

普通高等教育“十三五”规划教材

工程学导论

邵华 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十三五”规划教材

工程学导论

邵 华 编 著
吴静怡 主 审



机械工业出版社

本书系统地介绍了工程学的基本知识和基本技能。全书内容包括：工程与科学及技术的关系，工程师与科学家的职责与区别；科学研究、技术开发及工程设计工作的关系与区别，创造（发明）产品的一般流程与具体实施方法；工程职业素养，知识与技能在工程职业能力中的作用与关系；技术交流方法，学术与技术文件（项目建议书、可行性分析报告、研究报告、学术论文与学位论文的写作要点）等。书后附有两个课程项目实施案例。

本书可作为高等工科院校低年级学生工程学导论课程的教材及高年级学生相关课程的教学参考书，也可作为高中生科创活动以及工科大学学生入学面试的参考书。

图书在版编目（CIP）数据

工程学导论/邵华编著. —北京：机械工业出版社，2016.1
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-111-52558-5

I. ①工… II. ①邵… III. ①工程技术—高等学校—教材
IV. ①TB

中国版本图书馆CIP数据核字（2015）第308193号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号 邮政编码100037）

策划编辑：蔡开颖 责任编辑：蔡开颖 席建英

封面设计：张 静 责任校对：刘秀芝

责任印制：乔 宇

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2016年2月第1版第1次印刷

169mm×239mm·10印张·189千字

标准书号：ISBN 978-7-111-52558-5

定价：20.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线：010-88379833 机工官网：www.cmpbook.com

读者购书热线：010-88379649 机工官博：weibo.com/cmp1952

教育服务网：www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网：www.golden-book.com

序

创新是国家科技发展的核心要素，鉴于国家对创新人才的需求，大学本科工程教育教学急需改革。工程教育不仅应该强调基础理论和通识教育，也应该注重提升学生的工程实践能力，因为卓越的工程实践能力是现代工程创新人才的重要特征。该书就是应对这一需求而编写的。

该书首先介绍了工程、技术与科学之间的关系，让读者初步了解工学与理学的共性与区别；进而详细介绍了现代工程领域与工程师的分工，让读者了解到现代工程技术工作往往需要不同领域工程师的协作。该书的核心内容涉及科学思维、工程思维以及工程创造的一般方法，让读者初步了解如何面向工程需求提出问题解决方案，以及如何运用科学思维及工程思维进行工程创新。该书最后还详细介绍了工程师的职业素养（包括工程师的职业道德、团队合作精神等）及技术交流的要点，使读者认识到，现代工程师不仅要有扎实的技术能力，还需要有良好的个人品德和交流能力。可以预期，通过“工程学导论”课程的学习，学生将对工程学有较为完整和系统的认识，对工程领域的发展有一个前瞻性的了解，从而激发学生对后续专业课程的兴趣和向往，明确今后的学习目标和努力方向。

该书是上海交通大学机械与动力工程学院借鉴密西根大学等国内外高校工程导论类课程的教学内容，结合中国大学的教学特点，进行了十多年工程教学改革实践的结晶。上海交通大学十多年的“工程学导论”课程教学实践已使学生的工程综合实践能力得到了较大幅度的提升。希望该书的出版能够让既有的工程教育改革经验和成果惠及更多学子，为培养更多高质量、有国际竞争力的现代工程创新人才做出贡献。

林忠欽

于上海交通大学

前言

工程学教育强调数学、科学和经济学，工程学是一门“应用科学”。然而，在实际工作中，工程师大多受直觉以及直接或间接经验引导，这使得很多工科大学毕业生常常感觉大学所学知识无法直接应用于实际工作中。因此，现代工程学教育不仅需要传授工程学基本知识和基本技能，更需要培养学生应用所学知识和技能解决实际工程问题的综合能力，即培养学生整合所学知识和技能解决工程实际问题的能力。本书就是面向“综合能力”培养这一目标编写的。

