

CPS与CDIO

新工科建设的路径探索

燕山大学 赵永生

2018年3月31日



主要内容

一、CPS与第四次工业革命

二、时代的召唤：新工科

三、新工科建设不可或缺的教育模式：CDIO

四、新工科与CPS工程教育改革实践——燕山大学案例



目 录

一、CPS与第四次工业革命





1.1 第四次工业革命来了！

18世纪中叶以来，人类历史上先后发生了三次工业革命，即将开展第四次：

1

“蒸汽时代”（1760-1840年），机器生产逐渐代替手工劳动

2

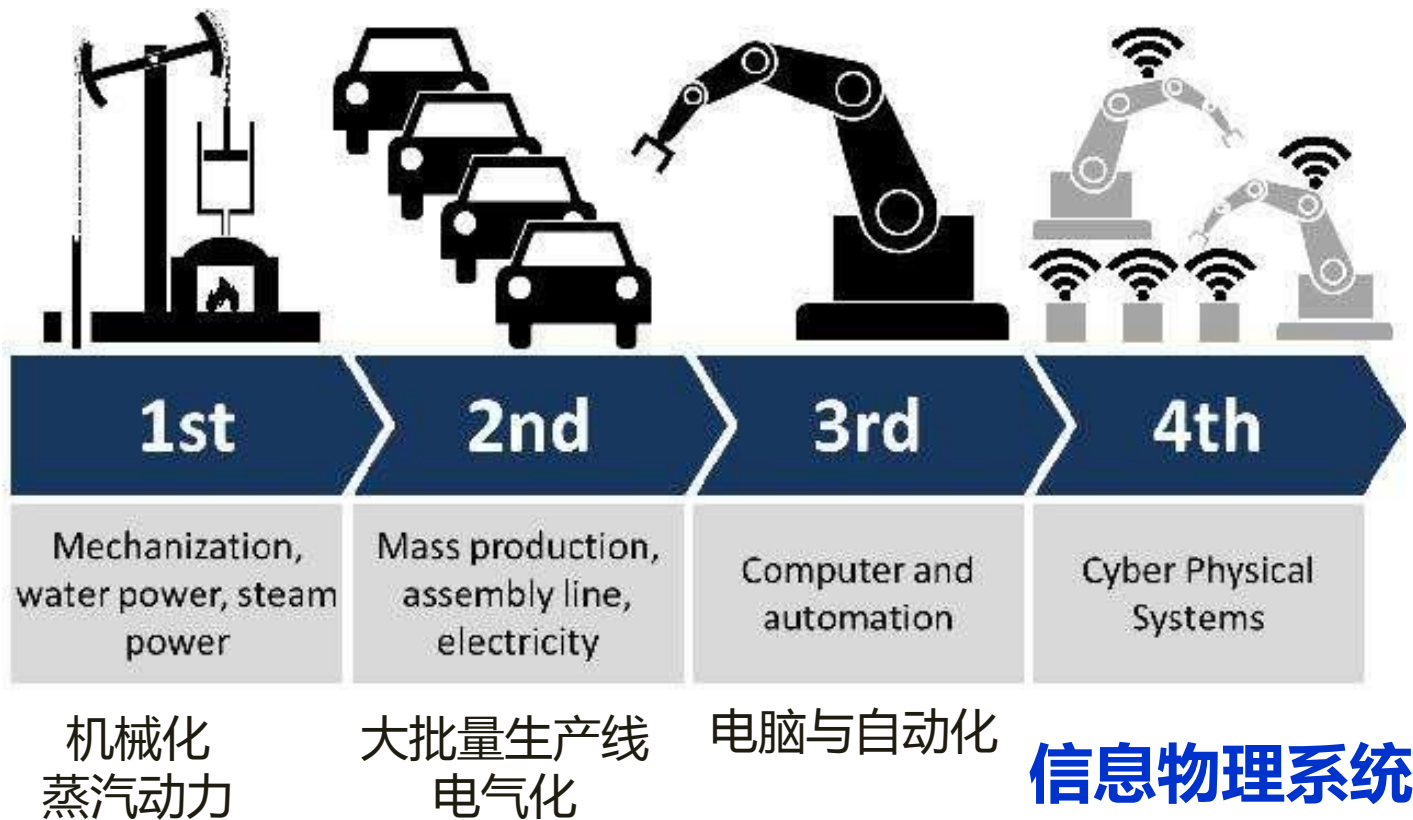
“电气时代”（1840-1950年），电灯、电话、留声机等发明与应有深刻地改变着人类的生活方式。

3

“信息时代”（1950-），个人电脑、超级计算机、互联网、机器人以及人工智能已经成为人们日常生活中的不可或缺之物。

第四次工业革命(? - ?)，最早是在 2011 年汉诺威博览会上，由三位大学教授提出来的。

1.1 第四次工业革命来了！





1.2 CPS基本内涵

CPS（即Cyber-Physical Systems），一般译成**信息物理系统**，是一个综合计算、网络和物理环境的多维复杂系统，通过3C（Computation、Communication、Control）技术的有机融合与深度协作，实现大型工程系统的实时感知、动态控制和信息服务。CPS实现计算、通信与物理系统的一体化设计，可使系统更加可靠、高效、实时协同，具有重要而广泛的应用前景。

2006年美国国家基金会举办的第一届CPS研讨会上给出的**狭义定义**。



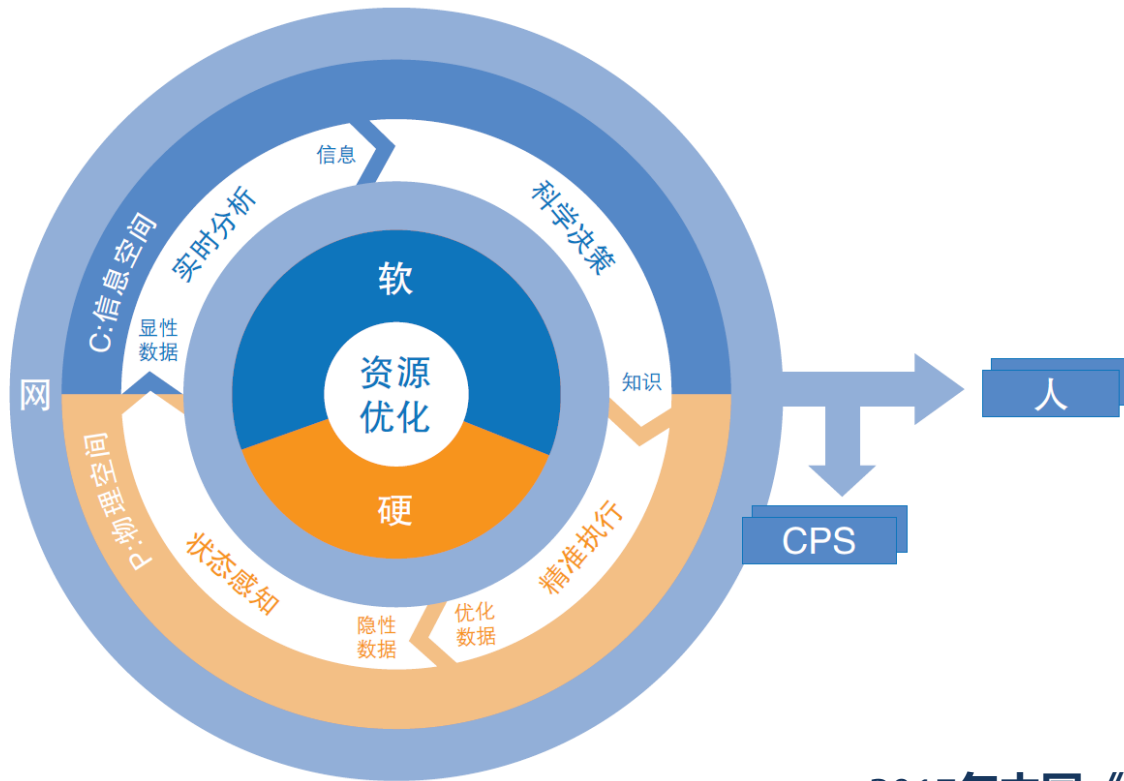
1.2 CPS基本内涵

CPS通过集成先进的感知、计算、通信、控制等信息技术和自动控制技术，构建了物理空间与信息空间中人、机、物、环境、信息等要素相互映射、适时交互、高效协同的复杂系统，实现系统内资源配置和运行的按需响应、快速迭代、动态优化。

信息物理系统的本质就是构建一套信息空间与物理空间之间基于数据自动流动的状态感知、实时分析、科学决策、精准执行的闭环赋能体系，解决生产制造、应用服务过程中的复杂性和不确定性问题，提高资源配置效率，实现资源优化。

