

# 面向智能制造的控制工程领域 研究生培养

全国控制工程领域专业学位研究生教育协作组组长

西北工业大学自动化学院院长

潘泉 教授

2015年11月6日 深圳



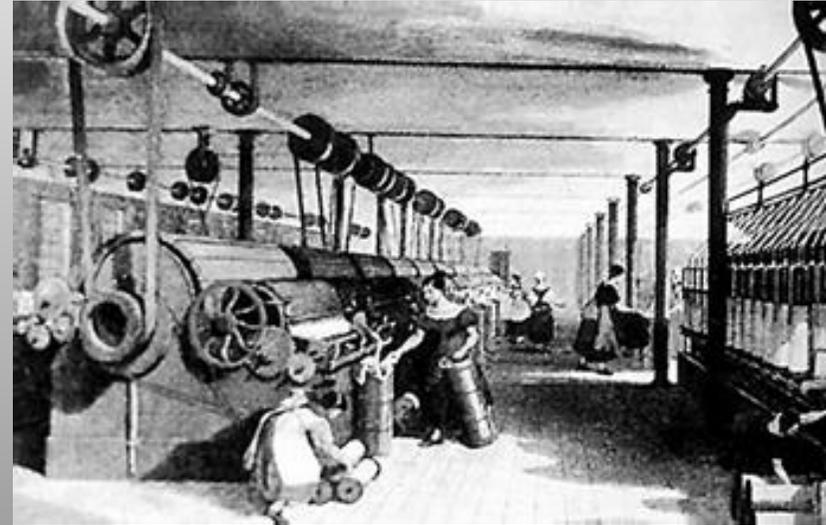
# 目录 CONTENTS

- **工业化进程与工程研究生教育**
- **智能制造对工程人才培养的新挑战**
- **控制领域高层次工程人才培养模式改革的几点思考**

# 一、工业化进程与工程研究生教育

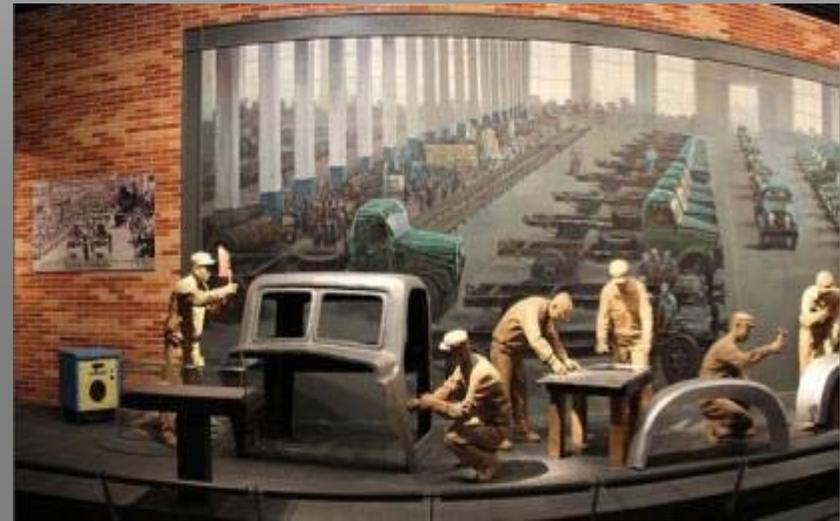
## 一、工业化进程与工程研究生教育

- 国际上衡量一个国家工业化标准，有三个结构性指标：
  - 农业增加值占GDP的比重降到15%以下；
  - 农业就业人数占全部就业人数的比重降到20%以下；
  - 人口城市化率上升到60%以上。
- 我国目前的工业化水平与国际通行指标相比，除第一项指标外，均有很大差距。我们实现工业化的目标还有很长的路要走。



## 一、工业化进程与工程研究生教育

- 自18世纪30年代开始的工业化已270多年，全球实现工业化的国家和地区仅27个，人口合计9.265亿人，占全球人口15.3%。
- 中国基本实现工业化时人口将达14亿，超过已实现工业化国家和地区的人口总量。
- 中国工业化道路的顺利推进，将给世界人口80%以上的尚未实现工业化的发展中国家提供一条可供借鉴的工业化新模式。



## 一、工业化进程与工程研究生教育

- 自18世纪欧洲工业革命至二战前的二百年间，铸造了几十个工业化国家，先后有英、法、德、美、日等强国。二战结束前的世界工业化进程可以称之为**第一轮工业化进程**，或称之为**传统工业化道路**。
- 随着战后殖民体系瓦解，特别是上世纪60年代以来，许多新兴国家（地区）开始工业化进程，出现以发展中国家（地区）为主体的世界工业化进程，可称之为**第二轮世界工业化进程**，是“迟到的工业化”。
- 中国虽然在计划经济时期已开始推行工业化，但只有改革开放才真正走上全面工业化道路。



