

A large, semi-circular architectural drawing or blueprint is shown in the background, featuring various lines, dimensions, and technical annotations. The drawing is rendered in a light blue and white color scheme, creating a technical and professional atmosphere.

工程伦理学

Engineering Ethics

● 闫坤如 龙翔 编著



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

工程伦理学

● 闫坤如 龙翔 编著



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

· 广州 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

工程伦理学/闫坤如, 龙翔编著. — 广州: 华南理工大学出版社, 2016. 2
ISBN 978-7-5623-4903-7

I. ①工… II. ①闫… ②龙… III. ①工程技术-伦理学-教材 IV. ①B82-057

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 047448 号

Gongcheng Lunlixue

工程伦理学

闫坤如 龙翔 编著

出版人: 卢家明

出版发行: 华南理工大学出版社

(广州五山华南理工大学 17 号楼 邮编: 510640)

<http://www.scutpress.com.cn> E-mail: scutc13@scut.edu.cn

营销部电话: 020-87113487 87111048 (传真)

出版策划: 罗月花

责任编辑: 罗月花

印刷者: 佛山市浩文彩色印刷有限公司

开本: 787mm×960mm 1/16 印张: 10 字数: 220 千

版次: 2016 年 2 月第 1 版 2016 年 2 月第 1 次印刷

印数: 1~2 000 册

定价: 33.00 元

版权所有 盗版必究 印装差错 负责调换

前 言

在当前的社会主义现代化建设中，工程日益成为社会发展的决定力量。工程事故的频发以及工程活动潜在的风险促使我们认识到工程师仅仅掌握专业知识是不够的，还必须增强人文社会科学知识，特别是提高与其专业活动相关的道德素质和伦理意识。我国理工科类大学生，毕业后将有机会参与工程的设计、施工、管理和决策，他们的品性直接决定了工程的质量，进而影响到人类社会安全、福祉。但是，目前我国的高校普遍缺乏工程伦理教育，特别是缺乏工程实践中的伦理责任和道德规范教育。

在美国大学中，工程伦理学是一门工程专业普遍要开设的课程。一所院校的工程学学科要想通过美国工程技术认证委员会（ABET）的认证，必须将工程伦理学纳入整个工程学教育规划之中。在美国，职业工程师（P. E.）执照的考试中也包含了工程伦理学的内容。但由于工程伦理学涉及文理交叉学科，加上这方面师资力量缺乏等，导致国内的培养体系缺乏工程伦理学的相应课程。随着我国实施“卓越工程师教育培养计划”，增强未来工程师的工程规范意识和伦理意识，提高未来工程师的职业伦理规范、道德判断力和意志力等工程伦理学的教学内容显得日益重要。

国内的一些教育者已经意识到开展工程伦理教育的重要性和必要性，采取必修课、选修课以及讲座等形式开设工程伦理方面的课程。比如，清华大学、北京理工大学、大连理工大学、华中科技大学、西安交通大学、华南理工大学等高校开设了工程伦理学课程。教学也取得了一定的成效，编制了一些与工程伦理教育相关的教材，发表了一系列工程伦理教育相关的文章。目前，国内高校多采用美国作者马丁的《工程伦理学》作为教材；国内出版的教材有李世新的《工程伦理学概论》（2008年版）、肖平的《工程伦理导论》（2009年版），张永强的《工程伦理学》（2011年版），张恒力的《工程伦理读本》（2013年版），顾剑、顾祥林的《工程伦理学》（2015年版），刘莉的《工程伦理学》（2015年版）。除此之外，还有一批对工程伦理学进行研究的著作，引领着国内工程伦理学研究和教学。例如，殷瑞钰、汪应洛、李伯聪的《工程哲学》（2007年第一版，2013年第二版），李伯聪的《工程社会学导论——工程共同体研究》（2010年版），王前、朱勤的《工程伦理的实践有效性研究》（2015年版），丛杭青等译的《像工程师那样思考》（2012年版），周燕、闫坤如、彭纪南等译的《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》，等等，这些涉及工程伦理学和工程实践哲学的著作和文章，引起了教育同行的广泛关

注。但总的来说，我国的工程伦理教育还未引起足够的重视，国内高校的工程伦理教育还处于起步阶段，工程伦理教学在全国的教育形势处于边缘化状态，我们尝试从宏观层面和微观层面来分析我国目前的工程伦理教育情况：

