

基于数据感知的数字孪生矿山建设研究

张维国^{1,2}, 葛启发^{1,2}, 赵奕¹, 温瑞恒¹

(1. 中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038; 2. 北京科技大学土木与环境学院, 北京 100083)

[摘要] 数字孪生技术打通了物理世界和数字世界数据的连接,通过虚实交互反馈、数据融合分析、决策迭代优化等手段,为物理实体增加或扩展新的能力。数字孪生矿山基于工业互联网、融合通信和大数据人工智能技术,结合矿山企业组织架构,实现矿山生产运营管理的全流程管控。本文针对数字孪生矿山的数据感知核心基础,提出了矿山行业组织业务数字化和矿山全量数据感知能力框架,通过某铜矿数据感知和三维管控平台开发,证实了矿山数据感知和业务组织的重要性。

[关键词] 数字孪生; 数据采集; 数据感知; 矿山生产; 管控系统

[中图分类号] TD67 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 1003-8884(2021)02-0013-06

DOI: 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2021.02.004

0 概述

数字孪生是指以数字化方式创建物理实体的虚拟模型,借助数据模拟物理实体在现实环境中的行为,通过虚实交互反馈、数据融合分析、决策迭代优化等手段,为物理实体增加或扩展新的能力^[1]。数字孪生技术为矿山数字化转型和智能化升级提供数据和管控层面的支撑。数字孪生矿山以工业互联网技术的数据感知为基础,充分利用融合通信技术将5G、WiFi6和物联网等技术,通过现场数据的采集和感知,将矿山行业工艺技术和生产管理知识充分融合,建立大数据和人工智能计算与服务中心,结合边缘协同计算与控制,建立矿山可视化物理模型、可验证的仿真模型、可表示的逻辑模型、可计算的数据模型,实现物理矿山实体与数字孪生体之间的虚实映射、实时交互,最终达到矿山生产管控的智能化和无人化,为建设现代矿业提供新思路和新途径。它具有传统仿真技术所不具备的特点,比如实时同步、忠实映射、自学习能力等^[2],因此基于数据感知的数字孪生矿山是将来矿山数字化转型和智能系统

建设的必然选择。

1 数字孪生技术介绍

数字孪生概念是密歇根大学的 Michael Grieves 教授在产品全生命周期管理课中提出的“与物理产品等价的虚拟数字化表达”概念^[3],他在《几乎完美:通过PLM驱动创新和精益产品》^[6]这本书中引用了其合作者 John Vickers 提出的数字孪生体,后来这个概念被称为“镜像的空间模型(Mirrored Spaced Model)^[4]”和“信息镜像模型(Information Mirroring Model)^[5]”,它是用数字技术对物理实体的组成、行为、特征、功能、性能和形成过程进行建模和描述的方法,是在计算机的虚拟空间中建立一个和物理实体完全等价的信息模型,这个模型具有超写实性,包含了所有的几何数据和材料数据,可以通过信息模型对物理实体对象进行仿真分析和优化^[8],数字孪生在虚拟空间中对物理实体的镜像,并且反映了物理实体的全生命周期过程^[3,7],因此,也被称为数字化映射、数字双胞胎、数字镜像等。

在工程应用方面,数字孪生以普遍适应的技术理论体系,在航空航天、电力、医疗、产品制造、工程建设等领域得到了广泛的应用^[9]。美国国家航天局进行阿波罗项目时,通过数据感知将数字孪生技术用于航天飞行器的健康维护与保障^[10],西门子公司提出的“数字化双胞胎”的概念,帮助制造企业在信息空间构建整合制造流程的生产系统模型,实现

[收稿日期] 2020-12-26

[作者简介] 张维国(1981-),男,甘肃会宁人,工程师,博士,主要从事矿山信息化智能化建设的咨询设计、研发和实施工作,现任中国恩菲工程技术有限公司矿山事业部信息化智能化工程中心主任。

[基金项目] 国家重点研发计划(2019YFC0605301)

