

Design and Reflection on Physics Experiment Lectures under the Background of Interdisciplinary Integration—Taking Gas Flow Rate Measurement Experiment as an Example

Congrong Xu Jingchao Sun* Honghua Hao

Shenyang Aerospace University, Shenyang, Liaoning, 110136, China

Abstract

The author's team designed a gas flow rate measurement experiment with aviation characteristics and won first prize in the 2022 Liaoning Province College Student Physics Experiment Lecture Competition. The paper takes the physical experiment of gas flow rate measurement as an example to introduce the scientific knowledge of gas flow rate measurement, and summarizes the experience of teaching competitions from the aspects of studying rules, determining topic selection, teaching design, course expansion, and experimental education. It shares the process of exploring experimental highlights and creating teaching characteristics, and finally analyzes the optimization strategy of the experiment. From the perspective of interdisciplinary integration, summarize and explore the design of physics experiment lectures, and the results can be used as a reference for other participants or educators.

Keywords

physics experiment lecture competition; gas flow rate measurement; teaching design; aviation characteristics; discipline integration

学科交融背景下物理实验讲课设计与思考——以气体流速测量实验为例

许从容 孙景超* 郝洪花

沈阳航空航天大学, 中国·辽宁 沈阳 110136

摘要

笔者团队设计了具有航空特色的气体流速测量实验,并在2022年辽宁省大学生物理实验讲课比赛中获得一等奖。论文以气体流速测量物理实验为例,介绍气体流速测量科学知识,并从研读规则、确定选题、教学设计、课程拓展、实验育人等方面总结讲课比赛的经验,分享挖掘实验亮点和打造教学特色的过程,最后分析了实验的优化策略,从实验装置和呈现形式两个方面给出建议。在学科交融视域下,围绕物理实验讲课的设计进行总结和探讨,成果可供其他参赛者或教学者参考。

关键词

物理实验讲课比赛; 气体流速测量; 教学设计; 航空特色; 学科交融

1 引言

辽宁省普通高等学校本科大学生物理竞赛是辽宁省教育厅和辽宁省财政厅主办,辽宁省物理学会协办的一项传统赛事,为高校学生搭建了一个支持开拓创新、鼓励团结协作

的物理实验竞技平台,是激发物理学兴趣,提高创新实践能力,促进教学改革,培养高素质人才的宝贵契机。大学生物理实验讲课比赛是竞赛的四个赛道之一,要求参赛者根据比赛形式和要求,自选题目。初赛根据录课视频进行网评,决赛要求现场讲课并答辩。

【基金项目】2021年高等学校教学研究项目(项目编号:DWJZW202102db);辽宁省大学生创新创业训练计划支持项目(项目编号:S202310143032)。

【作者简介】许从容,男,本科,从事飞行器制造与基础物理实验研究。

【通讯作者】孙景超(1980-),男,高级实验师,从事二维纳米材料传感器及其应用研究。

笔者团队有幸参加了2022年辽宁省大学生物理实验讲课比赛,荣获一等奖小组第一名。论文将以气体流速测量实验为例,介绍气体流速测量科学知识,回顾备赛历程,分享教学设计中的亮点,从学科交融视域下提出合理的备赛策略。

2 教学设计中的亮点

2.1 研读规则,确定选题

通过研读比赛规则和评分标准,逐步确定实验的方向

和具体题目。该过程不能盲目选题，而要综合考虑各种因素，如是否适合实验操作演示，是否符合大学生能力和认知水平，能否围绕评审要点打造出优势和亮点，特别是要尽量结合学科人才培养特色选定实验项目。

2.1.1 竞赛评审标准和要求

竞赛评审满分是 100 分，其中教学内容和教学过程是评分占比最重的两个部分，各占 30 分，教学理念、教学效果、教学仪态、教学展示各占 10 分，每个评价维度的核心点如表 1 所示。因此，在选题时要重点把握核心的要点，同时兼顾其他评价维度。