宏观层面工程伦理教育的表现：

1. 工程伦理教育缺乏长效教育机制和政策支持

目前，我国尚未建立工程伦理教育的国家标准和教学大纲，目前从事工程伦理教学与研究的多是哲学、伦理学领域的专家和学者，课程的教学内容也多是围绕工程师必须面对的伦理问题、工程师的责任、工程师的职业道德规范等方面展开。有些高校甚至直接用思想道德教育或职业道德教育来替代工程伦理教育，其中涉及的内容与工程伦理教育关联性不强，这也导致学生不能对工程伦理教育的内容进行全局和系统把握。

2. 工程伦理教育与发达国家的伦理教育存在较大差距

20世纪60年代末，工程伦理教育首先出现在美国的高等工程教育之中，随后，法国、德国、日本、澳大利亚、英国、加拿大等发达国家的工科院校也纷纷开展了工程伦理学的教育。目前，欧美工程伦理教育不仅制定了完备的伦理课程内容和课程体系，而且在教学方法、教学模式上积累了丰富的经验。同时，在教育认证、工程认证等方面提供制度上的支持和保障。到了80年代，美国工程技术认证委员会（ABET）便明文规定：通过鉴定的工程教育计划都必须包括伦理教育内容。90年代，美国工程教育协会（ASEE）和国家研究委员会（NRC）分别发表了有关工程伦理教育改革的重要报告，并呼吁采取相应的教育对策。法国、德国、日本等工业发达国家的各种工程专业组织都有专门的伦理规范，接受工程伦理教育已成为专业工程师必备的条件，这在西方国家已经达成共识，国外的工程伦理教育已经具备统一的教学大纲、针对性的教学内容和丰富多彩的教学方法。我国的工程伦理教育起步晚，课程开设学校少，没有与专业认证相结合，这些都与发达国家存在很大的差距。

微观层面工程伦理教育的表现：

1. 工程伦理教育的定位不明确

一直以来，人们认为技术和工程是科学的应用，科学没有价值负荷，就此认为工程也是价值中立的，其实工程具有独立的存在价值和意义。李伯聪在《工程哲学引论》中就提出科学、技术、工程三元论，科学、技术、工程属于三种不同类型的社会活动。工程活动具有自身独特的内在发展机制，我们应该把其作为一种独特的社会发展力量和学科来研究和把握。

由于工程伦理教育缺少制度支持和官方定位，工科大学生伦理意识淡漠，他们甚至把工程伦理教育的性质理解为对工程师的工作和行为的约束和规范，是对工程师个人品质的怀疑，甚至被看成对工程共同体的共同利益的损害。然而，事实并非如此，在伦理问题上陷入困境的工程师大多数不是由于品性不好，伦理意识淡漠才是导致工程师不能处理好工程实践中的重大问题、酿成严重后果的一个重要原因。工程伦理规

范就像制度一样，不仅是对工程师行为的约束，更是对工程师权力和利益的保障和维护。

2. 教学内容和教学方法陈旧，理论教学和实践教学脱节

高校工程伦理教育注重专业技能的培养和专业知识的传授，不重视工程师在工作中遇到的伦理问题和道德规范内容，不注重培养学生树立良好的工程道德观，且教学方法过于单一，一般就是采取教师课堂讲授，学生被动听课的传统教学模式，缺乏引导式、启发式等学生喜闻乐见的教学方法，缺少现代化的教学手段，特别是鲜少把工程理论和工程实践活动联系起来，没有充分引入与现实紧密相关的内容，实践环节少、缺少对学生实际动手能力的培养，工程伦理教育作为工程师在工程实践中需要具备的道德素质和伦理规范，单纯的技能培养和知识传授难以令学生深刻理解和把握工程伦理学的知识，难以塑造未来工程师良好的工程伦理道德观和价值观。

3. 工程伦理教育校际差异明显

一些教育家或者学者虽逐步认识到开展工程伦理教育的重要性和开设此课程的必要性，但我国的工程伦理教育相对于发达国家来说起步晚，有些学校还没有意识到开设工程伦理课程的重要性，因此工程伦理课程的开设情况参差不齐。有的学校已将其作为独立课程开设；有的学校则在“思想道德修养与法律基础课”的课程讲授中增加了工程伦理内容，但由于课时有限，教学效果并不理想；有的学校则以讲座的形式进行教学；更多的学校对开设该课程还处于酝酿和准备阶段。

