

控制与决策

Control and Decision

产品溯源研究综述及前景展望

黄敏, 宋扬, 高哲明, 胡悦嫣, 王兴伟

引用本文:

黄敏, 宋扬, 高哲明, 胡悦嫣, 王兴伟. 产品溯源研究综述及前景展望[J]. *控制与决策*, 2023, 38(8): 2158–2167.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2023.0393>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

平台品牌赋能情境下考虑信息不对称的供应链渠道冲突

Supply chain channel conflicts considering asymmetric information under platform brand empowerment

控制与决策. 2021, 36(9): 2123–2132 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2020.0098>

考虑企业社会责任和公平偏好的绿色供应链决策

Green supply chain considering fairness preference and corporate social responsibility

控制与决策. 2021, 36(7): 1743–1753 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1102>

混合碳政策下制造商低碳转型的技术选择策略

Technology selection in low carbon transition of the manufacturer under mixed carbon policy

控制与决策. 2021, 36(7): 1763–1770 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1536>

基于不变网络模型和故障注入的分布式信息系统故障溯源方法

Fault source location algorithm for distributed information system based on invariant network and fault injection

控制与决策. 2020, 35(11): 2723–2732 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0214>

考虑扶贫偏好的三级农产品供应链决策及协调

Decision making and contract coordination of three-level agricultural products supply chain with consumer poverty alleviation preference

控制与决策. 2020, 35(11): 2589–2598 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0201>

产品溯源研究综述及前景展望

黄敏^{1†}, 宋扬¹, 高哲明¹, 胡悦嫣¹, 王兴伟²

(1. 东北大学 信息科学与工程学院, 沈阳 110819; 2. 东北大学 计算机科学与工程学院, 沈阳 110169)

摘要: 产品溯源体系建设是完善经济全球化治理架构的重要方面,对保证产品的质量和安全、保护消费者权益、促进社会发展具有重要的意义. 从现有的产品溯源框架、方法和系统平台3方面对产品溯源相关研究成果进行综述. 首先,从溯源信息存储、溯源深度提升、溯源模块化设计和溯源监管4个角度,对产品溯源框架进行介绍;其次,将现有产品溯源方法分为产品标识溯源方法和区块链溯源方法两个类别,并分别对各个类别的溯源方法进行详述和分析;进而,围绕在食品畜牧、供应链、数字凭证和知识产权4个应用方向,对现有的产品溯源系统平台进行介绍;最后,基于对产品溯源研究工作的综述和分析,从异构多源溯源数据管理架构、成员共享激励与可信协作机制、溯源数据安全保障、溯源实时性保障、溯源过程有效监管5个方面,对当前产品溯源面临的挑战和未来的发展前景进行分析和展望.

关键词: 产品溯源; 溯源框架; 产品标识; 区块链; 溯源系统平台; 可信溯源

中图分类号: TP39 **文献标志码:** A

DOI: 10.13195/j.kzyj.2023.0393

引用格式: 黄敏,宋扬,高哲明,等. 产品溯源研究综述及前景展望[J]. 控制与决策, 2023, 38(8): 2158-2167.

Review and prospect of product traceability

HUANG Min^{1†}, SONG Yang¹, GAO Zhe-ming¹, HU Yue-yan¹, WANG Xing-wei²

(1. College of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China; 2. School of Computer Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110169, China)

Abstract: The construction of product traceability systems is an important aspect of improving the governance structure of economic globalization, which is of great significance to ensure product quality and safety, protect consumer rights and interests, and promote social development. This paper surveys the research results related to product traceability from the existing product traceability frameworks, methods and system platforms. Firstly, the product traceability frameworks are introduced from four angles, including traceability information storage, traceability depth enhancement, traceability modular design and traceability supervision. Next, the product traceability methods are respectively introduced and analyzed from two categories, including product labeling-based traceability methods and blockchain-based traceability methods. Then, the product traceability system platforms are introduced in four application domains including food husbandry, supply chain, digital certificate and intellectual property. Finally, based on the survey and analysis of the existing product traceability research work, this paper analyzes the current challenges and future development prospects of product traceability from five aspects, including heterogeneous multi-source traceability data management architecture, member sharing incentive and trusted cooperation mechanism, traceability data security, real-time traceability assurance and effective supervision of traceability process.

Keywords: product traceability; traceability framework; product identification; blockchain; traceability system platform; trusted traceability

0 引言

产品溯源指的是通过标识或记录,获取从生产到销售各个环节,产品全生命周期信息的过程^[1]. 在20世纪70年代,条形码技术作为最早的产品溯源方

法被应用于食品溯源领域^[2]. 此后,以图像码、无线射频识别技术为基础的溯源技术被广泛应用于食药畜牧^[3]、知识产权^[4]、数字凭证^[5]、供应链^[6]等领域中. 近几年来,随着工业4.0时代的到来,上述产品溯

收稿日期: 2023-03-31; 录用日期: 2023-06-25.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFB3300900); 国家自然科学基金重大研究计划重点支持项目(92267206); 国家自然科学基金重点项目(62032013).

责任编辑: 郭戈.

[†]通讯作者. E-mail: mhuang@mail.neu.edu.cn.

源技术开始被广泛应用于电子、汽车、钢铁等工业和制造业的产品中^[7]。同时,为保障信息安全、促进成员之间协作、提高溯源效率,基于区块链的溯源方法被国内外学者深入研究。

产品溯源长久以来受到国内外的重点关注,1994年国际标准化组织(ISO)第一次对溯源的概念进行了标准化^[8],欧盟在2002年便设立相关法规提出产品可追溯性要求,美国于2017年颁布食品安全法案,提出对食品安全可追溯性要求。2015年,我国出台了《国务院办公厅关于加快推进重要产品追溯体系建设的意见》,意见指出,追溯体系建设是采集记录产品生产、流通、消费等环节信息,实现来源可查、去向可追、责任可究,强化全过程质量安全管理与风险控制的有效措施^[9]。产品溯源被广泛应用于多个领域,例如,在食药畜牧领域,产品溯源常用于农业、畜牧业全产业链信息的信息记录和追溯;在知识产权维护中,溯源系统被用于源头存证、确权;在数字凭证的构建中,会基于溯源方法建立凭证信任机制,以保证网上交易的安全性和保密性;在供应链构建中,溯源能够将供应链各方链接起来,安全实时共享信息^[10]。由此可见,建立合理的产品溯源框架、设计有效的产品溯源方法,实现产品从生产到销售的全流程信息采集、记录与追溯,对保证产品的质量和安全、保护消费者权益、促进社会发展具有重要的意义。

