

# Self-Constructing Device Is a Strong Support to Improve the Level of Professional Experiment

He Yu

Faculty of Chemical Environmental and Biological Science and Technology, Dalian University of Technology, Dalian Liaoning  
Email: yuhe@dlut.edu.cn

Received: Oct. 5<sup>th</sup>, 2018; accepted: Oct. 19<sup>th</sup>, 2018; published: Oct. 26<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

Self-constructing the chemical experimental device can promote the combination of the theory and practice effectively. Students can grasp the basic method of chemical experiment through constructing the device by themselves. In the process, students may meet some problems in different experimental conditions and learn to solve them. Therefore, self-constructing device can improve students' ability to analyze and solve the practical engineering problems, promote the combination of theory and practice, enhance students' practical ability and improve experimental teaching level finally.

## Keywords

Self-Constructing Device, Improve Experiment Substance, Improve the Level of Teaching Innovation

---

# 自制装置是提高专业实验水平的有力支撑

余 贺

大连理工大学化工与环境生命学部, 辽宁 大连  
Email: yuhe@dlut.edu.cn

收稿日期: 2018年10月5日; 录用日期: 2018年10月19日; 发布日期: 2018年10月26日

---

## 摘 要

自制化工教学实验装置, 促进理论与实践的有机结合, 学生可直观地掌握化工实验的基本方法。通过自

制的装置, 将实验内容直接呈现, 加深学生对实验课的基本理论的理解, 研究不同工况, 不同条件的操作特性, 培养学生分析问题和解决实际工程问题的能力, 促进理论与实践的结合, 增强学生的实践能力, 提高实验教学水平。

## 关键词

自制教学装置, 改进实验内容, 提高教学创新水平

Copyright © 2018 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

人才是一个国家和社会发展的最重要的资源, 人才教育培养模式的探索一直是一个热点话题。专业素养教育倡导学生的再学习与创新能力培养, 从而适应时代的需要。培养出具有创新意识, 创新思维及创新能力和具有工程实践能力的高素质技术人才是工科院校的主要任务[1]。大连理工大学是教育部直属全国重点大学, 化工与环境生命学部是学校办学实力最强的学部之一。化工综合实验教学中心拥有一支85人高水平的教师队伍(其中教授26人、副教授/高工35人、工程师/讲师26人)。在打造化工科学前沿的路上, 自主设计完成化工实验装置, 研制出多套具有独立知识产权的实用教学实验设备, 建立起高水平的实验教学创新平台, 以满足加强基础、拓宽专业、培养能力、突出创新、培养大学生创新实验能力的办学理念。2012年获批教育部“十二五”国家级示范中心。

## 2. 自主研发实验教学设备装置, 提高实验水平

教学实验室承担着大学生的各类教学实验课, 是培养大学生自学能力、动手能力、科研能力和提高学生科学素质的最重要的场所, 实验仪器设备的状况、实验技术人员和教师的综合水平、均是影响实验的重要因素[2][3][4]。实验是知识的源泉, 在实验教学的实践中, 努力探索教育教学改革, 在自制教学实验装置取得突破。

### 2.1. 校化工原理实验室自制装置的发展

以成立于1953年的化工原理专业实验室为例, 在七十年代中期, 率先提出了化工原理实验装置小型化的改革思想, 依照教材的参数进行设计并加以实施设备装置的研制, 先后开发出流体阻力实验装置、流量计校正装置、离心泵性能装置、过滤实验装置、传热综合实验装置、精馏实验装置、气体的吸收实验装置、干燥实验装置等全套化工原理实验课程所需要的实验装置。同时, 依照设备的基本原理及操作流程, 编写出新的实验讲义, 对本科生开出了相对应的实验课程。这些实验装置的开发成功, 满足了本科教学实验的需求, 同时也是对全国化工原理实验教学起到了极大的推动作用。

1996年校化工原理实验室得到学校教务处的重点支持, 更新了筛板塔等所有实验所用装置, 教学实验的面貌焕然一新。并参加了2000年参加教育部举办的“全国高等学校教学仪器设备展示会”(见图1), 效果良好, 自身的开发能力也得到极大提升。

