

区块链及其在汽车领域的应用

朱光钰, 赵福全, 郝瀚, 刘宗巍

(1. 汽车安全与节能国家重点实验室, 北京 100084;
2. 清华大学汽车产业与技术战略研究院, 北京 100084)

[摘要] 区块链技术的去中心化、透明和信任,为解决当前汽车产业用户隐私泄露、维修保养服务散乱差、不透明、不规范等难题带来了契机。区块链在汽车领域的应用关键在于汽车身份和用户信用体系的构建与融合,通过构建汽车身份,完整记录汽车在制造和使用过程中的关键信息,促进传统汽车产业链规范化,为整车企业建立可靠的质量控制体系和优化的库存动态管理,为用户提供更好的维修、保养和二手车交易服务。将汽车身份与个人信用体系在区块链系统中关联打通,可改造原有汽车共享的业务流程。未来,区块链作为底层技术,与物联网、大数据等周边技术相互结合,将实现不同智能化设备的安全互联,并不断提高区块链技术的处理能力,加速其在自动驾驶和智慧交通的应用。

关键词: 区块链; 用户信用; 汽车身份; 二手车交易; 汽车共享; 安全互联

Blockchain Technology and Its Application in Automotive Field

Zhu Guangyu, Zhao Fuquan, Hao Han & Liu Zongwei

1. State Key Laboratory of Automotive Safety and Energy, Tsinghua University, Beijing 100084;
2. Tsinghua Automotive Strategy Research Institute, Tsinghua University, Beijing 100084

[Abstract] The natures of decentralization, transparency and trust of blockchain technology bring an opportunity to solve the current problems in automotive industry: user privacy leakage, and poor service, opacity and irregularity in maintenance etc. The key to the application of blockchain in automotive field lies in the construction and fusion of vehicle ID and user credit system, and creating vehicle ID and completely recording the key information of the vehicle in its manufacturing and operation process will promote the normalization of the traditional automotive industrial chain, establish a reliable quality control system and optimized inventory dynamic management system for vehicle enterprises, and provide better services in repair, maintenance and used vehicle trading for users. By linking the vehicle ID and personal credit system in blockchain system, the original car sharing procedure can be reformed. In the future, the blockchain, as an underlying technology, combining with peripheral technologies such as internet of things and big data will achieve the safe interconnection of different intelligent equipment, and continuously enhance the processing capacity of blockchain technology to accelerate its application to autonomous driving and smart transportation.

Keywords: blockchain; user credit; vehicle ID; used car trading; car sharing; safe interconnection

前言

互联网的出现和普及使得人与人之间信息传递的速度大大加快,降低了人类社会的沟通成本,

并渗透到人们生产生活的方方面面,但互联网通过一个中心共享很多资源的方式,无法对参与互联网个体的信用进行约束。2008年,中本聪发布了比特币系统,区块链未来可作为新的底层技术,在互联网的基础上通过构建新的社会协作方式,

原稿收到日期为2021年7月12日,修改稿收到日期为2021年8月5日。

通信作者:刘宗巍,副研究员, E-mail: liuzongwei@tsinghua.edu.cn。

让信息资源开放、可追溯、不可篡改,解决经济发展和协作的信任问题。某种程度上,互联网解决的是信息的距离,而区块链解决的是信任的距离。

国内汽车产业拥有数万亿级的市场规模,同时,以物联网、大数据、云计算、人工智能等技术为代表的新一轮科技革命,正在驱动汽车产业步入前所未有的深刻变革期^[1-3];而汽车行业混杂、信息不对称往往导致市场规模的整体萎缩。区块链技术将和汽车产业碰撞出怎样的火花呢?本文中将对区块链技术及其在汽车产业中不同应用场景下赋能环节、解决方案、应用潜力和局限进行分析介绍,并提出相应的发展意见。

