

# 数字孪生在智慧海关物流监管中的应用探索

肖宇<sup>1</sup> 乐会<sup>2</sup> 姜允旦<sup>2\*</sup> 瞿凯<sup>2</sup> 车向东<sup>2</sup> 吴琛<sup>2</sup>

**摘要** 为进一步改善海关物流监管智能化应用效能,提高系统预测能力和联动分析水平,本文从数字孪生技术基本概念入手,结合海关物流监管实际,研究并提出了数字孪生技术应用于海关物流监管中的系统布局 and 实现路径。以具体应用场景为例,探寻比较此项技术在风险布控、统计预测、方案优化等方面的优势,思考该技术在提高海关物流监管领域趋势预测、精准研判、隐患防控等方面的作用,积极探索智慧海关物流建设新方向。

**关键词** 数字孪生;智慧海关;物流监管

## Application and Exploration of Digital Twin in Smart Customs Logistics Supervision

XIAO Yu<sup>1</sup> LE Hui<sup>2</sup> JIANG Yun-Dan<sup>2\*</sup> QU Kai<sup>2</sup> CHE Xiang-Dong<sup>2</sup> WU Chen<sup>2</sup>

**Abstract** In order to further improve the efficiency of the intelligent application of Customs logistics supervision and enhance the system's forecasting capability and linkage analysis, this paper started with the basic concept of digital twin technology and combined the reality of Customs logistics supervision to study and proposed the system layout and implementation path of digital twin technology applied in Customs logistics supervision. Taking specific application scenarios as examples, explored and compared their advantages in risk control, statistical prediction, scheme optimization, etc. Thought about their role in improving trend prediction, accurate research and judgement, prevention of hidden dangers in the field of Customs logistics supervision, and actively explored new directions for Smart Customs logistics construction.

**Keywords** digital twin; Smart Customs; logistics supervision and application

中国海关根据实际业务需要搭建智慧物流等各类监管系统,这些系统持续生成数据形成数据资产。如何更好地提升系统应用效能,进一步挖掘数据资产价值,本文基于数字孪生技术的特点和应用,结

合海关智慧物流等各类监管系统建设的现有条件和基础进行分析,提出数字孪生在海关物流监管系统的布局方案和应用场景,提供分析报告和可视化工具,促进组织和业务流程创新,推进智慧海关建设。

第一作者:肖宇(1978—),男,汉族,广东大埔人,本科,主要从事海关监管工作, E-mail: winner\_xiao@126.com

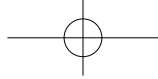
通信作者:姜允旦(1983—),男,汉族,浙江温州人,本科,主要从事口岸监管工作, E-mail: 87347254@qq.com

1. 西宁海关 西宁 810007

2. 宁波海关 宁波 315000

1. Xining Customs, Xining 810007

2. Ningbo Customs, Ningbo 315000



## 1 数字孪生的概念与应用

数字孪生是指物理对象在虚拟空间的数字表示,这一概念首先由 Grieves M 提出,用于解决现代制造和航天工程产品周期管理问题<sup>[1]</sup>。具体做法是将现实中的实体按功能分解并进行数据量化,然后在计算机系统中运用数值手段还原,两者应具有一致性。在该概念基础上, Boschert S 和 Rosen R<sup>[2]</sup> 提出数字孪生系统是数据、模型和信息的组合,通过重组与抽离,可以根据需求开展各种类型的仿真。

