

工业互联网数据加密与安全传输技术研究

李龙飞

工业互联网是新一代信息技术同现代工业体系深度融合的产物,以实现人、机、物互联互通,从而促使制造业完成由传统工业化向数字化、智能化转型的任务。然而,随着大量工业终端接入网络并且跨越数据交互速率呈指数级增长,传统的工业控制系统物理封闭边界已被打破,导致采集、传输和处理整个生命周期均面临着严重的窃听、篡改、伪造的风险。与通用互联网环境不同,工业应用场景具有通信时延确定性要求极高、边缘终端的计算和存储资源不足、控制协议高度异构等明显特性,使得常规复杂的加密算法及标准的安全传输协议无法直接适用。因此,构建兼顾安全性、实时性与低能耗的数据保护体系已成为当前亟待解决的关键技术难题。

工业互联网数据的特殊性

工业互联网数据有别于传统的互联网数据,具有高实现实时性、严重资源配置受限性和复杂的多源异构性等显著特点。第一,工业控制系统对时间的精确性有极高的要求,重要控制指令的传播时间必须极短,且需保持极低的时延

抖动以确保物理过程的精准同步,这极大限制了高开销加密算法和重传机制的应用。第二,遍布在边缘感知层的终端设备一般受到功率预算和硬件体积的限制,计算单元的处理能力和存储容量都较小,无法担负起复杂公钥基础设施或高频次的握手交互。第三,工业数据具有较强的异构特性,即包含周期性底层传感数据、突发性的告警信息和非结构化工业影像等,在传输过程中又要经过现场总线与工业以太网多种协议标准的转换。由于工业互联网的数据量巨大、格式多样且与物理安全紧密相关,导致工业互联网数据处理需要在兼顾高可靠性和低延迟的条件下,寻求差异化的安全防护策略。

工业互联网数据加密技术

面向边缘侧的轻量级对称加密技术。在工业互联网的边缘计算层,传感器和执行器等终端设备的计算能力、存储空间以及电池续航均较小,无法承担复杂的加密运算。因此,面向边缘侧的数据保护主要使用轻量级的对称加密技术,确保数据机密性的同时尽量减少资源消耗。目前,主要采用AES(高级加密标准)的优化变种或者我国自主研发的SM4分组密码算法。SM4算法使用非平衡Feistel结构或者SP结构,通

过对S盒的设计和轮函数逻辑进行优化来减少硬件实现中所需要的门电路的数量以及功耗。此外,为了达到毫秒级的实时控制要求,通过结合FPGA(现场可编程门阵列)或者ASIC(专用集成电路)硬件加速技术,把加密指令固化到芯片的底层,从而消除软件层面上的处理延迟,使感知数据在采集源头即完成高效的密文转换。

基于椭圆曲线密码(ECC/SM2)的身份认证。尽管对称加密效率高,但在大规模的工业设备接入场合下,其密钥分发和管理存在较大问题,因而需要使用公钥密码体制来实现设备的身份认证以及密钥协商。与传统的RSA算法不同,椭圆曲线密码(ECC)及其国产化标准SM2算法在工业场景中有明显的优势。ECC依靠椭圆曲线离散对数问题的数学难题性,只需要256位的密钥长度即可以实现3072位RSA算法的安全强度,减少了证书的存储量和传输带宽的使用量。在工业网关和云平台建立连接时,先通过SM2数字签名技术来检验设备的身份是否合法,防止恶意终端接入;然后采用ECDH(椭圆曲线迪菲-赫尔曼)协议进行密钥交换,在公开信道中安全协商出后续通信所需的临时会话密钥。这种非对称认证与对称传输相结合的混合加密机制,既解决了密钥分发的安全性问题,又兼顾了后续数据传输

