

“十三五”国家重点图书出版规划项目

中国创新设计发展战略研究丛书

Materials and Innovative Design

材料创新设计

主编 薛群基

副主编 张 弛 王雪珍 应华根



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

“十三五”国家重点图书出版规划项目

中国创新设计发展战略研究丛书

Materials and Innovative Design

材料创新设计

主编 薛群基

副主编 张 弛 王雪珍 应华根



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

材料创新设计 / 薛群基主编. — 杭州 : 浙江大学出版社, 2018. 4

ISBN 978-7-308-18014-6

I. ①材… II. ①薛… III. ①材料—设计 IV. ①TB3

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第037643号

材料创新设计

薛群基 主编

张 弛 王雪珍 应华根 副主编

策 划 徐有智 许佳颖

责任编辑 张凌静

责任校对 沈炜玲 陈静毅

装帧设计 程 晨

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 杭州林智广告有限公司

印 刷 浙江印刷集团有限公司

开 本 710mm×1000mm 1/16

印 张 12.5

字 数 186千

版 印 次 2018年4月第1版 2018年4月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-18014-6

定 价 68.00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中心联系方式: 0571-88925591; <http://zjdxcbbs.tmall.com>

编 委 会

主 编 薛群基

副主编 张 驰 王雪珍 应华根

编 委 张 军 姜 山 冯瑞华 万 勇

黄 健 黄卫东 张文武 孟 丽

曾志翔 朱 胜 董丽虹

序

设计是人类有目的的创新实践活动的设想、计划和策划，是将信息、知识、技术和创意转化为产品、工艺装备、经营服务的先导和准备，决定着制造和服务的品质和价值。设计推动了人类文明的进步，经历了农耕时代传统设计和工业时代现代设计的进化，正跨入创新设计的新阶段。创新设计是一种具有创意的集成创新与创造活动，它面向知识网络时代，以产业为主要服务对象，以绿色低碳、网络智能、共创分享为时代特征，集科学技术、文化艺术、服务模式创新于一体，并涵盖工程设计、工业设计、服务设计等各类设计领域，是科技成果转化成为现实生产力的关键环节，正有力支撑并引领新一轮的产业革命。

当前，我国经济已经进入由要素驱动向创新驱动转变，由注重增长速度向注重发展质量和效益转变的新常态。“十三五”是我国实施创新驱动发展战略，推动产业转型升级，打造经济升级版的关键时期。我国虽已成为全球第一制造大国，但企业的设计创新能力依然薄弱。大力发展创新设计，对于全面提升我国产业的国际竞争力和国家竞争力，提升我国在全球价值链上分工的地位，推动“中国制造向中国创造转变、中国速度向中国质量转变、中国产品向中国品牌转变”，具有重要的战略意义。

2013年8月，中国工程院启动了“创新设计发展战略研究”重大咨询项目，组织近20位院士、100多位专家，经过广泛调查和深入研究，形成了阶段性的研究成果，并向国务院递交了《关于大力发展创新设计的建议》，得到了党和国家领导人的高度重视和批示。相关建议被纳入“中国制造2025”，成为国家创新驱动发展战略的重要组成部分。

“创新设计发展战略研究”项目组的部分研究成果，经过进一步的整理深化，汇集成为“中国创新设计战略发展研究”丛书。希望该套丛书的出版，

能够在全社会宣传创新设计理念、营造创新设计氛围，也希望有更多的专家学者深入探讨创新设计理论和实践经验。期待设计界同仁和社会各方团结合作，创新开拓，为中国创新设计、中国创造、人类文明的共同持续繁荣和美好未来开启新的篇章。

沈自辉

2018年4月5日

前言

设计是人类有目的的创新实践活动的先导和准备，而材料是人类生产各种所需产品不可缺少的物质基础。人类改造世界的创造性活动，是通过设计并利用材料来创造各种产品才得以实现的。材料为设计奠定了物质基础，使得概念和数据形态的设计方案能以实体形式呈现出来。另一方面，依托设计，原料形态的材料才能被组织成人们所需要的有用形态。材料和设计相互依存，相互促进，随着人类需求的不断提高而向前发展，推动时代的进步和人类文明的进化。

