环境规制智能转型的理论演进与实证检验

——基于苏州市经验

陈 波，曹 辉

（福建农林大学经济与管理学院，福州 350002）

摘要：近年来，随着生态文明建设和低碳经济的推进，环境规制已成为推动经济绿色转型的重要政策工具。通过对现有文献的分析，梳理了环境规制从命令控制型向市场激励型、信息公开与公众参与型再到智能治理型的演化路径，厘清其理论基础与制度逻辑，阐述了各阶段研究的特点、成果与不足。在此基础上，选取苏州市智能环境治理平台建设为案例，基于准自然实验方法，实证检验智能治理对环境绩效的影响效应及作用机制。研究发现，智能治理平台通过提升信息透明度和执法强度，显著促进了环境治理绩效的持续改善，并展现出动态优化特征。最后，结合实践挑战与未来趋势，提出了智能治理在环境规制体系中进一步发展的路径建议。

关键词：环境规制；命令控制；市场激励；智能治理；制度演化

中图分类号：X32；F272.3 **文献标志码**：A **文章编号**：1671－1807(2026)02－0193－07

随着中国经济进入高质量发展阶段，生态环境问题日益突显，成为制约可持续发展的重要瓶颈。为实现“碳达峰”与“碳中和”目标，环境规制作为推动绿色低碳转型的重要政策工具，不断在理论与实践中动态演进。

回顾环境规制的发展脉络，可以清晰地描绘其“前世”轨迹：早期以命令控制型规制为主，政府依靠直接行政手段设定排放标准与管控要求，具有强制性与快速性的优势，但也存在执行成本高、信息不对称严重等局限。随着市场机制引入，环境规制逐步转向市场激励型路径，通过排污权交易、环境税收等手段，提升资源配置效率，激励企业自主减排。进入21世纪，信息公开与公众参与型规制兴起，社会监督成为重要补充力量，环境治理体系更加注重透明度与多元主体协作。进入“今生”阶段，智能治理作为环境规制的重要创新模式日益受到关注。借助新兴技术，环境数据采集实现实时化、监管响应趋于精准化，政策执行具备了动态调整与预警干预能力，智能治理不仅在技术手段上实现突破，更在治理理念与体系结构上引发深刻变革。

尽管当前关于环境规制演变与智能治理转型的研究不断丰富，但仍存在理论归纳与实际应用脱节的问题。现有文献多聚焦于宏观层面的制度变迁与政策演化，对于智能治理背景下规制工具微观作用机制的实证检验仍显不足。基于此，本文在系统梳理环境规制演变逻辑与智能治理转型趋势的基础上，以长三角地区苏州市为典型案例，利用准自然实验方法，实证检验智能治理平台对环境治理绩效的实际促进作用及其作用机制，最后结合当前智能治理的发展瓶颈与趋势，提出未来环境规制体系优化与创新的方向。

1 环境规制的历史演变与传统机理

1.1 命令控制型规制的兴起与机理分析

命令控制型规制，作为环境保护领域最早期的主要形式之一，起源于20世纪中期，尤其是在西方发达国家的环境治理实践中逐渐成型。20世纪六七十年代，全球范围内的工业化进程带来严重的环境污染问题，尤其是大气污染、水污染、土地退化等现象日益严重，公众对环境质量的关注空前高涨。这一时期，环境问题的紧迫性催生了政府加强干预的需求，由于市场机制在环境保护领域的失灵，政府开始采取更加直接的干预措施，以“硬性”规定迫

收稿日期：2025-03-28

基金项目：国家自然科学基金应急管理项目(72241410)；福建农林大学习近平生态文明思想研究院开放课题项目(STWMSX23-08)；福建省社会科学规划社会科学研究基地生态文明研究中心重大项目(FJ2022JDZ037)

作者简介：陈波(1999—)，男，四川长宁人，硕士研究生，研究方向为涉农企业经营与管理、区域经济；曹辉(1973—)，男，福建长汀人，博士，教授，研究方向为生态保护。