# 一、工业化进程与工程研究生教育

## 中国制造2025

**2015年** 已通过近期印发 《中国制造2025》+ “1+X” 实施方案和规划体系+高端领域技术路线图的绿皮书

**一条主线** 互联网+ 信息化与工业化深度融合 智能制造

**核心关键** 创新驱动、智能转型 网络化、数字化、智能化

**五大工程** 国家制造业创新中心建设工程 大力推进智能制造 工业强基工程 绿色发展工程 高端装备创新工程

**十大重点领域** 新一代信息技术 高档数控机床和机器人 航空航天装备 海洋工程装备及高技术船舶 先进轨道交通装备 节能与新能源汽车 电力装备 新材料 生物医药及高性能医疗器械 农业机械装备

国家效益：20年3万亿美元GDP增量。企业效益：效率↑20%，成本↓20%，节能减排↓10%。

# 一、工业化进程与工程研究生教育

美国：工业互联网

占据新工业世界翘楚地位

- ◆ 对传统工业进行物联网式的互联互通
- ◆ 对大数据进行智能分析和智能管理

德国：工业4.0

引领全球制造业潮流

- ◆ 强大的机械工业制造基础
- ◆ 嵌入式以及控制设备的先进技术和能力

中国：中国制造2025

制造大国向制造强国转型

- ◆ 以加快新一代信息技术与制造业深度融合为主线
- ◆ 以推进智能制造为主攻方向

无论是工业4.0，还是工业互联网，核心是智能制造，精髓是智能工厂，精益生产是智能制造的基石，工业机器人是最佳助手，工业标准化是必要条件，软件和工业大数据是关键大脑。



# 一、工业化进程与工程研究生教育

## 中国工业化发展历程

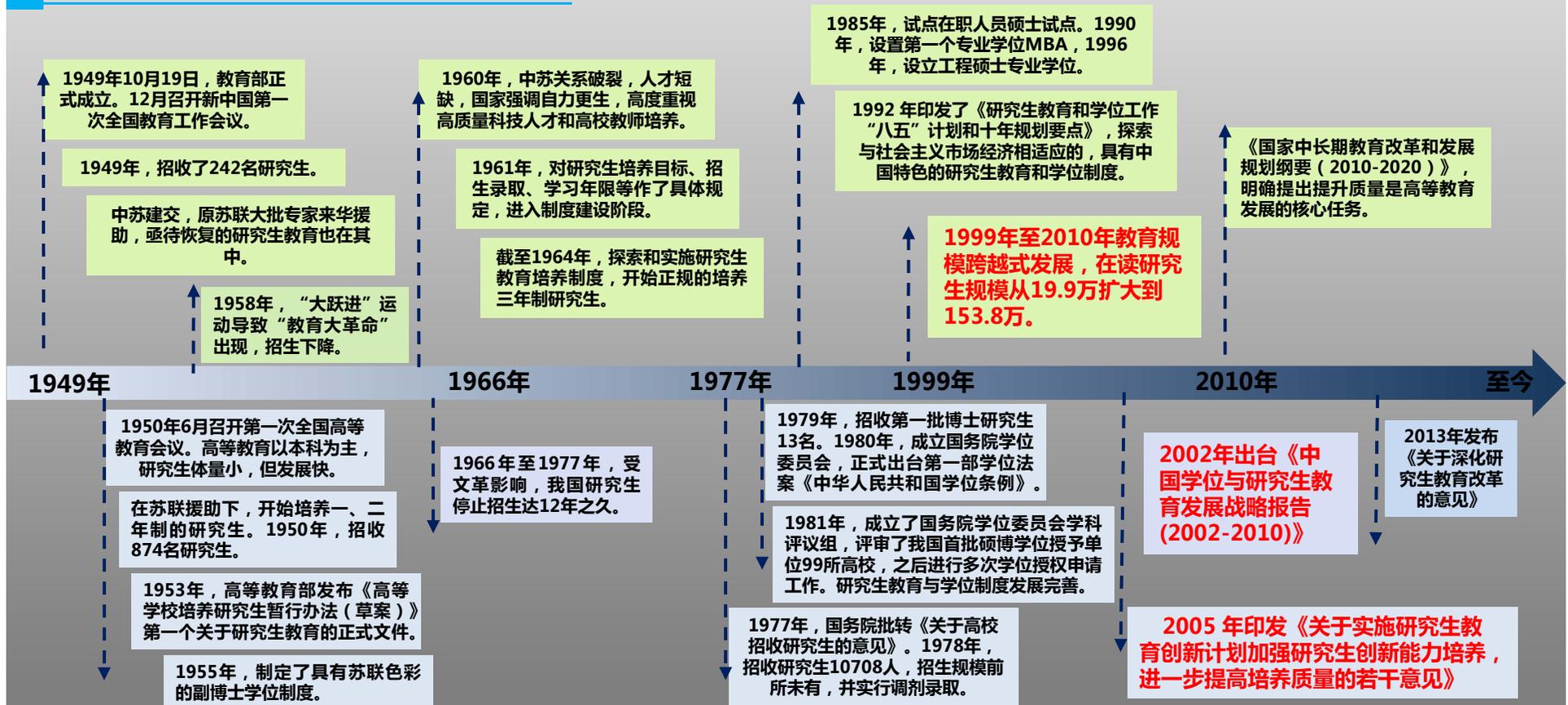


## 一、工业化进程与工程研究生教育

本世纪初，我国提出走新型工业化道路的战略思路。认为我国无法超越工业化的历史阶段，推行工业化是我国通往现代化必经之路。但是，我国二元社会结构和人口众多的现实，特别当今社会全球化和信息化时代的环境，又使我国迟到的工业化道路具有与传统工业化不同的新特征，有巨大的后发优势，使我们有可能以更快速度、更短时间、更高质量完成工业化的历史使命。

