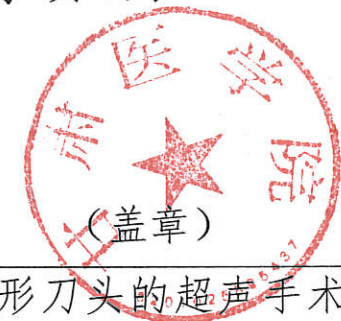


甘肃省大学生创新创业训练计划  
项目申报表  
(创新训练项目)



推荐学校：

(盖章)

项目名称：三角形刀头的超声手术刀  
纵振动的研制

所属一级学科名称：物理学

项目负责人：王蓉

联系电话：17393302526

指导教师：贺洋洋

联系电话：18093327603

申报日期：2019.4.25

甘肃省教育厅 制

填写说明

- 一、申报书要按照要求，逐项认真填写，填写内容必须实事求是，表达明确严谨。空缺项要填“无”。
- 二、格式要求：表格中的字体采用小四号宋体，单倍行距；需签字部分由相关人员以黑色钢笔或签字笔签名。
- 三、填报者须注意页面的排版。

|                  |        |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                               |            |         |             |                   |  |
|------------------|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------|-------------|-------------------|--|
| 项目名称             |        | 三角形刀头的超声手术刀纵振动的研究                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                               |            |         |             |                   |  |
| 项目所属一级学科         |        | 物理学                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                               |            |         |             |                   |  |
| 项目实施时间           |        | 起始时间：2019 年 1 月 完成时间：2020 年 12 月                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                               |            |         |             |                   |  |
| 项目简介<br>(100字以内) |        | 利用超声刀频率为 55.5khz 时，理论推导出大尺寸夹心超声换能器、四分之一波长指数型变幅杆和楔形变幅杆“纯”纵振动时，振动系统和振子的尺寸大小，用有限元 Ansys 进行模态分析和谐响应分析，获取“纯”纵振动的振型图、应力、位移分布、导纳特性曲线等参数，系统分析三角形刀头长度、厚度参数对超声振动系统纯“纵”振动的影响，确定了综合性能最优的三角形超声刀具，并试制手术刀模型，进行振动模态和位移的实验测量，观察实验数据与仿真结果是否一致。 |                                                                                                                                                               |            |         |             |                   |  |
| 申请人或申请团队         |        | 姓名                                                                                                                                                                                                                           | 年级                                                                                                                                                            | 学号         | 所在院系/专业 | 联系电话        | E-mail            |  |
|                  | 主持人    | 王 蓉                                                                                                                                                                                                                          | 2016                                                                                                                                                          | 2016020631 | 临床医学    | 17393302526 | 2296445458@qq.com |  |
|                  |        | 樊 斌                                                                                                                                                                                                                          | 2018                                                                                                                                                          | 2018021107 | 医学检验    | 15594013137 | 3120258615@qq.com |  |
|                  | 成 员    | 王 变                                                                                                                                                                                                                          | 2017                                                                                                                                                          | 2017012721 | 医学影像    | 15120434542 | 1524533380@qq.com |  |
|                  |        | 郭 蕊                                                                                                                                                                                                                          | 2018                                                                                                                                                          | 2018021011 | 医学检验    | 18293075586 | 1743486684@qq.com |  |
|                  |        |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                               |            |         |             |                   |  |
| 指导教师             | 第一指导教师 | 姓名                                                                                                                                                                                                                           | 贺洋洋                                                                                                                                                           |            | 单位      | 甘肃医学院       |                   |  |
|                  |        | 年龄                                                                                                                                                                                                                           | 32                                                                                                                                                            |            | 专业技术职务  | 讲 师         |                   |  |
|                  | 主要成果   |                                                                                                                                                                                                                              | 2017 年荣获全国大学生“三下乡”活动优秀指导教师。<br>2017 年荣获甘肃省挑战杯优秀指导老师。<br>2019 年主持甘肃省教育厅科研项目 在研。<br>2019.3 月在医疗装备发表题为《浅谈超声手术刀的临床应用》论文。2017 年参与《依托甘肃医学院建立养老服务人才培养基地可行性研究》创新创业项目。 |            |         |             |                   |  |
|                  | 第二指导教师 | 姓名                                                                                                                                                                                                                           | 张 晖                                                                                                                                                           |            | 单位      | 甘肃医学院       |                   |  |
|                  |        | 年龄                                                                                                                                                                                                                           | 36                                                                                                                                                            |            | 专业技术职务  | 讲师          |                   |  |
|                  | 主要成果   |                                                                                                                                                                                                                              | 甘肃省挑战杯优秀指导老师                                                                                                                                                  |            |         |             |                   |  |

