



绿色设计现状及发展趋势 研究与思考

报告人：李方义 教授

山东大学 可持续制造研究中心

目录

I

▶ 绿色设计研究现状及热点分析

II

绿色设计中的若干关键问题

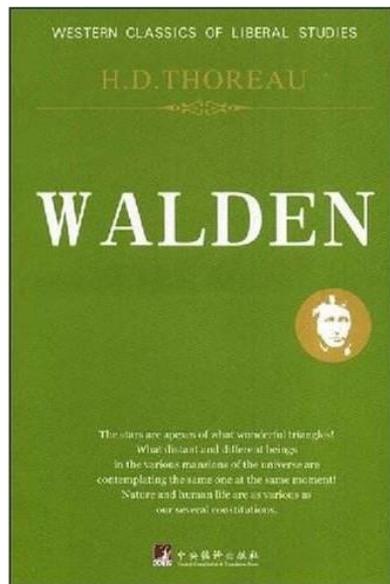
III

绿色设计研究趋势与展望

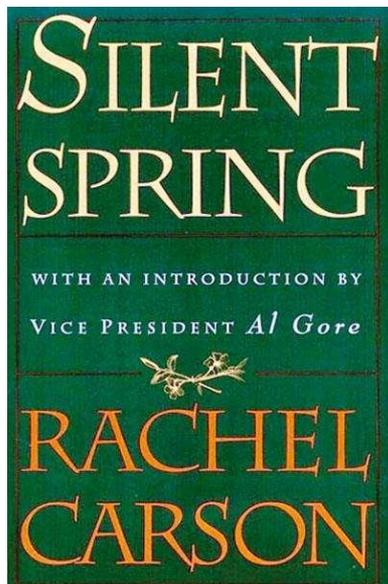
IV

研究中心介绍

I 绿色设计研究现状及热点分析



《瓦尔登湖》
Henry Thoreau
1849



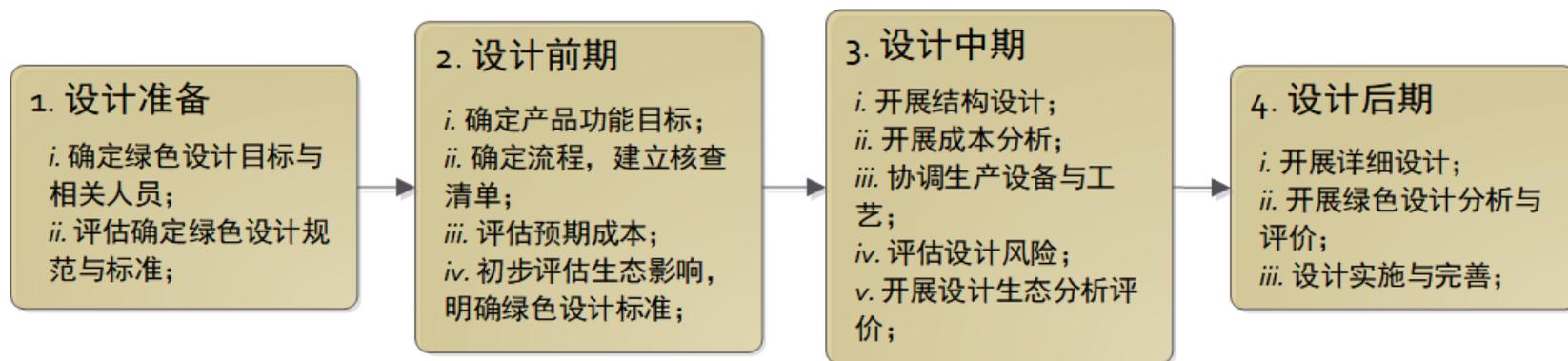
《寂静的春天》
Rachel Carson
1962

- a. 全球气候变暖
- b. 臭氧层损耗与破坏
- c. 生物多样性锐减
- d. 酸雨蔓延
- e. 森林面积锐减
- f. 土地荒漠化
- g. 资源短缺
- h. 大气污染
- i. 水污染
- j. 固体废弃物污染



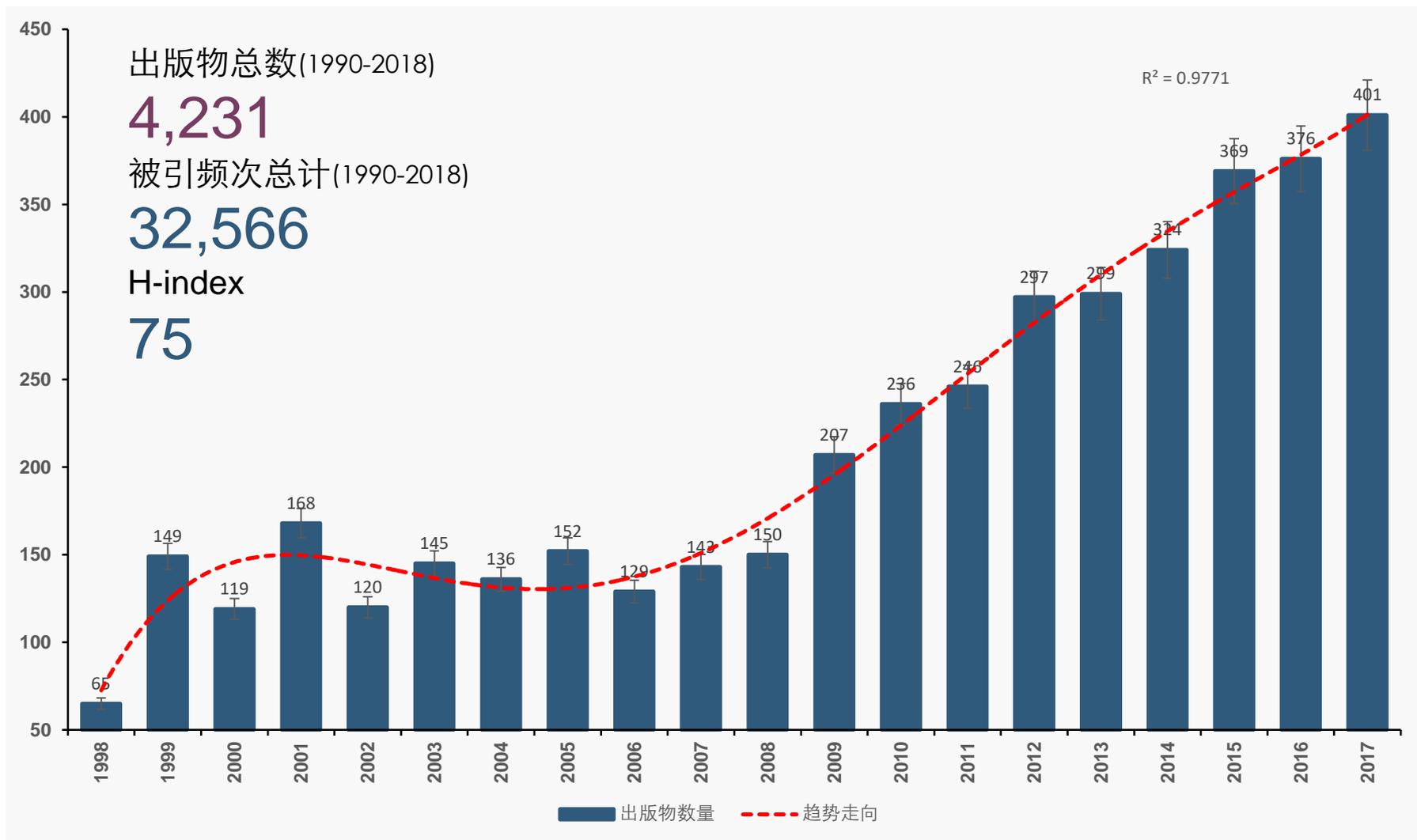
I 绿色设计研究现状及热点分析

- 绿色设计是产品全生命周期（全局）技术性、经济性、环境协调性的系统设计。
 - ◆ 绿色设计的产品在满足功能、质量、成本等要求的同时，具有对环境负面影响小，资源能源利用率高的综合优化特性。
 - ◆ 绿色设计必须系统考虑两大问题---
时间（Life Cycle）、空间（Product System）
 - ◆ 绿色设计的面向对象不再是产品本身，而是整个产品系统。



绿色设计流程图

I 绿色设计研究现状及热点分析



全球绿色设计研究发展情况*

数据来源: 截止2018年10月20日, 在ISI(SCI-EXTENDED)核心数据库中以“Green Design”, “Sustainable Design”, “Sustainable Product Design”, “Eco* Design”, “Life Cycle Design”, “Environmentally Conscious Design”, “Product*” OR “Product design”, “Design for Environment”, “Design for X”, “Low*carbon design”为主题(Topic)检索1990-2018年间文献。

