

DOI:10.3969/j.issn.1674-1951.2020.08.012

基于区块链技术的能源互联网交易方案设计

Design of energy internet trading system based on blockchain technology

王云泽,王秋瑾,马欣欣

WANG Yunze, WANG Qiujin, MA Xinxin

(中国电力工程顾问集团华北电力设计院有限公司,北京 100120)

(North China Power Engineering Company Limited, China Power Engineering Consulting Group, Beijing 100120, China)

摘要:能源互联网是一种分布式、开放性、多元化的新兴能源体系,能源参与主体具有多样性的特点。为了解和解决多种参与主体间可信、安全、高效的能源交易问题,在能源互联网交易中引入了区块链技术。通过在交易平台底层构建基于超级账本技术的基础构架,并结合能源互联网项目需求,将能源互联网参与主体划分为能源用户、调度中心、能源供应商、交易结算机构、综合能源服务商、能源输送服务商 6 种典型参与主体,构建了相应的组织,实现了具有可多方审计、交易无法篡改和去中心化特点的安全能源交易系统方案。

关键词:区块链;能源互联网;超级账本;去中心化;云区块链;综合能源服务

中图分类号:TP 399;TK 01

文献标志码:A

文章编号:1674-1951(2020)08-0083-07

Abstract: Energy internet is a distributed, open, diversified and emerging energy system, and its participants are of diversity as well. In order to solve the problem affecting credible, safe and efficient energy trading among various participants, blockchain technology is introduced into the trading on energy internet. Constructing a trading platform based on hyperledger technology, and considering the needs of an energy internet project, the participants are divided into six roles which are energy users, dispatching center, energy suppliers, trading settlement institutions, integrated energy service providers and energy transmission service providers. The corresponding organizations for the roles are constructed, which turn out to be a secure and decentralized energy trading system that can be audited by multiple participants and cannot be tampered.

Keywords: blockchain; energy internet; hyperledger; decentralization; blockchain as a service; integrated energy service

0 引言

区块链技术由中本聪于 2008 年提出,最早应用于数字货币。经过不断的迭代演进,形成了分布式(decentralized)、免信任(trustless)、时间戳(time stamp)、非对称加密(asymmetric cryptography)和智能合约(smart contract)5 大技术特征^[1]。区块链技术可以在多方参与的场景下,实现开放、扁平化的全新合作信任模型,这为实现高效、去中心化的资源配置,提供了有效的技术手段。区块链技术也因此受到了各行各业普遍的关注。

目前,区块链技术在我国尚处起步阶段。我国《“十三五”国家信息化规划》中把区块链技术作为一项重点前沿技术,明确提出加强区块链等新技术的创新、试验和应用,以实现抢占新一代信息技术主导权的目的。将区块链技术与行业应用相结合

是未来发展的方向。

本文将区块链技术引入能源行业。通过对区块链技术特点的分析,结合能源互联网项目需求,提出基于超级账本技术的能源交易解决方案。

1 区块链技术

1.1 区块链的定义

目前,对区块链并没有统一的定义。根据工业和信息化部发布的《中国区块链技术和应用发展白皮书(2016)》,区块链技术是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。区块链的概念示意如图 1 所示。

1.2 区块链技术的特点

区块链技术作为创造信任的机器,主要有如下

收稿日期:2020-06-20;修回日期:2020-07-15

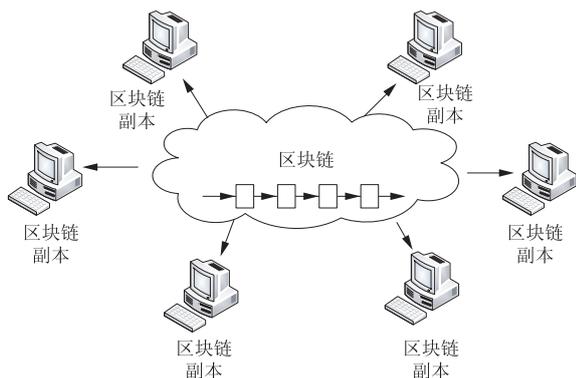


图 1 区块链概念示意

Fig. 1 Concept of blockchain

特点。

(1)去中心化。在区块链网络中,所有参与的节点都可以进行记账,都有一个记账权,这种设置规避了中心化记账中风险集中的弊端。采用区块链技术的分布式记账构架与传统集中式记账构架对比如图 2 所示。由图 2a 可知,集中式记账是金融机构在各机构之间使用一个中心化的账本来记录资产的流动;由图 2b 可知,分布式记账是通过去中心化账本来代替中心机构认证资产所有权,多个机构共同运行和检验。

