

## 基于“在用中学”的仪器分析课程改革与实例

吴倩\*

中南大学化学化工学院, 长沙 410083

**摘要:** 提出“在用中学”的教学理念, 结合线上资源对仪器分析进行教学改革。在课前通过生产生活实践问题引入新的内容, 提升学生学习兴趣; 在课中将原理讲解与仪器实物或实际条件结合, 通过课堂活动实践分析方法建立, 提升学生知识理解运用能力; 在课后设置开放式技术改进项目, 启发学生创新。最后, 以“色谱分析法”进行实例分析。

**关键词:** 仪器分析; 互联网+; 教学改革; 在用中学

**中图分类号:** G64; O6

## Teaching Reformation and Case Study for Instrumental Analysis by Combining Theory with Practice

Qian Wu \*

College of Chemistry and Chemical Engineering, Central South University, Changsha 410083, China.

**Abstract:** Here, we propose that the instrumental analysis course should be reformed by combining online teaching resources and platforms to realize the teaching concept of “learning from practice”. Briefly, before classes, the new contents of new chapters are introduced to students by taking examples of related real cases in daily life and in the real industrial or academic fields to promote interest on the new classes. The fundamental knowledge on instrument structures and principles could be introduced in class by showing the real parts of the instruments or associating the real conditions in analysis, so that the students could have a better understanding of abstract concepts. In the class activities, the establishment of real instrumental analytical methods is practiced utilizing online teaching platforms to enhance the students’ ability to understand and apply knowledge. After classes, open projects to improve the analytical instruments are assigned to students as homework to further improve their innovation ability. Finally, a case study on “chromatography” is presented to introduce the detailed methods for practicing the teaching mode.

**Key Words:** Instrumental analysis; Internet+; Teaching reform; Learn from practice

仪器分析主要是以测量物质的物理化学性质为方法来得到样品中物质的定性定量信息以及时间、空间分布信息的一门学科, 由于通常需要使用特殊的仪器, 故得名“仪器分析”<sup>[1]</sup>。其教学内容横跨化学、物理和数学三个基础学科, 是一门交叉学科课程。同时, 由于分析仪器的种类繁多、原理复杂, 这门课程的教学任务非常繁重, 课程难度大。但是, 仪器分析课程作为应用化学、化学工程以及生物医药等专业都非常重要的专业基础课, 既有丰富的理论知识, 又有很强的实践意义, 对于很多专业的科学研究和生产实践都有非常重要的作用<sup>[1]</sup>。同时, 中国在高精尖分析仪器上的落后

收稿: 2022-12-26; 录用: 2023-02-13; 网络发表: 2023-02-28

\*通讯作者, Email: qianwu@csu.edu.cn

基金资助: 国家自然科学基金面上项目(22074159); 国家自然科学基金青年项目(21804142); 湖南省自然科学基金优秀项目(2022JJ20054)

现在已经是中国仅次于芯片与新材料的第三大“卡脖子”难题，培养具有分析仪器开发能力的交叉学科人才是目前高等教育的重要任务。

近年来，随着线上教学资源的不断发展，很多的专业理论课都不再局限于课堂讲授，而是发展出了新的教学模式<sup>[2,3]</sup>。线上教学资源，如中国大学慕课平台在线开放课程、项目化教学资源、虚拟仿真实验教学资源等<sup>[3]</sup>，为传统教学中枯燥的文字描述提供了更为形象和生动的动画、图片、视频或三维模型信息，辅助学生更好地理解知识。线上教学软件或平台，如腾讯会议、钉钉、雨课堂、畅课、超星等<sup>[4-6]</sup>，提供了网络化的教学管理和互动方式，为传统的教学过程提高了教学效率和考核的多元性。利用这些资源和平台，教学的模式变得多种多样。这使得传统的一位老师、一间教室、一块黑板的教学模式转变为了课堂上人人都能表达和参与、课前课后时时都能学习知识、以学生学为中心的多维互联网+教学模式。