I 绿色设计研究现状及热点分析

高被引频次论文（最具影响力）*

选择记录前面的复选框，从“引文报告”中删除记录

或者限定在以下时间范围内出版的记录，从 1900 至 2018 转至

	合计	平均引用次数/年
	51215	1896.85
Design through the 12 principles of green engineering 作者: Anastas, PT; Zimmerman, JB ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY 卷: 37 期: 5 页: 94A-101A 出版年: MAR 1 2003	338	22.53
Strategic sustainable development - selection, design and synergies of applied tools 作者: Robert, KH; Schmidt-Bleek, B; de Lardereel, JA; 等. JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION 卷: 10 期: 3 页: 197-214 文献号: PII S0959-6526(01)00061-0 出版年: 2002	262	16.38
Life cycle assessment and its application to process selection, design and optimisation 作者: Azapagic, A CHEMICAL ENGINEERING JOURNAL 卷: 73 期: 1 页: 1-21 出版年: APR 1999	255	13.42
Life cycle oriented design of technical Product-Service Systems 作者: Aurich, J. C.; Fuchs, C.; Wagenknecht, C. JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION 卷: 14 期: 17 页: 1480-1494 出版年: 2006	232	19.33
Designing virtual customer environments for new product development: Toward a theory 作者: Nambisan, S ACADEMY OF MANAGEMENT REVIEW 卷: 27 期: 3 页: 392-413 出版年: JUL 2002	230	14.38
EcoDesign and The Ten Golden Rules: generic advice for merging environmental aspects into product development 作者: Luttrupp, Conrad; Lagerstedt, Jessica JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION 卷: 14 期: 15-16 特刊: SI 页: 1396-1408 出版年: 2006	191	15.92
Design for the environment: A quality-based model for green product development 作者: Chen, CL MANAGEMENT SCIENCE 卷: 47 期: 2 页: 250-263 出版年: FEB 2001	143	8.41
Environmentally conscious design and manufacturing: A state-of-the-art survey 作者: Zhang, HC; Kuo, TC; Lu, HT; 等. JOURNAL OF MANUFACTURING SYSTEMS 卷: 16 期: 5 页: 352-371 出版年: 1997	126	6.00
Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions - a strategy for eco-effective product and system design 作者: Braungart, Michael; McDonough, William; Bollinger, Andrew JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION 卷: 15 期: 13-14 页: 1337-1348 出版年: 2007	126	11.45

绿色设计研究

➤ 理论分析类

➤ 方法类

➤ 应用工具类

I 绿色设计研究现状及热点分析

近3年ISI典型热点论文（前沿）简析*

论文	期刊	被引	日期
Simplified Neutrosophic Linguistic Multi-criteria Group Decision-Making Approach to Green Product Development	Group Decision and Negotiation	62	MAY 2017
➤ 提出一种基于语义的绿色产品设计多准则决策方法，能够识别决策者风险偏好。			
A hybrid group leader algorithm for green material selection with energy consideration in product design	CIRP Annals - Manufacturing Technology	25	2016
➤ 提出一种量子混合优化算法，用于求解复杂产品最优能耗设计方案。			
Improving sustainability performance in early phases of product design: A checklist for sustainable product development tested in the automotive industry	Journal of Cleaner Production	19	JAN 2017
➤ 为降低设计早期信息不确定性，提出一种可持续产品开发的新清单方法，考虑完整的使用寿命，强调激发组织间协作及信息交流。			
A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems	Journal of Cleaner Production	234	FEB 2016
➤ 回顾循环经济对环境的影响。未来多采用可再生技术和材料，强调回收利用，循环经济中的跨学科框架为改进现有的生产和消费模式提供了良好前景。			

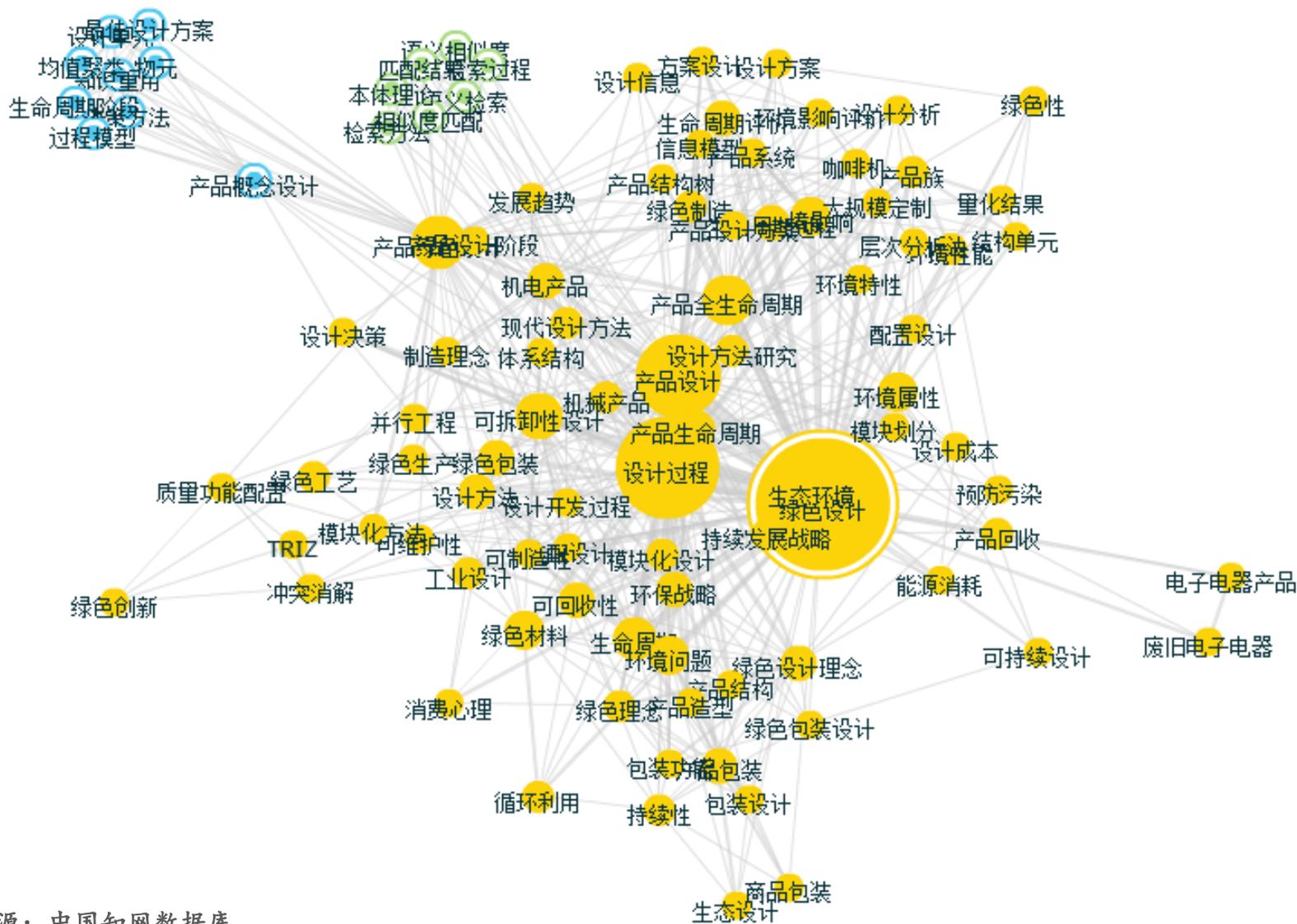
I 绿色设计研究现状及热点分析

近10年ISI典型高被引论文（高影响力）简析*

论文	期刊	被引	日期
Sustainable consumption and production for Asia: sustainability through green design and practice	Journal of Cleaner Production	107	FEB 2013
➤ 从政策、技术创新、市场及生命周期角度，讨论绿色设计技术、绿色创新、绿色供应链管理和实施过程评估方法。新能源开发、降低温室气体重要意义。			
Recent cleaner production advances in process monitoring and optimisation	Journal of Cleaner Production	80	OCT 2012
➤ 环境影响评估/足迹评估工具，新能源/新材料/新技术；智能化设计与优化监测			
A taxonomy of ecodesign tools for integrating environmental requirements into the product design process	Journal of Cleaner Production	161	JAN 2012
➤ 将环境因素纳入设计过程的早期阶段，在生命周期视角下使产品环境要求与其他传统要求相平衡，是综合考虑可持续设计的两个关键因素。			
Material efficiency: A white paper	Resources Conservation and Recycling	247	JAN 2011
➤ 产品长效性；高材料利用率；模块化；组件再利用。强调资源回收和能源效率。			

I 绿色设计研究现状及热点分析

国内绿色设计研究关联可视化分析*



*检索来源：中国知网数据库

I 绿色设计研究现状及热点分析

2018年国内外绿色设计研究前沿对比(1)*

论文	期刊	国家	日期
Variables that affect the environmental performance of small electrical and electronic equipment. Methodology and case study	Journal of Cleaner Production	西班牙	DEC 2018
Recycling-oriented Eco-design Methodology Based on Decentralised Artificial Intelligence	Management and Production Engineering Review	波兰	SEP 2018
Sustainable recycling partner selection using fuzzy DEMATEL-AEW-FVIKOR : A case study in small-and-medium enterprises (SMEs)	Journal of Cleaner Production	中国	SEP 2018
Implementation of a software platform to support an eco-design methodology within a manufacturing firm	International Journal of Sustainable Engineering	意大利	2018
Challenges for modelling and integrating environmental performances in concept design : the case of an automotive component lightweighting	International Journal of Sustainable Engineering	意大利	2018
A systematic review of technologies involving eco-innovation for enterprises moving towards sustainability	Journal of Cleaner Production	中国	AUG 2018
Selection method for multiple performances evaluation during early design stages	28th CIRP Design Conference	法国	MAY 2018

I 绿色设计研究现状及热点分析

2018年国内外绿色设计研究前沿对比(2)*

论文	期刊	国家	日期
Treating design uncertainty in the application of Eco-indicator 99 with Monte Carlo simulation and fuzzy intervals	International Journal of Sustainable Engineering	加拿大	2018
Identifying key components of products based on consumer- and producer-oriented ecodesign indices considering environmental impacts, costs, and utility value	Journal of Cleaner Production	韩国	OCT 2018
Application of Eco-Design and Life Cycle Assessment Standards for Environmental Impact Reduction of an Industrial Product	SUSTAINABILITY	西班牙	OCT 2018
Guidelines for evaluating the environmental performance of Product/Service-Systems through life cycle assessment	Journal of Cleaner Production	丹麦	JUL 2018
Design for sustainable behavior (DfSB): Analysis of existing frameworks of behavior change strategies, experts' assessment and proposal for a decision support diagram	Journal of Cleaner Production	巴西	JUL 2018
Eco-Efficient Process Improvement at the Early Development Stage : Identifying Environmental and Economic Process Hotspots for Synergetic Improvement Potential	Environmental Science & Technology	瑞士	MAY 2018
AHP, Gray Correlation, and TOPSIS Combined	Ieee Transactions on	中国	JUL 2018

