

绿色制药ROI研究

电生科设计价值工程与绿色制药联合研究团队

日期: 2026-03-28 领域: 行业研究

核心摘要

核心挑战

传统财务评估无法量化绿色投资的真实回报，导致决策困难。

解决方案

构建“碳-能-财”一体化决策模型，将ESG目标转化为可计算的财务蓝图。

关键发现

工艺能效优化的财务回报率通常高于能源替代，是优先选择。

在“双碳”战略引领下，制药行业正迎来一场前所未有的绿色转型浪潮。然而，当高管们面对动辄数千万的节能改造预算或高达20% CAPEX溢价的可再生能源方案时，一个现实而迫切的问题随之而来：**这笔绿色投资的真实回报率(ROI)究竟是多少？**

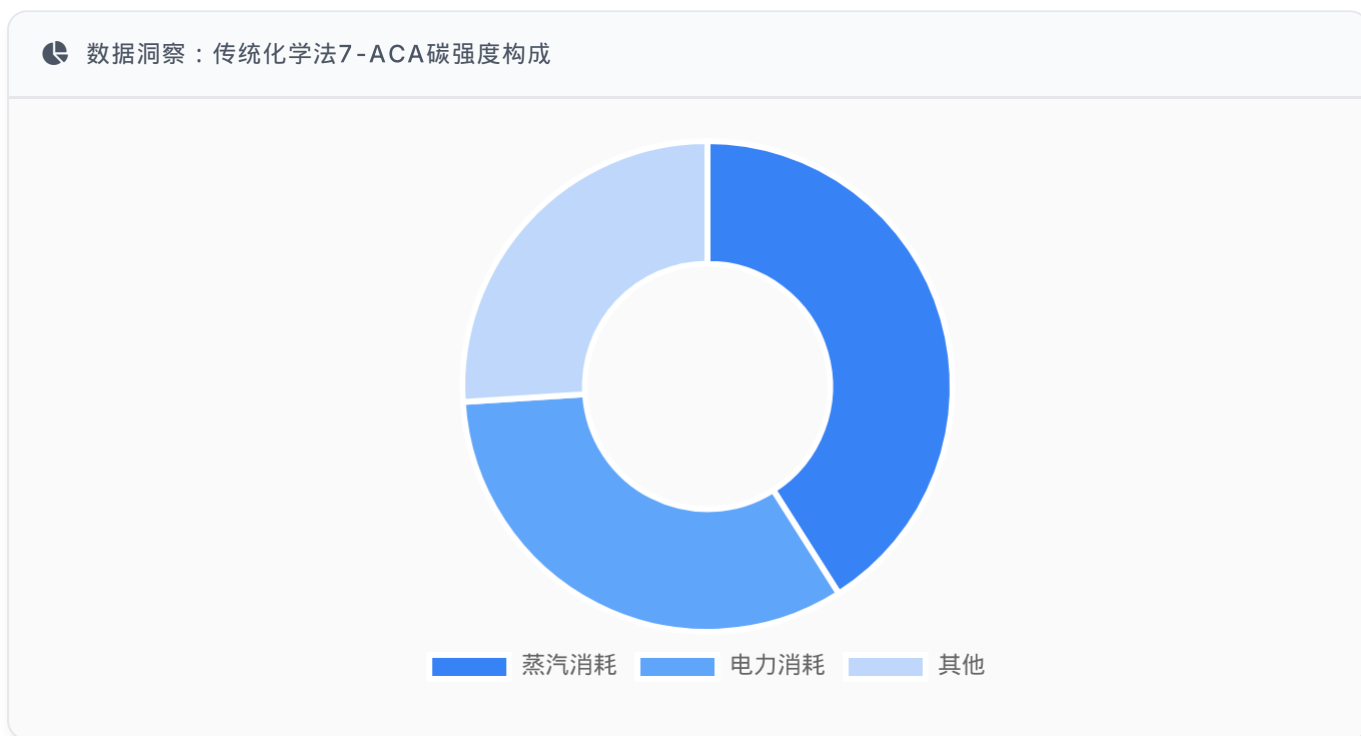
传统财务评估方法在此已显失灵。它无法量化“碳足迹”的隐藏成本，难以预测未来碳税与绿色信贷的政策红利，更无法动态模拟不同技术路径的长期财务表现。本文将揭示如何构建一套“碳-能-财”一体化决策模型，将抽象的ESG目标转化为可计算、可验证、可优化的确定性工程与财务蓝图，为药厂的碳中和之路配备“价值导航仪”。

