文章编号：1003-1421(2026)07-0150-10
引用格式：张雄，耿朔，黄磊. 基于DCMM的铁路智慧口岸站数据枢纽分析与设计[J]. 铁道运输与经济，2026，48(7)：150-159.
ZHANG Xiong，GENG Shuo，HUANG Lei. Analysis and Design of Data Hub for Intelligent Railway Port Station Based on DCMM[J]. Railway Transport and Economy，2026，48(7)：150-159.

基于DCMM的铁路智慧口岸站数据枢纽分析与设计

张 雄，耿 朔，黄 磊

(北京交通大学 经济管理学院，北京 100044)

摘 要：从数据管理能力成熟度的视角，分析国际联运铁路智慧口岸站数据枢纽的设计，旨在从数据视角为其建设提供参考。基于数据管理能力成熟度模型，对铁路数字底座进行评估和分析，发现其在数据整合、共享及全生命周期管理等方面仍存在不足。针对铁路智慧口岸站的具体业务需求，梳理多方数据目录及总体数据分级分类标准，形成统一的数据治理框架，提出一个全面的数据枢纽设计思路，涵盖了数据管理和保护、服务提供与接口安全、应用层功能、全生命周期管控体系等关键要素，将数据目录视为重要的管理工具，融入整个数据管理与保护体系中，有助于提升数据资源的利用率，促进信息共享与协同，提升决策支持能力。本研究扩展了DCMM在跨境场景的应用，并为国际联运铁路智慧口岸站数据枢纽建设提供系统性解决方案。

关键词：数据枢纽；智慧口岸；DCMM；数据目录；数据驱动
中图分类号：U29 **文献标识码**：A **DOI**：10.16668/j.cnki.issn.1003-1421.20250408003

Analysis and Design of Data Hub for Intelligent Railway Port Station Based on DCMM

ZHANG Xiong，GENG Shuo，HUANG Lei

(School of Economics and Management, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: From the perspective of data management capability maturity, the design of a data hub for an international intermodal intelligent railway port station was analyzed, aiming to provide a reference for its construction from a data perspective. Based on the data management capability maturity model, the railway's digital foundation was evaluated and analyzed, and it was found that there were still deficiencies in data integration, sharing, and full lifecycle management. In view of the specific business requirements of the intelligent railway port station, multi-party data catalogs and overall data classification and grading standards were sorted out, and a unified data governance framework was formed. A comprehensive design idea of a data hub was proposed, covering key elements such as data management and protection, service provision and interface security, application layer functions, and a full lifecycle control system. Regarding the data catalog as an important management tool and integrating it into the entire data management and protection system help to improve the utilization rate of data resources, promote information sharing and collaboration,

收稿日期：2025-04-08 **修订日期**：2026-04-20
通信作者：黄磊(1965—)，男，江苏江宁人，北京交通大学经济管理学院教授。
基金项目：国家自然科学基金项目(52172311，U2268202)；中国国家铁路集团有限公司科技研究开发计划课题(RJ2024X017，J2024W001)

and enhance decision support capabilities. This paper extended the application of DCMM in cross-border scenarios and provided a systematic solution for the construction of a data hub for an international intermodal intelligent railway port station.
Keywords: Data Hub; Intelligent Port; DCMM; Data Catalog; Data Drive

0　引言

随着全球经济一体化进程的加速，国际贸易的规模和复杂性不断提升，铁路口岸作为国际贸易和物流链的重要节点，其效率与管理水平直接影响货物的流通速度、成本及全球供应链的稳定性。但传统口岸管理模式已无法满足现代化物流和贸易的需求。智慧口岸通过运用先进的信息技术手段，对口岸的管理和服务进行数字化、网络化、智能化改造，旨在提升通关效率、强化风险管控、优化服务体验，促进贸易便利化和经济高质量发展。因此，铁路智慧口岸站建设已经成为当前国际贸易至关重要的一环。

但是当前各类数字底座在数据成熟度方面普遍存在不足，尤其在涉及铁路、边检、海关及境外合作部门等多实体协同的复杂业务场景下，其系统架构的适应性缺陷更为明显，这种成熟度不足直接导致数据生命周期管理薄弱和数据安全风险增加等现实问题。具体到国际联运铁路智慧口岸站建设中，铁路系统原有数字底座在跨境多主体协作方面存在功能缺失，既难以支撑不同组织间的标准化数据交互，也无法实现跨系统工作流的智能衔接。这种局限性不仅加剧了跨部门、跨区域数据共享的深度和广度不足，形成数据孤岛现象、跨组织协作壁垒及跨境数据安全隐患等，还可能因境内外数据质量标准差异、业务规范不统一等问题，严重影响风险研判和通关决策的准确性与时效性。而通过建设具备智能适配能力的数据枢纽，则可有效整合多源异构数据，建立统一的数据治理框架，为复杂业务场景下的协同作业提供标准化支撑。

针对上述问题，本研究从数据管理能力的角度出发，基于数据管理能力成熟度评估模型(Data Management Capability Maturity Model，DCMM)，评估铁路数字空间底座，分析其不足之处，并以此为参考，分析铁路智慧口岸站数据枢纽需求，补充现有铁路数字底座，整合优化其功能，设计一个集成各方主体的数据枢纽，以满足铁路智慧口岸站的具体需求。本研究构建了全面的数据治理框架，包括数据标准化、多方数据目录管理、分类分级管理和全生命周期管理，确保数据在智慧口岸站数据枢纽的生产、存储和使用过程中规范有序；采用多种先进技术，确保数据在跨境流转中的安全性和可信性，减少敏感信息泄露风险，提高各参与方的协同效率。通过强化数据成熟度建设，数据枢纽将有助于铁路智慧口岸站从基础信息化向全面智慧化的转变，为国际贸易的高效、安全发展提供技术保障。

