

区块链技术在民航适航维修记录追溯与数据共享中的应用研究

徐申 吴晶晶

长龙（杭州）航空维修工程有限公司，浙江杭州，311200；

摘要：民航飞机的适航安全，很大程度上取决于维修记录的完整、真实以及可追溯性，但传统的中心化管理方式却存在着数据易被篡改、信息孤岛、难以追溯等严重问题，而区块链技术以其去中心化、不可篡改且可追溯的特点，给破解这些难题带来了新的思路，本文主要针对区块链在民航维修记录全生命周期追溯及多主体数据共享上的应用展开研究，文章先分析了现有的管理痛点，接着规划出基于区块链的维修数据平台架构，并具体论述了该平台如何做到数据可信上链、有效溯源以及依靠智能合约达成业务协同。本文分析了技术落地面临的性能、隐私、标准等问题，并提出相应的对策，发现应用区块链技术能够保证维修数据的真实性及法律效力，优化行业监管方式，提高产业链协同水平，对智慧民航建设有着重要的理论意义和现实意义。

关键词：区块链；民航安全；适航管理；维修记录；数据共享；可追溯

DOI：10.64216/3080-1508.25.09.039

引言

民航业属于现代交通体系的重要组成部分，它安全运营所依靠的是一套非常严格且细致的适航管理体系，飞机维修是保证持续适航的关键部分，由此产生大量的维修记录数据，这些数据不仅是判断飞机是否健康的直接证据，而且还是执行故障诊断、维修计划改善以及航空器残值评价等工作时必不可少的信息。长期以来，民航维修记录大多依靠纸质文档或者中心化的数据库来管理，纸质文档会面临容易遗失、难以查找、便于伪造等状况，而中心化的电子系统则会产生“数据孤岛”，各个航空公司、维修单位（MRO）、原始设备制造商（OEM）以及民航管理部门之间，数据标准不统一，共享不易，流转效率低，并且还存在着数据被恶意修改的危险。一旦关键维修记录失实或者缺失，就会给航空安全带来极大危险，区块链技术的出现，给解决这些难题带来了希望，本文将会全面探究区块链技术怎样改变民航维修记录的管理形式，做到数据可信追溯并高效共享，从而改进整个行业的安全和效率水平。

1 区块链技术在民航维修管理中的理论基础

1.1 民航维修记录管理的关键挑战

民航维修记录管理的目标是保证数据的“四性”，即真实性、完整性、连续性和可追溯性。目前的管理模式主要存在三大挑战。首先是信任缺失。飞机从制造、运营到退役，涉及的利益相关方很多，比如制造商、航空公司、租赁公司、各种维修机构、航材供应商等等。

在复杂的产业链条中，各方为了自身利益，可能会形成信息壁垒，导致数据无法顺利流动。比如二手飞机交易或者部件流转时，下游厂商很难完全相信上游给出的维修历史记录，要花很多人力物力去做背景调查和核实，交易成本很高。

其次就是数据安全与防篡改风险，中心化的数据库权限管理十分集中，一旦系统遭受黑客攻击或者内部人员违规操作，核心维修数据就会被批量篡改甚至删除，事后追查难度极大，这种“单点故障”的风险是传统信息系统固有的弊端，对于关系到生命安全的航空维修数据来说，其危害不可小觑。最后就是数据共享与协作效率低，各个运营主体的IT系统架构存在差异，这就形成了所谓的“数据孤岛”，维修记录，航材履历，适航指令等重要信息分布在不同的系统里，不能形成统一的、连续的飞机健康档案，这既限制了依靠大数据开展故障预测与健康管理（PHM）技术的发展，又影响了监管机构的即时监控和有效审核^[1]。

1.2 区块链技术核心特性及契合性分析

区块链是把分布式数据存储、点对点传输、共识机制、加密算法等计算机技术融合起来的一种新型应用模式，其主要特点与民航维修记录管理需求高度吻合。第一，去中心化、分布式账本。区块链网络中没有中心服务器，数据由网络中的所有节点共同维护，每个参与者都有一份完整的账本拷贝，这就天然地解决了“数据孤岛”问题，为跨主体的数据共享提供了底层支撑，在民

航维修场景里,航空公司、MRO、OEM、监管机构等都可以成为网络节点,共同维护一份统一且完整的维修记录账本。

第二,数据不可篡改且可追溯。每一笔维修记录(工卡签署、部件更换、故障信息等)都是一笔交易,打包成区块盖上时间戳,密码学哈希指针链接到前一个区块后,就形成了一条不可逆的链条,任何对历史数据的修改都会导致后续所有区块的哈希值发生变化,很容易被其他节点发现并拒绝,保证了数据的不可篡改性,链式结构也使任何一笔记录都可以轻松追溯到它的源头,实现了维修历史的全生命周期透明管理^[2]。

