

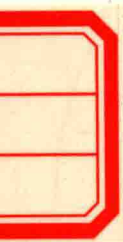
西学东渐·艺术设计理论译丛

Invention
by
Design
How Engineers Get
from Thought to Thing

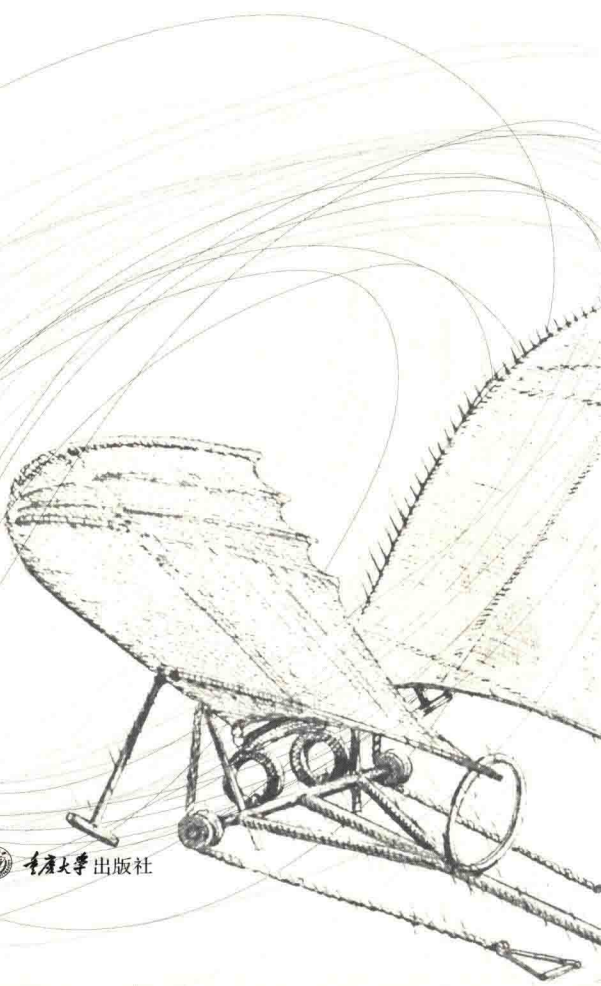
发明^{源于}设计

[美] 亨利·佩卓斯基 著
皮永生 唐 影 译

设
计
师
如
何
从
创
意
到
产
品



重庆大学出版社



西学东渐·艺术设计理论译丛

发明^{源于}设计

[美] 亨利·佩卓斯基 著
皮永生 唐 影 译

Invention
by
Design

How Engineers Get
from Thought to Thing

重庆大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

发明源于设计 / (美) 佩卓斯基 (Petroski, H.) 著;
皮永生, 唐影 译. —重庆: 重庆大学出版社, 2016.12

(西学东渐·艺术设计理论译丛)

书名原文: INVENTION by DESIGN: How Engineers
Get from Thought to Thing

ISBN 978-7-5624-9021-0

I. ①发… II. ①佩… ②皮… ③唐… III. ①设计学
IV. ①TB21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 093035 号

西学东渐·艺术设计理论译丛

发明源于设计

FAMING YUANYU SHEJI

[美] 亨利·佩卓斯基 (Henry Petroski) 著

皮永生 唐影 译

策划编辑: 张菱芷

责任编辑: 李桂英 版式设计: 张菱芷

责任校对: 张红梅 责任印制: 赵晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人: 易树平

社址: 重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编: 401331

电话: (023) 88617190 88617185 (中小学)

传真: (023) 88617186 88617166

网址: <http://www.cqup.com.cn>

邮箱: fxk@cqup.com.cn (营销中心)

全国新华书店经销

印刷: 重庆长虹印务有限公司印刷

*

开本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 15 字数: 206 千

2016 年 12 月第 1 版 2016 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5624-9021-0 定价: 45.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题, 本社负责调换