虽然目前有不少论文报道对仪器分析课程进行线上线下混合式教学模式、互联网+教学模式的改革，提出了利用慕课资源、线上教学平台和虚拟仿真软件等提高仪器分析的教学效果或者加强课堂互动、结合新闻时事等方式来提高学生学习兴趣<sup>[3,7-10]</sup>。但是，大多是对教学形式的改革，将新的教学资源和平台融入传统教材内容中，缺乏根据新的教学资源和平台的优势对仪器分析教学和互动内容进行本质改革的研究。这里，我们依据目前仪器分析课程在理论与实践之间有所脱节的客观问题，提出“在用中学”的教学理念，全方位将仪器分析课程进行了改革，将互联网+资源应用于更好地结合课程原理和应用实践，并提高学生学习的兴趣、自主能动性以及对知识更深入具象的理解。实现互联网+背景下原理与实践相结合的仪器分析课程。

## 1 仪器分析课程存在的问题以及“在用中学”的必要性

虽然仪器分析课程成熟完善，传统的教学体系发展了多年，但仪器分析课程的开展一直存在着以下两点问题。

首先，仪器分析属于交叉学科，这就对学生的基础以及理解能力要求非常高。当大量未接触过的知识点一拥而上时，学生对于分析仪器的理解和对原理的认识都会非常的抽象，无法与实践相联系。因此，如何将仪器分析的原理用学生们容易理解的方式讲述出来并能在实践上得到具象的概念是教师们面临的另一难题。

其次，目前仪器分析课程由于课程内容较多且较广，教师们疲于完成课程任务而忽略了学生学习的兴趣与自主能动性。课程通常采用课堂教授的方式，教学手段过于单一。近年来，虽然线上教学资源和平台被广泛引入仪器分析教学，但是始终缺少系统的可以调动学生学习自主能动性和从本质上提高学生学习兴趣的创新教学内容和方法。当学生的自主能动性不高时，丰富繁杂的线上资源反而会使得学生抓不住仪器原理和重点，造成学完就忘的情况。

“在用中学”是目前广泛提倡和应用的新型教学理念<sup>[11]</sup>。它指的是引导学生从实践和应用的角度进入知识领域，为学生学习知识先找到本质的兴趣和动力；同时从用的角度来学习知识和巩固知识，使得学生对知识的理解变得真实具象。而这个教学模式最本质的方法就是将知识原理和应用实践相结合，从应用实践中引入知识，在应用实践中学习知识，最后将知识应用于解决实践问题。这对于仪器分析这样一门应用型交叉学科课程来说，有希望完全地调动学生的学习自主能动性，将抽象难懂的知识具象，同时也更容易找到繁杂知识点之间的内在联系。

## 2 互联网+背景下构建“在用中学”的原理与实践相结合的多元课程的改革思路

### 2.1 结合线上教学平台以实际分析检测目的来引入仪器分析课程内容

传统的仪器分析课程通常从仪器的定义以及基本原理开始对仪器进行介绍，让学生一开始就进入枯燥的基础知识学习中，而缺失了对仪器分析方法发展的本质目的的了解。然而，仪器分析课程中的各个方法技术都是有明确的应用目的的。因此，在讲述分析原理前，以分析仪器的应用目的为

切入点来介绍仪器,可以从本质上提高学生对仪器学习的兴趣。线上教学资源也很容易且有效地引入以仪器分析应用目的为切入点的课程预习环节,比如课前在线上教学平台载入一段新闻报道视频,或者提出一个关于已学的化学分析方法的检测问题,引起学生的思考与讨论。让学生思考:已有的分析方法存在问题的原因?新闻报道中出现的社会问题应该如何利用仪器分析方法解决?已知的分析方法是否可以达到要求?具有此功能的线上教学平台有超星学习通、畅课平台(Tronclass)以及讯飞智教学等。这里我们以中南大学官方线上教学平台畅课平台为例,通过畅课平台可以在课前的每一个章节发起课前讨论或问卷调查,在讨论模块中可以上传相关的新闻报道视频、新闻报道网址或相关图片,同时输入需要学生课前思考的问题。而学生可以在这些讨论贴下面发言,进行讨论或进行问卷投票,而这些讨论和投票都是有记录的,可以用于之后的过程考核统计。在课堂上,教师可以以课前预习的视频问题为核心展开讨论与点评学生的线上留言。通过这些在现实中被广泛关注的社会问题启发学生思考之前所学的仪器分析方法的特点以及问题,从而引入接下来要学习的新的仪器分析方法。这比课前让学生提前预习具体课程具有更好的效果,让学生对新的方法怎样解决这些问题充满期待、产生兴趣。具体的方法我们在下面的课程实例中会举例说明。