1 区块链技术

1.1 区块链的工作原理

区块链的本质是一个实时记录全部交易的分布式(去中心化)账本(数据库),区块链系统中的各个节点共同参与维护共同的账本,从而解决信任问题,如图1所示。

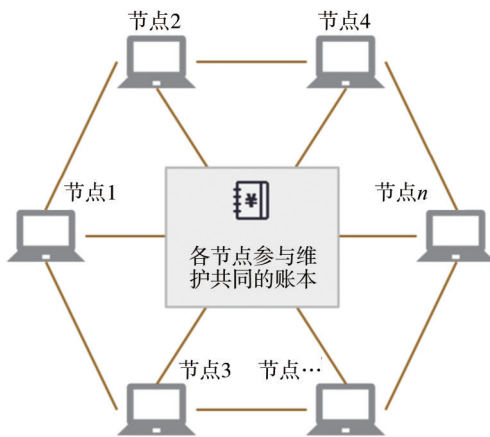


图1 区块链的定义

其中:“区”可理解为分布在世界各个区域的节点共同参与,具有分布式的特点;“块”即为各节点共同记账,若干交易信息组成的信息块;数据以区块为单位产生和存储,按时间顺序首尾有序相连实现区块间的“链”状结构,最新区块信息经各节点共识后被准确添加至区块链,实现“链”的不断延长。

1.2 区块链的核心技术与价值

区块链的核心技术主要有分布式账本、非对称加密技术、共识机制和智能合约,对应着透明可信、

可追溯、安全加密、不可篡改等特性,如图2所示。

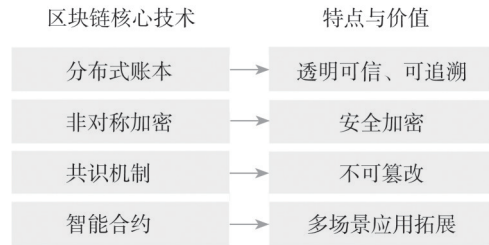


图2 区块链的核心技术与价值

1.2.1 区块链的核心技术

(1)分布式账本:交易记账由分布在各地的多个节点共同完成;每个节点记录的是完整的账目,共同验证产生的所有区块均为合法未篡改的。

(2)非对称加密:存储在区块链的交易信息是公开的,而对应的账户信息是高度加密的,从而保证交易安全。

(3)共识机制:能在决策权高度分散的去中心化系统中使各节点高效地针对区块数据的有效性达成共识。

(4)智能合约:通过自动执行预先定义好的规则与条款,实现区块链系统的灵活编程和数据操作,与现实中的合同无异,在特定条件下可实现自动化交易。

1.2.2 区块链的价值

(1)透明可信:经认证后方可获得权限访问账本,决策过程需各节点共同参与。

(2)可追溯:发生的任意一笔交易都有完整记录,且交易一旦被验证认可,不可撤销。

(3)安全加密:交易细节对于除交易明确的利益相关方以外的所有人都是不可读的。

(4)不可篡改:若改变某个区块存储的数据,需修改所有完整节点数据,控制网络中超过50%用户,基本无法做到。

(5)多场景应用拓展:通过智能合约保证数据的授权使用,使得区块链能够支持在多场景下的诸多应用。

1.3 区块链的类型与选择

根据区块链系统的网络范围和参与节点特性,将区块链分为公有链、私有链和联盟链3大基本类型^[4]。可基于不同应用场景的需求选择合适的区块链,即基于数据所需的公开程度进行不同节点权限的匹配,具体选择流程如图3所示。

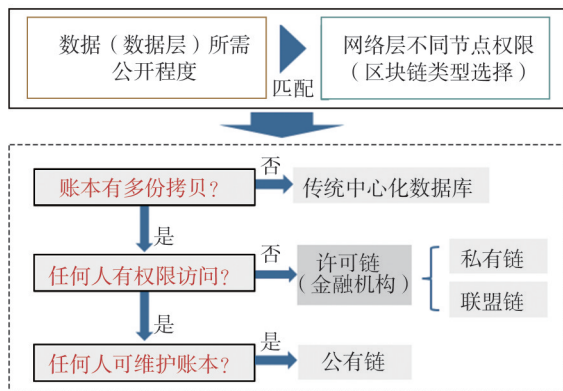


图3 区块链的类型与选择

传统中心化数据库由于数据没有多份拷贝，暴露出在网络攻击时的不安全性和用户隐私易受侵犯等问题。公有链系统通过数据完全公开、去中心化，让任何人有权访问和维护账本；在公有链的基础上，由某个组织和机构控制写入权限/参与节点资格，即为私有链，具有交易速度快、隐私保护性强等特点；若由多个机构共同参与管理和记录交易数据，数据只能在系统内读写和发送，即为联盟链。一般地，私有链和联盟链常为金融机构所使用。

