

政企协同视域下公路水运工程智慧检测多级联动机制研究

魏柱¹, 肖滨¹, 肖玲芳¹, 杜勇立², 何现启², 蒋建清^{3,4*}, 左仕^{3,4}

¹湖南省交通建设质量安全监督管理局, 湖南 长沙

²湖南省交通建设工程试验检测协会, 湖南 长沙

³长沙学院土木工程学院, 湖南 长沙

⁴长沙学院公路工程自然灾害风险普查大数据智慧应用湖南省重点实验室, 湖南 长沙

收稿日期: 2026年5月15日; 录用日期: 2026年5月29日; 发布日期: 2026年6月30日

摘要

破解公路水运工程质量检测中的“委托-代理”困境, 消除政企信息不对称与科层制监管滞后, 是提升数字时代交通基础设施治理效能的关键。本文引入委托代理与协同治理理论, 以某省级智慧检测云平台为案例, 构建了涵盖源头数据穿透、敏捷纠偏响应与数字信用激励的多级联动理论框架, 并利用平台运行大数据进行了实证检验。研究发现: 依托物联网的数据直采直报机制有效剥夺了篡改数据的物理条件, 从源头破除了信息孤岛; 跨越科层的预警智能路由机制将隐患响应周期大幅压缩, 实现了质量监管的在线协同闭环; 同时, 动态信用画像重塑了代理人的收益预期, 遏制了机会主义行为并化解了逆向选择风险。智慧检测多级联动机制通过重塑政企间的信息流向与博弈结构, 实现了工程质量从单向被动管控向多方协同共治的范式跃升, 为大型基础设施监管的数字化转型提供了理论与实践样板。

关键词

政企协同, 智慧检测, 多级联动, 委托代理理论, 公路水运工程

Research on the Multi-Level Linkage Mechanism of Intelligent Testing in Highway and Waterway Engineering from the Perspective of Government-Enterprise Collaboration

*通讯作者。

文章引用: 魏柱, 肖滨, 肖玲芳, 杜勇立, 何现启, 蒋建清, 左仕. 政企协同视域下公路水运工程智慧检测多级联动机制研究[J]. 现代管理, 2026, 16(6): 127-141. DOI: 10.12677/mm.2026.166128

Zhu Guo¹, Bin Xiao¹, Lingfang Xiao¹, Yongli Du², Xianqi He², Jianqing Jiang^{3,4*}, Shi Zuo^{3,4}

¹Hunan Provincial Transport Construction Quality and Safety Supervision Bureau, Changsha Hunan

²Hunan Provincial Testing and Inspection Association for Transportation Construction Engineering, Changsha Hunan

³School of Civil Engineering, Changsha University, Changsha Hunan

⁴Hunan Provincial Key Laboratory for Big Data Smart Application of Natural Disaster Risks Survey of Highway Engineering, Changsha University, Changsha Hunan

Received: May 15, 2026; accepted: May 29, 2026; published: June 30, 2026

Abstract

Breaking the “principal-agent” dilemma in the quality testing of highway and waterway engineering, and eliminating information asymmetry and bureaucratic regulatory lag, are crucial for enhancing the governance efficacy of transportation infrastructure in the digital age. Drawing on the Principal-Agent Theory and Collaborative Governance Theory, this paper takes a provincial intelligent testing cloud platform as an empirical case to construct a multi-level linkage theoretical framework encompassing source data penetration, agile rectification response, and digital credit incentives. The framework is then empirically tested using the platform’s operational big data. The findings reveal that the Internet of Things (IoT)-based direct data reporting mechanism deprives agents of the physical conditions for data tampering, thereby dismantling information silos at the source. Moreover, the early-warning intelligent routing mechanism, which transcends bureaucratic boundaries, significantly compresses the hazard response cycle, achieving an online collaborative closed-loop in quality supervision. Simultaneously, dynamic credit profiling effectively reshapes the agents’ payoff expectations, curbing opportunistic behaviors and mitigating the risk of adverse selection. By reshaping the information flow and game structure between the government and enterprises, the multi-level linkage mechanism of intelligent testing facilitates a paradigm shift from top-down unilateral control to multi-party collaborative governance, providing a vital theoretical and practical paradigm for the digital transformation of large-scale infrastructure supervision.

Keywords

Government-Enterprise Collaboration, Intelligent Testing, Multi-Level Linkage, Principal-Agent Theory, Highway and Waterway Engineering

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

交通基础设施是国民经济的骨干动脉与先导性产业。近年来，随着《交通强国建设纲要》¹的深入实施，我国公路水运工程建设全面迈入以高质量、长寿命为核心特征的新发展阶段。在此背景下，工程实体质量的安全与耐久性面临着前所未有的高标准要求。试验检测作为工程质量把控的“听诊器”和“衡量尺”，其数据的真实性、准确性和可追溯性直接关系到交通基础设施的全生命周期健康与公共安全。

¹https://www.gov.cn/zhengce/2019-09/19/content_5431432.htm

为切实提升行业监管效能，交通运输部近年来密集出台了多项质量管理专项整治方案，明确提出要积极探索交通建设工程质量检测的全程数字化监管模式。然而，如何在宏观管理层面将数字技术切实转化为治理效能，重塑现有的质量监管体系，已成为当前交通工程管理领域亟待破解的重要理论与现实课题。

从现代公共管理与制度经济学的视角来看，公路水运工程试验检测管理本质上是一个典型的多重“委托-代理”关系场域。在这个场域中，政府行业主管部门(委托人)追求公共利益最大化与工程质量安全，而工程参建各方及第三方检测机构(代理人)则受制于成本控制、工期压力或经济利益的考量[1]-[3]。由于检测过程具有高度的专业性与隐蔽性，政企之间不可避免地存在着严重的信息不对称。在传统管理模式下，这种信息不对称极易诱发代理人的道德风险，例如检测报告体外循环、关键力学指标(如抗压强度、沥青指标)数据篡改、以及设备未检先用等隐蔽违规行为。

与此同时，传统的公路水运工程质量监管体系高度依赖于科层制的逐级信息上报与事后抽查机制。这种模式在应对复杂、海量且动态演化的现代工程检测网络时，逐渐暴露出制度摩擦与管理局限。一方面，条块分割的行政体制导致省级行业主管、市县监督机构与具体工程项目办之间存在数据壁垒，形成了多个相互割裂的信息孤岛。底层的不合格数据在层层人工传递中不仅容易失真，更会导致监管响应的严重滞后，错失最佳的整改纠偏时机；另一方面，单向、科层化的监管模式使得政府部门面临着高昂的监督成本，运动式的专项抽检难以形成长效的威慑力，导致行业信用体系的逆向淘汰风险加剧。

