

DOI:10.3969/j.issn.1674-1951.2020.08.001

# 区块链:概览、国际标准及在能源领域的应用分析

Blockchain: Overview, international standards and application analysis in energy field

张晋宾<sup>1</sup>, 张子立<sup>2</sup>, 李云波<sup>3</sup>  
ZHANG Jinbin<sup>1</sup>, ZHANG Zili<sup>2</sup>, LI Yunbo<sup>3</sup>

(1. 电力规划设计总院, 北京 100120; 2. 谢菲尔德大学 电子和电气工程系, 谢菲尔德 S1 4DE;

3. 北京航空航天大学杭州创新研究院, 杭州 310051)

(1. Electric Power Planning & Engineering Institute, Beijing 100120, China; 2. Department of Electronic and Electrical Engineering, the University of Sheffield, Sheffield S1 4DE, UK; 3. Hangzhou Innovation Research Institute, Beihang University, Hangzhou 310051, China)

**摘要:** 区块链是新兴的热点技术。传统能源向低碳绿色、数字化转型势在必行, 基于区块链技术的能源区块链将成为我国能源转型及其模式演化的有效助推器。为系统地了解区块链技术及其现状, 把握其发展方向, 介绍了区块链技术的起源和历史背景, 描述并分析了区块链和分布式账簿技术的概念、典型特征、类别和发展历程; 系统地介绍了国际标准化组织(ISO)、国际电信联盟(ITU)和电气和电子工程师协会(IEEE)等与区块链和分布式账簿技术相关的主要国际标准的现状与进程; 在此基础上, 针对区块链技术在能源全过程中的 11 个应用场景, 分析了发展能源区块链的必要性, 总结归纳了能源区块链的 6 个主要应用风险及其应对措施, 以期促进我国能源区块链技术研究与应用的健康与快速发展。

**关键词:** 能源区块链; 分布式账簿; 国际标准; 应用场景; 智能合约; 物联网; 电力市场

**中图分类号:** TP 399; TK 01

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-1951(2020)08-0001-10

**Abstract:** Blockchain is an emerging hot spot when the transition from traditional energy to low-carbon, green and digitalized one is imperative. Energy blockchain based on blockchain technology can become an effective booster of China's energy transformation and pattern evolution. In order to comprehensively understand blockchain technology and its current status, and get its development direction, the introduction of the origin and historical background of blockchain was made, in which the concept, typical features, categories and development process of blockchain and distributed ledger technologies were described and analyzed. Then, the main international standards related to blockchain and distributed ledger technologies came from ISO (International Organization for Standardization), ITU (International Telecommunication Union), IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), etc. were systematically expounded from their status quo and development. In addition, analysis on the necessity of developing energy blockchain was made according to eleven application scenarios in energy field. Finally, six main anti-measures in risk controlling for energy blockchain were summarized, with the aim of promoting the healthy and rapid development of energy blockchain researches and applications in China.

**Keywords:** energy blockchain; distributed ledger; international standard; application scenarios; smart contract; IoT; electricity market

## 0 引言

区块链技术或分布式账簿技术(DLT)是分布式数据存储、点对点传输、共识机制、加密算法等计算机技术的新型集成应用范式, 被称为第 5 次创新

革命<sup>[1]</sup>。

作为新生事物, 了解和掌握区块链及 DLT 的概念、特征、国际标准化现状, 并把握其客观发展规律, 对纠正当前出现的与区块链相关的片面认知错误至关重要。

能源领域是当前区块链研究应用的全球热点, 能源区块链也是国际能源领域的重要发展方向之

收稿日期: 2020-05-10; 修回日期: 2020-07-18

一。系统地研究能源区块链的应用场景、潜在应用风险及应对手段,对我国能源领域应用区块链技术具有重要的参考价值。当前国内该方面的系统性研究文献尚不多见。

本文介绍了区块链技术的起源和历史背景,描述并分析了区块链及 DLT 的概念、典型特征、类别和发展历程;系统性地介绍了国际标准化组织(ISO)、国际电信联盟(ITU)和电气和电子工程师协会(IEEE)等区块链及 DLT 国际标准现状及进程;分析了发展能源区块链的必要性,指出了在能源生产、交易、投融资、利用等过程中区块链的 11 个应用场景,分析研究了能源区块链的 6 个应用风险及其应对措施,以期促进我国能源区块链技术研究与应用的健康与快速发展。

## 1 区块链技术概览

### 1.1 起源及背景

原贝尔通信研究所(Bellcore)科学家 Stuart Haber 和 W. Scott Stornetta 于 1991 年发表了《如何为数字文档建立时间戳》的论文,提出了可信时间戳服务,首次阐述了采用哈希和数字签名等建立的时间戳区块链功能<sup>[2]</sup>。3 年后,他们基于 Linked TSA(链接的时间戳机构)架构成立了 Surety 公司,这是世界上首个商业化的区块链服务提供者,是当之无愧的区块链先驱<sup>[3]</sup>,因而两位又被称之为“区块链技术之父”<sup>[4]</sup>。

爆发于 2007 年 8 月的美国次贷危机金融风暴,对世界金融市场和全球经济都造成了极大的冲击

和恶劣影响。由此促使人们开始反思金融监管制度存在的问题,并积极探索形成新的监管机制。在此大背景下,并受 Linked TSA、hashcash(哈希现金)<sup>[5]</sup>、公钥密码系统协议<sup>[6]</sup>等系列研究启发,化名为“中本聪”(Satoshi Nakamoto)的学者于 2008 年在 bitcoin.org 网站发表了《比特币:一种点对点电子现金系统》的论文,提出创建一套“基于密码证明而不是基于信用,使得任何自愿的双方在符合条件的情况下能够直接进行互相交易,而不需要可信第三方机构的参与”的新型电子支付系统<sup>[7]</sup>,并于次年发布了基于区块链技术数字平台之上的比特币。在这之前,曾出现过“chain of blocks”(块之链)和“blocks are chained”(块被链接)等类似说法,而“blockchain”(区块链)用语是第 1 次在“Cryptography Mailing List”(加密邮件列表)类别内的“Bitcoin P2P e-cash paper”(比特币 P2P 电子现金论文)<sup>[8]</sup>之下的后续讨论邮件列表中提出的。

