

“传热学”多层次、创新性 实验教学模式的研究

Study on Multi-level Innovative Heat Transfer Experiment Teaching

供稿|俞爱辉, 冯妍卉, 张欣欣, 郭美荣, 高婷/CHOU Ai-hui, FENG Yan-hui, ZHANG Xin-xin, GUO Mei-rong, GAO Ting

内容导读

实验教学作为传热学的重要组成部分, 对于加深对热量传递过程物理机制的认识, 了解其工程应用情况, 掌握基本的传热测试方法, 提高创新能力和对知识的综合应用能力, 起着及其重要的作用。我们从对实验教学内容进行优化整合、实验课件的开发、网络实验教材的建设以及自主研发综合性实验台, 到自发进行创新性实验, 建立起了多层次的创新性体系。通过实践证明, 效果甚佳。

传热学作为研究热量及质量传递规律的工程技术科学^[1], 是该学科工程技术人员整体知识结构、能力培养、素质教育的重要组成部分。通过传热学的学习可以达到两个目的: 一、获得比较宽广和巩固的热量和质量传递规律的基本知识, 具备分析工程传热与传质问题的基本能力, 掌握计算工程传热与传质问题的基本方法; 二、为以后从事热能的合理利用和转换、热工设备效能优化以及换热器的设计等方面的工作, 打下必要的基础。但是, 传热学理论性强, 经验公式多且抽象难懂, 须配合各类实验才能更好的理解、消化和吸收相关知识。

传热学综合实验平台的建立

结合大纲的要求, 根据传热

实验室的现状, 对传热学的实验内容进行优化、整合, 增大综合设计性实验的比例, 建立起传导、对流、辐射、复合传热四位一体的综合实验平台。其中, 传导实验平台包括: 稳态平面热源法测定材料导热系数实验、非稳态热带法测量材料热导率实验、二维墙角温度场的电热比拟测定实验; 对流换热实验平台包括: 横管表面空气自然对流换热实验、空气横掠圆柱的强迫对流换热实验; 辐射实验平台包括: 中温法向辐射时物体黑度的测定实验; 复合传热实验平台包括: 热管换热器实验、综合传热实验台。在此综合实验平台上, 根据实验内容将其分为基础性实验、综合设计性实验以及研究创新性实验。

基础性实验

基础性实验是做好综合性、

设计性实验的前提, 它的内容较为简单, 但对深刻领会相关理论知识却起到了事半功倍的效果, 其目的是: 使大家在生动活泼的环境中加深对热量传递过程基础知识、基本原理的理解, 掌握基本的热物理量的测量方法和技能以及实验数据的处理手段。

二维墙角温度场的电热比拟测定实验 该实验建立在导热和导电现象有类似的数学描写式的基础上, 用电势来模拟温度, 通过测出电势的大小换算出相应的温度值, 从而进行温度场的模拟。

稳态平面热源法测定材料导热系数实验 导热系数是物体的重要属性, 是反应物体导热性能的重要指标, 因此测定材料导热系数实验对认识导热现象的本质和理解物体的特征属性—导热系数有重要的意义。导热系数不仅

作者单位: 北京科技大学机械工程学院, 北京 100083

取决于物质的种类,还与温度有关。本实验以一维稳态导热过程的基本原理为理论依据,可以进行材料导热系数的计算,而且还可以通过改变工况来总结出导热系数与温度的关系。

中温法向辐射时物体黑度的测定实验 本实验采用比较法定性地测定中温辐射时物体的黑度,通过对三组加热器电压的调整,使热源和传导圆筒的测量点恒定在同一温度上,然后分别测出恒温条件下“待测物体”在具有原来表面和熏黑表面两种状态时受到辐射后的温度,从而计算出待测物体的黑度。

热管换热器实验 热管换热器具有比常规换热器大得多的换热能力,该实验台采用的是翅片热管换热器,利用翅片热管达到冷、热空气的热量传递,通过对风道中冷段、热段空气进出口温度进行测量,可以计算出换热器的换热量和传热系数^[5]。

综合设计性实验

综合设计性实验是在理解、掌握基本概念和基本定律的基础上,将各门知识综合运用起来独立地分析问题和解决问题的能力,这样不仅可以检验对理论知识的理解程度,还能拓展知识范围,培养理论联系实际和科研创新的能力。

