

材料学科研究生波谱分析课程思考与实践

王楠楠*, 程海峰, 余金山, 汤丹

国防科技大学空天科学学院, 陶瓷纤维及其复合材料国防科技重点实验室, 长沙 410073

摘要: 通过分析材料学科研究生波谱分析课程特点, 结合国防科技大学教学实际, 把该课程的教学目标设置为“通过课程学习, 知道和领会紫外-可见光谱、红外光谱、拉曼光谱、核磁共振波谱等几种常用波谱分析手段的基础知识, 具有应用相关知识分析和解决科研、工程问题的能力”, 并围绕这一目标对教学内容、教学方法、评价体系进行探索。

关键词: 波谱分析; 材料科学; 研究生教学

中图分类号: G64; O6

Practice and Reflection of Spectroscopic Analysis Teaching for Post-Graduate Students in Materials Science

WANG Nannan *, CHENG Haifeng, YU Jinshan, TANG Dan

Key Laboratory of Advanced Ceramic Fibers and Composites, College of Aeronautics and Astronautics, National University of Defense Technology, Changsha 410073, P. R. China.

Abstract: Base on the teaching practice and the characteristics of the spectroscopic analysis teaching for post-graduate students in materials science in our university, the teaching objective of this course is set as “to know and understand the basic knowledge of several common spectroscopic analysis methods, such as UV-Vis absorption, IR absorption, Raman scattering, and NMR spectroscopy, and to apply the relevant knowledge to analyze and solve scientific and engineering problems”. For this goal, the content, teaching methods and evaluation system of the course has been explored.

Key Words: Spectroscopic analysis; Material science; Post-graduate education

波谱分析是基于物质与电磁辐射相互作用时, 物质发生能级跃迁而产生的发射、吸收或散射电磁波信号进行分析的一类分析方法^[1]。波谱分析作为测试有机化合物结构的重要手段, 是化学、化工、材料、生物、环境、医药、食品等专业的化学类专业基础课程内容之一, 一般主要介绍紫外-可见光谱(UV-Vis)、近红外光谱(NIR)、红外光谱(IR)、拉曼光谱(Raman)、核磁共振波谱(NMR)和质谱(MS, 尽管严格意义上 MS 不属于波谱分析, 但由于其在有机物结构解析中用于获得分子式的重要地位, 常在波谱分析课程中一并介绍)等^[2]。材料专业具有材料种类多(包括高分子材料、无机非金属材料、金属材料等)、表征手段多(包括微观结构分析、热分析、性能分析)的特点, 波谱分析相关内容在材料科学与工程一级学科(下文简称材料学科)的本科生培养中所占的课时比例一般不大, 部分高校的无机非金属材料、金属材料等方向未将其独立作为本科生的授课内容。随着仪器功能不断拓展, 研究进一步深入, 波谱分析手段在材料研究中(包括无机非金属材料、金属材料相关研究)起到了

收稿: 2018-11-26; 录用: 2018-12-27; 网络发表: 2019-02-25

*通讯作者, Email: wangnannan999@163.com

基金资助: 国防科技大学十二五重点建设课程项目(080501504)

越来越重要的作用。在材料学科研究生培养中,加强波谱分析课程建设,通过讲授重要的波谱分析手段的基本原理、测试技术、谱图解析、科研与工程应用,对培养学术型、应用型、复合型人才均具有积极意义。

1 材料学科研究生开设与强化波谱分析课程的必要性与意义

波谱分析在材料学科的科学研究与工程实践中发挥着越来越重要的作用,为研究生开设相关课程具有必要性和紧迫性。为了分析波谱分析技术在材料研究中所起的作用,我们统计了材料科学领域具有代表性的两个高水平期刊 *Advanced Materials* 和 *Nature Nanotechnology* 在 2012 年和 2017 年所发表文章中各种分析表征技术的使用比例(统计篇数为连续刊登约一百篇左右,见图 1)。包括传统的微观结构表征技术,如 X 射线衍射(XRD)、透射电子显微镜(TEM)、扫描电子显微镜(SEM),以及应用较广泛的几种波谱分析技术,如 UV-Vis、NIR、IR、Raman、NMR 等。结果表明,波谱分析在材料科学领域研究工作中的使用比例略低于传统的微观结构表征技术,平均使用概率约为微观结构表征技术的 30%,同时表明波谱分析在材料科学领域的研究工作发挥着重要作用,尤其是 UV-Vis、Raman 等波谱分析技术,使用概率约为微观结构表征技术的 50%,且呈明显上升趋势。

