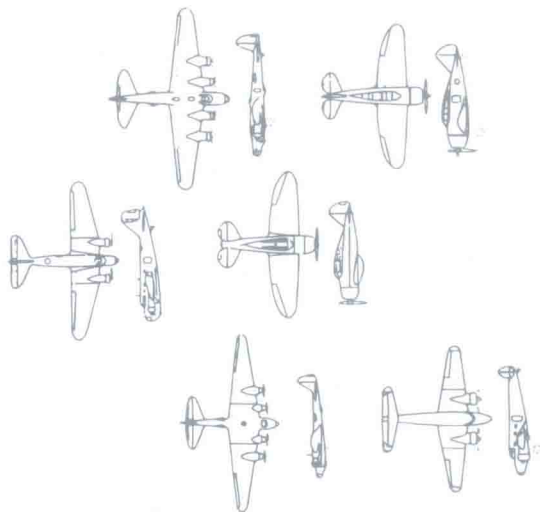


跨学科工程研究丛书

ENGINEERING STUDIES

主 编 潘云鹤



What Engineers Know and How They Know It  
—Analytical Studies from Aeronautical History

# 工程师知道什么 以及他们是如何知道的

——基于航空史的分析研究

Walter G. Vincenti [美] 沃尔特·G. 文森蒂——著  
周燕 闫坤如 彭纪南——译

ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS  
浙江大学出版社

What Engineers Know and How They Know It  
——Analytical Studies from Aeronautical History

# 工程师知道什么 以及他们是如何知道的 ——基于航空史的分析研究

Walter G. Vincenti [美] 沃尔特·G. 文森蒂——著  
周燕 闫坤如 彭纪南——译

## 图书在版编目(CIP)数据

工程师知道什么以及他们是如何知道的 / (美)文森蒂著;  
周燕, 闫坤如, 彭纪南译. —杭州: 浙江大学出版社, 2015. 1  
书名原文: What Engineers Know and How They Know It;  
Analytical Studies form Aeronautical History  
ISBN 978-7-308-12652-6

I. ①工… II. ①文…②周…③闫…④彭… III. ①工程  
技术—基本知识 IV. ①TB

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 304267 号

©1990 The Johns Hopkins University Press  
All rights reserved. Published by arrangement with The Johns  
Hopkins University Press, Baltimore, Maryland.  
浙江省版权局著作合同登记图字: 浙-2014-165 号



## 工程师知道什么以及他们是如何知道的

[美] 沃尔特·G. 文森蒂 著  
周 燕 闫坤如 彭纪南 译

---



责任编辑 葛玉丹 陈佩钰  
封面设计 项梦怡  
出版发行 浙江大学出版社  
(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)  
(网址: <http://www.zjupress.com>)  
排 版 浙江时代出版印务有限公司  
印 刷 杭州杭新印务有限公司  
开 本 710mm × 1000mm 1/16  
印 张 23.25  
字 数 335 千  
版 次 2015 年 1 月第 1 版 2015 年 1 月第 1 次印刷  
书 号 ISBN 978-7-308-12652-6  
定 价 56.00 元

---

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部联系方式: (0571) 88925591; <http://zjdxcb.s.tmall.com>

丛书主编 潘云鹤

 跨学科工程研究丛书 

## 《跨学科工程研究丛书》编委会

---

主 编 潘云鹤

副主编 李伯聪 殷瑞钰 汪应洛 许庆瑞

编辑委员会 (以姓名拼音为序)

胡新和 胡志强 李伯聪 潘云鹤 王大洲

王佩琼 汪应洛 许庆瑞 殷瑞钰 赵建军

朱 菁

# 总 序

## 新时代呼唤大量涌现卓越工程师

潘云鹤

《跨学科工程研究丛书》即将出版了。这套丛书的基本主题是从跨学科角度研究与“工程”和“工程师”有关的一系列问题,更具体地说,这套丛书的主题分别涉及了工程哲学、工程社会学、工程知识、工程创新、工程方法、工程伦理等许多学科或领域,希望这套丛书能够受到我国的工程界、科技界、管理界、工院校师生和其他人士的欢迎。

从古至今,人类以手工方式或以机器方式制造了大量的“人工物”,如英格兰的巨石阵,古埃及的金字塔,古希腊的雅典卫城,古罗马的斗兽场,中国古代的都江堰、万里长城、大运河,欧洲中世纪的城堡等,直到现代社会的汽车、拖拉机、电冰箱、高速公路、高速铁路、计算机、互联网等。无数事例都在显示:从历史方面看,造物 and 工程的发展过程构成了人类文明进步和发展的物质主线;从人的本质特征方面看,造物和工程创新能力成为刻画人的本质力量的基本特征。