横管表面空气自然对流换热实验 自然对流是自然界很典型的换热方式,对流换热系数的计算和准则方程式的归纳具有很重要的工程意义。该实验通过加热放置在一个相对封闭的房间里的四根直径、长短不同的紫铜横管

来模拟横管表面空气的自然对流换热现象,在横管表面不同轴向、径向的位置布置热电偶来进行管壁温度的测量,再通过改变电加热功率,可以求得相应的准则数,并最终整理出准则方程式。在整个实验过程中,不仅了解横管表面空气自然对流换热的实验方法,而且对电位差计的使用、热电偶型号、热电偶分度表、冷端补偿等知识有了一定的认识。

综合传热实验台 传热系数是物质传热性能的重要参数,传热系数的测定实验是用来研究热工问题常用的方法,也是热能工程专业必须掌握的实验方法之一。该实验台可以通过干饱和蒸汽在经过翅片管、铜光管、铝管、铜方管、涂黑的铜管、加保温材料的保温管时产生的冷凝水量直接定性的观察出他们的传热性能趋势,还可以通过测量单位时间冷凝水量定量计算出每根管子的传热系数。另外,该实验台还配有一组可移动的风机,可以进行自然对流和强制对流两种状态下的实验,为实验提供了更大的空间。通过对实验方案的设计、对实验现象的观察、对不合理实验现象的分析,充分掌握了实验的主动性,在实际问题的处理过程中,不仅锻炼了动手能力,还培养了严谨的科研态度。

研究创新性实验

研究创新性实验,为选做实验。这类实验一般是结合科研项目,对相关领域的前沿问题或研究热点问题展开讨论和研究。通过查阅资料、提出问题、设计实验方案并实施,从中得出新的结

论和见解。研究创新性实验的开展充分发挥了试验参与者主观能动性,运用自己的聪明才智大胆提出不同的观点和见解,通过科学研究获得新的结论,培养了创造性思维和自主创新的能力。

非稳态热带法测量材料热导率实验 这个自主研发的实验台与稳态平面热源法测定材料导热系数实验台相比,无论在测量手段上还是测量装置上都更胜一筹,提供了更广阔的创新空间,有利于提高对知识的综合应用能力和科学创新的能力。实验者可以按自己的想法或要求选择和设计各种材料进行实验研究;可以设计和加工不同形状和尺寸的加热源;可以设计不同的热流形式研究、比较对测试结果的影响,对实验进行优化;可以设计不同类型的热电偶直接测温,或者设计特殊的电桥电路通过测量热源电阻的变化来间接测量温度的变化;可以设计和布置多个测温点,深入了解非稳态导热过程的特点,研究温度随时间和空间的分布,研究实际导热过程与理想模型的差别;可以设计不同的数据处理及热参数估计计算方法,研究比较不同的数据区间对计算结果的影响,优化参数估计方法。

空气横掠圆柱的强迫对流换热实验 实验装置简图见图1。这个项目为自发组织进行的实验项目,是对废弃实验台的二次研发。从实验方案的拟定到实验方案的实行,从实验材料的选取、实验材料的采购到实验材料的组装以至于最终实验台的调试、重整,包括测试数据的整理、测试

报告的撰写,全部由实验者自主完成。在整个实验系统的关键环节上,实验者创新性的通过旋转可调旋钮来控制圆柱的实验段管壁热电偶测量点与来流空气的夹角,从而解决了圆柱体圆周表面任何一点温度的测量问题。由于其综合性强、性能稳定且运行良好,被编入了《传热学实验讲义》,成为热能工程专业本科生的实验内容。在反复修改实验方案,反复调试实验台的过程中,从失败中得到的经验教训是书本上怎么也得不到的,分析问题、解决问题的能力大大提高了,科研能力和创新素质也得到了提升。

