一种新型梁类机械零件夹具装置的设计与应用研究*

白玉梅　瞿金秀　吴佳燕　史小伟　黄家琦　柯　非
（西安工业大学机电工程学院，陕西 西安 710021）

摘　要：为了开展基于声音信号对梁类机械零件损伤检测识别的实验，文章结合实际需求，设计了一种梁类机械零件的夹具装置，并结合应用实例，解释了该夹具装置的使用方法。该夹具装置对现有装置进行升级，设计了一种表面各具特点的夹紧块，使其能够快速适应不同横截面形状、不同大小机械零件的装夹，以实现高效、多功能、低成本的目的；同时采用丝杠螺母副，利用其结构简单、运动平稳的优点，实现机械零件的上下移动和装夹，为基于声音信号的结构损伤检测识别提供了有效的实验基础。

关键词：梁类机械零件；任意横截面形状和尺寸；夹紧；夹具装置
中图分类号：TH122　　**文献标识码：**A
DOI: 10.19287/j.mtmt.1005-2402.2024.05.018

Design and application of a new type of beam mechanical parts fixture device

BAI Yumei, QU Jinxiu, WU Jiayan, SHI Xiaowei, HUANG Jiaqi, KE Fei
(College of Mechanical and Electronic Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, CHN)

Abstract: In order to carry out the experiment of damage detection and identification of beam mechanical parts based on sound signals, combined with the actual needs, a fixture device for beam mechanical parts was designed, and the use of the fixture device was explained in combination with the application examples. The clamping device upgrades the existing device, and designs a clamping block with different surface characteristics, so that it can quickly adapt to the clamping of mechanical parts of different cross-sectional shapes and different sizes, so as to achieve the purpose of high efficiency, multi-function and low cost. At the same time, the lead screw nut pair is adopted, which takes advantage of its simple structure and stable movement to realize the up and down movement and clamping of mechanical parts, which provides an effective experimental basis for structural damage detection and identification based on sound signal.

Keywords: beam mechanical parts; any cross-sectional shape and size; clamping; fixture device

随着社会的现代转型、生产力的快速发展，越来越多的工业化、机械化、规模化的生产方式涌现，机械设备的使用极大地解放了劳动力，可是机械零件的损伤会影响到设备的正常工作，形成安全隐患，严重时甚至引发安全事故，造成人身财产的损失。国防与国民经济行业中各种机械设备的安全性和可靠性也越来越受到重视，在生产和工程实际中需要对关键设备的重要零部件进行损伤检测，以保证机械设备运行安全可靠，避免重大事故发生。

梁类机械零件一般作为整体结构的主要承力件，在机械设备中应用广泛，梁类机械零件的结构完整与否会直接影响到设备运行的安全可靠。机械设备日趋大型化、高速化、精密化和智能化，也使得机械零件的工作环境和受力情况日益复杂，在设备运行时极易出现损伤，给国民经济生产和人类生活带来巨大的隐患[1]。

目前，针对机械零件的损伤检测，普遍采用射线探伤（常用射线为 X 射线和 γ 射线）、超声探伤

* 陕西省高校科协青年人才托举计划项目“基于声音信号的生产线铁路设备关键零部件智能损伤检测方法”（20220466）；陕西省自然科学基础研究计划项目“行星齿轮传动系统故障演化机理与深度智能诊断方法研究”（2024JC-YBMS-379）；国家自然科学基金项目“复式行星齿轮系统多重复合故障的摩擦振动机理与知识进化研究”（52175113）

（超声能探伤）、磁粉探伤（检测铁磁性材料表面和金表面缺陷）、涡流探伤（电磁感应原理）和渗透探伤（毛细现象）等，大都需要专业设备且操作较为复杂，只能进行抽检，难以实现全检[2]。基于声音信号的梁类机械零件损伤识别检测具有非接触测量、采集方便和处理速度快等特点，该方法有望实现智能化和通用化，且可以有效地识别出梁类机械零件的损伤程度和损伤部位，为工程技术人员提供了便利，为结构的损伤检测识别提供了新方法，满足了工程实际的迫切需求以及工业生产和工程应用方便、高效、准确的要求[3]。因此，开展基于声音信号对梁类机械零件损伤识别检测的研究意义重大。

