D].天津大学,2018.

[3] 吕起印.磁驱动软体机器人4D打印及其关键理论技术研究[D].长春大学,2022.