

微晶磁性材料制备 VR 虚拟仿真实验的设计与实现

国安邦 李昌昌 赵 蹇

(沈阳工业大学理学院 辽宁 沈阳 110870)

张 娜

(沈阳师范大学 辽宁 沈阳 110034)

(收稿日期:2022-11-08)

摘要:将虚拟仿真技术应用于磁学与磁性材料制备实验教学,设计了“一主线、四模块、四层次”的实验教学内容结构,建设了微晶磁性材料 VR 虚拟仿真实验项目.引入了唯象的教学思维,解决了原子磁矩和磁畴理论过于抽象的教学难题,1:1 还原了微晶磁性材料制备所涉及的设备和操作流程,解决了微晶磁性材料制备实验高成本、高风险的现实问题,弥补了高校物理实验教学中磁学相关实验较少的缺陷.

关键词:磁性材料;物理实验;虚拟现实

磁学与磁性材料是物理学的重要组成部分,是新工科人才必备的物理学知识之一,随着现代工业

的发展,磁性材料的重要性愈发凸显,在机械^[1]、电气^[2]、信息^[3]、医疗^[4]等多个领域都有广泛应用.在

时间,打破受限时空,提高交流互动时效性,有效提高教学效果,教师可借助该平台收集的数据及时了解学生学习状态,减少大量重复性工作,提升工作效率,从而全面提高实验课程质量和教学效果.

参考文献

[1] 陈文欣,程卫军.基于“微助教”的混合教学模式实践探究[J].中央民族大学学报(自然科学版),2022,31(2):90-96.

[2] 赵杰.大学普通物理实验[M].北京:北京航空航天大学出版社,2019:1-3.

[3] 何莹,曾汉来,李海霞,等.基于微助教“双主”实验教学模式研究[J].生命的化学,2020,40(11):2074-2079.

[4] 顾妍,高东梁,高雷,等.微信新媒体在大学物理实验教学中的应用[J].产业与科技论坛,2019,18(7):712-713.

[5] 窦柳明,唐贵平,杨昌虎,等.基于雨课堂的大学物理实验教学改革创新实践[J].大学物理实验,2021,34(5):130-134.

Research on Teaching Mode of University Physics Experiment Based on Micro-Assistant Teaching Platform

SHEN Shaobing

(School of Electrical and Electronic Engineering, Zhaoqing University, Zhaoqing, Guangdong 526060)

Abstract: University Physics Experiment is a basic and compulsory experiment course for Science and engineering students. It is the good way for undergraduates to master experimental skills and cultivate scientific literacy. The traditional university physics experiment teaching is limited in time and space, the teaching method is single, the experiment teaching effect needs to be improved. Under the drive of modern education idea, with the help of micro-assistant teaching platform, a panoramic interactive experimental teaching mode covering “Pre-class, in-class and after-class” is constructed, which is student-centered, the teacher changes to the interactive tutor type, through the online and offline interaction, guides the student to display the individual enthusiasm and the initiative, effectively enhances the University physics experiment quality and the teaching effect.

Key words: university physics experiment; micro-assistant teaching; teaching mode

高校物理实验课程中,涉及磁学和磁性材料的实验项目却相对较少,仅有的几个实验项目大都集中在电磁学和磁体的磁场分布.而理工科专业在后续的课程中大量地应用磁学和磁性材料的相关知识.这种现象主要归因于下面两个方面.

(1) 磁学与磁性起源知识的特殊性,无法直接地观察原子和电子的运动和自旋情况,造成学生很难深刻理解磁学和磁性材料的相关知识.

(2) 微晶磁性材料的制备涉及真空技术、电弧技术等,制备过程中使用大电流、高危易爆气体^[5-7],如果操作不当,易造成剧烈氧化爆炸,造成设备损坏和人员伤亡,另外实验仪器造价高、占地面积大,实验耗材涉及稀土金属、贵重电极和高纯气体等,价格较高,每次实验耗费2 000元左右,一般高校很难开设此类本科生实验教学项目.