## 一、申请理由

我是一名临床医学专业大三的学生，在外科手术学实验课中，兔子阑尾切除术时中用到的是电刀，出血量较大，术后恢复慢。现在，临床上常用的是超声手术刀，具有手术精度高、操作简便、手术创伤区域小、无烟雾、出血量少、手术时间短、术后恢复快等优点，其原理是利用超声波振动产生强大冲击加速度和声微流的作用，切开人体组织的。有幸加入贺老师关于超声手术刀的研究团队，研制三角形刀头的超声刀纵振动的研制，主要负责超声刀的临床试验。

## 二、项目方案

### 项目研究背景

超声手术刀主要是通过超声波振动产生强大冲击加速度和声微流的作用，切开人体组织。刀头上的温度并不高，切开后断面光滑，伤口易于愈合。超声手术刀至今已有 50 多年的发展历史，广泛应用于各类病变的切除和血管闭合等手术中，尤其腹腔镜手术。于普通手术刀和电刀相比，具有手术精度高、操作简便、手术创伤区域小、无烟雾、出血量少、手术时间短、术后恢复快等优点。此外，超声刀工作时不产生电火花，因此不对神经组织产生电信号干扰，特别是对肌肉切割时。

Khambay<sup>[1]</sup> 针对超声骨凿的切骨过程进行研究，阐述了切骨过程中切割速度、切割力和进给深度等参数对切割效果的影响。在国内，郭玉泉<sup>[2]</sup> 进行了超声切割压电换能器的理论研究及有限元仿真，刘井权<sup>[3]</sup> 等进行了超声刀切割系统的模态分析，沙金<sup>[4]</sup> 等研制了一种新型的超声切割刀，并研究了刀头材料对切割刀的影响等。目前，超声手术刀的结构理论研究滞后于结构设计。对超声刀的诸多研究中，还有一部分是临床应用观察，甚少针对工作参数变化导致的负载变化及其对换能器工作特性的影响展开研究，尤其是刀头形状改变对超声刀特性的影响。

前期已经利用变幅杆一维理论对尖刀头进行理论分析，将其看成是横截面为楔形的变幅杆，推出基频纵振动频率，并利用有限元对其进行了模态分析，得到刀头在横截面比较小的情况下一维理论值更接近仿真值，而且刀头的尺寸越大相似度越高，频率越低。但对于其振动特性一无所知。因此，本项目利用超声刀频率为 55.5kHz 时，理论推导出大尺寸夹心超声换能器、四分之一波长指数型变幅杆和楔形变幅杆“纯”纵振动时，振动系统和振子的尺寸大小，用有限元 Ansys 进行模态分析和谐响应分析，获取“纯”纵振动的振型图、应力、位移分布、导纳特性曲线等参数，系统分析三角形刀头长度、厚度参数对超声振动系统纯“纵”振动的影响，确定了综合性能最优的三角形超声刀具，并试制手术刀模型，进行振动模态和位移的实验测量，观察实验数据与仿真结果是否一致。这些研究可以解决传统外科手术刀创伤大等缺点，逐渐取代传统的 11 号尖刀。本项目属于医疗器械的研究，是产学研结合项目。

参考文献和出处：

[1] AMARAL J F. The experimental development of an ultrasonically activated scalpel for laparoscopic use [J]. SurgLaparosc Endosc, 1994, 4 (2): 92-99.

[2] KHAMBAY B S, WALMSLEY A D. Investigations into the use of an ultrasonic chisel to cut bone. Part 1: forces applied by clinicians [J]. Journal of Dentistry, 2000, 28 (1): 31-37.

[3] 曹广凯，姜兴刚等，超声手术刀的工作机理及力负载特性[J]. 电加工与模具，2016，(1): 44-58.

[4] 周红生，许小芳等，超声手术刀的优化设计[J]. 声学技术，2012，31 (1): 48-52.

[5] 索建军，王彤宇等，超声手术刀振动特性分析[J]. 长春理工大学学报，2017，40 (2): 60-63.

[6] 吴鑫，董志刚等，直刃尖刀形状对超声辅助切削系统振动性能的影响[J]. 航空制造技术，2016，(22): 52-57.

