

哲人石  
丛书

Philosopher's Stone Series

当代科学思潮系列

# 工 程 学

无尽的前沿

Sunny Y. Auyang

**ENGINEERING**

*AN ENDLESS FRONTIER*

欧阳莹之 著

李啸虎 吴新忠 闫宏秀 译



上海科技教育出版社

哲人石  
丛书

Philosopher's Stone Series

当代科学思潮系列

# 工程学

## 无尽的前沿

欧阳莹之 著

李啸虎 吴新忠 闫宏秀 译



上海科技教育出版社

**Engineering:  
An Endless Frontier**

by

Sunny Y. Auyang

Copyright © 2004 by the President and Fellows of Harvard College

Published by arrangement with Harvard University Press

Simplified Chinese Translation Copyright © 2008

by Shanghai Scientific & Technological Education Publishing House

ALL RIGHTS RESERVED

上海科技教育出版社业经 Harvard University Press 授权

取得本书中文简体字版权

责任编辑 陈 浩 装帧设计 汤世梁

哲人石丛书

工程学

——无尽的前沿

欧阳莹之 著

李啸虎 吴新忠 闫宏秀 译

---

上海世纪出版股份有限公司 出版发行  
上海科技教育出版社

(上海市冠生园路393号 邮政编码200235)

网址: [www.ewen.cc](http://www.ewen.cc) [www.sste.com](http://www.sste.com)

各地新华书店经销 丹阳市教育印刷厂印刷

ISBN 978-7-5428-4624-2/N·755

图字 09-2004-740 号

---

开本 850 × 1168 1/32 印张 13.875 插页 2 字数 288 000

2008年10月第1版 2008年10月第1次印刷

印数 1-5 000 定价: 34.00 元

## 对本书的 评价

《工程学——无尽的前沿》一书的见解给我留下的印象极为深刻，欧阳莹之关于这一论题的渊博知识让人叹为观止。这正是美国国家工程院一直鼓励的、向公众大力宣传工程学重要性的那类书籍。它必定有着经久不衰的货架生命，因为它汇集了常人不易接触到的材料，并为任何乐于从事工程技术职业的人提供一种参考。工程学需要这本书！

——哈钦森(John Hutchinson)、  
阿博特·劳伦斯(Abbot Lawrence)和  
詹姆斯·劳伦斯(James Lawrence)，  
哈佛大学工程学教授

《工程学——无尽的前沿》一书的视野令人惊叹。欧阳莹之生动地描述了当代工程技术的各种实践和产物，提供了历史背景，解释了不同领域工程创新的科学基础，涉及了广泛的系统水平上的管理活动、企业活动以及设计活动，这些活动遍及各个行业。实属罕见的是：单凭作者的一己之力，就能把握和解释现代技术的本质特征，而这又必须跨越一系列工业部门和工程学科，解释它们如何运作，它们为何按照这种方式运作，以及它们在创新、发展甚至维护上所需要的是什么。

——布恰雷利(Louis L. Bucciarelli)，  
麻省理工学院工程与技术研究教授

## 内容提要

基因工程、纳米技术、天体物理学、粒子物理学：我们生活在一个工程的世界里，科学和工程、技术和研究之间的根本差别正在快速消泯之中。本书展示的是：随着 21 世纪的曙光降临，自然科学家的目标——发现什么是未知的，工程师的目标——创造什么是未有的，两者正在经历一种前所未有的一体化趋同过程。

欧阳莹之广泛地论证了：当今的工程学不仅是科学的合作者，而且两者同等重要。通过简略地提及工业实验室、化学工程和电气工程的出现，机床工业和汽车工业旋风般的历史进程，以及核能技术和信息技术的兴起，她的著作展现了现代工程学的壮阔图景：它的历史、结构、技术成就和社会责任性，它同自然科学、工商管理 and 公共政策的相互关系。欧阳莹之擅长利用案例进行研究，例如 F-117A 型“夜鹰”隐形战斗机、波音 777 型客机的开发，以及亥维赛等工程师兼科学家型、福特和比尔·盖茨等工程师兼企业家型、斯隆和韦尔奇等工程师兼经理型等杰出人物的实践，给广大读者一种清晰的感悟：工程学必将在未来科学研究中发挥基本作用。

## 作者简介

欧阳莹之(Sunny Y. Auyang),美籍华裔物理学家、科学学家,先后在上海、香港、美国等地就读小学、中学、大学,1972年获麻省理工学院物理学博士学位。毕业后曾在美国惠普公司供职,后在麻省理工学院从事研究工作20余年,1992年以来,她的研究兴趣转向对科学技术本质的哲学考察。除了本书外,还著有《量子场论如何可能?》(1995)、《复杂系统理论基础》(1998)、《日常生活和认知科学中的心智》(2000)等。

