

以创新人才培养为导向的无机及分析化学实验课程体系建设与实践

王薇*, 董立军, 吕东煜, 黄勇, 何疆

兰州大学化学化工学院, 兰州 730000

摘要: 以培养创新型人才为出发点, 针对一年级本科生在无机及分析化学实验教学中存在的问题, 探讨了从“以教为主”转变为“以学为主”的课程体系建设与实施情况。通过优化课程体系、拓展培养模式、强化平台建设等手段, 在引导学生主动探究、独立思考、掌握科学研究方法等方面取得了一定的成效。

关键词: 创新能力培养; 实验教学体系改革; 无机及分析化学实验

中图分类号: G64; O6

Construction and Practice of Inorganic & Analytical Chemistry Laboratory Course System Guided by the Cultivation of Innovative Talents

Wei Wang *, Lijun Dong, Dongyu Lv, Yong Huang, Jiang He

College of Chemistry and Chemical Engineering, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China.

Abstract: In this paper, the construction and the implementation of the curriculum system, changing from teaching-oriented to learning-oriented, are discussed for cultivating innovative talents, focusing on problems encountered by freshmen in inorganic & analytical chemistry laboratory. By optimizing the curriculum system, improving the teaching content, expanding the training mode and strengthening the platform construction, students are guided to actively explore and independently think, gradually master the methods of innovative scientific research.

Key Words: Innovation ability training; Reform of laboratory teaching system; Inorganic & analytical chemistry laboratory

2021年, 教育部部长怀进鹏指出, 教育需要牢牢抓住提高人才培养能力这个重点, 为全面建成社会主义现代化强国提供有力人才和技能支撑。新形势下, 各高校须将培养具有科研和创新能力的人才作为高等教育的战略目标^[1]。为达成此目标, 必须以学生为主体, 教师通过多方位启发, 引导学生主动学习、自觉解决问题, 形成“以学为主”的思想体系。作为化学教学重要环节的实验教学, 通过教学改革, 将研究能力与科学创新能力培养贯穿于教学中, 积极引导學生主动探究, 培养学生的独立思维能力, 提升学生的综合素质, 是实验课程最主要的教学目标^[2-5]。

目前国内很多高校将无机化学实验与分析化学实验设立为两门独立的实验课程^[6]。2019年兰州大学化学国家级实验教学示范中心根据“淡化专业、强化基础”的改革方针, 将无机化学实验与分

收稿: 2022-05-06; 录用: 2022-09-05; 网络发表: 2022-10-10

*通讯作者, Email: wangwei@lzu.edu.cn

基金资助: 兰州大学无机及分析化学实验教学团队建设基金(2020); 兰州大学教育教学研究项目(2021); 兰州大学示范课程建设项目(2021); 甘肃省高等学校教学质量与教学改革工程项目教学成果培育项目(2019)

析化学实验融合成无机及分析化学实验I (第一学期, 126学时)和无机及分析化学实验II (第二学期, 126学时), 共256学时, 7学分。新体系将单元操作融合到综合性实验项目中, 将部分验证性实验转化为自主设计实验, 有效提升了实验的系统性、综合性与趣味性。教学过程中教师改变传统教学模式, 将“翻转课堂”、问题引导式教学模式应用于教学中, 将学习的主动权转移给学生; 学生在教师的引导下完成实验设计、讲解、示范操作、总结等环节, 有效促进了学习的主观能动性, 初步建立了创新思维方式, 为培养高素质人才奠定了基础。

1 课程体系需重点解决的问题

(1) 传统无机及分析化学实验多为验证性实验, 单元操作多, 缺少探索过程, 不利于学生提升分析问题和解决问题的综合能力。

(2) 教师的实验讲解普遍过细, 时间也过长; 学生较大程度上被动接受知识, 思维方式固化。讲解时间长也导致操作时间有限, 学生为了按时完成教学任务, 实验中就要尽量规避错误, 不敢轻易尝试新的想法, 这在一定程度上扼杀了学生的开拓性思维。