随着信息技术的发展,虚拟现实技术逐步引入到高等教育实验教学中,特别是2018年教学部开展了虚拟仿真实验教学项目建设工作^[7],进一步加速了虚拟现实技术在实验教学领域的推广,各高校纷纷建设虚拟仿真实验项目和VR实验教学实验室,在国家虚拟仿真实验平台中涉及VR实验项目50余项,复旦大学^[8]、北京大学^[9]、南方科技大学、东北大学^[10]和大连理工大学^[11]等高校都取得丰硕的建设成果.随着5G技术的普及,VR技术将面临质的飞跃,VR设备已经向集成化、小型化和便携化的方向迈进^[12].

基于虚拟现实技术,使用唯象展示的教学方法将原子磁性的起源唯象地展示给实验者,加深实验者对磁性起源和技术磁化的理解;使用虚拟现实的教学方法,使实验者身临其境地操作真空熔炼、甩带等相关实验仪器,在保证安全和节约成本的前提下,使实验者学会相关实验仪器的操作方法和微晶磁性材料的制备工艺.

本项目采用3Dmax技术,对系统进行了立体建模,全方位展示了微晶磁性材料制备装置的立体细节;使用Unity引擎,C#语言构建了系统的操作逻辑、实验流程和评分函数.

1 磁性材料制备VR虚拟仿真实验教学结构

我校物理实验中心根据物理、电气、机械、材料、信息等理工科专业的培养目标,设计了一主线、四模

块、四层次的实验教学内容结构,建立了以磁学与磁性材料为教学主线,包含磁学与磁性材料理论模块、真空合金熔炼模块、真空甩带模块、磁性材料成型模块和磁性能测试模块,满足通识教育层次、应用教育层次、科研训练层次和工程训练层次的不同要求.VR实验系统教学设计结构图如图1所示,主控制台结构图如图2所示.

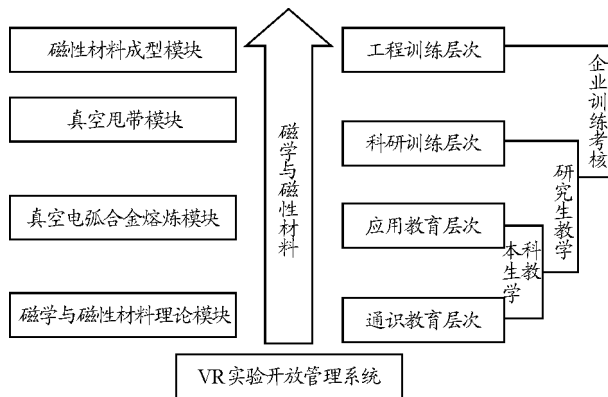


图1 系统教学设计结构图

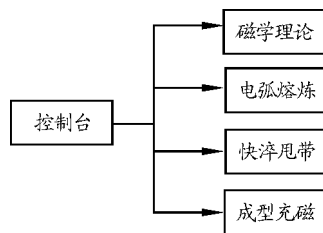


图2 主控制台结构图

1.1 磁学与磁性材料机理模块

大多数高校的物理课程对磁性起源的教学内容基本停留在安培分子电流假说或者简单分子磁矩的解释,很少有教材涉及电子自旋和电子轨道磁矩,对于铁磁材料的磁畴理论和磁化过程几乎未见提及.而在理工科各专业的后续课程和专业应用当中,磁学和磁性材料的相关知识却有广泛的应用,例如电气专业的变压器或者电机的铁芯,测控专业的电磁信号传播,机械专业的电磁起重机等等,都有深入的磁性材料应用.因此,在物理实验和大学物理课程中适当增加磁学和磁性材料的学时比重是很有必要的.原子磁矩和磁畴概念非常抽象,其在磁学与磁性材料教学中的地位却异常重要,因此,开发了磁学与磁性材料机理模块.

通过该模块学生可学习原子实+电子的半经典动画模型和磁畴+畴壁→技术磁化过程的VR展

示过程,原子磁矩直观而震撼地展示在眼前,在脑海中完整地呈现磁性材料由微观自旋到宏观磁块的层展过程和形成机理.磁学与磁性材料机理模块逻辑结构如图3所示.