的高效性,在工业互联网的信任体系中发挥着基础性作用。

面向云端共享的态加密与属性基加密。当工业数据上传到云平台开展跨企业合作或进行大数据分析时,传统的加密方式需要先解密后计算,使数据在内存中以明文的形式存在,存在极大的隐私泄露的风险。态加密技术使得云服务器可以直接对密文进行代数运算,运算结果经过解密之后与对明文进行相同运算的结果一致,从而达到数据可用不可见的目的,适合于工业机理模型训练中核心工艺参数的保护。此外,在供应链上下游数据复杂共享的情况下,属性基加密(ABE)提供细粒度的访问控制机制。其中,密文策略属性基加密(CP-ABE)把访问控制策略嵌入密文中,用户的私钥和一组属性相关联,只有用户属性满足密文策略时才能解开数据。这种一对多的加密方式有效地解决了传统公钥加密在多用户共享时密钥管理冗余问题,实现了工业数据在开放环境下的安全流转和受控共享。

工业互联网数据安全传输技术

基于TLS/DTLS的通道安全适配。传输层安全协议是建立端到端信任的通道,但在工业场景下需要进行相应的适

配。对于基于TCP协议的上层应用,如MQTT over TCP,一般使用TLS(传输层安全)协议,通过双向证书认证来保证通信双方的身份真实性,通过会话复用机制减少握手延迟。然而,工业现场具备大量的基于UDP的实时通信应用(如CoAP协议),标准的TLS无法处理UDP的无连接性。此时,需要采用DTLS(数据报传输层安全)协议,在TLS的基础上增加序列号管理和重传窗口,可以有效地解决工业无线网络下经常出现的数据包乱序和丢失的问题,防止由于网络抖动造成的安全通道断开。

工业控制协议的内生安全增强。传统的工业控制协议在设计之初缺少内置的安全机制,普遍使用明文传输,容易受到中间人攻击和指令篡改的威胁。目前,内生安全增强途径主要依靠协议栈扩展实现,即在应用层直接集成安全功能,而不是仅依靠外部的VPN隧道。OPC UA(IEC 62541)协议属于该领域典型的案例,其具备完善的安全结构、支持多种安全策略与消息安全模式。OPC UA可以为管理员配置签名和加密算法套件(基本256sha256, X.509数字证书等),用以对每一个应用层消息(PDU)进行签名和加密封装,从而实现跨越网段、跨越平台的端到端的安全传输的目的。

面向泛在感知的轻量化传输协议。在需要大量的、低成本的传感器接入泛在感知层时,标准的HTTP协议由于头部开销大而无法适用,需要采用轻量化的传输协议和内置的安全机制。MQTT(消息队列遥测传输)协议使用发布/订阅模式,通过二进制报文结构来减少网络带宽。在安全实现方面,除了利用底层的TLS加密外,在极低带宽的情况下通常采用基于Payload(净荷)的应用层加密方案。另一种主流协议是CoAP(受限的应用协议),其使用类RESTful的架构以及UDP承载的方式,专门针对有限节点而设计。CoAP同DTLS深度绑定,并结合OSCORE(受限环境对象安全)机制,可以对消息进行端到端加密保护,即使数据经过非受信任的代理网关,也可以确保其机密性不被破坏。

工业互联网数据的特殊性决定了其不能简单沿用传统的互联网模式,而需要建立起分级分类的异构安全体系。本文分析了以轻量级对称加密和ECC认证建立边缘信任根,通过TLS/DTLS适配和协议内生安全机制保证传输通道,结合态加密实现云端隐私保护的复合途径。该体系既满足工业现场对于实时性以及低功耗的要求,又较好地抵抗了数据整个生命周期的安全风险。(作者单位:郑州工业技师学院)

产教融合赋能工业旅游经济高质量发展实践探索

刘涛

工业旅游作为产业融合的一种新业态,是工业转型以及旅游行业创新发展的一项重要抓手,在推进经济发展中具有重要意义。产教融合是将教育与产业有机结合,实现人才培养、技术革新与产业发展的深度融合,为工业旅游发展质量的提升提供重要保障。当前,我国工业旅游虽已取得较快发展,但在旅游资源转化利用、产品研发设计及服务质量等方面仍有进一步改进和完善的空间,产教深度融合正是推动其升级的有效手段。本文从二者的内在关联出发,在实践中探索融合的方式方法,以促进工业旅游经济的良性健康发展。