### 1.2 概念、特征、类型及发展

#### 1.2.1 区块链和分布式账簿的概念

典型的区块链示例如图 1 所示。区块链由数据集构成,而数据集又由多个链式数据包(区块)所构成。在每一个区块中,又包含时间戳、Nonce(用于验证哈希的随机数)、多次交易数据(即 TX<sub>1</sub>, TX<sub>2</sub>, ..., TX<sub>n</sub>)。在创建新的区块时,提取当前链中最后一个区块的哈希,并与自身的一组消息组合,从而为新创建的区块生成新的哈希,由此通过哈希链形成区块的链式组合。

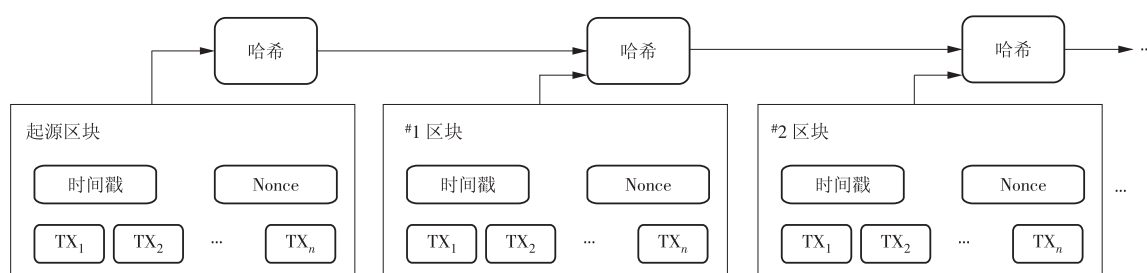


图 1 典型区块链示例

Fig. 1 Example of a typical blockchain

早期,区块链和分布式账簿两个术语常不加区别地互用。但在私有链和联盟链等许可账簿(permissioned ledger)技术出现后,这样的互用状态发生了改变。这是因为在许可账簿中普通节点需先得到管理节点的授权,才可以查看、修改和加入网络。这种仍保留管理中心,没有完全“去中心化”的特征,引起国际上区块链研究者们就许可账簿究竟是否可被认为从属于区块链类别而进行了长久持续地争论。由此之后,“区块链”和“分布式账簿”

2 个用语在国际学术界开始区分使用。至今,国际上仍有不少学者坚持“许可账簿不是真正的区块链”的观点,但国内似仍对“区块链”和“分布式账簿”2 个概念没有完全加以区分地应用。

实际从内涵上看,区块链和分布式账簿是有区别的。区块链是指一种去中心化的账簿类型,而分布式账簿则包含区块链,指的是更大的数据库类。ITU 将“区块链”定义为“一种由以连续增长的数据块链排列并以数字方式来记录的数据所组成的分

布式账簿类型。其中每个数据块均以加密方式链接并加固,以防被篡改和修改”;将“分布式账簿”定义为“一种以分布式和去中心化方式共享、复制和同步的账簿类型”<sup>[9]</sup>。从广义上讲,还可认为区块链技术是指利用块链式数据结构来验证与存储数据,利用分布式节点共识算法来生成和更新数据,利用密码学的方式保证数据传输和访问的安全利用,由自动化脚本代码组成的智能合约来编程和操作数据的一种全新的分布式基础架构与计算范式<sup>[10]</sup>。

### 1.2.2 区块链典型特征

区块链基本架构如图2所示。区块链技术的工作有效性取决于分布式网络、分布式共识和密码安全算法等主要部分。分布式网络位于区块链的最底层,采用P2P结构,主要负责点对点通信;基于密码学账簿体系之上,在将块加入公共账簿前,需采用分布式网络之上的共识规约来验证交易的有效性,如此,分布式网络就变成了分布式账簿。

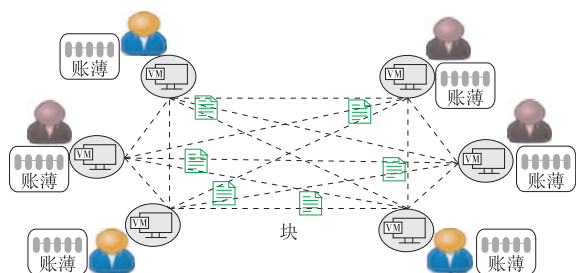


图2 区块链基本架构

Fig. 2 Basic blockchain architecture

区块链技术具有去中心化、数据不可篡改、共同维护、信息公开透明、智能合约、可追溯性、开放性、无须可信系统等特点。由此可见,典型区块链系统具有如下主要特征。

(1)去中心化/去中介(独立性)。区块链系统基于分布式网络、共识机制(包括规范、协议或算法等)、加密算法等,建立了各个分布式节点间的信任关系,所有节点均能够在系统内自动安全地验证、交换数据而不需要任何人为的干预。整个区块链系统内部运作不依赖第三方,形成了不再需要任何中介或中央管理控制机制(如中心硬件设施或第三方管理平台等)的去中心化、去中介、高度信任的分布式系统。

(2)透明互信。整个区块链系统的运行规则公开透明,且除交易各方被加密的私有信息外,区块链数据对所有节点开放,每个节点都拥有带系统中完整交易记录的相同账簿(数据副本),整个系统信息高度透明。在系统指定的规则范围和时间范围内,恶意节点难以或无法欺骗其他节点,参与系统的各个节点之间可以在无须建立信任的前提下进

行数据的可信交互。

(3)数据安全性(不可篡改性)。区块链采用“区块+链”的结构,并按照时间顺序持续增加区块的数量。要想修改某区块中的数据,就需要重新生成它之后的所有区块,加之所采用的共识机制也使得修改大量区块的算力成本极高,因对数据的篡改几乎是不可能的。另外,每个分布式节点都拥有完全相同的账簿(即完整的数据副本),单个或部分节点的崩溃都不会对账簿的数据安全造成破坏。

