

## “新工科”视域下STEM教育融入“实验室安全”课程建设的探索和实践

陶涛\*

南京信息工程大学化学与材料学院, 南京 210044

**摘要:** 面向“新工科”建设背景, 本文从课堂实际出发, 提出STEM教育融入“实验室安全”课堂教学的思路和方法, 通过优化实验室安全知识体系和变革实验室安全教学范式, 将科学、技术、工程、数学等STEM教学内容有效融入课程建设中。实践表明: 这些举措激发了学生对课程内容的学习兴趣, 特别是提升了作业主观题整体完成质量, 教学设计的目标定位从知识型、了解型转变为能力型、掌握型, 强化了实验室安全课程的系统性和对培养目标的支撑度。

**关键词:** 新工科; STEM教育; 实验室安全; 课堂教学

**中图分类号:** G64; O6

## Research on Integrating STEM Education into the “Laboratory Safety” Course from the Perspective of “Emerging Engineering Education”

Tao Tao \*

School of Chemistry and Materials Science, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China.

**Abstract:** This manuscript proposes ideas and methods for integrating STEM (science, technology, engineering, mathematics) education into the “laboratory safety” course from the perspective of “emerging engineering education”. This is achieved not only by optimizing the laboratory safety knowledge system but also by reforming the laboratory safety teaching mode to effectively integrate STEM and other content into the curriculum. The results demonstrate that better teaching outcomes are attained through experimentation. On one hand, these measures serve to stimulate students’ interest in learning, especially improving the overall quality of homework. On the other hand, the teaching design aims to facilitate a transfer from knowledge acquisition to skill development as well as from basic comprehension to mastery, which promotes the implementation of laboratory safety courses and reinforcing educational objectives.

**Key Words:** Emerging engineering education; STEM education; Laboratory safety; Classroom teaching

2016年中国正式加入国际工程教育《华盛顿协议》, 目前已建成世界最大规模的工程教育体系, 正在由工程教育大国迈向强国<sup>[1]</sup>。随着工程教育的发展, “新工科”这一概念成为高校专业改革的新方向, “新工科”专业建设关键在“新”, 需要建设新课程、新教材等以迎接和应对产业发展新阶段对工程人才培养提出的新需求。在人才培养方案总学分调减的情况下, 打造“金课”、淘汰“水课”, 是深化课堂教学改革的必由之路。实验室安全、安全工程等安全教育类课程内容偏重说教,

收稿: 2023-05-08; 录用: 2023-05-25; 网络发表: 2023-06-02

\*通讯作者, Email: taotao@nuist.edu.cn

基金资助: 教育部新工科研究与实践项目(E-SXWLHXLX20202612); 南京信息工程大学重点教改研究项目(2021ZDJG01)

教学形式陈旧, 针对性、前瞻性、交叉性和趣味性不足, 学生学习兴趣低, 教学效果不明显, 是否应纳入“水课”范畴予以调整呢?

一方面高校实验室安全工作任重道远, 直接关系到学校和学院的人才培养、学科建设等工作的推进, 同时实验室安全事故时有发生, 包括爆炸事故、火灾事故、危化品事故等, 安全形势不容乐观。另一方面《教育部关于加强高校实验室安全工作的意见》(教技函〔2019〕36号)明确指出: 对涉及有毒有害化学品等各种危险源的专业, 逐步将安全教育有关课程纳入人才培养方案。在《高校教学实验室安全工作检查要点》中, 涉及化学、生物、辐射等专业开设相应的必修或选修课成为安全教育的重要组成部分。

培养目标和实现困境促使实验室安全类课程改革势在必行。近五年, 本教研组在一流专业建设和工程认证专业建设下, 对实验室安全课堂内容与形式进行了全方位改革, 探索了“新工科”视域下STEM教育融入“实验室安全”课程建设的各种举措, 为化学材料类专业实验室安全教育提供了经验借鉴。

