



工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet



可信区块链推进计划
TRUSTED BLOCKCHAIN INITIATIVES

工业区块链应用白皮书

(1.0 版)

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

2019 年 2 月

声 明

本报告所载的材料和信息，包括但不限于文本、图片、数据、观点、建议，不构成法律建议，也不应替代律师意见。本报告所有材料或内容的知识产权归工业互联网产业联盟所有（注明是引自其他方的内容除外），并受法律保护。如需转载，需联系本联盟并获得授权许可。未经授权许可，任何人不得将报告的全部或部分内容以发布、转载、汇编、转让、出售等方式使用，不得将报告的全部或部分内容通过网络方式传播，不得在任何公开场合使用报告内相关描述及相关数据图表。违反上述声明者，本联盟将追究其相关法律责任。



工业互联网产业联盟

联系电话：010-62305887

邮箱：aai@caict.ac.cn

特别感谢

本白皮书由可信区块链推进计划工业应用组和工业互联网产业联盟区块链特设组共同完成。主要作者包括：魏凯、卿苏德、张奕卉、黄 胜、徐晓旻、焦丽梅。



工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

前 言

以客户需求为中心的市场飞速发展，为工业企业制造和服务提出一系列新挑战。一方面，越来越多订单在传统规模生产的基础上，加入了“单单不同”的差异化需求；另一方面，消费个性化的长尾效应推动“供应侧”生产组织模式由传统的集中控制型向分散增强型转变，即生产活动网络化，生产管理中心化。

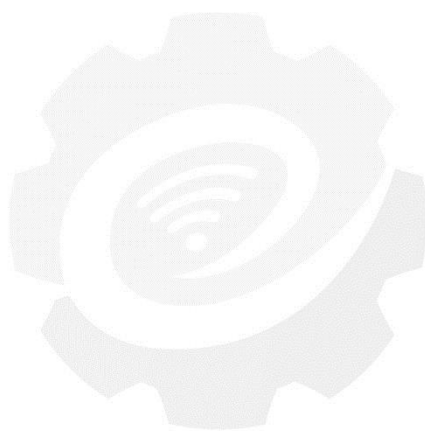
区块链技术，通过多种信息化技术的集成重构，触发新型商业模式及管理思维，对于实现分散增强型生产关系的高效协同和管理，提供了“供给侧改革”的创新思路和方法：共享账本、机器共识、智能合约和权限隐私四大技术，可以实现工业数据互信、互联、共享；“物理分布式、逻辑多中心、监管强中心”的多层次架构设计，为政府监管部门和工业企业相互间提供了“柔性”合规监管的可能；分布式部署方式能够根据现实产业不同状况提供分行业、分地域、分阶段、分步骤的理性建设和发展路径。

本白皮书旨在围绕工业应用发展的现状及挑战，分析区块链技术如何能更好地与工业应用深入契合。第一章着重介绍工业应用的特点，分析了区块链对工业应用的价值。第二章分析了工业区块链的技术，应用图谱以及应用于工业的相关优势。从第三章到第五章分别介绍了区块链在助力工业安全、提高工业生产效率、帮助服务型升级的应用场景，同时对其中部分场景，应用区块链所带来的价值提升进行了深度分析。最后在第六、七章提出了对于工业区块链应用落地面临的挑战和相关政策建议。

目 录

一、区块链对工业应用发展带来新机遇	1
1. 工业应用的发展现状	1
2. 工业应用面临的痛点	2
3. 区块链的特点及带来的机遇	3
二、工业区块链技术方向	7
1. 工业区块链技术的思路	7
2. 工业区块链应用图谱	10
3. 区块链应用于工业制造过程的优势	11
三、区块链在工业安全中的应用	12
1. 设备身份管理	12
2. 设备访问控制	14
3. 设备注册管理	17
4. 设备运营状态监管	19
四、区块链提高工业生产效率的应用	21
1. 供应链可视化	21
2. 分布式生产	24
3. 工业物流运输管理	26
4. 工业维修工单管理	28
五、区块链助力服务制造升级的应用	30
1. 围绕工业企业的供应链金融	30
2. 工业设备产品租赁	32
3. 工业产品设备二手交易	34
4. 工业品回收	36
六、区块链对于数据共享和柔性监管的应用	37
1. 区块链实现工业行业间互信共享共同进步	37
2. 区块链使得工业互联网平台之间价值共享	38
3. 区块链实现工业互联网柔性监管	38
七、工业区块链落地难点及挑战	39

1. 技术层面	39
2. 推广层面	40
八、工业区块链应用落地政策建议	40
1. 加强技术模式创新	40
2. 规范服务实体经济	41
3. 积极提升产业影响	41
4. 完善发展政策环境	42
八、参考文献	42



工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

一、区块链对工业应用发展带来新机遇

1. 工业应用的发展现状

2018 年，我国工业生产平稳运行，中高端制造业快速增长，企业效益持续改善，工业发展质量有所提高。但是，单位工业效能与发达国家仍然存在较大差距，主要体现在资源和能源的利用率较低，生产经营中面临众多安全和环保问题。如何积极有效利用现代信息技术解决传统工业生产中面临的经营决策挑战，推动工业化和信息化的快速融合发展，实现生产、管理和营销方式的变革，已经成为高端制造业发展的关键。

工业发展到 4.0 时代，已经远远超出了生产制造本身。它更多地表现为企业在可能的最大生态影响范围内精准控制成本，按需、快速、个性化地完成定制生产，并逐步增强市场竞争能力。

1) “细微化”要求

精准生产要求产业链上的每个单元都把生产、成本及质量控制做到极致。它自然推动了传统工业生产的变革，即企业由原先的“大而全”向“小而专”演变。传统产业的一个流程，现在可能进一步“颗粒化”变为多个流程。每个生产单元都只集中精力在这个“细微”流程的专业度和广度提升上，以增强自身在全球市场的竞争力。比如传统的电源插座生产，以往往往由一家工厂从设计到生产备料到组件生产到组装全部做完；而在精准生产的“微粒度”生产组织下，生产流程分解为插头设计出模、插头生产、插针生产、组件组装等多个环节，每个环节都是一家独立的公司或车间来完成。而每家公司都自身的微细环节上发挥工匠精神，把设计、生产、质量控制、成本及生态建设

做到极致。

2) “广泛化”布局

生产单元的“细微化”进一步推动企业的客户生态“广泛化”。产量是绝大多数产业盈利及竞争力的朴素的致胜法宝。在生产单元细微化的演变进程中，一方面由于生产颗粒的细微使得企业得以在全球范围内研究需求个性化趋势的“分层”要求或需求引导；另一方面对产量的需求也使得企业意识到，依赖于原先的老客户群体势必无法满足企业成长的要求。企业需要一个相对大的客户群基数和相对广泛的客户覆盖范围，才可以平衡少量大客户带来的生产周期波动风险，并使得企业的需求量有长足稳定的增长。

3) 品牌商的崛起

智能制造的业绩体现，往往体现为全球高度具有竞争力的品牌营造。好的品牌不仅可以获得比较高的生产溢价，同时有利于扩大市场占有率。品牌商最大的挑战，来源于其对产品研发的创新性，技术门槛及对其产业链的生产组织能力。品牌商同时也成为整个市场的“感应器”，它通过市场对其产品的反馈体系，最先感受到市场的变化，并通过它自身的生产组织传到生产的上游供应末端。如同前面的生产单元“微粒化”，品牌商为了应对消费端的“长尾效应”及个性化需求，品牌塑造也呈现为针对越来越细分的市场。

2. 工业应用面临的痛点

当前工业发展现状及趋势，即是我们现在经常提及的“网络化生产”或“云化生产”。它对整个生产制造生命周期提出了诸多方面的挑战：

- 高度协同：“细微化”生产单元之间的协作程度比以往大而全的生

产还要快速、精准。一个环节的生产，供应问题就可能影响全局，对整个产业链造成影响；

- 工业安全：高度协同的生产单元，涉及到各种生产设备，这些设备的身份辨识可信、身份管理可信、设备的访问控制的可信是多方协作的基础；
- 信息共享：由于产业链上下游的生产协同影响，产业链上下游对信息共享的要求从未像今日这般强烈。信息共享有助于快速生产组织、库存削减、物流联运、风险管控、质量控制等等；
- “跨界”资源融合：产业生态的复杂化及多样化，使得以往单一链条中某一家或两家巨头可以轻易解决的问题变得棘手。而产业僵化问题的解决往往需要“界外”企业积极参与进来成为其中的“润滑剂”、“催化剂”。比如金融机构，高新科技机构与核心制造业的深度融合；
- 最大程度“标准化”：通过把生产微粒度变小的方式，不断推动生产组织最大程度的“标准化”和“精准化”，而不是“非标化”。这种“标准化”，不仅体现在生产环节，也体现在包装、运输、维修维护、商务环节等等；
- 柔性监管：对于政府监管部门而言，监管局面前所未有地复杂。怎样采用新技术进行“柔性”或“隐形”地引导式监管，变成安全生产和产业支持的挑战之一。

3. 区块链的特点及带来的机遇

区块链¹ (Blockchain) 是一种由多方共同维护，使用密码学保证传输和访问安全，能够实现数据一致存储、难以篡改、防止抵赖的记

¹ 详见参考文献【1】

账技术，也称为分布式账本技术(Distributed Ledger Technology)。典型的区块链系统中，各参与方按照事先约定的规则共同存储信息并达成共识。按照系统是否具有节点准入机制，区块链可分为许可链和非许可链。许可链中节点的加入退出需要区块链系统的许可，根据拥有控制权限的主体是否集中可分为联盟链²和私有链³；非许可链则是完全开放的，亦可称为公有链⁴，节点可以随时自由加入和退出。

考虑到工业互联网应用的自身特点，有权限身份管理的联盟链更加适合工业互联网当中的各种应用。

从技术角度看，联盟链技术主要有共享统一账本、灵活智能合约、达成机器共识以及保护权限隐私四个技术特点。

1) 共享统一账本

共享账本中以链式结构存储了交易历史以及交易以后的资产状态。每一个区块的哈希将作为下一个区块的数据头，如此一个一个的串联在一起。由于各个有存储账本权限的节点和相关方有相同的账本数据，于是通过哈希校验可以很方便的使得账本数据难以篡改。账本中存储了交易的历史，且这些交易都是交易发起方签名，由一定的背书策略验证过，并经过共识以后写入到账本中。