- 科技含量高，就是要充分发挥科技作为第一生产力的作用；
- 经济效益好，就是要实现经济增长方式从粗放型向集约型转变；
- 资源消耗低，就是积极推进资源利用方式从粗放向节约的转变；
- 环境污染少，就是要避免走旧工业化先污染后治理的老路；
- 人力资源优，就是处理好发展资金技术密集型产业与劳动密集型产业的关系。

# 一、工业化进程与工程研究生教育



## 一、工业化进程与工程研究生教育

《中国学位与研究生教育发展战路报告(2002-2010)》：

新技术革命与知识经济带来的产业结构和就业结构的不断变化，企业研究与开发需求的不断增加，市场对产品质量和规格竞争的激烈化，以及市场的国际化，不仅要求研究生教育不断为社会培养现代化科技人才，而且要求培养大量高级管理人才和其它行业的高级专门人才。

2002至2010年，我国学位研究生教育发展的总体目标是：基本满足国家科技、社会及经济可持续发展对高素质、高层次、创造性人才的需求，不断满足社会公众对成才和获取高学位的愿望。到2010年，在学的全日制和非全日制研究生规模达到硕士120万，博士15万。

# 一、工业化进程与工程研究生教育

《中国学位与研究生教育发展报告(2002-2010)》：

重要的改革举措：

- ① 改革发展机制，建立健全多规格、多层次研究生教育体系；
- ② 扩大高校办学自主权，增强学校的自我完善能力，以及对科技、经济的自适应能力；
- ③ 针对不同规格、类型的研究生，实施灵活的多样化的培养制度和模式。

基本建立并逐步完善主动适应经济、社会、文化和科技发展需要的学位与研究生教育自我发展和调节机制，为我国实现现代化建设第三步发展战略目标提供足够数量、较高质量的高层次专门人才。

表 1 1978 年以来我国研究生教育规模变化情况 (单位:人)

年份	招生数	在校生数	毕业生数
1978	10708	10934	9
1980	3616	21604	476
1988	35645	112776	40838
1990	29649	93018	35440
1996	59398	163322	39652
1998	72508	198885	47077
1999	92225	233513	54670
2000	128484	301239	58767
2001	165197	393256	67809
2002	202611	500980	80841
2003	268925	651260	111091
2004	326286	819896	150777
2005	364831	978610	189728
2006	397925	1104653	255902
2007	418612	1195047	311839
2008	446422	1283046	344825
2009	510953	1404942	371273
2010	538177	1538416	383600

注:数据来自于《中国统计摘要 2011》,仅 1988 年的数据来自于《中国统计年鉴 2002》

## 一、工业化进程与工程研究生教育

10~15年后，情况确实发生了变化：

表 4-1 2003~2012 年工业增长值<sup>[28]</sup>

Table4-1 Industrial growth from 2003 to 2012<sup>[28]</sup>

年份	工业增加值（亿元）
2003 年	54945.53
2004 年	65210.03
2005 年	77230.78
2006 年	91310.94
2007 年	110534.88
2008 年	130260.24
2009 年	135239.95
2010 年	160722.23
2011 年	188470.15
2012 年	199679.66

## 一、工业化进程与工程研究生教育

10~15年后，情况确实发生了变化：

- 中国制造业企业500强2015年营业收入27万亿元，500强的入围门槛由2005年的20亿元提高到2015年的68亿元。
- 华为公司2014年的年营业额约460亿美元，产品和解决方案已经应用于全球170多个国家，服务全球1/3的人口。
- 中兴通讯公司市值突破千亿，2015年第一季度实现营业收入209.99亿元人民币，同比增长10.21%。
- 百度市值760亿美元，中国第一的搜索引擎。服务已经覆盖全网6亿网民，每天要响应60亿次搜索请求，150亿次定位请求，已经收录全球超过万亿张网页。
- 阿里巴巴市值2051亿美元，全球最大的网络零售商，年交易额超过一万亿，在双十一狂欢节上一天交易额超过350亿元。
- 腾讯市值1955亿美元。它是中国最大的社交网络平台，拥有两艘巨型平台：QQ和微信。

## 一、工业化进程与工程研究生教育

以我国装备制造业为例，看高层次工程人才情况。我国装备制造业规模以上企业人力资源总量近1794万人。其中，人才总量近736万人，具有大学本科占人才总量的29%，研究生学历占2%。

