

采用“知识传授+创新研发”双螺旋教学模式，促进教学学科创融合

清华大学 建筑技术科学系 石文星

2019年11月23日

汇报内容

- 探索教学新模式的必要性
- 知识传授+创新研发教学模式
- 教学效果与今后的努力方向
- 结束语

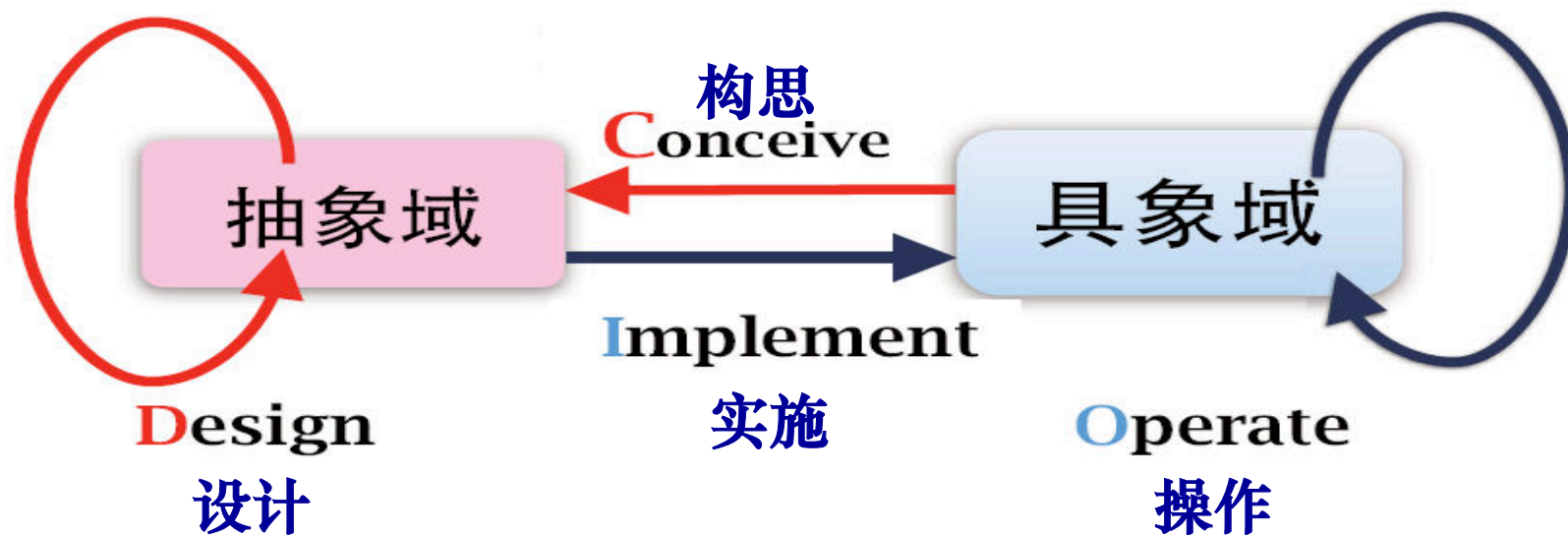
工程教育面临的难题与挑战



- 这些教育难题如何得到解决？
- **CDIO教学方法**是打开教学难题之锁的**钥匙**

什么是CDIO教学理念?

