

基于区块链的绿色能源证书数字化管理与防伪技术研究

荆宇

鱼池控股有限公司，新加坡 369551

DOI:10.61369/SE.2025050016

摘 要：近年来，区块链技术日益成熟，为各领域创新发展提供了有力的技术支持。随着全球对绿色能源需求的增长，基于区块链的绿色能源证书数字化管理与防伪技术成为推动能源行业绿色转型的重要途径。但是，实践中绿色能源证书数字化管理与防伪技术的应用仍面临诸多挑战，如法律法规挑战等，亟需采取有效措施优化。基于此，本文就区块链技术以及基于区块链的绿色能源证书数字化管理与防伪技术面临的挑战展开深入分析，并探索基于区块链的绿色能源证书数字化管理与防伪技术实施策略，以供参考。

关 键 词：区块链；绿色能源证书；数字化管理；防伪技术

Research on Digital Management and Anti-Counterfeiting Technology of Green Energy Certificates Based on Blockchain

Jing Yu

Bitfish Holdings Pte. Ltd., Singapore 369551

Abstract： In recent years, blockchain technology has become increasingly mature, providing strong technical support for the innovative development in various fields. With the growth of global demand for green energy, digital management and anti-counterfeiting technology of green energy certificates based on blockchain has become an important way to promote the green transformation of the energy industry. However, in practice, the digital management of green energy certificates and the application of anti-counterfeiting technologies still face many challenges, such as legal and regulatory challenges, and effective measures are urgently needed to optimize them. Based on this, this paper conducts an in-depth analysis of the challenges faced by blockchain technology and the digital management and anti-counterfeiting technology of green energy certificates based on blockchain, and explores the implementation strategies of the digital management and anti-counterfeiting technology of green energy certificates based on blockchain for reference.

Keywords： blockchain; green energy certificate; digital management; anti-counterfeiting technology

引言

绿色能源是实现高质量发展的基础，更是推动全球能源转型的关键。区块链技术以去中心化和分布式账本等特点，为绿色能源证书数字化管理和防伪提供了新方向。但是，基于区块链的绿色能源证书数字化管理和防伪技术实施面临诸多挑战，其不仅要解决技术层面的问题，还要面对复杂的法律法规环境。近年来，区块链技术和绿色能源快速发展，但与之相对应的立法往往滞后于技术和市场的发展，这就导致该技术的实施缺少对应的法律指导和规范。加上不同国家之间的法律法规不同，导致企业难以在国际市场实现合规运营。因此，如何推动基于区块链的绿色能源证书数字化管理与防伪技术的合规运营和发展，成为当前亟待解决的问题。

一、基于区块链的绿色能源证书防伪技术分析

（一）唯一数字指纹嵌入

每张绿色能源证书核发时，系统会基于证书核心数据（如发电项目编号等）生成唯一的哈希值（如 SHA-256 算法）。哈希值

作为证书的“数字指纹”，通过区块链的 Merkle 树结构与证书元数据绑定，形成不可分割的关联关系。除基础数据外，数字指纹还可整合动态因子（如时间戳等），通过多模态信息交叉验证增强唯一性。例如，将光伏电站的经纬度、并网时间等参数纳入哈希计算，确保同一项目在不同时间段的证书具有唯一标识。另

外,证书的数字指纹不仅在核发阶段上链,还随证书的每一次流实时更新状态。区块链节点通过共识机制验证每次操作,有效保障了证书生命周期的完整性和不可篡改性^[1]。

(二) 分布式账本记录

绿色能源证书信息主要是利用区块链网络(如联盟链)的多个节点实现分布式存储。各节点保存完整的账本副本,证书的核发、交易等操作需经过多数节点共识(如PBFT算法)才能生效。即便部分节点受到攻击,系统仍能通过其他节点的数据恢复完整记录。同时,为确保数据安全与查询效率,系统一般选择链上链下协同存储模式。证书哈希值等核心数据以加密形式存储在区块链中,确保不可篡改。原始证书文件(如PDF、图片)则存储在IPFS等分布式文件系统中,其存储地址的哈希值上链,实现链上链下数据映射。

