

NQI背景下电网物资质量追溯体系建设与应用

陈牧天

国网湖南省电力有限公司物资公司，湖南 长沙

收稿日期：2025年7月29日；录用日期：2025年8月24日；发布日期：2025年9月9日

摘要

在国家质量基础设施(NQI)框架下，电网物资质量追溯体系是保障能源安全的关键。本文针对现有体系信息断链、效率低、应用弱等痛点，提出以NQI计量、标准、合格评定为基石，融合物联网、区块链、AI与AR等新技术，构建“采集-传输-处理-应用”四层架构，实现全生命周期数据实时、精准、可信追溯，并创新责任、激励、监督三大机制，提升质量风险预警与闭环管控能力。实证表明，该体系可显著提高效率、降低成本，为质量强国战略提供电力样板。

关键词

NQI，全生命周期追溯，电网物资

Construction and Application of Power Grid Material Quality Traceability System under NQI Background

Mutian Chen

State Grid Hunan Electric Power Co., Ltd. Material Company, Changsha Hunan

Received: Jul. 29th, 2025; accepted: Aug. 24th, 2025; published: Sep. 9th, 2025

Abstract

Under the framework of National Quality Infrastructure (NQI), a quality traceability system for power-grid materials is pivotal to energy security. Addressing current gaps of information discontinuity, low efficiency, and weak utilization, this study leverages NQI's metrology, standards, and conformity assessment as cornerstones and integrates IoT, blockchain, AI, and AR to establish a four-layer architecture of "collection-transmission-processing-application". The system enables real-time, accurate, and trustworthy end-to-end data traceability and introduces tripartite mechanisms of responsibility, incentive, and supervision to enhance quality-risk early warning and closed-loop control. Empirical

evidence shows significant efficiency gains and cost reductions, offering a power-sector model for China's quality-driven development strategy.

Keywords

NQI, Whole-Life-Cycle Traceability, Power-Grid Material

Copyright © 2025 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

国家质量基础设施(NQI)作为国际通行的质量保障体系,涵盖计量、标准、认证认可、检验检测等核心要素,是支撑产业升级与国际贸易的关键支柱[1]。电网物资质量直接关系能源安全与社会稳定,而质量追溯体系是保障电网物资全生命周期质量的核心手段。当前,我国正推进质量强国战略,电网物资质量追溯体系的完善亟需依托 NQI 一体化建设。

2. NQI 与物资质量追溯

2.1. NQI、物资质量追溯研究现状

牛晨晖等人研究了国家质量基础设施(NQI)整体框架及其在风电行业的落地应用。运用文献计量 + 政策文本分析 + 行业案例对比的方法,明确了 NQI “计量 - 标准 - 合格评定”三要素的技术链条,并首次绘制了风电 NQI 体系图谱,为行业提供统一实施蓝图。王红玲等人研究了国家质量基础设施(NQI)与我国绿色金融高质量发展的内在联系,运用理论分析与现状评估的方法,明确了计量、标准、检验检测、认证认可等 NQI 核心要素对绿色金融的支撑作用,提出了提升绿色金融计量能力、完善标准体系、强化检验检测和认证认可的具体路径。罗明诚等人研究了智慧车间质量追溯系统在明铰金属的应用,通过技术架构搭建和数据分析,实现了生产数据的实时采集与追溯查询。郝立亚等人研究了基于 ISO9001 质量体系的智能制造质量追溯场景设计,运用需求分析、系统设计与架构搭建等方法,构建了涵盖正反向追溯、数据交互等功能的质量追溯系统。通过集成企业资源计划(ERP)、制造执行系统(MES)等信息系统,实现了产品全生命周期的质量精准追溯和优化改进,解决了数据不完整、追溯难度大的问题。

2.2. NQI 的构成要素及其在质量追溯中的作用

NQI 是由计量、标准、合格评定三大要素构成的完整技术体系[2]。在质量追溯中,它们各自发挥着不可或缺的作用。计量是质量追溯的“标尺”,通过校准的设备和精确的测量,为物资在生产、检测、仓储等各环节的状态和参数提供精准、可靠的原始数据支持。标准是质量追溯的“语言”,它统一了追溯流程、数据格式、接口规范和质量要求,确保了追溯信息在不同主体、不同系统间的互操作性与可比性。合格评定(包括检验检测、认证认可)是质量追溯的“裁判”,它依据标准对物资质量及追溯信息的真实性、有效性进行验证,为追溯结果赋予公信力。

