

数字化监管视域下电力工程产业建设路径研究

高 宁¹, 孙辰昕^{2*}, 冷祥彪¹, 余海翔¹, 陈 睿¹, 胡玲洁³

¹南方电网能源发展研究院有限责任公司, 广东 广州

²武汉大学质量发展战略研究院, 湖北 武汉

³贵州电网公司安顺供电局, 贵州 安顺

收稿日期: 2026年9月7日; 录用日期: 2026年9月23日; 发布日期: 2026年10月21日

摘 要

电力工程建设的数字化转型对传统产业监管模式提出了深刻挑战。本研究旨在超越工具理性视角, 剖析数字化监管所引发的深层次治理逻辑与建设模式变革。传统“科层-物理”监管范式容易因高成本与低效能陷入困境, 而数字化技术驱动的新范式则带来数据驱动治理与算法权力扩散的双重可能。通过对当前实践中“技术悬浮”“制度滞后”与“主体性消解”三重困境的批判性审视, 本文构建了“技术-制度-组织”协同演化的系统性重构框架。通过推动技术系统实现“韧性嵌入”, “算法协商”重塑, 并依托“数字素养”提升, 推动建设主体向兼具技术适应力与创新自主力的方向演进。

关键词

数字化监管, 电力工程, 技术治理, 范式转型, 数字素养

Research on Construction Pathways for the Electric Power Engineering Industry under the Perspective of Digital Regulation

Ning Gao¹, Chenxin Sun^{2*}, Xiangbiao Leng¹, Haixiang Yu¹, Rui Chen¹, Lingjie Hu³

¹China Southern Power Grid Energy Development Research Institute Co., Ltd., Guangzhou Guangdong

²Institute of Quality Development Strategy, Wuhan University, Wuhan Hubei

³Anshun Power Supply Bureau, Guizhou Power Grid Company, Anshun Guizhou

Received: September 7, 2026; accepted: September 23, 2026; published: October 21, 2026

Abstract

The digital transformation of electric power engineering construction poses profound challenges

*通讯作者。

文章引用: 高宁, 孙辰昕, 冷祥彪, 余海翔, 陈睿, 胡玲洁. 数字化监管视域下电力工程产业建设路径研究[J]. 现代管理, 2026, 16(10): 136-141. DOI: 10.12677/mm.2026.1610231

to traditional industry regulatory models. Moving beyond the perspective of instrumental rationality, this study analyzes the deep-seated changes in governance logic and construction models triggered by digital regulation. While the traditional “bureaucratic-physical” regulatory paradigm often struggles with high costs and low efficiency, the new paradigm driven by digital technology presents dual possibilities: data-driven governance and the diffusion of algorithmic power. Through a critical examination of three dilemmas in current practice—“technological suspension”, “institutional lag”, and the “erosion of agency”—this paper constructs a framework for systemic reconstruction based on the co-evolution of technology, institutions, and organizations. By fostering the “resilient embedding” of technical systems and reshaping processes through “algorithmic negotiation”, alongside enhancing “digital literacy”, the study promotes the evolution of construction stakeholders toward a state characterized by both technological adaptability and innovative autonomy.

Keywords

Digital Regulation, Electric Power Engineering, Technological Governance, Paradigm Shift, Digital Literacy

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

在“双碳”目标与新型电力系统加速建设的宏观背景下，电力基础设施正朝着大规模、高复杂度、广域分布的方向演进。这一进程使得传统监管模式日益暴露出其结构性局限。以密集现场检查为特征的“强监管”模式面临监督成本激增与风险控制效能衰减的悖论；而在分包体系下事实存在的“弱监管”状态，则易引发安全与质量标准的系统性松弛。两种模式在电力工程领域尤为突出：一方面，电网建设具有作业点分散、高空高危作业多、隐蔽工程占比大等特点，传统监管方式难以实现有效覆盖；另一方面，层层分包导致用工关系复杂化，实际施工主体与监管责任主体之间的断裂，使得“以包代管”现象普遍存在。两种模式均在一定程度上简化管理客体，忽视了其作为关键生产要素与知识承载主体的能动价值。

