



# 中国生态设计 —— 价值逻辑与面向未来的能力体系

施耐德电气中国研究院与清华大学环境学院联合出品

[www.se.com/cn](http://www.se.com/cn)

**Schneider**  
Electric  
施耐德电气

  
清华大学环境学院  
School of Environment, Tsinghua University

# 施耐德电气 中国研究院介绍

RDCC - R&D China Council (中国研究院) 是施耐德电气在中国区跨事业部研发体系的核心枢纽，承载着战略协同与技术整合的关键职能。

作为施耐德电气全球四大研发基地之一，并且是施耐德电气唯一——一个拥有全业务线的研发基地，RDCC长期致力于跨业务团队的技术创新与合作，覆盖电气化、自动化与数智化全业务线，持续推动创新技术及人才的多方位协同。现有两千八百多名工程师分布在北京、上海、无锡、西安、深圳、广州和厦门等多个城市，形成一张立足中国、辐射全球的研发创新网络。



# 目录

# CONTENTS

---

前言：生态设计的必要性与时代使命	3
<b>1 生态设计的定义与核心内涵</b>	<b>4</b>
1.1 生态设计的提出背景：从末端治理到源头设计	5
1.2 生态设计的本质内涵：将环境目标嵌入产品研发过程的设计	7
1.3 生态设计的核心框架：从环境目标到设计方案的系统化拆解	8
<b>2 中国生态设计的价值逻辑</b>	<b>9</b>
2.1 政策与制度驱动：生态设计决定产品是否能进入市场	10
2.2 产业转型驱动：生态设计决定产品能否获得更多市场份额	11
2.3 市场与品牌驱动：生态设计决定产品能否获得价值溢价	12
2.4 前瞻性风险驱动：生态设计决定产品能否能保持长期竞争力	13
<b>3 中国生态设计的现状与挑战</b>	<b>14</b>
3.1 战略层面：政策快速演变下的战略前瞻与系统性短板	15
3.2 目标层面：单指标导向的局限性与多维环境价值缺口	16
3.3 机制层面：评估后置导致设计窗口期错失与流程错位	18
3.4 决策层面：多目标决策失衡削弱绿色创新商业可行性	20
3.5 实施层面：数据与工具体系薄弱制约生态设计规模化	21

---

<b>4 中国生态设计的实施框架</b>	<b>23</b>
4.1 战略层面：构建前瞻性的生态设计战略管理机制	24
4.2 目标层面：建立全周期、多类别的环境目标体系	25
4.3 机制层面：构建前置化的生态设计流程体系	26
4.4 决策层面：建立多目标权衡的绿色决策体系	27
4.5 实施层面：搭建数智化的生态设计工具与平台体系	28
<b>5 中国生态设计的机遇与展望</b>	<b>30</b>
5.1 机遇：中国生态设计的战略窗口	31
5.2 展望：中国生态设计的未来方向	36
<b>关于作者</b>	<b>40</b>
<b>致谢</b>	<b>41</b>

# 前言： 生态设计的必要性与 时代使命

在“十五五”规划将绿色发展确立为中国式现代化鲜明底色的背景下，生态设计正从传统意义上的环保举措，跃升为产业竞争与政策治理的核心能力。随着源头治理、全生命周期管理和绿色制造等要求全面前移，产品的环境绩效、材料路径、能效水平与未来合规性在设计阶段即被锁定，生态设计因此成为推动降碳、减污、扩绿与增长协同的关键抓手。

对于中国企业而言，生态设计的战略意义正在发生根本变化。它不再只是满足监管的合规动作，而是直接关系到产品能否进入市场、能否获得更多市场、能否获取品牌与价格溢价，以及能否在未来政策迭代中保持持续稳定销售。生态设计正在成为企业提升竞争力、降低长期风险与突破增长瓶颈的关键路径。

然而，企业在实践中仍普遍面临战略前瞻不足、目标体系单一、流程后置、决策缺乏量化支撑、数据与工具体系薄弱等结构性障碍，导致生态设计难以从理念真正转化为体系化的组织能力。

施耐德电气与清华大学联合发布本白皮书，系统梳理生态设计的概念与内涵，明确其价值逻辑，解析中国企业在落地过程中的关键阻碍，并提出可执行的实施框架，帮助企业从“知道生态设计”走向“能够实施生态设计”。同时，我们也基于政策趋势、产业演化和技术方向，对生态设计的未来发展作出前瞻性研判，并提出面向企业实践的关键启示。我们期望通过本白皮书，为中国企业在绿色转型的战略窗口期构建长期能力、实现可持续增长提供切实支撑。



# 1 生态设计的定义 与核心内涵



# Why Eco-design Now?

## 为什么生态设计在当下成为企业的必要能力

在无数企业的经验中，环保往往被视为生产端的问题：减排、治污、材料替换及废物管理。然而，真正锁定环境影响、成本结构与未来风险的，不是制造过程，而是产品被设计出来的那一刻。本章从源头出发阐述生态设计如何成为未来竞争力的起点。

### 1.1 生态设计的提出背景 从末端治理到源头设计

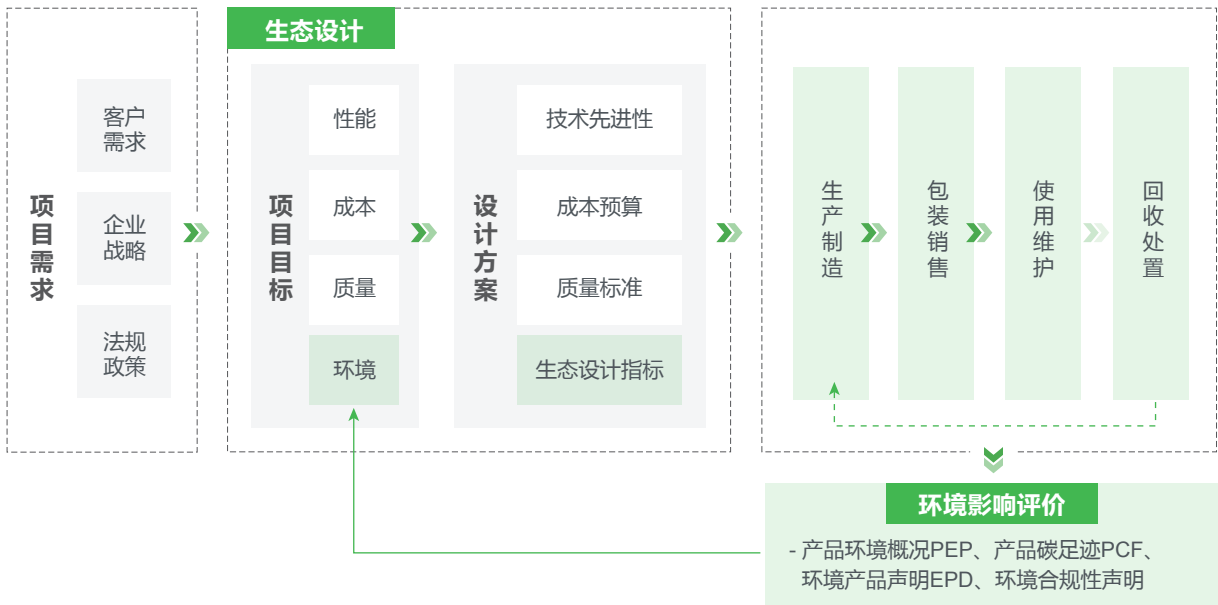
经济社会的持续扩张正在加速资源消耗与环境压力的叠加，**使生态环境问题呈现出更高的复杂性和系统性特征**。全球变暖、极端气候、空气污染、水资源稀缺、生物多样性下降等问题相互交织，其影响已从生态领域外溢至经济运行、公共健康和产业安全。与此同时，材料体系复杂化、化学品使用量快速提升、产品设计冗余和废弃物增长等趋势，使环境压力的成因更加多元，治理难度显著上升。环境问题因此不再是局部或单点的外生挑战，而是影响未来发展路径的综合性长期约束。

在全球环境压力与产业结构变化的双重作用下，传统以排放末端和废弃端为主的治理模式正面临系统性失效。随着产品材料体系日趋复杂，粘合、共混、涂覆等工艺使得不同材料在物理层面高度耦合，导致末端回收与处置过程需要极高能耗和处理成本。同时，环境监管体系也从过去基于排放控制的末端导向转向基于产品成分与结构的源头导向。对于涉及 PFAS、RoHS 等禁限物质的产品，一旦在设计阶段将其写入材料体系，后续阶段无论投入多少末端治理资源，也无法从根本上移除这些物质，从而无法满足市场准入要求。这种由材料结构、工艺耦合与禁限物质路径依赖共同导致的不可逆性，意味着末端治理不再是可行的解决方案。

随着环境压力不断加剧，全球正在加速将**原本由社会承担的环境外部性转化为企业的直接责任**。在更严格的监管制度、跨国供应链的可持续要求和资源波动风险的共同推动下，环境影响、材料合规性和循环性成本都被纳入企业经营成本结构之内。外部性内部化的机制不断扩展。生产者责任制度要求企业承担产品回收与再利用责任；碳边境调节机制将碳排放成本直接纳入跨境贸易；欧盟新电池法规明确要求产品在设计阶段提供可拆解性以确保循环利用；数字产品护照则以材料透明化和可追溯性为基础，将全生命周期信息义务前置到设计与采购环节。在这些制度的共同推动下，生产阶段的排污付费与末端处置成本已不再是企业环境成本的全部。材料风险、回收责任、碳排放约束和供应链透明化审查使企业必须对产品生命周期影响承担更系统、前置且不可回避的内部责任。

**环境外部性的全面“内部化”，迫使治理手段必须从末端处理转向设计源头。**这一趋势背后的根本逻辑在于成本与影响的前置锁定。大量研究表明，产品80%的环境表现、材料足迹和未来回收成本在设计定型的那一刻已经被锁定。也就是说，产品生命周期中最具影响力的因素，并不发生在制造或使用阶段，而是在设计阶段被结构化决定。当环境影响、合规责任与资源风险已成为经营约束时，仅依赖末端治理已无法在技术与经济上取得可持续的结果。源头设计成为改变产品生命周期影响、降低未来风险与减少系统性成本的唯一有效窗口。

在治理手段必须从末端前移至设计源头的趋势下，产品设计需要在一开始就将环境目标作为前置条件，与性能、成本、质量等同等纳入决策体系。**在设计阶段结构化地整合环境目标，这就是生态设计 ( Eco-Design ) 。**



(图1) 生态设计流程

## 1.2 生态设计的本质内涵

### 将环境目标嵌入产品研发过程的设计

在环境约束不断前移的背景下，需要明确生态设计的核心作用并非增加新的环保流程，而是通过前置化的目标管理，**使环境绩效在设计阶段即可被结构性锁定**。生态设计本质上是一套前置化、嵌入式、工程化的方法体系，将环境要求与性能、成本、质量等传统工程目标一并纳入产品开发逻辑，从源头塑造产品的生命周期表现。

企业的产品开发通常遵循“需求—目标—方案—制造—使用—处置”的全过程。生态设计的核心机制，就是在这一链路中，将环境目标前移并嵌入关键节点，使其成为材料选择、结构设计、工艺路线和生命周期策略的约束条件与优化方向。

在需求阶段，生态设计要求企业在识别客户需求、业务战略和法规政策的同时，提前识别产品全生命周期的环境约束，包括材料禁限、循环性要求、能效标准及供应链可持续性要求，从起点明确环境边界条件。