表 1 竞赛评审的各核心要点

评价维度	核心点一	核心点二
教学理念	课程思政与育人	学生为本、创新
教学内容	科学规范与思辨	高阶性、创新性、挑战度
教学过程	教学手段与互动	过程的探究性
教学效果	知识与思维的系统性	培养兴趣与思维
教学仪态	符合教师职业规范	语言规范和体态
教学展示	板书设计	课件设计

2.1.2 确定选题

气体流速测量在科技和生产的诸多领域都是非常常见的物理测量，这个实验选择从飞机空速管装置引入，是从一般的测速应用中提取出的具有航空特色的物理实验，将物理知识与航空类专业融合，使学生从前沿专业应用的角度体会物理实验，感受到基础的物理量测量在现代复杂科技产品中的重要意义。

这个实验采用喷嘴压差法和热线法对小型实验风洞的空气流速进行测量，通过一套实验装置（见图 1）将基于流体力学和基于热学的两种测速方法相结合，具有良好的可拓展性及理论与实践的系统性。同时依托沈航的航空优势学科

与国家级物理实验教学中心教学改革的经验，让这个实验不断完善，既有扎实的物理教学，又有鲜明的航空特色，实验操作方便且现象明显。

2.2 设计教学过程与形式

常规的实验讲解包含引入、目的、原理、操作、数据处理等几部分，但不同的实验各有特点和侧重，不能死板地依循传统授课顺序和思路，而应当结合实验、授课人甚至是授课对象的特点进行仔细打磨。

2.2.1 实验特色

①思维过程与授课过程紧密联系。掌握实验操作流程只是基本要求，学会科学的思维方法更加重要，如图 2 所示用思维过程指导讲课逻辑，能够非常自然地推导和衔接，有助于理解。举个例子，如果刚引入气体流速测量的概念，紧接着就提出“用喷嘴压差法测量空气流速，完成定标后再用热线法测量空气流速并对比真实值”这个实验目的，会剥夺授课对象思考的过程，使其疑惑：两种方法是什么以及为什么要用压差法给热线法定标，而通过对理论的学习建立了知识框架，对原理的逻辑推导有了理性和感性的认识后，就明白了我们是认为压差法的测量结果更准确，可作为已知量辅助学习热线法，并基于热线法的理论搭建测速模型，最后与真实流速对比来评估所建模型的准确性。

②转化的思想。其一，气体看不见摸不着，不像固体或液体那样方便感知和测量，其二，在已有的知识体系中对气体流速的认识没有对力平衡、热平衡和电学方程那样熟悉。因此可以类比固体或液体的测速方法，并将气体流速转化为其他指标进行衡量。基于转化的思想在已知和未知之间搭建好桥梁是该实验的一个亮点，在比赛中应突出特色。如图 3 所示，压差法是通过伯努利方程将流速转换为压强差，热线法是通过热平衡将流速先转换为热量，再转化为传感器的电压。