(3) 兰州大学地处西部, 生源质量参差不齐, 部分学生实验技能相对薄弱, 需要对其加强基础性训练; 而强基计划等高水平人才已经具备了较为坚固的基础知识和实验技能, 所以需要为他们提供高挑战性的教学内容。教学需因材施教, 在夯实实验技能的同时, 为学生实施量身定制的实验体系。

2 建设“以人为本”的无机及分析化学实验课程体系

在兰州大学2019年教学计划的指导下, 实验教学团队立足于知识体系与科学研究相融合的思路^[7,8], 按照“基础型-综合型-设计型”三个层次构建了实验课程体系, 为学生提供个性化教学内容, 提升了课程高阶性与挑战性。教学实施中增加课前预习比重, 强化以问题为导向的课堂讨论, 积极采用“翻转课堂”等教学方式, 充分利用网络平台, 引导学生主动学习、独立思考。引入成果导向评价体系作为考核标准, 保持学生学习的持续动力。课程设计与实施如图1所示。

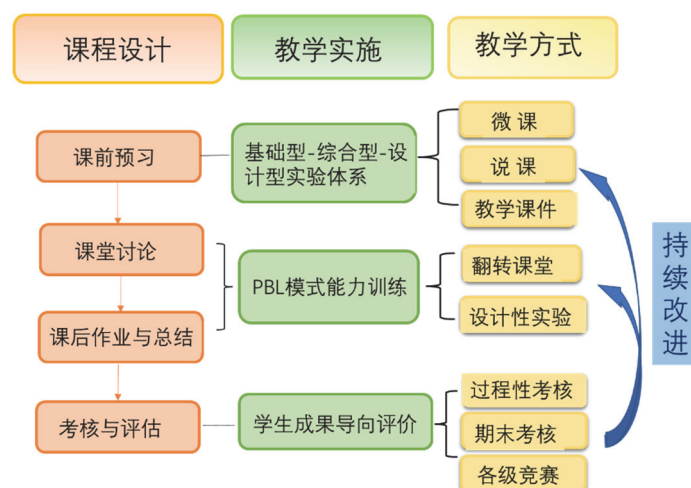


图1 无机及分析化学实验教学体系

2.1 重构实验内容, 突出综合与设计实验

无机及分析化学实验面向一年级学生, 首要教学任务是为学生夯实基础知识、强化规范操作、建立严谨规范的科学态度。课程首先开展的教学项目多为基本操作, 如“天平称量操作”“滴定操作练习”等。在建立良好基础和严谨定量概念后, 团队重组了实验内容, 将基本操作、性质检测、设计与验证性步骤融合到综合性实验内容中(表1)。

表1 “基础型-综合型-设计型”三层次代表性实验项目

实验类型	实验目的	代表性实验项目	开设学期
基础型	掌握基本操作技能和实验方法；加深对理论知识理解，树立严格的“量”的概念；培养严谨细致的实验素养和独立思考能力	溶液配制和滴定操作练习	第一学期
		镁和盐酸反应热的测定	第一学期
		氯化钠的提纯	第一学期
		液液萃取分离铁铝离子	第一学期
综合型	提高综合运用知识的能力；培养发现问题、分析问题和解决问题的实践能力	天然水硬度和化学需氧量(COD)含量的测定	第一学期
		硫酸亚铁铵的制备及纯度测定	第一学期
		甲基橙的合成、pH变色域测定及离解常数的测定	第二学期
		邻二氮菲分光光度法测定微量铁	第二学期
		硅酸盐水泥的全分析	第二学期
设计型	提升分析问题和解决问题的综合实验能力，进一步培养科研素养，激发积极进取的探索精神，全面提升创新能力	草酸合铜酸钾的合成和组成分析	第一学期
		硫酸铜的提纯与结晶水测定	第一学期
		铁氧体法处理含铬废水	第二学期
		四氨合铜硫酸盐的制备及组成测定	第二学期
		钴氨配合物的合成与组成分析	第二学期