在目标阶段，性能、成本、质量等传统目标需要加入环境目标，形成完整的多目标体系。环境目标属于结果性目标，用于定义产品最终需要达到的环境表现，例如生命周期碳足迹、水足迹、生物多样性影响等。环境目标由此成为与成本和质量并列的设计约束，而非后期校验项。

在方案阶段，环境目标被进一步拆解为工程可执行的生态设计指标。生态设计指标作为过程性与工程性要求，描述产品应如何被设计才能实现既定的环境结果，包括材料体系优化、模块化与易拆解设计、结构简化、降低制造能耗、提升寿命与可维修性以及减少包装材料等。这些要求通过工程动作影响方案形成，使设计团队能够在性能、成本和环境之间进行多维权衡，并据此筛选方案。

需要强调的是，生态设计与以下常见的绿色概念并不等同。绿色制造聚焦生产过程，无法改变由设计决定的结构性环境边界；循环经济强调资源闭环，而其可拆解性、材料纯度和再制造能力均需在设计阶段奠定；ESG侧重披露与治理，而生态设计是其环境绩效的源头性决定因素。

**生态设计不是末端措施或单项改良，而是通过“环境目标—生态设计指标—设计方案”决定产品生命周期表现的设计方法。**

## 1.3 生态设计的核心框架

### 从环境目标到设计方案的系统化拆解

在全球可持续发展要求不断强化的背景下，生态设计不再仅是单一的环保理念或局部改良措施，而是**以绿色价值观为引领、以系统方法为基础的整体性设计范式**。其根本目标在于通过前置化的设计决策，使产品与服务的价值创造过程能够与其生态环境影响逐步脱钩，从而实现真正意义上的可持续发展。

首先，生态设计确立了以“绿色价值导向”为核心的设计原则。该原则强调环境保护不再是产品开发的附加项，而是与质量功能、经济效益等传统项目目标并列的前置性要求。以绿色价值为方向，设计者需要在产品生命周期起点即纳入环境目标条件，使环境绩效成为方案生成与决策权衡的内生变量。

其次，生态设计以系统性的集成设计思维作为方法基础。传统设计往往在环境、质量、成本之间设定隐性冲突或权衡假设，而生态设计强调整体优化，通过系统性分析和跨阶段协同，打破环境表现与产品功能、经济目标之间的壁垒。通过对材料、结构、工艺和使用模式的系统集成，生态设计能够在产品全生命周期层面实现环境绩效的结构性改善。

再次，生态设计依赖可分解、可计算、可验证的生态设计指标实现方法落地。生态设计指标作为从环境目标分解而来的工程约束，包括材料安全性、能效表现、循环性要求、结构简化程度、易拆解性、耐久性以及包装减量等具体要求。通过指标化的管理与量化工具，设计者能够将抽象的环境目标转换为可执行、可验证的工程行动，使生态设计从理念层面转化为兼具环境可行性、技术可行性与商业可行性的系统性实践。

**生态设计的核心不在于对传统设计流程的简单补充，而在于以绿色价值为引领、以系统方法为框架、以指标约束为抓手，构建一套贯穿产品生命周期的系统性设计方法。**通过这一框架，生态设计推动环境目标、质量功能与经济效益的协同优化，为企业在可持续时代实现价值创造方式的转型提供了系统性路径。

# 2 中国生态设计的 价值逻辑



## Why It Matters?

### 为什么生态设计不是成本而是企业新的增长动力

中国企业正处在政策趋严、行业加速、市场分化的复杂环境中，外部压力正在倒逼企业把环境责任转化为内部能力。生态设计已从过往的环境管理做法，演变为影响产品商业表现的关键因素。它不仅关系到产品能否进入市场，也决定其能否赢得份额、获得溢价，并在监管和技术不断变化的环境中保持长期竞争力。换句话说，生态设计正在成为产品能否卖得出去、卖得更多、卖得更贵并持续卖下去的核心驱动力。本章从政策、产业、市场和风险四个方面阐释生态设计的价值逻辑，说明为什么生态设计正在演变为企业新的增长引擎。

## 2.1 政策与制度驱动

### 生态设计决定产品是否能进入市场

在中国与全球监管体系持续升级的背景下，生态设计成为产品准入的**核心门槛**。近年来，从《循环经济促进法》《固体废物污染环境防治法》到多类强制性法规标准的出台，环境友好性已经从倡导性原则转变为硬性法律要求。政策对产品源头设计的要求持续提高，包括可回收性、可拆解性、材料环保属性、能效达标等，均被明确写入强制性法规与认证体系中。一旦产品在设计阶段未能满足这些生态要求，就可能直接被阻断上市，甚至在流通环节遭遇召回、处罚与跨区域追责。

#### 绿色认证体系中的生态设计市场准入约束

在绿色产品认证体系中，生态设计相关指标已成为产品进入市场的重要准入条件。认证机构依据绿色产品评价标准，对企业及产品是否满足生态设计要求进行系统性评审。评价体系通常包括资源属性、能源属性、环境属性、品质属性和低碳属性五类一级指标，并在其下设置可量化、可检测、可验证的二级指标。

这些二级指标大多直接来源于生态设计要求，并在工程层面形成明确约束。例如，在资源属性中，重点考察原辅料与包装材料的减量化和可再生利用水平；在环境属性中，关注生产过程中的污染物排放控制与有毒有害物质限量使用；在能源属性中，则以能效等级作为核心判据。上述指标均需在产品设计与工程实现阶段得到满足，一旦任一关键指标不符合要求，产品将无法通过认证，从而直接失去进入相应市场和采购体系的资格。

—— 中国质量认证中心 产品六部认证管理部 邵争辉 部长

多部委围绕“源头治理”的协同监管，正系统性将生态要求前移至产品设计端。工信部推动绿色设计，生态环境部强化生产阶段碳污协同管控，商务部加强进出口禁限物质与战略矿产管理，市场监管总局推动产品绿色认证与能效标识，共同形成覆盖设计、生产、流通与贸易的全链条压力。监管也随之从销售端前移至设计源头，使设计阶段成为合规审查的核心入口。绿色包装、能效红线等制度均要求产品在设计端即满足合规条件，否则将面临上市阻断与追责。生态设计已成为合规性的最前置环节。企业若缺乏源头设计能力，就难以应对持续收紧的生态要求，产品“能卖”本身将面临实质性风险。在当前监管环境中，生态设计逐渐成为产品满足市场准入与合规要求的重要组成部分。

## 2.2 产业转型驱动

### 生态设计决定产品能否获得更多市场份额

产业的系统性重构正在重新定义产品竞争力，也同步提升对生态设计的要求。从主动升级到被动转型，两类力量共同推动生态设计成为企业能否扩展市场份额的核心变量。

首先，产业自身的技术进化正在催生对生态设计的内生需求。工厂智能化带来对多功能模块化产品的迫切需求；能源结构调整要求产品具备更高能效与资源效率；数字化运维推动设计向可维修、可访问、可升级方向演进。虽然这些趋势并非直接由环保要求推动，但其本质都建立在提升资源效益、延长使用周期和降低环境代价之上，与生态设计的目标高度一致。因此，产业主动演进正在自然地将生态设计纳入产品技术路线选择的核心考量。

其次，政策驱动下的产业被动转型则更直接地将生态设计作为市场准入的选择标准。政府绿色采购、国企与链主企业的绿色供应链政策正在形成“生态化的供应商筛选机制”。随着绿色建材、绿色电器、低碳通信设备、节能数据中心等领域的采购标准全面提升，没有生态设计支撑的产品不仅难以进入公建工程、重点行业采购，更可能因此失去大宗订单与渠道选择权。换言之，生态设计不仅是合规要求，更是“渠道竞争力”。在绿色供应链快速普及的趋势下，具备生态设计能力的企业才能确保自己不被排除在下一轮产业扩张之外。

因此，无论是产业主动升级还是政策推动的被动转型，都在逐渐使生态设计成为决定企业“能否卖得更多”的关键因素。**能适应产业生态化趋势的产品将获得更广的市场空间，不具备生态设计能力的企业则可能在产业洗牌中失去位置。**

### 生态设计在采购准入中的制度化要求

生态设计是在产品基础设计之上的绿色绩效“加分项”，随着技术进步和跨境贸易政策的引导，生态设计的要求也逐步提升，部分生态设计要求预计成为更高准入门槛的“绿色采购体系”的基本要求，比如产品能效指标、碳足迹、有害物质限值、再生材料含量等，这些量化指标易于区分，容易成为产品市场准入的门槛。

—— 中国标准化研究院 高东峰 研究员

## 2.3 市场与品牌驱动

### 生态设计决定产品能否获得价值溢价

在消费结构升级与品牌竞争加剧的背景下，生态设计正在从成本中心转向价值和溢价来源。其商业价值主要体现在品牌端的价值溢价以及资本市场的估值溢价。这两方面共同构成企业“卖得更贵”的核心逻辑。

一方面，消费者对可持续产品的偏好正在显著提升，尤其是在中国与亚太地区。调研显示，**超过90%的消费者愿意为具有可持续属性的产品支付额外溢价**<sup>1</sup>。生态设计通过材料安全、耐久性、可维修性和透明度等设计策略，使产品在同质化竞争中形成清晰区别度。以Patagonia<sup>2</sup>为例，其以生态设计为核心的材料与结构策略，不仅强化品牌叙事，也显著提升用户黏性和购买转化。生态设计正在成为品牌摆脱价格竞争、构建差异化和提升价值感知的关键手段，从而直接支撑消费者愿意“付更高价格”。

另一方面，资本市场正在将生态设计能力纳入企业估值框架。随着上市公司强制披露环境议题和绿色金融工具加速普及，生态设计不仅影响企业的监管合规程度，还决定其融资能力、投资吸引力和长期估值表现。波士顿咨询的研究显示，通过生态设计优化材料体系的**企业平均利润可提升约6%**<sup>3</sup>，证明生态设计带来的财务回报是明确且可量化的。这意味着生态设计不仅带来直接的价格溢价，也带来经营效率和资本溢价。

因此，生态设计同时推动品牌端和资本端的价值提升，使产品不仅“卖得出去”，更能“卖得更贵”，并在长期竞争中形成更稳固的价值优势。

注 [1] 每日经济网. 中国消费市场绿色低碳趋势调查报告 (2024-2025) .

注 [2] Poonkulali Thangavelu. The Success of Patagonia's Marketing Strategy; 2025.

注 [3] Jensen, B.; Megan Stoneburner; Catharina Martinez-Pardo; Jocelyn Wilkinson; Haafizah Khodabocus; Lidia Durbiano; Mireille Faist; Stefan Frehland; Philipp Meister; Marcial Vargas-Gonzales. Sustainable Raw Materials Will Drive Profitability for Fashion and Apparel Brands; Boston Consulting Group, Textile Exchange, and Quantis, 2023.