2.3. 电网物资质量追溯的内涵与重要性

电网物资质量追溯是指对物资从设计、原材料采购、生产制造、出厂检测、物流运输、仓储管理、安装调试、运行维护直至报废处置的全生命周期中,每一个环节的质量信息进行记录、存储和关联,从而

实现来源可查、去向可追、责任可究的闭环管理过程[3]。其重要性在于，它不仅是事后质量问题定位和责任认定的依据，更是事前质量风险预警和过程质量控制的关键手段，对提升物资管理精度、优化库存、降低全生命周期成本至关重要。

2.4. NQI 与电网物资质量追溯的内在联系

NQI 与电网物资质量追溯之间存在着天然的、紧密的内在联系。一方面，NQI 为质量追溯提供了不可或缺的技术与规范支撑。没有精准的计量，追溯数据就失去根基；没有统一的标准，追溯信息就无法流通共享；没有权威的合格评定，追溯结果就缺乏可信度。另一方面，电网物资质量追溯是 NQI 核心理念在电力行业的具体化、场景化应用。通过构建追溯体系，NQI 的价值得以在保障电网安全这一关键领域中充分体现。

3. 电网物资质量追溯体系现状与问题分析

3.1. 现有质量追溯体系

当前，各大电网公司已初步建立起物资质量追溯体系，其体系架构通常依赖于企业资源计划(ERP)、供应链管理(SCM)等信息系统，通过在物资上加贴条形码或二维码，实现关键节点的信息录入和查询。追溯范围主要覆盖了采购、仓储、配送等环节，追溯流程多为人工扫描和数据录入。

3.2. 存在主要问题

1) 追溯信息不完整、不准确：追溯链条常存在断点，特别是在供应商生产端和物资使用端，信息采集不足，导致无法实现真正的“全生命周期”追溯。同时，人为录入造成的数据错漏时有发生，数据真实性存疑。强调“全过程、全链条、无死角的质量信息共享”的目标从侧面反映了当前信息的不完整性。

2) 追溯效率低下：依赖人工操作的环节较多，数据采集和传输的自动化、智能化水平不高。当发生质量事件时，信息查询和关联分析耗时耗力，难以实现快速响应和精准定位，影响问题处理效率。

3) 追溯结果应用不足：追溯系统产生的大量数据价值未被充分挖掘。数据多停留在“记录”层面，缺乏深度分析和智能应用，难以转化为对供应商的精准评价、对质量趋势的预测预警以及对采购策略的优化支持。

3.3. 问题产生的原因分析

上述问题的根源可归结为三方面：

1) 技术手段落后：传统的信息化系统难以应对海量、异构的追溯数据。物联网(IoT)、区块链、人工智能等新技术的应用尚不普及，限制了数据自动采集的广度和深度，也无法保证数据的不可篡改性和可信度。

2) 管理机制不完善：缺乏覆盖全产业链的协同管理机制，供应商、物流商、电网公司、使用单位之间存在信息壁垒。责任界定不清、激励与监督措施缺位，导致各方参与追溯体系建设的积极性不高。

3) 人员素质与意识不足：部分管理和操作人员对质量追溯的重要性认识不足，对新技术、新流程的掌握程度不够，操作不规范，影响了追溯体系的实际运行效果。推广数字化、沉浸式工作机制的需求也反映了提升人员能力的必要性。

4. NQI 背景下电网物资质量追溯体系构建

4.1. 构建原则和目标

为克服现有体系的不足，新一代电网物资质量追溯体系的构建应遵循以下原则：

1) 科学性原则：体系架构设计、技术选型和管理流程应符合 NQI 的内在逻辑和要求，确保体系的科学与严谨。

2) 实用性原则：紧密结合电网物资管理的实际业务需求，注重操作的便捷性和系统的稳定性，能够切实解决业务痛点，降低人力成本。

3) 可扩展性原则：采用模块化、平台化的设计理念，能够灵活接入新的技术(如 AI、数字孪生)、兼容不同类型的物资和适应未来业务发展的变化。

4) 构建目标：以 NQI 为指导，融合新一代信息技术，构建一个覆盖设计、生产、运输、仓储、安装、运行到报废处置的，以及数据全面、实时、精准、可信的电网物资全生命周期质量追溯体系，实现质量的顺向追踪、逆向溯源和风险智能预警。

