

基于数字孪生的钢企局车运输组织技术开发与应用

鞍山钢铁集团有限公司

一、企业基本信息

鞍山钢铁集团有限公司（以下简称鞍山钢铁）是鞍钢集团最大的区域子公司，成立于 1948 年 12 月，是新中国第一个恢复建设的大型钢铁联合企业和最早建成的钢铁生产基地，被誉为“新中国钢铁工业的摇篮”“共和国钢铁工业的长子”，是“鞍钢宪法”诞生的地方，是英模辈出的沃土，为新中国钢铁工业的发展壮大做出了卓越的贡献。

目前，鞍山钢铁已形成从烧结、球团、炼铁、炼钢到轧钢综合配套，以及焦化、耐火、动力、运输、技术研发等单位组成的大型钢铁企业集团。具有热轧板、冷轧板、镀锌板、彩涂板、冷轧硅钢、重轨、无缝钢管、型材、建材等完整产品系列。

鞍山钢铁生产铁、钢、钢材能力年均达到 2600 万吨，拥有鞍山、鲅鱼圈、朝阳等生产基地，在广州、上海、成都、武汉、沈阳、重庆等地，设立了生产、加工或销售机构，形成了跨区域、多基地的发展格局。鞍山钢铁是中国国防用钢生产龙头企业，中国船舶及海洋工程用钢领军者，已经成为我国大国重器的钢铁脊梁。鞍山钢铁引领中国桥梁钢发展方向，是中国名列前茅的汽车钢供应商，是中国核电用钢领跑者，是铁路用钢、家电用钢、能源用钢的重要生产基地。

供应链数字化转型的路径首先就是“业务驱动”，钢铁供应链的业务场景纷繁复杂，本案例聚焦“钢铁企业内部铁运供应链”这个业

务场景展开介绍，介绍钢企铁运供应链上下游业务场景中存在问题，转型过程、实施效果、创新点及未来发展机遇等。

二、企业供应链中的问题

1.供应链信息没有互联互通，供应链协同效率差

过去钢企铁运 ERP 系统与国铁集团的数据不能互通。国铁车辆到达钢企交接点，钢企重车配到国铁交接线，输入、输出的货运信息全是人工录入的。占用了大量的没有意义的时间，而且由于没有货运信息厂内生产排产、仓储优化全都是根据采购计划估测到达时间，各方面都不顺、运输效率不高、运输能耗高等问题凸显，另外最最重要的是列车大量的时间被占用在厂内，车辆周转率极差，严重影响了国家“公转铁”实施后对车皮周转率的要求。国铁集团公司信息化水平很高运输状态透明可视、钢铁企业是智慧运输 2.0，各自自身数字化提高，整个供应链绩效确是很差的，现在国家实施“公转铁”，铁路运量猛增，中国车皮就不够用，就这一个信息“互联互通”能提效诸多的车皮周转，让车辆发挥到运输占线上，而不是在企业 and 国铁的交接点等待输入输出相关货运信息浪费时间。

针对这一点，2018 年-2019 年鞍山钢铁与沈阳铁路局集团有限公司，按照安全共享和对等互利的原则，推动钢铁企业与港口、铁路、物流企业等信息系统对接，完善信息接口等标准，加强列车到发时刻等信息开放，实现了数据互通、提升物流效率和生产运营质量的良好效果。2020 年鞍山钢铁与国铁集团全路首例实现了数据的互联互通，此项工作作为产业链供应链数据共享和协同共赢奠定了重要的基础。

目前，鞍山钢铁在完善和优化物流基础设施网络、组织运营网络和信息化网络建设基础上，从网站建设、电子商务、操作软件等入手，系统推进智慧物流网的标准化运行，利用信息化系统实现钢铁物流数据与社会仓库、港口、路局等物流单元网络化互通互联，为跨区域、跨运输类型的数据共享打下基础，为实现产业链供应链绩效最优创造了有利条件。

2.运输效率不高情况

钢企铁路运输资源管理系统是钢企铁运业务的核心系统，承载着钢企所有铁路运输资源的物流管理作业。其业务量大，运输组织环节繁杂，设备众多，相关信息凌乱、缺失，无法依据数据信息对生产动态进行深入的剖析、预测和决策，运输组织数字化程度不高导致运输效率无法进一步提升。