提炼知识的生命周期^[1] ⇒ 工程教育的教学理念



工程教育目标：

传播工程技术知识，激发当前和未来的工程师从构思、设计、实施和操作四个方面提高解决问题的能力

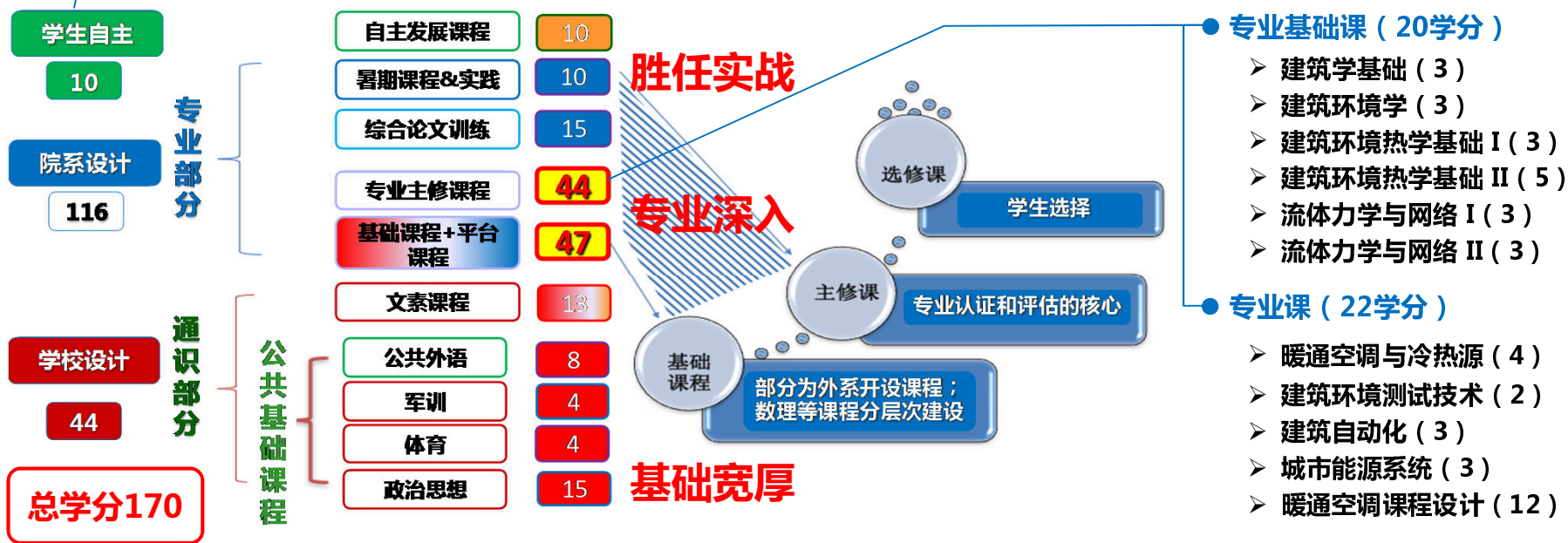
[1] 顾学雍. 联结理论与实践的CDIO——清华大学创新性工程教育的探索[J]. 高等工程教育研究, 2009, (1): 11-23.

清华大学·建环专业培养方案：课程体系

● 以《制冷与热泵装置设计》专业选修课为载体，探索解决问题的方法

○ 包括：**课程目标、教学方法、考核方法**

○ 上课时间：**第六学期，16课时，2学分+1~2学分**



解决问题的方法

- 确立课程的教学目标，强化培养创新思维方法及综合能力
 - ①学习知识、②培养方法、③锻炼能力
- 采用“**知识传授+创新研发**”**双螺旋式**教学模式
 - 教师主导的“**知识传授**”和学生主导的“**创新研发**”并行的**双螺旋教学模式**
 - 创新研发训练；课内、课外协同，实践→认识→再实践→再认识，实现学生知识学习和创新能力螺旋式上升
- 课内课外结合、**课赛结合**，保证有效学习时间和学习深度
 - 创新技术或产品的研发，制作样机，鼓励学生参加各类科技竞赛
 - 提高课程的“挑战度”，提升学习的难度和深度

汇报内容

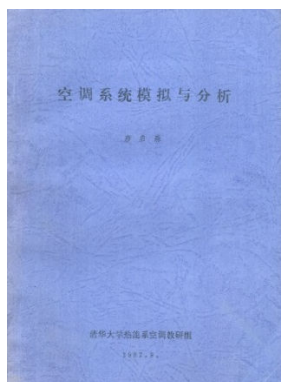
- 探索教学新模式的必要性
- 知识传授+创新研发教学模式
- 教学效果与今后的努力方向
- 结束语

课程历史

彦启森先生开设《空调系统模拟与分析》

彦启森先生退休

1996



师资力量

(暂停)

2003



主讲: 石文星
助教: 田长青 (博士后)

05

主讲: 石文星

07

主讲: 石文星
助教: 王宝龙 (博士后)