本书共8章。第1章绪论，重点介绍了工程学的产生背景和发展历史。第2章工程与科学，详细叙述了工程与科学在思维、方法学方面的联系与区别。第3章工程、技术与工程师，结合现代工程技术详细介绍了工程师的工作性质和分工。第4章创造力，叙述了创造发明的源泉，强调创造力的培养。第5章工程创造的一般方法，详细介绍了工程创造过程的基本方法，即将“梦想变为现实”的思路及需要关注的要点，第6章职业能力与素养，叙述了工程师的职业能力要点，强调工程师不仅需要知识和技能，更需要责任心与合作精神。第7章职业道德，强调工程职业道德与传统道德观点的联系与区别。第8章技术交流，介绍了工程执业过程中的口语及书面表达的要点，强调了交流能力的重要性。

教师在安排工程学导论课程教学内容时，建议前5章内容按本书编排顺序进行讲解，第6~8章可按课程及其课程项目不同实施阶段穿插于整个教学过程中。

工程学导论课程的教学过程必须结合课程项目加以实施，以达到培养学生工程思维和创新能力的目的。每个课程项目通常安排3~5名学生组成一个项目组，且项目组每个成员均须定期轮流担任项目组组长，以培养学生的团队合作能力和协调管理能力。

工程学导论课程项目选题可以采用两种方式：①由学生结合日常需求自主提出产品开发项目，这时需要学生进行需求调研，并练习撰写相应的项目建设书；②可由任课教师指定项目选题。这时结合授课教师的工程经验及专业背景，选择相应的、技术水平恰当的产品开发项目供学生实施。

课程项目实施过程中，需要学生根据项目进度定期提交项目建议书、方案设计可行性分析报告，并进行课堂演示及讨论。项目完成后，需要提交研究报告并进行课堂答辩或项目展示会答辩。这些穿插于教学过程中的讨论、答辩及书面报告，教师可以根据项目不同阶段，结合第8章的相应内容进行讲解，主要目标是提高学生的技术交流能力。



中国工程院院士林忠钦教授在百忙中抽出宝贵的时间，为本书作序；吴静怡教授担任本书的主审，并提出了宝贵的意见，蔡贇博士为本书插图绘制及文本格式编辑进行了大量认真、仔细的工作，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，错误之处在所难免，敬请读者指正。

编 者

目录

序	
前言	
第1章 绪论	1
习题与思考题	5
第2章 工程与科学	6
2.1 定义	6
2.2 工程与科学的关系	7
2.3 研究与开发	9
2.4 思维方式	12
2.4.1 科学思维和辩证思维	12
2.4.2 横向思维	17
2.4.3 工程思维	19
2.4.4 工程师思考方式	22
2.4.5 工程与其他学科的联系与区别	23
2.4.6 工程中的科学问题	24
2.5 小结	24
习题与思考题	25
第3章 工程、技术与工程师	26
3.1 工程与技术	26
3.2 工程技术的传统学科	26
3.3 工程师	34
3.3.1 工程师的概念	34
3.3.2 工程师是解决问题的人	35
3.3.3 工程师的工作	36
3.3.4 工程师的未来与职业之路	36
3.3.5 工程师应具备的能力	38
3.4 小结	41
习题与思考题	41
第4章 创造力	42
4.1 创造力的来源	42
4.2 创造来自需求	42
4.2.1 从洗碗机的发明看需求推动的个体创造力	42
4.2.2 从彩电的发展看人类群体的创造力	44
4.3 工程教育与创造力	46
4.4 创造性工程师的特点	47
4.5 小结	49
习题与思考题	50
第5章 工程创造的一般方法	51
5.1 创造产品的一般流程	51
5.2 技术推动的产品开发	72
5.3 小结	73
习题与思考题	74
第6章 职业能力与素养	75
6.1 工程职责与职业能力	75
6.2 提升工程职业能力的办法	77
6.2.1 工程作为一个职业	77
6.2.2 工程教育认证与工科学习	78
6.2.3 注册职业工程师	79
6.2.4 职业团体	80
6.3 工程技能	80
6.3.1 数字模型	81
6.3.2 实物模型	81
6.3.3 定量模型	82
6.3.4 定性模型	83
6.3.5 工程技能与终身学习	86
6.4 优秀工程师的素质	87
6.5 技术团队	90
6.6 小结	92
习题与思考题	93