- 华为在世界等地设立了16个研究所，进行产品与解决方案的研究开发人员约70,000名（占公司总人数45%）。根据世界知识产权组织报告，华为是2014年申请国际专利最多的公司(3442件，超越日本松下公司、美国高通)，其核心技术的自主可控能力达到世界一流水平。
- 中国航天科技集团公司人才队伍动态保持在16.6万人左右；在岗职工中，专职从事预先研究活动的科技人才比例达到15%；专业技术人才队伍中，具有研究生学历人才比例达到30%，大学本科及以上学历人才比例达到75%，使我国成为掌握航天核心技术的少数大国。

## 一、工业化进程与工程研究生教育

### MIT制造业领导者项目（LFM--leaders for Manufacturing）

- 1980年代美国制造业受到德国和日本的强烈挑战，面临着越来越严重的全球竞争，正在失去全球的领导地位。
- MIT作为美国工程科学的领先院校，1986年成立特别研究小组，研究美国制造业的挑战，对半导体、计算机及办公设备、汽车、钢铁、消费电子、医药化工、纺织当时、装备和民用航空等八大关键战略性制造业进行了深入的案例研究，之后形成了有深远影响的成果《美国制造》，提出了重整美国制造业的五大优先策略，其中之一就是建立适合制造业的人力资源结构。
- LFM项目是MIT从1988年开始实施的一个职业（专业）两年制硕士学位项目，目的是为美国制造业造就适应新的全球竞争的年轻领导者。



## 一、工业化进程与工程研究生教育

- 项目的使命符合美国制造业的战略方向，其设计思想和方案架构也受到美国业界的广泛欢迎，如克莱斯勒公司、美国铝业、联合技术公司、柯达公司、英特尔、惠普、摩托罗拉等美国产业界有影响力的大公司积极参与了该项目。
- 该项目从1988年开始实施，培养一大批懂得技术和管理、有远见和志向的年轻领导者，为美国夺回制造业在全球的领袖地位，增强美国制造业及其产品在全球的竞争力起到了重要作用。
- 该项目也影响了美国专业教育，各校都推出了类似模式的项目，如RPI\G,tch，尤其是与工程和制造相关的专业型学位，都强调整合、交叉、融合、创新。
- 该模式又扩展到全球。MIT后来帮助新加坡建立了一个类似的研究项目和一些学位项目。印度和日本最近推出的制造业振兴计划，也强调在人才培养上采用类似的理念。

## 一、工业化进程与工程研究生教育

- 多学科交叉融合。项目设计和实施强调大制造，强调制造不同学科之间的交叉和融合，强调工程、商业、经济与管理、人文的融合。项目在1988年一开始就把伦理教育融合进了项目设计。
- 校企深度合作。项目的董事会和运作委员会都是有学术界和企业界共同组成，项目设计、实施、调整改进都有企业界有重要影响的产业界领袖参与。
- 充分利用各种资源。学生培养过程和环节注重学习和实践的平衡，实践部分有多种形式，全面引入企业界等的经验、资源、平台；项目的来源和成果的运用都与企业界结合；生源和就业吸引企业参与，学生毕业后有极好的发展平台。



## 一、工业化进程与工程研究生教育

- 1990年代后期，把新兴的互联网、服务增强型制造业以及全球化纳入培养方案。
- 2008年，为应对深入的全球化，把基于生态体系条件下的全球竞争纳入制造业发展的基础战略，甚至把项目改成了LGO（leader for global operation），站在美国的角度，不求制造业体量最大，而是在新全球化条件下控制力最强。

值得注意的是，这两次大的改变都是基于对美国制造业进一步的深入研究的结果，并形成了1998年的《The Productive Edge: How U.S. Industries Are Pointing the Way to a New Era of Economic Growth》和2013年的《Making in America: From Innovation to Market》。



## 一、工业化进程与工程研究生教育

需要有针对特定领域研究生人才培养模式演变进行系统、深入、持久研究的项目（如美国LFM项目、欧洲博洛尼亚宣言等）

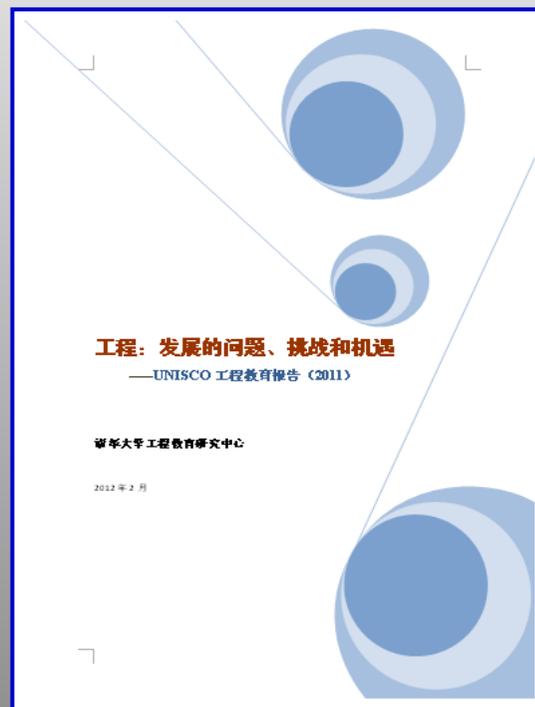
- IFAC国际控制教育专题会议 (Symposium on Advances in Control Education)
- IEEE系列会议中的教育专题分会场，如CDC、ACC、ECC等。  
粗略查询以上会议，很少会看到来自中国的文章。