针对上述痛点，近年来学术界与实务界开始探索利用物联网(IoT)、建筑信息模型(BIM)等新一代信息技术推动试验检测业务的数字化转型[4]-[6]。然而，现有研究与实践多将数字化视作一种单纯的技术工具，侧重于底层工地试验室的设备直联或实验室信息管理系统的内部优化[7]-[8]。这种重技术部署、轻机制重构的倾向，未能从根本上触及跨组织、跨层级的数据流转与权力配置问题。换言之，如何在省级宏观统筹层面，打通从基层检测设备“端”到省级监管“云”的数据直达通道，构建跨越组织边界的协同治理体系，仍缺乏系统性的理论剖析与实证模式支撑。

基于此，本文引入协同治理理论[8]-[11]，旨在跳出传统单向监管的窠臼，从政企协同与多级联动的管理视域出发，重构公路水运工程智慧检测的管理机制。协同治理强调打破组织边界，通过信息共享、信任建立与制度设计，实现多元主体对公共事务的共同治理。本文以“省级公路水路智慧检测系统”为实证案例，深刻剖析该平台如何作为边界实体，重塑政企间的信息博弈结构。

本研究的核心目的在于：探讨智慧检测平台如何通过底层数据的直采直报与不可篡改特性，实现穿透式的源头溯源，从而彻底消解政企间的信息不对称；剖析多级联动机制如何将事后的静态惩罚，转化为“智能预警-敏捷响应-协同闭环”的动态博弈过程；并进一步论证如何利用沉淀的大数据重构以信用为核心的行业自律生态。本文一方面拓展了大型工程项目质量治理与数字政府建设交叉研究的学术边界，另一方面为我国区域交通基础设施质量治理体系与治理能力现代化提供了理论参考与实践样板。

2. 公路水运工程检测管理多级协同的理论基础与内在逻辑

在探讨如何重塑公路水运工程检测管理体系之前，必须首先从理论层面厘清传统管理模式的内在缺陷及其演化逻辑。传统与智慧监管模式下的政企博弈演化对比如图1所示。本节引入“委托-代理”理论与协同治理理论，系统剖析传统科层制监管下的信息不对称与制度摩擦痛点，进而构建政企协同视域下智慧监管的理论分析框架。

2.1. 传统检测管理中的“委托-代理”困境与信息不对称

公路水运工程质量的试验检测过程，在经济学与公共管理学范畴内，构成了一组复杂的多重“委托-代理”契约关系。在此博弈结构中，政府交通及质安监管部门作为公共利益的代表(委托人)，其核心效用函数是确保交通基础设施的质量安全、延长服役寿命并实现社会效益最大化；而具体的工程参建单位

与第三方检测机构(代理人),作为理性的经济人,其效用函数则往往侧重于成本控制、工期压缩以及经济利润的最大化。

当委托人与代理人的目标函数存在结构性错位时,信息不对称便成为诱发管理失效的核心变量。工程质量试验检测具有极强的专业门槛、时空分散性与隐蔽性,政府监管部门受限于人员编制与时间成本,难以实现对所有检测行为的全天候在场。这种事前与事中的信息劣势,必然导致代理人产生两种经典的微观经济学行为:

- **道德风险:** 在缺乏穿透式监督的环境下,代理人倾向于利用自身的信息优势采取机会主义行为。例如,为掩盖工程实体的质量缺陷以避免返工损失,施工方或检测机构可能合谋进行报告的体外循环、篡改关键力学指标(如混凝土抗压强度、张拉压浆数据)、或者在取样与标准养护环节进行调包。这些隐蔽违规行为的本质,是代理人将质量风险的外部成本转嫁给了公共社会。
- **逆向选择:** 传统监管模式高度依赖于事后抽查与纸质台账审查。因纸质数据极易被粉饰,监管部门难以在低廉的审查成本下甄别出优质机构与劣质机构。长此以往,合规经营、严守底线的检测机构面临更高的运营成本,而弄虚作假的机构反而在市场竞争中获利,最终引发劣币驱逐良币的行业生态恶化。

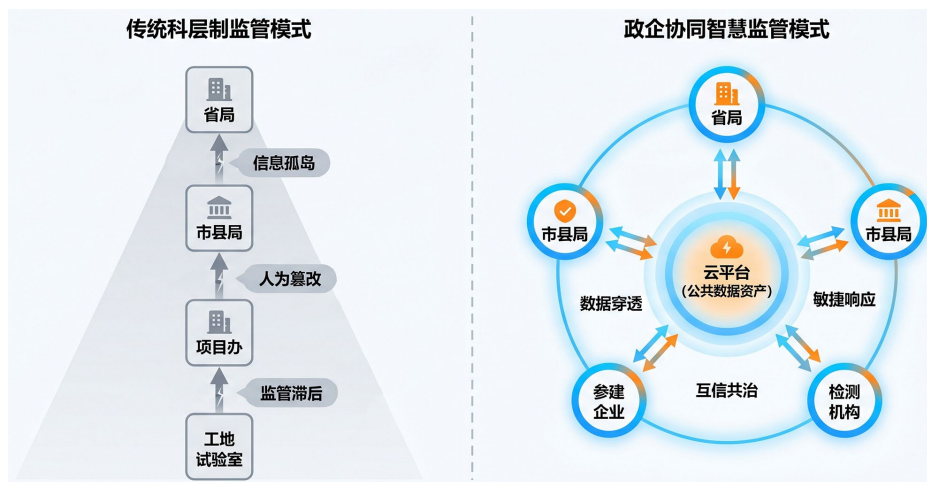


Figure 1. Comparison chart of the evolution of government-enterprise game under traditional and smart regulatory models
图 1. 传统与智慧监管模式下的政企博弈演化对比图

2.2. 多级科层体制下的制度摩擦与监管滞后

除了微观层面的政企博弈,公路水运工程的监管还受制于宏观层面的科层制体制特征。我国交通工程质量监管通常呈现出“省-市/县-项目办”的多级垂直属性。在传统的条件下,这种多级科层体制不可避免地产生了制度摩擦与信息阻滞。

首先是数据孤岛与信息衰减。在跨层级、跨部门的行政架构中,各级监督机构与参建企业往往运行着彼此割裂、标准不一的信息系统或传统的纸质流转体系。底层工地试验室生成的交工检测、材料抽检等原始数据,需要经过层层人工填报与审批才能触达省级监管中枢。在这一漫长的传导链条中,不仅信息损耗严重,更赋予了中间层级截留、过滤甚至粉饰真实数据的权力空间。

其次是高昂的交易成本与监管滞后效应。面对海量的工程标段与检测频次,传统运动式与被动式的现场巡查模式面临着高昂的监督交易成本。更为致命的是,由于缺乏实时数据的支撑,监管部门往往只能在工程竣工或发生质量事故后,才能通过事后倒查发现违规线索。这种时空错位导致监管行为滞后于