2017年中国《信息物理系统白皮书》

1.2 CPS基本内涵



2017年中国《信息物理系统白皮书》



1.2 CPS基本内涵

A 21ST CENTURY CYBER-PHYSICAL SYSTEMS EDUCATION

A Report of

The National Academies of
SCIENCES • ENGINEERING • MEDICINE

美国国家科学院、工程院和医
科院曾发布了一项关于CPS的研究
报告，该报告主题为 **《21世纪的信
息物理系统教育》**。

该报告的中文部分主要参考了“浙江大学
中国科教战略研究院”编译的《国际工程教育
前沿与进展》2017年第二季中翻译的报告全文。



1.2 CPS基本内涵

信息物理系统（CPS）是产生并依赖于计算算法和物理组件无缝集成的工程系统。

CPS可以是小而封闭的，如人工胰腺，也可以是大而复杂且相互连通的，如区域性能源网。CPS工程关注物理实体与网络的相关性及相互影响。

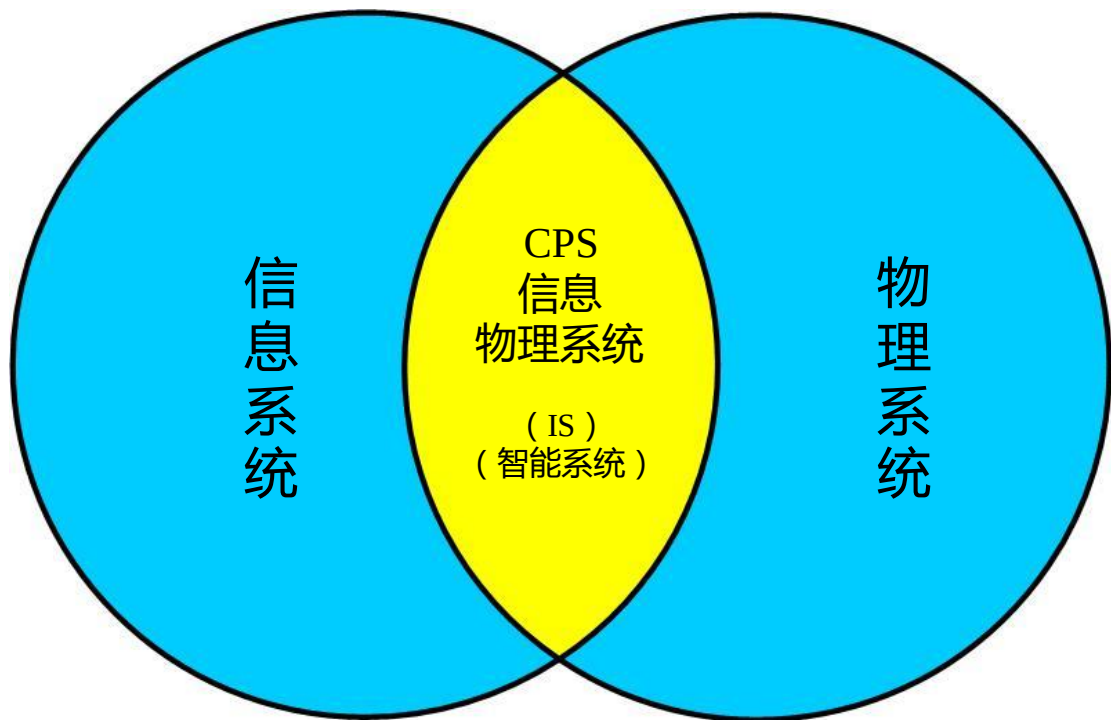


1.2 CPS基本内涵

CPS定义中，“**信息**/赛博”（cyber）是指计算机、软件、数据结构和支撑系统内部决策的网络，而“**物理**”不仅表示物理系统的部分（如自动化车辆的机械和电子元件），也指与系统交互的物理世界（如道路和行人）。

CPS与当今常用的术语如物联网、工业互联网、智慧城市，以及机器人和系统工程领域密切相关。

1.2 CPS基本内涵



通过信息系统与物理系统的融合，赋予冰冷的物理系统感知能力、自主控制能力、交流能力、和思考能力。

一句话，赋予物理系统生命和智慧。



1.2 CPS基本内涵

信息系统：由相互关联的信息基础设施、信息系统、控制系统和信息构成的系统空间。计算机、互联网、大数据、云计算、虚拟现实、人工智能等。

物理系统：指人、机、物等物理实体组成的多维空间。包括自然环境、人工产品和工程实体等。

信息物理系统（CPS）（IS智能系统）：是产生并依赖于计算算法和物理组件无缝集成的工程系统。包括智能物联网、智能制造、智慧城市，智能家居、智能装备（智能机器人、智能汽车、智能飞机）、智能商场、智能电网、智能交通网等。



1.3 第四次工业革命正向我们走来

目前，计算机、互联网、大数据、云计算、虚拟现实、人工智能等技术正处于高速井喷式发展阶段，这些高速发展的信息技术推动着以CPS技术为核心的智能物联网、智能制造、智能机器人等智能产品和智能系统的快速发展，人类社会将很快会进入到以CPS技术为核心的第四次工业革命时代！

以新技术、新业态、新产业、新模式为特点的新经济蓬勃发展。

面对时代的滔滔大势，我们要顺势而为，要勇于跃上时代的潮头，引领时代的发展。



1.4 世界主要工业国CPS研究发展状况

◆美国

2006年 发布《美国竞争力计划》，明确将CPS列为重要的研究项目；

2008年 发布《信息物理系统概要》，把CPS应用于交通、农业、医疗、能源、国防等方面；

2014年 组建CPS公共工作组；

2015年 正式发表《信息物理系统框架》；

2016年 美国国家工程院、科学院和医学院发布《21世纪的信息物理系统教育》，在分析CPS迅猛发展的势头及社会对CPS人才需求的基础上，就CPS人才培养的知识基础、教学途径、课程建设、培养层次和类型等问题提出了改革工程教育的思路。



1.4 世界主要工业国CPS研究发展状况

◆德国

2009年《国家嵌入式系统技术路线图》明确提出CPS是德国继续领先未来制造业的技术基础；

2013年 德国《工业4.0实施建议》将CPS作为工业4.0的核心技术；

2015年 建成世界上第一个已投产的CPPS实验室。



1.4 世界主要工业国CPS研究发展状况

◆ 欧盟

2007年 启动ARTEMIS (Advanced research and technology for embedded intelligence and systems) 等项目，计划投入超过70亿美元研究CPS，并将CPS作为智能系统的重要发展方向；

2015年 发布《CyPhERS CPS欧洲路线图和战略》，强调CPS的战略意义和主要应用的关键领域。



1.4 世界主要工业国CPS研究发展状况

◆日韩

2008年开始，CPS备受日本韩国关注；

韩国科技院等高等教育机构和科研院尝试开展CPS课程；

日本以东京大学和东京科技大学为首，主要研究CPS在智能医疗器件及机器人等方面的应用。



1.4 世界主要工业国CPS研究发展状况

◆中国

2010年 科技部启动863计划 “面向信息-物理融合的系统平台” 等项目；

2015年 《中国制造2025》明确了要加强信息物理系统的研发和应用；

2016年 《国务院关于深化制造业与互联网融合发展的指导意见》

2017年 《信息物理系统白皮书》正式发布。



1.5 21世纪的信息物理系统教育

A 21ST CENTURY CYBER-PHYSICAL SYSTEMS EDUCATION

A Report of

The National Academies of
SCIENCES • ENGINEERING • MEDICINE

美国国家科学院、工程院和医
科院曾发布了一项关于CPS的研究
报告，该报告主题为 **《21世纪的信
息物理系统教育》**。

该报告的中文部分主要参考了“浙江大
学中国科教战略研究院”编译的《国际工程
教育前沿与进展》2017年第二季中翻译的报告
全文。



1.5 21世纪的信息物理系统教育

一 基本计算概念	嵌入式硬件	二 物质世界的计算	传感器的特性和信号分析	三 离散数学和连续数学	图形理论与组合数学
	数据结构和算法		在开放环境和多种模式下使用传感器和制动器进行编程		概率、统计和随机过程
	计算模型，包括自动机理论（与CPS中广泛使用的有限状态机相关）和离散事件系统		实时嵌入式系统		逻辑
	编程		资源管理和约束条件，如时间、内存大小和功率		线性代数
	软件工程和基于模型的设计		针对物理系统不可靠性管理的冗余和容错技术		微积分和微分方程
四 传感 / 驱动 / 控制 / 通信和计算的交叉应用	实时操作系统和网络编程	五 集成控制 / 计算和通信的异质动力系统建模	物质世界的特性，包括不确定性和风险	六 CPS系统开发	安全性、弹性、保密性和隐私性
	控制原理，包括线性和非线性系统、随机系统、自适应控制、系统识别、混合控制		计算设备的特性，包括无线通信的局限性		需求开发
	动态系统的最优化和最优控制		通信系统的特性，包括无线通信的局限性		安全案例和危害性分析
	网络概念，包括无线通信、同步和异步通信及自组织无线（ad-hoc）网络		错误检测和校正		正式检验和确认
	实时分析，包括描述真实世界的信息源、时间触发或事件触发型控制、利用噪声数据决策的任务模型		物理建模和计算建模合并		基于模型的设计和工具
	使用控制、计算和通信模型的信号处理		信号、系统和有限状态自动机之间的共性		系统设计，包括系统演化设计和生命周期验证
	安全性、可靠性、相依性				物联网/云计算相关平台
	保密性与隐私性				在实验室和特定环境中测试CPS
	物理特性对软件需求的影响				
	人为介入和行为模式方面的人为因素				
	网络控制				