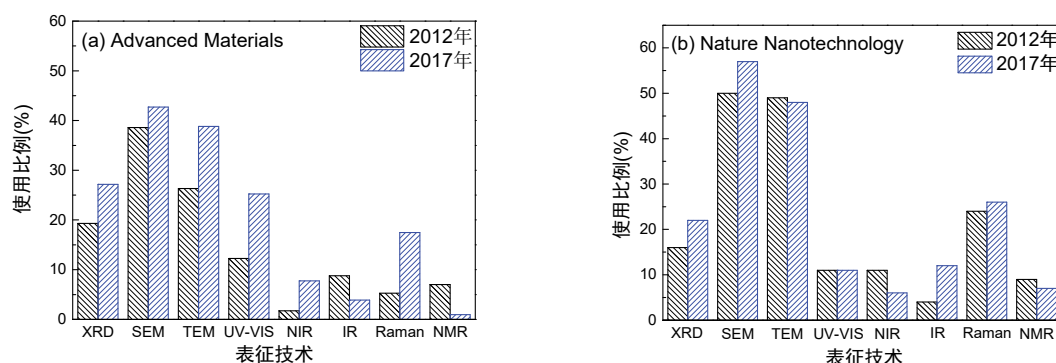


图 1 论文中各种表征技术使用比例*

(a) *Advanced Materials*; (b) *Nature Nanotechnology*

*统计范围: *Advanced Materials* 2012 年第 1 期至第 4 期共 72 篇, 2017 年第 1 期至第 4 期共 111 篇;

Nature Nanotechnology 2012 年全年共 82 篇, 2017 年全年共 95 篇

波谱分析具有很强的实用性,同时又有严密系统的理论,是理论与实际密切结合的课程,我们认为强化材料学科研究生波谱分析课程建设的意义有如下三点:

(1) 有利于培养学生严谨的科学态度,培养归纳与推演并重的思考能力。波谱分析大量数据来自于几代科研工作者的积累与归纳,而其产生原理需要用推演法研究,是归纳法与推演法并重的课程。学习波谱解析有利于培养学生严谨的科学态度和实事求是的作风,推演与归纳并重的研究方法有利于培养学生的思考能力。例如,著名的物理学家杨振宁在西南联大从吴大猷先生做分子光谱与群论研究时,采取的是推演法,而在特勒门下,主要的研究法是归纳法,对研究方法的掌握被杨振宁视为早期学到的最重要一课^[3]。

(2) 有利于提高学生的科研能力。在科研实践中,针对某一研究对象,往往综合运用多种表征手段包括波谱分析从不同的角度提供研究体系的信息。例如,在基于石墨烯的透明电极材料研究中,常采用 SEM 和 TEM 表征电极材料的微观结构,采用 Raman 表征 C—C 键结构以获得石墨烯的层状结构信息,采用 UV-Vis 表征电极材料对光的吸收行为^[4]。如前所述,材料学科的研究生背景知识水

平存在较大差异,部分学生甚至没有接触过波谱分析手段,大部分学生则缺乏对波谱分析技术的系统了解,在阅读包含波谱分析技术的相关文献时往往存在一定的障碍。学生通过本课程的学习,掌握几种重要的波谱分析技术和“为什么测、怎样测、到哪里测、如何解”,即产生原理和适用的材料体系、测试技术、测试单位、谱图解析等,有利于增强学生对文献的阅读和理解能力,可促进他们针对自己研究的材料体系选择合适的波谱分析方法,并制备样品进行测试,用谱图解析来说明问题,从而提高学生进行科学研究的能力,提高科研效率。

