

中小学工程教育丛书

张民生 主编



工程设计导论 实践手册

【美】托马斯·辛格 著

李超 林峰 王斌 等译

孙可平 校译

工程设计导论 实践手册

【美】托马斯·辛格 著

李超 林峰 王斌 等译

孙可平 校译

图书在版编目(CIP)数据

工程设计导论实践手册. / (美)托马斯·辛格著;
李超等译. —上海:上海科技教育出版社,2018.10

(中小学工程教育丛书/张民生主编)

书名原文: Engineering Design: An Introduction:
Workbook

ISBN 978-7-5428-6741-4

I. ①工… II. ①托… ②李… III. ①工程设计—
手册 IV. ①TB21-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第143396号

责任编辑 汤敏燕 郑丁葳

装帧设计 杨 静

中小学工程教育丛书

工程设计导论实践手册

【美】托马斯·辛格(Thomas Singer) 著

李超 林峰 王斌 杨昌荣 张洵 周球尚 译

孙可平 校译

出版发行 上海科技教育出版社有限公司

(上海市柳州路218号 邮政编码200235)

网 址 www.ewen.co www.sste.com

经 销 各地新华书店

印 刷 上海普顺印刷包装有限公司

开 本 889×1194 1/16

印 张 14.5

版 次 2018年10月第1版

印 次 2018年10月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-5428-6741-4/G·3886

定 价 52.00元

出版说明

21世纪是知识和经济全球化的时代，科技创新越来越受到重视，社会对科技与工程类人才的需求与日俱增。各国为了应对竞争压力，纷纷进行基础教育改革，尤其是美国发起的STEM（科学、技术、工程和数学，简称STEM）教育，在全世界引起了广泛的关注和探索实践。

当前，我国基础教育阶段的工程教育尚处于起步阶段，没有成熟的课程设置与师资配备，也缺乏相对权威可靠的课程资源。为此，我们精选美国“项目引路”机构（Project Lead the Way，简称PLTW）的课程资源，引进出版了这套“中小学工程教育”丛书。目前，美国50个州和哥伦比亚特区已经有4700多所学校开设PLTW课程，PLTW的课程资源是目前美国初中和高中使用最广泛的预备工程教育课程资源。我们希望，这套丛书的引进出版，为我国当下正在策划的基于“核心素养”的基础教育课程改革，以及我国以工程技术思想为龙头的STEM教育的有效实施提供参考。


需要说明的是，原书使用的度量单位、符号及部分规范，与国内通用的国际单位有所不同，为了原汁原味地呈现原有内容，以及行文的简洁，我们仅在每本书的正文前附上了单位换算表，以方便读者使用。此外，该套丛书涉及科学、技术、工程和数学多个领域，翻译难度较大。不当之处，欢迎广大读者批评指正。

教育要面向未来多变的社会，要培养具备全球胜任力的学生。在这样的背景下，综合性、跨学科的知识 and 能力越来越重要，这也是我国当前课程改革中最新提出培养、发展学生核心素养（即必备品格与关键能力）的重要内涵。因此，通过加强跨学科课程建设，给学生提供跨学科学习经历尤显重要。国际上当前流行的STEM、STEAM课程，也正是以跨学科、综合性作为其重要特征的。

我国的基础教育历来十分注重学科课程。虽然学科课程原本内涵着跨学科的元素（如物理中有数学，化学中有物理，历史中有地理），但长期以来已被固化，缺乏与时俱进的深化和拓展。近年的课程改革又开始重视综合性课程和跨学科课程的开发，如全国课程改革中的综合实践活动课程，上海课程改革中的研究型课程、科学课程和艺术课程。但在实施中，这些课程远未达到应有的水平。而且现在看来，这些课程缺乏了一个重要内容，就是工程教育。工程是科学、数学与技术等的整合与应用，航天工程、生物工程、桥隧工程、建筑工程、“菜篮子工程”等都是工程。在工程中，必须把设计思维和实践能力放在重要位置，这就要求能够在面临一个复杂的、综合性的任务时，创造性地利用各种手段和方式去完成任务。在设计思维里，系统性思想、以人为本的思想都非常重要。因此，工程教育是跨学科的，是培养设计思维和实践能力的一个很重要的载体，而这正是发展学生核心素养的重要内容。

在基础教育课程改革中，我们首先关注课程的育人价值，在今天特别要考虑课程面对未来的育人功能。工程教育的缺失会产生育人的短板，这也是国际教育界通过反思之后特别重视STEM课程的重要原因。当前，加强工程教育已经成为国际共识。