工程进度，错失了以最小代价进行整改纠偏的黄金窗口期，使治理效能大打折扣。

2.3. 政企协同视域下智慧监管的理论分析框架构建

针对“委托 - 代理”困境与科层制摩擦，传统的加重处罚力度或增加巡查频次等单向强制手段已触及及管理效能的边际递减边界。基于协同治理理论的视角，现代公共治理强调整合政府、企业与社会的多方资源，通过制度设计与技术赋能，将政企关系从零和博弈转化为合作共治。

近年来，数字化治理已成为公共管理领域探讨治理体系现代化的重要议题[12]。现有文献对数字化治理模式的探讨[13][14]，多聚焦于整体性治理视域下的城市大脑模式(如跨部门数据共享与政务服务协同)。然而，上述模式主要侧重于公共服务与社会治安领域的数据汇聚，较少触及具有高度专业壁垒与隐蔽利益博弈的工程质量监管场域[15]。相较于现有文献中常见的数据整合与决策模式，本研究构建的智慧检测多级联动模式具有独特性：本模式并非单纯依赖平台算法进行顶层决策，而是将数字技术的触角下沉至物理世界的检测终端，构建自下而上的数据穿透机制；同时，利用平台作为边界实体，将原本零散的预警数据转化为信用博弈的筹码。这一框架有效规避了单一技术治理容易陷入的数据形式主义陷阱，为克服高度专业领域的委托代理困境、抑制代理人机会主义行为，提供了一种基于“技术阻断 + 制度重构”的新型治理范式。结合数字治理的前沿理念，本文提出公路水运工程智慧检测多级联动的理论分析框架，如图 2 所示。该框架以数据要素为核心驱动力，旨在通过重塑三大运行机制，实现监管范式的根本跃升：

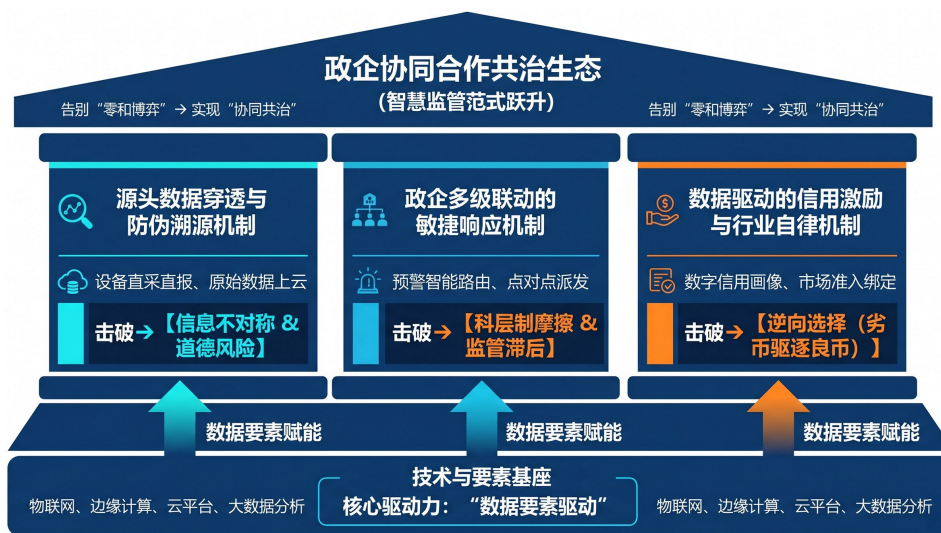


Figure 2. Framework diagram of theoretical analysis for intelligent supervision in highway and waterway engineering
图 2. 公路水运工程智慧监管理论分析框架图

(1) 源头数据穿透与防伪溯源机制(破除信息不对称)

数字技术(如物联网、边缘计算、RFID)的介入，从根本上改变了信息的生成与流转方式。智慧监管框架的第一步，是将感知触角直接下沉至物理世界的检测终端(如压力机、万能机)。通过建设设备级的“直采直报”通道，原始检测数据跳过人工中转，直接映射至云端。这种数据穿透机制剥夺了代理人篡改信息的物理条件，将隐蔽的私人信息强制转化为透明的公共台账，从技术底层改变引发工程质量道德风险的信息不对称前提。

(2) 政企多级联动的敏捷响应机制(破解科层制摩擦)

智慧监管不仅仅是数据的汇聚，更是行政权力的数字化重组。传统的逐级上报被扁平化的智能路由

所取代。在理论框架中，云平台作为跨越组织边界的边界实体，内置了标准化的业务逻辑与预警阈值。底层数据一旦触发违规特征(如不合格指标、非持证上岗)，系统即刻启动敏捷响应机制，跨越行政层级，将预警工单与整改指令同步点对点推送至利益相关方(省、市监管者及项目负责人)。这种多级联动机制大幅降低了跨部门的协调交易成本，将静态的事后惩戒转化为动态的实时纠偏。

(3) 数据驱动的信用激励与行业自律机制(化解逆向选择)

协同治理的最高境界是形成长效的内生秩序。智慧监管框架通过持续沉淀全生命周期的全量检测数据，为信用治理提供了坚实的量化基础。将日常过程监控中的违规高频次、能力验证数据以及多源比对模型发现的异常特征，自动映射为企业的信用画像。通过将信用评价结果与招投标市场准入深度绑定，构建起“守信激励、失信惩戒”的闭环生态。这一机制有效提高了代理人的长期违约成本，促使检测机构从外部被动合规转向内部主动控制，最终在行业内形成良性的协同共治网络。

3. 政企协同视域下多级联动机制的构建

为破解传统检测管理中的“委托 - 代理”困境与科层制摩擦，公路水运工程质量监管必须跳出单一技术升级的路径依赖，转向基于数字底座的制度重构。在政企协同治理的视域下，智慧监管的本质是通过数字权力的重新分配，重塑多主体间的信息流向与博弈结构。本节重点阐述如何通过构建数据穿透、敏捷纠偏与信用博弈三大核心机制，实现从单向管控向多级联动协同共治的范式跃升，如图 3 所示。