## 2.4 前瞻性风险驱动

### 生态设计决定产品能否能保持长期竞争力

生态设计的另一项核心价值在于其“前瞻性”。企业通过生态设计在产品开发阶段提前识别环境、资源、合规与供应链风险，使产品能够在未来政策与市场变化中保持稳定竞争力，从而实现“持续卖”。

在全球政策持续收紧的背景下，环境法规、材料禁限清单、能效标准与绿色准入制度都在快速迭代。缺乏生态设计的产品在上市后可能突然因法规调整而面临禁售、召回、供应链拒收甚至停产。例如含氟化合物（Per/polyfluoroalkyl substances, PFAS）在全球不同区域的禁限实践，使原本具有竞争力的功能材料路线迅速丧失合法性<sup>4</sup>；再如稀土依赖导致的电机技术路线风险，促使部分车企提前转向电励磁同步电机，以规避供应链不确定性<sup>5</sup>。这些案例表明，缺乏前瞻性环境考量的技术路线，在短期虽具优势，但从长期来看缺乏稳定性。

此外，生态设计通过优化耐久性、提高可维修性与提升资源利用效率，可以显著降低未来的维护成本、材料涨价风险、废弃物处理成本以及供应链中断成本，使企业在长期经营中具备更高的抗风险能力。生态设计本质上是将未来的政策、资源与市场风险前置嵌入设计决策，让产品避免在未来突然“卖不动”的风险。

因此，生态设计不仅使产品获得当前市场的优势，也使其在未来五到十年的政策与产业演化中保持长期竞争力。**它是企业构建“持续卖”能力的关键。既避免风险，又降低长期成本，确保技术路线与产品组合的长期有效性。**



(图2) 生态设计影响企业可持续商业价值的驱动机制

注 [4] 3M to Exit PFAS Manufacturing by the End of 2025. 3M News Center. 2022.

注 [5] BMW Group. BMW高性能励磁同步电机系统荣获“2022年全球新能源汽车创新技术”奖项. 2022.

# 3 中国生态设计的 现状与挑战



# What Blocks It?

## 为什么生态设计在企业内部始终难以真正落地

第二章指出，生态设计已成为影响产品能否卖、卖得多、卖得好及能否持续卖的核心驱动力。然而在企业实践中，这些价值并未自动转化为竞争优势，生态设计在战略到执行的关键环节仍面临系统性障碍。本章将从战略、目标、机制、决策与实施五个层面，对这些瓶颈进行解析。

### 3.1 战略层面

#### 政策快速演变下的战略前瞻与系统性短板

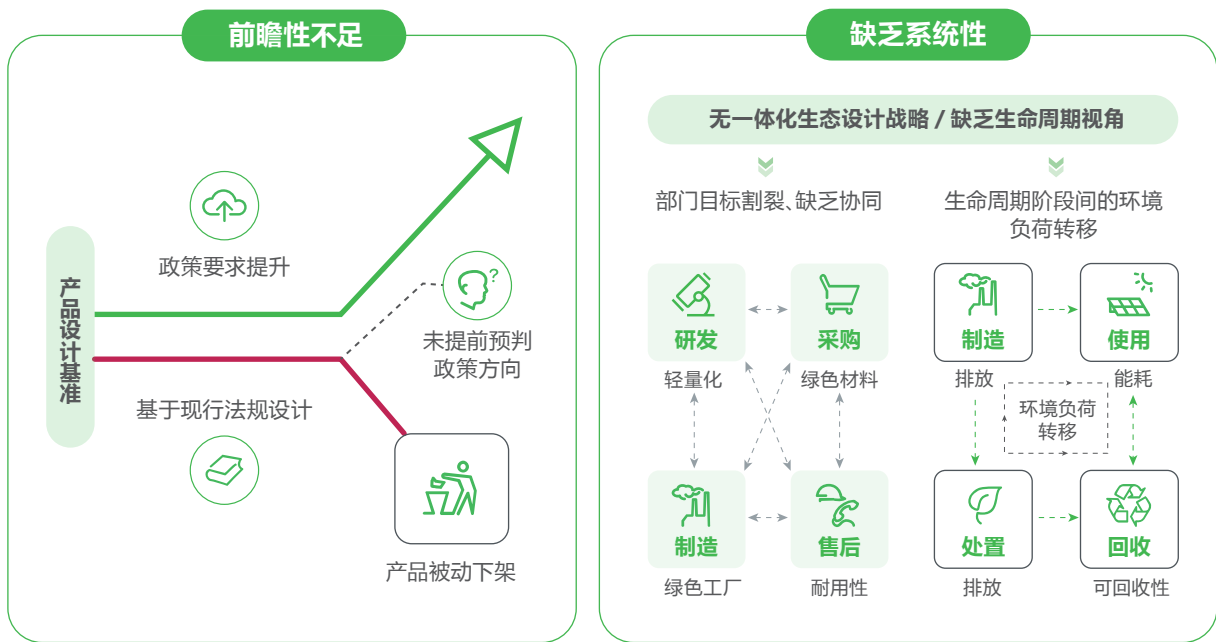
在多数企业中，**生态设计尚未真正进入战略高地**，更多仍被视为对法规和客户要求的被动合规动作。面对快速演进、区域差异化且多线并行的绿色政策体系，由于缺乏前瞻性的政策趋势洞察，企业往往只能在指令落地前的临界阶段集中调整产品结构，导致整改、停产或下架等风险在短期内集中暴露，使绿色转型过程中的资源配置空间被显著压缩。

与此同时，**企业在战略层面普遍存在系统性不足**，将生态设计理解为材料替换、生产减排或单项指标优化，而缺乏基于全生命周期的综合判断。由此造成环境负荷在不同环节间被动转移，例如绿色材料提升回收复杂度<sup>6</sup>、制造减排但使用能耗上升<sup>7</sup>等。局部改进难以形成整体环境绩效提升，也难以满足产业链对生命周期碳足迹与综合环境影响的多维审查，使企业在绿色竞争中持续处于被动位置。

**战略视角的系统性不足在组织层面进一步表现为协同缺失**。各部门通常依据自身职责设定绿色供应链、绿色制造、绿色服务、绿色设计等分散目标，但缺乏企业层面的整合与方向统一，导致内部目标之间出现不一致甚至相互牵制。例如采购强调绿色材料，却未与制造工艺能力匹配；研发关注轻量化，却与售后提出的耐用性目标冲突。在缺乏系统性战略牵引的情况下，各部门举措难以形成合力，甚至相互抵消，使生态设计难以演化为支撑长期竞争力的关键能力。

注 [6] UNEP. Everything you need to know about plastic pollution. 2023.

注 [7] European Environment Agency. Microplastics from textiles: towards a circular economy for textiles in Europe. 2022.



(图3) 生态设计战略缺口引发的政策风险与系统性失效

## 3.2 目标层面

### 单指标导向的局限性与多维环境价值缺口

在“双碳”目标成为国家级战略的背景下，企业普遍将碳排放作为环境管理的核心指标。然而，过度聚焦碳的管理方式正在造成一种新的盲点——碳隧道效应（“Carbon Tunnel Vision”）。当企业将全部资源与管理体制集中于减碳时，水资源消耗、污染排放、生物多样性损失等其他关键环境影响却被忽视。企业的环境表现因此呈现出显著的不平衡。

这种**单一目标驱动模式带来了不可忽视的负荷转移风险**。某项替代材料虽然碳足迹更低，却可能导致更大的土地利用压力<sup>8,9</sup>；新能源技术降低了使用阶段的“零排放”，却造成了原材料开采过程中的淡水生态毒性和对当地脆弱生态的破坏<sup>10</sup>。看似通过“低碳”达成了绿色目标，但实际环境价值并未提升。

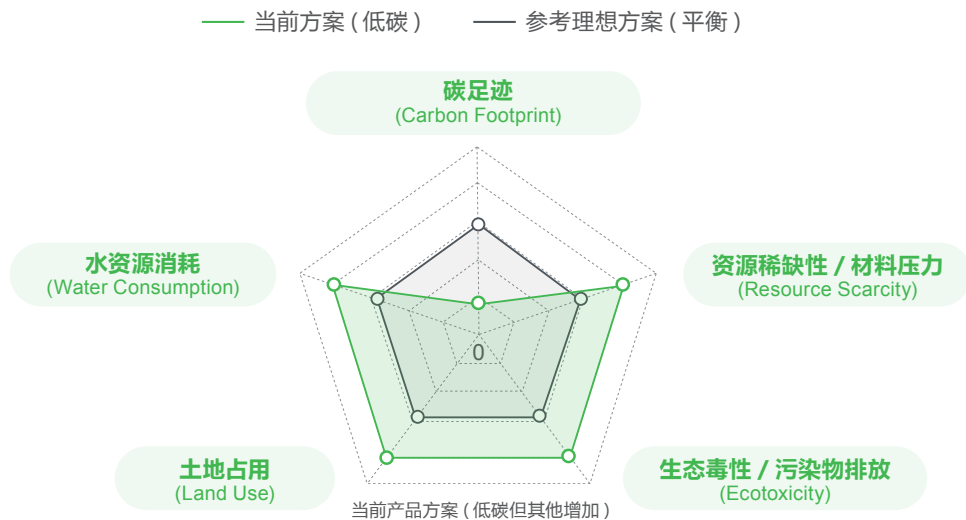
与此同时，**全球产业链正在从“低碳要求”走向“多维环境要求”**。越来越多的品牌、制造商与采购方开始要求供应链企业披露全生命周期环境表现，而非单一碳数据。这意味着单碳导向不仅无法支撑“卖得更多”，甚至可能成为供应链合作中的障碍。

注 [8] Bishop, G.; Styles, D.; Lens, P. N. L. Environmental Performance Comparison of Bioplastics and Petrochemical Plastics: A Review of Life Cycle Assessment (LCA) Methodological Decisions. Resources, Conservation and Recycling 2021, 168, 105451.

注 [9] Zheng, J.; Suh, S. Strategies to Reduce the Global Carbon Footprint of Plastics. Nat. Clim. Chang. 2019, 9 (5), 374–378.

注 [10] United Nations Conference on Trade and Development. Commodities at a Glance: Special Issue on Strategic Battery Raw Materials; Commodities at a Glance; UN, 2020.

从消费者角度看，新一代消费者对绿色真实性敏感度更高。**片面的环境宣称容易被质疑为“伪绿色”或“漂绿”行为**。当消费者无法确信产品的真实环境价值时，他们便不愿为之买单，导致企业无法获得关键的绿色溢价。目标设定的单一性，从根本上削弱了企业构建绿色溢价的能力。



(图4) 低碳目标下的产品环境负荷转移

### 单一碳指标导致的环境判断偏差

生态设计是在产品基础设计之上的绿色绩效“加分项”，随着技术进步和跨境贸易政策的引导，生态设计的要求也逐步提升，部分生态设计要求预计成为更高准入门槛的“绿色采购体系”的基本要求，比如产品能效指标、碳足迹、有害物质限值、再生材料含量等，这些量化指标易于区分，容易成为产品市场准入的门槛。

—— 南德认证检测(中国)有限公司 北亚地区可持续发展部负责人 Prabhu Ramkumar

### 碳隧道效应的形成机制

从我们的行业调研和观察来看，“碳隧道效应”在中国企业（甚至是全球企业）普遍存在且较为突出。这主要是源于阶段管理和政策导向，在“双碳”目标的强力驱动下，大量政策、资金与考核指标都聚焦于碳排放，客观上引导企业将环境管理的重心几乎全部置于减碳。这种聚焦在初期具有必要性，但也的确导致了系统性视野的缺失。

单一目标的过度强化，必然伴随其他环境负荷被忽视甚至转移的风险，例如片面追求减碳可能忽略技术和产品对局地水安全与生物多样性的潜在影响。因此，未来企业环境管理必须避免这种“按下葫芦浮起瓢”的现象，推动从“单点减碳”迈向“多维度协同增效”的系统转型。

