



开展**透明公平**的产品生命周期设计
提高中国企业的**绿色制造能力**
实现创新、协调、开放、共享的绿色发展

产品生命周期设计

中国制造绿色发展的必由之路

顾新建 顾复 著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS





顾新建

浙江大学机械工程学院教授，博导，博士；浙江大学创新管理与持续竞争力研究中心副主任；全国知识管理标准化技术委员会委员、全国自动化系统与集成标准化技术委员会委员兼工业数据分技术委员会主任委员、中国机械工程学会成组与智能集成技术专业委员会副主任委员、中国人工智能学会智能制造专业委员会副主任委员。1982年1月、1987年6月和1993年8月分别在浙江大学机械系获得学士、硕士和博士学位。

国内外正式期刊上发表论文500多篇。发表著作9部，参加编著5部。获国家和省部级科技进步奖10次。获得发明专利授权6项。负责制定国家标准1项。

产品生命周期设计

——中国制造绿色发展的必由之路

顾新建 顾 复 著



机械工业出版社

产品生命周期设计是绿色发展的关键技术之一。本书主要针对企业开展产品生命周期设计的“四难”问题,即创新难、协同难、数据获取难、实施难问题,提出了基于新一代信息技术的产品生命周期设计的新模式和新方法,包括基于知识网络的产品生命周期设计技术、基于 Web2.0 的产品生命周期评价(LCA)方法,以及产品生命周期成本(LCC)分析和管理方法,建立支持创新、面向 LCA、面向 LCC 分析和管理、面向环境友好型和资源节约型产品生命周期设计的透明公平的环境。本书内容新颖、案例丰富、系统性强。

本书旨在使读者能够较为清楚系统地掌握基于新一代信息技术的产品生命周期设计的概念、方法和过程,通过创新、协调、开放、共享的绿色发展,提高我国企业的绿色制造能力。

本书适用于制造业从事产品设计理论研究和具体设计工作的技术人员培训,也适用于决定企业产品策略的企业高、中层管理者,政府相关主管部门的官员阅读参考,还适用于普通高校机电、工业工程、环境工程、工商管理 and 计算机应用等专业的师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

产品生命周期设计:中国制造绿色发展的必由之路/顾新建,顾复著. —北京:机械工业出版社,2017.8

ISBN 978-7-111-57454-5

I. ①产… II. ①顾… ②顾… III. ①产品生命周期—产品设计 IV. ①F273.2②TB472

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 173427 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:李万宇 责任编辑:李万宇

责任校对:黄兴伟 封面设计:马精明

责任印制:李 昂

北京宝昌彩色印刷有限公司印刷

2017 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·16.25 印张·305 千字

0001—2500 册

标准书号:ISBN 978-7-111-57454-5

定价:59.00 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:010-88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com



前言

本书从建立透明公平的环境的角度，研究我国绿色发展的落地问题。

2015年5月8日，国务院颁布《中国制造2025》，这是党中央、国务院总揽国内国际发展大势，站在增强我国综合国力、提升国际竞争力、保障国家安全的战略高度做出的重大战略部署，其核心是加快推进制造业创新发展，实现从制造大国向制造强国转变。目前我国经济发展进入新常态，制造业发展面临新挑战。资源和环境约束不断强化，劳动力等生产要素成本不断上升，投资和出口增速明显放缓，主要依靠资源要素投入、规模扩张的粗放型发展模式难以为继，调整结构、转型升级、提质增效刻不容缓。形成经济增长新动力，塑造国际竞争新优势，其重点在制造业，难点在制造业，出路也在制造业。

因此，《中国制造2025》提出制造强国战略，其基本方针是“创新驱动、质量为先、绿色发展、结构优化、人才为本”。这二十字方针都与绿色制造有关。

- 创新驱动。创新包括产品和制造过程的创新。产品创新的特点是高端化、智能化、新颖化和绿色化等；制造过程创新的特点是高效化、智能化和绿色化等。

- 质量为先。其方向是提质增效。提质，即提高产品质量，减少资源浪费，体现产品的环境友好性。增效，即提高产品的工作效率和能源使用效率等。高效节能性是产品质量的主要指标，也是绿色产品的重要指标。