如元素性质实验往往都是对已知现象的验证，忽略了对学生探究能力的培养。团队重组实验内容，将阴、阳离子鉴定等性质实验中的相关内容融合到综合性实验的元素检测环节中，由学生自行制订定性定量检测方法，使实验与科研更加贴合。以“硫酸铜的提纯与结晶水测定”为例，以往都是告诉学生粗硫酸铜中有 Fe^{3+} ，现在我们要求学生提前查阅文献，设计检验粗硫酸铜中 Fe^{3+} 的实验步骤。学生往往会采用KSCN或黄血盐作为检测试剂，忽略了 Cu^{2+} 与两种试剂形成绿色配合物或红褐色沉淀的干扰现象。我们提供 Fe^{3+} 标样作对照，要求学生自行验证、观察现象、分析原因，结合元素性质与分离方法，进一步改进方案。在不断试错的过程中，学生之间相互比较、讨论，既体验了科学探索的快乐，也加深了实验与理论的相互融合。团队还将相对独立的实验单元有机融合为连续性实验项目，如硫酸铜提纯实验中的产品作为结晶水测定和草酸合铜酸钾的合成等实验的原料，母液收集后进行硫酸铜晶体的培养，高度连贯的实验培养了学生每步操作都须严谨认真对待的科学态度。

开设于第二学期的无机及分析化学实验II，综合与设计型实验学时显著增加(图2)，利用“硅酸

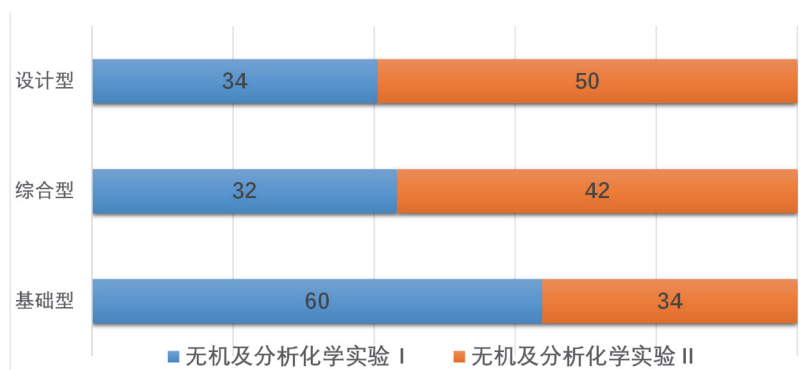


图2 无机及分析化学实验I与II中“基础型-综合型-设计型”不同层次实验学时图

盐水泥的全分析”等综合性实验培养学生理论知识的全面运用,巩固基本实验技能,提高分析和解决问题的实际能力;利用“铁氧体法处理含铬废水”“四氨合铜硫酸盐的合成及组成分析”等设计性实验,引导学生查阅文献、设计步骤、验证方案、归纳总结,激发学生对科学研究的兴趣,培养学生的科研探究能力。实验中还增加了与科研贴近的实验内容,如“荧光光度分析法测定维生素B2含量”,利用常见仪器,强化分析方法的设计。删除了“铁矿石中铁含量的测定——氯化汞法”“甲醛法测定硫酸铵”等毒害性较大的实验,增加了“铁氧体法处理含铬废水”“大气中SO₂含量测定”等实验,带领学生在校园及周边环境中采样(图3、图4),使其树立“生态兴则文明兴”的环保观念,践行可持续发展的理念。