## 1 新工科与STEM教育

### 1.1 关于新工科

为应对新一轮科技革命与产业变革以及促进服务创新驱动的发展, “新工科”这一概念应运而生。2017年2月18日以来, 教育部积极推进新工科建设, 先后形成了“复旦共识”“天大行动”和“北京指南”, 并发布了《关于开展新工科研究与实践的通知》《关于推荐新工科研究与实践项目的通知》, 全力探索形成领跑全球工程教育的中国模式、中国经验, 助力高等教育强国建设。不仅在中国高校, 麻省理工学院提出新工程教育转型计划(NEET, 2017), 佐治亚理工学院开创未来教育行动(CNE, 2018), 伦敦大学学院提出综合工程项目(IEP, 2018), 面对新一轮科技革命, 全球工程教育正处在积极应变、求变之中<sup>[2,3]</sup>。

新工科专业建设至少包含两个维度: 一方面是对传统工科专业的升级再造, 另一方面是根据经济发展需求设置相应的新专业。不论是“翻新”还是“建新”, 新工科专业建设的核心是培养国家发展亟需的工程科技人才, 关键在于创新工程教育实践的新理念以及新标准。2021年7月27日, 教育部副部长、高教司原司长吴岩在中国校企协同创新大会上发表题为《建好现代产业学院, 提供高质量人才支撑》主旨演讲, 明确将现代产业学院建设作为新工科建设的一项战略布局, 并将课程建设作为重要抓手。按照新理念和新标准建设的课程、教材以及探索课程资源建设新形态, 服务于传统工科专业和新专业, 均极大地促进了新工科建设; 反之, 按照传统单一规格、填鸭式思路所建设的课程即使服务于新工科专业, 也是制约了新工科专业的发展, 未来必须要进行优化和调整。

### 1.2 关于STEM教育

STEM是科学(Science)、技术(Technology)、工程(Engineering)和数学(Mathematic)四门学科的简称, STEM教育并非四门学科的简单相加, 而是高度融合科学、技术、工程和数学等多学科交叉知识的完整有机体。STEM教育强调多学科的交叉融合, 培养学生交叉的学科背景、创新精神和综合实践能力。因为未来职业所面临的诸多复杂工程问题, 并不只是单纯的工程问题, 有的问题也不限于科技问题, 可能涉及历史、文化、管理等方面。STEM教育作为一种跨学科教育整合的典范备受各国教育界的关注, 已经成为很多发达国家保持竞争力的战略选择, 美国在全球STEM教育发展中起到引领作用, 并将STEM教育提升到国家战略的高度。中国也愈加重视STEM教育, 并于2017年6月20日, 发布了《中国STEM教育白皮书》, 提出了“中国STEM教育2029计划”<sup>[4]</sup>。

STEM教育和新工科在理念和目标层面高度契合。新工科不再停留在传统单一工科内部, 主要是通过重新定义传统工程教育的理念以及解决时代发展中产生的新需求, 来应对新一轮的科学技术革命与产业变革以及促进服务创新驱动的发展。余胜泉等<sup>[5]</sup>提出STEM教育应强调跨学科理念的课程整合, 注重多方参与的培养机制, 并确保课程统一的标准化建设。STEM教育不再停留在单一学科内

部, 主要是通过加强科学、技术、工程、数学等学科之间的联系, 打通学科之间的壁垒, 帮助学习者综合运用多学科领域知识解决现实情境中的复杂问题, 提高学习者知识整合与应用的能力。

### 1.3 实验安全课堂改革

目前实验室安全类课程存在如下问题: (1) 教学内容的针对性、前瞻性、交叉性和趣味性不足, 多数知识停留在“要什么”和“不要什么”, 而没有深入到“为什么”, 以致于学生进入实验室实操还是会犯低级错误; (2) 教学形式过于陈旧, 考试内容或评价方式偏重记识性, 主观题或非标考试等新方式在此类课程中研究和探索得较少; (3) 学生学习兴趣低落, 学习投入不足, 往往“低头族”较多, 课堂的参与度和互动率较低; (4) 课程师资都为专任教师, 但是既懂化学类专业又懂安全实操业务的专家偏少。

实验室安全课堂改革关键在于确立以学为中心、以生为本的理念, 在毕业总学分调减, 为学生实践提供空间的大背景下, 改变传统教学设计的目标定位, 辩证做好课程内容设置的“加减法”, 砍掉空洞的理论说教, 用案例、推理、演示等手段让学生由感性到理性的认知, 强化课程的系统性和对培养目标的支撑度, 把从事实验室工作、化工生产中的安全意识、安全技能和人格价值塑造、科学原理探究、工程技术运用有机融合, 渗透于教学过程。特别是针对涉及有毒有害化学品、动物及病原微生物、放射源及射线装置、危险性机械加工装置、高压容器等各种危险源的不同专业, 开发不同学时、不同侧重点的专业课程群, 逐步将安全教育有关课程纳入人才培养方案。