1　铁路智慧口岸站现状研究

铁路口岸站是国家在边境铁路线上设立的对外开放门户，承担着国际货物运输交接、旅客联运及出入境检查等职能。铁路口岸站与一般的铁路货运站不同，需要海关、边检等多个部门间以及与境外的协同作业，传统口岸的纸质作业形式使得作业效率难以提升，高效通关和贸易安全的需求愈发迫切[1]。现有研究对口岸站数字化转型作出了诸多探索，部分通过“两地两检”的模式，实现简化进出口贸易通关程序，但功能定位存在局限且多方业务数据价值未充分挖掘[2]；部分铁路口岸站聚焦于通关线路流程的优化[3-4]；铁路95306数字口岸系统的建立和应用，实现了铁路与海关2个部门间的作业协同，提升了铁路与海关通关效率[5]。还有部分研究从智慧口岸建设的理论出发，解释了智慧口岸是使用新兴技术实现对产业链上数据资产的价值实现，以及各参与方之间数据的互联互通[6]，并给出了智慧口岸的逻辑框架及运行机制。由此可见铁路口岸站作为国际物流枢纽[7]，在多方参与主体协同作业的场景下，跨部门、跨系统、跨区域，甚至跨境的数据流通与联动十分频繁，其汇集的数据十分庞大，而口岸相关部门数据孤岛广泛存在。在这种情况下如何对这些数据资产进行有效管理，保障安全、高效的数据共享与业务协同是一项重要的研究内容。

随着数字化转型的深入推进，各行业对高效、

安全、智能化的数据管理和技术支持平台的需求激增。数字底座作为一种新型基础设施，为实现数字化应用提供了一种新的解决方案[8]。不同行业正逐步采用数字底座，解决跨部门、跨行业的数据孤岛问题，以实现资源共享和部门间高效协作。例如，公路行业通过构建路网数字底座提升高速公路运营管理效率[9]，港口行业通过数字孪生实现物流全流程的数智化管理，铁路行业通过数字底座整合运输调度、设备运维和安全监控数据，提升整体运营效率[10-12]。目前的铁路数字空间底座实现了时空数据融合、轻量化处理、服务共享发布等功能[13]，不过该总体框架聚焦铁路这一单一行业，对不同组织(如海关、边检、物流公司)的数据融合与分析仍存在不足。不同部门的信息系统相互独立，其在数据结构、标准、语义定义甚至是语言类型上存在显著差异，数据在不同系统间的整合困难，难以构建贯穿各环节全过程的货物追踪视图。

单一行业的数字底座建设难以满足智慧口岸站的数据管理需求，本研究在此基础上对现有的铁路数字空间底座进行优化补充，构建一个能够有效支撑多主体协作、打通数据流通瓶颈的智慧口岸站数据枢纽。目前，已有研究通过构建铁路数据资产目录进行标准统一和安全共享[14]，并将数字目录管理集成到数据共享平台[15]，表明数据目录及数据分级分类是解决各个组织之间数据标准不统一、数据整合难的有效方法。通过制定并实施跨主体的数据标准，建立统一的数据目录，消除理解偏差，奠定共享基础。设计符合境内外法规要求的数据分级分类策略、安全传输协议和信任机制。提供标准化的数据接入与交换接口，支持多源异构数据的汇聚、清洗、转换与融合，打破数据孤岛。整合物联网(IoT)、地理信息系统(GIS)等技术，实现对货物、车辆等要素状态数据的实时采集与汇聚，构建贯穿海关、边检、铁路全流程的统一追踪视图。

综上，铁路智慧口岸站数据枢纽的本质需求，是构建一个面向多主体协作场景、以数据流通联动为核心、能够有效解决当前数据协同障碍的数据中枢。数据目录作为该枢纽的核心治理工具，将发挥统一数据视图、标准化描述、促进共享的关键作用。

2　基于DCMM的铁路智慧口岸站数据枢纽优化路径研究

2.1　DCMM

DCMM是工业和信息化部于2018年正式发布的国家标准[16]，其中包括8个数据管理能力域、28个数据管理领域的能力项及5个能力等级。数据管理能力成熟度能力域和能力项如表1所示。

表1　数据管理能力成熟度能力域和能力项

Tab.1　Capability domains and capability items of data management capability maturity

能力域	能力项	能力域	能力项
数据战略	数据战略规划	数据安全	数据安全策略
	数据战略实施		数据安全管理
	数据战略评估		数据安全审计
数据治理	数据治理组织	数据质量	数据质量需求
	数据制度建设		数据质量检查
	数据治理沟通		数据质量分析
			数据质量提升
数据架构	数据模型	数据标准	业务术语
	数据分布		参考数据和主数据
	数据集成与共享		数据元
	元数据管理		指标数据
数据应用	数据分析	数据生存周期	数据需求
	数据开放共享		数据设计和开发
	数据服务		数据运维
			数据退役

除了DCMM，国际上常见的数据管理评估方法还有国际标准化组织ISO38500治理框架、数据管理协会(DAMA)的数据管理知识体系、国际数据治理研究所(DGI)数据治理框架，其从整体架构和优势不足上均有所不同，数据管理评估模型对比如表2所示。

作为我国本土的数据管理能力成熟度模型，DCMM为不同行业的企业提供了一个通用框架，用于评估自身数据管理水平并指导优化路径。例如，铁路基于DCMM构建了铁路数据管理能力成熟度评价体系[17]。DCMM的实用性广泛，适用于所有拥有数据并希望采用标准化方法提升数据管理能力的组织。例如，已有高校和高校图书馆使用DCMM构建数据治理框架[18-19]。本研究聚焦铁路智慧口岸站数据枢纽这一关键基础设施，将其视为一个相对独立的、承担特定数据管理职能的数据管理单元，DCMM政策导向性强，而跨境智慧口岸站也是国家