版权所有, 请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书, 违者必究

前 言

本书通过对回形针、铝制易拉罐、飞机以及现代高层建筑等我们所熟悉事物的案例研究，探讨工程设计与工艺技术的本质。在这里，我们将从工程项目设计、解析、失效、经济学、美学、传播、政治、质量控制等设计角度阐明这些现实中的人工制品（我以前的著作当中提到过一些）。这些研究案例也涉及各种工程领域，其中包括航空、民用电脑、电器、环境、制造业、机械，以及结构工程等。

我要感谢那些与我进行信函交流，探讨我早期作品并分享他们宝贵个人经验的设计师、发明家、工程师及企业家们。本书中我回顾的案例充分体现出与他们通信过程中所获取的全新信息。尤其是那些直接参与书中人工制品研发的发明家和工程师。他们对细节的详细阐述使我能够把故事讲述得更加完整，他们赋予我第一手的写作素材，并且扩充了素材和新产品以及衍生品的信息。我也感谢那些与我通信以及在我巡回授课和演讲中遇到的设计理论家。他们不仅热情好客，还与我分享了他们的参考书目见解和研究方法。

本书的基础构架形成于1992年，旨在通过案例研究法在杜克大学的新课程中向工科类及其他类学生介绍发明、设计及进化的本质。我十分感激美国

国家科学基金会的资助，让我从繁重的传统工科课程教学中解放出来，从而确保了本书的完成。杜克大学连续多届学生已经使用该书的多个部分作为课程内容，同时提供了反馈研究意见，这些都促使书稿的不断修正和完善。我尤其要感谢曾经担任该课程教学和助理研究工作的唐亚·戴尔、雷尔·额斯纳威和伊恩·思雷福尔。

我要再一次感谢杜尔大学威廉·R.帕金斯图书馆流通部的前负责人阿尔伯特·内柳斯以及维西工程图书馆的前负责人埃里克·史密斯。戴安娜·希姆勒不断为我所需的图书资料提供保障，还有我的研究生艾曼·卡玛，在他完成自己土木工程的学位论文时，为“传真机”一章的背景资料所做出识别、确认工作。

一些看过早期版本手稿的编辑和匿名评论员提出了很好的建议，在这些建议下本书最终的体系才得以成形。我还要对哈佛大学出版社的迈克尔·G.费舍尔、安·唐纳黑兹尔、苏珊·华莱士·勃姆以及吉尔·布赖特巴思表示最诚挚的谢意，是他们的热情关怀和慷慨帮助让本书从手稿到成形的过程无比愉快。

一如既往，我的女儿，凯伦和史蒂芬一直是我灵感的来源，同时让我十分钦佩的作家凯瑟琳·佩特罗斯基也是我的妻子，仍然是我最珍爱的读者。

1996年5月

目 录

1	概论	/ 001
2	回形针及其设计	/ 007
3	铅笔尖及其设计分析	/ 041
4	拉链及其设计开发	/ 063
5	铝制易拉罐及其设计失效	/ 087
6	传真及其网络系统	/ 101
7	飞机及其计算机辅助设计	/ 117
8	水系统及相关社会背景	/ 137
9	桥梁和政治	/ 155
10	建筑及其系统设计	/ 183
	参考文献与补充书目	/ 211
	图片注解	/ 229

1 概 论

在我们周围，工程产品随处可见。我们正在用来输入单词的电脑就是这样一个典型的产品。空调系统也是同样，无论外界炎热或是潮湿，它都能使我们（包括电脑）在室内拥有一个舒适的环境。当我们外出时，时常乘坐汽车行驶在有隧道和桥梁的道路或高速公路上；我们也可以通过电话、光碟、传真和计算机网络等方式“外出”。它们都是经由工程设计、制造和建构的产品。实际上，我们的日常生活深受各类工程和技术实践的影响，同样由工程产品构成的世界环境也影响着我们的行为。但什么是工程设计？它起源于何时？工程设计师如何将其付诸实践？以及什么是技术？技术的根源在何处？它与人类社会的活动有什么关系？以上的问题正是本书探讨的内容。