4. 工程伦理教育与专业教育脱节

我国高等院校注重专业知识的教育，工程伦理教育一般作为学校的公共课开设，由于知识背景的局限，很多学校的工程伦理教学没有根据学生的专业情况设置相应的教学内容，也缺少针对不同职业的道德伦理教育，更少针对工程师个人的责任伦理和工程师共同体的团体伦理来区别讲授。

5. 缺少统一的教材和系统的研究

工程伦理教育目前并没有编制全国范围统一的教材。任课老师根据自己自身的教学经验和教育背景进行工程道德和伦理方面的教育，各自为政、自成体系。很多教材内容更新慢，新兴专业学科的教材又跟不上，致使课程内容落后于时代的需要。

6. 教师缺位严重，师资队伍参差不齐

工程伦理学是涵盖文科、理科和工科，有哲学、伦理、文化、环境等多因素共同参与的新兴的交叉学科，既需要有理工科的专业知识，又需要有哲学和伦理学的思维能力，还需要有工程设计和管理的实践经验，对教师的知识结构和实践能力提出了很高的挑战。就我国目前的工程伦理教育的教师队伍来看，有的教师从事道德教育，有的教师从事自然辩证法教学，有的教师既有专业知识又有实践经验，有的教师虽有理工科背景但缺少工程中涉及的专业知识，有的教师纯文科出身，教师队伍参差不齐，这些都阻碍了工程伦理学课程的开展和发展，影响工程伦理学的教学效果。因此，导致工程伦理教育的教师缺位严重。

本教材的特色表现在如下三个方面：

1. 注重运用案例分析方法进行理论分析

每章以教学引例开始，引出本章教学和研究内容，最后配备拓展的阅读资料和延伸教学内容的思考题，巩固学习效果。在我国，工程伦理学的教学起步晚，类似的工程伦理道德规范以及行业规范建设方兴未艾，但相应的著作和文献却是十分缺乏，本书就是在案例分析和知识讲授的基础上弥补这些缺陷。

2. 注重理论联系实际

阐述工程伦理学的基本概念、原理等，在此基础上，根据工程师的特殊职业要求，提出工程师的责任、工程师在科技活动和工程实践中如何实践道德规范等问题，最后对工程师的生态责任等问题进行了深入探讨。强调做人与做事相结合，做人通过做事体现，做事通过做人保证，并在培养过程中注重人文精神的熏陶和创新方法的培养，从而使培养出的工程师具备优秀的职业道德、正直、富有责任感。特别注重培养拥有崇高道德原则和价值观的工程师，而传统理工科类课程给学生讲授的更多的是专业知识，从而造成伦理责任的忽视。工程伦理学课程与专业课程相结合，培养学生具有高度的道德自律性，让学生综合地运用伦理学理论、知识和方法，对现实问题进行分析，培养学生的职业责任感和道德感，规范未来工程师的行为。

3. 本书立足于前沿问题的研究

针对人类迈向现代工业文明进程中面临的新课题，探讨了对科学技术应用和工程活动进行价值审视与道德约束的必要性和紧迫性，并通过现代工程实践中出现的价值冲突和道德失范问题的剖析，总结了科技工作者在工程活动中需要担负的道德责任和应当遵循的伦理原则与规范。本著作内容新颖、难易适度、实用性强、案例丰富，能够满足应用型工程硕士教学需要，也可以作为教师同行间的交流资料，还可作为工程技术人员的培训教材。

华南理工大学作为第一批教育部“卓越工程师教育培养计划”高校，向来注重未来工程师的职业道德和伦理规范的培养，华南理工大学是国内首家把“工程伦理学”作为通识教育核心课程开设的学校。本书作为华南理工大学通识教育核心课程“工程伦理学”的教材得到华南理工大学教务处教学改革项目的资助（项目号：Y1130067）。