### 1.1 数字孪生的应用模式

#### 1.1.1 数据收集

通过采集传感器数据、操作数据、环境数据等,收集物理实体的实时数据作为数字孪生的基础。

#### 1.1.2 数据整合

通过对采集到的数据实施数据清洗、格式转换和数据融合,将收集到的数据整合至统一的数据平台中,便于进一步分析和处理。

#### 1.1.3 模型构建

通过选择合适的数据算法,在传统基于物理学原理建立的仿真模型的基础上,进一步利用机器学习和人工智能技术构建与物理实体高度相似的数字模型。

#### 1.1.4 实时模拟

通过对数字模型实时模拟实体的状态和行为,进而预测物理实体的未来状态,发现潜在问题和优化性能的方向。

#### 1.1.5 双向交互

通过从物理实体动态收集更新数据,持续优化模拟并将分析结果反馈给物理实体,实现对物理实体的实时监控和优化。

### 1.2 数字孪生的应用特点

#### 1.2.1 可视化展示

直观反映物理模型静态信息和动态趋势,帮助理解和操作包括三维模型展示、数据图表展示等。

#### 1.2.2 预测优化

基于历史数据、实时数据和算法预测未来情景,

帮助了解物理实体发展趋势,调整参数和算法,提供优化方案和决策参考。

#### 1.2.3 过程控制

实时监控获取物理实体状态和行为,使用系统算法或人工干预等方式加强对物理实体的过程控制,帮助及时调整策略和操作,有效防控风险。

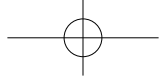
### 1.3 数字孪生在物流领域的应用情况

数字孪生在工业领域单一部门单一系统应用起步较早,如对空间飞行器等物体可以进行简化仿真分析,实现前期可行性验证。随着新一代通讯技术的普及以及物联网、人工智能、大数据、云计算等学科领域的成熟,推动数字孪生技术在物流领域进行初步应用。如淮安港利用该技术实现车船货融合,打通信息壁垒,实现物流链运行全程自动化<sup>[3]</sup>;厦门远海码头通过建立数字孪生模型探索出一种人工与自动化集卡混行方案,逐步实现港口完全自动化<sup>[4]</sup>;威海港基于城市智能模型(City Intelligent Model, CIM)技术依托视频监控数据打造数字化港口,降低安全风险,提高作业效率<sup>[5]</sup>;宁波舟山港构建数字孪生拼箱仓库,实现作业可视化,全面监控货物装卸存储流程。

## 2 数字孪生应用于海关物流监管的要求

### 2.1 数字孪生在海关物流监管中应用的优势

我国是世界第一大货物贸易国,海量的国际贸易货物流通对海关物流监管提出了更高要求,传统监管模式难以实现对货物的全程全面监管,引入数字孪生系统将带来明显优势:一是掌握监管货物的装卸、途中运输、靠泊港口等记录信息,对行程开展事前、事中、事后全程监管,延伸监管触角;二是扩大货物监管范围和数量,实现海关监管全覆盖、无死角,以技术手段弥补人力不足;三是利用模型进行预测分析,发现监管风险点,优化管理方案;四是引入动态数据,结合静态数据开展数据发掘,辅助风控部门判定高风险货物,提高命中率和查发率;五是经营单位和运输车队等物流参与方提供建议指导,给出物流组合方案,计算运输成本,跟



踪查验流程, 预计通关时间, 帮助企业合理安排生产计划。

## 2.2 解决数字孪生应用于海关物流监管存在的基础问题

海关物流监管的复杂性影响了数字孪生技术的大规模应用: 一是海关监管场景多样, 系统变量多, 生态复杂, 数据融合难度大; 二是各部门信息化系统建设层次和水平不一、数据标准不统一以及过度的权限控制等导致数据共享存在壁垒<sup>[6]</sup>; 三是运用数字孪生对现有信息化系统进行改造要综合评估前期投入、维护成本与效率的关系。在实际应用中需要解决一些基础性问题。