3.运输能耗高

缺失评价钢企铁运组织各作业环节时间指标、能耗指标体系，无法精准定位作业瓶颈及能耗标准，局车周转不畅，局车能耗高。

4.客户服务体验不好

钢企缺少对铁运运输组织相关数据整合、清洗的手段和平台，信息相对无序、孤立，没有利用有效工具进行深度挖掘，无法全面、准确地分析作业环节存在的问题，无法有效获得数据资产能力。结果表现在对公司采购用户，不能做好铁运组织对采购方案优化的支撑；对公司制造用户服务，不能提升铁运对生产稳定高效的保障和支撑；对销售用户服务，不能提供可视化服务、不能提供高效的延伸服务。

三、供应链数字化转型的过程

1.项目简介

为了有效地实施“公转铁”战略规划，有效压缩局车一次停留时间，全面提升钢企厂内物流全流程与国铁集团的协同效率，鞍山钢铁集团有限公司对局车运输作业全过程进行了深入地分析与研究，组织实施了“基于数字孪生的钢企局车运输组织技术开发与应用”项目。该项目国内首例实现钢企与国铁集团数据的互联互通，并基于数据生态、人工智能、数据孪生等技术对局车运输组织海量、多维业务数据进行智能、有序地驱动，加速物流运输组织数字化转型。解决了现有局车运输因产业链供应链信息不能互联互通造成的运输效率低、工作流程僵化、信息组织无序、运输能源消耗大等弊端，使物流环节透明化、作业管理精细化、信息资源一体化、指标预测科学化、分析决策精准化，重新塑造局车物流运输组织流程，全面提升行业能力，引领钢企局车运输组织数字化、信息化、智能化管理的全新变革。