## 2.2 结合线上资源与线下仪器配件实物以及实际分析过程条件来讲解仪器原理

通常仪器分析教学主要局限于教师的教授以及PPT中的图片或动画,即使有仪器分析实验课程的辅助,也通常是通过简单的操作仪器软件或界面按键的方式来进行实践训练。这些传统的教授方法其实一直达不到让学生真正具象地了解分析仪器的目的。学生对仪器分析原理的了解一直都停留在课堂老师的抽象描述上,这些描述也与实验课程中傻瓜按键式操作的教学有些脱节。因此,在课堂以及课后让学生摸到和看到仪器真实的内部构造和原理以及真实仪器分析方法的建立过程是改进课程所亟需的。例如,我们在讲到仪器结构时,可以在结合原理的基础上将一些真实的可拆卸与携带的仪器配件带入课堂,让学生真正看到这些配件的内部构造,让他们不只是想当然地接受书本上的知识,而是落实到真实世界中看到这些部件在实际中所存在的问题以及制造难度在哪里。从而可以启发他们对仪器的创新与创造。当然,有很多仪器的内部结构是没办法在课堂携带实物来进行展示的,那么我们可以利用虚拟仿真软件<sup>[12,13]</sup>(如欧倍尔系统, <https://www.oberyun.com/gaoxiao>)以及一些动画来进行讲解,目的都是为了让了解真正的仪器。另外,在讲授一些仪器分析的理论知识时,如果将各个理论参数与真实仪器分析过程中可以控制的条件进行关联并理清他们的关系,可以使学生对理论公式有更加具象的了解,并实现日后的活学活用。

## 2.3 通过真实检测分析案例来进行课堂讨论与互动考核

仪器分析课程中有许多公式和定律用来说明仪器信号与定量定性信息之间的关系,公式中的参数通常指示了结果受哪些因素的影响以及各因素之间的关系。然而,教师由于花了大量时间推导公式与描述关系,而没有时间将这些公式与关系落实到最终建立分析方法的应用中去。而且,这些公式与关系是以讲述的方式直接灌输给学生的,没有给学生自己思考的时间,也没有与真实的分析方法建立联系,这使得学生对于怎样使用这些公式和关系仍然一头雾水,考试时只能靠死记硬背。那么,如果我们在讲述完公式推导以及各因素关系之后加入利用这些关系建立某个特定分析物的真实分析方法的课堂活动,将会使学生从公式的虚拟世界中回到现实的分析问题中,并灵活地运用公式和原理来选择分析条件、建立分析方法。

## 2.4 设置开放式仪器分析方法改进项目作为分组课后作业来启发学生实践创新

创新思维的开发是理工科学生培养的重中之重。对于仪器分析这样在科研领域仍十分活跃的学科,对课本所学进行创新的空间是非常大的。近年来,创新能力的培养虽然被各个教改论文不断提及<sup>[14]</sup>,但没有实质性的落实方案。传统仪器分析课程的课后习题作业通常不是抽象的问答题就是套公式的计算题,缺乏开放性的试题难以激发学生的思考,存在标准答案的试题也容易出现互相抄作业的情况。这里,我们可以通过线上教学平台在课后设置仪器分析方法的改进项目作为小组作业。通过线上平台将学生进行线上分组,各学习小组可共享资源完成作业。教师提出一个开放性的仪器

分析所学方法的技术问题,要求各组通过查阅文献以及自主思考等方式提出解决问题的创新方法。这里具体的实例在下一节案例分析中详细说明。通过这种问题导向的自主学习使学生对课堂学习的知识达到了最充分的利用,同时还进一步通过自己对相关文献的查阅使得基础知识得到了提升,培养了科研思维能力。

### 3 以“色谱分析法”为例的课程构建

色谱分析法是仪器分析课程的三大部分之一。以我校48学时的“仪器分析A”课程为例,色谱分析法所占学时为12个学时,其中色谱概论为4个学时,气相色谱法和液相色谱法各4个学时。在具体内容上,色谱分析法通常分为色谱原理与分类、色谱发展历史、色谱基本理论、气相和液相色谱的条件选择以及仪器结构几部分进行讲解。教学实施示意图如图1所示。