物理空间从产品设计到制造执行的全过程数字化。针对复杂产品用户交互需求,达索公司建立了基于数字孪生的3D体验平台^[11],利用用户反馈数据不断改进信息世界的设计模型,从而优化物理世界的产品实体,并以飞机雷达为例进行了验证。在国内,陶飞等探索了数字孪生车间的概念、组成与运行机制^[12],庄存波等针对产品数字孪生体的内涵和体系结构进行了研究,为数字孪生在生产制造环节落地应用提供了基础理论支撑参考^[13]。臧冀原等从数字化制造、“互联网+”制造角度,将数据感知融合,提出了智能制造的三个基本范式^[14],石焱文在水利工程运行管理方面应用数字孪生技术建立了相关技术体系,取得的较好的应用效果^[15]。屈挺等利用数字孪生思想,将物联制造下的在线控制理念进行扩展,通过数据感知和联网,提出多系统联动优化控制思想、机制及定量优化方法,并应用于生产过程的精准计划、实时跟踪与动态控制3个阶段,相应技术和系统已在嘉宝莉化工集团等行业龙头企业应用实施^[16]。李其锐融合虚拟现实技术与工艺流程仿真模拟技术相结合,研究了工艺流程的三维模拟技术^[17]。余斌等人对石油石化流程行业生产过程中存在的工况连续性、复杂多变性问题,引入数字孪生技术,通过构建流程行业的数字孪生物理模型、数字孪生工况模型,搭建数字孪生系统,以期提高企业生产效率,保障企业安全高效运行^[18]。

矿业领域,张帆和葛世荣等针对智慧矿山的数字孪生应用需求,探讨了数字孪生赋能智慧矿山的的关键技术问题和未来需要实现的关键技术路径,以数字化方式创建物理实体的虚拟模型,通过虚实交互反馈、数据融合分析、决策迭代优化等手段,为物理实体提供更加实时、高效、智能的运行或操作服务,认为数据信息流是数字孪生体的生命线,数字信息是其必须依赖的关键要素之一,并提出数字孪生智采工作面的概念,为数字孪生模型构建、协同控制与交互优化提供智慧矿山建设思路和理论基础^[19]。王佳奇等将数字孪生技术引入煤矿安全管理中,利用数字孪生的五维模型构建了瓦斯事故孪生模型,分析了其孪生模型的实际运作机理,以及和传统瓦斯事故安全管理相比的优势所在,模型可以实现瓦斯事故的事前预防与快速响应^[20]。

数字孪生具有巨大的应用潜力,在矿山行业数字化转型和智能化升级的大背景下,基于数据感知

的数字孪生矿山,需要将数字孪生技术与矿山行业整体生产管控进一步融合,但矿山行业作为非数字原生企业,生产工艺控制及运营管理的相关数据感知和信息采集不够全面,信息系统融合应用研究与系统集成存在不足。如何实现矿山生产运营全流程、全量数据信息的全面感知,是建设数字孪生矿山和生产优化管控的关键技术之一。

2 基于数字孪生的数据感知技术

2.1 数据感知需求与解决方案

在矿山企业的数字化变革过程中,作为非数字原生企业需要以矿石流和生产工艺为基础,协同多业务流,打通信息化系统之间的数据融合通道,其中,基于企业组织机构设置而且建立的信息化系统是当前矿山行业信息化建设的现状。随着技术的发展,基于工业互联网技术和融合通信技术,生产现场数据感知和采集遇到的最大问题是基于企业组织之间的数据整合。因此,数字孪生矿山的建设应基于数字孪生(Digital Twin,DT)衍生出来的企业(组织)数字孪生(Digital Twin of an Organization,DTO)进行数据感知和融合,企业数字孪生是一种动态的软件模型,模型需要以矿山的生产组织运营为基础,融合生产信息系统的各类相关数据,实现矿山组织运营模型在虚拟世界中的映射。企业数字孪生概念脱胎于数字孪生,但是两者之间在适用对象和模型数据方面,有着一定的差异。数字孪生起源于数字化制造中产品全生命周期的管理问题,而企业数字孪生脱胎于数字孪生,并将其升华到组织的高度,起源于数字化变革问题。