例如，在2006年至2013年举办的历届IFAC国际控制教育专题会议上共有300余篇文章发表，其中仅有2篇来自中国高校。

Pan, Quan; Wang, Xiong; Cheng, Yongmei; Liu, Yong. Method and practice of the education quality evaluation on master of engineering in control engineer. Proceedings of the 17th IFAC World Congress, 2008.

## 二、智能制造对工程人才培养的新挑战

## 二、智能制造对工程人才培养的新挑战



UNESCO总干事：《工程、发展的问题、挑战和机遇》报告具有里程碑式的意义，是联合国教科文组织、甚至任何国际组织出版的第一部这一话题的报告，汇集了各国120多位专家翔实和富有洞察力的深刻见解，对工程师在发展中的重要作用提供了新的视角。

## 二、智能制造对工程人才培养的新挑战

- 工程教育包括工程科学、工程技术和工程管理。工程教育将数学、科学、基础性和专门性工程知识应用于解决复杂工程问题；
- 为工程问题设计解决方案，创造、选择适当的技术、资源和现代工程及信息技术工具（包括预测和建模工具），并将其应用于复杂工程活动中，同时对其局限性有充分了解；
- 通过发现、表述（或称公式化）、分析复杂的工程问题，得出实证性的结论；
- 运用自身背景知识所赋予的理性思考（或称推理能力）来对社会、健康、安全、法律及文化等问题做出评价，以及由此导致的在专业工程实践工作中所负的责任；

（摘自UNESCO工程教育报告）

## 二、智能制造对工程人才培养的新挑战

- 展现出对工程及管理学原理的认识和理解，并将其应用于自身工作中，即作为团队成员和领导者，能够在多学科交叉环境下进行项目管理；在复杂工程活动中能够与工程界乃至整个社会进行有效的沟通交流，能够给出和接受明确清晰的指令；
- 充分理解专业性工程解决方案在社会和环境背景条件下所产生的影响，并展现出对可持续发展的了解和需求；
- 发扬道德操守准则，恪守职业道德，履行责任，严格执行工程实践标准（规范）；
- 认识到在技术更迭日新月异的大背景下，进行宽领域自主学习和终身学习的必要性，并具备相应的积累和能力。

（摘自UNESCO工程教育报告）

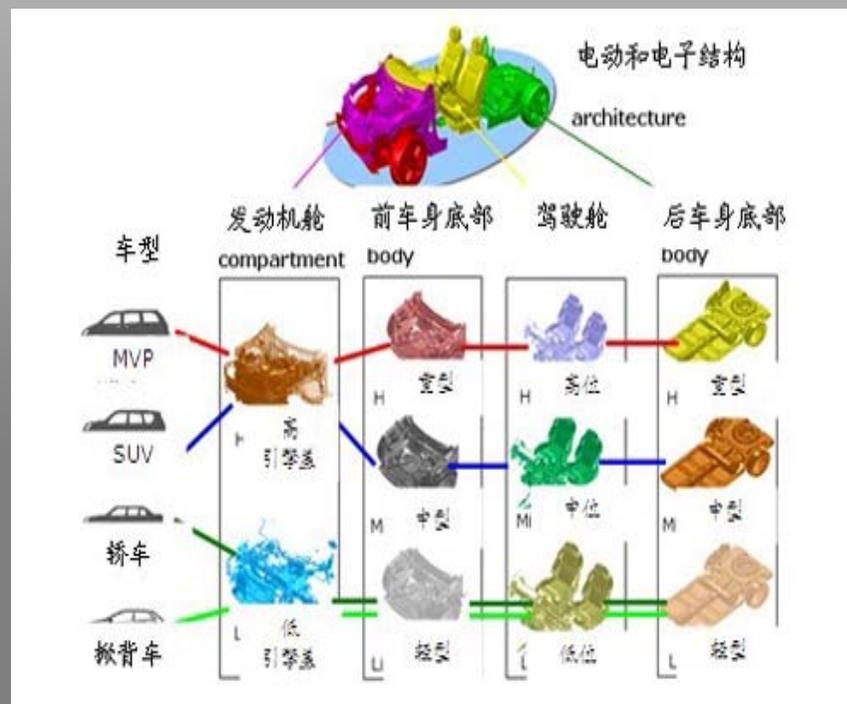
## 二、智能制造对工程人才培养的新挑战

### 工业4.0的特点：

- **互联**：工业4.0的核心是连接，要把设备、生产线、工厂、供应商、产品和客户紧密地联系在一起。
- **数据**：工业4.0连接和产品数据、设备数据、研发数据、工业链数据、运营数据、管理数据、销售数据、消费者数据。
- **集成**：工业4.0将无处不在的传感器、嵌入式中端系统、智能控制系统、通信设施通过CPS形成一个智能网络。通过这个智能网络，使人与人、人与机器、机器与机器、以及服务与服务之间，能够形成一个互联，从而实现横向、纵向和端到端的高度集成。
- **创新**：工业4.0的实施过程是制造业创新发展的过程，制造技术、产品、模式、业态、组织等方面的创新将会层出不穷，从技术创新到产品创新，到模式创新，再到液态创新，最后到组织创新。
- **转型**：对于中国的传统制造业而言，转型实际上是从大规模生产，转向个性化定制，整个生产的过程更加柔性化、个性化、定制化。