—— 北京大学 城市与环境学院 刘刚 教授



## 3.3 机制层面

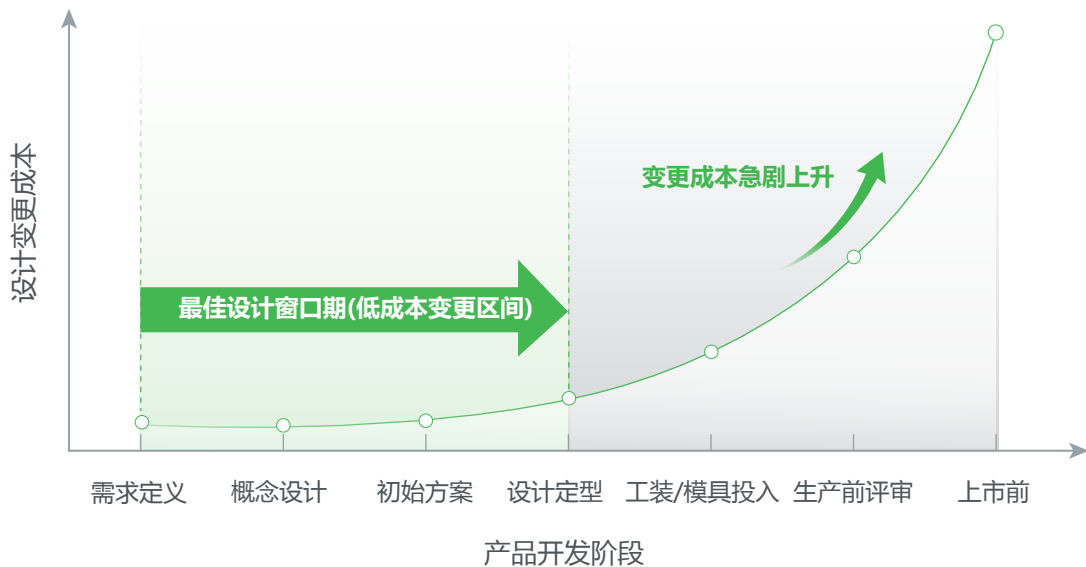
### 评估后置导致设计窗口期错失与流程错位

**生态设计的核心在于“设计即决定环境影响”。**然而，在大量企业中，环境影响评估工作仍然被安排在设计基本完成之后，甚至在产品定型阶段才开展。这种“后置评估”的机制是生态设计失效的根本原因之一。

当设计方案、材料清单、供应商体系已经固定时，设计团队已失去了进行低成本变更的窗口期，任何环境评估所揭示的问题都难以推动真正的调整。设计变更意味着工艺变更、模具改造、供应链调整甚至重新认证，带来成倍增加的成本与周期<sup>11</sup>。面对高昂的工程变更成本与资产沉没风险，企业难以仅为长期生态指标而推翻既定的量产方案。这种流程上的结构性错位，导致生态设计往往局限于后端的边缘性修补，难以真正内化为驱动产品创新的核心机制。

此外，后置评估使企业无法提前识别政策风险。当某一材料即将被纳入限制清单，或某类结构设计将受到新的法规限制时，企业往往在产品开发的后期才意识到问题，从而产生商业风险。

这种本末倒置的流程，使得企业错失了在低成本阶段优化产品的机会，无法通过早期的多方案比选来实现成本与环境的双重最优，使生态设计难以成为确保产品“能卖与持续能卖”的有效手段。



(图5) 生态设计的关键窗口期——设计阶段与变更成本关系

注 [11] Gregory Tassey. The Economic Impacts of Inadequate Infrastructure for Software Testing; National Institute of Standards and Technology: Gaithersburg, MD, USA, 2002.



### 产品环境影响评估的决策支持功能缺位原因

在我们的研究中可以看到，中国企业在将产品环境影响评估用于生态设计时面临的核心结构性问题，并不在于具体方法本身是否成熟，而在于缺乏使环境影响评估能够在设计决策过程中产生实质性贡献的基础条件。在多数企业实践中，环境影响评估仍更多被视为分析性、事后核算的工作，其中以生命周期评价（LCA）为代表的方法，尚未真正嵌入产品设计决策的意图与流程。

首先，设计阶段的数据基础普遍薄弱。很少有企业能够提供超出工厂级或能源级的数据支撑，而直接影响设计决策的材料级、工艺级和结构级数据明显缺失。与此同时，供应链环境数据分散且缺乏可追溯性，使企业在开展环境影响评估时高度依赖通用数据库或假设参数。这在很大程度上削弱了评估结果对具体设计方案的适用性，也限制了其在方案比较、材料选择和结构优化中的决策支持价值。

其次，产品环境影响评估在实际流程中通常仍然作为一种“后置工具”存在。由于其主要功能被限定在合规、披露或报告层面，相关评估工作往往在设计方案已基本冻结后才被启动。此时，材料体系、结构路径和关键设计决策已难以调整，环境评估往往处于相对孤立的状态，无法参与方案选择、材料取舍或结构优化等最关键的设计步骤，环境信息也难以转化为具有约束力的决策边界。

第三，从方法应用层面看，现有产品环境影响评估与真实设计行动之间的衔接仍然不足。在以 LCA 为代表的评估实践中，材料替代、结构优化和工艺调整等不同类型的设计变化往往未被清晰区分和拆解，导致评估结果难以精准反馈具体工程决策。这容易出现“设计已完成，但环境绩效改善并不明显”的情况。生态设计的成效无法得到有效证明，企业也因此难以形成持续投入的动力。

—— 复旦大学 环境科学与工程系 王玉涛 教授



## 3.4 决策层面

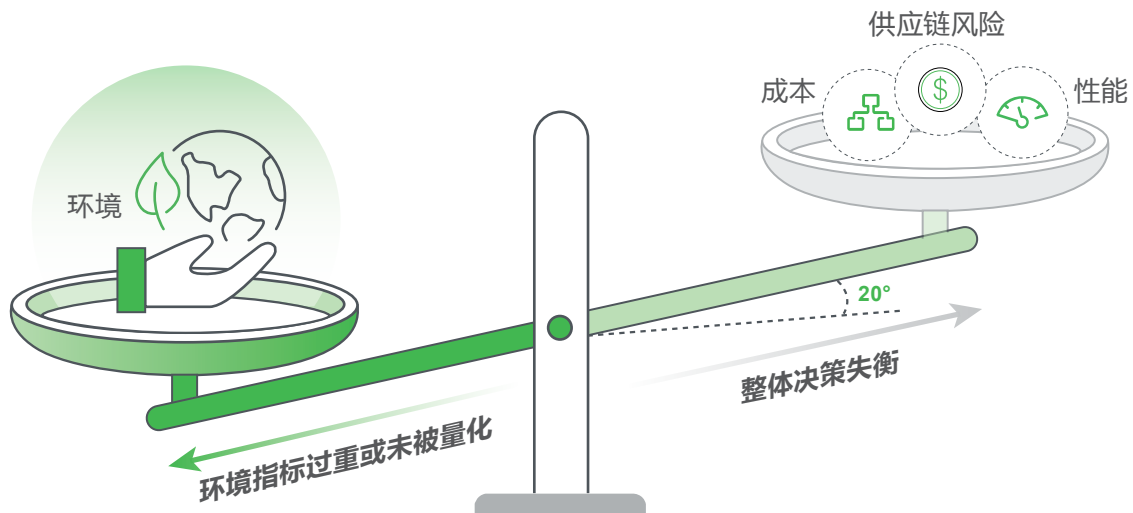
### 多目标决策失衡削弱绿色创新商业可行性

在生态设计实践中，**绿色创新不仅需要环境专业能力，更依赖严谨的商业可行性评估**。然而在许多企业内部，绿色相关项目的决策过程仍缺少量化分析支持，往往依赖愿景驱动或经验判断。缺乏系统性的多目标决策框架，使企业难以在环境绩效、成本、供应链可行性和运营效率之间进行科学权衡，绿色项目因此容易陷入成本预期不确定、落地风险不可量化的困境。

在缺少量化模型的情况下，企业无法明确评估材料替代对成本结构的真实影响，也难以比较不同设计方案在生命周期碳排放、资源消耗、可回收性、供应链风险等维度上的综合表现。结果是，一些绿色创新在技术上具有潜力，但由于无法清晰呈现商业价值，其推进过程往往受到质疑。诸如引入自动化、自给化或本地化生产的绿色工厂模式，虽然理念前瞻，但在缺乏成本—效益测算与风险评估的前提下，容易在运营阶段遭遇成本压力，导致难以长期稳定运行<sup>12</sup>。

更深层的影响是，这种**“绿色直觉”的决策方式会侵蚀组织内部的信任**。当绿色项目不断投入资源却难以产生可见回报时，决策层与业务部门不得不重新审视“生态设计是否值得投入”。绿色理念因此被误读为成本负担，生态设计从战略议题退回为边缘化项目，组织推动绿色创新的动力随之减弱。

如果生态设计无法通过多目标量化决策展示其商业合理性与盈利潜力，它就难以被视为企业的增长引擎。决策体系的失衡不仅造成研发与运营资源的浪费，更阻碍企业构建可持续竞争力。**缺乏明确价值支撑的绿色创新难以持久，也难以实现企业期待的“持续可卖”与“长期增长”的战略目标**。



(图6) 缺乏多目标权衡机制导致的生态设计决策失衡

注 [12] adidas deploys Speedfactory technology at Asian suppliers by end of 2019 - adidas Group. 2019.

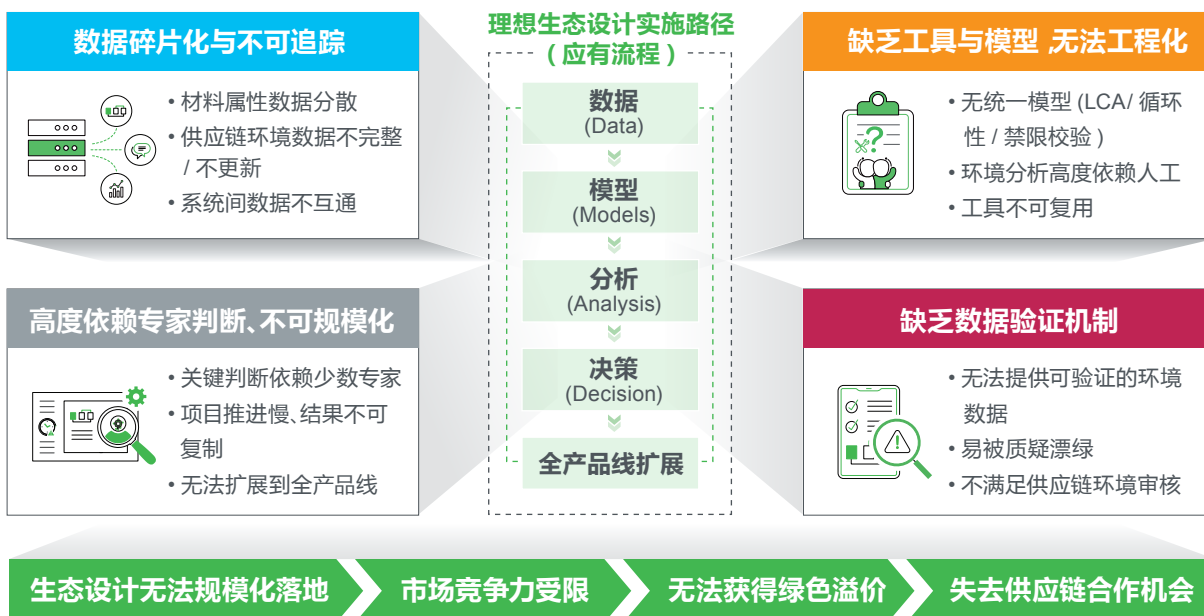
## 3.5 实施层面

### 数据与工具体系薄弱制约生态设计规模化

生态设计的有效实施本质上是一项以数据和模型为基础的系统工程，需要全面且可追踪的材料环境属性数据、供应链环境影响数据以及生命周期分析模型作为支撑。然而在多数企业中，这些关键基础能力尚未形成体系化建设。供应链环境数据通常分散在不同环节与系统之中，质量不一、更新不及时，且难以在设计、采购、制造等系统间流通，无法为生态设计提供一致且可验证的数据基础。