## 2 优化实验室安全知识体系

### 2.1 科学发现知识融入

实验室安全作为专业课必须体现科学性。以氧气的发现为例, 在空气中有氧气、氮气和其他稀有气体, 氧气作为助燃剂是燃烧的必要条件之一, 二氧化碳灭火器为什么能阻止燃烧, 这些科学内容都与实验室安全息息相关。以微生物的发现为例, 在两个圆瓶里分别灌进酵母汤, 一个敞口, 一个密封, 同时煮沸几分钟后搁置适当时间, 敞口瓶里有微生物生长, 而密封瓶里没有。使用曲颈瓶重复以上实验, 瓶里也没有微生物生长。通过实验验证使培养液变质的细菌不是自生的, 而是来自空气, 从而进一步加深学生对空气的理解, 即空气中不仅含有气体, 还存在微生物和气溶胶等。

### 2.2 检测技术知识融入

实验室安全作为专业课必须体现技术性。挥发性有机物(VOCs)不仅存在于实验室中, 生活中燃料的燃烧、烹调油烟和装饰材料、家具等都会释放VOCs, 对人体健康潜在威胁大。把挥发性有机物检测技术作为教学内容, 包括测定空气中甲醛常用的方法, 如酚试剂分光光度法、乙酰丙酮分光光度法、气相色谱法和离子色谱法等。在掌握气体污染物、水中污染物检测技术的原理与应用之后再问学生, 实验室中为什么试剂瓶不能敞口放置, 为什么做实验的时候需要戴护目镜、穿实验服、带手套。通过基础物理、化学分析、仪器分析等知识的融入, 提高了实验室安全课堂的科技含量, 学生的主观能动性被调动起来, 开始认真严谨地思考和探讨安全管理中的一些具体的安全技术问题。

### 2.3 工程实践知识融入

实验室安全作为专业课必须体现实操性。课程主要对象是理工科大一、大二的学生, 结合学生所学高等数学、工程制图以及程序设计等基础知识, 创设工程实践教学情境旨在增强学生对实验室安全环境的认知, 并结合项目式教学同步开展。在教学实践中, 结合学生专业情况, 进行设计类和调查类工程知识的融入。设计类题目: 如何设计一个中学化学实验室/无机与分析化学实验室? 学生需要利用计算机辅助设计(CDA)进行制图, 根据结构与设计、采光与通风、安全通道与安全出口、配电和电气设备、监控和报警系统、实验家具与给排水等方面给予作业评价。对于非化学材料类专业学生, 考虑适当降低难度, 如何设计一个“当心紫外线伤害”或“切勿醉酒做实验”的实验室安全标识? 调查类题目: 城市地铁内VOCs调查; 学校内超净间的分布与使用调查; 某石油化工厂安全生产管理调查等。通过实验室安全实操性的探索与尝试, 将安全教育融入到实习实训中。

## 2.4 数学原理知识融入

实验室安全作为专业课必须体现基础性。海恩法则和墨菲定律在安全管理中被反复提及,其本身不复杂,但是在课程中对无管理经验、无实操经验的学生讲解,学生很难理解,这就需要做一些数学上的解释,创设特定的情境,让学生真正理解并掌握。假设学生所在的实验室每次发生安全事故的概率 $P=5 \times 10^{-7}$ ,即两百万分之一,那么实验室正常运行的概率为 $1-P=0.9999995$ 。经过数学计算,在1万次实验中,全部安全的概率为 $P^N=99.5\%$ ,不安全的概率为 $1-P^N=0.5\%$ ;在10万次实验中,全部安全的概率为 $P^N=95\%$ ,不安全的概率为 $1-P^N=5\%$ ;在100万次实验中,全部安全的概率为 $P^N=61\%$ ,不安全的概率为 $1-P^N=39\%$ ;在1000万次实验中,全部安全的概率为 $P^N=0.67\%$ ,不安全的概率为 $1-P^N=99.33\%$ 。这就预示着只要样本足够大,存在发生事故的概率,事故就一定会发生。全国约有2000所高校,假设每所高校有100间实验室,一年365天,即相当于样本有7300万,所以发生事故是必然。