### 2.2.1 数据准确性

数字孪生系统对现场作业节点进行干预和仿真预测的质量, 取决于是否能够将监管区域中各要素以数字形式完整准确地呈现, 这就要求各类数据的收集应确保准确, 不出差错。

1) 更新物联网设备。如布置在监管现场的摄像头、射频识别设备、数据基站、传感器、报警装置和手持终端等外部设备能够准确感知环境对象。

2) 优化通信网络。如硬件上使用 5G 或高带宽光纤保障海量数据传输, 软件上设计和优化网络架构, 使用数据压缩技术, 减少数据传输的延迟和等待时间。

3) 增加数据校验。如可以使用校验、哈希算法或消息认证码等技术来验证数据的完整性。接收方可以根据校验值或哈希值来验证数据是否在传输过程中被修改或损坏。

### 2.2.2 数据安全性

数字孪生在数据安全性方面面临着数据隐私保护、身份认证和访问控制以及威胁检测和响应等技术难点。

1) 使用加密算法。如利用非对称加密手段或数字签名对敏感数据进行加密, 数据加密后无法逆向解构, 确保数据在传输和存储过程中的机密性。

2) 建立访问控制机制。采用身份验证、授权和权限管理机制, 限制对数字孪生系统的访问和操作权限, 确保只有授权的用户能够访问和操作数字孪

生系统的数据。

3) 应用安全监控工具。建立实时监控系统, 对数字孪生系统进行监测和分析, 及时检测和响应潜在的安全威胁和攻击; 使用漏洞管理工具来识别系统中的安全漏洞, 采取措施进行修补和防护。

### 2.2.3 平台兼容性

建立数字孪生系统依赖庞大的数据资源, 数据整合难度大, 涉及到多个数据平台, 往往数据冗余、架构迥异; 而在不同时期又因为新需求迭代系统产生多个历史版本, 但缺乏规划未留出拓展接口, 将导致平台间数据无法相互调用转换。数字孪生建设需要统一平台基础。

1) 开放底层接口。利用程序编程接口 (Application Programming Interface, API), 只需要改动并调用少量驱动代码, 在不触及上层架构的情况下即可使不同平台进行数据交换共享。

2) 数据转换和映射。可以通过开发数据转换工具或中间件在不同平台之间进行数据转换和映射, 以确保数据的一致性和兼容性, 使其能够在不同平台上正确解析和使用。

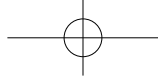
3) 统一数据标准。使用标准化的协议和通信接口, 确保不同平台上的数字孪生系统能够进行互操作。如使用标准的网络协议和通信接口, 如超文本传输协议 (Hypertext Transfer Protocol, HTTP) 等。

### 2.2.4 模型有效性

数字孪生系统数据来源庞大且复杂, 系统要能够校验前端传来的各类数据, 判断和甄别异常数据, 剔除无效数据, 且保证不同来源的数据不存在矛盾, 同时对模型的有效性进行验证和优化。

1) 数据筛选。通过开发一致性检测工具、使用数据比对算法比较不同来源数据, 当数据不一致时采取适当的措施, 如数据修复、数据调整或数据补偿, 确保数据的一致性。

2) 拟合还原。以车辆轨迹信息为例, 存在定位错误、数据缺失、数据密度小的问题, 如图 1 所示, 常用的方法是利用阈值和滤波器过滤无效信息并切割轨迹, 再通过插值手段补足缺失信号, 最后通过函数手段将散点拟合为连续线条<sup>[7]</sup>。



3) 模型验证。需要确认模型与实体一致性的关键特征指标,采用对比测试、实地验证、历史数据验证等方法,保证数字模型输入输出与实际一致:一是采用比对验证,如装有智能锁的定位车辆,可以通过安全智能锁轨迹数据与行车数据交叉验证,确保轨迹准确;二是控制误差,在进行预测时即对算法采用实时跟踪,如使用回归算法时通过检验多重共线性剔除掉重复变量,补充新数据,扩大样本容量,采用灰色模型时通过采用

残差或后验差方式不断确认模型精度,直至符合要求;三是结果反馈,如采用混淆矩阵对模型分类进行评估,从统计学角度查看算法对不同结果的响应精度,并针对重点关注的方向予以优化,又如神经网络算法采用等维递推方法进行目标预测,评估预测结果自动调参后移出最初值,移入新值直到获取最优解。