1.4 区块链技术存在的问题及潜在解决方案

当前区块链技术还处于早期阶段，尚未形成统一的技术标准，各种技术方案还在快速发展演变过程中。处理交易的性能需要持续提升，应用场景需要进一步拓展，是区块链技术所面临的主要挑战。

1.4.1 处理交易速度慢

目前的区块链技术在单位时间内可以完成确认的交易笔数较少，现实场景中需要高效、快速处理交易，如VISA信用卡交易等，业界正探索基于图结构的共识机制，提高共识效率，加快区块链系统处理交易的速度。

1.4.2 过大的完整账本存储空间和算力浪费

随着区块链的应用场景的不断拓展，区块链系统容量大且逐年增加，对单节点储存空间挑战巨大；同时，只有得到合法记账权的算力得到回报，其余算力浪费。这是区块链技术自身的局限性所造成的，可通过改变共识机制、提高节点算力来弥补。

1.4.3 缺少统一底层架构

目前区块链中大部分都是孤立的价值链，需进入才能获得相关的信息，导致区块链的价值流通大大受限。可寻找合适跨链技术，实现区块链系统的互联，也需要大量用户达成相应的共识。

2 区块链的价值应用

2.1 数字经济发展的驱动力

数字经济的发展带来了市场生产要素的变革，发展数据要素市场对数据共享的安全性和可信性提出更高的要求。数据作为新生产要素，具有难确权、高流动性、可复制性以及所有权和使用权难分离等特点，同时，数据使用的边际成本为零，越分享价值越大。保证数据分享的安全性和可信性，充分发挥数据价值，对数字经济的发展起到越来越重要的作用。区块链系统信息透明、不可篡改、不可伪造等特点，恰恰可成为该问题的有效解决方案，将在金融、物联网、供应链、政务服务等多个领域产生深远影响。

2.2 区块链系统的场景应用

区块链作为信任的机器，适用于信任程度较低、信任成本较高、信任中断等场景，“区块链+智能合约”可避免违约和欺诈，充分发挥产业链协同作用。

传统的经济交易模式是有中介所依赖支持的，例如支付宝、微信等网络支付方式^[5-7]。区块链通过去中心化，避免中心权利的集中，保证数据的安全。在金融领域，区块链虽然无法处理快速交易，但可应用在快速交易背后的金融和保险信用体系建设中（敏感性强，速度要求不高）。

区块链透明、可追溯的特点，减少了供应链中的中间环节，数据公开透明降低了供应链中的流通成本，且普及难度较小，可应用在食品安全溯源等场景。

由于智能合约可保证数据使用授权执行，实现政务服务所联的分布式管理，更好地发挥社会监督，让社会福利或失业救济金以更合理、更安全的方式获得权限、确认并最终发放到人们手中；并能有效提高上链后电子数据真实性审查认定的效率和质量，降低审查成本与难度^[8-9]。

2.3 区块链系统的价值展望

区块链由于解决了信任问题，让原来庞大的产业体系和社会体系能够可信地相互合作。通过高透明度的交易及信息数据，减少中间环节，促进产业体系的优化；并解决了在信息互联网中必须依赖强大的中介机构才能建立信任，而所收集的用户数据又会侵犯用户隐私等问题，极大降低了信息互联网时代的信用成本。最终，基于智能合约的区块链系统

应用到需要传递信任的每个领域,有望将法律、经济、信息系统融为一体,颠覆原有的社会监管和治理模式,降低人们在市场上搜索数据、协调关系、签订协议和建立信任的成本,人们可在没有任何中心机构存在的前提下实现价值交换。

3 区块链在汽车产业中的应用

区块链作为建立信任的底层技术,将根本性改变汽车产业整体价值链的各个环节,为汽车行业发展提供更多的可能性。

3.1 区块链作用于汽车领域的关键逻辑分析

区块链技术因其透明可信、可追溯的特点,可构建汽车的身份,完整记录汽车的零部件来源、生产流程、销售渠道、使用与维修情况、车辆位置等数据,促进传统汽车产业链“研-产-供-销-后市场”规范。同时,可通过区块链构建不可篡改、安全加密的用户信用体系,记录资产信息、用户信息、用户行为等信息,存储和整合用户的在线交易信息和信用评价。由于汽车零售、租赁与共享等场景的应用本质上是个人信用体系的延伸,最终,通过区块链系统将车主身份、用户信用和服务历史等信息与汽车身份关联起来,提高互联的安全性,实现区块链在自动驾驶、车联网、汽车共享等领域的应用,如图4所示。

