

工程教育

CDIO: 工程教育的新范式

CDIO: A New Paradigm of
Engineering Education

今日话题 [2016]

工程
工程

工程师

浙江大学 王沛民

2016.01



热烈祝贺中国CDIO工程教育联盟宣告成立

The CDIO™ INITIATIVE

is an innovative educational framework
for producing the next generation of engineers

Conceive

C

Design

D

I

Implement

Operate

O

CDIO: 培养新一代工程师的创新教育框架

The CDIO™ INITIATIVE

is an innovative educational framework
for producing the next generation of engineers

CDIO: A New Paradigm of Engineering Education

CDIO是MIT采用“工程问题求解范式”

Engineering Problem Solving Paradigm

开发出的一个全新的教育概念

CDIO教育框架的基本内容

- 1个愿景 (vision)
- 1套大纲 —— 对学生4个层面90个模块的能力要求
- 12条标准 —— 对是否实践CDIO教学理念的判定标准
- 5组指引 —— 对培养计划、课程结构、教学方法、教学评估、学习构架的指引

一系列须加以追问和探讨的：

- 什么是问题（problem）？
- 什么是问题解决（problem solving）？
- 什么是工程（engineering）？
- 工程问题主要有哪些？
- 工程问题如何解决？
- 什么是范式（paradigm）？
- 谁会来解决工程问题？
- 解决工程问题的这些人哪里来？
- 为什么现在必须创建新的范式？
- 如何探索与实践新的范式？……



1

我们的许多事情做不好，
其实是从根本上就搞不懂：“什么是问题”！

Scientific and Engineering Practices

PRACTICES FOR K-12 SCIENCE CLASSROOMS

Sci Prac

Eng Prac

asking questions

defining problems

developing and using models

planning and carrying out investigations

analyzing and interpreting data

using mathematics and computational thinking

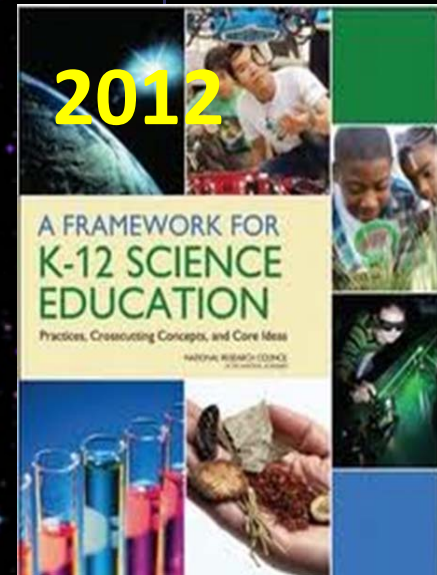
constructing explanations

designing solutions

engaging in argument from evidence

obtaining, evaluating, and communicating information

2012



第一步

Asking Questions and Defining Problems 提出疑问 vs. 界定问题



科学始于对某个现象的疑问，如“什么原因造成癌？”，然后力求发展理论，提供回答这类疑问的解释。科学家的基本实践是以经验为主地系统阐述关于现象的有答案的疑问，确立已经知道的内容，同时决定何种疑问才有待圆满地解答。

工程始于某个问题、需要，或一个有待解决的工程问题的愿望。像减少国家对化石燃料依赖这样的社会问题，可以产生许多工程问题；又如设计更为有效的交通系统，或太阳能电池一类的替代动力装置。工程师提出种种质疑以界定工程问题，制定成功解决的标准，同时识别限制条件。

第六步

Constructing Explanations and Designing Solutions

说明分析结果 vs. 设计解决方案

Scientific and Engineering Practices

PRACTICES FOR K-12 SCIENCE CLASSROOMS

Sci Prac

Eng Prac

asking questions

defining problems

developing and using models

planning and carrying out investigations

analyzing and interpreting data

using mathematics and computational thinking

constructing explanations

designing solutions

engaging in argument from evidence

obtaining, evaluating, and communicating information

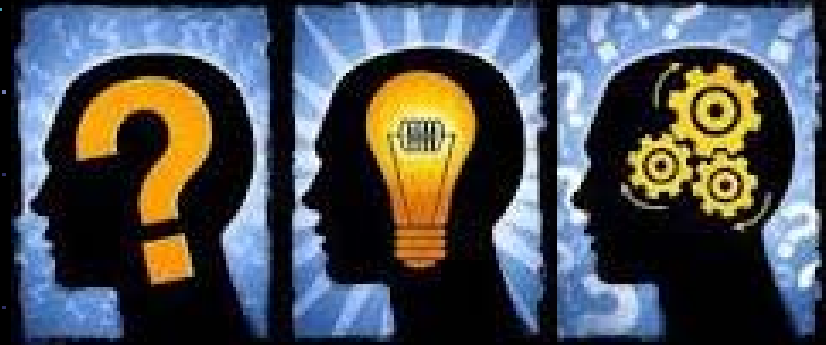
科学的目的是构建能提供解释世界各式面貌的**理论**。当一种理论对现象的解释在包容性和连贯性上优于其他种种说明时，它就成为可以接受的。科学解释是理论对某个具体情况的直接应用，或者是对所研究系统借助基于理论模型的间接应用。学生的目标是学会对现象做出逻辑一致的解释，从中体现其对当前科学或科学模式的理解，并会始终利用有效证据。

工程设计（解决工程问题的一种系统过程）是以物质世界的科学知识和模型为基础的。提出的各种解决方案都是在期望功能、技术可行性、成本、安全、伦理，以及符合法律要求等相互竞争的标准之间的一种平衡过程的结果。这里不存在唯一的最优解，而是存在一系列不同的解。它们的最佳选择依赖于所采用的评估标准。

问 Question

题 Theme, Topic, Issue, ...