如图1所示,在现有产品溯源研究中,通常会将不同的产品溯源方法(如产品标识溯源方法和区块链溯源方法),集成到产品溯源框架中,并最终构建产品溯源系统平台。为此,本文系统地总结已有产品溯源的相关研究,分别从产品溯源框架、产品溯源方法和产品溯源系统平台3方面对产品溯源相关研究成果进行综述,进而对当前产品溯源面临的挑战和未来发展前景进行分析和展望。

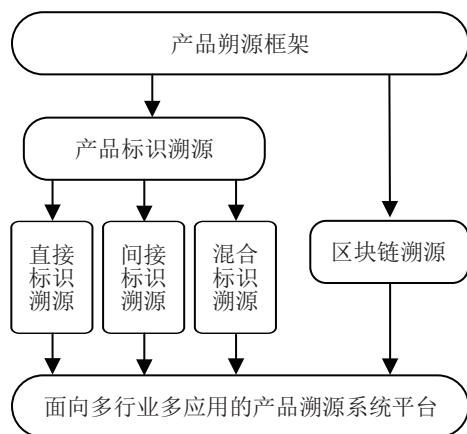


图1 产品溯源研究框架

1 产品溯源框架

为了更有效地进行产品溯源方法设计和系统平台开发,人们从溯源信息存储、溯源深度提升、溯源模块化设计、溯源监管等方面针对产品溯源框架展开研究,这些产品溯源框架不仅能够指导产品溯源方法设计与系统平台开发,还能够解决业务流程重组过程中各参与者之间的信任问题,提高产品溯源的效率^[11]。

现有的产品溯源框架针对食品、农产品的溯源进行设计。在产品溯源信息存储方面,陈锦雯等^[12]针对海量数据的冗余过滤和链上存储溯源的问题,基于区块链和物联网技术,提出了可信存储与溯源体系;在提升产品溯源深度方面,Opara^[13]指出了包括产品追溯、过程追溯、基因追溯、输入追溯、疾病/虫害追溯和度量追溯在内的面向农业和食品供应链的溯源系统的6个组成要素,对面向农业和食品溯源系统的设计和实现起到指导性作用;针对产品溯源模块化设计,Olsen等^[14]确定了针对食品的可追溯系统的通用组成部分,以识别供应链中的各个单元,记录单元属性和这些单元在供应链中移动时的连接和转换;Purwandoko等^[15]建立了有机大米认证过程的可追溯性框架,旨在指导设计有机大米的产品溯源系统;针对产品溯源监管,Regattieri等^[16]对食品可追溯性的法律条文和监管方案进行分析,为实现有效的可追溯系统的基本功能提供一个总体框架;Malik等^[17]提出了一个基于区块链技术的供应链产品追溯框架,该框架在考虑政府、监管机构在内的食品供应链管理实体的情况下,实现了供应链产品溯源;Zhang等^[18]针对传统溯源框架中存在数据易被篡改的问题,设计了基于区块链技术的溯源系统搭建框架,该框架包括产品可追溯业务需求、可追溯体系结构、区块链数据存储方案、交易方式与共识机制、可追溯结果查询等。

2 产品溯源方法

目前广泛使用的产品溯源方法主要分为基于产品标识的溯源方法和基于区块链的溯源方法,其中:基于产品标识的溯源方法主要分为基于条形码、二维码的直接标识方法和基于无线射频识别(RFID)、近距离无线通讯技术(NFC)、无线传感器网络(WSN)的间接标识方法,条形码、二维码技术分别于1972年和1994年被应用于产品溯源领域,RFID、NFC和WSN分别于2003年、2004年和2011年被应用于产品溯源领域;基于区块链的溯源方法于2018年被广泛

应用. 上述技术应用时间轴如图2所示. 本节从产品标识溯源方法和区块链溯源方法两个方面对现有的产品溯源方法进行介绍.

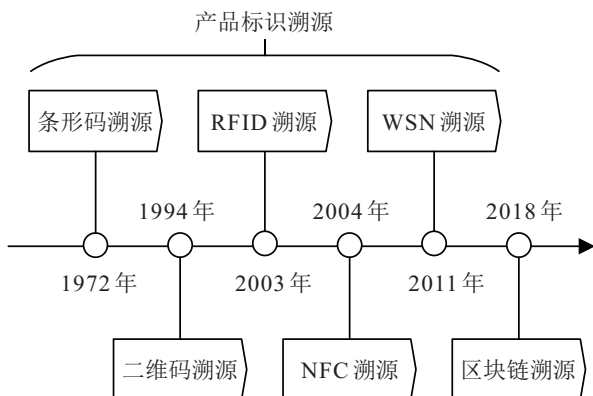


图2 溯源技术应用时间轴

2.1 基于产品标识的溯源方法

基于产品标识的溯源方法通过图像码和无线传感技术进行产品信息的标记和识别,并基于产品信息实现其全生命周期状态的追溯. 基于产品标识的溯源方法主要包括直接标识方法(基于二维码、条形码、标识符等技术的产品溯源方法)、间接标识方法(基于RFID、NFC、WSN等技术的产品溯源方法)和混合标识方法(直接标识技术与间接标识技术相结合的产品溯源方法).