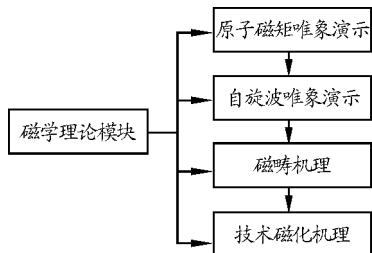


图3 磁学与磁性材料机理模块逻辑结构

1.2 真空合金电弧熔炼模块

以钨铁硼为代表的微晶磁性材料,由多种金属原子构成,因此需要对其进行合金熔炼.根据微晶磁性材料实验室和中试制备的真实情况,中心设计了非自耗真空合金电弧熔炼模块,逻辑结构如图4所示.非自耗真空合金电弧熔炼炉的真实操作流程复杂,涉及真空的获得、电弧的使用和保护气体的使用,稍有不慎就会造成实验失败;危险性高,某些步骤操作失误,易造成仪器损坏和人员伤亡;实验成本高,实验过程涉及高纯气体和贵金属,且都是易耗品.通过VR实验完美地解决了该问题.

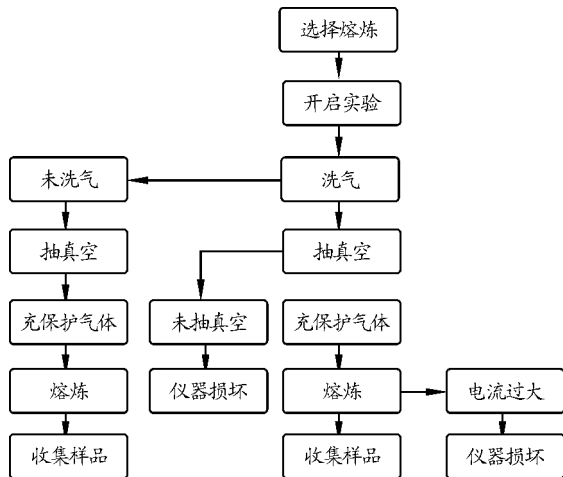


图4 真空合金电弧熔炼模块逻辑结构

通过该模块,学生可以在虚拟空间“真实”地操作从装料、抽真空、通保护气体到熔炼的整个实验流程,每个细节操作都可以真实地呈现在系统中,学生可以通过手柄任意扳动开关、调节电流来影响产品结果,系统可根据学生的操作情况进行反馈.合金电弧熔炼VR操作场景如图5所示.

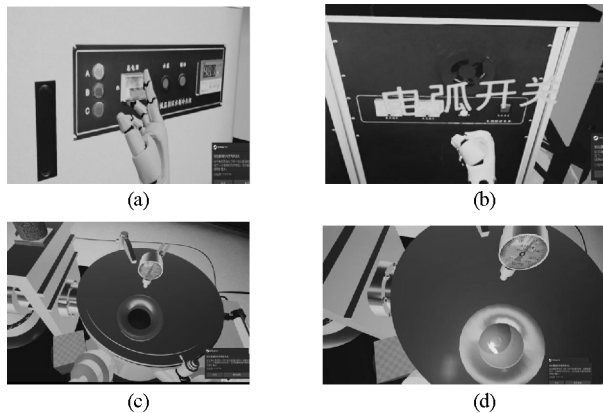


图5 合金电弧熔炼VR操作场景

1.3 真空甩带模块

合金铸锭的显微组织对于后续工艺的制粉环节、磁场取向成型环节、坯料烧结过程都有重要的影响,并进而影响到磁性材料的性能.从制造永磁材料的角度来看,希望铸锭组织中不存在粗大的晶体.真空快淬甩带通过快速过冷凝固,使得主相晶粒不经过包晶反应而直接从液相中析出,而且细化了片状晶,增加了片状晶数量.合金薄带采用熔体快淬法制备,将熔炼好的合金铸锭的氧化皮打磨干净,剪成小块,将样品装入底部开有小口的石英管中,将石英管固定在感应线圈内,然后对甩带机的腔体抽真空,等到真空度到达 8×10^{-4} Pa,充入高纯氩气,通过感应加热将石英管中的铸锭融化成液体,最后按下吹气开关将熔融的液体浇注在快速旋转的铜辊上面,制得微晶合金薄带,通过控制铜辊旋转的速率来控制晶粒大小.该过程,设计负责的抽真空、洗气以及大电流的使用等复杂过程,难以投入本科生实验教学.

真空快淬甩带模块完全1:1地还原了真空快淬甩带炉的结构和操作的全流程,包括抽真空、充保护气体、压强的调节、电流调节、铜棍转数调节.本模块允许误操作,对于不发生仪器损坏的误操作,不进行提示,对于发生仪器损坏的误操作,中止实验.通过交互程序评价算法,模拟了各种操作带来的仪器损坏情况或者样品成分情况.真空快淬甩带模块逻辑结构如图6所示,VR操作场景如图7所示.