(4)匿名性。除非有法律规范要求,单从技术上来讲,各区块节点的身份信息不需要公开或验证,信息传递可以匿名进行。

(5)高容错性和可靠性。区块链技术依靠其共识机制等可保持各分布式节点数据的一致性,每一个节点都拥有完全相同的账簿(即完整的数据副本),原则上即使系统中某个节点或少部分节点遭受网络/硬件/软件等故障、错误、崩溃或者网络攻击,也不会影响其他参与节点及整个区块链系统的正常工作。故障节点在故障排除并完成数据同步后,也可再加入系统继续工作。

### 1.2.3 区块链的分类

区块链目前主要分为公有链、私有链(也称专有链)和联盟链(也称混合链)3种,见表1。3种链各有侧重点、应用场景和实现的功能,以及对应的经济生态模式<sup>[11]</sup>。

随着区块链应用的日益广泛,跨链(包括同类链或异类链、同构链或异构链)数据交互需求增多。目前常用的有公证人机制、侧链/中继、哈希锁定、分布式私钥控制等跨链技术。但总体而言,跨链交互技术仍不成熟,还处于发展阶段。

### 1.2.4 区块链的发展历程

区块链技术依托于已有技术,并加以独创性地组合和创新,从而实现了重大功能性突破。迄今为止,区块链技术大体经历了4个发展阶段,如图3所示,并仍处于不断地发展进化中。

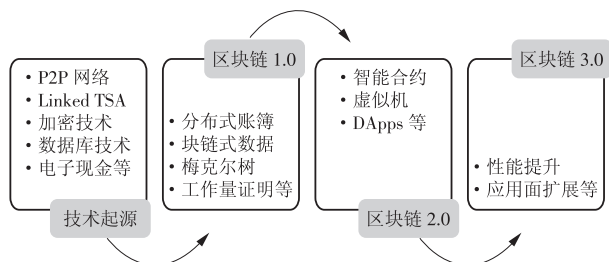


图3 区块链演进总览

Fig. 3 Overview of blockchain evolution

区块链1.0技术诞生于2008年,比特币为其重要代表,具有以区块为单位的链状数据块结构,全



表 1 区块链类别

Tab. 1 Categories of blockchains

| 属性     | 公有链                                            | 私有链                    | 联盟链                         |
|--------|------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------|
| 参与人    | 任何人都可加入、写入和访问数据                                | 仅限个体或机构内;但有的向公众开放数据读取权 | 仅限联盟内使用,有准入机制;但有的向公众开放数据读取权 |
| 信任机制   | PoW, PoS 或 DPoS 等                              | 自行背书                   | 集体背书                        |
| 记账人    | 所有参与者或多中心记账                                    | 自定                     | 参与者协商决定                     |
| 激励机制   | 需要                                             | 无                      | 可选                          |
| 中心化程度  | 去中心化或多中心化                                      | 高度中心化                  | 多中心化                        |
| 不可篡改性  | 几乎不可篡改                                         | 有可能篡改                  | 有可能篡改                       |
| TPS    | 小于 10 笔/s(如比特币);几十笔/s(如以太坊);50 000 笔/s(如 EOS)等 | 10 笔/s ~ 1 000 万笔/s    | 1 000 ~ 10 000 笔/s          |
| 典型应用场景 | 线上的交易记账;线上基于公链的各种 DApps                        | 机构内不对外提供服务的区块链应用和研究    | 行业、组织、联盟等进行数据资源交互和交易        |
| 典型代表   | 比特币;以太坊;EOS 及其他新公有链                            | Overstock 公司           | R3 银行联盟                     |

注:PoW 指工作量证明(Proof of Work)共识机制;PoS 指权益证明(Proof of Stake)共识机制;DPoS 指委托权益证明(Delegated Proof of Stake)共识机制;TPS 指每秒可处理的交易量(Transaction Per Second),属系统吞吐量性能指标;DApps 为去中心化应用。

网共享完整一致的账簿,账户体系采用非对称加密,以及共识机制和规则等在内的源代码开源等特征。

区块链 2.0 技术诞生于 2014 年,以太坊为其重要代表,具有智能合约、DApps、虚拟机等特性。其中,智能合约是已编码的、可自动运行的业务逻辑程序,用户可以将智能合约上传到区块链并调用它们。智能合约的发展引出了与区块链数据结构交互的 DApps,其界面通常可以在浏览器中运行。

区块链 3.0 是仍处于发展中的技术,旨在改进或提升区块链的可扩展性、互操作性、监管性或治理性、安全性或可持续性性能,并更易于与交互式网络等相集成;同时扩大其应用面,使其可应用于工业、农业、交通运输、医疗、智慧城市、物联网(IoT)等人类生活的各个方面。

## 2 区块链和 DLT 相关国际标准

### 2.1 国际标准化组织(ISO)

ISO 作为目前世界上最大、最有影响力的国际标准化专门机构。考虑到区块链技术和 DLT 的迅猛发展和国际化的需要,ISO 于 2016 年成立了专门的区块链及 DLT 技术委员会,即 ISO/TC 307 “Blockchain and distributed ledger technologies”(区块链和分布式账簿技术)技术委员会。

截至 2020 年 4 月底,ISO 已发布了 1 项区块链相关标准,即 ISO/TR 23455: 2019 《Blockchain and distributed ledger technologies — Overview of and interactions between smart contracts in blockchain and distributed ledger technology systems》(区块链和分布式账簿技术——区块链和分布式账簿技术系统中智能合约概览和智能合约间的交互作用)。该标准

一是总览性地介绍了智能合约,描述了智能合约的历史,理解智能合约的几种方法;二是从智能合约的概念、收益及挑战、部署和执行相关链上和链下智能合约的异同、信息访问、生命周期(创建、执行、终止)、信息安全等 6 个维度描述了智能合约工作的各个方面;三是简略介绍了具有约束力且可强制执行的智能合约,用于区块链(交叉链和侧链交易)间信息传送的智能合约<sup>[12]</sup>。此外,ISO 正在制定的区块链技术标准还有 12 项,见表 2。

### 2.2 国际电信联盟(ITU)

作为与 ISO、国际电工委员会(IEC)齐名的三大国际标准化组织之一,ITU 主要负责远程通信、信息和通信技术方面的国际标准化,旨在促进国际上通信网络的互联互通。早在 2017 年 5 月,国际电信联盟标准化部门(ITU-T)成立了分布式账簿技术应用焦点组(FG DLT),以识别并分析基于 DLT 的应用和服务,提出 DLT 相关国际标准化工作建议。近期,ITU 发布的区块链相关标准见表 3。