问题 Problem



咬文嚼字

Problem

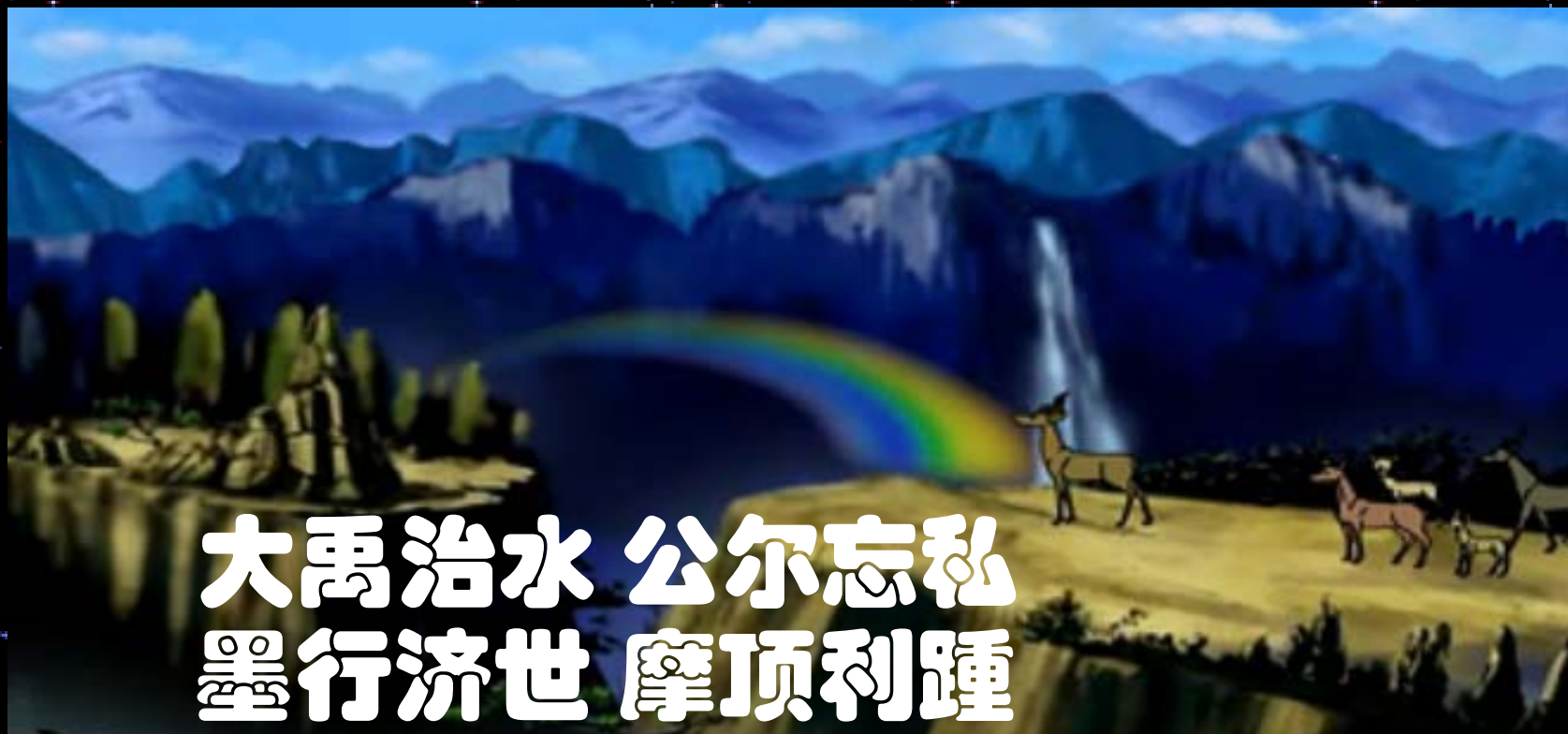
One way of defining a problem is that it is **a gap between a current and a desired state** (VanGandy). The gap may be viewed as **the difference between “what is” and “what should be”**. What constitutes a gap is relative and subjective, of course, and two different people might have different perceptions about the same situation. **If a problem is a gap between two states, then problem solving is the process of closing that gap.**

优酷



问题的构成要素：

此岸、彼岸、差距， 愿望



大禹治水 公尔忘私
墨行济世 摩顶利踵
敢于牺牲 善于胜利
求真务实 天下情怀

斑羚飞渡

工程：我们的“福寿喜”守护神



safety

功名利禄 做官发财

health

happiness

计利应计天下利，求名当求万世名

**Engineering is essential to our
health, happiness and safety**

2

工程教育现在做得不够好，
其实是不懂：“培养工程人才的范式正在过时”！

Return to Engineering !

2nd paradigm shift

EE3.0

EE1.0

工程即**技术**，
是艺术、技艺、
技巧、技能技
术的应用。

EE2.0

工程即**科学**，是
科学的分支，是
科学原理的应用。

工程是一种**专门职业**
(*profession*)，(从事该职
业的人)借助由学习、体验
和实践得到的数学与自然科
学知识并结合判断，用来经
济有效地开发利用材料与自
然力的途径，使之造福人类。

二战结束之前

技术范式

二战结束之后开始

科学范式

20世纪90年代开始

工程范式

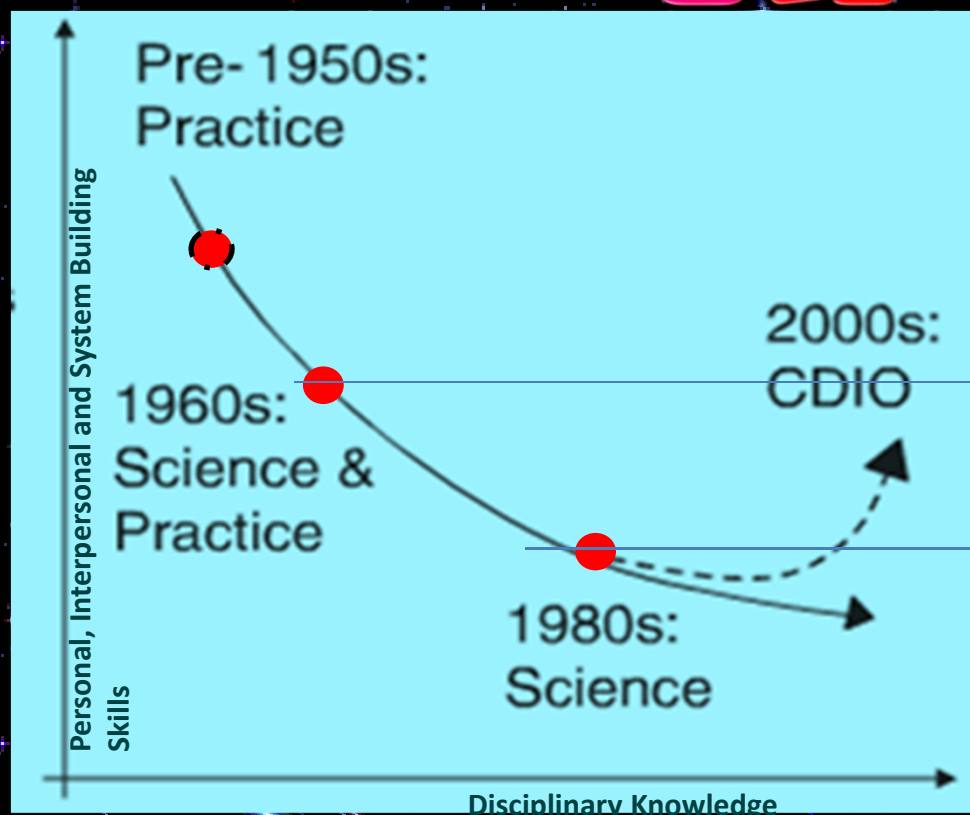
目前，世界和中国的发展都进入未定之天，将生将死，正在犬牙交错之际。未来社会心理的表达者和未来社会方案制定者，将是新一辈知识分子。他们会整合以往两个时代的得失成败，形成“正一反一合”第三阶段上的世界观。用这种世界观捅破的窗户纸，会展现一个比现在更有意思的世界。