开展基于声音信号对梁类机械零件损伤识别检测，需要一种梁类机械零件的夹具装置。但是，现有夹具装置存在一些使用功能上的缺陷。例如，现有夹具装置大都不具有通用性，且能夹紧的机械零件横截面形状和尺寸单一[4]，导致更换机械零件不够便利，空间位置调整不便；不同型号机械零件在更换时，还需更换不同的夹紧块，导致大部分时间浪费在机械零件的装夹上，实验效率低下，无法满足实验需求。

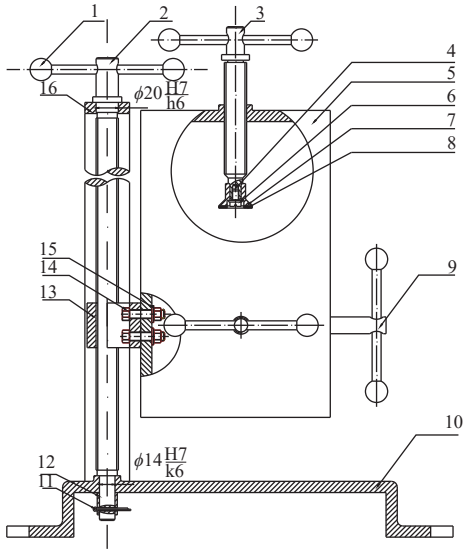
基于上述讨论，本文设计了一种梁类机械零件的夹具装置，并给出了应用实例。该夹具装置是在原有的夹具装置——夹紧块的基础上进行改造，设计了一种表面各具特点的夹紧块，使其能够快速适应不同横截面形状、不同大小机械零件的装夹，以实现高效、多功能、低成本的目的；同时采用丝杠螺母副，利用其结构简单、运动平稳的优点，实现机械零件的上下移动和装夹，为基于声音信号的结构损伤检测识别提供了有效的实验基础。

1 夹具设计

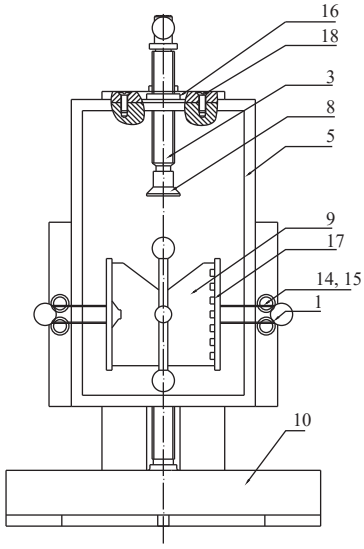
1.1 整体结构设计

在工程实际中，该夹具装置实现的主要功能是对机械零件的升降和装夹。因此，升降夹紧均选用丝杠螺母副[5]，实现夹具组件的升降和任意位置的锁定，具有升降行程长、升降速度快、运动平稳、安全性高等优点[6]。现有的夹具装置大都不具有通用性，且能夹紧的机械零件横截面形状和尺寸单一，导致更换机械零件不够便利，空间位置调整不便。因此，该夹具装置在夹紧方面进行了改进，设计了一种四侧面各具特点的夹紧块，可以满足任意横截面形状和尺寸的机械零件夹紧需求，只需要旋转手柄即可切换装夹面，从而能够快速适应不同横截面形状、不同大小机械零件的装夹。

设计的夹具装置如图 1 和图 2 所示，包含底座和夹具组件等机构。每个大机构又包括若干小机构。在设计时，为保证本夹具装置的通用性，底座对称两边设置 U 形凹槽，可通过内六角螺栓直接安装在实验台上；立柱通过开槽沉头螺钉与挡板连接固定，并将丝杠螺母副放置其中，机构包括升降丝杠、螺母滑块；壳体通过六角头螺栓、平垫圈与螺母滑块连接固定，使其可随螺母滑块移动；夹具组件包括夹紧块、水平方向的一对夹具以及壳体上部的垂直夹具；螺母滑块上焊接有水平的支撑杆，夹紧块穿