自主研发综合设计性实验台

鉴于目前常用的测量导热系数的实验装置都较为简单,试样的形状、尺寸相对固定,实验参与者在实验过程中只是被动的操作,创新性设计和自由发挥的空间很小的现状,自主研发了“非稳态热带法测量材料热导率实验系统”。该实验系统不仅成本低、精度高、测量范围广(不仅可以测量液体、松散材料、多孔介质及非金属固体材料,并且在热带表面覆盖很薄的绝缘层之后还可用于测量金属材料),而且全程电脑采集数据、自动化程度高,采用USB接口数据采集器,开发了相应的包括电压信号测量、热电偶测温、多通道数据采集、数据处理和热参数实时计算多个功能的计算机程序,通过处理软件可以同时得到被测材料的导热系数和热扩散系数这两个物性参数^[6]。

为科研和教学提供了一个非常好的创新实验平台,有很高的推广价值。

针对传热学研究创新性实验相对比例较少的现状,将其改造成成为研究创新性实验,并写入了《传热学实验讲义》。通过此实验台,可以更加深入地理解非稳态热传导过程的特点,还可以学习和掌握国际上先进的热物性测量方法,不仅培养了实际动手能力和开发、应用计算机软件的能力,还提高了对知识的综合应用能力和对创新性科研工作的热情。

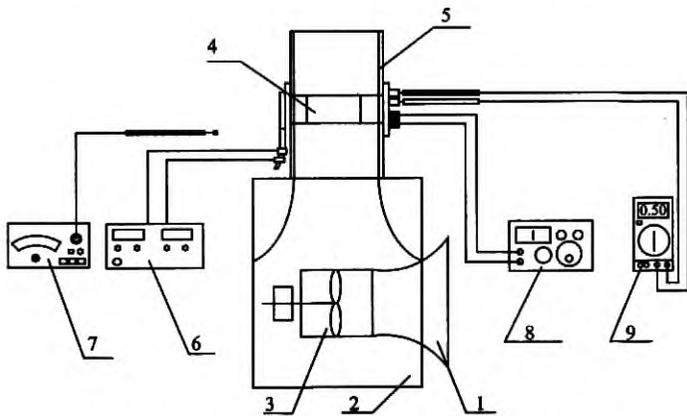
绑定实验小组与“背靠背”式的测评机制有机结合

固定实验小组与“背靠背”式的测评机制有机结合,强化了团队意识,更促进了互相监督、互相进步。在实验课之前,我们根据实际情况将所有的实验者按每组三人分成若干组,这三个人在整个传热学实验过程中形成了固定的合作学习小组,组成员根据自身情况进行分工,一人主要

负责撰写预习报告,一人主要负责实验过程的设计、操作,还有一个成员主要负责实验数据的整理、分析。这样的分组制,使实验者自觉以小组的形式一起工作、学习,组员之间相互依赖、共同发展,有效的发挥了实验室的教学功能。

结束语

实验教学作为提高动手能力和创造能力的第二课堂,是理解、消化所学知识并将其应用于工程实践的重要途径,是锤炼科研素养和创新意识的有力手段,是培养具有工程能力和创新素质的研究型人才的有效途径。而科学的实验教学模式是达到上述目标的前提条件,本文提到的多层次、创新性实验模式与“传热学”的课程特点紧密结合,涵盖的内容丰富、广泛,层次分明,且各层次间紧密结合、相辅相成,并且在实验教学中取得了良好的教学效果。今后随着实验室建设的进一步加强、改革思路的不断扩展,我们将把这个实验教学模式整合