2.1.1 直接标识方法

基于图像码的直接标识方法通过二维码、条形码或标识符等产品进行直接标识,将数字ID信息与溯源产品进行绑定,对产品的供应、生产、运输、销售等信息进行记录. 消费者可以通过扫描产品图像码对产品信息进行查询,从而实现产品溯源. 基于图像码的产品溯源方法具有可追溯性强、溯源信息真实可靠、实用性强、成本低等优势,对于产品的质量管控、责任追究、流程分析、问题查找、产品召回起到重要的作用. Cai等^[19]将QR码与质量数据、移动智能技术相结合,设计了一种用于追溯中药产品质量的方法; Qian等^[20]利用响应面法优化二维码在运动状态下的可读性,实现了连续链溯源; Chen等^[21]基于二维码技术实现了产品信息采集、变换和传输,并设计了面向猪肉供应链的溯源方法; Liang等^[22]设计了通过二维码扫描和信息记录实现谷物产品追溯的方法; Matvieieva等^[23]利用医疗器械标识实现3D打印医疗产品的溯源; Zhang等^[24]通过将IDCode编码规则与其开发的彩色二维码技术结合,设计了基于二维码技术的产品溯源方法.

尽管基于图像码的直接标识方法具有可追溯性强、溯源信息真实可靠、实用性强、成本低等优势,但因其标识信息易于获取,存在保密性较差的劣势,易导致隐私信息泄露. 为解决该问题,以RFID、NFC和WSN为代表的间接标识技术因具有较高安全性而被广泛研究并应用.

2.1.2 间接标识方法

由于直接标识方法存在存储信息量小、信息易泄露等问题,为提高溯源信息存储量和溯源安全性,间接标识方法被广泛研究并应用. 基于间接产品标识的产品溯源方法包括通过RFID、NFC、WSN等技术对产品进行识别、记录、追踪的一系列产品溯源方法.

1) RFID是一种利用射频信号对目标物体进行识别的非接触式识别技术^[25]. 该技术被广泛应用于跟踪、物流和访问控制. RFID作为一项标准化技术,因其具有标准统一、识别能力强、成本较低等优势,常被应用于工业、农业生产和日常生活的各个领域^[26]. 通过在产品包装上添加带有芯片的RFID标签,并依赖其与阅读器之间的射频通信完成数据交换,基于RFID的产品溯源方法可以自动、快速地完成溯源任务^[27-28]. 刘汉焯等^[29]将RFID技术与密码学技术结合,设计了基于产品防伪机制的产品溯源系统; Tsai等^[30]基于RFID技术,建立了半导体测试公司磁带管理的追溯模型,提高了生产线的效率,使客户与供应商之间的信息传递更加透明. 基于RFID技术的溯源方法尽管具有标准统一、识别能力强、成本较低等优势,但仍旧存在敏感信息泄露的安全风险.

2) NFC作为RFID技术的衍生技术,同样被广泛应用于工业、农业等多个领域的产品溯源方法中^[29-32]. Pignini等^[33]基于NFC技术,提出了一个能够收集整个食品供应链信息,并对食品从生产到销售各个环节进行追溯的溯源方法. 基于NFC技术的溯源方法具有较高的安全性,常用于敏感应用中,但其仍旧存在覆盖溯源范围较小的劣势.

3) 为解决溯源范围小的问题,WSN技术通过多节点协同感知、采集、处理感知对象的信息,实现对产品相关信息的记录和追踪. Qi等^[34]针对再循环水产养殖产业,设计了一种基于WSN的可追溯系统; Alfian等^[35]利用WSN技术采集产品存储和运输过程中的温度和湿度,设计了面向韩国泡菜产品的产品溯源方法. 基于WSN技术的溯源方法具有可靠性高、溯源范围大等优势,但仍然存在对带宽等传输能力

要求较高的劣势。

尽管RFID、NFC和WSN等间接标识技术具有存储信息量大、安全性高等优势,但其对使用环境有一定要求,无法在强磁干扰的情况下使用;同时,间接标识技术的覆盖距离有限,仅适用于短距离的应用场景。针对上述问题,结合区块链技术利用去中心化的分布式数据库对溯源数据进行存储的优势,基于区块链的溯源方法近年来被广泛关注并深入研究。

2.1.3 混合标识方法

为兼具直接标识方法低成本和间接标识方法高安全性的优势,当下出现了将直接产品标识技术和间接产品标识技术结合的产品溯源方法。肖新清^[36]以QR码为溯源载体,基于压缩感知数据采集技术构建产品可追溯模型,有效地对物流过程中产品的关键信息进行了记录,实现了产品的快速准确追溯;Fan等^[37]研发并测试了条形码-RFID双向转换设备,通过保存识别关联关系和信息对应关系,提高产品的可追溯性;Qian等^[38]利用二维码和RFID标签分别记录小麦粉的加工信息和物流信息,以便于进行产品溯源。

2.2 基于区块链的溯源方法

尽管基于产品标识的溯源方法已被应用于多个场景并取得了良好的效果,但其在溯源范围、安全性等方面仍存在局限,导致其无法被应用于溯源范围广泛、隐私性和安全性要求较高的场景中。目前,产品溯源领域存在产品信息溯源透明度不高、成员之间协作性不强、易造成“信息孤岛”现象等缺陷^[25]。尤其是在产品的物流运输过程中的多式联运模式下,产品需要经过多个承运商进行二次包装和中转,产品相关信息和数据具有易丢失的特点^[39]。区块链因具有去中心化、不可篡改、可信等特点,近几年被广泛应用于产品溯源领域中。该技术能够通过分布式存储架构、区块链连接、“瀑布效应”等手段,采用密码学、共识算法、智能合约等技术,解决信息收集、流通、共享过程中存在的问题^[40-41]。此外,区块链技术能够保证上传溯源信息的真实性、可用性和完整性^[42-43]。因区块链具有诸多优势,基于区块链的产品溯源方法被深入研究,并广泛应用于生产生活的多个领域。

利用区块链去中心化的优势,朱建明等^[44]基于区块链的特点以及区块链结构的散列原理,提出了基于区块链的包含供应链各个交易主体的动态多中心协同认证和溯源模型;郑开涛等^[45]基于分布式存储和计算技术设计并构建了基于时空信息的农产品质量安全多边追溯系统平台;Islam等^[4]提出了一种基

