

高效液相色谱仪器拆装实验设计与实践

肖华, 陈滔, 胡水, 李洁, 曾尊祥, 陈洪燕, 许先芳*, 朱芳*

中山大学化学学院, 广州 510006

摘要: 分析仪器基础知识与操作技能是高校化学专业的重要教学内容, 也是高校科研探究必备的基本素养。高效液相色谱仪作为一种重要的分析仪器, 广泛应用于化学、生命科学、制药工业、环境科学、食品科学和石化分析等领域。为了进一步加深学生对液相色谱仪器结构与原理的理解, 融会贯通, 将理论应用于实践, 本实验设计探究性仪器拆装实验教学内容, 重新利用已报废的高效液相色谱仪, 设计仪器拆装实验, 引导学生打开仪器外壳, 深度探索仪器内部“世界”。在实验过程中, 有机融入课程思政教育, 坚持以学生为中心, 以探究为导向, 增强学生独立思考与解决问题的综合能力, 激发其探索未知、勇于创新的实践精神, 培育其科技报国的家国情怀。

关键词: 液相色谱; 仪器拆装实验; 实验教学

中图分类号: G64; O6

Design and Practice of High Performance Liquid Chromatography (HPLC) Disassembly and Assembly Experiment

Hua Xiao, Tao Chen, Shui Hu, Jie Li, Zunxiang Zeng, Hongyan Chen, Xianfang Xu*, Fang Zhu*

School of Chemistry, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510006, China.

Abstract: Understanding the structure and principles of analytical instruments is crucial in chemistry education and fundamental for scientific research in universities. High Performance Liquid Chromatography (HPLC) is extensively utilized in chemistry, life sciences, pharmaceuticals, environmental studies, food science, and petrochemical analysis. To deepen students' comprehension, we designed an experimental disassembly and assembly using a decommissioned HPLC instrument. This experiment encourages students to dismantle the instrument, explore its internal workings, and apply theoretical knowledge to practical scenarios. Integrated with ideological and political education, the experiment centers on student-centered inquiry, enhancing their independent thinking, problem-solving abilities, and fostering a spirit of exploration and innovation. It aims to cultivate a sense of patriotism through dedication to scientific and technological advancement.

Key Words: Liquid chromatography; Disassembly and assembly experiment; Laboratory teaching

1 引言

分析仪器作为现代分析测试技术的重要工具, 广泛应用于化学、化工、材料、生物、环境、医药和食品等领域的科学研究与生产实践中^[1,2], 其理论教学及操作技能训练已成为高等院校化学专业的重要教学内容。现代分析仪器为实现快速、准确的定性与定量分析, 多为封闭式、一体化、智能化设计, 无法直接观察其内部构造^[3], 尽管现有教材对于仪器结构与测试原理的叙述较为清晰^[4], 但

收稿: 2024-04-07; 录用: 2024-07-02; 网络发表: 2024-10-28

*通讯作者, Emails: xuxianf@mail.sysu.edu.cn (许先芳); ceszhuf@mail.sysu.edu.cn (朱芳)

基金资助: 中山大学教学质量与教学改革工程类项目

受实验课程内容与课时限制,学生在有限的时间内无法面面俱到,管中窥豹,终究只能略窥一斑,对于分析仪器仍然存在陌生感,无法独立进行系统性操作与维护。纸上得来终觉浅,基于此,部分高校开展仪器拆装实验与教学型仪器研制相关探索^[5-11],仪器拆装实验^[5-7]旨在借助废旧大型仪器资源,设计仪器拆装与展示实验,揭开贵重仪器的“神秘面纱”,深入剖解仪器结构与组成,将理论与实践紧密衔接,充分激发学生的探索心理,培养其创新实践能力,为未来的科研学习、就业与深造夯实基础;而教学型仪器的研制^[8-11]使得仪器内部结构可视化,可供学生自主拆装、调试、测量与结果分析,不仅可以进一步加深学生对分析仪器工作原理、构造与相关分析方法的认识,也能够消除学生在使用“高端仪器”过程中的畏难情绪,激发学生对分析仪器研制的兴趣,培养学生科技报国的爱国情怀。

高效液相色谱仪作为色谱分析的重要技术手段,主要由输液系统、进样器、色谱柱、检测器和数据处理系统等单元组成,具有分析速度快、灵敏度高、易实现自动化等优点^[12],是国内高校仪器分析化学实验课程的重要教学仪器之一^[13],也是高校科研探究中不可或缺的测试工具。本实验依托中山大学化学国家级实验教学示范中心,对中心已报废的高效液相色谱仪进行仪器拆装实验的设计与探索,并初步面向化学强基班学生开设特色实验项目,通过探究性自主拆解与组装,引导学生深入学习液相色谱仪原理、结构、设计思路及基础维护知识,在实践中内化知识,培养学生的自主综合学习能力、创新意识与实践能力和高阶思维能力。并且在实验课程中积极践行思政教育,注重学思结合、知行统一,将知识传授、能力培养与价值塑造三者有机融合^[14],在教学中切实引导学生于身体力行中了解国内分析仪器依赖进口及原创力不足、贵重仪器原厂维修费用昂贵等难题^[15],从思想上将分析仪器知识与服务国家联系起来,并转化为学习的内生动力,加强对学生的家国情怀、科研探索精神的培育^[16],贯彻落实立德树人根本任务,激励学生立志成为解决国家重大战略需求的下一代领军人才。