正如马克思所指出:“工业的历史和工业已经产生的对象性的存在,是一本打开了的关于人的本质力量的书。”已经进行过和正在进行着的数量众多、规模不

一、类型和方式多种多样的工程活动,不但提供了人类生存所必需的衣食住行等物质生活条件,而且在工程的规划、设计、实施、运行和产品使用的过程中,人类的创造力得以发挥,人的本质力量得以显现。工程活动不但创造了人类的物质文明,而且深刻地影响了自然的面貌,深刻影响了人类的精神世界和生活方式。

工程对人类的发展很重要,而对 21 世纪初的中国而言,可谓特别重要。因为今天的中国正处于工业化的高潮,其工程活动的类型之丰富、规模之宏大、发展方式之独特,均居世界前列,其取得的成就令世界惊讶。

与此同时,中国工程所面临的复杂挑战也令世界关注。此种挑战的复杂性不仅来自于工程本身,要兼顾科技、经济、文化、环境、社会等各方面的综合需求与可能;也不仅来自于中国发展的特殊阶段,要同时面对工业化、信息化、城镇化、市场化、全球化的综合挑战;还来自于当今时代所面临的共同问题,如气候变化、资源短缺、环境压力等难题。这些难题的重叠交叉,要求中国涌现出大批卓越的富有创造性的工程师。

历史经验的总结和现实生活的启示都告诉人们:工程师这种社会角色,在生产力和发展的进程中发挥了重要的作用。在新兴产业开拓的过程中,工程师更义不容辞地要成为技术先驱和新产业的开路先锋。

在近现代历史进程中,工程师不但从数量上看其人数有了指数性的增长,而且更重要的是,工程师的专业能力、社会职能和社会责任,人们对工程师的社会期望,工程师自身的社会自觉都发生了空前巨大而深刻的变化。

在现代社会中,作为一种社会分工的结果,卓越的工程师毫无疑问地必须是杰出的专家,但绝不能成为“分工的奴隶”。要成为卓越的工程师,不但必须有精益求精的专业知识、广泛的社会知识和综合的创造能力,而且必须有高瞻远瞩的工程理念、卓越非凡的工程创新精神、深切的职业自觉意识、强烈的社会责任感和历史使命感。

新形势和新任务对我国工程师提出了新要求。面对社会发展和时代的呼唤,我国的工程师需要有新思维、新意识、新风格、新面貌。

现在中国高等院校每年培养的工科毕业生已超过 200 万。他们学的都是专业

性工程科技知识,如土木工程、机械工程、电子工程、化学工程……但多数人对工程整体特性的学习和研究却相当缺乏。这种“只见树木,不见树林”的状态,不利于他们走向卓越。21世纪新兴起的工程哲学和跨学科工程研究(Engineering Studies)就提供了从宏观上认识工程活动和工程师职业的一系列新观点、新思路、新视野。

应该强调指出的是,工程哲学和跨学科工程研究可以发挥双重的作用。一方面,工程哲学和跨学科工程研究可以促使其他行业的人们更深刻地重新认识工程、重新认识工程师;另一方面,工程哲学和跨学科工程研究又可以促使工程师更深刻地反思和认识工程活动的职能和意义,更深刻地反思和认识工程师的职业特征、社会责任和历史使命。

进入21世纪之后,工程哲学和跨学科工程研究作为迅速崛起的新学科和新研究领域,在中国和欧美发达国家同时兴起。近几年来,跨学科工程研究领域呈现出了突飞猛进展势头,研究范围逐渐拓展,学术会议和学术交流逐渐频繁,研究成果日益丰硕。

为了促进工程理论研究的深入发展,为了适应在我国涌现大批卓越工程师的需要,特别是为了适应工程实践和发展的现实需要,我们组织出版了这套《跨学科工程研究丛书》。整套丛书包括中国学者的两本学术著作——《工程社会学导论:工程共同体研究》和《工程创新:突破壁垒和躲避陷阱》,以及四本翻译著作——《工程师知道什么以及他们是如何知道的》、《工程中的哲学》、《工程方法论》和《像工程师那样思考》。我们相信,这套丛书的出版将会有助于我国加快培养和造就创新型工程科技人才,有助于社会各界更深入地认识工程和认识工程师的职业特征与职业责任,也有助于强化我国在工程哲学和跨学科工程领域研究的水平与优势,从而促进我国工程理论与实践又好又快地发展。