如何弥补工程教育在我国基础教育中的薄弱与空白？由于当前国内还没有理想的中小学工程教育教材，所以需要学习和借鉴。本套“中小学工程教育”丛书是从美国引进的，有很多值得借鉴的优点。首先，内容系统、完整。书中对工程学科有全面、系统的介绍，



包括工程设计的一般流程，工程建设相关的工具、材料、职业等。书中还结合具体的工程项目，介绍了物理、数学等学科知识在工程问题中的应用。其次，它是跨学段的系统设计，初中阶段的学生用书是《工程学入门》，高中阶段的学生用书是《工程原理》《工程设计导论》，内容的难易与梯度都比较合适。第三，语言生动、图文并茂，可读性很强。最后，整套书不仅有功能类似传统教材的学生用书，还有配套实践手册，可供学生练习、提高。

“他山之石，可以攻玉”。我希望这套“中小学工程教育”丛书的翻译出版，可以为我国当前的课程改革、教材开发服务。希望国内的相关人士，能够在此基础上，开发本土中小学工程教育教材。

张民生
2017年12月

单位换算表

量的名称	英(美)制单位		换算关系
	名称	符号	
长度	英寸	in	1 in = 25.4 mm
	英尺	ft	1 ft = 12 in = 0.3048 m
	码	yd	1 yd = 3 ft = 0.9144 m
	英里	mi	1 mi = 1760 yd = 1609.344 m
面积	平方英寸	in ²	1 in ² = 645.16 mm ²
	平方英尺	ft ²	1 ft ² = 0.092 903 m ²
	英亩	acre	1 acre = 4840 yd ² = 4046.856 m ²
体积	立方英寸	in ³	1 in ³ = 16.387 cm ³
容积	加仑(美)	gal	1 gal = 231 in ³ = 3.785 4 L
流量	加仑每分钟	gal/min, gpm	1 gpm = 0.003 785 4 m ³ /s
速度	英尺每分钟	ft/min	1 ft/min = 0.005 08 m/s
	英寸每秒	in/s	1 in/s = 0.0254 m/s
	英寸每分钟	in/min	1 in/min = 0.3048 m/s
加速度	英尺每平方秒	ft/s ²	1 ft/s ² = 0.3048 m/s ²
质量	磅	lb	1 lb = 0.453 59 kg
	盎司	oz	1 oz = 28.3495 g
压强, 应力	磅每平方英寸	lb/in ² , psi	1 psi = 6894.757 Pa
	千磅每平方英寸	ksi	1 ksi = 6 894 757.293 Pa
温度	华氏度	°F	华氏度 = $\frac{9}{5}$ 摄氏度 + 32 华氏度 = $\frac{9}{5}$ 开氏度 - 459.67
功、能、热	英尺磅	ft · lb	1 lbf · ft = 1.355 82 J
	英寸盎司	in · oz	1 in · oz = 0.007 061 55 J
	英制热量单位	Btu	1 Btu = 1055.056 J
	热姆	therm	1 therm = 10 000 Btu = 105 505 585.26 J
比热容	英制热量单位每磅华氏度	Btu/(lb · °F)	1 Btu/(lb · °F) = 4186.8 J/(kg · K)

(续表)

量的名称	英(美)制单位		换算关系
	名称	符号	
功率	英尺磅每秒	ft · lb/s	1 ft · lb/s = 1.355 82 W
	马力	hp	1 hp = 550 ft · lb/s = 745.700 W
转矩	盎司力英寸	ozf · in	1 ozf · in = 0.007 061 55 N · m
	磅力英寸	lbf · in	1 lbf · in = 0.112 985 N · m
	磅力英尺	lbf · ft	1 lbf · ft = 1.355 82 N · m

前言

本书是《工程设计导论》一书的配套实践手册,通过真实的、实践性强的活动来帮助学生训练工程方面的基本技能,为将来参与挑战性更强的项目打下基础。本书作者利用长期讲授“项目引路”系列(Project Lead The Way)《工程设计导论》课程的经验,为大家提供下列丰富的内容:

- 实践性强的工程类活动;
- 工程图与草图的绘制;
- 数学基础;
- 头脑风暴和团队合作实践;
- 用开放式的问题和项目提高挑战难度。

本书还在所有必要的地方提供了空白的工程师笔记页和正等轴测投影图图纸。在完成本书的练习和实践的过程中,学生将逐步掌握利用这些工具进行文档整理和记录的技巧。

本书的特点

本书用于补充和支持“项目引路”系列的工程设计课程,同时也可用于支持所有基于项目的工程设计相关课程。每一个单元都包含以下这些栏目,旨在引导学生通过设计流程解决问题,并达到良好的效果。