(3) 有利于提高学生的工程实践能力。波谱分析技术有着悠久的历史,在食品安全、医疗检测、文物鉴定、军事探测等多个领域的工程实践中都有着广泛的应用。例如, NIR 具有信号采集简单的优势,在通过化学计量学提取测试对象光谱特征的基础上,能够快速地对成分变动进行监控,常用于烟草、粮食、奶粉等产品的成分监控^[5];再如, NMR 的测试原理是原子核在外加磁场中的自旋能级跃迁,被成功地用于医学成像(即核磁共振成像技术,获得了 2003 年诺贝尔生理和医学奖),该技术具有无创、无电离辐射损害等优势,已经广泛地用于人体组织成像,作为医疗诊断的依据;又如, Raman 具有无损检测的优势,常用于文物研究^[6]。课程中通过总结并介绍波谱分析技术与工程实践之间的关系,以提高学生的学习兴趣、开阔视野、训练解决实际问题的思路,以期在学生走上工作岗位后学以致用,提高工程实践能力。

2 材料学科研究生波谱分析课程的现状与面临的问题

(1) 波谱分析作为材料分析测试技术中的一类,内容繁杂,与实践结合紧密,但学时相对有限。以作者所在的国防科技大学材料学科为例,“微观分析与表征技术”课程总学时为 54 学时,其中与材料微观结构表征相关的 XRD、TEM、SEM 的学时数为 36 学时,波谱分析部分的学时数为 18 学时。然而,波谱分析课程内容繁杂,通常包括 UV-Vis、IR、NMR、MS,各种分析技术在原理和测试仪器方面均存在较大区别,需要相应的课时分别介绍产生原理、测试技术、谱图解析等内容。该课程同时具有与实践结合紧密的特点,除了在课堂上进行讲述,还需要安排实践环节。如何在有限时间内最大程度地激发学生的学习兴趣,使学生主动学习,掌握相关知识,提高解决科研与工程实践中实际问题的能力,对课程内容和教学方法提出了挑战。

(2) 材料学科的研究生背景知识水平存在较大差异。从专业方向方面,有些学生(如化学、高分子材料专业的本科毕业生)本科时上过波谱分析相关课程,具有一定的基础,甚至基础比较扎实;有些学生(如无机非金属材料专业的本科毕业生)本科时没有上过波谱分析专业课程,仅在有机化学等课程中接触过 UV-Vis、IR 等相关概念;还有些学生本科毕业设计时利用了某些波谱分析手段,对使用过的技术比较熟悉。从知识基础方面,波谱分析课程内容涉及到化学(结构化学、有机化学、分析化学)、物理学、数学等多学科的知识,这些知识往往是大学一年级或二年级的授课内容,学生掌握程度、记忆特点差异、不同学校及专业对相关知识的侧重点差异,也决定了学生的背景知识水平存在较大差异。教学对象的背景知识水平存在较大差异对授课内容提出了挑战,需要做到既让基础薄弱的学生听懂,避免在跟不上课程时丧失兴趣,又要有一定难度,达到拓展知识面、提高科研能力、服务科研、服务实践的授课目标。

(3) 材料学科的研究生研究方向、职业选择不同,对课程内容的诉求不同。从专业方向方面,不同的专业方向对波谱分析手段的使用频率存在差异,比如高分子材料、陶瓷材料等领域常采用 IR 和 NMR 方法表征材料或其前驱体的分子结构;太阳能电池、光催化等光电功能材料领域常采用 UV-Vis 手段表征材料对光的吸收行为;碳纳米管、石墨烯等碳材料研究领域常采用 Raman 表征碳材料环状结构,相关领域的研究生对波谱分析课程部分的内容相对比较期待;而金属材料等研究领域却较少使用波谱分析手段,这些领域的研究生选择材料分析表征类课程的主要诉求在于学习 SEM、TEM 等微观结构表征手段,对学习波谱分析部分的兴趣较小。从职业选择方面,材料学科的研究生有些会进入高校、研究机构,或者读博士,以科学研究作为职业选择;有些会进入企业,从事材料

领域的工程实践。职业选择对课程内容的感兴趣程度、学习的投入程度也会产生一定的影响。

3 课程建设新举措：教学内容设置

如前所述，波谱分析作为材料分析测试技术中的一类，内容繁杂，与实践结合紧密，但材料学科对于这部分课程的学时相对有限，授课对象的背景知识水平存在较大差异，且由于研究方向和职业选择不同对课程内容的诉求也不同，这些特点为课程教学内容的设置提出了挑战。根据材料学科中波谱分析教学的特点，我们把波谱分析课程的教学目标设置为：通过课程学习，使学生了解和领会 UV-Vis、IR、Raman、NMR 等几种常用波谱分析手段的基础知识，具有应用波谱分析相关知识分析和解决科研和工程问题的能力^[7]。本课程教学工作的目标是提高学生解决实际问题的能力，以便更好地开展科研与工程实践工作。围绕这一教学目标，我们对教学内容的设置进行了探索，以期使教学内容具有实用性、先进性、科学性。