第7章 职业道德	94	8.3.7 撰写期刊或学术会议论文 ...	105
7.1 职业道德与工程事故	94	8.3.8 设计展板	106
7.2 工程职业道德	96	8.3.9 撰写专利	106
7.3 小结	100	8.3.10 撰写学位论文	107
习题与思考题	100	8.3.11 学术或技术撰写工作中 的一些常用手段	108
第8章 技术交流	101	8.4 小结	109
8.1 交流与沟通	101	习题与思考题	109
8.2 口语表达与交流能力	101	附录	110
8.3 书面表达与交流能力	102	附录 A 课程项目实施流程	110
8.3.1 撰写内容提要(摘要) ...	103	附录 B 课程项目实施案例 ——学生各阶段提交的 书面作业	112
8.3.2 合理安排标题	103	案例1 牛奶加热器	112
8.3.3 撰写文献综述	104	案例2 自行车定位系统	132
8.3.4 撰写项目建议书及可行性 分析或研究报告	104	参考文献	149
8.3.5 撰写实验或试验报告	105		
8.3.6 撰写技术报告或研究 报告	105		

第1章 绪 论

工程的历史是人类适应自然、改造自然的历史。人类在征服自然灾害、利用自然资源的过程中逐渐发展、不断进步，为了让生活更方便、更舒适，人们改变了河道、修筑了道路并开采利用了自然资源（如伐树和采矿等）。我国自古以来就取得了很多伟大的工程成就，都江堰（图 1-1）就是其中之一，它是造福人类的伟大水利工程。它建于公元前三世纪，是中国战国时期秦国蜀郡太守李冰及其子率众修建的一座以无坝引水为特征的宏大水利工程。2200 多年来，它一直发挥着巨大作用，不仅是中华文明的伟大杰作，也是世界文明的伟大杰作。都江堰无疑是我国工程史上的一座丰碑。



图 1-1 都江堰

不可否认的是，工程的历史也是人类自身相互竞争的历史。从古今中外残酷的资源和地盘争夺战，到现代的、文明的、良性的商品竞争，这些竞争在人类当代及历史上，都对工程技术提出了强大的需求。历史上，罗马人在八百多年时间里，从狭小的罗马城开始，将其国家发展成为一个幅员辽阔的庞大帝国（自苏格兰横跨欧亚大陆至以色列）。为了维持如此大面积国土的稳定性，他们利用当时的工程技术建设了很多公共基础设施，实现了供水与污水处理、交通、河流贯通，还建设了可供休闲娱乐的基础设施。然而，罗马人对基础理论不感兴趣，因此，罗马帝国统治时期没有取得显著的科学成就，但这不妨碍他们取得伟大的工程成就。他们基于简单的常识，使用经济的材料，并采用大量的无偿劳动力——奴隶，建造了很多伟大的工程设施。例如，早期的罗马建设者基于半圆形拱门的思想建造了城市的渠道，解决了罗马城的供水问题。这种半圆形拱门的设计是由伊特鲁利亚人（意大利北部非印欧语系的人）提出来的。尽管人类在很久以前就开始使用混凝土，但罗马工程师则对混凝土配方进行了革命性改良，使得他们的混凝土不但坚如磐石而且能有效防水。有了这种新型混凝土，罗马人重新规划改造了城市，他们在城市中建造民宅，甚至给这些民宅配备了中央供暖系统。罗马的公路网络起始于著名的阿皮亚古道，最初是出于