### 项目研究目标及主要内容

基于大尺寸夹心式换能器、指数型变幅杆的纵振动理论，设计了刀头为三角形的超声刀纵振动系统，当刀头的纵向尺寸远大于横向时，将刀头等效为楔形变幅杆，用一维纵振动理论推导出振动频率为 55.5kHz 时，换能器、变幅杆的尺寸，建立有限元模型，进行谐响应分析，系统分析三角形刀头长度、厚度参数对超声振动系统纯“纵”振动的影响，确定了综合性能最优的三角形超声刀具。

#### (一) 研究的目标

1. 利用有限元软件模拟超声手术刀的振动，获取振型图、应力、位移等参数。2. 试制手术刀模型，对振动模态和位移的实验测量。

#### (二) 拟突破的重点和难点

1. 在推导换能器、变幅杆、三角形刀头尺寸大小时，当三角形刀头长远远大于厚度是，将其等效成楔形变幅杆。

2. 本课题重点和难点在于有限元的建模过程及网格划分。

3. 有限元建模过程中，先利用理想模型进行分析，换能器部分忽略螺栓，变幅杆和刀头联接忽略工具槽的影响，理论结果和实验结果必然会存在一些误差。因此，工作后期，会对理论模型进行优化设计。

#### (三) 研究内容

超声手术刀由大尺寸夹心式换能器、变幅杆、刀头组成的振动系统，应选择在振幅为零的“柱波节点”处固定，按振动合成原理，当系统处在共振状态时，只有在此柱波节点平面内，从单方向入射波和反方向反射波引起的质量位移恰好大小相等、方向相反，合成位移为零，因此，各结构参数设计是振动的关键。在边界面上力和速度是连续的，所以振动系统看做一个整体来研究。振动系统如图 1。



图 1 超声手术刀结构

#### 1. 换能器

当换能器的振动频率在 55kHz 时，选用 PZT8，性能参数如下表 1。

| 声速 $C$   | 杨氏模量 $E$                            | 密度 $\rho$                        |
|----------|-------------------------------------|----------------------------------|
| 4560 m/s | $7.65 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ | $7.5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ |

超声波传播波长为： $\lambda_1 = \frac{C}{f} = 82.8 \text{ mm}$  (1)，用  $l_1$ 、 $l_2$  为前后盖板的长度，压电陶瓷片的直

径为  $D_1$ ，压电陶瓷片的厚度为  $h$ ，压电陶瓷片个数为  $n$ ，根据张长林等人的研究，压电陶瓷片的直径  $D_1 = 16mm$ 。四分之一夹心式压电陶瓷换能器前盖板的长度为：

$$l_2 = \frac{\lambda_1}{4} = \frac{82.8mm}{4} = 23.14mm \quad (2)$$

后盖板  $l_1 = 8mm$ ，陶瓷片厚度  $h = 4mm$ ，个数  $n = 2$ 。

2.变幅杆

采用指数型变幅杆，直径分别为  $D_1$  和  $D_2$ ，长度为  $l_3 = \frac{\lambda_2}{4} = \frac{1}{4} \times 93 = 23.25mm$ ，放大倍数为  $N$ ，带负载的指数型变幅杆振动频率方程为：
$$tg(kl) = \frac{k'l}{\beta l - \frac{Z_{02}}{X_1} kl} \quad (3)$$

选用 45# 钢，参数如表 2：

| 声速 $C$   | 杨氏模量 $E$                     | 密度 $\rho$                 |
|----------|------------------------------|---------------------------|
| 5192 m/s | $20.27 \times 10^{10} N/m^2$ | $7.81 \times 10^3 kg/m^3$ |

根据变幅杆放大倍数  $N = (S_1 / S_2)^{1/2} = R_1 / R_2$ 。 $R_1$  为变幅杆宽端的半径， $R_2$  为窄端的半径。换能器输出位移用  $\xi_1$  表示，经变幅杆放大后位移为  $\xi_2$  表示。由于是四分之一波长换能器， $\xi_1 = \frac{\lambda}{4} = 0.0128$ ， $\xi_2 = 0.041mm$ ，放大倍数  $N = \frac{\xi_2}{\xi_1} = \frac{0.041}{0.0128} = 3.2$  (4) 由上式可得， $R_1 = \frac{D_1}{2} = 8mm$   $R_2 = \frac{R_1}{N} = \frac{8mm}{3.2} = 2.5mm$ 。

3.刀头

刀头选择医用钛合金材料 TLC4，参数如表 3：

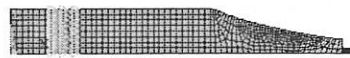
| 密度                  | 杨氏模量                        | 声速            | 泊松比            |
|---------------------|-----------------------------|---------------|----------------|
| $\rho = 4500kg/m^3$ | $E = 1.1 \times 10^{11} pa$ | $c = 5077m/s$ | $\sigma = 0.3$ |