I 绿色设计研究现状及热点分析

<input type="button" value="查看记录"/> <input type="button" value="排除记录"/>		字段: 国家/地区	记录数		柱状图
<input type="checkbox"/>		USA	1810	20.728 %	
<input type="checkbox"/>		PEOPLES R CHINA	1725	19.755 %	
<input type="checkbox"/>		CHINA	1035	11.853 %	
<input type="checkbox"/>		ENGLAND	547	6.264 %	
<input type="checkbox"/>		GERMANY	391	4.478 %	
<input type="checkbox"/>		ITALY	385	4.409 %	
<input type="checkbox"/>		UK	359	4.111 %	
<input type="checkbox"/>		JAPAN	351	4.020 %	
<input type="checkbox"/>		FRANCE	339	3.882 %	
<input type="checkbox"/>		CANADA	299	3.424 %	
<input type="checkbox"/>		SPAIN	294	3.367 %	
<input type="checkbox"/>		AUSTRALIA	286	3.275 %	
<input type="checkbox"/>		NETHERLANDS	267	3.058 %	
<input type="checkbox"/>		INDIA	239	2.737 %	
<input type="checkbox"/>		TAIWAN	232	2.657 %	
<input type="checkbox"/>		BRAZIL	216	2.474 %	
<input type="checkbox"/>		SOUTH KOREA	197	2.256 %	
<input type="checkbox"/>		SWEDEN	190	2.176 %	
<input type="checkbox"/>		MALAYSIA	184	2.107 %	
<input type="checkbox"/>		DENMARK	144	1.649 %	
<input type="checkbox"/>		TURKEY	112	1.283 %	
<input type="checkbox"/>		AUSTRIA	108	1.237 %	
<input type="checkbox"/>		PORTUGAL	107	1.225 %	
<input type="checkbox"/>		POLAND	96	1.099 %	
<input type="checkbox"/>		FINLAND	90	1.031 %	

(77 个国家/地区 超出显示选项设置范围。)
(300 条记录(3.436%)不包含所分析字段的数据。)

国家/地区/Country

- 美国、中国、英国、德国、日本、法国是主要研究地区
- 工程类/计算科学/环境科学/经济/能源是主要研究领域

*注: Peoples R China指全体中国作者, China因地址数据统计问题产生。

字段: 研究方向	记录数		柱状图
ENGINEERING	5199	61.673 %	
COMPUTER SCIENCE	2964	35.160 %	
ENVIRONMENTAL SCIENCES ECOLOGY	1915	22.716 %	
BUSINESS ECONOMICS	1737	20.605 %	
ENERGY FUELS	861	10.214 %	
MATHEMATICS	811	9.620 %	
CONSTRUCTION BUILDING TECHNOLOGY	769	9.122 %	
SCIENCE TECHNOLOGY OTHER TOPICS	755	8.956 %	
MATERIALS SCIENCE	743	8.814 %	
AUTOMATION CONTROL SYSTEMS	595	7.058 %	

(126 个研究方向 超出显示选项设置范围。)
(9 条记录(0.107%)不包含所分析字段的数据。)

研究方向/Research Field

I 绿色设计研究现状及热点分析

国际著名学术期刊

- Journal of Cleaner Production 5.651 (二区)
- Resources Conservation and Recycling 5.120 (三区)
- International Journal of Machine Tools & Manufacture 5.106 (二区)
- International Journal of Production Economics 4.407 (二区)
- International Journal of Life Cycle Assessment 4.195 (二区)
- Journal of Industrial Ecology 4.356 (二区)
- Ecological Engineering 3.023 (三区)
- International Journal of Advanced Manufacturing Technology 2.601 (三区)
- CIRP International Conference on LCE

字段: 机构	记录数	占 8430 的 %
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE CNRS	108	1.281 %
UNIVERSITY OF CALIFORNIA SYSTEM	101	1.198 %
DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY	65	0.771 %
UNIVERSITY SYSTEM OF GEORGIA	63	0.747 %
UNIVERSITY OF TOKYO	61	0.724 %
PENNSYLVANIA COMMONWEALTH SYSTEM OF HIGHER EDUCATION PCSHE	56	0.664 %
STATE UNIVERSITY SYSTEM OF FLORIDA	56	0.664 %
GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY	50	0.593 %
UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY DOE	47	0.558 %
CARNEGIE MELLON UNIVERSITY	46	0.546 %

字段: 机构

记录数	占 8430 的 %
(2,214 个 机构 超出显示选项设置范围。)	
(498 条记录(5.907%)不包含所分析字段的数据。)	

字段: 来源出版物名称	记录数	占 8430 的 %
LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE	182	2.159 %
APPLIED MECHANICS AND MATERIALS	156	1.851 %
JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION	148	1.756 %
ADVANCED MATERIALS RESEARCH	147	1.744 %
PACKAGING ENGINEERING	96	1.139 %
PROCEEDINGS OF THE SPIE THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING	67	0.795 %
ABSTRACTS OF PAPERS OF THE AMERICAN CHEMICAL SOCIETY	66	0.783 %
COMPUTER AIDED CHEMICAL ENGINEERING	60	0.712 %
PROCEDIA CIRP	56	0.664 %
IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ELECTRONICS AND THE ENVIRONMENT ISEE	53	0.629 %

字段: 来源出版物名称

记录数	占 8430 的 %
(1,658 个 来源出版物名称 超出显示选项设置范围。)	
(11 条记录(0.130%)不包含所分析字段的数据。)	

I 绿色设计研究现状及热点分析

国内研究机构	国外研究机构	
中国机械科学研究院 浙江大学 合肥工业大学 重庆大学	北美洲地区	美国加州大学系统(University of California System) (加州大学伯克利分校、加州大学洛杉矶分校 加州大学戴维斯分校、加州大学圣迭戈分校.....) 美国斯坦福大学 (Stanford University) 美国麻省理工学院 (Massachusetts Institute of Technology) 美国佐治亚大学系统(University of Georgia System) 美国田纳西大学(The University of Tennessee) 美国普渡大学 (Purdue University)
上海交通大学 哈尔滨工业大学 清华大学 大连理工大学 华中科技大学 山东大学	欧洲地区	法国国家科学研究院 (CNRS) 荷兰代尔夫特理工大学(Technische Universiteit Delft) 丹麦科技大学(Technical University of Denmark) 英国伦敦大学 (University of London) 英国拉夫堡大学 (Loughborough University) 瑞典皇家理工学院(Royal Institute of Technology) 德国柏林工业大学(Technische Universitaet Berlin)
.....	亚太地区	日本东京大学(The University of Tokyo) 新加坡国立大学(National University of Singapore) 澳大利亚墨尔本大学 (The University of Melbourne)

I 绿色设计研究现状及热点分析

◆ 绿色设计国际标准

标准号	名称
ISO 14031	环境管理 环境绩效评估 指引
ISO 14040	环境管理 生命周期评价 原理与框架
ISO 14044	环境管理 生命周期评价 要求和指南
ISO 14045	环境管理 产品系统的生态效率评价 原则、要求和指南
ISO 14047	关于如何将ISO 14044应用于影响评估情况的说明性示例
ISO 14072	环境管理 生命周期评价 组织生命周期评价的要求和准则
ISO 14006	环境管理体系 生态设计的指导方针
ISO 14009	将产品和部件重新设计以改善物质循环的准则
ISO 14062	环境管理 将环境因素融入产品设计和开发
ISO 14067	产品的碳足迹 量化要求和指南
2009/125/EC	欧盟耗能产品的生态设计框架要求

◆ 绿色设计国内标准

标准号	名称
GB/T 24001	环境管理体系 规范及使用指南
GB/T 24004	环境管理体系 原则、体系和支持技术通用指南
GB/T 24020	环境管理 环境标注和声明 通用原则
GB/T 24021	环境管理 环境标注和声明 自我环境声明（II型环境标志）
GB/T 24024	环境管理 环境标注和声明 I型环境标志 原则和程序
GB/T 24031	环境管理 环境表现评价 指南
GB/T 24040	环境管理 环境表现评价 原则与框架
GB/T 24041	环境管理 环境表现评价 目的与范围的确定和清单分析
GB/T 24042	环境管理 环境表现评价 生命周期影响评价
GB/T 24043	环境管理 环境表现评价 生命周期解释
GB/T 24050	环境管理 术语

I 绿色设计研究现状及热点分析

◆ 绿色设计国内标准

标准号	名称
GB/T 32161	生态设计产品评价通则
GB/T 24256	产品生态设计通则
GB/T 31206	机械产品绿色设计 导则
GB/T 26119	机械产品生命周期评价 总则
GB/T 32813	机械产品生命周期评价 细则
GB/T 21273	环境意识设计 将环境因素引入电工产品的设计和开发
GB/T 26669	电工电子产品环境意识设计 术语
GB/T 31249	电子电器产品环境意识设计 材料选择
GB/T 26671	电工电子产品环境意识设计评价导则
GB/T 23688	用能产品环境意识设计导则
GB/T 21474	废弃电子电器产品再使用及再生利用体系评价导则

I 绿色设计研究现状及热点分析

◆ 工业和信息化部2018年最新推进情况

- 构建绿色设计应用示范项目，比如绿色产品设计、绿色工厂等
- 开展创建生态设计示范企业试点
- 探索建立不同行业和产品的绿色设计评价标准体系

目前，共有99家企业成为国家工业产品绿色设计试点（涉及钢铁、有色、机械、电子等9大行业，覆盖27个省、1个单列市、21个行业协会以及2家央企）

绿色设计产品标准清单

序号	标准名称	标准编号
1	《绿色设计产品评价规范 管线钢》	T/CISA 101-2017
2	《绿色设计产品评价技术规范 电视机》	T/CESA 1018-2018
3	《绿色设计产品评价技术规范 微型计算机》	T/CESA 1019-2018
4	《绿色设计产品评价技术规范 光网络终端》	YDB 192-2017

