

工程师的形成

● 薛继良 主审 王沛民 编校 顾建民 等译

挑战与对策

浙江大学出版社

内 容 提 要

工程师形成的原理、内容、方式和过程,是工程教育理论和实践需加解决的大课题。本书详述了工程教育面临的严峻挑战,介绍了迎接挑战的若干对策,如拓展工程教育范畴、改革工程本科教学、开创合作教育途径等;同时探讨了工程人才(包括工程师、工程技术专家、工程技术人员)形成的标准和成长路线。

本书供从事人才规划、教育、训练和使用等方面的有关人员阅读,亦可供大学、工业、科技干部管理等机构的领导和研究人员参考。

工程师的形成:挑战与对策

薛继良 主审

王沛民 编校

顾建民 等译

责任编辑 刘培华 王沛民

浙江大学出版社出版

德清雷甸印刷厂印刷

浙江省新华书店发行

开本850×1168 1/32 印张11.375 字数275千字

1989年2月第1版 1989年2月第1次印刷

印数: 0001—3000

ISBN 7-308-00229-2

G·015 定价: 4.50元

编者前言

现代意义上的工程教育，若从法国的波旁王朝在1747年创办以培养土木工程师为目标的土木工程学校算起，至今已有240年的历史。

两个半世纪来的自然科学发展，产业革命和技术革命的相继推动，造成了今天“科学——技术——生产”一体化的势态或趋向。从生产力的角度讲，人类社会跨进了以SC³技术（Sensing + Communication + Computer + Control）为标志的所谓信息时代。科学的研究在深入，技术的复杂性在增长，工程的规模在扩大，人类活动的领域和方式已不再停留在“征服自然”的初级水平上，而是到达在认识世界、改造世界的过程中谋求自身和自然的协调发展的新阶段。传统的文化观念和价值观念，无一例外地受着时代浪潮的冲击，或更新，或湮灭，或者暂时固守一隅而终将推上更高的浪尖接受检验。

以培养满足经济和社会需要的高级工程技术人才为己任的工程教育，正是处在这样的时代激流中。今天和未来，需要**更多的**工程师。今天和未来，需要更多的**合格的**工程师。工程教育受着来自其环境的全方位挑战。面对经济和社会迫切的甚至苛刻的大量需要，工程教育必须作出自己的响应，审时度势，研讨对策，积极行动，从而满足需要、回答挑战。

航空动力工程的先驱冯·卡门（Von Karman）说过：

科学家研究已有的世界，工程师创造还没有的世界
（Scientists study the world as it is, engineers create the world that never has been）。

这句话既说明这两类人不同的劳动特点，又提示他们形成过程应取的有区别的方式和途径。对于一个局外人或中学生，完全

可以把爱因斯坦和爱迪生混为一谈，但对现时参与工程教育的人（无论是工科教师和学生，还是工程师以及大学和工业的管理人员），如果不认识这两类人及其劳动的区别与联系，很难成功地完成工程教育的任务。因为从“设计”的观点看，工程教育只不过是某种设计决策下的行动，而此项设计必须是针对确定的设计目标并能满足“用户”基本需要的。工程教育的“用户”是经济与社会，其目标则是形成（formation）适合经济与社会需要的工程师。

问题似乎理所当然地首先引到“工程师是什么人”或“工程师是干什么的”问题上。如果我们作一般的回答：“工程师是以工程为其职业的一种人”，或“工程师是从事工程专业活动的一种人”，那末同样引出“工程”、“职业”、“专业”、“人才”等一系列需加诠释的概念。问题的全部复杂性就在这里：学校按照学术传统理解这些概念，工业按照经验传统理解这些概念，而社会对两者都不细究，它只为自己的进步要求工程教育供给它作为其细胞组织的健康而有活力的足够的社会成员。为解决这个复杂问题可能存在一个极好的办法，那就是在多种需要之间建立一种平衡，尽可能满足诸方面的需要。但有一点必须明确，即工程教育通过工程师的培养服务于经济和社会，并且由此获得资源而服务于自身。这是一个闭合的“怪圈”，在其任何一处切断都会失去完整的答案。