- 绿色发展。《中国制造2025》提出，将可持续发展作为建设制造强国的重要着力点，加强节能环保技术、工艺和装备的推广应用，全面推行清洁生产。发展循环经济，提高资源回收利用效率，构建绿色制造体系，走建设生态文明的绿色发展道路。

- 结构优化。《中国制造2025》特别强调积极发展服务型制造和生产性服务

业。这是以较低的资源环境成本发展经济，提高人民生活水平，提高就业率的有效途径。

●人才为本。绿色、宜人的环境有助于吸引和留住人才；经济发展的最终目的也是要使人民过上健康美好的生活。

《中国制造 2025》提出，新一轮科技革命和产业变革与我国加快转变经济发展方式形成了历史性交汇，国际产业分工格局正在重塑。必须紧紧抓住这一重大历史发展机遇，特别是新一代信息技术与制造业的深度融合，促进制造模式、生产组织方式和产业形态的深刻变革，促进制造业的智能化和服务化。新一代信息技术是指互联网、物联网、大数据、云计算、移动互联网和 Web2.0 等技术，其特点是互联互通、大众参与和透明公平。

产品生命周期设计对产品生命周期的质量、成本和绿色性等性能指标的影响很大，其所占的比重达到 2/3 以上。因此，开展产品生命周期设计，从设计源头控制产品在生命周期中对环境和资源消耗的影响，对于我国制造业的绿色发展具有重要意义。

产品生命周期设计是一种对产品全生命周期的问题、成本以及环境影响进行预测和优化的设计方法，是企业实现绿色制造的重要方法。

产品生命周期设计虽然对全社会有重要价值，但是存在很多阻碍其顺利开展的问题。利用新一代信息技术为核心的新一轮科技革命和产业变革，大力开展产品生命周期设计，这是本书研究的主要目标。

本书围绕创新、协同、开放、共享的绿色发展，对产品生命周期设计方法进行了全面系统的研究。主要观点是：基于新一代信息技术建立一种透明公平的环境，帮助解决影响我国绿色发展的各种矛盾和问题，支持产品生命周期设计和绿色发展。

第 1 章分析了产品生命周期设计的基本概念。明确了产品生命周期设计概念的内涵和外延。提出了企业开展产品生命周期设计的“四难”问题，即创新难、协同难、数据获取难和实施难问题及对策。探讨了基于新一代信息技术的创新、协调、开放、共享的绿色发展思路，提出了基于新一代信息技术的产品生命周期设计模式。

第 2 章分析了产品生命周期设计的需求。将产品生命周期设计的需求分为本质（原始）需求和次生（导出）需求，并进一步将其分为非市场性质需求和市场性质需求。

第3章研究了基于知识网络的产品生命周期设计技术,提出了面向产品生命周期设计知识资源集成的知识网络模型和知识网络协同建立方法、基于Web2.0的产品生命周期设计知识资源协同有序化方法,以及基于新一代信息技术和知识网络开展绿色创新的方法。

第4章研究了建设产品生命周期评价(LCA)的透明公平环境的需求,提出了一种产品生命周期设计评价指标体系、产品生命周期评价的透明公平环境及建设方法。

第5章研究了建设产品生命周期成本(LCC)分析和管理的透明公平环境的需求和方法,将新一代信息技术与相应的制度建设结合起来,帮助解决LCC数据获取难、评价难的问题,提高企业的管理水平和协同水平。

第6章研究了环境友好型产品生命周期设计(简称环境友好型设计)技术,明确了环境友好型设计的定义、需求和发展趋势,总结了环境友好型设计技术,提出了建立环境友好型设计的透明公平环境的设想。

第7章研究了资源节约型产品生命周期设计(简称资源节约型设计)技术,介绍了通用的资源节约型设计技术,提出了建立资源节约型设计的透明公平环境的设想,以及基于新一代信息技术的资源节约型设计方法。

本书可供普通高校机电、工业工程、环境工程、工商管理 and 计算机应用等专业的研究生、本科生以及企业的工程技术人员和管理人员阅读参考。

由于本书的内容涉及范围广,研究的问题新且复杂,一些内容为作者力所不逮,因此书中肯定会有谬误之处,恳祈各位专家学者批评指正。



前 言

第 1 章 产品生命周期设计的基本概念

- 1.1 概述 / 1
 - 1.1.1 产品生命周期设计的定义 / 1
 - 1.1.2 产品生命周期设计的目标 / 5
 - 1.1.3 产品生命周期设计的效益 / 8
- 1.2 产品生命周期设计的主要内容和原则 / 9
 - 1.2.1 产品生命周期设计的主要内容 / 9
 - 1.2.2 产品生命周期设计原则 / 13
 - 1.2.3 产品生命周期设计文化 / 15
- 1.3 产品生命周期设计与新一代信息技术 / 16
 - 1.3.1 产品生命周期设计面临的挑战 / 16
 - 1.3.2 创新、协调、开放、共享的绿色发展思路 / 16
- 1.4 本书的内容框架 / 23