ITU-T X. 1401 标准从攻击的目标、手段、影响及可能性等维度,分析了 DLT 在规约、网络和数据等方面所面临的安全威胁,并为 DLT 系统设计、部署和运营的安全评估及加固提供了技术指导<sup>[13]</sup>。

ITU-T Y. 2342 标准介绍了下一代网络演进(NGNe)的背景、动因及 NGNe-区块链概览,给出了 NGNe-区块链应用场景、要求及用例,提出了 NGNe-区块链的通用架构和能力要求,以满足网络场景下的区块链应用、运营、监管等需求<sup>[14]</sup>。

ITU-T Y. 4464 标准介绍了去中心化的 IoT 服务平台和物联网区块链(BoT),分析了 BoT 的概念、通用特征和高级要求,提供了 BoT 的通用能力和功能、规程、相关用例等<sup>[15]</sup>。

表 2 区块链相关 ISO 标准  
Tab. 2 Blockchain-related ISO standards

| 标准号               | 标准名称                                                                                                                                                                       | 状态      |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| ISO/CD TR 3242    | Blockchain and distributed ledger technologies—Use cases<br>(区块链和分布式账簿技术——应用案例)                                                                                            | CD 起草   |
| ISO/FDIS 22739    | Blockchain and distributed ledger technologies—Vocabulary<br>(区块链和分布式账簿技术——术语)                                                                                             | FDIS 投票 |
| ISO/TR23244       | Blockchain and distributed ledger technologies—Privacy and personally identifiable information protection considerations<br>(区块链和分布式账簿技术——私密和个人身份信息防护的考虑)                  | 待出版     |
| ISO/CD TR 23245.2 | Blockchain and distributed ledger technologies—Security risks, threats and vulnerabilities<br>(区块链和分布式账簿技术——信息安全风险、威胁及脆弱性)                                                 | CD 投票   |
| ISO/AWI TR 23246  | Blockchain and distributed ledger technologies—Overview of identity management using blockchain and distributed ledger technologies<br>(区块链和分布式账簿技术——用区块链和分布式账簿技术进行身份管理总览) | 准备阶段    |
| ISO/CD 23257.3    | Blockchain and distributed ledger technologies—Reference architecture<br>(区块链和分布式账簿技术——参考架构)                                                                               | CD 投票结束 |
| ISO/WD TS 23258   | Blockchain and distributed ledger technologies—Taxonomy and Ontology<br>(区块链和分布式账簿技术——分类学与本体论)                                                                             | WD 起草   |
| ISO/AWI TS 23259  | Blockchain and distributed ledger technologies—Legally binding smart contracts<br>(区块链和分布式账簿技术——具有法律约束力的智能合约)                                                              | 准备阶段    |
| ISO/CD TR 23576   | Blockchain and distributed ledger technologies—Security management of digital asset custodians<br>(区块链和分布式账簿技术——数字资产保管人的信息安全管理)                                            | CD 投票结束 |
| ISO/AWI TS 23635  | Blockchain and distributed ledger technologies—Guidelines for governance<br>(区块链和分布式账簿技术——治理指南)                                                                            | 立项已批准   |
| ISO/WD TR 24332   | Information and documentation—Application of blockchain technology to records management—Issues and considerations<br>(信息与文档—区块链技术在记录管理中的应用——事务及考虑)                        | 准备阶段    |
| ISO/WD 24374      | Information technology—Security techniques—DLT and Blockchain for Financial Services<br>(信息技术—信息安全技术——用于金融服务的 DLT 和区块链)                                                    | 准备阶段    |

注:CD 指委员会草案;FDIS 指最终国际标准版草案;WD 指工作组草案。

表 3 区块链相关 ITU 标准  
Tab. 3 Blockchain-related ITU standards

| 标准号          | 标准名称                                                                                                             | 发布日期    |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| ITU-T X.1401 | Security threats of distributed ledger technology<br>(分布式账簿技术的信息安全威胁)                                            | 2019-11 |
| ITU-T Y.2342 | Scenarios and capability requirements of blockchain in next generation network evolution<br>(下一代网络演进中区块链场景及能力要求) | 2019-12 |
| ITU-T Y.4464 | Framework of blockchain of things as decentralized service platform<br>(物联网区块链去中心化服务平台框架)                        | 2020-01 |

此外,ITU 也于 2019 年 7 月发布了 4 份区块链相关技术规范,即 ITU-T TR D3. 5《Overview of blockchain for supporting IoT and SC&C in DPM aspects》(支持物联网和智慧城市&社区的数据处理和管理方面的区块链总览),ITU-T TS D3. 6《Blockchain-based data exchange and sharing for supporting IoT and SC&C》(支持物联网和智慧城市&社区的基于区块链的数据交换和共享),ITU-T TS D3. 7《Blockchain-based data management for supporting IoT and SC&C》(支持物联网和智慧城市&社区的基于区块链的数据管

理)和 ITU-T TS D3. 8《Identity framework in blockchain to support DPM for IoT and SC&C》(支持物联网和智慧城市&社区数据处理和管理的区块链身份框架)。于 2019 年 10 月发布了 2 份区块链相关技术报告,即 ITU-T HSTP. DLT-RF《Distributed ledger technologies: Regulatory framework》(分布式账簿技术:监管框架)和 ITU-T HSTP. DLT-UC《Distributed ledger technologies: Use cases》(分布式账簿技术:用例)。

### 2.3 电气和电子工程师协会(IEEE)

IEEE是总部位于美国纽约的电气、电子和计算领域,以及构成现代文明的其他相关科技领域的技术协会,也是全球推动技术进步的最大专业性技术组织。因IEEE所发布的标准在世界范围具有广泛的影响,且被众多国家和产业界广泛认同和应用,故通常也将IEEE标准称为“事实上的国际标准”。

