环境与资源
2025 年 9 月第 7 卷第 1 期

医药发展中的环境资源保护与可持续路径研究

——以太极集团为例

马骏钊　刘陈莉　石　果

太极集团重庆涪陵制药厂有限公司，重庆

摘　要 | 医药行业是全球健康体系的主要构成单元，与人类的生命健康直接关联，还能间接对社会生态安全起到影响，医药行业生产阶段，往往面临能源大量消耗、环境压力慢慢累积和污染物排放复杂等问题，对生态环境系统形成挑战，本文基于环境资源保护跟可持续发展的视角考量，择取太极集团重庆涪陵制药厂为研究案例，深入探究其在药材绿色种植、节能降碳、全流程清洁生产、资源循环利用和ESG治理等领域的实际操作。基于这一基础，概括该厂具备复制与推广意义的发展模式，解析医药产业在全生命周期里对环境产生作用的内在原理，再结合国家相关政策分析绿色转型的制度支撑要素，本文进一步剖析了医药企业推进绿色转型所需的制度保障，并按照这些情形给出针对性建议：立足企业这个层面，设计分层次分类型的绿色转型实施计划；从政策层面出发，建设绿色药品评价体系、加大绿色金融支持投入、推动多元监管协同起效。

关键词 | 绿色医药；可持续发展；环境资源保护；太极集团

Copyright © 2025 by author (s) and SciScan Publishing Limited
This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License. https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

通讯作者：刘陈莉，太极集团重庆涪陵制药厂有限公司，执业药师。
文章引用：马骏钊，刘陈莉，石果．医药发展中的环境资源保护与可持续路径研究——以太极集团为例［J］．环境与资源，2025，7（1）：40–56.
https://doi.org/10.35534/er.0701004

国内经济现今处于向高质量发展转变的关键阶段，可持续健康发展成为新时代各产业发展面临的共同课题，人们还在不断地追寻健康、积极的生活样式[1]。医药行业跟国民健康直接挂钩，同时也对环境生态产生长远影响，在这一领域的范畴里，既需要保证药品安全且有效，也必须重视资源节约、污染管控与生态责任，传统医药制造工作普遍面临能耗大、排放体系复杂等难题，正视这些挑战，急需凭借技术创新和管理优化，加紧绿色转型，建立一条合乎高质量要求的路径，又极大限度降低环境压力的可持续发展路径[2, 3]。

我国连续加大医药行业绿色发展方面的政策引导，先后推出了《“十四五”医药工业发展规划》《医药行业“零碳”规划和管理实践指南》及《推动原料药产业绿色发展的指导意见》等一系列政策文件，明确规划了搭建绿色医药制造体系、推动药品全生命周期环保转型的路线，且为实现“双碳”目标提供制度后盾[4, 5]。在这一系列政策支持的当下背景里，众多医药公司积极把可持续发展理念融入企业战略和创新程序，积极推进节能减耗、污染治理及生态保护工作，像云南白药集团、以岭药业这些企业，已在相关领域实施了实质性举措[6]。作为集医药研发、工业生产跟产品流通于一体的大型企业，太极集团积极呼应国家“双碳”战略安排，逐渐搭建起涵盖绿色种植、清洁生产、资源循环利用的系统性减碳途径[7]。太极集团在中药材资源保护、绿色工艺升级、废弃物协同治理，以及ESG体系建设等方面形成了一批能向外推广的经验，给传统药企朝着绿色低碳发展方向迈进提供了实践范例与行业标杆，本文把“医药环境资源保护与可持续路径”当作主题，紧盯医药产业绿色发展中的关键要点，剖析太极集团的绿色实践开展路径，对太极集团的实践案例进行梳理后，从理论及实践层面研讨绿色转型的内在逻辑、实施路子与政策建议，期望为我国医药行业的高质量发展提供经验借鉴。