2) 可定制智能合约

智能合约描述了多方协作中的交易规则和交易流程。这些规则和流程将会以代码的形式部署在相关的参与方的背书节点中。根据代码的要求，智能合约将由一个内外部事件来驱动执行。

3) 机器共识机制

²联盟链：根据一定特征所设定的节点能参与、交易，共识过程受预选节点控制的区块链。

³私有链：写入权限在一个组织手里，读取权限可能会被限制的区块链。

⁴公有链：任何人都能读取区块链信息，发送交易并能被确认，参与共识过程，是真正意义上的去中心化区块链，比特币区块链即是公有链最好的代表。

在分布式网络中，各个区块链节点按照透明的代码逻辑、业务顺序和智能合约来执行所接收到的交易，最终在各个账本中，形成一种依赖机器和算法的共识，确保所记录的交易记录和交易结果全网一致。机器共识能够适应大规模机器型通讯（Massive Machine Type Communications, mMTC）的去中心化架构，有效促进形成一种去中介化的应用新模式和商业新生态。

4) 权限隐私保护

所有加入区块链网络的人、机、物、机构都经过授权得以加入联盟区块链网络。隐私保护保障共享账本的适当可见性，使得只有一定权限的人才可以读写账本，执行交易和查看交易历史，同时保证交易的真实可验证、可溯源、不可抵赖和不可伪造。

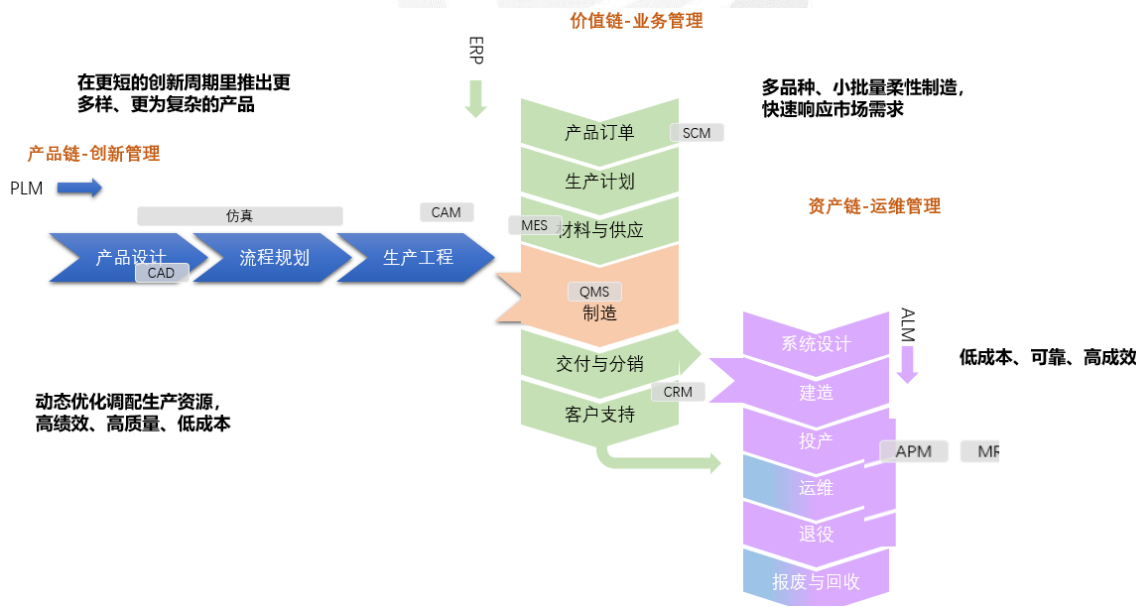


图 1 制造生产管理

从商业角度看，工业制造过程主要涉及到“产品链——价值管理”、“价值链——业务管理”和“资产链——运营管理”三个过程，如上图 1 所示。其中产品链主要目的是在更短的创新周期内推出更多样、更为复杂的产品。区块链所带入的个体激励机制以及协作共享可以使得更多的设计者参与其中，通过有效的组织使工业设计更加快速。价值链

把供应链和制造有机地结合以快速响应市场需求。区块链可以将供应链各个协作环节的商流、物流、信息流和资金流透明可信，从而提高整个生产过程组织的效率。资产链运营管理的目的主要是为了使得工业产品在投产运营后可以更好地得到运维，提高用户粘性，延长其有效使用寿命，直到报废回收。通过相似产品间或者同行间的数据互信共享将会大大提高整个产业的服务水平。区块链可以帮助商业网络更方便的管理共享的流程，如图 2 所示。基于这样的模型，可以使得商业网络中的各个参与主体之间更好的进行共享，互信以及价值交换。

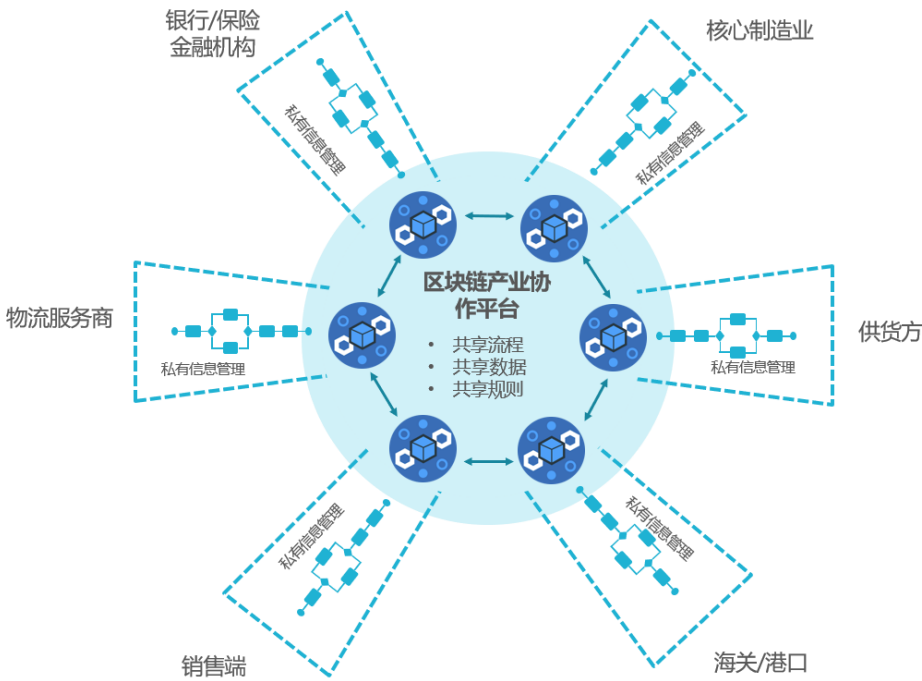


图 2 围绕制造业的区块链商业网络流程图

从监管角度来看，其交易可溯源、难以篡改、不可抵赖、不可伪造的特性，能使人、企业、物彼此之间因“连接”而信任，将带来前所未有的组织形态和商业模式。当监管部门以联盟节点的身份获得审阅权限模式介入的时候，由于联盟内相关节点的可见性，使得监管部门可以非常方便的实施柔性监管。通过区块链技术介入到工业互联网，

可以形成核心企业内（从设计，到生产，到销售，到服务，到回收的上下游的数据共享价值链）、工业企业间（生产运维经验分享的价值链）、工业互联网平台间的互信共享和价值交换。通过各类相关的数据可信共享来全面提高工业企业在网络化生产时代的设计、生产、服务和销售的水平。

针对当前工业互联网所面临的新需求和新挑战，区块链技术为工业领域高效协同和创新管理提供了“供给侧改革”的解决思路和方法：

1) 借助机器共识、共享账本、智能合约、隐私保护四大技术变革，为工业互联网提供在依据行业规范及标准，遵守企业间协定前提下的数据互信、互联和共享；

2) 其“物理分布式，逻辑多中心，监管强中心”的多层次架构设计为政府监管部门和工业企业相互间提供了一种“松耦合”的连接方式（政府与企业，企业与企业），在不影响企业正常生产、商业活动的最大限度前提下提供“柔性”合规监管的可能；

3) 其分布式的部署方式能够根据现实产业不同状况提供分行业、分地域、分阶段、分步骤、逐步，理性建设和发展的路径。

二、工业区块链技术方向

1. 工业区块链技术的思路

在工业应用中，为了实现机器、车间、企业、人之间的可信互联，需要确保从设备端产生、边缘侧计算、数据连接、云端储存分析、设计生产运营的全过程可信，从而触发上层的可信工业互联网应用、可信数据交换、合规监管等。区块链技术特点面向工业应用需求，将会在工业互联网的各个层面对其进行加强，从而实现工业数据共享和柔性监管。



图 4 工业区块链架构图

1) 可信数字身份⁵

为了实现物理设备的数字孪生，除了传统设备标识之外，对于一些高价值的设备，需要额外为每一个设备配备一个物理级别的嵌入式的身份证书一次写入到设备中。统一在设备出厂的时候，由国家级的设备身份认证中心颁发。所有由该设备产生的数据，在上传到云端的时候都需要由该设备的身份私钥进行签名。数据的使用方可以通过统一的工业 CA 中心来验证设备数据的身份。

2) 可信数据连接⁶

数据从设备端发送上来以后，经过网关，数据处理，存放在云端的账本里面。在这个过程中，数据可能被有意无意的篡改，这里需要有技术协议保障数据在进入账本前不会被篡改或者删除。

3) 可信边缘计算⁷

为了更快处理延迟，减少无效数据传到云端账本，降低网络的带

⁵ 详见参考文献【2】

⁶ 详见参考文献【3】

⁷ 详见参考文献【4】

宽压力以及存储压力，往往会在边缘侧进行计算。在边缘侧的计算资源的环境下，和云端的计算形成共识，产生可信事件。该事件可以直接触发交易流程，比如支付、派工等等。

4) 可信工业分布式账本⁸

针对于工业应用特点的分布式账本，除了具有传统的难以篡改、共识、受限访问、智能合约等特点以外，还需要具备针对于工业数据特点的账本读写能力，比如达到 10 万数据点每秒的账本读写能力，针对资产转移状态图迁移的快速读写能力等，以达到快速溯源的目的。