近年来,矿山企业通过建立和完善监测监控、人员定位、供水施救、压风自救、通讯联络、紧急避险等安全避险六大系统,建设生产管理和控制平台,不断的提高矿山生产过程的数据采集和感知能力。通过对现场数据的感知建设透明矿山成为矿山智能化和矿山数字化转型的目标之一。在生产数据感知的基础上,为了提升矿业全生命周期数据收集和可视化能力,运用合适的分析工具和规则,实现矿山生产的安全、高效、绿色和智能的需求,降低运营风险,矿山各个业务部门之间需要依据自身的管理职责和信息化系统功能,进行数字资源和业务的整合,使得矿山不同组织机构之间不断改进感知能力,实时获取各生产过程的数据和状态信息,创建更灵活、更动态、

更迅捷的流程,预测当前岗位管理职责内的信息发展规律,提高物理对象的操作意识并优化生产过程中的变化状态,期望自动应对数字化时代不断变化的形势。

基于企业数字孪生模型的数字孪生矿山的关键

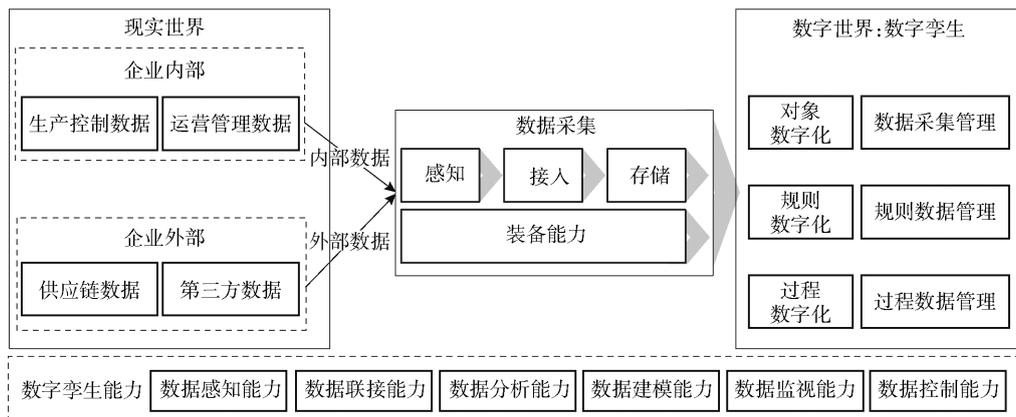


图1 矿山企业数字感知解决方案

基于数据融合的企业数字孪生矿山需要通过现场数据的采集和感知,充分融合矿山行业工艺技术和生产管理知识,建立大数据和人工智能计算与服务中心,结合边云协同计算与控制,建立矿山基于组织架构的数字孪生矿山,并能更新实时状态,建立矿山可视化物理模型、可验证的仿真模型、可表示的逻辑模型、可计算的数据模型,实现物理矿山实体与数字孪生体之间的虚实映射、实时交互,部署相应的生产管控系统,实现数字资源的整合。矿山企业数字感知分为企业内部和外部数据,以装备为支撑,建设数据感知、数据联接、数据分析、数据建模,数据监视和数据控制能力,以企业组织架构为基础,建立数字世界的数字孪生,将矿山生产对象、过程和规则数字化管理,在企业各组织部门和岗位得到应用。

2.2 矿山数据感知能力及模式

随着矿山基础网络建设、自动化系统和信息化系统升级,以及数字矿山和智能矿山的建设,矿山企业业务数字化转型得到广泛关注,原有信息化平台的数据输出和人工录入能力已经远远满足不了矿山企业内部组织在数字化下的运作需求。需要采用现代化手段采集和获取数据,减少人工录入,构建和提升矿山企业数据感知的能力。以工业互联网和物联网为基础,针对矿山企业在数字化转型过程中的数据感知和采集需要,建立数据感知、数据接入和数据存储的全量数据感知能力框架,如图2所示。