獻給母親

# 序

中国古来以农立国，士人不免轻工贱商。这态度应随现代化而彻底改变。现代工程融会数理，与科学并驾齐驱，在应用上且常顾及科学之所不及。工程师不但精于运算及掌握理论，他更要清晰什么科学原则适用于什么实际环境，决定施用哪些自然现象以获效果最佳的设计。无论飞机或桥梁、电脑或通信，工程产品必须在现实条件下运作无滞。因此创造科技产品的工程师一面宏观应用大局，一面工夫入微，摒弃文人空抛主义、虚谈玄理等浮夸风气。

一贯客观务实的立场，加上科学分析，培养成工程师很强的规划决策能力。能运筹者亦可驰骋于商界政坛。从铁路、汽车开始，许多现代工业都基于科技工程。把工程要务之一的策划生产扩展到工商管理乃顺理成章。在美国，工程师于20世纪初首创大型公司的体制，至今仍有不少名列企业总裁首席。在现时中国，国家领导人中理工出身的也不在少数，想非偶然。

18世纪初年，中国的国民生产总值与整个欧洲（除俄国）的产值不相上下，各占世界总产值23%。19世纪西方工业革命，经济猛进，中国则迟滞不前。两者差距到1978年，欧洲的产值上升至世界总产值28%，高于美国的22%，中国的则下沉至



5%，不及苏联的9%。<sup>\*</sup>幸而这时中国开始改革，扭转世局。至2007年，中国的国民生产总值（购买力计）已跃居世界第二，驾乎俄、德、英三国总和之上。<sup>\*\*</sup>而且经济增长速度不减，索回历史地位。国运兴衰，涉及政治社会文化等复杂因素，但无可否认，科技是必要因素之一。

中国在世界竞争，目前最靠重的仍是大量低薪劳工，但其他优势亦不断增强。政府开放市场，引进外国科技，更致力教育，投资科研，促助发展，栽培本国技术能力。西方分析家目睹中国超乎常速地发展中级甚至高级科技的工业，震惊之余，却也认为，虽然中国的大学每年毕业出愈50万名理工学士，人数比欧盟或美国的多，但毕业生素质尚低；况且偏重死记硬背、遵奉权威的教育习俗，有碍培育独立思考的创新人才。西方国家多把例行科技让给东方人去做，自己专攻最尖端亦最盈利的突破创新。但明天的格局或许会大为不同。

科技创新如今是大热门。创新不止发明，也不同发现。再奇巧的发明，若不能被适价生产、广受欢迎，也只能积尘架上，不成创新产品。科学发现专顾自然现象，工程技术创新必须兼顾自然、人民和社会因素。由于其复杂程度，发展工程技术创新所需的人才物资，高于纯科学研究10倍以上。这是工程学和纯科学的一大分异。如何分配有限资源，协调科研与发展，以求当下及长期的最大创新，给予国民经济最大推动，是政策和社会上的大问题。参与解决它，工程师和科学家们责无旁贷。

现代工程怎样创新？本书介绍工程学三大相选范畴：科

---

<sup>\*</sup> *Chinese Economic Performance in the Long Run*, A. Maddison, OECD, Paris (1998).

<sup>\*\*</sup> World Development Indicators database, World Bank, 2008.

学、设计、管理。它提供一个对科学、技术和工程的广泛认识，并叙述不少历史实例，旨在解释工程师们如何运用科学，改造自然，变抽象知识为实用资料，组织劳动生产，捕捉时机，发明创新，或渐进，或突破，发展出 100 年前想不到但今天是生活必需的各种优秀科技。

我本专研物理，后转思索有关科技的哲学。在美国麻省理工学院及科研生涯中，我交到不少从事工程的朋友，学到很多有趣的知识。为了撰写本书，我旁听了好些课。在此谨向各位教授和友人致谢。

为了便于广大读者阅读，本书引注从简。若有意于参考文献或额外资料，可访 [www.creatingtechnology.org](http://www.creatingtechnology.org)。

## 译者序

在校阅本书初校样时,正值全球瞩目、华夏欢腾的第29届夏季奥林匹克运动会在中国国家体育场隆重开幕。入夜,五大洲的亿万观众,在为五彩缤纷的表演场面而欢呼时,也定然会为夜色中的“鸟巢”和“水立方”的美轮美奂而惊叹!这些工程设施,堪称是现代科技和艺术表现的完美结合。

现代公众对于工程建设习以为常,举目环顾,我们就生活在形形色色“工程的丛林”之中,衣食住行无不和工程技术息息相关。20世纪下半叶以来,“工程”这一词汇在媒体传播和社会各界中的出现日益频繁,并且越来越超越原有内涵而广义化为学术界的、进而社会上的流行语。这是科学、技术和生产一体化、社会化、工程化进程不断加速和强化的生动写照,也是系统科学与工程的理论和方法得到越来越广泛应用的必然产物。