于区块链的集成电路溯源方法,在该方法中,集成电路所有权交易信息被记录在一个区块链中,从而防止任何一方改变正在交易的信息的合法性;王晶等^[46]设计了一个基于联盟链的食品安全信用评估和追溯方法,该方法考虑了食品生产商、加工商、分销商、经营者、消费者、政府、媒体、银行和征信机构共同进行产品追溯数据的记录和维护,基于区块链技术实现了考虑多方的产品溯源方法;范贤丽等^[47]结合链式存储的多模式存储机制,针对产品特点设计特定的产品溯源方法;Perera等^[48]基于构建在区块链节点、智能合约和促进供应链中不同角色的图数据结构,设计了一种具有更强一致性、透明度和信任度的产品溯源方法;Agrawal等^[49]为解决信息不对称和低可见性的问题,提出了一个基于区块链的可追溯性方法,用于提高多层纺织服装供应链的可追溯性;张雅倩等^[50]应用Hyperledger Fabric和物联网技术设计了基于区块链的农产品溯源系统;Omar等^[51]针对新冠疫情背景下个人防护装备供应链缺乏信息可见性,且无法精确追溯产品移动的问题,提出了一种基于区块链的方案,使用智能合约来设计供应链运营方案。

利用区块链不可篡改的优势,Bettin-Diaz等^[52]提出了一种将区块链技术集成到食品行业供应链的方法,以实现供应链过程的可追溯性,并向客户提供产品来源信息,帮助顾客做出合理的购买决策;George等^[53]以餐厅为应用场景,使用区块链和产品标识符设计了更可靠的食物追溯方法;Xu等^[54]为真实的溯源系统originChain提供改进方法,通过使用区块链技术,为originChain提供了透明、高可用、防篡改的可追溯数据,并在产品可追溯场景中实现了自动化的法规遵从性检查和适配;Lin等^[55]提出了一种基于区块链和EPC信息服务的食品安全追溯系统;Hu等^[56]利用区块链不可篡改的特点和边缘计算的范式,设计了低成本的产品追溯方法;刘宗妹^[57]将区块链技术与RFID结合,采用联盟链设计产品溯源方法,打通了产品各个环节的来源通道,实现了产品溯源过程中的快速定位;李帅等^[58]利用区块链不可篡改的特点,面向包含大量节点的服务型制造供应链,设计了基于区块链的溯源方法;孙传恒等^[59]将区块链技术与边缘计算技术结合,设计了水稻原产地溯源模型。

利用区块链可信的优势,曾小青等^[60]将区块链技术与物联网技术结合,设计了食品安全追溯方法;Imeri等^[5]基于区块链技术提出了一种危险品运

输过程中共享信息的安全性和可追溯性的方法; Westerkamp等^[61]使用智能合约,提出了一个基于区块链的供应链可追溯方法; Behnke等^[62]利用区块链技术设计了一个参与者之间信任度高的标准化供应链,从而实现高效可靠的产品溯源; Salah等^[3]利用以太坊区块链和智能合约技术,提出了一种能够高效地执行大豆业务交易并跟踪整个供应链的方法.该方法消除了对可信的集中式权威机构、中间体的需求,并提供了交易记录,具有高完整性、可靠性和安全性; Ding等^[63]提出了一种双层框架下基于许可区块链的产品追溯方案; Sezer等^[64]提出了一个供应链可追溯性方法,利用链下和链上智能合约的加密技术,提供数字签名和验证;高靖涵等^[65]基于区块链技术,设计了面向茶产品的可信溯源方法.

尽管基于区块链的溯源方法具有去中心化、不可篡改、可信等优势,但由于上链环节的数据采集手段方式不同带来了数据标准不统一的问题,导致上链溯源数据质量和可信性降低,最终导致区块链溯源方法的可靠性降低.同时,为保证溯源效率,基于区块链的溯源方法对存储容量、带宽具有较高的要求.区块链技术在上链数据采集与处理、溯源效率等方面存在的局限已成为当前产品溯源领域的研究热点,值得研究人员深入探索对其进行进一步提升.

3 产品溯源系统平台

产品溯源系统平台通过对原料、生产、仓储、流通、销售和服务各个环节进行全链路信息化、数字化管理,实现从生产端到消费端对产品进行全生命周期信息追溯.现阶段研发了多样的产品溯源系统平台,这些系统平台主要面向食药畜牧、知识产权、数字凭证、供应链等领域,具体应用场景如图3所示.

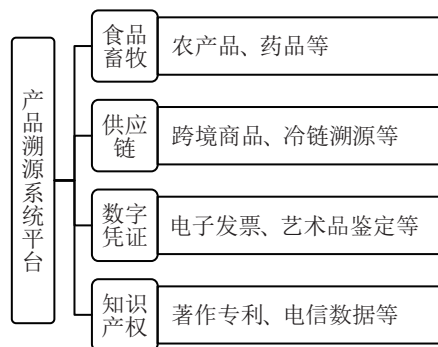


图3 产品溯源系统平台应用领域

在食药畜牧领域,曾小青等^[60]基于联盟链模式和超级账本区块链开发平台,实现了食品安全追溯原型系统; Qian等^[38]利用二维码与RFID标签分别记

录小麦粉的加工信息和物流信息,将二维码技术与RFID技术结合,建立了小麦粉溯源系统; Xiao等^[66]开发了一个针对冷冻罗非鱼片加工的智能溯源系统,并对该系统进行了评估和测试; Xiao等^[67]将无线传感器网络技术与二维码技术结合,开发了SMS-CQ冷链水产品质量安全追溯系统; Caro等^[68]提出了一个完全去中心化、基于区块链的可追溯农业食品供应链管理系统AgriBlockIoT,该系统整合了生产和消费过程中物联网设备的数据信息,实现了高效的农产品溯源; Violino等^[69]以意大利一个小型农场的整个特级初榨橄榄油生产链为研究场景,提出一个完整的电子溯源原型系统,并验证了该系统的经济可持续性; Zhang等^[70]提供了产品溯源公共服务平台(important product traceability public service cloud platform, IPTPSCP); Zhang等^[71]集成了区块链与物联网技术,为冷链水产品的溯源工作设计了一个更可靠、更可信的产品溯源系统BIOT-TS; Yang等^[72]设计了一种基于区块链技术的追溯系统,用于农产品供应链中产品信息的存储和查询,保证了供应链管理中数据的真实性和可靠性; Liu等^[73]提出了一个标准的五层区块链和基于物联网的智能跟踪和追溯平台,以提供药品供应链中的分布式可追溯解决方案.