使污染者承担其环境责任。

命令控制型规制的机理体现为一种自上而下的单向控制逻辑，其核心在于通过政府主导的强制性规则直接约束企业的环境行为。首先，政府机构基于环境目标制定明确的政策工具，如污染物排放标准、技术规范及环境禁令，以法律形式确立企业行为的边界。随后，监管机构通过定期检查、环境监测数据审核及违规处罚等手段，确保政策的有效执行。在这一框架下，企业作为被规制对象，主要通过安装污染治理设施、调整生产工艺或承担合规成本等方式实现被动合规。从短期效果来看，命令控制型规制能够迅速降低污染物排放，改善局部环境质量，并因其规则明确而易于监管实施。然而，从长期视角分析，该规制模式存在监管成本高、政策灵活性不足、缺乏技术创新激励等问题。

1.2 市场激励型规制的出现与作用机制

在命令控制型规制逐渐暴露其局限性之后，特别是在应对日益复杂的环境问题时，市场激励型规制应运而生。这一转变主要源自环境经济学理论的发展，特别是科斯定理和环境外部性理论的提出，为市场机制引入环境规制提供了理论依据[3]。与命令控制型规制依赖政府强制执行不同，市场激励型规制强调通过市场机制引导企业和社会主体自主履行环境责任，是一种“双向反馈-动态均衡”的适应性调节机制。市场激励型规制的运作本质上是环境治理从行政干预向制度性重构的范式跃迁[4]，其核心在于通过环境要素的产权界定与交易权利的制度化，将生态负外部性转化为可量化的市场信号，这些信号成为调控企业行为的关键手段，且它们并非孤立运作，而是通过经济与行为双重路径传导其影响[5]。并且，市场激励型规制的有效性在很大程度上依赖于政策工具与市场行为之间的协同互动[6]，包括补贴型工具、价格型工具等[7]，这些政策工具的交互作用不仅影响单个企业的决策，还通过行业竞争动态、供应链网络效应以及投资者行为改变市场生态，使市场激励型规制的影响超越单一企业层面，逐步塑造整个行业的绿色发展路径[8]。

2 当前环境规制的运行现状与综合模式

2.1 当前环境规制的运行现状

近年来，环境规制体系经历了从单一行政命令向多元协同治理的深刻变革，逐步形成了行政规制、市场激励与信息规制并行的复合治理体系。政府通过排放标准、排污许可等手段强化行政管控，同时引入碳市场、排污权交易、绿色金融等市场机制，提升资源配置效率与企业减排动力。“双碳”战略背景下，碳定价、ESG（environmental-social-governance）投资等工具作用日益突出[9]。与此同时，信息规制与公众参与的兴起正在重塑环境治理格局。信息披露、企业社会责任（corporate social responsibility，CSR）报告、环境信用等机制增强了公众监督与企业环境责任意识，推动共治格局形成。然而，多元规制间协同仍不充分，地区执行能力差异、企业应对不一等问题制约了整体治理效能[10]。在此背景下，软性调控与规制工具协同亟须加强，以提升环境治理绩效。

2.2 信息公开与公众参与的软性调控

信息公开与公众参与的软性调控机制，是通过环境信息的透明化与社会压力的市场化传导，重构企业环境行为的激励结构，将传统规制中政府与企业的二元博弈，扩展为“政府-企业-社会”三元动态互动，通过信息赋能与声誉约束实现环境治理的“去中心化”调节，形成“制度嵌入-信息扩散-行为响应”的新型治理范式[11]。这一机制的运行逻辑始于政府通过环境信息披露政策将企业隐性环境行为显性化，使其转化为可观测、可验证的公共信息[12]。与此同时，社会主体通过媒体舆论监督、环境公益诉讼及公众参与式监测等渠道，构建覆盖企业全生命周期的声誉监督网络。当企业环境行为偏离社会预期时，市场通过资本成本上升、客户群体流失及合作伙伴撤资等市场化惩戒手段，倒逼其重新权衡环境投入与声誉资本损益。在此过程中，政府角色从直接规制者转变为制度供给者与信息中介，社会力量则通过自组织监督形成非正式约束力，通过“信息流—声誉场”的耦合作用，二者共同推动企业从被动合规转向主动优化环境决策。

2.3 多元化规制工具的协同效应

当前环境规制体系呈现多元化工具协同运作的格局，融合了硬性规制与软性治理的优势，实现对企业环境行为的全方位约束与激励。命令控制、市场激励与信息公开三种模式各有优劣，相互补充，共同作用于整个环境治理系统。传统的命令控制型规制虽能提供明确的排放标准和执法依据，却在复杂多变的经济与环境情境中面临灵活性不足的问题。市场激励型规制通过价格信号与经济激励推动企业主动减排与技术创新，然而，当信息不对称或市场竞争结构不完善时，其效果也会打折扣[4]。信息公开与公众参与则利用社会监督和舆论

