

# 人工智能驱动下医药供应链成本优化路径\*

○南京新工投资集团有限责任公司 胡国顺

**摘要：**为了解决医药供应链监管严格、链条复杂、需求波动大引发的高成本、低效率行业困境，以及传统管理模式难以有效破解库存冗余、物流僵化、信息孤岛与质量合规等核心成本难点，提出基于人工智能技术的医药供应链成本优化体系，构建以智能基础设施为数字底座，联动战略、运营、治理、协同等四大应用层的“1+4”集成优化框架，形成全链条、多层次的成本优化路径；该框架具有实现医药供应链的需求精准预测、物流动态调度、全链条质量追溯与跨主体智能协同作用，推动医药供应链从局部降本向系统增效转型；优化路径在安全合规的前提下，降低供应链综合运营成本，为医药行业高质量发展提供技术支撑。

**关键词：**医药；供应链；成本优化；人工智能

**中图分类号：**F274

在全球医药监管持续强化的背景下，医药供应链的运营效率与成本控制已成为影响企业市场竞争力的关键因素。医药供应链覆盖原料药生产、流通仓储、终端配送及多方监管协同等环节，具有环节复杂、时效敏感、合规要求高等显著特征。然而，传统管理模式难以有效应对需求不确定性、物流网络僵化、信息协同不足与质量追溯困难等系统性问题，导致供应链整体成本居高不下。随着新一代信息技术（如人工智能（AI）、物联网、大数据等）的发展，为复杂数据处理、智能决策与跨链协同等提供了技术优势，也为医药供应链的成本优化提供了新的技术解决方案。本研究通过系统分析医药供应链核心成本构成和存在的问题，构建以人工智能为核心驱动力的成本优化管理体系，旨在推动医药供应链向智慧化方向演进。

## 一、医药供应链核心成本存在问题

### （一）医药产品库存积压与缺货的矛盾

医药产品的需求受疾病谱变迁、季节性流行病、医保目录调整、国家集采政策执行、新产品上市乃至突发公共卫生事件等众多因素影响，呈现出较强的波动性特征且难以精准预测。根据历

史销售数据的传统统计预测模型响应滞后性以及准确性欠佳，导致终端需求的微小波动在向供应链上游传递过程中被层层放大，形成显著的“牛鞭效应”，使医药供应链陷入高库存与常缺货并存的双重困境。一方面，为防范缺货风险，企业普遍采取保守库存策略，设置远高于实际需求的安全库存水平，不仅占用巨额流动资金，还推高仓储管理成本；另一方面，需求预测失准导致特定药品短缺，不仅引发紧急调拨产生的超额物流成本与市场机会损失，还可影响患者治疗；此外，药品往往具有严格的有效期限限制，高库存与低周转直接提升近效期药品的报废风险，造成资源浪费。药品库存成本、过期成本与缺货成本已成为医药供应链总成本中亟需优化的核心组成部分。

### （二）物流效率低与温控风险增加运营成本

医药物流尤其是冷链物流，对配送时效、温湿度要求极高。传统物流网络高度依赖人工操作与经验判断，难以动态响应实时变化的交通状况与订单需求，引发一系列问题。①冷链物流设备投入大，能耗与过程监控要求高，而基层医疗机构终端分布广泛、订单零散，导致“最后一公里”配送存在频次高、满载率低、返程空驶等突

\* 基金项目：江苏省社科应用研究精品工程财经发展专项课题“基于人工智能的医药企业全生命周期成本管理研究——以NII集团为例”（25SCC-13）。

作者简介：胡国顺（1987—），南京新工投资集团有限责任公司，硕士，注册会计师、高级会计师、资产评估师、江苏省会计领军人才、上海国家会计学院现代产业发展研究中心兼职行业研究员。主要研究方向：智能财务、供应链管理。

出问题，整体运输效率低；②在多级分销体系下，药品经重复装卸、中转仓储，增加了操作成本与货损风险；③传统温度监控难以实现全程连续、实时温度可视与主动调控，一旦发生温控偏差或运输延迟，极易导致药品失效报废、客户索赔、质量事故与监管合规风险等产生隐性风险成本。

(三) 信息孤岛与协同不足增加决策与交易成本

医药供应链涉及医院、制药企业、流通商等众多主体，各环节因商业机密保护、技术壁垒等因素，信息系统独立建设、标准不统一，数据共享程度低，形成严重的信息孤岛，导致供应链缺乏全链条实时、完整的数据源。需求信号无法准确、及时地向供应链上游传导，进一步加剧了“牛鞭效应”，使整体网络运行效率低。医药供应链跨组织间的协同计划、预测与补货工作，因缺乏及时、准确的数据支撑难以有效实施，推高供应链整体运营成本。一方面，供应链整体可视性不足，各环节根据局部和滞后信息制定决策，集体响应市场变化的速度迟缓，加剧资源错配；另