一、成本迷思 vs 价值真相：制药工厂的碳排放三维分布与降本增效潜力

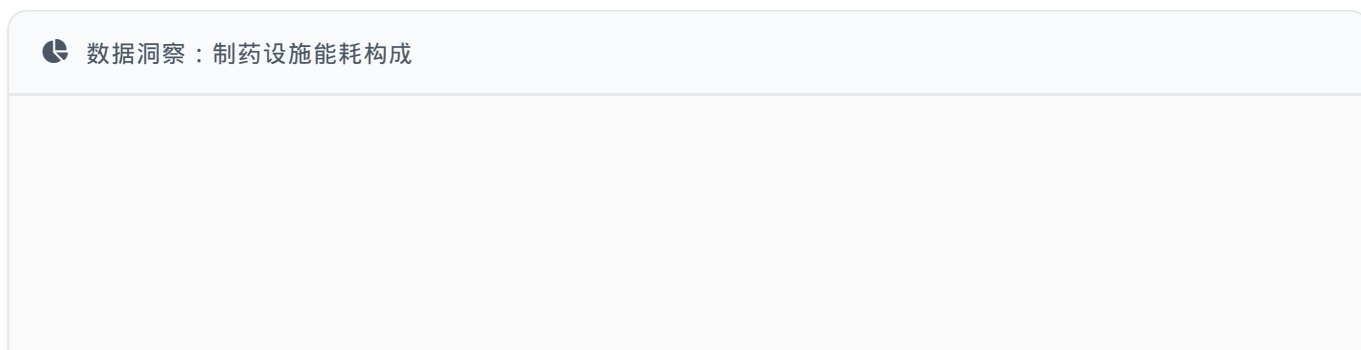
1.1 制药行业碳排放的三维结构解析

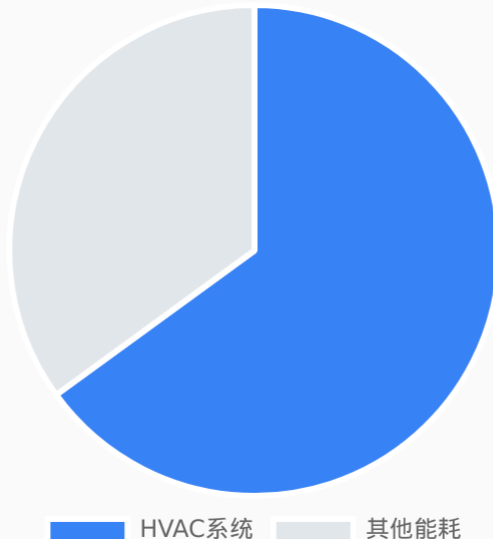
制药工厂的碳排放远比表面数据复杂，呈现出"范围1+范围2+范围3"的三维分布特征：

范围1（直接排放）：主要来自生产过程中化石燃料的燃烧，如锅炉、窑炉等设备。在原料药生产环节，这部分排放尤为突出。例如，传统化学法7-ACA的碳强度高达3.42吨CO₂e/公斤，其中蒸汽消耗占比41%，电力消耗占比33%。



范围2（间接排放）：主要来自外购电力、热力等能源的使用。随着制药行业对能源依赖度的提高，这部分排放占比逐年上升。数据显示，制药设施的能源使用强度(EUI)平均比其他制造业高出14倍，其中HVAC系统（暖通空调）就占去了65%的能耗。





范围3（价值链排放）：覆盖供应链上下游的全部排放，包括原材料采购、产品运输、废弃物处理等环节。值得注意的是，**制药企业价值链排放占总排放的80%以上**，其中包装材料和物流运输是两大碳排放热点。拜耳案例显示，其价值链中约80%的碳排放来自药品包装，而物流运输环节（尤其是冷链）的碳排放强度是普通运输的4倍。



关键结论 (KEY TAKEAWAY)