5) 可视化智能合约区块链服务

通过拖拽的方式，让区块链联盟成员可以非常方便的设计相关参与者（人、机、机构）的身份权限和规则，并且自动转化为相应的智能合约部署在区块链网络上，快速的生成协作工作的应用 APP。

6) 新型工业区块链应用 APP 以及柔性监管入口⁹

基于可信数据，相关参与方的数据、过程和规则通过智能合约入链后，默认就达到相关参与方的链上共享。除此以外，跨链相关参与方的共享更是达到可信共享、互惠互通的关键。同时，监管机构以区块链节点的身份参与到基于联盟区块链的工业互联网基础设施中，合规科技监管机制以“智能合约”的软件程序形式介入到产业联盟的区块链系统中，负责获取企业的可信生产和交易数据并进行合规性审查，通过大数据分析技术进行分析以把握整体工业行业的动态，具体如下图所示。

⁸ 详见参考文献【5】

⁹ 详见参考文献【6】

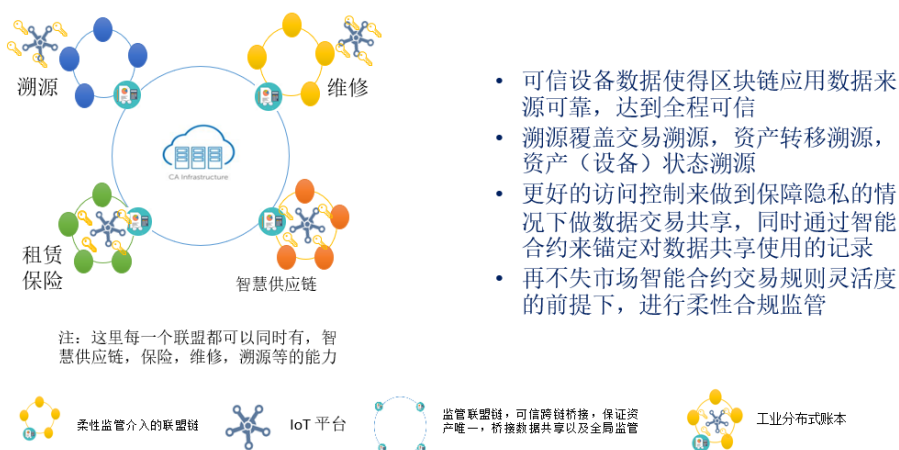


图 5 柔性监管在区块链中的作用

2. 工业区块链应用图谱

区块链使得相关参与方以更加安全、可信、准入的方式分享数据、流程和规则。工业应用和其他应用不同，其过程非常复杂，行业众多，相关参与方除了人、机构以外，特殊之处还包含工业设备。在整个链条中，除了人和机构的身份以外，更重要的是需要能够给工业设备分配一个区块链的身份，如此才可以让工业应用更为安全。于是，围绕着工业安全，便衍生出设备身份管理、设备注册管理、设备访问控制和设备状态管理的应用场景。当设备、人、机构都有了身份以后，工业生产组织中就可以通过共识的智能合约（智能合约代表了集中式协调好的生产组织逻辑，通过分布式的共识来执行）以及分布式账本来刻画组织相应的生产过程，使其过程更加透明，从而来提高生产组织的效率。其中典型的应用场景包括供应链可视化、工业品运输监控、分布式生产以及维修工单管理等，均可以借助区块链的透明性或者智能合约集中式“大脑”协作性，从而提高工业生产过程效率的场景。

区块链工业应用图谱

数据共享及 柔性监管	设计共享	模型共享	MRO共享	柔性监管
	<ul style="list-style-type: none"> 提高设计者营收 提高工业品设计效率 	<ul style="list-style-type: none"> 机理模型和数据模型共享，带来模型共享透明化以及收益 	<ul style="list-style-type: none"> 生态圈对MRO记录的共享提高MRO效率 	<ul style="list-style-type: none"> 在不失市场灵活度的前提下进行共享监管以及交易规则监管
服务型制造 升级	供应链金融	融资租赁	二手交易	工业品回收
	<ul style="list-style-type: none"> 商流物流可视化 提高资金率，降低生态圈运营资金压力 	<ul style="list-style-type: none"> 设备权属清晰 租赁物监控，还款管理，更高效再融资 	<ul style="list-style-type: none"> 保险维修记录透明化 二手交易历史，二手定价透明化 	<ul style="list-style-type: none"> 绿色回收，安全回收 回收融资，回收监控
工业制造效率提高	供应链可视化	工业品运输监控	分布式生产	维修工单管理
	<ul style="list-style-type: none"> 库存优化，设备使用率提高，降低空置率 减少协作摩擦 	<ul style="list-style-type: none"> 运输状态监控 联运协作效率 	<ul style="list-style-type: none"> 智能合约来控制生产 提高分布式协作效率 	<ul style="list-style-type: none"> 维修记录不可篡改 设备状态通过智能合约触发约定的工单
工业安全	设备身份管理	设备访问控制	设备注册管理	设备运营状态
	<ul style="list-style-type: none"> 统一的设备身份 设备状态不可抵赖 	<ul style="list-style-type: none"> 统一的访问控制 访问操作过程和历史对设备相关方透明 	<ul style="list-style-type: none"> 设备软件注册透明 设备软件升级历史对相关方透明 	<ul style="list-style-type: none"> 状态数据不可篡改 状态数据溯源

图 6 区块链工业应用图谱

产业生态的复杂化及多样化，使得以往单一链条中某一家或两家巨头可以轻易解决的问题变得棘手。往往需要借助金融机构、科技机构来共同提供服务，也同时从这个过程中构筑服务型联盟。工业企业以盟主的身份通过区块链来搭建这样的服务型联盟，提供供应链金融服务、融资租赁服务、二手交易服务、工业品回收服务，帮助制造业的服务型升级，除了带来传统生产制造以外的服务收入外，也增强了产品服务能力、用户粘性以及生态粘性。

3. 区块链应用于工业制造过程的优势

一方面，区块链帮助工业设计快速发展。工业产品的设计涉及到多个环节，这些环节之间由不同的参与主体所组成。其间的协作关系可能通过系统集成完成，或者是传统的手工文件的方式完成，这些方式都会有意无意的导致一些错误和摩擦从而降低了协作设计的效率。通过区块链智能合约刻画协作的过程，使得相关的文件上链，全程透明，可溯源而提高协作效率。同时，对于一些可以由工业企业的外部

设计者参与的设计项目，比如零配件设计，完全可以组建一个更加开放的设计联盟，通过一定的激励组织方式使得外部的设计者更加积极的参与设计，从而提高整个设计的速率和质量。

另一方面，区块链促进工业生产更加高效。利用区块链技术将分布式智能生产网络改造成成为一个云链混合的生产网络，有望比大部分采用中心化的工业云技术效率更高、响应更快、能耗更低。而生产中的跨组织数据互信全部通过区块链来完成，订单信息、操作信息和历史事务等全部记录在链上，分布式存储、不可篡改，所有产品的溯源和管理将更加安全便捷。数字化工厂端采用中心化的工业云技术，而中间的订单信息传输和供应链清结算通过工业区块链和智能合约来完成，既保证了效率和成本，又兼顾了公平和安全。每一种商品由数字化工厂提供，每一个样品都有“数字化双胞胎”，并且这些数字化双胞胎全部通过智能合约与产业链上下游相连，终端用户的一个订单确认，会触发整个产业链的迅速响应，全流程可实现数据流动自动化，助推制造业的转型升级。

三、区块链在工业安全中的应用

1. 设备身份管理

(1) 问题描述

设备身份认证模型，本质上就是设备端向远程的服务端证明自己的身份，以确认在端侧的动作都是该设备或者该设备的操作者发出的，这个模型的两个端点分别是远程的服务端和设备端本身。目前，主流的可信身份协议包括应用于网银 U 盾的 PKI/CA 协议，以及近几年比

较火热的 FIDO¹⁰ (Fast Identity Online)、IFAA¹¹ (Internet Finance Authentication Alliance) 两大统一身份认证标准。

当前设备端数字身份存在以下问题：首先，随着各种工业互联网应用的兴起，工业互联网设备端对于安全可信的数字身份的需求与日俱增，急需分布式具有可伸缩性的身份管理解决方案；其次，设备端数字身份与其拥有者或者使用者身份之间，其映射关系的管理需要设备端能够验证请求方的身份，以实现人与设备、设备与设备之间的高效、可信安全地交换设备状态信息；最后，对设备的全生命周期管理过程，需要对设备的从属关系等进行可信的难以篡改的溯源查询，从而在因设备使用所导致责任认定时能获取具有公信力的仲裁依据。

(2) 区块链解决方案

对工业设备的电子身份而言，尤其是比较昂贵的工业设备来说，除了传统的设备标识用来唯一的标识和检索设备外，需要额外为每一个设备附加一个物理级别的、不可篡改的嵌入式身份证书(或者芯片)。这个证书统一在设备出厂的时候由国家级的设备身份认证中心颁发，并通过该身份私钥对上传到云端的、该设备产生的所有数据进行签名。数据的使用方可以通过统一的工业互联网 CA 中心来验证设备数据的身份。

通过构建基于区块链作为后台账本系统的设备身份管理体系，能够以区块链智能合约共识执行的方式获取和验证设备身份，并且建立从个人实体身份到所拥有的端设备身份之间的映射关系，从而以授权模式使得设备端也能够验证请求方的身份是否具有访问权限，从而实现设备端与使用者之间双向可信安全的可追溯验证。