(三) 智能合约与自动化防伪

智能合约将绿色能源证书的生命周期抽象为状态机,并确定“已核发”“已交易”“已核销”等状态的转换规则。例如:证书从“已核发”状态转移至“已交易”状态时,需验证交易双方身份及支付凭证。证书被核销后,智能合约自动锁定其状态,禁止再次流转。同时,依托智能合约设置证书操作的权限规则,例如,证书核发需能源主管部门、认证机构、企业三方联合签名。证书交易需买卖双方及监管节点共同确认。另外,智能合约内置风控规则,当检测到异常操作(如同一证书短时间内多次交易、哈希值冲突)时,将会自动触发告警并冻结相关账户^[2]。

二、基于区块链的绿色能源证书数字化管理与防伪技术面临的挑战

(一) 技术成熟度挑战

基于区块链的绿色能源证书数字化管理与防伪技术应用,面临技术成熟度的挑战。一方面,性能瓶颈和扩展性难题。面对大规模交易的处理,区块链的性能往往会成为制约因素。尤其是绿色能源证书的快速发放和频繁转让场景下,区块链的交易速度、网络容量以及存储能力的限制尤其明显。加上近年来绿色能源市场的不断扩张,对区块链系统的扩展性也提出了更高要求,如何在保障去中心化特性的基础上,进一步实现高效的数据处理和存储,成为当前亟需解决的技术难题;另一方面,互操作性和技术整合。区块链技术的异构性使得不同平台之间的衔接受到影响。结合绿色能源证书管理来看,区块链的异构性意味着证书可能无法在不同区块链系统中实现自由流通,如此就大大限制了其应用范围。因此,如何突破技术约束,建立统一的接口标准成为技术成熟度提升的关键一环^[3]。

(二) 数据隐私和安全挑战

基于区块链的绿色能源证书管理和防伪技术,面临数据隐私和安全的挑战。首先,数据泄露和滥用风险。区块链技术的突出特点是不可篡改性和去中心化,但结合实际工作来看,在数据的收集、处理、存储等环节中,仍存在数据泄露和滥用的风险。尤其是用户敏感信息的保护,更是成为数据隐私安全的中中之重。

其次,智能合约的安全漏洞。作为区块链技术的核心组成之一,智能合约的安全性和稳定性直接关系着绿色能源证书的有效性,以及交易的安全性。但是,智能合约在表协和执行环节可能存在漏洞,极易被攻击者利用,导致证书被非法篡改,甚至造成财产损失。最后,网络安全威胁。区块链系统的应用面临多重威胁,如网络钓鱼和黑客攻击等。这些网络安全威胁可能导致数据丢失或损坏,而且容易影响系统正常运转,进而威胁绿色能源证书的管理和使用^[4]。

(三) 标准化与互认挑战

标准化与互认是绿色能源证书数字化管理与防伪技术实现全球流通的关键。目前,基于区块链的绿色能源证书管理尚未形成统一的技术标准,这就导致证书的互认和流通受到制约。同时,认证与审核机制不健全,缺乏权威的第三方认证机构对基于区块链的绿色能源证书进行认证和审核,导致绿色能源证书的公信力和市场认可度大打折扣。另外,绿色能源证书的全球流通需要国际间的协调合作。不同国家和地区间的法律法规、技术标准以及认证机制存在一定区别,这就需要通过国际合作机制进行协调和统一,以促进证书的全球化进程。