目录

I

绿色设计研究现状及热点分析

II

▶ 绿色设计中的若干关键问题

III

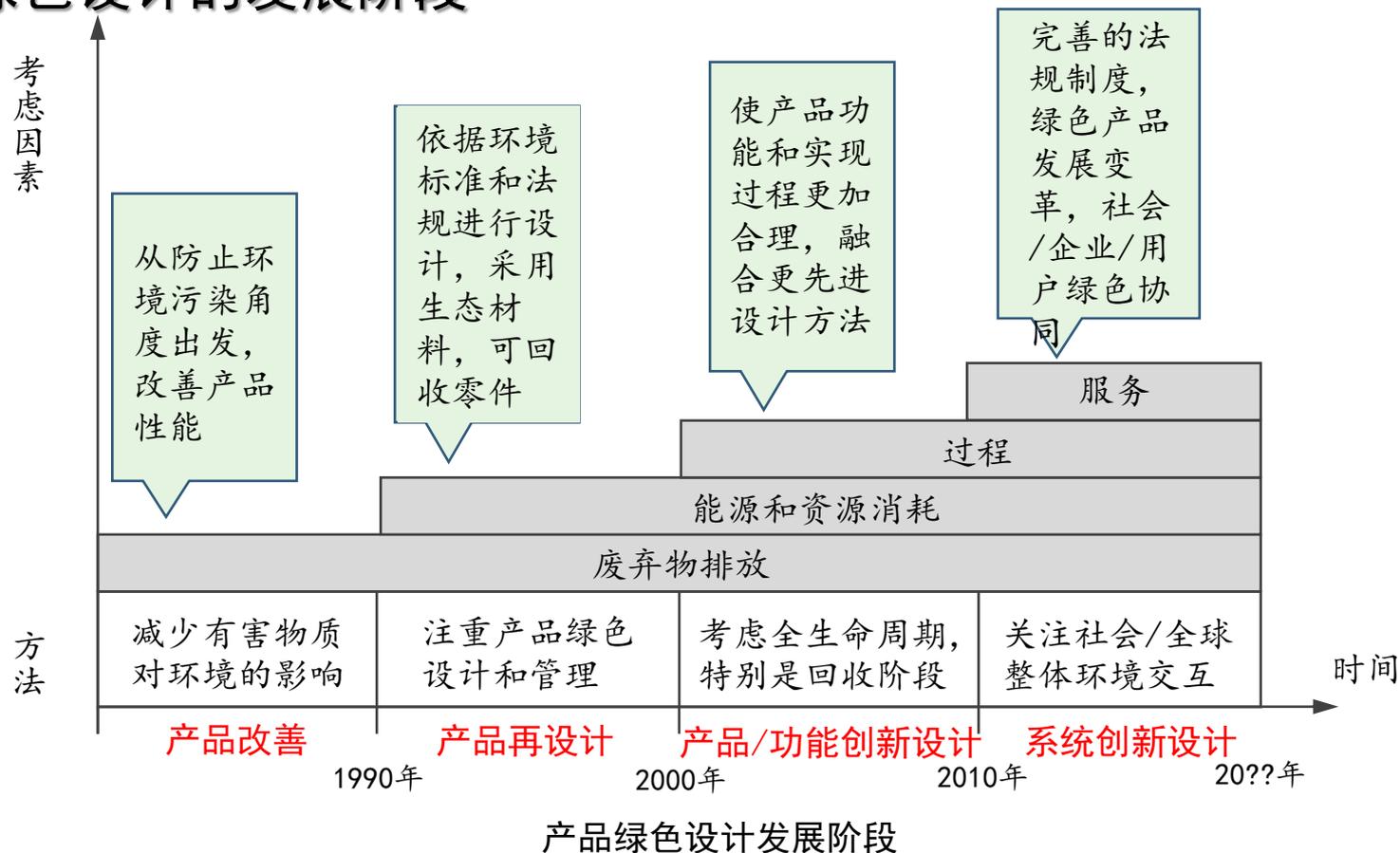
绿色设计研究趋势与展望

IV

研究中心介绍

II 绿色设计中的若干关键问题

◆ 1. 绿色设计的发展阶段

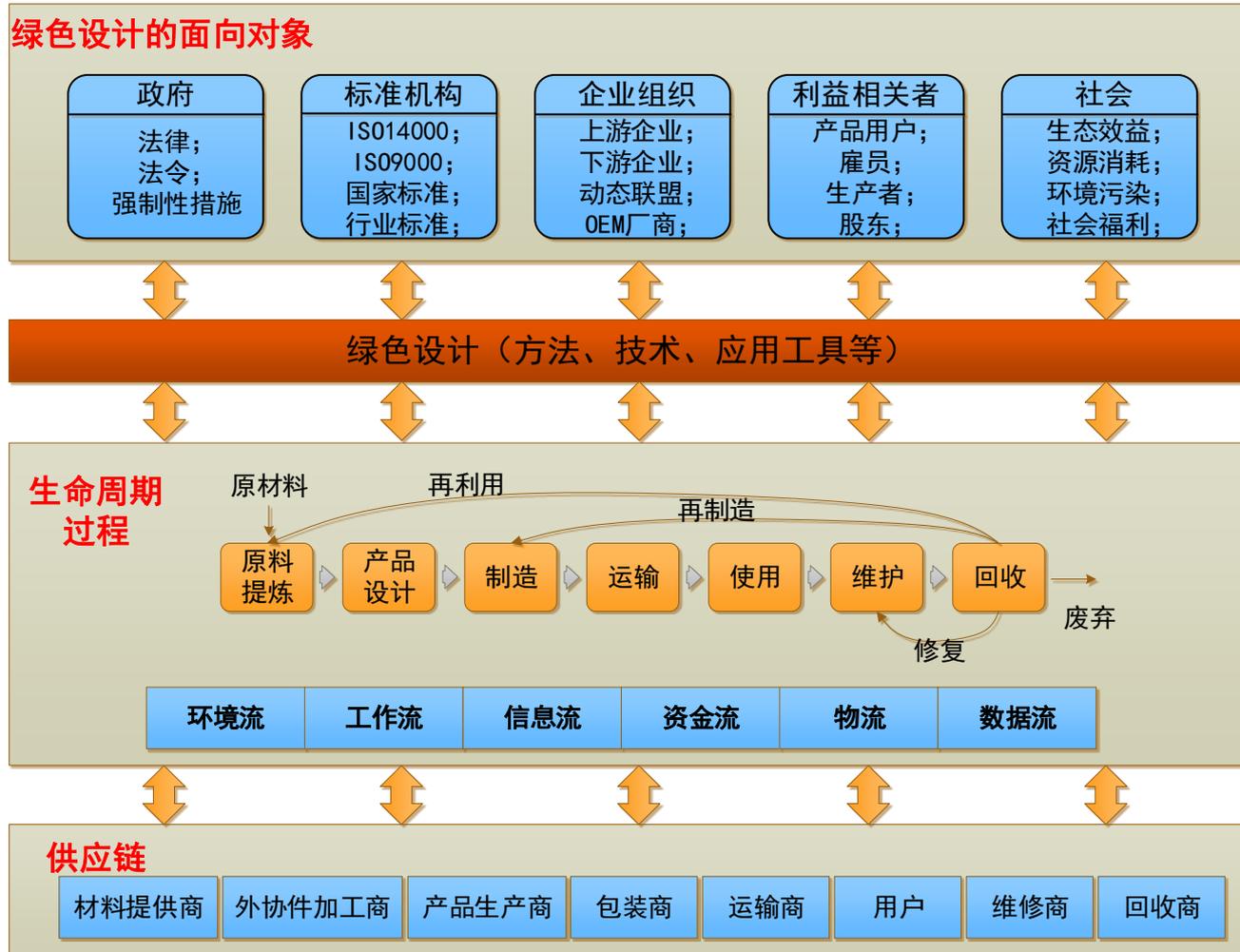


创新驱动 绿色发展

绿色设计的核心思想是从源头上解决包括资源、能源的过度消耗和环境污染问题, 是落实可持续发展战略的有效途径。

II 绿色设计中的若干关键问题

◆ 2. 绿色设计的应用环境

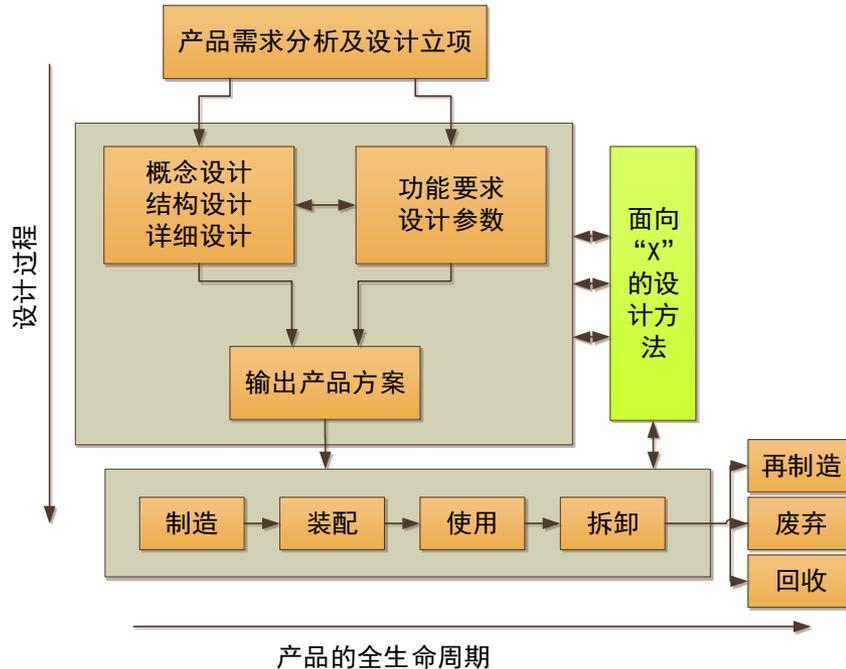


绿色设计的应用环境

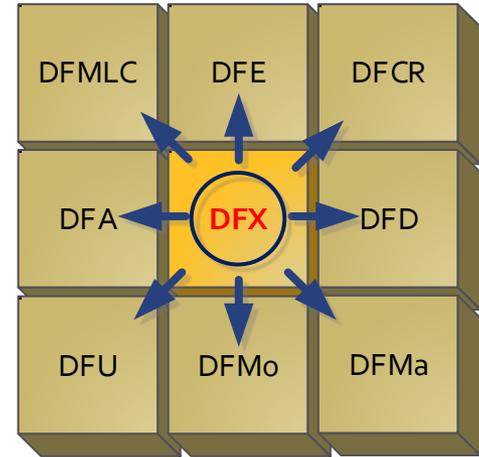
II 绿色设计中的若干关键问题

◆ 3. 面向生命周期的绿色设计(DFX, Design for X)

