

渐开线斜齿轮展成加工虚拟实验的设计与实现

王 成

(济南大学 机械工程学院, 山东 济南 250022)

[摘要]展成法是应用最为广泛的齿轮加工方法,其牵扯的运动很多,往往导致学生理解困难。单纯的动画演示教学或现场参观教学无法将刀具与轮坯的运动完整、清晰地展现出来,为此笔者借助虚拟现实技术,设计了渐开线斜齿轮展成加工虚拟实验,让学生亲自动手演示并观察刀具运动、轮坯的运动以及附加运动,并在此基础上了解滚齿机的结构及组成。该实验的教学能够调动学生的学习积极性和主动性,培养学生的实际动手能力,为其学习机械原理等课程奠定良好的基础。

[关键词]虚拟现实;斜齿轮;展成法

Design and Implementation of Virtual Experiments for Involute Helical Gear Generation

Wang Cheng

(School of Mechanical Engineering, University of Jinan, Jinan, Shandong 250022)

Abstract: Generation method is the most widely used gear processing method, and its involvement in many movement leads to students' difficulty in understanding. Simply using animation demonstration or on-site visits cannot fully and clearly show the movement of cutter and wheel blank. Therefore, with the help of virtual reality technology, the virtual experiment of involute helical gear generating and processing is designed and realized. Through this experiment, the students can demonstrate and observe the movement of cutter, gear blank and additional movement by themselves. On this basis, they can understand the structure and composition of gear hobbing machine. The experiment can mobilize students' learning enthusiasm and initiative, cultivate students' practical ability, and lay a good foundation for the study of mechanical principles and other related courses.

Key words: Virtual reality; Helical gear; Generating method

《教育信息化十年发展规划(2011—2020 年)》中明确提出,将深入推进信息技术与高等教

[作者简介] 王成(1977-),男,副教授,博士。

[通信作者] 王成, E-mail: me_wangc@ujn.edu.cn。

育实验教学深度融合、加强高等教育实验教学优质资源建设与应用、提高高等教育实验教学质量和实践水平作为实现教育信息化发展的目标和任务之一^[1]。传统的实验教学需要提供给学生动手操作的硬件与软件环境^[2]，而随着学生人数的逐年增加，实验资源不足的矛盾愈加突出。虚拟实验由于不受时间和空间的限制，已成为实验教学关注的热点^[3-6]。

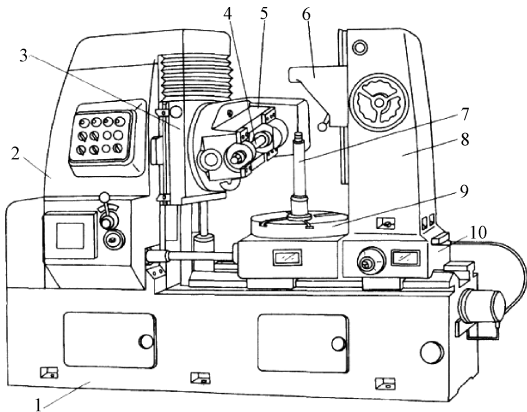
齿轮机构及其设计是机械原理等课程重点讲授的内容^[7-8]。其中，渐开线齿廓的展成加工部分涉及多种运动，包括刀具及轮坯的展成运动、滚刀安装角调整和对刀运动。由于实验条件的限制，大部分高校未开设相应内容的实验，只是单纯地利用动画演示或现场参观的方式进行教学，这种方式无法将刀具与轮坯的运动完整、清晰地展现出来，学生也普遍感到内容抽象，较难理解^[9]，尤其是斜齿轮的展成加工。另外，齿轮修形是改善齿轮传动装置啮合性能、减少啮合冲击、降低噪声的重要措施。大部分传动的齿轮都要进行修形加工，而利用修形刀具来完成齿轮修形是一种常用的加工方法，非常有必要让学生了解。因此，结合齿轮修形内容开设渐开线齿廓的展成加工实验非常重要。