(1) 以基本原理、谱图解析能力为基础，总结和介绍波谱分析技术在材料研究中的应用。解析谱图，通过谱图推导有机化合物的结构式或得到相关的结构信息，是化学专业波谱分析相关课程的主要目的之一^[8]。然而，材料学科波谱分析课程的学时十分有限，在有限的课程时间内，需要介绍各种波谱分析技术的原理、谱图信息、测试仪器、谱图解析，最后落脚在该技术在材料研究中的应用，像化学专业的学生一样掌握解析谱图相关知识是难以做到的。我们总结了波谱分析技术在材料研究和工程实践中的典型应用，在课堂上每讲授一种波谱分析技术之后，先总体介绍该技术在材料研究和工程实践中的应用情况，再选择 3-5 篇文献进行详细介绍，培养学生应用波谱分析相关知识分析和解决科研和工程问题的能力。

(2) 在传统的授课内容上增加 Raman、固体 NMR 等与材料学科密切相关的波谱分析技术。根据定义，波谱分析技术包括 UV-Vis、IR、Raman、NMR、荧光光谱(FS)、旋光光谱(ORD)、圆二色光谱(CD)、电子顺磁共振谱(ESR)等。由于 UV-Vis、IR、Raman、MS(严格意义上不属于波谱分析)在有机物结构解析领域的广泛应用，波谱分析课程通常包括以上四部分内容。随着科研领域拓展、分析仪器进步，一些以前使用率较少的波谱分析方法，如 Raman、固体 NMR 等在材料研究中具有较高的使用率(图 1)。例如，Raman 能够给出碳材料中石墨(G-band, $\sim 1582\text{ cm}^{-1}$, E_{2g} 振动模式)和碳环呼吸振动(D-band, $\sim 1330\text{ cm}^{-1}$, A_{1g} 振动模式)的特征峰，被广泛用于石墨烯、碳纳米管等碳材料研究^[9]。利用了魔角转换技术(MAS)的固体 NMR 仪器能够直接测试粉末状固体材料的 NMR，在催化剂、矿物、陶瓷等难溶样品的测试中得到了广泛应用。针对波谱分析技术在材料研究中的应用情况，本课程内容在传统的 UV-Vis、IR、NMR 和 MS 基础上，增加了 Raman、固体 NMR 等与材料学科密切相关的波谱分析技术。

(3) 注重基础知识与现代科技发展相衔接，及时调整和更新，将波谱学的新知识、新技术以及新进展主动融入到教学之中。波谱分析是一门研究光、电、磁和物质相互作用及应用的课程，体现了物理学的基本理论和实验方法与化学等学科的有机融合，与高新技术(如超导、激光、计算机控制、信息处理等)领域的成就和研究前沿紧密相关。Raman 散射现象的发现、MS 仪器开发、傅里叶变换 NMR 和二维 NMR、生物大分子的 MS 与 NMR 分析等多项与波谱分析密切相关的研究成果均获得过诺贝尔奖。在这一背景下，我们每个学期均针对性地对教学内容进行了调整和更新，注重将波谱学的新知识、新技术以及新进展融入到教学之中，例如 2013 年中国科学家在国际上首次实现亚纳米分辨的单分子光学 Raman 成像，将具有化学识别能力的空间成像分辨率提高到 0.5 nm ^[10]，与现代科技发展相衔接的教学内容很好地吸引了学生的注意力，同时有望启发学生对新技术的思考。

(4) 注重将科研成果转化为教学内容。结合本校材料学科的主要科研方向，包括陶瓷材料、电子功能材料、伪装材料等，与专业课“高分子材料”“电子功能材料”“伪装隐身材料与技术”的教学紧密结合，总结和归纳各种波谱分析技术在这些材料研究领域中的应用，在建立大类材料波谱分析技术综合应用情况宏观概念基础上，介绍具体的科研实例，每个材料研究领域选择 3-5 篇近期发表