在供应链领域, Hu等^[74]通过业务流程集成工具,实现系统需求规划、企业建模和集成,建立了一个在蔬菜供应链中实现可追溯性的系统; Alfian等^[35]利用RFID技术追踪产品位置,并利用WSN技术采集产品存储和运输过程中的温度和湿度,为韩国泡菜供应链设计了一种食品溯源系统; IBM和沃尔玛在中国猪肉和美国芒果食品供应链中实施了基于区块链的产品溯源系统开发项目^[53]; Cao等^[75]针对当前钢铁产品信息溯源透明度不高、信息孤岛的缺陷,采用联盟链模式和Hyperledger区块链平台,开发了基于区块链的钢铁物联网质量溯源系统.

在数字凭证领域,金凯等^[76]采用二维码技术对产品信息进行记录并构建产品溯源系统软件,该软件搭建了包括数据接入层、数据核心层和应用表示层的3层溯源系统架构,利用区块链和数据库存储产品数据信息,基于智能合约实现产品信息追溯功能,对产品信息进行可信溯源查询;杭州移动与浙江大学联合推出“区块链+物联网”西湖龙井溯源示范基地,通过物联网与区块链结合对杭州西湖上天竺优质龙井茶生长和生产数据实现可信溯源^[77]; Sotchenko^[78]采用联盟链模式和新的数字区块链平台,开发了基于

区块链的钢铁智能合约支付技术质量可追溯系统,有效地跟踪钢铁产品的质量。

在知识产权领域,百度开发的百度图腾系统能够提供原创版权追溯服务;此外,多样溯源系统能够提供地理标志溯源、电信数据溯源等服务^[10]。

4 总结与展望

虽然学者们在产品溯源框架构建、产品溯源方法研究和产品溯源系统平台开发方面已经取得了许多有价值的发现和突破,但是产品溯源研究,尤其是以区块链为基础的产品溯源方法,仍然面临着诸多挑战。针对复杂的溯源场景和严格的溯源安全性、实时性等要求,为了更好地推进未来的研究工作,本文从多个角度提出了若干值得深入研究的方向,希望能促进产品溯源研究的发展。

1) 异构多源溯源数据管理架构。近些年,以大型制造产业为代表的溯源场景复杂且动态实时变化,采集到的溯源数据也开始以多种类型、多种形式出现。如何高效地处理多源异构溯源数据,保证溯源方法和溯源系统的效力和效率,是当下产品溯源面临的挑战之一。因此,未来可基于数据整合、标准化和统一化处理技术,围绕构建溯源系统中统一的数据形式和程序接口开展研究工作,保证溯源数据高效处理。

2) 成员共享激励与可信协作机制。虽然当前溯源产业在不同领域快速发展,但是现有的溯源系统缺乏统一的数据格式规范、标准的自动对接程序,使系统间的数据无法交互,成员间缺乏协作。此外,各成员间缺乏信任同样会对溯源效率带来负面影响。因此,针对现有的溯源体系设计统一的数据定义标准和有效的、可信的成员协作机制是当前面临的一大挑战。结合数据处理与分析、人工智能、信息安全等技术,设计成员共享激励与可信协作机制,将推动产品溯源的普及。

3) 溯源数据安全保障。在溯源系统中,涉及到数据的分发和共享,而系统中的数据可能涉及到个人隐私或商业机密。同时,在溯源过程中,数据的传输、存储等过程涉及到数据泄露、被篡改等风险。此外,当前多数溯源系统的自动化程度不高,在多个环节中仍处于人工处理状态,这同样会带来风险。因此,针对溯源系统中的隐私信息,设计有效的隐私保护方法,同时利用人工智能技术提升溯源系统的自动化程度,提高系统抵御攻击的能力,是未来产品溯源领域的研究前景之一。

4) 溯源实时性保障。当下产品溯源不止应用于

农产品、食品等领域,同样会应用于医疗、化工等存在潜在危险品的领域。因此,如何设计有效的产品溯源方法,保证信息采集和溯源反馈的时效性,保障针对危险品的实时快速的追踪过程,是具有挑战的。因此,设计基于标识解析体系的溯源方法,实现产品信息的采集、设备的全生命周期实时监控和产品质量的实时追溯,是未来产品溯源研究的重要组成部分。

5) 溯源过程有效监管。我国各行各业溯源体系建设仍处于初级阶段,未形成完善的法律法规和监管体制。大多数由各个企业自行制定的溯源体系缺少有公信力的机构部门参与监管。同时,未考虑政府或相关部门监管的溯源系统,不能有效保护企业或个人的敏感数据。因此,建立包含政府、监管机构在内的合理的、合规的、具有公信力的产品溯源体系,对产品溯源全流程进行有效监管,是未来产品溯源领域重要的研究方向。

参考文献(References)

- [1] Olsen P, Borit M. How to define traceability[J]. Trends in Food Science & Technology, 2013, 29(2): 142-150.
- [2] Montet D, Ray R C. Food traceability and authenticity: Analytical techniques[M]. Boca Raton: CRC Press, 2011.
- [3] Salah K, Nizamuddin N, Jayaraman R, et al. Blockchain-based soybean traceability in agricultural supply chain[J]. IEEE Access, 2019, 7: 73295-73305.
- [4] Islam M N, Patil V C, Kundu S. On IC traceability via blockchain[C]. 2018 International Symposium on VLSI Design, Automation and Test. Hsinchu, 2018: 1-4.
- [5] Imeri A, Khadraoui D. The security and traceability of shared information in the process of transportation of dangerous goods[C]. 2018 9th IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security. Paris, 2018: 1-5.
- [6] 李逢天, 马金刚, 周扬, 等. 基于区块链与RFID的药品溯源研究[J]. 中国数字医学, 2020, 15(1): 8-10. (Li F T, Ma J G, Zhou Y, et al. Research on drug traceability based on blockchain and RFID[J]. China Digital Medicine, 2020, 15(1): 8-10.)
- [7] Schuitemaker R, Xu X. Product traceability in manufacturing: A technical review[J]. Procedia CIRP, 2020, 93: 700-705.
- [8] ISO 8402:1994, Quality management and quality assurance — Vocabulary[S].
- [9] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于加快推进重要产品追溯体系建设的意见[J]. 中华人民共和国国务院公报, 2016(3): 24-27. (General Office of the State Council. Opinions of general