军事需要，后来逐步向外拓展、延伸。罗马帝国为了捍卫领土并继续扩张，需要实现军力的快速投放和部署，庞大的军队与战车要求有平整、坚固的道路。为了使道路平整，罗马工程师使用铅锤等简单器械来确保路面处于水平位置；为了使道路坚固，他们采用了多层路面的设计方案（这种道路通常由四到五层路面构成，最厚的路面厚度可达1m）。

我国的长城（图1-2）是古代中国为防止北方民族入侵而建造的庞大的国防工程，无疑是我国乃至世界土木工程史上最伟大的成就之一。长城的建造始于公元前三世纪，当时中国处于秦始皇的统治之下。秦始皇建造长城的目的是防止当时亚洲北部匈奴民族的攻击和骚扰。为了达成这个目的，他强征了成千上万的农民，迫使他们离开家园和田地参与建造这一庞大的建筑工程。虽然秦始皇在世时没有完成长城的修筑工程，但后来的统治阶级基于同样的目的，继续建造这项庞大的工程，其人工建筑的长度最终达到了六千多公里（包括支脉）。不同时期建筑的长城，其材料和规模不尽相同，但城墙大部分是由黏土砖建成，长城的平均高度为六至七米、宽度为四到五米，每隔几百米就建有一个瞭望塔。

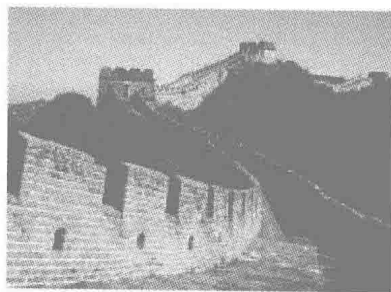


图1-2 长城

同样来源于军事需求的投石机（图1-3）也是我们祖先在二千二百多年前创造的。它由一根绕固定支点旋转的梁组成。梁的一端有一个放置射弹的杯状物或投射器，另一端是平衡物，在进行射弹时，使梁旋转并将射弹投向空中。投石机大约在一千四百年前传到地中海，这时它已经能远距离投送重达1t的物体。事实上，即使在加农炮发明之后，投石机仍然在战争中广泛使用，因为它的投送范围比早期的加农炮更远。当代英国也曾建造过一台现代投石机，它使用重达30t的平衡物，能将四百多公斤的重物投送80m远。

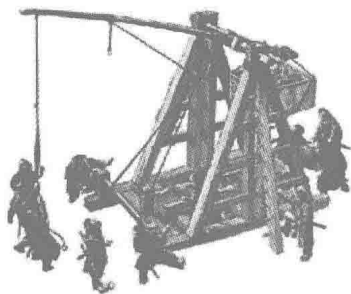


图1-3 投石机

综上所述，军事需求在历史上是工程技术发展的重要动力之一。即使在现代文明高度发达的今天，出于维护国家安全的需要，各国政府也在军事工程领域投入巨额资金进行研究和开发。如军舰（图1-4）就是出于国家安全的需要而取得的军工工程成就之一。值得庆幸的是，军事领域获得的某些尖端工程技术成就，也可以广泛应用于民用领域。如航空航天工程以及核工程领域的工程技术成就，一开始均起源于一些国家对战争优势的需求，后来被广泛应用于造福人类的民用工程，如载人航天、核能等。

在民用领域，我国古代工程成就也是非凡卓越的。在公元一世纪，蔡伦将树皮、麻、破布、渔网混合制成了纸。9至12世纪期间，中国印刷技术得到了很大发展，这使得中国成为世界上第一个出版书籍和第一个发行纸质货币的国家。

实现工程目标所采用的工艺及方法，通常称为工程技术。工程技术的领先是一个国家的竞争力所在。在第二次世界大战期间，尽管大部分国家经济遭到破坏，然而，美国经济却完好无损。第二次世界大战后几十年里，美国经济保持强劲势头，出口持续增加。当时的世界各国，都需要美国的产品，不仅仅因为美国产品质量好，而且在当时它们几乎是不可替代的。由于没有竞争，造成了美国工业界普遍缺乏对制造工艺追求卓越的精神，使得很多现代美国产品质量下降。第二次世界大战结束后初期，贴上“日本制造”的标签均被认为是劣质产品，后来日本企业通过不断创新制造工艺并严格管理制造过程，“日本制造”逐步成为质量优越而又经济实用的标签。