1-调风门; 2-风箱; 3-风机; 4-被测实验件; 5-有机玻璃风道; 6-直流电源; 7-热球风速仪; 8-电位差计; 9-数字万用表

图1 实验装置简图

得更加完善。

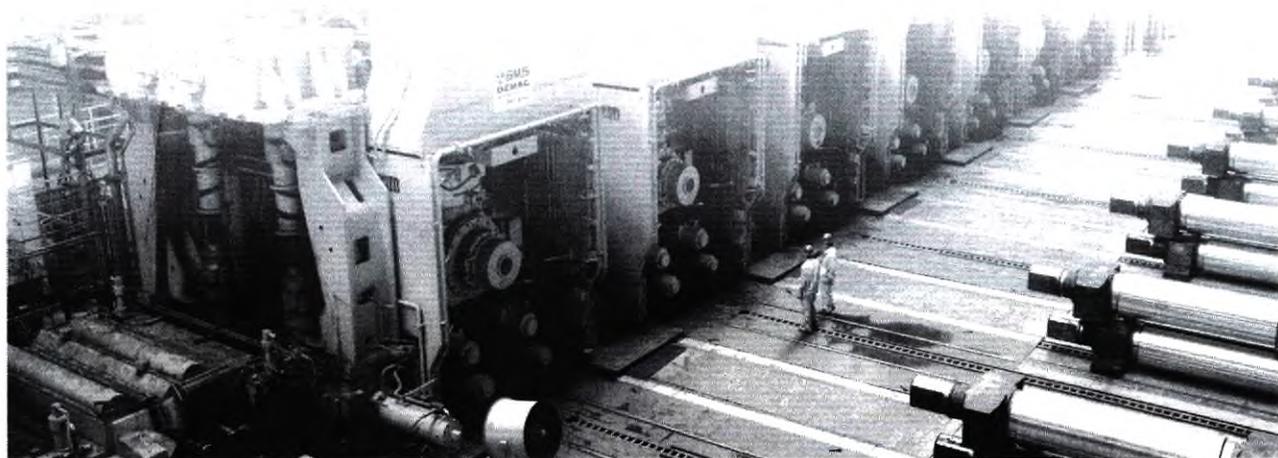
参考文献

[1] 杨世铭, 陶文铨. 传热学(第4版).北京:高等教育出版社,2006.
 [2] 杨晓燕, 钱伟兴, 陈宁.培养创新性人才的实验教学体系与模式研究.实验室研究与探索, 2009, 28(11):156-158.

[3] 杨宏伟. 强化实践环节, 促进研究性教学与素质教育相结合. 实验技术与管理, 2007, 24(1): 14-16.
 [4] 朱彻, 张大为, 张礼明.建设研究创新型实验室.实验室研究与探索, 2003, 22(5):21-22.
 [5] 北京科技大学热能工程系. 传热学实验指导书(讲义).2001.
 [6] 丁帆, 张欣欣, 何小凡. 非稳态平面热源法

同时测量材料的导热系数和热扩散率. 宇航计测技术. 2006, 26(6): 13-18.

[7] 传热学实验“水平热圆管表面自然对流换热”计算机虚拟的教学应用.《实践与创新—北京科技大学本科教育教学改革论文集》.北京:高等教育出版社, 2007: 489-493.



(上接第 11 页)

带刚生产的发展趋势。

薄板坯连铸连轧的局限性与缺点

凡事都有两面性, 在看到薄板坯连铸连轧技术的诸多优点后, 我们要反观其局限性, 为新生产线的建设提供一定的选择参考。薄板坯连铸连轧的局限性与缺点主要有:

规模受连铸机产能限制, 轧机产能不能充分发挥, 生产规模仅适合于年产 250 万 t 左右的中等规模的钢铁厂。

由于铸坯薄, 结晶器空间较小, 夹杂物在结晶器内不易上浮。冷却速度快, 易产生卷渣、粘结、裂纹、偏侧等事故, 氧化铁皮较难清除, 表面质量尚不如常规工

艺。汽车面板、高牌号硅钢、不锈钢等尚难以生产。

产品屈服强度高, 一股为 0.8 左右。冷轧时变形抗力增大, 易断带。如果采用了加 B 或降低含碳量等措施的供冷轧料就可以基本满足酸洗—冷连轧机组的要求。

薄板坯连铸机技术属国外专利, 国内尚未完全开发成功, 尚需引进国外技术。

薄板坯连铸连轧对钢水纯净度、过热度要求严格, 操作水平及管理水平要求高。

结束语

薄板坯连铸连轧工艺与传统工艺相比, 有其优点, 也有缺陷, 我们要充分考虑各方面的因素权

衡两者间的差异。薄板坯连铸连轧技术是现代先进钢铁生产方式的代表, 通过近年来的深入研究, 对 TSCR 工艺过程有了明确的认识。但在一些关键的技术点上, 我们还处于起步阶段, 还有很多课题需要解决完善, 为此, 这就需要广大的冶金工作者在这个领域不断自主创新, 解决工艺技术难题, 使我国向钢铁工业强国迈进。

作者简介

陈兴禹 (1974—), 大学本科, 工程师。主要经历: 1992-1996年, 北京科技大学机械工程学院学习; 1996年至今, 就职于北京科技大学科技产业集团, 其间: 1998-2003年, 日本真木技术株式会社研修。