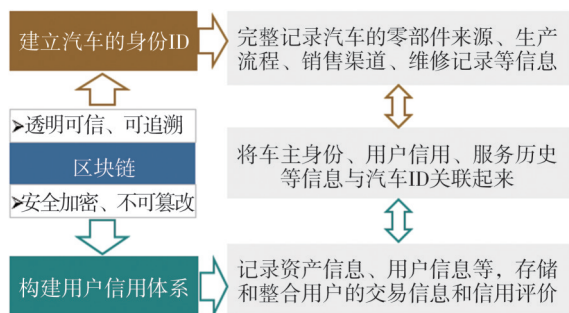


图4 区块链作用于汽车领域的关键逻辑

3.2 区块链在汽车领域的应用分析

3.2.1 区块链在二手车交易(图5)

目前,在汽车使用过程中的保养、维修、事故、出险、缺陷召回等信息没有可靠的记录方式,带来了二手车信息不透明、难查询等问题;二手车“一车一况”的特殊属性,车辆的历史数据易篡改,在二手车市场缺乏有效的监管机制,难以保障二手车信息的真实性、有效性,相关购车人群由于担心二手车质量和购买风险,也极大限制二手车产业的发展。



图5 区块链在二手车领域

首先,有二手车相关经验的行业先行者通过与区块链技术公司合作,将汽车行驶数据、事故记录建立共享账本,保证旗下二手车数据的准确性与真实性。未来,可更多对二手车的区块链系统进行规模化拓展,打通整车企业、4S店、车主、车管所、维修中心和二手车市场等各个节点,准确记录车辆保养、维修、出险、缺陷召回、所有权变更等车辆信息,利用区块链技术特性最大程度上为消费者提供真实有效的数据,解决二手车交易过程中不公开、不透明、缺乏诚信度的问题。

目前,区块链在二手车领域仍存在着体量庞大的汽车数据上链产生的成本较为高昂,且整车企业、4S店、修理厂、车主等多节点数据难打通等问题;设置激励机制鼓励上链并积极分享数据,将是区块链在二手车交易场景下普及推广的关键。

3.2.2 区块链在传统汽车产业链(图6)

传统汽车产业链包括各级零部件供应商、整车企业、经销商等,关联主体多,数据量大。在生产制造环节,供应商数量巨大又分布在全球各地,基于传统数据库的供应链采购、物流管理,信息透明度低,财务周期漫长,摩擦成本高昂;在销售环节,不同区域的经销商优惠措施往往并不相同,经常出现窜货、强制装潢和金融服务等不良行为,在后市场中的售后维修环节,当汽车零件存在缺陷时,需要通过4S店召回检查相关交付的所有车型,召回缺乏针对性、成本高。而且汽车后市场的从业人员普遍素质偏低,维修配件多出现以次充好,信任程度较低。

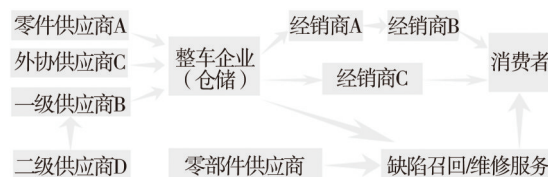


图6 传统汽车产业链

在汽车供应链中,可为每部汽车建立/预留一个与区块链系统相通、包含每台汽车身份的智能芯片,完整记录该汽车的零部件来源(厂商、批次)、生产组装流程、销售渠道、维修记录等关键信息。

基于汽车身份和可追溯的零部件来源,建立可靠的质量控制体系和优化的库存动态管理,实现供应链防伪溯源,解决汽车整体价值链信任问题,生产过程产生的信息触发相应智能合约,可自动记录供应链上企业的交易信息,实现货款的自动转移,加快供应链的相应速度,也可提高在汽车销售环节车辆出口、进口和银行文件的处理效率^[10]。未来区块链技术与智能工厂的IoT、AI技术配合,将大大提高供应链的管理效率。