产教融合与工业旅游经济高质量发展的内在关联。产教融合为工业旅游经济发展提供人才支撑。工业旅游的发展离不开旅游策划、运营等领域的高素质人才。在产教融合背景下,学校与工业旅游企业联合开设相关专业和课程,以企业岗位需求为人才培养目标,直接为企业输送“订单式”人才;学校在培养计划中融入工业生产、旅游服务等企业要求的课程,增强学生的实践动手能力;企业则走进学校开展在职培训与再教育,提升从业者的综合素质,实现“培养—就业—提升”的良性循环,持续推动工业旅游经济发展。

产教融合推动工业旅游产品创新与业态升级。产品特色化与体验感是工业

旅游的核心吸引力,产教融合为其发展注入智慧与技术力量。学校科研人员与企业共同挖掘工业遗产、生产过程等核心资源,结合市场导向设计参与式、知识型、沉浸式旅游产品,如工业研学旅行、非物质文化遗产体验活动等,突破传统形式的局限。同时,产教融合催生“工业旅游+教育”“工业旅游+科技”“工业旅游+文创”等新业态,校企共建研学基地、科技体验馆等平台,延伸产业链条、提高产品附加值,推动工业旅游经济实现从量变到质变的跨越。

产教融合促进工业旅游资源优化配置与协同发展。推动工业旅游经济高质量发展,需要工业、旅游、教育等多主体协同合作。在产教融合模式下,企业生产与教育、科研及人力资源实现有机结合:企业将闲置车间和生产设备改造为参观场所与实践基地,学校协助企业开展市场分析、营销设计等工作,提升资源利用效率;校企合作建立区域协同开发平台,实现各方资源的联动整合,形成“资源共享、客源互送、线路互推、品牌共建”的模式,避免各自为营、同质化竞争,增强区域工业旅游的整体实力。

产教融合赋能工业旅游经济高质量发展的实践路径。健全产教融合合作机制,强化协同保障。首先,构建“企业—政府—院校”三方联动的合作机制,明确各方职责与权益:政府出台针对性政策支持,如设立产教融合专项基

金、给予税收优惠、简化审批流程等,推动企业与院校深度合作;院校主动对接市场需求,调整专业设置与课程体系,强化与企业人才培养、科研方面的合作;企业积极参与人才培养全过程,共享产业资源、推动科研成果转化。其次,建立利益共享与风险共担机制,院校与企业通过共建产业学院、股份制合作企业等形式成为利益共同体,激发双方合作的积极性与主动性。最后,完善产教融合项目的监督评估机制,定期开展评估工作,及时发现问题并优化调整,确保合作的可持续性。

优化人才培养模式,提升人才适配性。以工业旅游市场需求为导向,构建“理论+实践+创新”三位一体的人才培养模式。一方面,院校与企业联合制定人才培养方案,增设工业生产基础、工业遗产保护、工业旅游策划等特色课程,将企业实际项目融入课堂教学,推行“项目式教学”“案例式教学”。另一方面,拓展实践教学平台,通过校企共建实训基地、安排学生顶岗实习等方式,让学生参与工业旅游运营管理、产品推广等实际工作,提升实践能力。

深化校企合作创新合作,推动产品与业态升级。首先,院校科研团队与企业联合开展市场调研,精准捕捉游客需求趋势,系统挖掘工业资源的文化内涵与科普价值,共同研发核心竞争力产品。例如,结合STEM教育理念(跨学科融合与实践应用的综合教育模式)设计实践

课程,开发青少年工业研学产品;针对年轻群体打造工业文创与沉浸式体验项目。其次,借助院校技术优势推动工业旅游数字化转型,开发虚拟观光、智能导览等线上产品,构建“线上+线下”融合体验体系。最终通过校企协同创新,实现从资源挖掘到产品落地再到技术赋能的全链条升级,持续增强游客体验感与产业竞争力。