在于数据联接、仿真分析、过程控制、在线监控等能力的构建,其中核心是基于企业组织机构完成数据感知、接入、存储,提升构建数据采集能力。针对矿山行业的企业数据感知和数字孪生能力,矿山企业数字感知解决方案如图1所示。

矿山数据感知包括“软感知”和“硬感知”两种模式,在感知的基础上,将图片、视频、文档、音频、流数据和控制数据等多源异构信息,通过大数据接入工具和数据总线,实现批次、实时、按需等方式的接入,最后,按照结构化和非结构化、半结构化等,数据进行数据存储,为建设数字孪生矿山提供数据基础。

2.3 矿山数据感知模式研究

在数据感知分类上,“硬感知”和“软感知”面向不同场景,“硬感知”主要利用设备或装置进行数据的收集,收集对象为物理世界中的物理实体,或者是以物理实体为载体的信息、事件、流程等。而“软感知”使用软件或者各种技术进行数据收集,收集的对象存在于数字世界,通常不依赖物理设备进行收集。

随着矿山自动化系统和信息化系统的建立,矿山“硬感知”是将物理对象构建到数字世界中的主要通道,是构建数据孪生的关键,而已经存在数字世界中的分散、异构信息,通过“软感知”能力来满足相关应用的需求。目前“软感知”比较成熟,已经得到广泛性的应用。“软感知”包括用户行为数据采集领域的“埋点”,日志数据收集是实时收集服务器、应用程序、网络设备生成的 System Log 日志数据和按照一定的规则,自动地抓取网络网页信息的程序或者脚本的网络爬虫(Web Crawler)。

感知产生的数据,还是孤立的物理对象的镜像,

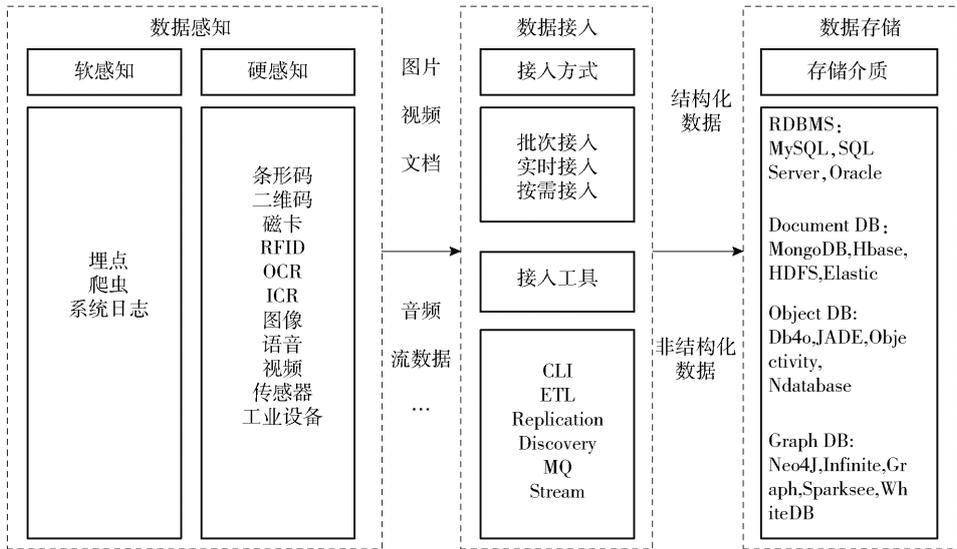


图 2 矿山全量数据感知能力框架

需要在矿山企业内部与其他数据资产一起,在矿山的工艺流程、生产运营和管理指标之间建立相关关系,纳入矿山企业的信息架构进行管理,才能真正打通从数据感知生成到数字孪生应用的链路。