本书是美籍华人科学家欧阳莹之女士近年的一部力作。它的书名不禁使人想起另一本名著《科学——无尽的前沿》。那原是美国电气工程师万尼瓦尔·布什(Vannevar Bush)在1945年向总统罗斯福递交的一份报告,提出了美国战后科学发展的基本战略、政策和举措。但是在此后漫长的60年中,尚未见一本论及工程学的类似姐妹篇与之匹配。

工程活动跨越物性和人性两大维度。工程创新既是连接科学发现、技术创新和产业发展的桥梁,又是三者有机整合的结果。工程科学内容浩瀚,门类多样,关系繁杂,发展迅速,学科高度分化而又高度综合。工程和构建过程涉及方方面面,不仅包括科学的、技术的要素,自然的、生态的要素,经济的、社会的要素,还有人文的、伦理的和管理的要素。要在系统水平上描述或哲学上概括这一广大领域,难度之大,每每令学人望“工”兴叹,怯而止步。这大概就是为什么在布什之后60年中很少有人敢于问津的缘故吧。

60年过去了,《工程学——无尽的前沿》一书问世了。这即使仅仅对于工程界、工程教育界、学术界而言,也是功莫大焉。这一大胆尝试和成果,一方面固然是同欧阳莹之女士的魄力眼光、深厚造诣和多年潜心研究分不开,另一方面也有着当今工程哲学、工程社会学悄然崛起的深刻学科背景。

作者原是一位物理学家,后来转向对科学、技术与工程的关系进行哲学思考。从内容上看,《工程学——无尽的前沿》是一本关于工程学的概论,把工程学整体作为自己的研究对象,译者在此姑且称之为“工上学”(类比于“科学学”)。该书提出了一系列颇有创新性的观点和论述,汇集和引证了大量为常人不易接触到的宝贵材料。在狭义工程学史方面,作者按照工程学整体发展的主要阶段,集中介绍了四个主要分支:土木、机械、化学、电气和计算机;在每一个分支中,都力求描述那些与其他分支共有的一般论题和概念范畴。全书从历史学的、社会学的和哲学的多视角,通过概念对案例的统辖、案例对概念的佐证的方式,以工程学发祥进化的历史轨迹、经济渊源、社会关系和发展前景为经线,以工程学知识系统及其物化的科学基础、思维方法和评价原则为纬线,交织出一幅波澜壮阔、色彩斑斓的工程学全景。

在这里特别要指出的是,作者所做的正是“工程哲学”的构建工作,尽管她在本书中并未明确声明这一点。从元理论的意义上看,工程概论最接近工程哲学这一工程学最高层次,有时实质上就是后者的另一种表述。尤其是本书对工程学本质属性、方法范畴、发展规律、评价体系和工程师社会伦理等方面论述,更是触及到了工程哲学的核心区域。

哲学家的宗旨是:“我思,故我在。”

科学家的宗旨是:“我发现,故我在。”

技术家的宗旨是:“我造物,故我在。”

而工程活动主体(工程师和企业家)的宗旨则是:“我构建,故我在。”

在逝去的 20 世纪,由于科技和社会的双重推力,工程设施目不暇接,工程科学突飞猛进,工程教育不断变革。时至今日,工程创新已是创新活动的主战场,工学家、工程师和企业家共同成为创新活动的主角;工程教育在高等教育中的地位举足轻重,并使整个教育体系和社会体系越来越工程化。在世界各地大学里,“××科学与工程”或“××工程与科学”的院系和专业,比比皆是;人文和社会科学门类,也开始悬挂“××工程”的招牌。从业的工程师们,历来不断游走于自然物质技术和社会组织技术两大领域,肩负科学研究、技术设计和组织管理三大重任。现代工程师从事的,更是一种高科技、高投入、高风险和高回报的伟大事业,要求从业者具有高素质,即高视野、高理念、高情感和高责任的对称性。

随着 21 世纪的到来,全社会、全人类的工程意识也在加速普及和提升。可靠性、安全性、环境友好性和可持续性,业已成为工程评价的基本原则;以人为本,人与自然、人与社会的和谐发展,逐步形成工程伦理的核心理念。工程学和工程教育正在酝酿一次更广大、更深刻的变革。

工程学和工程教育迫切呼唤哲学的概括和指导。学科化、专业化、标准化是科学、技术、工程发展的需要和产物,但是一不小心也很容易使人养成“见树不见林”、“见物不见人”的陋习和偏见。正如中国工程院院长徐匡迪所说,工程需要有哲学支撑,工程师需要有哲学思维。然而直至20世纪末,哲学地图上的科技板块,中心区域依然是“科学哲学”君临天下,“技术哲学”位于边缘地带,“工程哲学”则位于边缘的边缘。