背景

“背景”栏目可以帮助学生回顾和拓展所学的知识,以便在接下去的实践活动中更好地应用它们。

小提示

“小提示”旨在提醒学生避开工程设计中常见的陷阱,提供有帮助的线索以及一些有趣的奇闻轶事,帮助学生顺利地完成工程设计活动。

练习

本书的核心是众多的实践练习,内容涵盖数学、头脑风暴、草图绘制、正式图样绘制与系列设计等,以训练学生必要的设计技能。

单元最后以习题集为结尾,安排了由易到难各层次的练习题。

案例研究

高尔夫史密斯公司

本书在第1单元中介绍了一个实际的案例,描述了高尔夫史密斯公司设计和制造高尔夫球杆头的流程。感谢高尔夫史密斯公司设计人员的鼎力配合,我们得到了丰富的信息、工程图和照片,用以描述高尔夫史密斯公司的设计流程。全书贯穿了涉及高尔夫球杆设计和制造的一系列实践活动,包括模型制作、测试及检查等活动。

《工程设计导论》和项目引路公司

2006年2月,德尔玛圣智学习出版公司与项目引路机构合作开发了一套课程,本书是其中之一。作为一个旨在开发工程类课程的非盈利组织,项目引路机构为高中生提供了严谨的、有意义的、与实际生活密切相关的知识,这些都是大学阶段学习工程学或完成工程技术项目所必须掌握的知识。

在每门课程中,项目引路机构的课程开发者会通过一个个联系实际的实践性项目,帮助学生将数学、科学知识融会贯通。为了实现项目引路课程的目标,同时为了帮助教师更好地完成基于项目与实践的工程技术教学,德尔玛圣智学习出版公司出版了一系列图书,作为九门项目引路课程的配套教材:

- 技术入门
- 工程设计导论
- 工程原理
- 数字电子学
- 航空航天工程
- 生物技术工程
- 土木工程与建筑
- 计算机集成制造
- 工程设计与开发

致谢

在此感谢为本书出版过程中提供过帮助的每一个人,尤其要感谢各位审稿人,特别是希茨设计集团有限公司的希茨(Jeff Sheets),他分享了他的知识和案例,帮助我们更好地理解了高尔夫球杆头复杂的设计要点。

感谢“项目引路”系列工程设计导论课程各位执教老师为本书所做的贡献和指导。

特别感谢我的妻子安尼塔(Anita)和女儿雷切尔(Rachel),她们给予我全方位的支持,让我有时间去完成这部作品。

读者可随时将想法、纠错、建议发至邮箱:pltwiedworkbook@gmail.com,供今后进一步完善和改正。

第1单元 工程设计及草图绘制	1
第1节 设计流程	2
第2节 团队建设	11
第3节 为你的成果申请商标、专利及著作权	14
第4节 草图绘制入门	20
第2单元 图纸读识和参数建模	59
第1节 图纸读识	60
第2节 制图中的数学原理	70
第3节 几何图形	76
第4节 几何体	92
第5节 CAD在工程设计中的应用	101
第6节 创建图纸集	107
第7节 用Inventor软件制图	112
第3单元 基于系统集成设计方案	131
第1节 人体工程学和人因设计项目	132
第2节 逆向工程	142
第3节 模型分析	149
第4节 流体	163
第5节 工程图项目	169
第6节 高级制图	178

第4单元 先进制造 **197**

第1节 可制造性设计 198

第2节 快速成型准备清单 201

第3节 虚拟团队 204

第4节 开放式设计问题 208

附件 工程师笔记页和绘图练习纸 213

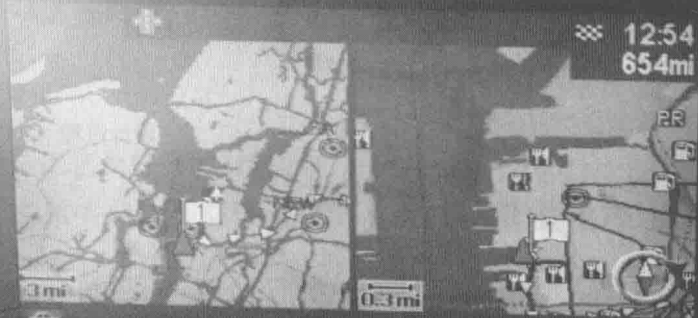
第1单元

工程设计及草图绘制

技能清单

完成本单元的活动后,你将学会以下技能:

- 认识工程设计流程的步骤
- 高效完成团队建设
- 知道专利、版权及商标之间的区别
- 填写专利申请
- 绘制以下几种草图:
 - 正投影图
 - 正等轴测图
 - 斜投影图(斜等轴测投影图、斜二轴测投影图)
 - 一点透视图
 - 两点透视图
 - 三点透视图



第1节 设计流程

背景

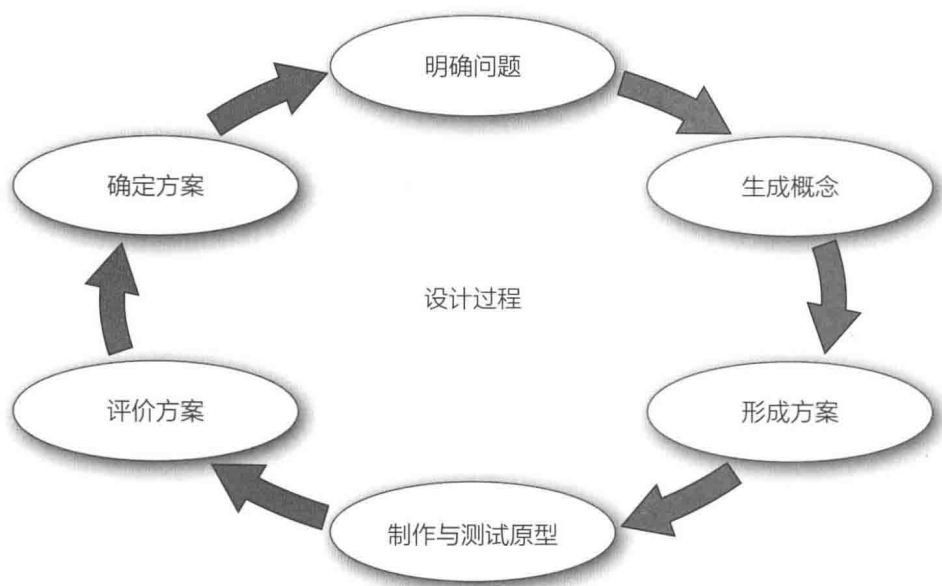
设计流程

设计流程控制着产品研发及市场营销的各个方面。一旦有了新思路,你就需要考虑零件用什么材料,各个零件在使用寿命结束后该如何处理,是否可以回收利用。也就是说,你不仅要创造令人兴奋的产品或工具,还要预测和记录它的整个生命周期。设计流程有助于思路的组织。

目前,各种各样的设计流程应用于工业上,并出现在课本中。一个有效的设计流程可能仅有4个步骤(计划、执行、研究、反馈),也可能多于12个步骤,不同之处在于解说开发流程的详细程度不同。公司经常会调整设计流程以迎合公司的总目标和进度要求。

在《工程设计导论》中,你将学习12步设计流程,美国国家专业工程师学会将其描绘如下:

- 明确问题
- 生成概念
- 形成方案
- 制作与测试原型
- 评价方案
- 确定方案



高尔夫史密斯公司

高尔夫史密斯公司是全球主要的高尔夫装备制造制造商之一。公司非常慷慨,允许我们深入研究他们的设计流程。在下面各部分中,你将看到高尔夫史密斯公司是如何将高尔夫球杆头的新设计由概念变为产品。

每年,高尔夫史密斯公司都会设计和制造约85种独特的高尔夫球杆头。相对于行业标准,这是一个相当大的数字,其他大多数高尔夫球杆头制造商每年只推出10至20种设计。高尔夫史密斯公司聘请希茨设计集团有限公司研发产品,后者专业从事高尔夫球杆的设计和制造。

每个高尔夫球杆经销商都会使用自己的设计及制造流程。例如,高尔夫史密斯公司和希茨集团有限公司的流程就不同于其他高尔夫球杆制造商。设计和制造流程不是通用的,每家公司必须根据自己的实际情况制定流程。

高尔夫史密斯公司的流程始于明确问题,这是创造独特的高尔夫球杆头的必经过程。作为问题陈述的一部分,设计标准及限制条件有利于引导研发设计。

高尔夫史密斯公司的设计师会经常向自己提出一系列问题:

1. 产品的目标群体是谁? 是高水平球手,普通球手,还是初学者?
2. 性能目标是什么? 是为了击打的距离更远,还是为了控球,或者两者兼具?
3. 杆头使用传统材料和形状(柿木杆头和常规铁杆头),还是创新型的设计? 如图1-1。