## 二、智能制造对工程人才培养的新挑战

- 大规模定制成为制造业主流。用户对个性化产品和服务的需求与日俱增，连接了互联网、感应器的产品也变得更加“聪明”，而用户对于产品的衡量方式与价值定义都有所改变，生产商和销售商的界限更加模糊，制造企业也正试图与最终用户建立联系。
- 用户个性化需求越来越强，未来，制造商面临的最大挑战，是如何在大规模制造和个性化需求之间达到平衡。以当前的技术发展趋势来看，模块化制造，或许是成本最低的选择。

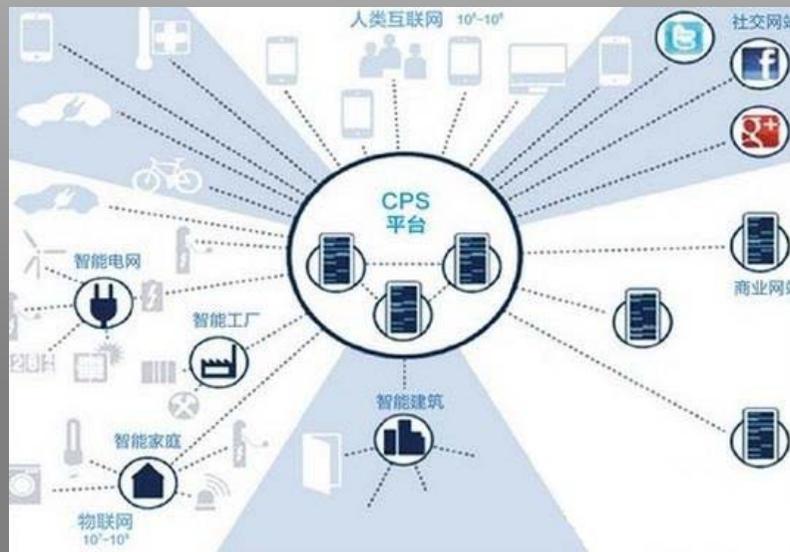


## 二、智能制造对工程人才培养的新挑战

德国所谓的工业四代(Industry4.0)是指利用**物联信息系统**(Cyber Physical System, 简称CPS)将生产中的供应, 制造, 销售信息数据化、智慧化, 最后达到快速, 有效, 个人化的产品供应。

### CPS的特征:

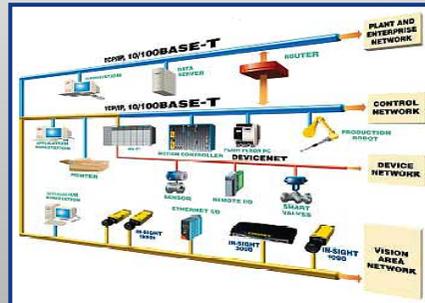
- 物理/信息系统紧密耦合
- 异构网络互联
- 海量多源数据
- 分布式感知、计算、控制
- 安全性要求