2010年9月15日



本书受到教育部人文社会科学研究青年项目：  
哲学视域中的设计(项目编号:10YJC720069)资助  
与教育部哲学社会科学重大课题攻关项目：  
当代技术哲学的发展趋势研究(项目编号:11JZD007)资助

# 前 言

如书名所示,本书关注工程之思。我希望史学家、哲学家、社会学家、经济学家、工程师同行以及任何一个想更好理解工程知识的性质与来源的普通读者,都会发现本书确实有用。虽然书中的历史研究取自我从事的航空学领域,但这些历史研究也算是航空发展史上的一点贡献,因而它们对那些对 20 世纪技术这一重要分支发展感兴趣的人们也极富价值。对后者而言,他们可以忽略书中的认识论分析,主要集中于从第二章到第六章的历史叙述。

本书工作显然并非凭空而来。其中特别受到埃德温·莱顿(Edwin Layton)、爱德华·康斯坦特(Edward Constant)、唐纳德·坎贝尔(Donald Campbell)以及约翰·施陶登迈尔(John Staudenmaier)思想的影响。我从他们那里获益匪浅。我希望没有错误表述或不当使用了他们的观点。

还有许多人给了我直接的帮助与鼓励。我在注释,特别是每章的第一个注释中,都表达了诚挚的谢意。我相信我已经囊括了每一个需要感谢的人。其中要特别提到以下三个人。用林·拉德纳(Ring Lardner)在他的剧本《伟大的埃尔默》(*Elmer the Great*)中的话来说,在本书写作中埃德温·莱顿是“我的严师益友”。爱德华·康斯坦特在第二、三、七、八章中,雷切尔·劳丹(Rachel Laudan)在第一、七、八章中,也起了类似的作用。我对他们提出的批评和建议不胜感激。如果书中有什么不当之处,那应当是我的责任。

其他人以各种方式予以了支持。奥托·迈尔(Otto Mayr)邀请我在美国机械

工程师学会(American Society of Mechanical Engineers)的史学年会上发言,激发了我对航空史的研究(第五章)。曾任“约翰·霍普金斯研究”丛书主编的托马斯·休斯(Thomas Hughes)建议我把这篇发言稿和后续论文汇编成书。《技术与文化》(*Technology and Culture*)杂志主编罗伯特·波斯特(Robert Post)一直关注我的研究,不断予以鼓励。斯坦福大学“价值、技术、科学与社会研究项目”(Program in Value, Technology, Science and Society, VTSS)的现任主席詹姆斯·亚当斯(James Adams)以及研究项目的其他成员,包括致谢中提到的人都给予了中肯的建议。斯坦福大学的其他同僚,特别是工程学院院长威廉·凯斯(William Kays)、已故院长约瑟夫·佩蒂特(Joseph Pettit)、系主任尼古拉斯·霍夫(Nicholas Hoff)、阿瑟·布莱森(Arthur Bryson)、罗伯特·坎农(Robert Cannon),他们始终予以我支持。文字处理工作得到了VTSS研究项目以及由福特基金会资助的斯坦福大学名誉退休人员委员会(Committee on the Status of Emeriti)的资助。本书工作得以顺利完成,还要感谢马尔梅·埃迪、达莲娜·拉姆恩、维吉尼亚·曼,他们在相当长的时间里一直迁就我的旧式的低技术写作习惯。约翰·霍普金斯大学出版社编辑亨利·汤姆、芭芭拉·兰姆、玛丽·希尔、金铂利·约翰逊出色地完成了他们的工作。编制索引的大部分想法和工作归功于托马斯·麦克法登。感谢上述所有人的工作。

最后,我要感谢陪伴了我43年的妻子乔伊斯·文森蒂,谢谢她的关爱和支持。

# 目 录

第一章 导论:作为知识的工程 / 1	
第二章 设计与知识的增长:戴维斯机翼与翼型设计问题(1908—1945) / 18	
联合飞机公司与戴维斯翼型 / 20	
翼型发展史与戴维斯翼型 / 35	
分析与讨论 / 45	
第三章 设计要求的确定:美国飞机的飞行品质规范(1918—1943) / 64	
预备工作 / 66	
1918年前后的知识状态 / 69	
理解与能力的发展(1918—1936) / 80	
规范的确定(1936—1943) / 95	
规范,共同体与实践传统 / 113	
附录:握杆与松杆的纵向静稳定性标准 / 122	
第四章 设计的理论工具:控制体积分析(1912—1953) / 142	
控制体积分析的性质 / 143	
控制体积分析的发展 / 147	
作用,目标与工程科学 / 158	