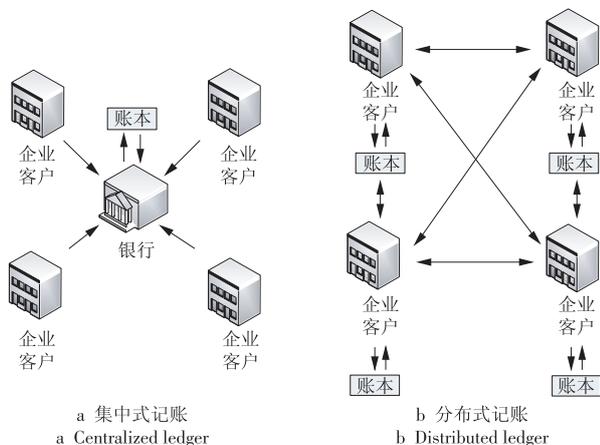


图 2 采用区块链技术的分布式记账构架与传统集中式记账构架对比

Fig. 2 Comparison of the distributed ledger taking blockchain technology and traditional centralized ledger

(2)信息难以篡改。在区块链系统中,上一个区块的索引与下一个区块的索引相互连接。如果要修改区块链上的字节,必须破解字节之后每一个节点的打包密钥。如果篡改某一个区块中的某一笔交易,区块的哈希值也会发生相应变化。后面所有的哈希值也都需要重新计算。随着区块链长度的增加,篡改难度越来越大。通常情况下,区块链的长度越长越容易被信任。

(3)安全的匿名性。区块链地址通常是利用非

对称加密算法生成的,可以被用作交易的输入地址或输出地址。因为区块链地址本身的信息与用户的个人信息无关,所以用户可以自由创建并使用区块链地址,这个过程不需要第三方参与。因此,相对于传统的账号,区块链的匿名性更好^[2-4]。

1.3 区块链的类型

根据参与方式的不同,区块链的类型一般分为公有链(public blockchain)、联盟链(consortium blockchain)和私有链(private blockchain)^[5]。

(1)公有链。公有链的节点只需要遵守一个共同的协议便可获得区块链上的所有数据,而且不需要任何身份验证。“比特币”就是最典型的一种公有链,也是公有链最成熟的一个应用。与联盟链和私有链相比,公有链的节点被某一主体控制的难度最大。

(2)联盟链。联盟链主要面向某些特定的组织机构,因为这种特定性,联盟链的运行只允许一些特定的节点与区块链系统连接,不可避免地产生了一个潜在中心。例如,包含数字证书认证节点的区块链,它们的潜在中心是证书授权中心(CA);以 IP 地址为认证节点的区块链,它们的潜在中心是网络管理员。但联盟链具有交易速度快、信息安全性高的特点^[6]。

(3)私有链。私有链只在内部环境中运行,不对外开放,而且只有少数用户可以使用,所有账本记录和认证的访问权限也只由某一机构组织单一控制。因此,相比公有链和联盟链,私有链不具有明显的去中心化特征,只是拥有一个天然的去中心化基因。

1.4 区块链的参考构架

目前,区块链参考构架尚不统一。各企业机构针对所开发的应用场景提出了各自的参考构架。一般来说,区块链系统由基础层、核心层、服务层和用户层组成,如图 3 所示。

2 能源互联网项目概述

2.1 能源互联网的定义

根据中国电力企业联合会标准 T/CEC 101. 1—2016《能源互联网 第 1 部分:总则》的定义:以电能为核心,集成热、冷、燃气等能源,综合利用互联网等技术,深度融合能源系统与信息通信系统,协调多能源的生产、传输、分配、存储、转换、消费及交易,具有高效、清洁、低碳、安全特征的开放式能源互联网络。