第 2 章 产品生命周期设计的需求

- 2.1 产品生命周期设计的本质需求 / 24
 - 2.1.1 可持续发展的需求 / 26
 - 2.1.2 环境友好的需求 / 29

- 2.1.3 资源节约的需求 / 37
- 2.1.4 大批量定制的需求 / 40
- 2.1.5 创新的需求 / 42
- 2.2 产品生命周期设计的非市场性质需求 / 43
 - 2.2.1 应对绿色贸易壁垒的需求 / 43
 - 2.2.2 应对碳关税的需求 / 44
 - 2.2.3 遵守法律法规的需求 / 47
- 2.3 产品生命周期设计的市场性质需求 / 49
 - 2.3.1 绿色消费的需求 / 49
 - 2.3.2 企业社会责任的需求 / 53
 - 2.3.3 企业员工的多层次需求 / 56
 - 2.3.4 降低产品生命周期成本的需求 / 57
 - 2.3.5 提高产品质量的需求 / 57

第3章 基于知识网络的产品生命周期设计

- 3.1 基于知识网络的产品生命周期设计概述 / 60
 - 3.1.1 定义 / 60
 - 3.1.2 产品生命周期设计知识网络 / 62
 - 3.1.3 方法体系架构和设计框架 / 65
- 3.2 透明公平的产品生命周期设计知识网络的建立 / 68
 - 3.2.1 知识网络协同建立方法 / 68
 - 3.2.2 支持知识网络建立的透明公平的环境 / 70
- 3.3 透明公平的产品生命周期设计知识网络有序化 / 75
 - 3.3.1 知识网络有序化的现状 / 75
 - 3.3.2 知识网络有序化的需求 / 79
 - 3.3.3 知识网络有序化的透明公平的环境 / 82
- 3.4 基于知识网络的透明公平的创新 / 92
 - 3.4.1 全员创新的透明公平的环境 / 93