当前,IEEE已批准标准项目授权申请书(PAR),正在起草的区块链相关标准项目清单见表4。

表4中,正在起草的IEEE P2418.5标准拟提供一个开放、通用和可互操作的能源区块链参考框架模型。该标准拟包括3个方面。

(1)作为电力行业、石油天然气行业和可再生能源行业及其相关服务业的区块链用例指南。

(2)通过构建开放的规约和技术不可知的分层框架,建立能源区块链应用的参考体系架构、互操作性、术语和系统接口等方面的标准。

(3)通过评估用于能源行业的共识算法、智能合约和区块链实现类型等,提供能源区块链的可扩展性、性能、信息安全性和互操作性方面的导则。

## 3 能源区块链

### 3.1 能源转型需求

国际可再生能源署在其2020年发布的《全球可再生能源展望:能源转型2050》报告中指出,面向2050年国际能源转型有6个迫切需求或关键驱动力。

(1)降低约70%的碳排放。

(2)改善大气质量,获得更大经济收益。

(3)降低能源成本,使可再生能源具备全面竞争力。

(4)降低约64%的化石燃料需求,改善能源安全。

(5)普及清洁能源,甚至边远地区也可用上可再生能源。

(6)增加多于700万的工作机会<sup>[16]</sup>。

当前,包括区块链、人工智能等新一代信息通信技术的进步正赋能于能源转型,并成为能源转型和模式进化的催化剂和强大助推器。正如马克思在《机器·自然力和科学的应用》中所言——“火药、指南针、印刷术——这是预告资产阶级到来的三大发明。火药把骑士阶层炸得粉碎”一样<sup>[17]</sup>,预计区块链技术/分布式账簿技术和由可再生能源、储能、配电网所构成的微电网组合在一起后,将会对有百年历史的传统电网结构、运营模式等造成极大的冲击。

能源区块链用例如图4所示。在区块链分布式应用、智能合约、IoT(包括智能电表等)、加密货币支付(如比特币、以太币等)、分布配电网等支持下,电力用户(如普通家庭用户、工商业用户等)可选择、订阅、验证任一智能合约,从而选择不同的供电方。每一智能合约与不同供电方(如发电站、电力生产/消费一体者等)相关联。每一电力用户可通过加密货币钱包,按智能合约所约定的供电方和用电方的支付条款,由能源区块链系统自主判定约定条件满足时,自动将电费支付给所选择的供电方。

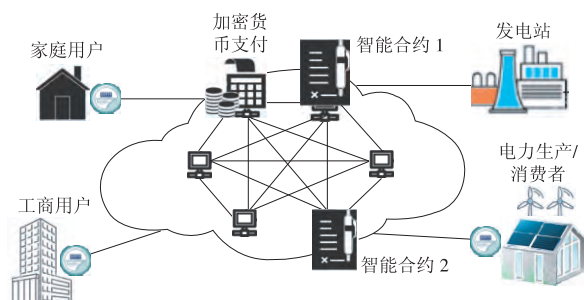


图4 能源区块链用例示意

Fig. 4 Use case of energy blockchain

### 3.2 能源区块链应用场景

能源领域当前发展趋势是3D,即Digitalization(数字化)、Decarbonization(去碳化)和Decentralization(去中心化)。区块链技术/分布式账簿技术所具有的去中心化、数据安全、智能合约等特征恰好与能源转型及3D发展可结合为天然联盟。据高盛研究,区块链技术通过“创造性地破坏”作用而重新分配市场,可通过在区域内互联就地发电商和当地消费者,建立分布式、实时电力市场。区块链赋能后的电力市场还可以提高电网安全性,并促进智能电网技术的进一步推广应用。预计由此开创的美国分布式电力新市场可为新的市场参与者(指非公用事业公司)创造高达25亿~70亿美元的潜在电力收入<sup>[18]</sup>。