1.5 21世纪的信息物理系统教育

1.了解原理：通讯与网络、实时操作、分布式和嵌入式系统、硬件和环境的物理属性及人机互动

3.理解系统特征：动态随机系统的保密性、互用性、可靠性与相依性、电力和能源管理、安全性、稳定性与性能、人为因素和易用性



2.掌握基础知识：基本计算概念、真实世界中的计算、离散数学与连续数学交叉应用、建模、系统开发

4.软技能：终身学习能力、与不同学科团队合作能力、创业精神、灵活性和适应性、批判思维和反应能力

CPS工程师能力框架



1.5 21世纪的信息物理系统教育

CPS核心知识不仅涉及对物理工程和网络设计与实施基础知识的理解，还包括对物理层面和网络层面之间相互影响与作用的理解。

CPS教育计划应该提供基础知识，强调系统的网络 and 物理层面之间的交互作用。目前大多数课程都未能对其进行强调，这意味着需要有新的课程和教学材料。



1.5 21世纪的信息物理系统教育

传统工程教育计划与CPS专业化：

传统的本科工程教育专业（如航天工程、土木工程、机械工程和化学工程等）也将受益于CPS原理在课程中的整合。一些领域，如航天工程和机械工程，已经囊括了CPS原理有一段时间了，但主要从物质世界的角度进行整合。

因此，面临的挑战是要增加网络元素及其与物理元素的相互作用方面的知识。

目 录

二、时代的召唤：新工科





2.1 新工科应时代要求而生

当前，我国正在实施创新驱动发展、“中国制造2025”、“互联网+”、“一带一路”等重大战略，以新技术、新业态、新产业、新模式为特点的新经济蓬勃发展。

工程教育一定要以产业为引领，为经济社会发展服务，为党和国家培养可靠的建设者和接班人。



2.2 教育面临的变化和挑战

人才是第四次工业革命竞争的焦点！

目前，互联网、大数据、云计算、人工智能等领域的人才供不应求，尤其是高端人才更是奇缺。

相比于信息系统领域人才培养的规模和水平，智能制造、智能机器人等信息物理系统（CPS）的专业人才培养才刚刚起步，人才需求更加迫切，规模更大。



2.2 教育面临的变化和挑战

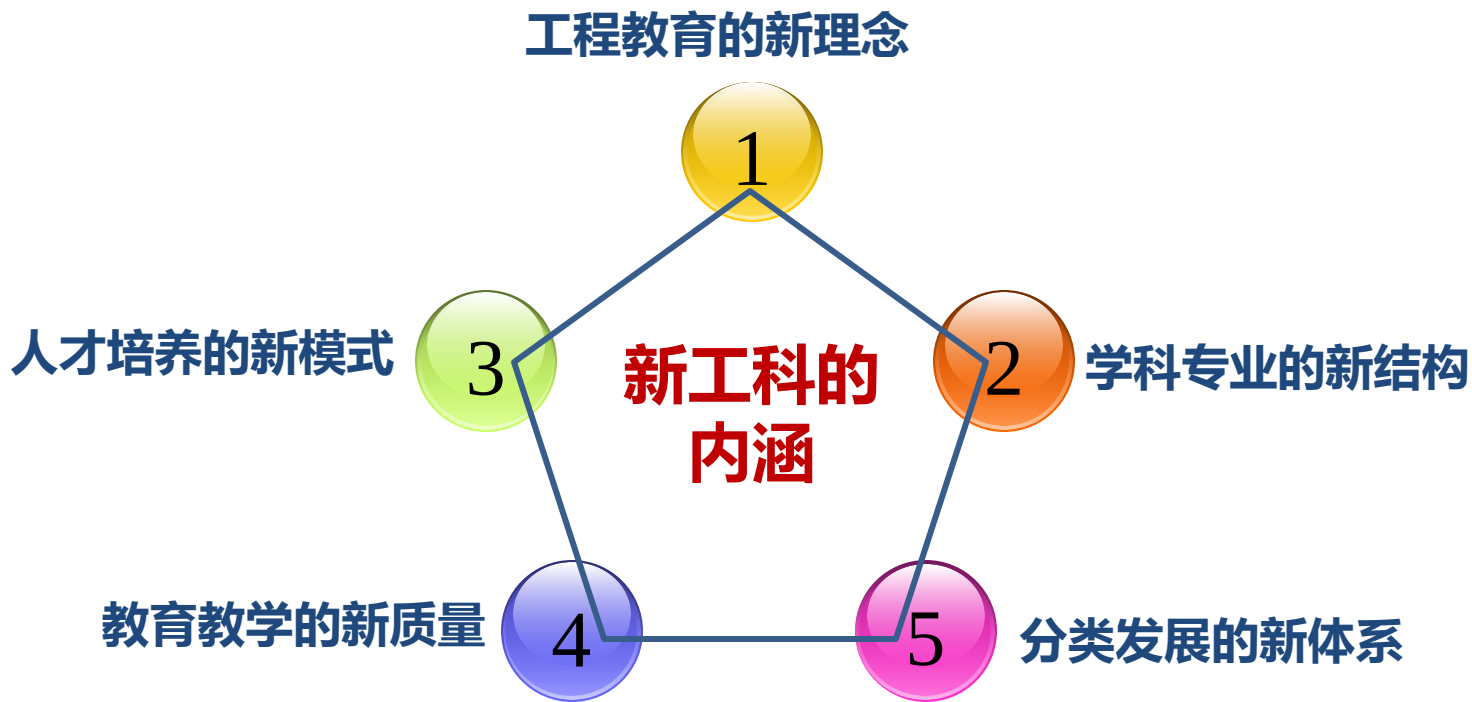
对未来工程人才的要求：

优秀的分析能力、实践能力、创造力、沟通能力、商业和管理知识、领导力、道德水准和专业素养、终身学习等是未来工程师应该具备的素质——美国工程院《2020的工程师：新世纪工程的愿景》

家国情怀、创新创业、跨学科交叉融合、批判性思维、全球视野、自主终身学习、沟通与协商、工程领导力、环境和可持续发展、数字素养等核心素养——中国的培养标准

可以说，新经济对人才提出的新的目标定位与需求为“新工科”提供了契机，新经济的发展呼唤“新工科”。

2.3 新工科的内涵





2.3 新工科的内涵

工程教育的新理念

- 立德树人，为中国特色社会主义事业培养可靠的建设者和接班人。
- 学生中心、产出导向、持续改进。
- 工程教育专业认证体系实现国际实质等效。



2.3 新工科的内涵

学科专业的新结构

- 原有学科专业的拓宽和升级改造。
- 原有学科专业的交叉融合，构建新的专业方向或新的专业。
- 紧密结合和跟进新技术、新业态、新产业和新模式。



2.3 新工科的内涵

人才培养的新模式

- 产、学、研协同育人新模式。
- 采用学生主体、教师主导的教学方法。探究式、问题导向式、项目式、翻转课堂、大班授课小班研讨。
- 理论教学、实践教学、课外创新创业活动一体化的培养体系。



2.3 新工科的内涵

教育教学的新质量

- 根据经济社会发展需求、学生的职业发展、学校的培养定位，制定专业培养目标（学生毕业5年左右的发展情况）。
- 根据专业培养目标制定专业毕业要求（培养标准）。
- 根据毕业要求制定课程体系和各教学环节的培养要求。
- 对毕业要求和培养目标的达成进行定期评估和改进。



2.4 新工科不仅仅是要加强专业教育

学生的充分和全面的发展是高等教育的出发点，当然也是新工科的出发点。

新工科更要加强通识教育。通识教育能够培育学生的人文情怀和责任意识，培养学生具备从道德上把握如何使用专业知识、技能和技巧，让学生看到不同价值体系间的冲突等。

新工科要努力突破过度僵化和专业化的教育模式，使专业教育充满活力与生机。转变过度刚性的专业概念，扩大专业内涵，增设跨学科专业和 multidisciplinary 交叉专业，加强专业之间的沟通与融合，采取以学生为主体、灵活多样的教学模式，在教学管理上要最大限度地为科研与教学的融合提供便利，让专业教学充满学术气息，具有更大的灵活性。

目 录

三、新工科建设不可或缺的教育模式：**CDIO**



3.1 CDIO工程教育理念

CDIO的模式、过程链与价值链



构思		设计		实现		运行	
目标	概念设计	初步设计	施工设计	元件制造	系统整合、测试	全生命支持	演化
-商业战略 -技术战略 -客户需求 -目标 -竞争 -项目计划 -商业计划	-需求 -功能 -概念 -技术 -构建 -市场定位 -法规 -供应商	-需求定位 -模型开发 -系统分析 -系统解构 -界面要求	-元件设计 -需求确认 -失效和预案分析 -确认设计	-硬件制造 -软件编程 -资源 -元件测试 -元件改进	-系统整合 -系统测试 -改进 -取得认证 -投产 -交货	-销售和铺货 -运行 -物流 -客户服务 -维护与维修 -回收 -升级	-系统改进 -产品家族扩张 -退休