图3 校园中天然水采样

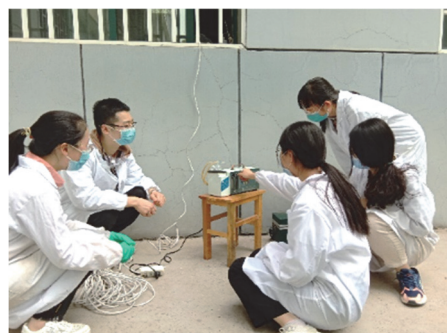


图4 实验室周边大气采样

针对强基班和基地班等拔尖学生,教学中不仅加强了对其基本理论和技能的强化训练,还提升了实验要求。一方面在经典实验中增加设计性实验步骤,以科研思路引领学生完成实验项目,如“草酸合铜酸钾的合成与组成测定”实验,在测定C₂O₄²⁻的过程中加硫酸后有浅蓝色沉淀出现,要求学生根据元素性质推测沉淀的成分,提出详细的分析方案,验证方案的可行性,并以论文的形式写出总结报告(图5);另一方面,要求学生以小组为单位开展探究性实验,为学生创造更多自由探讨的氛围。如“天然水硬度和化学需氧量(COD)含量的测定”实验,对普通班是综合性实验,而对强基和基地班的学生则为设计性实验。教师要求高水平班级以小组为单位提出三种以上的测定方案。学生们以“大胆质疑,小心求证”为出发点展开积极的讨论,在相互学习的过程中取长补短,融会贯通。设计性的教学环节培养了学生理性思维及重视实证的思维方式,助力学生成为拥有创新意识和多元流动思维的复合型人才。

通过从单元训练到集成、检验、分离、定量分析于一体的综合性实验项目,构建了“基础型-综合型-设计型”的层次化无机及分析化学实验体系,不仅提升了学生实验技能,更有效地从知识、能力、素养三个维度对学生进行了全面培养。

 草酸合铜酸钾的合成和组成分析 化学创新国家级实验教学示范中心 (兰州大学) 制作者: 吕东耀 吴晶	合成和组成分析 3. 拓展实验 (1) 请自行设计实验,对产物中K⁺和C₂O₄²⁻进行定性测定; (2) 在测定C₂O₄²⁻含量时,加入3 mol·L⁻¹ H₂SO₄溶液后有沉淀出现,请自行设计实验,先定性鉴定沉淀为何物,再定量分析进而确定沉淀的组成。	草酸合铜酸钾的制备及组成测定扩展实验 2019 级化学 8 班 杨俊杰 赵正佳 实验目的 探究二草酸合铜酸钾的制备及组成测定实验中未知蓝色沉淀的组成成分 实验结果假设 未知蓝色沉淀可能为: ① 草酸铜 ② 草酸 ③ 草酸铜和草酸的混合物 (相关资料: 草酸铜在常温下是浅蓝绿色粉末, 溶于水, 几乎不溶于水。) 实验原理 - 未知蓝色沉淀的制备: 按照“二草酸合铜酸钾的制备及测定”实验中草酸根离子的含量测定的方法制取未知沉淀, 将混合液离心后采用倾析法分离得到未知沉淀。 - 检验未知沉淀中的 Cu²⁺: ① 焰色反应 ② K₄[Fe(CN)₆] 中性或酸性条件下生成红褐色配合物。 - 检验未知沉淀中可能存在的 C₂O₄²⁻: ① KMnO₄ 褪色法 ② 硫酸锰试液法 - 未知沉淀组成的测定: ① Cu²⁺: EDTA 络合滴定 ② C₂O₄²⁻: KMnO₄ 滴定
---	--	---

图5 草酸合铜酸钾设计性实验内容与学生的实验报告

2.2 混合式多维教学模式的构建

多媒体技术为实验教学提供了更广阔的内容和更丰富的学习方法^[9,10]。我们运用超星教学平台、虚拟仿真实验等现代教学手段,设计了“课前预习→课中导学→总结讨论→考核评估”的多维度教学模式。