现在，世界经济完全不同了。我国及世界其他国家和地区（如我国台湾地区、新加坡以及韩国）已经能生产和欧、美、日等国质量一样好，甚至更好的产品。在当前全球化背景下，国际市场的消费者可以购买来自全球的产品。这时，如果我国的消费者挑选别国的产品就意味着我国会失去一些工作岗位。我国曾因为劳动力较廉价，在很多传统的劳动密集型产品领域具有很强的竞争力，这为我国创造了很多就业机会，并使我国经济飞速发展了30年。然而，随着经济的发展，我国劳动生产力成本也在不断上升，这使得一些采用传统工程技术生产的劳动密集型产品已逐渐失去竞争力。为迎接这一挑战，必须开发使用机器代替人工的制造方法，以留住制造业岗位，并使得我国经济得到持续发展。另外，在高科技产品方面，欧美等国仍然遥遥领先。他们几乎垄断了从高端数控装备，到航空发动机等所有高科技工程产品。尤其是美国在高科技产品开发方面更是鹤立鸡群。美国极具竞争力的优势是美国的科学基础很强，制造企业技术、工艺开发能力强，且集成技术进行产品创新的能力遥遥领先。美国有很多科技型企业，它们可以通过将最新的科学研究转化为消费产品来保持其竞争优势。目前，以美国为代表的欧美工业界正在进行一项极具挑战性的工作：将围绕客户需求的质量控制技术融入企业文化。企业必须能识别它们的消费者，了解他们的需求，注重质量，然后通过制造和管理行为创造出满足消费者需求和期望的产品。美国、德国及日本等发达国家仍是目前世界上的制造强国，小到纳米级精度微细零件，大到航空母舰所需的巨型零件，都能制造。



图 1-4 军舰



无论在过去还是现在，强大的工程技术水平与能力往往决定着国家的整体实力，如18世纪的英国依赖蒸汽发动机技术，称霸全球；第二次世界大战时期的德国、日本更是依赖强大的军工技术，发动了第二次世界大战；今天称霸世界的美国，依赖的仍然是其强大的工程技术能力。事实上，今天代表美国国家实力的不仅仅是微软、苹果或 Facebook，而是洛克希德·马丁、波音、通用电气等拥有强大工程技术能力的企业。而代表我国国家实力的是中国航空工业集团、中国船舶工业集团等大型国有企业所拥有的处于世界领先的工程技术，作为中国未来的工程师，我们应该充分认识到工程领域的发展现状和趋势。

工程技术的巨大发展对改善人类的居住环境及生活质量的提高无疑是积极的，但有时也会带来一些消极的副作用。比如，有些为提高生活质量而进行的工业活动会释放温室气体，如二氧化碳、甲烷、含氯氟烃和氮氧化物，这些排放物都会使大气环境恶化。例如，一些含氯气体与臭氧层的破坏有关，而臭氧层是保护植物和动物免受紫外线损伤的重要屏障。人类的某些活动，无论是故意的（如砍伐树木）还是无心的（如向水中和空气中释放污染物），都有可能毁灭人类赖以生存的整个生态系统。随着工程技术的发展，人类已经变得异常强大，具备了改造自然的能力。然而，这种能力是一把双刃剑，可以保护自然，也可以破损自然。因此，工程技术的发展已经到了迫切需要进行环境保护的阶段，人类不能再做大自然的破坏者，而应该成为大自然的守护者。

大自然为人类慷慨地提供生活基本物质，如氧气和食物。虽然，人类依靠当代工程技术，也能制造这些基本物质，但代价昂贵。比如，空天工程需要花费数千万甚至数亿元人民币才能开发可再生的供人类在外太空长期生存的生命系统。这是个极具挑战性的工程问题，为了降低制造这些基本物质的成本，仍然需要人们不懈地研究和探索。