在数据不完整、工具体系缺位的情况下，生态设计的关键分析工作高度依赖少数专家的经验判断，而难以形成标准化、可复制的方法路径。这不仅导致项目推进效率低下，也使企业无法在全产品线建立一致的绿色评估体系。缺乏工具化和模型化的分析能力，使生态设计无法从单个产品试点扩展为企业级能力，规模化落地的可能性因此受限。

数据能力的薄弱正在直接影响企业在市场中的可信度。全球产业链对环境数据透明度、可验证性和生命周期证据的要求快速提升。企业若无法以量化数据支撑其绿色特性，将在供应链审查中面临不利位置。而在消费端，缺乏可证实的环境价值更容易引发对绿色宣称的质疑，增加“漂绿”风险，使产品难以获得绿色溢价，影响“卖得更好”的市场表现。更重要的是，缺乏工具与模型的实施体系还限制了企业快速响应市场变化的能力。当每项生态设计判断都依赖专家逐案评估，企业难以进行规模化迭代，也难以在更广泛的产品组合中普及生态设计原则。这种执行能力的不足，使生态设计难以转化为推动销量增长和产品普及的系统性驱动力，限制了企业在绿色转型中的竞争优势。



(图7) 生态设计在执行层面的实施障碍



### 数据与工具条件对生态设计实施的制约

从我们认证实践来看，企业往往缺乏环境足迹量化的经验和能力，开展产品环境足迹研究是企业梳理供应链信息，识别生态设计薄弱点与重点，获得产品整体环境影响评价的良好途径，这导致许多企业在满足生态设计要求时缺少抓手，未能做出最符合自家产品的决策。另外，从我们认证实践来看，材料证书不完整或不可验证，BOM清单的颗粒度不够细，导致企业难以识别受关注物质或再生材料。

—— 南德认证检测(中国)有限公司 北亚地区可持续发展部负责人 Prabhu Ramkumar



# 4 中国生态设计的 实施框架



# How to make it work?

## 企业如何构建一套真正可执行的生态设计体系

生态设计只有在战略、目标、流程、决策和工具形成闭环时，才会从理念变成能力。本章提出一个可执行、可复制、可规模化的完整实施框架，帮助企业把生态设计变成长期竞争力。生态设计实施框架需要具备以下五项核心特征。

- 前瞻性：主动预判政策、技术与市场趋势并提前布局。
- 全面性：以生命周期视角统筹多类别环境影响。
- 嵌入式：将生态设计目标前移并嵌入产品开发关键流程。
- 可行性：实现环境价值、成本、技术与供应链之间的综合平衡。
- 可规模化：以方法化、数字化、标准化体系实现组织内持续复制与推广。

## 4.1 战略层面

### 构建前瞻性的生态设计战略管理机制

**生态设计要实现有效落地，关键在于构建前瞻性和系统性的战略管理机制。**若战略层面缺乏趋势洞察与整体统筹，企业往往陷入被动响应，生态设计也难以形成一致行动或长期竞争力。因此，战略管理机制应从趋势洞察、战略统筹和跨部门治理三方面展开。

首先，企业需要从应对式管理转向主动规划，通过系统化地监测国际政策趋势、行业转型方向和竞争对手生态设计动作，提前界定未来三至五年的生态设计重点。例如，对于材料禁限、可拆解性要求、数字产品护照、碳足迹门槛等新兴监管议题，企业应在政策正式落地前就完成路线判断和预案制定。趋势洞察机制的价值在于前移风险窗口，让产品在政策变化前即具备合规能力，从而避免频繁整改、库存损失或失去市场准入。

其次，生态设计战略不能停留在材料替代或生产减排等单点优化，而应覆盖从产品研发、供应链管理、运营制造到市场营销与商务拓展的全流程。这需要企业将生态设计纳入年度经营指标、研发目标绩效、产品开发流程中的关键评价节点，确保其成为企业运营的主线程之一。例如，施耐德电气提出“100%新产品采用生态设计方法”<sup>13</sup>，飞利浦设定“2025年所有新产品符合生态设计”<sup>14</sup>，沃尔沃集团要求业务单元对环境绩效承担责任<sup>15</sup>。

注 [13] Schneider. Sustainability Impact Results Q2 2025; Schneider.

注 [14] 2023 Annual Report; Royal Philips, 2023.

注 [15] 2023 Annual Report; VOLVO GROUP, 2024.

最后，生态设计天然跨职能议题，依赖研发、设计、采购、制造、质量与可持续团队之间的数据共享与协同决策。企业需要建立常设的生态设计委员会或跨部门专项小组，明确职责分工、决策流程和资源配置机制，确保战略要求能够被转化为可执行的行动计划。只有治理机制稳定成熟，生态设计才能在组织内形成可持续推动力，而非依赖个别部门或个体的推动。

前瞻性的生态设计战略管理机制是整个体系的起点。它既决定企业的视野高度，也决定组织能否形成合力，更关系到生态设计能否从被动响应转变为驱动产品创新与长期竞争力的战略能力。

## 4.2 目标层面

### 建立全周期、多类别的环境目标体系

**在明确了战略层面的前瞻性与统筹机制之后，生态设计在目标层面需要建立全面、科学、系统的环境目标体系。**一个错误或片面的目标体系不仅会误导设计方向，还可能造成环境负荷转移，使企业看似“绿色”但环境影响实际上加剧。因此，企业必须从“单一碳指标”转向“全生命周期、多环境影响类别”的完整目标体系。

首先，多指标的环境管理是生态设计的必然要求。除了碳排放，企业还必须关注水资源消耗、空气与土地污染、生物多样性影响、化学物质风险、稀缺资源使用及循环性等关键环境维度。尤其在国际供应链的要求之下，多指标评估正在成为行业标配。

其次，环境目标必须基于整个产品生命周期，而非仅关注生产阶段。企业需要以全生命周期视角设定目标，将原材料提取、制造、运输、使用到报废各阶段的环境影响纳入评估，并确保目标不会导致负荷转移。只有在生命周期视角下，企业才能识别产品真正的环境热点，从源头上引导设计方向。施耐德电气投入大量人力与时间，对全球电子电器产品的政策、法规及标准进行了系统的结构化梳理，将环境及生态设计目标进行整合，用于全面评估相关产品设计。

在实践中，这往往要求企业对分散在不同地区、不同法规体系中的环境要求进行系统化整合，将政策、标准与内部设计目标统一到同一目标框架中。例如，施耐德电气投入大量人力与时间，对全球电子电器产品相关的政策、法规及标准进行了结构化梳理，并将其转化为统一的环境目标与生态设计指标，用于全面评估和引导产品设计。



### 基于生命周期的多指标环境目标体系

随着碳排放系数系统的成熟和加强，碳指标逐渐成为企业环境规划中最量化、可比和易于管理的核心指标。虽然这种基于单一指标的管理逻辑使我们能够在短期内快速找到减排路径，但它在结构上降低了对其他重要全球环境影响的能力，如水资源使用、土地占用、生态毒性和生物多样性，并增加了环境影响在媒介、地理和生命周期层面之间传播的可能。

研究表明，一些碳减排策略和材料并不总是能推动环境性能的改善。例如，低能耗材料在使用时可以降低碳排放，但往往面临回收挑战；生物基材料在碳指标上更有效，但可能增加土地压力和环境风险；某些回收材料在分类或加工时增加了能耗和污染

这些现象表明，单一的碳指标无法捕捉到在环境层面上复杂的权衡。随着全球供应链、环境治理系统和环境政策开始向多维环境性能转变，单一碳导向的管理模式在未来将不可持续。建立基于整个生命周期和多指标协作的环境管理和生态设计系统是实现中国企业长期绿色转型的关键路径。

—— 复旦大学 环境科学与工程系 王玉涛 教授



## 4.3 机制层面

### 构建前置化的生态设计流程体系

生态设计能否真正实现其价值，取决于它能否在设计决策的关键节点上发挥作用。许多企业把环保评估安排在设计完成后，导致生态设计只能作补救，无法影响产品方案本身。因此，企业必须构建一套“前置化”的生态设计机制，让环境因素在真正可改变的阶段介入设计。

第一，**前移决策，让环境约束成为早期设计的输入**。生态设计应在需求定义、概念设计与材料选型阶段介入，而不是在结构已固定、模具已投入后再作评估。通过在早期明确绿色目标、材料范围与禁限清单，企业可以确保环境因素在方案对比、架构决策与工艺路线制定中发挥实质影响。

第二，**管理关键窗口期，在核心节点锁定绿色参数**。企业需要明确产品开发过程中的关键节点，包括概念锁定、设计冻结、供应商选择等，并在每个节点设定生态设计的必达条件。例如，在方案锁定前必须完成可回收结构评估，在设计冻结前必须完成材料禁限校验。这种窗口期控制机制能有效避免后期变更带来的高昂成本。

第三，**标准化执行，让生态设计成为强制性流程而非可选项**。通过绿色设计清单、环境热点模板、可回收性指南、材料选择卡等标准化工具，企业可以确保不同团队在一致的框架下执行生态设计。标准化机制不仅提升效率，也提高可复制性，使生态设计从依赖专家的实践转变为组织的基本能力。

## 4.4 决策层面

### 建立多目标权衡的绿色决策体系

**生态设计的成败在很大程度上取决于企业是否能够基于数据做出绿色决策。**如果决策基于直觉、热情或传统经验，很容易导致绿色项目成本失控、商业不可持续。因此，企业必须构建数据驱动的绿色决策体系。

首先，企业需要建立一套完整的**绿色决策数据框架**。该框架应包括环境数据（如概念产品的全生命周期、全类别环境影响评估结果）、成本数据（包括材料、工艺、生命周期成本等）、性能数据、供应链环境数据、可回收性数据以及潜在风险数据等。只有在完整的数据基础上，企业才能实现真正的多维度综合评估。

其次，企业需要**以模型驱动决策**，而不是以经验驱动决策。这就要求企业明确设计与环境、成本之间的作用机制，构建一系列基于工程参数的决策模型。这些模型通过统一的参数结构，将不同设计方案转化为可比的数字化结果，使环境参数不再是后验信息，而成为设计阶段的即时反馈。例如，通过对材料密度、壁厚、加工方式等关键参数的结构化建模，企业可以直接评估不同材料组合在碳排放、污染物排放、化学风险、能耗表现和材料成本上的变化趋势；通过调整连接方式、模块化程度或部件数量，模型可以实时计算方案在可回收性、装配能耗和供应链风险上的变化。这使环境指标从原本的管理工具转化为设计工具，真正产生作用的时间点从产品完成后移到设计最初阶段，也意味着优化空间显著扩大、成本影响最小、创新可能性最大。