第五章 设计数据:杜兰德与莱斯利的空气螺旋桨试验(1916—1926)	/ 174
背景与方法论内容	/ 175
1916年的螺旋桨知识	/ 178
杜兰德与莱斯利的螺旋桨试验	/ 180
参数变化,比例模型与技术方法论	/ 194
结 语	/ 200
第六章 设计与生产:美国飞机的埋头铆接革新(1930—1950)	/ 220
问题的来源与性质	/ 222
埋头铆接接头的生产	/ 226
埋头铆接接头的设计	/ 238
埋头铆钉的标准化	/ 241
评论与反思	/ 242
第七章 工程设计知识的剖析	/ 260
问题,设计与知识	/ 261
知识的种类	/ 268
知识产生的活动	/ 284
个人因素与社会因素	/ 296
第八章 工程知识增长的变异—选择模型	/ 307
附 录 作为设计工具的工程理论的实验评估	/ 328
索 引	/ 338
译后记	/ 358

# 第一章

## 导论：作为知识的工程

尽管工程研究人员付出巨大的努力与代价去获取工程知识,但是工程知识的研究很少得到来自其他领域的学者关注。在研究工程时,其他领域的大多数学者倾向于把它看做是应用科学。<sup>①</sup>现代工程师们被认为是从科学家那里获得他们的知识,并通过某些偶尔引人注目的但往往智力上无趣乏味的过程,运用这些知识来制造具体物件。根据这一观点,科学认识论的研究应当自动包含工程知识的内容。但工程师从自身经验认识到这一观点是错误的,近几十年来技术史学家们提出的叙述性与分析性的证据同样也支持这种看法。由于工程师并不倾向于内省反思,而哲学家和史学家(也有部分例外)的技术专长有限,因此作为认识论分支的工程知识的特征直到现在才开始得到详细的考察。本书正是致力于这一方向的一个成果。

[3]

我涉足工程知识的研究部分起因于20世纪70年代与斯坦福大学经济学系的同僚内森·罗森伯格(Nathan Rosenberg)的一次午餐谈话,其间他问了我一个问

题：“究竟你们这些工程师在做什么？”当然，工程师做什么取决于他们知道什么，而我作为研发工程师与教师的生涯都用于生产和组织那些不为绝大部分科学家所关注的知识。当我尝试去回答罗森伯格的问题时——起初我并未意识到自己在做什么——我也开始思考工程活动中的认知因素。出于对历史的长期关注，我自然选择了从历史角度来展开对这一问题的研究。让人惊喜的是，我发现自己与技术史学家们步调一致。

[4] 根据这些史学家的观点，技术并非从科学衍生而来，而是可以作为一个独立的知识体系，与科学知识相互作用，但又能与之加以区别。“作为知识的技术”（Technology as Knowledge）这一思想出自埃德温·莱顿一篇影响深远的论文，它认为技术“自有其思维形式”。这一思维形式尽管在细节上可能不尽相同，但它像科学思维一样具有创造性和建构性，它不是如应用科学模型所设想的那样只是简单地重复和推论。基于这一更新的观点，尽管技术可能应用了科学的知识，但它并不等同或完全等同于应用科学。

这种技术——进而是工程——绝不等同于科学的观点，有时与工程师们的表述相吻合，如英国皇家航空学会（Royal Aeronautical Society）的一位工程师在1922年就曾指出：“尽管存在着一些与之相反的假象和谎言，但飞机并不是靠科学设计出来的，相反它是依靠技艺（art）而设计。我从不认为工程不需要科学，相反它以科学为基础，但在科学研究与工程产品之间存在着巨大的鸿沟，它必须借助工程师的技艺才能连接起来。”正是工程师的创造性和建构性知识才使那一技艺得以实现。由此看来，技术知识远比它被视为应用科学更丰富和更具吸引力。<sup>②</sup>

作为知识的技术这一新观点来自近几十年来史学家的工作。约翰·施陶登迈尔对近几十年的史学研究作了全面的考察，乔治·怀斯（George Wise）对此作了概略的综述。两人都得到了一个结论，用怀斯的话来说：“把科学和技术视为人类建构的两个独立的知识领域，要比把科学看做是显示的（revealed）知识，而把技术看做是开始靠试错法而现在是通过运用科学来构建的各种人工物，更符合历史的记载。”<sup>③</sup>本书将提供证据对这一结论给予支持。对我而言，科学与技术的区分由以