(a) 侧视图



(b) 主视图

1—手柄；2—压板；3—升降丝杠；4—升降丝杠；5—夹紧丝杠；6—开槽圆柱头螺钉；7—平垫圈 I；8—夹紧头；9—O 形环；10—底座；11—开口销；12—轴套；13—螺母滑块；14—六角头螺栓；15—平垫圈 II；16—夹紧块；17—圆盘挡板；18—开槽沉头螺钉。

图 1 梁类机械零件夹具装置的二维图

设于支撑杆上[7]。该夹具装置便于实验人员操作，有效提高了操作的安全性；夹紧块4个侧面各具特点，可满足任意横截面形状、尺寸的零件夹紧需求，加工效率高，充分满足生产需求。

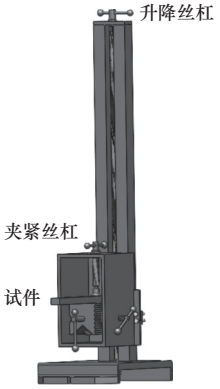
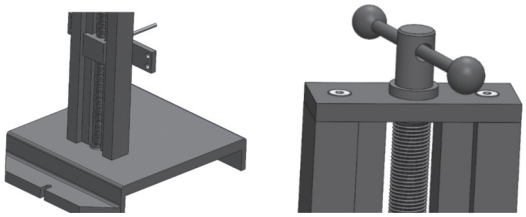


图2 梁类机械零件夹具装置的三维图

1.2 升降部分设计

夹具装置的升降部分如图3、图4所示，由底座、升降丝杠、手柄、压板和螺母滑块等部件组成，主要用于待测机械零件的升降和任意位置的锁定。底座的结构包括矩形底座和固定垂直设置于底座上的立柱支架。矩形底座对称两边设置U形凹槽，可通过内六角螺栓直接安装在实验台上；立柱通过开槽沉头螺钉与挡板连接固定，并将升降丝杠放置其中，升降丝杠底端穿过底座，通过开口销和轴套固定；丝杠顶端设置有通孔，可安装手柄，手柄转动，丝杠随之转动，带动螺母滑块上下移动[8]。



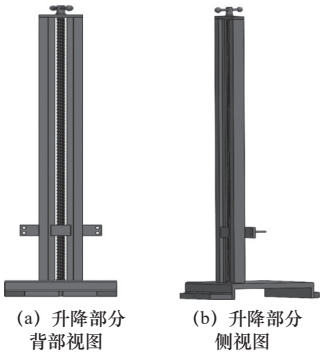
(a) 矩形底座局部图　(b) 压板与立柱支架上端局部图

图3 升降部分局部图

螺母滑块通过六角头螺栓和平垫圈与壳体进行装配，夹具组件可沿着支架上下移动，通过调整高度，实现不同身高人员的实验操作稳定性，突出人性化设计，以配合实验进行。

1.3 夹紧部分设计

夹具装置的夹紧机构如图5所示，由夹紧丝杠、夹紧头、壳体、夹紧块、圆盘挡板和手柄等部件组成。夹紧机构是整个夹具装置的核心部件，其设计的合理性和科学性将对夹具的夹持效果起到重要作用，主要包括水平方向的一对夹具和壳体上部的垂直夹具[9]。



(a) 升降部分背部视图　(b) 升降部分侧视图

图4 升降部分整体三维图

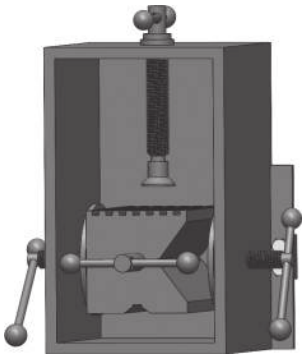


图5 夹紧部分整体三维图

壳体上部的垂直夹具如图6所示，主要由夹紧丝杠、夹紧头和手柄等部件组成，主要作用是对机械零件的夹紧固定。通过旋转夹紧丝杠端部装配的手柄，实现夹紧丝杠上下移动以固定机械零件。装配时要注意：夹紧丝杠底端位于壳体内部且端部通过开槽圆柱头螺钉、平垫圈Ⅰ与夹紧头连接固定[10]；夹紧头下方安装O形环，其目的是增加摩擦力，便于更好地固定待测机械零件。垂直夹具的工作过程为：当夹紧块的位置确定后，通过旋转夹紧丝杠，使夹紧头向下运动，直至贴近并压在待测机械零件上。