2 教学实验设计

2.1 实验目的

本实验面向大学三年级学生,在已学习仪器分析基本原理及仪器分析实验相关知识的基础上,高效液相色谱仪拆装实验的设计旨在重新利用已报废的色谱仪器,引导学生进行仪器拆解探索,将书本知识诉诸实践,进一步熟识液相色谱仪的结构组成及原理,了解各类检测器在结构与应用方面的异同,熟识仪器基本运行的硬件基础,学习仪器运行过程中的基础维护操作,搭建教学与自主科研之间的桥梁;同时,在拆装教学过程中引导学生了解我国分析仪器技术“卡脖子”问题与现状:我国分析仪器关键部件、研发过程中用到的软件和分析仪器数据库等严重依赖进口,国产分析仪器企业发展历史较短,与全球头部分析仪器企业相比仍有很大的提升空间^[15],籍此启蒙学生关于仪器自主研发的深度思考,激发学生科技报国的爱国情怀,为我国科学技术发展培养探索型、实践型、综合型的可靠接班人。

2.2 实验内容设计

本实验设计开放探究式的实验过程,实验流程如图1所示。引导学生主动探索,化“整”为“零”,逐步拆解仪器,掌握色谱仪各个部件组成及功能,同时充分利用讲义、视频、动画与讲解引导学生在拆解过程中同步学习仪器原理、仪器使用注意事项及基础维护操作,拆解结束后,要求学生按顺序将仪器重新组装复原,然后引导学生进行色谱进样,在标样测试过程中讲解色谱运行流路、仪器组成与测试原理,进行知识巩固,化“零”为“整”,实现全面、深度地探究式学习,为其未来的学习与科研打下坚实的基础。

2.3 实验过程安排

仪器拆装实验项目的教学安排如下:

(1) 课前发布预习任务,要求学生主动预习实验讲义,配合视频、动画深入学习高效液相色谱仪

器组成与原理。

(2) 课堂教学时,按照理论教学、拆解、复原与色谱进样4个阶段来完成实验,总计约5学时。实验过程中,着重引导学生进行拆解探索,详细讲解各个关键知识点,引导学生耐心拆解与复原,培养其严谨认真、仔细负责的学习态度。

(3) 实验报告撰写要求学生对比谱仪各模块运行机理与重要零部件进行解析,简要分析色谱标样测试结果,同时还需查阅相关资料,完成思考题。

该实验安排2人/组完成实验,有助于培养学生的团队精神与合作意识。

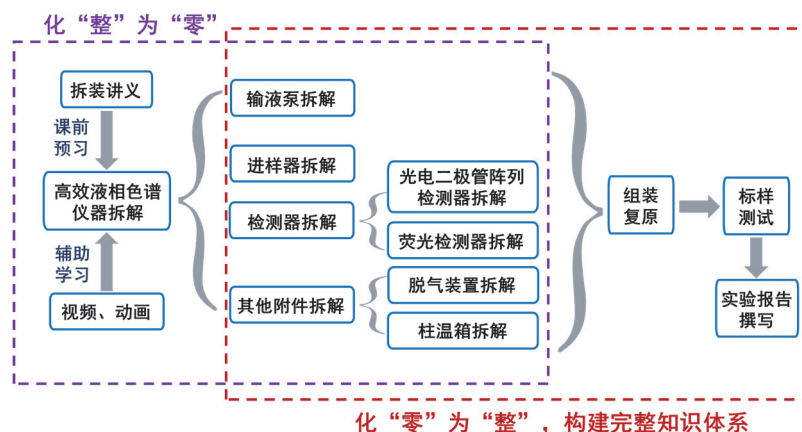


图1 高效液相色谱仪器拆装实验流程

2.4 实验考核设计

本实验属于中山大学化学强基班学生“科研技能训练III”实验课程,根据课程考核要求,实验课程不设笔试考核,平时成绩占40%(包括出勤10%、课堂讨论30%),实验项目占60%(每个实验项目占10%,分别提交实验报告)。

该实验引导学生通过课前预习、仪器拆装、标样测试、小组合作与讨论、实验报告撰写、查阅文献、拓展学习与思考等方式,深入参与实验教学过程,并在教学过程中融入思政元素,实现知识传授、能力培养与价值塑造“三位一体”的育人目标。本实验教学目标、考核环节及考核标准见表1。

表1 高效液相色谱仪器拆装实验考核设计

教学目标	考核环节	考核标准
知识掌握: 高效液相色谱仪器原理、结构、组成、各模块运行机理、各检测器结构及原理、仪器维护知识	课前预习、实验过程、实验报告、小组讨论、拓展学习与思考	1. 扎实的课前预习; 2. 实验过程中积极参与,能够及时发现问题并寻求解答; 3. 完善、详实的实验报告(详述仪器拆解过程,解析仪器各模块及零部件名称与功能,熟悉仪器各模块运行机理,分析标样测试结果,同时了解基础维护操作,并查阅相关资料,完成思考题)
能力培养: 独立思考和自主学习、综合学习能力、创新思维能力、动手实践和团队协作能力	课前预习、实验过程、小组合作、拓展学习与思考	1. 能够独立预习,查阅资料,充分准备; 2. 能够与同学分工协作,共同完成仪器拆解; 3. 实验过程中能够积极思考,举一反三; 4. 拓展学习与思考中能够独立查阅相关资料,进行调研与总结
价值塑造: 严谨认真的科学素养、科技报国的社会使命感、奉献祖国的爱国情怀	实验过程、小组讨论、拓展学习与思考	1. 能够感悟化学实验中的科学探究与开拓创新精神; 2. 能够了解我国科学分析仪器行业现状、存在问题及发展前景; 3. 能够认识到科学仪器技术和培养仪器研制及开发人才对于建设科技强国、人才强国的重要性