加强资源整合与区域协同,提升整体竞争力。以产教融合为纽带推动区域协同发展,参与工业旅游资源的优化配置。一方面,整合区域内工业企业、院校、旅游景区等资源,搭建共享平台,实现生产设施、教学资源、客源市场等的共享与互补。另一方面,由校企联合打造区域工业旅游品牌,共同设计精品旅游线路,开展联合营销推广活动,提升区域工业旅游的知名度与影响力。

产教融合作为推动产业高质量发展的关键引擎,与工业旅游经济的发展需求高度契合,为工业旅游经济的提质增效提供了强大支撑。通过健全产教融合合作机制、优化人才培养模式、深化校企合作创新合作、加强资源整合与区域协同等实践路径,推动工业旅游实现产品升级、业态创新与效益提升。

(作者单位:新疆科技学院)
【基金项目】本文系基地招标课题“产教融合驱动新疆高A级景区智慧服务与管理创新研究”(编号:2025-KY JD06)。

数字技术赋能中华优秀传统文化“两创”新路径

李娟

在当前全面推进高质量发展、加快发展新质生产力的时代背景下,中华优秀传统文化的创造性转化与创新性发展(即“两创”)迎来了前所未有的战略机遇。值得关注的是,这一机遇的核心动能正来自以数字化为代表的新质生产力。数字化不仅仅是技术工具的升级,更是深刻重塑文化生产、传播与消费方式的革命性力量,它通过将文化资源转化为关键生产要素、赋能最广泛创新主体、催生全新产业形态,为中华优秀传统文化注入澎湃的现代活力,成为驱动文化领域产业革新的重要引擎。

数据驱动创新,重塑文化生产新范式

新质生产力的核心在于生产要素的迭代与生产方式的革新。在文化领域,这一变革首先体现为“数据要素化”。通过高精度扫描、三维建模等技术,将沉淀于历史中的文化遗产转化为可量化、可关联、可计算的新型生产要素——文化数据。这一转化,彻底打破了传统文化资源在时空上的独占性,使其具备了非竞争性、可无限复制和低成本流动的特性。实践证明,当文化创作从依赖个体灵感的“经验驱动”转向基于用户洞察和智能算法的“数据驱动”时,创新效率和质量得以极大提升。例如,故宫博物院通过数字化手段建立了庞大的文物数据库,不仅为文物保护提供了支撑,更成为文创产品开发的“素材库”和“灵感源”,催生了众多“现象级”文创产品,这标志着文化生产正从传统的手工作坊模式迈向基于数据的现代化、规模化创新范式。与此同时,虚拟现实(VR)、增强现实(AR)等沉浸式技术带来了表达与体验的“范式革命”,它们推动文化展示从“线性叙事”走向“空间探索”,从“静观审美”走向“具身体验”。例如,“数字敦煌”的虚拟漫游、沉浸式戏剧《不眠之夜》的走红,都印证了技术创新如何引领内容创新,并最终催生“元宇宙文旅”“交互式演艺”等全新商业模式,成功开辟出文化消费的新赛道。

赋能多元主体,构建包容性文化新生态

新质生产力是符合高质量发展要求的先进生产力,其发展必然要求实现包容性增长。文化数字化进程必然蕴含伦理维度,通过技术赋能与制度优化构建普惠共享的文化生态。应对数字鸿沟,关键在于从“保障权益”的救济思维转向“赋能主体”的发展思维。这要求我们积极推进技术的适应性创新,如开发适老化、无障碍接口,并构建系统的数字素养培育体系。其目标不仅是让老年人、残障人士等群体能够便捷地消费数字文化产品,更是激发他们运用数字工具进行文化表达与参与共创的潜能,将潜在的文化消费者转变为活跃的文化创造者。这一逻辑在乡村振兴中体现得尤为深刻。乡村文化数字化的核心是激活本土人才。一批既深谙乡土文化又掌握

数字技能的“新农人”正在崛起。他们通过电商直播、短视频等平台,将地方特色技艺、民俗活动转化为具有市场价值的文化产品,成功实现了“乡土知识”的现代化表达与价值实现。这不仅是发展乡村特色文化产业的经济行为,更是确保文化传承创新主体性扎根社区、避免文化异化的重要举措,为乡村振兴注入了可持续的内生动力。