随着知识网络经济的发展，全球信息网络物理环境条件已对设计产生深刻的影响，从设计到制造的沟通和交流、模式与结构发生了巨大变革。制造者、用户、行销、运行服务者可以依靠无时无处不在的无线互联网、云计算、大数据、物联网、3D+X 打印和智能终端等先进的信息基础设施，构建公平公正、普惠高效的设计创新环境。传统的设计已经进入创新设计的新时代，它以绿色低碳、网络智能、超常融合、共创分享为特征，集科学技术、文化艺术、服务模式的创新于一体，以产业为主要服务对象，是科技成果转化成为现实生产力的关键环节，正有力支撑并引领新一轮产业革命。

2013 年 8 月，中国工程院启动了“创新设计发展战略研究”重大咨询项目，组织近 20 位院士、100 多位专家进行研究。经过两年多的广泛调研和深入研究，项目研究取得了重要成果。项目组提出的“大力发展创新设计的建议”得到了党中央和国务院的高度重视，在国内外制造业界引起了强烈反响；“提升创新设计能力”作为国家创新驱动发展战略的重要组成部分和提高中国制造业创新能力的重要举措，已经列入了《中国制造 2025》国家战略规划。

鉴于材料对于设计具有无法替代的重要作用，“材料创新设计”研究成

为“创新设计发展战略研究”重大咨询项目中的一个重要课题。该课题组织了近 50 位院士和专家，历时两年对我国材料创新设计进行了深入研究，最终将研究成果集结成书。

本书包括“创新设计与材料的关系”“材料是创新设计的物质基础”“创新设计是材料的发展引擎”“从材料到器件：创新研制的融合发展”、“材料创新设计路线图”以及“材料创新设计发展与展望”六个章节，明确提出材料的设计、构件的设计乃至系统的设计将和整个制造充分融合，形成一体化、数字化、智能化、网络化的发展趋势。在材料、设计和制造三者的关系中，设计是核心、是灵魂，材料是基础，制造是关键和保障。设计以社会需求为根本出发点，促进科技与文化的结合，加速新材料的研发、制造和应用，实现产品使用价值与文化价值的有机统一。设计将催生新技术、新工艺、新产品，满足新需求。因此，在知识网络时代，设计在支撑材料发展的同时，也将引领材料的创新与发展。

本书根据社会需求的演变与创新设计的特点，重点选择与我们未来社会发展和人类需求紧密相关的新型结构材料、信息材料、能源与环境材料、生物医用材料、碳基复合材料、超常材料等绿色、智能、环境友好、可循环利用材料进行分析；本着“材要成器，器要好用”的理念，围绕国家重大战略和重大工程，使用先进的创新设计和工艺，形成提升中国制造业创新水平、提高人们生活质量、改变民众生活方式的创新性材料、器件和产品，编制出材料创新设计的路线图，以期能够为各级政府科学决策，制定发展规划和各项政策提供有益参考；对企业制定发展战略和提升自主创新设计能力有所帮助。

本书在编写过程中，得到了来自政产学研用的专家学者的积极关注、参与和支持，尤其是来自中国工程机械学会、中国科学院武汉文献情报中心、装甲兵工程学院、西北工业大学、北京航空航天大学、浙江大学、上海交通大学、同济大学等单位的专家、研究团队的支持。感谢他们给予的全力支持及所做出的重要贡献；衷心感谢中国工程院对创新设计战略咨询项目多年来给予的经费支持和研究帮助。浙江大学出版社对本书的出版充分重视，责任编辑对书稿做了细致、专业的审校，在此一并表示衷心的感谢。

由于编著者水平有限，错误疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

第1章 创新设计与材料的关系

1.1	创新设计的内涵与作用	/ 3
1.1.1	创新设计引领新产业革命	/ 5
1.1.2	创新设计打造企业核心竞争力	/ 5
1.2	创新设计与材料关系的历史演变	/ 7
1.2.1	农耕时代：传统设计与材料的关系	/ 8
1.2.2	工业时代：现代设计与材料的关系	/ 11
1.2.3	知识网络时代：创新设计与材料的关系	/ 16
	参考文献	/19

第2章 材料是创新设计的物质基础

2.1	材料在创新设计中的角色	/ 23
2.2	材料的感知特性	/ 24
2.2.1	材料的视觉特性	/ 26
2.2.2	材料的触觉特性	/ 33
2.3	材料的功能特性	/38
2.3.1	材料的力学特性	/ 40
2.3.2	材料的光学特性	/ 42
2.3.3	材料的能量转换特性	/ 45
2.3.4	材料的生物学特性	/ 48
2.4	材料的资源经济性	/ 51
2.4.1	材料的绿色环保特性	/ 52
2.4.2	材料的能源经济特性	/ 54
2.4.3	材料的资源节约特性	/ 57
	参考文献	/60