08

主讲: 石文星
主讲: 王宝龙

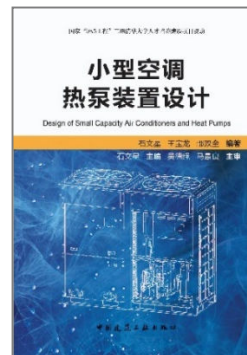
10

副课名: 空调热泵研发实战



主讲: 王宝龙
主讲: 石文星
助教: 研究生

13



《制冷与热泵装置设计(40990262)》

14

获得清华教学成果二等奖

15

获得清华大学精品课程称号

16

获得北京市教学成果二等奖

18

建筑室内热环境模拟及应用 (800001521, 2010年开课)

《小型空调制冷系统分析(40990102)》，2学分，课内32课时，面向本科三年级和研究生

- 在彦先生的倡导下，从2003年开始开设“小型空调制冷系统分析”选修课，逐渐成为一门基于OBE教学理念、深受欢迎的挑战性选修课

教学目标：课程定位

第一层次

● 学习知识

○ 系统、深入学习制冷空调知识

- 明确产品研发的环节及其工作内容
- 掌握产品的设计流程、设计思想、循环设计、热工计算、运行特性、自动控制以及性能评价方法

第二层次

● 掌握方法

○ 学习产品研发中的创新思维和实施方法

第三层次

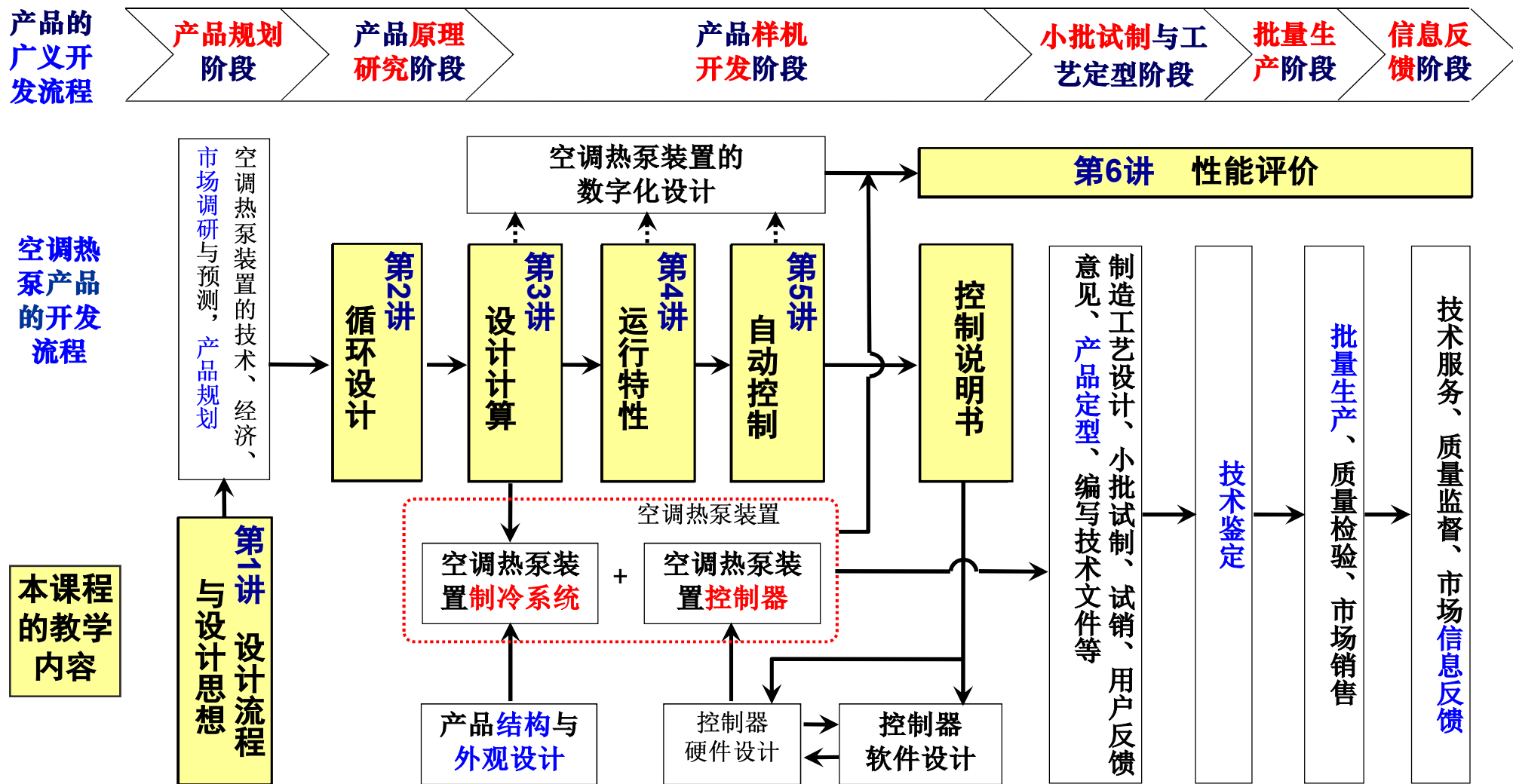
● 培养能力

○ 技术实现能力、组织协调能力、团队合作能力、语言表现能力

① **弥补不足**：教学体系中“**设备研发**”环节缺失

② **缩短三个距离**：从**基础理论到实际应用**、从**在校学生到产业工程师**、从**人才培养到社会需求**

教学内容：基于产品研发流程，设计教学环节和内容