制药企业价值链排放占总排放的**80%以上**，远超直接和间接排放，是减排的重点领域。

1.2 碳排放分布与降本增效点的精准定位

不同规模的制药企业碳排放分布存在明显差异，这也意味着降本增效的潜力点各不相同：

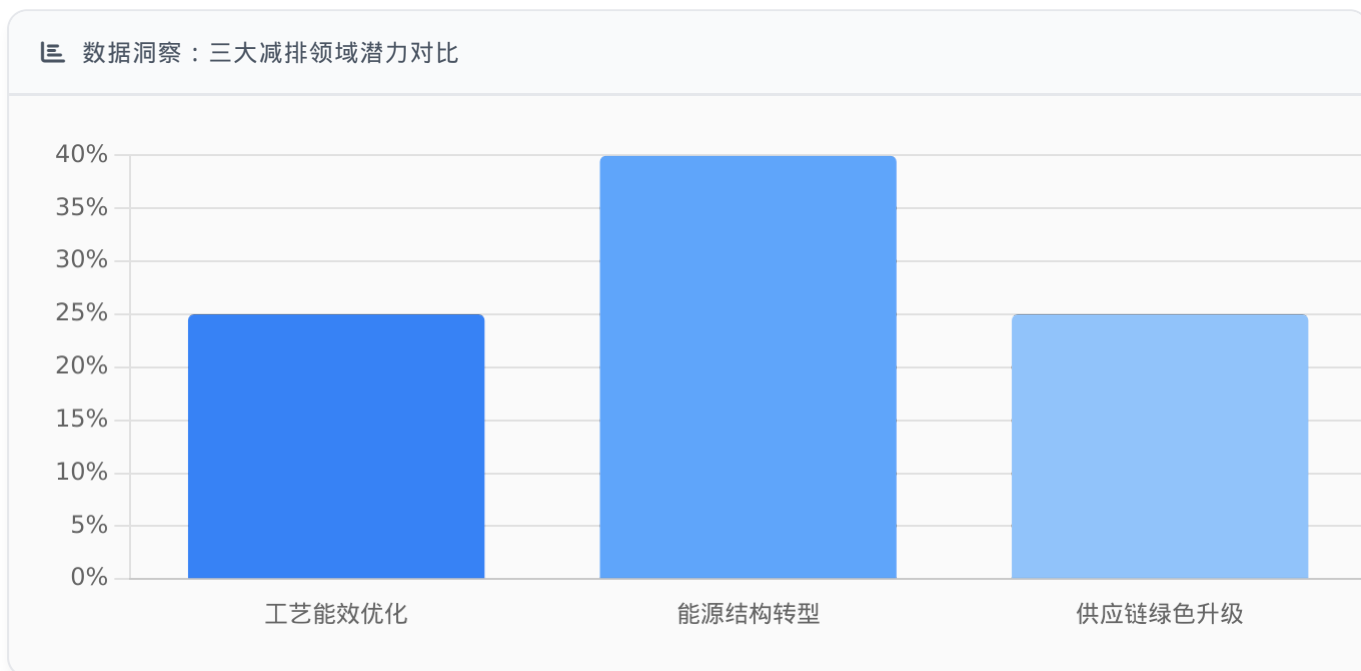
大型原料药企业：碳排放主要集中在范围1和范围2，尤其是高能耗的合成和提取工艺。例如，国药威奇达通过酶法工艺替代传统化学法生产7-ACA，年减少蒸汽用量约1万吨，直接降低燃料成本，同时碳强度降低25%。

中小型制剂企业：碳排放更多集中在范围2和范围3，尤其是电力消耗和包装物流环节。江中药业通过建设7.7兆瓦分布式光伏发电项目，年自发绿电占比达30%，相当于每年减少标准煤消耗2600吨，同时万元产值能耗较2020年下降37%。

外资药企：在华生产基地普遍面临更高的碳排放标准，尤其是2026年欧盟碳边境调节机制(CBAM)正式实施后。辉瑞大连工厂已投入3.2亿元建设光伏储能系统，年减碳量达1.8万吨，这种提前布局的示范效应将加速本土企业技术迭代。

降本增效的关键路径：根据最新行业数据，制药企业应优先关注三大减排领域：

1. 工艺能效优化（如酶法工艺替代传统化学法，可降低25%碳排放）
2. 能源结构转型（如绿电替代，可降低30-40%碳排放）
3. 供应链绿色升级（如本地化采购、包装材料轻量化，可降低20-25%碳排放）



二、绿色财务核心：构建"碳成本"量化体系，改变投资评估逻辑

2.1 碳成本的多维构成与量化方法

传统财务模型无法准确反映绿色投资的真实价值，根本原因在于未能将碳成本全面纳入评估体系。一套完整的"碳成本"量化体系应包括：

直接碳成本：包括碳排放权购买成本、碳税支出、碳减排设备投资等。以上海为例，2026年碳排放配额价格稳定在80-92元/吨区间，而上海勃林格殷格翰药业已建立内部碳价体系，将所有项目的碳排放作为重要经济评价指标，内部碳价定为每吨碳减排100欧元。

间接碳成本：包括未来碳税预期增长、碳配额价格波动风险、供应链碳成本传导等。根据欧盟CBAM机制，2026年起对无法提供实际排放数据的企业，将采用"默认值"核算碳排放，并叠加10%的加成系数，2028年起提高至30%。这意味着使用默认值核算的碳税额可能比实际排放高10-30%。