一方面，跨企业间的订单协同、对账结算、资质审核等流程仍大量依赖人工与纸质单据，导致运营效率低下，推高协同与交易成本。

(四) 质量追溯体系不健全引发合规风险

药品安全关乎生命健康，行业安全监管要求日益严格，全球主要市场的监管机构均对药品生产流通全过程的质量管控与追溯提出强制性要求。传统模式下，质量管理多依赖人工抽样检验和纸质记录，存在覆盖范围有限、标准执行不统一、信息易篡改等，导致追溯体系普遍面临链条不完整、查询效率低的困境。一方面，大量人工审核、档案管理推高了管理成本；另一方面，由于追溯信息不连贯，发生质量安全事件时，产品召回范围大、耗时长，产生高额的物流运输、产品销毁、损害赔偿及声誉修复成本。此外，若追溯系统仅实现供应链局部环节信息化，其建设与运营成本将成为企业长期的财务压力。由此可见，质量风险与追溯成本已成为医药供应链在平衡安全与效率过程中必须破解的关键难题。医药供应链核心成本痛点见图1。

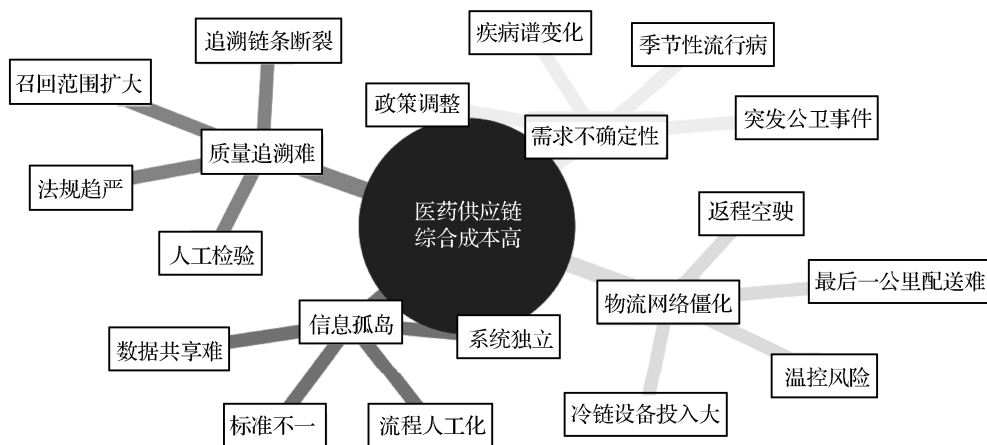


图1 医药供应链核心成本的痛点

## 二、应用人工智能优化医药供应链成本的路径

面对医药供应链的系统性成本痛点，尽管行业已普遍应用各类信息化系统实现流程自动化，但传统管理模式普遍缺乏智能决策与自适应优化能力，难以实现成本优化的系统性突破，亟需构建穿透不确定性、打破信息壁垒、实现动态全局优化的新型范式与技术驱动体系。以人工智能为核心，构建“1+4”集成优化框架，即以基础层

为技术底座，联动战略、运营、治理、协同四大应用层，形成全链条、多层次成本优化路径，推动医药供应链从局部降本向系统增效转型。

(一) 基础层：支撑人工智能应用的底层架构

基础层是人工智能在医药供应链成本优化中落地应用的前提，重点解决用人工智能技术的可落地性问题，通过构建标准化数据、算法算力、安全保障三位一体的技术底座(见表1)，打破技术应用壁垒，为四大应用层提供坚实的技术支撑。

表 1 AI 驱动下医药供应链基础层建设成效

基础层体系	传统模式	AI 驱动模式	主要优化效果
数据体系	信息孤岛，标准不统一，人工采集	多源数据整合，标准化治理，实时采集清洗	数据互通率提升，模型训练效率提高，决策准确性增强
算法体系	简单统计模型，手动调整	深度学习算法，自动优化迭代	预测精度提升，自适应业务变化
算力体系	集中式服务器，响应延迟	云-边-端协同架构，分布式计算	实时响应能力提升，系统稳定性增强，运营成本降低
安全体系	基础权限控制，事后审计	三重安全防护，全链路加密与追溯	数据泄露风险降低，合规审计效率提升，信任机制建立

