

机械工业出版社

工程教育基础

——工程教育理念和实践的研究

王沛民 顾建民 刘伟民



(浙)新登字 10 号

工程教育基础
——工程教育理念和实践的研究

王沛民 顾建民 刘伟民

责任编辑 杜希武

※

浙江大学出版社出版发行
浙江大学出版社计算机中心电脑排版
浙江煤田地质局制图印刷厂印刷

※

850×1168 32开 16.25 印张 428千字
1994年6月第1版 1994年6月第1次印刷

印数,0001—1500

ISBN 7-308-01504-1/G·170 定价:14.00元

前 言

本书是在教学和研究过程中形成的,它的主题和问题曾经过多次讲授或研讨。

1987年,我们开始试验一项名为“工程教育规划”的跨学科硕士学位计划。顾名思义,该计划不是正宗的高等教育学,也不是正宗的管理科学,而是有关工程的教育学和有关工程教育的管理学。它的多学科交叉特性,在组织课程和选择教材时,一开始就提出难题,因为没有现成的东西适合它。

另有件事反映出类似的困难。一位资深教授接任教学行政工作不久,找我推荐几本“有用的”读物武装一下。未隔几天,他把我精心挑选的几部《学》还过来,留下这些话:“拜读了,多是做过的,或者想到的,要针对问题才带劲。”

不能把这两件事视为撰写本书的主要原因。生动的工程教育改革实践,大量尚无合适答案的问题,才是它的基本理由。在高等教育的广阔领域,工程教育仅占一席之地,然而它的创造革新本性和历史发展逻辑,将它推上引人注目的舞台。人们可以忘记生活质量的提高直接受惠于工程的产品和服务,可以忘记经济文化的繁荣直接依赖于工程的产品和服务,但是千万不要忘记,这里有着工程人才的奉献。工程的理想是与其产品和服务造福人类,工程教育则是为社会造就合格工程人才以实现工程的理想。因此毫不奇怪,为什么人们会对工程不十分了然,而工程教育却被时代推动着急速地变革与发展。

世界各国的工程教育都已意识到面临的挑战,可是当它们真正

行动起来欲取对策时,才发现挑战不仅来自外部,更多的还是来自自身。不恰当的观念,不明确的目标,不完善的组织、内容与方法,就象无形的绳索,束缚着决策和行动。这个情境,仿佛急匆匆赶路的人突然置身于繁华的闹市口,茫然迷惑起来。一路上的商品模特广告招贴太多了,他弄不清如何到的这儿,甚至连此行目的也模糊了。他不能久伫路口或徘徊不前,但他需要立脚判定所处的位置,凝神识别来路与去途,从而找准方向继续登程。本书愿意成为他此时可能急需的最新版市区交通图,而不是路标或问询处。本书不提供唯一现成答案,只展示不同选择的多种可能结果,仍然需要行路人自己的综合判断。

本书就是在这样的背景下完成的。它的框架和细节几乎全部按照工程的理解与方法加以构造,或许有些不伦不类。不过,竭力打破分散学科或山头的界限,打破理论与实践的界限,打破知与行的界限,正是本书的追求和尝试。

十分欣赏与感激本人的合作者对该书的贡献。顾建民(编写第二、五、八章和第一章第四节)、刘伟民(编写第九章)这两位来自不同专业的极有才华的年轻人,热情参与了全书的讨论和分工,在各自承担的任务中表现出丰富的学识、透彻的理解力和洞察力。

应当感谢浙江大学高教研究所及其前、现任所长(浙大副校长)薛继良教授和黄达人教授,没有他们始终如一的关心和支持,本书的创作和出版几乎是不可能的;衷心感谢浙江大学校长路甬祥教授,他对工程教育的精辟见解和创意实践让本书作者受益匪浅。本书许多主题正是他们向作者提出的研究课题,见诸文字的这些结果其实很难与他们的指导与鼓励分开。