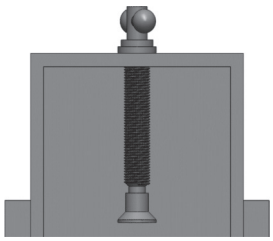
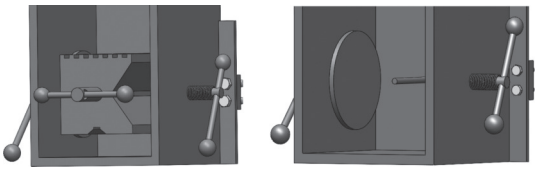


图6 壳体上部的垂直夹具

水平方向的夹具如图7所示，主要由圆盘挡板、夹紧块、手柄等组成，主要作用是对夹紧块的夹紧固定。螺母滑块中部焊接一根水平支撑杆，图7所示为夹紧块穿设于支撑杆上，方便夹紧块在壳体内转动换面。通过观察待测机械零件的形状，选择夹紧块上合适的装夹面，然后旋转壳体两侧安装的圆盘挡板，使其向中间相对运动直至紧贴在夹紧块两侧，不再相对转动。装配时，要注意角度对正[11]。水平夹具的工作过程为：当夹紧块的位置确定后，通过转动圆盘挡板杆部安装的手柄使圆盘挡板向中间相对运动，直至固定夹紧块。



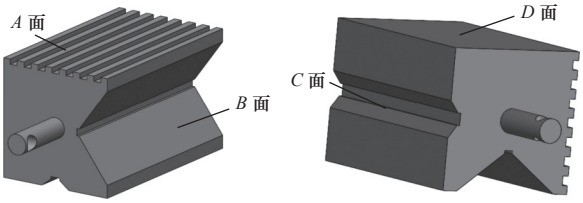
(a) 有夹紧块时　(b) 无夹紧块时

图 7 水平方向的夹具

1.4 亮点部件设计

1.4.1 亮点部件设计

夹紧块是整个夹具装置的核心部件，其设计的合理性和科学性将对夹具的夹持效果起重要作用。如图 8 所示，夹紧块外表为矩形，相对的两个面上，一面设计有孔，可穿设在螺母滑块上水平设置的支撑杆；另一面设置有悬臂杆，杆上有通孔，可安装手柄，转动手柄可切换四面。



(a) A 面、B 面　(b) C 面、D 面

图 8 夹紧块

1.4.2 亮点部件特点

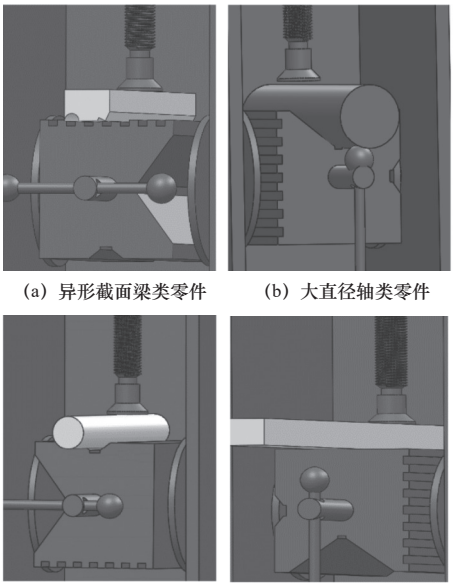
夹紧块 3 个面上分别设置有不同截面形状的槽体，所述槽体沿支撑杆轴向设置；A 面上槽体的截面为矩形，矩形槽体设计有多条（增加摩擦力，用于异形面梁类零件的夹紧）；B 面和 C 面上槽体的截面为角度不同的 V 形，用于夹紧轴类零件，B 面的夹紧范围为 ϕ31～50 mm，C 面的夹紧范围为 ϕ10～30 mm；D 面为平面（用来夹紧矩形截面的梁类零件，夹紧范围为 ϕ10～30 mm）。图 9 所示为 4 个面装夹不同机械零件的模拟检测实例，对夹紧块 4 个面进行直观地说明和演示。