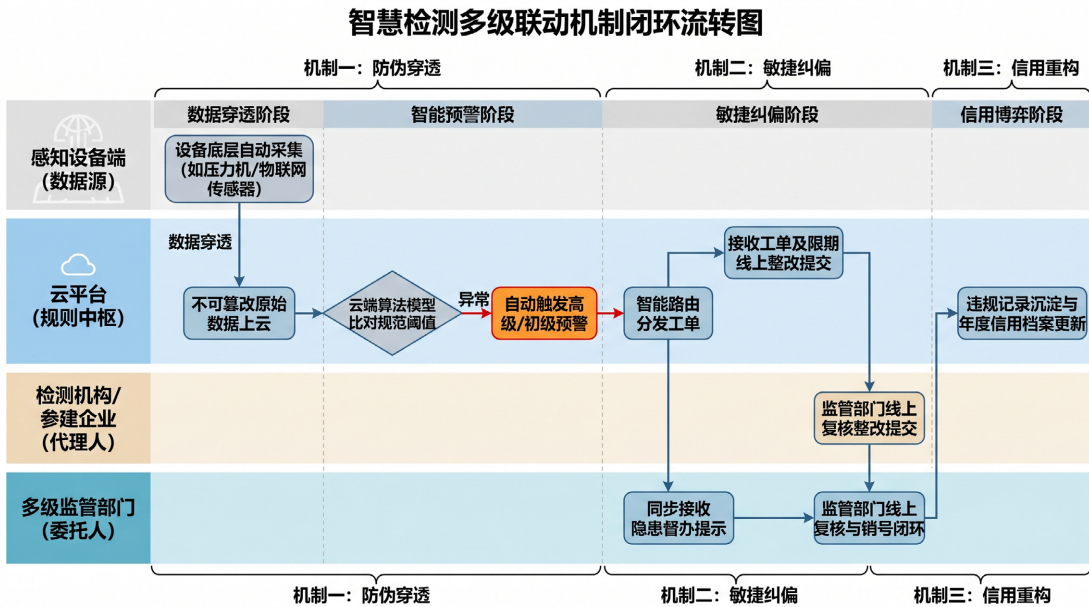


Figure 3. Closed-loop flow diagram of multi-level linkage mechanism for smart inspection

图 3. 智慧检测多级联动机制闭环流转图

3.1. 破除信息不对称：基于数据穿透的要素锁定与源头防伪机制

在传统的委托代理模型中，代理人(检测机构与参建企业)之所以能够实施道德风险，根本原因在于其掌握了检测要素与原始数据生成的“黑箱”。要消解这种信息不对称，首要前提是建立物理世界与数字空间的强映射，实施数据穿透。

(1) 数字认证驱动的要害动态锁定机制

传统模式下，机构资质、人员执业资格与设备校准状态往往分散于不同的静态纸质台账中，导致跨

区域、多标段的监管存在巨大的寻租空间，超资质承接业务、非持证人员上岗等现象屡禁不止。多级联动机制首先在市场准入与业务前置审查环节发力，构建了基于数字认证的要素动态锁定网络。

省级监管部门通过数字平台，将全省母体检测机构与各项目工地试验室纳入统一的资源池。在业务流转的起点，系统强制要求对“人员-设备-资质能力”这一三维矩阵进行交叉核验。一旦审核通过，该要素矩阵即在底层被刚性锁定。在实际生成检测任务时，系统会自动进行逻辑校验：若调用了脱检设备，或操作人员轨迹未在电子围栏内，系统将从物理源头实施拦截，拒绝生成试验报告编号。这种前置锁定机制，将原本滞后的事后行政处罚，转化为事前的物理与逻辑隔离，大幅提升了代理人的违规操作门槛。

(2) 数据直采直报的源头防伪溯源机制

检测数据的真实性是政企协同治理的互信基石。针对传统模式下关键力学指标(如抗压强度、沥青三大指标)易被篡改的痛点，多级联动机制推行了“直采直报”的数据穿透策略。

通过物联网边缘计算节点的部署，试验设备产生的原始荷载-位移曲线、极值等元数据，不再经过实验室信息管理系统的人工中转与审核，而是由设备内置的加密网关直接穿透企业层级的私有网络，实时汇入省级公共监管数据中心。同时，结合RFID与视频监控，建立起“取样-流转-养护-测试”全生命周期的盲样溯源链条。任何对原始数据的修约行为，都必须在系统中留存完整的修改时间、人员及原因论述痕迹。这一机制彻底剥夺了代理人筛选、粉饰数据的物理条件，将隐蔽的私人信息转化为透明的公共台账，实现了操作层面的信息对称。

3.2. 跨越科层边界：敏捷纠偏与多级动态博弈机制

数据的透明化只是第一步，治理效能的提升关键在于如何应对海量涌入的真实信息。传统的科层制管理面临着高昂的协同成本，不合格数据可能在层层上报中错失整改时机。为此，必须建立跨越组织边界的敏捷响应网络，重塑政企间的动态博弈过程。

(1) 预警分发与跨层级智能路由

多级联动机制的核心在于打破“下级对上级负责、逐层人工汇报”的线性流程，引入扁平化的智能路由。云端系统内置了与现行国家及行业标准高度拟合的逻辑算法。当直采上报的检测结果与规范阈值发生偏离(如张拉力不足、压浆不饱满、混凝土强度不合格)时，系统不再依赖人工研判，而是瞬间触发自动化预警。

依据风险严重程度，预警指令通过多层级并发路由，直接点对点推送至利益相关的多方主体——横向触达项目总监、驻地监理及施工企业负责人；纵向穿透至市县乃至省级质安监督机构。这种网状的信息分发模式，彻底消除了中间层级截留或隐瞒信息的可能性，将传统数天乃至数周的响应时间压缩至秒级。

(2) 政企动态博弈与在线协同闭环

预警的触发只是博弈的开始。在多级联动机制下，政府监管部门无需对每一次预警都进行高成本的现场核查，而是通过系统赋予的否决权与企业展开动态博弈。

企业(施工方与检测机构)在接收到预警工单后，被强制要求在规定时间内进行响应，并在线提交整改方案、复测数据或第三方实体钻芯取样报告。这一过程在多方监督下全程留痕。监管部门(省/市监督组)则在线上审查整改闭环的证据链条。若企业试图蒙混过关，无法形成逻辑自洽的闭环，该隐患部位将被系统自动标记，并直接转化为后续交工核验工作的重点靶向目标。这种在线协同闭环机制，以极低的行政交易成本，迫使代理人放弃侥幸心理，将原本隐蔽的质量缺陷转化为阳光下的限期整改，实现了监管从被动救火向主动防范的范式转移。

3.3. 化解逆向选择：数据驱动的信用激励与行业自律重构机制

在单次博弈中，代理人往往倾向于追求短期利益而违约；只有在无限次重复博弈中，引入长期声誉机制，才能从根本上促使代理人选择合规行为。多级联动机制的最终落脚点，是利用沉淀的数字资产，重塑行业的信用生态，彻底化解劣币驱逐良币的逆向选择难题。

(1) 日常监管行为的数字画像与量化归集

传统的信用评价往往依赖于年度台账审查，主观性强且容易失真。在多级协同机制下，云平台将企业日常高频、微观的检测行为转化为客观的信用数据资产。

系统通过算法模型，自动抓取并多维比对各类指标：例如，施工自检与监理抽检的合格率偏差是否过大(系统性造假特征)、年度内触发不合格预警的频次、修改原始数据的次数、以及盲样比对试验的优劣结果。这些散落在日常业务流程中的行为碎片，被系统实时捕获并结构化，最终汇聚为针对特定检测机构和工程标段的多维数字画像。这种以客观数据为底座的量化机制，剥离了人为干预的空间，确保了评价结果的绝对公平与透明。