王沛民于求是园

1994年1月

目 录

第 1 章 引论:基本的方法和概念	(1)
1.1 为何研究工程教育?	(1)
1.2 视为人工系统的工程教育	(5)
1.3 研究工程教育的系统方式	(8)
1.3.1 结构观念 1.3.2 功能观念 1.3.3 环境观念	
1.3.4 层级观念 1.3.5 过程观念 1.3.6 五种观念	
的综合	
1.4 预先说明的几个概念	(17)
1.4.1 工程中的技术和非技术 1.4.2 科学和工程	
1.4.3 艺术和工程	
1.5 小结	(30)
第 2 章 工程教育的历史	(32)
2.1 工程史略	(32)
2.1.1 古代工程 2.1.2 近代工程 2.1.3 现代工程	
2.1.4 五大工程学科的形成	
2.2 工程教育的开端	(49)
2.2.1 艺徒制的兴盛 2.2.2 艺徒制的衰微	
2.3 工程教育的形成	(52)
2.3.1 大学的传统 2.3.2 在大学外崛起	
2.3.3 大学的改革 2.3.4 在大学内确立	

2.3.5 中国工程教育的缘起和成长	
2.4 工程教育的发展	(65)
2.4.1 结构趋向合理	2.4.2 模式不断完善
2.4.3 内容日益丰富	2.4.4 职能逐步拓宽
2.5 工程教育未来展望	(75)
2.5.1 形势和挑战	2.5.2 未来的走向
2.6 小结	(81)
第3章 工程教育的环境	(84)
3.1 环境中的工程教育	(84)
3.2 科学环境和技术环境	(87)
3.2.1 科学和技术的分类体系	3.2.2 工程观点的科技结构
3.2.3 人工科学：工程的科学基础	
3.2.4 “普通工程学”的探索	
3.2.5 结论：要会考虑技术可行性	
3.3 经济环境、政治环境和社会环境	(99)
3.3.1 历史性的抱怨	3.3.2 经济、管理及其教育
3.3.3 政治、文化及其教育	3.3.4 结论：要会考虑经济可行性和社会可行性
3.4 生态环境	(110)
3.4.1 人类新的觉悟	3.4.2 能源和环境的教育
3.4.3 结论：要会考虑生态可行性	
3.5 小结	(117)
第4章 工程教育的专业维度	(119)
4.1 工程维：工程教育的基因之一	(119)
4.2 工程的领域	(120)
4.2.1 社会的观点之一：行业分类	4.2.2 社会的观点之二：职业分类
4.2.3 大学的观点之一：	

专业分类	4.2.4 大学的观点之二:学科分类	
4.3	工程的活动	(135)
4.3.1	对象分析法	
4.3.2	过程分析法	
4.3.3	组织分析法	
4.4	工程的方法	(143)
4.4.1	方法的一般概念	
4.4.2	方法构成的三因素说	
4.4.3	发想:方法的第四因素	
4.4.4	问题的一般概念和分类	
4.4.5	工程方法的几种定义	
4.5	工程方法的新概念	(158)
4.5.1	设计:工程的基本方法	
4.5.2	设计过程与模式	
4.5.3	设计方法:一种流程图式	
4.6	小结	(158)
第5章	工程教育的教育维度	(170)
5.1	教育维:工程教育的基因之二	(170)
5.2	教育、社会和人	(171)
5.2.1	教育与社会发展	
5.2.2	教育与人的发展	
5.2.3	社会发展和人的发展:教育的抉择与统合	
5.3	教育的内在结构	(187)
5.3.1	教育范畴的发展	
5.3.2	教育的基本要素	
5.3.3	教育的基本关系	
5.4	教育变革和发展	(196)
5.4.1	变革一:教育民主化	
5.4.2	变革二:教育终身化	
5.4.3	变革三:教育职能多元化	
5.4.4	变革四:教育结构多样化	
5.5	小结	(209)
第6章	工程教育的目标	(210)
6.1	作为“价值系统”的目标系统	(210)