的、典型的、高水平学术论文进行重点分析。通过学术论文中材料的实际谱图,一方面在巩固课程内容的基础上开阔研究生的科研视野,让学生切实感受到课程内容在实际科研当中的重要地位,启发学生学习的主动性和积极性,另一方面通过科研实例给研究生留下“综合考虑、统筹安排”的印象,以帮助研究生在科研工作中理顺表征思路,提高解决实际问题的能力。例如,在陶瓷材料研究中,常采用 IR 和 NMR 研究陶瓷先驱体和陶瓷组成,追踪先驱体转变为陶瓷的过程,研究陶瓷材料在服役过程中的微观组成演化等。又如,在太阳能电池的光电转换材料研究中,常采用 UV-Vis-NIR 表征材料对太阳光的吸收情况,与电化学表征手段相结合,计算光电转换效率,常采用 IR、Raman 和 NMR 研究光电转换材料的组成,从基团层次研究光的吸收机理。

(5) 介绍仪器联用技术。仪器联用技术是将两种或两种以上的仪器结合到一起使用的技术,从而得到更快捷、更有效的分析工具,来完成一些单台仪器不能完成的测量工作。比如常见的色谱/MS 技术联用,就利用了气相色谱(GC)或液相色谱(LC)的分离功能和 MS 的分析功能,分析时先通过色谱分离混合物中各个组分、再通过 MS 确认化学结构,广泛用于环境污染物、农药、激素等检测^[11]。又如,热重(TG)/IR/GC/MS 联用系统能够记录材料在加热过程中的失重信息,同时获得失重过程中分解成分的 IR 信息,还可以对失重过程中所生成的挥发性组分进行气质分离与解析,在聚合物的热裂解机理研究方面发挥了重要作用^[12]。我们在课程中穿插讲授了 TG/IR/GC、GC/MS、LC/MS、LC/NMR 等联用技术的简单原理及应用范围,使学生对仪器联用技术有初步的了解。

4 课程建设新举措:教学方法探索

(1) 通过各种波谱技术的横向对比、综合应用,强化学生对课程内容的掌握。由于产生原理、仪器设备、分析方法等方面的区别,UV-Vis、IR、Raman、NMR 等波谱分析技术在课程中多作为独立部分分别介绍,学生在学习过程中易发生遗忘或产生混淆。科研工作讲究“大胆假设,小心求证”,而小心求证的过程往往需要多种分析表征手段的综合应用,以从不同的角度对结论进行证实。例如,在研究氧化钛纳米材料催化降解有机污染物时,常采用 IR 表征氧化钛、有机污染物结构,采用 UV-Vis 表征氧化钛对光的吸收行为,还可通过随时间测量的 UV-Vis 表征有机污染物降解动力学^[13]。在课程总结部分,首先通过列表的形式给出 UV-Vis、IR、Raman、NMR 等波谱分析技术的电磁波段、对应的能级、提供的信息、典型材料体系、测试仪器和典型工程应用,再按照从宏观概念到具体实例的顺序,介绍各种波谱分析技术在聚合物、陶瓷材料、催化材料等研究领域中的应用情况。在建立宏观概念的基础上,介绍具体的科研实例,通过详细分析近期发表的、典型的、高水平相关文献,一方面在巩固课程内容的基础上开阔研究生的科研视野,提高研究生做科研的兴趣,另一方面通过科研实例给研究生留下“综合考虑、统筹安排”的印象,以帮助研究生在科研工作中理顺表征思路。