(2) 声誉博弈与市场生态的良性演进

信用数据的价值在于其应用场景的拓展与反向约束力。在省级宏观统筹下，多级联动机制将动态生成的信用评级结果与交通工程招投标系统、市场准入审查以及日常抽检频率进行深度挂钩。

在这一声誉博弈模型中，合规经营、数据真实的高信用等级机构，将在招投标中获得加分优势，并享受降低日常抽检频次的无事不扰待遇；反之，频繁触发预警、数据造假的失信机构，不仅面临严厉的行政降级，更将在全省乃至全国的公路水运建设市场中面临一处违规、处处受限的生存危机。

通过这种数据驱动的信用激励机制，政府监管部门成功地改变了代理人的收益预期矩阵。企业逐渐意识到，通过数据造假获取的短期局部利益，远无法弥补因信用破产而丧失整个市场准入资格的长期沉没成本。由此，参建各方与检测机构的内生动力被彻底激发，由以往为了应付检查而被动合规，转变为为了积累数字信用资产而主动自律。这种基于信任重构的行业生态，标志着公路水运工程试验检测真正迈入了政企共建共治共享的高质量发展新阶段。

4. 云平台支撑下的多级联动实践：以省级智慧检测系统为例

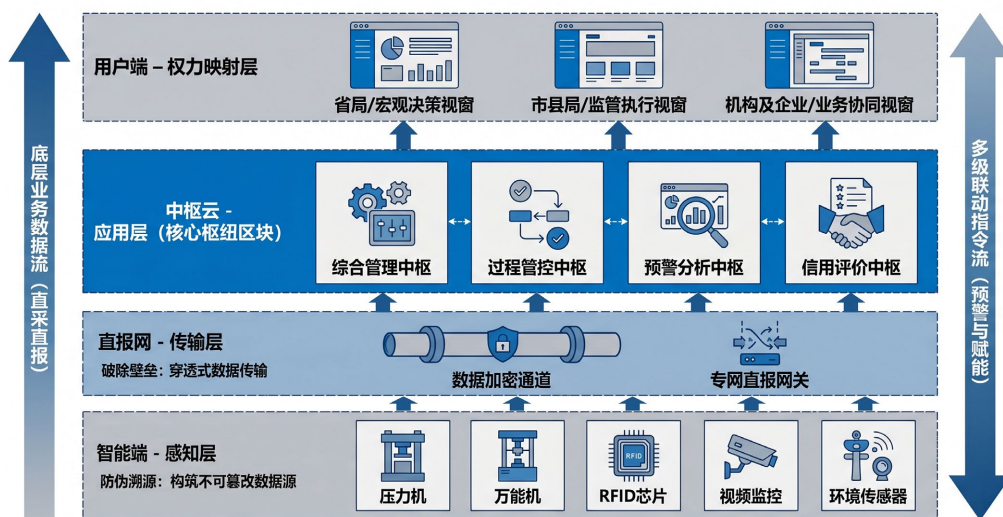


Figure 4. Architecture and power mapping of the “terminal, network, cloud” integration for smart inspection in highway and waterway engineering

图 4. 公路水运工程智慧检测“端、网、云”一体化架构与权力映射图

理论机制的有效运转，离不开高度适配的底层技术平台作为物理载体。在政企协同视域下，升级公路水路工程智慧检测系统(以下简称“云平台”)，重塑多级监管权力与业务流程。云平台系统涵盖了综合管理、行业监管、检测过程管控、信用评价等 8 大核心板块与 35 项具体功能，成功将第 3 节中所述的数据穿透、敏捷纠偏与信用博弈三大机制，转化为可落地、可执行、可度量的系统级操作规范，如图 4 所示。本节将从宏观的“端-网-云”总体架构入手，进而剖析关键业务模块是如何具体承载并实现上述协同治理机制的。

4.1. 赋能政企协同的“端-网-云”总体技术架构与权力映射

为支撑上述多级联动机制，省级智慧检测云平台在顶层设计上构建了“端-网-云”一体化的分布式协同架构。这一架构不仅是数据流转的物理通道，更是政企多级联动治理逻辑的代码化映射。

(1) 感知采集层(智能“端”)：重构物理世界的信任锚点

在“委托-代理”关系中，委托人无法轻信代理人提交的静态报表。云平台的感知采集层通过全面部署物联网技术，将信任的基础从“代理人的道德自律”转移到“机器与算法的客观记录”上。在工程现场与实验室(“端”)，系统通过接入 RFID 芯片、GPS 定位、电子围栏，以及直接联通压力机、万能机、沥青检测仪等关键试验设备的底层传感器，实现了对“人、机、料、法、环”全要素的智能感知与定点跟踪。这些智能“端”构成了不可篡改的数据源头，彻底消解了数据生成环节的“黑箱”。

(2) 数据传输层(直报“网”)：打破组织壁垒的数字高速路

针对科层制带来的信息损耗与逐级上报的制度摩擦，平台建立了基于全省统一数据标准与加密协议的直采直报网络。底层感知端生成的荷载曲线、极值数据或现场视频流，跨越了项目办、施工企业内部信息管理系统拦截，直接“穿透”上传至省级交通建设质量检测数据中心。这张“网”在物理层面剥夺了中间管理层级对数据的截留与篡改权，实现了监管视角的极致扁平化。

(3) 协同应用层(中枢“云”)：多级治理规则的代码化

在云端，平台并非简单的数据仓库，而是多主体协同共治的中枢神经系统。平台将繁杂的行政管理条例与国家试验规范转化为刚性的系统算法与执行逻辑。无论是省/市级质安监管部门，还是参建企业、第三方检测机构，均通过 PC 端控制台或移动端(智慧检测省局 APP、项目 APP 等)接入这朵“云”。平台根据用户的角色分配不同的数据权限与工单响应职责，构建了一个“千人千面、权责对等”的数字化协同工作台，将多级联动从行政口号变成了系统强制流程。

4.2. 支撑机制落地路径一：过程管控模块化解信息不对称

为落实源头数据穿透与防伪溯源机制，云平台深度开发了检测过程管控与综合管理两大核心功能模块群，实现了事前要素锁定与事中行为穿透的双重夹击。

(1) 事前要素锁定机制的落地

云平台内的综合管理板块(涵盖机构、资质、人员、设备管理子模块)改变了过去纸质档案管理的静态状态。平台建立全省统一的检测能力库，并引入了底层锁定功能。当检测机构录入人员持证状态与设备检定有效日期后，一经管理部门审核确认，系统便将此“人员-设备-资质”矩阵进行数字固化，企业端丧失单方面修改权。在实际业务生成时，若试验员尝试使用红色高亮提示的已到期设备，或承接超出能力库范围的检测项目，系统将在接单或生成报告编号环节实施物理拦截。这种模块设计，将主观上的违规企图直接阻断在流程发轫之前。