2.2 能源互联网项目的特点

能源互联网是互联网和新能源技术相融合的

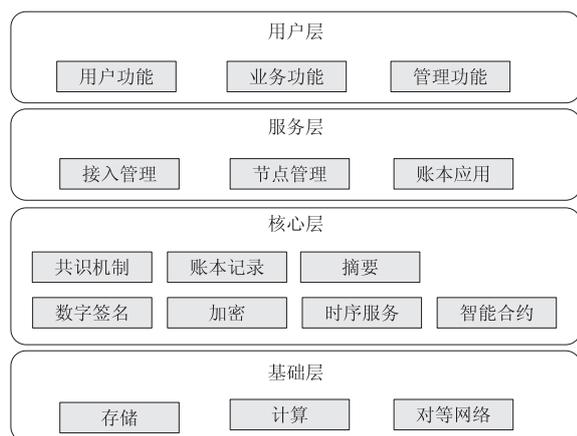


图3 区块链基础技术构架

Fig. 3 Basic technology architecture of blockchain

全新的能源生态系统。它具有“五化”特征:能源结构生态化、市场主体多元化、能源商品标准化、能源物流智能化及能源交易自由多边化。能源互联网的优势在于用更低的成本,为消费者提供更优的服务,同时赋予消费者更自主的权利。

2.3 能源互联网项目的痛点

相对于传统能源,能源互联网市场参与的主体更加多元化,不但包括发电厂、输配电网、电力用户等传统电力能源参与者,还包括分布式光伏、风力发电、地源热泵等可再生能源供应商,提供冷、热、电能源的三联供机组,提供储能服务的储能服务商,以及提供多种增值服务的综合能源服务商;同时能源互联网所提供的商品也不仅限于电力,还包括冷、热、燃气,以及综合能源服务。

不同的市场参与主体在能源互联网运行中充当着不同的角色,且具有各自的利益。他们都希望通过一系列市场化的交易,使自己获得最大的利益。为了更好地实现不同市场主体的利益诉求,需要建立一种市场化的,更加灵活、开放的能源交易体系,以实现多元化、分散化的能源供给和灵活化、个性化的能源消费,同时实现全局的能源优化配置。

然而,能源互联网中的参与主体情况参差不齐,各主体间难以建立可靠的相互信任关系。同时,能源作为一种关乎国计民生的重要战略物资,其安全性、可靠性一直是人们所关注的重点。如何在这个分布式、多元化、开放性的能源市场中建立一种可信的交易机制,保证能源交易的安全性、高效性是能源互联网面临的痛点。而区块链技术以其具备的数据不可逆、不可篡改、分布式对等网络,以及数据集体维护等特性,成为解决这一痛点的最佳途径^[7-13]。

3 区块链技术在能源互联网中的应用及需求分析

3.1 区块链技术应用分析

区块链技术从诞生到现在得到了突飞猛进的发展。区块链1.0仅仅实现了一个共享账本,只能记账而没有其他功能。区块链2.0在共享账本的基础上增加了智能合约,通过智能合约可以提供更加丰富的功能。区块链3.0进一步升级,不但能够记录交易信息还能记录状态,对数据进行溯源,使区块链技术不再局限于数字货币,而是应用在更多的行业场景中,其代表技术即超级账本(hyperledger)技术。

超级账本技术是对传统区块链模型的革新,它通过提供一个针对身份识别、可审计及隐私安全的健壮模型,使得缩短计算周期、提高规模效率和响应各个行业的应用需求成为可能。相对于比特币和以太坊技术,将超级账本技术应用于能源互联网的能源交易更具有优势。优势主要体现在以下几个方面^[14]。

(1)采用通道(channel)的概念保证数据的安全性和私密性。超级账本中的通道本质上是一个账本的逻辑概念。一个通道包含若干个成员,这些成员之间共享同一个账本。通道内所有成员共享账本数据并共同维护账本。

(2)对智能合约的全面支持。超级账本中的智能合约称为链码(chaincode)。链码可以通过多种编程语言来开发,目前支持Golang,Java,Node.js等语言。

(3)基于证书的权限管理系统。超级账本采用联盟链网络。由于网络是不公开的,进入网络必须获取授权。为了解决成员授权加入的问题,超级账本中有一个会员服务系统(MSP)。MSP是基于公钥基础设施(PKI)规范而建立的一个用户证书和私钥体系。通过这种机制保证了网络的安全性和可扩展性。