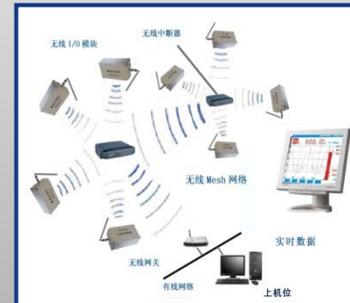
## 二、智能制造对工程人才培养的新挑战



网络技术



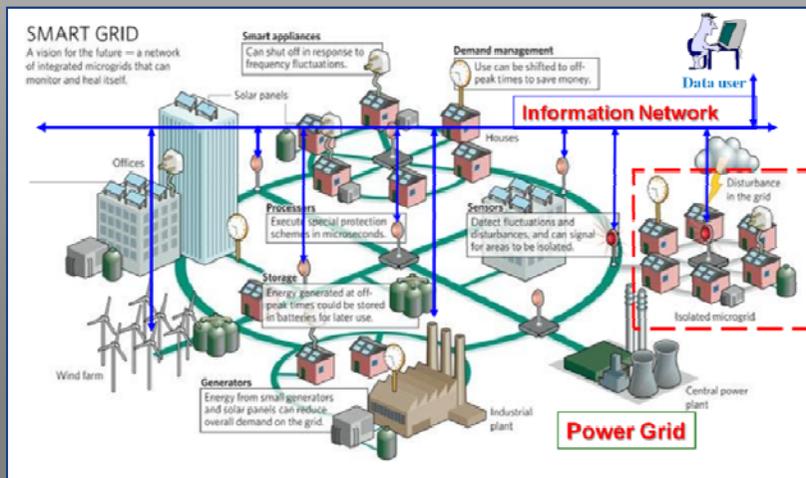
现场总线技术



无线传感网络



智能设备



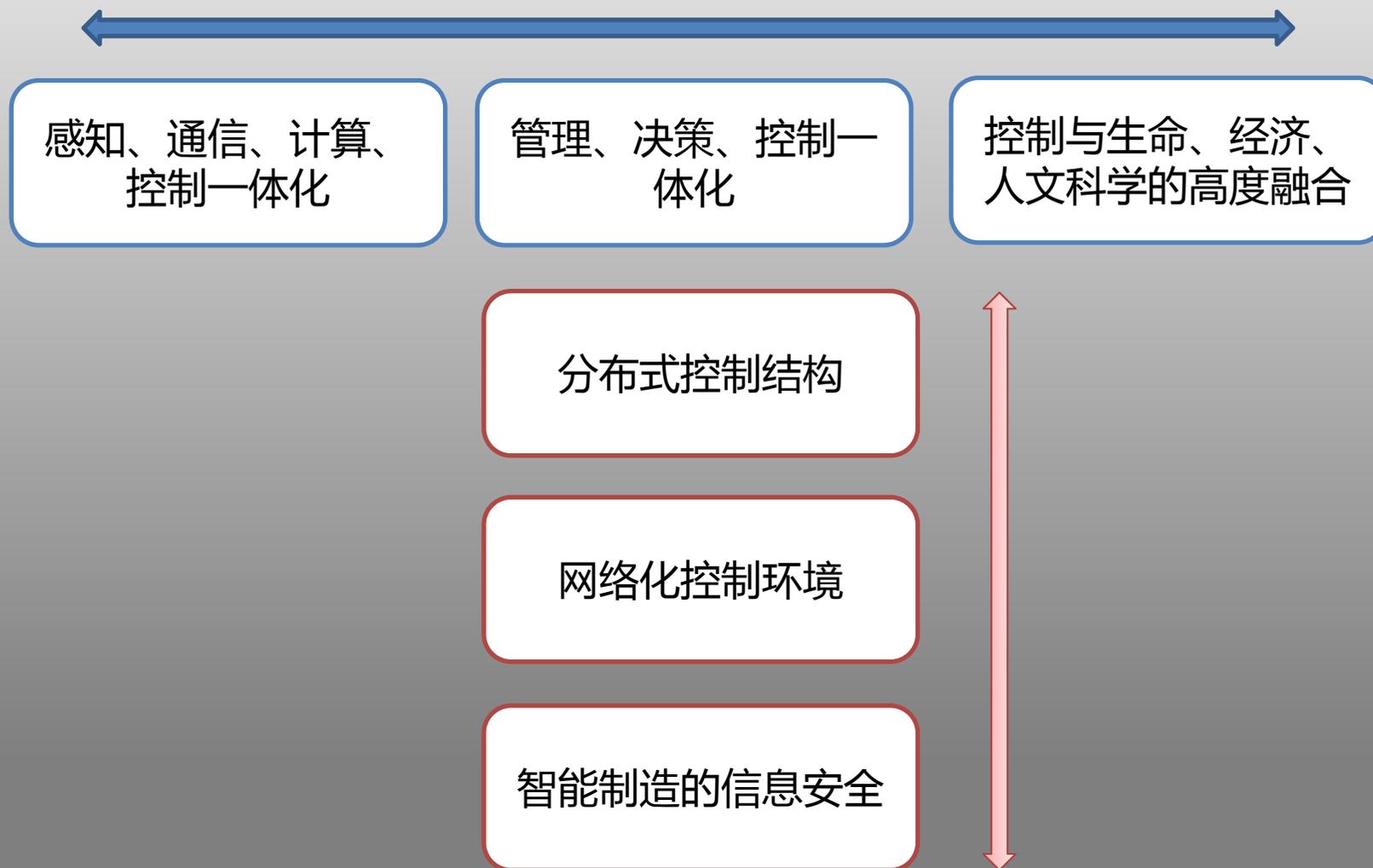
集中式控制



分布式控制

现场总线、智能仪表、网络通讯技术 → 控制结构和模式转变

## 二、智能制造对工程人才培养的新挑战



面向智能制造的控制领域人才培养的“T”形结构

### 三、控制领域高层次工程人才培养模式改革的几点思考

### 三、控制领域高层次工程人才培养模式改革的几点思考

#### 工业化进程中各种模式的演变

制造模式演变：

规模制造

网络化制造

智能制造

创新模式演变：

个体创新

集群创新

分布创新

人才类型演变：

专业型人才

复合型人才

融合型人才

### 三、控制领域高层次工程人才培养模式改革的几点思考

#### 控制领域高层次人才培养模式演变特点：

1. 由开始阶段的单一的教学型向研究主导型、工程技术型等多种类型演变，由严格的专业与行业对口型逐渐向宽口径、跨行业的规格转变，从单一的应用型向研究与应用复合型、应用复合型、应用技术型转变。
2. 从培养目标看，由行业面向的自动化专业逐步向拓宽口径专业转变，再发展到现行的跨专业、宽口径“通才”的培养目标。
3. 从知识结构看，由狭窄的专业知识结构向通识与专业并重的知识结构转变。
4. 从专业课程体系看，由完全以模拟控制系统为对象组织课程体系向模拟、计算机控制并重的课程体系转变。
5. 从专业教学内容看，信息技术、自动化领域的新进展被逐渐引入课程教学内容中来。