3 矿山数据感知与数字孪生应用

矿山数据感知的最终目的是生成企业级的感知数据,是形成数字孪生的基础,满足矿山企业利用人工智能、机器学习对数字孪生对象进行仿真分析,控制以及优化制定战略目标,动态把握矿山各个部门和组织管理对象和管理过程的状态,帮助管理者实时了解矿山企业运营情况,实现矿山生产全流程管理的最优调度和控制。

矿山感知数据生成后,需要通过连接进入下一步环境,通过不同的数据类型,选择不同的数据接入方式,在确定数据接入方式之前,需要重点考虑以下几个问题:

- (1) 数据源的可用性分析;
- (2) 接入的数据量大小;
- (3) 数据接入过程是连续的还是按一定的时间间隔进行;
- (4) 数据接入是 Pull 的方式还是 Push 的方式;
- (5) 在数据接入的过程中,是否需要做数据校验或数据标准化;
- (6) 在接入的过程中,是否需要做进一步的处理,如数据聚合、数据分类等。

矿山数据感知可以应用于广泛的物理世界和数

字世界,范围可以从人、物、设备、作业、地点到矿石流全过程,在矿山生产过程中通常以矿石流和人为中心,通过企业各部门信息化系统和组织架构的设置,将感知数据纳入到整体的数据体系中,发挥感知数据的价值。

以某铜矿数据感知和三维管控平台建设为例,围绕矿山采矿车间、选矿车间、运转车间和工程部为业务流程的数字感知平台,通过融合控制系统和融合控制网络,建立了涵盖无人运输、自动提升、自动排水、自动充填、按需通风、智能配电与能源管控、搭接自动出矿系统的各类数据的接入和存储。在数字孪生层面,搭建了矿山云计算服务平台,基于实时消息和流式数据处理,开发了用户界面交互模块、消息队列订阅服务、数据查询、静态三维模型和对象模型管理、实时动态监控与路径控制等功能模块。矿山三维协同管控实现了生产过程的各种数据和状态实时改变,利用虚拟可视化引擎分场景管理,达到了多角度、全方位矿山可视化,对整个矿山运行状态的有效监控和管理,其中,矿山三维协同管控系统如图 3、图 4 所示。

数字孪生矿山具有传统仿真技术所不具备的特点,比如实时同步、忠实映射、自学习能力等,矿山企业作为非数字原生企业,其业务特征、数字化基础和数据管理阶段都不一样,数据感知和采集工具和平台的成熟度也不一致,考虑技术发展和成本的制约因素,矿山一般会逐步构建感知能力,完善企业数字孪生。



图3 矿山三维协同管控系统地上部分展示

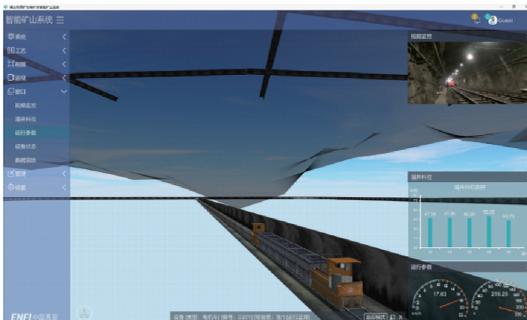


图4 矿山三维协同管控系统地下开采展示

4 结论

当前作为非数字原生企业的矿山行业,随着数字化转型项目的推进,感知能力构建的最终对象逐渐从单一节点发展到完整矿山全流程物理对象。

随着矿山自动化、信息化系统的建设和数据治理能力的提高,矿山要构建的感知规模需要面向应用,由不同的业务部门建设,不同的岗位管理。因此,矿山结合数字孪生感知技术,以业务数字化解决方案为基础,通过“全量、无接触”的数据感知能力框架,实现以工业互联网为基础的大数据感知、接入和存储能力,最终建立具有矿山生产运营管理业务价值的一个或几个方面的数字模型,利用适当的技术满足特定的生产业务目标,优化控制,分阶段利用感知获取的数据发挥价值,同时最大限度地降低成本,逐步完成全量的数据感知能力,打造矿山“孪生”的数字世界。

[参考文献]

[1] 陶飞,刘蔚然,刘检华,等. 数字孪生及其应用探索[J]. 计算机集成制造系统,2018,24(1):1-18.