大自然还给人类提供了一些不可再生资源（如石油、煤炭等），即这些自然资源是有限的，它们最终将枯竭，而且使用这些化石燃料带来的污染会恶化人类的居住环境（如我国部分地区空气中的雾霾）。因此，人类必须开发回收技术，使资源能够被重复利用。事实上，人们已经开始设计和制造一些环保产品，这些产品在其使用寿命完结后，可以拆卸，这时废旧零件中的金属和高分子材料可以回收处理成新的工业原材料，用于新产品的生产。面向这些理念提出的可持续发展策略就是，在充分认识到人类生存和改善生活需要的同时，节约资源，保护环境，以获得人类社会的可持续发展。可持续发展要求使用可持续的能源，如太阳能、风能、生物能源，并开发核聚变能源。此外，资源保护、回收和不污染环境的工程技术也是人类可持续发展不可缺少的手段。作为工程师，有责任开发能有效利用能源的生产工艺。此外，所有的制造工艺都不可避免地会产生废弃物，不仅需要设法开发能减少废物排放的制造工艺，还需要开发能



将废弃物转化成有用产品的技术，或将废弃物转化成能够安全储存的新工艺。

作为中国未来的工程师，我们肩负着增强国家未来竞争力的使命。不仅要了解和掌握当代工程与技术的先进理念及技术方法，还要充分认识到保护环境对人类可持续发展的重要性。



习题与思考题

- 1-1 什么是工程技术？
- 1-2 古代和现今，工程的发展有什么不同？
- 1-3 工程技术的发展给人类带来了哪些正面和负面的作用？

第2章 工程与科学



2.1 定义

从小学到高中，人们学了很多科学知识。在了解工程之前，有必要再回顾一下，什么是科学。科学不仅仅是关于自然的事实、概念及有用思想的集合，而且是对自然的系统探索和研究。科学是探索、了解自然并揭示可靠自然知识的方法。所谓可靠的知识，就是可重复验证的、真实的、可以信赖的知识。科学具有挖掘和发现可靠知识的属性。科学工作者会说科学是人类的自豪，因为它是通往发现的道路。通过发现问题并寻求不带偏见的、统一且一致的答案，科学让人们了解真实的世界。

什么是工程？大英百科全书将工程定义为“应用科学原理将自然资源，以优化的方式转换成结构、机器、产品、系统及工艺，以造福人类的方法”。工程是应用于实际的、科学的、符合数学法则、重视经验、需要判断力和常识的艺术。满足人类社会发展需求、基于自然规律、运用人类智慧及创造力是工程的关键要素。工程来源于人类社会发展的需要，从人类试图使用工具改善其生活和生存环境时，对工程及其技术的需求也随之产生。在古代，原始的工程及其技术知识来源于人类使用工具的经验，大多为经验知识，由于没有文字甚至语言，原始工程技术知识的传承通过前一代人示范、下一代人的反复模仿与练习实现，此时经验知识的示范式传承是古代工程技术发展的主要方式。随着语言和文字的发展，人类可以记载、归纳和提炼工程的经验知识，从而逐渐形成了系统的工程理论知识，特别是英国工业革命之后，人类对工程技术的需求达到了前所未有的程度，经过两百多年的发展，逐步出现了学科门类齐全的多个工程领域。

工程是创造造福人类产品的手段。几乎所有围绕在人类周围的物体（通常称为产品）都是工程师努力工作的结果。如人们现在所坐的椅子就是一个典型的工程产品。椅子的金属零件，其材料来源于矿山中开采出来的金属矿石，采矿的过程是由采矿工程师设计的；金属矿石由冶金工程师通过冶金机械设备提