第3章 创新设计是材料的发展引擎

- 3.1 创新设计对新材料的需求 / 65
 - 3.1.1 创新设计对轻量化材料的需求 / 67
 - 3.1.2 创新设计对新能源材料的需求 / 69
 - 3.1.3 创新设计对环境材料的需求 / 73
 - 3.1.4 创新设计对智能材料的需求 / 74
- 3.2 创新设计对材料的推动 / 75
 - 3.2.1 材料创新设计的国内外现状 / 75
 - 3.2.2 创新设计下的材料发展 / 81

参考文献 /85

第4章 从材料到器件：创新研制的融合发展

- 4.1 创新研制是创新设计、新材料与制造的深度融合 / 91
- 4.2 创新研制中的创新设计技术 / 92
- 4.3 创新研制中的设计新思路 / 94
 - 4.3.1 生物制造 / 94
 - 4.3.2 分子机器 / 98
 - 4.3.3 虚拟现实 / 100
- 4.4 创新研制中的设计新工具 / 103
 - 4.4.1 标准化为“材料—器件”商业化制造扫清障碍 / 104
 - 4.4.2 材料特性数据库为“材料—器件”制造过程提供保障 / 104
 - 4.4.3 仿真模拟技术为“材料—器件”提供了研究模型 / 106
- 4.5 创新制造对创新设计的影响 / 109
 - 4.5.1 3D 打印技术可带来设计理念的改变 / 109

- 4.5.2 3D 打印技术将会给工业模式设计带来变革 / 110
- 4.5.3 3D 打印技术是将创新设计转化为实物的有效途径 / 110
- 4.5.4 3D 打印技术颠覆了传统的制造设计模式 / 111
- 4.5.5 3D 打印技术将为特殊场合的装备设计带来变革 / 113
- 参考文献 /115

第5章 材料创新设计路线图

- 5.1 高性能结构材料创新设计路线图 / 121
 - 5.1.1 现状及态势分析 / 121
 - 5.1.2 创新发展路径 / 125
- 5.2 信息材料创新设计路线图 / 127
 - 5.2.1 现状及态势分析 / 127
 - 5.2.2 创新发展路径 / 130
- 5.3 生物医用材料创新设计路线图 / 133
 - 5.3.1 现状及态势分析 / 133
 - 5.3.2 创新发展路径 / 136
- 5.4 能源与环境材料创新设计路线图 / 139
 - 5.4.1 现状及态势分析 / 139
 - 5.4.2 创新发展路径 / 142
- 5.5 碳材料及其复合材料创新设计路线图 / 145
 - 5.5.1 现状及态势分析 / 145
 - 5.5.2 创新发展路径 / 148
- 5.6 超常环境材料创新设计路线图 / 151
 - 5.6.1 现状及态势分析 / 151
 - 5.6.2 创新发展路径 / 154
- 5.7 海洋工程材料创新设计路线图 / 157