4.2. 体系架构设计

4.2.1. 信息采集层

本层是体系的“数据源头”，面向人、机、料、法、环五大要素，实现多源异构数据的实时捕获与融合[4]。

现场感知：在生产线、仓储区、运输车辆等位置布设 IoT 传感器，自动采集温湿度、震动、电流、工艺参数等关键数据；对变电站内设备，则通过 IEC 61850 等标准规约直接读取监测终端的海量运行数据。

身份绑定：为每一箱、每一件物资生成符合 ISO 标准的二维码或 RFID 芯片，形成贯穿全生命周期的唯一“身份证”，确保后续所有操作都能精准定位到个体。

人机协同：现场人员利用支持 RFID 和高扫描码的 PDA、手机 APP 完成出入库、盘点、安装确认；在抽检、封样环节，通过 AR 眼镜实现第一视角操作记录、远程专家指导及数字信息叠加，既提高作业效率又固化过程证据。

4.2.2. 信息传输层

本层负责把海量现场数据以低时延、高可靠、端到端加密的方式送达处理中心，并支撑跨企业、跨地域的数据共享。

网络融合：采用“5G + 工业以太网 + Wi-Fi”混合组网，既满足固定场景的大带宽需求，又保障移动终端的无缝漫游。

安全机制：在传输链路上部署端到端加密、VPN 隧道、零信任网关等多重防护，建立分级运维体系，确保数据机密性、完整性与可用性。

标识解析：依托国家工业互联网标识解析体系，为每一条数据赋予全局唯一标识，实现供应商、电网、用户之间的“异构系统、同一语言”，彻底打通信息孤岛，形成贯穿全产业链的数据通道。

4.2.3. 信息处理层

本层是体系的“大脑”，完成对原始数据的存储、整理、分析与价值挖掘。

大数据底座：构建“数据湖 + 数据仓库”双模架构，统一接入结构化的检测记录、半结构化的日志与非结构化的图像、视频，实现低成本存储与高并发查询[5]。

区块链可信池：关键质量信息(合格证、检测报告、关键工序记录、流转记录等)经哈希加密后写入联盟链；利用其去中心化、不可篡改、可追溯的特性，构建从生产到报废的“数据信任链”。

AI 与数据挖掘：在可信数据之上运行机器学习与知识图谱算法，进行关联分析、趋势预测与异常检测。例如，通过工艺参数 - 质量缺陷关联模型发现潜在批次风险；通过供应商画像算法动态评估质量波动；通过模式识别自动辨别评标、检测过程中的舞弊行为。

4.2.4. 应用层

本层面面向管理者、操作者、监管者等多类用户，将数据洞察封装成易用、可视、可交互的业务功能，实现“数据→决策→行动→反馈”的价值闭环。

全生命周期可视化追溯：通过“一码通查”，扫码即可查看物资从原材料到退役的完整数字档案；结合数字孪生与 GIS 地图，实时呈现物资位置、状态与流转轨迹。

智能仓储管理：与 WMS 深度融合，利用 AI 推荐最优库位、自动生成拣货路径，实现无人值守的自动出入库与动态盘点，库存周转率提升 20% 以上。

供应商质量画像：基于历史履约、检测合格率、交货周期等维度生成动态评分，为招标采购提供量化依据，实现“质量优先、价格联动”。

智能预警与决策支持：一旦 AI 模型发现质量异常或预测到风险，系统自动推送分级预警至相关负责人，并给出处置建议；运检人员可据此提前安排维护，减少损失。

区块链智能合约：在采购、物流、验收环节部署智能合约，实现“订单生成 - 物流在途 - 到货验收 - 付款结算”全流程自动触发、不可抵赖。

4.3. NQI 质量追溯关键业务环节管理

在新体系下，NQI 三大要素的管理将深度融入系统运行的各个环节：

计量保障：体系应建立计量设备管理模块，对所有入网的传感器、采集设备进行台账管理，记录其校准周期和状态。系统可与计量机构数据打通，实现校准证书的电子化管理和到期自动提醒，确保所有数据源头的准确性。