3.4.2 协同创新的透明公平的环境 / 96

第4章 产品生命周期评价

4.1 产品生命周期评价 (LCA) 概述 / 102

4.1.1 LCA 的需求 / 102

4.1.2 LCA 的概况 / 105

4.2 产品生命周期设计评价 (LCA) 标准 / 108

4.2.1 LCA 指标体系 / 108

4.2.2 生命周期评价标准 / 113

4.2.3 环境标志标准 / 116

4.2.4 节能低碳评价 / 117

4.2.5 产品环境足迹评价 / 121

4.3 透明公平的产品生命周期评价 (LCA) / 122

4.3.1 透明公平的 LCA 的需求 / 122

4.3.2 透明公平的 LCA 方法 / 125

4.3.3 透明公平的 LCA 的国外现状 / 130

4.3.4 透明公平的 LCA 的国内现状 / 132

第5章 产品生命周期成本分析和管理

5.1 产品生命周期成本 (LCC) 分析和管理概述 / 136

5.1.1 LCC 发展概况 / 136

5.1.2 LCC 的需求 / 137

5.1.3 LCC 与传统产品成本的比较 / 138

5.2 产品生命周期成本 (LCC) 分析 / 139

5.2.1 LCC 分析系统 / 139

5.2.2 LCC 管理方法 / 141

5.3 透明公平的 LCC 分析和管理 / 143

5.3.1 透明公平的 LCC 分析和管理方法 / 143

5.3.2

LCC 优化案例

/

147

第 6 章 环境友好型产品生命周期设计

6.1

环境友好型产品生命周期设计概述

/

150

6.1.1

定义和特点

/

150

6.1.2

发展趋势

/

152

6.1.3

相关法规和标准的体系

/

155

6.2

环境友好型产品生命周期设计技术

/

156

6.2.1

环境友好型设计综合评价指标体系

/

156

6.2.2

环境友好型材料选择方法

/

157

6.2.3

环境友好型工艺

/

160

6.2.4

环境友好型供应链

/

162

6.3

环境友好型设计的透明公平的环境和原则

/

167

6.3.1

面向环境友好型设计的透明公平的环境

/

167

6.3.2

环境友好型设计原则

/

173

第 7 章 资源节约型产品生命周期设计

7.1

资源节约型产品生命周期设计概述

/

180

7.1.1

定义和特点

/

180

7.1.2

体系架构

/

182

7.2

节能低碳设计

/

183

7.2.1

相关概念

/

183

7.2.2

产品节能低碳法规和标准

/

185

7.2.3

支持节能低碳的信息技术

/

188

7.2.4

通用节能低碳技术

/

190

7.3

产品模块化设计

/

191

7.3.1

相关概念

/

191

7.3.2

面向资源节约的产品模块化设计

/

193

7.4 产品可重用设计 / 200

7.4.1 相关概念 / 200

7.4.2 产品可拆解设计 / 201

7.4.3 产品维修性设计 / 203

7.4.4 产品回收性设计 / 209

7.5 其他资源节约型设计 / 213

7.5.1 轻量化设计 / 213

7.5.2 面向产品寿命的设计 / 214

7.5.3 面向少无切削加工的设计 / 215

7.5.4 面向3D打印的设计 / 216

7.6 资源节约型设计的透明公平环境和原则 / 219

7.6.1 面向资源节约型设计的透明公平的环境 / 219

7.6.2 资源节约型产品生命周期设计的主要原则 / 229

缩略语 / 237

参考文献 / 241

后记 / 246

产品生命周期设计的基本概念

产品生命周期设计不仅要满足一般的产品设计要求，还要满足产品在生命周期中环境友好的需求和资源节约的需求。本书研究的重点是产品生命周期设计中面向环境友好和资源节约的内容、方法和评价等。

本章研究的主要问题及特点如下。

1) 产品生命周期设计技术的分数和相互之间的关系是什么？如何开展研究？

按照功能和适用范围将产品生命周期设计技术进行两维分类，即功能维和适用范围维。功能维包括节能、环境保护和资源循环利用。适用范围维包括共性技术和专业技术。本书重点介绍产品生命周期设计的共性技术。

2) 新一代信息技术对产品生命周期设计有什么影响？如何应对？

产品生命周期设计面临创新难、诚信体系不完善、数据开放难和企业不重视等诸多问题。新一代信息技术可以帮助解决这一系列问题，本章提出了基于新一代信息技术的创新、协调、开放、共享的绿色发展思路。

1.1 概述

1.1.1 产品生命周期设计的定义

1. 产品生命周期的定义

产品生命周期（Product Life Cycle）包括了产品从概念形成到生产制造、使用至最终废弃后的回收、再制造、再使用及处理等各个阶段。

产品生命周期与产品寿命是不同的概念。产品寿命是指产品出厂或者投入

使用后至产品报废不再使用的一段区间，仅是产品生命周期内服役期的一部分。

在产品生命周期的每个阶段中，除了需要考虑企业的盈利和满足用户的需求之外，还需要考虑产品在其生命周期对环境的影响，包括能源消耗、资源消耗、固态废弃物排放、废水排放、废气排放和其他物理因素影响等。除了资源再用环节对环境是正面影响（促进环境改善）之外，其他环节都是负面影响，但其影响差别很大。

产品不同，产品生命周期的组成阶段也不同。运输装备、制造装备、家电、电力装备、通信设备等产品，由于其生命周期较长，涉及产品生命周期各个阶段，对环境影响较大，因此需要重点关注。产品生命周期及其设计目标，如图 1-1 所示。