1995年,美国技术哲学学会主席米切姆(Carl Mitcham)在“朝向一种元技术的哲学”一文中,首次明确而完整地提出了“工程哲学”的概念;1998年,他又在“哲学对于工程的重要性”一文中呼唤这门新学科的出现。

中国正在与时俱进,工程哲学开端良好。2003年,中国科学院研究生院成立“工程与社会研究中心”,这是中国进行工程哲学跨学科研究的第一个专门机构。2004年6月,在徐匡迪院长提议下,中国工程院召开了一次工程哲学座谈会;同年12月,中国工程院在北京举办“工程哲学论坛”;同月,中国自然辩证法研究会召开了第一次全国工程哲学会议,正式成立“工程哲学专业委员会”;《光明日报》发表中国工程院副院长、院士杜祥琬文章“工程师要研究和运用工程哲学”(2004年12月27日)。2007年7月,中国工程院院士殷瑞钰等编著的《工程哲学》一书出版;同年11月,由中国工程院、中国科学技术协会和中国自然辩证法研究会联合举办的“工程与工程哲学研讨会”在北京举行。

21世纪初年以来,工程哲学已经成为国际关注的新热点,学术研究的新领域。这是工程界和哲学界互动和联盟的开始,也是科学哲学、技术哲学发展的必然。东西方应该在工程哲学领域加强交流合作,互相学习和借鉴,共同推动工程哲

学的发展。上海科技教育出版社引进这部书,一定会对这一进程产生积极影响。

为了回应 21 世纪的新态势、新课题、新挑战,为了不致成为一位哲人早已告诫过的“分工的奴隶”,理工院校师生和行政管理者、技术家、工程师和企业家,工程第一线员工和其他任何乐于从事工程技术职业的人,都需要学点工程哲学;对于人文社会科学的学子和学者们,也大有必要把“提高科学素质”的要求拓展到工程素质,通过工程哲学这一桥梁走近和欣赏工程学全貌,以致同工程学各分支进行学科的交叉和移植。以上作为潜在读者群者,只要有高中文化程度,本书对于他们绝对“开卷有益”。正如美国哈佛大学工程学教授所言,本书必定有着经久不衰的货架生命。

本书行文洋洋大观,涉及人物数百,可能会给读者带来一定阅读困难。译者本已备好译注资料,但却发现,篇幅因此大大膨胀;也为了尊重原著的简明风格标准,故只好忍痛大部割爱。译者的建议是:重在关注和理解文中提及人物的事或话,而不必逐一去了解其生平事迹,正如我们想吃鸡蛋时,大可不必费心去打听是哪只母鸡下的蛋。如若一定非知不可,可劳驾自行查阅相关辞书,其中一本是由李啸虎任总主编之一的《世界科学家大辞典》(国家“十一五”重点书籍)。

本译本得以出版,首先应该感谢作者、哈佛大学出版社和上海科技教育出版社的大力支持。其次应该感谢责任编辑陈浩先生的不懈努力。他专业而又敬业,工作一丝不苟,任劳任怨,往往为一个词、一句话的不同理解和译法,不惜费时劳心,反复讨论;而且,由于译者都负有繁重教研工作,如若不是他的耐心催促,恐怕至今难以付梓。此外还应对关心过本译本的所有专家、同仁和朋友们,特别是提供后勤保障的葛宝蓉老师,在此一并致以衷心敬意与谢意。

本书翻译工作由上海交通大学三位长期从事科技史与科技哲学研究的教师承担。李啸虎教授主译和审校,吴新忠老师和闫宏秀老师参译。具体分工是:除第二章三人合译外,闫宏秀译第三章、第七章;吴新忠译第四章、第五章;李啸虎译第一章与第六章、附录 A 和附录 B、原注释以及其他相关文字,并负责对全书译稿进行统改。尽管译者如履薄冰,三易其稿,但仍惶恐有不信不达不雅之处,恳望读者不弃,识者赐教,以待今后再作修订和完善。

李啸虎

上海交通大学人文学院

2008年9月9日



# 目录

序	
译者序	
<b>第一章 导论</b>	<b>1</b>
<b>第二章 技术腾飞</b>	<b>11</b>
2.1 从实用技艺到技术	11
2.2 结构工程越来越数学化	26
2.3 机器试验	39
2.4 科学与化学工业	53
2.5 电力和通信	70
<b>第三章 信息工程</b>	<b>83</b>
3.1 从微电子技术到纳米技术	83
3.2 计算机的硬件和软件	97
3.3 无线通信、人造卫星和因特网	115
<b>第四章 处在社会中的工程师</b>	<b>135</b>
4.1 社会进步与工程师形象	135
4.2 研究与发展中的伙伴关系	152
4.3 对经济部门的贡献	167
<b>第五章 设计创新</b>	<b>179</b>
5.1 以负反馈方式进行的发明思维	179
5.2 系统工程中的设计程序	197