2. 数字化供应链的整体架构

(1) 系统扩展图（见图 1）



图 1 系统扩展图

(2) 系统分为四层架构，分别为用户界面层、业务逻辑层、数据访问控制层与数据层。如图 2 所示。

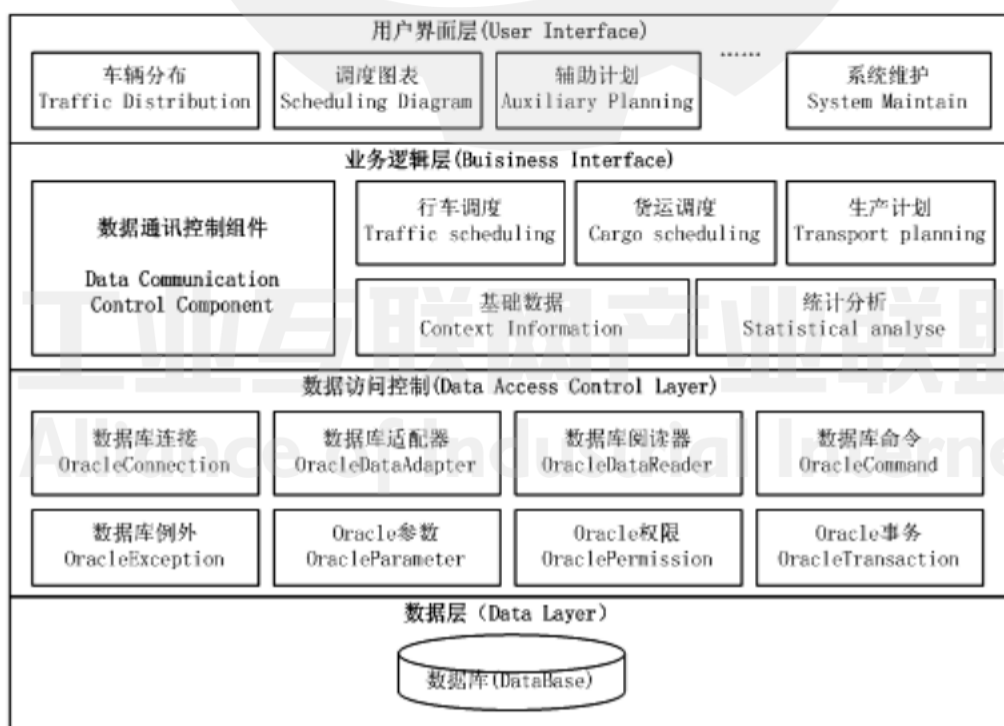


图 2 系统架构图

3. 数字化供应链运用新技术情况

(1) 基于数字孪生的钢企局车运输组织技术

首次将数字孪生技术深度应用至钢企局车运输组织中，将局车运输全流程的相关因素如铁路线路、道口状态、装卸车设备、成品库位信息进行实景化仿真显示，利用融合 GIS、GPS、RFID 射频、设备状态数据采集、网络视频等信息化技术手段，并与冶金企业铁路物流运输管理系统、生产指挥控制系统等系统相结合，将各个系统的业务数据如股道占用信息、车辆状态信息、机车位置信息、货位视频信息等叠加在虚拟仿真场景中，建立可视化、多源化的数字孪生平台。依托数字孪生平台，可以沉淀历史数据，实现运输组织闭环管理，辅助用户进行铁运效率的分析与追溯，全面提升铁运服务质量；可以进行全局感知、智能运控和实时调度，深度优化铁运调度计划指挥、高效组织生产物流铁运配送、精准执行铁运装备智能控制、科学压缩铁运能源损耗；可以基于仿真场景进行模拟推演、仿真预测和辅助决策，实现运输计划预测编排和优化计划的辅助决策、铁运设备的故障预测与健康管理。打造全方位、全要素、全过程、多尺度的局车运输组织数字化平台。

(2) 低碳智能的钢企局车管控专有技术

采用了系统工程分析方法，对局车的冶金企业铁路物流运输的全作业流程进行详细地分析，并首创局车“时间轴”管理模式，将局车在冶金企业的铁路物流运输作业过程分解为：一灵、上行、卸前、卸车、装前、装车、发出七大作业过程，科学合理地分析物流运输各作业环节，深入洞察物流运输各环节的作业瓶颈，全面提升物流运输效

率，大幅降低物流运输能耗，使物流运输全流程透明化、低碳化、规范化。对铁路物流运输组织的关键环节装卸车作业方式进行革新，通过翻车机作业联系系统、钢卷吊装对位测量系统、线材盘圆打包装置等专利技术的应用，优化装卸作业过程、压缩装卸作业时间，无缝衔接铁路物流运输过程。

根据鞍钢生产组织安排，综合局车预到达情况、站场车流情况、装卸作业情况等相关生产作业因素、首先采用层次分析法

(AHP $A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}$), 形成多层次分析的结构模型，判断各运

输组织各相关因素的权重系数，再采用主成分分析法 ($PcA Z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_i}{S_i}$

、 $SI = \sum_k z_{ij} P_k$) 和自回归方法 ($AR \quad X_t = \sum_{j=1}^p a_j X_{t-j} + \varepsilon_t$) 结合的方式，

对生产环节的相关性进行分析，提取主成分核心信息数据，应用 AR 方法建立回归模型，检验系统预测指标是否为平稳时间序列，否则进行差分变为平稳时间序列后再进行回归，智能、准确地预测出各个作业过程作业时长进行智能分析、预测，形成“时间轴”作业时长、作业能耗的绩效考核指标体系。并通过机器学习等技术手段，阶段性结合各个作业过程的综合作业时长，设备能耗，对指标值定期完善和修正，从而更加科学合理指导局车作业。对鞍山钢铁站场内路局车辆进行实时监测，停留时间超过预警阈值的车辆进行即时预警，采用信息代理机制，可以自动跟踪用户的信息需求，既节省了用户主动拉取的时间，又减少了冗余信息的传递，保证了预警信息的高速、有效传递，使物流运输流程合理化、高效化、绿色化。