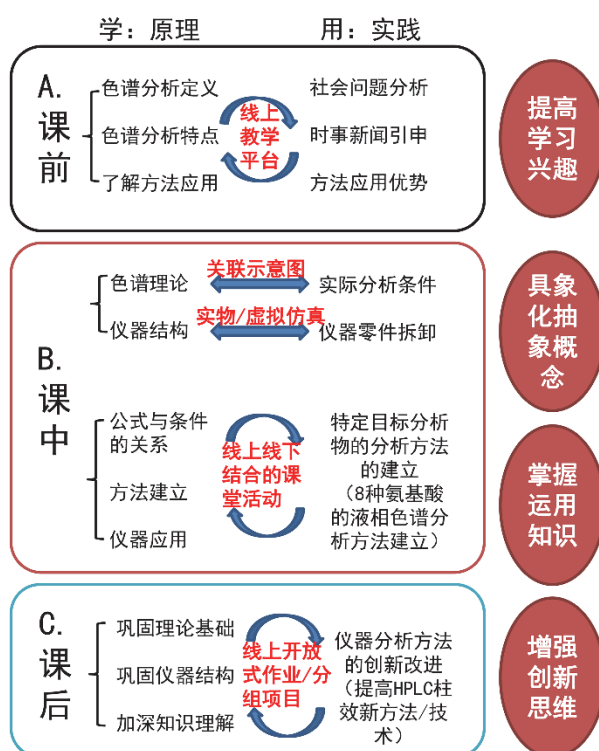


图1 “色谱分析法”教学实施示意图

#### 3.1 课前预习

色谱分析法在仪器分析课程中通常在光谱分析法和电化学分析法之后讲授。因此,在课前预习阶段,可以引入一些社会热点实时新闻中需要色谱分析来解决的问题,并与前面所学分析方法进行对比来引导学生提前预习:如色谱分析法的定义、色谱分析法的主要特点、色谱分析法具有优势的生产生活方面的应用(图1A)。这里可以举例的实践应用很多,包括2008年中国奶制品的三聚氰胺毒奶粉事件、2011年中国警方全环节破获特大利用“地沟油”制售案、城市生活垃圾焚烧产生的二噁英引起的各种疾病等。在这些资料阅读后可以向学生提问:这些时事新闻中的社会问题是否可以通过分析化学来解决?对于成分复杂的体系,要排除复杂基质的干扰检测到特定的分析物或者要同时分析复杂样品中的多种成分,是否还可以用前面学到的光谱和电化学分析法?会存在什么问题?我们可以用什么方式来解决复杂样品分析的问题?

在课堂上,教师可以对课前预习内容作如下总结:这些事件中的共同特点就是都亟需对复杂样

品中的微量特定分析物或所有未知成分进行同时分析。比如“地沟油”事件，其实一直以来没有公认的标志物来鉴别普通食用油和地沟油，那么这需要分析科学家对样品进行全成分分析后筛选出地沟油的标志性成分。再如，三聚氰胺毒奶粉事件正是由于不法商贩利用了食品检测部门的蛋白质检测方法定性能力过低的这个空子，来向奶粉中添加代替蛋白质有效成分的毒性物质。二噁英是一系列多氯取代的芳香化合物，包括75种多氯代二苯并-对-二噁英和135种多氯代二苯并呋喃。因此，用普通的光谱分析法和电化学分析法无法准确同时分析它们的含量。通过这些实例，可以使学生潜移默化地了解色谱分析法相比于其他两种分析方法来说最大的特点是：其本质是一种分离分析方法，它可以将具有微小化学结构差别的分析物分离开来分别检测，所以可以同时分析多组分的分析物且受复杂样品基质的干扰较小，从而解决上面生产生活中的问题。