- **重点讲述**制冷空调热泵产品研发过程**各阶段的设计任务**、需解决的**关键（技术）问题**

课程环节设计

● 教学方式

- 课堂讲授、创新研发（仿真训练）、交流讨论、现场教学相结合

● 具体做法

○ 创新研发

- **分组研发**：每组（3~4人一组）完成一种规格的制冷空调设备或部件的设计报告
- **课上讲评**、课后辅导、讨论
- **样机（模型）研制**（非必要条件）

○ 课堂教学

- 各组学生汇报周进展，教师&学生讨论、提出建议
- 新知识点授课（教师）

○ 现场教学

- **工厂**：企业专家结合产品讲解产品**研发思想、技术内容**，参观产品**生产流程**；企业负责人讲解**企业文化**
- **学校**：产品和部件解剖、分析

○ 提供**与教学环节相匹配**的辅导教材：电子讲义、教材



课程环节设计：仿真训练题目的选择

● 题目选择原则

- **工作量适中**（不宜太大，否则一学期难以完成）
- **具有一定的创新性**（技术创新、方法创新）

● 题目来源

- **自主选题**：通过调研，有学生自己提出具有市场潜力的产品（制冷热泵产品或部件）
 - **成功率、优秀率较低**
- **命题研发**：根据市场或工程实际需要，请同学们针对某一具体对象或要求提出自己的研发课题
 - 老师提前确定方向，具体方案由学生自主选择 → 考验老师
 - 例如：2005年“建环专业教学实验台”、2012年“北京故宫博物院倦勤斋夜间空调系统”，等
 - **成功率、优秀率较高**