黄纪苏：《有些知识分子一踏步就几十年》

http://www.guancha.cn/HuangJiSu/2012_08_12_90323.shtml

老路 · 邪路 · 新路

ad nye veje



正 工程教育1.0

反 工程教育2.0

合 工程教育3.0



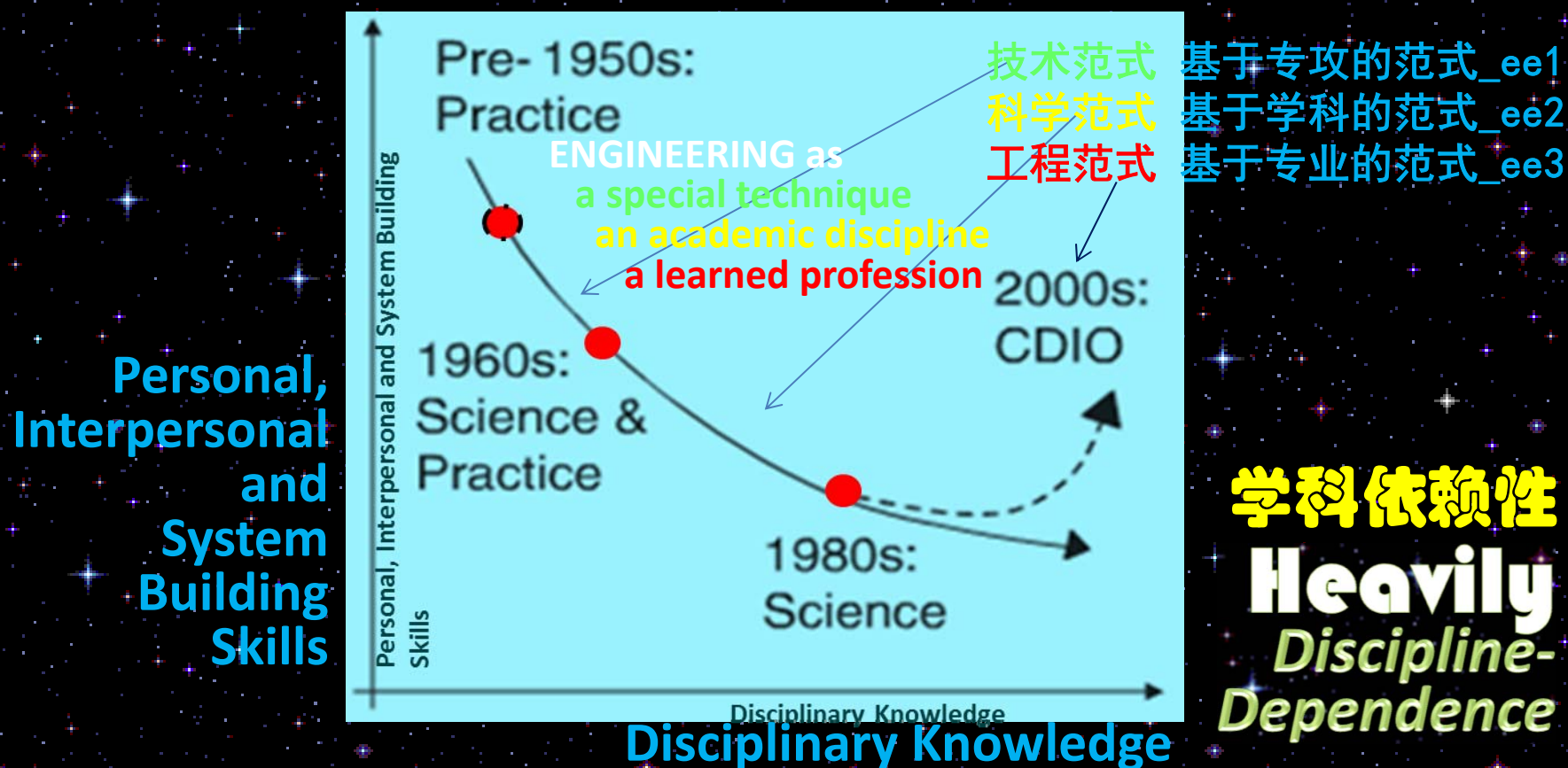
path
dependence

paradigm shift
-1962

工程教育同
样存在这个
严重问题！

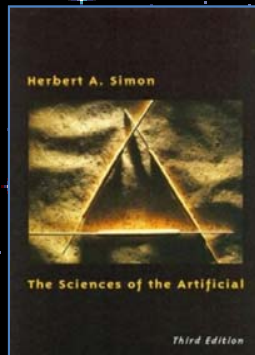
以实学代虚学, 以动学代静学, 以活学代死学

理论 vs. 实践, 分析 vs. 综合, 守旧 vs. 创新



增强主体性自觉 开创崭新的天地

The Sciences of the Artificial



1969



1981
(1987)



1996
(2004)



Herbert A. Simon
(1916-2001)

Herbert A. Simon (1916 – 2001), 又名司马贺, 美国心理学家, 认知心理学和人工智能的奠基者, 经济组织决策管理大师。西蒙和纽厄尔等人共同创建了信息加工心理学, 开辟了从信息加工观点研究人类思维的方向, 推动了认知科学和人工智能的发展。曾荣获图灵奖、美国国家科学奖, 1953年当选为国家科学院院士, 1969年获美国心理学会颁发的杰出科学贡献奖, 1978年获诺贝尔经济学奖。

设计是所有专业训练的核心,
是将专业与科学区分开的主要标志。

本世纪以来自然科学几乎将人工物科学从专业学院课程中驱逐出去的做法的确使人啼笑皆非。工学院变成了数理学院, 医学院变成了生物科学学院, 商学院变成了有限数学学院。……这种运动趋势绝不是不见于法学院、新闻学院和图书馆学学院。(pp. 111-112)

The Phoenix: A Challenge to Engineering Education

Proceedings of the IRE, Sept. 1944. vol. 32, pp.509-513



William Littell Everitt
(1900 - 1986)

长生鸟——对工程教育的挑战

【美】W.L.埃弗雷特

编者按：这是一篇首发于1944年的经典文献。IEEE教育会刊在1980年和2006年两次重新刊登，表明文献提出的问题在今天依然存在，必须予以重视并且加以认真解决。该文的中译本在20年前亦已面世，但是知晓者可能寥寥无几。我们现在郑重向国内读者推荐，以澄清若干糊涂观念，为推进中国工程教育所有裨益。