3 实验仪器与试剂

仪器：LC-20AT岛津高效液相色谱仪(拆装用, 图2a)及工具箱(图2b), 色谱仪包含LC-20AT输液泵、SIL-20A自动进样器、SPD-M20A光电二极管阵列检测器、RF-10AXL荧光检测器、CBM-20A系统控制器、CTO-20AC柱温箱, DGU-20A3在线脱气装置; LC-20AD岛津高效液相色谱仪(测试用)。



图2 拆装用高效液相色谱仪(a)及工具箱(b)

试剂：茶碱标准品(北京索莱宝科技有限公司, $50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)、甲醇(色谱纯)、超纯水。

测试条件^[17]：色谱柱：C18色谱柱(岛津InertSustain, $4.6 \times 250 \text{ mm}$, $5 \mu\text{m}$)；总流速： $1 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ；流动相：甲醇-水($v/v = 2/8$)；进样量： $20 \mu\text{L}$ ；柱温： $35 \text{ }^\circ\text{C}$ ；检测器：光电二极管阵列检测器；检测波长： 270 nm 。

4 实验开展

4.1 理论教学

4.1.1 实验讲义教学

讲义是学习仪器基础结构与原理并进行拆解操作的基石。本实验为新实验课程开发, 液相色谱仪拆装实验讲义由实验教学团队单独编撰。该讲义涉及简要仪器背景介绍、详实的仪器结构与原理、基础仪器维护知识、实验具体操作方法与参考书目等, 由于拆解仪器为特定厂家, 讲义还兼顾仪器原理的普适性与拆解操作的特殊性, 引导学生在课前熟悉仪器原理及实验拆解过程, 提升课堂教学质量。

4.1.2 仪器视频及动画教学

仪器视频及动画是最为直观的学习资料(图3), 主要来源于仪器官方网站及售后工程师, 包括仪器各个模块的运行机理、仪器维护过程中的相关拆解视频等, 能帮助学生全方位预习实验内容, 为后续课堂拆解与组装打下坚实基础。

4.1.3 课堂PPT展示教学

课堂PPT展示教学, 对仪器基础知识进行简要梳理, 对拆解细节、流程及注意事项进行重点讲解, 例如易损零件的拆解、螺丝的拆卸与安装方法等, 同时进行相关知识点提问, 检查课前预习效果, 是实验课程必不可少的环节。

4.2 课堂实践教学

拆解过程中, 教师及时关注拆解动向, 在拆解前后进行教学指导, 包括模块运行机理、重要零部件工作原理与日常维护等, 及时指出错误操作, 引导学生有序进行拆解探索并逐步完成仪器复原。学生可充分利用手机、平板等电子设备记录仪器拆解前后状态, 便于复原仪器与实验报告撰写。拆解结束后, 进行色谱标样测试, 在测试过程中引导学生查漏补缺, 进一步巩固仪器知识。