深化产业融合,催生文化发展新动能

新质生产力推动产业体系向高端化、智能化、绿色化升级。数字技术正驱动文化产业从要素驱动向创新驱动跃迁,重构其价值创造与实现机制。数字技术催生的云演艺、数字藏品、AI创作等新业态,其“新”的核心在于对产业价值链的根本性重构。它们实现了从“标准化产品供给”到“个性化场景构建”、从“链式分工”到“生态协同”、从“一次性售卖”到“持续性运营”的深刻转变。这些业态通过“文化+科技+旅游”的深度融合,创造出全新的消费体验与商业模式,代表着文化产业未来发展的新方向与新高地。在此进程中,文化企业的现代化转型是其迈向高质量发展核心路径:龙头企业通过自主研发搭建数字平台,致力于引领行业创新范式、塑造产业新生态;数量庞大的中小微企业则依托普惠云服务等实现轻资产运营,更专注于内容创意,展现出敏捷创新的活力。这一过程共同推动企业从“内容生产者”向“文化品牌运营者”的战略转型,是培育具有全球竞争力的文化市场主体的关键一步。

打好“组合拳”,塑造发展新优势

数字技术赋能中华优秀传统文化“两创”是一项系统工程,需要科技、人才与制度的协同发力。一是强化技术伦理,坚守文化深度。在积极应用技术的同时,需警惕“技术异化”风险,确保数字产品的人文内涵和精神价值的提升,避免文化在数字化过程中变得肤浅和空洞。二是深化制度创新,优化发展环境。着力建立鼓励数据开放共享、包容审慎的治理体系,打破“数据孤岛”,为文化数据的合规高效流通使用提供制度保障。三是夯实人才根基,激发源头活水。必须加快贯通文化与科技的复合型人才培养,为文化数字化提供坚实的人才支撑,全面激发各类市场主体的创新活力。唯有打好这套“组合拳”,数字化方能真正成为引领中华优秀传统文化实现高质量“两创”、发展文化领域新质生产力的中流砥柱。

(作者单位:黑龙江工程学院马克思主义学院)

【课题名称】本文系黑龙江省艺术科学规划项目“数字化赋能中华优秀传统文化‘两创’研究”(编号:2024B028);黑龙江省哲学社会科学规划项目(编号:25KSE041)。

文旅融合视角下工业遗产的开发路径探析

李化

随着国家深入推进文旅融合与城市更新,工业遗产的再利用已从单一的文物保护转变为激发城市活力的战略支点。面对后工业时代大量工业遗产“存量待活化”的现实,传统的粗放式处理已无法适应时代需求。当前,旅游消费市场正经历深刻变革,游客对深度体验和独特场景的追求使得兼具硬核美学与历史沧桑感的工业遗产,成为极具潜力的文旅新蓝海。

当前,文旅融合为工业遗产注入了新的发展动能,推动其开发模式从单一走向多元,形成了三大核心路径。博物馆模式专注于延续历史文脉,如中国工业博物馆,凭借严谨的展陈体系守护工业文明的“根”与“魂”。创意产业园模式聚焦空间的再生利用,如北京798艺术区,依托旧厂房独特的空间张力吸引文创产业聚集,实现了“腾笼换鸟”式的产业升级。景观商业街区模式则更注重商业逻辑的深度植入,如北京首钢园,通过景观设计巧妙缝合硬核工业风貌与现代消费场景,构建起极具辨识度的城市新地标。

在新的发展阶段,工业遗产开发正呈现出两大鲜明特征。一是体验化。旅游方式正经历从静态观赏到沉浸互动的迭代。通过VR(虚拟现实)技术重现流水线场景、引入工业风演艺等

创新手段,让遗产不再是冰冷的陈列品,而是可阅读、可互动的鲜活故事。二是生活化。工业遗产正在褪去“生人勿近”的疏离感。通过开放公共空间、植入社区功能,曾经喧嚣的工厂转型为市民的“后花园”和游客的“打卡地”,实现了工业记忆与现代都市生活的无缝接轨。