(2) 事中数据直采与盲样溯源的落地

在检测实施阶段，检测过程监控模块发挥了核心作用。针对容易引发道德风险的室内材料试验与主

体结构安全检测，平台强制推行“数据直采 + 修改溯源”。以混凝土抗压试验为例，试验一旦启动，压力机采集的实验结果直接上传云平台。同时，系统设置了严密的数据修改溯源台账功能。若由于设备故障等客观原因确需修约数据，系统支持修改，但强制要求留下修改人、时间、原数据、修改后数据及详细原因的全套数字痕迹。这种将修改行为阳光化的设计，使得任何恶意篡改在多方监督下都显得经济成本极高且逻辑漏洞百出。辅之以二维码盲样追踪和关键实验室视频监控的接入，平台在实操层面上完美补齐了防伪与溯源的证据链条，实现了政企之间在试验检测过程中的信息对称。

4.3. 支撑机制落地路径二：智能预警分析模块驱动的敏捷博弈网络

面对海量穿透上报的直采数据，如何避免监管部门陷入信息过载，是平台设计的关键。云平台通过检测预警与数据统计智能分析模块，成功落实了政企多级联动的敏捷响应机制，重塑了科层制下的纠偏流程。

(1) 全要素异常预警的分发与闭环

平台的违规预警与检测预警功能模块内置多维度的违规识别算法(包括数据超差、非执证人员上岗、超范围出具报告等)。一旦直报数据触发算法阈值，系统即刻生成初级或高级预警指令。这套预警系统跨越了层层汇报的科层体系，根据预警级别，自动将信息同步推送到参建单位的整改责任人以及对应的上级监管单位(如省交通质安局)。更重要的是，平台强制要求相关责任主体对预警进行线上回复与闭环处理。若企业拖延或拒不整改，系统将记录逾期行为，并自动将该不合格部位转化为交工核验阶段的必查靶向目标。这种线上留痕、限期销号的模块设计，构建了一个高强度的在线博弈场。

(2) 多源异构数据的横向比对与宏观决策支撑

在宏观管理层面，数据统计智能分析模块赋予了政府部门穿透式的洞察力。传统的监督抽检往往存在采样偏差，难以反映工程全貌。平台创新性地引入了检测数据比对分析功能，将原本割裂的施工单位自检、监理单位平行抽检、第三方外委检测、政府监督抽检以及交工核验等关键数据，放入同一个时空坐标轴进行横向比对。

例如，若某标段系统显示施工自检合格率长期维持在 100%，但在随机触发的监督抽检中合格率仅为 85%，这种显著的数据偏离即构成了系统性造假特征。算法自动研判这些运行规律与行业特征，生成综合评价结果并呈现在大屏展示系统上。这种基于数据挖掘的比对分析，使监管部门能够从微观的救火式查台账中解放出来，将有限的执法资源精准投向风险畸高的标段与机构，极大提升了宏观监管的主动性与前瞻性。

4.4. 支撑机制落地路径三：信用与能力评价模块构建的自律生态

为了打破劣币驱逐良币的逆向选择困境，云平台致力于将动态的过程监管数据沉淀为长效的治理资产。这一目标主要通过“信用评价”与“能力验证(比对试验)”模块来实现，从而完成了数据驱动信用激励的机制落地。

(1) 基于客观数据的能力验证体系

传统的能力验证往往依赖于定期组织的现场考核，存在较大的偶然性与突击应付的可能。平台开发的“能力验证”及“比对试验”模块，实现了对检测机构内部技术能力的常态化、在线化考核。系统支持验证计划的在线创建、盲样样品的数字分配、验证过程的数据抓取以及结果的自动判定与公示。在必要情况下，平台通过软件端口直接截取机构间比对试验的实时传输数据。这种全流程系统管控的验证方式，排除了人为干预的干扰，客观真实地暴露出各机构在技术设备与人员操作上的真实短板。

(2) 动态归集的信用档案与跨系统赋能

信用评价管理模块是整个云平台重塑行业生态的核心枢纽。平台建立了一个动态更新的全省信用评价标准库。在运行过程中，系统会自动采集并融合两大类关键数据：一是上述能力验证中产生的不合格记录；二是日常过程监控中被算法捕捉的高频违规行为(如预警处理逾期率、篡改数据频次、设备脱检运行次数等)。

机构的信用不再是由年底几份纸质申报材料决定，而是由这些不可磨灭的日常数字足迹自动折算而成。更具威慑力的是，平台中的信用档案管理与信用公示功能，能够将每年的评价结果与省厅的综合信用评价系统甚至招投标公共服务平台实现无缝对接、应用溯源。

通过这种模块化的信用归集与跨系统的联动惩戒，平台在实操层面确立了用数据说话的声誉评价规则。它成功地迫使理性的经济人(检测机构)在日常的每一笔试验中都必须权衡违规成本：因一次弄虚作假导致的系统减分，可能直接导致其在后续的工程投标中惨遭淘汰。这种高昂的长远违约成本，倒逼检测机构从源头上压实主体责任，在全省公路水运工程建设领域催生一种敬畏标准、珍视信誉的良性自律生态。

5. 实证与成效分析

前文从理论与系统架构层面探讨了政企协同视域下的多级联动机制。为了验证该机制在化解“委托-代理”困境与消除科层制摩擦中的实际效能，本节以省级公路水路智慧检测系统的实践为基础，从数据穿透效能、敏捷响应周期以及行业生态演进三个维度开展实证分析。该省地处我国中部交通枢纽，是基础设施建设强省。近年来，该省公路水运工程建设投资规模保持高位运行。同时，该省也具备完善的政务信息化与大数据治理底座。这种典型的“大基建+强数字”双重特征，为智慧检测云平台的研发、落地及全省域推广提供了实证土壤。

5.1. 实证背景与数据来源

省级公路水路智慧检测系统上线后，其监管触角已覆盖全省在建的公路水运工程试点项目和部分新开工项目。本研究选取系统推广运行实践作为实证。目前，平台累计入网全省数百家母体检测机构、工地试验室与施工及监理单位，接入各类物联检测设备(压力机、万能机、智能张拉压浆设备等)数千台套，汇聚了现场检测、监督抽检及原材料直采大数据。这些全样本、全要素的底层业务数据，为验证多级协同治理成效提供了坚实且客观的实证基础。

5.2. 核心机制的治理效能验证

5.2.1. 破除信息不对称：数据穿透与不合格数据阳光化

传统管理模式下，代理人(检测机构/施工方)为规避处罚，可能对不合格数据进行内部隐瞒或物理销毁。多级联动机制推行设备直联与数据穿透后，明显的变化体现在不合格数据上报率的结构反转。