表2　数据管理评估模型对比

Tab.2　Comparison of data management evaluation models

名称	DCMM	ISO	DAMA	DGI
整体架构	涵盖8个能力域、28个能力项、5个能力等级	分为评估-指导-监督循环模型	定义11个数据管理职能领域和7个基本环境要素	规定组织-规则-流程3个层面和10大关键要素
优势	作为我国本土数据管理国家标准，政策导向性强，适合国企、大型企业申请认证以获得政府补贴或招投标加分，推动数字化转型闭环管理	核心优势是从董事会视角定义数据治理责任，强调战略合规与风险管理。其普适性原则可适配IT资源、数据资产等多类治理场景，为跨国企业提供全球统一的治理基准	核心优势在于构建了覆盖数据全生命周期的11个知识领域，提供标准化术语和通用实践框架。尤其适合需要建立统一数据语言、系统性知识的企业	以业务价值驱动为特色，聚焦数据治理的决策执行层。优势在于清晰的问责机制和强流程导向，能快速响应业务需求变化
不足	评估复杂度过高，5级成熟度量化评估，需覆盖28个过程域，涉及跨部门协同和数据资产全盘梳理，实施工作量十分庞大	其局限在于抽象度过高，仅提供宏观原则，未定义具体实施路径或操作规范，未说明如何、何时及由谁来实施这些原则	其核心问题在于虽然定义了11个职能域，某些职能重叠，内容较为滞后，对新兴技术适配不足	虽强化问责机制与流程闭环，却过度偏重治理流程而弱化技术细节，数据类型覆盖不全，未将主数据、参考数据作为独立治理对象

物流运输建设的关注重点，因此与智慧口岸站数据枢纽的建设需求高度一致。

2.2　铁路数据底座数据管理能力成熟度评估

为明确智慧口岸站数据治理的起点与优化方向，本研究依据DCMM的成熟度等级定义(初始级至优化级)和关键能力项要求，对作为其重要基础的铁路数字空间底座在与数据枢纽强相关的核心能力域进行对标诊断分析，旨在识别其在支撑跨境智慧口岸场景时的能力短板。重点聚焦该底座在与数据枢纽强相关的核心能力域(数据架构、数据标准、数据质量、数据安全、数据生命周期管理、数据应用)在支撑跨境智慧口岸场景时的能力现状与差距。

铁路数字空间底座采用分层架构，包括源数据层、数据层、服务层和接口层等，每一层都清晰定义了功能与目标，其在架构设计中注重模块化和标准化，铁路数字空间底座如图1所示。铁路数字空间底座在数据层展现了较强的结构化数据管理能力和一定量化质量管控，其模块化分层架构体现了对数据分布和模型的一定设计，并在特定数据质量指标监控上可能达到“量化管理级”雏形。通过标准规范体系和数据安全保障模块，初步建立数据标准规范和安全防护机制，符合“稳健级”中“建立了较完善体系”的特征，但缺乏适应跨境、跨部门(铁路、海关、边检等)场景的统一数据标准支撑能力，对跨境数据流动、多源异构数据联合处理等复杂场景下的安全防护与合规性保障机制不完善。现有数据管理模式在数据创建、存储、使用等阶段有一定管理，但严重缺乏对数据从归档到销毁阶段，尤其是在跨境场景下数据留存规则的系统性管理策略。现有架构为数据服务与应用提供了基础支撑，但缺乏高效整合铁路、海关、边检等多方异构数据并实现安全、标准化、可互操作共享的成熟能力，支撑跨境智慧应用的能力成熟度不足。

2.3　基于DCMM的铁路智慧口岸站数据治理模型构建

针对铁路数字底座在跨境多主体协作场景下暴露的数据标准不统一、安全机制不完善、生命周期管理薄弱等核心短板。综合考虑智慧口岸站场景特点、融合国外数据治理模型在口岸站场景下的适用模块及基于DCMM对铁路数字底座的评估结果，提出一种面向铁路智慧口岸站的数据治理模型。铁路智慧口岸站数据治理模型如图2所示。

在数据战略和数据治理层面，根据中国国家铁路集团有限公司(以下简称“国铁集团”)发布的《铁路信息化总体规划》《“十四五”铁路网络安全和信息化规划》《铁路主数据平台管理办法》《铁路数据管理暂行办法》等数据战略和数据治理类的文件指导实施。

在数据架构、数据标准、数据质量、数据应用、数据安全等核心层面，根据铁路智慧口岸站在多部门跨境协同场景下的运行特点，对不同部门的数据资源进行管控。数据架构模块以数据目录为中枢整合三方数据模型，对不同部门的数据资源进行管控。数据标准模块统一业务术语和主数据定义，消除跨境运单、货物状态等核心数据的理解歧义及语言障碍。数据质量模块对多源多模的数据进行有效融合实现数据质量的提升。数据应用模块通过权限配置数据服务接口(如限制边检仅访问部分数据