当发现零部件设计和整车组装存在缺陷时,所记录的汽车身份可帮助整车企业及经销商准确地发出相应的召回通知,降低厂商和客户的时间成本。将汽车后市场的4S店和维修厂上链,所有维修信息、所更换的零部件信息透明可追溯,极大改善汽车售后与维修行业信任程度偏低的情况。未来通过设计激励机制,提高相关企业上链积极性是难点。

3.2.3 区块链在汽车共享(图7)

共享经济是一种分享社会共有的闲置资源,并从中获取一部分利益的新型经济模式^[11]。共享汽车作为共享经济的新蓝海,2019年我国共享汽车行业市场规模达53.89亿元,社会车辆只有5%的时间在运行,资源浪费巨大,共享汽车在共享经济领域中需求明确。目前的中心化租车和拼车软件,共享沟通成本高,效率低下,相应的不守信行为难以制约。



图7 区块链在汽车共享

利用区块链技术所建立的汽车身份完整记录了汽车所有权、使用与维修情况、用户行为、位置等信息,实现与汽车共享相关信息的透明可追溯;用户信用体系与金融体系相连,包含用户完整的征信记录,安全存储和整合用户的在线交易信息和信用评价,构建完整的个人信用体系框架,降低共享过程中的沟通成本。最终利用区块链技术将二者融合打通,把用户端、数据端、汽车端高效地结合起来,保证数

据可信且不可篡改,并可约定使用的时间和驾驶条件限制作为智能合约放到区块链系统中,在用户用车流程、出行保障方面做出更好优化,最终实现成本的降低和效率的提高。

目前汽车共享唯一的收入来源是从用户端收取车辆使用费,收入模式单一,需要激励用户用车,增大用户体量并提高用户黏性,在大规模铺量后丰富收入模式,解决大量汽车数据上链的成本问题,充分发挥其区块链汽车共享服务中的价值。

3.2.4 区块链在安全互联(图8)

随着汽车智能化、网联化发展,道路智能化基础设施的不断接入,传统的车辆识别、认证、授权等通信依赖于中央云服务处理器,与此同时,也出现了很多问题,如隐私安全保护、数据共享和组网成本等^[12]。大部分安全通信结构体系设计都没有考虑用户隐私,任何一个软件带来的安全漏洞都可能造成严重后果,任何单点故障或者通信瓶颈阻塞有可能摧毁整个网络,影响互联安全。

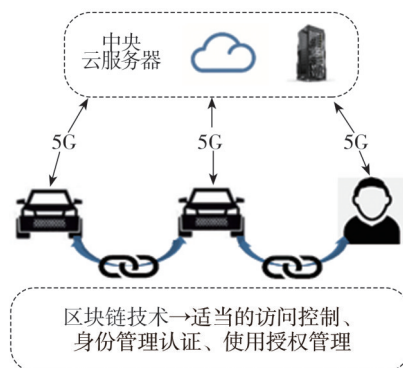


图8 区块链在安全互联

区块链的访问权限、身份管理与授权等将极大保证互联安全。可利用区块链的交易单一或多重签名,在车载中控系统应用区块链技术进行身份确认,从而确保适当的授权访问控制、身份管理认证和数据完整性,保证互联安全,基于区块链的系统的数据存证和智能合约技术,车主对车辆数据签名加密,基于身份识别和认证的使用授权管理,准许他人访问自己的汽车,也将成为智能车大规模商用的关键。

目前区块链技术的处理能力仍无法满足自动驾驶等对互联速度要求高的情景,可探索区块链作为底层技术,用人工智能、大数据等关键技术赋能区块链,不断提高信息的处理能力,促进区块链在自动驾驶、智能交通的发展。

3.3 未来区块链在汽车领域的应用场景落地分析

基于对区块链能力和技术发展现状,以及区块链在汽车和出行领域的应用场景和价值进行分析,判断未来区块链在汽车领域的发展趋势及落地场景,将区块链在汽车领域的应用场景落地分为3个阶段,如图9所示。