三、基于区块链的绿色能源证书数字化管理与防伪技术实施策略

(一) 建立统一的区块链平台

基于区块链的绿色能源证书数字化管理与防伪技术的实施,首要任务就是建立统一的区块链平台。从数据处理来看,平台应采用先进的分布式账本架构,结合并行计算技术,如分片技术(Sharding)将区块链网络划分为多个子网络,独立处理部分交易,提升整体吞吐量。同时,利用状态通道(State Channels)技术,将部分高频、低价值的交易转移到链下处理,仅在必要时将最终状态提交到区块链上,降低主链负担,确保在高并发场景下仍能保持每秒数千甚至数万笔交易的处理速度,并将交易延迟控制在毫秒级。从可扩展性来看,平台应支持动态扩容机制。通过采用模块化设计,将区块链的不同功能模块(如共识模块、存储模块、网络模块等)进行解耦,使得各个模块可以根据业务需求独立扩展。例如,当证书交易量大幅增加时,可以快速增加共识节点和存储节点,而无需对整个系统进行大规模重构。此外,平台还应支持跨链互操作性,通过侧链(Sidechains)、中继链(Relay Chains)等技术实现与其他区块链网络的数据和资产交互,为未来绿色能源证书的跨平台流通和交易奠定基础^[5]。

(二) 加强数据安全治理

基于区块链的绿色能源证书数字化管理与防伪技术的应用,应着重加强数据安全治理。一方面,要实施严格的访问控制。平台应采用基于角色的访问控制(RBAC)和基于属性的访问控制(ABAC)相结合的访问控制模型。根据用户的角色(如管理员、审核员、普通用户等)和属性(如部门、岗位、证书类型等),为用户分配不同的访问权限。同时,引入多因素身份验证技术,如密码、短信验证码、指纹识别、面部识别等,确保只有经过严

格身份验证的用户才能访问和操作绿色能源证书的相关信息；另一方面，选择先进的加密技术。对于绿色能源证书相关的数据，在存储和传输过程中应采用高强度的加密算法进行加密。例如，采用 AES-256 算法对数据进行对称加密，确保数据在存储介质上的保密性；采用 RSA-4096 或 ECC-521 算法对数据的加密密钥进行非对称加密，保证密钥的安全传输。同时，运用量子密钥分发（QKD）技术，为数据传输提供理论上的绝对安全保障^[9]。

（三）制定标准化流程

为了保障绿色能源证书在区块链平台上的管理水平，提高防伪效果，应当制定一套标准化、流程化的操作规范。制定标准化流程时，应充分综合用户使用习惯和业务需求。通过用户调研和 market 分析，了解用户在实际操作过程中的痛点和需求，优化流程设计，提高流程便捷性。例如，采用简洁明了的操作界面和交互设计，减少用户操作步骤和等待时间；提供在线帮助文档和客服支持，及时解决用户在使用过程中遇到的问题。同时，注重流程的标准化和可复制性，制定统一的流程模板和操作指南，确保在不同地区、不同企业间能够快速推广应用。此外，标准化流程的制定还需与区块链平台的技术特性相结合，充分利用区块链的不可篡改、可追溯等特性，对每个操作进行详细记录和上链存储，实现对绿色能源证书全生命周期的透明化管理。例如，在证书生成时，将证书的相关信息（如证书编号、生成时间、能源类型等）记录到区块链上；在证书转让时，将转让双方的交易信息（如转让时间、转让价格、交易双方身份等）记录到区块链上，方便监管部门和用户进行查询和验证^[7]。

（四）数据加密与数字签名防伪

基于区块链的绿色能源证书数字化管理与防伪技术实施，需着重做好数据加密与数字签名防伪。一方面，可以应用混合加密技术。绿色能源证书的数据存储和传输过程中，可采用对称加密算法（如 AES-256）和非对称加密算法（如 RSA-4096 或 ECC-521）相结合的混合加密方式。对称加密算法主要用于对证书详细业务数据的加密，以确保数据在存储和传输过程中的保密性。非对称加密算法则用于加密对称加密算法的密钥，确保密钥的安全传输。同时，可以引入量子抗性加密算法作为备用加密方案。随着量子计算技术的发展，传统的加密算法可能面临被破解的风险。量子抗性加密算法（如基于格的加密算法、基于哈希的签名算法等）具有抵抗量子计算攻击的能力，提前部署该算法可以确