压力,在治理体系中补足前两者在动态反馈上的不足,使得企业的环境行为不仅受政策和经济激励的约束,也要面对公众舆论与声誉风险的考量[16]。三种规制工具之间的交叉与耦合,构成一种综合的治理框架,通过不同路径与机制彼此补强,增强整体治理效能[17]。在这一框架中,政府、企业、公众以及第三方机构四类主体共同形成多层次的治理网络,实现跨层次、跨部门的协同治理[18]。环境治理并不是一成不变的刚性体系,而是一个需要持续迭代与差异化调适的过程[19],由此形成的"因地施策、因时制宜、差异施策、动态调整"的外部机制,既能保持宏观政策目标的连贯性,又能适应区域与行业的多元需求,实现环境与经济的协同进化。

3　智能治理时代下的环境规制新模式

3.1　智能治理兴起的理论基础与驱动因素

随着大数据、云计算、物联网和人工智能等新一代信息技术的迅猛发展,环境规制正迈向一个全新的智能治理时代。这一新模式不仅在技术手段上实现了跨越式提升,同时在治理理念和体制机制上也将发生深刻变革,迫使环境治理向更为精准、动态和自适应的智能治理模式转变[20]。一方面,智能治理依托海量数据的实时采集与整合,突破了传统规制中数据更新不及时、信息不透明的瓶颈;另一方面,借助人工智能和机器学习技术,环境风险预测、异常检测和预警能力得到大幅提升,为监管部门提供了及时干预的科学依据。此外,区块链技术在确保数据不可篡改和提升信息透明度方面的应用,也为市场激励型规制传递精准信号提供了技术支撑。政策层面上,"双碳"目标和绿色发展战略为智能治理提供了明确的政策导向,促使政府加快建设跨部门、跨区域的信息共享平台,推动环境监管从事后处罚向过程控制转变[21]。同时,智能治理还为企业绿色转型提供了技术和市场双重激励,通过智能监测系统和自动化执法手段,企业在降低环保成本和提升竞争力方面获得了新的发展机遇。

3.2　智能治理如何重塑环境规制体系

智能治理技术的引入使得环境规制体系更加实时、动态和精准,政府、企业、市场、公众和第三方机构在环境治理中的互动方式也将发生根本性变革[22]。传统环境规制依赖企业定期报送数据,监管部门基于历史信息调整排放标准,并通过人工巡查发现违规行为。这种模式不仅信息更新滞后,而且执行成本高,污染治理往往处于被动响应状态。相比之下,智能治理引入物联网、卫星遥感和无人机巡检,实现全天候污染监测,使政府能够实时掌握环境数据,并借助人工智能预测排放趋势,从而动态优化政策,提高调控的灵活性和前瞻性。同时,智能执法系统结合人工智能(artificial intelligence,AI)识别异常排放,并通过智能合约自动执行处罚,极大地提高了执法效率,减少了人为干预可能带来的漏洞。市场激励机制也随之升级,区块链技术确保碳交易与排污权市场的透明度,智能合约实现碳配额的自动结算,使市场调节更加精准。信息公开和社会监督层面,智能治理依托区块链存证和开放数据平台,使企业排放数据可实时查询,公众可通过社交媒体及智能举报系统参与环境监督,推动政府、企业、公众及第三方机构的多方共治[23]。

整体来看,智能治理呈现层级递进式架构,以数据驱动为核心,依托信息技术和智能算法实现动态优化。底层主要负责环境数据的实时采集和存储,中层通过大数据分析与智能决策优化环境规制,顶层则实现政策执行与多主体协同治理。各层级相互联动、动态反馈,共同构建起精准、高效、智能化的环境规制体系。