图 1 气体流速测量实验装置

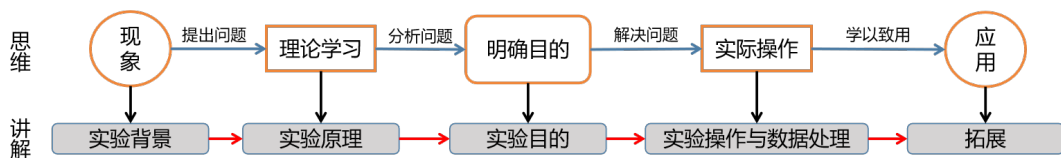


图 2 思维过程与授课过程紧密联系

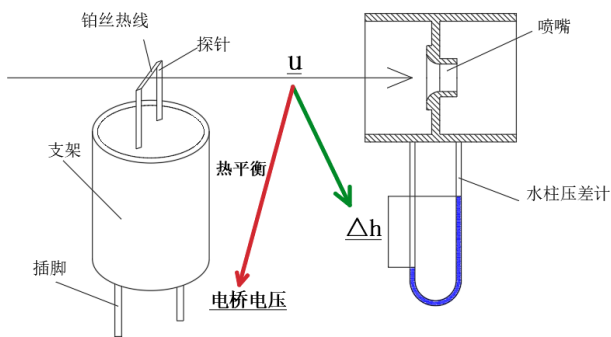


图3 气体测速中的转化思想

③定性与定量相结合。在开始实验操作时，首先打开热线流速仪主机电源，并缓慢调大风速，可以定性地观察到压差计水柱差变大，电桥电压 U_B 增大，于是可以明确三者间是正相关关系；接下来再用控制变量法和方程拟合法定量地测量不同水柱差所对应的风速，完成定标。在实验教学中，设计从定性到定量的过程能够促进学生掌握探索未知的一般方法和思维。

③注重公式推导与化简的方法。在推导热交换法测流速的公式时，首先写出热平衡的基本方程，在忽略影响不大的变量后，将剩余的强迫对流换热量用影响因素的表达式展开，通过边界条件求解与电学建立关系，最后把隐函数化为显函数，把非线性表达线性化后最终得到实验所需的，简单直观的表达函数。实验教学不能忽视对理论基础和逻辑推导素养的训练，清晰的推导和化简能帮助学生更好地理解原理，完成实验。

⑤设计教学手段的小技巧。第一，板书与课件的灵活搭配很重要，板书可以记录一些关键的公式和结论，课件可以加入一些互动的插件、动画、视频动图等多样化的内容，板书具备较好的沟通性，但依赖于书写的工整性和美观度，且比较占用时间。第二，物理实验教学要注意整体性和模块的衔接性。例如，原理和实验操作部分不是完全分割的，在操作水柱压差计和热线流速仪时可以分别回顾一下压差法和热交换法，此外在讲完一个部分转移到下一个部分时要有引导性和强调性的表达。第三，设置一些难度梯度化的问题，帮助学生加深对实验的理解，如“当热线温度升高但流速为零时，电桥电压会怎样变化”引导学生回顾推导出的函数关系式。又如，“请简述实验仪器的工作原理”引导学生整体地、系统地掌握实验原理。

2.2.2 注意把握双主体之间的关系

①学生既是学的主体又是教的主体。学生讲课是不同于教师授课的，难点是课堂身份和思维方式的转换，学习模式要从“只输入”向“先输入再输出”转变。这要求参赛的学生对物理实验理解得更加透彻，锻炼“不但要学会，更要会学、会表达”的综合能力。从教学设计的角度看，根据授

课人的特点扬长避短是十分重要的，此外如果允许以团队形式参赛，还应注意优势互补和合理分工。

②听课的主体是学生，评审的主体是老师。在讲解物理实验时，可以邀请少量学生作为观众，在师生交流的环节提问，若不设置学生观众仍需设计一些问题，体现教学过程的互动性和以学生为中心的思想。然而对于竞赛本身，评审人是教师，所以需要站在教师的角度思考，从一定的理论高度整体把握教学设计，揣摩评审人看重的评审点，逆向评估教学过程和形式。

2.3 课程拓展，实验育人

中国工科的教育实践中还存在重理论轻实践、重个人轻团队、重知识轻创新等问题^[1]，早在2010年发布的《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》^[2]中就指出，实验是物理学的重要本质，它体现了大多数科学实验的共性，给其他工科的实验训练奠定了重要的基础。因此，物理实验的操作教学不是最终目的，能力和素养的提升才最为关键。此外，还应该融入思政教育，在拓展部分升华实验课，实现育人功能。

2.3.1 联系实际应用中的问题

在搜集应用案例的过程中，发现很多飞机的机头有一根金属管，如图4所示，实际上是用来测量飞机空速的皮托管，即空速管。空速管通过对气体流速测量确定飞机的速度等许多重要参数，2008年美国一架B-2轰炸机在淋雨后，空速管受潮，导致一系列参数异常，最终致使价值24亿美元的最贵战机坠毁。这个反面例子告诫学生，即使是如战机一样复杂的现代高科技产品，如气体流速这样基础的物理量测量仍然是非常重要的，因此不能轻视这些基础的物理实验。