课程环节设计：考核方式

传统考核方式
【试卷】

可能得高分 ←

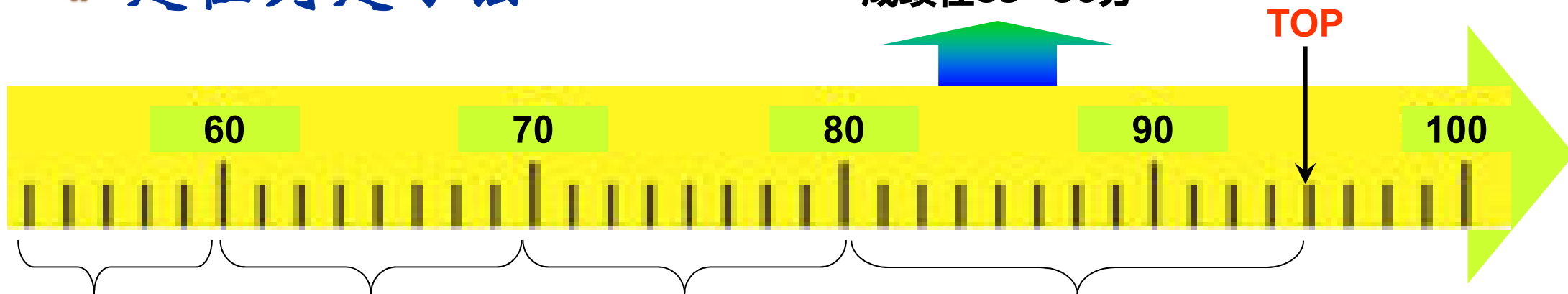
本课程考核方式
定量+定性

- 考核方式：**课赛结合、定量+定性**
 - 出勤、**工厂参观**和课堂讨论(20%)
 - 仿真训练成果 (**80%** , 3次考核**20%**、**20%**、**40%**)
 - 3~4人一组, 各组分别完成一种小型空调制冷装置或部件的《设计报告》
 - **主要内容**：**项目建议书、设计计算书、控制说明书；样机或模型**
 - **适当参考**：行业大赛专家点评意见和获奖情况
- **参加大学生科技竞赛**
 - 通过答辩, 表现最优秀的一组自动获得推荐参加“中国制冷空调行业大学生科技竞赛”资格 (清华大学1个名额, 自2010年开始)
 - 华北地区大学生制冷空调科技竞赛 (任意参加)
 - 参加全国大学生节能减排大赛 (自2013年开始)

课程环节设计：考核方式

定性判定方法

近年来，班平均
成绩在83~86分



- **未达 I 基本要求**
- **I、学习知识 +**
 - 上课全勤
 - 工厂参观、部件解剖
 - 参与上课讨论
 - 能够思考问题
- **II、掌握方法 +**
 - 设计报告完整、内容齐全
 - 计算方法正确
 - 积极交流讨论
 - 工作量适当
 - 阶段汇报表现
- **III、培养能力**
 - 样机研发、模型制作
 - 技术、协作、团队、语言能力
 - 克服困难的能力
 - 作品的创新性、专利
 - 参赛表现
 - 获得名次

教学条件：样机研发、实验条件、经费支持

● 实验室

- 实验室人员：协助样机制造
- 可重复利用零配件：利用985建设费购置样机制造的各种配件
- 提供实验平台和相关条件

● 经费

- 样机费用：任课教师经费➡研究所公共经费支持（2万元/年）+ 国创、北创+全国节能减排大赛等创新基金
- 清华大学“985”工程三期➡资助课程教材的出版

● 研究所支持

- 助教津贴：研究所自2014年开始资助1名研究生助教
- 教师资源：在课程作品的质量考核和课外指导环节，还得到研究所的各位老师的帮助和支持

课程特色

- 践行**CDIO教育理念**^[1]，解决行业实际问题
 - 真题真做；课堂教学、**创新研发**相结合
- 培养产品设计工程师的**基本素质**^[2]
 - 以**产品设计流程**和各个环节的**节能途径**为教学主线，探讨产品设计各阶段的**关键技术**问题
 - 弥补在学校难以学到但又至关重要的知识点
 - 贯彻产品研发的**质量管理**思想
 - 弥补**产品标准、知识产权**等知识
- 培养学生对产品研发的**宏观掌控能力**和**微观设计技巧**
 - 贯穿教学过程的全程**创新研发**，浓缩产品研发全过程
- 采用**课赛结合**的考评方式，检验学习成效

【总体特色】采用“**知识传授+创新研发**”的**双螺旋教学方法**，强调学生在课外的**创新思维培养**，并将课程产出与**竞赛（课赛结合）**对接，全面培养学生的**综合创新的实现能力**