工程教育现正处于十字路口。在此非常时期，工业部门和军队已派用了所有的在校的和即将入学的大学生，从而给我们提供了一个前所未有的机会。

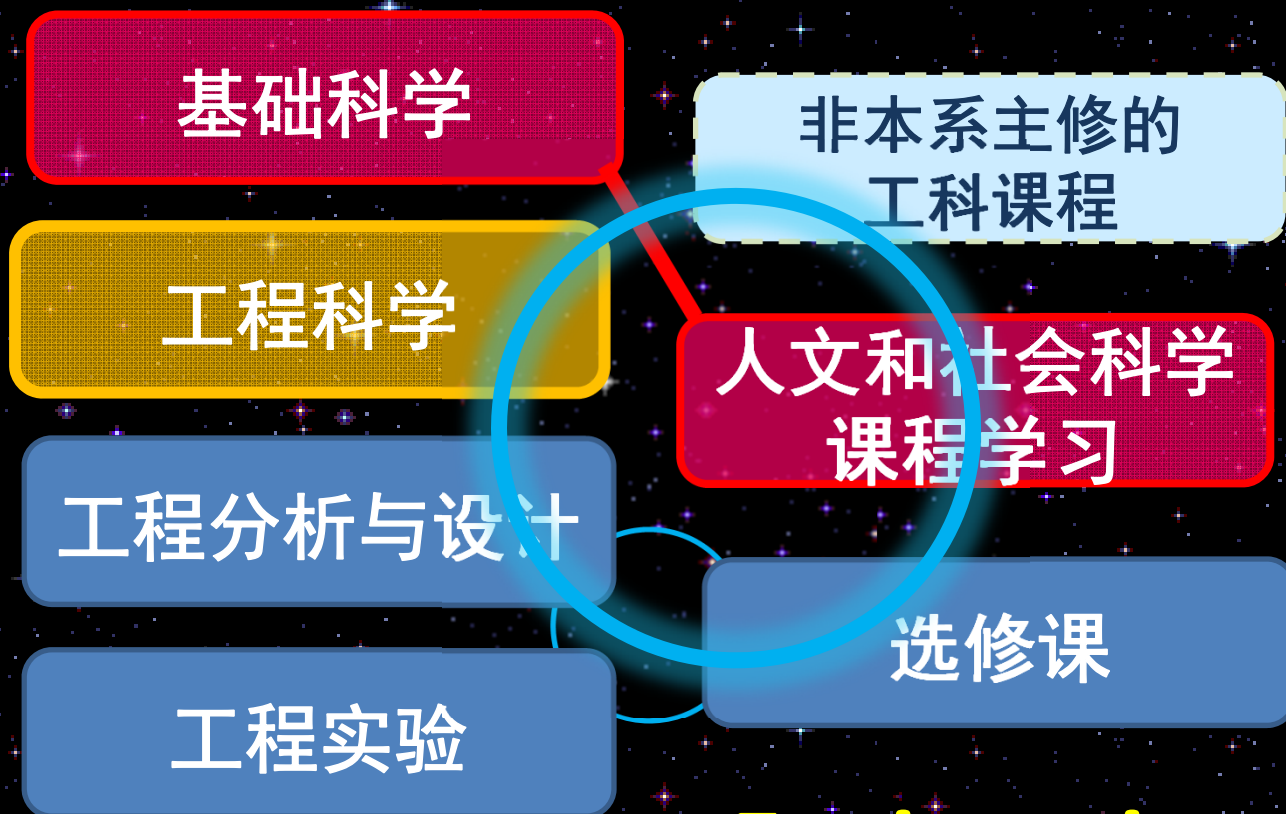
工程教育的发展是一个进化的过程。它的大规模发展始于1862年莫里尔法的颁布。该法令为创建和维持工程学院提供基金，“这些学院也教授文化科学知识，然而其主要目标在于教授农业和机械加工技术等方面的知识”。凡是了解赠地学院开创初期历史的人都知道，那时实际上还没有工程是一种职业的观念。“机械工艺”的教学在很大程度上尚处于摸索和

Abstract Engineering education is presented with a unique opportunity for improvement due to the interruption caused by the war. This improvement can only be obtained by a clear determination of the fundamental goals of engineering education and the application to its curricula of the engineering design processes it claims to teach. **A distinction should be drawn between the problems of Science, which are those of analysis, and the problems of engineering which are those of Synthesis.** Engineering and nonengineering students both should be taught what engineering really is, its philosophy and what it can do. The importance of its humanistic aspect should be stressed. A program is proposed for participation in the discussion and design of engineering curricula by the Institute sections.

工科课程设置

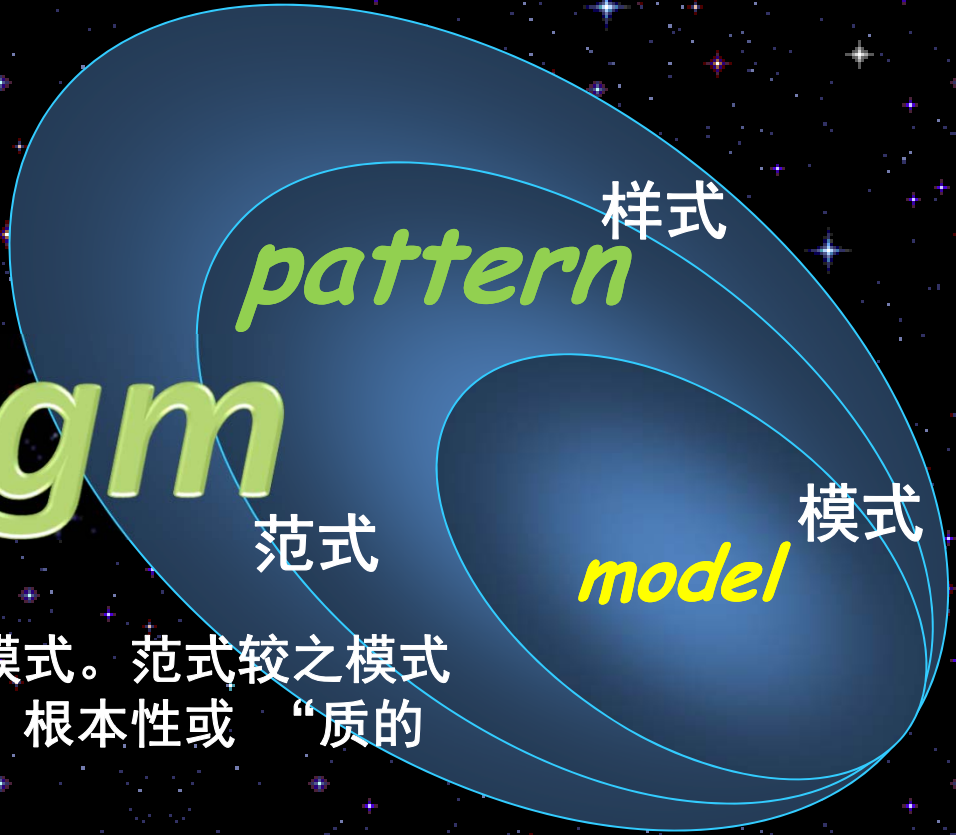
—— 抛弃苏俄模式照搬美国模式的30年

- 高调强化
- 支离破碎
- 可有可无
- 基本不设



学科
再造
集成
创新

Engineering Curricula



paradigm

pattern

样式

范式

model

模式

范式不是简单地等同于模式。范式较之模式更具有全局性、稳定性、根本性或“质的规定性”。

paradigm shift

工程教育及其环境全系统——	思想、观念、价值观层面
工程教育系统——	体制、制度和政策层面
教学系统——	计划、操作方式层面

Engineering Education 3.0

21st 工程师是**追梦成真**的人

21st 工程师是**通情达理**的人

21st 工程师是**无所不能**的人

21st 工程师是**无所不知**的人

→ **Engineers are creative problem-solvers**

→ • **Knows everything** — knows how to evaluate and use the information to transform information into knowledge.