1 医药与可持续发展的理论基础

1.1 医药产业对环境的影响机制

医药产业对环境的影响涉及从资源开采、生产制造、流通使用到废弃处置

https://doi.org/10.35534/er.0701004

的整个阶段，凸显出全生命周期、多介质介入以及高风险叠加的复合属性，在产业上游这个环节，产业对化石能源和稀有金属高度依赖，引起资源消耗方面问题突出，制造过程中集中生成高化学需氧量（COD）废水、挥发性有机物（VOCs）、药物粉尘与菌渣类危险废弃物，且会伴随大量的蒸汽和电力需求，造成水体生态毒性、光化学烟雾和温室效应等多层面污染。进入下游阶段，药物在人体代谢之后以活性形态进入污水跟土壤环境，并沿着食物链实现传递，提高耐药基因的传播风险水平；过期药品、铝塑/PVC包装及医疗废物若未妥善处理，极易释放出二噁英与重金属，引起长期的环境持续污染，并依靠生态级联反应干扰微生物群落稳定性、物种性别比例和生物的多样性，鉴于企业环境信息透明度欠佳，再加上末端治理成本一直居高不下，导致监管中出现违规排放、稀释行为等现象出现，最终造成高能耗、高污染、高风险和难降解聚合的环境压力。

1.2 可持续发展的核心理念与目标

医药行业把可持续发展核心理念要义嵌入其发展模式，其着重强调在达成全球健康需求的时候，行业必须依照地球生态的承载力底线行事，给后代留下同等的健康资源与充裕的发展空间，从环境角度出发，医药产业把达成净零排放以及对自然有净正面影响当作硬性目标，凭借绿色化学、微反应连续合成与生物酶催化等先进途径，引领原料药生产从高能耗、高排放迈向资源循环、近零污染的绿色模式；并创建覆盖药物全使用周期的残留物管控体系，制止耐药性传播以及环境激素类污染[8]。就经济层面而言，医药产业凭借绿色信贷与碳市场机制舒缓转型经济压力，逐步剔除高污染、低环境成本的传统产能，就社会责任而言，医药行业努力增进疫苗及基本药物在全球范围的可及程度与可负担能力，提倡公平的定价策略与区域本地化生产，增强员工职业健康保护措施与企业环境信息的透明度，推动搭建多元共同治理、利益共享的治理模式。医药行业预期于2030年前实现与联合国可持续发展目标的契合，具体同SDG3（良好健康与福祉）、SDG6（清洁饮水和卫生设施）、SDG12（负责任消费与生产）、SDG13（气候行动）目标深度融合在一起，最终实现人类健康跟地球生态

的系统性共赢成果。

表 1　医药行业可持续发展路径

Table 1　Sustainable development pathways of the pharmaceutical industry

可持续发展维度	关键目标	路径/技术工具	对应SDG（联合国可持续发展目标）
环境维度	减污降碳	绿色化学、连续流微反应、酶法替代、园区集中治污系统、碳足迹核算与生命周期评估、药物残留全程监控	SDG6（清洁饮水） SDG12（负责任生产） SDG13（气候行动）
经济维度	降低绿色转型成本，激发新增长极	绿色工艺再设计、数字化供应链与溯源系统、循环包装与绿色物流、 医疗废弃物资源化利用、ESG信息披露、绿色债券/碳市场融资	SDG9（产业创新） SDG12（负责任生产） SDG17（合作伙伴关系）
社会维度	普惠医疗、公平健康、安全工作	基本药物供应保障机制、技术转移与本地化生产、职业健康安全体系（OHS）、药品生命周期透明化管理、公众参与绿色监督平台	SDG3（健康福祉） SDG10（减少不平等） SDG16（强有力制度）

1.3　药品全生命周期中的资源与环境要素

药品从研发、投产到废弃的整个生命周期，一直跟资源消耗与环境影响紧密挂钩，造就一个多维度、呈现高复杂性的生态负荷网络，处于产业上游的阶段，行业对化石能源、玉米浆等原材料依赖比较强，其开采以及种植大量占用土地，还持续地消耗水资源、化肥跟农药，引起自然资源损耗突出。药品制造阶段涉及合成、发酵、提取、纯化等核心工序，一般能耗强度偏高，得大量消耗电力、蒸汽和有机溶剂，而且在整个过程中排放出高盐度和高COD废水、VOCs及危险固废，引起水体、大气和土壤的混合交叉污染，药品包装材料是以铝塑泡罩、PVC等为主要组成，而且冷链运输环节消耗的能量大，引发整体碳足迹进一步增长。在用药环节，大致30%～90%的活性成分代谢之后以原形流入污水系统，促进环境中耐药基因扩散；过期药品与医疗废弃物若处理不妥当，焚烧或者填埋期间，也许会产生二噁英、重金属等持久性污染物，给生态系统留下长远隐患，有研究表明，医药产业碳排放占医疗体系总排放的比例约为20%～25%，下游使用和废弃阶段的数据监测与信息公开依旧欠缺，污染源追踪以及精准治理的难度偏大，进而降低了全链条环境管理的成效。