¹⁰ FIDO：线上快速身份验证，详见参考文献【7】

¹¹ IFAA：互联网金融身份认证联盟，详见参考文献【8】

(3) 对参与方的价值

对于设备电子身份的验证者而言，通过建立统一的基于区块链的复合型电子身份管理平台，能够大大降低其应用端验证设备身份的成本。当设备接入应用网络之后，设备端与应用服务之间的每一次数据交互，都可以采用身份管理平台的智能合约调用来一致性的进行验证和行为记录，从而形成不可伪造不可抵赖的设备操作行为历史，为各类争议事件的处理和仲裁提供具有公信力的依据。同时，设备端通过直接访问电子身份管理平台智能合约，能够实时验证访问者身份是否符合预设身份条款以及在设备离线状态下，依然能够通过验证身份管理平台 CA 身份的签名的方式，防止不安全网络通信所带来的潜在的通过伪造身份认证结果，以绕过身份认证机制等风险。

对设备电子身份的拥有者而言，通过复合型电子身份管理平台的建立，能够为其提供灵活一致的端设备到拥有者之间的各种关系的一致可信安全的维护。设备的整个生命周期内任意时刻的拥有者关系以及访问权限信息能够得到统一的管理，而无需使用者花费过多成本对其名下或者多重身份下的多个设备的使用和管理权关系进行维护，并且也便于设备从属信息变更记录的妥善保存和不可篡改。

2. 设备访问控制¹²

(1) 问题描述

当前，在工业互联网设备采纳速度加速增长，且现有的传统孤岛式安全设备无法胜任工业互联网网络监视职能的现状下，需要各类安全措施来防止工业互联网安全危及公司网络。工业企业需要整合自动

¹² 详见参考文献【9】【10】【11】

化安全框架,该框架要能执行一系列关键功能,比如流量及行为监视、安全网络访问、协同威胁响应等等。黏合了访问控制和安全策略的集成安全方法,不仅可为企业带来建设强安全所需的可见性,还能带给企业检测、预防及响应威胁的自动化过程。该方法确保了设备情报共享、访问控制,以及行为异常的设备快速清除,对关键业务交易和工作流的影响可降至最低。为此,需要建立稳定可靠的工业互联网内外访问控制机制,实现网络内设备间可信可控的互连机制,设备对外受信任的访问控制以及外部网络对设备端的可信可控命令与数据访问。同时也需要来自外部对内网设备的访问进行可信可靠的日志记录,为发生设备被攻击事故之后对攻击来源的追踪提供可靠情报。

(2) 区块链解决方案

区块链凭借其自身特性,非常适合解决工业互联网的访问安全问题。基本思路是利用区块链技术将访问者对设备的访问权限的策略写入,并通过智能合约对这些策略进行管理。访问权限由设备所有者通过调用设备管理智能合约定义并发布在区块链上。因此,合规用户可以在任何时间查询当前持有者对某个设备执行何种操作的权限。方案中主要活动者包括:资源所有者(可以管理多个设备)、设备访问者(用户或设备)。设备所有者对他的所有设备的访问进行控制,负责创建、更新、撤销他们的访问权限。设备访问者对设备执行的一切操作需要符合设备所有者所定义的所有访问控制策略规则。访问控制策略存储在区块链上,利用区块链智能合约来保存访问控制策略并控制其执行。所有设备通过加密网络或加密中继节点与访问控制区块链建立连接,由设备所有者为其注册并对其进行访问控制。

该模型主要包括如下四个主要流程:新设备注册;策略创建;请求访问和策略更新。

- 1) 新设备注册：当一个新的设备加入到网络，设备所有者为其生成一密钥对，公钥作为其在访问控制区块链上的唯一标识，并对设备的一些参数进行描述，用其私钥进行签名，而后设备所有者调用访问控制智能合约完成设备注册。当交易完成后，该设备的唯一标识对所有用户公开可见，用户可以在区块链上查找到相关的设备。
- 2) 策略创建：当设备访问者 B 要访问某个受保护设备 A 时，首先得获得相应的访问授权。他可通过将目标设备标识 ID 和相应的操作发送给设备 A 的所有者，后者将为其创建相应的访问策略，并生成访问通行证，并用其私钥对访问策略签名后调用智能合约注册访问策略。网络验证节点验证有效后将其加入到区块链中，从而完成访问的授权。
- 3) 访问请求：当访问者 B 请求某个设备 A 已授权的服务时，他首先查询区块链上是否存储该所需的授权，如存在则请求访问者 B 通过自己的私钥解密设备 A 的访问通行证；获取访问通行证以后，访问者 B 可以通行证以及访问设备 A 的所有者的公钥为输入，调用智能合约进行访问鉴权，设备 A 所有者的智能合约对访问通行证和访问权限进行审查，如果审查过程通过，则返回访问所需的一次性令牌，以及设备在所有者所管理的内网段中的地址，否则拒绝。
- 4) 策略更新：资源所有者任何时候都可以通过调用智能合约撤销或者更新授予某个请求者的权限，只需要简单地调用策略创建智能合约，在交易中传入一个新的权限集合，当权限集合为空时，表示撤销其所有权限。因为交易在区块链中是以时间顺序记录的，

所以该撤销交易可以覆盖所有前面针对该访问者和设备的授权记录。

(3) 对参与方的价值

对设备的拥有者而言，通过基于区块链的设备访问控制机制，能够以统一的方式实现对设备的访问规则的管理，包括注册和撤销设备访问规则，实时自动地验证对设备的访问请求，从而能够支持设备端的网络隔离，保护端设备不直接暴露于外部网络环境中；以区块链链上可验证的方式管理对内网设备的访问权限管理，避免了设备拥有者审阅验证访问请求的繁琐性，降低运维成本，同时也对访问者的访问踪迹进行基于区块链的可信记录，保障了设备拥有者的权益。

对设备访问者而言，基于区块链的访问控制机制简化了其访问和使用链上所注册的所有设备的流程，避免了繁琐的访问申请和认证过程，从而提高了设备端的有效合规的使用率，降低了设备使用者租赁和使用端设备的时间成本。

3. 设备注册管理

(1) 问题描述

工业互联网应用非常需要低能耗安全便捷的命名服务，为数以千万计的终端工业互联网设备提供一致的公共工业互联网名字空间服务，从而使得位于不同管理者管辖范围内的终端设备能够在同一个名字空间服务内实现有限可控的交互式访问和定位。而区块链难以篡改特点使各类数据可以进入工业互联网、区块链中的加密和信任机制，为家庭或公共环境中大量设备的连接访问提供了可能，也为隶属于不同所有者管辖范围内的设备能够通过一致的方式注册到同一工业互联网中进行可信的设备访问提供了可能。同时区块链分布式体系结构，

安全性以及可扩展性和便于审计的特点，对于搭建具有高稳定性和一致性的工业互联网域名服务基础设施具有非常重要的价值。

(2) 区块链解决方案

建立工业互联网域名服务体系的总体思路：一是工业设备注册机制能够构建在工业互联网标识解析体系之上。二是以不可篡改的方式在设备端存储工业互联网入网身份。三是身份注册和识别服务（如工业互联网域名解析中心）建立从设备唯一标识码到该设备的公钥之间的映射关系，使得设备端传输的数据能被接收方鉴定真伪并且数据发送方身份不可冒充，发送方所发送的数据在发送过程中不可篡改、不发生泄漏。四是身份注册和识别服务对数据接收方对设备的公钥的访问控制管理，建立分级的分布式工业互联网域名解析节点拓扑结构，分担对海量入网设备的注册身份查询开销。

工业互联网设备注册管理中心通过基于区块链组织端设备身份等元信息与其唯一标识之间的映射关系，为设备访问提供了统一的身份认证机制。包括对设备的身份以及元信息在设备上线时进行快速注册，并通过设备注册管理服务对设备的全生命周期内的所属关系转让、使用状态数据和使用历史进行全方位可信记录，并且通过对设备植入可信硬件存储设备身份证书信息以支持完全安全性。

(3) 对参与方的价值

对设备拥有者而言，其所拥有的工业互联网设备能够以一致的低成本的方式、以可信身份快速接入公共工业互联网平台，从而以去中心化的模式来实现端设备之间的互信。此外通过统一的设备注册服务，端设备的所有计算能力和服务接口等公开的元信息，能够以智能合约的方式提供在工业互联网平台上，使得该设备的使用价值具有更高的

可见性和共享性。更进一步，设备的全生命周期内设备所发生的固件升级功能更新等事件，都能以一致的方式共享给所有具有访问权限的参与方，从而降低设备端一致性信息维护的成本，并减少在设备转让过程中交易双方的信任成本。

对工业互联网设备注册服务提供方，通过建立工业互联网设备分布式注册信息管理服务，能够更有效的形成联盟和社区，从而吸引更多的物联网设备拥有者加入到社区中注册分享自己的设备与服务，从而形成良性循环。同时，基于区块链的设备注册服务以物理分布式的方式架设，降低了服务单故障的风险，减少了服务提供方的运维成本。最后，服务提供方通过对使用者对使用设备的各种查询进行一定的收费，能够增加收益。

4. 设备运营状态监管

(1) 问题描述

传统模式下，企业直接采用工业互联网平台进行设备状态数据采集存储过程中，工业互联网数据的可靠可信由这个工业互联网平台来保障，具有单点信任失败的可能性。而工业互联网数据如果无法获得足够的可信性，对于企业而言就无法产生信用价值。此外，设备运营数据通常由于产业上下游之间的关联，而分布在不同的参与方维护的物联局域网中，使得跨参与方跟踪设备信息非常耗时，并且参与方还要承担共享设备数据可能引起的商业隐私泄露风险。如果各参与方将工业互联网设备运营相关数据加入同一区块链系统，通过区块链的数据共享以及隐私保护特性，在保证企业商业隐私的前提下，进行一致性状态数据查询，实现设备端数据可信低成本的共享。