尽管如此，我们还是回到工程教育培养目标这一点上，对工程师试给出如下递归方式的定义：

工程师是：

- (i) 人才；
- (ii) 专业人才；
- (iii) 从事工程活动的专业人才。

根据定义的第一条，既然工程师作为一种人才，他就不是

单纯消耗资源的人,而是必须提供服务和贡献的人。人才对其环境的关系,首先是适应,其次是予以积极的影响。这就要求他具备一定的知识,应当懂得自己和环境是什么,懂得如何去适应和影响;要求他具备一定的技能和能力,应当会做适应和影响环境的事;要求他具备一定的个人品质,应当成为在环境作用过程中求得自身发展的完全的人。简言之,可以从“应知”、“应会”、“应是”三个方面区分人才与非人才,并由此辨识工程师概念的第一层涵意。

根据定义的第二条,工程师无疑是从事某种职业的人才。国外分别职业(occupation)为数种,profession和trade皆可作职业解。正如我们所说的专门职业和普通职业,两种职业的区别集中表现在所需教育和训练的水平不同、形成过程周期的长短不同,以及对社会承担直接责任的大小不同。因此,专业人才必须接受完全的高等教育和专门的业务培训,并且在其职业生涯中有能力也有义务不断更新与完善自己的教育和训练;另一方面,专业人才由于对社会承担的责任超过他对所在服务部门承担的责任,还必须接受有关的职业道德规范的严格约束。以上特点,应是工程师概念的第二层涵意。

根据定义的第三条,工程师是不同于科学家、医生、教员和律师的专业人才,他的专业活动限定在工程领域内。然而工程领域是个动态的范畴,在其传统的土、机、电、化四大子域内,现已形成若干分支,并且还在生成和发展新的分支。教育部门和产业部门依据各自的价值目标,对工程师各有一套分类,分别根据工程学科门类和工程“产品”对象。两种分类虽有交叉之处,总体上却是呈现一道人为的鸿沟。折衷的办法似可按工程师的社会职能作工程师分类的依据,并以此作为大学和工业对话的基础。公认的这些职能包括:研究、开发、设计、制造、运行、试验、营销、管理、咨询和教育。一个工程

师至少涉及其中三个以上的方面，才能适应当代的“科学——技术——生产”一体化。工程师概念的第三层涵意大致如此。

如果说上述定义是比较完备的，我们就可以由此出发规划工程师形成的具体过程和内容。用工程的话来讲，也就是从系统的功能设计转到技术设计。应当指出，对工程师的“技术设计”并非只能有唯一方案，一个好的“人才工程师”恰恰需要拿出可供选择的多种方案。但是同样应当指出，技术设计毕竟是第二位的，因为“正确的”系统功能设计要比“正确的”技术设计重要得多。选择“错误的”工程教育目标就是错误地解决问题，而选择“错误的”培养计划至多不过是选择了一个非最优的方案。

我们还是要回到冯·卡门的那句话：“工程师创造还没有的世界”。工程的本质就在于革新、发明和创造。在某种意义上，我们现在研究工程教育的挑战与对策，应视为一种“工程的”活动，而且无疑是工程浩大的系统工程的活动。在这里，为人熟知的分析性的逻辑方法是不够的，尤其需要工程本身的综合的创造性方法。

本书正是从一个侧面探索了工程教育的挑战与对策这个世界性的主题。不同国籍的作者依据自己理论活动和实践活动的经验，就形成、造就或培养现代工程师的原理、内容、方法和途径，报告了若干有意义的结果。尽管工程师的形成是跨越大学前教育、大学教育和大学后教育三阶段的连续过程，但由于大学的工程教育毕竟是该过程的基础阶段，书中多数作者还是将注意力集中在工程师形成的“摇篮期”。值得指出的是，作者们几乎都不是从工程教育的成就出发而是从问题出发进行讨论，表现出对所投身的事业之信念或自信；此外，作者们几乎都不是把眼光局限在“象牙塔”内，而是自觉地把大学工程教育放到社会大系统的环境中考察，表现出一种全局的、开放的整体