https://doi.org/10.35534/er.0701004

2 中国医药行业环境挑战与绿色转型背景

2.1 行业排放现状与典型污染物

医药行业在生产期间，肯定会产生大量污染物，主要特性为废水排放量大、成分复杂，涉及药物合成、发酵、提取等诸多环节，药物废水里主要有高浓度的有机物、溶剂残留、抗生素和激素类等难分解污染物；生产过程里的药物废气，挥发性强、收集不易且异味十分明显，主要产生于合成反应、蒸馏、干燥等阶段，典型废气主要有VOCs、氨、硫化物、氯化氢等；医药行业里固体废物种类繁多、危害极大，含有废活性炭、废溶剂、反应残渣以及污泥等，绝大多数属于危险废物；部分中小医药企业的污染防治设施建设存在缺陷或运行不稳定，存在治理能力欠佳、达标排放比例低等问题，环境风险突出程度较高，如表2所示[9]。

表 2 医药行业典型污染物类型

Table 2 Typical pollutant types in the pharmaceutical industry

类型	主要污染物	特点
废水	COD、BOD_5、氨氮、抗生素类、有机溶剂、重金属	高浓度、毒性强、生化性差
废气	VOCs（苯系物、醇酮醚类）、HCl、NH_3、硫化氢	挥发性强、难收集、异味明显
固废	废溶剂、反应残渣、废活性炭、污泥、过期药品	多属于危险废物，需规范处理
噪声	泵、压缩机、反应釜等设备运行产生	对社区及周边居民影响

2.2 国家政策推动与监管体系构建

为推动医药行业开展绿色转型及污染防治，国家陆续出台了《“十四五”生态环境保护规划》《“十四五”医药工业发展规划》《医药工业高质量发展指导意见》等政策文件，明确提出要带动医药企业实施绿色制造，切实强化污染全过程的管控，同时提升资源运用的效率。环保部门不断完备监管体系，建立起以排污许可制为核心的监管模式，落实企业环境信用审查、危险废物全过程跟踪监管以及挥发性有机物（VOCs）专项治理等办法，生态环境部针对重点行业开展清洁生产审核与绩效分级管理，把医药行业纳入重点监管行列，并采用差别化执法、在线监测以及环境信息强制披露等途径，提升企业的环保责任

觉悟和治理实力，逐步塑造出具有系统性的政策支持与监督管理体系。

2.3 行业绿色认证与环保标准演进

伴随绿色发展理念不断深入地实施，医药行业里的绿色认证体系和环境保护标准体系不断完善，国家着重推动绿色工厂、绿色供应链和绿色产品等范畴的认证工作，鼓励医药企业积极介入绿色制造体系建设，并把它纳入政策扶持、资金支持和项目审批的重点范畴。行业环保标准陆续迭代升级，依次出台了《医药工业水污染物排放标准》《挥发性有机物排放控制标准》等相关规范文件，对污染物排放限值和控制的要求作出进一步细化的规定，增强了它的可实施性与强制性，生态环境主管部门也推进清洁生产标准跟技术指南的有效落实，涉及化学制药、生物制药以及中成药等多个细分范畴，渐渐完成从“末端治理”向“源头控制”和“全过程管理”的转变过渡，抓紧建设绿色、高效、低碳的医药产业标准体系。

3 太极集团发展概况与绿色药业实践

3.1 企业发展历程与业务布局

太极实业（集团）有限公司身为中国医药集团有限公司旗下成员企业，其起始是1972年兴办的四川涪陵中药厂，1997年在上海证券交易所实现上市，2021年实现了战略重组安排，成为为国药集团所控股的子公司，公司以现代中药的智能制造为核心要点，兼带麻醉及精神类特色化学药产品，已搭建起包含医药研发、工业生产、商业销售、中药材资源挖掘及国际业务的全产业链体系，现有员工数量大概1.2万，旗下存有数十家子公司。