3.2 能源互联网需求分析

3.2.1 能源互联网项目概况

以某区域能源互联网示范项目为例,能源系统配置原则是根据区域内各类负荷的特点,考虑不同能源间的耦合和转换关系、不同能源存储系统特性,通过不同能源设备的优化组合、冷热电能量形式的综合利用、时域上的移峰填谷,优化配置能源供应设备和存储设备的类型和规模,实现冷热电综合能源生产、存储、转换、消费的整体最优配置。

能源站规划按照分布式的大型能源站与小型能源站相结合的方式,大型能源站包括污水源热泵系统、冷热电三联供机组、制冷站、储能系统(冰蓄冷和电化学储能)等能源系统。在楼宇建筑物内设置小型能源站,主要包括分布式太阳能(光伏)发电、分布式风力发电、分布式地源热泵等能源系统。区域内设有4个220 kV变电站,作为外部电网的支撑电源。区域内建设综合管廊,管线包括通信管线、燃气管线、给水管线、电力电缆管线和供冷/供热管线。项目为区域内的居民、企业、政府、学校等用户提供的冷、热、电、气等多种能源服务。

3.2.2 能源互联网项目需求分析

从项目概况可以看出,该能源互联网示范项目涉及能源的生产、输送和消费多个环节,提供的能源服务覆盖冷、热、电、气多种形式。同时,由于储能系统和分布式能源的加入,能源的参与方式更加灵活,参与方既可以消费能源,也可以供应能源。

传统中心化交易方式,难以发挥能源互联网开放、共享、互联的特点。同时能源交易需要大量的第三方管理机构来构建和维护交易信用,具有成本高、易受攻击、用户隐私难以保障的缺点。本文提出了一种基于超级账本技术的分布式能源交易系统,在该系统中,能源交易的市场参与者是对等的、分散的,且可实现多种能源协同自治,无须第三方信任机构,而超级账本技术为能源交易提供了公平、透明,以及去中心化的技术支撑。去中心化的能源互联网市场示意图如图4所示。

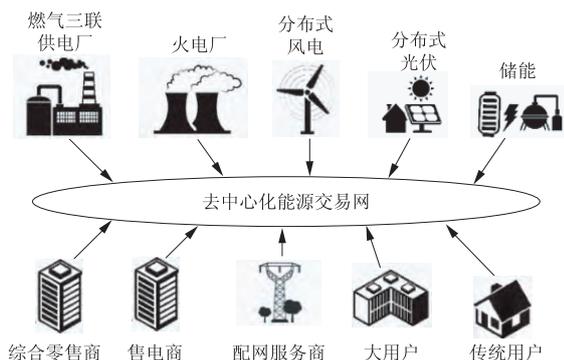


图4 去中心化的能源互联网市场示意

Fig. 4 Internet market for energy

3.2.3 基于区块链技术能源互联网交易分析

能源交易与普通商品交易具有明显的差异,主要体现在以下几个方面。

(1)能源具有不同的物理特性。比如,电能电网上的流动必须符合电学物理规律,不能简单地从一端到另一端任意支配,需要进行阻塞管理,而缺乏中心化机构的情况下各个节点难以自发进行电力交易。这与其他商品的物流通道有很大不同。

(2)能源是国家战略资源,关系着国计民生,因此对能源市场参与者的准入、退出及交易过程等采取一定的监管措施是必不可少的。

(3)当交易出现纠纷时仅靠系统自身和智能合约的强制执行很难完全解决问题^[5]。

此外,能源交易的方式也存在差异,在能源互联网中市场交易主要分为双边交易和集中交易。双边交易是指交易双方自主协商签订合同,约定在未来的某一确定时间,按照事先商定的价格,以预先确定的方式买卖一定数量的某种标的物,适用于非实时的短期市场及中长期市场;为了保证能源供需的实时平衡,在短期市场尤其是实时市场必须设置集中交易环节。集中交易是指市场参与者根据报价规则向市场组织者,如交易中心报价,交易中心按照竞价规则统一进行市场出清,并确定每个市场参与者的中标量和中标价格,电力市场中集中交易一般由调度中心承担。由此可见交易和调度的关系可分为先交易后调度和调度同时交易2种情况^[15]。