3.3　案例分析:长三角地区智能环境治理实践探索——以苏州市为例

随着中国生态文明建设进入系统集成与机制创新的纵深阶段,环境治理亟须向更高水平的精细化、智能化跃升。在此背景下,长三角地区率先探索"数字+治理"路径,将大数据、人工智能等新一代信息技术嵌入环境规制之中,构建具有区域特色的"智能治理"模式。苏州市作为长三角核心城市之一,依托其雄厚的产业基础和完善的城市治理体系,率先推进"智能化+环保"深度融合,逐步形成了具有代表性的以数据驱动、技术支撑、系统协同为核心的智能环境治理模式,为区域乃至全国提供了重要实践样本。

3.3.1　模型构建

为科学评估智能环境治理平台的实施对苏州市环境治理绩效的影响,以2018年苏州市全面启动"智慧环保"平台作为政策冲击节点,设定2008—2023年为观察期,采用时间断点前后差分法,对城市环境治理绩效进行了准自然实验式评估。该平台集成了生态环境数据的汇聚、分析与指挥,标志着苏州市环境治理从传统模式向数字化、智能化转型。因此,将2018年前后分别定义为"平台上线前期"(2008—2017年)与"平台建设后期"(2018—2023年),构造虚

拟变量进行分析，以验证智能治理机制对环境质量改善的促进作用。构建的基准模型为

$$EGPI_t = \alpha + \beta_1 Smart_t + \beta_2 Control_t + \varepsilon_t \quad (1)$$

式中：$EGPI_t$ 为苏州市第 t 年的环境治理绩效指数；$Smart_t$ 为虚拟变量；$Control_t$ 为控制变量合集；α 为截距项；β_1、β_2 为相关系数；ε_t 为误差项。

3.3.2　变量选取和数据处理

1）变量选取

（1）被解释变量：环境治理绩效指数（EGPI）。考虑到环境绩效具有多维度、系统性特征，本文从“水、气、土、废、声”五大环境要素出发，分别选取具有代表性和数据连续性的二级指标进行量化测度（表 1）。

鉴于各项环境绩效指标量纲不同、分布特征各异，且主观赋权易引入偏差，选用熵值法以客观确定各指标的权重，计算步骤如下。

第一步，极差标准化处理。根据各指标的属性，分别采用以下公式进行标准化。

正向指标：

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \min X_j}{\max X_j - \min X_j} + 0.01 \quad (2)$$

负向指标：

$$Z_{ij} = \frac{\max X_j - X_{ij}}{\max X_j - \min X_j} + 0.01 \quad (3)$$

为避免因部分变量取值为 0 而导致对数函数无法计算，从而影响熵值与权重的准确估计，对所有标准化结果加上 0.01 进行非零化处理。其中，Z_{ij} 为第 j 项指标在第 i 年的标准化值，$\max X_j$ 和 $\min X_j$ 分别为该指标在样本期内的最大值与最小值。

第二步，将标准化后的数据 Z_{ij} 转化为占比 P_{ij}，计算表公式为

$$P_{ij} = \frac{Z_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} Z_{ij}} \quad (4)$$

式中：n 为样本年度总数；P_{ij} 表示第 j 个指标在第 i 年度中的占比。

第三步，计算第 j 个指标的熵值 E_j。

$$E_j = -\frac{1}{\ln n}\sum_{i=1}^{n} P_{ij}\ln P_{ij},\ P_{ij} > 0 \quad (5)$$

第四步，计算冗余度 D_j。

$$D_j = 1 - E_j \quad (6)$$

当指标熵值越小、冗余度越大，表示该指标对综合评价的区分度越高。

第五步，计算各指标权重 W_j。

$$W_j = \frac{D_j}{\sum_{j=1}^{m} D_j} \quad (7)$$

式中：m 为指标总数，取 $m=10$。

第六步，求第 i 年度的环境绩效综合指数 $EGPI_i$。

$$EGPI_i = \sum_{j=1}^{m} W_j Z_{ij} \quad (8)$$

熵值法测得的苏州市 2008—2023 年对应的 EGPI，即环境绩效综合指数如图 1 所示。

（2）解释变量：考虑到苏州市“智能环境治理平台”自 2018 年起正式建设运行，设虚拟变量 $Smart_t$，当年份为 2018 年及以后，$Smart_t=1$，否则为 0。

（3）控制变量：为排除经济社会变动带来的干扰因素，参考已有研究，引入以下年度控制变量：年 GDP总量（lngdp）、第二产业占比（sec）、环保支出占比（env）、人口密度（lnpop）。