→ • **Works with anyone, anywhere** — has the communication skills, team skills, and understanding of global issues that are necessary for working with other people.

→ • **Imagines and can make the imagination a reality** — has the entrepreneurial spirit, the imagination, and the managerial skills to identify needs, come up with new solutions, and see them through.

Tryggvason, Gretar and Apelian, Diran (2006) : Re-Engineering Engineering Education for the Challenges of the 21st Century. JOM • October 2006.

3

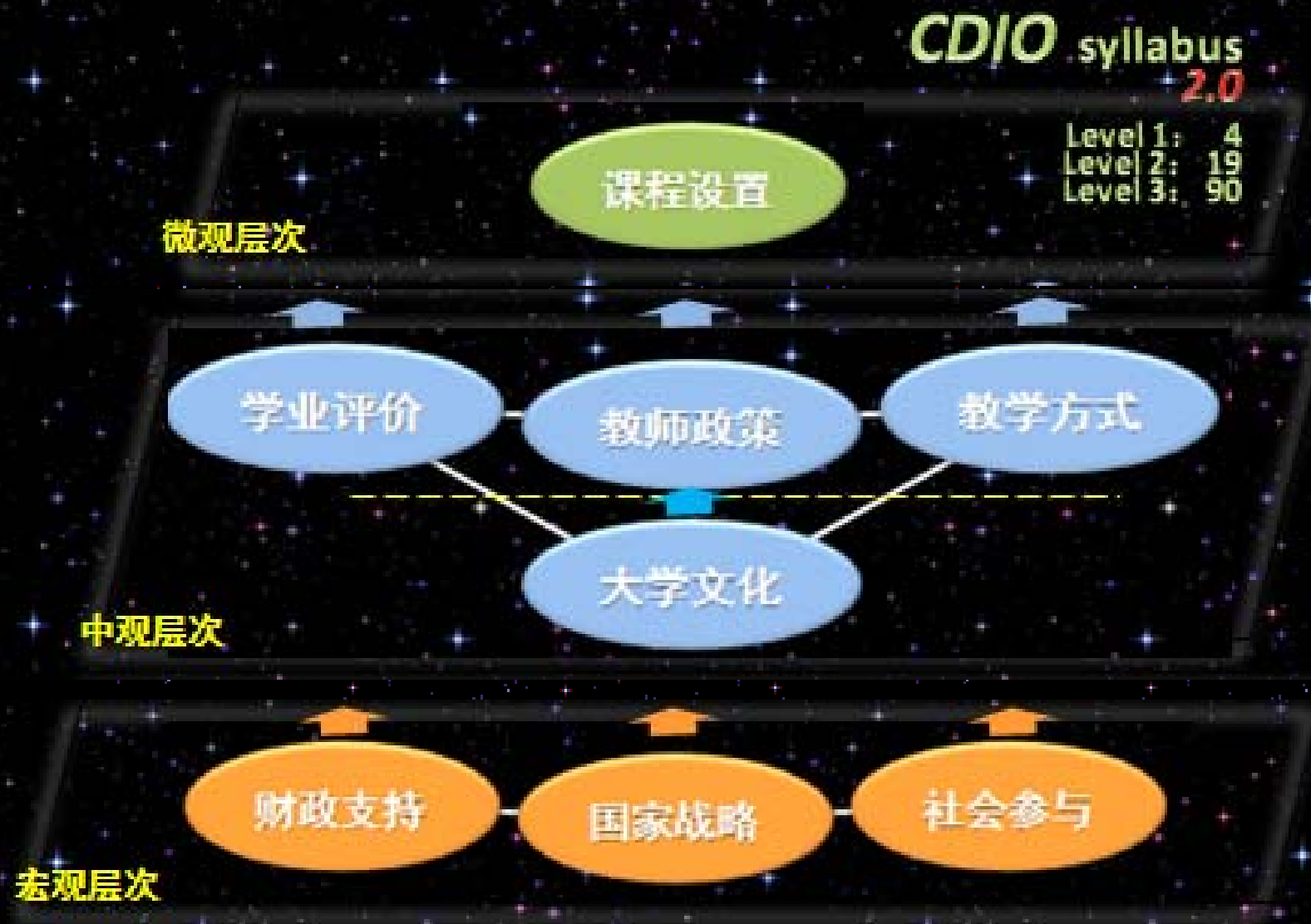