4) 构建可视化模型。利用地理测绘数据与视频图片,通过虚幻(Unreal Engine, UE)、Unity等

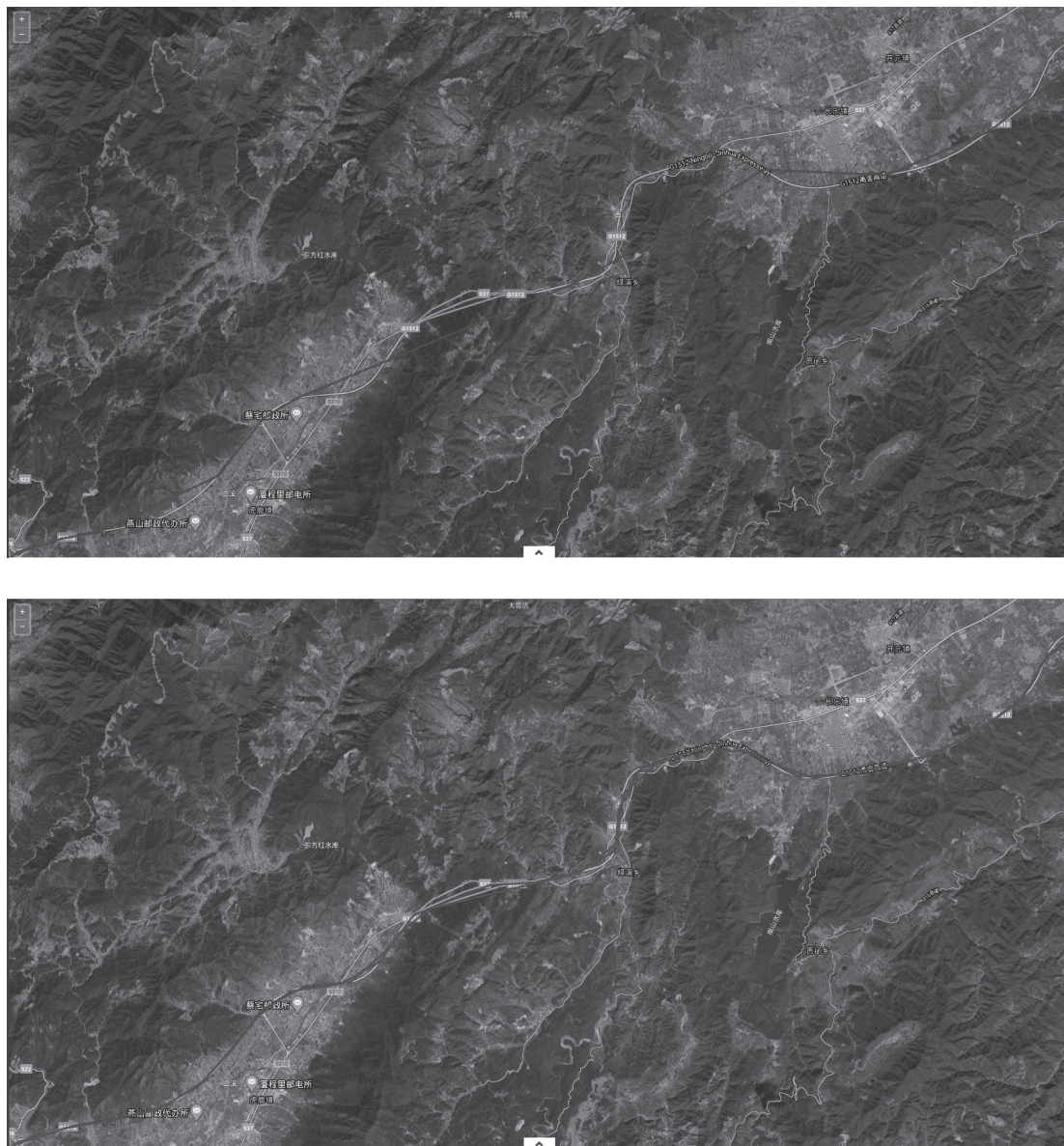
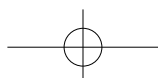


图1 卫星信号丢失与卫星信号连续轨迹对比

Fig.1 Comparison between signal loss and continuous trajectory of satellite signal



三维建模软件还原静态现场，对于运行其中的动态实体，则根据嵌入其中的数字标签并利用各类射频和雷达等定位设备进行实时识别标注。人们可以观察比较数字孪生模型与实际之间的差异，如果模型的输出与实际数据存在显著差异，可以采取相应的校正措施。

### 2.2.5 改造与维护

数字孪生系统在关键算法、系统兼容和数据范围的选择上应兼顾效率和成本，综合考虑寻找投入产出平衡点。

1) 算法优化。海关监管成本、执法力度与被监管对象违法成本、违法所得利润构成一组博弈关系，它影响双方在监管活动中的最终决策。系统在决策时将各类因素参数化（监管成本、违法成本、惩罚力度、违法利润、声誉影响、激励制度等）寻找纳什均衡点，从而指导政策优化，以海关行为决策变化迫使对方调整策略，不断压缩违法空间，从而降低违法意愿，提高监管效率，降低业务风险<sup>[8]</sup>。