➤ DFX具备并行工程思想。在产品的设计阶段考虑全生命周期约束，是协调的、持续的设计方法。例如设计中的结构、回收、装配、节能等问题。



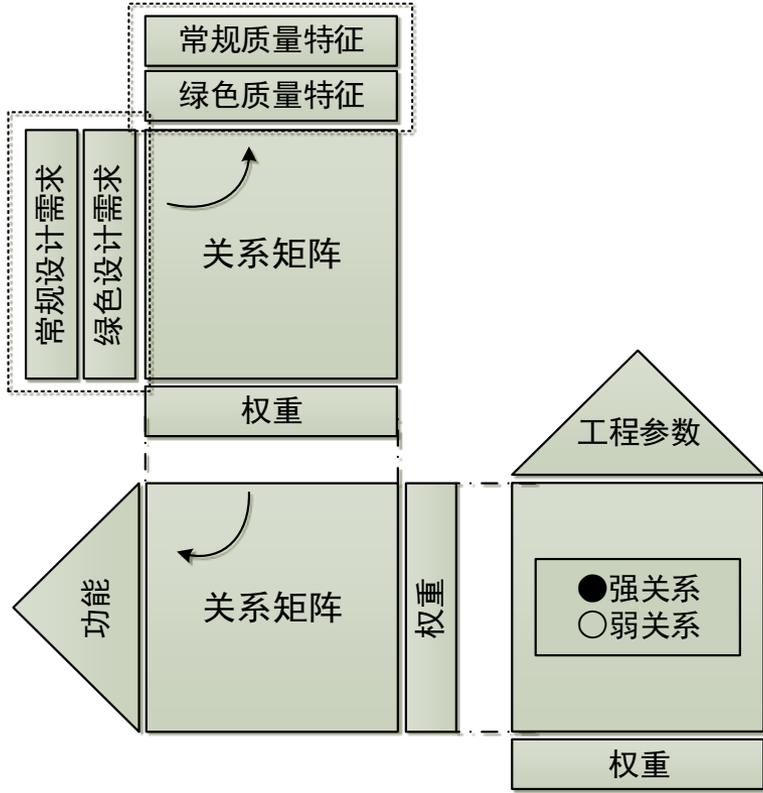
面向产品生命周期的绿色设计框架



DFMLC: Design for Multiple Life-Cycles;
DFE: Design for Environment;
DFMR: Design for Component Recovery;
DFA: Design for Assembly;
DFD: Design for Disassembly;
DFU: Design for Upgrade;
DFMo: Design for Modularity;
DFMa: Design for Maintainability

II 绿色设计中的若干关键问题

◆ 4. 基于质量功能配置的绿色设计(QFDE, Quality Function Deployment for Environment)



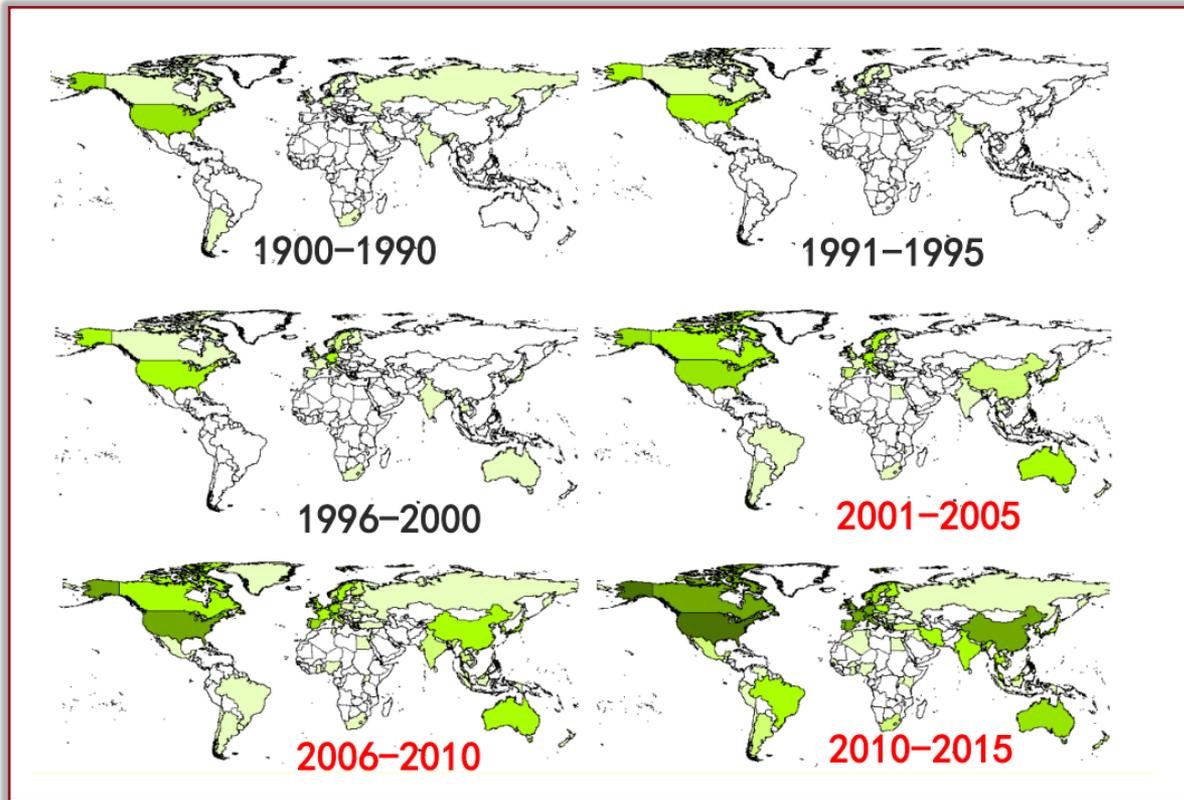
QFDE质量屋

- 在产品开发过程中，QFDE主要功能是以客户需求（包含绿色需求）为驱动来确定产品最主要的问题和参数，明确优先权及各参数与最终目标值的关系，并将其转换为设计信息。
- 设计需求来源包括客户、服务供应商、制造商、商业伙伴、公共部门、社区等。

II 绿色设计中的若干关键问题

◆ 5. 基于生命周期的设计分析评价(LCA, Life Cycle Assessment)

