

案例 5 从虚到实、持续改进的超重力旋转填料床硫化氢气体深度净化虚拟仿真实验教学设计

1. 介绍基本概况

超重力技术作为近年来兴起的一种过程强化技术,已广泛应用于吸收、精馏、萃取、反应等多个化工单元操作中,节能减排效果显著。通过深入企业进行现场调研,我们选择了超重力旋转填料床硫化氢气体深度净化作为虚拟仿真实验的建设内容。该实验涵盖了化工原理、物理化学、化学反应工程、化工机械等多门课程实践的要求,通过本实验的学习,可强化学生对化工过程强化基本知识的掌握,了解国内外化工最新前沿进展及设备结构与气体净化效果之间的构效关系,掌握超重力设备的结构设计和操作方法。该实验面向化工专业类大四学生开展。

2. 超重力旋转填料床硫化氢气体深度净化虚拟仿真实验的建设

2.1 实验内容

超重力旋转填料床硫化氢气体深度净化虚拟仿真实验涉及化学工程与工艺专业教学中多门核心课程的基础知识,为学生学习专业基础和专业课程起到承前启后的作用,实验对应的主要内容如下:

(1) 超重力旋转填料床的基本结构及过程强化原理。

超重力是指比地球重力加速度大得多的环境下,物质所受的力。利用超重力原理而创制的应用技术称为超重力技术。旋转填料床是一种典型的超重力设备,其内部超重力环境是借助旋转填料床旋转来实

现的，其中转子是旋转体，填料被装填在转子内，在动力驱动下转子及填料一起做圆周运动，液体通过高速旋转的填料，在超重力作用下形成了具有极大比表面积的微纳尺度的液滴、液丝和液雾，气体与液体之间的相界面积和界面更新速度显著增大，可大幅提高相间的传递速率，从而可实现化工装置的小型化，降低过程的能耗。

（2）超重力旋转填料床中填料结构对设备压降和传质特性的影响

旋转填料床气体压降、气液相界面积和体积传质系数均与填料的类型、尺寸、孔隙率等相关，通过对虚拟旋转填料床中填料结构和尺寸的更改，使学生更加直观地了解填料对设备性能的影响。同时，通过对填料的装卸过程还可以加深学生对设备结构的了解。

（3）超重力旋转填料床硫化氢气体深度净化的影响因素

硫化氢气体的吸收是一个化学吸收过程，其效率不仅与设备结构有关，还与气体流量、吸收液流量、气体中硫化氢浓度、填料转速等操作因素相关，各个因素相互影响，需通过虚拟仿真实验考察其对最终吸收效率的影响，并通过响应面法分析各个因素之间的相互作用关系，找出其中的关键因素。

2.2 实验教学过程

（1）老师进行超重力旋转填料床硫化氢气体深度净化虚拟仿真实验相关理论教学，对旋转填料床的结构和基本原理进行介绍，并且老师在学习通等相关平台上上传相关内容的数字化资料如课件、视频、文献等，学生可先通过平台进行理论知识学习。老师可以在平台上设

置理论知识自测，学生通过理论测试后，才可进入后续环节。

(2) 学生通过在机房计算机中本地安装的虚拟仿真软件进入超重力旋转填料床硫化氢气体深度净化虚拟仿真实验。学生可以先选择初学者模块进行软件操作方式、实验目的等的学习。虚拟仿真软件能够以真实的实验室环境，真实的实验设备，真实的实验流程等，让学生以第一视角的体验与交互模式对虚拟旋转填料床硫化氢气体净化过程进行操作，可通过调整设备结构参数和操作参数，使学生掌握旋转填料床的使用和操作。同时，虚拟仿真软件可对学生的操作痕迹(是否符合操作规范，操作步骤是否正确等)进行形成性评价。教师可通过软件后台查看学生虚拟仿真实验中各步骤的得分情况和总成绩，对学生输出的实验报告进行批改。只有当成绩合格，学生才能进行现场实验。