笔者以渐开线斜齿轮为加工对象，开展了渐开线斜齿轮展成加工虚拟实验，并将自己在齿轮修形方面的研究成果有效地融入教学中。在该实验教学中，学生能够亲自观察并动手演示刀具、轮坯的展成运动以及滚刀安装角调整和对刀运动，从而了解滚齿机的结构及组成、滚齿机的切削运动、齿轮的修形方法，掌握渐开线斜齿轮机构的啮合特点、正确啮合条件及渐开线斜齿轮齿廓展成加工方法。该实验的教学能够培养学生的动手能力，为其学习机械原理、机械设计、机械制造装备设计等课程奠定良好的基础。

一、渐开线斜齿轮展成加工的主要知识点

与渐开线斜齿轮展成加工内容相关的知识点包括齿轮加工机床——滚齿机的认知、滚齿加工的运动、加工斜齿轮滚刀安装角的确定、滚刀的选取、常用的修形方法、滚刀修形等。

本实验采用 Y3150E 型滚齿机的模型，如图 1 所示。滚齿机加工齿轮的运动包括以下 4 种（见图 2）：1. 滚刀安装角调整运动，加工时滚刀轴线和轮坯轴线之间应有合理的安装角，以保证切削部位滚刀的螺旋线方向与轮坯的齿向一致；2. 对刀运动，调整滚刀和轮坯位置，通过对中保证滚刀一个刀齿或齿槽的对称中心线与工件中心线重合；3. 展成运动，滚刀和轮坯按照给定的传动比回转；4. 切削运动，滚刀沿轮坯轴线方向垂直进给，切出整个齿宽。



1-床身；2-立柱；3-刀架溜板；4-刀杆；5-刀架体；
6-支架；7-心轴；8-后立柱；9-工作台；10-床鞍

图 1 Y3150E 型滚齿机

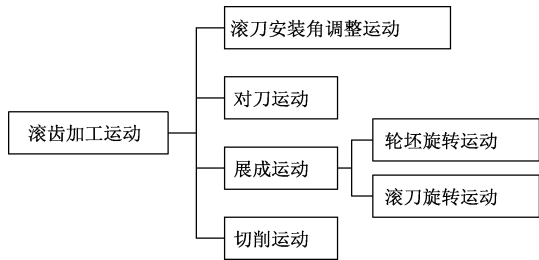


图 2 滚齿加工的运动

为了切出准确的齿形，滚刀刀齿的排列方向应与齿轮齿槽方向一致。图 3 为滚刀加工斜齿轮的示意图。加工时，滚刀轴线与轮坯轴线之间有一个安装角，表示为

$$\lambda = \gamma \pm \beta \quad (1)$$

式中 λ 为安装角， β 为被加工齿轮的螺旋角， γ 为滚刀螺纹的升程角。滚刀加工齿轮相当于齿轮齿条的啮合传动，需要满足平行轴圆柱齿轮机构的正确啮合条件。

齿轮传动过程中产生的振动噪声会严重影响

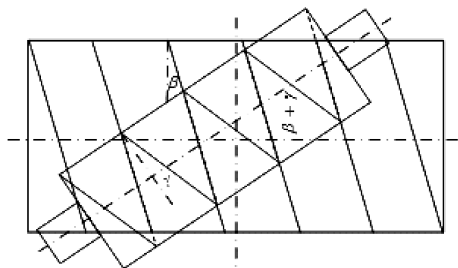


图 3 滚刀加工斜齿轮的示意图

齿轮装置的传动性能。因此,为了改善啮合性能,减少啮合冲击,降低噪声,需要进行齿轮修形。齿轮常用的修形形式有齿廓修形、齿向修形以及上述两种或两种以上的组合修形。齿廓修形可以补偿基节偏差等误差,更重要的是可以补偿轮齿的受载弹性变形,从而改善载荷分配,减少啮入啮出冲击和刚度波动幅值,达到减振降噪、提高承载能力的目的。齿向修形则可以补偿齿轮热变形、系统变形及各种齿向误差,改善齿向载荷分布,提高强度和实现减振降噪。利用修形刀具(见图 4)来完成齿轮修形是一种常用的加工方法,本实验主要涉及齿廓修形。