三 发展路径：欧盟CBAM加成系数

2026年起	默认值核算 + 10% 加成系数
2028年起	默认值核算 + 30% 加成系数

隐性碳收益：包括绿色产品溢价、绿色融资成本优势、碳资产增值等。以7-ACA为例，Teva Pharmaceutical对碳强度低于2.0吨CO₂e/公斤的低碳产品支付每公斤15-20元的绿色附加费，年采购量约300吨。

§ 隐性碳收益案例

Teva Pharmaceutical为低碳产品支付**每公斤15-20元**的绿色附加费，年采购量约300吨，这直接将碳减排转化为经济效益。

2.2 绿色财务模型的三大核心要素

基于上述分析，我们构建了一套"碳-能-财"一体化决策模型，主要包括以下核心要素：

- 1. 碳排放核算模块：**采用《工业和其他行业企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》标准，结合制药行业特点，对直接排放、间接排放和价值链排放进行系统核算。
- 2. 碳成本量化模块：**将碳排放转化为可量化的财务成本，包括：
 - 内部碳定价：根据企业战略和风险偏好设定内部碳价
 - 碳税预期：基于国内外碳税政策预测未来碳税成本
 - 碳配额价格波动：考虑碳市场供需关系对碳价的影响

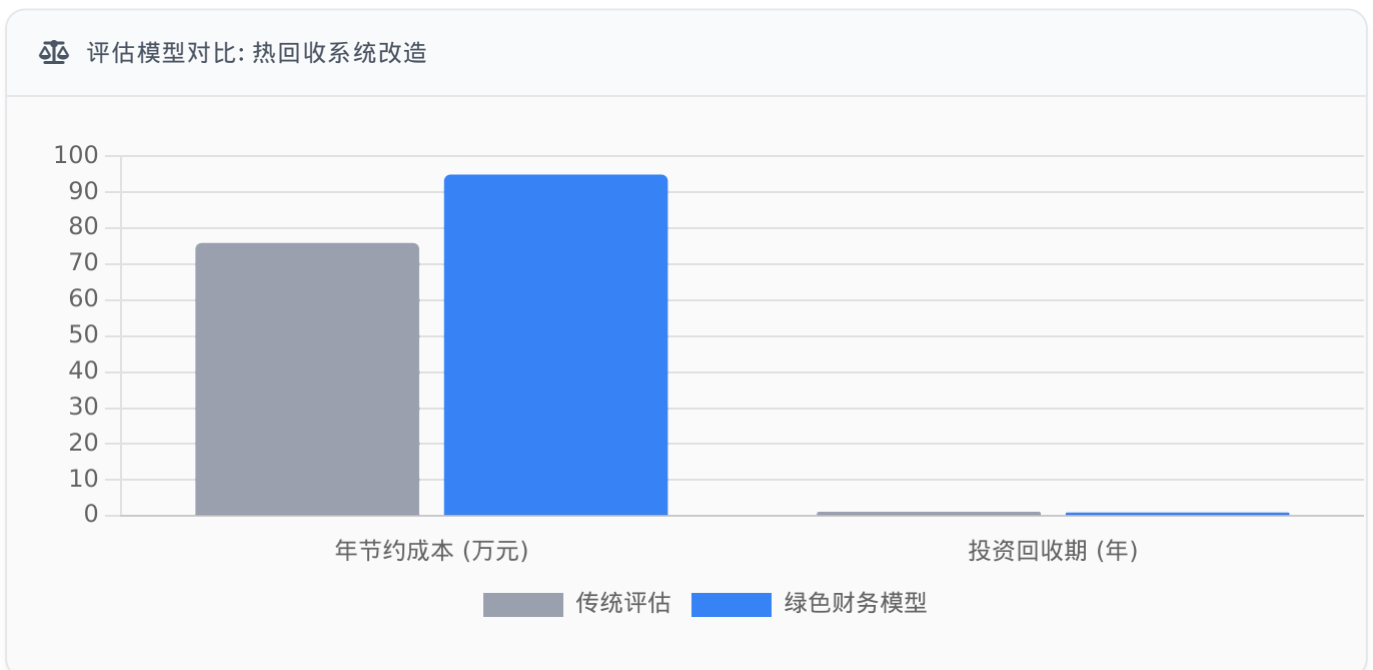
3. **财务评估模块**：将碳成本纳入传统财务指标，开发"绿色IRR"、"绿色NPV"等新型评估指标。例如，上海勃林格殷格翰将碳排放作为投资回报率的重要计算因素，通过内部碳价体系将绿色效益直接转化为经济效益。