就研发体系而言，公司设立了国家级博士后科研工作站以及多个院士团队，承担着90多项国家级的科研项目，累计得到专利300多项，就工业制造这方面，建成了多座国家级的绿色工厂及智能化车间，有每年加工10万吨中药材、年产30亿支口服液制剂的本事，而且在绿色化和智能化范畴收获多项国家荣誉。在医药商业的流通范畴，公司形成了一套现代化医药物流体系，年度的吞

https://doi.org/10.35534/er.0701004

吐能力达3500万件，覆盖的终端数量超出10万个，就中药材资源开发而言，已建成20多万亩标准化的药材种植基地，且创立了全链条能查溯的数字化体系，被认定属于国家农业产业化重点龙头企业，就国际业务开展而言，产品销往20余个国家和地区，实现品牌注册120多项。

身为国家知识产权示范企业，也是国家级非物质文化遗产传承单位，国药太极始终推动中医药的现代化、产业化及国际化进程，专心打造具有全球影响力的世界顶尖中医药企业，作为纳入国药集团核心企业范畴的一员，公司依托健全的产业链与强劲的研发实力，实施“太极绿色方案”，以健全环境管理体系、发展智能节能技术、推广资源循环模式，以及开展绿色研发实践为途径，造就了可复制、可推广的经验，为中医药行业绿色转型跟高质量发展提供示范与引领。

3.2 环境管理体系与污染控制技术

太极集团搭建了相对完备的ESG管理体系与组织架构，涉及董事会决策的工作、专门领导小组以及多部门协作体系，公司借助战略委员会、管理团队与执行层之间的协同运作，做到顶层架构与基层落实的衔接，进而强化各子公司和部门在环境、社会及治理事务上的责任区分，渐渐形成一套成体系的可持续发展工作框架。

该体系把“创新、协调、绿色、开放、共享”作为引领理念，把生态保护、安全生产、科技创新、员工关怀和合规治理等内容整合到企业运营的各个环节，引领环境治理与企业发展同步迈进，公司把清洁生产当回事，把它上升到战略目标高度，切实履行“三废”管理、污染防治和资源节约的相关要求，且已获得ISO 14001环境管理体系和ISO 50001能源管理体系认证，2025这个年份，公司于Wind评级中晋升到A级，处在医药行业领先梯队，体现出其在绿色转型方面具备一定的示范意义。

3.3 节能减排与资源循环利用案例

太极集团在降低能耗与资源循环层面，形成了覆盖全产业链的绿色实践体

系，渐渐形成以智能制造、清洁能源置换、水资源高效利用和环保技术延展为支撑的协同机制。

在智能制造这一环节，公司依靠SCADA、DCS、MES等系统实现生产线自动化以及能效的优化，口服液生产线节约成本超8亿，中药提取效率增长至两倍，配套采用的磁悬浮制冷机、云智控空压机、MVR蒸发浓缩设备和电热泵等新技术，让部分工序的节能率提升至75%以上。就能源及资源替代方面，公司着手光伏与储能结合的项目，四川太极制药每年可实现发电量160万千瓦时，大概能折合减排二氧化碳2000吨，同时搭建“中药渣—生物质燃料”循环利用模式，让药渣资源化利用的实际占比超95%，在水资源管理和污染治理这一范畴，涪陵制药厂实现水资源回用率86%，锅炉余热的回收极大降低了蒸汽消耗，多家子公司落实了深度废水处理与低碳锅炉改造，COD以及VOCs排放量明显降低。就环保技术延伸而言，宁波太极环保公司拿出“以废治废”的思路，为钢铁、电力这类高排放行业供给超低排放方案，做到烟气治理与废弃物的资源化合理利用。

太极集团目前已建成4个国家级绿色工厂、5个省级绿色工厂外加1家绿色供应链管理示范企业，凭借技术革新、能源结构优化及闭环管理模式，公司在经济效益及生态效益之间实现了良性协调，为中医药行业绿色转型提供了可借鉴推广的实践示例。