书稿分工情况如下：岭南师范学院龙翔教授编著第五章、第六章和第七章，华南理工大学闫坤如教授编著其他章节内容，并完成统稿工作。在本教材的写作过程中，还得到众多师长、同事和研究生的支持和帮助，在此一并致以诚挚的谢意；感谢2014级材料学院的黄玉章、徐弘灏、黎家雄、林朝炀、崔尔佚、罗慕全、罗楚潮、陈鹏然以及罗超同学在调研活动中的辛勤付出；感谢华南理工大学出版基金的资助。由于编著者学识和能力所限，时间仓促，难免有疏漏之处，还请各位读者、专家指正，以便我们在今后的工作中进一步学习和研究，修订时完善。

目 录

第一章 工程伦理学概论	1
教学引例	1
第一节 工程的内涵	1
第二节 工程的特征	4
一、工程活动的系统性和复杂性	4
二、工程具有特定的实现目标	5
三、工程与环境相互影响	6
四、工程是一个动态过程	6
五、工程需要最优化	7
六、工程包含不确定性与风险性	7
第三节 科学、技术与工程的关系	9
一、科学、技术与工程的联系	9
二、科学、技术与工程的区别	13
第四节 工程中的伦理问题	16
阅读资料	18
思考题	19
第二章 工程系统方法论	20
教学引例	20
第一节 工程方法的含义和分类	20
一、工程方法的含义	20
二、工程方法的分类	21
第二节 工程的系统方法	21
一、工程活动的两重性	22
二、工程的系统性	22
第三节 工程系统方法论概述及分析方法	23
一、工程系统方法论概述	23

二、层次分析法	27
三、工程环境分析法	29
四、工程评估方法	32
阅读资料	34
思考题	35
第三章 工程创新思维与方法	36
教学引例	36
第一节 工程活动的创新	36
一、工程理念创新	37
二、工程设计创新	37
三、工程实践创新	39
第二节 归纳方法及其工程创新	40
一、归纳方法的含义	40
二、归纳方法的种类	41
三、工程中探求因果关系的逻辑方法	44
第三节 类比方法及其工程创新	50
一、类比方法的含义和特点	50
二、类比方法的类型	50
三、提高类比方法结论可靠性程度的条件	53
四、类比方法在工程创新中的作用	54
第四节 回溯方法及其工程创新	55
一、回溯方法的含义及逻辑特征	55
二、回溯方法的分类	56
三、提高回溯方法结论可靠性的要求	58
阅读资料	59
思考题	60
第四章 工程风险及其主体责任	61
教学引例	61
第一节 工程风险及其原因	61
一、风险和工程风险	61
二、工程风险的原因分析	63
第二节 工程风险的主体认知偏差	65
一、风险认知和认知偏差	65

二、风险认知偏差的表现	68
三、风险感知差异及其影响因素分析	72
第三节 工程风险中的主体责任	75
一、提倡工程师的伦理意识是责任伦理的表现	75
二、建立良性有效的风险沟通体系是沟通伦理的体现	77
三、实施社会稳定风险评估是决策伦理的要求	80
阅读资料	80
思考题	81
第五章 工程师伦理责任的生成和历史演进	82
教学引例	82
第一节 工程师伦理责任的生成	82
一、工程师“无”伦理责任	83
二、工程师“有”伦理责任	84
第二节 工程师职业责任的历史演进	86
一、工程师早期的职责——服从命令	86
二、由忠诚责任向“普遍责任”扩展	86
三、从“无限责任”向社会责任回归	88
四、由社会责任延伸到生态责任	89
第三节 工程师伦理责任的具体表现	92
一、工程师对职业的伦理责任	92
二、工程师对他人的伦理责任	93
三、工程师对社会的伦理责任	93
四、工程师对自然环境的伦理责任	94
阅读资料	95
思考题	95
第六章 工程师的伦理和责任	96
教学引例	96
第一节 工程师伦理责任缺失的根源	96
一、作为应用自然科学工作者的工程师	96
二、工程技术自主论	99
三、技术具有工具性	100
第二节 工程师应该具备的伦理素质	102
一、具备工程伦理意识	102

二、掌握工程伦理的基本规范	103
三、提高工程伦理的决策能力	105
第三节 工程师的伦理原则	107
一、安全原则	108
二、公平（正义）原则	109
三、人性化原则	110
四、节约原则	111
五、民主参与原则	111
阅读资料	112
思考题	113
第七章 工程师的环境伦理责任	114
教学引例	114
第一节 工程师环境伦理责任的重要性	115
第二节 工程师对自然环境的责任	116
一、工程活动中保护自然环境的责任	117
二、工程活动遵循自然规律的责任	118
三、工程活动减少环境破坏的责任	120
第三节 工程师实现环境伦理责任的重要路径	122
一、技术创新为保护环境提供物质基础	122
二、技术创新有利于生态环境的改善	123
三、技术创新可以实现其生态价值	124
阅读资料	127
思考题	130
参考文献	131
附录：化工生产风险的调查报告	139
化工生产风险调查问卷	146