2 夹具应用

2.1 夹具装置的应用

本应用实例提供了一种梁类机械零件夹紧的夹具装置，夹具装置主要由夹具组件以及底座组成。如图 2 所示，旋转升降丝杠可使整个夹具组件升起，旋转夹紧丝杠可夹紧试件。设计升降高度为 1 000 mm，夹紧端最大行程为 70 mm。

矩形底座的对称两侧分别设置 U 形凹槽，通过内六角螺栓可固定在实验台上；升降丝杠带动螺母，从而带动整个夹具组件上下移动调试到合适高度；根据待测机械零件的形状和大小选择合适的夹紧面，通过圆盘挡板固定夹紧块，将待测机械零件放入壳体内夹紧面上，并旋转壳体上部的夹紧丝杠，使夹紧头贴近并压紧待测机械零件，此时完成夹具装置的装配。接下来用音锤敲击待测机械零件，收集声音信号，进行声音信号采集实验。



(a) 异形截面梁类零件　(b) 大直径轴类零件

(c) 小直径轴类零件　(d) 梁类零件

图 9 夹紧块各面夹紧零件示例

2.2 材料选取

夹具壳体为铸铁，丝杠为 45 号钢，使用螺栓或沉头螺钉连接，为国家标准件。

夹紧丝杠和升降丝杠的规格均为 Tr20×20-7H，梯形螺纹的螺纹升角为

$$\lambda = \arctan\frac{S}{\pi d_2} = \arctan\frac{2}{\pi \times 20} = 1°48' \qquad (1)$$

式中：λ为螺纹升角，标准的螺纹升角一般取 $\lambda \leqslant 4°30'$，即梯形螺纹的螺纹升角小于当量摩擦角，该螺纹副即具有自锁功能，满足设计要求；S 为导程；d_2为中径。