### 3.2 课中教授

色谱分析的核心部分主要是色谱基本理论和色谱仪器结构。下面以这两部分为例介绍(图1B)。

由于色谱理论部分较为抽象且公式较多，学生学习起来比较困难。因此，将色谱理论部分的介绍与后面实际色谱分离条件的选择前后呼应联系起来讲解，会使学生对抽象的理论模型有更为具象的了解。例如色谱分离过程的分配比、分配系数、选择因子等热力学参数是由色谱柱温、固定相和流动相等条件的选择决定的，可以联系起来讲，而通过公式可知这些参数最终决定了色谱流出曲线中的保留时间(图2)；色谱塔板理论和速率理论中涉及的塔板高度、涡流扩散项、传质阻力项和纵向扩散项等动力学参数主要决定于色谱流速、色谱固定相粒径或涂层厚度等条件的选择，也可以联系起来。而通过公式可知这些参数最终将影响色谱流出曲线中的峰宽(图2)。这里可以利用动画将色谱这种集热力学和动力学过程于一体的分离过程表示出来，并在动画中显示出我们抽象化的分离过程中涉及的这些热力学动力学参数与实际实验过程中可以改变的条件之间的关系，以及最终如何通过公式影响色谱分离结果(图2)。这样总体关联结合的讲解会比传统的把色谱理论和分离条件的选择两部分分开讲解要更容易使学生理解。

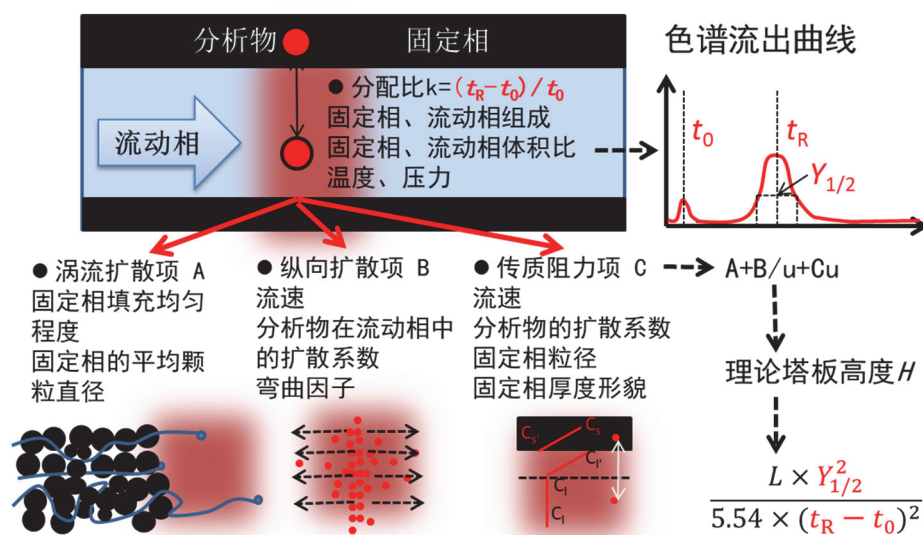


图2 将色谱热力学动力学理论与实际分离条件以及检测结果结合的总汇示意图

色谱仪的结构相较于其他分析仪器更为复杂，其内容包含大量流路控制和机械电子控制方面的内容。虽然对于本科生而言过于细节的结构并不需要重点掌握，但是几个重要部件的结构和原理，如输液泵(液相色谱)、进样器、气化室(气相色谱)、柱温箱、色谱柱连接以及检测器，是必须要掌握的。这时，对于一些体积不大易于拆卸的零部件，如色谱进样阀、色谱柱、气化室甚至离子源等，如

果有条件教师可以将这些零件带到教室进行拆卸讲解,将会让学生更加具象地了解他们的工作原理,也会提高学生的学习兴趣。对于学生难以看到实物的大型仪器,虚拟仿真平台是能让你了解到真实仪器的最好方法。虚拟仿真平台通过三维建模来构建立体的和真实仪器内部构造接近的虚拟仪器,通过软件可以对虚拟仪器的各个零部件进行拆除观察,也可以通过虚拟平台模拟真实采样检测的全过程。