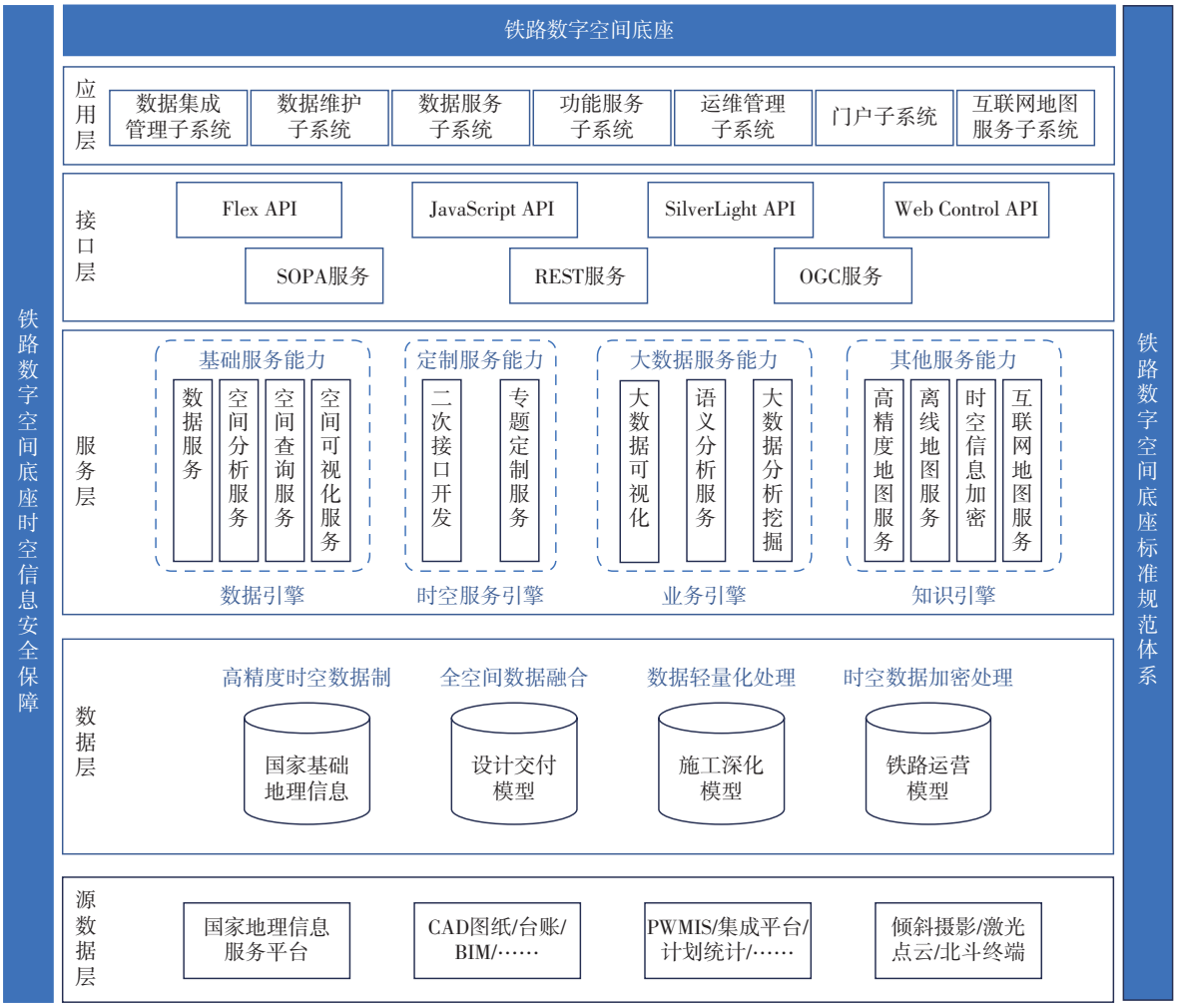

图1　铁路数字空间底座

Fig.1　Railway's digital space foundation

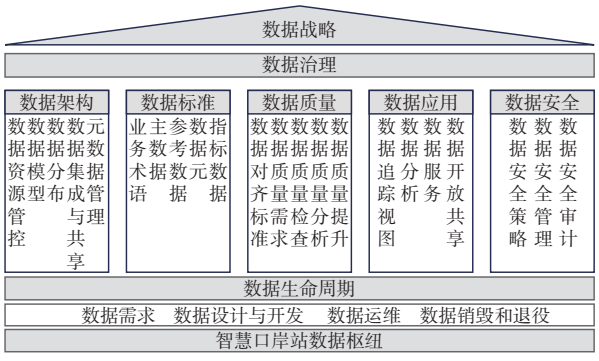

图2　铁路智慧口岸站数据治理模型

Fig.2　Data governance model for intelligent railway port station

状态)以平衡数据开放与主权控制，建立共享视图实现货车定位与申报状态的自动对齐。数据安全模块贯穿底层数据生命全周期：制定跨境专用安全策略，在开发阶段嵌入分类分级规则，运维阶段利用区块链存证审计三方调阅行为，最终在销毁阶段严格执行敏感数据擦除，以动态适应多国要求。

3　面向铁路智慧口岸站的数据枢纽分析与设计

3.1　智慧口岸站数据目录与数据分级分类体系

智慧口岸站作为核心枢纽，汇集铁路部门提供的实时物流数据(如列车动态、货物舱单、集装箱状态、司乘人员名单等)，海关共享的风险布控指令、查验结果及放行指令，以及边检传输的人员核验结果与高风险预警信息，铁路、海关、边检数据逻辑关系如图3所示。为使各参与方能够快速找到所需数据，并准确理解其含义和上下文，数据目录是一个很好的工具选择。数据目录是智慧口岸站数据协同从串联转型并联的核心数据管理工具，为铁路、海关、边检提供统一的数据资源索引和检索框架。

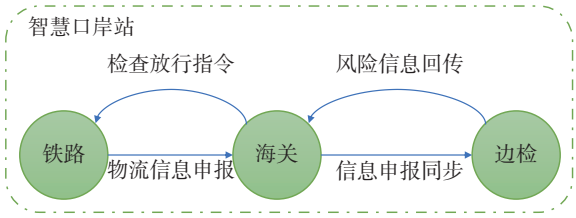

图3　铁路、海关、边检数据逻辑关系

Fig.3　Data logic relationship among railway, customs, and border inspection

在智慧口岸站数据目录的构建中，铁路数据目录占据主导地位，是多方数据资源整合的核心基础。为口岸提供货物物理流转的核心轨迹和运力信息，同一票货物/同一列车的核心标识在三方目录中是关键关联字段，用于数据融合与业务协同。海关数据目录聚焦通关状态与监管合规，对各类进出口商品的数据进行系统化分类和管理是至关重要的。边检数据目录整合人员/交通工具安全与出入境管控，识别高风险对象，保障国家安全。三方数据目录状态信息互补协同，共同推动实现通关、链路追踪等关键功能。基于《现行铁路行业标准目录》中的《铁路货物运输品名分类与代码》《国际铁路联运出口货物运输包装质量要求》，以及《交通运输数据中心互联技术规范 第2部分：数据资源目录分类编码》《海关业务基础数据元目录》《边防检查信息数据结构》等，综合三方的行业标准，形成三方核心数据目录映射如表3所示。