2.2.1 扎实有效的实验预习

预习是达到实验预期效果的关键环节,良好的预习能有效提升实验效率。但以往学生认为预习就是书写预习报告,未能深入理解实验原理和规范操作要求。实验中学生过分依赖教师的讲解与演示,操作也是照葫芦画瓢,无法做到融会贯通、举一反三,不利于培养学生的创新性思维和科学探究态度。

在“互联网+”背景下,实验团队积极采用线下线上相结合的教学方式,将实验基本操作与实验室安全学习构建为虚拟仿真实验,利用超星平台与实验中心的教学网络(图6),建设了包括资源库、课件、微课、录课、讨论、考核、资源链接等集一体的线上教学体系,为学生预习、复习、交流、课程拓展等提供了丰富的资源。如将经典的高毒性实验“铁矿石的测定——氯化汞法”设计为虚拟仿真实验,将实验中涉及到的仪器分析虚拟实验室放置在教学平台上,为学生的高阶学习与知识拓展提供了坚实的平台。

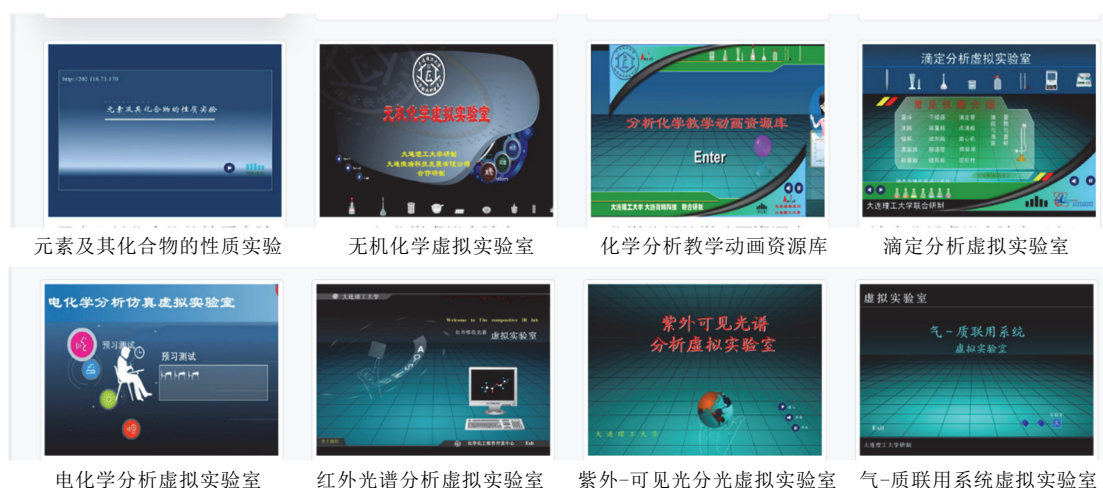


图6 实验示范中心平台的教学资源

利用高速便捷的互联网,教师在超星平台上推送电子课件、讲解视频、操作演示视频、扩展资料等。课件与讲解均以问题为引领,引导学生深度思考实验原理、梳理实验步骤、厘清实验关键点。如在摩尔气体常数的实验中,通过在原理、步骤、结果处理等环节中引入问题,建立思维导图,极大提升了学生的深度思考,使其提前掌握关键操作点(图7)。通过操作演示视频,如“玻璃工操作”“减压过滤操作”“移液枪的使用”“电导率仪的使用”等,学生可以全方位观察操作细节,极大地弥补了线下教师演示时,学生人数过多导致后面的学生看不清楚的缺陷。借助网络教学平台,还为学生提供了各种资源链接,如“酸度计的结构及原理”等,使学生对仪器的原理、构造、使用方法与注意事项有更广泛和深入的认识。

强基班和基地班的学生,理论基础扎实、思维活跃、学习主动性强。针对这些学生,在平台上提供了更多的教学资源 and 开放性问題,以促进科学思维的训练。如在“天然水高锰酸盐指数的测定”实验中,将《水质 高锰酸盐指数的测定(GB 11892-89)》《水质 化学需氧量的测定 重铬酸盐法(HJ 828-2017)》《水质 化学需氧量的测定 快速消解分光光度法HJ/T 399-2007》等国家标准与行业标准