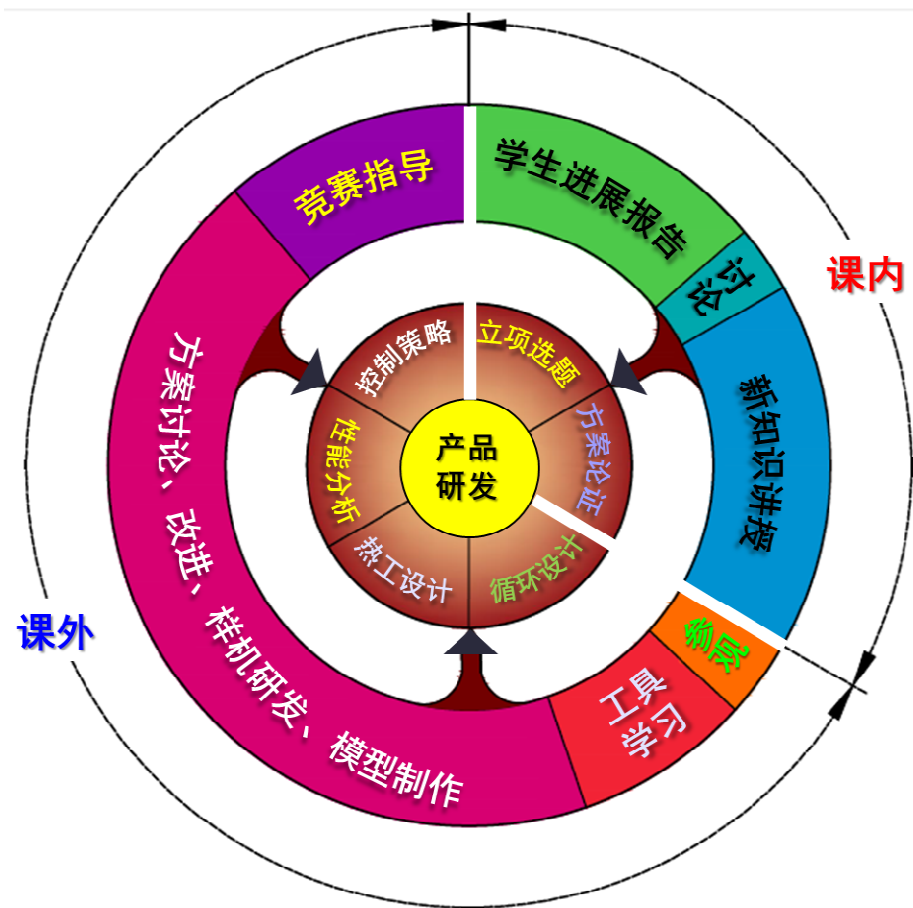
[1]顾学雍. 联结理论与实践的CDIO——清华大学创新性工程教育的探索[J]. 高等工程教育研究, 2009, (1): 11-23.

[2]石文星, 王宝龙, 李先庭. 基于CDIO理念的实战型工程专业课教学方法[C].//王泮浩主编. 制冷空调学科发展与教学研究: 第七届全国高等院校制冷空调学科发展研讨会论文集[M], 西安交通大学出版社, 2012.

教学模式：小结

- 以产品研发训练为载体，课堂活动为核心，驱动课后个人与团队的学习活动，产出高水平学习成果

- 课堂讲授 → 学习新知识
- 研发训练 → 研发新产品
- 学生报告 → 汇报新进展
- 师生研讨 → 解决新问题
- 工厂学习 → 开拓新视野
- 参加竞赛 → 检验真水平



教学环节示意图

汇报内容

- 探索教学新模式的必要性
- 知识传授+创新研发教学模式
- 教学效果与今后的努力方向
- 结束语

教学成果：学生成果

- **【成果1】** 科技竞赛屡获佳绩，激发了自信心和责任感
 - 自2010年开始，参加**中国制冷空调行业大学生科技竞赛**，获得**7个综合一等奖**、**2个综合二等奖**、**10个创新设计一等奖**、**10个创新设计模块一等奖**
 - 2013年开始，参加教育部**全国节能减排大赛**，获得**2项特等奖**、**6项一等奖**、**5项二等奖**、**1项成果转化专项赛银奖**
 - 2016年学生作品获得中国制冷学会**创新大赛三等奖**（全国第五名，无差别组竞赛）、2018年一、二等奖各1项
 - 挑战杯.....



教学效果：学生成果

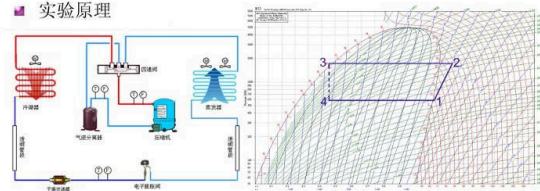
【成果2】 学生研发的教学实验台成为专业课实践教学设施

蒸气压缩式制冷原理演示实验台
A Demonstration Bench of Vapor-compression Refrigeration Principal

实验目的

本演示实验台展示出热泵型房间空调器的完整结构，通过教学演示实验和学生动手实验，使学生明确制冷装置的基本结构和蒸气压缩式制冷（热泵）原理。通过对制冷循环中典型位置制冷剂状态参数的测量以及通过透明管段观察制冷剂的状态，使学生明确制冷剂在制冷循环中各位置的实际状态，并根据制冷剂的压焓图进行制冷循环的热力计算，提高学生运用压焓图的能力。