一种定量地评估产品/过程/系统在全生命周期内环境负荷的方法。

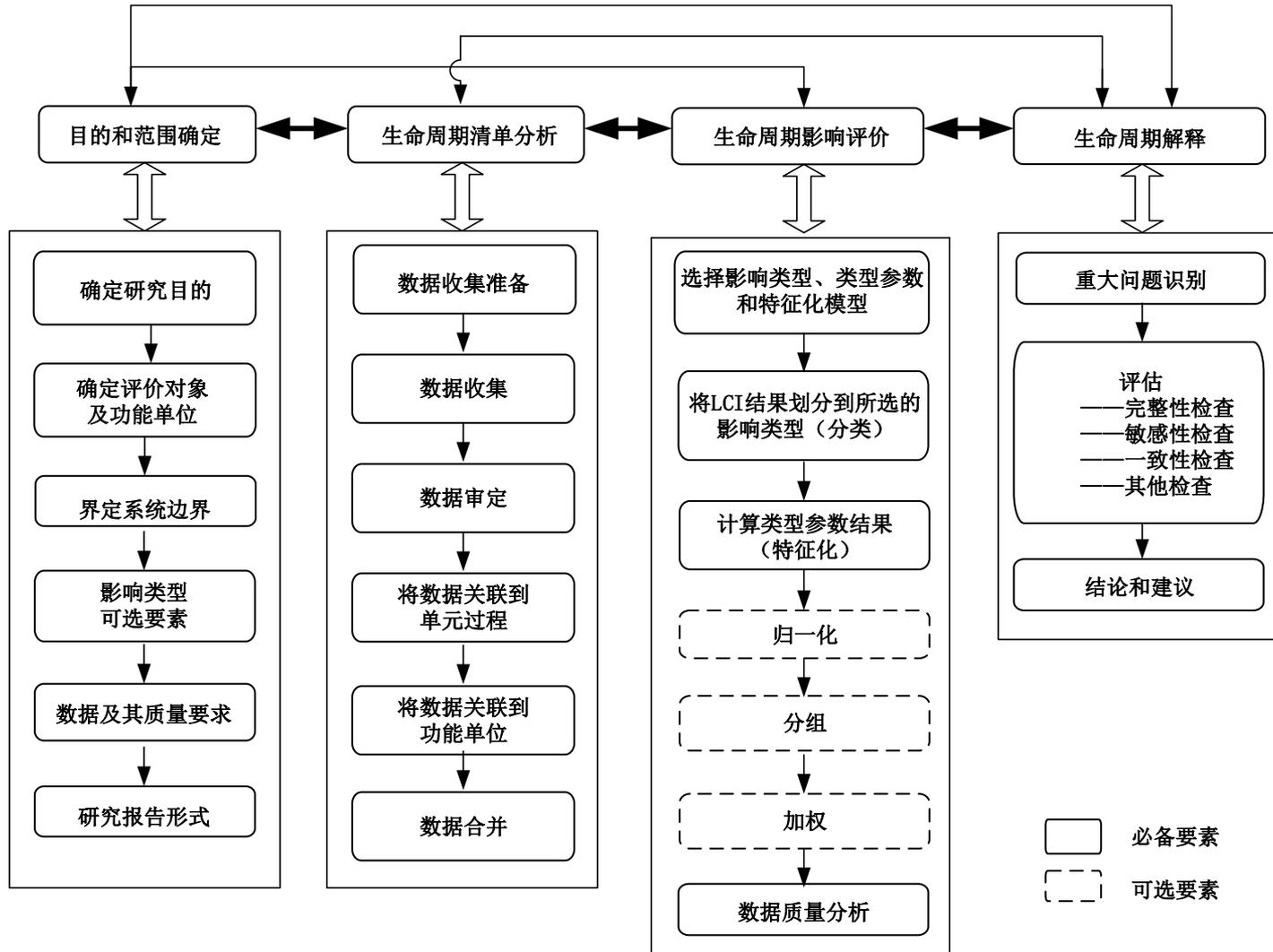


生命周期评价国际研究发展情况*

- 20世纪LCA研究主要分布于欧美国家，21世纪亚洲和非洲相继开展。
- 美国和德国LCA研究数量处于领先。
- 中国自2001年后研究兴起，于2006年后步入研究热潮。

II 绿色设计中的若干关键问题

◆ 5. 基于生命周期的设计分析评价(LCA, Life Cycle Assessment)



LCA流程框图

主要的LCA评价方法(1)

名称	开发者	主要特点
Eco-indicator 99方法	由荷兰和瑞士的LCA专家开发	首先将全生命周期的系统清单归入三个类别；然后分析它们产生的影响，并计算出对资源的破坏、对生态系统质量的破坏和对人体健康的破坏，最后乘以相应的权重系数而获得生态指数。
EIO-LCA	美国Carnegie-Mellon大学	通过投入产出模型分析经济、环境、能耗等各方面影响。
CML方法	荷兰Leiden大学	定量评估特征化和归一化值及权重值, 是基于传统生命周期清单分析特征化和归一化的方法,采用中点分析减少了假设的数量和模型的复杂性,易于操作。
IMPACT 2002+	瑞士Lausanne联邦理工学院	实施中点/破坏相结合的可行方法,通过14个中点类型将LCI结果和4个破坏类型连接。用破坏指标的量化结果来代表环境质量的变化,降低评价的复杂性。

主要的LCA评价方法(2)

名称	开发者	主要特点
EPS 2000	瑞典工业联合会、瑞典环境研究院 (IVL) 和AB Volvo公司	用单一的指标来描述一个产品在其生命周期各阶段所消耗的原材料、能量和产生的废物对环境造成的影响。基本单位是环境负荷指数。
MET	荷兰Leiden大学的环境科学中心	把环境影响归结到一个评价指标，MET法的一个重要特点是其指数为M（材料使用）、E（能量消耗）与T（有毒排放物）的和，提供产品生态环境影响的评估值。
Ecopoint	由荷兰工业界、研究机构 and 政府部门共同开发	它是一种衡量环境影响的方法，主要考虑排放物的污染和能源的消耗，采用“目标距离”的原则：评价当前影响水平与目标影响水平之间的距离。
EDIP 97	丹麦技术大学、5家工业公司、丹麦工业联盟和丹麦环保署联合开发	它将生命周期系统清单归入环境影响、资源消耗和对工作环境的影响三个影响类别，并用标准化因子（每人每年）对不同的影响类型进行标准化。最后用已被标准化的以上三个类别分别乘以各自的权重因子，获得该产品的环境影响、资源消耗和对工作环境的影响。
EDIP 2003		是EDIP 97的改进,对于所有非全球性影响的类型,大部分采用了因果关系链,计算出的影响环境相关性较高,且更易于解释对环境的破坏。

◆ 5. 基于生命周期的设计分析评价(LCA, Life Cycle Assessment)

研究难点:

- **设计前期信息模糊性**对功能单元(Functional Unit)定义、系统边界(System Boundary)划分、取舍条件和假设(Cut-off and Assumptions)带来影响。可行的措施有模糊理论、未确知测度模型等。
- **清单数据质量精度低、偏差积累问题**对得到准确结果带来影响。可行的措施有蒙特卡洛模拟法、随机稳定实验。
- **清单数据不确定性问题**。可行的措施有敏感性分析、离散模拟、Latin超立方体仿真、概率模拟、贝叶斯决策。
- **评价权重模糊性问题**。可行的措施有模糊集/粗糙集、聚类分析、灰色关联、人工神经网络。
- **时域与地域性问题**。建立具备时域与地域特性的基础数据库。

◆6.面向绿色设计的产品表达建模—系统性

绿色设计中的模型定义技术MBD(Model Based Definition)

1. 绿色设计几何建模

产品几何模型侧重于产品的几何形状，主要由线框、面和实体组成。

2. 绿色设计特征建模

产品特征模型实现了非几何信息和几何信息的集成。在几何模型基础上抽象出高层次信息，定义了具有明显工程语义的工程信息。研究内容有特征建立、特征识别、特征映射问题。

3. 绿色设计集成建模

集成模型拓展了信息覆盖的范围，集成了与产品开发过程有关的信息。

◆6.面向绿色设计的产品设计流程建模—并行性

设计流程建模提升了设计任务内部耦合程度，降低复杂产品整体绿色设计难度。

1.设计结构矩阵法(DSM, Design Structure Matrix)

以任务为前提，以信息为中心，突出流程次序，生成信息流。

2.Petri网建模法

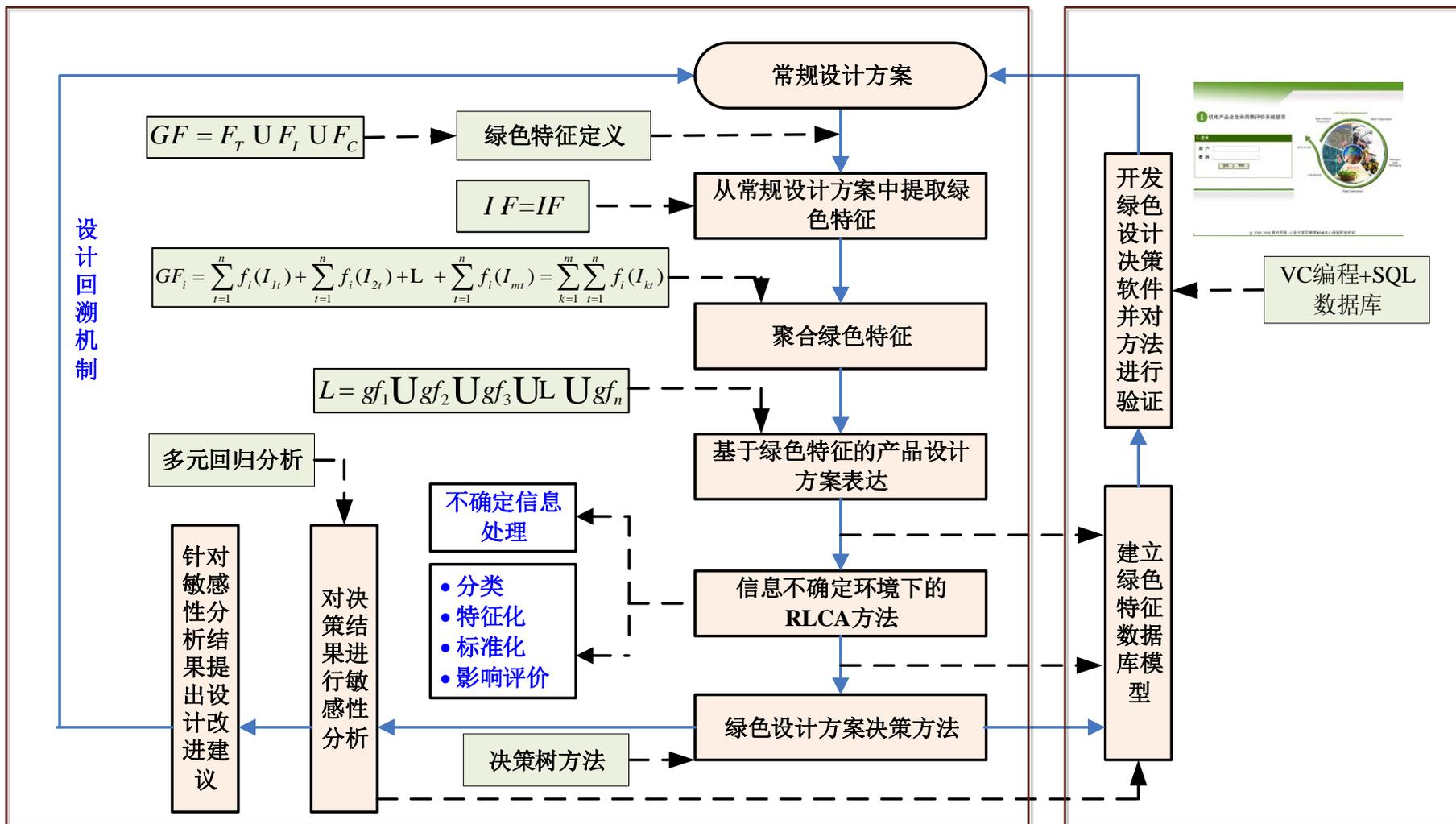
一种用于离散并发系统的建模方法。综合考虑产品生命周期多过程与绿色设计实施流出层，建立统一的流程组织结构，表达设计任务次序及相关关系。