在智慧口岸的框架内，为了优化数据资源的管理和确保信息的安全共享，同时考虑到铁路运营、海关监管、边检审查及国际合作伙伴的需求，需要对数据进行细致的分类分级，并制定授权机制。结合已有研究[20]、国铁集团发布的《铁路数据分类分级指南》、不同主体的数据目录及智慧口岸站数据枢纽需求，从共享维度、安全维度、时间维度、空间维度4个方面构建智慧口岸站分级分类体系如下。

（1）共享维度。细分为禁止共享、双边共享、多边共享、条件共享和完全开放五级，例如禁止共享级对应国家秘密数据，双边共享级限定中俄铁路间交换机车交接数据，多边共享级允许中欧/中亚班列沿线国查询货物在途状态，条件共享级要求境外物流企业签订电子协议后获取限定字段权限。

（2）安全维度。将数据划分为国家秘密级、核心机密级、敏感业务级和公开级。铁路智慧口岸站

表3　三方核心数据目录映射

Tab.3　Mapping of tripartite core data catalog

主体	核心数据类别	关键元数据项
铁路	客货运输信息	运输设备状态、客货运量统计、列车运行图数据等
	货物运输信息	货物品名分类、货物属性数据、货运单据、货运电子商务等
	线路与站场信息	线路基础信息、线路设备状态、车站基础信息等
	数据标准与编码	分类编码规则、数据元规范、安全要求等
	机车车辆信息	设备台账、关键零部件、检修记录等
	安全应急信息	风险预警、应急预案文本、应急资源等
海关	单证编号信息	报关单号、分册号码、合同协议号、货号、交接单号等
	日期时间信息	日期、期限、时间、保函有效期、出口日期、发送日期等
	参与方身份信息	国家名称、行政区划、所在地区、产销国名称等
	商品货物信息	商品名称、商品代码、商标名称等
	运输信息	运输方式、运输工具名称、舱单进出口标志等
边检	入出境人员数据	入出境人员类别代码、姓名、证件类型代码、出入日期等
	交通工具数据	交通工具类别代码、交通工具国籍代码、交通工具号码等
	在控对象数据	档号、查控对象类别代码、处理办法代码等
	检查类型代码	免查、全查、抽查、甲板巡查等
	发现违法违规人员	档号、事件性质、处理结果代码等

数据分级体系依据安全敏感性实施四级管控：国家秘密级数据禁止任何跨境传输并实行物理隔离存储；核心机密级数据仅限可信数据空间内传输，严格执行访问控制及数据加密；敏感业务级数据向授权方提供时自动触发动态脱敏规则；公开级数据则通过标准化接口向国际合作伙伴开放共享。

（3）时间维度。时间维度考虑自数据生成至其可用于分析或决策的时间跨度。智慧口岸中的某些数据，如实时监控货物、乘客流动记录，在特定时间内具有较高的保密要求，不适合立即公开。然而，随着时间流逝，这些数据的重要性减弱，可以适当放宽访问限制。

（4）空间维度。空间维度指定了数据授权的使用界限，依据使用者的不同分为口岸相关企业(如铁路运营商、物流公司)、政府机关、学术研究机构和社会大众4类。每类用户对数据的需求各有侧重。

数据目录与分级分类流程如图4所示。首先，铁路、海关、边检等系统数据通过标准化接口接入

数据枢纽。对接入的数据进行元数据提取和注册，记录其定义、来源、格式、业务含义等核心信息，形成统一的数据目录。根据预设的共享维度、安全维度、时空维度规则，对注册数据进行自动或半自动的分级分类，并打上标签。带有分级分类标签的完整数据仓库存储在中心化的元数据存储库中，作为数据枢纽的仓库。

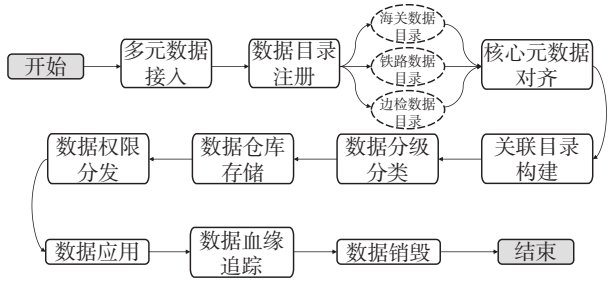

图4　数据目录与分级分类流程

Fig.4　Process of data catalog and data classification and grading

总之，通过构建统一互联的铁路–海关–边检数据目录，并实施严格的多维度分级分类治理，数据枢纽为智慧口岸站奠定了坚实的数据治理基础。这不仅解决了数据资产可见性、可理解性问题，更通过标签驱动的精细化访问控制和安全策略，有效支撑了跨部门、跨境的安全数据共享与协同业务开展，是提升口岸整体智能化水平和运行效率的关键环节。

3.2　铁路智慧口岸站的数据枢纽设计

当前铁路数字底座聚焦于铁路整体行业的通用需求，尚未充分考虑特定应用场景中的特殊业务要求，如铁路智慧口岸站的跨境协同、多部门数据互通、国际联运实时货物追踪等。智慧口岸站的需求分析表明，现有铁路数字底座在多个方面仍难以完全满足智慧口岸站的业务需求。因此，需面向铁路智慧口岸站对现有数字底座进行优化。为了协调各方主体的多源数据，基于2.3节的铁路智慧口岸站数据治理模型，提出一个数据枢纽构建方案。

铁路智慧口岸站数据枢纽旨在构建一个高效、安全、智能的信息基础设施，以支持复杂的多源数据处理和跨部门协作。本研究通过分析铁路智慧口岸站的特殊需求，提出具有针对性的设计思路与技术方案，首先是智慧枢纽与各参与方数字底座的逻辑关系，通过标准化接口，给部门的业务数据统一汇总至智慧口岸站数据枢纽的数据仓库当中。铁路智慧口岸站数据枢纽数据集成如图5所示。