第一章 工程伦理学概论

【教学引例】

苏格拉底论道德的小故事

有一回，苏格拉底来到市场上，他一把拉住一个过路人说道：

“人人都说要做一个有道德的人，但道德究竟是什么？”

那人回答说：“忠诚老实，不欺骗别人，才是有道德的。”

苏格拉底问：“但为什么和敌人作战时，我军将领却千方百计地去欺骗敌人呢？”

“欺骗敌人是符合道德的，但欺骗自己人就不道德了。”苏格拉底反驳道：“当我军被敌军包围时，为了鼓舞士气，将领就欺骗士兵说，我们的援军已经到了，大家奋力突围出去。结果突围果然成功了。这种欺骗也不道德吗？”

那人说：“那是战争中出于无奈才这样做的，日常生活中这样做是不道德的。”

苏格拉底又追问起来：“假如你的儿子生病了，又不肯吃药，作为父亲，你欺骗他说，这不是药，而是一种很好吃的东西，这也不道德吗？”

那人只好承认：“这种欺骗也是符合道德的。”

苏格拉底并不满足，又问道：“不骗人是道德的，骗人也可以说是道德的。那就是说，道德不能用骗不骗人来说明。究竟用什么来说明它呢？还是请你告诉我吧！”

那人想了想，说：“不知道道德就不能做到道德，知道了道德才能做到道德。”

苏格拉底这才满意地笑起来，拉着那个人的手说：“您真是一个伟大的哲学家，您告诉了我关于道德的知识，使我弄明白一个长期困惑不解的问题，我衷心地感谢您！”

第一节 工程的内涵

工程是现代文明、社会经济运行和社会发展的重要内容和重要组成部分。从古代开凿运河、修筑长城、建造金字塔、兴建房屋……到当代建造现代化工厂、高层智能建筑、大型水利工程、高速交通网络、现代化机场、海底隧道、能源工程、航天工程

等大型和特大型工程，各种类型和规模的工程在现代经济发展和社会现代化进程中有着越来越重要的地位和作用。跟工程相关的工程意识、工程思维、工程决策、工程管理、工程伦理、工程教育等，已经成为企业界、学术界、政府部门等日益关注的焦点和核心问题。

工程有广义和狭义的区别。狭义的工程是指与生产实践密切联系、运用有关的科学知识和技术手段得以实现的活动，如水利工程、冶金工程、化学工程、建筑工程、三峡工程、南水北调工程等。广义的工程包括人类的一切活动，指的是人类为达到某种目的，在一个较长时间周期内进行协作活动的过程，除了包括与生产实践相联系的活动，还包括社会生活的许多领域，如“五个一”工程、安居工程、希望工程、引智工程、下岗再就业工程等，我们这里的工程主要是指狭义上的工程。工程的外延包括传统意义的工程，比如，建筑工程、水利工程、交通工程、电力工程、通信工程、机械工程、能源工程等；也包括现代的工程，如系统工程、管理工程、制药工程、信息工程、生物工程、遗传工程、网络工程、环境工程和农业工程等。

尽管工程在人类生活和社会发展中发挥着巨大作用，但是直到近代工业革命时期“工程”才进入迅猛发展的阶段。18世纪，法、英等国兴起了筑路风潮。18世纪中叶到19世纪上半叶，蒸汽机开始广泛使用，并且随着工厂规模的不断扩大，用于生产的机械不断被发明和使用，机械工程才得到发展。1765年，J. 瓦特制造了一台试验性的有分离凝汽器的小型蒸汽机；1776年，瓦特与M. 博尔顿合作制造的两台蒸汽机开始运转；1783年，威尔金森工厂最早使用瓦特蒸汽机驱动蒸汽锤；1785年，纺织厂开始采用蒸汽机做动力，随后织布厂、磨粉厂、铁工厂等大量使用了蒸汽机；1800年，英国已拥有了321台蒸汽机；同期，生产机械也在蓬勃发展，主要表现在一系列纺纱机、织布机、机床等的发明和应用上；与此同时，机械工程理论也取得了突破，主要表现在热力学和机构学的创立等方面；1847年，在英国伯明翰成立了机械工程师学会，标志着机械工程作为工程的一个独立领域得到正式承认。