各变量指标详细说明如表 2 所示。

2）数据来源和处理

数据主要来源于《苏州市生态环境状况公报》《苏州市政府年度工作报告》《苏州市统计年鉴》及生态环境局公开数据库。考虑部分年份个别指标缺失，采用线性插值法进行合理补充，并对关键年份设定截面核查，确保数据一致性与分析科学性。

表 1　环境治理绩效评价指标体系

一级指标	二级指标	指标定义	指标属性
水	地表水环境质量达标率/%	达到或优于地表水Ⅲ类标准的水体占比	正向
	城市污水处理率/%	城市生活污水经处理达标后排放的占比	正向
气	PM2.5 年均浓度/（μg·m^{-3}）	年均细颗粒物浓度	负向
	空气质量优良天数比例/%	AQI 为优或良的天数占比	正向
土	土壤环境质量监测点位/个	全市土壤环境监测网络中布设的监测点数量	正向
	土壤环境质量监测达标率/%	达到国家/地方标准的监测点的比例	正向
废	业固体废物综合利用率/%	工业固废被回收利用的比例	正向
	生活垃圾无害化处理量/万 t	城市生活垃圾通过焚烧、填埋等无害化方式处理的数量	正向
声	区域环境噪声均值/dB	城市各功能区平均环境噪声值	负向
	道路交通噪声均值/dB	白天主干道路的交通噪声平均值	负向

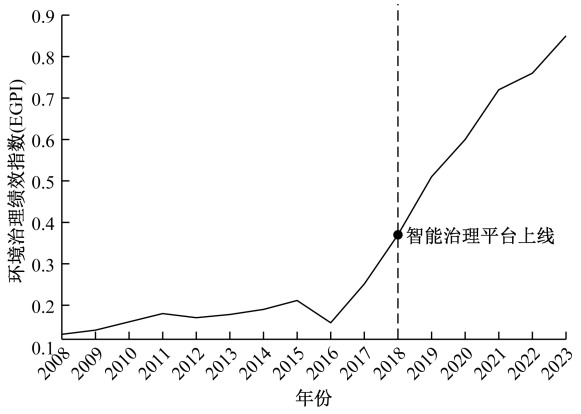


图 1　2008—2023 年苏州市环境治理绩效变化趋势

表 2　控制变量

变量名称	变量符号	指标释义
地区生产总值	lngdp	苏州市年度地区生产总值,取自然对数处理
第二产业占比	sec	第二产业增加值占 GDP 比例
环保支出占比	env	年度财政环保支出占一般公共预算支出比例
人口密度	lnpop	常住人口密度(人/km^2),取自然对数

3.3.3　基准回归结果与趋势检验

表 3 显示了智能环境治理平台上线前后对苏州市环境治理绩效的影响回归结果。列(1)为基准模型,仅引入核心解释变量 Smart,即是否处于平台上线后的时间段。结果显示,Smart 系数为 0.458,在 1%的水平上显著($P<0.01$),表明智能治理平台的实施显著提升了苏州市环境治理绩效,且提升幅度较大。列(2)进一步引入地区生产总值(lngdp)、第二产业占比(sec)、环保支出占比(env)以及人口密度(lnpop)等控制变量,Smart 的系数依然为正(0.122),并在 1%的水平上显著,说明控制其他干扰因素后,智能治理平台对环境绩效的正向影响依旧稳健。其中,lngdp 和 lnpop 的系数显著为正,分别在 1%和 5%的水平上显著,表明经济发展与人口聚集水平的提升有助于增强环境治理能力;sec 的系数同样在 1%的水平上显著为正,反映产业结构优化对环境绩效提升的重要作用;而 env 虽未显著,但其系数为负,符合"财政支出具有滞后效应"的预期。列(3)进一步引入上述控制变量的一期滞后项,以考察政策效果的时滞性。回归结果显示,Smart 变量仍在 10%的水平上显著为正,且所有控制变量滞后项均在 1%、5%或 10%的显著水平上正向影响 EGPI,进一步表明环境治理绩效提升可能具有一定的"反应迟滞"特征,特别是政策与投入需经一定时间才能显现效果。整体来看,模型的 R^2 从基准回归的 0.825 提升至 0.987,解释力显著增强,结果进一步验证了"智能治理平台"的实施在提升城市环境治理绩效方面具有显著且稳健的实证支持。