3.1 CDIO工程教育理念

CDIO是现代工业产品从构思研发到运行乃至终结废弃的全生命过程。

CDIO工程教育理念就是要以此全过程为载体培养学生的工程能力，包括个人的工程科学和技术知识，学生的终生学习能力、团队交流能力和大系统调控等方面的能力。



3.1 CDIO工程教育理念

- 1个愿景（ vision ）：为学生提供一种强调工程基础的、建立在真实世界的产品和系统的构思 - 设计 - 实现 - 运行(CDIO)过程的背景环境基础上的工程教育。培养有专业技能、有社会意识和有企业家敏锐性的工程师。
- 1个能力大纲 —— 对学生4个层面的能力要求：工程师必须具备的工程基础知识、个人能力、人际团队能力和整个CDIO全过程能力以逐级细化的方式表达出来（3级、70条、400多款），使工程教育改革具有更加明确的方向性、系统性。
- 12条标准——对是否实践CDIO教学理念的判定标准



3.2 CDIO是一种教学学术活动模式

教学学术的标准

CDIO的12条标准

1.目标明确



- 学习目标（培养标准）

2.准备充分



- 背景环境
- 一体化教学计划
- 工程导论
- 工程实践场所

3.方法适当



- 设计-实现经验
- 工程实践场所
- 综合性学习经验
- 主动学习



3.2 CDIO是一种教学学术活动模式

教学学术的标准

CDIO的12条标准

4.结果显著



- 学生考核 (培养目标的实现)
- 教师能力的提升
- 教师教学能力的提高

5.有效表达



- 一体化教学计划 (教学大纲、教学文件)
教学改革论文、学术报告

6.批判反思



- 学生考核 (成果的达成评价)
- 专业评估 (过程评价和持续改进)



3.2 CDIO是一种教学学术活动模式

学术是高等教育发展的不竭原动力。

学术活动是大学发展的生命力所在。

持续不断的高水平的学术活动是大学人才培养和科学研究产出的强劲推动力。



3.3 CDIO是新工科建设最佳的教育模式和实施路径

CDIO是一种教育理念。以产品或工程项目的全生命周期为背景环境开展工程教育；学生中心、产出导向、持续改进。

CDIO是一种高等工程教育模式。将社会对工程人才的具体要求与工程系统的设计与建造和基本原理相结合，为工程教育制订出一套合理的、较完整的、通用的、**可操作的**教学目标，教学方法，教学路径和教学背景环境，使之适合工程教育的所有领域。

CDIO是一种教学学术活动模式。具有很强的开放性和包容性。

CDIO是新工科建设不可或缺的教育理念与教育模式。

目 录

四、新工科与CPS工程教育改革实践

—燕山大学案例





新工科与CPS工程教育实践概况

1.开展新工科和CPS教育理念和理论知识学习宣传；

■ 已开展2轮的全员培训和宣讲，开展了大量的专题培训和研讨，购买和印刷学习书籍和资料，下载发送相关报告。

2.开展新工科和CPS教育教学改革立项，工程教育的改革落地实施。

■ 学校进行新工科建设和CPS教育改革的顶层设计，在新专业设置与专业转型升级，拓宽专业内涵，改进专业培养方案、课程品质提升与新课程建设、课程项目体系建设、产学研合作等方面开展教改立项。



修订和提升专业培养方案的指导思想

按照“宽口径、厚基础、高素质、强能力”的人才培养原则和“通识+专业”的培养框架，全面贯彻“以能力为导向，学生为主体、教师为主导”的教育理念，深化本科教学改革，突出学生创新创业实践能力的培养，始终坚持以**人才培养目标的达成**为教学评价核心标准。



修订培养计划的基本原则

- “宽口径、厚基础、高素质、强能力”的人才培养原则和“通识+专业”的培养框架。
- 专业培养目标。社会需求与行业引领，加强创新创业能力培养，全面发展学生的知识、能力和素质。
- 全面引进和落实OBE和CDIO教育理念，研究和参考工程教育认证标准。
- 精心构建以二级项目为核心的专业课程项目体系。
- 实现专业建设和课程建设的有机结合，通过课程建设实现专业人才培养目标的达成。



案例1：机设专业基于课程项目群的二级项目教学体系构建

CDIO OBE CPS 新工科

例：机械设计专业课程项目列表（2017年）

序号	课程名称	课程项目	开课学期	学时
1	机械设计学	三级项目	6	24
2	测试技术	三级项目	6	32
3	弹性力学基础	三级项目	6	32
4	机械系统动力学	三级项目	6	32
5	机械系统设计	三级项目	7	32
6	现代设计技术	三级项目	7	40
7	机械制造工程学	三级项目	7	32
8	机械系统设计及制造课程设计	二级项目	7	4周
9	专业技能实践	二级项目	7	3周

课程群

课程项目群



案例1：机设专业基于课程项目群的二级项目教学体系构建

总体思路：以二级项目为核心，课程三级项目与二级项目无缝集成。

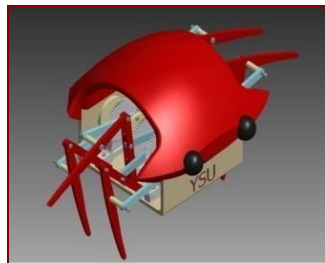
主要目的：实现专业主干课程群内部的有机融合，实现课程理论教学与课程项目实施的有机融合，使学生有充分的时间在教师团队指导下，获得一个项目CDIO全过程的创新创业实践训练，全面培养学生专业综合能力，**重点培养学生解决复杂工程问题能力。**