高科技电脑从发明者的突发灵感到呈现在我们面前，以及将工程设计师所绘制的一幅宏伟的结构图转化为创新桥梁的过程，都需要经过无数的步骤，很少能直接实现。它可能需要几十年艰辛而漫长的研发，而后需要倾注热情的长期实践，才能成为实用的产品。每一个工程项目都依赖于工程设计师的特质、企业特点、社会和市场氛围，还涉及经济、政治、美学、伦理等问题。此外，每个工程项目都高度依赖于可获得的不同类型的原材料。虽然工程设计是重组材料和发挥自然力量的艺术，但是工程设计师总是受到自然法则的约束，自然法则规定着哪些重组可行，哪些不可行。

本书试图介绍工程设计中诸多因素的相互联系。本书不从难以理解的大型结构和系统以及相应的数学和自然科学知识着手，而是从我们身边熟悉的产品来介绍工程设计。虽然它们看起来非常简单，近乎根本不需要任何复杂的工程技术，这些日常产品虽不要求尖端工程技术，但它们仍无一不体现工程设计的原理和规则。一个自学成才、天赋异禀的发明家发明出巧妙装置并花费百万用于创意实现的思维过程，与一个工科毕业生设计并开发新型装置，用于采集火星土壤样本并运回地球的思维过程并无二致。第一眼看上去如此简单熟悉的物品在概念形成、开发、生产以及营销等方面都可能会遇到

巨大的系列困难。

工程设计是人类从早期文明实践中形成并传承至今的基本工艺。今天的工艺更加程式化和专业化，其中计算机大大地提高了其所需的计算部分的工作效率。但是这并不是说完成优质工程项目所需要的技能和规则就会有别于手工业时代。现代工程设计是一种有关数学和科学深层次的尝试，但是在实践中仍然需要大量的有关材料、结构以及能源等方面常识性的思考。数学和科学帮助我们分析现存的理念和想法以及它们在事物中的具体化存在，但是这些分析工具本身不能给我们提供任何理念。为了利于人类发展，我们必须思考和系统梳理那些自然法则和已有产品结构，找出其变化规律以便进行改进从而更好地实现预期目标，服务于人类社会。

设计与研发的“创意”将工程设计与科学区别开来。因为科学本身更关注对世界的“认知”。而在工程技术发展史上，工程设计师们一直探索着诸如：水为什么不存在于所需要的地方，材料为什么不能唾手可得，或是建筑材料如何搬运等实践性问题。古代的工程设计师常被召集来设计建造大型纪念碑，设计抵御敌人的防御工事，以及设计能够在崎岖的地面和汹涌大海上载人搭物的交通工具。在文艺复兴时期，诸如达·芬奇这样的工程设计师的设计理念已经远远超出了当时应有的认识水平，而另一些诸如伽利略等人则奠定了现在工程技术学院学生所学习的所谓分析方法的基础。工业革命带来了新机器与全新的制造技术的飞速发展，而机器与制造技术的飞速发展反过来又促进众所周知的当今科学和商业的全球化发展。

工程设计发展史上充满着克服失败，从一个胜利走向下一个胜利的鲜活故事；这些故事不仅仅是基于技术的发展，而且同样有着自身的文化背景和文脉传承。研究过去典型案例的目的，是为了洞悉当今极具挑战性的工程设计问题的解决方法并提出有益的解决方案。工程设计师们如何解决问题以及训练他们判断能力的故事，很大程度上让我们体会到一些基本的，但却不是与生俱来的人类努力尝试解决工程设计问题的意志品质。

◎案例研究

人工制品或是特定产品、项目、工艺流程的案例研究能够使我们在其具体实践的文化背景以及文脉联系中理解工程设计。虽然案例研究在细节以及完整性方面的程度有所不同，但随着讲述的不同故事的相互补充和方法的揭示，工程设计的共同特征就变得不言而喻了。每一个案例研究都可以扩展成为一本书，它或是关于为什么采用了这样的工程设计解决方式而不用其他方法，或是关于在满足人们需求方面有没有更好的工程设计解决方式。工程设计是一门折中的艺术，在现实生活中总会有提升的空间。但是工程设计同样也是一门实践的艺术，工程设计师们意识到必须实施某种程度的设计简洁化，从而着手产品的制造及构建。