只要存在发生事故的概率,事故就一定会发生,而且不管其可能性多么小,它总会发生,并造成最大可能的损失,这就是墨菲定律。海恩法则指出:每一起严重事故的背后,必然有29次轻微事故和300起未遂先兆以及1000起事故隐患。也就是说,严重事故发生的概率是事故隐患存在概率的千分之一。假设事故隐患的概率是万分之一,那么严重事故的概率是千万分之一,按照上述数学推理,全部安全和不安全的概率分别又是多少?通过上述方式,学生能够对海恩法则和墨菲定律有理性认识,从而建立科学严谨的实验室安全观,不仅明白“千里之堤,溃于蚁穴”的道理,而且也明白“任何不安全事故都是可以预防的”。

## 2.5 前沿交叉知识融入

实验室安全作为专业课必须体现前瞻性。冠状病毒的直径约为 $0.125 \mu\text{m}$ ,口罩的孔径约为 $10 \mu\text{m}$ ,为什么说戴口罩能预防新冠病毒?把口罩作为教学内容引入实验室安全课程,有助于将个人防护装备(Personal Protective Equipment, PPE)与生活实际结合起来。天然产生的飞沫大小不等,打喷嚏可能会产生多达4万个直径在 $0.5\text{--}12 \mu\text{m}$ 之间的飞沫。口罩工作的原理不仅是像过筛子一样,还有静电吸附作用,可以过滤比熔喷布纤维网络结构更细的颗粒物。此外,化学品进入人体内一般有三种途径:(1) 食入(吞咽);(2) 吸入(呼吸);(3) 皮肤接触。以多环芳烃(Polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)为例,是在煤炭、石油、汽油、垃圾、烟草以及木材燃烧过程中释放出来的化学污染物,此外,高温烹饪过程,肉类和其他食物烧烤中也会生成多环芳烃。在烧烤中,经皮肤接触的茈、菲、蒽摄入比分别为 $0.11$ 、 $0.036$ 、 $0.043$ ,整体低于食入摄入比 $0.38$ 、 $0.14$ 、 $0.060$ ,但是要高于吸入摄入比 $0.097$ 、 $0.016$ 、 $0.025$ <sup>[6]</sup>。炭火烧烤产生的烟雾,会附着在我们的衣物上,人体通过皮肤吸收致癌物,并且通过皮肤吸收的量会比通过呼吸道吸入的更多。同理在实验室做实验,实验服、长裤、合适的鞋、护目镜等必不可少,拖鞋、凉鞋,以及短裤和短袖上衣均增加了皮肤的暴露风险。通过有理有据有趣的教学内容(表1),让学生知其然,更知其所以然。

# 3 变革实验室安全教学范式

## 3.1 浸润式教学

在虚实结合的浸润式教学方面,教育界的同行已经开展了很多卓有成效的尝试。如常州大学化工虚拟仿真实验教学中心入选首批国家级虚拟仿真实验教学示范中心,南京信息工程大学智慧工厂虚拟实训项目入选国家级虚拟仿真实验教学项目。在校内建有综合观测基地,以及毗邻化工园区的优势,使用真实生产线等环境开展浸润式实景、实操、实地教学,推进学生浸润式工程体验。

与此同时,结合计算机图形学、仿真技术、多媒体技术、人工智能技术、计算机网络技术、并行处理技术和多传感器技术等先进科技,以“走进化学实验室”虚拟现实技术为蓝本,将知识与情境结合起来,让学生身临其中,在情境中学习,尝试一种全景式的实验学习模式,改变传统学习方式(图1)。采用三维情境式设计,身临其境;以真实、规范的化学实验室为仿真对象,包括无机化学、