尽管我国工业遗产开发已步入快速发展阶段,但在文旅深度融合的实践场景中,仍受困于“形似神散”与“效能低迷”的结构性难题,阻碍了其向高质量发展转型。国内工业遗产开发普遍陷入“同质化复制”的误区,机构同质特征,仅满足于对红砖厂房、机械构件等物理载体的符号化保留;在内容生产层面,则往往机械堆砌餐饮、画廊等通用业态,缺乏对特定场域内生产历史、工人记忆及技术变革等文化基因的深度挖掘。这种“重空间、轻内容”的路径依赖,不仅导致园区缺乏核心IP支撑,更面临文化叙事“空心化”的严峻危机,难以形成持久的市场竞争力。

“如何在恪守遗产原真性与实现商业价值最大化之间寻求平衡”是开发过程中面临的核心博弈。一方面,过度商业化导向下的“破坏性建设”时有发生,为了迎合短期消费需求,随意切割空间肌理,导致遗产的历史风

貌受损;另一方面,部分项目陷入“冻结式保护”的桎梏,过分强调静态维持,导致基础设施无法满足现代旅游在消防、安防及舒适度上的标准,使得遗产难以融入当代生活而陷入“保而不用”的僵局。

目前的运营模式普遍较为粗放,尚未形成“要素整合—价值衍生”的闭环。多数园区仍停留在“二房东”式的收租模式或初级的门票经济阶段,缺乏对“吃住行游购娱”全产业链的深度整合。由于缺乏沉浸式的交互体验与高附加值的文创衍生品,游客往往仅做浅层视觉观光,停留时间短,无法有效激活二次消费,导致项目整体造血能力薄弱,经济效益难以持续。

面对同质化竞争与产业链断裂的现实瓶颈,工业遗产的活化必须超越单一的物理空间修缮,转向以“文化赋能”与“产业生态”为核心的价值重构。本文提出以下优化路径,旨在推动工业遗产从“存量资产”向“文化资本”的高效转化。

第一,重塑文化内核,实现从“物质留存”到“叙事重构”的转变。深入挖掘遗产背后的“厂史、人事、技史”,通过口述历史采集与档案梳理,将冷冰冰的工业参数转化为有温度的旅游叙事,为园区注入独一无二的“场所精神”;探索“演艺+”模式,利用废弃车间打造沉浸式实景剧场,

将工业生产过程进行艺术化转译,打造具有核心竞争力的文化吸引物。

第二,借助数字科技重构“人与空间”的交互关系。运用VR、AR(增强现实)及全息投影技术,在不干预文物本体的前提下,数字复原昔日机器轰鸣、烟花飞溅的生产盛况,让游客穿越时空,“亲历”工业生产全过程,弥补实物展示的静态短板。

第三,构建复合共生的消费生态圈。充分利用大跨度工业空间的特质,引入“工业会展”“工业极限运动”“工业夜经济”等高附加值业态,打造覆盖全时段、适配全年龄段的复合消费场景;打破厂区物理围墙,将封闭的工业孤岛转变为开放的都市公共客厅,并植入书店、休闲餐饮等便民功能。通过构建“主客共享”的空间格局,既有效解决了淡季季客源平衡问题,也实现了工业遗产与城市有机更新深度融合。

在工业数字化转型的背景下,文旅深度融合不仅是产业升级的客观趋势,更是实现工业遗产价值重塑的必由之路。通过深度提取文化基因、借助数字技术赋能场景、构建多元业态生态,能够有效破解当前开发中面临的同质化竞争与产业链断裂等结构性难题。展望未来,工业遗产不应被视为阻碍城市更新“锈带包袱”,只要坚持科学的开发导向,这些承载着工业文明记忆的空间必将转化为展现城市文化自信的“金名片”,最终实现从“工业锈带”到“生活秀带”的华丽蝶变。(作者单位:武汉东湖学院)