例如，回形针看上去是如此简单和微不足道，以至于我们使用完之后不会留下任何印象。在第二章中，我们将回形针放置在技术批评的显微镜下以探明其中蕴含的设计方法。事实上，正如该研究案例所揭示：成功地设计和制造回形针极具挑战性，这也使得该回形针能够一直沿用至今。这些回形针以“宝石”牌最为人熟知，实际上，它远不是一个完美的人工制品。深入关注“宝石”牌回形针以及数百次对其改进而获得的专利，为我们深入了解工程设计的本质提供了途径，并引领我们进一步探讨，并不完美的人工制品如何主导市场？

在第三章中，铅笔的个案研究说明了工程设计师为求改进而使用的分析和量化物品功能从而进行改进的方法。我们都知道在使用铅笔时，如果用力过猛会折断铅笔尖。但是多大的力量是过大？作为铅笔使用者，我们可以尽量小心使用，用很轻的力量，以使铅笔尖不至于折断，但在特殊条件下，不可避免需要加大力度。比如多层复写的时候就要求用较大的力量书写，为了达到这一目的，铅笔尖上作用的力量就会很大。只有当我们折断一些铅笔尖之后，才会知道如何避免折断更多的铅笔尖。我们可以从错误的经历中推断出多大的力量才不至于折断它们。我们也知道，如果使用更好的铅笔，笔尖也会较少被折断；

如果握笔更加的竖直或者笔尖本身较钝也会较少折断。或者我们可以改换其他经过提升的品牌或型号的铅笔，其笔尖足够强硬而不易折断。当然所有这些观察所包含的意义对于大型工程与系统都同样适用。

从最初概念形成开始，甚至大有市场前景的设计获得专利后，往往是漫长而艰苦的开发过程，拉链的故事便体现于此，这会在第四章中叙述到，同时还讲述了一些具有很好应用前景的设计专利。现今无处不在的拉链，其起源和开发历程彰显了财政支持和精心策划在技术努力和商业成功过程中的重要地位。同时兼顾拉链稳定可靠的性能与其时尚、经济的特性，成为摆在参与其中的设计师们面前的巨大技术挑战，同时也为这一几乎让人难以理解的产品建立可行的市场空间。

第五章所呈现的研究案例讲述了另一个我们所熟悉的人造物品——铝制易拉罐，它犹如掌握在我们手中的一个虚拟工程实验室。了解它的起源以及其开发过程中的各种限制性条件，有助于我们理解其他事物的关键之处。铝罐的开发并不是以其自身作为发展目标，而是以可以得到数十亿份装饮料的可靠独立单元基本中心组件来衡量。当该系统中涉及较多因素时，单个组件的成本费用将是设计中的决定性因素。

尽管经济因素非常重要，但现实技术仍然最终决定着如何来塑造产品。例如，在设计制造一听易拉罐时，工程设计师们不但要考虑避免易拉罐污染到饮料以及在运输和携带过程中不发生泄漏，还要考虑易拉罐易于打开、倾倒和饮用饮料。此外，在铝制易拉罐带来极大便利的同时，也意味着对原材料和能源潜在的巨大浪费，以及清理废弃易拉罐所带来的大量垃圾和废物处理。探讨满足多个对立目标的困难，以及借鉴工程设计师们和其他相关人员与诸如此类的困难作斗争的方法，有助于我们更好地理解工程设计、经济、大环境之间的相互影响关系。单个铝制易拉罐是一回事，但在其拥有数十亿克隆铝制易拉罐的背景之下又是另外一回事。