最后，绿色决策过程需要**透明化、可记录、可审计**。企业必须建立绿色决策的记录体系，让每一次关键选择都有数据依据、有文档记录，并允许未来复盘。这不仅提高管理透明度，也能提升组织对生态设计的信任度，使绿色决策不再被视为随意或感性的判断。

## 4.5 实施层面

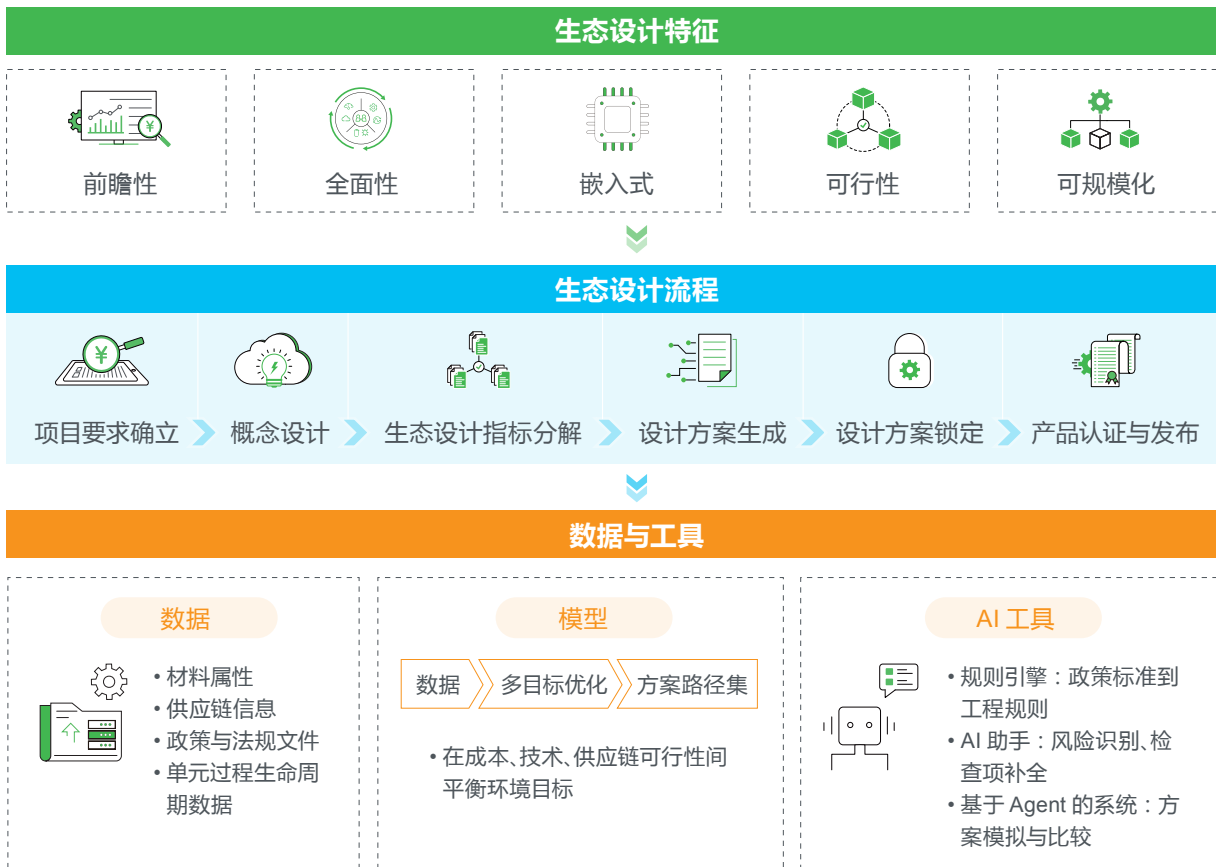
### 搭建数智化的生态设计工具与平台体系

生态设计的有效落地依赖于稳定的数据体系与可靠的工具能力，而当下许多企业仍面临数据分散、工具不足、过度依赖专家经验等问题。这不仅使生态设计难以规模化，也削弱了绿色属性的可信度。通过数字化与智能化构建工程化底座，是解决这些结构性问题的关键路径。

**数字化首先构建生态设计的数据基础。**通过将材料环境属性、法规要求、供应链数据等离散信息进行结构化整合，企业能够建立统一的数据底座，使设计团队在方案阶段即可实时获取环境影响数据，实现从事后核算向方案伴随计算的转变。数字化不仅提升效率，也为产品的绿色声明提供可验证的证据链，避免因数据缺失而引发漂绿风险。

**智能化则在数据之上提供认知能力**，是解决传统生态设计主观性强、漏项风险高的关键。基于大语言模型的知识助手可以自动解析法规、标准和技术资料，将其转化为设计可执行的工程规则，减少因人工理解偏差带来的主观判断；同时，模型可以自动提示可能的风险点或遗漏项，帮助团队在材料禁限、可回收性要求或化学物质风险等方面避免缺项漏项，实现全面性校验。此外，进一步的基于大语言模型的智能体（Agent）能够在明确的参数与模型框架下自动执行方案对比、权重调整与优化建议生成，使生态设计成为标准流程（Standard Operating Procedure, SOP），在提高一致性和效率的同时显著减少人为决策差异。

数字化解决“数据从何而来、如何流动”的基础问题，智能化解决“如何理解、如何使用”的认知问题。两者结合，才能让生态设计真正具备可信性、可复用性与规模化能力，为生态设计的价值逻辑实现提供坚实支撑。



(图8) 生态设计实施框架

### 生态设计是一项贯穿战略、产品全流程与行业生态的系统性实践

生态设计真正做到位的企业，共同指向了从企业顶层战略、到产品全流程、再到行业生态的深度系统性实践，而非单一环节的改良。

首先，企业将可持续发展作为企业核心战略，而非短期营销；其次，生态设计理念贯穿产品全生命周期管理，在设计阶段系统考量整个生命周期对环境的影响，跟踪管理产品全流程包括原材料的获取、产品的加工直至产品废弃后的处置。再有，企业不仅自身践行，更通过赋能供应链、搭建行业平台，推动整体行业生态绿色转型。

生态设计做到位的企业，其本质是以设计为工具，重构了企业与客户、与供应链、与环境、与社会的关系，最终形成商业良性循环，创造出经济与社会价值的综合竞争力。

—— 中国质量认证中心产品六部认证管理部 邵争辉 部长

”

“

# 5 中国生态设计的 机遇与展望



# Where to go next?

## 面对未来，企业将迎来哪些机遇，又应如何提前布局

当政策前移、行业加速重塑、供应链门槛不断抬升，生态设计正在从合规要求变成战略机会。从产品，到系统，再到服务，企业所面对的竞争维度正在发生深刻变革。本章将从机遇与未来方向切入，帮助企业在不确定的时代找到下一阶段的能力突破点。

## 5.1 机遇

### 中国生态设计的战略窗口

#### 5.1.1 政策机遇：从倡导性到全生命周期硬约束

中国生态设计的政策机遇来源于监管逻辑的结构性转折，即从激励式试点向全生命周期、可审计、工程化的硬要求演进。“十五五”规划提出加快经济社会全面绿色转型，并将源头治理明确为治污和降碳的重要方向，使环境治理从未端处理前移到产品定义、材料选择和结构规划等研发源头。在这一背景下，生态设计成为推动精准治污、控制新污染物风险、实现碳减排以及构建资源循环体系的核心抓手。

首先，**政策要求正在加速刚性化**。生态设计已不再是企业的自愿性行动，而是纳入循环经济促进法、固体废物污染环境防治法和生产者责任延伸制度等法律体系，成为产品许可、行业准入和碳足迹核算的基础前提。绿色设计示范企业、绿色工厂和绿色产品数量持续扩容<sup>16</sup>，显示监管正在将生态设计嵌入制造业主流程，使其成为影响产品持续上市能力的关键因素。

其次，**监管体系呈现显著的细致化趋势**。政策内容已从能耗和回收率等宏观指标，进一步深入到设计阶段的工程细节，包括材料禁限清单、再生材料比例、可拆解性要求和结构优化规范。未来政策方向将继续向工艺路线、材料路径和数字化审计等可执行层面延伸，倒逼企业在研发阶段具备工程化、可计算、可验证的生态设计能力，使过去的方向性倡导转化为可操作的标准化要求。

再次，**政策目标已经从单点要求扩展为全生命周期管理**。监管不再仅限于绿色材料或绿色制造，而是覆盖设计、制造、物流、使用和回收再生的全过程减排与循环要求。生命周期评价、产品碳足迹、梯次利用和再制造路径等工具全面纳入政策框架，推动企业从局部合规走向系统优化，形成跨部门、跨工艺和跨产业的生态设计能力体系。

注 [16] 携手迈向生态友好的现代化——习近平生态文明思想对全球可持续发展的理论贡献与实践引领；新华社国家高端智库学术委员会：北京，2025。

最后，**生态设计监管正向高度透明化推进**。数字产品护照、碳足迹核算体系以及生产者责任数字监管的落地，使生命周期数据逐步成为供应链准入和国际贸易的审计依据。企业需要构建材料数据库、碳数据管理体系和产品级追溯能力，从而适应“可追溯、可验证、可审计”的监管环境。透明化要求不仅提高了生态设计的门槛，也为具备数字化能力的企业带来显著先发优势。

总体来看，中国生态设计政策正在形成以刚性化、细致化、全面化和透明化为特征的系统化要求。企业越早在研发流程、供应链管理和数字化体系中构建全生命周期生态设计能力，就越有机会以较低成本形成长期竞争优势。随着政策体系持续成熟，能力差距将进一步固化，当前窗口期将逐步收窄，生态设计从机遇转向合规压力的转折也将随之到来。

### 减污降碳协同导向下的环境目标体系

当前双碳战略稳序推进，环境管理思路不再是“只顾污染不顾碳”或者“只顾碳不顾污染”，而是充分考虑到碳排放和环境污染物高度同根同源的特征，全面实施减污降碳协同增效，统筹推进污染物减排与温室气体排放协同控制，这不仅是企业未来发展面临的重大机遇，也是促进经济社会发展全面绿色转型、推动生态环境质量改善由量变到质变的重要抓手。