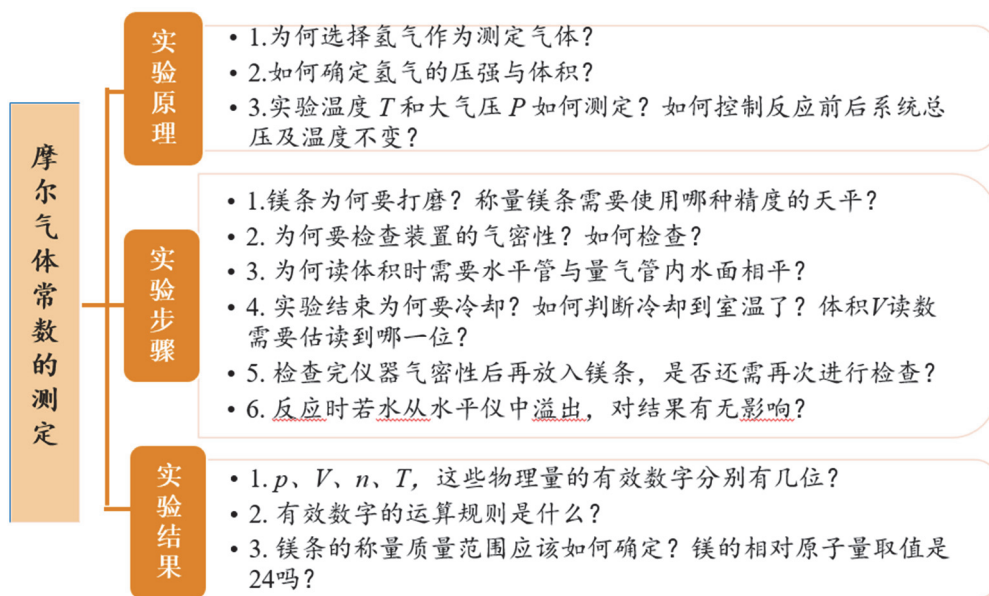


图7 摩尔气体常数测定实验中的教学思维导图

推送在平台和微信群中, 组织学生进行讨论, 比较不同测定方法的适用范围与优缺点。在“钴氨配合物的合成与组成分析”中, 要求学生除了根据莫尔法进行氯离子含量的测定外, 还要设计其他检测方法。学生充分利用实验室的小型仪器, 确立了基于电位滴定的检测方法。以钴配合物的实验为切入点, 还引入本校教师的科研工作, 如丁勇教授的单核钴金属有机配合物光催化水的研究^[11]和景欢旺教授的卟啉钴配合物高效催化 CO_2 制备有机环碳酸酯^[12]的前瞻性工作, 讨论钴配合物的空间构型与电子层结构的关系、配合物结构与催化性能的构效关系、配合物的催化机理等, 实现了知识传授、能力培养的深度融合。

2.2.2 形式多样的课堂教学

课程团队积极采用学生为主体、教师为主导的互动式教学方式。讲解过程中随机选取学生讲解原理或步骤, 引导学生之间相互交流, 锻炼学生的语言逻辑性和表达能力, 增加学生在课堂中的主体认知度。

团队在讲授环节中突出强调学生的主体地位。教师只介绍重点与难点, 演示重要操作, 引导学生深度思考实验设计背后的原理。每次实验结束后均有30分钟左右的总结环节, 及时指出学生普遍存在的错误, 比较学生们的实验结果, 讨论误差的来源, 分析实验现象不同的原因。总结与讨论环节受到学生的高度认可, 学生们积极发言, 主动对错误的操作进行复盘, 寻找出错的原因。学生们相互探讨、互相学习, 活跃的气氛激发了学生的学习兴趣, 调动了学生的参与感与成就感。