2) 保障兼容性和可拓展。确保新老设备与数字孪生系统的接口和协议兼容，以便正确地集成和交互，必要时需要进行接口适配或升级。

3) 模块化设计。按照功能进行分解，将复杂的系统拆分为独立的功能模块，每个模块负责特定的功能，如数据采集、数据处理、模型建立、仿真模拟等，在某个模块需要替换时，无需重写整套逻辑或批量修改，大大提升部署应用效率。

## 3 数字孪生在海关物流监管应用的构想

海关数字孪生系统应立足实际监管需求，以前沿科技为基础，加强关企联动与跨部门协作，打通物流信息壁垒，创造全新物流生态链，实现开放共享、协同创新的数字治理模式，系统与机制建设并重，助力海关监管模式提档升级。

### 3.1 系统框架

数字孪生系统由前端、中台、后端三部分组成，每个部分可以进行数据信息交换和流动，实现数字模型和实体双向互动，海关物流监管数字孪生系统

应用框架如图 2 所示。

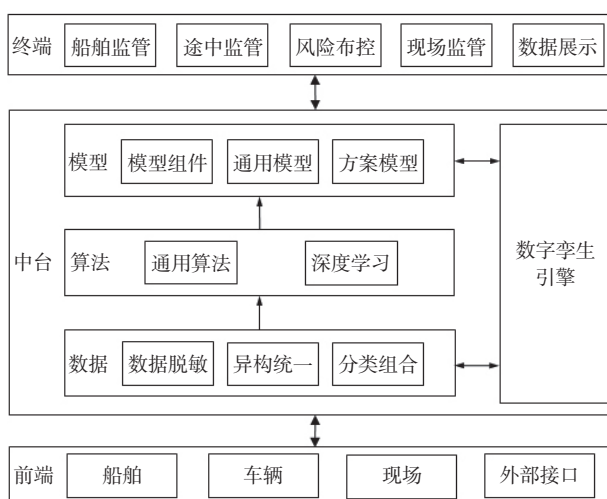


图2 物流监管数字孪生系统结构框架图

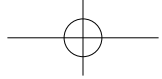
Fig.2 System Architecture of digital twin system for logistics supervision

#### 3.1.1 前端

实现数据采集和控制的功能，既是实现环境感知的神经末梢，又可以对现场作业进行实时反馈，它为模型构建打下数据基础。以射频模块、岸基雷达、海上信标以及卫星测绘等数据构建三维地理信息静态模型，并通过安全智能锁、车辆进出卡信息、船舶自动识别系统(Automatic Identification System, AIS)信息构建动态车船流；引入跨部门数据为模型构建外部环境变量，提高信息完整度，推动模型精细化，并为其他部门信息工作提供数据接口支持。

#### 3.1.2 中台

实现数据处理功能，划分为数据、算法、模型模块，通过数字孪生引擎调用并进行优化：数据模块负责对采集到的数据资源进行标准化、分类处理以便于使用需要，对敏感数据进行脱敏处理以保障安全性；算法模块负责根据实际需求训练生成模型，通用算法利用参数和步长设置对简单场景实现快速模拟，深度学习模块则会根据需要进行算法融合，在设定的精度和效率条件下生成复杂模型；模型模块则用于数据综合分析，它由数据集和算法训练得到，既有通用模型，又有根据特殊需求定制的方案模型，还有模型组件满足临时性或试验性需求，这



些模型会根据需要增减变化。

### 3.1.3 终端

实现数据可视化和人机交互。生成可视化三维地理信息模型,统计各类数据形成图表展示,实时反映场内工作情况;关联海关监管系统提供互动界面,发现预警或者异常可以及时介入操作,实现数字模型与实体的双向联动。