具体方法：将二级项目任务分解，融合到主干专业课程的三级项目当中，在一年的时间里统筹实施。

意外收获：搭建了一个**基于课程项目群的机设专业二级项目教学体系。**



案例1：机设专业基于课程项目群的二级项目教学体系构建



方案设计



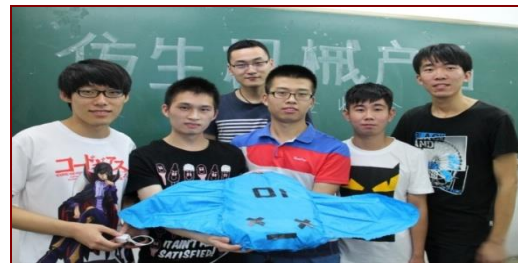
加工制作



集成安装



动作调试



结项答辩



答辩现场



答辩后的师生总结交流



案例1：机设专业基于课程项目群的二级项目教学体系构建



全自动蘑菇烘干机



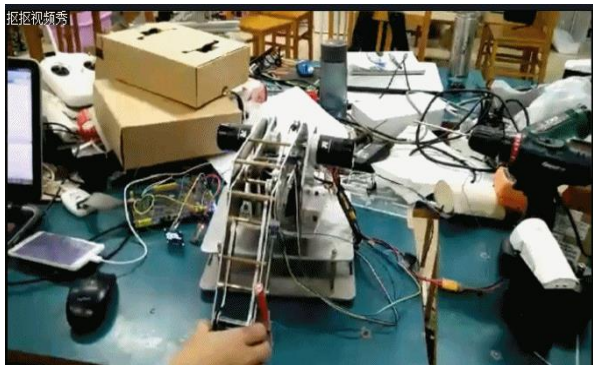
龙卷风发生器



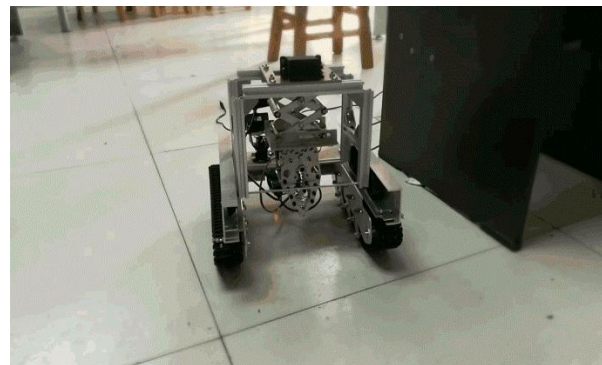
多功能加工机床



小型洗衣机



示教机械手



水下捕捞机器人



案例1：机设专业基于课程项目群的二级项目教学体系构建



变曲率反缠绕机

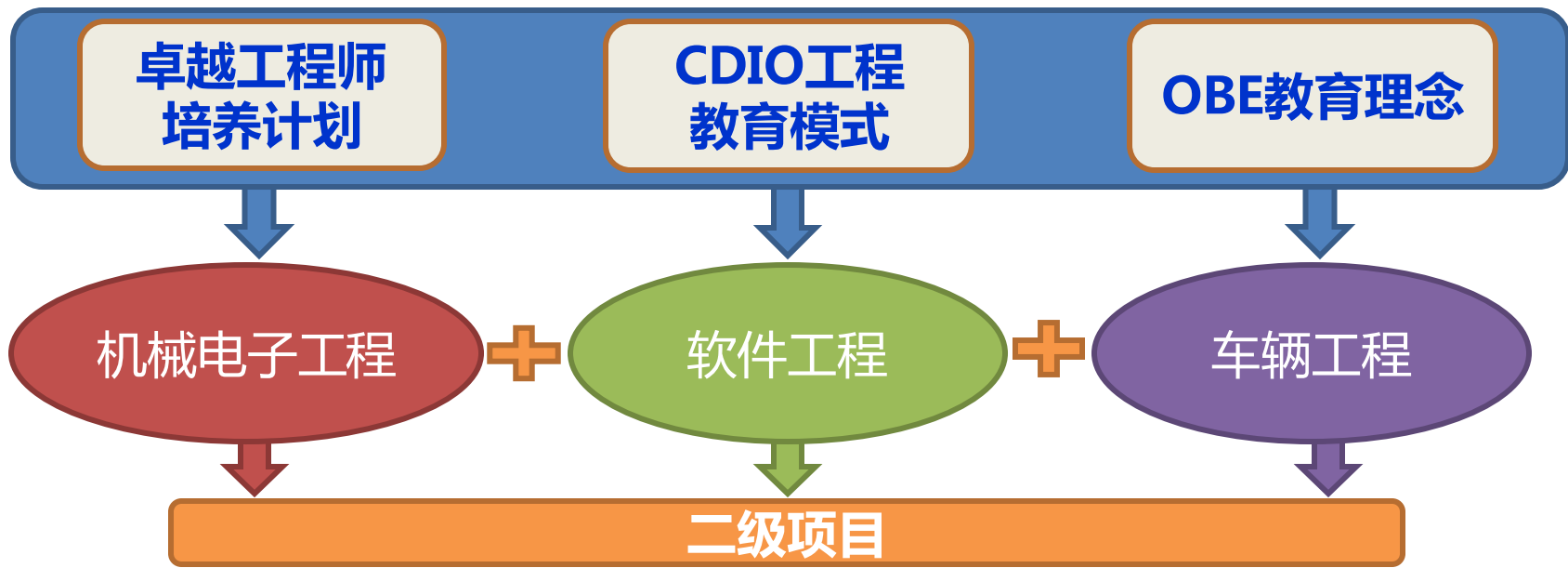


自动接管机



案例2：机电专业以赛促学的人才培养实践教学

面向智能机器人工程人才培养的多学科交叉融合课程研究项目

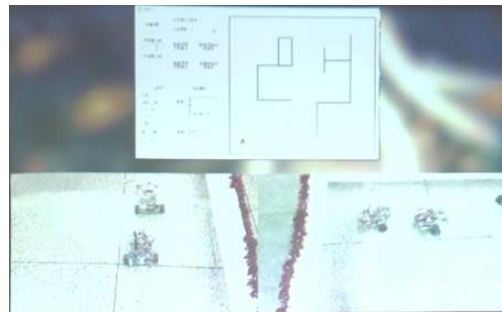
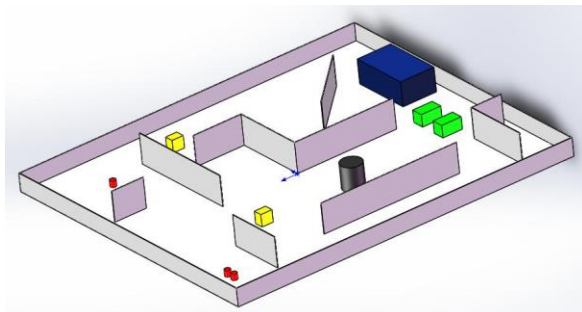