6.1.1 目标逻辑结构	6.1.2 目标系统特性	
6.1.3 目标系统悖论		
6.2 区别于大学目标的教育目标		(220)
6.2.1 高等学校的多重目标	6.2.2 工科院校的教育目标	
6.3 工程教育目标的外部考察		(230)
6.3.1 工程队伍的分层	6.3.2 工程师的定义和分类	
6.3.3 研究、设计和开发		
6.4 工程教育目标的内部考察		(253)
6.4.1 教育目标分类法	6.4.2 知识和技能的一般概念	
6.4.3 “知识塔”:行为目标的空间性		
6.4.4 “技能钟”:行为目标的时间性		
6.4.5 作为行为动力的品性目标		
6.5 工程教育目标的动态考察		(275)
6.5.1 “工程形成”的概念	6.5.2 预备教育阶段	
6.5.3 大学教育阶段	6.5.4 继续教育阶段	
6.6 小结		(282)
第7章 营造工程教育系统		(284)
7.1 课程设计的使命		(284)
7.2 工科课程:培养工程人才的“设计”		(286)
7.2.1 课程的一般概念	7.2.2 课程的单元类型和联系	
7.2.3 课程的设计思想	7.2.4 工科课程单元及其配置	
7.3 工科课程规划:“设计”的设计		(313)
7.3.1 泰勒模式	7.3.2 波比特模式	7.3.3 非模式的“模式”
7.3.4 规划方法论的讨论		
7.4 案例研究:工科课程方向		(329)
7.4.1 三明治课程	7.4.2 设计式课程	
7.4.3 跨学科课程		

7.5 小结	(352)
第8章 运行工程教育系统	(354)
8.1 教学运行的使命	(354)
8.2 教学和教学过程	(356)
8.2.1 教学的一般概念	8.2.2 教学系统
8.2.3 教学过程	
8.3 学与教:活动与策略	(378)
8.3.1 学习和影响学习的因素	8.3.2 成功教学的标识和策略
8.3.3 学会学习和教师发展	
8.4 学与教:方法与匹配	(397)
8.4.1 教学方法的层次和分类	8.4.2 常用教学方法举要
8.4.3 教学方法的选用	8.4.4 学法和教法的匹配
8.5 “教学—研究—生产”三结合	(413)
8.5.1 教学与研究的结合	8.5.2 教学与生产的结合
8.6 小结	(417)
第9章 控制工程教育系统	(420)
9.1 管理和控制的使命	(420)
9.2 教育管理的实践与研究	(424)
9.2.1 西方的管理运动	9.2.2 中国高教管理的进展
9.2.3 行政权力和学术权力	
9.3 工程观点的教育管理	(440)
9.3.1 教育管理的控制论定义	9.3.2 人才培养的TQC
9.3.3 决策与评价	
9.4 管理“迷宫”:组织/行为	(459)
9.4.1 组织理论的变迁	9.4.2 组织及其行为
9.4.3 杂烩还是拼盘?	

9.5 小结	(177)
第 10 章 未完工的基础	(180)
参考文献	(187)

第 1 章 引论： 基本的方法和概念

1.1 为何研究工程教育？

任君翻遍当今中国任何一本《学科分类大全》或《科研项目指南》，保管找不到“工程教育”这个条目。既然如此，为什么还要研究它呢？难道工程教育有什么学问吗？

此种疑问，可能来自工程学家，也可能来自教育学家。无可非议，工程学和教育学确实皆是高深的专门的学问，它们有各自权威的理论，也有各自理论的权威，但这并不等于多少与其有些关联的工程教育没有学问。我们说，工程教育有生动丰富的实践的学问，有成功独特的方法的学问，也有它自己内容的理论的学问。给出这些问题的完整答案，正是我们要致力完成的任务。

工程教育的重要性，可以从教育方面谈，亦可从工程方面谈。为简单计，我们用两个图分别予以说明。

图 1.1 给出高等教育中理工医农四个门类在学人数的分类比例。选择本世纪 70 年代末、80 年代初的数据，是因为世界范围的工程教育此时正在酝酿或发生着急剧变革，这场变革的直接原因无疑是“新技术革命”的冲击。选择日本、美国、英国、前联邦德国和中国的数据，是因为五国的工程教育皆具相当的规模，且美英德日的工程教育现在多为我们借鉴。