- office of the state council on accelerating the construction of traceability system for important products [J]. *Gazette of the State Council of the People's Republic of China*, 2016(3): 24-27.)
- [10] 中国信息通讯研究院. 区块链溯源应用白皮书 [EB/OL]. (2018-10-10)[2023-02-21]. http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/bps/201810/t20181019_187262.htm.
(China Academy of Information and Communications Technology. Blockchain + tracing to the source[EB/OL]. (2018-10-10)[2023-02-21]. http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/bps/201810/t20181019_187262.htm.)
- [11] 丁锦城, 吴清烈. 食品供应链基于区块链的溯源体系研究评述与展望[J]. *食品与机械*, 2021, 37(2): 72-77.
(Ding J C, Wu Q L. Research review and development prospects of food supply chain traceability system based on blockchain[J]. *Food & Machinery*, 2021, 37(2): 72-77.)
- [12] 陈锦雯, 罗得寸, 唐呈俊, 等. 基于区块链的农业物联网可信溯源体系[J]. *信息安全学报*, 2022, 7(2): 139-149.
(Chen J W, Luo D C, Tang C J, et al. The trusted traceability system of agricultural Internet of Things based on blockchain[J]. *Journal of Cyber Security*, 2022, 7(2): 139-149.)
- [13] Opara L U. Traceability in agriculture and food supply chain: A review of basic concepts, technological implications, and future prospects[J]. *European Journal of Operational Research*, 2003, 1(1): 101-106.
- [14] Olsen P, Borit M. The components of a food traceability system[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2018, 77: 143-149.
- [15] Purwandoko P B, Seminar K B, Sutrisno, et al. Framework for design of traceability system on organic rice certification[J]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, 147: 012044.
- [16] Regattieri A, Gamberi M, Manzini R. Traceability of food products: General framework and experimental evidence[J]. *Journal of Food Engineering*, 2007, 81(2): 347-356.
- [17] Malik S, Kanhere S S, Jurdak R. ProductChain: Scalable blockchain framework to support provenance in supply chains[C]. 2018 IEEE 17th International Symposium on Network Computing and Applications. Cambridge, 2018: 1-10.
- [18] Zhang Y, Jin M L, Zheng G P, et al. Design and application of product traceability blockchain-based platform[C]. 2020 3rd International Conference on Smart BlockChain (SmartBlock). Zhengzhou, 2021: 125-131.
- [19] Cai Y, Li X W, Wang R M, et al. Quality traceability system of traditional Chinese medicine based on two dimensional barcode using mobile intelligent technology[J]. *PLoS One*, 2016, 11(10): e0165263.
- [20] Qian J P, Du X W, Zhang B Y, et al. Optimization of QR code readability in movement state using response surface methodology for implementing continuous chain traceability[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2017, 139: 56-64.
- [21] Chen T B, Ding K F, Hao S K, et al. Batch-based traceability for pork: A mobile solution with 2D barcode technology[J]. *Food Control*, 2020, 107: 106770.
- [22] Liang K, Chen X H, He R Y, et al. Development and parameter optimization of automatic separation and identification equipment for grain tracing systems based on grain tracers with QR codes[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2019, 162: 709-718.
- [23] Matvieieva N, Neupetsch C, Oettel M, et al. A novel approach for increasing the traceability of 3D printed medical products[J]. *Current Directions in Biomedical Engineering*, 2020, 6(3): 315-318.
- [24] Zhang S Q, Liao J H, Wu S C, et al. A traceability public service cloud platform incorporating IDcode system and colorful QR code technology for important product[J]. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021, 2021: 1-15.
- [25] Cao Y, Jia F, Manogaran G. Efficient traceability systems of steel products using blockchain-based industrial Internet of Things[J]. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2020, 16(9): 6004-6012.
- [26] Duroc Y, Tedjini S. RFID: A key technology for Humanity[J]. *Comptes Rendus Physique*, 2018, 19(1/2): 64-71.
- [27] Bhuptani M, Moradpour S. RFID field guide: Deploying radio frequency identification systems[M]. New Jersey: Prentice Hall PTR, 2005.
- [28] Salisbury P C. Cartridge validation with radio frequency identification: US7212637[P]. 2007-05-01.
- [29] 刘汉焯, 曹课兴, 安强强. 基于RFID技术的溯源系统产品防伪机制研究[J]. *榆林学院学报*, 2017, 27(2): 76-78.
(Liu H Y, Cao K X, An Q Q. The study on product anti-counterfeit mechanism of traceability system based on RFID technique[J]. *Journal of Yulin College*, 2017, 27(2): 76-78.)
- [30] Tsai Y S, Chen R S, Chen Y G, et al. An RFID-based manufacture process control and supply chain management in the semiconductor industry[J]. *International Journal of Information Technology and Management*, 2013, 12(1/2): 85.
- [31] 张友桥, 吕昂, 邵鹏飞. 一种基于NFC的农产品溯源系