考虑到以上因素,在能源交易区块链中引入能源调度中心节点和监督审核节点。监督审核节点可由能源调度中心来承担。对于先交易后调度的情况,能源调度中心对交易进行监督审核,并根据交易数据进行优化调度;对于调度同时交易的情况,由能源调度中心根据电网的安全、稳定要求执行中心化集中交易,同时其他节点进行监督。这样的好处是:一方面,能源调度中心拥有交易监督的权利,诸如交易资质确认及合约审查,但没有修改权限,相关修改需取得所有中心节点共识。在对交易进行审核的过程中,若审核不通过,则对交易进行阻塞管理。另一方面,能源调度中心将根据能源交易区块链上的能源价格信息,结合能源系统运行情况对整个能源网进行优化的实时调度。其他节点对实时调度进行监督。

基于能源互联网“源-网-荷”的整体架构,区域能源互联网的市场主体分为:能源供应商、能源输送服务商、能源用户、能源调度中心^[16-19]。此外,为了保证能源交易的灵活性加入能源综合服务商;为了对市场交易进行监督并结算,引入了能源交易结算机构。

市场客体即用于市场交换活动的各种交易对象,主要包括以下几个方面。

(1)基础能源。包括冷、热、电、气等能源互联网市场中基本的能源产品。

(2)辅助能源服务。将保证能源系统安全稳定、完成能源输送、保证能源商品质量的辅助服务

作为商品,参与交易。区域能源互联网市场的辅助能源服务主要包括冷、热、电、气等能源的备用服务,电压和气压支撑服务,可中断或可控制负荷及黑启动服务等。

(3)增值服务。除了传统能源服务,综合能源服务商还可为客户提供各类负荷的预测、不同类型用户的用能行为分析,以及用能方案的定制化咨询管理等增值服务。这些服务也成为市场交易的商品。

(4)金融衍生商品。为了进一步增加交易的流动性、降低市场风险,能源互联网中也可引入金融衍生商品。例如:能源期货和期权、能源输送权,以及碳排放权等环境权益类金融衍生商品。

所有市场参与者间的交易以记账方式存入分布式共享账本,由能源交易结算机构审核并根据能源计量信息结算。

4 能源互联网区块链交易解决方案

4.1 能源互联网区块链交易系统设计

由于区域能源互联网交易中涉及的参与对象较多,按照对象属性将交易对象划分为能源调度中心、交易结算机构、能源输送服务商、能源用户、能源供应商,以及综合能源服务商6种典型对象。基本的交易模式可分为能源用户向能源供应商购买能源、能源用户向综合能源服务商购买能源服务、调度中心实时调度审核3种基本场景。其他交易场景可在基本交易场景上扩展。基本能源交易场景如图5—7所示。