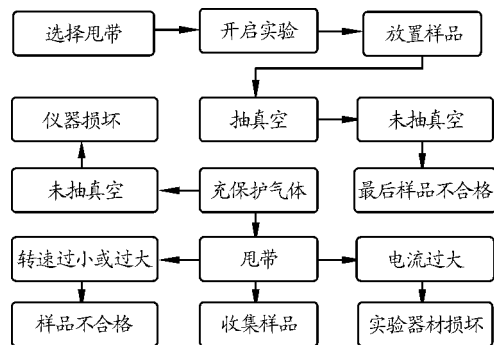


图6 真空快淬甩带模块逻辑结构

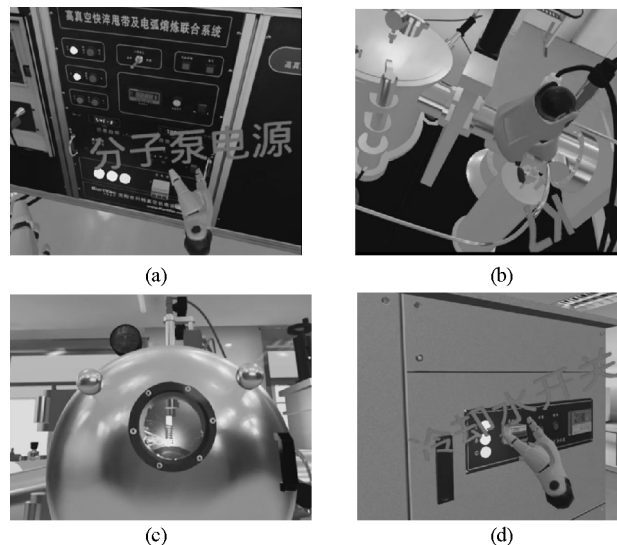


图7 真空快淬甩带 VR 操作场景

1.4 磁性材料成型模块

磁场取向成形是利用磁性粉末和外磁场的相互作用,对粉末颗粒的易磁化方向进行排列,使其与磁体最终充磁方向一致,这是获得各向异性磁体最常用的一种方法.磁性材料成型模块逻辑结构如图8所示.

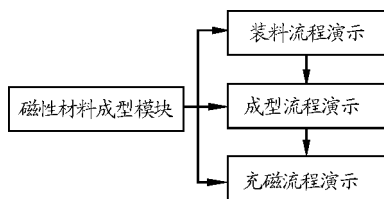


图8 磁性材料成型模块逻辑结构

将粉末松散地充填到模具内,在外磁场作用下这些粉末颗粒由多畴变成单畴,并通过旋转或移动将易磁化方向调整到外磁场方向,也就是使各晶粒的c轴沿外磁场方向排列取向.粉末的晶体取向程度受多方面因素的影响,如取向磁场强度、粉末颗粒形状和尺寸、成型方式、取向场与成型压力的相对方

向以及取向的粉末松装密度等有关.磁性材料成型过程成本高、危险性低、操作复杂性低,因此采用了流程演示+交互操作的方式,展示了磁性材料压制成型和充磁工艺的全过程,并且展示了成型和充磁过程中肉眼不可见的磁畴变化机制.

2 成绩评分的实现逻辑

微晶磁性材料 VR 仿真实验对于成绩的评定,综合考虑真实的实验情况和虚拟操作的特点,制定了如下评分规则.

(1) 误操作造成仪器损坏,实验中止,本大步骤0分.

(2) 误操作可能造成人员伤亡,实验中止,本大步骤0分,总分 $\times 0.5$.

(3) 误操作不造成人员伤亡、仪器损坏,但对结果造成影响,实验继续.

(4) 电流、压强、时间错误,本步骤不减分,总分减10分,不重复扣分.

步骤总分

$$N = \frac{l+1}{m} \times n$$

其中, l 为顺序正确数, n 为系统操作数, m 为学生实际操作步数, m 的取值,当 $m > n$ 时, $m = n$,当 $m < n$ 时, $m = n$.