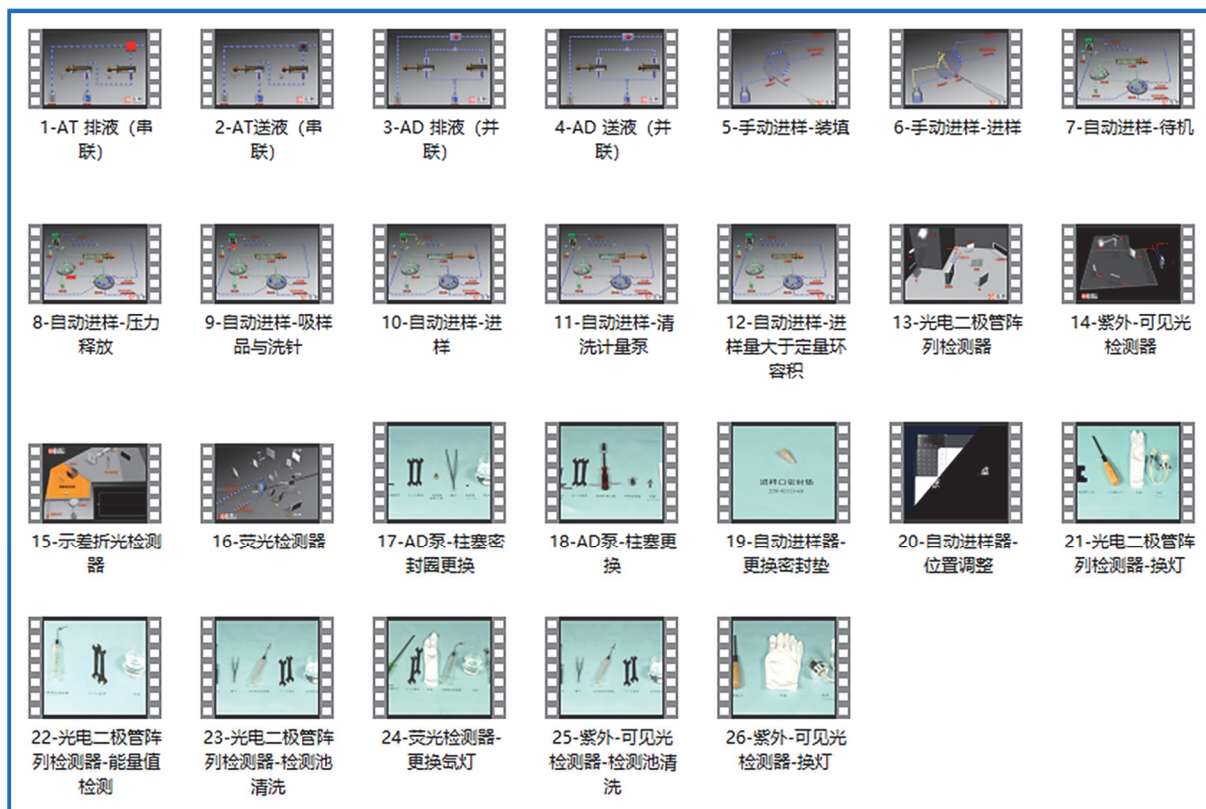


图3 高效液相色谱仪相关视频及动画

4.2.1 输液泵拆解

市售液相色谱系统的高压输液泵多采用往复柱塞泵，包括单柱塞和双柱塞(双柱塞又分为串联式与并联式)等类型^[12]，单柱塞泵结构如图4a所示。工作时，电动机带动偏心轮转动从而驱动柱塞做往复运动，柱塞向左移动时，出口单向阀关闭，流动相自入口单向阀吸入液缸；柱塞向右移动时，入口单向阀关闭，流动相经压缩后从出口单向阀排出。柱塞往复运动一次，完成一次吸液和排液过程。

本实验拆解用输液泵为串联式双柱塞泵(图4b)，标样测试用仪器为并联式双柱塞泵(图4c)，多样化的仪器类型能够引导学生充分理解与比较不同输液泵结构，丰富仪器知识体系。拆解时，先确定流路方向(图5a)，然后沿着流路方向尽可能拆解输液泵，了解各部件原理及功能。

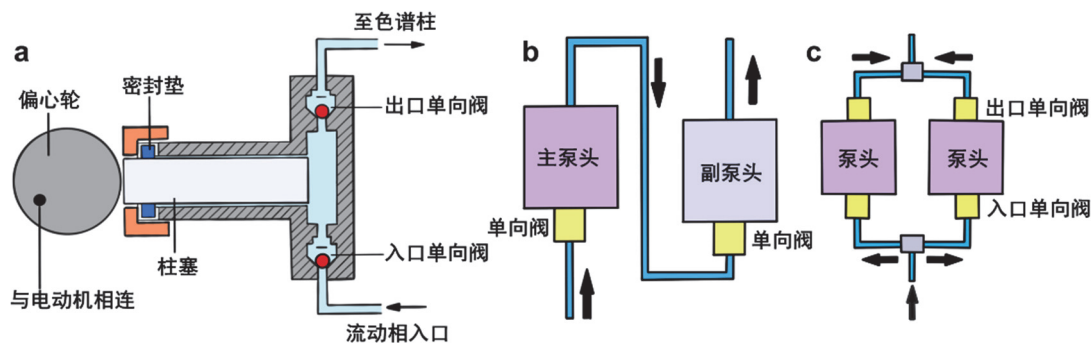


图4 往复柱塞泵结构

(a) 单柱塞泵; (b) 串联式双柱塞泵; (c) 并联式双柱塞泵

使用工具拆掉输液泵外壳，使仪器内部电路及各部件显露出来(图5b)。LC-20AT输液泵组件主要由泵头、柱塞密封圈、隔片、密封圈固定座组件、柱塞、泵头固定座、排液阀组件等组成(图5c, 5d)，取出各组件时应当垂直于泵头面轻轻取出，避免撞断柱塞，柱塞密封圈和柱塞必须用专用工具取出，拆解后各组件应当放置在洁净的托盘中。LC-20AT输液泵所用单向阀由阀套和阀芯组成(图5e)，仅允许流动相单向流动。电机驱动与其相连的主动轮转动，并通过皮带将动力传至从动轮，从动轮的转动驱动柱塞后偏心轮转动，实现两根柱塞的前后交替移动，拆解过程中可引导学生手动驱动皮带传动，观察柱塞往复运动规律。

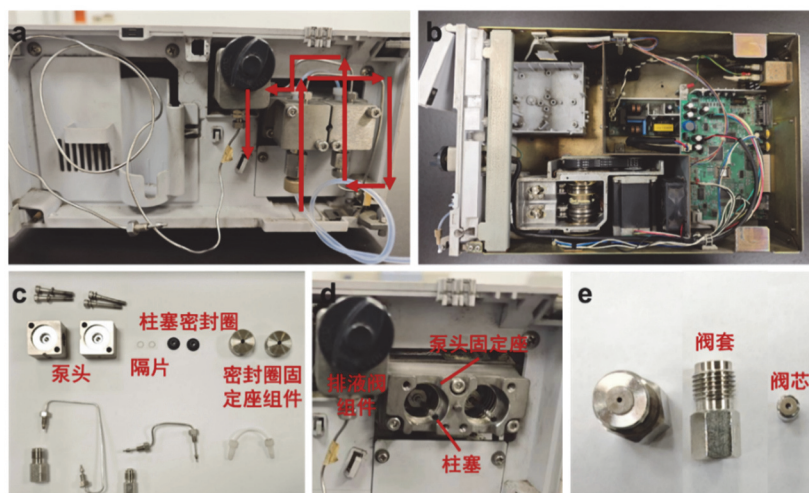


图5 输液泵拆解

(a) 输液泵正面及流路方向；(b) 输液泵内部构造；(c, d) 输液泵组件；(e) 单向阀组件

输液泵是高效液相色谱的重要模块之一，其性能与高效液相色谱分析结果可靠性息息相关，输液泵常见的维护操作主要有柱塞密封圈更换、单向阀清洗或更换、柱塞清洗或更换、排液阀组件更换等，在拆解过程中引导学生了解基础维护操作，全面学习仪器相关知识。