### 3.3 课堂活动

在学习理论知识后,教师可以通过一个建立完整的色谱分离分析方法的课堂活动使得学生对前面所学的知识有一个高效的温故和更深刻的认识(图1B)。

这里我们选择8种必需氨基酸作为分析对象,要求学生建立针对8种必需氨基酸(亮氨酸、赖氨酸、异亮氨酸、苏氨酸、色氨酸、苯丙氨酸、甲硫氨酸、缬氨酸)的液相色谱分离分析方法。这是一个开放的课堂活动,学生分为4-5人一个小组完成方法建立的任务。我们只限定分析物和液相色谱类型,其他的分析条件都是学生自行选择,包括色谱柱、流动相、流动相时间程序、检测器和输液泵等。学生分工合作,可以自行思考也可以查阅文献,但重点是需要解释原因以及预估分离结果。学生分组通过线上平台提交自己建立的方法。课堂上,教师随机抽取几个小组进行课堂讲解。

最后,教师对几种常规的思路进行总结和分析,如图3所示。先选择分离模式,包括固定相和流动相的选择。由于氨基酸属于非常亲水的有机小分子,通过各氨基酸的油水分配系数( $\log P$ )这个物理化学参数就可以了解到8种氨基酸的亲水性(引导学生在Chemspider网站上进行查询,可以发现各物质 $\log P$ 值大部分都 $<1$ )。 $\log P$ 越小说明其在疏水的油相的分配就越少,由此可以推断氨基酸在疏水固定相中的保留将很弱(分配系数小)。所以最合适的分离模式为亲水作用色谱(HILIC)或离子色谱。但这里值得提及的是,在实际应用中HILIC分离效果并不好,疏水反相色谱由于高的柱效和成熟的商品化产品在氨基酸分析中应用广泛。常用的各分离模式固定相和流动相如图3所示。在流动相选择上,这里的关键知识点是,如果采用亲水作用色谱柱,高洗脱强度溶剂为水,流动相洗脱梯度是有机溶剂比例从高向低(如90%-50%乙腈-水)梯度变化;而采用疏水作用色谱,高洗脱强度溶剂为有机溶剂,流动相洗脱梯度应该为水比例从高向低(如95%-50%水-乙腈)梯度变化。如果采用离子色谱,梯度洗脱流动相应是从NaOH等碱浓度低的水溶液向高浓度碱性水溶液方向变化,碱性水溶液是高洗脱强度流动相。泵系统的选择决定了液相色谱分离的流速范围,同时也取决于色谱柱的类型与阻力。目前常用的液相色谱分离流速及适用的色谱柱和泵信息总结于图3。这里关键知识点是各流速系统的特点:常规流液相色谱对样品有更大的稀释效应,对于浓度型检测器的信号强度不利,但其分离过程重复稳定,是色谱分离最常用的。在这个流速范围内如果色谱柱是普通3-5  $\mu\text{m}$ 填料,则用普通高压液相泵;而如果使用柱效更高的亚2  $\mu\text{m}$ 填料,则由于柱阻力大需要使用超高压液相泵。近年来,各种微流和纳流液相色谱分离系统具有更高的灵敏度,其达到同样检测信号所需的样品量更少,但通常分离的稳定性和重复性更差。常用检测器如图3所示。对于紫外检测器,氨基酸的羧基由于 $n-\pi^*$ 跃迁在210 nm就有一定弱吸收,少数具有芳香基团的氨基酸在250 nm处有吸收。当然,实际应用中氨基酸还是通过衍生带上紫外吸收基团后进行紫外检测,具有更高的检测灵敏度;荧光检测器选择性很强,氨基酸没有荧光,需要通过衍生标记上荧光基团来检测;除此之外,在离子色谱分离环境下,电导检测器可对氨基酸进行无衍生检测。近年来液相色谱和质谱的联用也越来越广泛,质谱作为检测器无需标记衍生且具有更高的灵敏度和定性准确性。

通过这样的实践练习,可以回顾到色谱的分类、色谱理论、色谱条件的选择以及色谱仪器构成等多个章节内容的关键知识点,还可以拓展更多色谱分析的实践知识。

### 3.4 课后作业

这里,我们提出采用开放式的仪器分析改进任务作为作业,激发学生在实践中应用所学知识进行创新的能力(图1C)。例如,液相色谱这一章节的作业为:通过所学塔板理论和速率理论以及查阅文献,列举从固定相、流动相等方面提高液相色谱柱效的新方法和技术,并解释其能提高柱效的原