第三,智能合约与流程自动化。智能合约就是部署在区块链上的代码,当满足预设条件时,合约就会自动执行,在维修管理里,可以利用智能合约来定义复杂的业务逻辑,比如某个部件的飞行小时数到达预设的维修阈值时,智能合约就能自动触发维修工单的生成并派发出,或者在航材交易当中,当支付结束且部件信息验证无误之后,就可以自动完成所有权的转移登记,这样就大幅提升了业务流程的自动化程度及其执行效率,减少了人为干预所引发的差错。

2 区块链技术支持的适航维修记录追溯与共享平台构建

2.1 平台总体架构设计

要创建起一个适合民航维修领域的区块链平台,就要把行业的准入特性以及监管需求纳入考量范围,联盟链(ConsortiumBlockchain)是当下最符合的技术选择,联盟链由多个预先选定的机构协同管理,它既拥有公有链的弱中心化属性,又具备私有链的权限控制功能,平台的整体架构可以分为四层:基础设施层,数据层,网络层以及应用层。

基础设施层主要是计算、存储、网络这些资源,它们给整个区块链网络的运作给予基本的物理支撑,可以用云计算或者本地服务器来部署,数据层可以说是区块链的关键,每一个维修步骤,就像维修方案被批准,工卡得到执行并签署,换上的航材信息,还有那些重要的人员是否具备相应资格等等这些信息,都被打包成一个个区块数据,每一个区块由区块头(前一个区块的哈希值、时间戳、随机数等)、区块体(经过加密的交易数据)组成,并且用哈希链串联起来,从而保证了数据的完整性和连贯性。

网络层采用P2P(点对点)协议,负责节点间通信、交易广播、区块同步,共识机制是网络层的核心,可选

择PBFT等高效共识算法,即使部分节点失效或作恶,网络也能就新区块合法性达成一致,应用层是面向用户的操作界面,包括航空公司、MRO、监管部门等角色的操作终端,调用智能合约接口,用户可在权限范围内进行数据录入、查询、审计等操作,实现对飞机维修记录的全面管理^[3]。

2.2 维修记录数据的区块链追溯机制

维修记录数据上链是保证后续可信度的第一步,一线维修人员完成维修工作后,需要借助带有身份认证(人脸识别、指纹、数字证书等)的终端提交工作记录,记录包括工卡号、执行人、完成时间、所用航材件号/序号、具体操作等信息,这些信息由维修人员、检验人员数字签名后,会形成一笔交易广播到整个联盟链网络中,网络中的共识节点(如航空公司、MRO、监管机构的服务器等)会对这笔交易的合法性进行验证,验证通过后,这笔交易会被打包进新的区块,永久记录在链上。

一旦数据上链,就具备了可追溯性,以对某架飞机做高级别定检为例,审计人员或者工程师要验证某个重要部件,比如发动机叶片,它的完整生命周期历史,通过应用层的查询接口,输入这个部件唯一的序列号,系统就能很快从区块链上找到全部关联记录,从出厂开始,到被装机,再到历次检查,修理,一直到现在的状态,形成一条完整,清楚,不能辩驳的证据链,这种秒级的,可信度很高的追溯能力,是传统系统难以相比的,这将会彻底改变飞机背景调查和适航审计的工作方式。

2.3 智能合约驱动的数据共享与业务协同

智能合约是实现跨主体业务流程自动化的关键工具,可以打破信息壁垒,实现数据安全共享,在数据共享上可以设计出精细的权限管理智能合约,如一份详细的发动机维修报告,其主要性能数据只能对航空公司和发动机OEM开放,而对飞机租赁公司只能开放维修结论、下一次定检时间等信息。这样基于智能合约的“按需授权、最小范围”的共享方式,既可以保证数据被充分使用,又能保护各自的商业机密。

从业务协同上来看,智能合约的应用场景更为广泛,以航材流转为例,可以形成一个覆盖供应商、航空公司库房、维修现场的航材管理智能合约,供应商发货时,航材信息和物流信息被写入合约,航材入库时,库管员扫码,合约状态发生改变,维修人员领用该航材,完成安装后,维修记录上链,智能合约会把该航材状态自动更新为“已装机”,并将其履历与飞机机号进行绑定,全过程无需人工层层审批和信息传递,数据在各环节自