4.2.2 进样器拆解

进样器是将一定量的待分析样品送入色谱仪的装置，可分为手动进样阀(图6a)与自动进样器(图7)。手动进样阀着重复习六通阀原理及其在取样与进样时的流路切换(图6b, 6c)。

SIL-20A自动进样器主要由样品盘、进样针、定量环、高压阀、低压阀、计量泵、清洗口等部件组成(图7a)，首先拆掉仪器外壳、进样针前透明面板、进样针封盖，观察进样器内部构造及运行方式，电机驱动皮带传动带动进样针在X、Y和Z轴三个方向运动(图7b, 7c)，将进样针移动到样品位或清洗位，计量泵驱动柱塞往复运动实现进样针定量取样与清洗等操作，其结构与输液泵类似，高压阀的内部切换使得样品在流动相携带下流出进样器进入色谱柱，低压阀的内部切换实现流路清洗。

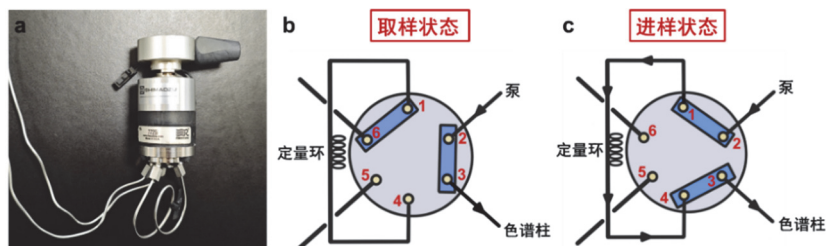


图6 手动进样阀

(a) 六通阀；(b) 取样状态；(c) 进样状态

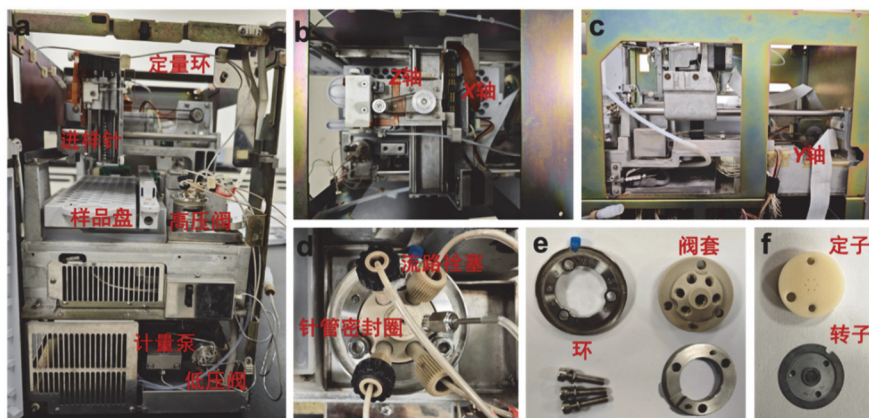


图7 自动进样器拆解

(a) 自动进样器组成; (b, c) 进样针运动方向; (d-f) 高压阀及其组件

SIL-20A自动进样器高压阀为六通阀，主要由流路柱塞、针管密封圈、环、阀套、定子和转子等组成(图7d-7f)，拆解时应注意避免定子掉落。电机驱动齿轮转动从而驱动转子转动，实现六通阀的流路切换。在拆解时，及时讲解相关维护操作，例如针管密封圈更换、计量泵维护、进样针与定量环的更换、高压阀内转子与定子更换等。

4.2.3 检测器拆解

本实验主要拆解光电二极管阵列检测器与荧光检测器，其他常用检测器如紫外-可见光检测器、示差折光检测器等作为附件学习资料，要求学生了解其结构组成与测试原理。

4.2.3.1 光电二极管阵列检测器拆解

光电二极管阵列检测器可以同时检测待测物质对所有波长的吸收，其光路结构如图8所示。光源发出的光经聚焦透过检测池被样品特征吸收，然后被光栅分光形成按波长顺序分布的光谱带，光谱带被聚焦在光电二极管阵列上，光电二极管阵列一般由数百到上千个光电二极管组成，每个二极管测量一窄波段的光谱，并通过电子学的方法被快速扫描提取，存储于计算机中。其扫描速度极快，每幅图像仅需要10 ms，经计算机处理后可以得到时间-波长-吸光度的三维光谱色谱图^[12]。

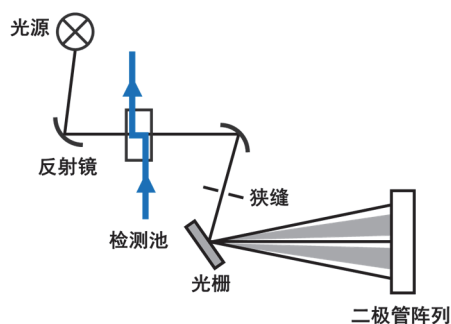


图8 光电二极管阵列检测器光路

拆解时，先拆掉仪器外壳，打开仪器前面板，按照光路方向依次拆解。SPD-M20A光电二极管阵列检测器光路主要由光源(氙灯和钨灯)、半透半反镜、M1反射镜、流通池、M2反射镜、狭缝、光栅和二极管阵列等组成(图9a, 9b)。光源位于灯罩内部(图9c)，流通池主要由透镜固定螺丝、透镜、池窗、池垫圈等部件组成(图9d, 9e)，拆解时应首先断开其温控接口，同时需注意透镜、池窗、池垫圈等由于体积较小，需用镊子夹取，安装时不可装反透镜，以免螺丝压碎透镜。拆解过程中，对于检测器常见的维护操作，例如光源更换、流通池清洗等，进行相关讲解。