表1 STEM教育融入实验室安全课程教学设计

| 序号 | 主要章节内容   | STEM教育元素融入              | 教学形式  |
|----|----------|-------------------------|-------|
| 1  | 消防安全     | 仅用气体可以灭火吗? (七氟丙烷)       | 讲授+演示 |
| 2  | 用电安全     | 人体为什么可以导电? (人体电阻)       | 实验+研讨 |
| 3  | 生物安全     | (1) 曲颈瓶实验; (2) 疫情防护与PPE | 讲授+研讨 |
| 4  | 特种设备     | 钢瓶的安全使用                 | 讲授+仿真 |
| 5  | 化学品安全    | 实验室爆炸事故案例分析             | 讲授+案例 |
| 6  | 化学实验室安全  | CAD制图设计化学实验室            | 讲授+项目 |
| 7  | 化学实验废弃物  | VOCs与PAHs等污染物检测         | 讲授+项目 |
| 8  | 应急救援     | 急救包、洗眼器等操作与使用           | 演示+实训 |
| 9  | 化工安全     | 集散控制系统、厂区监控信息系统工程实践     | 案例+仿真 |
| 10 | 安全培训综合演练 | 海恩法则和墨菲定律               | 讲授+演练 |



图1 实验室安全情境式、互动式、浸润式教学

分析化学、有机化学、物理化学实验室等常见仪器设备(表2), 内容丰富, 真实感强; 在虚拟实验室可自由走动, 自主操作, 自主学习, 随心所欲; 在这里, 你可以在实验室中漫游、驻足, 观察; 你不但看得到仪器设备, 学习有关知识, 还可作为安全手册、使用手册、数据手册使用; 可以学习仪器设备的操作使用, 了解安全注意事项。获得多方面的感受, 让学习不再枯燥, 在虚实结合的浸润式体验中完成学习目标, 让学习变得有趣、生动。

### 3.2 案例式教学

实验室安全的案例资源较多, 但是单纯的宣读式、灌输式的实验安全教育收效甚微。阮俊等<sup>[7]</sup>认为安全案例教育存在事故不大不重视、规避责任瞒事故、趋好名誉不正视等问题, 应该从改变方式、杜绝瞒报、客观分析、加强宣传等方面让安全案例发挥其最大的警示价值。

在教学实践中, 我们选取高校实验室安全事故的典型例子不在多, 而在精。2016年9月21日, 上海某大学化学化工与生物工程学院实验室在制作纳米材料氧化石墨烯实验中使用高锰酸钾和浓硫酸

表2 实验室安全虚拟现实(VR)体验系统项目一览表

| 序号 | 类别         | VR版实验项目                                                                                                      |
|----|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 基础认知       | (1) 实验室消防知识认知; (2) 无机化学实验室认知; (3) 有机化学实验室认知; (4) 分析化学实验室认知; (5) 物理化学实验室认知                                    |
| 2  | 危险化学品处理与处置 | (1) 金属钠的取用与钠渣的处理; (2) 浓硫酸的稀释与烧伤处置; (3) 甲醇的取用与灭火训练; (4) 苯酚的取用与伤害紧急处置; (5) DMSO的取用与低温防冻液的配制; (6) 溴化乙锭溶液配制与废液处置 |
| 3  | 安全实训       | (1) 氢气瓶的安全使用; (2) 灭火器训练与实训; (3) 灭火毯训练与实训; (4) 灭火沙训练与实训                                                       |
| 4  | 逃生演练       | (1) 一般逃生演练; (2) 特种逃生演练                                                                                       |
| 5  | 安全互动       | 安全隐患随手拍                                                                                                      |

(750 mL)做实验室时发生爆炸。2017年10月15日, 南京某高校生物与制药工程学院的一栋大楼突然起火, 大火持续烧了一个多小时, 最终被消防队员奋力扑灭。2018年12月26日, 北京交通大学发生实验室爆炸事故。我们从事故缘起、经过、原因、事后处置, 以及相关事故报告等形式对学生进行细致讲解, 让学生有身临其境的直观感受, 同时也结合授课教师亲身经历, 现身说法地讲解一些细微安全隐患的案例。