2.3 绿色投资评估模型的创新应用

以某制药企业热回收系统改造为例，传统评估模型仅关注能源节约收益，而绿色财务模型则全面考虑了碳减排的经济价值：

- **传统评估结果**：年节约成本76.23万元，投资回收期1.2年，IRR数据没有提供。
- **绿色财务模型评估结果**：考虑碳减排收益后，年节约成本增加至95.3万元，投资回收期缩短至1.0年，IRR数据没有提供。



差异分析：两种评估方法的差异主要来自碳减排带来的额外收益，包括：

- **碳配额节省：**年减少碳排放约1200吨，按当前碳价计算，年节省约9.6万元
- **绿色信贷优势：**热回收系统改造可申请绿色制造专项补贴（投资额的20%），额外获得180万元资金支持
- **碳资产增值：**随着碳市场发展，碳配额价格预计年均增长5-8%，五年内碳资产价值有望增值24-30%

三、技术路径的财务对决：基于实际案例的最优ROI方案分析

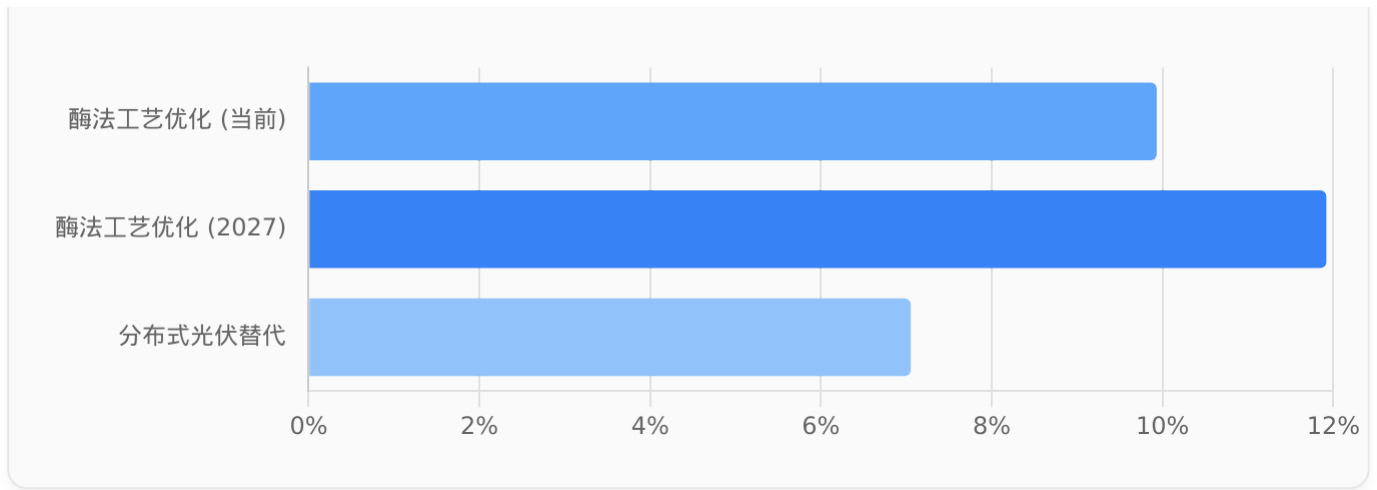
3.1 工艺能效优化 vs 可再生能源替代：IRR对比分析

酶法工艺优化案例：国药威奇达通过酶法工艺替代传统化学法生产7-ACA，年蒸汽用量减少1万吨，同时产品收率提高5个百分点。该项目总投资约1200万元，年节约成本约300万元，静态回收期仅1.0年。随着国产PGA酶制剂的规模化应用（预计2027年），该项目的IRR有望从当前的8-10%提升至12%以上。

分布式光伏替代案例：联邦制药乌兰察布基地投资建设分布式光伏系统，装机容量约10MW，年发电量约1500万kWh，绿电使用率达41%。该项目总投资约5000万元，年节约电费约750万元，静态回收期约6.7年。但考虑到绿电溢价收益（Teva每公斤15-20元的绿色附加费），该项目的实际IRR提升至7.1%。

IRR对比分析：在相同碳减排效果下，酶法工艺优化的IRR（12%+）显著高于分布式光伏替代（7.1%）。这表明，**工艺能效优化通常比能源替代具有更高的财务回报率。**