实验原理



实验内容

蒸气压缩式制冷装置的工作原理演示实验

在热泵型空调器运行过程中，通过观察各典型位置的制冷剂压力、温度和状态（单相、气液两相）来了解制冷（热泵）循环的工作原理；通过调节电子膨胀阀的开启度、调节冷凝器和蒸发器风扇的风速来观察制冷剂状态参数的变化趋势。该演示实验在教学过程中进行，使学生对制冷装置有初步的了解，同时为“蒸气压缩式制冷循环实验与计算”做好实验准备。

蒸气压缩式制冷循环实验与计算

在不同工况条件下，测量房间空调器制冷循环典型位置（压缩机吸气、排气和膨胀阀入口）制冷剂的状态参数，在制冷剂压焓图上表示出该工况条件下的制冷循环过程，并计算单位质量制冷能力、冷凝负荷、压缩机理论耗功量、理论制冷系数和制冷效率；

在上述基础上实测压缩机的耗功率，根据吸气状态和压缩机的理论输气量等参数，计算空调器制冷循环的制冷量和质量流量、制冷量、冷凝负荷、制冷系数和制冷效率，从而比较理论制冷循环和实际制冷循环的差异。

本实验台的制冷设备由美的集团美的 Midea 捐赠

清华大学建筑技术科学系建筑环境与设备研究所



压缩机特性与制冷装置调控特性实验台
Compressor & Refrigerating Equipment Control Lab

实验目的

- 掌握一种压缩机性能曲线的测试方法，明确制冷压缩机性能曲线的分布规律
- 认识水冷冷水机组的结构，掌握冷却水温度与流量、冷冻水温度与流量、压缩机频率、电子膨胀阀开度等对制冷循环状态参数和制冷装置性能参数的影响规律

实验内容

- 变频压缩机性能曲线测试
- 制冷装置调控特性实验

实验台工作原理

该试验台包含三个部分：（1）由变频压缩机、套管式冷凝器、高压贮液器再热器、电子膨胀阀、套管式蒸发器、再热器和油气分离器组成的制冷装置；（2）由冷却水箱、冷水箱、电加热器、外部冷源和调节阀等构成的运行工况调节系统；（3）由压力传感器、温度传感器、功率检测仪、流量检测装置以及变频器、电子膨胀阀控制器等构成的制冷装置调节和检测系统。

在不同运行频率条件下，调节压缩机的吸气压力、排气压力及制冷循环的再冷度和再热度，测量压缩机的制冷量和耗电量，测定不同频率条件下压缩机的性能曲线。通过改变制冷装置各种外扰和调节参数，测试制冷循环各部位的状态参数和制冷装置性能参数，使学生明确压缩机的特性和制冷装置各种外扰和调节参数对制冷循环状态参数和制冷装置性能参数的影响规律。

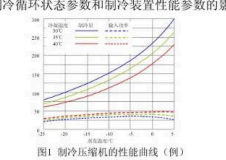


图1 制冷压缩机的性能曲线(例)

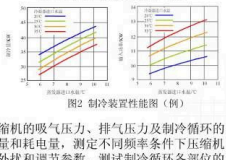


图2 制冷装置性能图(例)