实施CDIO，推进工程教育的范式转移
其实是在进行一场“革命”！



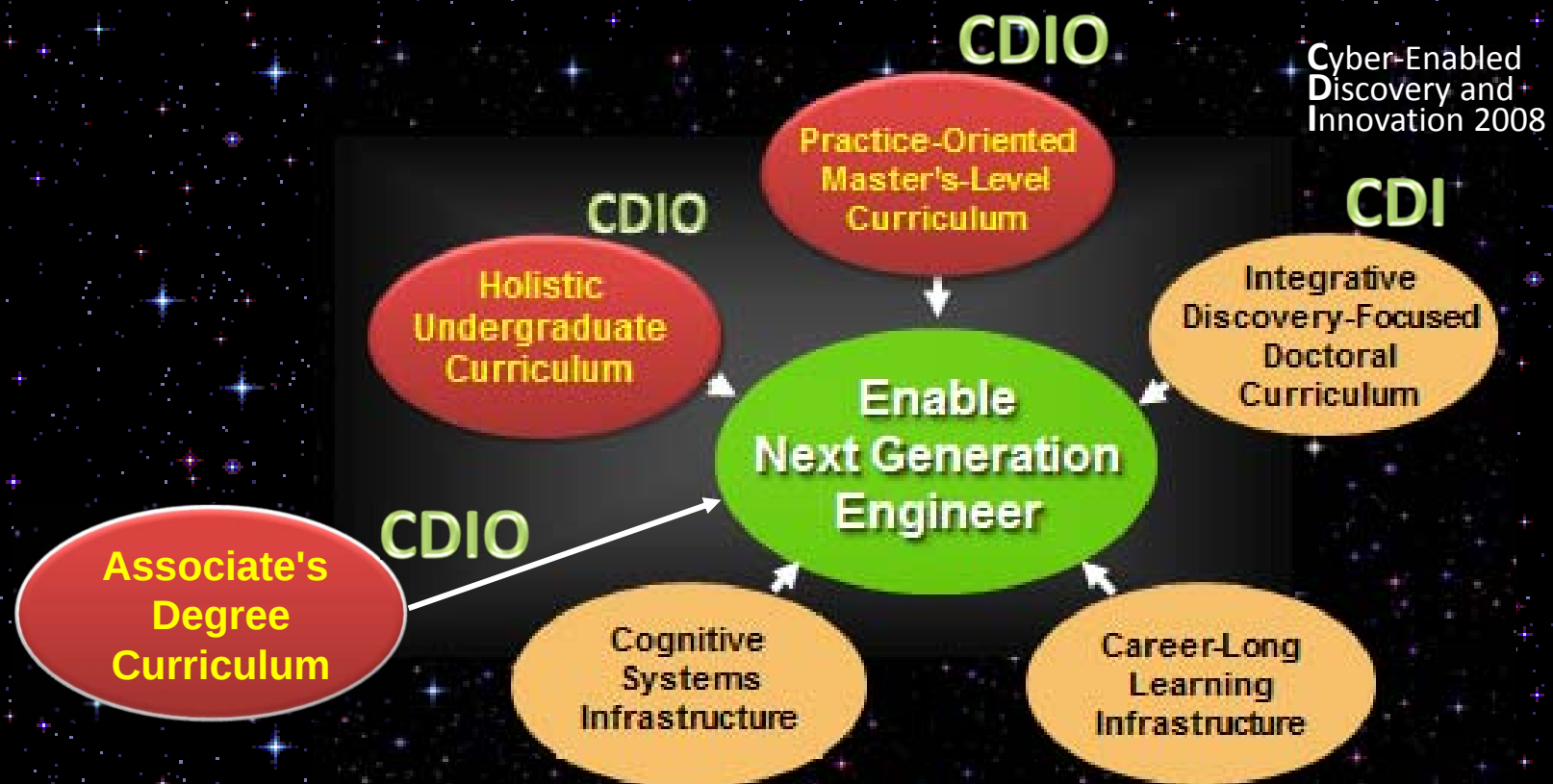
叶民：《工程教育CDIO模式适应性转换平台的研究》

该研究借助扎根理论和建立其上的Nvivo软件工具，就20年来国际工程教育改革的21个权威文献报告文本，通过Nvivo的三级开放编码、主轴编码和选择性编码，进行深入数据挖掘，并给出了整套的相应政策建议。上图为该项大数据研究所提供的工程教育实施CDIO转换平台

CDIO模式实施平台架构

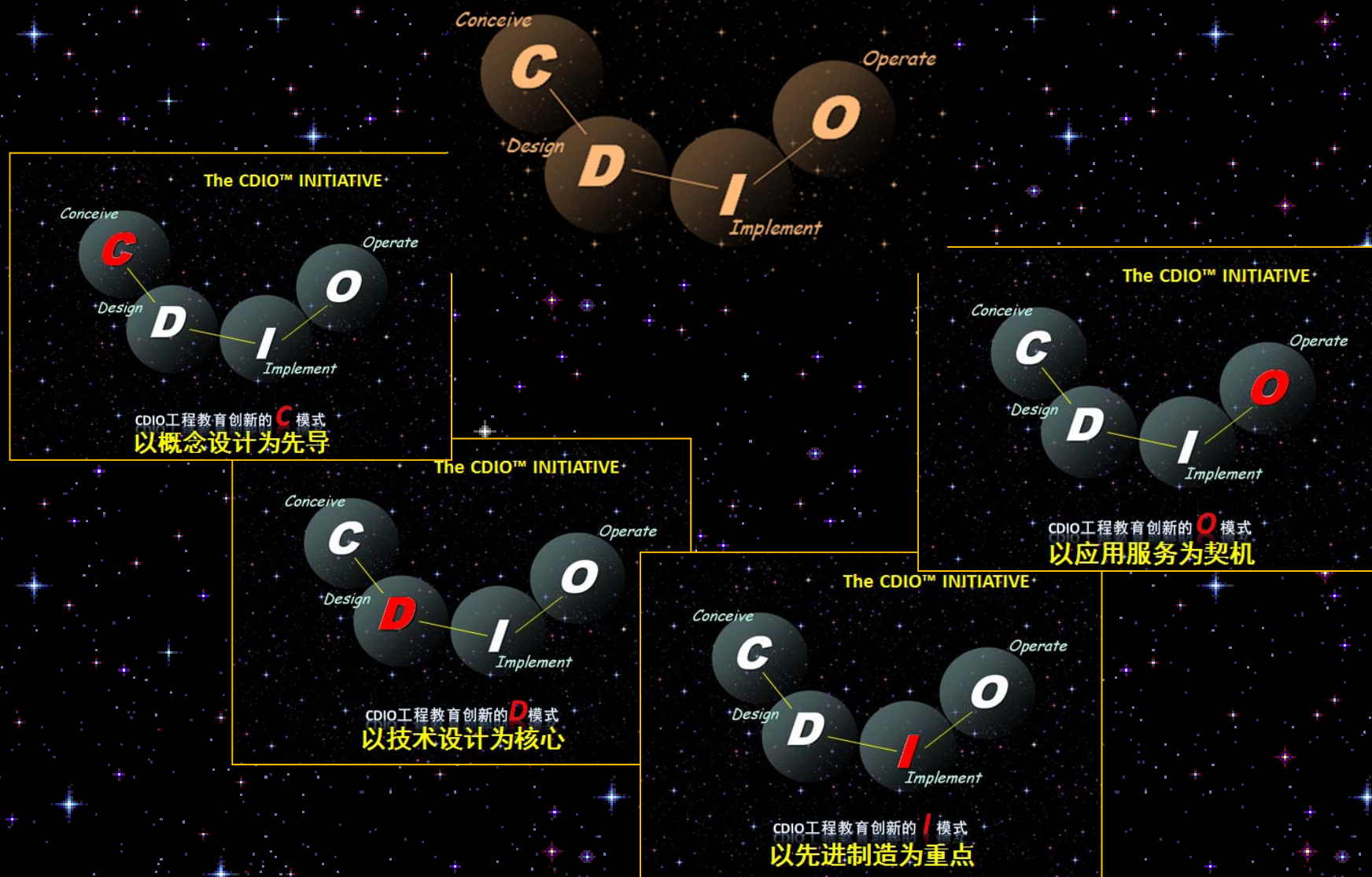


CDIO与未来工程教育系统

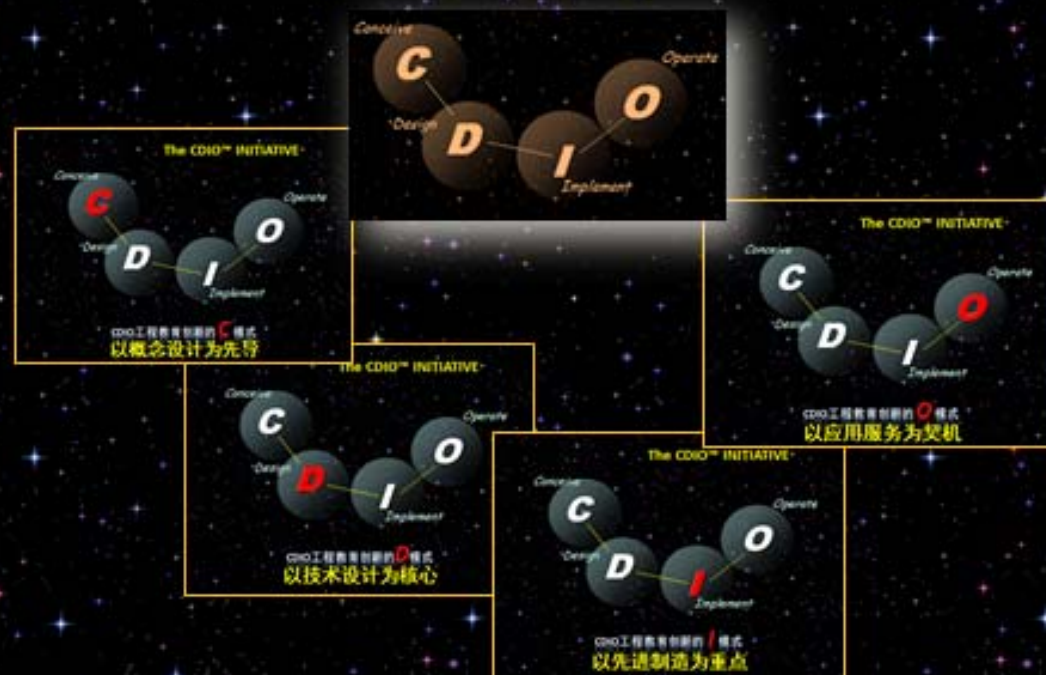


Joseph Bordogna : Enabling 21st Century Engineers, 3rd Government - Industry - University Roundtable on Enhancing Engineering Education, Gaithersburg, MD, November 13, 1996