5.7.1 现状及态势分析 / 157

5.7.2 创新发展路径 / 160

参考文献 /163

第6章 材料创新设计发展与展望

6.1 国际材料创新设计发展状况 / 167

6.1.1 美国：建设国家制造业创新网络、实施材料基因组计划 / 167

6.1.2 欧盟及其成员国：启动面向未来创新设计计划、实施“冶金欧洲”计划 / 170

6.1.3 日韩：注重发展模式的转变 / 173

6.1.4 俄罗斯：出台新的材料科技发展战略 / 174

6.2 我国材料创新设计未来展望 / 174

6.2.1 先进基础材料 / 175

6.2.2 关键战略材料 / 175

6.2.3 前沿新材料 / 175

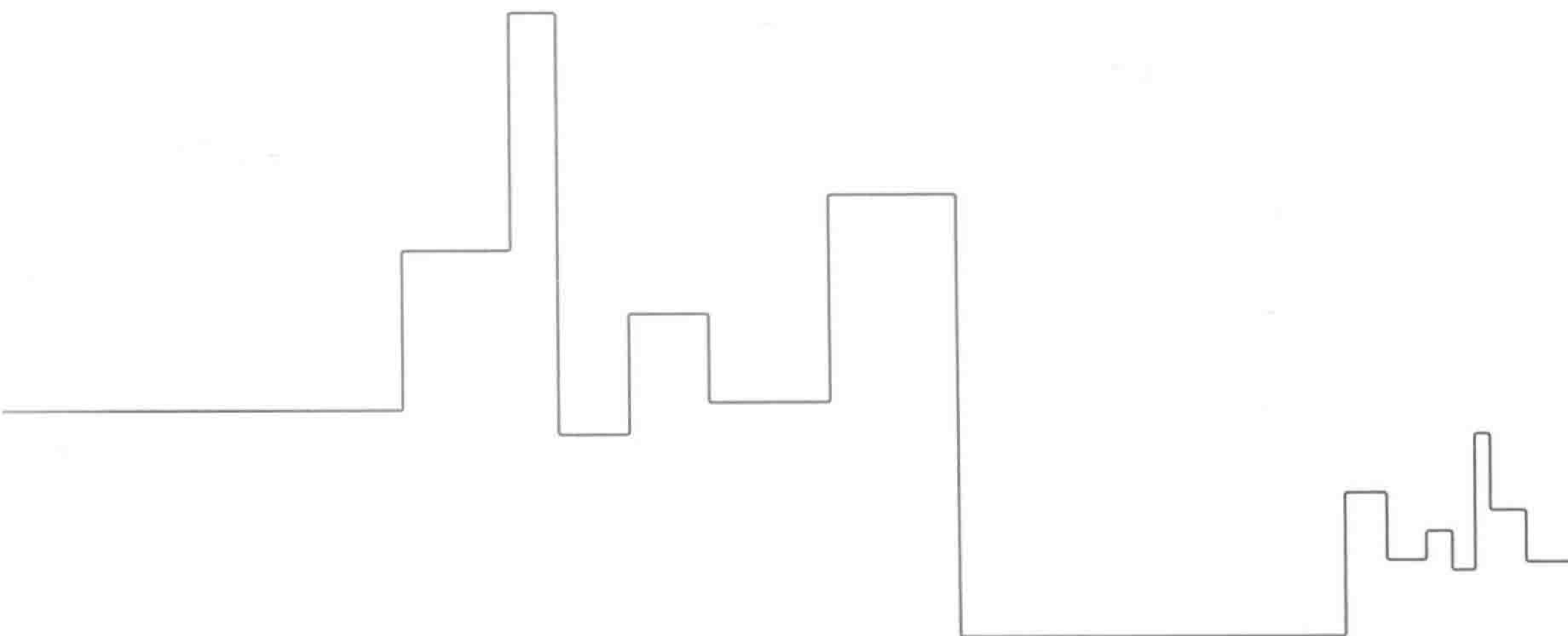
6.2.4 未来发展建议 / 176

参考文献 /181

索引 /185

第1章

创新设计与材料的关系



设计是人类有目的的创造性实践活动的先导，而材料既是人类生产各种产品不可缺少的物质基础^[1,2]，也是设计的根本依托，更是创新设计的催化剂。人类改造世界的创造性活动，是通过设计并利用材料来创造各种产品才得以实现的。材料为设计奠定了物质基础，使停留在思维层面的概念和设计方案能够以实体形式呈现出来。另一方面，依托设计，原材料才能被构建成人们所需要的有用形态。

材料以其自身的特性影响着设计，不仅影响产品的成型效果，而且能通过自身特性满足产品功能的要求。任何一种创新设计，只有与选用材料的性能特点相一致，才能实现设计的目的，达到要求。每一种新材料的出现和性能改进都会为设计实施的可行性创造条件，并对设计提出更高的要求，给设计带来新的飞跃，出现新的设计风格，产生新的功能、新的结构和新的形态。而人类无时无刻不断涌现的新设计构思、新产品功能也要求有相应的材料来实现，这就对材料提出了新的要求，由此促进材料永不止息地发展与创新^[3]。

1.1 创新设计的内涵与作用

创新设计是一种具有创意的集成创新与创造活动，它面向知识网络时代，以产业为主要服务对象，以绿色低碳、网络智能、共创分享为时代特征，集科学技术、文化艺术、服务模式创新于一体，并涵盖工程设计、工业设计、服务设计等各类设计领域，是科技成果转化成为现实生产力的关键环节，正有力支撑和引领着新一轮的产业革命。