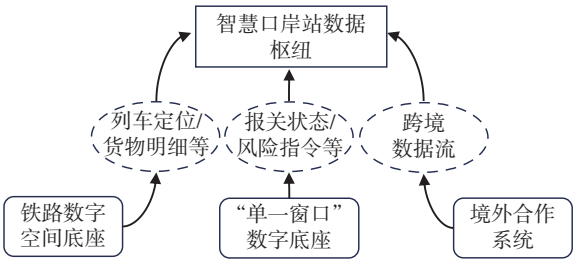

图5　铁路智慧口岸站数据枢纽数据集成

Fig.5　Data integration of data hub for intelligent railway port station

铁路智慧口岸站数据枢纽的设计聚焦于数据管理与保护、关键技术支撑、服务提供、应用层功能4个关键方面，与现有铁路数据底座相比，本研究的优化方向致力于实现以下核心效果。通过建立统一的数据目录与分级分类机制，实现对铁路、海关、边检等不同来源、不同密级数据的规范化集成与精细化管理，这将显著提升数据的安全性与处理效率，同时提供灵活、动态的权限控制，确保敏感信息受到严格保护；开发面向智慧口岸的专用服务模块，有效打破部门壁垒，提升口岸联检效率，缩短整体通关时间；集成区块链与人工智能技术，旨在实现货物全生命周期追踪与风险预警。这些优化将直接满足智慧口岸站在核心业务场景(如跨境数据共享、实时货物追踪)的需求，不仅能解决特定痛点，还将提高数据枢纽的整体场景适应性与技术扩展性，为未来无缝融入更广泛的铁路数字化生态或复制推广到其他物流枢纽奠定坚实基础。智慧口岸站数据枢纽如图6所示。

数据管理与保护在智慧口岸站数据枢纽中扮演着至关重要的角色，是确保智慧口岸高效、安全运行的基础要素。根据信息的重要性和敏感度，对数据进行分级分类管理，并通过引入数据目录来系统化地组织和管理这些数据资源，对于高密级的数据实施更为严格的保护措施，如使用强加密算法进行加密，并限制访问权限至最小必要范围。所有数据均需经过脱敏处理来减少个人信息暴露的风险，以确保即使发生泄露也不会造成严重后果。梳理铁路、海关、边检3方的数据目录，以及对数据进行多维度的分级分类，明确不同主体的数据需求，提高各个参与方的协同工作效率。对多源异构数据进行收集，存放至公共的数据仓库。铁路、海关、边

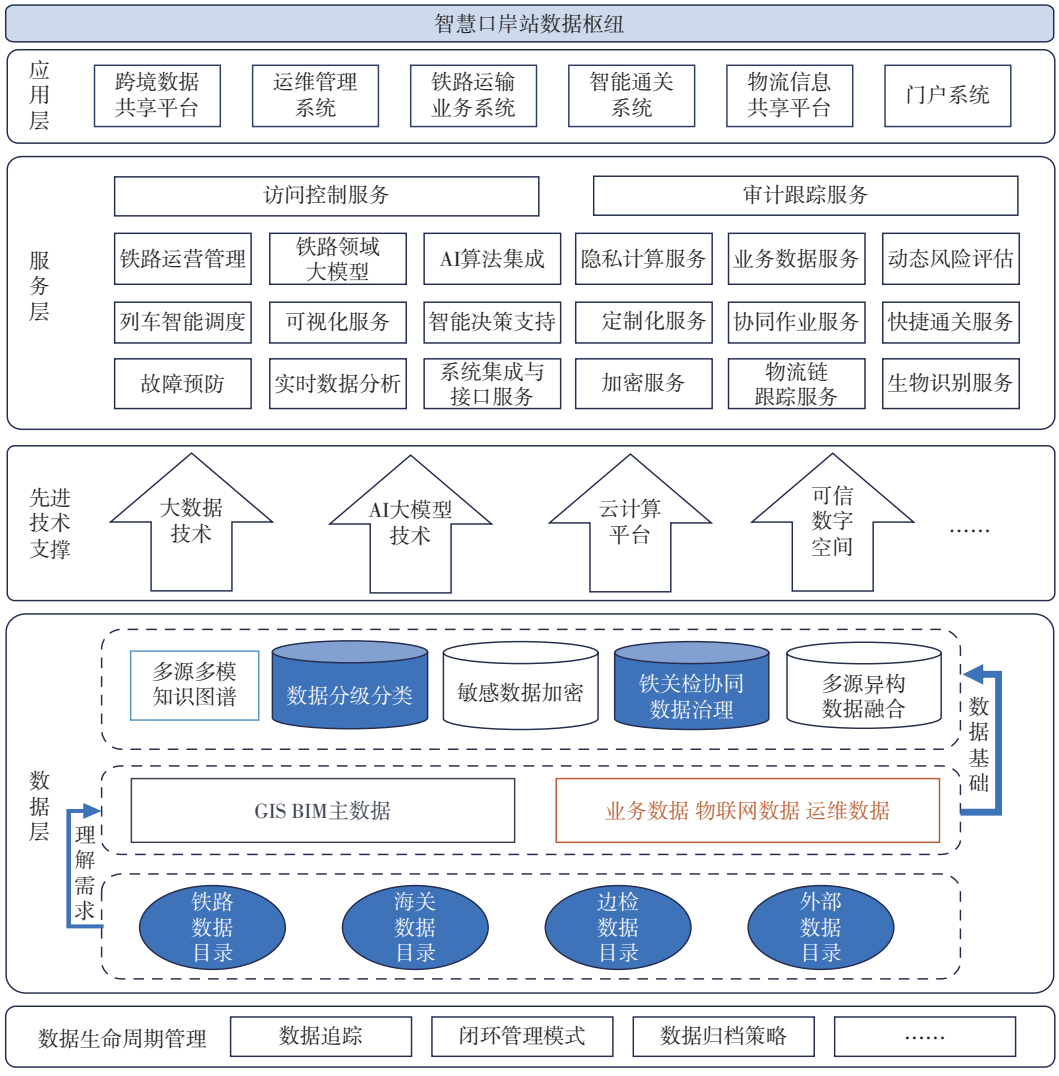

图6　智慧口岸站数据枢纽

Fig.6　Data hub for intelligent port station

检多主体联合治理数据以提高数据质量，避免因为业务不同而对重要数据剔除。同时，对多源异构数据进行融合，提升整体性和易用性，形成多源多模的知识图谱为数据枢纽整体脉络提供支撑。