## 3.2 现场应用

海关业务场景丰富多样,可以根据不同监管需要实现数字孪生应用,在企业申报、现场监管、风险防控等领域分别建立完整模型开展分析,并以海关业务各条线为基础,实现多角度聚合,从而构建海关物流监管在虚拟空间的完整映射,全面展现海关物流监管态势。以下是数字孪生系统在海关业务监管中的具体应用。

### 3.2.1 精准研判,强化物流链风险防控

将货物流通的所有环节纳入监管评估之中,让各业务条线的风险管控手段联动。首先以报关数据中的关键词形成静态数据库,在使用算法甄别前先对数据进行冗余处理和关联度排序,利用过往高风险报关单或企业违规信息作为参照,反向筛选数据字段形成风险关联度,然后结合各字段下数据敏感度进行加权计算,形成静态风险评估<sup>[9]</sup>。然后将动态数据引入数字孪生引擎对货物构建风险模型,如物流信息、境外风险预警、行业动态以及卫星地理数据等,主动调整数据集优先级和算法,并对敏感货物实时跟踪,对在途异常信息进行研判分析,在路途中同步测算,动态调整风险等级<sup>[10]</sup>。在获得布控货物的查验结果后进行自我评价形成闭环,反馈并修正布控策略<sup>[11]</sup>。

### 3.2.2 统计预测,优化物流监管资源配置

通过仿真预测为海关决策提供数据支持,便于海关监管实现行动超前部署。数字孪生系统依托海量物流数据,结合高效计算性能,构建港区物流动态模型,对未来物流运力、企业物流需求、关税收入、敏感货物进出口情况进行预测,先以灰度系统模型处理数据初值,再引入神经网络、线性回归等算法组合预测<sup>[12-14]</sup>,提供预测上限和下限,并把

误差控制在允许范围内;对于一些短期因素影响,如临时性政策、大宗商品价格波动、市场需求调整等<sup>[15]</sup>,这些数据与往年情况比较,经系统后台对数据监测和评估后,以差值形式纳入考虑范围,提供单一或叠加指标下的数据运算结果,这样就可以利用时间轴的形式直观展示事中和事后对数据的走向影响,由此给出下一阶段的监管工作建议并展示优化后的工作效果。

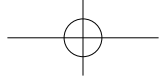
### 3.2.3 预警处置,规范物流监管作业

借助庞大的物联感知设备,融合多种算法对区域运行状态进行全面监控,实时准确做出各类预警。数字孪生系统可根据卫星地理数据、监控视频、锁体状态、历史处置记录并通过大数据算法、自适应学习等手段,自动区分误报警和真报警,并对各类风险预警进行评估,给出风险等级,保留敏感时段现场监控数据、航迹等信息资料用于模型训练和复核,提高预警处置准确率。

以转关业务途中监管为例,安全智能锁利用内部定位和通信模块向系统发送位置信息,系统接收数据后即对行驶轨迹开展智能分析,特别是对长时间驻留、高风险点位、偏离常规行驶轨迹等情况,调取卫星地理图片、企业注册信息、音视频监控资料、报关数据等,分析并列举风险形成原因,针对不同货物类型和运输方式建立高风险点位、车辆、路线监管清单,发布风险警示并对车队、交管、市监部门提出建议。此外,安全智能锁进一步集成6轴加速度和陀螺仪惯性传感器(Inertial Measurement Unit, IMU),实时感知锁体姿态数据,并通过4G/5G通讯传输实时数据,对安全智能锁进行孪生建模,实现锁体姿态的实时可视化展示,有效对途中安全智能锁异常翻转、离开箱门等动作进行判断预警,提升监管能力。

### 3.2.4 极限模拟,提升物流监管应急处置能力

对罕见或突发情况进行模拟,如极端自然灾害、公共卫生事件、大规模设备故障等情形,采用人为因素改变外部环境变量或关闭部分工作系统,或者在某一环节插入扰动因素等方式,在虚拟空间达到实战演练的目的。如危险品转场和存储,数字



孪生系统将利用传感器和视频设备对风险隐患开展排查,监测储存场所温湿度、光照水平、通风情况等;根据场内存储情况开展风险评估,设定不同风险等级提示监管人员并在货物入库时对不同危险品分类分区存放给出建议,结合压力测试结果和发生概率选择相应应急管理等级和方式,确保作业生产安全。