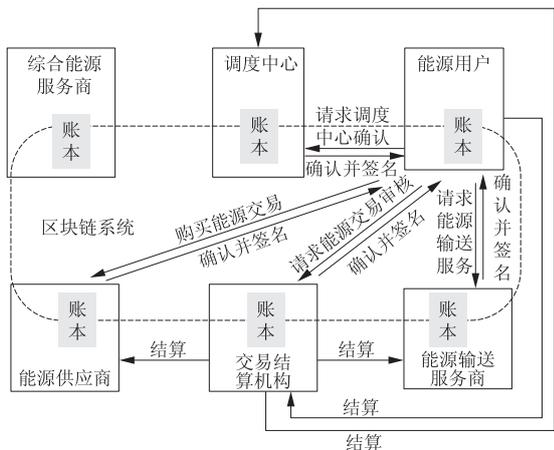


图5 能源用户向能源供应商购买能源场景

Fig. 5 Scenarios of energy users purchasing energy from energy suppliers

在图5—7所示场景中,能源交易的逻辑由智能合约实现,交易参与方通过调用不同的智能合约发起多方参与的交易流程,确保了交易的安全性和不

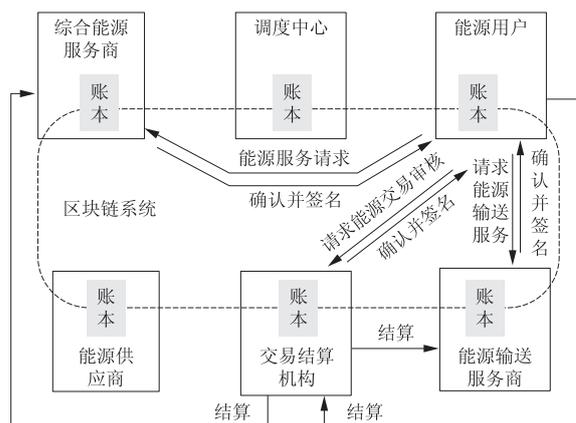


图6 能源用户向综合能源服务商购买能源服务场景

Fig. 6 Scenarios of energy users purchasing energy services from integrated energy service providers

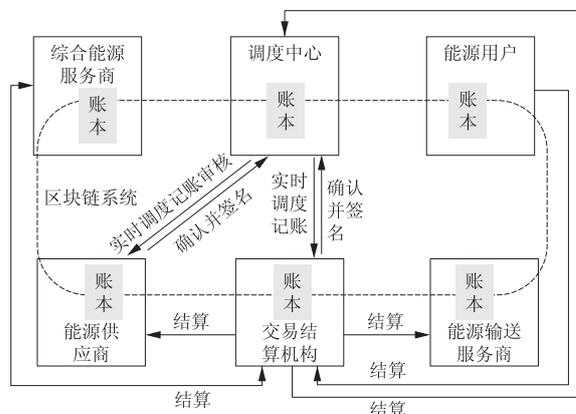


图7 调度中心实时调度审核场景

Fig. 7 Real-time scheduling review scenario of the dispatch center

可篡改性。交易的参与方在独立的通道内进行交易,保证了交易的私密性和安全性。交易数据在各参与方之间共享,可方便查询、追溯,并不可篡改。场景中的交易结算机构负责对所有交易进行审核,并根据区块链上的交易记录进行链下结算,结算记录上传至区块链,供相关方查询和追溯。调度中心在参与非实时交易的监督审核的同时,执行保证电网平衡、稳定的实时调度,并将实时调度的结果存储到区块链上供其他节点审核。

能源计量信息由各参与方上传至区块链,并由调度中心和相关方进行审核,并以此作为结算依据。

基于超级账本技术的能源互联网交易系统构架如图8所示。本文提供的方案建立了一个包括能源用户、调度中心、能源供应商、交易结算机构、综合能源服务商、能源输送服务商6种组织的能源交易系统。组织中的节点共有4种角色:提交节点、代表节点、背书节点和锚节点,每个用户可根据需要承担1个或多个角色^[14]。每个组织都有自己独立的CA服务器(证书节点),后续新增的节点通过CA服

务器颁发证书。组织可以根据需要进行扩充,但需得到其他参与组织的确认。所有组织共用一个具有负载均衡功能的排序节点群,负责数据的排序和打包。

在超级账本系统构架的基础上,构建能源互联网交易平台,其功能架构如图9所示。

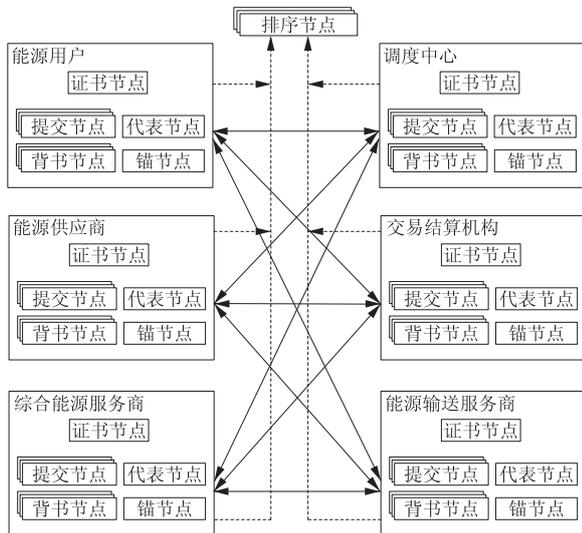


图8 基于超级账本技术的能源互联网交易系统构架

Fig. 8 Architecture of energy internet transaction system based on hyperledger technology