3.IDEF分析建模法

表达设计流中的层次结构、功能组成以及信息流动。提升绿色设计效率。

II 绿色设计中的若干关键问题

◆ 6. 面向绿色设计的产品及设计过程模型化



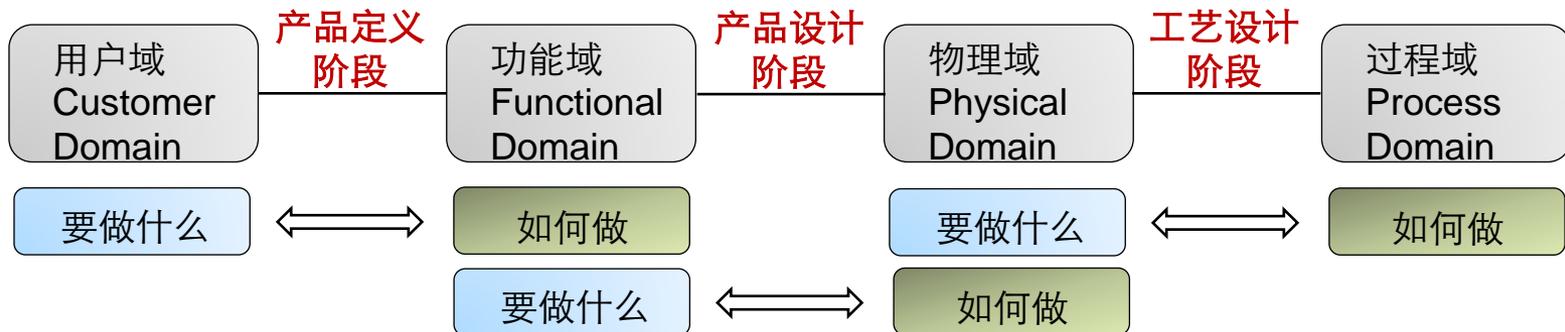
基于特征的绿色设计技术路线

II 绿色设计中的若干关键问题

◆6.面向绿色设计的产品及设计过程模型化

研究难点：

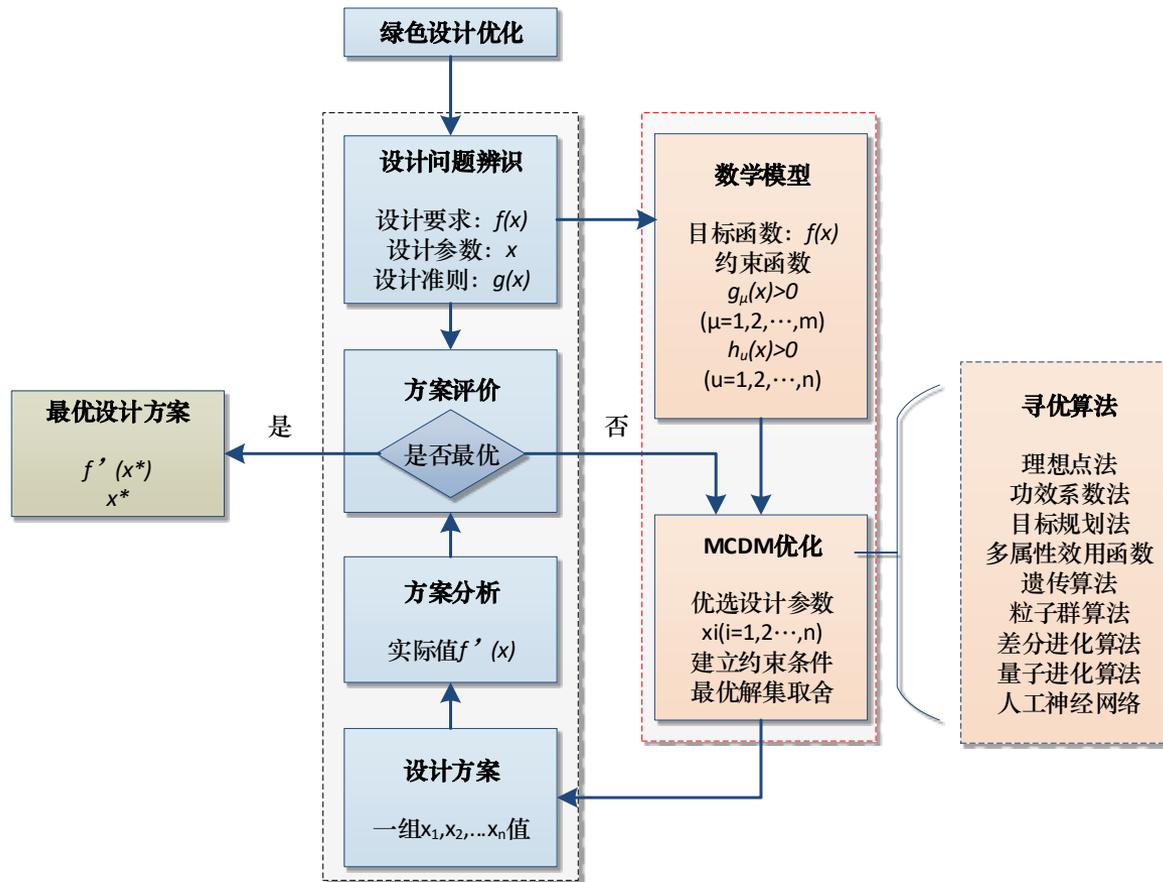
- 设计方案信息复杂性与模糊性对产品模型准确建立带来影响。如何降低绿色产品模型表达难度，如何处理模型中的模糊信息。
- 设计流存在离散性与动态性问题对高效实施绿色设计带来影响。如何提高设计流程运行效率，缩短绿色设计周期与开发时间，充分利用过程资源。



II 绿色设计中的若干关键问题

◆ 7. 绿色设计的多元决策模型(MCDM, Multi-Criteria Decision Making)

绿色设计是一个多变量、多目标且包含不确定因素的决策、协调与优化过程。



绿色设计多元决策技术路线图

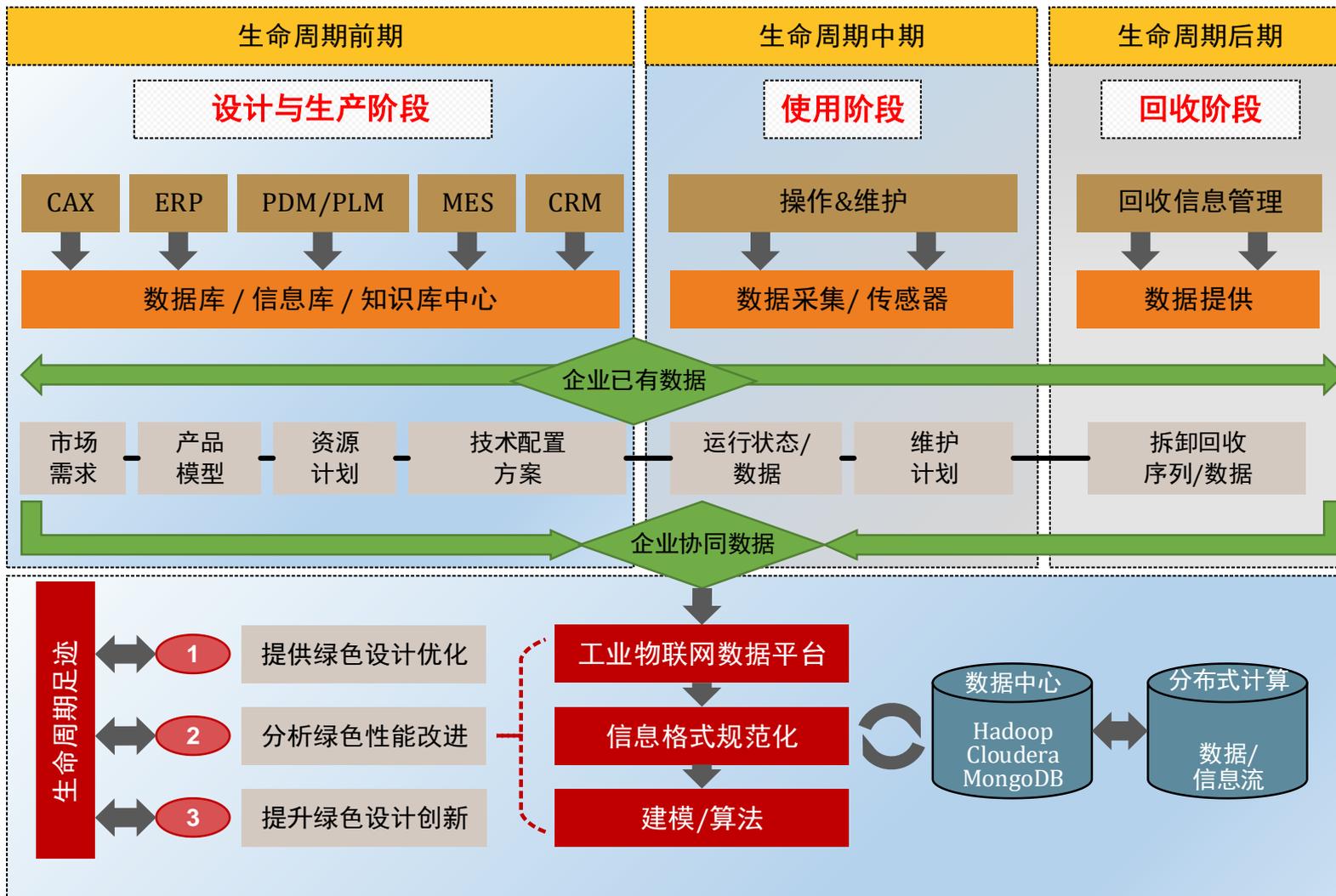
◆ 7. 绿色设计的多元决策模型(MCDM, Multi-Criteria Decision Making)