(2) 利用视频、科研软件等多种形式制作多媒体课件。波谱分析课程内容多,部分内容比较抽象,合理利用视频、科研软件等多种形式制作多媒体课件,有助于增加课件信息量和学生对授课内容的理解。例如,通过在课堂上播放英国皇家化学学会(Royal Society of Chemistry, RSC)制作的现代仪器技术(Modern Instrumental Techniques for Schools and Colleges)系列视频,更加直观地展示仪器工作原理。又如,采用 Gaussian 软件通过量子化学计算得到某一模型分子(如甲醇)的振动方式及对应的红外吸收峰位置,在课堂上通过 Gaussian 软件计算出的甲醇中亚甲基基团各种振动方式,包括对称伸缩、反对称伸缩、面内摇摆、面外摇摆、剪式、扭曲等,向学生演示。这样的方法可达到几个目的:第一,通过动画吸引学生注意力,调动学习积极性;第二,通过动画使学生获得各种振动方式的直观印象;第三,通过简要介绍各种振动方式是 Gaussian 软件基于量子化学原理进行计算而得到的,给学生留下“物质的红外吸收峰位置是可以计算和预测的, Gaussian 软件是用于计算化合物红外吸收的主要软件之一”这一印象。

(3) 通过实例增进理解。波谱分析课程知识点较多,涉及到化学(结构化学、有机化学、分析化

学)、物理学、数学等多学科的知识,而学生的背景知识水平又存在较大差异,当遇到比较抽象的知识点时,可能较难建立起抽象的知识点和波谱分析中具体问题的联系。例如,在介绍异丙基和叔丁基的甲基红外特征吸收峰时,如果学生无法快速回忆出异丙基和叔丁基的分子结构,就难以建立起分子结构与谱图数据之间的联系。在课件建设中,将每一张谱图对应的分子结构都画于谱图中,以便于基础不同的学生进行理解。又如,在介绍各种转换关系时,包括波数、波长转换关系,吸光度、透过率转换关系,以 Hz 为横坐标和以 δ 为横坐标的 NMR 谱图之间的转换关系等,在明确计算公式的基础上,采用数值计算、谱图的方式进行举例,以便于学生理解。

(4) 注重开放性网络资源的合理利用。近年来互联网技术飞速发展,网络资源不断丰富,将热点新闻、影视资料、数据库、商业软件、网络教学、科普性网络资源等相关网络资源合理应用于波谱分析教学,有助于吸引学生的注意力、提高学习兴趣、促进自学意识和自学能力、开阔科研视野以及提高工程实践能力。例如,波谱分析技术在食品安全、军事探测、医疗检测、文物鉴定等领域有着广泛的应用,在课程之初通过热点新闻、影视资料等引出相关的波谱分析方法,以提高学生对课程的学习兴趣;在课程内容学习完毕后,结合授课内容对媒体案例进行剖析与解读,总结波谱分析原理与技术在相关工程技术领域的具体应用,在巩固课程内容的基础上开阔学生的科研与工程视野。又如,将数据库、课程资料网站等优秀的教学资源推荐给学生,能够为学生提供进一步获取知识的方式和渠道,从而促进学生的自学意识和自学能力,包括日本“Spectral Database for Organic Compounds(SDBS): National Institute of Materials and Chemical Research(NIMC)有机物谱图库”,可通过分子式检索有机物谱图(MS、NMR 碳谱和氢谱、IR、Raman、ESR);美国威斯康星大学(University of Wisconsin)化学系的 Hans J. Reich 教授建立的 NMR 课程网页等。

(5) 注重体现英文专业词汇和符号缩写,提高学生阅读文献和英文写作能力。例如,IR 里多原子基团的振动方式包括伸缩振动(stretching vibration)和变形振动(deformation vibration,有些文献中也成为弯曲振动, bending vibration),伸缩振动又细分为对称伸缩(symmetric stretching, ν_s)和反对称伸缩(asymmetric stretching, ν_{as})振动,变形振动细分为面内(in plane, δ)的面内摇摆(rocking, ρ)和剪式(scissoring, δ_s)振动,面外(out of plane, γ)的面外摇摆(wagging, ω)和扭曲(twisting, τ)。又如, NMR 中关于峰裂分情况的描述:单峰(singlet, s)、双峰(doublet, d)、三重峰(triplet, t)、四重峰(quarter, q)、五重峰(quinter)、六重峰(sexter),多重峰(multiplet, m)。这些英文专业词汇和符号缩写看似简单,由于不同作者和不同时期的文献可能采用不同描述方式描述同一个现象,学生在刚刚开始科研工作阅读文献时往往存在混淆和疑惑,在课堂上对常见的描述方式进行总结,统一介绍给学生,有利于学生尽快、尽早熟悉专业词汇,阅读相关文献。