中国早在《新唐书·魏知古传》就出现了工程概念：“会造金仙、玉真观，虽盛夏，工程严促。”明朝的李东阳在《应诏陈言奏》中提到：“今纵以为紧急工程不可终废，亦宜俟雨泽既降，秋气稍凉，然后再图修治。”清朝的刘大魁在《芋园张君传》中提到：“相国创建石桥，以利民涉，工程浩繁，惟君能董其役。”曹雪芹的《红楼梦》中也提到“工程”，“园内工程，俱已告竣”，在我国的古代著作中多次提到“工程”概念，那么究竟什么是工程呢？这是我们不能回避、必须回答的问题，也是工程观的基础和出发点。

对于工程的内涵的界定并没有统一的说法，比如，《简明大不列颠百科全书》对工程的定义是：“应用科学知识使自然资源最佳地为人类服务的一种专门技术。”^①西

^① 简明大不列颠百科全书：第3卷[M]. 北京：中国大百科全书出版社，1985：143.

南交通大学肖平认为：“工程是人类将基础科学的知识和研究成果应用于自然资源的开发、利用，创造出具有实用价值的人工产品或技术活动的有组织的活动。”^①李伯聪从科学、技术、工程的“三元论”视角来界定工程，他认为：“科学是以发现为核心的人类活动，技术是以发明为核心的人类活动，工程是以建造为核心的人类活动。”^②现代汉语词典对“工程”的界定是：“土木建筑或其他生产、制造部门用比较大而复杂的设备来进行的工作，如土木工程、机械工程、化学工程、采矿工程、水利工程等。”^③

美国工程技术认证委员会将工程界定为：工程是通过研究、经验和实践所得到的数学和自然科学知识，以开发有效利用自然的物质和力量为人类利益服务的途径的职业^④。有人把工程界定为：“工程是人类有组织、有计划、按照项目管理方式进行的成规模的建造或改造活动，大型工程涉及经济、政治、文化等多方面的因素，对自然环境和社会环境会造成持久的影响。”^⑤也有人把工程界定为：“从特定主体的需要和目的出发，综合运用科学的理论和技术的手段去改造客观世界的具体实践活动。”^⑥文森特在《工程师知道什么以及他们是如何知道：基于航空史的分析研究》的这本书中指出：“工程指的是把任何人工制品的设计（design）和构造（construction）组织起来的实践活动，这种人工制品对围绕我们的物理世界进行转换以适合于公认的需要。”^⑦

关于工程的界定纷繁复杂，总而言之，工程就是为了满足人类特定的目标，在特定的自然环境和社会情境中，运用科学知识和技术手段有计划、有组织地建造某一特定人工物的活动。人们综合运用科学的理论和技术的方法与手段，有组织、系统化的去改造客观世界的具体实践活动，以及所取得的实际成果。

工程的最终成果是“工程实体”，而不是思想或理论，不像科学和技术一样仅局限于知识和活动阶段，工程的最终成果一定是实体，从科学、技术到工程三者来看，工程是最直接、最现实的社会生产力。

① 肖平：《工程伦理学》[M]。北京：中国铁道出版社，1999：1。

② 杜澄，李伯聪。跨学科视野中的工程：第1卷[M]。北京：北京理工大学出版社，2004：3。

③ 中国社会科学院语言研究所词典编辑室，现代汉语词典[M]。北京：商务印书馆，2002。

④ 李大光。“中国公众对工程的理解”研究设想[A]。工程研究[C]第2卷。北京：北京理工大学出版社，2005（6），103-118。

⑤ 朱京。论工程的社会性及其意义[J]。清华大学学报（哲学社会科学版），2004（6）：44-48。

⑥ 张秀华。走向工程范式的创新[J]。自然辩证法研究，2003（5）：39-44。

⑦ Vincenti W G. What engineers know and how they know it: analytical studies from aeronautical history [M]. Johns Hopkins University Press, 1993: 5.