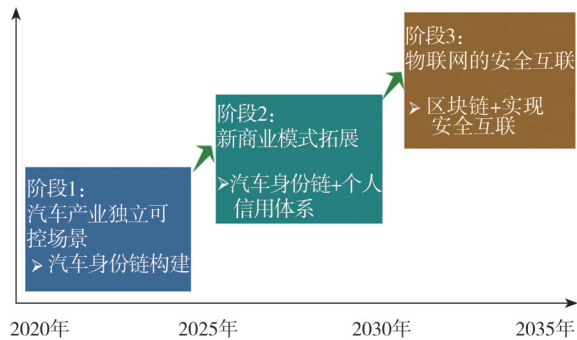


图9 区块链在汽车领域的场景落地阶段

阶段1(2020–2025年):将首先落地于汽车产业独立可控的场景,关键在于汽车身份链的构建,整车企业通过与区块链技术公司合作,供应商积极参与(设计激励机制是关键),建立零部件信息、行驶数据、事故记录

的共享账本。构建供应链防伪溯源、质量管理体系,解决二手车行业信息不透明痛点,规范汽车维修后市场。

阶段2(2025–2030年):新商业模式拓展,在汽车身份规模化普及之后,解决链与链融合的技术难点,将汽车身份链与区块链金融中的个人信用体系融合打通,记录汽车使用与维修情况、用户行为、用户信用等信息,并发展加密技术避免个人隐私的暴露。实现汽车销售金融与保险服务的优化,优化原有汽车共享业务流程。

阶段3(2030–2035年):实现物联网的安全互联,科技企业、区块链技术公司、整车企业、通信企业、政府充分合作,用人工智能、大数据等关键技术赋能区块链,解决单一区块链技术有效信息获取、信息处理速度慢的问题,使区块链作为新的底层技术,实现未来物联网的安全、高效互联,助力于自动驾驶、智能交通的发展与建设。

3.4 区块链技术在汽车产业各可能应用场景分析与对比

对区块链在汽车产业不同应用场景按重要程度、可行性、发展潜力、性价比等因素进行分析对比,判断在不同应用场景中发展的优先级,如表1所示。

表1 区块链技术在汽车产业各可能应用场景分析与对比

应用场景	传统产业链			新商业模式			助力物联网		
	供应链管理	二手车交易	汽车售后与保险	汽车零售与保险	车辆自动支付	汽车共享	能源领域	安全互联	自动驾驶
重要程度	★★★	★★★★	★★	★★★	★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★
可行性	★★★★	★★★★	★★★	★★★★	★★★★	★★	★	★★	★★
发展潜力	★★★★	★★★★	★★	★★★★	★★	★★★★	★★	★★	★★
性价比	★★★★	★★★★	★★	★★★★	★	★★	★★	★	★
优先级	★★★★	★★★★	★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★	★★	★
备注	可追溯汽车身份→促进传统汽车产业链“研-产-供-销-后市场”透明与规范			打通汽车与个人信用体系→优化汽车产业链金融。优化汽车共享等新商业模式			区块链+→可支持未来物联网安全、高效互联→助力自动驾驶和能源领域		

由于二手车交易、供应链管理、售后与维修等场景,信任程度低,行业痛点明显,又作为汽车产业独立可控的场景,可行性和性价比高,可作为区块链优先引入的场景;在安全互联和自动驾驶等领域,由于仍无法解决区块链处理速度较慢的问题,需在提高共识效率的基础上,与人工智能、大数据等关键技术融合,涉及场景复杂、相关技术的实时性和稳定性要求高,可作为未来“区块链+”的场景拓展。

4 结论

区块链技术带来的最大改变在社会信用方面:

促进汽车厂商以及汽车行业信用体系的改变,建立可靠的供应链质量控制体系和金融结算体系,提高运营效率,使服务更完善,降低成本;最大程度上为二手车消费者提供真实有效的数据,解决交易过程中不公开、不透明、缺乏诚信度的问题;车辆的保养、维护和保险理赔都将更加可信、便捷、高效;并通过降低人与人沟通的成本,可使未来的共享汽车产生新的服务模式。

由于当前区块链技术处理能力有限,可首先应用在对处理速度要求不高的领域,通过汽车身份与用户信用体系的建设,解决目前汽车行业由于信息不对称带来的信任危机。前期区块链技术的普及使

用将出现成本高昂、分摊难度大等问题,可通过设计激励机制,使规模用户上链产生价值。未来区块链将作为底层技术,与物联网、大数据等周边技术相互融合,获得爆发式发展,也将更深层次地影响和改变汽车产业的发展。

