“大组讨论、小组实验”化工专业实验的新思路 ——以甲醇制汽油实验为例

郭跃萍, 常彦龙*, 冯庆华, 徐向阳

化学国家级实验教学中心(兰州大学), 兰州 730000

摘要: 甲醇制汽油工艺参数比较多、实验时固定床反应器中催化剂的装载和反应后的冷却过程时间比较长, 在化工综合实验有限的学时内, 一组学生不可能将所有的实验参数摸索清楚。针对这种情况, 设计了学生“大组集体讨论+小组实验+结果汇总”的实验模式。在保证学生掌握实验基本操作的基础上, 得到整个工艺的完整数据, 通过对数据的处理和分析, 得到一个综合性较强的实验报告。通过实践, 该实验模式激发了学生的实验兴趣, 提升了实验效率, 取得了良好的教学效果。

关键词: 甲醇制汽油; 思政教学; 化工专业实验; 混合式教学

中图分类号: G64; O6; TQ016.1

“Large Group Discussion First, Then Small Group Experiment” for Professional Laboratory of Chemical Engineering and Technology: Taking the Conversion of Methanol to Gasoline as an Example

Yueping Guo, Yanlong Chang*, Qinghua Feng, Xiangyang Xu

National Demonstration Center for Experimental Chemistry Education (Lanzhou University), Lanzhou 730000, China.

Abstract: There are many parameters for converting methanol to gasoline, and the time required for catalyst loading in the fixed bed reactor or the cooling process after the reaction is long. It is impossible for a group of students to obtain the experimental parameters in a limited lab class time. So, the experimental method of “large group discussion first, then small group experiment” was put forward. Through this practice, students can not only master the basic experimental skills, but also obtain the complete experimental data for the conversion of methanol to gasoline. This practice has stimulated the students' interests in the experiment, improved the teaching efficiency, and finally achieved good results.

Key Words: Methanol to gasoline conversion; Ideological and political education; Professional laboratory of chemical engineering and technology; Blended teaching

1 实验背景分析

石油是不可再生能源, 我国的石油资源虽然并不匮乏, 但是开采难度和开采成本较高, 而我国的煤炭资源相对丰富, 在煤化工产业链的基础上, 甲醇和二甲醚的产能相对过剩, 所以将甲醇制备成汽油不仅可以消耗过量的甲醇, 还可有效缓解石油紧张的局面。由甲醇制备的汽油成本较低, 辛

收稿: 2021-05-20; 录用: 2021-07-14; 网络发表: 2021-08-12

*通讯作者, Email: changyanlong@lzu.edu.cn

基金资助: 2020 年度兰州大学教学改革项目; 2021 年度兰州大学实验技术创新基金(SYJJ-2021-11)

烷值高且不含硫，燃烧时可大大降低对大气的污染。在“绿水青山就是金山银山”的环保思想指导下，设计了“甲醇制汽油实验”，引领学生在做化工设计时以环保为前提，设计更加有利于国家经济发展的新型能源化工流程。在实验的设计和教学中将思政教学融入其中，弘扬社会主义核心价值观，激发学生的爱国情怀^[1-3]。

在理科较强的兰州大学化学化工学院培养工科的化学工程与工艺专业和能源化工专业的学生，培养的学生有很大的比例会继续进行研究生阶段的学习，所以需要进行大量的化工类综合性实验的培养，而将教师的科研项目转化成实验项目是丰富综合性实验内容的有效途径^[4]。

现阶段由科研项目转化的化学化工综合实验项目越来越多，但是科研性实验的特点决定了转化实验进行的时间一般都比较长，所以怎样让学生在实验有限的学时内系统地进行实验是需要仔细斟酌的，在有限的实验学时内组织学生有序、高效地完成科研转化类综合实验是本文探讨的内容。下面以甲醇制汽油实验为例，进行实验方式的论述。

2 实验教学设计策略

教学设计过程可用图1来概述。

图1 教学设计过程概述图

教学设计过程分为“六步走”，分别是“任务发放”“查阅文献和设计方案”“实验室讨论和实验”“实验后讨论”“报告撰写”和“修正改进实验”，下面根据实际教学来分别具体说明。