因。学生通过查阅文献将书本上学习的理论知识和实际过程中使用的色谱技术进行了联系，从实践中深入理解了色谱理论。最后，教师可以在课堂上抽出时间来总结讲解这个作业，如表1所示。

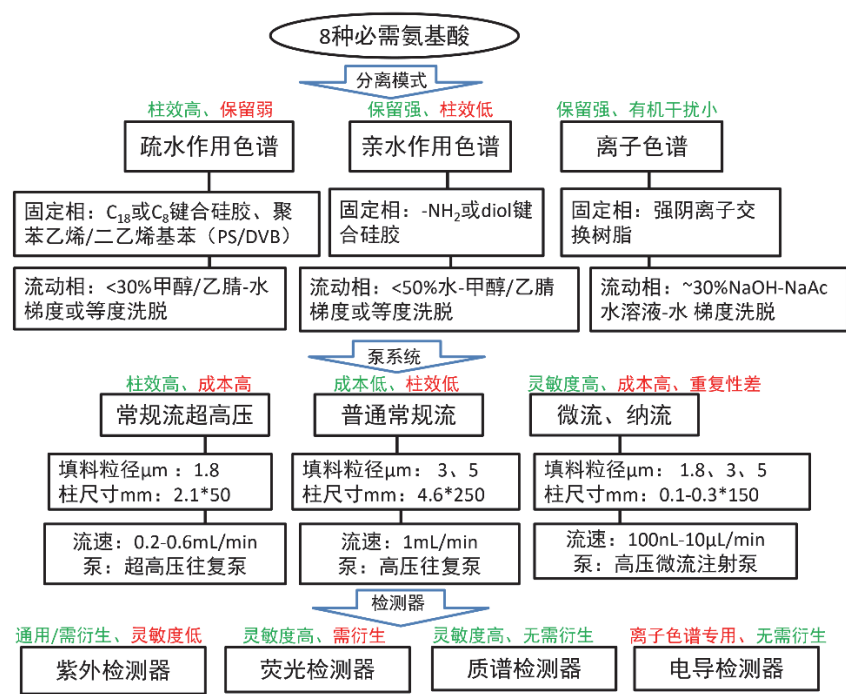


图3 对于8种必需氨基酸的液相色谱分离条件选择的分析框图

表1 开放式作业的知识点总结

| 因素  | 新技术名称    | 原理特点                                                                         | 对柱效的影响                                    |
|-----|----------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 固定相 | 核壳结构填料   | 利用薄壳层的固定相减小分析物在固定相和流动相中传质的传质层厚度                                              | 提高传质速率，减小传质阻力项                            |
|     | 亚2 μm填料  | 小粒径的填料可以提高传质面积以及填充均匀度                                                        | 减小传质阻力项，减小涡流扩散项                           |
|     | 整体柱      | 大量的通孔和贯孔增大了湍流传质，提高了传质速率                                                      | 减小传质阻力项                                   |
| 流动相 | 流动相梯度洗脱  | 变换两种不同洗脱强度的洗脱溶剂的混合比例，从高比例的低洗脱强度溶剂变换到高比例的高洗脱强度溶剂                              | 防止峰拖尾变形以及固定相死吸附，对于分配系数差别大的混合分析物可使保留时间均匀分布 |
|     | 电渗驱动的电色谱 | 流动相由压力驱动变为了电渗驱动。压力驱动存在柱径向压力分布差，形成径向流速梯度，从而造成谱带的展宽，而电渗驱动属于平推流，在径向几乎没有流速差别，无展宽 | 减小压力驱动带来的扩散                               |
|     | 超高速/高压色谱 | 需要配合亚2 μm填料，由于填料小的粒径使得传质阻力项很小，最优的流速将会提高                                      | 减小纵向扩散项                                   |