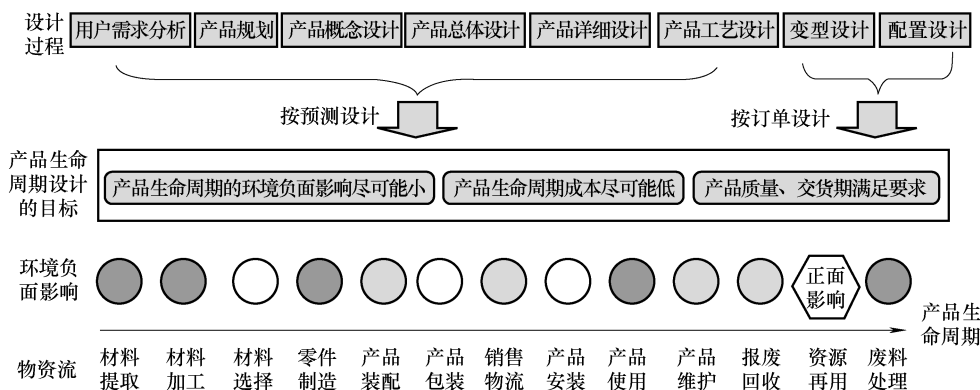


图 1-1 产品生命周期及其设计目标（图中圆圈颜色越深，表示该环节对环境的负面影响越大）

2. 产品生命周期设计的定义

产品生命周期设计，是指充分考虑产品生命周期的质量和成本以及产品开发设计和生产周期，优化各有关设计因素，使产品在生命周期内资源消耗少、对生态环境的总体负面影响小，并且注重人体健康与安全的产品开发设计活动。

产品生命周期设计，又称为生态设计、生态意识设计、环境化设计、环境意识设计、环境友好设计、绿色设计和低碳设计等。实际上这些用语表达了相同的意思，只是各地区的习惯用法不同，并且对概念的描述重点也有差别：产品生命周期设计突出产品生命周期的环境友好性和资源节约性；生态设计从生态保护的角度进行阐述；环境化设计强调环境保护的概念；绿色设计用绿色比

喻环境友好型和资源节约型的设计；低碳设计则是以节能降耗为关键指标。

(1) 生态设计 (Ecological Design, Eco-Design, ED)

产品生态设计，又称生态意识设计 (Eco-Conscious Design, ECD)，是欧盟的习惯用法，是指为提高产品生命周期内的环境绩效、优化产品的环境影响而将环境因素引入产品的设计和开发活动。

欧盟 EuP 环保指令中的生态设计，是指为改进产品性能、增加商业价值，将产品生命周期中的环境考虑系统地综合到产品的设计和开发中。

2013 年 1 月 30 日，我国工信部、发改委和环保部联合发布《关于开展工业产品生态设计的指导意见》。该《意见》认为，生态设计是按照产品全生命周期理念，在产品设计和开发阶段，系统地考虑原材料选用、生产、销售、使用、回收和处理等各个环节对资源环境造成的影响，力求产品在全生命周期中最大限度降低资源消耗、尽可能少用或者不用含有有毒有害物质的原材料，减少污染物的产生和排放，从而实现环境保护的产品设计和开发活动。2014 年 7 月 4 日，工信部发布了《关于开展工业产品生态设计示范企业创建工作的通知》。

(2) 环境化设计 (Design For Environmental, DFE)

环境化设计，又称环境意识设计 (Environmental Conscious Design, ECD)、环境友好设计 (Environmental Friendly Design, EFD) 等，是北美的习惯用法，突出设计对环境的友好性。

环境是指组织运行活动的外部存在，包括空气、水、土地、自然资源、植物、动物和人，以及它们之间的相互关系。

环境化设计的概念起源于 20 世纪 90 年代初。1992 年，美国国会技术评估办公室的报告中首次阐述了环境化设计的战略重要性和相关实践。

环境化设计在产品阶段就将环境因素和预防污染的措施纳入其中，将环境绩效作为产品的设计目标和出发点，是对环境影响采取的预防性措施之一。

(3) 绿色设计 (Green Design, GD)

绿色设计，是指在产品设计中充分考虑产品的质量、成本和开发周期，优化各有关设计因素，使产品在生命周期内资源消耗少、对生态环境的总体负面影响小，并且注重人体健康与安全的产品设计和开发活动。^[1]

绿色设计包括绿色材料选择设计、绿色制造过程设计、产品可回收性设计、产品的可拆卸性设计、绿色包装设计、绿色物流设计、绿色服务设计和绿色回收利用设计等。

(4) 低碳设计 (Low-Carbon Design, LCD)