第六章讲述的是一部具有传奇色彩的尖端设备——传真机的故事。该故

事开始于19世纪,但最后并未开发出与现今一样的操作便捷的设备,如今的传真机被置于一个通信网络之中,在这个系统中数据能够准确地进行传输。从19世纪80年代开始,传真机得到了大幅度的推广应用,这一变化不仅仅源自纯技术力量的推动,同时更得益于政府放开管制、传真标准的开发确立以及文化发展的需求。工程技术绝对不可能在缺乏其他相关要素的环境下进行有效的运作。

发生在当代历史文化背景下的许多工程设计与开发都被打上了深深的全球化发展烙印,商业喷气式飞机开发史就清楚地说明了这一点。正如第七章中讲述的波音777飞机的故事,这种双引擎宽体客机于1995年投入客运服务,它的出现为证明数字计算机日益发挥重要作用提供了契机。现如今数字计算机不仅用于设计、测试和制造,而且在20世纪晚期后它也被用于操作一些复杂的机器和系统。计算机软硬件应用所展示出的强大能力,标示了21世纪工程设计学发展的一个新的里程碑。

设计大型飞机或者其他壮观的建筑并不是所有工程师的梦想。对某些工程师而言,他们追求最难捉摸的梦想是使那些在表面上并不引人注目的系统运转更加有效。比如,安全饮用水的供应、废弃物处理以及洁化环境等。因为工程设计总是不可避免地和社会需求紧密联系在一起,所以工程设计的实现是一项社会事业。最明显的案例就是第八章所介绍的饮用水供应以及废弃物处理系统等。在这一领域,就算是工程师独自一人在台式电脑终端或者绘图板上工作,他们的工作也必定会在技术和非技术的层面与其他人的工作产生潜在的联系。事实上,没有任何一个人工制品或者系统的设计和分析能够独立于更大的社会系统而运行,一流的设计和分析人员便是那些能随时意识到所有事物内在联系的人。

这个关于大型桥梁项目的故事用来说明大型项目本质的复杂性,重点介绍了在复杂的政治环境中的项目实施。在第九章中,旧金山—奥克兰海湾大桥的修建史案例表明许多大型项目都需要长期的策划,同时在此期间还提出

了无数的备选方案。货运清关问题，引入桥梁道路的权利，轮渡公司的权利，建设所需的财务责任，桥梁的通过容量，桥梁的美观以及其他的一系列在修建该座桥梁背景下各不相同却又相互关联的问题，这些都为如何大致理解大型工程项目提供了范例。

在20世纪后期，各种各样的系统几乎已运用到每项工程的每一个方面，工程设计便深受这种影响，作为古老技艺的建筑结构也不例外。第十章将介绍在现代摩天楼进化过程中起到重要作用的电梯及其他系统。表面看来是单纯的工程成果，实际包含电气工程、环境工程及机械工程的多方努力。这种打破传统专业界限的学科交叉的情况与日俱增，这无疑会成为21世纪工程设计学发展的关键所在。

站在工程设计的视角观察我们日常生活中遇到的事物，可以发现即使是最简单的对象也可以被看成是技术课程。我们对优雅的工程产品赞叹不已，并将其视为样板，我们也能够批判拙劣的工程设计并使我们更好地理解全世界如何生产产品以及改良产品。一个善意的批评是给予发明家、设计师以及工程师最好的鼓励，它也是推动造物世界和技术不断演变的动力所在。如果满足于周围的一切，我们将会失去革新的意识，世界也将变得一成不变。尽管有些人比较喜欢保守的处理方式，这样就能减少风险但也损失惊喜，这同时也意味着限制了工程师、政治家以及人民大众实现梦想的进程发展。事实上，有些工程师并不把追求建筑的经济性作为自己的信条，因而工程设计行业不负责任地侵占着有限的资源来对从易拉罐到桥梁的每一种事物进行过度设计。很明显，对于社会而言，各种保障安全的构件和系统非常重要，需要对这些项目进行财政支持，每一美元都有它该存在的地方，应用到实处，如保养和维护等。在现实世界中，这样的问题不可避免地与社会问题纠缠在一起，工程设计问题也不能幸免。