在静态采集的同时,通过对接各类物流数据实现动态模拟强化过程控制。如对物流过程中码头、卡口、运输工具与装卸工具的整体建模,创建数字孪生基座,用历史数据驱动相关孪生模型,实现对港口物流过程的实时模拟,有效评估最大作业量等峰值数据产生时间、区域,寻找区域关键节点,提升监管效率。同步运用可视化界面了解以上事件对海关业务监管的影响程度,给出几种合理的应急管理预案并对结果进行预测,寻找解决问题的最优路径,同时预估应急物资储备量进行提前预防,进一步提高海关对突发事件的应急处置能力和管理水平。

### 3.2.5 优化流程,创新物流监管模式

依托数字孪生和人工智能技术融合应用提高作业智能化水平,持续优化监管模式。例如,出口拼箱“先查验后装运”作业模式,运用数字孪生技术,通过测量数据在计算机中建立三维信息模型,明确仓储库位、运输通道、作业区、查验区等静态位置,并利用二维码标记入库货物,以自动实时记录取代手工登记,位置发生变动即更新状态,实现货物仓储动态管理。进一步衔接后续装箱、施封、出卡、途中运输、进卡、装船等环节,实现全环节智能记录、智能作业,形成全程可追溯时间链条。在施封这一占用现场人力的作业环节,通过 AI 实现对海量箱门、箱号、安全智能锁、挂锁位置等学习,运用数字孪生强化机器学习效能,应用功能性摄像头自动识别集装箱号、车牌号,自动判定挂锁位置和锁闭有效性,自动下发施封密钥实现自动作业,通过创新监管模式有力支持物流新业态发展,提升港航集疏运效能。

### 3.2.6 改善服务,提升通关便利化水平

依托仓储管理系统(Warehouse Management

System, WMS)、电子数据交换(Electronic Data Interchange, EDI)等技术方式对接企业平台,申报数据共享,相关企业可依托“互联网+”获取海关放行等节点信息,并与装船、提箱等上下游物流环节联动,让“数据多跑路、企业少跑腿”;通过可视化手段将物流运输各节点直观实时展示,系统后台根据申报信息、现场情况以及历史数据综合分析,预测途中运输时间和通关时间,将海关作业时间作为一环嵌入到整体物流链中,为企业安排生产运输提供建议指导。

### 3.3 运行保障机制

#### 3.3.1 建立多方协调机制

海关与地方、企业间需要设立协调机制,相互学习交流先进经验,同步系统建设水平,推进数据交换共享,保障数据安全,并在此基础上探索统一平台建设的可能性,加强接力合作,推动监管无缝衔接。

#### 3.3.2 实现与海关作业系统的互联互通

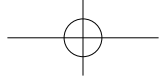
梳理物流监管业务与风险布控、税收管理等中心,与接单、查验、放行等现场以及实验室等后续环节之间的关系,实现业务操作系统合并、更新和迁移;系统发展理念由业务中心化转变为数据中心化,统一底层数据、设备标准和结构;制定信息化系统建设海关统一标准和中长期规划,预计未来业务需求,预留接口,方便拓展。

#### 3.3.3 分步推进系统应用

数字孪生物流监管系统需要考虑海关建设的技术水平、业务需求等,把握节奏、整体推进、分步实施,以边应用边推广为目标<sup>[16-17]</sup>,在不妨碍日常业务运行的同时逐次分批引入数字孪生智慧引擎参与分析,最终实现业务全覆盖。在职责分工上,分析评估由人工主导转向系统主导,人员转向复核监督职责;在应用范围上,从非核心业务试点向核心业务推广。

## 4 展望

未来五年是全面建设社会主义现代化海关的关



键阶段,数字孪生等新技术在智慧海关建设中特别是智慧物流建设中有着极大的契合度、广阔的应用场景。

#### 4.1 与区块链技术相结合

实现货物的全程追踪和数据的不可篡改,提高数据的安全性和可信度。以此为基础推进海关、物流企业和其他相关机构之间的跨部门信息共享,促进信息流、物流和资金流的互通有无,提高海关物流监管的效率和安全性。