3.4 药品研发绿色转型实践

太极集团在药品研发阶段大力推动绿色转型，借助源头把控、工艺改进与数字化平台协作，整体性降低研发全阶段的环境影响，就原料环节而言，集团借助“三无一全”标准体系连同中药材GAP追溯平台，打造出覆盖种植环境监测、农残约束与全程追溯的绿色药材管控体系，同时依靠供应商准入机制建设可协同、可直观呈现的绿色供应链。就研发工艺而言，采用“绿色制造工艺设计”理念，推动提取等核心环节实现工艺模块化与能效最优，部分系统实现了20%的节能；同时借助风险可视化及防错机制，实现“首试就合格”，切实降低资源浪费与污染物的生成，从平台赋能角度，集团跟院士团队共同组建“本草智库”大模型，推进绿色工艺科研成果快速达成转化，进而设立了朝着绿色

https://doi.org/10.35534/er.0701004

的研发投入机制，2024年所投入的研发费用为2.82亿元，占全年营收的比重为2.28%，其中有61项是低碳技术研发项目，10项现已取得绿色药品注册相关标准。在后端延伸这一环节，带动药渣的资源化二次利用，95%以上的被转化成生物质燃料，进而健全GVP药物警戒的体系，提升使用环节的环境风险控制水平，创建包含研发、生产、使用、废弃全阶段的绿色闭环，2024 这一年，太极集团新弄出4家绿色工厂，与2020年对比，万元产值二氧化碳排放下降33.7%，Wind ESG评级涨至A级，在制药行业排名跻身前11位，达成了绿色研发跟生态效益的双重有效突破，为中药行业可持续创新铸就了标杆。

4 药学绿色创新路径的探索

受中国“双碳”目标的推动影响，医药行业目前正经历深度的绿色转型升级，正逐渐地从传统的“高资源消耗、高环境负荷”模式向“生态友好、循环高效”模式过渡，已成时代的要求以及行业核心命题，绿色制药的本质是把全生命周期理念作为基础，在保证药品质量跟安全的情境下，达成节约环境资源、降低污染排放和保护生态的目标[10]。

4.1 原料来源绿色化

采用绿色原料是开展绿色药业实践的开端，我国中药产业长期依赖天然药材资源以实现发展，往往会伴随着出现资源枯竭等情况，鉴于长期过度采挖行为，部分天然草药，恰似川贝母、羚羊角、黄柏这般，已然被列入《国家重点保护野生植物名录》，资源保护成为促进行业绿色转型的首要任务。为缓解资源所面临的瓶颈，整个药材行业普遍推进药材种植达成“基地化、标准化、生态化”的建设，太极集团在重庆梁平、四川南江等地筹建了数万亩绿色药材种植基地，且推行“三无一全”规范，也就是农药残留为零、重金属不存在、转基因未涉及，全过程可进行追溯，大面积实施药材种植，从而减轻资源短缺的压力。企业跟种植户引入遥感监测及物联网设备，对土壤、水质、气候等环境变量实施动态监测，保证产地生态安全，维持药材质量稳定，企业和科研机构一同开展道地药材种质资源保护及利用，太极集团跟中国中药资源中心、西南

大学达成合作，就黄连、玄参等重点品种开展种质资源评价与人工繁育试验，以实现对濒危药材进行驯化与保护其遗传多样性，不仅增强了道地药材的绿色供给水平，也为绿色药品制造奠定了坚实的源头基础。

4.2 清洁生产工艺优化与绿色化学应用

制药行业是典型的高能源消耗、高物资消耗行业，传统工艺大多面临着溶剂消耗量大、副产物有害、能效低下之类的问题，拖了环境绩效与生产效率提升的后腿，采用绿色化学理念，为药物合成工艺实现清洁化与可持续化提供了指引，企业主要采用以下途径助力工艺绿色化。

筹建绿色溶剂及溶剂回收系统，多数企业用乙醇、水等低毒性溶剂替代掉传统的氯仿、DMF、DMSO等高污染物质；还配套建立精馏与膜分离的体系，明显提升了有机溶剂的回收水平，好比太极集团部分原料药项目，溶剂回收率达到了85%以上，极大减少了挥发性有机物的排放总量。

实施绿色催化与连续流反应技术，在API的合成进程里，催化过程乃绿色工艺的核心，企业借助引入生物酶、纳米催化剂、光催化等绿色技术，高效替代了传统的重金属催化途径，减少生产操作时的残留及副产物，连续流反应可实现精准控温和自动化操控，增强催化剂回收效率，降低制药工艺污染隐患。