例如 在传统的供应链运输场景中，需要经过多个主体，例如发

货人、承运人、货代、船代、堆场、船公司、陆运（集卡）公司，还有做舱单抵押融资的银行等业务角色。这些主体之间的信息化系统很多是彼此独立，互不相通的。一方面，存在设备运营状态数据做伪造假的问题，另一方面，因为设备数据的不互通，出现状况的时候，应急处置没法及时响应。在这个应用场景中，在供应链上的各个主体部署区块链节点，通过实时（例如船舶靠岸时）和离线（例如船舶运行在远海）等方式，将传感器收集的数据写入区块链，成为无法篡改的电子证据，可以提升各方主体造假抵赖的成本，更进一步地厘清各方的责任边界，同时还能通过区块链链式的结构，追本溯源，及时了解物流的最新进展，根据实时搜集的数据，采取必要的反应措施（例如，冷链运输中，超过 0℃ 的货舱会被立即检查故障的来源），增强多方协作的可能。

（2）区块链解决方案

基于区块链的设备运营状态监管通过将上下游所有参与方企业的设备所产生的数据以参与方身份写入区块链运营数据平台，从而使得这个产业链上上下游企业所有设备端运营数据能以可信的一致的方式写入到共享分布式区块链账本中。通过区块链不可篡改账本记录，记录设备相关的运行状态数据。其中入链的工业互联网运营数据带有其拥有方的身份签名，从而明确界定数据提供方的责任，不可抵赖不可污蔑。

而在设备端运营数据共享方面，通过智能合约接口限制并实现对设备运行数据的访问可控的查询和溯源，使得相关参与方可以在受限访问的条件下监控、访问、分享和分析设备的最新的状态和交易信息。

此外，对于监管机构，通过将监管方的身份加入硬件安全模块的例外名单，使得监管机构能够通过调用区块链智能合约的方式低成本

高可信度的获取整个产业链中所有运营状态信息，从而实现低介入的柔性监管，并以低成本实现监管统计的可信审计监察职能。

（3）对于参与方的价值

对设备拥有和服务提供方的价值在于，设备数据存储在一个安全、完整、分布式记录系统中，只有相关参与方才能授权操作，可信共享同时为数据隐私保护提供保障。并且设备状态数据不可篡改，提高数据可信度。此外支持设备状态数据溯源查询，为其他参与方提供可信数据源。

对监管方的价值在于能够以较小的介入代价对设备运营进行柔性合规监管。

四、区块链提高工业生产效率的应用

1. 供应链可视化

（1）问题描述

在供应链管理中各种制约因素的“能见度”或认识程度十分重要，它要求透过各种纷繁复杂的表象洞察供求关系的规律，从而为更好地平衡协调整个供应链夯实基础。可视化技术可以帮助解决所谓的“能见度”问题。比如说，它可以在企业准备供应计划时将各种不同类型的包括原材料的供应，企业内部生产部门 and 外包企业产能的使用情况，物流公司的配送的能力等制约因素用动态图形表示出来，这样一来就能轻易找出供应链中最薄弱的环节；关于供应计划提到过可视化技术对企业降低库存量的影响，企业通过向供应商定期提供供应要求以及商议供货合约控制供应方面的变化并确保稳定的供应量。供应链可视化就是利用信息技术，采集、传递、存储、分析、处理供应链

中的订单、物流以及库存等相关指标信息，按照供应链的需求，以图形化的方式展现出来。供应链可视化可以有效提高整条供应链的透明度和可控性，从而大大降低供应链风险。

传统供应链可视化管理解决方案通常是将各个参与方的内部业务数据服务进行有限的封装和连接，使各参与方之间可以相互通过协定的数据服务接口和格式如电子数据交换进行信息交换。这类方案有如下无法解决的痛点。一是单个参与方系统只能掌控自己的事务记录，无法有效追踪事务的全生命周期状态信息。二是当发生异常冲突信息的时候，需要多方共同协调调查各自系统排查原因。三是供应链中没有一个参与者对采购订单生命周期有充分的可视性。四是虽然电子数据交换能提供一对参与方之间的数据交换，却无法提供对所有相关利益者的采购订单状态的整体视图。

（2）区块链解决方案

基于区块链技术的供应链可视化解决方案中，在信息存储方面，通过各参与方维护同一套多节点、分布式且具有访问控制能力的区块链网络来记录买方、卖方、物流方物流状态信息，以实现可信、安全和可追溯的数据录入和基于身份认证机制的访问控制下的数据共享。各参与方将订单等信息的全生命周期查询功能按需实现为智能合约，在数据拥有方开放访问权限的情况下，通过调用智能合约接口以身份可验证、访问可控的方式来实现可信可控的参与方之间的数据交换。

首先，通过引入区块链技术来实现供应链事务的多角度、多维度和多粒度可视化，能够避免供应链上下游参与方之间形成的信息孤岛和不对称，通过分布式记账方式避免供应链参与方的单点故障风险，保证了该框架下的供应链服务的健壮性。其次，通过智能合约对单据数据进行入链的过程减小了对手方信息录入不一致的情况，同时也对

交易双方各自录入的交易数据防止被篡改的风险，从而在发生商业纠纷时能够从同一份的账本中读取相关数据为进行公平的仲裁提供了保障，并且提高了纠纷处理的效率减少核对的时间和人力成本。再次，区块链技术通过基于身份的访问控制可以实现基于身份规则的数据可见性控制，使得监管机构能够通过合法身份调用各参与方的智能合约，获取供应链上下游交易订单的全生命周期信息相关的宏观和微观视图，实现柔性监管。最后，区块链去中心化的一致性账本实现了各参与方之间交易内容对相关参与方可见，同时又使得其他处于该供应链的参与方账本能够通过保存不透露事务内容的摘要的方式，对事务的无篡改性进行鉴定，避免暗箱交易虚假交易等风险。

(3) 对参与方的价值

对零售商而言，基于区块链的供应链可视化方案提供了全方位可信的订单项下的完整的供应链视图。对零售商可随时查看每一笔订单的各环节的处理状态，通过区块链网络直接从分布式共享账本中查询各生产供应商的供货情况，批发货物的物流情况，为供应链的可视化提供可行可靠的数据来源。

对生产商而言，基于区块链的供应链可视化方案不仅为以上数据可信采集提供了有力保证，而且也减少了其他参与方提供以上数据信息的额外人力成本开销和数据不一致所造成的风险。而且该方案也简化了生产商与其他参与方之间商业网络搭建的复杂度，避免了在传统框架下对参与方所提供的接口逐一调试的复杂性，通过区块链平台提供的统一的智能合约接口获取参与方数据，简化了网络结构变化对供应链前端应用的影响。

对物流服务方而言，通过该解决方案能以可信和访问受控的方式，将所有订单的物流信息实时的通过智能合约调用传输给其他参与方的

应用端，以实现方便快捷的货物物流溯源。例如零售商或物流服务提供方本身的应用端可以通过智能合约查询某件商品的发货情况并反馈给消费者。同时，物流服务提供方也可汇总所有参与方提交的物流订单的相关汇总历史信息，例如最近 2 个月各个地区的总运输需求量等，为物流服务方合理安排运力等决策性问题提供有价值的参考。

对监管部门而言，通过以合法身份接入到供应链可视化系统中，能够快速便捷的查看所有供应链中所发生的订单的生命周期，从而当有商业纠纷需要仲裁时，能够以一致可信的方式从区块链账本中获取所需证据，降低冲突发生时处理的成本和处理效率。

2. 分布式生产¹³

(1) 问题描述

分布式生产管理系统涉及跨越供应商、制造商和客户各业务活动的管理协作，包括客户订单管理、物料需求计划制订、物料采购、运输管理、库存管理、产品制造、销售管理、费用核算、客户管理等，它的运行直接影响到各协作企业的生产效能的发挥。分布式生产管理强调产能综合集成与协调，从而对涉及多个参与方的生产过程进行全局有效控制，提高分布式生产系统的集成性、协调性及过程企业对存在的经营异常、市场动态变化的快速响应能力，充分发挥生产管理的运作效能实现分布式生产过程中所有企业整体优化。

(2) 区块链解决方案

基于区块链的分布式生产管理解决方案，通过将供应链中上下游企业生产运行过程中各参与方各部门各环节产生的状态数据，以一致

¹³ 详见参考文献【12】【13】【14】

的可信的方式写入区块链，生产过程监控通过区块链共享账本技术的赋能渗透到分布式生产的各个环节，从区块链分布式账本中通过智能合约接口实现对供应链全过程状态数据的可信查询和追踪。

在区块链框架下，生产过程监控为上下游企业以及企业内部各部门之间的统计信息一致性共享和访问控制可控提供有力保障。基于区块链的分布式生产模式，能够更大程度上降低供需关系的响应延迟，使得生产厂商更靠近需求端，需求端的订单发布能够通过一致的智能合约方式来触发，从而减少了订单在需求方与各相关参与方之间来回确认的额外代价，也使得各个生产环节中的参与方能够获取一致的订单内容中，根据自身产能情况优化资源配置更高效的完成生产任务。通过分布式生产，订单的生产过程得以实现最大程度的并行化和自动化，从而加快了整体生产效率。并且通过订单的全生命周期监控，需求方能够实时获取可信的来自各生产方的生产状态信息例如当前生产进度，物流配送情况等，使得需求方获得更好的订单追踪溯源的体验。

(3) 对参与方的价值

生产过程上的上下游企业以及企业各部门之间的生产数据来自于区块链一致性共享账本，能够减少各商业实体在分布式生产协作网络中可信一致地分享数据的成本，同时降低各商业实体之间统计信息冗余和不一致所造成的延后风险，提高分布式生产网络中各个企业的生产状态视图的完整性和准确性，为企业合理配置资金和资源，降低因为供需关系预测不一致不准确所造成的资源浪费。

对于需求提供方，分布式生产过程为其提供了最大化生产可定制化的灵活度，以及方便快捷地对订单各个生产环节的执行过程进行全生命周期高效查询能力。需求提供方通过调用分布式生产平台

的智能合约的方式来提交生产订单，并使得各订单承接方能够通过智能合约精确获得其所需生产的物品的数量以及交付时间，为订单处理过程需求提供方的维权行为，提供了一致的不可篡改的订单记录。同时，订单的整体生命周期信息包括订单的处理时间，物流配送时间以及出厂检验合格认证等一系列的订单相关信息，都以一致不可篡改的方式由各生产承接方更新到区块链网络之中，使得需求提供方能够实时的跟踪订单处理状态和进度。最后，通过区块链提供智能合约查询接口来查询各生产商的可公开的聚集信息，例如最近一月总体接单成功率，被投诉次数等能够使需求提供方第一时间选择更可靠的生产承接方，从而保护需求提供方的根本利益，规避潜在的订单交付风险。