为实现服务层的高效运作与安全目标，需依赖关键技术作为底层支撑。服务层关键技术如表4所示。

服务提供包括：基于角色的访问控制(RBAC)，确保用户只能访问授权资源；详尽的日志记录功能，便于监控和追踪异常行为；差分隐私技术用于保护用户隐私的同时进行数据分析及可视化展示；严格的API接口审核流程，满足第三方开发者的定制需求；通过大数据分析和智能算法，提供决策支持。此外，所有数据流均加密处理，保障数据完整性和安全性。数据服务将实现多源异构数据的安全共享与整合，AI算法集成确保数据质量和合法性，而实时分析和动态风险评估则提升决策效率并维护系统安全，这些服务共同为智慧口岸站提供了技术支持和安全保障。并训练铁路自身的领域大模型，用于提高工作效率及智库支撑，支持铁路、边检、

表4　服务层关键技术

Tab.4　Key technologies of service layer

技术类别	关键技术	描述
云计算平台	国产云平台	提供高性能计算和存储资源，支持多租户模式
大数据技术	开源大数据处理技术	支持大数据分析和处理，内置安全机制
人工智能技术	深度学习框架及大模型接口	开源且社区活跃，支持机器学习和深度学习
网络安全技术	零信任架构、传统防火墙、可信数据空间	结合传统防火墙与新兴零信任架构，构建全方位防御体系

海关不同场景下各自需求的服务，如铁路的列车调度、边检的生物识别、海关的智能通关等。同时，也提供了三方协同服务如货物物流的全链路追踪。

应用层作为智慧口岸站数据枢纽的顶层组成部分，集成多种平台和系统以支持高效的数据管理和业务运营，旨在实现跨境跨组织跨部门数据共享，严格遵守数据保护政策，并定期更新数据库以移除冗余信息，降低安全隐患。智能通关系统利用先进技术和算法优化流程，减少等待时间，提升旅客和货物的流通速度；嵌入的AI与机器学习(ML)技术自动识别分类通关对象，预测并解决潜在问题，提高效率和服务质量。运维管理系统联动各个部门，旨在提高工作效率。铁路运输业务系统对自身的业务流程进行智能化管理，统筹调配现有资源以达到最优。物流信息共享平台，对货物进行全链路的追踪。而直观易用的门户系统则确保只有认证用户能获取服务，共同确保了智慧口岸站的安全性、效率和用户体验。此外，应用层通过权限管理和双因素认证(2FA)保障账户安全，实时监控系统保障稳定运行。

为了进一步增强智慧口岸数据枢纽的功能完整性，特别引入了数据生命周期管理模块，其核心目标是确保数据在整个生命周期内的高质量、合规性和安全性。首先，部署自动化工具以进行数据分类、存储、清理和销毁操作。通过智能算法自动识别不同类型的数据，并根据预定义规则将其分类存储。这一措施旨在提高工作效率，减少人为错误的可能性，确保敏感或重要的数据在传输和存储过程中的保密性和完整性。其次，引入闭环管理模式，明确从数据创建、使用到归档/销毁的全流程规范。每个环节的结果都会反馈到下一个环节，形成持续改进的循环。这有助于保证数据在整个生命周期中的高质量和一致性，确保每个阶段都能获得最大价值并符合合规性要求。此外，制定详细的数据归档策略，明确规定哪些数据需要定期归档，哪些数据可以在达到一定条件后安全地删除。对于不再需要但又不能立即销毁的数据，采取适当的隔离存放措施，防止意外泄露，并确保所有销毁过程符合法规且留有可验证记录。同时，建立完善的数据使用追踪机制，记录每次数据访问的时间、用户身份及具体操作内容。

4　结论

（1）基于DCMM对铁路数字底座进行系统性评估，识别出其在跨境场景下的核心短板，包括数据集成能力不足导致多源异构数据难以统一治理、数据安全机制不完善引发跨境数据流转风险等。重点解决数据标准不统一、跨域共享机制缺失、安全防护体系薄弱等关键问题，为智慧口岸站的智能化转型奠定基础。

（2）通过梳理铁路、海关、边检等多方业务流程，建立包含数据元、数据格式、共享规则的标准化目录，对齐跨境数据的语义与接口互通，有效打破部门间数据孤岛。创新性地将数据共享层次、安全级别与业务场景需求进行多维映射，构建分级分类模型，为跨境数据流转提供可配置的治理策略。

（3）针对智慧口岸站数据枢纽的具体需求，提出了数据枢纽的设计优化思路，强调了数据管理和保护、服务提供与接口安全、应用层功能、全生命周期管控体系等关键要素。这些要素共同构成了一个高效、安全、智能的信息基础设施，为智慧口岸站的建设提供坚实的技术支撑。

参考文献：

[1] 吴云云．我国铁路国际联运无纸化运输总体构建研究[J]．铁道运输与经济，2020，42(1)：56-60.
WU Yunyun. A Study on Overall Architecture of Paperless International Railway Cargo Transport System[J]. Railway Transport and Economy，2020，42(1)：56-60.

[2] 周　洁．中老铁路口岸实施“一地两检”通关方案研究[J]．铁路物流，2026，44(3)：7-12.
ZHOU Jie. Research on Implementation of “One-Stop Joint Inspection” Clearance Scheme at China-Laos Railway Port[J]. Railway Logistics，2026，44(3)：7-12.