(1) 课外预习过程。

这部分对应图1的前两步。首先是在实验项目开始一周由教师在学习通平台上发布实验项目名称和简单的项目描述，要求学生在规定时间内进行文献的查阅和整理，并完成教师在平台上预设的问题，成绩合格后进入实验室。预习问题一般有：目前工业上制备甲醇的方法有哪些？为什么要将甲醇制备成汽油？制备过程中需要控制的重要的工艺参数有哪些？甲醇制汽油常用的催化剂有哪些？目前人们对甲醇制汽油比较认可的机理是什么？等等。这种“以问代讲”的形式能够更好地启发学生思考，使学生更深刻地理解实验的设计背景^[5,6]。考核成绩达到80分以上才可以进入实验室进

行实验。通过查阅文献资料了解甲醇制汽油的工艺流程特点，并设计相应的实验方案，整理成纸质版的预习报告。图2是学生前期预习、查阅资料和预习报告展示图。

图2 学习通答题图、数据库查资料图、预习报告图

(2) 实验前讨论、分组。

教师首先根据学生提交的预习报告了解学生调研情况，组织学生进行分组讨论，每组推选一名学生进行本组观点论述，进行全班统一讨论。教师结合学生讨论情况，帮助学生筛选出适合实验室设备条件的研究内容，如反应器温度可变范围、甲醇/水体积比优选范围、进料速度可控范围等。并通过提问的方式考查学生对甲醇制汽油流程和原理的掌握情况，衡量其能否达到对实验过程的整体把握。最终根据学生人数分发任务，进行分组实验。图3是学生进行集体讨论、分组讨论以及学生阐述观点等活动图。

图3 学生集体讨论图、分组讨论图、学生讲解图

(3) 进行实验。

进入实验室进行实验，教师引导学生认识实验室中相关装置，指导学生规范操作。如加压流量泵的流量控制、固定床反应器的床层温度控制、气相色谱的准确进样和分析等，使学生具有在规范操作的基础上可对设备的小故障进行排除和处理的能力。图4是教师讲授实验、学生操作仪表等图片。

(4) 实验后讨论。

实验结束后进行第二次讨论，结合各组结果进行数据分析讨论并给出实验方案修正意见。最后要求学生根据实验所用仪器画出流程图、分析计算实验数据并撰写实验报告。图5是学生实验后的大组讨论图。

(5) 实验修正和改进。

教师结合报告和讨论结果针对前面的“任务发放”“查阅文献和设计方案”“实验室讨论和实验”三部分进行反馈，根据实验报告和讨论的结果及时改进教学方法和实验内容，为后期实验的更新做准备。图6是学生的报告展示。

图4 教师讲授实验图、学生操作仪表图片、装填催化剂图、取样分析图

图5 实验后讨论图

图6 学生报告展示图

3 实验过程

3.1 实验原理

甲醇制汽油(MTG)是煤制汽油的后半段核心技术,气相的甲醇在催化剂表面经过脱水反应得到低碳烯烃(C_2-C_5),在催化剂的酸性位处,经过烷基化、环化、异构化等反应进一步生成含有分子量较大的烯烃、芳烃、环烷烃等成分的汽油。ZSM-5沸石分子筛是MTG工艺常用的工业催化剂,因为ZSM-5分子筛具有合适尺寸的孔道结构,且孔道的表面含有酸性中心,所以为甲醇的MTG反应提供了丰富的催化活性中心。ZSM-5上不同强度的酸性中心促进的反应不同,所以MTG技术的产物分布

主要取决于催化剂表面的酸性位分布，故可通过调节ZSM-5的组成或结构调整其酸性中心的分布，进而提高液态烃的选择性和汽油的产率^[7,8]。为了保证实验学时，催化剂选用工业级别的圆柱状ZSM-5催化剂，且没有进行进一步的处理，但是催化剂的优化处理等研究情况可以通过讨论的形式向学生灌输。

3.2 实验装置

图7是实验用的微型反应器，将甲醇和水按照一定的比例加入液体进料罐中，利用加压泵将物料打入预热器，加热到110 °C，进入微型反应器在催化剂表面进行反应，反应后经过冷凝器冷却实现气-液分离，分别取气相和液相进行分析，记录气体体积和液体体积。

图7 甲醇制汽油装置简图(左)和实验装置实物图(右)