表 3　基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)
	基准回归	控制变量回归	滞后一期回归
Smart	0.458***	0.122***	0.094*
	(0.071)	(0.043)	(0.066)
lngdp	—	0.722***	—
		(0.151)	
sec	—	1.849***	—
		(0.505)	
env	—	−0.489	—
		(0.298)	
lnpop	—	0.884**	—
		(0.342)	
L_lngdp	—	—	0.429***
			(0.131)
L_sec	—	—	1.306**
			(0.464)
L_env	—	—	0.720*
			(0.324)
L_lnpop	—	—	1.204***
			(0.251)
常数项	0.177***	−13.734***	−13.169***
	(0.011)	(1.671)	(1.884)
R^2	0.825	0.986	0.987

注:*、**、***分别表示 10%、5%、1%的显著性水平;括号内为稳健标准误。

为进一步探究"智能治理平台"建设对苏州市环境绩效的影响动态及其时间分布特征,基于事件研究方法构建多期响应模型,绘制图 2 所示的政策响应系数变化趋势,考虑到图示清晰性及动态效应检验的核心目的,本文在绘图时仅保留了 2018 年前后各 5 年的数据,即 2013—2023 年作为分析窗口。

由图 2 可知,政策实施前(2013—2017 年)环境绩效变化总体平稳,估计系数波动较小,误差区间普遍跨越零轴,表明平台上线前环境治理绩效未出现系统性趋势变化。自 2018 年起,EGPI 的估计系数呈现稳步上升趋势,平台实施后第 1～5 年对环境绩效的边际影响分别为 0.21、0.35、0.44、0.57 和 0.69,且在 1%的水平上显著,表明"智能治理平台"的实施对提升苏州市环境治理绩效具有显著且递增的正向作用。该动态变化趋势进一步支持了前述基准回归结果的稳健性,也显示政策影响具有持续发酵和累积效应的特征。

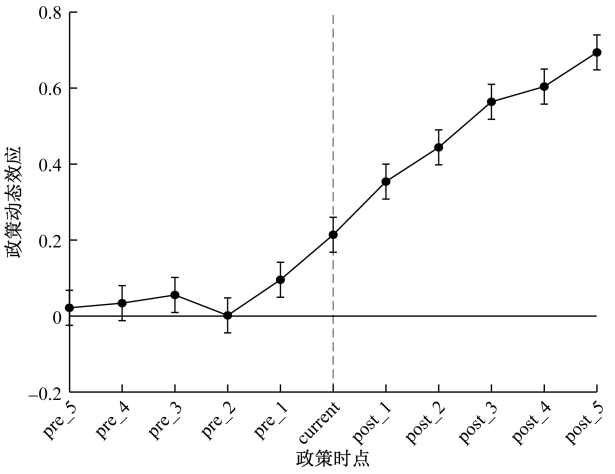


图 2　政策响应系数变化

3.3.4　作用机制

为进一步识别智能环境治理平台影响环境绩效的微观作用机制，构建中介效应模型，聚焦“信息透明度提升（ITR）”与“执法强度增强（EIN）”两条政策传导路径展开机制检验。理论上，智能平台通过环境数据集成与智能化信息发布，增强政府-企业-公众之间的信息对称性，进而提高治理透明度；同时，平台提升了执法响应效率与靶向精准度，有望强化环境规制的约束力。回归结果如表 4 所示。

回归结果表明，智能平台的建设显著提高了环境治理过程的信息公开水平[表 4 列(1)]，Smart 变量在 ITR 回归中呈现 0.220 的正向效应，且在 1% 的水平下高度显著，表明智能平台通过集成环境数据与实时信息披露渠道，增强了政府-市场-公众之间的信息公开程度。在执法强度路径上[表 4 列(2)]，Smart 同样展现显著的正向影响，说明智能治理平台有效提升了环保执法的频率与响应效率。信息透明与执法强化的双重推进，为环境绩效改善奠定了坚实基础。进一步引入中介变量后，ITR [表 4列(3)]与 EIN[表 4 列(4)]在解释 EGPI 变化时均表现积极且显著的影响。ITR 系数为 0.720，在 5%的显著性水平下成立；EIN 系数达到 1.124，并在 1%的水平下高度显著，验证了智能平台通过提升信息透明度和执法强度两条机制路径，间接促进了环境治理绩效的提升。需要注意的是，引入中介变量后，Smart 对 EGPI 的直接效应均不再显著，进一步印证了机制变量在政策效应传导中的关键角色。