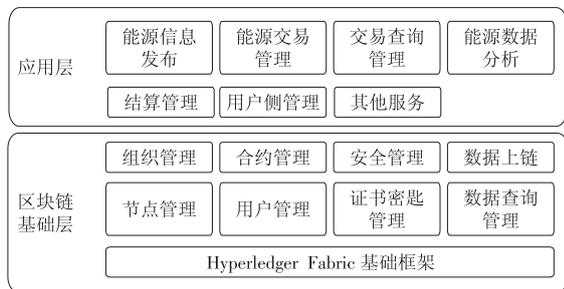


图9 能源互联网交易平台功能构架

Fig. 9 Functional architecture of the energy internet trading platform

能源互联网交易平台分为区块链基础层和应用层。区块链基础层部署超级账本的基础框架模块,并对超级账本常用操作进行封装,以微服务的方式供上层应用调用。应用层基于区块链基础层提供基础服务,实现各种高级的业务功能,主要包括能源信息发布、能源交易管理、交易查询管理、能源数据分析、用户侧管理,以及结算管理等功能。

4.2 区块链的部署

能源互联网交易系统区块链可采用2种部署方案。一种是在能源互联网交易系统市场主体间组建能源交易专网,超级账本的组织部署在各参与方本地。能源供应商、能源传输商、能源调度中心、能源用户等根据不同的能源属性在能源交易系

统中构建各自独立的组织。另一种方案是采用云区块链部署方案,能源交易系统的组织节点均部署在云区块链服务商提供的云平台上,账本的共享数据由能源供应商、能源传输商、能源调度中心、能源用户等市场参与方共同维护,云区块链服务商负责对区块链基础设施进行维护^[13]。

5 结束语

区块链技术基于去中心化的对等网络,通过运用密码学原理、时序数据和共识机制,使信息能即时验证、可追溯,但难以篡改和无法屏蔽,从而创造出的一套隐私、高效、安全的共享价值体系。在能源互联网中构建基于区块链技术的共享价值体系,正好满足了能源交易的安全、开放、共享的需求。本文从能源互联网项目的实际需求出发,分析了各种区块链技术应用的条件,最终确定采用超级账本技术路线。并结合超级账本技术的特点,对能源互联网项目的交易模式、体系构架、平台功能构架,以及部署方式都给出了完整的解决方案。

随着综合能源服务的兴起,新的业态、商业模式、服务方式在能源互联网项目中将得到快速发展,如何应用区块链技术,为这些新的交易场景提供支撑,将是未来研究的重点。

参考文献:

[1] 龚鸣. 区块链社会:解码区块链全球应用与投资案例[M]. 北京:中信出版社,2016.

[2] 谢林明. 区块链与物联网:构建智慧社会和数字化世界[M]. 北京:人民邮电出版社,2020.

[3] 杨保华,陈昌. 区块链原理、设计与应用[M]. 北京:机械工业出版社,2017.

[4] 王栋,石欣,陈智雨,等. 区块链智能合约技术在供应链中的应用研究[J]. 网络空间安全,2018,9(8):8-17. WANG Dong, SHI Xin, CHEN Zhiyu, et al. Research on the smart contract of block chain technology in supply chain[J]. Cyberspace Security, 2018, 9(8): 8-17.

[5] 蔡金棋,李淑贤,樊冰,等. 能源互联网中基于区块链的能源交易[J]. 电力建设,2017,38(9):24-31. CAI Jinqi, LI Shuxian, FAN Bing, et al. Blockchain based energy trading in energy internet [J]. Electric Power Construction, 2017, 38(9): 24-31.

[6] 赵文婷,沈蒙,金智新,等. 区块链技术下的电力智能交易研究[J]. 太原理工大学学报,2020,51(3):331-337. ZHAO Wenting, SHEN Meng, JIN Zhixin, et al. Research on electricity trading based on blockchain technology [J]. Journal of Taiyuan University of Technology, 2020, 51(3): 331-337.