当刀头横向尺寸远远大于纵向尺寸时，将刀头等效为楔形变幅杆。根据表 3 材料参数可得：刀头长度  $l = \frac{3.8317 \times c}{\omega} = 56mm$ ，厚度为  $d = 2mm$ 。

4.ANSYS 建模

换能器前后盖板选择硬铝，杨氏模量为  $7 \times 10^{10} N/m^2$ ， $\sigma = 0.34$ ， $\rho = 2700kg/m^3$ ，压电材料选择 PZT8，刀头选择钛合金材料，其材料参数为： $\rho = 4500kg/m^3$ ，泊松比  $\sigma = 0.32$ ，杨氏模量为  $E = 11.78 \times 10^{10} pa$ ，刀头形状为直角三角形，建模图像为图 3。

图 3 有限元模型



通过有限元

ANSYS 模态

和谐响应分析，获取“纯”纵振动频率，位移、应力、导纳特性曲线等参数。

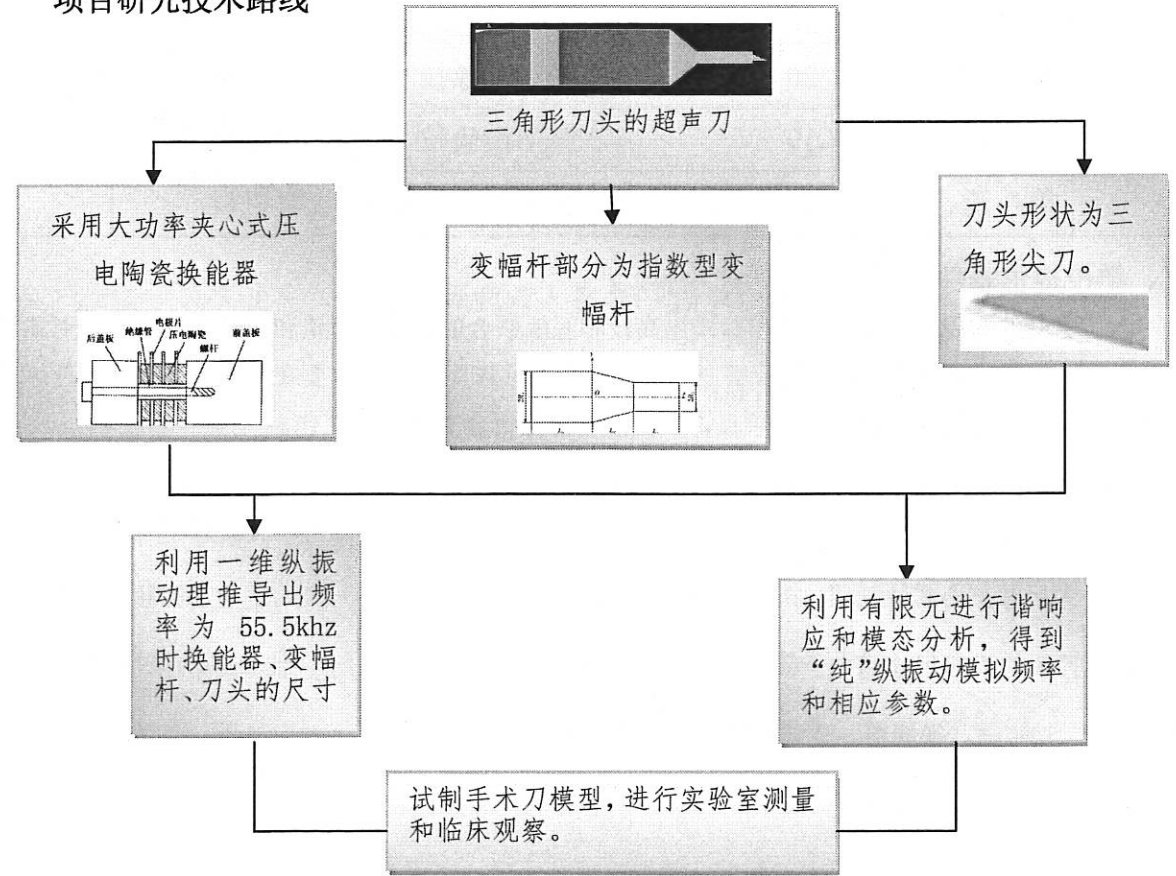
5.试制手术刀模型

为了验证有限元分析结果的准确性，进一步研究尖刀刀头对振动幅度和振动频率的影响，选取刀头长度为 56mm 进行，厚度为 2mm 进行试验分析。

项目创新特色概述

本项目利用超声刀频率为 55.5khz 时，理论推导出大尺寸夹心超声换能器、四分之一波长指数型变幅杆和楔形变幅杆纵振动时，振动系统和振子的尺寸大小，用有限元 Ansys 进行模态分析和谐响应分析，获取纵振动的振型图、应力、位移分布、导纳特性曲线等参数，系统分析三角形刀头长度、厚度参数对超声振动系统纵振动的影响，确定了综合性能最优的三角形超声刀具，并试制手术刀模型，进行振动模态和位移的实验测量，观察实验数据与仿真结果是否一致。

项目研究技术路线



研究进度安排

为了更好的实现研究目标，该项目采用高校和医院联合的办法，理论和模拟工作主要在甘肃医学院进行，试制手术刀模型进行实验将在陕西师范大学物理学院完成，后期观察三角形超声刀在临床中的效果主要在甘肃医学院外科手术室完成。

本项目基于大尺寸夹心式换能器、指数型变幅杆的纵振动理论，设计了刀头为三角形的超声刀纵振动系统，当刀头的纵向尺寸远大于横向时，将刀头等效为楔形变幅杆，用一维纵振动理论推导出振动频率为 55.5 khz 时，换能器、变幅杆的尺寸，建立有限元模型，进行模态分析和谐响应分析，获取振动频率，振型图、应力位移等分布参数，使所设计的超声刀为“纯”纵向振动，刀头输出位移最大，刀身应力最小。为验证有限元结果试制超声手术刀模型，进行超声刀振动模态和位移的实验测量，并将超声刀在外科手术室中进行试验，观察临床效果。