CDIO模式及其侧重



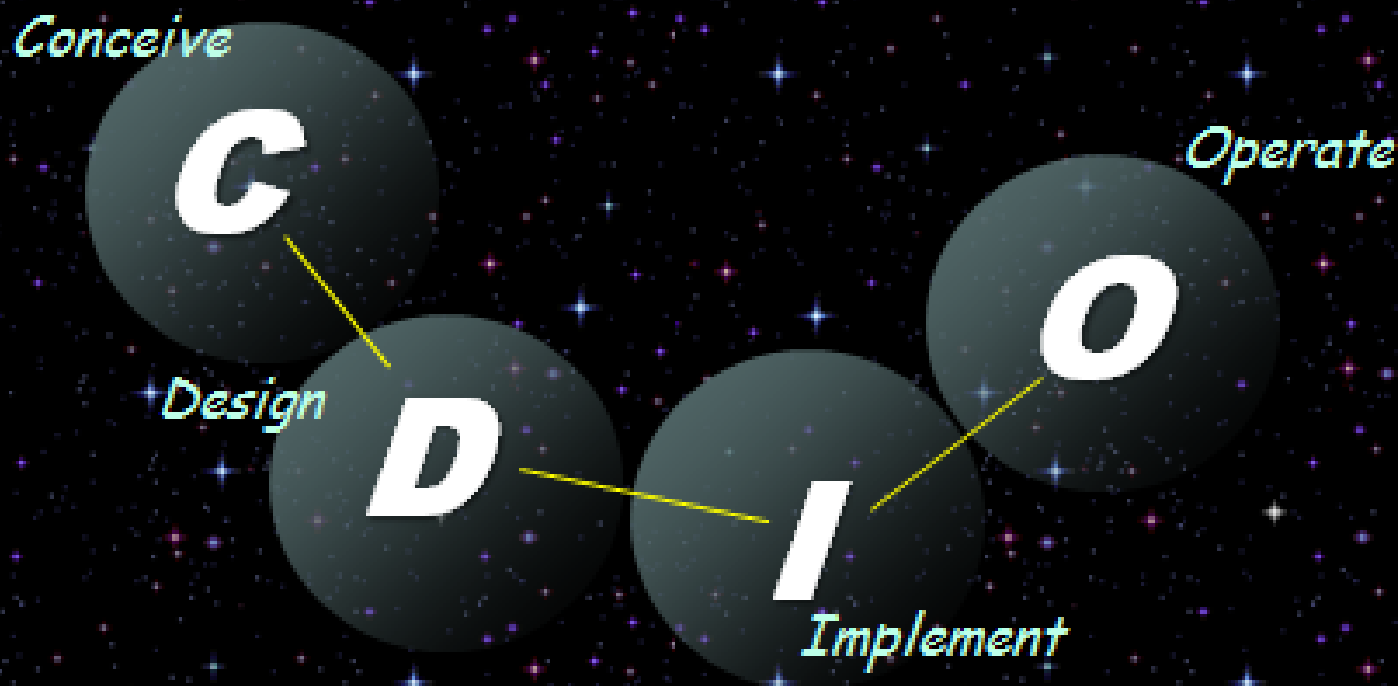
CDIO模式与院校分类



院校类别	CDIO	C_CDIO	D_CDIO	I_CDIO	O_CDIO
高职高专院校	✓			✓	✓
本科院校 (B)	✓		(✓)	✓	✓
本科院校 (M)	✓		✓	✓	✓
本科院校 (D)	✓	(✓)	✓	✓	✓
研究生院大学	✓	✓	✓	✓	✓

CDIO的未来发展

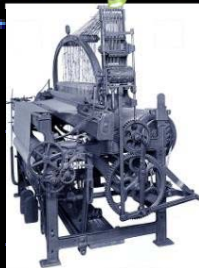
Computing-enabled CDIO



1_CDIO实施在Industry4.0进程

1_Industry4.0 进程

Industry 1.0



First
Mechanical
Loom
1784

1. Industrial Revolution
应用水和蒸汽的动力
进行机械化生产

End of 18th

机械化

Industry 2.0



2. Industrial Revolution
集中的电力基础设施, 基于
劳动分工的批量生产

Start of 20th

电气化

Industry 3.0



3. Industrial Revolution
微电子学、计算机、
IT、工业机器人、生
产自动化

Start of 70s

信息化

Industry 4.0



4. Industrial Revolution
(based on Cyber-Physical
Production Systems)

CPPS ?

Today --

一体化 (质能魂)
(精气神)