第二节 工程的特征

一、工程活动的系统性和复杂性

工程是从主体的特定目的出发改造世界的活动，通过造物形成人工自然的手段，所以工程活动中包含众多的要素，具有系统性。工程活动中必须强调系统协调，除了内部的系统协调，还要求与其环境中的其他系统相协调。

例如，以农业水利工程为例，这个工程包括众多的要素，比如：蓄水工程（包括水库、堰塘）、引水工程（包括有坝引水、无坝引水）、提水工程（即泵站工程）和机井等，这几个要素组合成一个系统，呈现出内部协调性。不同的水利工程通常与特定环境相联系，如南方水量丰富，则南方的农业水利多蓄水工程，北方水量不丰富，北方的农业水利多引水工程；山区多蓄水工程，平原多提水工程；南方多堰塘，北方多机井，等等，具体的农业工程中包括各种特定的类型与系统的环境相协调。虽然不同地区的水利工程类型不同，但在同一区域中，不同的水利工程实际上是相互关联的，因此，农田水利的系统性并不仅仅是指单个水利工程构成的灌溉系统，如泵站灌溉系统由进水渠、泵房、输水渠等组成，系统的任何一个要素的缺失都将导致整个灌溉系统的崩溃。

不但如此，工程系统还有多个约束条件：时间约束，即建设工期目标；资源约束，即资金、材料、设备等投入目标；结构安全和使用功能约束，主要是指质量目标和水平（如合格工程、优质工程），预期的生产能力等；费用约束，即成本或投资控制目标、效益指标；安全约束，即工程安全指标；环境约束，即环保目标。

除系统性外，工程活动还具有复杂性，即工程系统具有复杂性。

工程系统的复杂性首先表现在：工程系统是一个包含工程本身、工程所处环境和工程施工人员等多重因素的复杂系统。除了工程本身，还要考虑工程的环境以及工程主体等因素。确定工程在使用过程中的可靠性，就需要考虑人、环境和负责这个工程项目的组织机构的文化等因素的复杂影响。

工程系统的复杂性第二个表现是：工程系统本身是包含设计、研发、建造、使用等过程，且在工程的每一个阶段都包含很多的因素。比如，复杂的工程如核弹、航天飞机和航空飞机等大型工程，在研发、试验、建造、维护、管理等阶段，都要面对多个层次和大量的子系统。

工程系统的复杂性第三个表现是：工程包含众多的要素，且是多学科的集合体，工程中除了考虑技术要素，还要考虑经济要素、政治要素、管理要素、社会要素、文化要素等，这体现了工程结构的复杂性。工程的结构包括计划、决策、目的、运筹、

施工、成本预算、风险控制、程序、管理、控制、标准、验收等要素和一些子系统。工程的建造过程也是一个多学科集成应用的过程。例如土木建筑工程所指的工程科学主要有材料力学、理论力学、结构力学、流体力学、工程测量学、房屋建筑学、水工学、土力学、项目管理学、工程经济学等多个学科的知识与实践。

工程系统的复杂性第四个方面表现在：工程是分层次的。工程系统的第一个层次是技术要素层次。首先，工程中的技术具有复杂性。工程中的技术主要是指工程形态中的技术、工艺、方法和技巧，它不是技术的简单堆砌，而是技术的综合应用，例如建造桥梁的技术就包括高性能混凝土、钢结构焊接工艺、预应力施工技术、大跨径桥梁悬臂浇筑技术、防渗堵漏技术等复杂的技术群。

工程系统的第二层次是技术要素与生产要素、经济要素、管理要素等其他要素的关系。因此，工程不是简单的建造过程，而是要将工程的技术要素与信息、目标、物资、资金、方法、人员等有机结合起来。生产要素和资源在土木工程中包括：人力资源、材料、机械设备、资金、土地、信息、技术、管理等。例如，美国政府于1941年12月6日拨款实施制造原子武器的计划。1941年12月费米领导建设美国第一个原子能反应堆，1943年工程进入原子弹具体设计阶段，1945年7月16日第一颗铀原子弹试爆成功。这一工程共动员50多万人，其中科研人员15万人，耗资22亿美元，占用全国近三分之一的电力。这体现了一个工程的复杂性。