图 1.2 则从工程的知识形态描绘出它带给人类其价无比的产品

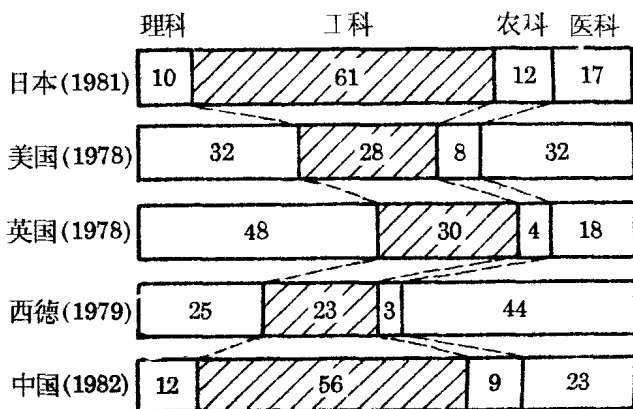


图 1.1 五国工程教育的比重

和服务。图中所列的项目远非详尽，其实也难以用图形和文字完全表达，只是说明工程为人类造福的事例不胜枚举。当你阅读此文时，请让视线暂且离开纸面而移向别处。你的目光所及，十有八九是工程的产物。平心而论，你能说这些司空见惯的“人工物”对你不重要吗？你不感到这些习以为常的东西与工程教育或多或少存在某种联系吗？

现代意义的工程教育已有近两个半世纪的历史，这是从法国波旁王朝在 1747 年创办以培养土木工程师为目标的土木学校起算的。若不计较教育的学校形态，这个起点还可大大向前推移。例如，同样在法国，为法兰西人引以自豪的是路易十四手下的大臣考尔勃脱(J. B. Colbert)于 1675 年开办的一个机构，训练出不少著名的军事工程专家。这差不多是牛顿和莱布尼兹创立微积分的同一时期。随着几个世纪来科学和技术的长足发展，人类生产活动和生活方式的深刻变化，虽说工程教育的面貌也日新月异，但仍然应付不了时代的全方位挑战。

严峻的情势产生出两个问题：(1)原因何在？(2)取何对策？理论家们也许对第一个问题更感兴趣，实践家们或许恰恰相反。“只务耕

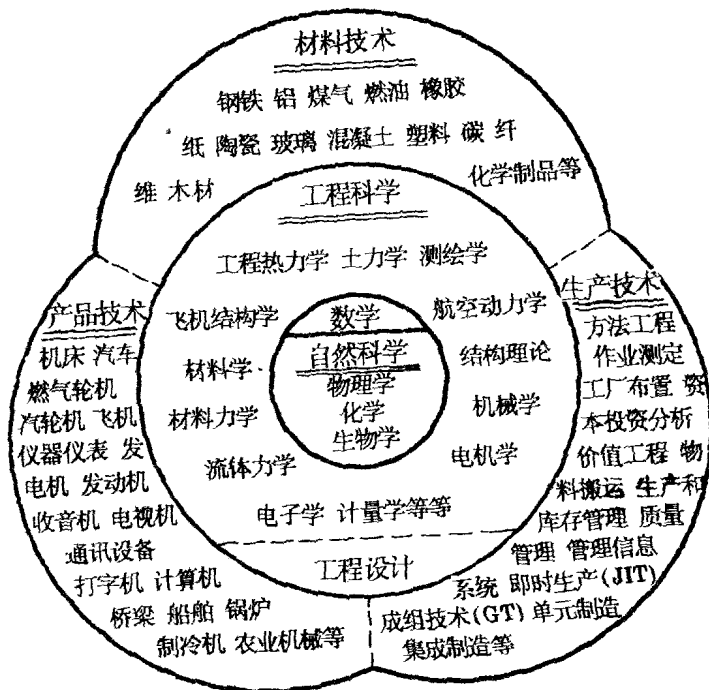


图 1.2 工程的科技概貌

耘,不问收获”向来是科学家职业的骄傲(参见 Sarton, 1948),但我们不敢苟同。工程教育工作者似无必要仿效着追求这份荣光,而应象曾由他们培养过的工程师那样“既务耕耘,更重收获”,与其深究问题原因的真与伪,不如讲究问题结果的好与坏。这是我们欲取的态度,即:从工程教育实践中的问题出发,运用类似我们熟悉的工程的方法,探索可行的问题解法,从而开发工程教育的有效途径。