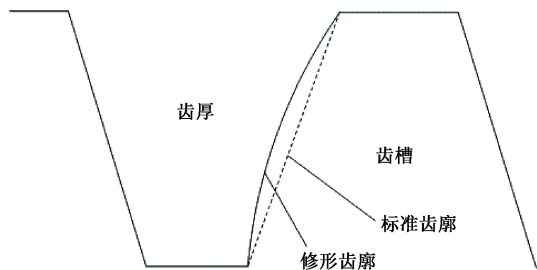


图 4 修形刀具

二、软件开发

本实验涉及的知识点包括渐开线及其性质、渐开线齿廓及其啮合特点、渐开线齿廓的展成加工原理、滚齿机组成及其切削运动、渐开线斜齿圆柱齿轮机构啮合特点和正确啮合条件及齿轮修形理论。针对上述知识点,笔者与济南科明数码技术股份有限公司合作开发了斜齿轮的虚拟修形展成软件。这款软件采用 VR 和 WebGL 开发技术,利用 Unity3d 开发工具完成。软件的界面上设有实验简介、滚齿机认知、切削运动、齿轮参数、滚刀选择、滚刀修形、展成实验等功能菜单,如图 5 所示。



图 5 斜齿轮展成加工虚拟实验软件界面

三、渐开线斜齿轮展成加工虚拟实验过程

学生需要先学习渐开线齿廓的展成加工内容,并通过查阅资料了解齿轮修形的相关内容,在此基础上才能进行虚拟实验。实验步骤如下:1.进入软件界面,点击实验简介菜单,进一步熟悉本次实验的内容。2.在三维环境中,通过旋转、缩放、平移滚齿机模型,完成对滚齿机外观的认识;通过将鼠标滑到滚齿机构件上,认识构件名称并了解滚齿机的构成(见图 6)。3.选择切削运动菜单,分别点击界面显示的主运动、垂直进给运动和径向进给运动子菜单(见图 7),依次观看滚刀的旋转运动、滚刀沿齿轮坯方向所做的连续运动、床身溜板连同工作台和后立柱沿床身导轨的平移运动。4.点击展成实验,选择要加工的齿轮类型,点击齿轮参数菜单,根据弹出的齿轮修形参数和刀具修形图片,结合齿轮修形理论,进一步了解齿轮修形方法;点击滚刀选择菜单,弹出右旋刀和左旋刀选项,分别尝试安装这两种刀具,并完成对刀(见图 8)。对于右旋刀和左旋刀,其安装角是不同的。在将滚刀安装到刀架上的过程中,系统会自动旋转刀架体,将滚刀的安装角与滚刀螺旋升角调整至大小相等,以保证切削部位滚刀的螺旋线方向与工件的齿向一致。在这个过程中,学生要仔细观察,并点击按钮观看演示视频(见图 9),从而掌握渐开线斜齿轮齿廓展成加工的方法。

学生在实验结束后,需要完成一套自测题。自测题的内容与实验内容紧密相关,如齿轮加工的展成运动由哪些运动组成、滚刀的安装角如何确定、切削运动菜单里包含哪些运动等,学生只有认真操作并完成实验,才能正确回答这些问题。自测成绩计入总成绩。