炼，而这些设备则是由土木工程师和机械工程师设计制造的；机械工程师负责设计椅子的各个零件及制造椅子的机器；椅子上的高分子材料或纺织物大多来源于石油，石油工程师负责石油的开采与生产，而化学工程师则从石油中提炼并制造出高分子材料；装配好的椅子是通过货车甚至飞机运送到客户所在地，而货车或飞机是由机械工程师、航空工程师和电气工程师在工厂中设计与制造的；工业工程师则完成优化工厂的空间使用、资金和劳动力；货车行驶的道路是由土木工程师设计和修建的。

工程师不仅在把产品推向市场的过程中起着关键作用，还是一些非常具有挑战性的人类探索活动的核心参与者。例如，我国的“神州系列”项目是使人类摆脱地球引力、登上太空的伟大事业。这是我国迄今为止最伟大的工程成就之一。



2.2 工程与科学的关系

美籍匈牙利空气动力学家及航空航天工程专家西奥多·冯·卡门 (Theodore Von Karman, 图 2-1) 曾就工程与科学的关系做过这样的表述：“科学工作者（家）研究现有的世界，工程师则创造从未有过的世界。”这一表述可以很清晰地让人们了解工程与科学的区别和分工。事实上，科学与工程的关系，类似分析与综合的关系。科学通过分析自然界，掌握自然规律，而工程则综合应用这些科学规律解决自然界面临的问题。简而言之，科学是分析、发现，工程是综合、创造。



图 2-1 西奥多·冯·卡门

人类来源于自然。随着人类社会的进步，人类产生了越来越多的认识自然甚至改造自然的需求，从而也诞生了满足这些需求的科学、技术、工程及最终的产品（其关系见图 2-2）。在人类发展历史上，面向人类实际需求的工程技术常常在时间上超前于相应的理论探索。投石机在其理论被理解之前就被广泛建造和使用。很多现代理论知识和概念，如力向量和功（力施加一段距离）则被认为是由工程师发现的，因为这些知识可以在工程上用于改善投石机的性能。

当代科学及技术的革命，极大地推动了工程及其产品的发展，而这些实现人类梦想的工程及其产品，反过来又为科学和技术的发展提供了新的手段。近百年来，人类在航空航天领域的成就（图 2-3），就是科学与工程相互推动、共同发展的典范。从牛顿 1687 年发现万有引力，过去几个世纪人类对太空的探索，大多数均停留在理论阶段，直到 1961 年加加林首次搭乘宇宙飞船克服地球



引力飞向太空，人类花了 200 多年才真正迈出了从太空科学理论走向太空工程实践的第一步。宇宙飞船载人飞向太空是迄今为止人类所取得的最伟大的工程成就之一，但这项伟大的工程成就是基于人类对万有引力的科学认知。另一方面，人类登上太空之后，可以完成以前无法完成的科学探索（如培育太空种子等），而太空种子技术又能为人类生产出产量高、味道好的食物。