(3) 钢企铁运物流“数据生态”技术

首创钢企铁运物流“数据生态”平台。在与国铁集团实现供应链体系信息互联互通基础上，逐业务、多渠道、全方位收集局车作业过程的每个末端环节基础数据信息，形成多个路局“单车数据细胞”，每个“单车数据细胞”记录该作业环节车辆的多维数据信息。以“时间轴”管理模式为主线、以“链式数据结构”为信息中枢，对每个局车“单车数据细胞”进行有序地整理、清洗、排列、组合，从而实现冶金企业局车作业过程海量、多维业务数据进行智能、有序地驱动，数据价值有效地赋能业务，最终形成完备的局车“数据生态”平台。以局车“数据生态”平台为依托，通过大数据展示“管理驾驶舱”，全面、直观、具体地显示局车在冶金企业厂内物流运输周转的核心指标，并支持“钻取式查询”，实现指标的逐层细化、深化分析，从而打造一站式”（One-Step）信息决策支持展示中心，多视角、全方位地反映现场生产作业动态，使高层管理人员可以及时把握作业趋势、准确进行分析决策。

4. 数字化供应链各业务环节现状

从计划、采购、生产、交付（物流）各环节分别进行项目实施前后状态的介绍。

(1) 计划环节

项目前，铁运局车运输组织计划主要依靠公司采购计划和系统外得到的预到达计划（信息口径粗，适配性差）来进行编制。项目后，能实现与国铁集团全路信息的互联互通，依据准确的信息编制与公司

采购计划、制造计划、销售计划相互协调优化的铁运局车运输组织计划。

（2）采购环节

项目前，国铁运输精准信息全无，采购只能最小按季保产。项目后，能实现与国铁集团全路信息的互联互通，依据准确的信息调整公司采购方案。确保采购资源地与运输方式能按最优方案匹配，实现采购绩效优化的目标。

（3）生产环节

项目前，局车到达前无精准信息，造成料场生产秩序不优，车皮到达后直付翻车率低，二次倒运作业多。项目后，能实现与国铁集团全路信息的互联互通，依据准确的预到信息 and 公司储备料场库存情况及生产制造技术调整局车运输几乎，提高车皮到达支付翻车率，减少二次倒运，提高公司隐性物流成本管控水平。

（4）交付环节

项目前，公司的局车发出信息与国铁集团无对接，下步开展的业务全部进入盲区，客户铁运发出业务信息无法实时跟踪。项目后，能实现与国铁集团全路信息的互联互通，依据鞍钢发给路局信息，提高了车皮周转效率，同时与路局的跟踪信息实现对接，根据合同号、物料号、车号等其中一个信息就可为客户提供关心的可视化信息和延伸的物流优化服务，如到站后的高效及时的公路短途配送等。

5.实施路径

构建供应链数字化转型工作体系，包括现状分析、资源规划、数据能力提升、平台建设与运营、能力评估等重点内容。

（1）供应链数字化转型现状分析

一是制定问题分析模型，战略上从“公转铁”国家战略落地急缺车皮需要提高车皮周转率的需求、鞍山钢铁“1361”战略需求中高质量发展的总目标，业务上从服务用户体验和运营模式角度入手展开分析；方法上鞍山钢铁邀请了与本项目相关的供应链上下游相关方共同研讨，以技术交流会的形式多维度制定问题分析模型的要素要求及权重。二是剖析业务瓶颈及其制约因素，明确数字化转型优化的着力点。三是与国内同行进行最佳实践对标，基于钢企铁运供应链数字化转型分析框架，开展绩效指标和管理实践对标，并提出鞍山钢铁铁运供应链数字化转型目标、思路及实施路径。

（2）统筹供应链数字化转型资源规划

一是组织资源规划。鞍山钢铁铁运供应链数字化转型是企业战略层面的转型，从物流管理中心“一把手”顶层挂帅出发，给予项目人、财、物的资源保障。二是标准资源规划。鞍山钢铁铁运供应链数字化转型从创建之初就重视标准引领的作用，从标准供给和实施充足角度加速供应链产业链协同，凝聚行业共识形成合力加速数字化转型，避免出现“先乱后治”的发展怪圈。三是数据资源规划。从数据目录规划、数据标准规划、数据模型规划三个方面进行数据资源规划。四是技术平台规划。从物联网、互联网为资源、能力拓展和延伸载体，以数字孪生、大数据分析等数字技术应用为新动能，推动创建先进、高