近年来，以物联网、大数据、人工智能为代表的数字技术，为摆脱上述监管困境提供了新的可能。然而，正如平台经济领域研究所揭示的，技术赋权往往伴随着新的风险[1]-[3]。国家层面提出的深化“过程监管、数字化监管、穿透式监管、跨部门协同监管”要求，正式将数字化监管提升至行业治理创新的核心地位。然而，当前学术讨论与行业实践多集中于技术功能的描述与应用场景的枚举，缺乏对数字化监管的批判性反思。电力工程领域的数字化监管转型，本质上是一场深刻的“社会-技术”系统变革。技术系统的引入并非中性的工具替换，而是会重塑生产组织方式、权力分配格局与协作关系形态。其不仅依赖技术工具的先进性，更取决于能否实现技术逻辑、制度逻辑与人的发展逻辑之间的动态平衡与协同共进。本研究通过构建一个整合技术嵌入性、制度适应性与主体能动性的三维分析框架，为电力工程建设的数字化转型提供系统性的理论参照与实践指引。

2. 电力工程监管现状

2.1. 传统监管范式的理论根基

传统电力工程监管体系可追溯至马克斯·韦伯的科层制理论[4]与弗雷德里克·泰勒的科学管理原理[5]。韦伯所描述的层级分明、规则至上的体系，在电力工程中体现为从国家电网到省级公司、地市公司

再到施工班组的垂直管理链条；泰勒的工时研究与动作标准化，则转化为电力施工中的安全操作规程(SOP)、作业指导书与质量验收标准。该范式通过精细的职能分工、标准化的操作规程(SOP)与垂直的等级权威，致力于建构一个稳定、可控、可预测的生产秩序。管理核心在于通过外部监督与纪律约束，纠正对标准的偏离。

这一范式在数字化转型背景下存在缺陷。其一，表现为“监管内卷化”。为应对日益复杂的工程风险，管理方往往诉诸不断增加监管频次、细化规章条款的方式，导致管理成本呈边际递增态势，而安全效益的提升却陷入瓶颈。这种监管强化[6]，表面上提升了管控力度，实则掩盖了传统范式在复杂系统面前的结构性无力。其二，导致“技能隐性化”。过度聚焦于显性的合规动作，使得工人通过长期实践积累的、关乎工艺精髓与应急处突的“默会知识”被系统性忽视，难以得到有效传承。

2.2. 电力工程数字化转型中的现实困境

2.2.1. 数据过载与洞察匮乏

许多“智慧工地”建设陷入了“为技术而技术”的误区。传感器的大量部署产生的数据流，但这些数据往往因缺乏与核心业务风险(如深基坑坍塌、大体积混凝土裂缝、超高塔组立等)的精准关联设计，而沦为“数据废墟”。各子系统间标准不一、接口封闭，形成了新的“数据孤岛”，反噬了管理协同的效率。姚建华指出，人员在智能监控体系下日益被还原为“数据流”[7]，这种数据化逻辑若脱离业务场景，不仅无法实现治理效能的提升，反而会造成管理注意力的耗散。更值得关注的是，人工智能视觉识别等技术在复杂现场环境下的误报与漏报，频繁触发无效警报，消耗了管理注意力，并引发了基层工人的“警报疲劳”与对技术系统的不信任。最终导致技术投资与治理效能提升之间的关联断裂。

