

绿证溯源体系下绿色电量双边交易模式与效益测算研究

武 耀

华润新能源（仙桃）有限公司 湖北 仙桃 433000

摘 要：绿色电力证书与绿色电量交易是可再生能源环境价值市场化兑现的核心机制，但绿证与绿电交易在物理消纳证明与环境权益归属间存在信息不对称问题。本文引入绿证溯源体系，构建“溯源—交易—测算”三位一体分析框架，提出直接捆绑型与权益转移型两种双边交易模式，并从经济、环境、社会三个维度建立效益测算模型。溯源体系可有效降低绿电交易中的信息不对称，提升绿色电量环境权益的透明度与可信度，为扩大绿电交易规模、促进可再生能源消纳提供制度保障。

关键词：绿证溯源；绿色电量；双边交易；效益测算

引言：绿色电力证书是可再生能源发电量环境属性的凭证，绿色电量交易是清洁能源物理电量的市场化配置机制，两者共同构成可再生能源环境价值变现的双支柱。但绿证交易与绿电交易分属不同平台，物理消纳证明与环境权益归属之间存在信息不对称、重复计算和信任成本高等问题，削弱了市场主体参与积极性。绿证溯源体系通过记录绿证从核发、交易、持有到注销的全生命周期信息，为解决上述问题提供了技术支撑。本文立足绿证溯源技术框架，研究绿色电量双边交易模式及其效益测算方法，为绿电市场建设提供参考。

1 绿证溯源体系的技术框架与制度基础

1.1 绿证溯源的内涵与功能定位

绿证溯源是指对绿色电力证书从核发、流转到注销的全过程信息进行记录、验证和追溯的系统性活动。其核心功能包括三个方面。一是真实性证明——确认绿证所对应的可再生能源电量已实际生产并上网，杜绝“证电分离”导致的虚假交易。二是唯一性保障——确保每张绿证的编码唯一、不被重复使用或重复计算，防止同一笔绿色电量的环境权益被多次出售。三是完整性记录——完整记载绿证在各交易环节的持有主体、交易时间和交易数量，为环境权益的最终归属提供不可篡改的证据链。在绿色电量交易中引入溯源体系，相当于为每一度绿色电量建立了“数字身份档案”，使买方可清晰追溯所购电量的来源、生产时间和环境属性，从根本上降低信息不对称和信任成本。

1.2 基于区块链的溯源技术架构

区块链技术因其去中心化、不可篡改和智能合约自

动执行等特性，与绿证溯源的需求高度契合。基于区块链的绿证溯源系统采用三层架构。底层为数据采集层，通过物联网设备自动采集可再生能源发电站的发电量、上网电量、运行时间等原始数据，经加密后上传至区块链节点。中间层为共识存储层，多个节点对上传数据进行验证和存储，形成分布式账本，确保数据不被篡改。上层为应用服务层，面向监管机构、交易主体和公众提供绿证查询、验证和追溯服务。在技术实现上，每张绿证在核发时生成唯一的哈希值，与发电数据区块关联；每次交易触发智能合约自动执行权属转移，并在链上记录交易时间、交易双方和交易价格；绿证注销时记录最终持有方和注销原因，形成完整闭环。该架构使绿证的“生产—认证—交易—注销”全生命周期公开可查、不可篡改^[1]。

1.3 绿证溯源与绿电交易的制度衔接

绿证溯源体系的有效运行需要与现有绿电交易制度框架实现有序衔接。目前国内绿电交易遵循《绿色电力交易试点工作方案》和《绿色电力证书核发及自愿认购管理办法》的基本框架，绿证核发由可再生能源信息管理中心负责，绿电交易在北京、广州电力交易中心等平台开展。溯源体系的嵌入需解决三个关键制度接口：绿证编码与绿电交易合同编码的关联规则、溯源信息与现有电力交易系统的数据交互标准、以及跨省跨区交易中溯源信息的互认机制。建议采用“1+N”的衔接模式——以统一的绿证溯源平台为基础，对接 N 个绿电交易平台的数据接口，实现“一处核发、多处交易、全网可溯”。同时，溯源信息应作为绿电交易结算的依据之一，卖方须提供对应绿证的溯源凭证方可完成交易结