质量发展的业务模式，建设技术平台架构。

(3) 提升数据治理能力水平

鞍山钢铁数据治理能力提升是集团统一部署的一项重点工作。鞍山钢铁铁运供应链数字化转型中数据治理是在集团此项工作的统一部署下开展的，在充分梳理现状的基础上，依据国内外数据治理成熟框架体系，围绕健全数据治理组织、制定数据治理战略和完善数据治理制度三个方面进行重新设计，以目标为导向分解为各项工作任务。一是设立专业岗位，二是数据治理战略指导数据治理和管理的各项工作，三是建立对数据治理全面管控、具有可操作性的制度。

(4) 组织供应链数字化转型平台建设与运营

一是平台建设方面，按照“平台规划、平台设计、平台开发”的步骤进行实施，最终建成适合鞍山钢铁铁运供应链数字化转型目标的智能平台。供应链协同的优势主要是通过工业互联网平台汇集各要素资源，形成支撑能力，以实现企业全链条业务的优化和协同共享。鞍山钢铁平台建设中重点关注3个维度工作。业务维，在平台交互信息，着力实现所有设备资产、铁运组织、对外运营和与国铁集团协同等所有业务线的融合贯通。技术维，实现全业务链条数据的互联互通，发展与铁路局、生产、采购、销售及服务的云边协同、边边协同的应用模式，形成平台化解决方案。执行维，以公司内专门负责数字化转型的管理者为主要动力，推动以平台赋能为特征的数字化转型实践。二是平台运营方面，以“数据驱动”为原则，建设数据共享的平台运营生态，以“算法、算力”拓展新的业务场景，为客户提供新的服务体

验，以“急用先行、问题导向、持续改进”为原则，逐步打造共建共享的平台运营生态，形成良性循环。

（5）开展供应链数字化转型能力评估

为进一步促进鞍山钢铁铁运供应链数字化转型的迭代优化，鞍山钢铁对铁运供应链数字化转型的建设及结果履行状态组织开展评估工作。一是，充分考虑国内外先进经验和最佳实践的基础上，参考 GB/T 39116-2020《智能制造能力成熟度模型》和 GB/T 39117-2020《智能制造能力成熟度评估方法》制定鞍山钢铁铁运供应链数字化转型的评估指标和评估办法。二是组织展开自评估。三是提出优化方案和建议以认清转型效果和提升空间。

四、企业供应链数字化转型的效果

1.应用情况

本项目已于 2020 年 1 月起在鞍山钢铁进行全面推广，项目范围覆盖公司总调度、物流管理中心，铁运分公司、炼铁总厂、炼钢总厂、化工厂、炼焦总厂、大型厂、厚板厂、无缝厂、线材厂等物流运输各环节的相关单位。系统实施后，建立“数字孪生”平台，对局车物流运输全流程进行仿真显示，在公司物流管理部门调度指挥中心大屏幕进行全景展示，并结合现场孪生数据进行生产趋势的智能预测及关键生产指标的分析决策；利用“低碳智能”的局车管控技术，以“时间轴”的管理方式为主线，将局车物流运输延伸到各终端环节，加强“技术研发”，通过“一种翻车机作业联系系统”、“一种钢卷吊装对位测量系统”、“线材盘圆打包装置”等多个新型专利，大幅提升装卸作业

效率，形成完备的“供、运、装、卸、销”信息化管理体系；打通“路企共享”信息管道，提前预知局车预到达信息。依据局车到达情况、生产作业情况，装卸进度情况等全方位信息，采用多种分析算法，创立智能分析模型，对超过停时指标及能耗指标进行实时预警推送，使各环节管理人员能够及时掌握现场生产动态，形成绿色、闭环管理体系；以单车数据信息为细胞单位，以链式数据结构为数据中枢，构建冶金企业局车“数据生态”体系，形成了上下纵向贯通，横向集成的冶金企业局车作业的信息跟踪与管控。最终实现局车物流运输过程的信息集成、数据共享，以需定运，以卸定装，提高局车物流运输各作业环节反应能力和协同协作能力。

2.经济效益

实施该项目后，按照全新的“时间轴”车辆停时管理方式，解决现铁路运输信息化建设方面存在的一些缺陷和不足，大幅压缩局车停留时间，产生经济效益 1000 万元/年。

3.社会效益和环境效益

（1）是服务国家战略落地的利器。

通过“低碳智能”局车管控技术，建立完善、绿色的局车管控数字化体系，通过信息化的管理高效组织局车的生产调度，科学合理的压缩能耗，提升工作效率，是“数字技术”解决“公转铁”国家战略落地中车皮急缺的问题的典型案列。