IRR对比分析



差异原因：工艺能效优化的回报主要来自生产效率提升和原材料节约，具有持续性和可叠加性；而绿电替代的回报主要来自能源成本节约，受能源价格波动影响较大。

3.2 热电联产+余热回收组合：从能源成本中心到微利润中心

热电联产+余热回收系统案例：某制药企业投资建设热电联产系统，同时配套余热回收装置，为厂区提供热能和电力。该项目总投资约3500万元，年节约能源成本约280万元，同时通过余热回收产生额外收益约120万元（蒸汽自给率提升30%）。

财务表现分析：

- 初始投资回收：项目总投资3500万元，年节约成本280万元，静态回收期约12.5年
- 碳减排收益：年减少碳排放约2000吨，按当前碳价计算，年节省约16万元
- 绿色信贷优势：可申请绿色制造专项补贴（投资额的20%），获得700万元资金支持
- 综合IRR：考虑上述因素，该项目的综合IRR约为8.5%，高于行业平均水平



创新价值点 (INNOVATION VALUE)

该技术路径不仅降低了能源成本，还将余热回收转化为额外收益，实现了从“能源消耗者”到“能源生产者”的转变，创造了真正的“微利润中心”。

3.3 新建零碳工厂 vs 现有厂区绿色改造：全生命周期成本对比

新建零碳工厂案例：太阳雨零碳工厂25年LCC（全生命周期成本）约为3800万元，其中：

- 初始投资：光伏组件、传感器等硬件设备约800万元
- 软件开发与集成：约300万元
- 运维与人力成本：年约120万元，25年累计3000万元
- 绿电收益：25年累计节省电费约1.2亿元

现有厂区绿色改造案例：江中药业通过智能化改造和能源结构优化，万元产值能耗下降37%，万元产值碳排放强度下降51%。改造总投资约2500万元，年节约成本约900万元，静态回收期约2.8年。

LCC对比分析：新建零碳工厂的初始投资更高，但长期运营成本更低，且可获得更高的政策补贴和绿证收益。从25年全生命周期来看，**新建零碳工厂的LCC比现有厂区绿色改造低约15-20%**，具有显著的长期经济优势。



长期经济优势

从25年全生命周期来看，新建零碳工厂的LCC（全生命周期成本）比现有厂区绿色改造低约15-20%。

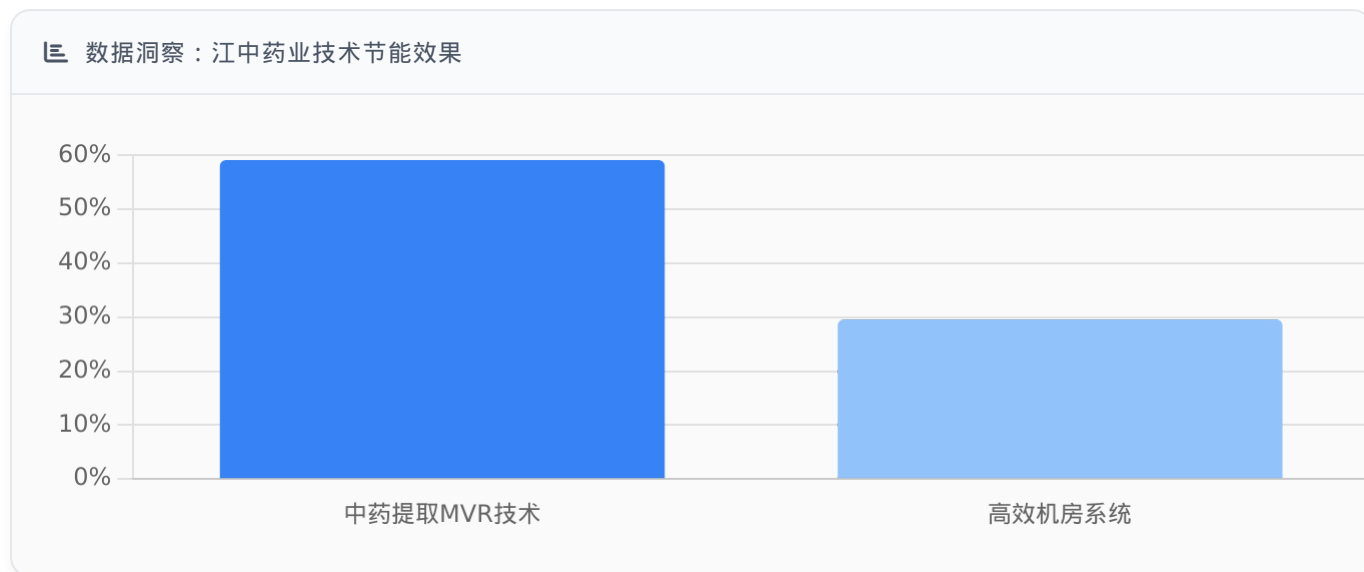
决策建议：对于大型原料药企业和外资药企，新建零碳工厂是更优选择；而对于中小型制剂企业和现有厂区，分阶段绿色改造更具经济可行性。