保绿色能源证书数据在未来量子计算环境下的安全性，防止证书数据被量子计算机破解伪造。另一方面，实行多因子数字签名。采用多因子数字签名技术对绿色能源证书进行签名，除了传统的基于私钥的数字签名外，结合生物特征识别（如指纹、面部识别）和硬件安全模块（HSM）生成的动态令牌等多因子信息。在证书签发时，签发机构通过多因子身份验证后，使用其私钥对证书进行签名，并将生物特征信息和动态令牌的哈希值嵌入到签名中^[8]。

（五）强化区块链底层架构防伪

基于区块链的绿色能源证书数字化管理与防伪技术实施，应强化区块链底层架构防伪。一方面，采用多链架构设计，构建主链与多条侧链协同工作的体系。主链负责存储绿色能源证书的核心关键信息，如证书编号、签发机构、有效期等具有唯一标识性和权威性的数据，采用高强度的共识算法，确保主链数据不可篡改。侧链则用于存储证书相关的详细业务数据，如能源生产数据、交易流转记录等。每条侧链可根据业务需求和数据特点进行定制化设计，通过跨链通信协议与主链进行安全、高效的数据交互^[9]。另一方面，设立智能合约防伪机制。设计基于形式化验证的智能合约模板，用于绿色能源证书的生成、签发、转让和注销等全生命周期管理。最后，在智能合约中嵌入防伪逻辑，如对证书的签发条件进行严格限定，只有满足特定能源生产标准的能源项目才能触发证书生成合约。同时，在证书转让过程中，智能合约自动验证转让双方的资质和交易条件，防止非法转让和证书重复使用^[10]。

四、结束语

总而言之，随着区块链技术的不断成熟，基于区块链的绿色能源证书数字化管理与防伪技术成为推动能源行业绿色转型的关键。但是，现阶段基于区块链的绿色能源证书数字化管理与防伪技术的实施仍面临多重挑战，如技术成熟度挑战、法律法规挑战、数据隐私和安全挑战、标准化与互认挑战等，在一定程度上制约了能源行业绿色转型发展。为了应对各项挑战，保障技术合规运营和持续发展，企业应从多方面入手。通过建立统一的区块链平台、构建全面合规体系、加强数据安全治理、制定标准化流程等措施，提升绿色能源证书数字化管理水平，为技术的合规运营和持续发展提供有力的法律保障和支持。

参考文献

- [1] 赵心怡. 基于区块链与人工智能技术融合下事业单位财务数字化建设[J]. 国际商务财会, 2024, (13): 68-71.
- [2] 邹维福, 王阳谦, 王成楷, 等. 区块链技术在能源互联网中的应用研究进展[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2024, 38(08): 208-218.
- [3] 陈帅, 谢雨彤, 王欣楠, 等. 区块链技术在能源领域的应用研究[J]. 中国能源, 2023, 45(06): 68-76.
- [4] 周雪莹. 融合绿色能源产业供应链的绿证交易市场仿真研究[D]. 贵州大学, 2023.
- [5] 李幸芝, 韩蓓, 李国杰, 等. 分布式绿色能源碳交易机制及碳数据管理的挑战[J]. 上海交通大学学报, 2022, 56(08): 977-993.
- [6] 崔利杰, 张红梅, 闵主松, 等. 基于区块链的数字化履历本管理系统设计与实现[J]. 计算机应用与软件, 2025, 42(02): 35-40+87.
- [7] 蓝艳林. 区块链技术赋能档案管理创新的框架设计与应用场景[J]. 山西档案, 2025, (01): 151-154.
- [8] 马珂, 卢文平, 田波, 等. 数字化时代供应链智慧物流与库存管理研究[J]. 中国商论, 2024, 33(23): 89-92.
- [9] 胡子瑜. 新能源产业区块链应用意愿的结构方程模型研究[J]. 物流工程与管理, 2024, 46(12): 50-54+45.
- [10] 马宝来. 数字经济背景下企业财务管理转型及创新措施探究[J]. 商展经济, 2024, (22): 181-184.