实施全过程质量把控与绿色设计，企业于药品研发初始阶段引入绿色工艺筛选、EHS风险评估、过程安全评估等高效机制，从设计源头躲开高污染和高风险的途径，已成为多数大型药企研发时的规范。

4.3 废弃物管理与“三废”协同处置

制药行业“三废”排放存在明显的复杂性与危害性，尤其在抗生素、甾体及化学合成类药品生产期间产生的废水中，一般会有大量难降解有机物、激素类残留物以及重金属成分，对生态系统造成潜在威胁，制药过程的末端治理依旧是绿色医药学的关键技术阻碍。针对废水处理工作，企业一般运用“预处理—生化处理—高级氧化”多级组合工艺，太极集团原料药生产园区全套设置了MBR膜生物反应器与臭氧—紫外协同的高级氧化装置，可把出水COD调整到

https://doi.org/10.35534/er.0701004

50 mg/L以下，远高于国家既定的排放标准。

就废气治理工作而言，药企大多聚焦于VOCs回收与无害化处理的环节，一般的技术路径是将冷凝回收、活性炭吸附和催化燃烧（RTO）整合的高级工艺，应用于有机溶剂集中消耗的反应工序，部分企业借助建设密闭式的投料、计量及反应系统，降低无组织废气排放，自源头开始降低废气逸散。在废渣、废弃物的管理这个范畴内，药渣、废吸附剂以及含重金属残渣等危险废物实施资源化协同处置渐成热门趋势，一些药企已跟水泥窑或危废焚烧厂形成长期合作机制，实现危废减量化、无害化、资源化的高效利用，石药集团跟中联水泥开展合作，每年协同处理制药危废达万吨以上，为行业探索出可普及的废物利用途径。。

4.4 企业 ESG 实践与社会责任履行

绿色发展并非仅是一条技术路线，更是一种治理框架与价值航标[11]。处于ESG（环境、社会、公司治理）渐渐成为全球资本市场通用标准的背景下，药企的绿色转型正从“治污减排”扩充为“系统性地去履行责任”，企业ESG战略正逐步形成体系。大型药企一般都在董事会之下成立ESG委员会，设定年度行动规划，涉及碳排放核查、绿色采购、绿色金融以及员工健康安全等多个范畴，以太极集团当作例子，从2022年起每年都会去发布《企业ESG报告》，在2024年版当中披露了温室气体排放总量、水资源回用比例、环保投资额度等关键指标，以实现公众监督和责任追查。依据工信部相关数据显示，到2023年结束前，全国60余家制药企业成功获评国家级绿色工厂，覆盖了化学药、生物制药和中药等范畴，企业凭借引入智能制造、能源管理系统及绿色建筑标准，实现了能源效率以及环境绩效的整体提升，全生命周期绿色管理理念愈发深化，企业从药品研发设计、原料购买、生产制造到包装跟物流阶段，制药企业正在逐步搭建绿色审计机制，太极集团采用可降解的包装物料，且搭建起绿色供应链评分系统，对供应商的环保相关表现加以考核，以推动上下游共同扛起生态责任。

5 案例启示与政策建议

作为国内中成药领域龙头企业之一的太极集团，在绿色制药发展上已打造出较为系统的布局，其在原料种植、工艺改善、污染处理及ESG建设等方面都积累了管用的经验，这不但为企业自身的绿色转型筑牢了坚实根基，也为我国医药行业绿色高质量发展提供了可借鉴的实例和方法方面的参照[12]。

5.1 太极集团经验的可复制性与推广性分析

太极集团在投身绿色药学发展时慢慢构建起以“绿色源头–绿色过程–绿色末端–绿色治理”的系统化路径，拥有较高的可复制性与推广意义，主要囊括以下几点：

（1）战略导向与系统谋划并重

太极集团把绿色发展提升到企业核心战略这一层面，经由设立企业内部ESG委员会、强力推进绿色工厂建设等招数，把环保理念融入公司的治理体系，比较好地达成了顶层设计与执行机制的有效结合，为绿色实践提供了制度层面保障，非常适合在拥有规模及组织基础的医药企业中推广。