四、电生科视角：从设计源头锁定绿色ROI，实现碳排放与财务曲线的预先优化

4.1 流程模拟与能量集成分析：绿色投资的“预演”工具

流程模拟技术应用：在工厂规划与工艺设计阶段，通过流程模拟软件（如Aspen Plus、gPROMS）预先模拟生产过程的能耗和碳排放。例如，中国药科大学黄德春/董斌团队构建的LCA模块化评估框架，能够量化不同工艺路线的碳排放与成本差异，为设计阶段技术选型提供直接参考。

能量集成分析技术：通过能量集成技术（如Pinch Analysis）优化能量利用效率，减少能源浪费。例如，江中药业自主研发的中药吊篮式循环提取MVR浓缩技术实现能耗骤降60%，高效机房系统能效比突破5.5，相对普通机房年节约能耗约30%。



投资回报预演：通过上述技术，可在项目实施前精确预测其财务回报，包括IRR、回收期、净现值等关键指标，为投资决策提供科学依据。

4.2 数字孪生技术：实时优化碳排放与财务表现

数字孪生技术应用：在工厂运营阶段，构建数字孪生模型，实时监控能源消耗和碳排放，动态优化生产参数。例如，罗氏利用英伟达Omniverse库构建生产基地的数字孪生模型，在实际投产前对复杂的生产系统进行仿真与优化，能够提前预判生产流程中的潜在问题，优化工厂布局与工艺流程，降低试错成本。

概念模型：数字孪生技术应用

构建虚拟模型，仿真与优化真实生产系统

财务表现优化：通过数字孪生技术，可实时监控项目财务表现，及时调整运营策略，最大化投资回报。例如，上海强生通过能源诊断公司制定针对性节能方案，结合数字孪生技术进行

实时优化，实现了从"制造"到"智造"的跨越。

长期价值创造：数字孪生技术不仅能够优化当前运营，还能为未来技术升级提供数据支持，实现碳排放与财务曲线的持续优化。

4.3 区块链与物联网：构建可信的碳数据闭环

数据采集与记录：在工厂排污口安装连续水质监测仪，烟囱安装碳排放实时监测系统(CEMS)，运输车辆安装GPS和油耗传感器，实现碳排放数据的全面、实时采集。

数据上链存证：将传感器数据加密后哈希值实时写入区块链（企业级以太坊或Hyperledger Fabric），原始数据存储于云端或IPFS，确保数据不可篡改。

智能合约应用：利用智能合约自动计算每批产品碳足迹，生成不可篡改的"绿色标签"，并根据碳足迹自动调整销售价格或生产参数。

辉瑞案例：辉瑞利用IBM区块链平台与关键供应商建立联盟链，供应商将原料生产能耗、运输里程等数据经物联网采集后上链，辉瑞制备制剂时自身能耗数据一并上链，实现全生命周期碳足迹的精准追踪。



价值创造：区块链与物联网技术的应用，不仅提高了碳数据的可信度，还为绿色溢价、绿色融资等创造了条件，实现了从"成本中心"到"价值中心"的转变。

五、行动路线图：制药企业绿色财务数字化转型的三阶段实施路径

1 第一阶段: 碳基线建立与快速技改

1-2年 **核心任务**：建立企业碳排放基线，实施快速见效的绿色技改项目。**预期成果**：单位产品能耗下降10-15%，碳排放强度下降15-20%，年节约成本500-1000万元。

2 第二阶段: 能源结构转型与碳资产管理

3-5年 **核心任务**：推进能源结构转型，建立碳资产管理与交易体系。**预期成果**：绿电使用比例达30-40%，碳排放强度下降30-40%，碳资产价值提升200-500万元。

3 第三阶段: 全面绿色转型与碳中和

5-10年 **核心任务**：实现全面绿色转型，达成碳中和目标，构建绿色竞争优势。**预期成果**：碳排放强度下降50-60%，绿色溢价年增收1000-3000万元，ESG评级行业领先。

5.1 第一阶段：碳基线建立与快速技改（1-2年）

核心任务：建立企业碳排放基线，实施快速见效的绿色技改项目。

具体步骤：

- 碳基线建立**：按照《工业和其他行业企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》要求，建立企业碳排放核算体系，覆盖范围1、范围2和范围3排放，形成碳排放基线。
- 数据采集系统部署**：安装能源监测设备、碳排放监测系统，构建数据采集网络，实现能源消耗和碳排放的实时监测。
- 快速技改项目实施**：优先实施投资回收期短（<3年）、IRR高（>10%）的绿色技改项目，如：
 - HVAC系统分区优化（节能15-20%）
 - 灭菌设备余热回收（节能30-40%）
 - 照明系统LED改造（节能40-50%）