- 统[J]. 中国农机化学报, 2015, 36(2): 145-149.
(Zhang Y Q, Lü A, Shao P F. Tracing system of agricultural products based on NFC[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2015, 36(2): 145-149.)
- [32] 霍翔, 傅海威, 邱晓成. 基于RFID和移动互联网技术的海产品质量安全溯源系统研究[J]. 物流科技, 2016, 39(9): 42-44.
(Huo X, Fu H W, Qiu X C. Study on system of seafood quality safety traceability based on the technology of RFID and mobile Internet[J]. Logistics Sci-Tech, 2016, 39(9): 42-44.)
- [33] Pignini D, Conti M. NFC-based traceability in the food chain[J]. Sustainability, 2017, 9(10): 1910.
- [34] Qi L, Zhang J, Xu M, et al. Developing WSN-based traceability system for recirculation aquaculture[J]. Mathematical and Computer Modelling, 2011, 53(11/12): 2162-2172.
- [35] Alfian G, Rhee J, Ahn H, et al. Integration of RFID, wireless sensor networks, and data mining in an e-pedigree food traceability system[J]. Journal of Food Engineering, 2017, 212: 65-75.
- [36] 肖新清. 面向冷链物流品质感知的物联网数据采集与建模方法[D]. 北京: 中国农业大学, 2017.
(Xiao X Q. IoT based data acquisition and modeling methods for food quality perception in cold chain[D]. Beijing: China Agricultural University, 2017.)
- [37] Fan B L, Qian J P, Wu X M, et al. Improving continuous traceability of food stuff by using barcode-RFID bidirectional transformation equipment: Two field experiments[J]. Food Control, 2019, 98: 449-456.
- [38] Qian J P, Yang X T, Wu X M, et al. A traceability system incorporating 2D barcode and RFID technology for wheat flour Mills[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2012, 89: 76-85.
- [39] 郭珊珊. 供应链的可信溯源查询在区块链上的实现[D]. 大连: 大连海事大学, 2017.
(Guo S S. Implementation of the supply chain's trusted traceability query on the blockchain[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2017.)
- [40] Zhao L, Kang L, Yao S. Research and application of acoustic emission signal processing technology[J]. IEEE Access, 2018, 7: 984-993.
- [41] Liu H, Zhang Y, Yang T. Blockchain-enabled security in electric vehicles cloud and edge computing[J]. IEEE Network, 2018, 32(3): 78-83.
- [42] Suo Y N, Liu T W, Jia X Y, et al. Application of clustering analysis in brain gene data based on deep learning[J]. IEEE Access, 2018, 7: 2947-2956.
- [43] Peck M E. Blockchain world—Do You need a blockchain? This chart will tell You if the technology can solve your problem[J]. IEEE Spectrum, 2017, 54(10): 38-60.
- [44] 朱建明, 付永贵. 基于区块链的供应链动态多中心协同认证模型[J]. 网络与信息安全学报, 2016, 2(1): 27-33.
(Zhu J M, Fu Y G. Supply chain dynamic multi-center coordination authentication model based on blockchain[J]. Chinese Journal of Network and Information Security, 2016, 2(1): 27-33.)
- [45] 郑开涛, 刘世洪. 农产品质量安全溯源多边平台的研究与设计[J]. 中国农业科技导报, 2017, 19(12): 52-58.
(Zheng K T, Liu S H. Studies and design of traceability multisided platform for quality and safety of agricultural products[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2017, 19(12): 52-58.)
- [46] 王晶, 曾水英, 郭建伟, 等. 区块链技术在食品安全信用体系建设中的应用[J]. 无线互联科技, 2019, 16(21): 137-140.
(Wang J, Ceng S Y, Guo J W, et al. Application of block chain technology in the construction of food safety credit system[J]. Wireless Internet Technology, 2019, 16(21): 137-140.)
- [47] 范贤丽, 范春晓, 吴岳辛. 基于区块链和IPFS技术实现粮食供应链隐私信息保护[J]. 应用科学学报, 2019, 37(2): 179-190.
(Fan X L, Fan C X, Wu Y X. Realization of privacy protection of food supply chain based on blockchain and IPFS[J]. Journal of Applied Sciences, 2019, 37(2): 179-190.)
- [48] Perera T, Thewa Hettige S P, Jayatilake S A P, et al. Blockchain-based product traceability beyond proof of existence[C]. 2020 Moratuwa Engineering Research Conference. Moratuwa, 2020: 1-6.
- [49] Agrawal T K, Kumar V, Pal R, et al. Blockchain-based framework for supply chain traceability: A case example of textile and clothing industry[J]. Computers & Industrial Engineering, 2021, 154: 107130.
- [50] 张雅倩, 刘江平, 陈晨. 应用Hyperledger Fabric和物联网技术的农产品溯源系统设计[J]. 山西农业大学学报: 自然科学版, 2022, 42(6): 12-23.
(Zhang Y Q, Liu J P, Chen C. Designing an agricultural product traceability system using Hyperledger Fabric Blockchain and Internet of Things technology[J]. Journal of Shanxi Agricultural University: Natural Science Edition, 2022, 42(6): 12-23.)
- [51] Omar I A, Debe M, Jayaraman R, et al. Blockchain-based supply chain traceability for COVID-19 personal protective equipment[J]. Computers & Industrial Engineering, 2022, 167: 107995.