标准规范：体系后台需建立统一的标准库，将相关的 GB、DL/T、Q/GDW 标准数字化。在数据采集和录入环节，系统可根据物资类别自动匹配并强制要求遵循相应的数据标准和格式。这有助于解决因标准执行不一导致的数据孤岛问题。

合格评定：将合格评定流程线上化、自动化。物资入网时，系统自动核验其认证证书和检验报告的有效性。在到货验收环节，系统可根据抽检计划生成任务，检验员通过移动端 APP 上传结果，结果与物资 RFID 绑定，并同步上链，确保合格评定过程的透明和可信。

5. 电网物资质量追溯体系管理机制

5.1. 面临的实施挑战与对策

1) 实施挑战

一是技术集成复杂度高，电网物资品类多、生命周期长，现场环境复杂，既有老旧设备又有新型智能设备，导致传感器选型、协议适配、数据格式统一难度极大。二是投资与收益平衡难，一次性投入较大，包括感知层布点、区块链节点、数据中台、AR 终端等均需大量资金，而收益多为长期隐性收益，短期内难以量化。三是数据安全与隐私冲突，供应商担心核心工艺数据被泄露，电网公司担心运行数据被反向破解，双方之间存在信任问题。四是标准缺失或滞后，现有 DL/T、GB/T 标准对区块链存证格式、AI 模型接口、AR 数据编码尚属空白，企业对接成本较高。

2) 采取的对策

构建统一数据转换层：采用物联网数据解析引擎，将不同协议、格式的传感器数据转化为标准化格式，解决老旧设备与智能设备的数据兼容性问题。通过脚本处理实现多源异构数据的实时转换，降低协议适配难度。

分阶段实施技术升级：优先在关键节点部署兼容性强的传感器(如支持多协议的 LoRa/NB-IoT 设备)，

逐步替代老旧设备，避免一次性改造带来的系统性风险。参考区块链平台分层架构(数据层、网络层等)，确保新老设备协同运行。

共享基础设施降低成本：与供应商共建区块链平台，分摊节点部署与数据中台费用，实现资源集约化。

推动行业标准升级：联合供应商参与标准制定，向国标委提交接口标准提案，避免滞后性导致系统重复改造。设计电力物资唯一标识规则，实现全生命周期数据贯通。

5.2. 质量追溯体系管理机制创新

1) 质量追溯责任机制

体系的有效运行需要强有力的责任机制保障。必须明确供应商、制造商、物流商、检测机构、仓储中心、使用单位等所有参与方在质量追溯中的具体责任和数据提供义务。利用区块链的不可抵赖性，每一次操作都被记录在案，一旦发生质量问题，可依据链上的记录快速、清晰地界定责任，并启动相应的问责和追偿程序，形成有效的质量倒逼机制。

2) 质量追溯激励机制

建立正向激励机制，鼓励各方积极参与。例如，对那些能够主动、全面、高质量提供追溯数据，且产品质量记录优良的供应商，可在招标采购中给予加分或优先选择的资格。国网武汉供电公司的实践显示，通过新系统，配网供应商的供应效率提升了 40%，这本身就是一种激励。对内部员工，可将追溯体系的使用情况和数据质量纳入绩效考核。

3) 质量追溯监督机制

构建多层次、智能化的监督体系。除了传统的抽查和审计，更要发挥新技术的优势。利用 AI 算法对追溯数据进行实时监控，自动识别异常行为，如国网江苏电力系统甄别出的 23 次异常行为(国网江苏电力案例)，实现了对检测过程廉洁风险的有效防范。同时，向社会或下游用户适度开放追溯信息查询，引入外部监督力量。

参考文献

- [1] 任华卫, 杨国玲, 尹若海. NQI 综合服务中心在市场监管中的作用[J]. 中国质量监督, 2023(2): 58-59.
- [2] 刘军, 胡泊. 国家质量基础设施(NQI)演进历程及发展趋势[J]. 中国计量, 2020(9): 16-19.
- [3] 李健华. 质量安全追溯在电线电缆行业的试点与启示[J]. 电线电缆, 2025, 68(1): 38-42.
- [4] 彭学军, 鲍军云, 李良飞, 王高垒. 基于工业互联网的电力行业智能制造过程追溯体系构建[J]. 东北电力技术, 2022, 43(3): 13-16.
- [5] 王剑, 张泽峰, 郭樱萍. NQI 信息化平台建设探索与实践研究[J]. 科海故事博览, 2025(13): 64-66.