动流转、核验,供应链的透明度和协同效率得到很大提升,同样,对于适航指令(AD)的执行和关闭,也可借助智能合约实现全流程的自动化监控与闭环管理^[4]。

3 挑战与展望

3.1 技术应用面临的挑战

虽然区块链技术在民航维修领域有着巨大的应用前景,但是其规模化落地也存在一些问题。首先是性能问题。民航业每天产生的数据量是海量的,高频的维修操作对区块链网络的交易处理速度(TPS)有很高的要求,目前有些区块链技术的性能瓶颈可能无法满足高并发场景下的需求,需要不断优化共识算法、存储机制等。

其次就是数据隐私安全问题。虽然区块链上的数据不易被篡改,但是区块链上所有的参与节点都能看到的特点也带来了一个隐私泄露的问题。维修数据中包含了大量商业敏感信息,如何利用零知识证明、同态加密等先进的密码学技术,在保障数据可验真的同时又能保障隐私是一个需要解决的技术难题。

再次是标准和法规的建立。区块链属于一项新兴技术,在民航领域应用时缺少统一的技术标准、数据格式和业务规范,不同系统之间怎样做到互操作,链上数据的法律效力怎么确定,怎样同现有的适航法规体系相融合,这些都需要行业监管机构、技术公司和航空企业一起研究和推动。而且,系统建设和迁移的起始成本比较高,对现有从业者的技能要求也会发生改变,这也是推广过程中要思考的实际问题。

3.2 未来发展展望

往前行看,区块链技术会越发深入地嵌入到智慧民航的创建进程之中,伴随技术持续完善,行业标准逐步达成一致,一个囊括飞机生产商,航空公司,维修单位,租赁机构乃至全世界监管机构的航空产业信任数据生态系统有可能出现,在这样的系统里,数据壁垒被拆除,信息会变得前所未有的高效且无障碍地流动起来,每架飞机,每一台发动机,甚至每一个重要的时寿件,都会得到一个从诞生到消失的完整数字生命身份以及无法被修改的“数字孪生”履历,这个随时更新的履历不但记载着过去,而且能实时显示它的健康情况,从而给它的价值评定和维持决策赋予可靠依照,这不仅会极大地改善维修记录追踪以及数据分享的速率和安全性,而且还会为更为深入的革新应用构建起稳固根基。

像基于这份高度可信的数字档案,保险和金融机构可以对飞机资产实施更精确的动态风险评价与定价。飞

机租赁、二手交易、资产证券化这些复杂的金融事务,其背景考察与尽职考察的成本会大幅度下降,整个流程变得越发透明,高效而且安全,促进航空资产的流转,更加重要的是,当区块链的可信数据同人工智能,大数据分析技术深度融合的时候,就能对全行业,全机队的维修和运作数据展开深入挖掘,真正做到从“事后故障追查”迈向“事前风险预估”,把民航安全管理提升到一个崭新的高度,所以,区块链技术绝不会只是单纯的一个记录手段,它会变成推动民航业数字化转型的关键基础设施与“信任基石”^[5]。

4 结束语

区块链技术以其特有的技术优势,给解决民航适航维修记录管理所存在的长久以来的信任、安全、效率问题赋予了强大的解决办法,创建基于联盟链的追溯共享平台可以做到维修记录全生命周期可追查、不可篡改,并且借助智能合约推进跨主体业务流程的自动化高效合作。尽管存在性能、隐私、标准等方面的难题,不过它在改良适航管理水平,守护航空安全,助力产业协作上的巨大潜力已经达成普遍认同,伴随着技术发展和应用加深,区块链必将变成支撑未来智慧民航的关键技术之一,给全世界民航业的高质量可持续发展增添新的动力。

参考文献

- [1] 王志强,李明,陈志杰. 区块链技术在航空维修领域的应用前景探析[J]. 航空维修与工程, 2020(5): 45-48.
- [2] 张伟,刘畅. 基于联盟链的民航航材供应链管理系统设计[J]. 计算机应用与软件, 2021, 38(10): 112-118.
- [3] 赵欣,等. 民航维修记录电子化的挑战与区块链应对策略研究[J]. 中国民航大学学报, 2019, 37(4): 23-27.
- [4] 李海涛,吴仁彪. “区块链+”背景下智慧民航发展的思考[J]. 民航管理, 2021(3): 15-19.
- [5] 陈峰,孙瑞山. 基于区块链的飞机部件全生命周期数据管理模型研究[J]. 航空学报, 2022, 43(1): 325401.

作者简介: 徐申(1992-),男,汉族,浙江桐乡人,初级职称,工科学位,主要研究方向民航适航维修。
吴晶晶(1985-),女,汉族,浙江宁波人,助理职称,主要研究方向民航适航维修。