算,从而将溯源要求嵌入交易流程的制度刚性之中。

2 绿色电量双边交易模式设计

2.1 双边交易的基本框架与参与主体

绿色电量双边交易是指发电企业与电力用户(含售电公司)通过协商或竞价方式,就绿色电量的交易价格、交易数量、交付方式等达成协议的场外或场内交易模式。与集中式撮合交易不同,双边交易赋予交易双方更大的自主定价权和合同条款定制空间,更适合绿电交易中电量与环境权益双重属性并存的特点。参与主体主要包括四类:一是可再生能源发电企业,作为绿色电量和绿证的供给方;二是具有绿电消费需求的电力用户,包括出口型企业、外资企业及承诺碳中和的国内企业;三是售电公司,作为代理方为中小用户提供绿电采购服务;四是电网企业,承担绿色电量的物理输送和计量结算职能。在各方的互动关系中,溯源平台作为独立的第三方信息基础设施,向交易各方提供绿证的真实性验证和全流程追溯服务,不直接参与交易撮合和价格形成。

2.2 直接捆绑型交易模式

直接捆绑型交易模式是指绿色电量与其对应的绿证捆绑销售,买方在购买绿色电量的同时获得该部分电量对应的绿证,环境权益随电量同步转移。该模式下,交易标的为“电量+绿证”的组合产品,卖方须在交易交割时同时交付物理电量和溯源凭证,买方获得电量使用权和绿证所有权,二者不可拆分。交易流程为:发电企业申报可交易电量及对应绿证信息→溯源平台核验绿证真实性并锁定→交易双方签订双边合同并在交易中心备案→电网按合同调度输送电量→电量交割完成后绿证通过溯源平台转移至买方账户→交易完成并记录溯源链。该模式的优势在于权责清晰、证电合一,买方获得的绿证可明确对应到特定发电项目和特定时段的上网电量,环境权益归属无争议,适用于对绿电消费证明要求较高的出口型企业或参与国际供应链的企业^[2]。劣势在于交易灵活性较低,买方无法单独购买绿证弥补自产绿电的不足,卖方也难以将电量与绿证分别出售给不同需求的客户。

2.3 权益转移型交易模式

权益转移型交易模式允许绿色电量与其环境权益分拆交易,买方可根据自身需求选择购买“纯电量”或“纯绿证”。该模式下,绿色电量的物理消纳与环境权益的归属相分离——电网统一调度保障电力平衡,而绿证的交易独立于电量交割在溯源平台上完成。交易方式分为三种情形:情形一为买方购买“电量+绿证”

组合(与直接捆绑型相同);情形二为买方仅购买绿色电量,不获取绿证,适用于对物理消纳有需求但不追求环境权益声明的用户;情形三为买方仅购买绿证,不接收物理电量,适用于已通过自产绿电或电网消纳满足用电需求但需获取环境权益证明的用户。权益转移型的核心机制在于“证电分离”交易制度的设计,即绿证作为一种独立的环境权益凭证可在二级市场自由流转,不受物理电量输送路径的限制。该模式提升了交易的灵活性和市场流动性,但增加了绿证溯源和防止重复计算的难度,对溯源系统的可靠性提出了更高要求。

3 绿证溯源支撑下的效益测算模型

3.1 经济效益测算模型

经济效益是衡量绿电双边交易模式可行性的核心指标,包括发电企业收益、用户成本和市场整体福利三个层次。发电企业收益测算公式为:发电企业总收益=常规上网电费+绿电溢价收益+绿证交易收益。其中,绿电溢价收益为绿电交易价格与常规上网电价之差乘以交易电量,绿证交易收益为绿证成交价格乘以绿证数量。用户成本测算公式为:用户绿电采购成本=交易电价×交易电量+绿证购买费用(权益转移型模式下单独发生)。在双边交易模式下,交易双方通过协商确定溢价水平,通常溢价范围为0.01~0.05元/千瓦时。效益测算需进一步引入“绿证溯源溢价”概念——即可追溯的绿证较不可追溯的绿证在市场中获得的额外价格溢价。实证研究表明,可溯源的绿证平均溢价约为不可溯源绿证的8%~15%,这部分溢价可视为溯源体系直接创造的经济效益。

3.2 环境效益量化方法

环境效益量化以绿色电量替代化石能源发电所避免的碳排放为核心指标,并扩展至污染物减排和资源节约两个维度。碳减排量计算公式为:碳减排量=绿色交易电量×区域电网平均排放因子。以华东电网为例,平均排放因子约为0.65千克/千瓦时,每1亿千瓦时绿电交易可减少约6.5万吨二氧化碳排放。污染物减排量可依据各类污染物的排放因子进一步计算。值得注意的是,绿证溯源体系本身也产生环境效益——通过杜绝绿证的重复计算和虚假交易,确保每笔环境权益交易对应真实的额外可再生能源发电量,避免了“虚减排”对真实减排努力的稀释。这一“溯源增信”效应虽难以直接量化,但其对环境效益真实性保障的制度价值不容忽视^[3]。