2 回形针及其设计

回形针似乎是结构最简单的物品之一。其最常见的形式是由四英寸长的一段铁丝通过三次弯折而成，它看上去既美观又实用，完全由单个组成，不需要成组使用。没有人想要随身携带一盒回形针，我们也往往不会去考虑它如何制造和使用。我们将回形针理所当然地看作一件很熟悉的人工制品，很少有其他想法。回形针似乎太过简单而又无处不在，使得它非常有趣而又极具启发意义。然而，有时候越简单的物品往往隐藏着越多秘密，同时它也和最复杂的物品一样，能够给我们带来许多具有教育意义的体现工程设计本质的经验。

当一个物品简单并且小到可以在我们在手中随意把玩时，我们可以发自内心地反思它是如何制造以及如何被使用。如果该人工制品足够便宜，任何一个人都会有能力购买，然后用任何一种方式对其进行拆卸、检测，这些都有助于我们理解该物品如何制造和被使用。如果该物品的功能原理在概念上简单并清晰可见，我们就可以探讨如何策划设计改良下一代产品的问题。最后，该人工制品必将作为作为一个引人入胜的实例来隐喻工程设计本身。

拿起一盒回形针并仔细审视它，可能只有很少的信息印在盒子上面，这些信息一般包含：品牌名称（ACCO，这似乎只是另一个匿名名称的首字母缩写，或是Noesting，又似乎只是一个很难发音的没有意义的单词）；一个词汇用于描述该回形针（该词汇往往都是犹如：宝石、美丽无瑕宝石、无与伦比、理想的等正面措辞）；包装中的产品数量（通常情况下都是一个比较好记的整数，比如100；但是谁又会真的去数包装中的回形针数目呢？）；产品编目或是库存数量（便于供应商及时补货）；或许是制造商的地址（因此采购部门能够知道在哪里再次订购，或者能够找到供应商以及知道到哪里投诉该产品）；最有可能出现的是无处不在的UPC条形码（通用产品代码），它能够使结账柜台实现自动化；比任何其他信息都更有可能印刷在出售的包装盒上的，便是盒内该种回形针形象的图片。

显然没有必要在回形针的包装盒上印刷产品使用说明。我们都认为自己懂得

如何使用这一灵巧的物品，就像我们懂得如何打开盒子并取出一枚回形针一样，但是我们可能很难单独用语言来解释如何用单个的回形针来夹住一组文件。

让我们打开盒子并取出一枚回形针。用手指从这摞回形针的最上层取出一枚，完成这一动作甚至不需要用眼睛看。我们极少会停下来欣赏回形针或者是惊讶于它。如果我们另一只手紧握纸张时，我们会看一眼回形针，以便确定其是否对准并别住纸张；如果没有，我们会不假思索地用手指进行调整。当我们拿着回形针准备别纸张时，我们将下意识注意到回形针环必须滑套上纸张的每一面。经验告诉我们，一枚标准的回形针不会在纸张表面自由滑动，不管怎样，我们必须掰开回形针，常用的方式是通过一个微小的动作，用回形针较长环的末端紧压纸张的一面（用另一根手指支撑起并绷紧），同时掰弯回形针至恰当位置以使回形针较短的环能够滑套在纸张的另外一面。这一切都如此快速而又自然地发生着，必须的复杂而微小的动作技巧常常被忽视，然而这一动作对使用回形针十分重要，也是我们将其作为一件工程设计品来评价的核心所在。

◎材料弹性

回形针的工作原理是：它的两个圈能够分开到足够大的空间距离从而容纳一些纸张，当释放开来以后由于回弹作用而夹紧纸张。对于实现回形针功能的这种弹性运动，比起造型本身更为重要。回形针可以发挥功用的关键是它的弹簧作用，而不仅是因为它外形是回行。要体会这点，就把一枚回形针掰开到比它要夹住一叠纸张厚度更大一点的位置，失去弹性后它将不能起到回形针的作用，总是存在一个将回形针掰开以后它不能回到刚从盒子里面拿出时的扁平状态的临界点。当达到临界点后，回形针的伸缩范围就被突破（或者说是铁丝发生了塑性形变），让其恢复到它在盒子里面的状态非常困难。毫无疑问，回形针也不再能够有效地别住纸张或者平放在纸张之上。