以业务量大的公路工程项目压力机试验物联监管——混凝土抗压强度试验为例，近17个月不合格数据检出率显示，通过系统直采触发的不合格/异常预警报告数量呈现出短期内的波动式跃升，至2025年8月达到峰值，如图5所示。这种跃升并非由于工程实体质量骤降，而是直采直报机制刺穿了信息黑箱，将过去的隐蔽缺陷强制暴露在阳光下。随着平台运行的深入，代理人意识到篡改数据的物理条件已被剥夺且修改溯源成本高，其行为模式发生转变——从事后修饰数据转向事前严控原材料与施工工艺。自2025年8月达峰后，由直采端触发的不合格预警率开始呈现整体快速下降趋势。这一先升后降的数据演化轨迹，有力地证明了数据穿透机制在剥夺代理人机会主义行为、破除政企信息不对称方面的重要作用。

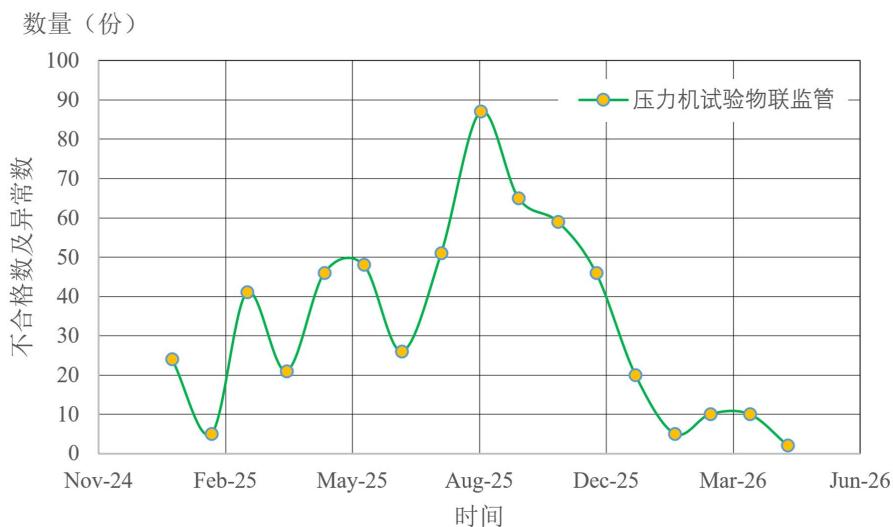


Figure 5. Evolution trend chart of the number of unqualified data under IoT supervision for press tests in highway engineering projects in the past 17 months

图 5. 近 17 个月公路工程项目压力机试验物联监管不合格数据数量演化趋势图

5.2.2. 破解科层制摩擦：敏捷纠偏效能与闭环率分析

衡量多级联动协同效能的核心指标，是监管体系对工程质量隐患的响应周期与整改闭环率。在传统的科层制下，隐蔽工序的质量缺陷(如桥梁预应力张拉力不足、压浆不饱满)往往需要历经“现场巡查 - 台账翻阅 - 整理上报 - 下发整改”的漫长周期，平均响应时间长达数天甚至数周，隐患部位多已进入下道工序，导致纠偏成本极其高昂。

基于平台大数据的实证分析表明，多级联动机制实现了跨层级响应周期的指数级压缩。以桥梁张拉压浆工艺质量监管模块的运行成效为例。当现场物联设备捕捉到双控指标超限时，系统在“毫秒级”内阻断设备运行，并同步向项目总监、驻地监理及市县监督机构触发预警工单。监管部门从隐患发生到介入督办的平均响应时间被压缩至数小时以内(即预警信息即时送达与确认时间)。

同时，依托平台的线上留痕、限期销号功能，隐患整改的全流程被置于多方协同视野之下，重大质量预警的按期整改闭环率大幅提升。剩余极少数无法彻底整改的结构部位，被系统自动精准锁定为交工核验的靶向清单。这表明，多级联动不仅打破了层级间的信息阻滞，更以极低的行政交易成本实现了从被动事后惩罚向实时动态纠偏的跨越。

5.2.3. 协同治理的宏观演进：信用驱动下的行业生态重构

协同治理的重要目标是消除逆向选择，重构行业互信生态。省级智慧检测云平台将日常零散的监管数据转化为信用评价体系的底层支撑后，全省公路水运工程检测市场呈现出良币驱逐劣币效应。

(1) 市场主体合规内生动力的激发

基于对平台信用档案归集数据的纵向对比发现，检测机构触发能力验证不合格、设备脱检运行以及人员轨迹脱离电子围栏等高频违规行为的次数，随时间推移呈现出收敛趋势。原因在于，平台将这些客观数字痕迹直接与年度信用等级挂钩，并与省级招投标系统关联。在“一处失信，处处受限”的市场压力下，检测机构的质量控制策略发生了良性转变——将被动应付政府检查的合规成本，转化为主动投资升级实验室软硬件、加强人员数字追踪的内部风控管理。

(2) 宏观治理决策的前瞻性演变

依托全省公路水运工程质量检测数据中心的智能分析大屏，省级监管部门的管理视距得到了延展。

平台多源异构数据比对模型多次成功定位出特定标段或特定检测机构的系统性数据异常。监管部门依据这些数据刻画出的风险热力图,开展靶向式专项飞检。这种基于大数据挖掘的前瞻性治理,推动公路水运工程质量治理体系迈入精准化、科学化的协同共治新阶段。

通过上述三个维度的实践应用表明,政企协同视域下的智慧检测多级联动机制,在破解质量监管顽疾、提升公共治理效能以及净化行业市场生态方面,具有重要的现实意义与制度重构价值。

6. 结语与展望

6.1. 研究结论与管理启示

在《交通强国建设纲要》统领与高质量发展需求的驱动下,探索交通基础设施建设质量的智慧化监管模式,已成为破解传统行业治理困境的必由之路。本文跳出将数字化单纯视为技术升级的工具主义窠臼,将研究视角锚定于政企协同与多级联动的管理机制重构。通过引入“委托-代理”理论与协同治理框架,本文系统剖析了传统科层制监管下的信息不对称与制度摩擦痛点,并以省级公路水路智慧检测系统为实证案例,揭示了数字底座支撑下的多级联动治理逻辑与实践成效。

本研究得出以下核心结论:

第一,数据穿透是破除政企间信息不对称、消解代理人道德风险的根本前提。依托物联网技术与设备级直采直报,智慧检测云平台成功剥夺了代理人(检测机构与参建企业)进行数据体外循环与物理篡改的条件。将隐蔽的私人信息转化为不可篡改的公共数据资产,从源头上重塑了政企间的互信基础。

第二,多级联动的敏捷响应网络能够有效破解传统科层制的监管摩擦。云平台内置的智能预警与自动分发路由,打破了逐级上报的科层壁垒。实证表明,该机制以较低的行政交易成本,将过去漫长、滞后的事后追责,转化为“快速预警、限期销号”的事中动态纠偏,提升了监管体系的响应效能与闭环率。