- [7]王胜寒,郭创新,冯斌,等.区块链技术在电力系统中的应用:前景与思路[J].电力系统自动化,2020,44(11):10-24.
WANG Shenghan, GUO Chuangxin, FENG Bin, et al. Application of blockchain technology in power systems: Prospects and ideas [J]. Automation of Electric Power Systems, 2020, 44(11): 10-24.
- [8]张蓓.能源互联网中的区块链技术应用维度和前景展望[J].上海节能,2018(3):146-150.
ZHANG Pei. Application dimension and prospect of block chain technology in energy internet [J]. Shanghai Energy Conservation, 2018(3): 146-150.
- [9]张健文.区块链在综合能源系统的应用前景及实践[J].云南电力技术,2018,46(6):2-11,16.
ZHANG Jianwen. The application prospect and practice of blockchain in the field of energy [J]. Yunnan Electric Power, 2018, 46(6): 2-11, 16.
- [10]王君宇,吴清烈,曹卉宇.国内区块链典型应用研究综述[J].科技与经济,2019,32(5):1-6.
WANG Junyu, WU Qinglie, CAO Huiyu. Overview of research on typical application of domestic block chain [J]. Science & Technology and Economy, 2019, 32(5): 1-6.
- [11]曾鸣,舒彤,李冉,等.能源互联网背景下可交易能源实施的关键问题及展望[J].电力建设,2018,39(2):1-9.
ZENG Ming, SHU Tong, LI Ran, et al. Key problems and prospects of transactive energy implementation under energy internet [J]. Electric Power Construction, 2018, 39(2): 1-9.
- [12]沈巍,王丹.基于区块链的分布式能源市场化交易架构及应用机制[J].华北电力大学学报(社会科学版),2019(2):28-38.
SHEN Wei, WANG Dan. Distributed energy market trading architecture and application mechanism based on blockchain [J]. Journal of North China Electric Power University (Social Sciences), 2019(2), 28-38.
- [13]梅文明,王栋.区块链技术在电力领域应用场景的探索分析[J].电力信息与通信技术,2020,18(2):21-29.
MEI Wenming, WANG Dong. Exploration and analysis of power application scenarios for blockchain technology [J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2020, 18(2): 21-29.
- [14]冯翔,刘涛,吴寿鹤,等.区块链开发实战:Hyperledger Fabric关键技术与案例分析[M].北京:机械工业出版社,2018.
- [15]刘凡,别朝红,刘诗雨,等.能源互联网市场体系设计、交易机制和关键问题[J].电力系统自动化,2018,42(13):108-117.
LIU Fan, BIE Zhaohong, LIU Shiyu, et al. Framework design, transaction mechanism and key issues of energy internet market [J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 42(13): 108-117.
- [16]刁培滨,邓亚男.燃气分布式能源站智能生产管理系统开发及应用[J].华电技术,2019,41(8):20-23.
DIAO Peibin, DENG Yanan. Development and application of intelligent production management system for gas distributed power station [J]. Huadian Technology, 2019, 41(8): 20-23.
- [17]武志军.综合能源服务下新能源集约化管控评价方法[J].华电技术,2019,41(12):68-71.
WU Zhijun. Evaluation method on new energy intensive management for integrated energy services [J]. Huadian Technology, 2019, 41(12): 68-71.
- [18]杨晓巳,陶新磊.综合能源技术路线研究[J].华电技术,2019,41(11):22-25.
YANG Xiaosi, TAO Xinlei. Research on integrated energy technical route [J]. Huadian Technology, 2019, 41(11): 22-25.
- [19]杨晟,王浩森,才思远,等.面向电力营销精益化的综合能源服务研究[J].华电技术,2019,41(11):5-8.
YANG Sheng, WANG Haomiao, CAI Siyuan, et al. Research on integrated energy service in lean marketing of power [J]. Huadian Technology, 2019, 41(11): 5-8.

(本文责编:张帆)

作者简介:

王云泽(1977—),男,陕西西安人,高级工程师,工学硕士,从事电力设计咨询工作(E-mail:wangyz@ncpe.com.cn)。

王秋瑾(1977—),女,河北廊坊人,高级工程师,工学硕士,从事电力设计咨询工作(E-mail:wangqj@ncpe.com.cn)。

马欣欣(1956—),女,北京人,正高级工程师,从事电力设计咨询工作(E-mail:maxx@ncpe.com.cn)。