#### 4.2 人机协同

进一步强化数字孪生与人工智能、物联网等技术的结合度,通过数据分析和预测,实现对物流过程的自动化监管和控制,提高效率和降低成本。比如在跨境电商等新业态中的应用,依托数字孪生与自动化设备和机器人等技术的结合,实现对仓储物流过程的自动化管理和控制,建立无人化仓储作业,提高跨境电商仓储作业效率,进一步支持海关对跨境电商的监管和管理,提高跨境电商的安全性和便利性。

#### 4.3 引入大数据语言模型

如 ChatGPT,数字孪生在系统后端分析数据,语言模型在前端实现系统人格化。如在口岸一线和窗口提供对外服务,为企业和个人提供指导建议,帮助他们正确申报、计算关税、普及法规,给予政策指导等,并就特定问题如货物、车辆监管等提供具体回答;再如为海关人员提供对话界面,根据进出口数据、旅客信息、货物清单等数据进行预测,提供风险评估和建议,帮助海关更好地了解潜在风险,以便及时采取预防性措施。

数字孪生技术将在智慧海关建设中得到更广泛的运用,对促进顺势监管、智慧监管、精准监管、高效监管,打造全链条物流监管体系发挥积极作用,为海关物流监管提供更加高效、安全和可靠的服务。

#### 参考文献

[1] GRIEVES M. Product lifecycle management: The new paradigm for enterprises [J]. International Journal of Product Development, 2005,

2(1/2): 71-84.

[2] BOSCHERT S, ROSEN R. Digital twin—the simulation aspect [EB/OL]. [2018-12-27]. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-32156-1\\_5](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-32156-1_5), 2016-06-11.

[3] 李效明,钱文军.数字孪生系统技术在港口信息化建设中的运用[J].中国水运,2022,4(16):48-51.

[4] 林建喜,宗尧,汤俊奇.数字孪生技术在厦门远海码头的落地应用[J].上海船舶运输科学研究所学报,2022,2(45):58-62.

[5] 石磊,郑国强,沈旭,等.基于城市信息模型的数字孪生港口平台规划设计[J].中国建设信息化,2022(5):68-71.

[6] 刘鼎,葛颖恩,孙金余,等.海关智慧监管点设置研究——以上海洋山港全自动码头为例[J].价值工程,2020,39(17):208-211.

[7] 余健夫.物流监控系统关键技术研究[实现][D].武汉:华中科技大学,2018.

[8] 郑哲文.基于纳什均衡的物流安全监管策略研究[J].中南林业科技大学学报,2009,29(1):122-125.

[9] 周欣,张弛海.基于数据挖掘的海关风险分类预测模型研究[J].海关与经贸研究,2017,38(2):22-31.

[10] 金瑾,王正刚,刘伟,等.多种分类模型在海关智能化风险布控中的应用[J].软件工程,2020,23(11):6-9.

[11] 徐强.试论大数据标签化在进出口企业画像中的作用[J].中国口岸科学技术,2020(11):32-37.

[12] 陆文杰.基于灰色组合模型的福建省港口集装箱吞吐量预测研究[D].福州:福建农林大学,2012.

[13] 肖苏,熊焱.基于灰度统计和神经网络的物流业税收预测模型[J].物流技术,2013,32(23):131-134.

[14] 张树奎,鲁子爱.港口集装箱吞吐量的灰色神经网络预测模型研究[J].江苏科技大学学报(自然科学版),2014,28(3):216-219.

[15] 邹薇.基于计量经济模型的海关税收政策研究[D].天津:天津大学,2012.

[16] 原喆鹏.论智慧海关建设的问题与路径[EB/OL].[http://www.nbc.intra.customs.gov.cn/newhb2012/More\\_ZwInfo.asp?MediaID=21](http://www.nbc.intra.customs.gov.cn/newhb2012/More_ZwInfo.asp?MediaID=21), 2023.

[17] 王军.关于推进海关“智慧监管”体系建设的思考[EB/OL].[http://www.nbc.intra.customs.gov.cn/newhb2012/More\\_ZwInfo.asp?MediaID=21](http://www.nbc.intra.customs.gov.cn/newhb2012/More_ZwInfo.asp?MediaID=21), 2023.