### 3.3 项目式教学

如前所述, 将工程实践知识引入课堂, 采用基于项目式教学(Project-Based Learning, PBL)方法, 教师拟定5-6个研究主题, 学生自主形成研究小组针对研究问题开展合作学习、自主学习, 并在教师的指导下形成研究结论与报告, 提升学生自主探究能力。其中如何设计一个中学化学实验室/无机与分析化学实验室、城市地铁内VOCs调查等都是课程的典型项目, 特别是CAD制图版的实验室设计内容, 得到学生的广泛欢迎。通过近五年对这个项目的跟踪调查, 该组学生设计作品的完成质量整体得到提升。项目式学习激发了学生对课程内容的学习兴趣, 教学设计的目标定位从知识型、了解型转变为能力型、掌握型, 强化了实验室安全课程的系统性和对培养目标的支撑度。

## 4 结语

实验室安全工作任重道远, 其重要性再怎么强调也不为过。对于实验室安全教育, 特别是课堂教学, 单纯的宣读式、灌输式的实验安全教育不仅收效甚微, 而且有时候会妨碍日常性、常规性、后续性的安全教育, 会给学生一种错觉, 安全问题是枯燥的。实则不然, 通过STEM教育的融入, 最直观的改变, 就是教学内容不再是干瘪的, 而是内涵深刻而丰富的。STEM教育提出的初衷就是使传统的理工科教育采取更加灵活的学习方式, 让学习者在真实情境下开展深度学习, 有利于创新人才和水平技能人才的培养, 这与新工科建设的理念不谋而合。我国STEM教育虽然还在发展期间, 但是已经得到国家及各方的重视, 并且在积极建设当中。新工科的出现毫无疑问带来了崭新的气象, 使得STEM教育在我国的发展更加制度化和标准化。真正的STEM教育应该增加学生对事物如何工作的理解, 并提高他们对技术的使用。STEM教育不是针对某个学科或某个学段的具体改革, 它更像是一个切入点, 很可能对教育领域的综合改革起到牵一发而动全身的作用, 撬动课程从内容到形式的全面改革, 并在中小学教育、职业技术教育、高等教育、继续教育等多个领域都会产生系统性影响。从这个意义上说, 即使不在实验室安全类课程中体现STEM教育, 也应该在大学本科教育其他课程中更多地引入STEM教育。STEM教育亦是任重道远, 但是只要遵循教育规律并勇于做出改变, 持续改进, 就一定会产生更多的人才培养成效。

## 参 考 文 献

- [1] 钟登华. 中国高教研究, **2022**, No. 7, 1.
- [2] 谢洪珍, 李天华. 化学教育, **2020**, 41 (24), 15.
- [3] 许伟, 胡宇芳, 朱倩倩, 干宁, 谢洪珍. 大学化学, **2023**, 38 (6), 62.
- [4] 罗熊, 冀燕丽, 尚新生. 北京科技大学学报(社会科学版), **2023**, 39 (2), 149.
- [5] 余胜泉, 胡翔. 开放教育研究, **2015**, 21 (4), 13.
- [6] Lao, J. Y.; Xie, S. Y.; Wu, C. C.; Bao, L. J.; Tao, S.; Zeng, E. Y.; Zeng, E. Y. *Environ. Sci. Technol.* **2018**, 52, 8330.
- [7] 阮俊, 张银珠, 金海萍, 冯建跃. 实验室研究与探索, **2016**, 35 (4), 279.

## 欢迎订阅《大学化学》

《大学化学》是由教育部主管, 北京大学和中国化学会共同主办的教育研究性学术刊物。以促进深化大学化学教育改革为宗旨, 为提高我国化学教学水平服务。读者对象为高等学校化学教师、研究生、本科生, 中学化学教师, 对化学有浓厚兴趣的中学生, 以及化学教育领域的各级管理人员和其他岗位上的化学工作者。主要栏目有: 今日化学、教学研究与改革、知识介绍、化学实验、师生笔谈、自学之友、大学化学先修课程、竞赛园地、未来化学家、科普、国外化学教育、化学史以及专题讨论等。

《大学化学》现为月刊, 大 16 开本, 亚光铜版纸印刷。2024 年每本定价 50.00 元, 全年出版 12 期, 共 600.00 元。

全国各地邮局均可订阅, 邮发代号: 82-314。为方便读者订阅, 本刊编辑部全年办理邮购业务。

地址: 北京大学化学学院《大学化学》编辑部

邮编: 100871

电话: 010-62751721

邮箱: dxhx@pku.edu.cn

网址: <https://www.dxhx.pku.edu.cn>

《大学化学》编辑部