- [52] Bettín-Díaz R, Rojas A E, Mejía-Moncayo C. Methodological approach to the definition of a blockchain system for the food industry supply chain traceability[C]. International Conference on Computational Science and Its Applications. Cham: Springer, 2018: 19-33.
- [53] George R V, Harsh H O, Ray P, et al. Food quality traceability prototype for restaurants using blockchain and food quality data index[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 240: 118021.
- [54] Xu X W, Lu Q H, Liu Y, et al. Designing blockchain-based applications a case study for imported product traceability[J]. Future Generation Computer Systems, 2019, 92: 399-406.
- [55] Lin Q J, Wang H Z, Pei X F, et al. Food safety traceability system based on blockchain and EPCIS[J]. IEEE Access, 2019, 7: 20698-20707.
- [56] Hu S S, Huang S, Huang J, et al. Blockchain and edge computing technology enabling organic agricultural supply chain: A framework solution to trust crisis[J]. Computers & Industrial Engineering, 2021, 153: 107079.
- [57] 刘宗妹. “区块链+射频识别技术”赋能食品溯源平台研究[J]. 食品与机械, 2020, 36(9): 102-107.
(Liu Z M. Research on “blockchain + RFID” enabling food traceability platform[J]. Food & Machinery, 2020, 36(9): 102-107.)
- [58] 李帅, 侯瑞春, 陶冶. 基于区块链的服务型制造供应链溯源技术研究[J]. 制造业自动化, 2023, 45(4): 196-203.
(Li S, Hou R C, Tao Y. Research on traceability technology of service-oriented manufacturing supply chain based on blockchain[J]. Manufacturing Automation, 2023, 45(4): 196-203.)
- [59] 孙传恒, 袁晟, 罗娜, 等. 基于区块链和边缘计算的水稻原产地溯源方法研究[J]. 农业机械学报, 2023, 54(5): 359-368.
(Sun C H, Yuan S, Luo N, et al. Traceability method of rice origin based on blockchain and edge computing[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2023, 54(5): 359-368.)
- [60] 曾小青, 彭越, 王琪. 物联网加区块链的食品安全追溯系统研究[J]. 食品与机械, 2018, 34(9): 100-105.
(Zeng X Q, Peng Y, Wang Q. Research on food safety traceability system based on IoT and blockchain technology[J]. Food & Machinery, 2018, 34(9): 100-105.)
- [61] Westerkamp M, Victor F, Küpper A. Blockchain-based supply chain traceability: Token recipes model manufacturing processes[C]. 2018 IEEE International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData). Halifax, 2019: 1595-1602.
- [62] Behnke K, Janssen M F W H A. Boundary conditions for traceability in food supply chains using blockchain technology[J]. International Journal of Information Management, 2020, 52: 101969.
- [63] Ding Q Y, Gao S, Zhu J M, et al. Permissioned blockchain-based double-layer framework for product traceability system[J]. IEEE Access, 2019, 8: 6209-6225.
- [64] Sezer B B, Topal S, Nuriyev U. TPPSUPPLY: A traceable and privacy-preserving blockchain system architecture for the supply chain[J]. Journal of Information Security and Applications, 2022, 66: 103116.
- [65] 高靖涵, 左欣, 林优, 等. 基于区块链的茶产品可信溯源[J]. 物联网技术, 2023, 13(1): 112-114.
(Gao J H, Zuo X, Lin Y, et al. Trusted traceability of tea products based on blockchain[J]. Internet of Things Technologies, 2023, 13(1): 112-114.)
- [66] Xiao X Q, Fu Z T, Qi L, et al. Development and evaluation of an intelligent traceability system for frozen tilapia fillet processing[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2015, 95(13): 2693-2703.
- [67] Xiao X Q, Fu Z T, Zhang Y J, et al. SMS-CQ: A quality and safety traceability system for aquatic products in cold-chain integrated WSN and QR code[J]. Journal of Food Process Engineering, 2017, 40(1): e12303.
- [68] Caro M P, Ali M S, Vecchio M, et al. Blockchain-based traceability in agri-food supply chain management: A practical implementation[C]. 2018 IoT Vertical and Topical Summit on Agriculture — Tuscany. Tuscany, 2018: 1-4.
- [69] Violino S, Pallottino F, Sperandio G, et al. A full technological traceability system for extra virgin olive oil[J]. Foods, 2020, 9(5): 624.
- [70] Zhang S Q, Liao J H, Wu S C, et al. A traceability public service cloud platform incorporating IDcode system and colorful QR code technology for important product[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2021, 2021: 1-15.
- [71] Zhang Y J, Liu Y F, Jiong Z, et al. Development and assessment of blockchain-IoT-based traceability system for frozen aquatic product[J]. Journal of Food Process Engineering, 2021, 44(5): e13669.
- [72] Yang X T, Li M Q, Yu H J, et al. A trusted blockchain-based traceability system for fruit and vegetable agricultural products[J]. IEEE Access, 2021, 9: 36282-36293.
- [73] Liu X L, Barenji A V, Li Z, et al. Blockchain-based smart

- tracking and tracing platform for drug supply chain[J]. Computers & Industrial Engineering, 2021, 161: 107669.
- [74] Hu J Y, Zhang X, Moga L M, et al. Modeling and implementation of the vegetable supply chain traceability system[J]. Food Control, 2013, 30(1): 341-353.
- [75] Cao Y, Jia F, Manogaran G. Efficient traceability systems of steel products using blockchain-based industrial Internet of Things[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2020, 16(9): 6004-6012.
- [76] 金凯. 基于区块链的食品供应链溯源系统设计与实现[D]. 北京:北京工业大学, 2017.
(Jin K. Design and implementation of food supply chain traceability system based on blockchain[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2017.)
- [77] 梁景雄. 基于区块链与物联网的产品溯源系统关键技术研究与实现[D]. 杭州:浙江大学, 2020.
(Liang J X. Research and implementation of the key technology in traceability system based on IoT and blockchain[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2020.)
- [78] Sotchenko Y. Blockchain technology into steel industry current state of foreign payment activity[J]. Three Seas Economic Journal, 2021, 2(1): 78-84.

作者简介

黄敏(1968-), 女, 教授, 博士生导师, 从事物流与供应链管理、智能算法设计与优化、调度理论与方法等研究, E-mail: mhuan@mail.neu.edu.cn;

宋扬(1994-), 男, 讲师, 博士, 从事智能优化算法、云计算、大数据管理等研究, E-mail: songyang1@ise.neu.edu.cn;

高哲明(1992-), 男, 讲师, 博士, 从事预测模型与预测方法、支持向量机等研究, E-mail: gaozheming@ise.neu.edu.cn;

胡悦嫣(1998-), 女, 博士生, 从事智能制造、区块链等研究, E-mail: 2290082@stu.neu.edu.cn;

王兴伟(1968-), 男, 教授, 博士生导师, 从事未来互联网、云计算、网络与信息安全等研究, E-mail: wangxw@mail.neu.edu.cn.



特邀专家 黄敏, 1990年、1993年和1998年于东北大学获得学士、硕士、博士学位, 1993年留校任教, 现任东北大学教授, 博士生导师, 东北大学人工智能系主任、辽宁省智能科学与智能系统重点实验室主任。教育部“长江学者奖励计划”特聘教授、国家杰出青年科学基金获得者、国务院政府津贴获得者、教育部新世纪优秀人才、辽宁省“兴辽英才计划”科技创新领军人才、辽宁省优秀专家。主持45项国家杰出青年科学基金项目、国家自然科学基金重大研究计划重点支持项目、国家重点研发计划等项目。发表SCI收录学术论文200余篇, 出版著作5部、译著1部。获国家科技进步二等奖、国家教育部自然科学二等奖、国家教育部技术发明二等奖等省部级以上科研奖励8项。

专家寄语 时光荏苒, 岁月如梭, 不知不觉, 东北大学已陪伴我走过三十七载春秋。三十七载的求学和从教生涯, 母校伴我风雨兼程, 共同成长! 值此母校百年华诞之际, 衷心祝愿母校不断创造金色辉煌, 谱写绚丽华章!