### 2.2. 实验装置的技术改进与新功能研发

在实践中探索, 在实验中发现, 不断进行完善。十几年来我们持续更新实验装置, 升级改造换



Figure 1. Self-constructing device  
图 1. 自制装置

代, 解决装置在实验中所存在的不足。采用现代的化工测试测量技术、AI 控制技术、集成显示技术, 以前瞻性的设计理念, 结合企业的实际生产过程, 将前沿的科研成果及时转化为实验教学内容。使实验装置具备了开设设计型或综合型实验的条件, 实验装置的技术水平和实验内容得到极大提升, 达到国内同类实验室的领先水平。

### 2.2.1. 流量计校正及离心泵综合实验装置的研发

应用最前沿的变频调速技术、高精度压力传感测控技术, 研制出“离心泵性能与流量计校正研究型综合实验装置”, 率先实现了测试数据数字化。使离心泵特性曲线测定、管路特性曲线测定、孔板流量计和文氏管流量计孔流系数测定, 离心泵串、并联操作及其特性曲线的测定和离心泵的气蚀现象观察为一体的, 单套装置完成多项实验研究内容的综合实验装置。

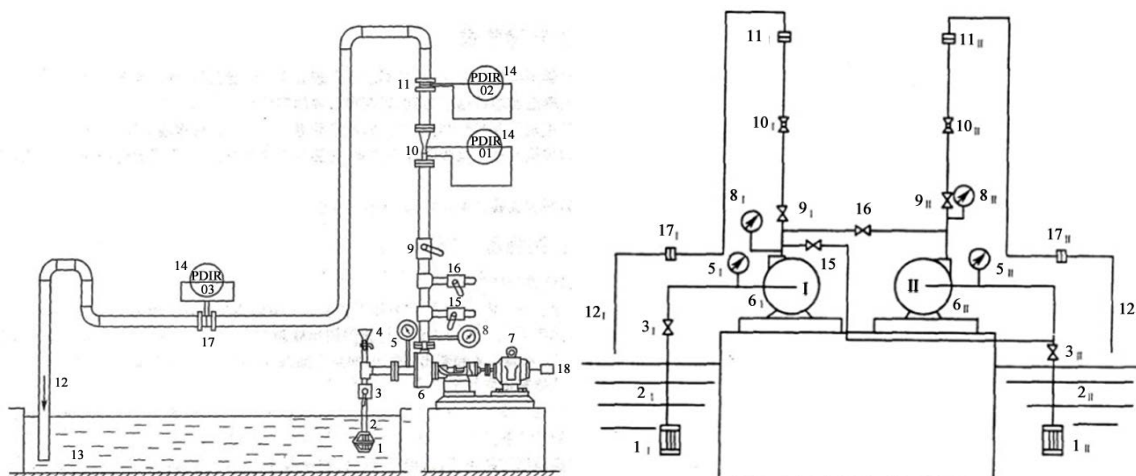
### 2.2.2. 实验装置的原理及流程图

实验装置流程图如图 2, 图 3 所示, 实验装置为两套对称的实验设备, 两套设备之间配有管线和阀门。每个单套设备中, 离心泵用三相异步电动机带动, 并加设变频调速装置, 电动机功率由瓦特计测定。在吸入口侧, 安装有单向底阀、过滤网、阀门、加水漏斗和真空度测量装置。泵的出口侧安装压力测量装置、出口调节阀和三个流量计, 分别为标准孔板流量计、被标定文氏管流量计和孔板流量计。关闭两套设备间阀门, 两套设备可分别独立完成单泵特性曲线测定、管路特性曲线测定和流量计校正实验。开启两套设备间的阀门, 可实现两台泵的串、并联操作。实验介质为自来水, 离心泵将水从水槽中吸入, 经滤网、单向阀进入吸入管段。吸入管线上的阀门可调节泵吸入口侧的阻力, 观察离心泵的气蚀现象。在离心泵的吸入口和排出口处安装的真空与压力测量装置可测量水的进口真空度和出口压力。出口阀门用来调节水的流量, 标准孔板流量计用来测量系统中水的流量。