案例2：机电专业以赛促学的人才培养实践教学

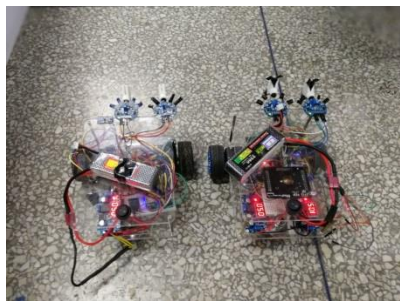
面向智能机器人工程人才培养的多学科交叉融合课程研究项目

构建虚拟火场，由母车负责总体指挥与携带相关设备，由SLAM车负责探测构建场景地图，由侦查小车负责侦查火源位置，由执行小车负责进行火灾扑灭。

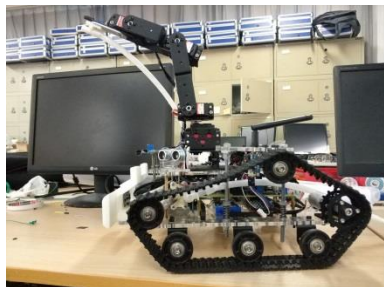


案例2：机电专业以赛促学的人才培养实践教学

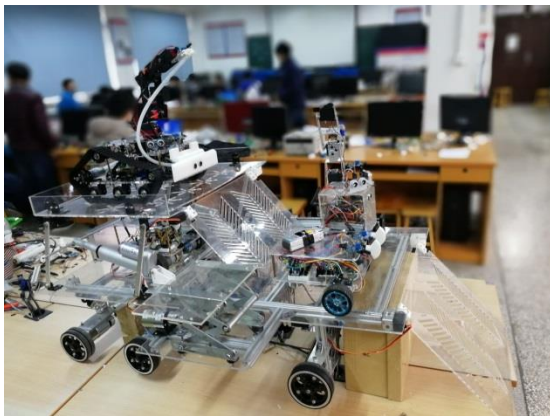
◆智能机器人系统设计、竞赛与表演



侦察车 - 消防检测



执行车 - 消防灭火



母车 - 指挥决策中心



侦察车 - 地图构建

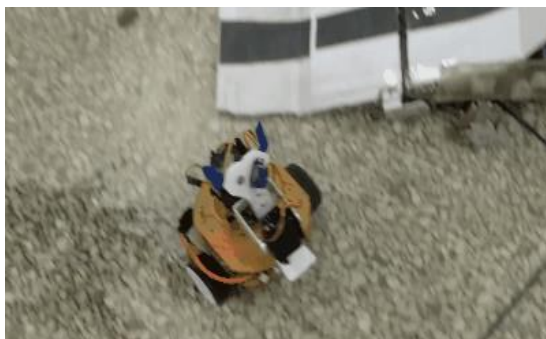


案例2：机电专业以赛促学的人才培养实践教学

◆智能机器人系统设计、竞赛与表演



母车平台



子母车



全自动保姆车



SLAM地图车



智能消防车

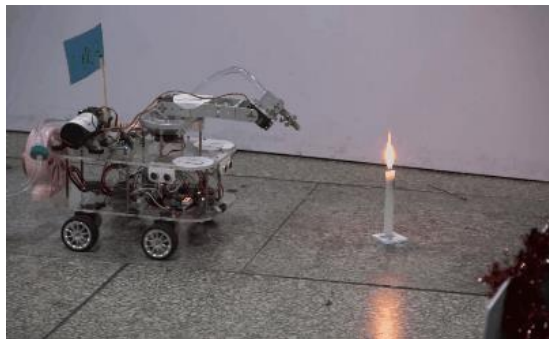


工程机械

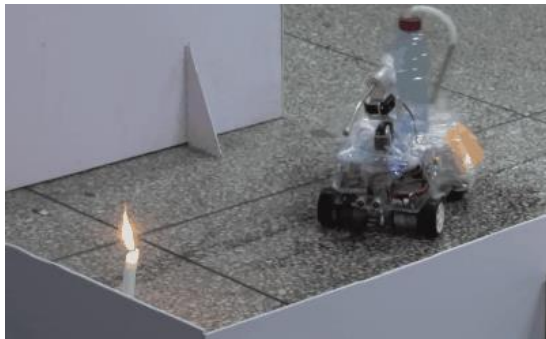


案例2：机电专业以赛促学的人才培养实践教学

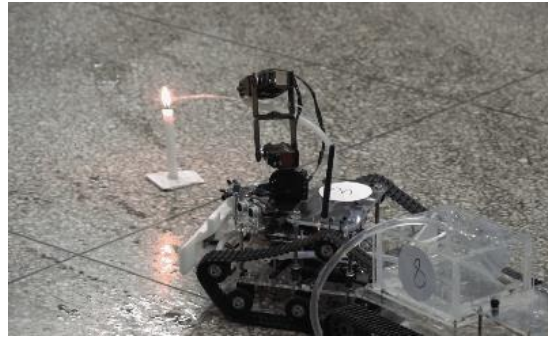
◆智能机器人系统设计、竞赛与表演



智能消防车1



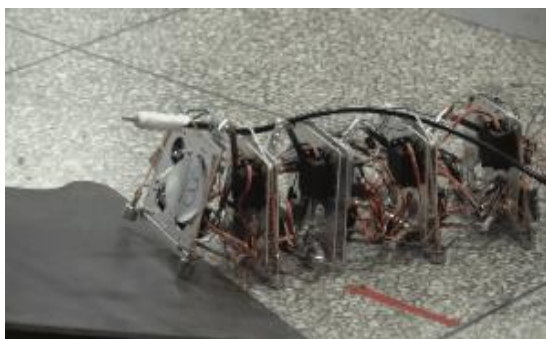
智能消防车2