1. 构建标准化多源数据体系

针对医药供应链各环节数据分散、标准不一的“信息孤岛”痛点，全面整合治理全链条数据。一方面，打通医院信息系统(HIS)、制药企业综合管理信息系统(ERP)、流通商仓储管理系统(WMS/TMS)、医保系统和国家集采平台等系统的数据接口，采集药品生产、仓储、运输和配送等环节的实时数据(如生产工艺参数、仓储温湿度、运输轨迹和终端消耗数据等)，依托人工智能技术实现数据的统一采集、清洗与转换。另一方面，建立医药供应链数据标准规范，明确药品编码、批次信息、物流节点、合规指标等核心数据的统一格式与交互标准，从根源上解决数据不通的问题，为人工智能模型训练与决策分析提供高质量数据输入。

2. 建立适配业务需求的算法与算力体系

结合医药供应链的业务特性与成本优化需求，构建分层级的算法与算力支撑体系。算法层面，针对物流路径优化、库存调配、质量风险预警与合规检测等核心节点，部署深度学习算法，智能捕捉业务运行的内在规律；根据医药、医疗和医保“三医”政策变动以及市场波动等外部因素，持续优化算法模型。算力层面，采用“云+边+端”协同架构，匹配医药供应链高效、可靠的运行需求；在云端存储大规模数据和训练复杂算法模型，负责全局分析与决策；在冷链运输车辆、仓储中心等边缘节点，负责实时数据处理与本地快速响应；终端设备(手持扫码仪、智能货架等)负责数据采集与指令执行。

3. 构建全链路安全保障体系

医药行业数据涉及商业机密和患者资料等敏感信息，合规性要求高，因此在数据、算法、业

务之间建立三重安全合规体系。数据安全采用数据分级分类管理、加密传输、访问权限动态管控等技术，实现数据可用不可见，破解主体间的数据共享顾虑；建立人工智能模型全生命周期管理机制，避免因算法偏见导致需求预测失准、库存调配失误等问题；确保数据采集、存储、使用全流程符合相关法律法规要求，实现操作留痕可追溯，为后续审计与合规检查提供完整的数据支撑。

(二)战略层：驱动全局战略规划与动态优化  
战略层重点解决成本优化的方向，通过人工智能驱动全局战略设计，重塑成本结构，优化资源配置，为供应链成本优化提供顶层设计(见表 2)。

表 2 AI 驱动下医药供应链战略层优化成效

战略层环节	传统模式	AI 驱动模式	主要优化效果
成本结构优化	静态成本分析，滞后调整	动态成本归因模型，实时优化识别	成本高耗环节识别率提升，优化潜力点发现效率提高
网络布局优化	固定网络布局，经验选址	AI 仿真模拟，全生命周期成本评估	中转成本降低，网络灵活性增强
资源配置战略	基于历史经验的库存与产能配置	风险导向的动态资源配置体系	库存周转率提升，应急响应能力增强，资金使用效率优化

1. 智能优化成本结构

依托人工智能技术推动成本结构从被动应对向主动优化转型。整合采购成本、生产成本、物流成本、库存成本、合规成本等全链条数据，建立人工智能成本归因模型，精准识别成本高耗环节与优化潜力点。对高库存环节制定精准预测、动态补货和有效期管理等全周期成本优化战略；对高能耗冷链物流环节，通过智能温控、路径优化、设备升级等实现节能降本；对研发生产投入建立投资回报率(ROI)动态评估模型，智能分配资源，实现短期成本控制与长期价值提升的平衡。

2. 智能优化网络布局

利用人工智能技术优化供应链网络布局，整合区域需求预测数据、物流成本数据、仓储资源数据、宏观与行业数据，通过仿真模拟不同网络布局的全生命周期成本，优化生产基地-区域仓-终端网点三级网络结构，减少重复中转与跨区域调拨成本<sup>[1]</sup>。针对冷链物流高投入、长回报周期的特性，动态评估冷链设施投资回报率，结合区域需求密度与温控要求，制定分阶段、差异化的冷链网络建设规划，平衡短期成本压力与长期效率提升。

### 3. 智能优化资源配置

面对需求不确定性与供应链中断风险，利用人工智能技术构建风险与成本平衡的资源配置体系。应用人工智能技术对需求波动趋势进行精准预测，结合药品有效期、温控要求、合规约束等因素优化安全库存水平与产能布局，实现供应链产能与库存的协同配置；对“带量采购”政策下的刚性需求，通过人工智能联动中标数据、终端消耗速率与生产周期，制定与刚性需求匹配的产能计划，在保障稳定供应的同时最大化资金使用效率。此外，对于突发公共卫生事件引发的产业链波动需求，通过人工智能模拟风险影响范围，制定跨区域资源调配预案，降低紧急调拨产生的超额成本。