3. 工业物流运输管理¹⁴

(1) 问题描述

工业物流的理念是以集中采购为主，零部件加工为核心，为工业企业产品出口搭建平台，引导仓储、运输、配送企业发挥协同作用，提高社会资源的综合利用效果，降低企业间的互动成本，面向全球工业企业提供延伸和成套服务的系统工程。其中至关重要是订单的协作履行和运输状态的监控。运输订单的协作履行是由于工业品物流通常会发生因为跨境进出口或者改变运输工具而发生的承运商协作接力运输的情况。为了优化运输资源配置，需要与协作承运商达成快速有效的承运衔接计划，实现运输状态实时共享，从而规避因上游运输迟滞导致的运力浪费风险。而对于运输中间状态的监控则能够使得客

¹⁴ 详见参考文献【15】【16】

户实时的掌握所运货物的当前状态以及运输进度信息，实现提升客户经济效益、服务水平及企业竞争力的三大使命。

然而，通常是由于缺乏有效的上下游运输企业的信息共享而导致运输路线、批次不合理，物流成本偏高；不能适应外界环境变化的需要，货主或客户的要求难以实现；过程中介太多，过于复杂，不利于企业准确把握商品在库或在途情况；缺少流程的外包与合作，资源配置不合理。

（2）区块链解决方案

区块链作为一种可信协作的分布式数据库系统，能很好地加速需要多业务参与方深入协作的商业活动。物流企业的业务天生需要与不同参与方（商品供给方、商品需求方）深入协作，因此在可见的未来，区块链技术将成为物流企业的基础技术。这对于致力于构建数字化物流的企业而言，既是一种挑战，也是跨越式发展的机遇。如果在前期能使用区块链技术快速构建和建立物流流程的系统，对于物流企业之间而言，不仅能大大提升自身物流信息共享的效率，加速不同参与方之间的信息流通速度，还能创建出新的业务模式，拓展物流企业的业务范围，从原来的单纯的物流服务、物流管理，纵深向供应链管理和供应链优化发展，在整个商业生态链范畴去加强上下游协作，提升效率，增强风险控制，从全生态链的整体效率结构性提升中去获得自身的业务外延发展及收入结构转型变革。因此，工业物流运输行业迫切需要一种基于区块链的物流运输管理协作平台，助力业务的发展和转型。

针对物流运输具有多流程的特点，以及物流运输过程中各个参与方需要及时的可信的共享物流订单的处理状态和溯源统计需求，此处提出采用业务流程建模的行业性标准“业务流程和模型标记法”来描

述业务流程，使得业务人员与开发人员都可以很快上手进行流程设计，实现用户获得“所见即所得”的体验。同时，为实现各个参与方能及时共享订单各环节的数据，将“业务流程和模型标记法”描述的流程中各个环节中所产生的状态信息数据，计入区块链分布式共享账本，并提供相应的智能合约作为查询接口为前端应用展示可信的、安全的、所见即所得的物流订单全生命周期数据。从而，通过这种全局的透明可见性，可以大大的提高工业物流中常常会遇见的多式联运的协同效率。

(3) 对参与方的价值

作为工业物流运输企业，可以以统一的接口实时查询某订单的上游物流企业当前处理订单的状态；通过对所有物流订单的交付时间进行汇总，合理配置旗下所有运力实现效率最大化；通过对运输状态的及时跟踪，将状态信息提早反馈给下游承运商以降低整个运输过程的违约风险。

作为上下游用户，通过物流企业所提供的应用端能够实时查看订单的处理中间状态，获取所关注的订单的处理中间状态信息，并以图形化的形式呈现整个流程中当前订单的处理状态，从而获得直观可信的物流订单全生命周期状态信息。

4. 工业维修工单管理

(1) 区块链解决方案

基于区块链的维修工单管理平台通过以区块链节点的模式来组织所有相关的维修部门，将整个维修工单的触发，响应，任务分配，以及处理结果反馈确认等都以智能合约接口的方式对外提供服务，从而将原本各自为政，相互独立的维修部门有效组织起来，共同协作并

以清晰的责任边界来完成维修工单以提高客户满意度。同时所有维修部门对一份工单的处理响应过程能够以一致的可信的方式存储于区块链之中，并且在需要跨维修企业的部门间维修工单的统一处理过程中，以访问可控的方式向其他维修企业的部门分享相关工单的有关信息，从而高效地以清晰的责任边界完成多维修方协作。

为保证维修工单的全生命周期能够被安全访问，所有工单处理过程中所产生的中间状态信息需要进行严格的访问控制，用户私密信息只在维修工单处理方以及用户之间进行共享，并以维修方的私钥进行加密后存储于区块链以保证安全；而对于可公开的工单部分信息则以一致可见的方式存入区块链，以方便各种应用场景下的溯源和统计需求。

此外维修工单的申请能够同时支持手动和自动两种模式。手动模式可以是由用户通过应用客户端向维修工单管理平台区块链调用智能合约触发维修工单。而在自动模式下，用户可为其所管辖的工业互联网设备设置规则，授权设备端直接在规则满足的条件下自动调用智能合约触发预设的工单。

(2) 对参与方的价值

对维修服务提供方而言，其所接收到的维修工单的全生命周期内所有数据能够以不可篡改一致可信的方式存储于区块链之中，从而明确其责任边界，并降低服务提供方内部部门之间以及多维修服务提供方之间一致可信共享维修工单中间状态的代价，同时可以很方便的为维修服务相关方之间进行清结算。

对监管以及上游企业而言，通过维修工单平台可信快速共享所需的指标数据为其政策决策制度提供有力依据，而相关制造业企业则能

够通过调用维修工单平台所提供的智能合约数据接口准确衡量其产品的使用稳定性和故障率等重要指标，从而为其生产决策和产品改进等提供重要依据。

对终端消费者用户而言，通过维修工单管理系统能够在解决其保修诉求的同时，最大限度地保护其个人隐私不泄露以及其维修工单内容的安全访问控制。并且通过支持端设备状态通过智能合约触发约定的工单能够实现对使用过程中异常状况的早期预警和维修，从而降低使用风险。此外，通过维修工单的全生命周期管理，用户能够精确实时查询和溯源其工单被维修服务方处理的每个环节信息，以增强其用户使用体验满意度。

五、区块链助力服务制造升级的应用

1. 围绕工业企业的供应链金融

（1）市场背景

供应链金融的目的是为需要资金的企业带来流动性，通过流动性的注入一方面使得资金需求方的流动性压力释放，同时对于流动性提供者带来收益。2017 年 10 月，国务院办公厅发布《关于积极推进供应链创新与应用的指导意见》，鼓励供应链核心企业联合商业银行等建立供应链金融服务平台，为供应链上下游中小微企业提供高效便捷的融资渠道，脱虚向实，服务实体经济。

（2）区块链解决方案及应用价值

在供应链金融的过程中有四种角色，交易结构管理者，风险管理者，风险承受者，流动性提供者。供应链金融的关键是风险控制，借助资金杠杆带来收益。当有信用可用的时候用信用，当没有信用可用

的时候用结构。通过建立交易结构的闭合性，垂直型以及自偿性来做到风险控制。其本质是：为有钱人理财、为无钱人融资；增值是目的、信用是基础、风险是边界、杠杆是手段；最终需要着眼于服务实体经济。

制造业由于其特殊的核心地位，可以很自然地围绕自身建立上下游的交易结构闭合性，垂直性，同时通过合理的自偿性交易结构设计，让交易结构的执行通过生态链上多方共识的区块链智能合约来执行，便能做到贸易真实性刻画，从而实现贸易向下融资。在供应链金融产品自偿性设计的基础上，区块链的介入主要是需要通过给参与交易的人，机构，货物一定的身份，各个成员通过身份认证加入到产业联盟中。在产业联盟中，参与方通过区块链智能合约来进行商流，物流的交易结构执行，刻画主体，节点，流程以及关系，使得交易结构不可篡改，不可抵赖，达到交易可信的目的。制造业核心企业可以通过扮演贸易结构管理者，以及风险管理者，甚至风险承受者，联合上下游，联合仓储物流企业，以及流动性提供者（比如银行）组成供应链金融联盟链，进行应收账款融资，订单融资，仓单融资以及购货融资。

通过区块链的不可篡改，不可抵赖，可溯源的特性对交易真实性，交易自偿性增信，为制造业核心企业的整个生态链引入更低成本的流动性。同时，工业制造企业由于在上下游生态中的盟主地位，可以通过搭建这样的产业金融联盟，扮演交易结构管理者，风险管理者，风险承受者和流动性提供者来获得服务型的收益，从而达到服务型制造升级的目的。

2. 工业设备产品租赁

(1) 市场分析¹⁵

中国融资租赁行业在近十年成长迅速，融资租赁企业数量迅速上升，融资租赁市场不断壮大，从 2007 年到 2016 年，中国融资租赁市场规模从 240 亿元增加到 53300 亿元。在“新常态”背景下，旨在解决中国供需关系结构性失衡的供给侧改革为融资租赁发展带来了历史性机遇。基于经济增长“新常态”下 5% 的 GDP 增速假设，中国融资租赁行业未来五年的复合增速预计将降至 16%，交易规模至 2020 年约达 9.8 万亿元。对比成熟市场，虽然中国租赁市场增长较快，新增余额也位居全球市场前列，但我国租赁市场渗透率只有 4% 左右，远远低于欧美国家 20%-30% 的平均水平，融资租赁的发展潜力依然很大。中国融资租赁行业在快速发展的同时也面临着很多问题，包括资金短缺，融资渠道单一；经营范围较小，业务形式单一；管理体制不顺，经营不规范，没有建立规范的内部管理和风险控制体系；缺乏有效的监管，租赁行业人才匮乏等等问题。