意识。正因为如此，本书或许能对推动我国目前正在进行的工程教育改革，对促进和加强大学与工业的合作，对造就大批能够担起时代责任的现代工程师，给出一些启发和借鉴。

围绕挑战与对策的主题，全书共分五章，包括29篇独立的文献。第一章开宗明义提出挑战，展开工程教育受到严峻挑战的画面。第二、三、四章集中研究对策问题，分别从工程教育范畴的拓展、工程本科教学的改革、合作教育途径的开创三方面具体加以阐述。第五章较多理论性和政策性，对工程技术人才的内涵和成长路线作了详尽描绘。作为本书的序言，卷首还收录国内新近的一篇文献“试谈现代工程教育”，文献作者概括而精辟地阐述了现代工程教育的若干问题，它们正是后面各章要研究的。

本书收编的文献虽已把问题的情境勾画出来，有些问题也已明确下了定义，但是多数还没有充分展开讨论。本书的题目实在太大了，仅国内每年就有上百万字的崭新文献问世，尚且不计在研究的未发表的工作和大量的丰富的改革实践。不过人们正在逐渐认识到，工程教育同时是理论的课题和实践的课题；那种以学究式的或工匠式的势利目光挑剔对方的劳动，不利于实现造就新一代工程师的共同目标。工程教育从内容到形式的规划和实施，需要大学和工业的通力合作，需要全社会的关注、批评和支持。本书解答了一些问题，同时也留下了同样多的问题，然而它还是提供了一个概念框架，表明了我们为迎接挑战而采取对策的一种理解。这不是课题的终结，正好相反，它是我们进一步工作的开端。

编者感谢下列同志为本书提供了精采的译文，虽然本人对全书作了校对和勘订，但此项工作的基础仍然是译者对原文的充分的理解力和表达力。他们是(按文章顺序)：龚耀寰、顾建民、蒋绍忠、方展画、董小燕、李培芳、杜丕谦、高殿骥、王

增新、夏小华、张颖琪、王素文。编者还要感谢薛继良教授对全书细致的审阅，以及对本书结构提供的宝贵意见。

王沛民 1988年12月
于浙江大学高教所
工程教育研究室

目 录

编者前言

代 序：试谈现代工程教育.....
.....路甬祥、薛继良（ 1 ）

第 1 章 挑 战

- 第一节 长生鸟——对工程教育的挑战.....
.....[美] W.L.埃弗雷特（ 22 ）
- 第二节 处在十字路口的工程教育.....
.....[美] E.T.克兰奇等（ 32 ）
- 第三节 高技术冲击下的工程技术教育.....
.....[美] D.M.胡尔等（ 44 ）

第 2 章 对策：工程教育范畴的拓展

- 第一节 工程师的环境教育.....
.....[英] D.布朗奇（ 62 ）
- 第二节 工程师的能源教育.....
.....[美] R.D.道林等（ 72 ）
- 第三节 工程师与管理.....
.....[英] J.R.汤普森（ 80 ）
- 第四节 工程师与人文.....
.....[美] J.H.施奥布（ 96 ）
- 第五节 工程师的社会技术教育.....
.....[加] H.J.麦克奎因（ 102 ）

第六节	工程教育中的规范、伦理和道德·····
	·····[美] P. A. 维西林德 (116)