#### (三) 运营层：智能化提升端到端流程效率

运营层重点解决成本优化的高效执行问题，通过人工智能驱动实现端到端流程自动化与实时优化，直接破解流程性成本痛点，提升供应链运营效率(见表3)。

表3 AI驱动下医药供应链运营层流程优化成效

流程环节	传统模式	AI驱动模式	主要优化效果
库存管理	经验决策、静态安全库存	精准预测、动态补货、效期预警	库存周转率提升，过期损失降低
物流运营	人工路径规划、低满载率	动态路径优化、自动化分拣、智能调度	运输成本降低，配送准时率提升
交易结算	纸质单据、人工对账审核	智能识别、智能对账、自动核验	流程效率提升，人工成本降低

#### 1. 智能库存管理

通过人工智能对库存规划、补货、调拨、效期管理全流程进行数字化再造。规划环节根据精准需求预测数据，动态生成最优安全库存水平，替代传统经验决策；补货环节建立自动补货触发机制，结合采购提前期、仓储容量、资金成本等约束条件，实现以耗用定补货；调拨环节建立全局库存可视化平台，实时匹配区域缺货与积压数据，自动生成最优调拨方案，破解药品库存积压与缺货的双重矛盾。

#### 2. 物流“仓-运-配”全流程智能优化

通过人工智能实现物流全链条智能化运营。仓储环节通过调度算法优化货物存储位置与出入库顺序，结合智能仓储机器人实现装卸、分拣自动化，减少重复操作，降低货损风险；运输环节整合实时交通、车辆状态、订单分布等数据，利用人工智能动态规划最优运输路径，减少返程空驶与运输延迟；针对基层医疗机构订单零散的配

送，通过人工智能整合零散订单，优化配送频次与路线，提高车辆满载率，破解“最后一公里”高成本困境。

#### 3. 交易结算流程智能化

针对跨组织协同流程繁琐、交易成本高的痛点，通过人工智能实现订单处理、对账结算、资质审核等流程自动化。利用OCR技术自动提取纸质单据、电子合同中的关键信息，实现订单自动录入与审核；建立智能对账模型，自动比对交易双方往来账款，识别差异并及时预警，大幅缩短对账周期；针对医药行业严格的资质审核要求，构建人工智能资质核验系统，自动校验企业资质、药品批文、冷链认证等信息的真实性与有效性，降低人工审核成本与时间成本，提升协同交易效率。

#### (四) 治理层：实现智能追溯与风险预警

治理层重点解决成本优化中的安全合规问题，通过人工智能强化质量、效期、追溯、审计等高风险环节的智能监控，破解质量管控与合规成本高的痛点，实现成本优化与安全合规的平衡(见表4)。

表4 AI驱动下医药供应链治理层管控成效

治理领域	传统模式	AI驱动模式	主要优化效果
质量管控	人工抽样检验，事后追溯	全周期智能管控，实时异常预警	质量风险识别提前率提升，追溯精度提高
效期与追溯	人工记录，追溯链条断裂	AI效期预警、全程追溯	过期损失降低，追溯查询便捷
合规与预警	人工核查，被动应对	AI智能合规审计，主动风险预警	合规检查效率提升，违规风险降低

#### 1. 全周期质量智能管控

药品全周期质量智能管控，应用人工智能技术建立事前预防-事中控制-事后追溯的全周期质量管控体系。生产环节，通过机器视觉技术对药品外观、包装完整性进行实时检测，替代人工抽样检验，提高检测精度与效率；过程控制环节，智能分析生产工艺参数、仓储环境数据、运输条件数据，识别可能导致质量问题的异常因素，提前触发调整指令；事后追溯环节，结合区块链技术对质量数据进行加密存储与链式追溯，一旦发现质量问题，快速定位问题环节，分析影响范围，为后续处置决策提供依据<sup>[2]</sup>。

#### 2. 效期预警与全程追溯智能管理

针对药品效期管理难度大、追溯链条不完整的缺点，利用人工智能技术构建药品全生命周期追溯与效期管控体系。采集药品在各流通环节的时间节点数据，自动计算剩余效期，设置动态预

警阈值，实现近效期药品优先流转；建立“一物一码”全链追溯系统，实现追溯数据的自动采集、关联与可视化呈现，相关主体户可通过扫码查询药品流向、检验报告、温湿度记录等信息。同时，通过人工智能实时跟踪全球监管政策变化，自动更新追溯数据与合规要求，确保追溯体系始终符合最新法规标准。