(2) 区块链解决方案及应用价值

工业产品，尤其是重工业产品的销售，比如各类机械，飞机，轮船等等往往都可以通过租赁的方式进行新销售，从而可以使得销售方式从按件销售模式进入到按设备服务模式，降低购买方的一次性资金投入压力。区块链技术提供的一致完整的账目可以提高参与方（厂商、出租方、承租方、银行等）之间的信任度，提高执行效率，减少争议，减轻安全和欺诈风险。

¹⁵ 详见参考文献【17】【18】

使用区块链技术搭建的融资租赁区块链系统，利用区块链共享账本、记录不可篡改等特性，结合工业互联网中设备传感器的数据和分析，对租赁资产提供全生命周期的价值管理，实现再销售、租赁使用、融资服务过程中的可信记录，增强交易的透明性，减少欺诈，简化流程，提升设备和资本的流转效率，有助于形成新的业务生态模式。风险控制能力是融资租赁公司最关键的核心竞争力之一。因为区块链不可篡改性、可追溯性能够同步制造商、经销商、银行和租赁公司之间的数据来往，并极大地减少错误，保证流程的安全，为所有参与方提供完全的审计跟踪。同时也可以通过区块链技术分析和监测承租人交易行为的异常状态，及时发现并消除欺诈行为。这样既减少了人工成本的投入，也提高了交易的安全度和可控性。

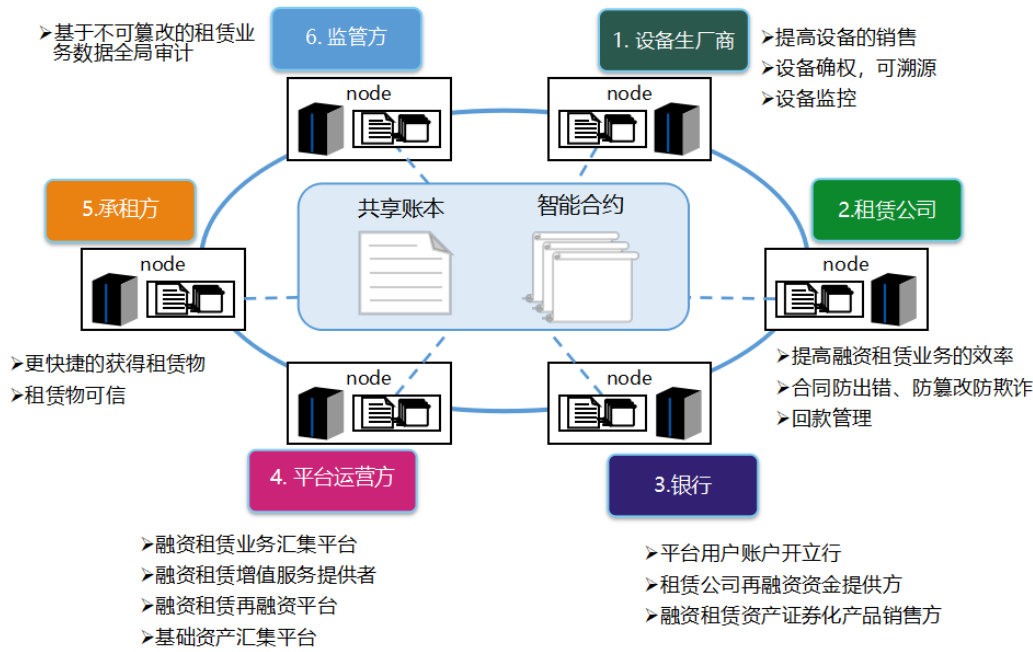


图 7 融资租赁区块链系统对各参与方的价值

上图总结了融资租赁区块链系统对融资租赁的各参与方的价值，区块链技术的去中心化，分布式账本，防篡改、交易可追溯，安全性等特性，使得融资租赁区块链系统可以提供一致完整的账目，提高各参与方（厂商、出租方、承租方、银行等）之间的信任度，提高执行

效率，减少争议，减轻安全和欺诈风险。同时透明可信的融资租赁区块链系统可以有效管理租赁基础资产，实现资产证券化来满足再融资需求。

更进一步，对于一些可以用来做进一步生产经营的设备，比如汽车，工程机械，机床等等。这些生产经营的设备在“劳动”时也会产生收益，比如汽车运营租赁，比如工程机械的开工运营，机床的生产等等。如果对于这些未来收益用区块链来做基础资产进行刻画，那么可以设计更加灵活的金融服务产品（比如，未来的运营收益权折价转让给资金提供方，甚至直接作为销售价格的抵偿）来进一步的润滑产品销售方式，提高最终客户对核心制造企业的服务依赖的粘性和生态粘性。进一步降低销售时候的购买方的一次性价格投入，平衡核心企业和生产企业之前的资金差。

3. 工业产品设备二手交易

（1）市场分析¹⁶

2005 年起，国内工程机械行业进入了高速发展阶段，2009 年产销数额双双跃居全球第一，2010 上半年的“井喷”式增长近 40%。根据现代设备维修理论，设备使用 5-8 年后将进行大修，70%的用户在此期间都有更换新机的意愿，2016-2018 年将迎来二手机械的第一次置换井喷。2009-2013 年，二手工程机械交易额由 600 亿升到 1500 多亿，年增长速度超过 20%，截至 2015 年底，国内二手工程机械保有量已超越 500 万台，2015 年工程机械年销量到达 100 万台以上，其市场规模非常大。我国的二手机械设备销售及流通渠道有待提升：

¹⁶ 本白皮书中主要以工程机械行业作为分析，其他耐久使用高价值的工业产品设备具有相似的特点。详见参考文献【19】【20】

- 1) 汽车制造领域，各机械制造厂家都通过以旧换新来促进新车的销售，欧洲市场新车销售与旧机回收比已达到 1:1。
- 2) 在美国、日本等二手机械设备业务成熟的市场，用于租赁的设备达到设备总保有量的 70%~80%，目前在中国这个比例只有 10%~20%。
- 3) 我国市场代理商零件服务、租赁、二手车销售额合计占比不足 10%，而美国、日本合计占比达 64%。
- 4) 国外二手机械主要的销售方式是租赁和拍卖，而国内 80%以上是私下交易。

制约二手交易的一个重要主要原因是，二手设备的生命周期信息对于买卖双方不够透明，导致很难形成一个全面的二手交易市场。

(2) 区块链解决方案及应用价值

核心工程机械制造企业基于区块链技术联合生态中的保险公司、维修公司、配件公司、二手贸易平台，组成联盟链。在这个联盟链中，区块链技术将用来刻画到机械设备的销售记录，保险记录，出险记录，维修记录，运维记录，甚至设备的使用监控数据，使得这些数据，对于所有的相关参与者透明。对每一个设备赋予一个区块链上面的身份，带来一个设备的不可篡改的多方共同认证的设备画像。基于这个真实的设备画像，建立二手交易平台，通过提供这些信息服务和交易撮合为联盟中的相关制造业生态企业带来服务型收益，比如二手交易定价手续费，比如设备画像用于优化设备运维的分享手续费。

4. 工业品回收

(1) 市场分析

2015 年一般工业固体废物（包括高炉渣、钢渣、有色金属渣、煤渣、硫酸渣、废石膏等）产量 32.7 亿吨，其中综合利用量 19.9 亿吨，处置量 7.3 亿吨，贮存量 5.8 亿吨，倾倒丢弃量 56 万吨，综合利用率达 60%。钢铁、有色金属和塑料是制造业回收的主要品种¹⁷。近 5 年我国有色金属回收量快速增长，从 2015 年的 562 万吨到 1065 万吨，增长了近 60%。与发达国家相比，目前我国制造业相关的再生资源回收利用利用率偏低，还有很大的提升空间。

当前，回收市场现在发展迅速。以电子废品市场来看，随着企业自身发展的需求以及“互联网+”的快速融合，各式各样的废弃电器电子产品创新回收模式如雨后春笋般涌现出来¹⁸，如，绿色消费+绿色回收、互联网+分类回收、两网融合回收、EPR 回收等回收模式，废弃电器电子产品回收行业进入了全新的发展阶段。2016 年，互联网+回收模式主要以手机为主。到 2017 年，互联网+回收已经扩展到大家电产品。

(2) 区块链解决方案及应用价值

工业品的回收一方面绿色环保，另外一方面帮忙相应的工业企业平衡原材料来源，通过和产业链上下游的联盟合作还可以带来额外的工业废品回收贸易或者融资的服务型收益。以动力电池回收为例，回收网络体系的完善是废旧动力电池回收利用行业发展的基础和重中之重。能否获取稳定的废旧动力电池来源，也直接关系到回收利用企

¹⁷ 详见参考文献【21】

¹⁸ 详见参考文献【22】

业的根本生存和发展。根据即将发布的《新能源汽车动力蓄电池回收利用管理暂行办法》，国家对产生废旧动力电池各个环节的回收责任都有明确的规定和要求。通过梳理，未来废旧动力电池主要由车企组织或授权建立的回收服务网点负责收集，交给与车企协议合作的电池生产企业，先做梯级利用，再由梯级利用企业回收并交再生利用企业回收处置。

通过区块链技术建立，回收网络联盟，电池生产企业，车企，回收网点企业，梯级利用企业组成一个回收供应链网络，在这个网络中，可以对所有的回收商流，物流通过区块链来进行不可篡改的刻画，按照这样的顶层制度设计，未来梯级利用企业需与动力电池企业进行战略合作乃至融合发展，参与车企组织或授权的回收网络建设，才能获得稳定的废旧动力电池来源。再生利用企业未来将主要从梯级利用企业手中获取废旧电池，因此必须与梯级利用企业建立紧密的战略合作关系，才能获得稳定的废旧电池来源。同时由于各级回收物的交易换手，比如又存在资金错配，合理的使用供应链交易结构，依然可以使得联盟获得额外的融资收益。可以预见，未来梯级利用企业、再生利用企业（与车企合作）将共建回收服务网点，从中来共同获得服务型的收益，其中的贸易，收益分成等等由区块链的智能合约来共识和自动切分。