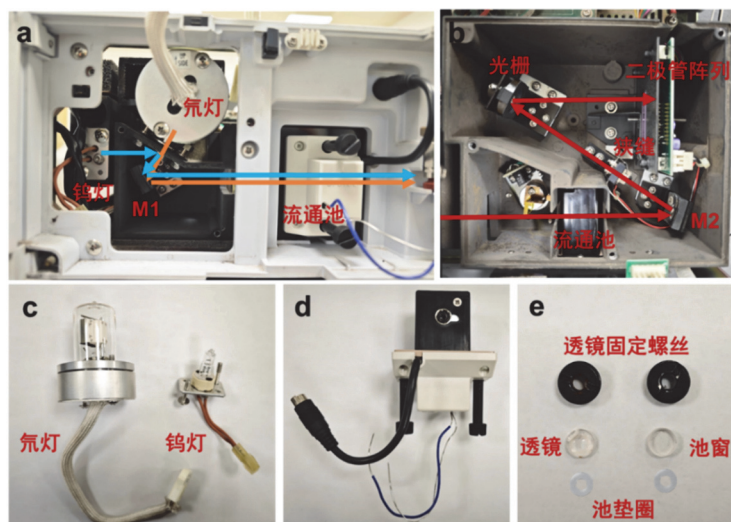


图9 光电二极管阵列检测器拆解

(a, b) 检测器组成及光路; (c) 光源; (d, e) 流通池及其组件

4.2.3.2 荧光检测器拆解

荧光检测器光路结构如图10所示，光源发出的光经过激发光栅分光后选择特定波长的单色光作为激发光进入检测池，样品受激发后发出荧光，为避免激发光的干扰，选择与激发光垂直方向的荧光进行检测，荧光至发射光栅分光后由光电倍增管接收并转换成电信号进行检测。荧光检测器具有极高的灵敏度与良好的选择性，适于痕量分析^[12]。

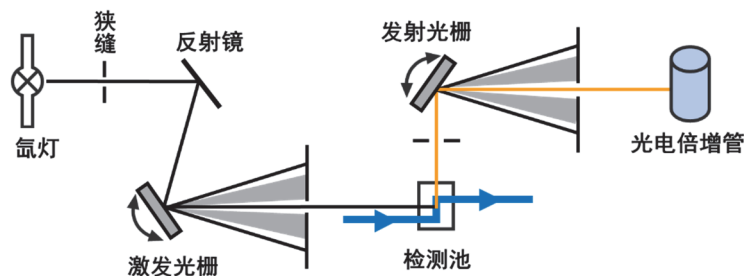


图10 荧光检测器光路

RF-10AXL荧光检测器主要由光源(氙灯)、聚光镜、狭缝、M2反射镜、激发光栅、流通池、发射光栅、光电倍增管等组成，拆解时先拆掉仪器外壳与仪器面板，按照光路方向依次拆解(图11a)。氙灯光源在250–600 nm光谱区呈现连续光谱^[12] (图11b)。光电倍增管可将微弱的光信号通过光电效应转变成电信号并加以放大(图11c)。荧光检测器流通池为四面通透的石英池(图11d, 11e)，可作为选拆组件。拆解过程中，对氙灯光源的更换及流通池的清洗等操作进行简要讲解。

4.2.4 其他附件拆解

色谱柱是高效液相色谱仪的核心部件，用于实现样品分离，由柱管和固定相两部分组成，色谱柱通常放置于柱温箱中，起到恒温恒压、提高柱效、延长色谱柱寿命的作用，保证实验数据的重复性。由于柱温箱(图12)模块集成化较高，暂未做拆解。

DGU-20A3在线脱气装置是将真空脱气装置串联在储液系统中，其内部结构如图13所示，真空泵工作使脱气膜腔内形成低压环境，流动相流经脱气膜腔时，液体内气体分子从薄膜中渗透脱出，实现脱气。