表 4　作用机制回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
Smart	0.220***	0.133***	−0.037	−0.028
	(6.02)	(4.69)	(−0.42)	(−0.53)
ITR	—	—	0.720**	—
			(2.37)	
EIN	—	—	—	1.124***
				(3.57)
lngdp	0.377**	0.594***	0.451**	0.053
	(3.44)	(8.06)	(2.30)	(0.23)
sec	0.512	0.698	1.481**	1.064*
	(1.43)	(2.18)	(2.99)	(2.17)
env	−0.072	−0.029	−0.438	−0.458
	(−0.34)	(−0.19)	(−1.12)	(−1.69)
lnpop	0.783**	0.482**	0.297	0.320
	(3.67)	(2.54)	(1.01)	(1.40)
常数项	−9.128***	−9.101***	−7.157**	−3.501
	(−7.27)	(−7.89)	(−2.81)	(−1.48)
R^2	0.993	0.995	0.991	0.993

注：*、**、*** 分别表示 10%、5%、1%的显著性水平；括号内为 t 值。

3.3.5　结果讨论与小结

苏州市案例的实证分析进一步验证了智能治理平台在环境规制体系转型中的积极作用。一方面，智能治理平台的建设显著提升了环境绩效水平，且政策效应呈现持续强化、动态积累的特征，这不仅印证了智能化手段在提升环境治理精准性与响应速度方面的显著优势，也反映信息技术驱动下治理模式自我强化、自我优化的内生逻辑。另一方面，机制检验结果表明，环境信息透明度的提升与执法强度的增强是智能治理平台发挥作用的两条关键路径。前者通过打破政府与社会、企业之间的信息不对称，强化了治理过程的公开性与问责性；后者则依托智能监测与自动执法系统，增强了规制的刚性与及时性，降低了传统执法中的滞后与执法成本。

4　结论与展望

本文围绕环境规制的演化逻辑，系统梳理了命令控制型、市场激励型、信息公开型到智能治理型的转变脉络，揭示了不同阶段环境规制模式在治理理念、工具运用及制度逻辑上的深层变化。在此基础上，以苏州市为例，以智能环境治理平台为切入点，系统分析了其对环境绩效提升的影响机理与实证效果。结果表明，智能治理作为环境规制体系的重要创新，能够有效赋能治理过程的数字化、智能化与协同化转型，推动环境治理模式从静态应对向动态优化演进。

然而，智能治理作为新兴模式，在推广应用过程中仍面临数据安全、法律规范滞后、跨部门协同不足及社会接受度等多重挑战。未来，需从以下几个方向着力深化智能环境规制体系建设：一是加快

构建统一的数据标准与隐私保护框架,夯实智能治理的法律与制度基础;二是推动信息技术与治理体系的深度融合,提升跨部门、跨区域环境治理的协同能力与系统韧性;三是完善公众参与与社会监督机制,增强智能治理的透明性与公信力;四是加强智能算法的可解释性与适应性优化,确保智能决策在复杂环境下的科学性与公平性。

参考文献

[1] 贾俊雪,罗理恒,顾嘉. 地方政府环境规制与经济高质量发展[J]. 中国工业经济,2023(5):99-117.

[2] 韩超,张伟广,冯展斌. 环境规制如何"去"资源错配——基于中国首次约束性污染控制的分析[J]. 中国工业经济,2017(4):115-134.

[3] 范静波,赵睿. 环境规制与重污染企业绿色创新效率——中国式"波特假说"的再检验[J]. 中国科技论坛,2025(1):88-98.

[4] 孔东民,石政. "双碳"目标下我国企业绿色技术创新的环境规制优化研究[J]. 税务与经济,2022(6):1-7.

[5] 郑烨,李真森,段永彪. 环境政策工具对煤化工企业节能减排绩效的影响——绿色技术创新行为的中介作用和绿色技术创新意愿的调节作用[J]. 干旱区资源与环境,2025,39(5):20-32.

[6] 邓忠奇,高廷帆,庞瑞芝,等. 企业"被动合谋"现象研究:"双碳"目标下环境规制的福利效应分析[J]. 中国工业经济,2022(7):122-140.