第3章 对策：工程本科教育的改革

第一节	工科课程的设计·····
	·····[英] R. G. 卡特 (131)
第二节	机械工程教育的新方向·····
	·····[澳] J. D. C. 克立斯普 (149)
第三节	电力工程教学计划的更新·····
	·····[美] W. F. 豪登等 (162)
第四节	土建类的建筑工程学位计划·····
	·····[澳] B. S. 库列斯 (169)
第五节	化学工程的课程设置·····
	·····[挪威] S. G. 特尔杰逊 (177)
第六节	培养创造性思维的途径·····
	·····[苏] B. A. 列舍托娃 (192)
第七节	对工科学生的系统分析教学·····
	·····[加] G. 里克勒 (201)
第八节	非电类专业的微机教学·····
	·····[美] G. L. 瓦根 (209)
第九节	电气工程和计算机科学课程中的微机应用
	·····[美] E. C. 纽乌 (215)
第十节	设计课的发展目标·····
	·····[美] W. 弗纳玻尔 (225)
第十一节	实验教学的种种问题·····
	·····[美] A. R. 格雷厄姆 (233)
第十二节	工科学生的计算机辅助专业训练·····
	·····[美] G. 奈德勒等 (239)

第4章 对策：合作教育途径的开创

- 第一节 合作教育：工程教育的一种新哲学……………
…………… [英] B. 博尔顿等 (248)
- 第二节 大学与工业合作的工程师教育和训练……………
…………… [澳] R.D. 怀特 (268)
- 第三节 工科学生如何从合作教育获益……………
…………… [新加坡] J.A. 朗京 (282)
- 第四节 研究生合作培养的尝试……………
…………… [澳] O.E. 波特等 (291)
- 第五节 工业与大学的交流和合作……………
…………… [美] R.N. 米尔等 (298)
- 第六节 工业与大学的继续教育：并存、合作、竞争
…………… [美] R.M. 小安德逊 (307)

第5章 工程人才及其职业发展

- 第一节 工程的专业、半专业和准专业人员……………
…………… [加] G. 辛克莱尔 (316)
- 第二节 工程技术人员的注册标准和路线……………
…………… [英] J. C. 赖威 (336)

试谈现代工程教育

(代序)

路甬祥 薛继良*

一、挑战，一个不容忽视的事实

中国共产党的“十三大”从我国人口多、资源少、底子薄的基本国情出发，提出了“百年大计，教育为本”的战略思想。无疑，这不但是对教育工作者的鞭策，而且也是对教育工作者的厚望。因为，从根本上说，科技的发展，经济的振兴，乃至整个社会的进步，都取决于劳动者素质的提高和大量合格人才的培养。教育工作者任重而道远。但也可以说，这是对教育的挑战，而且我国现阶段的教育受到社会变革的挑战比以往任何时候都要强烈，其中高等工程教育又是首当其冲。

这样说不是没有根据的。因为“除非首先开始高等教育本身的改革，教育制度便不能有真正的和认真的改革”^[1]，此其一；其二是工程教育与科技发展、经济振兴的关系最为密切。在我国现阶段的工程教育领域中，这种挑战突出地表现在工程教育与社会主义现代化建设的不尽吻合上。具体而言，从教育观念、培养目标到学习年限、教学计划、内容和方法等等，都需要深化改革和不断完善，以适应现代化建设的需要。近来，广大企业家纷纷对大学毕业生提出期望，实质上，这是对高等

• 路甬祥：教授、浙江大学校长；薛继良：教授、浙江大学副校长。

教育改革的渴望。与此同时，一个醒目的数据摆在了我们的面前，上海高等教育研究所对3万名在职大学毕业生的调查表明，文、理、工、农各科毕业生对本职工作不满意者分别为16.19%、29.33%、31.2%和13.5%，^{〔2〕}其中工科不满意者占居首位。当然，其原因是多方面的，但也无可否认我们的工程教育面临着改革完善的繁重任务。

对此，我们决不能掉以轻心，而要有危机感。我们认为，当务之急是要对现阶段的工程教育作深刻的反思，以期认清工程教育改革应取的方向，从而加速高等教育改革的步伐，为社会主义现代化建设培养更多的合格的专门人才。鉴于我们浙江大学是一所理工科大学，主要是培养高层次的工程科技人才，本文仅限于探讨现代工程师的培养。

二、社会发展和现代工程师

工业革命以来的人类历史证明，一个国家的繁荣富强取决于基础工业的发展。唯有土木、机械、电气（电子）、化学等基础工业的发展，国家资源方能被开发利用，才能带动其他各行各业的发展。一个国家对科学技术的重视与否，在很大程度上决定了它在这个充满竞争的世界上的经济地位。战后的日本、联邦德国之所以能在短期内后来居上，关键之一在于他们特别重视科学技术及其工程师的培养。