### 2.2.3. 装置在实验中的使用效果及作用

新研制的实验装置完全采用不锈钢材质, 装置上所配备的测量及控制单元也全部选择为高稳定性高精度仪表, 测量的一致性高, 运行稳定, 实用性强。学生通过实验, 了解化工设备的内部结构、特点, 掌握化工实验的基本方法和实验技能。实验通常是按各单元操作原理设置, 其中的离心泵性能曲线测定和流量计校正分别用两套不同的实验装置完成。近几年来, 随着创新型人才培养的需要, 化工原理实验

也不断从基础的、单一功能的基本实验向综合型和研究型实验发展。通过进行综合型和研究型实验研究，学生可利用已有的理论知识，自行设计实验内容。从而，训练学生的创新能力和工程能力，提高学生的工程实践、工程设计、工程计算以及科研动手能力，熟练操作化工原理实验装置的动手能力。发挥学生的主观能动性，积极进行创新性思维，提高其发现问题、分析问题和解决实际问题的能力。



1-单向底阀及滤框；2-吸入管；3-进口阀；4-加水漏斗；5-真空度测量装置；6-离心泵；7-电动机；8-压力测量装置；9-出口阀；10-文氏管流量计；11-孔板流量计；12-排出管；13-水槽；14-压差测量装置；15-串联阀；16-并联阀；17-孔板流量计；18-电动机调频器

Figure 2. Centrifugal pumps and flow meter correction comprehensive experiment

图 2. 离心泵性能与流量计校正研究型综合实验装置图



Figure 3. Flow meter correction and centrifugal pump comprehensive experimental device

图 3. 流量计校正及离心泵综合实验装置

### 3. 自制先进的生产过程模型，搭建认识实习基地

通过自制“合成氨装置实习模块”、“成套催化裂化装置实习模块”，每年为700名本科生提供认识实践教学，为本科生的工程思维起到铺垫和引导，对工业生产的全过程有一个前瞻性认知。

#### 3.1. 前沿的合成氨装置模型开阔学生视野

1998年结合国内引进美国凯洛格公司的合成氨装置，这种以“烃类，蒸汽转化法”为基本流程，是国际认同的先进装置。校化工原理实验室以1:30制成模型，为学生提供前沿实习参考。管道、设备、工艺流程完全按照标准，并标注出不同颜色，不出校门就可以掌握先进装置的大部分内容。2000年参加教育部举办的“全国高等学校教学仪器设备展示会”(见图4)效果很好，得到其他相关院校的高度评价。

#### 3.2. 新的装置模型应用效果

化工认识实习基地是国内最早的校内实习基地之一，所有教学设施全部依据我校化工类学生的教学需要而自主设计。实践教学突出以实物硬件为主，视频，图像为辅的直观特点。随着声光电技术的发展，给了改进合成氨装置模型更新换代的空间，新装置模型采用透明材料，全方位，立体化灯光显示生产工艺流程。实验教学所用的成套合成氨装置实习模块(见图5)，成套催化裂化装置实习模块(见图6)完全以工程应用为背景，结合缩微化生产装置模型与可视化，完整的生产过程一目了然。



Figure 4. Self-constructing device model

图4. 自制装置模型



Figure 5. Synthetic ammonia installation model

图5. 合成氨装置模型



Figure 6. Catalytic cracking unit model

图 6. 催化裂化装置模型

#### 4. 科研成果转化为实验装置提高实验教学水平

化工实验实验室的实验装置有其独到的特点，许多工程类的装置，难以买到现成的产品，需根据实验课的教学内容进行自行设计搭建。选择教师在专业前沿上适合教学的先进科研成果，通过自制实验装置，及时转化为实验教学内容，走产学研相结合的路，提升实验教学质量。

##### 4.1. 低品位能量电化学转化及深度利用

2014 年选中绿色能源化工的前沿项目“低品位能量电化学转化及深度利用”。该项目涵盖能源和资源转化利用等重要基础产业，其应用范围已渗透于与国民经济发展密切相关的各行业，为实验教学提供了一个有效的实验及示范平台，加深学生对运用电化学原理进行能量转化与回收利用以及电化学热力学和电化学动力学的认识与理解，同时通过实验深入掌握培养学生在实践中节能、减排、环保意识，加强学生对所学专业之间的相互融合及在实际工程中发掘并解决工程问题的能力。