（2）技术驱动与生态协同融合

太极在绿色技术事务上采用了“单点突破—整体集成”的高效路径，围绕溶剂回收、生物催化、膜分离、智能环保设施等核心要点来实施关键技术改造，而且与科研院所共同推进药材种质保护、清洁工艺研发等协同创新进程，有利于构建区域绿色医药产业的生态圈。

（3）促进全过程监管与可视化追溯体系机制的完备

在药材种植这个环节，太极集团采用遥感、物联网还有机制追溯系统，构建起全环节监督体系；在排放控制事宜方面，随后引入“AI+数据平台”对废水、废气实施动态监控，此把技术、数据和平台融合起来的创新治理模式，普遍应用到中大型制药企业污染控制和绿色管理工作中，具有可操作及推广的现实性。

仍要根据不同企业的规模、工艺类型、资金实力等因素，为太极经验复制设计差异化的实施路径，中小型药企应重点针对“低成本高效率”的技术改造

https://doi.org/10.35534/er.0701004

路径探索适配策略。

5.2 对其他药企绿色发展的策略建议

针对不同样式制药药企的绿色转轨，需按照企业实际、分阶段推进，就中小型药企而言，不妨从“末端治理+基础规范”切入，优先把废水、废气和固废的治理设施补齐，还能采用财政贴息、设备租赁等方式舒缓资金压力，促使ISO14001等环境管理体系组建，为后续绿色管理工作夯实基础。就大型药企而言，则要重点聚焦“源头创新+过程再造”，提高在绿色原料替代、清洁工艺与绿色催化技术方面研发的投入力度，还跟各大科研机构一起构建绿色制造平台，促进产业链协同升级，全行业要着力推动“数字赋能+智能监管”体系建设工作，企业凭借引入环保数字系统跟AI分析工具，实现对能耗和排放的实时监测、绩效评判及精细化管理流程。企业还得构建“绿色产业联合体”，尤其是在中药材主产地带，凭借合作社与标准化种植达成绿色资源共建共享，逐步造就覆盖药材来源、生产加工以及物流体系的全链条绿色生态态势。

5.3 政策与法规层面的优化路径

推动药学绿色发展不只是要依赖企业自身的探索，更需要制度设计、政策扶持以及社会监管体系不断完善，本研究主张从以下三个方面优化政策法规体系：

（1）健全绿色药品评价与准入机制

提议国家药监局与生态环境部一起制定绿色药品标准体系，把制剂过程纳入环境影响评估指标里，于药品注册审评过程当中引入绿色评价要素，对于符合绿色准则的药品，可对注册优先审批、医保目录准入和绿色标识授权等环节给予优先的便利支持。

（2）开设绿色医药专项基金及金融信贷渠道

提议国家发改委跟财政部共同设立“绿色医药发展专项资金”，重点支持企业进行技术改造升级、示范工程项目建设以及中药资源保护等工作，应推动政策性银行跟绿色金融机构设计“绿色制药信贷”产品，采用贴息贷款或者风险补偿等手段，使企业绿色转型面临的融资成本降低。

（3）健全多元化监管与公众参与机制

建议进一步加大对药品生产环节环保监管的力度，尤其是对抗生素、激素类药品生产期间产生的特殊污染，实行重点清单管控与动态信息披露，快速推进企业ESG信息强制披露制度的搭建，增加社会公众监督的途径，强化公众对医药行业绿色发展的关注度与参与度水平。

6 结论与展望

依托“双碳”战略背景，医药行业正处在从“重规模扩张”向“重绿色发展”的深刻转型阶段，绿色低碳已不再是企业可灵活选择的条目，而是与医药企业生存及长远竞争力相关的必然抉择，从原料种植、制造活动到污染治理及企业治理体系结构，绿色理念正渐渐渗透至药品全生命周期的各个节点，推动行业快速构建生态友好、资源高效兼责任导向的发展新面貌。

本文系统梳理了药学绿色创新发展的相关路径，着重分析了太极集团在绿色原料、清洁工艺、污染控制与ESG治理等范畴的探索实践，探知其自身“战略引领—技术支撑—机制协同”的绿色发展模式，拥有较强的系统性、灵活性、可实施性与推广价值，本文也点明，目前行业绿色转型还存在区域发展差异大、中小企业转型动力和能力欠缺、绿色技术与标准体系不健全等实际问题。