图3 制冷系统调控特性实验台原理图

本实验台系统部件由美的集团美的 Midea 捐赠

清华大学建筑技术科学系建筑环境与设备研究所

教学效果：学生成果

- **【成果3】播下了创新种子，培养了科研素养，部分方案还解决了行业关键问题**

- **赵飞**：研究蓄冷运输，提出的**移动气象参数的构建方法**，为冷链物流特别是蓄冷运输的能耗预测提供了重要依据

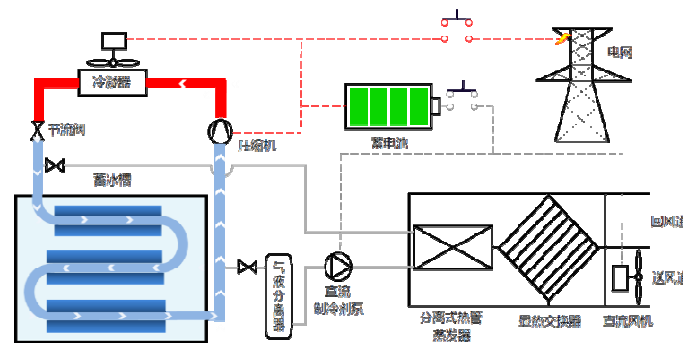
- 获中国制冷学会优秀论文奖

- **唐海达**：故宫博物院倦勤斋断电期间的**温、湿度控制方案**

- 经故宫博物院和国际文物组织评审，确定为工程应用方案

- **纪文杰**：烟气余热回收技术研究

- 获得国家发明专利



交流电—蓄电联合驱动应急空调



赵飞：创业_CoClean净化器

赵冶：2017年，入选福布斯亚洲30个30岁以下杰出人才榜单



纪文杰：该技术成为课题组**燃煤、燃气锅炉烟气余热回收工程的重要基础方案**

教学成果：教师成果

● 【成果4】 教学实践为学校教学改革提供了典型案例

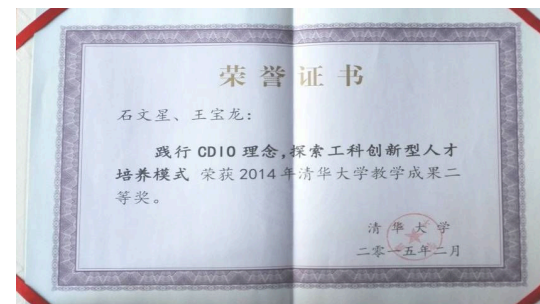
○ 教学思想：2014年获清华大学高等教育学会优秀论文奖

- 朱颖心、石文星. 对工科专业课程教学方法的思考[J]. (一等奖)
- 石文星、王宝龙、李先庭. 基于CDIO理念的实战型工程专业课教学方法[C]. 2012, 西安 (二等奖)

○ 教学评价：2016年获得清华大学校级精品课

○ 教学模式：2015年清华大学教学成果二等奖和2018年北京市教学成果二等奖

- 石文星、王宝龙. “践行CDIO理念，探索工科创新型人才培养模式”
- 马国远、张朝晖、石文星、姜明健、晏祥慧、白俊文、刘忠宝、王宝龙、毕月虹、周峰. “创办‘三三制’全国制冷空调科技竞赛，高校行业协同促进工程能力提升”



今后的努力方向

- 继续探索高效的人才培养方法，提高学生的创造力和批判性思维，通过**培养成效**，实现预期**培养目标**
- 欲实现课程的可持续发展，必须找到具有**吸引力**、具有**挑战性的**“**创新设计**”**题目**，这些**题目一定要来自企业**

清华大学·建环专业的培养方案

● 培养目标

- (1) 道德素养
- (2) 业务能力
- (3) 学识水平
- (4) 合作精神
- (5) 发展潜力
- (6) 社会责任感



● 培养成效

- (1) 知识运用能力
- (2) 科学研究能力
- (3) 工程设计能力
- (4) 团队合作能力
- (5) 工程分析能力
- (6) 沟通交流能力
- (7) 产业分析能力
- (8) 终身学习能力
- (9) 社会适应能力
- (10) 工程创新能力

- 学生作业仅是初步创意方案，必须加强与行业、企业的融合，促进可行方案的**深度研发**，缩短学生与人才的距离

汇报内容

- 探索教学新模式的必要性
- 知识传授+创新研发教学模式
- 教学效果与今后的努力方向
- **结束语**

结束语

- 用**CDIO工程教育理念**指导“制冷与热泵装置设计”选修课教学活动，取得良好效果，达到预期目标
 - **学习知识** ➔ 深入理解设备的运行机理和产品研发知识链
 - **掌握方法** ➔ 培养学生的产品研发中的创新思维和实施方法
 - **培养能力** ➔ 全面锻炼学生的技术实现、组织协调、团队合作、语言表现能力
- 16年的持续探索和教学实践表明：
 - “知识传授+创新研发”的**双螺旋工科教学方法**适用于工科挑战性选修课的教学
 - **课赛结合**的考评方式是检验OBE教学效果的重要途径之一
 - 今后尚需探索校企融合、协同育人方式，培养优秀的建环人才

谢谢各位老师！