部分设计性实验项目采用“翻转式”教学方式, 学生提前查阅资料、设计方案。从讲授原理、演示操作、陈述步骤到总结数据、讨论结果的全过程均以学习小组为单位由学生完成。高认可度的翻转课堂激发了学生的主动性, 相互探讨中学生的视野得到了进一步拓展, 逻辑思维与语言表达能力也得以锻炼提升(图8)。

实践证明, 实验课程采用混合式教学方法所构建的教学模式切实可行。预习形式的多样化对学生深度理解原理、掌握规范操作有显著帮助。引导式教学方法、翻转课堂为学生高阶学习提供了途径。通过问卷调查, 90.0%的学生认为混合式教学模式对实验能力有不同程度的提升, 是高质量达成学习目标的有效途径(图9)。

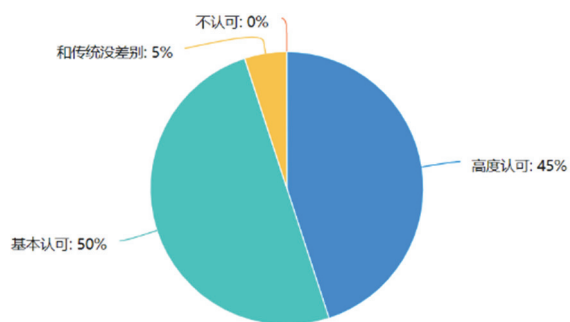


图8 学生对翻转课堂认可度统计结果

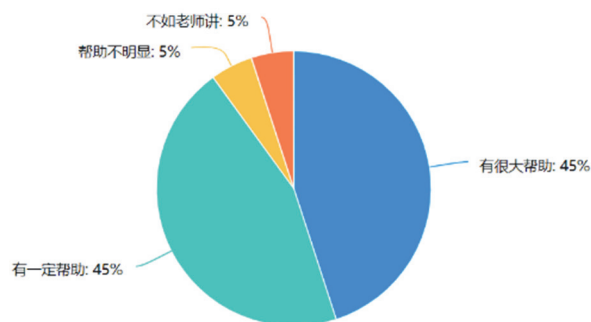


图9 混合式教学对实验能力提升的统计结果

2.2.3 建立以成果为导向的考核方式

实验教学团队以“专业基础扎实、基本技能熟练、具有创新能力和国际视野”的创新性化学专业人才培养目标为导向，建立了以成果为导向的教学评价与考核模式。围绕培养目标，以“行业需求→培养目标→毕业要求→课程体系→教学内容+教学方式+教学资源→考核方式”进行了自上而下的设计，建立了分层次目标模型。

实践课所承担的任务，除了加深对知识的理解和掌握外，更重要的是能力和素养的培养。针对一年级同学的无机及分析化学实验，考核要求包括：(1) 基本知识的掌握：学生应具备规范的实验基本操作技能，获得准确可靠的实验数据的能力；(2) 问题分析：能够对实验过程中的现象和出现的问题进行解析；(3) 设计解决方案：设计与实施简单化合物的合成、定性和定量检测方法，在此过程中体现创新意识。为达成以上多维培养目标，实验课程需加强过程性考核的比例，采用不同角度的考评体系(表2)，达到“以考促学”的目的。

表2 无机与分析化学实验考核与成绩评定体系

考核方式	分数占比	考核内容
日常考核	10%	预习、随堂提问
	15%	实验操作与完成度
	15%	数据处理与分析、报告
	15%	实验设计与实施
翻转课堂考核	20%	小组讨论、资料查阅、步骤设计、实验讲解、操作、归纳总结
实验操作考试	15%	设计、操作、结果、报告与讨论、
笔试	10%	每个实验的基本理论、操作、