药学绿色健康发展要依照“多元协同、全链统筹、政策引导”原则推进，企业应持续增进绿色治理本领，把绿色理念融入战略决策及日常工作；政府应在政策扶持、标准搭建和金融工具创新等方面做好系统性保障，促进绿色药品评价体系及绿色供应链生态的创建与改良；应当进一步强化公众参与和信息披露，构建社会共识，凝聚外部监督合力。绿色药业不仅是达成环境友好与“健康中国”战略的关键支撑，也是推动我国制药工业走向高质量发展的关键窍门，唯有把绿色当作底色，把科技创新当作动力，以制度保障做支撑，才能形成具备可持续性的竞争优势，助力中国医药行业在全球产业链里实现生态价值与经济价值的双重增进。

https://doi.org/10.35534/er.0701004

参考文献

[1] 张原，刘莉媛，康紫婷．“双循环”背景下西安生物医药产业发展研究［J］．科技与金融，2021（5）：40–45.

[2] 华颖．健康中国建设：战略意义，当前形势与推进关键［J］．国家行政学院学报，2017（6）：105–111.

[3] 张坤，黄河．我国医药制造业技术创新效率研究［J］．Operations Research and Fuzziology，2025（15）：293.

[4] 孔菲，曹原，徐明，等．我国医药产业发展态势分析及展望［J］．中国工程科学，2023，25（5）：1–10.

[5] 薛晓娟，刘彩，王益民，等．新时代中医药发展现状与思考［J］．中国工程科学，2023，25（5）：11–20.

[6] 白昕．医药企业绿色技术价值评估［D］．山西财经大学，2024.

[7] 李阳春，俞敏，张晓星，等．太极集团：央地国企混改涅槃重生［J］．企业管理，2022（11）：50–55.

[8] 蔡纯，卢向阳．生物工程技术在生物医药产业绿色制造的应用策略与前景分析［J］．自然科学前沿，2025，1（2）.

[9] 姚光远，刘玉强，刘景财，等．我国医药制造业危险废物产生特性及污染防治分析［J］．环境工程技术学报，2021，11（6）：1258–1265.

[10] 何彬生，邴萍萍，许涛，等．发展中医药农业实现绿色农业科技革命的创新与实践［J］．Agricultural Outlook（1673–3908），2022，18（2）.

[11] 罗志勇．社会转型期我国绿色发展的困境与路径研究［J］．观察与思考，2018（2）：65–71.

[12] 徐志领．中医药企业财务风险的分析与控制——以太极集团为例［J］．Operations Research and Fuzziology，2023（13）：5061.

Research on Environmental Resource Protection and Sustainable Paths in Pharmaceutical Development
—A Case Study of Taiji Group

Ma Junzhao Liu Chenli Shi Guo

Taiji Group Chongqing Fuling Pharmaceutical Factory Co., Ltd. Fuling District, Chongqing, China

Abstract: The pharmaceutical industry is a core component of the global health system, directly linked to human life and health while also indirectly influencing social and ecological security. During the production phase, the industry often faces challenges such as high energy consumption, cumulative environmental pressures, and the complex discharge of pollutants, posing significant threats to ecological systems. From the perspective of environmental resource protection and sustainable development, this study takes Taiji Group's Chongqing Fuling Pharmaceutical Plant as a case study to examine its practical initiatives in green cultivation of medicinal materials, energy conservation and carbon reduction, full-process clean production, resource recycling, and ESG governance. On this basis, the study summarizes a development model with replicable and transferable value, analyzes the underlying mechanisms of environmental impacts throughout the pharmaceutical life cycle, and explores the institutional support for green transformation in line with national policies. Furthermore, it highlights the institutional safeguards required for enterprises to advance

https://doi.org/10.35534/er.0701004

green transition and proposes targeted recommendations: at the enterprise level, designing tiered and classified implementation plans for green transition; and at the policy level, establishing a green drug evaluation system, expanding green financial support, and promoting effective multi-stakeholder regulatory coordination.

Key words: Green pharmaceuticals; Sustainable development; Environmental resource protection; Taiji Group