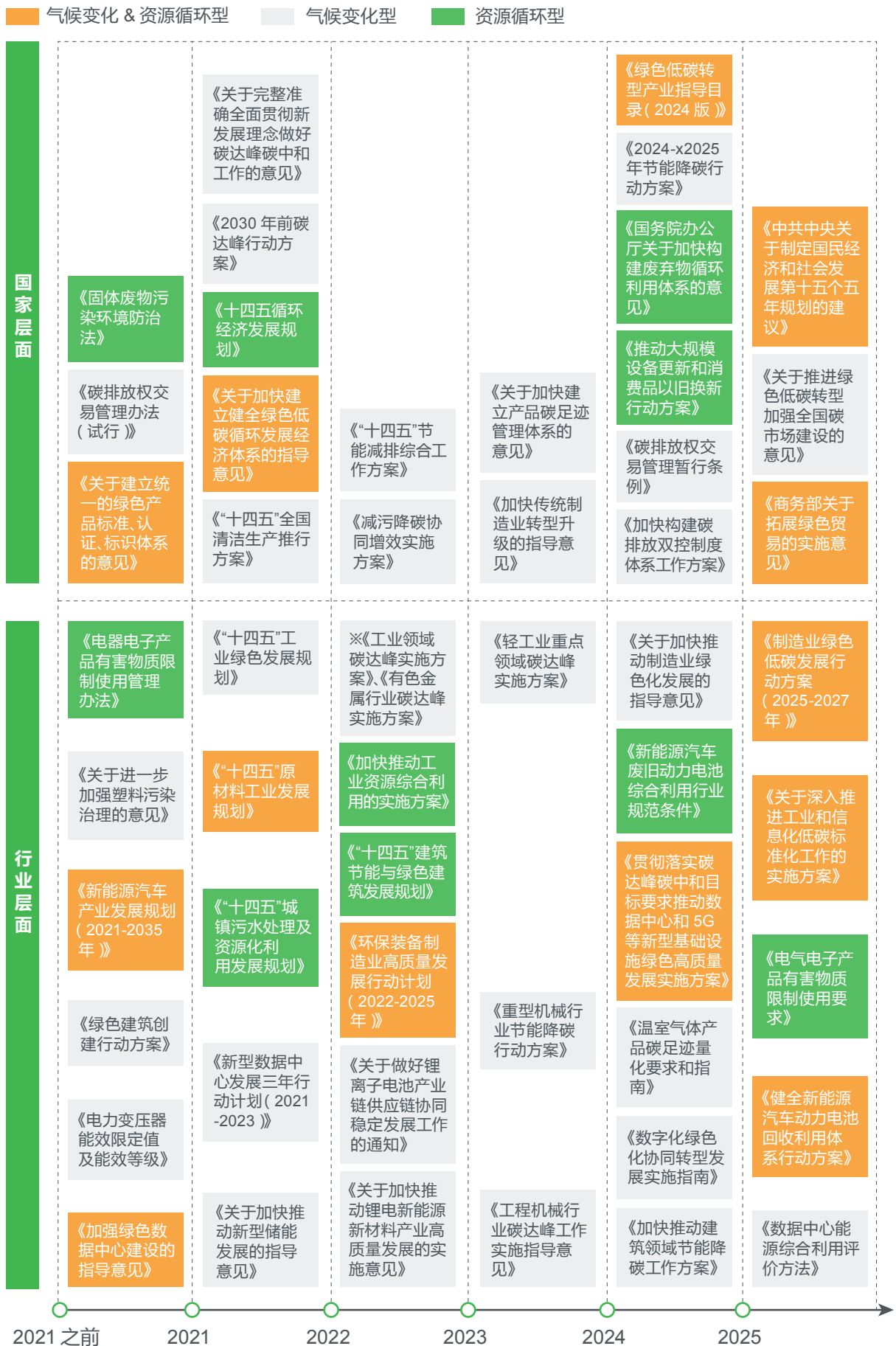
—— 中国环境科学研究院 环境管理研究中心 谢明辉 主任/研究员

### 生态设计全生命周期管理与供应链协同趋势

“十五五”期间，产品生态设计监管的一个重要技术趋势是以“碳排放双控”为核心牵引，构建覆盖原材料、生产、流通等全生命周期管理体系，并利用产品碳足迹标准、碳标识认证等市场化工具应对国内“双碳”目标落实要求与国际绿色贸易新规则。

另一个重要技术趋势是推动产业链与供应链的绿色化协同。生态设计范围从单个企业扩展到整个产业链与供应链，上下游企业在生态设计、循环利用等方面开展协作，在供应链上传递生态设计信息的数字化追溯体系将发挥重要作用。

—— 中国电器工业协会 滕云 正高级工程师



(图9) 中国生态设计政策与产业行动的演进

### 5.1.2 行业机遇：从单点合规到体系化升级

与政策端要求的全面前移相呼应，**重点行业的生态设计正在从被动合规转向主动创造增量价值。**行业正在经历三个方向的深度重构。技术标准加速前移到产品定义和结构设计环节，产业链逐步从线性模式走向闭环协同体系，基础设施体系向低碳化和循环化演进。在这一共性趋势之下，不同行业的路线、节奏和约束条件高度分化，为企业创造了差异化的能力窗口。

电子电器行业正在从单一能效指标向**可循环体系**设计迈进。行业重点从节能扩展至模块化拆解、接口标准化、材料禁限管理和再生材料使用。随着生产者责任延伸制度深化，可维修性和材料替代路径成为设计起点，具备平台化架构、设计复用能力和材料数据库体系的企业将获得显著先发优势。

新能源产业（光伏、风电）正从装机规模导向过渡到**提质增效**阶段，并呈现出独特的中国式生态设计路径。制造端在材料选择、结构解耦和稀有金属循环上前移设计能力，以应对退役潮和产品碳足迹要求。应用端在土地利用、生态治理和产业振兴方面形成复合型模式，例如光伏治沙、渔光互补和矿区新能源，通过多场景耦合实现生态修复与产业升级的同步推进。未来具备材料可循环化、环境友好型和空间协同能力的设备与系统，将成为行业的新准入标准。

新能源汽车与锂电池产业正以**动力电池循环体系**和**整车碳管理**为核心开展新一轮竞争。整车企业需要通过轻量化、可拆卸模块化和材料替代，在设计端提前预留梯次利用和再生利用空间；电池企业则需在初始设计阶段实现再生金属占比、碳足迹核算和寿命安全等约束的工程化。能够将设计、制造、使用、梯次和回收打通为闭环体系的企业，将在全球供应链中形成结构性枢纽地位。

其他关键行业也在形成各自的生态设计赛道。数据中心从 PUE 管控转向液冷、余热利用和绿电消纳的一体化能源节点设计；电力设备行业在介质替代、再制造和寿命管理方面同步前移标准；采矿和冶金行业将无废开采、尾矿利用和生态修复纳入项目源头；建筑行业围绕超低能耗建筑、装配式结构和全生命周期碳限额重构设计规范。

行业分化带来的核心机遇在于，**不同行业的生态设计要求和路线高度差异，而这正是企业构建独特能力边界和形成长期技术壁垒的关键窗口。**领先企业能够通过前移设计能力突破成本天花板、稳定供应链、跨越绿色贸易壁垒，并在价值链重构中占据更高端的位置。当前是能力塑造的窗口期，越早投入，越能在标准体系尚未定型时锁定先发优势；一旦行业路径固化，能力差距将被迅速放大并难以追赶。

■ 重要    ■ 中度重要    ■ 一般

行业	物质材料	包装和运营	寿命延长	能源效率	循环性	环境影响
传统电子电器	RoHS 限量	/	寿命	能效等级	回收利用率	/
新能源	/	/	设备寿命	百公里电耗	电池回收率	碳足迹
数据中心	/	绿电比例	/	PUE WUE 服务器利用率	/	碳排放
电力设备	/	气体泄漏率	寿命	能效等级	回收率	/
新能源汽车	再生材料使用占比	/	/	/	动力电池回收率拆解与梯次利用率	单车全生命周期碳排放
锂电池	再生金属含量	安全性指标	循环寿命	/	/	单位能量碳排放
电子及 3C	有害物质限值 零部件通用性	/	产品可维修性 指数	能效等级	回收率	/
采矿与冶金	/	污染物超低 排放达标率	/	单位产品能耗/ 碳排放	大宗固废综合 利用	矿山生态 修复率
石化	绿色产品占比	VOCs 泄漏率	/	/	园区资源循环 利用	单位碳排放 强度
水与环保	材料耐腐蚀性	/	/	设施能源自给率 装备能效	再生水利用率 资源回收率	/
建筑房地产	绿色建材应用 比例	/	/	建筑运行能耗 (超低/近零)	/	建材隐含碳排放 装配化率
制造与重工业	低碳材料	/	产品可拆卸性	可再生能源 比例	余热回收效率 可回收材料比例	产品碳足迹 过程排放控制

备注：依据政策相关性、供应链影响、利益相关者关注

(图10) 中国不同行业生态设计要求概览

### 中国生态设计监管的重点产品导向

2013年1月，工业和信息化部、发展改革委、环境保护部联合发布《关于开展工业产品生态设计的指导意见》以来，中国在生态设计监管端进行了长期探索，组织开展工业产品生态设计试点，编制重点产品生态设计标准，创建绿色设计产品，夯实生态设计基础，取得了积极进展。随着跨境贸易政策的变化，生态设计重要性进一步凸显。未来3-5年，中国生态设计监管有可能聚焦电器、汽车、电池等重点跨境贸易产品，整合碳足迹、再生材料等高关注信息，借助信息化工具，促进企业在设计端加大投入，提升产品生态设计水平。

—— 中国标准化研究院 高东峰 研究员

## 5.2 展望

### 中国生态设计的未来方向

#### 5.2.1 业务体系：从产品到系统与服务

随着全球环境监管的强化、关键行业绿色转型的加速以及企业竞争方式的结构化变化，生态设计正从产品层面的改良性行动，演化为决定企业中长期竞争力的核心业务体系。面向未来，生态设计在业务侧的演进将呈现三个层次逐步深化的方向。

在第一阶段，**企业需要实现以产品为中心的生态设计重构 ( Product-Centric )**。这一阶段的重点在于从源头避免环境风险并提升产品本体性能。企业需要围绕材料选择、结构设计、制造工艺、能效表现、可靠性提升、可维修性与可回收性等核心节点，建立可执行、可衡量的生态设计体系，使环境要求能够在产品定义与方案评审阶段前置考虑。通过构建产品级生态设计指标体系，将碳排放、资源消耗、有害物质、耐久性指标与具体技术参数建立定量映射，使研发团队能够在设计初期完成环境影响预测、多方案权衡和材料路径选择，从而确保产品具备稳定的合规性与市场竞争力。

在第二阶段，**生态设计的边界从产品本身扩展至系统层面 ( System-Centric )**。随着行业绿色需求的快速上升，企业在价值链中的角色正在从“产品提供者”走向“绿色系统解决方案提供者”。能源、电力、汽车、电子、建材、数据中心等重点行业，正在提出更高的能效要求、更智能的运行管理、更安全的材料体系和更完善的再制造能力。生态设计需要从单一产品性能优化走向跨模块、跨工艺、跨场景的系统化整合，涵盖产品模块化设计、生产工艺与供应链协同优化、数字化监控与运维平台建设、物流和回收体系整合等。企业通过构建以全生命周期绩效为核心的系统级解决方案，可以在行业生态中获得更高的战略地位，实现从产品价值向系统价值的跃迁。

在第三阶段，**生态设计将进一步嵌入企业的服务模式之中，形成以服务为中心的生态设计体系 ( Service-Centric )**。在全生命周期数据闭环与长期责任管理的基础上，企业逐步从一次性交易转向基于可持续绩效的 Product-as-a-Service ( PaaS ) 模式，由“卖产品”转向“提供长期可持续服务”。通过掌握产品在使用、维护、更新与退役过程中的关键数据，企业能够持续优化产品的耐用性、可维修性、可升级性与可回收性，使生态设计带来的环境收益直接转化为运营成本降低、服务稳定性提高与客户黏性增强。服务化是生态设计从“改善产品”发展到“改善全生命周期”的关键节点，其本质是通过延长产品价值周期、减少资源浪费和提升循环效率，实现生态价值与商业价值的长期耦合。

总体来看，**企业生态设计业务体系的将从产品本体的绿色性能提升，到行业绿色能力输出，再到基于生命周期绩效的服务化商业模式演化**。随着企业在三个层次不断深化生态设计能力，其竞争边界、组织结构与价值创造方式也将发生系统性变化。