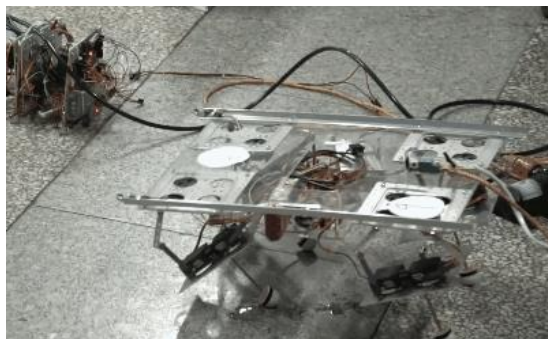
智能消防车3



自动灭火机器人

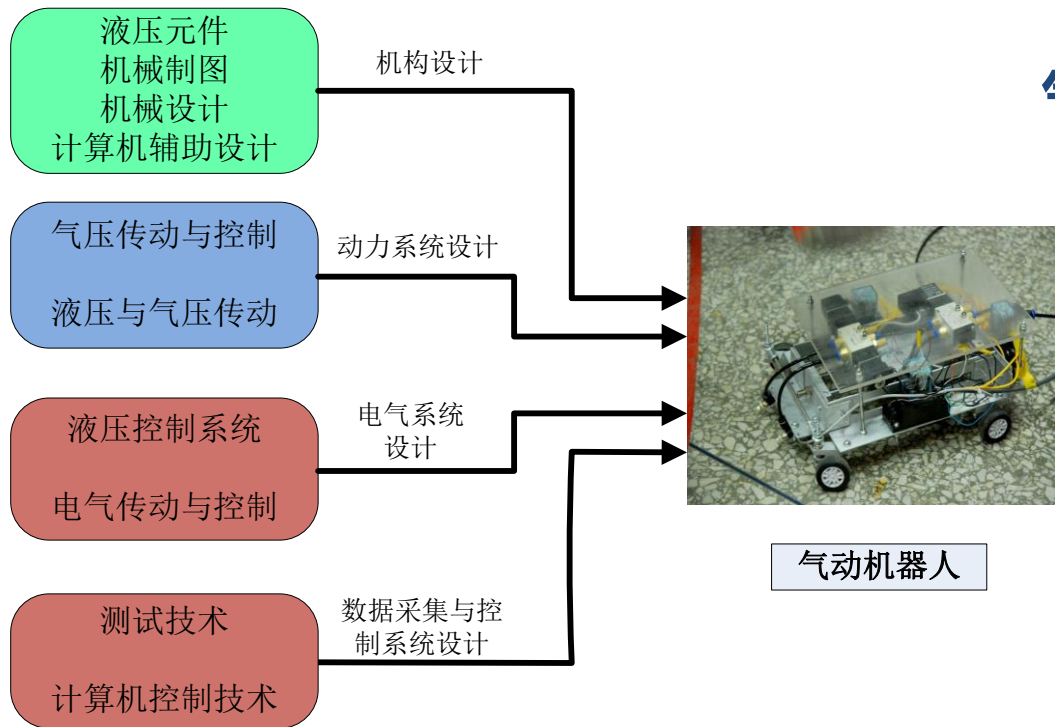


蛇形仿生机器人



仿生四足机器人

案例3：基于CPS关键技术的气动机器人二级项目



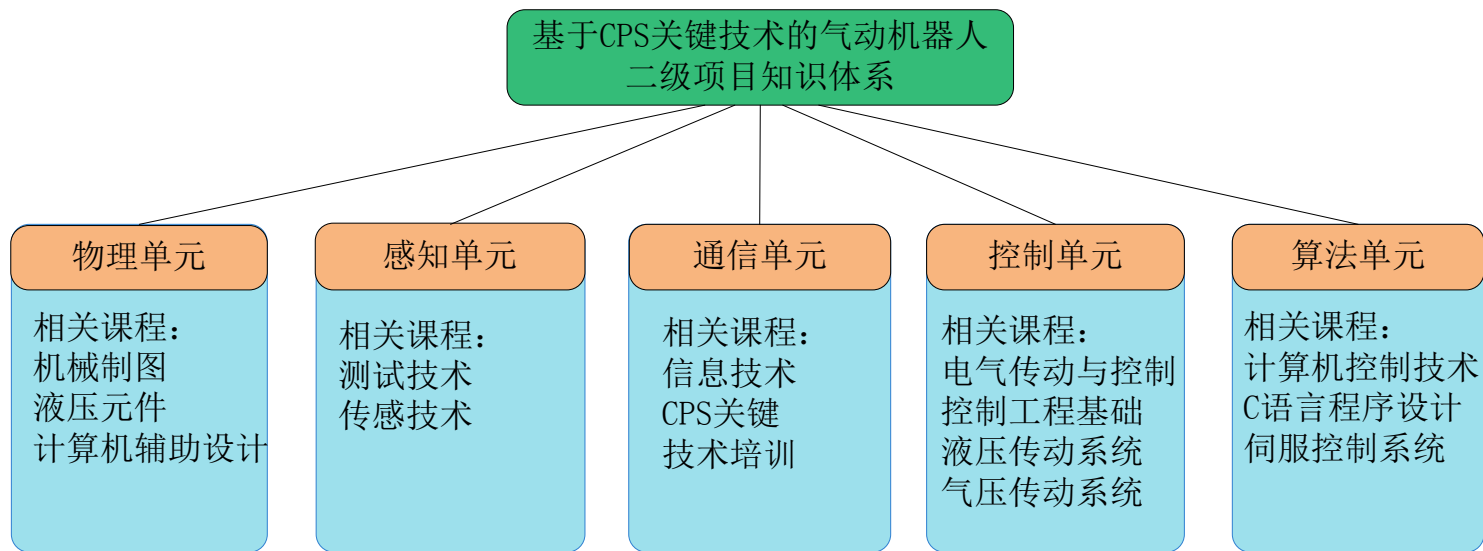
气动机器人引入CPS的原因：

无环境感知
无协作
无网络通信



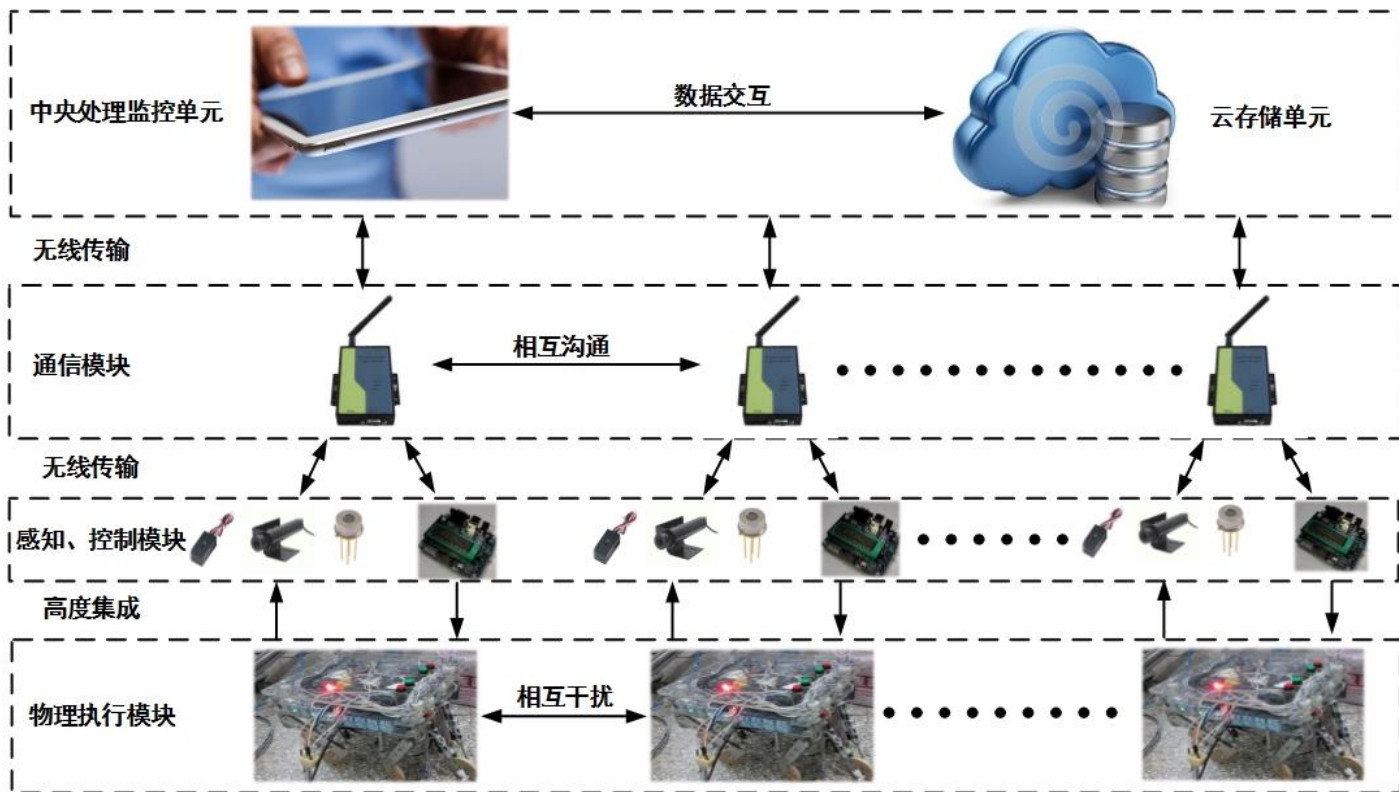
案例3：基于CPS关键技术的气动机器人二级项目

目的：使学生具有**机电液测控通信网络**先进的完善的符合时代前沿技术的知识体系



案例3：基于CPS关键技术的气动机器人二级项目

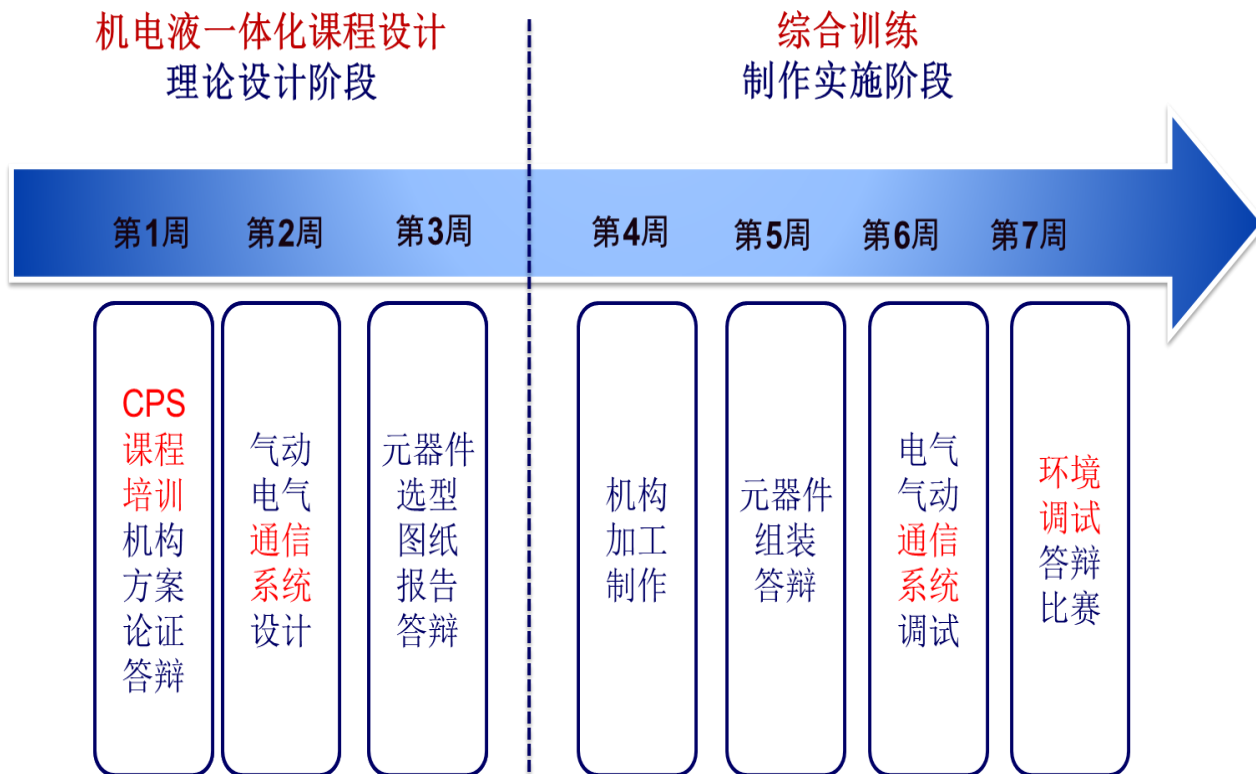
项目实施方案



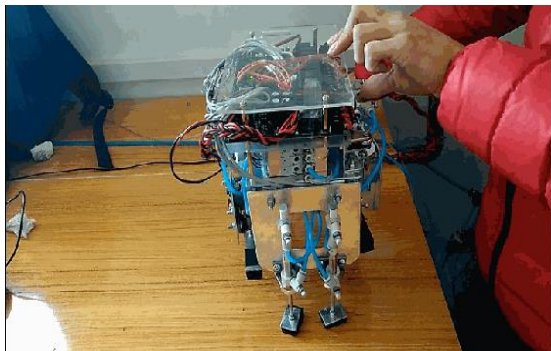


案例3：基于CPS关键技术的气动机器人二级项目

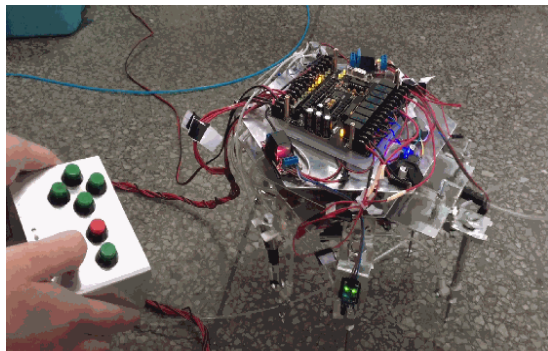
项目时间节点安排



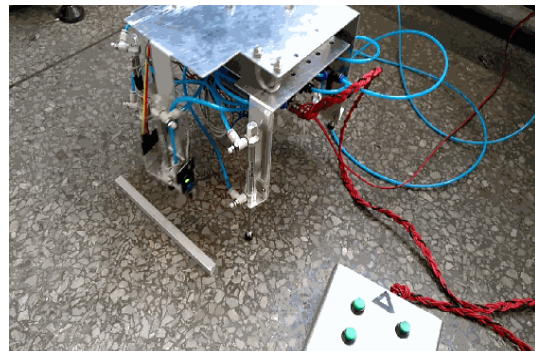
案例3：基于CPS关键技术的气动机器人二级项目



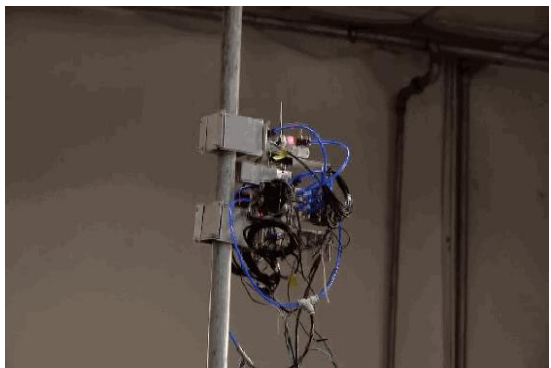
调试



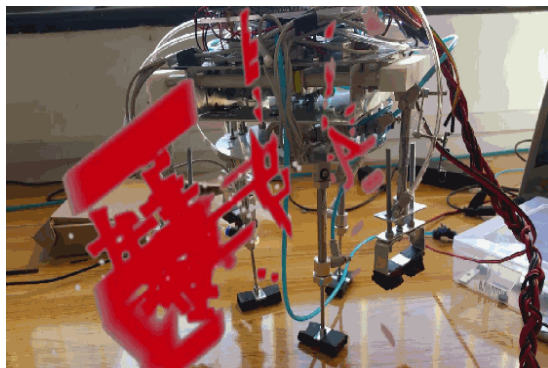
动作演示



越障



爬杆机器人



足式机器人



循迹机器人