(6) 实践教学以参观为主,重点设备上机操作,加深对抽象知识的理解,巩固课程内容。由于课时有限,大部分设备以参观为主,考虑到 IR 具有应用广泛、仪器操作较为简单、一般可由学生自行测试的特点,选择红外光谱仪作为重点设备进行操作教学,并对实践教学进行了如下设计:首先,鼓励学生自己准备样品,调动其学习积极性;其次,针对材料学科样品种类繁多的特点,测试时介绍不同状态(液体、糊状、粉末、薄膜、纤维、陶瓷)样品的制样方法;最后,在获得谱图后先进行谱图解析以巩固理论知识,再进行数据库检索以贴近科研与工程实践。教学实践中,在理论教学结束后,我们依托学校的分析测试中心安排了 3 个学时的实践教学,包括对 UV-Vis-NIR、Raman、NMR、GC-MS 连用等分析方法的仪器、样品制备、测试过程进行参观,参观之后进行红外光谱仪操作教学,鼓励学生带上自己制备的、所在课题组的或者生活中感兴趣的样品。操作教学中先采用溴化钾压片法测试粉末状演示样品(作为未知物),使学生掌握粉末样品的制备方法和红外光谱仪的操作,获得谱图后先请学生进行未知物的 IR 谱图解析,复习理论知识,在学生推导出化合物结构的基础上,通过测试软件数据库、KnowItAll 红外光谱数据库等数据库对谱图进行检索,确认推导结果并演示数据库软件的检索过程。通过实践,我们认为柠檬酸、苯甲酸等化合物具有谱图相对简单、特征吸收峰($C=O$ 、 $COOH$)明显的特点,有利于学生单独通过 IR 进行结构推导,是比较好的备选演示样品。之

后,采用护肤品、保鲜膜、织物涂层、植物叶片等演示样品介绍不同状态样品的制样方法,包括漫反射附件、衰减全反射附件的使用。最后,测试学生带来的样品,对样品进行分析。实验完成后学生须完成一份实验报告。

(7) 注重问题导向式、课堂讨论式教学方式。20 世纪美国西余大学医学院率先尝试了以问题为基础(Problem Based Learning, PLB)的教学模式。PLB 的主要特点是以问题为导向,有利于启迪学生思考、联想和比较。例如,在课程绪论中基于学生对波谱分析技术已有的理解和科研中遇到的问题,进行启发性的提问,包括测 IR 时常用溴化钾压片法制样,薄膜样品怎样制样? IR 和 Raman 同为振动光谱,某个样品该做 IR 还是 Raman 测试? 碳化硅纤维表面进行了改性,该怎样表征? 研究体系和表征方法可以参考同课题组师兄师姐的论文,学习波谱分析有用吗? 通过这些提问让学生带着问题学习,达到提高学习兴趣、启迪思考的目的。课程中化合物的结构解析部分,需要学生在掌握基础理论知识的基础上,灵活运用,发散思维,才能对谱图进行分析、归纳、解析,对学生的逻辑能力、判断能力、推导能力提出了较高要求。在习题环节,把待解析的谱图投影到屏幕上(考虑到有些谱图较复杂,投影时难以看清坐标轴上的数字,也可以打印出来发给学生),以学生为主进行谱图解析,培养学生独立思考问题、解决问题的能力。当发现大部分学生在推导中遇到了问题时,采用启发式教学,将难点进行提示。此外,引入挑战机制,请先推导出结果的学生到讲台上讲解谱图的解析思路,同时鼓励其他学生提出质疑或给出不同的解析思路,教师加以启发、引导,营造主动学习的氛围。