80年代是世界范围工程教育的新一轮改革发展时期。

1980年1月,英国工程专业调查委员会(CIEP)发表大型报告:《工程:我们的未来》,即所谓《费尼斯顿报告》(Finniston Report)。该项

研究耗资 40 多万镑,历时 2 年有余,85 个工程专业团体、59 所大学和其他教育团体、100 家企业、组织、政府部门和官方机构,以及 500 多位知名人士直接参与其工作。近 300 页的报告,全面审视了英国的工程教育、工程队伍与作为国民经济支柱的工业和贸易,揭示了问题,辨明了挑战,给出 80 条关于改革与发展的主要结论和建议。

1985 年,美国国家研究委员会(NRC)发表 130 页研究报告:《美国工程教育和实践》(副题“我们技术—经济的未来的基础”),汇总了九个专题研究组的工作成果、结论和建议。随后,各专题组的分报告陆续分册发表,长达千余页,内容涉及工程本科教育、研究生教育与研究、继续教育、技术教育、工程界、工程与社会等。

1989 年底,日本文部省发表调研报告:《变革时期的工程教育》,研讨了该国工程教育面临的挑战和加速社会化、国际化的相应对策。

这 10 年间,关于工程教育的重要研究报告还有瑞典皇家工程科学院(IVA)的《未来的工程师》(1986),以色列高等科技教育研究院(SNI)的《工程教育 2001》(1986),澳大利亚工程师协会(IEA)的《到 2000 年工程教育》(1987),加拿大专业工程师协会(CCPE)的《工程的未来》(1987)等。

中国在 1987 年初,中科院院士、国家教委直属高等工业学校教育研究协作组名誉组长张光斗教授曾提出一个详尽的研究提纲,试图就我国现代化工程的意义和组成、工程职业活动的动力、高等工程教育结构的层次和规格、本科和研究生的工程教育、大专工程技术教育、工程师的继续教育、工程师使用的特点、政府和各界对工程教育的支持、工程和社会的相互作用、工程职业的发展等问题进行整体的研究,形成《中国高等工程教育:我国未来技术—经济的基础》的报告,以加速推动中国工程教育的发展。该计划未能实现固然遗憾,但是却留下了一个机会。中科院院士、浙江大学校长路甬祥教授曾经说过,工程教育研究是我们永久的课题。本书的全部工作,可以说就在尝试部分地研究这个课题。当全球工程教育的成功实践摆在面前的时候,当对它开始作出理性阐述的时候,当以此为基础继续把实践向

前发展的时候,即使未经“学科评议”,我们也能够说这里就是工程教育的探索的成果,同样也就是我们研究它的初衷。

1.2 视为人工系统的工程教育

工程教育是作为一种社会现象和一项社会实践而存在的,它不只是一个客观事实,同时也是一个主观概念。哲学上常用本体论(ontology)和认识论(epistemology)的工具分别地或统一地处理它们。工程教育又是作为一种区别于其他社会现象和实践的存在,它不只是一种具有自己内容的运动,同时还具有自己的运动形式,具有自己不断变化的内容和形式。哲学上常用方法论(methodology)的工具处理它们。为了解决我们的问题,这些工具还不够方便实用,仅可用作一般的指导。那么,如何着手了解和利用工程教育的学问呢?我们回答:从“0”开始!

“0”是什么?

仁者见仁,智者见智。创造思维法则说:请诸位发挥想象,各抒己见。于是,物理学家:这是零,什么都没有,是实无;哲学家:这是太极,是虚无,太极生两仪,两仪生四象,四象生八卦,八卦生万物;几何学家:这是圆,曲率半径处处相等的封闭曲线;语言学家:这是文字符号,大的可作字母O,小的可作句号“。”;政治家:这是已圈阅,照办、看着办或不要办;诗人:这是明月,汗漫铺澄碧,朦胧吐玉盘;幼儿园小朋友:我说,这是达·芬奇爷爷画的蛋;……