研究难点：

- **决策的复杂性。** 如何综合考虑产品全生命周期的环境性能、成本以及质量，实现产品综合性能优化设计。
- **决策的不确定性。** 设计阶段存在不确定性因素，需降低产品对不确定参数波动的敏感性。
- **决策的时间性。** 如何将绿色设计的理论方法很好的融入到现有产品的研发体系中，使得绿色设计容易适应快速变化的市场需求。
- **决策的效率。** 如何降低优化函数的复杂度，提高优化效率。

II 绿色设计中的若干关键问题

◆ 8. 知识与数据驱动下的智能绿色设计



II 绿色设计中的若干关键问题

◆ 8. 知识与数据驱动下的智能绿色设计

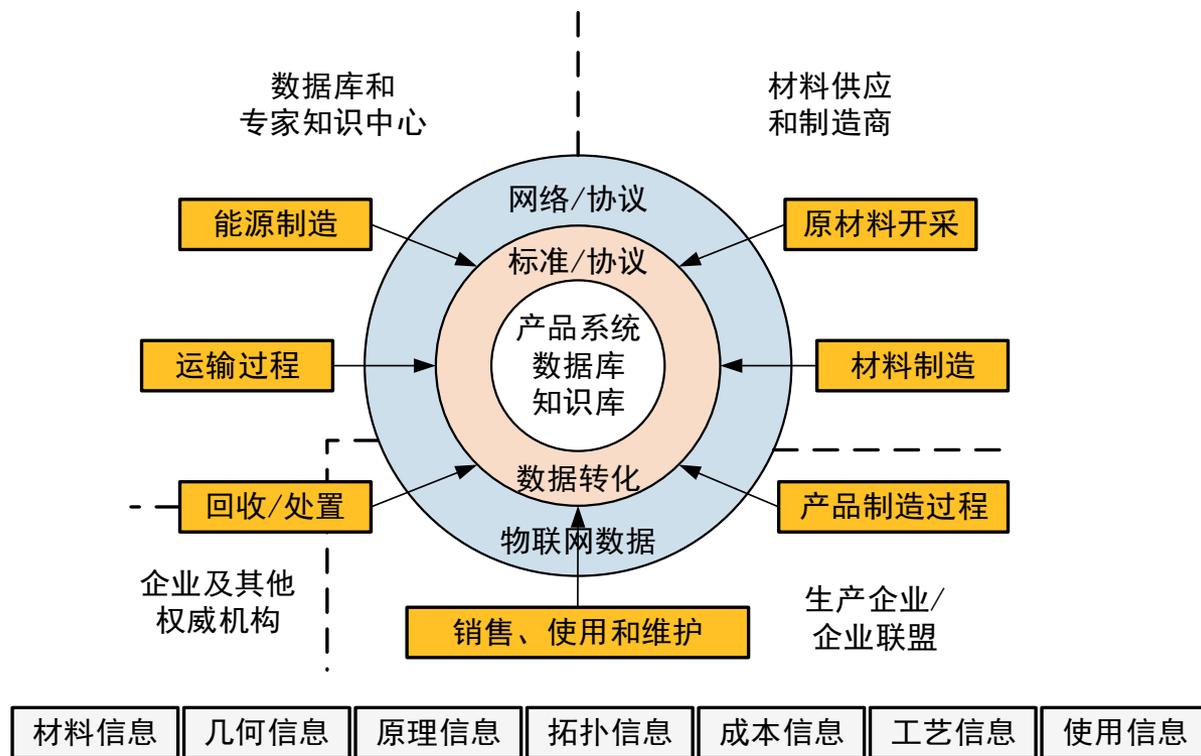
方法			应用
决策支持技术	决策支持技术	多目标优化	绿色设计决策
		案例推理	产品设计、决策
		粗糙集理论	预测判断
		模糊理论	决策、概念设计
数据挖掘和仿真技术	数据挖掘技术	可能性理论聚类	不确定性分析、产品分类概念设计
		关联规则挖掘	分类、概念设计
		神经网络	概念设计、DFX
	模拟技术	蒙特卡罗模拟	数据质量不确定分析、过程分析
		离散事件模拟	系统分析、决策制定
		拉丁超立方模拟	不确定性分析、规则生成、可变性
		概率模拟	不确定性、规则生成、可变性

II 绿色设计中的若干关键问题

◆ 8. 知识与数据驱动下的智能绿色设计

研究难点：

- 时间维度（快速性）、空间维度（关联性）、过程维度（针对性）建模。
- 数据挖掘技术、预测技术研究。
- 知识推理技术、决策技术研究。



绿色设计数据与知识获取框架

II 绿色设计中的若干关键问题

◆9.国内外绿色设计支持软件介绍

软件	包含数据库	开发者	主要特点
Simapro (荷兰)	SimaPro database; Ecoinvent database	Pré Consultant s B.V.	面向产品开发和产品设计的综合LCA软件。生命周期影响评价模块以ISO 14040为基础，将影响类型分为11种类型，采用特征化、归一化和评价三个步骤。
Gabi (德国)	Gabi databases	Thinkstep	提供开放式的生命周期影响评价平台，用户可以自己建立评价原则、标准和指标。包括5个基本步骤：选择重要生态领域，分类、计算影响、标准化、评价等。
eBalance (中国)	CLCD; Ecoinvent; ELCD	亿科环境 科技有限 公司	集成了中国生命周期基础数据库（CLCD）以及Ecoinvent数据库、ELCD数据库三大权威数据库，为国内产品的LCA分析提供了中国本地化的、质量更高的数据支持。

II 绿色设计中的若干关键问题

◆ 9. 国内外绿色设计支持软件介绍

软件	包含数据库	开发者	主要特点
Solidworks Sustainability (美国)	Gabi database	Dassault Systèmes	与设计过程无缝集成，提供筛选级生命周期评估，支持能耗、碳足迹计算与设计优化。
e-DEA (法国、德国)	Ecoinvent database	EVEA& GreenDelta	一款支持生态设计的软件，设计师和制造商可以简单对其产品进行建模与评价。
IDC Calculator (英国)	Ecoinvent database	IDC	支持可持续产品设计、绿色技术研发，支持快速碳足迹分析。
Sustainable Minds (美国)	Ecoinvent database	Sustainable Minds, LLC	基于Web的软件，提供较为可靠的环境影响评估，优化绿色设计与低碳设计。

II 绿色设计中的若干关键问题

◆ 项目开发的绿色设计支持系统

欢迎访问 <http://www.easytolca.com/>

The screenshot displays the MachiLCA website interface. On the left, there is a '登入Login' section with input fields for '用户账号' (User Account) and '密码' (Password), a checkbox for '自动登录 找回密码' (Auto-login, Find password), and buttons for '登录' (Login) and '注册' (Register). The main content area features a circular diagram of the product lifecycle with stages: '原材料' (Raw materials), '生产制造' (Production), '使用环节' (Usage), '回收再制造环节' (Recycling and remanufacturing), and '材料重用' (Material reuse). Below this are icons for 'MANUFACTURING', 'PRODUCTION', 'TECHNOLOGY', and 'INDUSTRY'. To the right, a banner reads '帮助您快速开展产品生命周期分析' (Help you quickly carry out product life cycle analysis) with the slogan 'GO GREEN eco-friendly concept' and images of industrial machinery. The footer contains contact information and copyright details for the Center for Sustainable Manufacturing at Shandong University.

目录

I

绿色设计研究现状及热点分析

II

绿色设计中的若干关键问题

III

▶ 绿色设计研究趋势与展望

IV

研究中心介绍

1. 复杂产品绿色设计快速建模方法研究

复杂产品绿色设计仍存在周期长、成本高、数据需求量大等困难；提高产品模型映射精度与设计效率；快速提取具有较大环境性能优化潜力的产品零部件。

2. 绿色设计多元优化方法研究

多维度、多约束、多目标、高跨度条件下协调产品生态、功能、成本综合效益；综合考虑各生命周期阶段由设计方案带来的减排潜力；提升绿色设计早期方案决策可行性。

3. 数据与知识驱动下的智能绿色设计方法研究

基于数据驱动、知识驱动的绿色设计计算与分析有待增强；具有时效性、区域性、行业性的支撑数据与相关标准有待补充。增强驱动主导性。

4. 绿色设计集成平台建设与应用

绿色设计方法、技术、工具集成平台建设及推广应用。

目录

I

绿色设计研究现状及热点分析

II

绿色设计中的若干关键问题

III

绿色设计研究趋势与展望

IV

▶ 研究中心介绍

IV 中心近5年承担和参与的有关绿色设计项目

- 《绿色制造 机械产品生命周期评价 总则》国家标准的制订;
- 《绿色制造 机械产品生命周期评价 细则》国家标准的制订;
- 国家自然科学基金: 基于**绿色特征**的产品方案设计建模研究;
- 国家自然科学基金: 面向**方案设计**的产品宏-微特征与碳排放关联建模及碳效益评估;
- 国家973项目: 机械装备再制造的基础科学问题;
- 国家863课题: 工程机械回收产品逆向物流技术集成与应用研究;
- 国家863课题: 面向机床和工程机械的**绿色工艺技术评估及相关基础数据库开发**;
- 早期项目:
 - 工信部绿色制造系统集成项目: **金属切削机床绿色设计平台建设与集成示范**
 - 国家自然科学基金项目: 产品绿色模块化设计方法研究;
 - 博士后基金项目: 产品适应性设计方法研究;

IV 研究中心团队介绍



山东大学
SHANDONG UNIVERSITY

可持续制造研究中心
Research Center for Sustainable Manufacturing

绿色设计与绿色制造

生物质包装材料

绿色设计&生命周期评估

再制造清洗、检测、修复

航空制造

先进制造技术

加工能效评估与优化

研发团队：

骨干成员11人；

博/硕士研究生70余人；

博士后5人；

李方义 教授

Email: lifangyi@sdu.edu.cn

欢迎来访、交流、合作！





山东大学
SHANDONG UNIVERSITY

欢迎批评指正!

李方义

lifangyi@sdu.edu.cn