2.2.2. 创新实践与规制框架脱节

现有法律与行业规范体系建立在物理实体和人为直接见证的基础之上，难以适配数字虚拟空间的治理需求。传统验收规范要求“人到现场、眼见为实”，而数字孪生模型实现的远程隐蔽工程验收缺乏法定效力；传统证据规则强调原件、原物的真实性，而 AI 自动抓拍的违章图片在劳动仲裁中的证据资格尚未明确；传统隐私保护以“知情同意”为核心，而持续性的生物特征采集是否构成过度监控，缺乏行业性的判定标准。这产生了一系列法律与伦理上的“灰色地带”：例如，基于 AI 视频分析的违章行为自动取证，其证据效力在司法实践中尚存在争议；利用数字孪生模型进行的远程隐蔽工程验收，缺乏国家强制性标准的认可；对工人位置、生理乃至行为数据的持续采集，与《中华人民共和国个人信息保护法》¹所规定的“合法、正当、必要”原则之间的边界亟待厘清。制度供给的滞后，不仅使企业的创新探索面临合规风险，也在实质上约束了更优解决方案的诞生空间。这一“制度滞后”现象是全球数字化转型中的共性难题，其根源在于工业时代法律框架与数字时代治理需求之间的结构性张力[8] [9]。

2.2.3. 数字化赋能难以实施

数字化系统在实践中可能加剧建设者的“客体化”与“去技能化”。在电力施工现场，智能安全帽记录工人的实时位置与停留时长，可穿戴设备监测心率与疲劳指数，AI 摄像头自动识别未系安全带、未戴安全帽等违规行为并即时扣分——这些原本用于安全防护的技术手段，一旦与绩效薪酬直接挂钩，便异化为全方位的控制工具。此外，过度依赖可量化指标的评价体系，会使那些难以被数据化的关键能力，如复杂情境下的综合判断、工艺微调的经验直觉(即“工匠技艺”)被边缘化。许怡和叶欣对“机器换人”工厂的考察表明，技术升级往往伴随劳动降级，工人的经验性知识被系统性排斥[6] [10]。工人有从主体异化为被算法和数据流所规训的客体的风险，从而滋生无力感、疏离感与潜在的抵制情绪。这种抵制可

¹https://www.cac.gov.cn/2021-08/20/c_1631050028355286.htm

能以多种形式呈现：从消极的“数据应付”——如故意遮挡摄像头、关闭定位功能——到积极的“系统博弈”——如利用算法漏洞规避惩罚。若不能正视和疏导这些抵制行为，数字化监管系统将面临失效风险[8]。

上述三重困境折射出传统范式与数字化愿景之间的深层断裂，二者的范式差异可归纳如表 1 所示。

Table 1. Comparative analysis of regulatory paradigms for electric power engineering
表 1. 电力工程监管范式对比分析

分析维度	科层制 - 物理监管范式	数字化 - 智能治理范式
哲学基础	科学管理理论、科层制理论	系统论、控制论、数据科学
核心目标	风险最小化、过程合规性	系统韧性提升、效能最优化、人的发展
知识形态	规章制度、个人经验、事后报告	实时数据、预测模型、仿真知识
权力运行	集中于管理层级，通过命令与检查实现	嵌入技术架构，通过算法规则与数据反馈实现
工人角色	被规训的执行者、潜在的风险源	数据贡献者、问题协同解决者、创新参与者

3. 电力工程数字化转型路径：技术 - 制度 - 组织的协同演化

为化解上述困境，需要将数字化视为单纯技术工程的简化思维，转向一种强调社会技术系统协同演化的建设性路径。王宝珠等提出的“技术 - 制度 - 控制”分析框架[9]，为理解这一协同演化过程提供了有益的方法论参照。该路径涵盖技术、制度与组织三个维度。

3.1. 技术路径：数字化功能融合实际应用

技术系统的设计必须完成从技术导向到业务导向的转换。核心在于构建“场景 - 数据 - 模型”的闭环。以电力工程特有的高风险作业场景(如带电作业、有限空间作业、大型吊装)为原点，反向推导所需监测的关键参数、数据融合模型与预警阈值，确保技术解决方案适配。同时，系统架构应采用“云 - 边 - 端”协同模式，将实时性要求高的轻量级分析模型部署于边缘侧，保障恶劣网络环境下的基础可靠性与低延时响应，将复杂的模型训练与大数据分析置于云端，实现全局优化与持续学习。