二、工程具有特定的实现目标

任何一项工程项目都是工程主体为了实现特定目标的活动，任何工程都有特定的实现目标，我们之所以要用很长的时间进行论证，要花2000亿元的资金、17年的时间来修建三峡工程，就在于它能带来发电、通航以及人民安全的巨大效益的目标。任何工程为了实现特定的目标都有具体的方案设计、施工要求、施工步骤，工程的运行则需要运转资金的注入。工程的质量是整个工程的核心所在。工程质量出现问题，工程的目标就没有完全实现，工程的效益就会大打折扣，特定的资金就没有达到预期的实现目标。因此，工程除了有最终的目标还要有质量目标、效益目标、安全目标、进度目标等等。工程就是为了实现这些具体的目标和最终目标而进行的建造活动。

例如，南水北调工程经过20世纪50年代以来的勘测、规划和研究，在分析比较50多种规划方案的基础上，分别在长江下游、中游、上游规划了三个调水区，形成了南水北调工程东线、中线、西线三条调水线路。通过三条调水线路，与长江、淮河、黄河、海河相互连接，构成我国中部地区水资源“四横三纵、南北调配、东西互济”的总体格局。南水北调工程规划最终调水规模为每年448亿 m^3 ，其中东线148亿 m^3 ，中线130亿 m^3 ，西线170亿 m^3 ，建设时间需40~50年。整个工程将根据实际情况分期实施。在工程的实施过程中还包括质量目标、安全目标、进度目标等不同层次和方面的实现目标。

三、工程与环境相互影响

现代工程已与环境息息相关，重视与环境的协调发展，工程与环境就会实现双赢。大型工程的实施，都会对自然生态系统产生一定的影响，工程和环境构成了现代工程的一对矛盾，必须充分考虑到工程活动可能引起的环境问题，否则工程与环境就会两败俱伤。在确定工程建造之前，环境的因素是必须加以重点考虑的内容，忽视环境因素，工程的预期目标就会受损，社会整体发展也会受到负面影响，可持续发展的社会目标就很难实现。三峡工程有提高水位、利于航运、蓄水发电、调节水力、抗旱抗涝等作用，但是它对环境的破坏也不容忽视。

2011年3月11日，日本本州岛附近海域发生里氏9.0级地震，随后引发海啸。地震和海啸造成福岛第一核电站严重损坏，引发“福岛核泄漏事件”。福岛核电站核泄漏事件造成了巨大的环境灾难，由于核电站反应堆核燃料部分熔化，放射性物质大量扩散，造成日本福岛附近严重的放射性污染。不仅如此，这些泄漏的放射性物质随大气环流在北半球地区广泛扩散，美国、加拿大、冰岛、瑞典、英国、法国、俄罗斯、韩国、中国和菲律宾等国在空气中均检测到放射性物质。放射性物质对日本环境和食品安全造成了直接影响，受损核电站附近农场出产的菠菜和牛奶检测出放射性物质超标，在福岛附近的鱼类中已检测到放射性物质。大量放射性污水排入海中，可能破坏海洋生态环境，引起部分海洋生物的变异，造成严重的环境灾难。因此，建造工程必须要考虑与环境的协调一致。

四、工程是一个动态过程

一个具体的工程就是一个过程（process），我们总是可以在时间的维度上确定项目的起点和终点。例如，为了实现人类居有定所的目标，人类建造房屋。工程在建造之前就已经有可行性方案，工程主体按照一定的目的来协调他的活动方式和方法，并且随着不断出现的新情况来修改原来的计划。因此，工程是个动态的过程。工程并不会因为项目（project）的结束而结束，而是因为项目的结束才开始发挥作用。因为建造工程的目的不在于工程本身，而在于工程的作用。例如，建设三峡工程的目的不在于建设项目本身，而是在于三峡工程在防洪、发电、航运等方面发挥的巨大作用。

工程系统本身也是一个非常复杂的动态过程，从方案评估、工程选址、项目决策、可行性研究、地质勘测、初步设计、施工图设计，到建筑施工、设备安装、试运行、工程竣工、交付使用、项目后评价等全过程，工程都处于变化和发展的状态。工程实施过程中，由于受工程内部因素的变化和工程外部原因（如社会因素、经济因素、政治因素、法律因素、环境因素等）的影响和制约，工程可能不会始终按当初设想的方式按部就班进行，因此就必然要对工程目标、计划、方案进行相应的调整和优化，最终使工程实现质量优、安全好、费用省、工期短等工程目标。而要实现这一