第三,基于大数据的信用评价是实现行业协同共治的长效杠杆。多级联动机制的最终落脚点,在于将日常智慧监管的客观数字痕迹,转化为约束市场准入的信用画像。这种数据驱动信用的声誉博弈机制,成功改变了代理人的收益预期,激发了市场主体合规的内生动力,推动了行业生态从逆向选择向良币驱逐劣币演进。

管理学启示:本研究为我国大型工程项目的质量治理提供了新的范式参考。在数字时代,政府监管部门的角色应从疲于奔命的现场巡查者转变为规则与算法的制定者以及协同生态的维护者。管理效能的提升不再依赖于行政人力的无限增加,而是取决于数字边界实体的构建质量,以及数据要素在跨层级、跨组织间的无摩擦流转。

6.2. 局限性与未来展望

尽管基于多级联动的智慧检测云平台已在规范检测行为、提升宏观监管效能方面取得了良好的实证成效,但本研究及现有的管理实践仍存在一定的局限性。例如,本文的实证样本主要集中于一省的运行数据,且当前平台处理的核心对象仍以结构化的力学指标和流程节点数据为主。此外,必须审慎地指出,本研究提出的智慧检测多级联动模式并非万能药,其成功应用高度依赖于特定的边界条件。首先是基础设施与资金门槛,直采直报机制要求全省数百家基层实验室进行大规模的物联网设备升级,初期数字化改造成本较高。其次是行政统筹与执行力壁垒,平台的全面推开不可避免地触及既有利益格局,依赖省级主管部门自上而下的强制推行与制度护航。因此,在将该模式向其他区域(如数字化底座较弱的省份)或交叉行业推广时,不能盲目照搬。后续实践应充分考量当地的数字化基础底座与跨部门协调难度,因地制宜地调整数据接入标准与预警流转层级,以防陷入“重建设、轻应用”的数字形式主义困境。

伴随新一代人工智能技术与空间信息技术的演进,未来的智慧检测管理体系具有更为广阔的拓展与

重构空间：

(1) 从状态监测向算法驱动的演化预测跨越

目前的智慧监管仍主要聚焦于合规性校验(即判断当前数据是否超越规范阈值)。未来,研究重心应向基于人工智能与深度学习的预测性治理延伸。通过深度挖掘海量多源异构数据(如材料微观参数、施工工艺波动、宏观气象与服役环境),构建工程实体质量退化与病害演化的高维测算模型。使监管部门不仅能发现已发生的不合格,更能精准预测即将发生的质量塌陷,推动管理决策从经验主导走向算法辅助的前瞻性研判。

(2) 与 BIM 及数字孪生技术的深度时空融合

目前的检测数据多以二维报表、曲线或大屏图表的形式呈现,缺乏与工程实体空间信息的精准锚定。未来的演进方向是打通智慧检测云平台与工程项目 BIM 模型的数据接口,构建交通基础设施的数字孪生体。当设备端直采的不合格数据上传时,系统不仅能触发工单预警,还能在三维虚拟空间中精准高亮标示出缺陷构件(如某根特定的桥墩或基桩),实现检测数据、空间坐标与实体构件的全息时空映射,从而极大提升现场靶向核验与全生命周期维护的精细化水平。

(3) 探索跨区域乃至跨产业链的协同治理生态

随着全国统一大市场的建设,工程建设主体的跨省流动愈发频繁。未来的研究应探讨如何打破省际数据壁垒,构建国家级的智慧检测数据与信用互认机制。此外,可进一步探索将智慧检测沉淀的高质量数字资产向金融、保险等产业链上下游延伸。例如,将机构的数字信用画像作为工程保险费率厘定或银行供应链金融授信的依据,通过更广泛的社会化协同网络,彻底锁死数据造假的生存空间,全面赋能交通基础设施建设的高质量、可持续发展。

基金项目

湖南省交通科技项目“数字化监理检测及其管控平台关键技术研究(项目合同编号:2023-21)”。

参考文献

- [1] Eisenhardt, K.M. (1989) Agency Theory: An Assessment and Review. *The Academy of Management Review*, **14**, 57-74. <https://doi.org/10.2307/258191>
- [2] 郭汉丁, 郝海, 张印贤. 工程质量政府监督代理链分析与多层次激励机制探究[J]. *中国管理科学*, 2017, 25(6): 82-90.
- [3] 郭汉丁, 张印贤, 陶凯. 工程质量政府监督多层次利益分配与激励协同机制探究[J]. *中国管理科学*, 2019, 27(2): 170-178.
- [4] Janowski, T. (2015) Digital Government Evolution: From Transformation to Contextualization. *Government Information Quarterly*, **32**, 221-236. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2015.07.001>
- [5] 郭汉丁, 王星, 郝海, 等. 工程质量政府监督行为的进化博弈协同机理与激励策略[J]. *华侨大学学报(自然科学版)*, 2017, 38(2): 164-168.
- [6] 陈志超, 陈国伟. 基于“互联网+”的交通工程智慧监管系统建设[J]. *工程技术研究*, 2019, 4(19): 146-147.
- [7] 徐宁. 建设工程质量监督数字化应用探讨[J]. *住宅与房地产*, 2025(29): 95-97.
- [8] Ansell, C. and Gash, A. (2008) Collaborative Governance in Theory and Practice. *Journal of Public Administration Research and Theory*, **18**, 543-571. <https://doi.org/10.1093/jopart/mum032>
- [9] Emerson, K., Nabatchi, T. and Balogh, S. (2012) An Integrative Framework for Collaborative Governance. *Journal of Public Administration Research and Theory*, **22**, 1-29. <https://doi.org/10.1093/jopart/mur011>
- [10] 黄璜, 谢思娴, 姚清晨, 等. 数字化赋能治理协同: 数字政府建设的“下一步行动” [J]. *电子政务*, 2022(4): 1-27.
- [11] 王尉, 王丹. 数字政府建设背景下多元治理主体的协同模式创新与共治效果提升[J]. *领导科学*, 2023(1): 110-113.
- [12] 陈水生. 城市治理数字化转型的整体性逻辑[J]. *兰州大学学报(社会科学版)*, 2022, 50(6): 72-80.

-
- [13] 胡象明, 唐波勇. 整体性治理: 公共管理的新范式[J]. 华中师范大学学报(人文社会科学版), 2010, 49(1): 11-15.
- [14] 王君. 整体性治理视角下智慧城市实践优化研究[J]. 新型城镇化, 2023(6): 120-123.
- [15] 邓建宇, 戴宁, 陈珺, 等. 智慧化建设工程质量检测管理及监督的探索与实践[J]. 工程质量, 2025, 43(6): 16-19+23.