### 企业生态设计先进实践的关键特征

在生态设计上表现先进的企业，通常具备这个关键特征：基于产品全生命周期的视角，关注产品利润的同时注重产品生态设计性能，在设计生产阶段就考虑到产品维护、修复、翻新和再利用等方面，并愿意为此提供相关配套服务。

—— 南德认证检测(中国)有限公司 北亚地区可持续发展部负责人 Prabhu Ramkumar

## 5.2.2 技术体系：从基础 AI 能力到智能体协作

随着生态设计覆盖的业务环节从研发延伸到制造、供应链、运维与回收，其数据规模、模型需求和流程复杂度快速提升，传统基于经验和人工判断的方式已难以支撑高频迭代与全生命周期优化。未来生态设计的技术体系建设将沿着两段路径演进：先在部门内部构建可调用、可集成的基础AI能力体系，再在企业层面发展能够跨部门编排数据与工具的智能体协作能力，实现整体化、智能化的生态设计流程。

**第一阶段是在部门内部构建基础 AI 能力体系。**生态设计的核心任务涉及大量结构化与非结构化数据，包括材料环境属性、工艺能耗、结构性能、供应商信息、质量与寿命数据、回收路径等。各业务部门需要对自身的数据、规则和工具进行数字化与模型化，使其具备被 AI 访问和调度的能力。研发部门需将结构模型、仿真工具和实验数据平台化；制造部门需将工艺路线、能耗数据和质量控制过程结构化；供应链部门需将物料清单、供应商环境数据与合规记录标准化；运维与回收部门需形成可追溯的全生命周期数据库。通过开放接口、统一数据格式、可调用的规则体系和可自动化的流程脚本，各部门能够形成人工智能友好（AI-ready）的基础条件，为生态设计提供可计算、可检索、可组合的技术底座。

**第二阶段是在企业层面构建跨部门的智能体协作（Agentic workflows）体系。**只有在各部门具备可被 AI 调用的数据与工具后，基于大模型（LLM）的多智能体系统才能发挥作用。智能体能够在生态设计逻辑规则框架下自动访问研发、制造、供应链和回收等不同部门的工具与数据库，形成端到端的生态设计编排能力——从设定生态化目标、生成备选方案、模拟环境影响，到识别材料与工艺风险、提出实验方案，再到输出制造策略与回收路径。智能体可以在不同环节之间调用已研发完成的仿真工具、工艺数据库、质量数据和供应链系统，使生态设计的各项分析与决策不再依赖人工整合，而成为自动化、连续化的智能流程。企业在设定产品目标与约束后，AI 可自动生成设计路径、提供实验方案和供应链选项，由工程师进行判断与确认。设计人员从大量重复的数据整合和计算工作中解放出来，专注于关键判断、边界校验与最终确认。

通过数智化生态设计技术体系建设，企业能够形成从“工具可被 AI 调用”到“流程可被智能体编排”的技术能力体系，使生态设计真正具备前瞻性、全目标、可嵌入、综合可行与可规模化的特征。在法规加速、产品复杂度提升与生命周期责任扩大的背景下，这一技术体系将成为企业能够持续开展生态设计的关键保障。

### 生态设计技术体系的结构瓶颈

生态设计迅速从“概念倡导”转变为“强制性要求”，但大多数公司的设计系统至今尚未完成这一转变。由于数据基础、工具系统和工程方法的限制，现有的生态设计仍然依赖于专家的经验，评估后改进甚少，因此生态设计难以真正嵌入设计过程，直到系统可计算、可复制和可扩展。

未来五到十年的主要突破将不是某个工具或算法，而是设计范式的全面迁移。人工智能生成的生态设计辅助工具将自动化部分过程，促进生命周期评估、材料选择和生态风险识别，从而从设计后验证分析过渡到“伴随计算”贯穿整个设计过程，将生态性能与成本、性能和安全性一起转变为与实时解决方案生成和参数优化过程共同存在的基本限制。同时，生态设计从产品导向的优化转向系统级、行业级和多场景协作框架，生态性能从产品本身扩展到最终产品组合、运营策略、应用场景和环境背景的完整结果。

此外，依赖静态标准与稳定假设的传统模式正逐渐失效，未来生态设计将转向基于实时数据与环境反馈的动态适应体系，成为企业绿色转型中的关键系统能力。

—— 复旦大学 环境科学与工程系 王玉涛 教授

### 生态设计的下一代技术范式

AI for Science、AI for Design对未来5-10年生态升级技术发展轨迹的至关重要作用，最终形成“产品生态系统数字孪生与AI协同设计”相辅相成的技术突破。这在材料筛选、研发和设计中已经得到体现，未来必将在更宏观尺度的生态设计中得以体现。类似技术平台将不是单点工具，而是融合多源生态数据（如地理信息、资源流动、碳足迹链）并嵌入设计流程的智能系统，包含动态数据底盘、AI伴随式决策、系统级耦合优化等，使生态设计从“合规工具”转变为驱动产品创新与系统减排的核心工程能力。到系统可计算、可复制和可扩展。

—— 北京大学 城市与环境学院 刘刚 教授

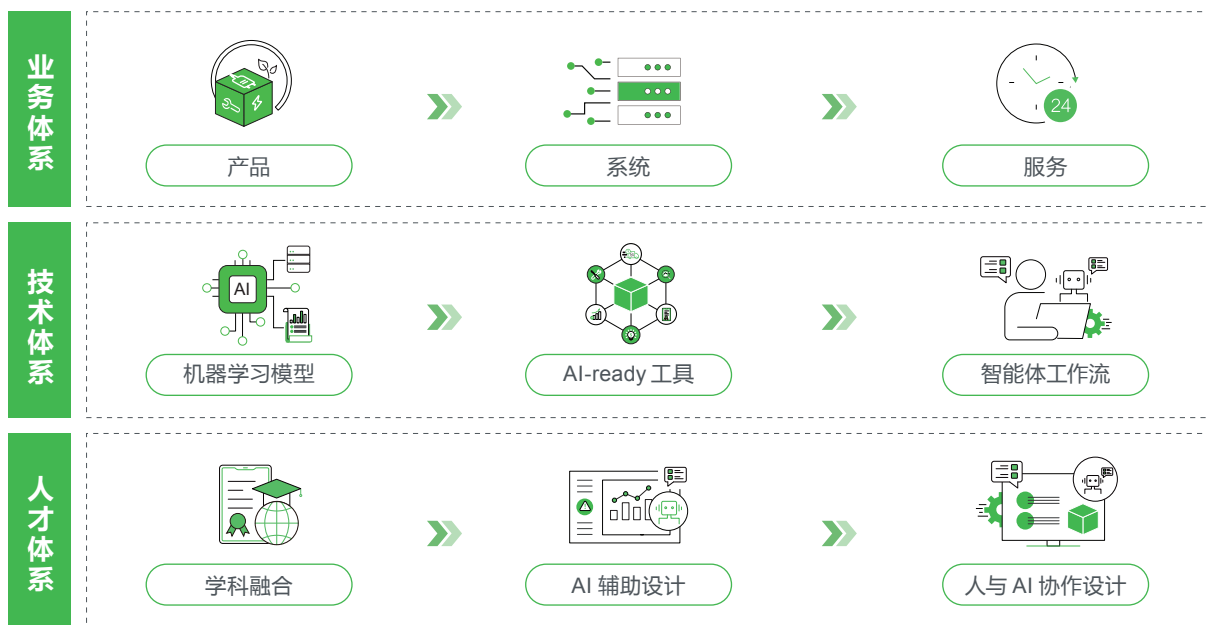
### 5.2.3 人才体系：从跨学科基础到 AI 协作能力

生态设计的系统性与智能化趋势，对企业的人才体系提出了显著高于传统工程能力的要求。未来的生态设计不仅依赖工具和平台，更依赖能够理解环境机制、工程逻辑与 AI 应用的人才。在智能体逐步参与企业日常工作背景下，人类角色并不会被完全解放，而是转向更加专业化和判断型的岗位，承担生态设计中最关键的知识输入、方向设定与结果校验责任。

首先，**企业仍需构建扎实的跨学科基础能力**。生态设计的核心知识涵盖材料科学、环境科学、系统工程、结构与工艺设计等基本学科，人才需能够理解材料替代的环境机制、工程结构的系统影响、工艺路径的能耗特征，以及产品生命周期各阶段的环境影响逻辑。这些知识不能由AI替代，反而在智能体参与后变得更加重要——因为AI生成的设计方案和预测结果需要专家进行边界判断、环境逻辑校验和跨情境推断。

其次，随着数据成为生态设计的关键生产要素，**企业需培养具备数据管理、模型理解、仿真分析与生命周期评价能力的**数据型人才。这类人才不仅要能运行工具，更要能够理解模型的适用边界、变量敏感性和不确定性来源，使生态设计决策能够在可解释的数据基础上进行。数据与模型能力将成为环境专业能力与工程专业能力之间的“连接语言”，支撑 AI 能力在企业内部的有效应用。

最后，在智能体参与日常工作之后，团队必须具备**与 AI 协作的能力**。这不仅包括提出可计算的问题、构建结构化输入、校验智能体输出结果等基础技能，还包括在企业内部建立可被 AI 理解的规则体系，使智能体能够真正基于企业的知识、流程与约束运行。人类在这一阶段承担的是“引导 AI、约束 AI、审查 AI”的职能：确定目标边界、识别潜在偏差、判断技术路径的可行性与风险，确保智能化流程在环境逻辑、工程逻辑与商业逻辑上保持一致。



(图11) 中国生态设计的展望

# 关于作者

## 清华大学环境学院

---



**徐明**

副院长  
碳中和讲席教授



**陈楚珂**

助理研究员



**王博翔**

研究助理

## 施耐德电气中国研究院

---



**李涛**

CTO办公室负责人  
高级技术经理



**刘果果**

中国生态设计技术经理  
环境技术高级专家



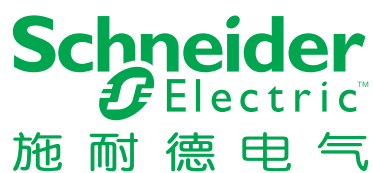
**王嘉宇**

生态设计&AI专家

# 致谢

本白皮书由施耐德电气与清华大学联合发布，并得到了国家重点研发计划《新能源产品生态设计数字标识与绿色供应链构建技术》（项目号：2023YFC3904500）的支持。同时，特别感谢施耐德电气全球高级副总裁兼能源管理业务全球首席技术官 Daniel Gheno 以及施耐德电气中国研究院各位领导在研究方向把关与撰写过程中给予的重要指导与支持，并感谢参与访谈与评审的行业专家为本白皮书提供的宝贵洞察。





施耐德电气（中国）有限公司  
Schneider Electric(China)Co.,Ltd.

北京市朝阳区望京东路6号  
施耐德电气大厦  
邮编：100102  
电话：(010) 8434 6699  
传真：(010) 8450 1130

Schneider Electric Building, No. 6,  
East WangJing Rd., Chaoyang District  
Beijing 100102 P.R.C.  
Tel: (010) 8434 6699  
Fax: (010) 8450 1130

2026年1月

©2026施耐德电气保留所有权。文中出现的施耐德电气产品商标为施耐德电气及其子公司和附属公司财产。文中出现的其他企业或品牌商标为其所有者财产。未经施耐德电气书面授权,不得以任何方式复制、抄袭、影印、翻译本文件的任何内容。凡转载或引用本文任何观点、数据等信息,请注明“来源:施耐德电气”。