过程性考核涵盖了日常考核与翻转课堂考核，是实验评定的主体，计入总成绩的75%。日常考核以综合素质评价为核心，实行预习、设计、操作、记录、规范表达、数据分析与处理、归纳与总结等多元化的评价体系；翻转课堂考核则以小组为单位，从主题发言、实验方案的设计与实施等方面入手，更注重对于知识应用能力、思辨能力和团队合作能力的评定。

期末的实验操作考试全面考查综合与创新能力。教师提前发布某物质的合成与组成分析要求，对学生进行文献检索、方案设计、合成与分析、数据处理与结果总结的全过程考查。教师采用竞赛评分准则，对设计方案的合理性、基本操作的规范性、整体完成度、结果的准确性等进行综合评分，考试后公布评分标准，使学生能对照标准明确地查找自身的问题所在。统一命题、统一考试、流水

阅卷的实验笔试,促使学生对整个学期的实验进行全面的回顾和总结。

综合性的考核方式兼顾成果和过程,使得评价结果具有科学性。多维考核方式尊重学生的个体差异,帮助学生对自身学习情况进行反向监控。评价的人性化、科学化,使学生真实、精确地评价学习成效,助力学生多元发展。

教学团队根据人才培养需求不断及时调整教学方式与内容,并鼓励学生积极参加校级、省级和国家级的专业实验比赛。培养的本科生在2019–2022年全国大学生化学实验创新设计竞赛全国总决赛中取得了三次特等奖的优异成绩,在1998年开始举办的历届全国大学生化学实验邀请赛中取得了一等奖6项、二等奖11项、三等奖16项的佳绩(统计截止至2021年)。

3 结语

兰州大学无机及分析化学实验课程团队通过建立信息化教学资源平台,构建并实施了“基础–综合–设计”的层次化无机及分析化学实验课程体系。通过整合实验内容,增加设计环节、采用差异化教学项目,利用翻转课堂和引导型教学模式,改善教学评价体系等手段,在培养学生的专业素养、综合实践能力和创新思维等方面取得了良好成效。培养的学生学习主动性高、专业素养扎实、动手能力强、善于思考、勤于钻研,不仅能够适应当前学科的发展,更能满足社会的实际需求。

参 考 文 献

- [1] 坚持以本为本 推进四个回归 建设中国特色、世界水平的一流本科教育——新时代全国高等学校本科教育工作会议召开. [2018-06-21]. http://www.moe.gov.cn/jyb_xwfb/gzdt_gzdt/moe_1485/201806/t20180621_340586.html
- [2] 章文伟, 芦昌盛, 淳远, 俞寿云, 朱成建. 大学化学, **2022**, 37 (2), 2108092.
- [3] 周雅倩, 梅蕊, 吴文海. 大学化学, **2022**, 37 (3), 2106007.
- [4] 马艺, 魏灵灵, 李淑妮, 薛东旭, 徐玲, 张伟强, 焦桓. 大学化学, **2022**, 37 (3), 2106044.
- [5] 李厚金, 陈六平, 张树永. 大学化学, **2022**, 37 (2), 2108010.
- [6] 刘红瑜, 金谷, 姚奇志, 李娇, 李玲玲. 大学化学, **2021**, 36 (2), 1912006.
- [7] 王静, 李会平, 王小燕, 罗世忠, 王书文. 大学化学, **2021**, 36 (4), 2005005.
- [8] 董立军, 王薇, 吕东煜, 兰景凤. 大学化学, **2021**, 36 (9), 2105056.
- [9] 章文伟, 吕炜, 黄伟. 大学化学, **2020**, 35 (5), 209.
- [10] 马晓飞, 马亚鲁, 高洪琴. 大学化学, **2021**, 36 (2), 2004061.
- [11] Zhao, Y. K.; Lin, J. Q.; Liu, Y. D.; Ma, B. C.; Ding, Y.; Chen, M. D. *Chem. Commun.* **2015**, 51, 17309.
- [12] Jiang, X.; Gou, F. L.; Chen, F. J.; Jing, H. W. *Green Chem.* **2016**, 18, 3567.