区块链技术/分布式账簿技术可应用于能源价值链的生产、交易、投融资等多个环节,主要应用场景如下。

(1)可再生能源的原产地证明(包括可再生能源类型、地点和发电时间)、实时工况监测、绿色电力证书认购、可再生能源消纳量核算及转让或交易等。

(2)能源控制和电网稳定运行,特别是在可再生能源高渗透下。

(3)能源生产及消费中计费流程的自动化。包括跨行业或跨部门间的收费、费用支付等。

(4)宏观和中观层面的能源交易。包括能源大



表 4 IEEE 正在起草的区块链相关标准  
Tab. 4 Blockchain-related IEEE standards in draft

| 标准项目号                | 标准名称                                                                                                                                                                             | PAR 获批时间 |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| IEEE P2140.1         | Standard for general requirements for cryptocurrency exchanges<br>(加密货币交易通用要求标准)                                                                                                 | 2019-06  |
| IEEE P2140.2         | Standard for security management for customer cryptographic assets on cryptocurrency exchanges<br>(加密货币交易的客户加密资产安全管理标准)                                                          | 2019-06  |
| IEEE P2140.3         | Standard for user identification and anti-money laundering on cryptocurrency exchanges<br>(加密货币交易的用户身份识别和反洗钱标准)                                                                  | 2019-06  |
| IEEE P2140.4         | Standard for distributed/decentralized exchange framework using DLT (Distributed Ledger Technology)<br>(采用 DLT 的分布式/去中心化交易框架标准)                                                  | 2019-06  |
| IEEE P2140.5         | IEEE draft standard for custodian framework of cryptocurrency<br>(IEEE 加密货币保管框架标准草案)                                                                                             | 2019-06  |
| IEEE P2141.1         | Standard for the use of blockchain in anti-corruption applications for centralized organizations<br>(集中式组织内用于反腐败应用的区块链应用标准)                                                      | 2019-03  |
| IEEE P2141.2         | Standard for transforming enterprise information systems from centralized architecture into blockchain-based decentralized architecture<br>(将企业信息系统从集中式体系架构转换为基于区块链的去中心化体系架构的标准) | 2019-11  |
| IEEE P2141.3         | Standard for transforming enterprise information systems from distributed architecture into blockchain-based decentralized architecture<br>(将企业信息系统从分布式体系架构转换为基于区块链的去中心化体系架构的标准) | 2019-11  |
| IEEE P2142.1         | Recommended practice for e-invoice business using blockchain technology<br>(采用区块链的电子发票业务推荐实践)                                                                                    | 2019-05  |
| IEEE P2143.1         | IEEE draft standard for general process of cryptocurrency payment<br>(IEEE 加密货币支付通用流程标准草案)                                                                                       | 2019-06  |
| IEEE P2143.2         | Standard for cryptocurrency payment performance metrics<br>(加密货币支付性能度量标准)                                                                                                        | 2019-06  |
| IEEE P2143.3         | Standard for risk control requirements for cryptocurrency payment<br>(加密货币支付风险控制要求标准)                                                                                            | 2019-06  |
| IEEE P2144.1         | Standard for framework of blockchain-based Internet of Things (IoT) data management<br>(基于区块链的物联网数据管理框架标准)                                                                       | 2019-06  |
| IEEE P2144.2         | Standard for functional requirements in blockchain-based Internet of Things (IoT) data management<br>(基于区块链的物联网数据管理功能需求标准)                                                       | 2019-06  |
| IEEE P2144.3         | Standard for assessment of blockchain-based Internet of Things (IoT) data management<br>(基于区块链的物联网数据管理评估标准)                                                                      | 2019-06  |
| IEEE P2145           | Standard for framework and definitions for blockchain governance<br>(区块链治理框架和定义标准)                                                                                               | 2020-02  |
| IEEE P2146.1         | Standard for entity-based risk mutual assistance model through blockchain technology<br>(基于实体的、采用区块链技术的风险互助模型标准)                                                                 | 2020-02  |
| IEEE P2146.2         | Standard for external data retrieval of blockchain for risk mutual assistance model<br>(风险互助模型用区块链外部数据检索标准)                                                                      | 2020-02  |
| IEEE P2418.1         | Standard for the framework of blockchain use in Internet of Things<br>(物联网中区块链应用框架标准)                                                                                            | 2017-06  |
| IEEE 2418.2—<br>2020 | IEEE approved draft standard data format for blockchain systems<br>(IEEE 已批准的区块链系统数据格式标准草案)                                                                                      | 2020-03  |
| IEEE P2418.5         | Standard for blockchain in energy<br>(能源区块链标准)                                                                                                                                   | 2018-09  |
| IEEE P2418.6         | Standard for the framework of Distributed Ledger Technology (DLT) use in healthcare and the life and social sciences (医疗保健和生命及社会科学用分布式账簿技术框架标准)                                  | 2018-09  |
| IEEE P2418.7         | Standard for the use of blockchain in supply chain finance<br>(供应链金融中区块链的应用标准)                                                                                                   | 2018-12  |
| IEEE P2418.8         | Standard for blockchain applications in governments<br>(政府内区块链应用标准)                                                                                                              | 2019-03  |
| IEEE P2418.9         | Standard for cryptocurrency based security tokens<br>(基于加密货币的安全通证标准)                                                                                                             | 2019-06  |
| IEEE P2418.10        | Standard for blockchain-based digital asset management<br>(基于区块链的数字资产管理标准)                                                                                                       | 2019-06  |

大宗商品交易、批发能源市场交易、分布式能源生产/消费一体者与其邻近电力用户间的 P2P 交易等。

(5) 智慧城市(物联网)联网智能设备的能耗行为(如负载控制)等的实时控制。

(6) 能源部门相关数据。如安全生产、电力监管、环保排放、能耗、可再生能源产量统计等的可靠、透明地采集、分析和发布。

(7) 供水、供气、供电等公用设施。如城市水网、天然气管网、配电网或微网等的资产管理等。

(8) 有限的能源资源在多用户间的共享和共用。如电动汽车充电桩的共享,电动汽车电池电能的共享,以及可响应电网信号,为电网提供调频、负荷响应等辅助服务等。

(9) 供应链管理。如可对供应商资质及其证书等企业信息、加工材料、货物运输等追踪或溯源。

(10) 面向能源的金融产品。如交易代币化、产业链上下游金融服务等。

(11) 信息安全及身份管理。如数据机密性、用户信息私密性的防护等。

此外,德国慕尼黑能源经济研究中心对区块链技术在能源转型中的作用进行了专门研究,对能源价值链进行了全面的分析,指出区块链和智能合约技术可应用于标签、共享经济/贸易、会计/金融、加密货币、系统服务、资产管理、自动化/优化等类别<sup>[19-20]</sup>。英国赫瑞瓦特大学等按其目的和活动子类,对 140 多个能源行业区块链创新项目和研究行动计划用例进行了分类,各类用例占比从高到低分别为:分布式能源交易(占 33%),加密货币、通证与投资(占 19%),物联网、智能设备、自动化与资产管理(占 11%),计量、抄表与安全(占 9%),电网管理(占 8%),绿证与碳交易(占 7%),电动汽车(占 7%);其他通用目的的行动计划占 6%<sup>[21]</sup>。

有 2 点需要注意,一是区块链技术不是万能的,它难以独立实现网上数据和网下实体的结合。例如在对环保排放量进行监管时,需要智能环保排放量监视仪表对数据准确测量,并通过可靠通信链路传输到区块链线上,才能充分发挥区块链的优势。二是要结合具体应用场景的特点,选择适当的区块链应用模式。例如,共享机制的选择(PoW 或 PoA,或实用的拜占庭容错等);许可账簿技术与非许可账簿技术的选择;采用许可账簿技术时设置中心的数量;针对敏感数据的公开权限设置方法等。

### 3.3 风险与挑战

区块链具有的信息共享、流通和交易及安全机制为全球能源转型提供了一种有效的解决方案。但当前能源区块链的应用项目规模都较小,尚处于

实验、研究、探索阶段。

从应用视角看,区块链技术还是一个新生事物,仍处于快速上升阶段。经典的区块链技术尚存以下主要风险或不足。

(1) 资源消耗量大。当采用 PoW 共享算法时,消耗的计算机算力和电能较高。据剑桥大学统计数据,采用 PoW 共享算法的比特币网络年耗电量高达 76 TW·h<sup>[22]</sup>。同时,因全部区块链节点均冗余复制相关数据,节点越多,数据的冗余度越高,所占用的数据存储空间越大。这点对于虚拟数字货币(如比特币)而言提供了更高的安全性,但对于能源行业应用而言似乎不必要为保证如此高的安全性而占用过多资源。