众所周知，科学技术是生产力中最活跃的因素，是推动历史发展的革命力量。工程师通过技术开发和研制，提高了生产力、推动了社会发展；但另一方面，社会发展又促进了工程技术学科的分化和交叉，并对工程师提出新的素质要求。后者成了工程教育应当注意的焦点。

社会发展到今天，科学技术高度发展，工程门类齐全，工

工程师种类繁多。从工程门类来说，除了传统的土木工程、机械工程、电气工程、化学工程外，还有新兴的原子核工程、电子工程、航空工程、计算机工程，以及跨学科的环境工程、能源工程、航天工程、生物工程、管理工程、系统工程，等等，与此相对应的就有各类工程师。从工程师所承担的职能来说，有研究工程师、开发工程师、设计工程师、试验工程师、制造工程师、运行工程师、营销工程师、管理工程师，等等。显然，不同种类的工程师素质不尽相同，而且各人的能力倾向也是千差万别的。有的精于抽象思维，有的善于发明创造，有的擅长工艺操作，有的精于组织协调。在此，我们无意于探讨各类工程师的特殊职能和素质，而是求索他们的一般。但这并不是说前者无足轻重；恰恰相反，正确处理好这种特殊与一般的关系，是制订专业培养目标和教学计划的关键。

在界定工程师的一般素质之前，先搞清楚“科学”、“技术”和“工程”这三个概念的区别与联系，是有益的。我们所用的这三个概念分别意指“基础科学”、“技术科学”和“工程技术”。科学一词在梵语中是“特殊智慧”的意思。英文Science，德文Wissenschaft，法文Science皆源自拉丁文Scientia，本义为“学问”或“知识”。汉语中的科学是个外来词，最初人们将Science译成“格物致知”，便是一个例证。一般而言，科学是关于基本原理和事实的有组织、有系统的知识。

“工程”一词，按韦伯斯特（Webster）的说法，是关于将科学知识转化为实际用途的科学，即应用科学。但我们通常所说的“工程”指工程技术，是关于制造或做事的方法、手段和技能技巧的总和。

科学与工程技术的区别是一目了然的。对于工程教育而言，其主要表现在：1.范畴不同。科学属于知识范畴，而工程技术属于实践范畴；2.目的、任务不同。科学要解决“是什

么”、“为什么”的问题，以发现为己任；工程技术回答的是“做什么”、“怎么做”，以发明、革新和应用为宗旨；3.方法不同。科学侧重分析，科学研究的目的是相对不确定的，因而要对事物进行分析，探索事物的规律；工程技术则侧重综合，它的目标是相对确定的，但要综合考虑经济、时间、效用等限制因素，往往采用“折衷”的办法；4.评价标准不同。对科学的评价标准是正确与否，对技术的评价标准则是有无效用。

也许，正因为这些区别，科学与工程技术曾经是完全分离的，科学属于“学者传统”，工程技术则属于“工匠传统”。自从文艺复兴特别是工业革命以后，科学与工程技术日趋密切。总的来说，19世纪中叶以前，主要是科学得益于技术，即所谓的“科学技术化”，19世纪中叶以来，主要是技术得益于科学，即所谓的“技术科学化”。上个世纪末，在基础科学和工程技术之间又逐渐形成了一类科学，即技术科学。它是“针对工程技术中带普遍性的问题，即普遍出现于几门工程技术专业中的问题统一处理而形成的，如流体力学、固体力学、电子学、计算机科学、运筹学、控制论等等”^[3]。技术科学是科学转化为直接生产力的桥梁。因而在科学门类结构中处于至关重要的地位。就当前的科学势态而言，科学技术化与技术科学化并存，即“科学——技术——生产”的一体化。