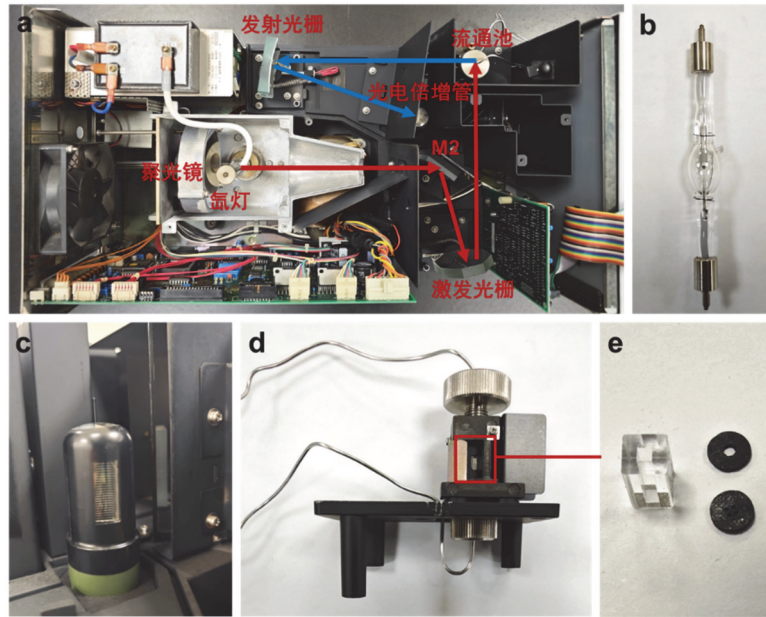


图11 荧光检测器拆解

(a) 检测器组成及光路; (b) 氙灯光源; (c) 光电倍增管; (d, e) 流通池及其组件



图12 柱温箱

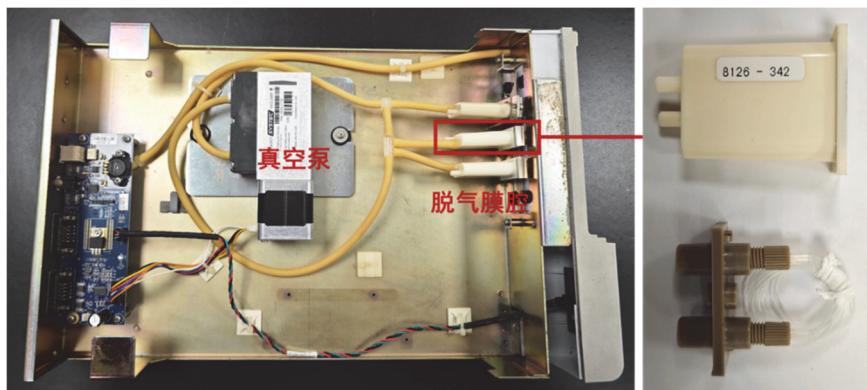


图13 在线脱气装置结构

4.2.5 仪器组装复原

拆解结束后，指导学生按照各模块组成将其逐步复原，过程中应当逐步对照拆解图，避免安装错误导致零件损坏；同时也需着重注意小零件的安装，避免丢失，如输液泵中隔片和柱塞密封垫、自动进样器中高压阀相关零部件、检测器中光源与流通池的微小零件等；在螺丝安装过程中，应注意力度与方向，避免螺纹损坏影响后续拆装课程。

仪器组装复原是液相色谱仪器拆装实验中的重要环节，不仅有助于学生在复原过程中进一步回顾仪器结构与组成，加深印象，也能够引导学生养成良好的实验习惯，培养学生严谨认真、有始有终的科研探究精神。

4.2.6 标样测试

标样测试是化“零”为“整”不可或缺的步骤，学生在完成拆解与复原后，对于仪器各模块有了较为清晰的认知，当重新复习色谱进样操作与分析时，能够寓学于用，将所学知识融会贯通，全面认识高效液相色谱仪，同时查漏补缺，解决存疑问题，进一步提升课堂效果。

本实验采用茶碱标样进行测试，测试结果如图14所示。茶碱标准样品出峰时间为10.2 min，在样品测试过程中进一步详细讲解仪器运行原理，有助于加深学生对于仪器知识的理解。

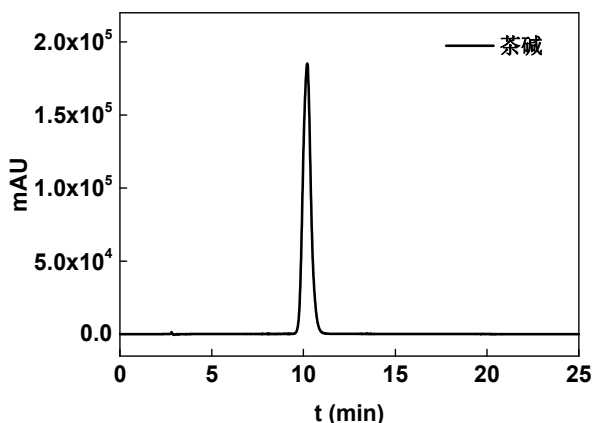


图14 茶碱标样测试

4.3 拓展学习与思考

拓展学习与思考旨在通过课堂研讨环节与课后思考题两种方式进一步强化学生对液相色谱仪器知识的理解、交叉和融会贯通；引导学生在课堂外积极进行拓展学习，深入了解我国科学仪器行业现状与“卡脖子”问题；促进学生独立思考、自主探究与总结，加深学生对科学探究和创新精神的感悟，激发学生科技报国、服务祖国的爱国情怀与社会责任感。

本实验可根据课时安排设置课堂研讨环节，若课时有限，可将研讨题目并入课后思考题进行考察。研讨题目设置如下：

(1) 试讨论串联双柱塞泵和并联双柱塞泵在结构与原理上的异同点。

(2) 紫外-可见光检测器和光电二极管阵列检测器原理相似，试讨论二者的异同以及在高效液相色谱中的适用范围。

课后思考题设置如下：

(1) 查阅文献，讨论荧光检测器的优缺点，并说明荧光检测器在液相色谱使用过程中的注意事项。

(2) 查找液相色谱仪相关资料，简要说明液相色谱仪发展历程和我国液相色谱仪研制现状、存在问题与发展前景，并作相关调研，比较国产液相色谱仪与全球头部企业液相色谱仪之间的差距，