“0”,可以什么都是或什么都不是。如此之不确定,不妨冠以同样不确定的名称:系统。不确定的东西不等于不可探其奥秘,不确定中有确定。例如系统,即可分为天然系统和人工系统这样确定的两大类。工程教育就是一种人工系统,且是开放的复杂人工系统。

有各种各样的“系统”定义,比较公认的不下上百种。但是形形色色的系统定义大体上又不外乎以下三类:

第一类的系统定义基本上是在直观性术语的基础上作出的,它

们的数量最多,常常是由人文、社会科学工作者提供的。例如,“系统是由两个以上的要素按确定方式构造而成的一个有机的整体”(舒炜光,1986)。去掉句中的限定性修饰成分,即得到更简单的陈述:系统是整体。这无疑是对系统概念核心的正确表述。

第二类的系统定义则把系统视为某种数学模型,数学和自然科学工作者常常采用这种定义。由于数学和科学的分支众多,这类定义的数量也不少,可以说给定一个方程式即定义了一个系统,给出一个方程组则定义了一个更大的系统。遗憾的是,并非所有系统皆能用确定的数学模型描述,故其主要限于人类已较好认识的某些天然系统。

第三类的系统定义时常借助“信息加工”、“管理”、“输入”、“输出”等概念来表达,它们颇受技术科学或工程学以及若干新兴学科的青睞。例如,“系统是由结构和功能相互联系在一起的要素集”(Czichos,1979)。按照这个定义,工程教育系统可一般地表示为图 1.3。图中,系统结构 S 定义为“元素—属性—关系的三元组”,即

$$S = \{A, P, R\}$$

其中,A、P、R 分别表示结构元素集合、结构元素的属性集合和结构元素间的关系集合。系统功能 T 定义为“借助系统结构的输入/输出变换”,即

$$T(X) = Y$$

或者

$$T: X \rightarrow Y$$

其中,X 和 Y 分别表示系统环境作用于系统的(输入)元素集合和系统作用于系统环境的(输出)元素集合。以上五种集合就是 Czichos 定义中的要素集。系统结构则用假想的系统包络与系统的环境分开。一般而论,这不同的包络位置就把所研究的系统区分为不同的复杂程度或不同的系统等级。就工程教育系统而言,我们把包络的位置放在工程和工程教育之间,或者放在工程教育与教育之间,视讨论的主题而定。

在技术系统的研究中,与系统有关的问题时常归入下列各类之

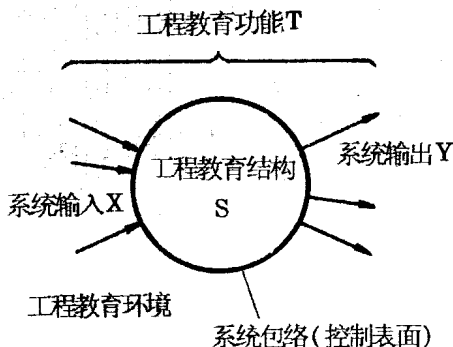


图 1.3 视为系统的工程教育

—(Dorny, 1975):

- 系统分析:弄清系统的功能和结构、输入和输出的内容;
- 系统运行:给定系统的功能和结构以及输入,求系统的输出;
- 系统转置:给定系统的功能和结构以及输出,求系统的输入;
- 系统综合:给定系统的输入和输出,求系统的功能和结构;
- 系统优化:选择适当的系统功能和输入,求最佳的系统结构和输出。

工程教育系统的研究大体也要涉及上述问题,但工程教育比技术系统复杂得多,解决纯粹科学技术问题的“经典”分析方法在这里未必完全适用。因为,分析方法的成功应用取决于以下两个条件:

(1)各要素之间必须没有相互作用,或对于某种目的来说,至少这些作用微弱到可以忽略不计的程度。只有在此条件下才能从实际上、逻辑上或数学上首先把各要素划分开来,然后重新聚集为整体;

(2)各要素的行为必须是线性的。只有在此条件下才能应用迭加原理,由部分过程求得总的过程。

这些要求在称为有机整体的工程教育系统中是不能得到满足的,因为系统的诸结构要素、系统的诸功能要素,以及系统的结构要素和功能要素是“相互联系在一起的”。考察工程教育系统以及其他