3 仿真实验应用效果

虚拟仿真实验教学中心自主创新开发的“微晶磁性材料制备虚拟仿真实验项目”对微晶磁性材料制备的流程和设备进行高度仿真,学生可以通过虚拟实验了解微晶材料制备的过程及特点,学习安全知识.微晶磁性材料制备 VR 仿真实验充分利用了虚拟现实技术的高仿真性和交互性,解决了真实实验存在的高危险、高耗能和高成本问题,并保证了实验效果.迄今,已有600余人次通过微晶磁性材料 VR 仿真实验教学,并且充分体现了“能实不虚、虚实互补”的原则,加强学生在磁性材料的理论和实践技能的培养.此外,微晶磁性材料 VR 仿真实验面向社会提供教学训练资源;并与相关企业和高校共

享本实验资源,为企业提供员工培养和考核提供服务.通过产学研相结合的方式,不断更新实验教学资源,使实验教学资源处于国内领先水平.

4 结论

在磁学和磁性材料相关实验教学中融入虚拟仿真技术,能够使学生的学习模式由传统的课堂学习转变为个性化的线上线下相结合的新模式;将可远程实现虚拟仿真实验教学和基于翻转课堂的引导式、开放式教学相结合,极大地激发了学生的实验兴趣;将校内教学资源与磁性材料行业人才需求紧密结合起来,是校企合作、协同育人的光伏专业人才培养新途径.

参考文献

[1] 杨庆新,李永建.先进电工磁性材料特性与应用发展研究综述[J].电工技术学报,2016(31):12.
 [2] 詹朋璇,卢超,杨仕清,等.锶铁氧体改性研究现状与进展[J].磁性材料及器件,2018,49(1):64-68,72.
 [3] 严小鹏,商澎,史爱华,等.磁外科学体系的探索与建立[J].科学通报,2019,64(8):81-92.
 [4] 吴琼.磁性吸附材料在废水中的应用研究进展[C]//2019中国环境科学学会科学技术年会论文集(第二

卷),2019.

[5] 王钰童,李晖,杨国泰,等.基于识别分子的磁分离技术在食源性致病菌分离中应用[J].化学通报:印刷版,2019,82(1):27-31.
 [6] 刘亚丕,石康,石凯鸣,等.软磁磁粉芯和烧结软磁材料:结构、性能、特点和应用[J].磁性材料及器件,2019,50(4):65-69.
 [7] 刘大龙,郑忠,王凤岩.基于VR技术的虚拟仿真实验在物流教学中的建设探究[J].物流工程与管理,2022,44(5):3.
 [8] 杨彩霖.VR虚拟仿真实验系统的设计与实现[J].现代电子技术,2021,44(15):5.
 [9] 朱海丰,杨骏,滕绪山,等.基于万维引擎平台的VR虚拟仿真实验自主开发——以模拟法测静电场实验为例[J].物理与工程,2022,32(1):6.
 [10] 祖强,魏永军.国家级示范性虚拟仿真实验教学项目申报策略探讨[J].实验技术与管理,2018,35(9):236-238.
 [11] 王旗,朱盼盼.物理虚拟仿真实验教学中心建设与实践[J].大学物理实验,2018,31(4):121-123.
 [12] 程春雨,周晓丹,王开宇,等.基于教育信息化的模拟电路虚拟仿真实验建设[J].实验技术与管理,2018,35(7):129-132.

Design and Implementation on Virtual Simulation Experiment for Preparing Microcrystalline Magnetic Materials

GUO An bang LI Changchang ZHAO Qian

(School of science,Shenyang University of Technology,Shenyang,Liaoning 110870)

ZHANG Na

(Shenyang Normal University,Shenyang,Liaoning 110034)

Abstract: The virtual simulation technology is applied to the experimental teaching of magnetism and magnetic material preparation. The experimental teaching content structure of "one main line, four modules and four levels" is designed, and the vr virtual simulation experiment project of microcrystalline magnetic material is constructed. The phenomenological teaching thinking is introduced to solve the teaching problem that the atomic magnetic moment and domain theory are too abstract. 1:1 reduces the equipment and operation process involved in the preparation of microcrystalline magnetic materials, solves the practical problems of high cost and high risk in the preparation experiment of microcrystalline magnetic materials, and makes up for the less defects in the magnetic related experiments in the physical experiment teaching of colleges and universities.

Key words: magnetic material; physical experiment; virtual reality