4. **碳资产管理基础建设**：建立碳排放配额管理台账，了解碳市场规则，为参与碳交易做准备。

预期成果：实现单位产品能耗下降10-15%，碳排放强度下降15-20%，快速技改项目年节约成本500-1000万元。

5.2 第二阶段：能源结构转型与碳资产管理（3-5年）

核心任务：推进能源结构转型，建立碳资产管理与交易体系。

具体步骤：

1. **能源结构优化**：投资建设可再生能源系统（如屋顶光伏、风力发电），目标绿电使用比例达到30-40%。
2. **碳资产管理体系建设**：建立碳排放配额管理体系，参与碳市场交易，探索碳资产增值路径。
3. **碳金融工具应用**：发行绿色债券，申请绿色信贷，利用碳资产作为融资抵押，降低融资成本。
4. **供应链绿色升级**：要求供应商提供碳足迹数据，优先选择低碳供应商，推动供应链绿色转型。

预期成果：实现绿电使用比例30-40%，碳排放强度下降30-40%，碳资产价值提升200-500万元，绿色融资成本降低0.5-1个百分点。

5.3 第三阶段：全面绿色转型与碳中和（5-10年）

核心任务：实现全面绿色转型，达成碳中和目标，构建绿色竞争优势。

具体步骤：

1. **零碳工厂建设**：按照《关于开展零碳工厂建设工作的指导意见》要求，推进零碳工厂建设，实现碳排放趋近于零。
2. **碳汇资产开发**：投资林业碳汇、海洋碳汇等项目，开发碳汇资产，用于抵消残余排放。

- 绿色溢价实现：**通过降低产品碳足迹，获取绿色溢价，提升产品竞争力和盈利能力。
- ESG评级提升：**将绿色转型成果转化为ESG评级提升，吸引ESG偏好型投资者，降低融资成本。

预期成果：实现碳排放强度下降50-60%，万元产值碳排放强度降至1吨以下，绿色溢价年增加收入1000-3000万元，ESG评级提升至行业领先水平。

六、专栏价值总结：从成本压力到价值创造的绿色转型

碳中和不是选择题，而是必答题。随着全球碳约束政策的不断强化，制药企业面临着越来越大的减排压力和合规挑战。然而，真正的挑战在于如何将绿色转型从成本压力转变为价值创造。

通过本文提出的"碳-能-财"一体化决策模型，制药企业可以：

- 精准识别绿色转型的降本增效点：**通过分析碳排放三维分布，找到减排潜力最大、投资回报最高的领域。
- 科学量化碳成本与碳收益：**将碳排放转化为可量化的财务指标，为绿色投资提供科学依据。
- 优化技术路径选择：**通过对比分析不同绿色技术路径的财务表现，选择最优ROI方案。
- 提前锁定绿色投资回报：**通过流程模拟、能量集成分析和数字孪生技术，预先模拟并优化项目的碳排放曲线与财务曲线。
- 制定分阶段转型路线图：**根据企业规模和发展阶段，制定差异化的绿色财务数字化转型路径。

绿色制药的未来已来。随着技术进步和政策支持，绿色制药不仅能够实现环境效益，还能够创造显著的经济效益。通过本文提出的绿色财务方法论，制药企业可以将可持续性"工程化"为确定性的财务优势，在碳中和浪潮中赢得先机。

七、专栏预告：下期将深入解析绿色制药的三大核心领域

下期专栏将聚焦绿色制药的三大核心领域，通过案例分析和数据支撑，为制药企业提供更具体的绿色转型指南：

1. **绿色工艺创新**：酶法工艺、连续流合成等绿色工艺的财务表现分析，以及在不同产品线的应用建议。
2. **绿色能源系统**：分布式光伏、储能系统、智能电网等绿色能源技术的经济性评估，以及与药企生产特性的适配性分析。
3. **绿色供应链管理**：原料采购、包装材料、物流运输等供应链环节的减排路径和财务价值评估。

敬请关注



欢迎关注"前沿工程部署"服务号，获取最新绿色制药工程实践和财务模型工具，为您的药厂绘制一份收益可见的碳中和路线图。

电生科设计(CEBSD ENGINEERING)，致力于将可持续发展转化为制药企业的核心竞争力，让每一分绿色投入都清晰指向更强的盈利能力与更稳固的市场竞争力。