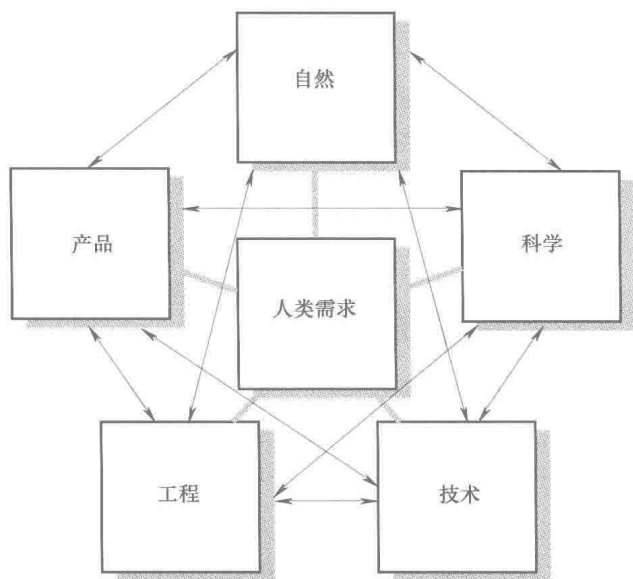


图 2-2 人、自然、科学、技术、工程及产品之间的关系

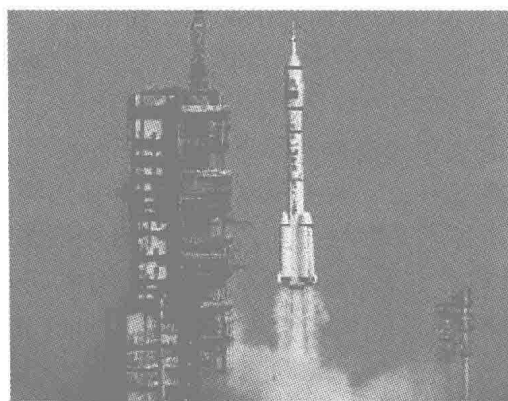


图 2-3 神舟载人火箭发射升空

工程与科学又不总是同步、并行发展的。事实上，宇宙飞船是靠火箭推动飞向太空的。而火箭工程技术的发展起源于 12 世纪古代中国的喷气推进火箭，



那时人类还没有认识到万有引力的规律。然而，这丝毫没有阻拦人类的飞天梦，大约在公元1500年，中国明代一位官吏名叫万户^[1]，他为了飞向没有人间是非的月亮，在一把座椅的背后，装上47枚当时可能买到的最大火箭。他把自己捆在椅子上，双手各持一个大风筝。然后让他的仆人同时点燃47枚火箭，其目的是想借火箭向前推进的力量，加上风筝上升的力量飞向前方，最终到达月亮。万户的悲剧体现了没有科学认知基础的工程探索是充满艰辛和风险的。1959年，科学家们将月球背面的一座环形山命名为“万户”山（图2-4），以纪念“第一个试图利用火箭进行飞行的人”。500多年后，我国科学家和工程师终于在掌握现代科学及工程技术的基础上，将玉兔号成功送上月球（图2-5）。



图 2-4 月球上的“万户”山^[1]

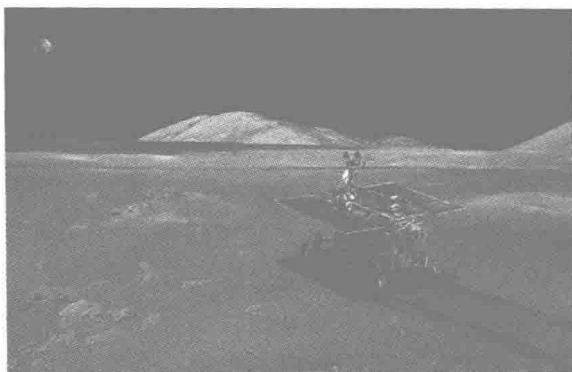


图 2-5 玉兔号月球车

当前的工程学教育强调数学、科学和经济学，使得工程学成为一门“应用科学”。然而，上述历史案例证明这种教育方式不一定是正确的选择，因为工程师大多是受直觉以及直接或间接经验引导。事实上，不仅在航空航天领域，古代很多伟大的建筑物、沟渠、隧道、矿山和桥梁都是在18世纪初之前完成的，而直到18世纪初才建立了现代工程学的科学基础。

和传统工程师一样，当代工程师也经常需要在不理解基本原理的情况下解决工程实际问题。毋庸置疑，工程师会从科学理论中受益，但有时需要在理论与实际联系之前提出解决方案。例如，当工程师需要解决利用超导体制造可以实用的软导线（超导软线可能应用于未来的电力设备中）时，科学家却在探索高温下的超导现象。而在超导这一研究课题方面，科学与工程又是紧密联系的，科学发现的成果需要工程去应用到实用产品中，而后者则面临更大的挑战，需要更大的创造力。



2.3 研究与开发

研究与开发（Research and Development，简称为 R and D 或 R&D）^[2]，国际