### 3. 智能合规审计与风险预警

针对供应链合规要求日益严格、人工审计成本高的特点，通过人工智能推动合规管理从被动应对向主动预警转型。自动整合供应链各环节的操作数据、合规记录，按照监管要求进行智能核查，精准识别合规漏洞；利用人工智能技术分析资质审核数据、交易数据、流程执行数据，提前预判合规风险发生概率，并为企业提供针对性的风险防控建议；智能生成标准化合规报告，满足监管部门审查需求，降低合规沟通与整改成本<sup>[3]</sup>。

### (五) 协同层：构建共赢共生的协同网络

协同层重点解决供应链主体间的共赢协作问题，通过人工智能打破组织边界与信息壁垒，构建跨企业、跨部门、跨制度的信任协作机制，破解协同失效导致的高交易成本难点(见表 5)。

表 5 AI 驱动下医药供应链协同层协作成效

协同维度	传统模式	AI 驱动模式	主要优化效果
跨企业协同	信息不对称，数据共享难	跨企业数据协同平台，隐私计算支持	协同效率提升，牛鞭效应减弱，整体库存水平下降
跨部门协同	部门壁垒严重，决策冲突	AI 驱动跨部门决策机制，全局最优方案生成	内部协同响应速度提升，资源错配率降低
跨制度信任	信任缺失，纠纷处理成本高	基于数据信任的协作体系，AI 纠纷调解	合作信任度提升，纠纷处理时间缩短，协同稳定性增强

### 1. 构建跨企业数据协同平台

针对供应链各主体信息不对称、数据共享难的问题，整合制药企业、流通商、医院、物流企业、监管机构等多方数据，通过数据标准化处理与隐私计算技术，搭建跨企业的人工智能的协同平台。医院实时消耗数据通过平台同步至药企与流通商，根据平台数据动态调整生产计划与配送方案，真正实现以销定产、以耗定配；监管机构亦可通过平台实时获取药品追溯数据与合规记录，提升监管效率，同时降低企业的合规沟通成本。

### 2. 构建跨部门协同机制

针对企业内部部门壁垒严重、协同效率低的问题，整合企业内部采购、生产、物流、库存、财务等部门数据，构建企业级基于人工智能技术的供应链协同管理平台，推动内部组织协同升级。建立人工智能驱动的跨部门决策机制，针对库存优化、物流调度、成本分摊等关键问题自动整合各部门诉求与数据，生成全局最优解决方案，避免因部门利益冲突导致的资源错配；通过人工智能优化跨部门协同流程，识别流程瓶颈环节并自动优化，提升内部协同响应速度。

### 3. 构建跨制度信任协作体系

针对医药供应链涉及多主体、多制度的特性，通过人工智能技术构建基于数据信任的协作体系。完整记录供应链各环节的交易数据、操作记录，形成可追溯的信任凭证，降低合作双方的信任成本；根据各协同主体的成本投入、贡献度等数据，制定公平合理的利益分配方案，提升各主体的协同意愿；建立人工智能纠纷调解机制，对协同过程中的争议问题快速介入、及时调解，降低纠纷处理成本，保障协同关系的稳定性。

## 三、结束语

医药供应链的成本优化关乎行业可持续发展与公共卫生保障，面对行业核心痛点，亟需突破传统管理模式的局限，通过技术创新实现全链条、多层次的协同优化。本研究提出的“1+4”人工智能集成优化框架，以智能基础设施为底层技术支撑，通过战略层锚定全局优化方向、运营层激活流程执行效能、治理层守住合规安全底线、协同层打破组织与信息壁垒，形成人工智能驱动医药供应链成本优化的全新路径，有效破解库存、物流、协同、合规等四大核心成本难题。研究表明，人工智能技术的深度应用，可推动医药供应链实现从经验驱动向数据驱动、从静态管理向动态优化、从局部降本向系统增效转型。随着人工智能算法的持续迭代、算力水平的不断升级与多技术融合的深化，将为医药供应链成本的进一步优化提供更多路径与实践可能。

### 参考文献：

[1] 王丽峰. 医药供应链创新的具体措施分析[J]. 物流工程与管理, 2021, 43(5): 55-56, 41.  
 [2] 韦颖, 厉欢. 数字化转型对医药商品供应链管理的效率提升与成本优化研究[J]. 流程工业, 2025(2): 13-16.  
 [3] 胡国顺. 以风险管理为导向的企业内部控制初探[J]. 财经界, 2020(19): 138-139.