Degree of Complexity

t

Industry
4.0

四层境界的精气神一体化

集大成
得智慧

Industry 4.01

企业生产与管理系统的一体化

Industry 4.02

企业功能从生产消费延伸拓展到服务领域，形成现代工程与现代服务的一体化

Industry 4.03

制造与服务从经济领域延伸拓展到社会生活其他领域，形成现代工程与全社会的一体化

Industry 4.04

赛博时代的“大成智慧”一体化

Meta
synthetic
wisdom

Industry
4.0

Degree of Complexity

t

智能制造

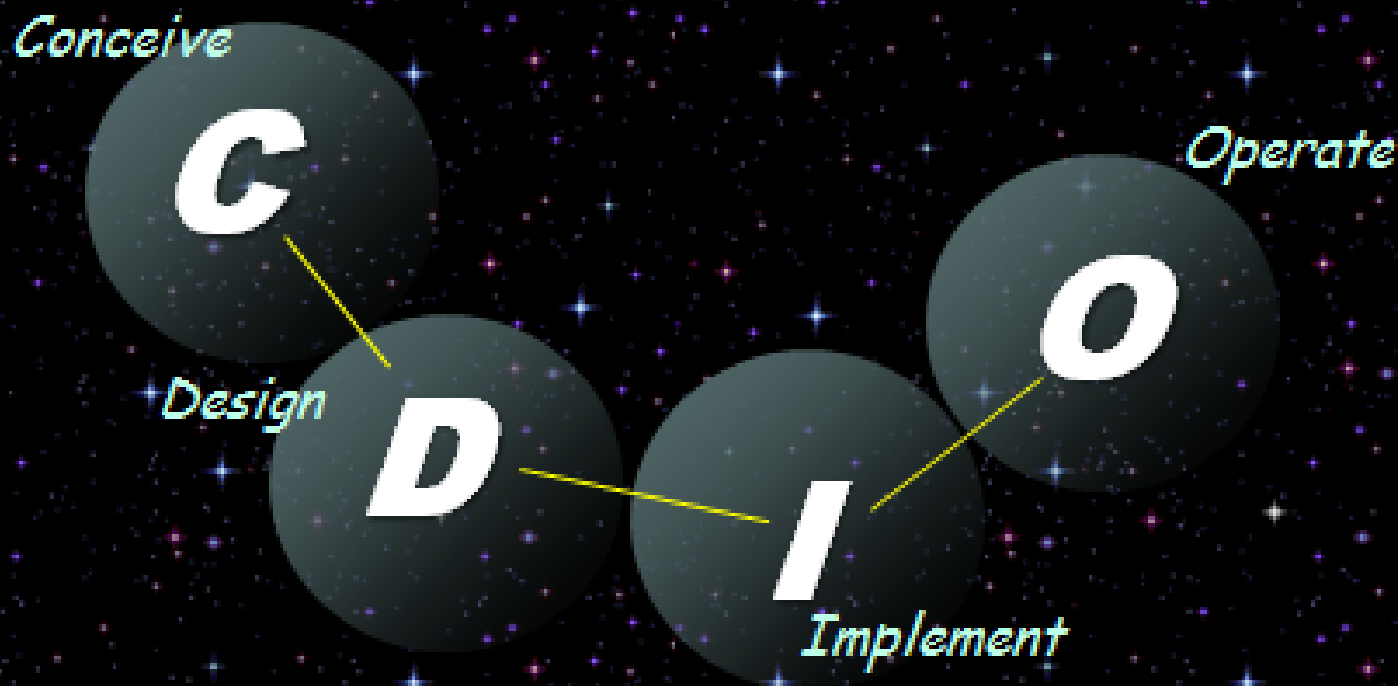
智能制造服务

智能社会

数字化生存

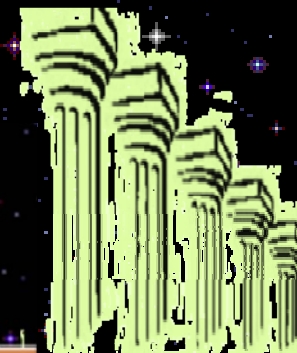
CDIO的未来发展

Computing-enabled CDIO



2_CDIO实施在cyber背景下

2_Cyber 环境



Emerging IT environments are built upon these five pillars:

全社会网络
(CPSS)

CPPS + Internet of Things and Services + ...

→ Social - Collaboration, sharing

移动通讯

→ Mobile - Many types of internet appliances with increasing multimedia and sensory ability.

云计算

→ Cloud - {Infrastructure | Platform | Software} as a Service
See Doug Orr's Talk

大数据

→ Big Data - Storing and operating on data with essentially unlimited storage and processing.

CP传感激活器
(CPS)

→ Cyber-Physical - Sensors-activators to couple the digital electronic world with the physical world. A source of big data.

All of this requires ubiquitous, high capacity networking.

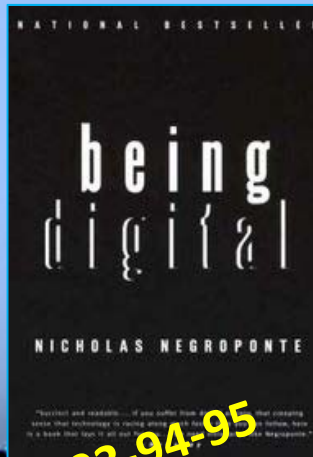
Duderstadt, J.J.: Re-Inventing the Research University, 2012

Cyber 环境 (三层次架构)

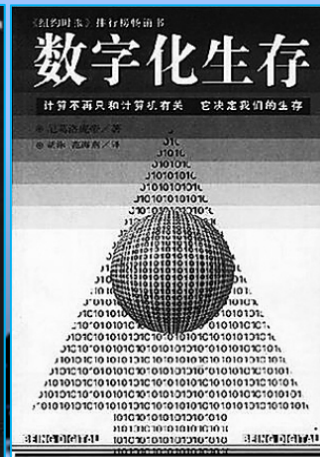
全社会网络
(CPSS)
移动通信
云计算
大数据
CP传感器
(CPS)



计算不再只和计算机有关，它决定我们的生存



93-94-95



尼葛洛庞帝 (Negroponte) 为MIT媒体实验室的创办人，《连线》杂志的专栏作家。

Computing是个连续统 continuum

大计算应用

计算生物学、药物研究、运筹学和物流、气候学、计算流体力学...

大数据应用

供应链管理、电子商务、医学信息学、管理信息系统...

计算
computing

计算科学

计算机科学

信息技术

计算思维

概念、方法、模型、算法、工具与系统

计算原理

数学、概率论、统计学、哲学、语言学、语义学、认知科学、图书馆学和密码学.....

Foley, Jim (2002) : *Computing > Computer*

<http://archive.cra.org/CRN/articles/sept02/foley.html>

Bringing Computational Thinking to K-12:

Operational Definition of Computational Thinking for K-12 Education

Copyright 2011. International Society for Technology in Education (ISTE) and the
Computer Science Teachers Association (CSTA)

Computational thinking (CT) is a problem-solving process that includes (but is not limited to) the following characteristics:

- Formulating problems in a way that enables us to use a computer and other tools to help solve them.
- Logically organizing and analyzing data
- Representing data through abstractions such as models and simulations
- Automating solutions through algorithmic thinking (a series of ordered steps)
- Identifying, analyzing, and implementing possible solutions with the goal of a efficient and effective combination of steps and resources
- Generalizing and transferring this problem solving process to a wide variety of problems



Conceive

PLM, ERP

Operate

To out-compete is
to out-compute

Implement

CAE

CAM

Industry 4.0 Context + Cyber Environments

Integrating Computing In Engineering Education

Computing-enabled CDIO (ce-CDIO)

这种集成就是从赛博文化与计算思维出发，采用一种跨学科方式，把**计算方法**（欧拉法、克雷洛夫法等数值方法等）、**计算工具**（包括MATLAB, Mathematica, AppleSim, Python及其他专业常用软件），以及为预测复杂系统行为或创新设计而**结合工程学科知识的计算科学与工程实践**（建模和仿真等）整合在一起，用模块化方式嵌入到课程教学、实验、课程作业、项目、毕业设计等工程教育活动中。



- (1) 如何在CDIO的90个模块嵌入计算？
- (2) 如何学习计算对工程主题的应用？
- (3) 如何应用计算来学习工程的主题？
- (4) 如何确保工程教育的计算不断线？

*Engineering Our
Future !*

天下兴亡 匹夫有责
任重道远 高歌猛进

310027
杭州市 浙大路38号
浙江大学 1715信箱
科教发展战略研究中心

Tel: 0571-87952174
Fax: 0571-87951599

谢谢诸位