1-液体进料罐；2-加压进料泵；3-预热器；4-固定床反应器；5-冷凝器；6-气液分离器；7-液体取样口；8-气体取样器；9-湿式气体流量计

3.3 实验流程

为了保证实验的平行可比性，同一大组选用相同Si/Al的新鲜催化剂。经过讨论和分析，发现反应物中甲醇/水的体积比、反应器床层温度对汽油的收率影响较大，所以在分组时选择同一小组的学生固定甲醇/水的比例，改变不同的温度，在实验学时内每个小组学生可以进行4个反应温度的实验。

在实验时每一小组学生都需要进行固定床的拆卸、催化剂的填充、固定床的安装、体系气密性检查、反应器升温、原料液进料、调节流量、气相取样、液相取样、色谱分析等步骤的操作，图8是实验进行的流程图。

图8 实验流程图

3.4 实验结果总结

用面积归一法计算产物中油相和水相中甲醇的含量，记录产物中油相和水相的体积。根据产物组成计算甲醇转化率，分析汽油组成、计算汽油收率、反应活化能。通过文献对比分析气相色谱图中的峰位，确定汽油中的各项组成。

图9是不同固定床温度下甲醇转化率变化图，图9(a)是不同甲醇/水比例时甲醇的转化率变化，图9(b)是不同进料速度下甲醇的转化率变化。在相同温度下，甲醇/水比值越大，甲醇的转化率越高。在相同的甲醇/水比值下，床层温度越高转化率越高，在400–420 °C下转化率达到最高。从图中还可以发现，随着温度的增加甲醇的转化率会下降。结合文献，发现其主要原因是由于催化剂的失活引起的。在指导学生分析实验结果时可以将催化剂失活的机理和分析手段等知识进行介绍。

图9 不同固定床温度下甲醇转化率变化

(a) 不同甲醇/水比例下甲醇转化率随床层温度变化图；(b) 不同进料速度下甲醇转化率随床层温度变化图

图10是不同固定床温度下汽油的收率。从图中可以发现，在甲醇/水比值是4 : 1时得到的收率比甲醇/水比值是3 : 1时的汽油收率高，并且在床层温度是400 °C时达到了13.1%的收率。

图10 不同固定床温度下汽油收率

4 成绩评定与教学效果

成绩评定强调过程性和终结性，通过跟踪学生实验全过程给出客观评价。成绩构成如下所示：实验预习(5%网上思考题+5%预习报告)、讨论情况(10%)、实验操作(30%)、实验报告成绩(40%)、纪律卫生(10%)。图11是学生近三年对本实验课程的评分情况。

图11 学生评教成绩

学生对实验教学过程的严谨性、实验内容的挑战性、实验方法的科学性、实验考核的合理性等方面给出了高于95分的分值。

本实验作为化学工程与工艺专业和能源化工专业的专业实验,目前经过三轮的实验教学实践,证明“大组讨论、小组实验”化工专业实验的方式可以极大地调动学生的积极性和主观能动性,使学生通过对具有固定床特性的微型反应器的操作,达到对甲醇制汽油流程的熟悉,在以能源化工为基础的实验开发方向上,引导学生了解最新的研究动态,应用已有的专业知识研发新技术。

经过改革,化工实验教学获评兰州大学教学成果二等奖,获批了多项兰州大学本科生实验技术创新基金,发表了多篇教学改革论文,出版了实验教材。并组织学生参加全国大学生化工实验大赛,获得国赛一等奖和二等奖。

参 考 文 献

- [1] 高德毅, 宗爱东. 中国高等教育, 2017, No. 1, 43.
- [2] 彭强, 龙春霞, 蒋赣. 广东化工, 2016, 43 (2), 151.
- [3] 夏晓红. 大学化学, 2021, 36 (3), 2009030.
- [4] 李树娜. 实验室研究与探索, 2018, 37, 181.
- [5] 邵伟, 张万群, 胡万群, 李维维, 盛翔, 柯玉萍, 杨凯平, 孙晴, 朱平平. 大学化学, 2021, 36 (7), 2012012.
- [6] 张琇, 倪志婧, 王薇, 王晓蕾. 实验技术与管理, 2012, 29 (2), 159.
- [7] 高珠, 刘鹏翔, 苏海兰, 堵俊俊, 常俊石. 工业催化, 2019, 27, 41.
- [8] 胡津仙, 胡靖文, 王俊杰. 天然气化工, 2001, 6 (6), 1.