（2）是实现供应链信息互联互通提高整体供应链绩效的典范。

打通路企信息通道，进行路企信息深度融合，共享路局运输动态及局车到达的预确报信息，结合预到达路局车辆进行合理组织运输生产调度，能实现业务场景创新带来的延伸服务绩效，例如公司配煤配矿方案的优化升级，降低采购综合费用；公司销售服务中给客户提供的延伸信息服务和铁运优化方案带来了新的价值创造空间。

(3) 是充分体现供应链协同带来价值创造的典型。

强化运输全流程计划的管控作用，实现运输计划流程的闭环管理，严格把控运输计划“申请-审批-执行”每个环节，并制定运输计划兑现率的考核指标，避免无协同计划装、卸车对运输效率的影响，全面提升局车物流运输的协同性。项目运输优化后压缩机车停时 8.3%，提升机车效率 5%，机车能耗降低 9.4%，实现了经济效益、社会效益、环境效益的三提升。

(4) 是技术牵引供应链流程优化的钢企铁运实践。

全面推行网络货票，代替原来人工传递纸制货票的作业方式，使用电子印单等技术手段，对网络货票进行电子签证，作为运输结算的依据，真实、准确。同时也彻底杜绝了在货票传递过程中产生的遗失、破损、不方便保存地弊端，极大地提高了作业效率。

(5) 是供应链柔性的技术保障。

一是，实现与国铁集团的数据互联互通，并建立全新的“时间轴”局时停时指标体系，从而准确地衡量铁路运输各环节的作业情况，深入洞察局车全流程作业瓶颈。二是首创“单车数据细胞”基于变量数据的深度学习，确保作业时长和作业能耗的深度学习。三是与底层控

制车号识别系统、GPS 机车定位系统进行实时数据交互，实现了作业数据由人工采集向设备自动采集模式的改变，使生产作业信息更加真实、可靠，降低劳动强度。四是基于多干扰因素的运输组织计算模型支持智能决策的实现。本项目是把“数字孪生”的“可视、诊断、预警、智能决策”四大功能的落地实施作为破解全局优化需求与碎片化供给矛盾的武器，是钢企铁运供应链柔性的技术保障。

五、企业供应链数字化转型的创新点

1.通过关键技术研发，探索出解决困扰国家“公转铁”战略落地的缺车难题的“鞍钢方案”。

2.项目中“基于数字孪生的钢企局车运输组织技术”、“低碳智能的钢企局车管控专有技术”、“钢企铁运物流“数据生态”技术”等技术的研发应用给行业提供了推动钢铁铁运物流高质量发展、可复制的技术工具。

3.是“强化产业链供应链自主可控能力”的技术表率，项目提升了“关键技术控制力、数字技术对钢铁铁运物流的引领力”。

六、未来发展机遇与挑战

一是，习总书记对未来数字经济的发展提出了非常明确的方向。他指出未来数字经济发展包括三个方向，一是促进数字技术和实体经济的深度融合；二是要赋能传统产业转型升级；三是催生新的产业、新的业态、新的模式。未来，钢铁供应链从业者应进一步理解数字经济发展的迫切性、它的重大的影响力以及它的发展方向，并将其作为

指导在物流和供应链领域开展数字化的一个顶层引导。

二是，作为世界经济主要驱动力的钢铁业在“数字产业化”和“产业数字化”两个方面全力提速，为钢铁业可持续发展提供了强劲动力。在中国，以钢铁业为代表的制造业，重点领域关键工序数控化率由2012年的24.6%提高到2020年的52.1%，数字化研发设计工具普及率由48.8%提高到73%。“十四五”时期，产业机遇和挑战将主要围绕着“数字产品制造业、数字产品服务业、数字技术应用业、数字要素驱动业、数字化效率提升业”等5大业态展开；钢铁行业应紧扣三个要素，即数据资源、现代信息网络和信息通信技术，围绕着“数字产品制造业、数字产品服务业、数字技术应用业、数字要素驱动业、数字化效率提升业”等5大业态在持续创新，推动钢铁产业链供应链的高质量发展。

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