低碳是指实现较低或更低的温室气体,主要是二氧化碳的排放。低碳设计主要针对耗能产品,目的是实现产品在生命周期内二氧化碳的排放量最少。

3. 产品生命周期设计的主要特点

1) 面向产品生命周期全过程。在产品设计时,就充分考虑从原材料采集直至产品废弃后的处理全过程中的所有活动对环境的影响,进行产品生命周期的环境影响的全面评价,确定最佳设计方案。据欧盟专家分析,产品设计阶段,就决定了该产品整个生命周期中 80% 的危害,需要投入 90% 的成本,并花费 10% 的支出。^[2]

2) 尽可能早地开展环境需求分析和评估。在产品设计的初期阶段就归纳出产品在制造和使用等环节对环境的影响和要求,而不是依赖于后期评估和末端处理。

3) 多学科协同设计。由于产品生命周期设计涉及产品生命周期的各个阶段、各种环境问题和环境效应,以及不同的研究对象,如绿色产品开发、绿色材料选择等,因此产品设计涉及广泛的知识领域,需要多学科协同设计,综合考虑环境、功能、成本和美学等设计准则,在多目标之间权衡,最终做出合理的设计决策。

4) 应用各种 DFX (Design for X, 面向 X 的设计) 技术。这里的“X”可以分为两大类。①面向产品生命周期各个环节的设计,如 DFM (面向制造的设计)、DFS (面向维修的设计) 和 DFR (面向回收的设计) 等,通过产品生命周期各个环节的优化,提高产品生命周期的环境友好性。②面向产品生命周期各种指标的优化,如 DFQ (面向质量的设计)、DFC (面向成本的设计) 等。

DFX, 又称并行工程 (Concurrent Engineering)。并行工程是对产品及其相关过程 (包括制造过程和支持过程) 进行并行、集成化处理的系统方法和综合技术。要求产品开发设计人员从产品概念形成开始就考虑到产品全生命周期内各阶段的因素,如功能、制造、装配、作业调度、质量、成本、维护与用户需求和环境友好性等。许多国际知名企业通过实施并行工程取得了显著效益。

5) 需要产品生命周期全过程的大量数据的支持。产品生命周期设计需要的数据范围较常规设计要多,如产品生命周期各个阶段的能耗数据、“三废 (废气、废水、固态废弃物)” 排放数据等。

4. 产品生命周期设计与传统产品设计的比较

产品生命周期设计与传统产品设计比较，见表 1-1。

表 1-1 产品生命周期设计与传统产品设计比较

	产品生命周期设计	传统产品设计
设计目的	满足用户、自然环境和社会三者的共同利益和需求；设计目标是完善功能、提高质量和保证性能，降低对环境的影响，从源头上减少废弃物的产生，并且在产品生命周期中保护环境、减少资源消耗；注重追求长期发展的利益	满足用户需求；设计目标是优化产品的功能、质量和交货期等；局限于企业本身的经济利益；往往追求短期利益
设计方法	采用并行工程方法；在传统产品设计方法的基础上，增加环境友好的约束，通过服务提高产品的环境友好性；面向许多相似产品和生命周期过程的广义优化设计	串行设计为主；用户需求→产品功能→产品原理→产品结构→产品工艺；面向单一产品的设计；面向性能的设计
相互关系	产品生命周期设计是对传统产品设计的补充和完善	传统产品设计是产品生命周期设计的基础
设计结果	绿色产品和服务	传统的产品
设计视野	产品生命周期中用户的安全和健康、环境保护、人类的持续发展；用户的用户；供应商的供应商；全价值链	产品、用户
产品生命周期特点	从“摇篮”到“再生”的过程	从“摇篮”到“坟墓”的过程
对员工的要求	知识面宽、社会责任感和环境意识强	传统的设计技能
设计的可控性	处于发展阶段，可控性和可观察性较弱	具有较强的可控性和可观察性
设计指标	多维、模糊、难以测定	单一、明确、必须满足
设计流程	断续的、模糊的、不可测的、不可控的和难操作的流程	系统的、清晰的、可测的、可控的和可操作的流程

1.1.2 产品生命周期设计的目标

产品生命周期设计（Life Cycle Design，LCD）的主要目标如下。

1. 产品生命周期的需求预测和满足

在设计阶段，尽可能预见和满足用户在产品生命周期中的各种需求，设计出用户真正满意的产品。例如，如何让用户有较好的产品使用体验？如何使产品的维护和更新更方便，满足用户不断变化的需求？如何让用户获得更大的价值？如何让产品在使用中节能减排？如何使报废的产品能够更方便地回收再利用？等等。