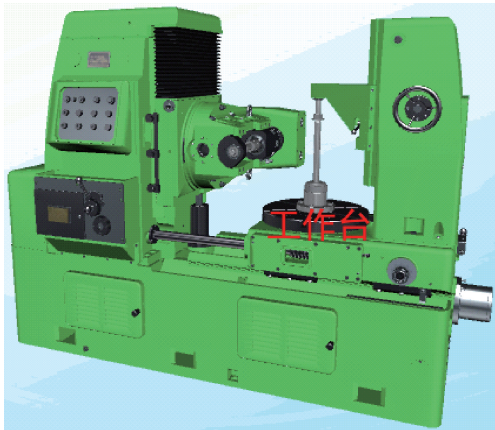


图 6 滚齿机构件显示

滚轮机认知	
切削运动	主运动
展成实验	垂直进给运动
	径向进给运动

图 7 切削运动菜单

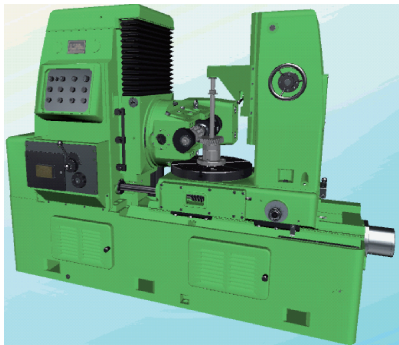


图 8 滚齿机对刀

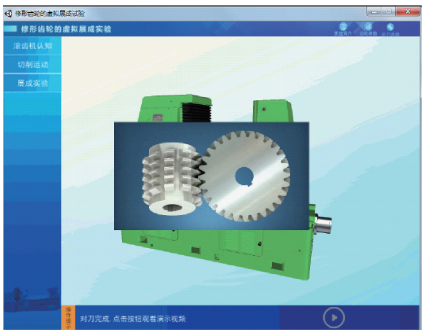


图 9 渐开线斜齿轮加工展成虚拟实验视频

四、结语

虚拟现实技术已经在高校的实验教学中得到了广泛的应用。笔者依托济南大学机械工程学院

的虚拟仿真实验教学中心,开展了渐开线斜齿轮展成加工虚拟实验教学,让学生亲自动手演示各构件的运动、滚刀的安装,并观察对刀运动和渐开线斜齿轮齿廓展成加工的过程。该实验将理论教学与虚拟仿真相结合,能够帮助学生加深对渐开线齿廓展成加工内容的理解与掌握,同时使学生了解滚齿机和齿轮修形的相关内容。本校机械工程学院机设 1701 班的虚拟实验教学结果表明,学生对滚齿机的结构、组成和运动有了直观的认识,对齿轮修形有了深入的了解,掌握了渐开线斜齿圆柱齿轮传动的啮合特点,更重要的是,对课本里抽象的理论和概念有了更深入的认识和理解。

(文字编辑:李丽妍)

参考文献:

[1] 教育部. 关于印发《教育信息化十年发展规划(2011—2020 年)》的通知[EB/OL]. http://old.moe.gov.cn/publicfiles/business/htmlfiles/moe/s3342/201203/xxgk_133322.html.

[2] 马彦军,程奂翀,周鑫,等. 机械原理虚拟实验构件统一建模及应用[J]. 实验室研究与探索,2010,29(10): 266-269.

[3] 崔芷君,谢冬婵,匡谨,等. 基于虚拟现实技术的心理学实验教学资源建设[J]. 实验技术与管理,2017,34(3):194-198.

[4] 王卫国.虚拟仿真实验教学中心建设思考与建议[J]. 实验室研究与探索,2013,32(12):5-8.

[5] 李平,毛昌杰,徐进.开展国家级虚拟仿真实验教学中心建设提高高校实验教学信息化水平[J].实验室研究与探索,2013,32(11):5-8.

[6] 陈润,孙界平,琚生根,等. 构建计算机虚拟实验教学质量保障体系[J]. 实验技术与管理,2017,34(8): 107-110.

[7] 郑文伟,吴克坚. 机械原理[M]. 7 版. 北京: 高等教育出版社,2012.

[8] 王成,杨波,刘海. 齿轮机构认知虚拟仿真实验的设计与实现[J]. 实验室研究与探索,2018,37(8): 102-105.

[9] 王成. 以卓越工程师培养为导向的机械原理课程改革与创新[J]. 中国现代教育装备,2015(11):75-77.