创新设计，以满足人们的物质、精神需求和生态环保要求为目标，追求个人、社会、人与自然的和谐、协调可持续发展。随着文明进化，人们的消费观念、文化理念、生活与生产方式随之改变，设计从注重对材料和技术的利用、功能的优化，上

升为对美的追求，人性化、个性化、多样化的用户体验，以及对人文道德、生态环境的关怀。因此，创新设计不仅可赋予产品和服务更丰富的物质、心理和文化内涵，满足和引领市场和社会需求，而且还能创造和引领人的精神需求，创造美好生活，促进社会和谐文明。

创新设计在提升个人、企业和国家核心竞争力，推进“中国制造”向“中国创造”的历史跨越，建设创新型国家目标中发挥着关键的作用。没有“创新设计”作为创新驱动发展的支柱，科技创新将不可能转化、扩散成为市场需要的产品和服务。没有“创新设计”的推动，我国大量的设计师队伍仍将停留在20世纪传统工业经济框架下的设计范式和思维中，无法适应知识网络经济时代的发展需要。具体来说，创新设计的价值与作用主要体现在以下方面。

（1）创新设计是推进原始创新、引进消化吸收再创新及自主集成创新的关键环节，是优化产品和产业结构，推动传统产业改造和转型升级的必要条件，是引领中国制造从跟踪模仿走向自主创新，从代工制造走向设计制造和品牌制造的必由之路。

（2）创新设计将大大地提升中国制造的质量和效率，提升节能、降耗、减排的水平，促进资源清洁高效循环利用、优化能源结构、修复生态环境，实现绿色低碳的可持续发展模式。

（3）创新设计将促进信息化、网络化、工业化、城镇化和现代化的深度融合，实现智能化、个性化、定制化的制造与服务。

（4）创新设计将提升卫生、文化、教育、体育、交通、物流等公共与商业服务水平，增强国家和社会安全保障能力。

（5）创新设计将推进教育改革，培养更多优秀创新创业人才，形成全社会共同重视和激励创意、创造、创新的共识，提升政产学研协同创新的能力。

（6）创新设计将提升国家文化的软实力和产业竞争力，满足和引领人类的物质和精神需求，创造美好生活，促进社会和谐文明，为人类的繁荣进步做出贡献。

1.1.1 创新设计引领新产业革命

设计制造可以追溯到新石器时代。人们利用天然的材料,主要依靠劳动中的经验传承,以手工艺创造制作生产和生活基本产品,其中众多遗存至今的产品为后世所称颂,表现出人类在自身生存发展过程中具有的无限想象力和创造力。中国古代设计创造长期处于世界前列,并且由丝绸之路传播到亚洲、欧洲和非洲各地。但直到18世纪中叶以前,由于在人造材料、工具机器、教育水平等方面没有取得突破,所以始终停留于个体的工匠式设计制作水平上。由于火车、汽车、飞机等机电设计制造引发推动了第二次产业革命,人类进入了机械化、电气化时代。20世纪20年代,创造设计倡导为了人,追求技术、美学、经济性的统一,提升产品的竞争力和价值。20世纪中叶,由于商用机器机械电子一体化的设计,将人类推进到后工业时代。美国引领了电子信息技术和产业的创新。德国、日本、韩国等也在机械电子装备等领域形成了各自的优势^[4]。

随着知识网络经济的发展,全球信息网络物理环境条件已对创新设计产生深刻的影响,从设计到制造的沟通和交流、模式与结构都发生了巨大变革。制造者、用户、行销、运行服务者可以依靠无处不在、无时不在的无线互联网、云计算、大数据、物联网、3D+X打印和智能终端等先进的信息基础设施,构建公平公正、普惠高效的设计创新环境。创新设计与新技术的深度融合为企业的可持续创新发展注入了新动能,成为引领产业革命的新动力。

当前,我国大众创业、万众创新的浪潮将汇聚起全民创新设计的能量和潜力,有效推动各种创新要素的汇集和应用,铸就强势的国家创新智力资源。“创客运动”的工业化,是数字制造和个人制造的合体。目前,全球产业界、学术界,创新设计的思维文化正在崛起,设计创新驱动的科技公司如GoPro, NEST不断涌现,设计思维文化将逐渐取代以软件、硬件开发者为代表的工程师文化。

1.1.2 创新设计打造企业核心竞争力

设计强则创新强。创新设计是产品、工艺、装备、服务模式、品牌和企业