##### 4.2. 低品位能量电化学转化及深度利用装置结构框图(图 7)

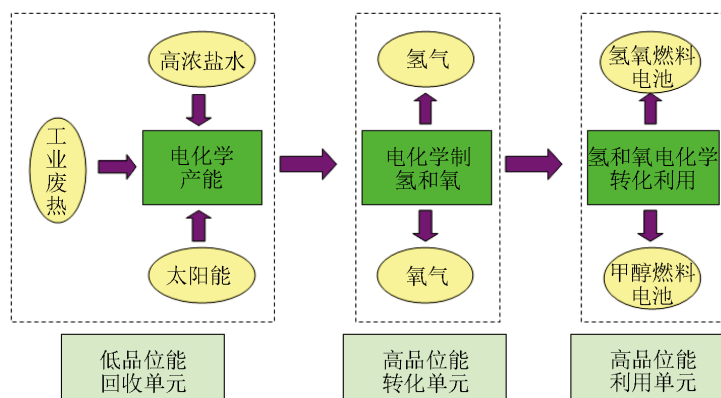
1) 低品位能量(废热、高浓盐水及太阳能)电化学回收平台，低品位能量电化学转化及深度利用实验平台，包括低品位能量(废热、高浓盐水及太阳能)电化学回收单元，高品位化学能的电化学转化成单元(电解水制氢及氧)及高品位化学能的深度利用单元(既可用于氢氧质子交换膜燃料电池，又可用于直接甲醇燃料电池的测试平台)。该平台可以实现电池配与性能测试。

2) 高品位化学能电化学转化平台(电解水制氢及氧)。其中，低品位能量的电化学回收单元，包括单电池组装及测试装置、单电池反应物的补给系统及多电池集成系统。主要部件包括电化学工作站、旋转环盘电极测试系统、温度采集器及控制器、盐度检测仪、溶氧仪、数据记录系统(微型电子计算机)。

3) 高品位化学能的高效利用平台(既可用于氢氧质子交换膜燃料电池，又可用于直接甲醇燃料电池的测试平台)。其中，电化学转化成高品位化学能单元，包括燃料电池膜电极、石墨流场及流场分配板、不锈钢端板 + 集流板 + 电木垫片、加热片 + 热电偶、冷冻干燥仪、超纯水系统、氢和氧分离装置，数据记录系统(微型电子计算机)。

##### 4.3. 实验的基本原理

式(1)Nernst 方程可用于计算电化学系统中相对于标准电极电位  $E^0$  的指定氧化还原反应的电极电位  $E$ 。



**Figure 7.** Low grade energy electrochemical transformation and deep recycling and utilization experimental platform  
**图 7.** 低品位能量电化学转化及深度回收利用实验平台

$$E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln \left( \frac{a_{red}}{a_{oxd}} \right) \quad (1)$$

对于电极由同种金属制成，但与其接触的溶液具有不同的离子活度的电化学系统——浓差电池，其电动势可以表示为式(2)。

$$E = E^0 + \frac{RT}{nF} \ln a_{M^{2+}}(II) - E^0 - \frac{RT}{nF} \ln a_{M^{2+}}(I) = \frac{RT}{nF} \ln \left( \frac{a_{M^{2+}}(II)}{a_{M^{2+}}(I)} \right) \quad (2)$$

可见，浓度差别在 1 个数量级的电解液，可将电动势改变 0.059/nV。因此、目前海水淡化工业、化工等企业所排放的高浓度盐水具有大量的潜在能量，若得以有效利用，节能效果显著。

然而，由高浓度盐水产生电的品质一般较差，不能并入电网传输或直接利用，这使电的储运与转化成为这些低品位能能否有效利用的关键。氢是非常清洁的能量载体，便于储运与转化，氢氧燃料电池是氢能清洁高效利用最典型的例子。因此，将低品质的电通过电解水转化为氢并再利用，已成为我国能源发展战略的一个重要环节。水电解池器中膜电极结构如图 1 所示，其阴、阳极发生反应如式(3)和(4)所示。



#### 4.4. 实验的目的及效果

1) 通过实验，让学生学会实现高浓度盐水中的低品位能直接向电能转化电化学装置的设计与使用方法。2) 掌握电解水装置的膜电极结构与系统组装方法。3) 将低品位能量电化学转化与电解水装置联用，掌握电化学系统能量转换效率的计算方法。2016 年建成了低品位能量电化学转化及深度回收利用实验平台，开出了 120 人、4 学时的实验课。直观地展示低品位能量电化学转化的原理实验，激发了学生们对绿色能源化工的兴趣(图 8)。