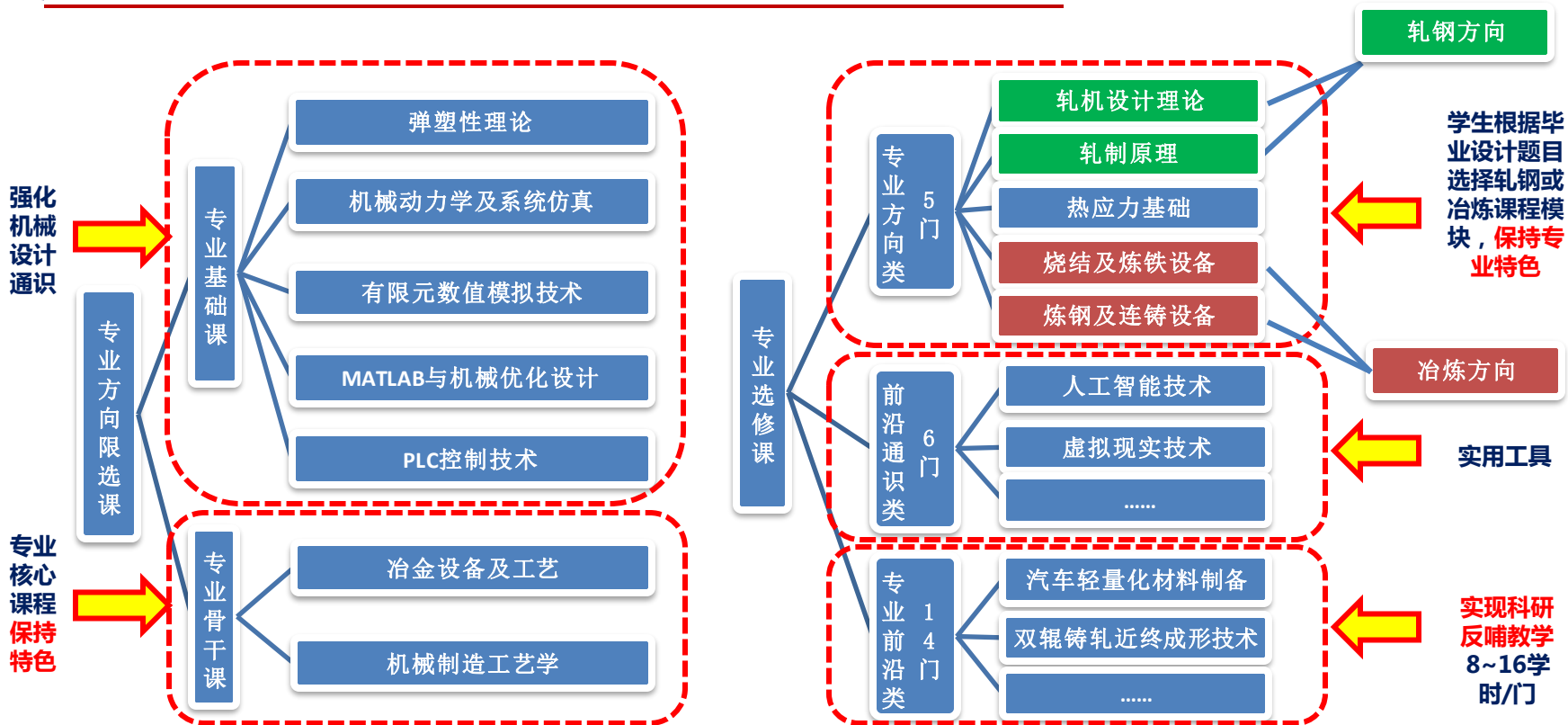
案例4：冶金机械专业工程教育实践

冶金机械专业以满足社会需求作为确立和梳理人才培养目标的主要依据，以工程教育专业认证和课程规范化建设为抓手，实施基于CDIO-OBE的人才培养模式综合改革，整体推进以“项目式”教学为主线的工程教育改革，建立完善的“项目”教学体系，突出学生实践能力与人文素质的培养。

强化机械设计通识，保持冶金机械专业传统特色

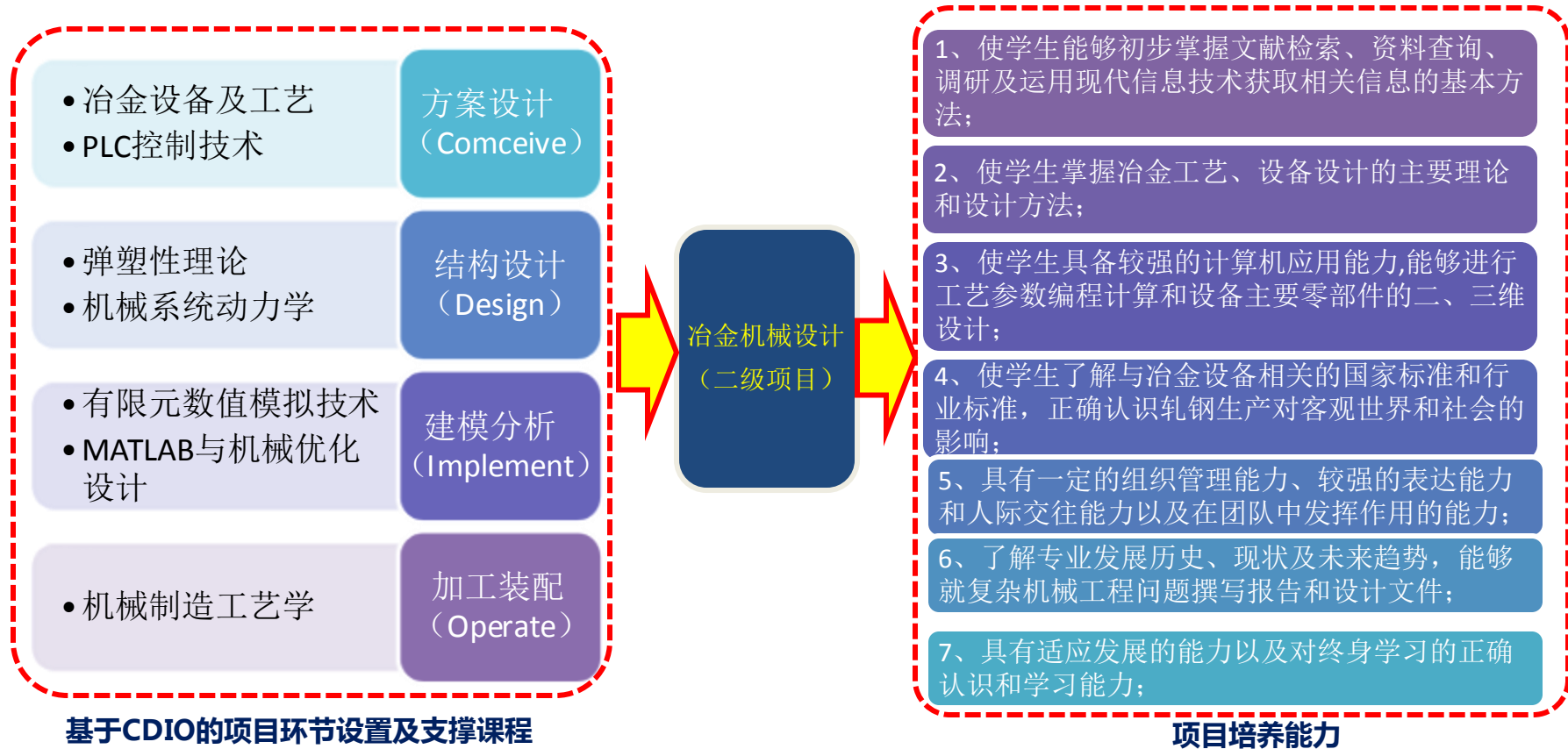


案例4：冶金机械专业工程教育实践





案例4：冶金机械专业工程教育实践





案例4：冶金机械专业工程教育实践



三辊卷板机



圆锥破碎机



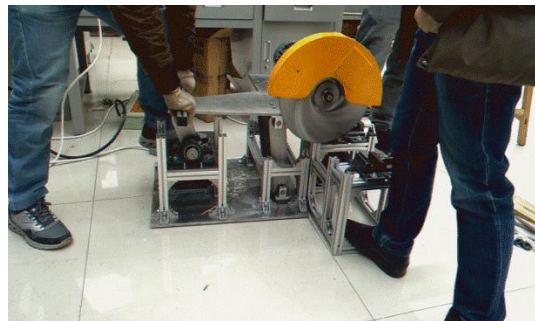
机械式板坯重力夹钳



圆截面长材斜坡输送装置



步进式平移装置



四连杆锯切机



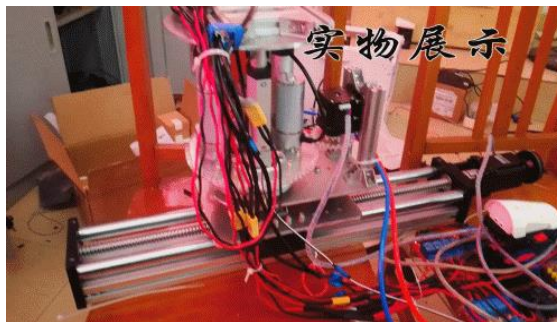
案例4：冶金机械专业工程教育实践



造球盘刮刀轨迹分析装置



圆盘剪



钢带边部质量修磨装置



凸轮轴感应加热夹持装置

项目均具有较强的**冶金机械**专业背景，既强化了通识知识，又保持了传统专业特色。



案例4：冶金机械专业工程教育实践



通过二级项目，学生相互协作，提高了沟通、交流的能力，培养了团队精神

结束语

第四次工业革命迎面而来，新时代赋予我们新工科建设的伟大使命。CPS人才培养和CDIO工程教育助力新工科建设。燕山大学将会不忘初心，牢记使命，坚定而自信地在新工科建设的道路上前进。

谢谢！