参考文献

- [1] 钟志华,乔英俊,王健强,等.新时代汽车强国战略研究综述(一)[J].中国工程科学,2018,20(1):1-10.
ZHONG Z, QIAO Y, WANG J, et al. Summary of strategy research on automobile power in new era (I)[J]. Chinese Journal of Engineering Science, 2018, 20(1):1-10.
- [2] 赵福全,刘宗巍.赵福全论汽车产业(第一卷)[M].北京:机械工业出版社,2017.
ZHAO F, LIU Z. Fuquan Zhao's insights on automotive industry (Vol. 1) [M]. Beijing: China Machine Press, 2017.
- [3] 赵福全,刘宗巍,杨克铨,等.汽车技术创新[M].北京:机械工业出版社,2019.
ZHAO F, LIU Z, YANG K, et al. Innovation of automobile technology[M]. Beijing: China Machine Press, 2019.
- [4] 华为区块链技术开发团队.区块链技术及应用[M].北京:清华大学出版社,2019.
Huawei Blockchain Technology Development Team. Blockchain technology and its application[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2019.
- [5] 石蓉娜,李丹.基于区块链技术的共享经济发展模式研究[J].商业经济研究,2018,763(24):180-183.
SHI R, LI D. Research on the development mode of sharing econ-

omy based on blockchain technology [J]. Journal of Commercial Economics, 2018, 763(24):180-183.

- [6] FELSON M, SPAETH J L. Community structure and collaborative consumption[J]. American Behavioral Scientist, 1978, 21(4).
- [7] BELK R. Why not share rather than own? [J]. Annals of the American Academy of Political and Social Science, 2007, 611(1).
- [8] 黄鹏.区块链保障证据真实性:技术与需求的契合[J/OL].大连理工大学学报(社会科学版):1-9[2021-05-06].<https://doi.org/10.19525/j.issn1008-407x.2021.04.011>.
HUANG P. Blockchain Guarantees the authenticity of evidence: the fit of technology and demand [J/OL]. Journal of Dalian University of Technology (Social Science): 1-9 [2021-05-06]. <https://doi.org/10.19525/j.issn1008-407x.2021.04.011>.
- [9] The trust machine: the technology behind bitcoin could transform how the economy works [EB/OL]. [2019-12-06]. <http://www.economist.com/news/leaders/21677198-technology-behind-bitcoin-could-transform-how-economy-works-trust-machine>.
- [10] REDDY K R K, GUNASEKARAN A, KALPANA P, et al. Developing a blockchain framework for the automotive supply chain: a systematic review [J]. Computers & Industrial Engineering, 2021, 157:107334.
- [11] 左向山.区块链技术创造共享经济模式新变革[J].中国商论,2020(22):117-118.
ZUO X. Blockchain technology creates a new revolution in the sharing economy model [J]. China Business & Trade, 2020(22): 117-118.
- [12] 李春辉.区块链技术在物联网中的应用探讨[J].电子世界,2020(21):143-144.
LI C. Discussion on application of blockchain technology in the internet of things [J]. Electronics World, 2020(21):143-144.

(上接第1290页)

- [15] ANSEAN D, GARCIA V M, GONZALEZ M, et al. Lithium-ion battery degradation indicators via incremental capacity analysis [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2019, 55: 2992-3002.
- [16] BIRKL C, ROBERTS M R, McTURK E, et al. Degradation diagnostics for lithium ion cells [J]. Journal of Power Sources, 2017, 341: 373-386.
- [17] HAN X, LU L, ZHENG Y, et al. A review on the key issues of the lithium ion battery degradation among the whole life cycle [J].

eTransportation, 2019, 1: 100005.

- [18] PAN H, LU Z, WANG H, et al. Novel battery state-of-health online estimation method using multiple health indicators and an extreme learning machine [J]. Energy, 2018, 160: 466-477.
- [19] 周世杰,李顶根.基于超声测量及神经网络的锂离子动力电池SOC估算[J].汽车工程学报,2021,11(1):19-24.
ZHOU S, LI D. SOC estimation for lithium ion power batteries on ultrasonic measurement and neural networks [J]. Chinese Journal of Automotive Engineering, 2021, 11(1): 19-24.