4 课程考核的改革

近年来，高校越来越注重过程考核，除了传统的期末笔试之外，丰富与深入的过程考核也将成为拉开学生考试成绩的重要因素。

根据上面介绍的仪器分析教学改革内容，课程考核可以分为以下几部分。首先是期终笔试，这

部分占总考核成绩的50%，主要分为选择题、填空题、判断题、问答题和计算题几类，利用各个题型考查学生对基本知识的掌握情况。其次是过程考核，同样占总考核成绩的50%，其考查内容可以非常丰富。主要包括课前预习线上问答(10%)、课堂活动成绩(15%)、随堂线上小测试成绩(10%)、课程互动加分(一次加1分)、课后作业成绩(15%)。其中，课前预习线上问答主要包括3.1节提到的课前新闻时事报道的讨论以及课前基础知识测试，这些都将在线上教学平台(如超星学习通、畅课平台)上进行并统计成绩；课堂活动主要包括3.3节提到的每章节一次的仪器分析方法建立的实践训练。考虑到全面评估所有学生参与课堂活动的表现，我们同样采用线上教学平台的作业功能在课堂上发布实践任务以及实时提交分析方法与方案，所有学生的方案将课后整理再评分；随堂小测验通过在线上教学平台中设置选择题、填空题或判断题来快速检测学生的知识掌握程度；在所有课堂教学中，对老师每次提问进行回答和与老师进行讨论的同学都将有额外的加分。例如，课堂活动中将建立的分析方法与老师讨论互动、课前与老师一同回顾课程，以及当堂回答老师问题等。最后是课后作业，包括3.4节提到的开放式的仪器技术改进任务或课后习题。这些可以通过线上教学平台统一管理。

## 5 课程效果

从我院18级化工专业学生的学习情况来看，学生对于课堂活动以及线上任务的参与积极性是很高的。每个课前预习讨论贴都基本全员回帖，且访问量都在37–84之间。每次课堂活动几乎所有学生都是主动与教师互动的，整个学期所有学生都在课堂活动中互动过至少1次。通过课程改革，过程成绩与最终考试的成绩平均值较接近(均在75分左右)，且过程成绩拉开学生间差异也更大(70–95分)。说明学生考核更加多元且准确。

## 6 结语

本文从传统仪器分析课程存在的问题着手，提出了“在用中学”的仪器分析教学改革理念，并结合目前发展迅速的互联网+教学资源与平台对仪器分析的教学提出了四点改革方案，包括：课前结合线上教学平台以社会热点新闻来引入新的课程内容；课中结合线上资源、线下仪器配件实物和实际分析条件来讲解仪器原理与结构，以及通过建立真实检测分析方法的实践任务来进行课堂讨论与互动考核；课后设置开放式仪器分析技术改进项目作业来启发学生的创新思维；最后，以色谱分析这一章为例将以上的教学模式进行了实际案例介绍，通过实践证明课程具有一定效果。

## 参 考 文 献

- [1] 朱明华, 胡坪. 仪器分析. 北京: 高等教育出版社, 2008: 432.
- [2] 张娟, 刘庆普, 雷敬卫, 谢彩侠, 纪永升, 麻秋娟. 大学化学, **2023**, in press. doi: 10.3866/PKU.DXHX202207077
- [3] 袁鹰, 陈亚运, 刘竺云. 安徽化工, **2022**, *48* (4), 127.
- [4] 吴汉东, 张振, 王会, 王丽杰. 食品工业, **2022**, *43* (11), 216.
- [5] 许红霞, 张利国, 奥顿. 大学教育, **2022**, No. 8, 59.
- [6] 袁鹰, 陈亚运, 刘竺云, 程勋. 安徽化工, **2022**, *48* (5), 182.
- [7] 刘宁, 黎晨晨, 吴春, 刘志彬, 李伟. 实验室科学, **2022**, *25* (5), 133.
- [8] 刘波, 谭建娟, 彭永利. 广州化工, **2022**, *50* (12), 177.
- [9] 刘后静, 董美玉. 广东化工, **2022**, *49* (3), 191.
- [10] 袁鹰, 刘竺云, 陈亚运, 殷甫祥, 程勋. 安徽化工, **2022**, *48* (3), 184.
- [11] 张璐, 张欣, 李雅萍, 吉琳. 化学教育(中英文), **2022**, *43* (8), 38.
- [12] 刘雪霞. 广州化工, **2021**, *49* (19), 147.
- [13] 杜琨, 郭胜利, 曾玉凤, 秦荣欢. 现代盐化工, **2022**, *49* (4), 118.
- [14] 王欣, 贾丽华, 张宇, 吕君, 孙立, 李济莘. 高师理科学刊, **2019**, *39* (6), 92.