[3] 宋政雨，陈　沛，石　良，等．中老铁路口岸站跨境旅客通关流线优化研究[J]．铁道运输与经济，2025，47(4)：162-174.
SONG Zhengyu，CHEN Pei，SHI Liang，et al. Optimization of Cross-Border Passenger Clearance Process at China-Laos Railway Port Stations[J]. Railway Transport and Economy，2025，47(4)：162-174.

[4] 杨　红，汤银英，陈　思．基于广义随机Petri网的口岸站通关流程优化：以磨憨口岸站为例[J]．铁道运输与经济，

2025，47(3)：84-94.
YANG Hong，TANG Yinying，CHEN Si. Optimization of Port Station Customs Clearance Process Based on Generalized Stochastic Petri Nets：A Case Study of Mohan Port Station[J]. Railway Transport and Economy，2025，47(3)：84-94.

[5] 吴云云，罗　毅，史元超，等. 铁路95306“数字口岸”系统的应用与展望[J]. 铁道运输与经济，2021，43(11)：56-61.
WU Yunyun，LUO Yi，SHI Yuanchao，et al. Applications and Prospects of Railway 95306 Digital Port System[J]. Railway Transport and Economy，2021，43(11)：56-61.

[6] 郑婷婷，孙　强，汪万春，等. 智慧口岸建设的理论内涵辨析[J]. 中国市场，2022(23)：6-10.

[7] 王炳杰. 中欧班列运营因素分析及优化策略研究[J]. 铁路物流，2025，43(6)：17-20，34.
WANG Bingjie. Analysis of Operating Factors of China Railway Express and Research on Optimization Strategies[J]. Railway Logisitics，2025，43(6)：17-20，34.

[8] 沈昌祥. 创新发展主动免疫可信计算筑牢网络强国、数字中国安全可信底座[J]. 网络空间安全科学学报，2023，1(1)：1-16.
SHEN Changxiang. Innovation-Driven Development of Active Immunity Trusted Computing，Building a Secure and Trustworthy Foundation for Cyber Power and Digital China[J]. Journal of Cybersecurity，2023，1(1)：1-16.

[9] 陈龙浩，陈小彪，邓　辉，等. 高速公路路网数字底座研究与建设[J]. 交通科技与管理，2024，5(10)：23-25.

[10] 王小书，史天运，吕晓军，等. 铁路智能客站数字孪生模型研究[J]. 铁道运输与经济，2024，46(5)：78-88.
WANG Xiaoshu，SHI Tianyun，LYU Xiaojun，et al. Digital Twin Model of Intelligent Railway Passenger Stations[J]. Railway Transport and Economy，2024，46(5)：78-88.

[11] 宋优才. 轨道交通数字底座规划研究[J]. 现代城市轨道交通，2024(6)：20-25.
SONG Youcai. Planning and Research on the Digital Infrastructure of Rail Transit[J]. Modern Urban Transit，2024(6)：20-25.

[12] 冯仕清，李得伟，曹金铭. 基于数字孪生的智能高速铁路车站大脑系统研究与设计[J]. 铁道运输与经济，2020，42(S1)：87-92.
FENG Shiqing，LI Dewei，CAO Jinming. Design of Brain System for Intelligent High Speed Railway Station Based on Digital Twin[J]. Railway Transport and Economy，2020，42(S1)：87-92.

[13] 李聪旭，李　平，李　樊，等. 铁路数字空间底座架构设计及关键技术[J]. 中国铁路，2024(7)：195-206.
LI Congxu，LI Ping，LI Fan，et al. Architecture Design and Key Technologies of Railway Digital Space Base[J]. China Railway，2024(7)：195-206.

[14] 栾　中，李　平，吴艳华，等. 面向轴面协同的智能高铁数据资源目录动态组织优化方法[J]. 铁道运输与经济，2025，47(6)：90-99.
LUAN Zhong，LI Ping，WU Yanhua，et al. Dynamic Organization Optimization Method for Intelligent High Speed Railway Data Resource Catalogs Oriented towards Axial Surface Collaboration[J]. Railway Transport and Economy，2025，47(6)：90-99.

[15] 舒雨姗，唐伟忠，庞伟赟，等. 基于Greenplum的铁路数据共享平台设计[J]. 铁路计算机应用，2024，33(6)：57-66.
SHU Yushan，TANG Weizhong，PANG Weiyun，et al. Design of Railway Data Sharing Platform Based on Greenplum[J]. Railway Computer Application，2024，33(6)：57-66.

[16] 李　冰，宾军志. 数据管理能力成熟度模型[J]. 大数据，2017，3(4)：29-36.
LI Bing，BIN Junzhi. Data Management Capability Maturity Model[J]. Big Data Research，2017，3(4)：29-36.

[17] 吴艳华，刘　军，栾　中，等. 基于DCMM的铁路数据管理能力成熟度评价体系及提升策略研究[J]. 铁路计算机应用，2023，32(9)：12-17.
WU Yanhua，LIU Jun，LUAN Zhong，et al. DCMM Based Maturity Evaluation System and Improvement Strategy for Railway Data Management Capability[J]. Railway Computer Application，2023，32(9)：12-17.

[18] 张国宝. 基于DCMM的高校数据治理能力评估应用与研究[J]. 网络安全与数据治理，2022，41(10)：26-30.
ZHANG Guobao. Application and Research on DCMM Based Evaluation of University Data Governance Capability[J]. Cyber Security and Data Governance，2022，41(10)：26-30.

[19] 王　静，王　鹏. 基于数字孪生的高校智慧图书馆数据治理研究[C]//2023年中国图书馆学会年会，2023：129-136.

[20] 王　煜，黄　磊. 铁路数据内外部确权方案研究[J]. 铁道运输与经济，2020，42(10)：92-97.
WANG Yu，HUANG Lei. A Study on Internal and External Rights Confirmation Scheme of Railway Data[J]. Railway Transport and Economy，2020，42(10)：92-97.

(责任编辑　李丹丹)