梯形螺纹的当量摩擦角为

$$\rho = \arctan\frac{f}{\cos\frac{\alpha}{2}} \qquad (2)$$

式中：ρ为当量摩擦角；f为摩擦因数，查表为 0.1；α为牙型角，根据国家梯形螺纹标准,牙型角采用标准的 30°。

2.3 夹具工作过程

该夹具装置的工作过程（图 10）为：

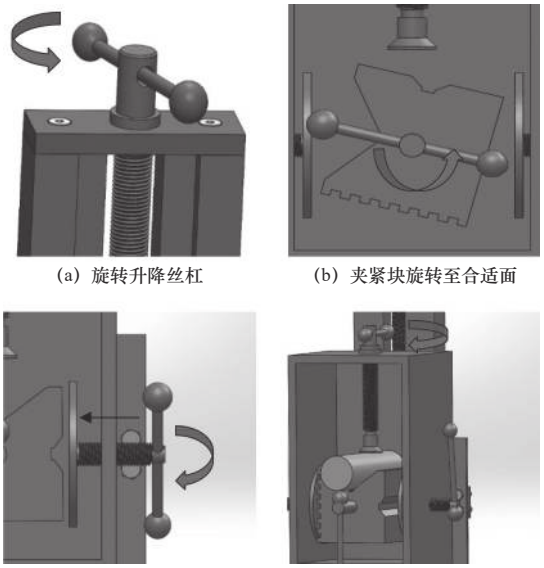
（1）通过旋转手柄，使升降丝杠上下移动位置，调试到合适高度。

（2）根据待测机械零件的形状，旋转手柄选择夹紧块合适的面。

（3）通过手柄使一对圆盘挡板旋转并相向移动，固定住夹紧块的两个侧面。

（4）将待测机械零件置于夹紧面上，再通过把手使上部的夹紧丝杠旋转下降，夹紧头压于待测机械零件上部，固定待测机械零件。

（5）进行声音信号采集实验。



(a) 旋转升降丝杠　(b) 夹紧块旋转至合适面

(c) 旋转圆盘挡板　(d) 旋转夹紧丝杠

图 10 夹具工作过程示意图

3 结语

本文设计了一种梁类机械零件的夹具装置，为基于声音信号的结构损伤检测识别提供实验基础，并结合应用实例，具体说明了该夹具装置的应用。本文设计的夹具装置具有以下特点：

（1）该夹具装置对梁类机械零件进行定位夹紧，方便声音信号的采集；升降和夹紧部分采用丝杠螺母副实现，结构简单，容易操作，且运动平稳；螺母滑块方便带动壳体上下运动从而进行空间位置调整，便于加工人员的操作。

（2）该夹具装置主要由夹具组件和底座组成。底座由螺钉通过两边凹槽固定在实验台上；升降丝杠底部由开口销和轴套固定于底座下方，顶部穿过压板的通孔，使其垂直安装在底座的立柱中；螺母滑块固定在升降丝杠上，通过支撑杆连接带动整个夹具组件进行上下移动。

（3）该夹具装置螺母滑块中部焊接一根水平支撑杆，夹紧块穿设于支撑杆上，方便夹紧块在壳体内转动换面。

（4）该夹具装置的夹紧机构结构合理，通过两个夹紧机构实现夹紧块的固定，1 个夹紧机构实现机械零件的固定；同时夹紧块 4 个侧面各具特点，可满足任意横截面形状、尺寸的机械零件夹紧需求。

参 考 文 献

[1] 陈予恕. 机械故障诊断的非线性动力学原理 [J]. 机械工程学报, 2007, 43(1): 25-34.

[2] 钟掘, 唐华平. 高速轧机若干振动问题——复杂机电系统耦合动力学研究 [J]. 振动. 测试与诊断, 2002, 22(1): 1-8.

[3] 杨叔子, 史铁林. 以人为本——树立制造业发展的新观念 [J]. 机械工程学报, 2008, 44(7): .1-5. .

[4] 张自强, 李占国, 李奇涵, 等. 基于汽车塑料燃油箱耐火性能试验的万能油箱夹具设计 [J]. 机械设计, 2020, 37(3): 54-58.

[5] 罗啸峰, 罗辉. 一种新型丝杠螺母副的结构探讨 [J]. 南方农机, 2017, 48(22): 50.

[6] 李亮, 吴启鹏, 马聪, 等. 一种新型车载升降装置的设计 [J]. 机械设计与制造工程, 2022, 51(5): 45-48.

[7] 李治国, 杨明鄂, 何延刚. 搅拌摩擦焊焊件夹具装置的设计与试验 [J]. 制造技术与机床, 2019(12): 157-159.

[8] 叶文俊, 王全宝, 胡映秋, 等. 梯形丝杠螺母副易磨损的原因分析和改进方法 [J]. 制造技术与机床, 2014(7): 95-97, 139.

[9] 王西来, 陈燎原, 艾子健. 装配夹具的设计及应用 [J]. 工具技术, 2008, 42(12): 64-65.

[10] 乔凌云, 姜雨, 李良, 等. 轴类零件插齿夹具的柔性化改进 [J]. 金属加工: 冷加工, 2021(8): 81-82.

[11] 赵振峰, 杜晓伟, 杨后川, 等. 一种多功能焊接夹具装置设计 [J]. 现代制造技术与装备, 2023, 59(6): 39-41, 54.

第一作者：白玉梅，女，2000 年生，硕士研究生，研究方向为机械制造关键零部件的智能损伤检测。E-mail: b2669102646@163.com

通信作者：瞿金秀，女，1988 年生，副教授，研究方向为基于动态响应信号的机械设备故障诊断与机械结构健康监测。E-mail: ytuqjx@163.com

（编辑　曲书瑶）

（收修改稿日期：2023-11-30）

文章编号:20240522
如果您想发表对本文的看法,请将文章编号填入读者意见调查表中的相应位置。