工程师所使用的每一种材料，无论是木材、铁、混凝土还是回形针所使用的钢丝都具有弹性特征（与橡皮筋的弹性相同），弹性表现在组成这

些材料的任何一种物质中。这一材料属性特征被发现并被确立于久远的亚里士多德时代，但是它只在希腊的哲学界中作为特定的讨论主题。在公元前4世纪收集汇编的《机械问题》中提出了这样的问题：“为什么木头越长越脆弱？为什么它们长得越高越容易弯曲？”我们确实观察到几乎所有的长条形物品都具有这样的属性，如狭窄的物品、意大利空心粉、铅笔芯、塑料尺以及码尺等。任何细长形的物品都容易弯折，而且越长越容易弯，如果不被折断或是发生了塑性变形，让松开之后它又将回到平直状态。弹性的作用在亚里士多德的年代过去2 000年后，才充分被认识。

即使是伟大的伽利略也没有充分认识到所有物体都具有一定弹性的事实，在第三章中我们将看到相关的介绍，这也导致他在1638年出版的具有开创性的著作《材料力学》中犯了一些基本错误。这个问题留给了与牛顿同年代的罗伯特·胡克，他明确说明了弹性的基本属性。胡克是最早使用显微镜的倡导者之一，因此他习惯于近距离的仔细观察自然和人工制品，也就能够发现被其他科学家所忽略的细节（胡克将其首次的观察结果发表于1665年出版的《显微术》上，这本著作包含了众多简单物品的细节，如针尖或是剃刀边缘）。

17世纪的科学家们对于是谁首先发现微积分、弹性自然规律以及发明灵巧的新设备等问题产生了激烈的争论，因此大家在公开宣称新发现时都遵守默认的规则。这种规则大概是这样：一个人的新发现不会直接披露太多细节，直到有其他科学家或发明家有时间或有倾向将要做类似事情的时候才会被披露。虽然胡克早在1660年就发现了弹力的特性，但是直到1678年他才公布了有关弹力或是材料弹性的发现，然而在形式上仍然像拼字游戏一般，让人感到扑朔迷离。

当时的惯用语言为拉丁语，然而这些字谜并没有像我们今天所预期的那样说明组合起来的意思（例如，“THEY SEE”就是一个经典的现代字谜，代表的意思是“THE EYES”）。因此，胡克的字谜呈现为颠倒的字母顺

序，如“ceiinossttuv”。当他准备表达自己的原则时，他重新排列字母并拼写“ceiinossttuv”。“Ut tensio sic vis”通常被翻译为“因为需要扩展，所以产生了力势”。

胡克发现在超出弹性形变上限之前每个物体的延伸都会与其所受的作用力成比例。因此我们越是拉伸一些弹性物体，就会有越多的阻力阻止其进一步的延伸。所以如果我们拉伸橡皮筋的力量是现有的两倍，那么橡皮筋的长度也将是现在的两倍。如果我们拿着很长的意大利空心粉的一端，它以轻柔的弧度下垂而几乎不被察觉。在这里，拉长意大利空心粉而产生的弯曲是由于自身的重力起到了牵引拉伸的作用，伸展的结果则是发生了弯曲。如果意大利空心粉太长就可能会被折断，如果我们使它摆动就会增加其重力的惯性从而使曲线弯曲超过胡克定律或者纤维弹性的极限，同样也会折断。把意大利空心粉以及其折断的部分放回桌面时，在桌面的支撑之下它们又会重新变直。

这些弹性现象表现为胡克定律，弹性现象（同时包括材料和结构的其他现象）影响着工程师设计的所有人工制品的性能，如飞机机翼、桥梁、摩天大楼以及回形针等。沉重的线缆支撑着摩天大楼内的电梯，同时还承受着线缆极度拉伸而增加的弹力，如果不在设计电梯系统时中适当加以考虑，线缆所产生的弹力将使电梯不能在正确的位置开关电梯门，从而影响乘客的使用。