(2) 信息安全风险尚存,责任还需进一步明晰。一是复杂的智能合约存在漏洞的风险较高,当智能合约存在哪怕是较小的编程漏洞时,也易带来较大的网络攻击风险。如新加坡国立大学和伦敦大学学院的 5 位学者用 Maian 工具对近 100 万个以太坊智能合约扫描发现,有 34 200 个合约存在漏洞,可被黑客用来窃取以太币,甚至冻结或删除用户的数字资产<sup>[23-24]</sup>。二是能源网络覆盖地域广,联接千家万户,极易接入不安全的信息技术(IT)部件,存在分布式拒绝服务(DDoS)攻击的脆弱性。三是当攻击者掌握了 51% 以上的区块链节点时,就可恶意修改区块链中的数据。四是公有链上每个节点通常都可看到全部数据,因而可能带来数据防护、责任事务和消费者权益的含糊不清。例如,从数据安全防护角度看,以去中心化方式存储加密数据,每一位参与者均可将所加密数据保存在自己身边,待条件具备或时机成熟时(如强大的量子计算机问世)再解密数据,或利用数据挖掘或其他人工智能(AI)数据分析手段来获取有关用户或应用的敏感数据,由此可能会带来安全风险。五是区块链网络的去中心化本质决定了几乎不可能判定何人应该对 P2P 网络的错误负责,特别是对公有链而言。

(3) 可扩展性和性能之间的矛盾。如分布式区块链节点越多,其数据完整性越易得到保护,但同时也会带来达成共识的时间变长,导致性能下降等。

(4) 对去中心化的区块链代码等的变更难度偏大。如若需对已部署的区块链代码进行升级,则需先获得大多数节点认可后才可实施。

(5) 缺乏区块链应用程序接口(API)标准,导致不同技术之间的互操作性难以实现。

(6) 私钥管理难题。若丢失私钥,则不可能再访问区块链上个人的数字资产。



此外,跨链、侧链等区块链互联互通技术成熟度还较低,仍处于试验和试用阶段。

总之,区块链在能源行业大规模应用前,还需解决其复杂性、不确定性、缺乏标准化及能源监管不便利等方面的挑战。

### 3.4 机遇

区块链技术是一种仍处于发展中的新兴技术,尽管还不成熟,但其蕴藏的巨大优势已在金融市场、P2P交易、供应链等方面显露出来。

对于区块链应用中的一些风险,当前通过选择恰当的区块链模式和技术,可以一定程度地减轻,如能源区块链采用私有链或联盟链技术,可消除或大大减小交易运营成本,改善网络性能,极大降低能耗。通过多中心化管理和限于可识别的参与者,又可大大提升其数据安全水平。但不可否认的是,在这种情况下其可信度和透明性等指标是低于采用公有链的能源区块链的。

此外,随着技术的发展,区块链技术风险也可逐步得以管控或彻底解决。例如,通过深度学习与区块链的有机结合可解决数据权方面的挑战,使网络参与者可自主控制其个人数据;利用态势感知技术,可检测数据方面的异常,识别可疑的行为;采用零知识证明方法,不仅可使交易安全,而且也可保证敏感信息的私密性。

相信通过AI、IIoT与区块链等先进技术的融合集成,定会构建一个自主、安全、自治的新一代能源区块链生态系统。

## 4 结束语

建立在分布式数据存储、P2P传输、共识机制、加密算法等基础上的区块链技术,是推动能源向低碳绿色转型的强大助推器,也是增加能源安全性、透明性和灵活性的重要使能技术。

能源区块链是当今全球能源领域的一个重要发展和应用方向,我国应加快加强能源区块链的底层技术(如共识机制、数据存储、网络协议、加密算法、隐私保护、智能合约等)和工程技术研究、标准体系建设和项目示范,做到能源区块链技术的自主可控,从而积极推动全球能源转型。

能源区块链的成功,不仅取决于科研院所等的核心关键技术攻关、标准化及平台建设和工程应用示范,更取决于能源政府部门的积极引导、有序推动与合理监管。

### 参考文献:

- [1] ANDERSSON S. Kevin Kelly names bitcoin and blockchain “Fifth Innovation Revolution” [EB/OL]. (2020-02-04) [2020-05-19]. <https://www.thecoinrepublic.com/2020/02/03/kevin-kelly-names-bitcoin-and-blockchain-fifth-innovation-revolution>.
- [2] HABER S, STORNETTA W S. How to time-stamp a digital document [J]. Journal of Cryptology, 1991, 3(2): 99 - 111.
- [3] O’CONNOR M. Surety as a blockchain progenitor [EB/OL]. (2018-08-28) [2020-05-06]. <https://blockchainlitigation.com/2018/08/28/surety-as-a-blockchain-progenitor>.
- [4] World Crypto Index. W. Scott Stornetta Bio [EB/OL]. [2020-05-06]. <https://www.worldcryptoindex.com/creators/w-scott-stornetta>.
- [5] BACK A. Hashcash—A denial of service counter-measure [EB/OL]. (2002-08-01) [2020-05-08]. <http://www.hashcash.org/papers/hashcash.pdf>.
- [6] MERKLE R C. Protocols for public key cryptosystems: Proceedings 1980 symposium on security and privacy [C]. New York: IEEE Computer Society, 1980: 122-133.
- [7] NAKAMOTO S. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system [EB/OL]. [2020-05-08]. <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>.
- [8] NAKAMOTO S. Bitcoin P2P e-cash paper [EB/OL]. (2008-11-01) [2020-05-08]. <http://satoshiinakamoto.me/source/cryptography-mail-list/?order=asc>.
- [9] ITU-T. Distributed ledger technology terms and definitions: FG DLT D1.1: 2019 [S]. Telecommunication standardization sector of ITU, 2019: 1-2.
- [10] 中国区块链技术和产业发展论坛. 中国区块链技术和应用发展白皮书(2016) [R]. 北京: 中国区块链技术和产业发展论坛, 2016.
- [11] 任仲文. 区块链——领导干部读本 [M]. 北京: 人民日报出版社, 2018.
- [12] ISO. Blockchain and distributed ledger technologies—Overview of and interactions between smart contracts in blockchain and distributed ledger technology systems: ISO/TR 23455: 2019 [S]. ISO, 2019.
- [13] ITU-T. Security threats of distributed ledger technology: ITU-T X.1401: 2019 [S]. Telecommunication standardization sector of ITU, 2019.
- [14] ITU-T. Scenarios and capability requirements of blockchain in next generation network evolution: ITU-T Y.2342: 2019 [S]. Telecommunication standardization sector of ITU, 2019.
- [15] ITU-T. Framework of blockchain of things as decentralized service platform: ITU-T Y.4464: 2020 [S]. Telecommunication standardization sector of ITU, 2020.