六、区块链对于数据共享和柔性监管的应用

1. 区块链实现工业企业间互信共享

工业行业企业在各环节所产生的各类数据如果能够被企业间互相充分分析，有助于提高企业各生产环节的效率，提高设备安全性与可靠性、降低能耗、物耗与维护费用等。同时，可以减少生产过程中

的人力劳动需求，提高生产过程的智能化水平。如果这些充分采集和分析操作的信息可以在联盟内共享，那么将大大促进联盟生态的进步。而如果工业互联网各行业内的企业之间能够实现可信的可控的信息共享，则对于整个行业而言能够起到产业上下游企业间信息资源共享，对于企业把握市场动态，优化配置生产资源，避免生产过剩起到至关重要的作用。相似的工业产品或者设备往往具有相似的机理模型，如果能够把这些产品设备的使用监控数据以及运维数据进行互信共享，相互促进来提高 MRO 的效率，从而可以大大的提高工业产品或者设备的使用寿命，降低使用风险以及相应的生产运营事故的发生。

2. 区块链促进工业互联网平台之间价值共享

当工业互联网平台对工业企业提供服务时，企业的各种工业互联网数据可能就会汇聚到工业互联网平台上来，同时工业互联网平台也会提供各种机理模型来帮助工业企业进行工业相关的分析。通过区块链技术，可以确保工业企业在工业互联网平台上的数据的权属，确保自己的数据不会在工业互联网平台随意使用和共享。同时，同业互联网平台间，比如企业专用工业互联网平台，或者服务于其他企业的开放式工业互联网平台，这些平台间沉淀了大量的机理分析模型，如果通过区块链让这些机理模型可以在跨平台间进行共享，那么将会使得生态中的企业更大范围的享受这些模型和数据所带来的价值。

3. 区块链助力工业互联网柔性监管

对地区间、行业间都存在巨大差异的中国工业产业而言，为了促进产业的良性升级发展。在不损失产业生产贸易运营自由度的情况下，对生产交易活动进行合规监管，不仅有助于自上而下实施国家产业战

略布局，同时也有助于自下而上收集企业实时反馈，从而帮助制定下一步国家发展战略，促进中国工业产业的长期稳定持续性发展。尤其是对于一些国计民生相关的工业领域，更加需要对整个生产运营过程进行柔细监管，通过把生产过程智能合约化上链，同时接入监管节点，通过可信的本地账本，可以使得监管部门非常方便的进行柔性监管合规审计。

七、工业区块链落地难点及挑战

1. 技术层面

当前大量的工业产品和设备的数据都是存放在中心化的工业互联网平台上，工业互联网平台自身很难证明这些数据上到工业互联网平台以后未被篡改过。直接应用现有的区块链技术做存储（当前的大多数区块链技术只能支持 100-1000TPS 这个量级的写入能力）很难去支撑工业互联网的要求。更大的问题是现有的区块链技术对于查询分析的支持非常差，往往只能把数据镜像在区块链之前进行查询分析，这样就带来一致性的问题。在数据存储能力方面，由于区块链的数据只有追加没有移除，数据只会增加不会减少，随着时间的推移，区块链对数据存储大小的需要也只能持续地增大，在处理企业数据时这一趋势增长更甚。

上链数据的隐私问题一直是值得研究的重点问题。工业区块链项目涉及到交易信息、信用信息等敏感性商业信息，因此授信平台对数据隐私保护要求很高，数据存储必须有很强的防截获、防破解能力。另外，在区块链中，几乎每一个参与者都能够获得完整的数据备份，所有交易数据都是公开和透明的，在很多场景下，对于商业机构而言，账户和交易信息是重要资产和商业机密，不希望公开地分享给同行。

工业产品或者设备所产生的数据往往是可以去直接驱动后台的设备间、设备和人、设备和企业间的交易协作流程的。但是如果这个数据传输到云端的过程被篡改，或者到了云端只能先有云端的中心化的分析引擎来提取事件之后才能去触发相关智能合约的执行，那么就有一个“中间人”信任问题。此外，基于智能合约的大量规则流程的工业区块链应用编写，可能会阻碍可信共享应用的落地。

2. 推广层面

区块链技术在工业的应用，虽然目前市场有初步测试床，但真正落地有难度。这是因为加入区块链系统需要对原有业务系统进行改造，初期可能更大成本。客户对于新的技术应用需要一段适应期，短期内市场规模有限，市场潜力还需进一步挖掘。数据共享、机理共享、资源共享的关键，除了技术以外，关键是需要有一个合理的组织形态，使得相关利益方愿意共享。

区块链在解决现代工业应用痛点方面前景看好，但也面临不少问题和挑战，不仅需要在技术上、法律上、监管上有所配套，同时需要包括政府、工业链条各参与方，技术提供方等在内的利益相关方共同参与、推动平台建设，区块链标准设立，相关法律和政策制订及信息共享等系列行动，使区块链在工业的应用，既风险可控，又达到支持实体经济和服务企业的目的，起到良好的社会效益和经济效益。

八、工业区块链应用落地政策建议

1. 加强技术模式创新

开展工业应用特点相关的区块链核心技术研究、产品开发和集成测试，发展自主开源社区，突破性能、安全、兼容性等制约应用发展

的技术瓶颈；培养和强化企业知识产权意识，鼓励产业积极开展技术创新；依托高校、研究机构和企业自主创新平台，形成产学研用相结合的开发联合体，加大核心信息技术的投入，严格管理研究资金，推动科研成果转化；提升区块链技术评估测试水平，客观准确评估区块链平台和应用。

2. 规范服务实体经济

创建政产学研合作交流平台，实现行业供需对接，助力行业应用发展；加快推进区块链在工业互联网领域的试点，组织开展区块链应用的概念验证、试验平台、先导应用示范和评估，培育行业龙头、领军企业和产业生态，加速形成以点带面、点面结合的示范推广效应；结合试点示范的实践经验，面向区块链企业开展区块链技术与应用培训；构建“双创”良好格局，鼓励区块链和工业互联网深度融合，打造新的经济增长极，助推共享经济。

3. 积极提升产业影响

发挥产业联盟在国家标准、行业标准的“抢跑”优势，针对区块链实现语言不一致、智能合约标准不统一等问题，先行先试联盟标准，引导产业集群优化升级，提高企业竞争力；针对区块链和共享经济的高度融合性，建立区块链技术研发的公共服务平台，提升产品研发和产业化能级和水平；积极引导企业进行专利布局，预防专利“陷阱”，做好知识产权保护，维护企业的合法权益，提升企业的国际竞争力，加快实现企业的“走出去”。

4. 完善发展政策环境

政府应发挥统筹协调作用，组织专家研判区块链的发展趋势，把握区块链技术本质、潜在用途和成本收益及其技术本质，研制促进区块链技术应用尤其是工业领域的发展政策，通过设立专项基金和出台政策等方式，引导产业健康发展；加快制定区块链的相关法律法规，将区块链技术纳入合适的监管框架之内，防范系统性风险；尽可能在维护系统参与者利益与维护更广泛的社会利益间达成平衡，避免固化的架构阻碍技术创新。

八、参考文献

- 【1】 区块链白皮书（2018 年），中国信息通信研究院&可信区块链推进计划，2018 年 9 月。
- 【2】 陈美娟，朱晓荣. 基于区块链的物联网设备标识研究[J]. 物联网学报，2018，v. 2; No. 5(02):22-30.
- 【3】 刘阳,李馨迟,田野,毛伟. 物联网名字服务关键技术研究[J];电子学报，2014 年 10 期.
- 【4】 Malviya H . How Blockchain Will Defend IOT[J]. Social Science Electronic Publishing, 2016.
- 【5】 Ramachandran G S , Krishnamachari B . Blockchain for the IoT: Opportunities and Challenges[J]. 2018.
- 【6】 任彦冰，李兴华，刘海，et al. 基于区块链的分布式物联网信任管理方法研究[J]. 计算机研究与发展， 2018， 55(7):1462-1478.
- 【7】 FIDO, <https://fidoalliance.org/>.
- 【8】 IFAA, <http://ifaa.org.cn/>.
- 【9】 Ouaddah A, Abou Elkalam A, Ait Ouahman A. FairAccess: a new Blockchain-based access control framework for the Internet of Things. Security and Communication Networks, 2017.
- 【10】 Huberman B A . Ensuring Trust and Security in the Industrial IoTThe Internet of Things (Ubiquity symposium)[J]. Gastroenterology, 2002, 122(5):1235-1241.
- 【11】 Khan M A , Salah K . IoT security: Review, blockchain solutions, and open challenges[J]. Future Generation

Computer Systems, 2017:S0167739X17315765.

【12】 Christidis K , Devetsikiotis M . Blockchains and Smart Contracts for the Internet of Things[J]. IEEE Access, 2016, 4:2292-2303.

【13】 Shi-Cho Cha, Jyun-Fu Chen, Chunhua Su. A Blockchain Connected Gateway for BLE-based Devices in the Internet of Things. IEEE Access (Volume: 6), Page(s): 24639 - 24649.

【14】 Lin J , Shen Z , Miao C . Using Blockchain Technology to Build Trust in Sharing LoRaWAN IoT[C]// the 2nd International Conference. 2017.

【15】 Teslya N , Ryabchikov I . Blockchain-based platform architecture for industrial IoT[C]// Conference of Open Innovations Association. IEEE, 2018.

【16】 Dorri A , Kanhere S S , Jurdak R , et al. Blockchain for IoT security and privacy: The case study of a smart home[C]// 2017 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops). IEEE, 2017.

【17】 《关于积极推进供应链创新与应用的指导意见》
http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-10/13/content_5231524.htm

【18】《中国融资租赁行业》，广发证券（香港）经纪有限公司，2016年5月3日。

【19】中国融资租赁行业未来五年的复合增速预计将降至16% 罗兰贝格《融资租赁：行业转型进行时》，2017年4月。

【20】《中国工程机械市场供需调查及未来五年发展商机研究报告》，2015年。

【21】中国环境统计年报(2015)。

【22】《2018-2024 年中国电子废弃物处理市场深度调查及未来前景预测报告》，智研咨询。