需要强调的是，技术系统的“韧性嵌入”并非单纯的技术升级，而是要求技术设计者深入理解电力工程作业过程的特殊性[7]。脱离作业场景的技术设计往往沦为“悬浮”的摆设[2][7]，只有将技术逻辑与业务逻辑深度融合，才能实现真正的治理效能提升。

3.2. 制度路径：赋能算法治理

在风险可控的前提下，对现有安全规程、验收程序进行有监督的突破性试验，为法律法规的修订积累实证依据。建立“算法权力”制衡机制，引入“算法协商”制度。刘善仕等指出，算法管理的研究应当关注算法的透明度、可解释性与可问责性[11]，这些维度构成了“算法协商”制度的理论基础。第一，推动“算法透明度”，应建立信息披露机制，向一线作业人员及现场管理者以可理解的方式解释影响其作业评价与安全管理的核心算法逻辑；第二，确保“算法问责”，建立有效的算法错误申诉、人工复核渠道；第三，实现“算法共治”，将算法规则的制定与修改纳入多方对话议程，使一线人员从算法的被动接受者转变为参与塑造者[11][12]。

在电力工程实践中，算法预警阈值不应由技术供应商单方面设定，而应由技术管理部门、一线作业代表与安全专家审议确定；算法模型的迭代更新需征询一线使用人员的意见并接受其反馈；对于因算法误判导致的差错，使用人员有权要求人工复核。

3.3. 组织路径：提升数字素养

构建一个以高素质建设工人为核心、能够持续学习和创新的生态型组织。实施“数字素养与工匠精神”二元融合的培养战略。“数字素养”培养需超越简单的软件操作，涵盖数据解读、数字安全、在线协作及对技术应用的批判性思考。顾楚丹和杨发祥的研究表明，对算法的“驯化”与“互构”是两种可能的实践模式[12]，“数字素养”培养则推动工人从算法的被动接受者向主动互构者转变。“工匠精神”则需在数字化环境中予以新的阐发，强调在数据辅助下的精益求精与经验升华。数字化并非要取代人的经验判断，而是要通过数据可视化等手段，使“默会知识”得以显性化、可传承[6]。企业应重新设计工作结构，赋予一线人员基于数据洞察进行现场决策和流程优化的更大权限，在解决实际问题中实现价值。围绕数字素养提升，可从数据认知与解读能力、数字工具协同能力、数字安全与伦理意识、算法认知与协商能力以及基于数字的创新能力等维度构建相应的赋能支撑体系(见表 2)。

Table 2. Establishing a digital literacy framework and an empowerment support system
表 2. 建设数字素养框架与赋能支撑体系

数字素养核心维度	数字化监管平台赋能设计	组织与制度支撑要点
数据认知与解读能力	提供个性化、可视化的安全绩效与技能成长数据看板。	开展数据知识普及培训，建立数据导师制。
数字工具协同能力	集成 AR 远程专家指导、数字化班前会、跨班组协作空间。	将数字化工具使用效能纳入技能等级评定参考。
数字安全与伦理意识	系统界面明确提示数据采集范围与用途，提供便捷的隐私设置选项。	制定并宣贯相关政策，提供法律咨询。
算法认知与协商能力	(未来形态)提供简化版的算法影响说明。	开展算法基础知识培训，建立算法问题多方沟通机制。
基于数字的创新能力	开辟“微创新”提案数字通道，展示并推广优秀实践。	设立数字化创新奖励基金，与职称晋升、薪酬激励挂钩。

从更宏观的视角看，“算法协商”制度的建立需要超越单个企业的边界，在行业层面形成算法治理的集体规范。

4. 对策建议

基于上述路径分析，本章进一步提出以下具体对策，以保障转型路径的落地实施。

4.1. 构建算法治理的多方协商机制

将“算法协商”从理念转化为可操作的制度。建议在各级电力建设工程项目管理中，设立由技术管理方、施工班组代表、安全监管部门及第三方专家组成的“算法伦理委员会”，定期审议算法的运行报告、误报率与偏差情况。建立常态化的算法申诉窗口，确保一线工人对算法判定结果有异议时，能够启动人工复核程序，并在规定时限内获得反馈。对于影响工人核心权益的算法变更，应履行提前告知、影响评估与意见征询程序。