- [16]IRENA. Global renewables outlook: Energy transformation 2050[R]. Abu Dhabi: IRENA, 2020.
- [17]马克思. 机器·自然力和科学的应用[M]. 北京: 人民出版社, 1978.
- [18]SCHNEIDER J, BLOSTEIN A, LEE B, et al. Blockchain putting theory into practice[R]. New York: Equity Research, The Goldman Sachs Group, Inc., 2016.
- [19]BOGENSPERGER A, ZEISELMAIR A, HINTERSTOCKER M, et al. Die blockchain - technologie. Chance zur transformation der energiewirtschaft [M]. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., 2018.
- [20]TEUFEL B, SENTIC A, BARMET M. Blockchain energy: Blockchain in future energy systems [J]. Journal of Electronic Science and Technology, 2019, 17(4): 317-331.
- [21]ANDONI M, ROBU V, FLYNN D, et al. Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2019, 100(2): 143-174.
- [22]University of Cambridge Judge Business School. Cambridge bitcoin electricity consumption index [EB/OL]. [2020-05-16]. <https://www.cbeci.org/>.
- [23]NIKOLIC I, KOLLURI A, SERGEY I, et al. Finding the greedy, prodigal, and suicidal contracts at scale [EB/OL]. (2018-05-14) [2020-05-17]. <https://arxiv.org/abs/1802.06038v2>.
- [24]KRISHNAN S, BALAS E.V, JULIE E.G, et al. Handbook of research on blockchain technology [M]. London: Academic Press, 2020.

(本文责编: 张帆)

**作者简介:**

张晋宾(1967—), 男, 山西阳城人, 正高级工程师, 工学硕士, 从事自动化, 信息系统, 可再生能源系统的设计、咨询、研究及管理工作(E-mail: jbzhang@eppei.com)。

张子立(1997—), 女, 四川成都人, 在读硕士研究生, 从事电力电子、信息安全和可再生能源储能控制相关研究(E-mail: zzhang191@sheffield.ac.uk)。

李云波(1987—), 男, 四川成都人, 工学博士, 从事分布式(图)计算与存储系统、分布式机器学习、边缘计算、绿色计算和融合可再生能源的信息系统基础设施架构的相关研究(E-mail: yunbo.li@buaa.edu.cn)。

\*\*\*\*\*

**“云大物移智链”专刊征稿启事**

随着 2020 年新型基础设施建设的推进, 物联网、云计算、大数据、人工智能、区块链等新技术将以更快的速度驱动网络空间从人人互联向万物互联演进, 数字化、网络化、智能化服务将无处不在。这些技术在电力行业应用广泛, 有力支撑了电力行业的发展, 引发了新一轮科技革命和产业变革。物联网与大数据重塑生产模式和商业模式, 云计算旨在整合和优化各种资源, 人工智能等技术也逐步应用到实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的过程中, 区块链在电力市场交易过程中的安全性和追溯性价值也受到电力行业的关注。为此, 《华电技术》探索“云大物移智链”与电力行业如何融合, 力图实现相关技术的集聚效应和应用潜能裂变式释放, 特推出“云大物移智链”专刊, 并邀请东北电力大学崔金栋教授、重庆大学周念成教授共同担任特约主编, 欢迎业内同仁踊跃投稿。

**一、征文范围**

征文围绕物联网、云计算、大数据、人工智能、区块链等新技术与电力行业的融合展开, 探索新技术与新应用, 实现“云大物移智链”在电力行业中的融合创新和落地应用: (1) 物联网与电力智能感知。研究物联网技术在发电、供电、配电和用电领域的信息采集、数据集成; 探索基于物联网的电力设备以及电网状态识别、故障判研等相关技术。(2) 大数据与电力精细运维。研究大数据技术在电力设备管理、状态评估中的相关应用模式和具体方法; 探索大数据技术在负荷预测、电力营销、用户画像方面的具体应用。(3) 云技术与电力信息集成。研究云存储、云计算、云服务等在电力行业信息管理中的具体应用形态; 探索云技术与同步相量测量技术在电网中融合的具体方法和高级应用。(4) 区块链与电力市场改革。研究区块链在能源互联网、微电网等电力交易场景中的应用模式; 探索如何发挥区块链在客户服务、电能质量问题管理中的追溯性价值。(5) 语义互联与数据资产管理。研究提升电力信息采集、存储和优化的规范性和语义性的具体方法; 探索发电企业、电网企业和电力设计企业数据资产管理和价值挖掘方法。

**二、时间进度**

专刊拟于 2020 年 9 月 30 日截稿, 2020 年 9 期(9 月 25 日)后择期出版。

**三、征文要求**

(1) 专题只收录未公开发表的论文, 拒绝一稿多投。作者对论文内容真实性和客观性负责。(2) 按照《华电技术》论文格式要求使用 Word 软件排版, 请登录《华电技术》在线采编系统(<http://www.hdpower.net>)在下载中心下载论文模板。(3) 请保留论文图片、曲线和表格原始文件, 并在投稿时按规定提交。(4) 论文作者应遵守相关学术不端规定。

**四、投稿方式**

- (1) 在线投稿(推荐): 登录《华电技术》在线采编系统(<http://www.hdpower.net>), 完成在线全文投稿。
- (2) 邮箱投稿: 20100429@neepu.edu.cn(崔教授); cee\_nczhou@cqu.edu.cn(周教授); hdjs-chd@vip.163.com(编辑部)
- (3) 咨询联系: 刘芳 0371-58501060 13838002988; 杨满成 010-63918755 13801175292