(3) 学生进行真实超重力旋转填料床气体吸收实验，采用二氧化碳气体代替硫化氢气体，参照虚拟仿真实验步骤进行实验，形成实验报告，教师根据学生的实验过程和报告给出成绩。

2.3 考核方法的设计

最终成绩由三部分组成：

(1) 预习成绩，学习完超重力原理基本知识后会有测试题目，根据学生答题情况获得相应分数；

(2) 操作成绩，虚拟仿真平台软件会对学生的操作痕迹进行形成性评价，获得操作分数；

(3) 报告成绩，结合学生实验报告的完成情况，给出报告成绩。

2.4 实验特色

当前学院的化工类教育面临着社会需求和技术更新的变化,化工专业教育的内容和模式需要重新思考和定义。面对当前实验教学内容单一,技术陈旧,实验实训成本高、占地大、受限制等现状,本项目提出利用虚拟仿真手段建立超重力旋转填料床气体净化工艺学习平台。

超重力技术作为近年来发展起来的一种新型过程强化技术已广泛应用于吸收、萃取、精馏、反应等化工过程,相比于传统的塔设备,超重力设备体积更小、能耗更低、效率更高,因此受到广泛关注。该内容的加入可弥补现有实验教学内容中技术陈旧单一、落后的现状,使学生接触到当前化工领域的前沿技术,开拓眼界。

2.5 建设过程的组织方式

该实验项目的建设由中北大学焦伟洲教授牵头,张超、袁志国、高璟、祁贵生、郭强、成尚元为项目的参与者。焦伟洲负责项目的总体规划工作,其余老师分为三个小组,分别是企业调研组(祁贵生、郭强)、模型建立组(张超、袁志国)以及项目推进组(高璟、成尚元)。企业调研组主要负责深入相关企业现场进行技术交流,收集技术资料和相关实验参数。模型建立组负责利用收集的数据进行超重力硫化氢气体吸收过程的建模,获得吸收效率与设备结构参数和操作参数的数学关系式。项目推进组负责与新东方仿真公司对接,推进虚拟仿真项目建设工作。三个小组在焦老师协调下每周进行一次例会,共享项目信息并讨论分析遇到问题的解决方案。项目初步完成后,全体人员都参

与项目的推广工作，收集用户反馈信息，对仿真软件进行调整优化。

2.6 建设过程中遇到的问题和解决方式

项目建设过程主要遇到两个问题，第一个是建设内容的确定，第二个是相关实验数据的采集。项目建设的内容既要体现先进性，同时也需要接地气，具有一定的实用性。为此我们深入企业交流，重点对超重力技术在企业中的应用情况进行了调研，最后发现近年来超重力技术在煤化工废气的处理，特别是硫化氢尾气的吸收方面具有极大的应用潜力，设备体积小，处理效率高，深受企业欢迎。因此我们确定选择超重力旋转填料床硫化氢气体深度净化作为项目建设内容。

硫化氢气体作为有毒有害气体，相关实验无法在学校开展，因此只能从企业获取相关实验数据用于项目的建设，但是由于涉及到企业核心技术，企业方面积极性不高。为此我们讨论后与企业进行协商，承诺项目建成后可用于企业技术人员的培训，才解决了实验数据的来源问题，并且将企业也纳入到我们项目推广应用范围。

3. 超重力旋转填料床硫化氢气体深度净化虚拟仿真实验的应用

本虚拟仿真实验已在中北大学、太原理工大学、太原工业学院、太原科技大学等院校进行推广，用于化工类专业大三大四本科生的实验教学，并且在首建农业科技集团和长治市霍家工业有限公司进行试用，用于技术人员的培训。

实验运行过程中，由教师团队人员负责反馈信息的收集和整理，形成统一改进意见后与东方仿真技术人员进行会议对接，逐条落实修

改意见。例如前期试用过程中,有学生反馈对超重力技术原理不了解,针对这个问题,通过教师团队和技术团队的讨论协商,在实验开始前添加了实验原理介绍模块,通过图解设备内部结构阐明实现超重力环境的技术原理,并且还设置了 5 道选择简答题,以检验学生的学习效果。