时间进度安排：

- (1) 2018.9-2019.1 查阅文献，学习 ANSYS 和换能器、变幅杆纵振动理论。
- (2) 2019.1-2020.1，理论推导，利用 ANSYS 建模，发表论文
- (3) 2020.1-2020.4，整理实验结果，试制手术刀模型，撰写结题报告。

项目组成员分工

| 姓 名 | 年 龄 | 所学专业   | 分工情况  |
|-----|-----|--------|-------|
| 王 蓉 | 21  | 临床医学   | 研制与实验 |
| 王 变 | 20  | 医学影像技术 | 研制与实验 |
| 樊 斌 | 19  | 医学检验技术 | 结果分析  |
| 郭 蕊 | 19  | 医学检验技术 | 收集资料  |

三、学校提供条件

为了更好的实现研究目标，该项目采用高校和医院联合的办法，理论和模拟工作主要在甘肃医学院进行，试制手术刀模型，后期观察三角形超声刀在临床中的效果主要在甘肃医学院外科手术室完成。本项目为甘肃省教育厅自筹项目，学校给与部分资金支持研发工作。

四、预期成果

基于大尺寸夹心式换能器、指数型变幅杆的纵振动理论，设计了刀头为三角形的超声刀纵振动系统，当刀头的纵向尺寸远大于横向时，将刀头等效为楔形变幅杆，用一维纵振动理论推导出振动频率为 55.5 khz 时，换能器、变幅杆的尺寸，建立有限元模型，进行谐响应分析，系统分析三角形刀头长度、厚度参数对超声振动系统纯“纵”振动的影响，确定综合性能最优的三角形超声刀具。发表 1 篇国家级论文，并试制手术刀模型，性能测试完成后，申请专利一项。

五、经费预算

| 总经费（元） |  | 财政拨款（元） |  | 学校拨款（元） |  |
|--------|--|---------|--|---------|--|
|--------|--|---------|--|---------|--|

注：总经费、财政拨款、学校拨款由学校按照有关规定核定数目进行填写

- 1、调研、差旅费 0.5 万。
- 2、用于项目研发的元器件、软硬件测试、小型硬件购置费等 2.0 万。
- 3、资料购置、打印、复印、印刷等费用 1.0 万。
- 4、学生撰写与项目有关的论文版面费、申请专利费等 1.0 万。

六、导师推荐意见

同意推荐

签名：贺泽泽

2019 年 4 月 26 日

七、院系推荐意见

同意推荐

院系负责人签名：李蕾

学院盖章：

西医教学部

2019 年 4 月 26 日

八、学校推荐意见：

同意推荐

学校负责人签名：

学校公章

2019 年 4 月 28 日

注：表格栏高不够可增加。