在我国的理工科大学中，传统上的“理”相当于基础科学，“工”相当于工程技术。理工结合就是以基础科学与工程技术的相互关系为基础的，理工结合的桥梁是技术科学。因为技术科学的基本特点是分析和综合并重，实践到理论（总结与发现）和理论到实践（应用与发明）并行。我校所要培养的工程师就是这种技术科学人才，主要承担技术科学的研究、开发与工程设计制造。他们既有宽厚的知识基础，又有运用知识的技能和能力。当然，对工程师素质泛泛而论是不够的，还要根据当今科

学技术发展和工程专业的特点加以阐述。

如同上述，今天工程技术与科学紧密配合，工程技术对科学的依赖愈益增加。一个工程师要胜任工程技术职业，必须具有广阔深厚的知识基础。踏踏实实学好科学知识是工程设计和研制的前提，也是训练思维能力的好材料。但是，基础科学知识也是在不断发展的，未来社会将是信息社会，计算机应用是每个工程师必须要掌握的。同时，现代工程与人类社会的关系十分密切，与人类生存休戚相关，不懂得人文社会科学知识的工程师很可能会误入歧途。再说，科学强调个人研究，技术强调协作研究，而且还要考虑种种限制因素，所以一个工程师具备人文社会科学的修养是十分必要的。现代工科大学从单一工程技术到理工结合再到科学技术、人文社会科学和管理科学相结合的趋向，在某种程度上反映了现代工程师的素质要求。除上述之外，工程师作为一个专门人才，还必须掌握技术科学、工程科学，以及新兴技术和专业知识。

与科学家、文人家者相比，工程师更需要具备多种多样的技能和能力。这是工程的专业性质所规定的，也是当代“知识激增”的形势所要求的。作为一个现代工程师，至少应有如下技能和能力：运算、实验、制图和设计能力，技术经济分析和评价能力，业务组织能力，实际操作技能，技术创新能力，应用计算机能力，利用科技情报技能，文字和口头表达技能。毫无疑问，从不同的角度还可以列出许许多多的技能和能力。

一个德才兼备的人才能称得上国家的栋梁之材。其中的“德”就是工程师应该具备的另一方面的素质。我们认为，工程师既是一个专门人才，又是社会的普通一员，除了要具备知识和能力之外，还要具备个人应有的品质。即是说要具有正确的世界观、社会责任感、开放意识、主动进取心和创造性，等等。这些通常所谓的“个人品质”，正是现代工程师应当具备

的很重要的一类素质。

我们以为，如果一个工程师具备了上述三方面的素质，那么，他会在艰苦的地区乐于创造，在平凡的岗位做出不平凡的成绩；如果我们的工程教育能造就出这样一代工程师，那么，企业界和社会各方面对工程教育的批评将会大大减少。显然，要使工程教育达到这一步，还有赖于全社会的配合和支持，但我们大学应当积极行动起来，锐意改革，使工程教育适应社会主义现代化建设的需要。

三、现代工程教育探索

（一）一种新的工程教育观

要造就现代工程师，自然离不开现代工程教育。我们注意到，在国外的一些当代教育文献中，凡是用到工程教育（Engineering Education）的地方，往往用“工程教育与训练”（Engineering Education and Training）来替换，还有的干脆将工程教育换成“工程形成”（Engineering Formation）^[4]。如果不留意，其中的含义变化稍纵即逝，读者还以为是作者的遣词用字技巧。但要是细细品味起来，倒觉得这并不是一种无关宏旨的同义词转换，其中蕴含着工程教育的观念变化。在一定程度上可以这样说，改革就是要用新概念来替换旧概念。概念乃是思想的结晶。正如美国比较教育学家诺亚（H.J.Noah）所说的那样，“科学研究一种现象的最深远的结果似乎是，识别一种新的较有力的术语定义，尽管其有较多的局限”^[5]。

一般而言，以往的工程教育不是工程教育有余、工程训练不足^[6]，就是工程训练有余、工程教育不足^[7]。前者似以美国、日本为代表，后者似以苏联为代表。事实表明，这些工程教育模式培养出来的工程师不是难以较快地适应工作岗位，就