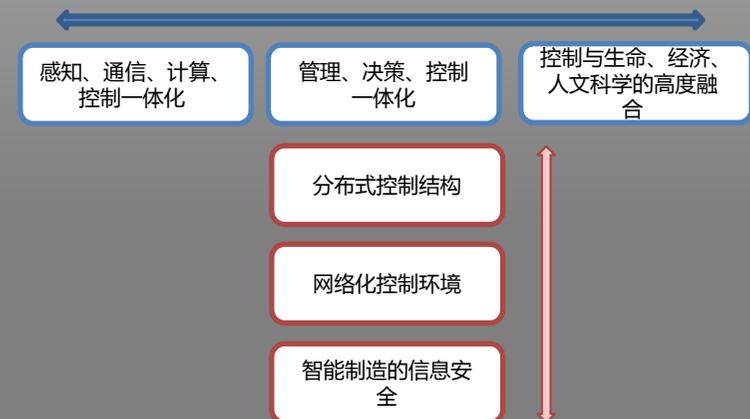
《中国学科发展战略2015——控制科学》

### 三、控制领域高层次工程人才培养模式改革的几点思考

控制领域高层次工程人才培养需要研究“复合型”机制：

- 控制作为一种“使能”科学，智能制造需要控制、信息、管理、经济等多学科深度交叉；
- 需要探索“融合型”人才培养，充分利用分布式创新的环境，解决智能制造的复杂工程问题。

- 我国尚未完全掌握工业2.0和3.0所需要的控制技术，特别是没有掌握核心技术，包括基础性的软硬件；
- 仍然需要专业型、复合型人才在个体创新和集群创新环境下解决规模制造和网络化制造中的工程问题。



### 三、控制领域高层次工程人才培养模式改革的几点思考

自2005年的《学位标准》到2014年的《基本培养要求》：

- 培养适应企业自主创新需要的工程技术和工程管理复合式应用型人才，开始注重工程实践能力和经历的培养。
- 控制工程领域工程硕士研究生应具备以控制论、系统论、信息论原理为核心的知识结构。
- 要具备基于与自动控制、数学方法、计算机技术、网络技术、通信技术、各种传感器和执行器等相结合的并针对具体应用方向构成的课程群所包含的知识结构。
- 控制工程领域工程硕士研究生的知识结构主要由基础理论知识、专门技术知识、工具性知识和人文知识构成。
- 逐步加强了管理、法律、人文、环境、心理等方面的课程内容。

### 三、控制领域高层次工程人才培养模式改革的几点思考

#### 培养要求——领域和招生改革

- 根据智能制造、互联网+等新技术发展，以及企业需求，在原领域框架下灵活动态调整领域名称，在学生的学位和毕业证上直接体现；
- 招生计划和入学考试形式应积极改革，适应新形势。哈佛大学每年毕业硕士3060（3000专业学位硕士，60学术性硕士），博士3000。美国GRE测试更侧重综合素质和能力。

#### 培养要求——教学内容的变化

- 注重电子、计算机、网络技术、通信等专业的基础教学，夯实学生基本功；
- 加强网络化信息系统课程教学，可通过讲座、论坛等形式普及网络前沿技术；
- 在下一代新的网络传输模式下，探索分布式控制系统的控制方法。

### 三、控制领域高层次工程人才培养模式改革的几点思考

#### 培养要求——教学形式的变化

- 在线课堂、翻转课堂、混合课堂教学；
- 强调工程、商业、经济与管理、人文的多学科交叉融合；
- 学校系统教学计划与企业需求相结合。

#### 培养要求——实习实践

- 与新兴互联网企业、技术创新企业、大型企业等建立校企联合实习实践基地，可以在企业建，也可以在学校建；
- 毕业论文的项目来源为企业实际工程问题，并绝大部分时间在企业解决问题和完成论文工作；
- 课程设计、科技竞赛、企业短期实践等多种形式的实习。

## 结束语

从2002年始，高层次工程人才教育为我国新型工业化推进做出了重要贡献，但是也有很多不尽满意的地方。

从2015年始，在未来中国制造2025的进程中，高层次工程人才培养如何改革，如何能有在教材内容、课堂模式、招生考试、管理机制、质量体系、毕业反馈等方面更加具有预见性、超前性，乃至引领性，值得深思。



谢谢

**THANKS** *for your time*