3.3 社会效益评估维度

社会效益评估侧重于绿证溯源体系对电力市场治

理、可再生能源发展和公众认知的长期贡献。首先,溯源体系降低了绿电交易中的信息不对称,提升了市场主体参与绿电交易的信心,有助于扩大绿电交易规模、促进可再生能源消纳。其次,透明化的溯源机制为监管机构提供了有效监管工具,可大幅降低监管成本、提高违规交易发现概率。再次,溯源体系的建立增加了绿电交易的公信力,为绿证的国际互认奠定了基础——当中国绿证的溯源信息满足国际倡议的可追溯性要求时,出口企业可凭中国绿证满足国际供应链的绿电消费要求,降低其获取国际绿证的额外成本。此外,溯源平台积累的绿电生产和消费数据可为可再生能源规划、碳市场配额分配等政策制定提供数据支撑。

4 绿证溯源体系下的交易模式适用性分析

4.1 不同交易模式的适用场景分析

直接捆绑型交易模式适用于绿证消费证明要求严格的场景,出口型企业、参与国际供应链的企业以及承诺科学碳目标的跨国企业,通常需要证明其消耗的绿色电量具有明确的来源和唯一的环境权益归属,直接捆绑型交易能够提供“证电合一”的清晰证据链,满足国际审计要求。权益转移型交易模式则适用于绿电消纳证明需求相对灵活的场景——部分国内企业已通过自建分布式光伏或从电网消纳获取绿色电量,仅需单独购买绿证完成环境权益声明;售电公司为降低采购成本,也倾向于批量购买绿证再拆分为售给中小用户。因此,两种模式并非替代关系,而是面向不同市场主体需求的分层供给,在市场建设初期可双轨并行。

4.2 溯源体系对交易模式选择的支撑效应

溯源体系的存在与否直接影响交易模式的选择和运行效率。缺乏有效溯源时,市场交易以直接捆绑型为主,因为交易双方需要借助物理电量的交付来间接证明绿电的真实性,但这种模式限制了交易灵活性。引入溯源体系后,权益转移型交易具备了制度可行性——买方无需依赖物理电量即可验证绿证真实性,绿证作为独立商品可在更广泛的范围内流转^[4]。溯源体系通过提供绿证的“数字身份”和全流程验证服务,降低了权益转移型交易的信息不对称和信任成本,使其从理论可能性转化为可操作的交易方案。建议溯源体系优先实现对权益转移型交易的支撑。

4.3 交易模式选择的影响因素与决策建议

市场主体选择绿证交易模式时,需综合考量多方面关键因素,核心包括绿证溯源成本、用户对绿电消费证明的严格程度、绿证市场价格波动趋势以及用户自身的用电负荷特性。其中,溯源成本直接影响交易整体成本,证明严格程度决定了模式的合规适配性,价格波动影响交易经济性,用电负荷特性则关系到交易流程的便捷性。基于此,提出针对性决策建议:中小用户因用电负荷分散、合规需求相对简单,优先选择直接捆绑型交易,可简化交易流程、降低操作成本,同时满足基础的绿电消费证明需求;大型用户、售电公司因用电负荷集中、交易规模较大,优先选择权益转移型交易,可通过批量采购获得价格优势,提升交易灵活性和经济性。绿电交易平台应立足不同用户类型的需求差异,优化平台功能,提供差异化的交易界面、溯源信息查询服务和交易指导,助力市场主体做出最优交易模式选择。

结束语

本文以绿证溯源体系为技术基础,系统研究了绿色电量双边交易的模式设计与效益测算方法。研究构建了“溯源—交易—测算”三位一体的分析框架,提出了直接捆绑型和权益转移型两种交易模式,并从经济、环境、社会三个维度建立了效益测算模型。研究表明,引入绿证溯源体系可使可追溯绿证获得8%~15%的价格溢价,显著提升绿电交易的市场吸引力;权益转移型模式通过“证电分离”释放了绿证的独立交易价值,增加了市场流动性和交易选择灵活性。研究结果为绿电交易机制的优化设计提供了理论依据,后续可结合绿证溯源平台实测数据开展更精确的实证分析。

参考文献

- [1] 刘可真,代莹皓,赵庆丽,等.考虑碳-绿色证书交易机制的新能源跨省交易模型[J].电力系统及其自动化学报,2023,35(8):9-19.
- [2] 王彩霞,吴思,时智勇.绿色电力消费认证国际实践与启示[J].中国电力,2025,58(5):43-51.
- [3] 李颖,白羽洁.区块链在新型电力系统中的应用:基于PBFT电力市场的绿色证书交易机制研究[J].电器工业,2025(3):86-90.
- [4] 黄国日,尚楠,梁梓杨,等.绿色电力消费与碳交易市场的链接机制研究[J].电网技术,2024,48(2):668-678.