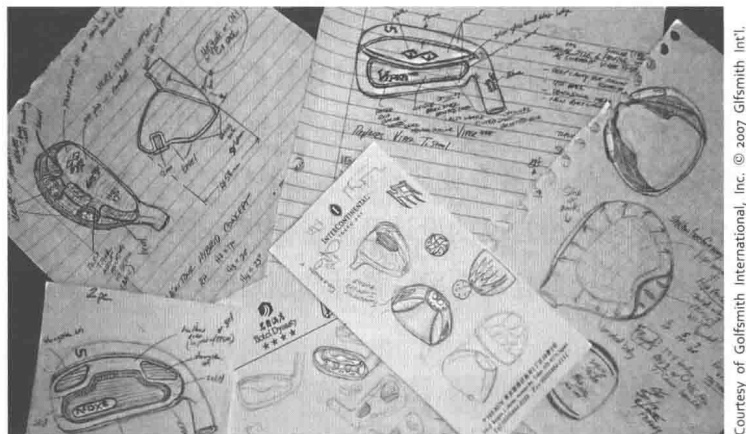


图1-1 高尔夫史密斯公司设计、制造的各种高尔夫球杆头。

4. 杆头的成本预算是多少? 这将决定制造工艺及杆头的材料。
5. 制造工艺的限制条件有哪些? 制作高尔夫球杆头应该采用铸造法(使用铸模生产,成本较低),锻造法(施加压力形成杆头的形状,成本较高),还是两种工艺结合使用(在铸模中铸造,最后锻造成最终形状)?

概念草图完成后,要对部分关键点进行提炼。如图1-2。

如果草图与设计标准及限制条件匹配,就要对概念生成阶段留存的选择进行再提炼。这时,解决方案的研发还剩最后一步,即:制作CAD(计算机辅助设计)模型或高精度的草图,用于帮助评估可行的解决方案(即本案例的杆头设计方案)。

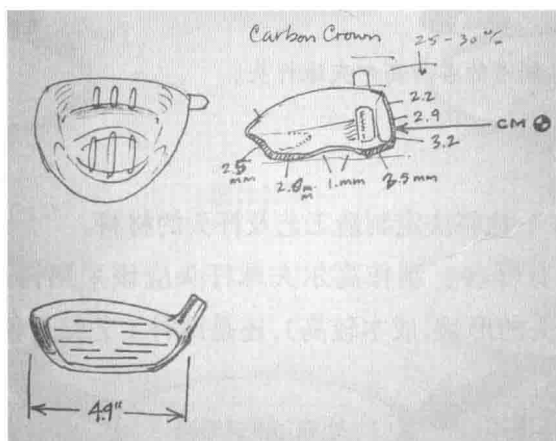


Courtesy of Golfsmith International, Inc. © 2007 Golfsmith Int'l.

图1-2 新高尔夫球杆头的设计草图。

一旦设计被选中,就需要绘制更加精确的草图,这是设计方案报告的一部分,它可以用于制作和测试原型。

至此,原型创建完成了。精确的高尔夫球杆头设计原型不是用CAD(这在稍后的流程中会用到)绘制的,而是在高尔夫史密斯公司自己的模型设计工作室室内手工绘制(如图1-4)。设计团队形成了一个得到顾客初步认可的设计方案,从而使产品从设计步入了制造阶段。当原型完成后,再回顾一下初始设计需求,看是否满足设计标准要求,或超过设计标准要求。



Courtesy of Golfsmith International, Inc. © 2007 Golfsmith Int'l.

图1-3 可用于进行原型制作的高尔夫球杆头草图。



Courtesy of Golfsmith International, Inc. © 2007 Golfsmith Int'l.

图1-4 原型制作台。

原型杆头完成后(如图1-5),就进入生产流程。



Courtesy of Golfsmith International, Inc. © 2007 Golfsmith Int'l.

图1-5 上色后的树脂材质的高尔夫球杆头原型。

初始的原型会被送往中国或越南等地的机械厂和铸造厂进行激光扫描,如图1-6和图1-7。激光扫描形成表面网格数据集,然后转变为实体模型,再由这个实体模型得出统计数据,如重心、质心和转动惯量,用于产品开发。

CAD模型和相关的生产图纸会送回至希茨设计集团有限公司进行重审。一旦模型被批准,就会用来制造铸模,然后,用铸模试制样品和产品模具。

设计团队与制造公司间的良好沟通是此阶段的关键。可以通过邮件、即时消息、网上文件共享和网络电话等工具来确认数据和设计,确保加工和制造的产品达到了希茨设计集团有限公司先前设定的标准。