就算是在最简单的物件的操作中，一定程度的弹性也非常有用。例如，如果一枚大头针没有足够的柔韧性以使其在穿过一块布料时产生适当的弯曲，那么针将变得非常的难用或者根本无法使用。此外，如果它没有足够的弹性，那么在轻微弯曲时它将一直保持弯曲状态或是发生塑性形变，这就使得它不能被重复使用。众所周知，大头针在纽扣出现之前的主要目的是用来将衣服扣在一起，但是如同所有的技术工件一样，在被纽扣取代以后，大头针也被开发出了其他巧妙的用途。早在现代回形针被开发出来以前，大头针的一个重要用途是将纸张别在一起。直到今天，大头针的这种使用方式在第三世界国家、银行以及经纪公司还能够见到，因为这些机构不能容许回形针

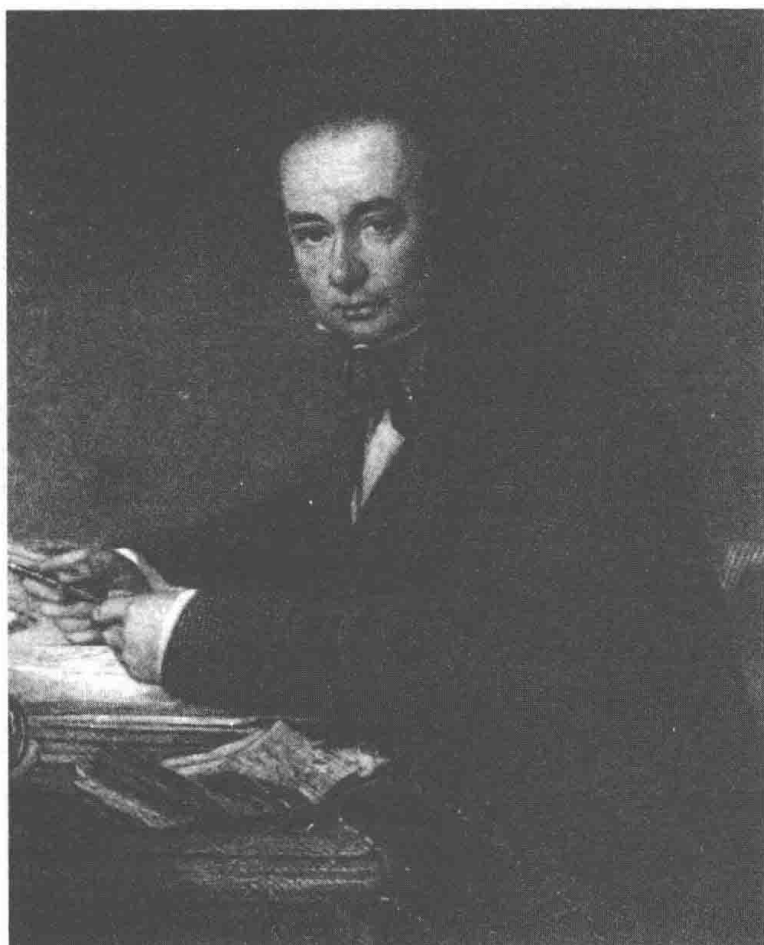


图2.1 19世纪中叶，英国工程师伊桑巴德·金德姆·布鲁内尔的肖像画，他拿着一支铅笔，并在桌面前台放着一枚木制回形针

可能从文档中滑落而带来的风险，也不想花费更多的时间来移除订书钉。在金属回形针应用之前，晒衣夹以及其他类似木质夹等工具也用于将大摞纸张固定在一起（图2.1）。19世纪中期，“回形针”这个术语往往意味着相当大的金属夹，很像今天看到的用于夹报刊的报夹。直到20世纪以前，仍然使用大头针来固定少量纸张。

◎铁丝加工成型回形针

使用了几个世纪用来制作大头针的各种金属线也同样适合用来制作回形