4.2. 完善法规标准，弥合制度缝隙

建议行业主管部门联合立法机构，针对数字孪生验收、AI 证据效力、人员数据保护等核心议题，制定专项法规或行业指引。优先修订电力建设工程施工安全监督等相关规章，增加数字化监管的专门章节，明确电子证据的法定效力、数字孪生模型的验收地位以及生物特征数据采集的“最小必要”原则。在国

家标准层面,应加快制定电力工程数字化监管的数据接口标准、数据安全分级标准与算法应用伦理准则,从源头打破“数据孤岛”,为跨系统协同提供制度基础。

4.3. 推动组织变革

企业应将“数字素养”提升纳入全员培训体系,但需避免将其简化为技术操作培训,而应注重培养工人对数据的批判性理解能力和对算法的主动参与意识。建议设立“数字工匠”技能等级序列,将数字化工具运用能力、数据驱动的问题解决能力与工艺创新能力纳入技能评价体系,使工人的数字化成长有清晰的路径与回报。同时,优化绩效考核体系,降低纯粹量化指标的权重,引入基于项目整体安全质量、团队协作与知识贡献的综合评价,为难以量化的“默会知识”与“工匠精神”保留制度空间。

5. 小结

电力工程建设的数字化监管转型,需要技术、制度与组织文化协同演进、反复调适,以建成“人机协同、数实融合、生机盎然”的现代电力工程建设生态。在实际操作中不断发展成合理利用数字工具、主动参与算法治理、持续贡献工艺创新;施工现场不仅是物理空间的能量转换场所,更是数据驱动的知识生产与技能传承的空间;技术进步与人员发展之间形成正向循环。

参考文献

- [1] 孙萍. “算法逻辑”下的数字劳动: 一项对平台经济下外卖送餐员的研究[J]. 思想战线, 2019, 45(6): 50-57.
- [2] 冯向楠, 詹婧. 人工智能时代互联网平台劳动过程研究——以平台外卖骑手为例[J]. 社会发展研究, 2019, 6(3): 61-83, 243.
- [3] 丁未. 遭遇“平台”: 另类数字劳动与新权力装置[J]. 新闻与传播研究, 2021, 28(10): 20-38, 126.
- [4] 韦伯. 经济与社会: 上卷[M]. 林荣远, 译. 北京: 商务印书馆, 1997.
- [5] 泰勒. 科学管理原理[M]. 马凤才, 译. 北京: 机械工业出版社, 2013.
- [6] 许怡, 叶欣. 技术升级劳动降级? 基于三家“机器换人”工厂的社会学考察[J]. 社会学研究, 2020, 35(3): 24-46, 242.
- [7] 姚建华. 作为数据流的劳动者: 智能监控的溯源、现状与反思[J]. 湖南师范大学社会科学学报, 2021, 50(5): 92-100.
- [8] 庄家焱. 资本监管与工人劳动自主性——以快递工人劳动过程为例[J]. 社会发展研究, 2019, 6(2): 25-42, 424.
- [9] 王宝珠, 陈尧, 王朝科. 数字监控资本主义下劳动控制的新变化——基于“技术-制度-控制”的分析框架[J]. 当代经济研究, 2023, 340(12): 70-81.
- [10] 陈龙. “数字控制”下的劳动秩序——外卖骑手的劳动控制研究[J]. 社会学研究, 2020, 35(6): 113-135.
- [11] 刘善仕, 裴嘉良, 葛淳棉, 等. 在线劳动平台算法管理: 理论探索与研究展望[J]. 管理世界, 2022, 38(2): 225-239.
- [12] 顾楚丹, 杨发祥. 驯化抑或互构——社交平台“数字灵工”的算法实践[J]. 探索与争鸣, 2023(5): 87-99.