5 课程建设新举措:评价体系设置

材料学科的波谱分析具有学时短、学生基础知识水平差异较大的特点,各种波谱技术中不同基团的峰位置很难完全依靠记忆,考虑到考试是评价教与学效果的重要手段,对整个教学活动有强化、检测和反馈的作用,在复习考试的过程中,学生的学习积极性可以得到提高。我们采用闭卷、半开卷考试与大作业结合的方式,综合课堂表现、实验情况进行考核。第一部分,闭卷测验(占总成绩的 30%),考查内容以波谱分析的基本概念和基础知识为主,如各种波谱技术所对应的能级,IR 中分子结构对吸收峰位置的影响规律,NMR 中的化学位移、耦合常数等概念。主要考查学生对基础知识的掌握程度,故采用闭卷的形式,题型包括选择、判断、填空。第二部分,半开卷测验(占总成绩的 30%),进行难度中等的有机化合物结构推导。试卷为某一化合物的 UV-Vis、IR、NMR、MS 等谱图,同时提供各种波谱技术中不同基团的峰位置统计表,请学生进行谱图解析和指认,以进一步巩固谱图解析相关知识。第三部分,大作业(占总成绩的 30%),选题为对某种或某几种波谱分析技术在某类材料体系中的应用进行综述,题目学生自拟,要求论文内容突出波谱分析的新技术、新方法,以及在材料研究中的新应用。通过与波谱分析技术相关的综述论文写作,扩展学生的知识面,锻炼其文献检索及专业论文写作的能力,培养学生主动学习的意识。将综述论文的写作格式、内容的完整性、逻辑性、新颖性作为评分依据。第四部分,课堂表现(占总成绩的 5%),采用课堂上随机点名提问的方式,记录学生的出勤情况及课堂表现。第五部分,实验情况(占总成绩的 5%),根据 IR 实验和实验报告,给出实验成绩。

6 国防科技大学材料学科波谱分析教学效果分析

2012 年初,国防科技大学波谱分析教学团队进行了材料学科研究生课程“微观分析与表征技术”中波谱分析授课内容(共 18 学时)的教学改革,分析教学对象特点,明确教学目标,优化教学内容、教学方法与评价体系,经过 5 年的实践,得到了大多数学生的认同和欢迎。学生反映通过本部分课程的学习,系统了解了波谱分析在材料研究中的应用,有助于理解专业文献、设计实验方案,从而更快速、高效地解决实际工作中的问题。UV-Vis、IR、Raman、NMR 等波谱分析技术在研究生的期刊论文、学位论文中均获得了较广泛的应用。

7 结语

波谱分析在材料研究中发挥着重要作用,通过分析材料学科研究生波谱分析课程特点,我们希望通过调整教学内容、教学方法、评价体系的一些适当调整,通过较短时间的课程,使学生知道和领会 UV-Vis、IR、Raman、NMR 等几种常用波谱分析手段的基础知识,具有应用波谱分析相关知识分析和解决科研和工程问题的能力。

参 考 文 献

- [1] 王培铭, 许乾慰. 材料研究方法. 北京: 科学出版社, 2006.
- [2] 曹书霞, 廖新成. 大学化学, **2010**, 25 (5), 36.
- [3] 杨振宁. 自然杂志, **2005**, 27 (1), 1.
- [4] Mao, J.; Yu, Y. Q.; Wang, L.; Zhang, X. J.; Wang, Y. M.; Shao, Z. B.; Jie, J. S. *Adv. Sci.* **2016**, 3 (11), 1600018.
- [5] 陶庆璇. 近红外光谱技术进行配方奶粉营养成分测量的适应性研究[D]. 广州: 华东理工大学, 2017.
- [6] 张亚旭, 王丽琴, 何秋菊. 光散射学报, **2017**, 29 (1), 8.
- [7] 崔玉中. 教育教学论坛, **2018**, No. 1, 141.
- [8] 王多志, 刘晨江. 大学化学, **2016**, 31 (6), 29.
- [9] Dresselhaus, M. S.; Jorio, A.; Hofmann, M.; Dresselhaus, G.; Saito, R. *Nano Lett.* **2010**, 10 (3), 751.
- [10] Zhang, R.; Zhang, Y.; Dong, Z. C.; Jiang, S.; Zhang, C.; Chen, L. G.; Zhang, L.; Liao, Y.; Aizpurua, J.; Luo, Y.; Yang, J. L.; Hou, J. G. *Nature* **2013**, 498 (7452), 82.
- [11] 胡斌, 江祖成. 色谱-原子光谱/质谱联用技术及形态分析. 北京: 科学出版社, 2016.
- [12] 隋丹. 分析仪器, **2017**, No. 6, 121.
- [13] Yao, H. B.; Fan, M. H.; Wang, Y. J.; Luo, G. S.; Fei, W. Y. *J. Mater. Chem. A* **2015**, 3 (34), 17511.