下事实得以彰显:像在其他同类的研究机构一样,我所在大学的工程学院认为有必要将工程类书籍从物理学系和化学系的图书中独立出来,形成自身的图书资料库。这一划分不仅仅是出于便利的缘故。虽然工程师也需要许多物理学家和化学家都阅读的书籍、期刊与文献,但他们仍然需要一些独立于科学的工程类文献资料。尽管来自历史研究和体制方面的证据支持了工程知识的独立性,但那些得以区分出技术知识的基本特征尚未得到详细说明。

技术作为独立知识形式的观点跟科学与技术关系的争论密切相关,这一争论一直是技术史学家长期关注的话题。施陶登迈尔认为关于技术的新观点始于这一争论并进而占据核心地位,相反科学与技术的关系则退居次要地位。但怀斯认为科学与技术的关系仍然是核心的研究论题,将技术视为特殊种类知识的观点只是界定了这一关系中的技术方面。不管怎样,把技术知识看做独立的知识体系仍为进一步说明科学与技术的关系留下可能。这样一来,技术知识就成了科学与技术关系所谓“交互作用模型”(interactive model)中一方的组成部分。巴里·巴恩斯(Barry Barnes)对这一模型给出了简要的描述,在该模型中,技术与科学被看做是独立的文化形式,它们以某种复杂的、仍待阐明的方式相互作用。在此,技术知识的性质可以约束两者的关系,但并不足以对其作出界定。<sup>④</sup>

[5]

如果把技术知识的内容看做是完全来源于科学的话,情况就会变得很不一样。这使科学与技术的关系立即得以界定,从层级关系上看,技术附属于科学,它仅仅需要对科学发现的蕴涵加以推衍并付诸实践的应用。这一关系简而言之就是这样一句令人怀疑的表述:技术是应用科学。这一层级模型对于探讨两者关系的本质不留余地,而且这一僵化的模型也难以符合复杂的历史情形。<sup>⑤</sup>

强调把技术作为知识的观点,其衍生的影响不只限于科学与技术关系的讨论。如休·艾特肯(Hugh Aitken)在他的著作《连续波》(*The Continuous Wave*)中,就以这一观点作为其历史研究方法的基础。在早期无线电技术及其相关制度发展史的叙述中,艾特肯认为,“技术史应当被看做是人类思想史或观念史的一个分支”。立足于这一思路,他通过考察“在新组合产生的那一时刻或那一时期,信息流汇聚



的情况”，解释了无线电技术中关键发明的起源。即使艾特肯和其他史学家的研究作出了大量澄清，但正如莱顿所指出的，我们要面对的成见并未从人们（包括学术共同体成员）心中消除。对知识的强调使得技术史不仅与思想史及哲学，而且与社会史及社会学形成了共生关系。这一强调特别对理解技术变革尤为重要，而技术变革对于所有这些学科来说无论如何都是一项关系重大的根本大事。正如劳丹所说，“实践者的知识转换在技术发展中发挥了关键的作用”。当人们如经济学家或政策制定者，期望理解技术发展而试图探究技术“黑箱的内部”（用罗森伯格的形象说法）时，应当相应地调整关注的重点。如果这些衍生的影响是有效的，我坚信如此，那么展示工程知识的特征将成为目前亟待着手的工作。<sup>⑥</sup>

为完成这一任务，我将以设计的目的为核心展开研究。与科学家相比，对于工程师来说，知识并不是目的本身或是其职业的核心目标。用某位英国工程师的话说，知识只是为完成功利性目的的一种手段，实际上，目的也不止一个。的确，工程可以用这些目的来加以界定，如另一位英国工程师 G. F. C. 罗杰斯（G. F. C. Rogers）的观点：

工程指的是把任何人工制品的设计、建造（以及我加上一条，运营）组织起来的实践活动，这一活动改变我们周围的客观世界以满足某些公认的需要。<sup>⑦</sup>

这里，我把“组织”视同“生成”、“集聚”或“安排”之意。第一个目的“设计”，与建造人工物的设计图相关，如飞机及其部件的绘图（或计算机演示）。“建造”（我更愿意称之为“生产”），指的是这些设计图被转化为实际人工物的过程，如实际的飞机建造。“运营”指的是利用人工物来满足公认需要的过程，如某一航空公司飞机的维修保养与航班运作。定义工程时，有时也提到其他目的，如“发展”和“应用”或“销售”等，但它们通常可以归入上述三个目的之中，这三个目的就已经足够了。

设计，通常被看做是三个目的的核心。莱顿在主张视技术作为知识的过程中，