以此项目组队参赛队参加竞赛取得好成绩 2017 年参加在天津大学举办的首届美国化学工程师学会(American Institute of Chemical Engineers, AIChE)主办的 Chem-E-Car 竞赛(Cheical Engineering Car Competition)荣获全国第二名的好成绩，2018 年获得两个单项第一。

#### 5. 自制设备的现状及前景展望

实验教学是培养学生的实践能力的重要方面，而实验仪器又是实验教学的重要工具。实验室是培养



**Figure 8.** Transformation and deep utilization experimental platform actual diagram  
**图 8.** 转化及深度利用实验平台实际图

精英人才的摇篮，实验设备是培养人才的重要武器，理论知识及科学数据必需通过实验设备来检验[5]。新技术的变革也在不断推动着创新思维的发展。我们通过前沿的科研成果转化为自制的实验教学装置，及大地提高了实验教学水平。将先进的设计思想及理念融到实际的设备中，并通过实验的检验助推理论水平的提升。实验室应用自制设备装置，可在三个层次展开实验教学。第一类是基本型试验，学生通过这类实验一是掌握化工实验的基本方法，通过验证性实验加深理解基本理论。第二类是综合型实验，即在基本方法和基本操作的基础上，研究不同工况，不同条件的操作特性，培养学生分析和解决实际工程问题的能力。第三类是创新研究型实验，该类实验注重实验教学中的设计性和研究性，以满足教学目标对学生创新能力培养要求。通过自制化工教学实验装置，及时更新换代，确保教学实验装置的先进性及测量数据的合理性、可靠性、完整性和可重复性，使学生更好地掌握化工基本单元操作，理解化工课程的基本内容。教师通过设计改造实验装置，进一步增进理论结合实际的能力，更加生动的讲解实验原理及关键环节，使教学实验更具有实用性。下一步，瞄准自主控系统以及模拟仿真系统，将其引入到教学实验装置中，实现软硬件结合的新一代实验装置。自行开发有针对性实训装置带有精确数据采集，状态控制的软件系统。以此带动其他实训装置的建立，全视角，全方位展示化工实验能力与实验教学水平。

## 6. 结束语

科学实验是一个创造和发现的过程，运用已知的理论知识探索未知世界[6]。自制实验教学装置，激发学生们对传统知识及新技术的好奇心，树立起对科研的兴趣并立下勇敢追求未知科技的志向，对提升学生专业素养、团队合作精神、跨领域学习及交流的能力，对实验室建设、教学改革等方面都起到了明显效果[7][8]。

## 参考文献

- [1] 王生怀, Li Tukun, 徐风华, 等. 基于科研成果的大学生综合创新能力培养模式[J]. 实验室技术与管理, 2015, 32(12): 9-12.
- [2] 华中文, 凌亚文, 张玲, 等. 自制仪器在实验室建设中的作用[J]. 实验室研究与探索, 2002(s1): 91-92.



- 
- [3] 李如琦, 贺秋丽, 王辑祥, 等. 自制实验教学仪器设备, 促进实验教学改革[J]. 电气电子教学学报, 2008(s1): 71-74.
- [4] 杨应平, 曾延安. 光电信息类实验教学改革及实验教学体系[J]. 理工高等研究, 2006, 25(2): 127, 140.
- [5] 李欣荣. 提高实验技术人员科研能力的必要性及对策[J]. 实验室研究与探索, 2000, 19(4): 123-126.
- [6] 王长远, 霍晓奎, 刘琦, 等. 自制仪器对促进教学改革的作用[J]. 实验室研究与探索, 2012, 31(1): 117-118.
- [7] 夏有为. 培养实践能力 造就创新人才(三)——访美籍科学家交大密西根学院院长倪军教授[J]. 实验室研究与探索, 2015, 34(2): 1-3, 11.
- [8] 喻丽华, 张富贵, 何玲, 等. 专业课带动融合式实践教学的研究与应用[J]. 实验室技术与管理, 2014, 31(9): 176-178.

#### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2331-799X, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [ces@hanspub.org](mailto:ces@hanspub.org)