图4 飞机空速管与坠毁的美国 B-2 轰炸机

2.3.2 展望前沿的科研进展

在查阅文献资料的过程中，发现有许多研究者从数值分析的角度研究流体流速，例如文献^[3]针对不同管径水平管道气液两相的流动进行数值模拟，发现用较小的液相折算速度和管径能使管道更安全。除了数值分析，像涡街法测速、超声波测速等也是气体流速测量相关科研中的高频词，可以让学生在课后从如图5所示的关键词云图中选取一个感兴趣的进行自主探究。

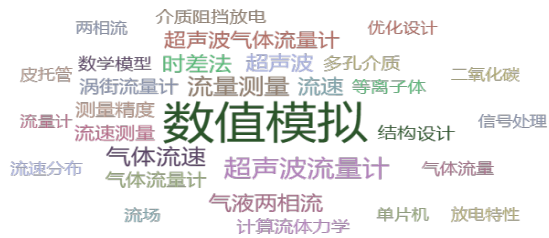


图5 气体流速测量相关研究的关键词云图

2.3.3 结合相关的研究议题

在备赛过程中,发现2021年第34届国际青年物理学家竞赛赛题之通电线圈测风速的设计与评价,与该实验课的方向一致,于是可以引导学生对相关研究议题进行拓展和更深层次的思考。此外,作为新能源重要组成的风力发电,以及在气象领域测量风速的风杯风计、超声波传感器等,在实际的应用中有可以关联和拓展的研究议题。

2.3.4 引导学生做一个课堂小结

虽然讲课比赛只有短暂的20分钟,许多想要展现的内容都不得不精简压缩,但在实验的最后,设置一个实验小结是非常有意义的。在教学过程中,总结能让学生重温气体流速测量科学知识要点,促进内化为自己的知识并更好地梳理知识脉络;审视实验过程中的思维和操作,并思考其中的优点与不足。对于竞赛而言,精心设计的小结能突出实验特色,展示授课人对于实验讲课的理解和态度,展现良好的教学风貌。

3 优化策略

从学科交融视域下看,“航空+气体流速”还有许多值得优化和创新的地方,下面从两个角度举例说明:

对于实验装置,当前使用的测速仪器主要基于压差法和热线法,下一步可以引入其他方法如旋桨法、涡街法、激光法,并从测量范围、精度、应用场景等角度对比。还可以将仿空速管构造的皮托管压差测速和基于单片机、传感器的测速结合,打造出能自己动手制作的实验装置,通过开放性的动手实践加深对实验的理解。

对于呈现形式,“虚拟现实+”是一个不错的赋能方式,可以借助Unity或虚幻等引擎开发一个能嵌入课堂的交互式虚拟现实空间,通过大屏幕、VR眼镜进行仿真实验,能较好地弥补真实实验趣味性低、互动性差、体验感弱的缺点。长期来看,优良的虚实结合设计还能节约时间、空间以及试错的成本。

4 结语

在学科日益交融,跨学科人才需求日渐高涨的背景下,笔者团队融入自己的思考,打磨出一堂具有航空特色的物理实验微课。竞赛已结束,但思索不会终结,在脱离开竞赛规则之后,笔者将继续完善气体流速测量实验课的设计,探索更多的可能性,同时也希望当前阶段的经验成果能给其他参赛者或研究者带来参考与启发。

参考文献

- [1] 郭献章,张淑梅,房瑞东,等.基于TRIZ-CDIO模式的大学物理实验教学探索与实践[J].物理实验,2017,37(10):44-48.
- [2] 教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会物理基础课程教学分委员会.理工科类大学物理课程教学基本要求 理工科类大学物理实验课程教学基本要求(2010年版)[M].北京:高等教育出版社,2011.
- [3] 张赫铭,李文昊,何新林,等.不同管径水平管道气液两相流动数值模拟[J].排灌机械工程学报,2021,39(5):488-494.