[7] 郭英远,张胜,张丹萍. 环境规制、政府研发资助与绿色技术创新:抑制或促进? ——一个研究综述[J]. 华东经济管理,2018,32(7):40-47.

[8] 徐藜洋,张彩云. 从污染化到清洁化:论环境规制在产业结构升级中的作用[J]. 南京审计大学学报,2025,22(1):100-111.

[9] 郑冯忆,丁松. 环境规制能够倒逼产业结构升级吗? ——基于中国"低碳城市"建设的实证分析[J]. 东岳论丛,2025,46(2):103-114.

[10] 原毅军,谢荣辉. 环境规制的产业结构调整效应研究——基于中国省际面板数据的实证检验[J]. 中国工业经济,2014(8):57-69.

[11] 崔秀梅,温素彬,李冰冰. 环境信息披露与企业创新:促进抑或挤出——基于"波特假说"条件下的环境规制调节效应[J]. 财会通讯,2021(18):30-35.

[12] 伍中信,魏佳佳. 环境信息披露对企业高质量发展的影响[J]. 财会月刊,2022(8):7-15.

[13] 邹雨柔,刘红,吕晨. 公众参与、环境规制与居民福祉研究——基于 CiteSpace 的文献计量分析[J]. 中国科学院大学学报(中英文),2025,42(1):134-144.

[14] 潘翻番,徐建华,薛澜. 自愿型环境规制:研究进展及未来展望[J]. 中国人口·资源与环境,2020,30(1):74-82.

[15] 王红梅. 中国环境规制政策工具的比较与选择——基于贝叶斯模型平均(BMA)方法的实证研究[J]. 中国人口·资源与环境,2016,26(9):132-138.

[16] 马平平,张明. 公众环保参与对企业减污降碳协同治理的效应研究[J]. 系统工程理论与实践,2025(1):1-26.

[17] 田淑英,郭浩. 不同环境规制工具对碳排放绩效的影响与作用机制[J]. 自然资源学报,2025,40(3):812-832.

[18] 肖雁飞,廖双红. 绿色创新还是污染转移:环境规制效应文献综述与协同减排理论展望[J]. 世界地理研究,2017,26(4):126-133.

[19] 余泳泽,尹立平. 中国式环境规制政策演进及其经济效应:综述与展望[J]. 改革,2022(3):114-130.

[20] 李延喜,胡云戈,王夺,等. 智绘未来:人工智能与企业高质量 ESG 表现[J]. 当代财经,2025(9):84-97.

[21] 郑建明,徐欣燕. 环境规制与企业碳强度——基于中央环保督察的准自然实验[J]. 统计与决策,2025,41(5):172-177.

[22] 任思绮,相楠,李圣楠,等. 环境规制、人工智能与企业绿色创新[J]. 资源与产业,2025,27(2):46-59.

[23] 朱高立,李发志,张建,等. 长江经济带环境规制对减污降碳协同的影响机制及空间溢出效应研究[J]. 环境科学研究,2025,38(6):1195-1204.

Theoretical Evolution and Empirical Examination of the Intelligent Transformation of Environmental Regulation: Based on the Experience of Suzhou City

CHEN Bo, CAO Hui

(School of Economics and Management, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: In recent years, as ecological civilization building and the shift toward a lowcarbon economy have advanced, environmental regulation has become an important policy tool for driving the economy's green transformation. By analyzing existing literature, the evolution of environmental regulation was traced from commandandcontrol to marketbased incentive mechanisms, then to information disclosure and public participation, and finally to smart (intelligent) governance, the theoretical foundations and institutional logic were clarified and the characteristics, achievements and shortcomings of research at each stage were summarized. On this basis, the construction of the intelligent environmental governance platform in Suzhou was selected as a case. Using a quasinatural experiment, the impact and mechanisms of intelligent governance on environmental performance were empirically tested. The findings show that by enhancing information transparency and enforcement intensity, the smart governance platform significantly promotes sustained improvements in environmental governance performance and exhibits a dynamic optimization pattern. Finally, considering practical challenges and future trends, pathways are proposed for further developing intelligent governance within the environmental regulation system.

Keywords: environmental regulation; commandandcontrol; market incentives; smart governance; institutional evolution