说明科学仪器对我国科技创新和发展的重要意义。

5 教学效果

5.1 促进学生实验探究与科研技能提升, 激发学生科技报国的爱国情怀

得益于探究性实验教学的未知性和亲自动手拆解仪器的猎奇心, 课堂中学生参与感较强, 小组讨论活跃, 能积极与教师进行互动, 并且在拆解环节中能够分工合作, 互帮互助, 课堂氛围良好。由于大三学生大多已提前进入课题组学习, 在科研中也会使用高效液相色谱仪进行分析测试, 对于这类探究性拆装实验, 学生给出了正面的反馈, 认为这类实验实用性较强, 通过拆解仪器, 能够消泯对仪器未知的恐惧, 遇到仪器故障时, 也能在工程师远程指导下进行理性判断与基础维护, 解决相关问题, 为其未来的科研探索打下坚实的基础。此外, 通过引导学生了解国产分析仪器行业的现状与存在问题, 将思政元素融入课堂实践中, 加深学生对科学仪器和科技人才培养促进我国科技强国和人才强国战略的认识, 激发学生科技报国、服务祖国的爱国情怀与责任感。

5.2 鼓励授课教师深入探索仪器知识, 激励实验技术人员全面发展与提升

拆装型实验对授课教师提出了新的要求与挑战, 在熟悉仪器结构及测试原理的同时, 需要亲自动手拆解与组装仪器, 进行实验内容设计与探索。

对于高校实验技术人员, 拆装型实验也是新的机遇, 实验技术人员主要负责实验室与仪器管理, 对于仪器知识与维护操作更为熟悉, 可主动参与到拆装实验教学中, 加强在本科实验教学中的参与度, 促进自身全面发展与提高。

5.3 拓展本科实验教学改革内容, 为本硕贯通实验课程提供新思路

拆装型实验也可作为本科实验教学内容改革新探索, 重新利用报废仪器进行拓展教学, 成本低廉, 绿色可持续, 为本科生学习仪器知识开启新的视角, 教学效果显著。同时, 本实验课程也可进一步作为本硕贯通实验课程面向研究生开课, 为研究生仪器实践教学提供新思路。

6 结语

本实验利用已报废的高效液相色谱仪进行仪器拆装实验教学设计, 拓展延伸本科实验教学内容, 引导学生在拆解过程中掌握液相色谱仪的组成与构造, 进一步内化仪器知识, 夯实基础, 培养学生的综合实践能力与科研技能。同时, 在教学过程中贯彻落实立德树人根本任务, 增强学生勇于探索的创新精神, 培养其善于解决问题的实践能力, 并且引导学生了解我国分析仪器研发行业的“卡脖子”问题, 激发学生科技报国的爱国情怀, 为我国分析仪器研发行业培育可造之材。此外, 此类探究性仪器拆装实验也将为本科实验教学内容改革提供新思路, 为化学实验教学改革“添砖加瓦”。

参 考 文 献

- [1] 李宣东, 张红霞, 李欣, 张潇, 周丽, 王进福. 大学化学, **2023**, *38* (5), 82.
- [2] 江玉亮, 毕文韬, 杜江燕, 杨静. 大学化学, **2020**, *35* (2), 27.
- [3] 楚清脆, 田阳, 鲜跃仲, 王媛媛, 张帆, 朱安伟, 张翠玲, 徐志爱, 郑婷婷, 张中海, 等. 大学化学, **2021**, *36* (7), 2009071.
- [4] 梁一钊, 郑翔云, 徐晓文, 邹桂征, 张斌. 大学化学, **2023**, *38* (2), 283.
- [5] 潘伟, 陈明星, 关妍. 实验科学与技术, **2017**, *15* (3), 34.
- [6] 黄军, 周颖琳, 吕占霞, 高珍, 李美仙. 大学化学, **2022**, *37* (4), 2110023.
- [7] 杨文玉, 岳宣峰, 刘成辉, 段新瑞, 漆红兰, 张成孝, 吕家根. 大学化学, **2018**, *33* (1), 35.
- [8] 邓顺柳, 苏海峰, 朱亚先, 王玉枝, 翁玉华, 陈招斌, 彭淑女, 吕银云, 洪歆怡, 王翊如, 等. 大学化学, **2024**, *39* (2), 127.
- [9] 苏海峰, 邓顺柳, 李云凯, 吴迪, 林志敏, 黄晓圳, 梁曼玉, 卢文和, 邱源, 郑兰荪. 大学化学, **2023**, *38* (10), 225.

- [10] 赵浩, 郭鑫, 吴忠云, 徐金荣, 杨玲, 郑俊荣. 实验室研究与探索, **2023**, *42* (5), 251.
- [11] 赵浩, 郭鑫, 吴忠云, 杨玲, 徐金荣, 郑俊荣. 实验技术与管理, **2023**, *40* (1), 154.
- [12] 张玉奎, 张维冰, 邹汉法, 张丽华. 分析化学手册(第六分册). 第3版. 北京: 化学工业出版社, 2016: 86-118.
- [13] 李伟红, 雷杰. 大学化学, **2023**, *38* (6), 82.
- [14] 教育部关于印发《高等学校课程思政建设指导纲要》的通知(教高〔2020〕3号). [2024-10-24].
https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-06/06/content_5517606.htm
- [15] 吴爱华, 刘玉兰, 韩玉刚, 张丽娜. 分析仪器, **2023**, *246* (1), 1.
- [16] 刘增臣, 朱文平, 陈亚红, 杨伟杰, 李艳霞. 中国新通信, **2021**, *23* (14), 239.
- [17] 司晓喜, 杨语喆, 张雪花, 刘志华, 李振杰, 何沛, 张凤梅, 许志刚. 广州化工, **2022**, *50* (21), 130.