[2] 王佳奇,卢明银. 基于数字孪生的煤矿瓦斯事故安全管理[J]. 煤矿安全,2020,51(8):251-255.

[3] 庄存波,刘检华,熊辉,等. 产品数字孪生体的内涵、体系

结构及其发展趋势[J]. 计算机集成制造系统,2017,23(4):753-768.

- [4] GRIEVES M W. Product lifecycle management; the new paradigm for enterprises[J]. International Journal of Product Development,2005,2(1/2):71.
- [5] GITHENS G. Product lifecycle management; driving the next generation of lean thinking by Michael Grieves[J]. Journal of Product Innovation Management,2007,24(3):278-280.
- [6] GRIEVES M. Virtually perfect;driving innovative and lean-products through product lifecycle management[M]. CocoaBeach, Fla, USA;Space Coast Press,2011.
- [7] 于勇,范胜廷,彭关伟,等. 数字孪生模型在产品构型管理中应用探讨[J]. 航空制造技术,2017(7):41-45.
- [8] 张新生. 基于数字孪生的车间管控系统的设计与实现[D]. 郑州:郑州大学,2018.
- [9] 陈继文,魏文胜,李鑫,等. 基于数字孪生的工程机械产品健康检测方法研究[J]. 中国工程机械学报,2020,18(4):371-376.
- [10] Roland R, Georgvon W, George Lo, et al. Bettenhausen. About the importance of autonomy and digital twins for the future of manufacturing [J]. IFAC Pa-persOnLine, 2015,48-3:567-572.
- [11] 达索系统公司. 达索系统推出首款基于3D体验平台的SOLIDWORKS应用[J]. 航空制造技术,2014(4):108.
- [12] 陶飞,张萌,程江峰,等. 数字孪生车间——一种未来车间运行新模式[J]. 计算机集成制造系统,2017,23(1):1-9.
- [13] 庄存波,刘检华,熊辉,等. 产品数字孪生体的内涵、体系结构及其发展趋势[J]. 计算机集成制造系统,2017,23(4):753-768.
- [14] 臧冀原,王柏村,孟柳,等. 智能制造的三个基本范式:从数字化制造、“互联网+”制造到新一代智能制造[J]. 中国工程科学,2018,20(4):13-18.
- [15] 石焱文,蔡钟瑶. 基于数字孪生技术的水利工程运行管理体系构建[C]//河海大学. 2019(第七届)中国水利信息化技术论坛. 南京:北京沃特咨询有限公司,2019:6.
- [16] 屈挺,张凯,李从东. 物联网环境下面向高动态性生产系统优态运行的联动决策与控制方法[J]. 机械工程学报,2018,54(16):24-33.
- [17] 李其锐. 浅谈数字孪生工厂的工艺流程三维模拟技术[J]. 数字技术与应用,2020,38(3):73-74.
- [18] 余斌,朱伟佳. 石化行业数字孪生技术的应用探索[J]. 化工进展,2019,38(S1):278-282.
- [19] 张帆,葛世荣,李闯. 智慧矿山数字孪生技术研究综述

[J]. 煤炭科学技术, 2020, 48(7): 168 - 176.

理[J]. 煤矿安全, 2020, 51(8): 251 - 255.

[20] 王佳奇, 卢明银. 基于数字孪生的煤矿瓦斯事故安全管

Research on the Construction of Digital Twin Mine Based on Data Perception

ZHANG Wei-guo, GE Qi-fa, ZHAO Yi, WEN Rui-heng

Abstract: Digital twin technology connects the physical world with the digital world, it adds or expands new capabilities for physical entities by means of virtual real interaction feedback, data fusion analysis, decision iteration optimization and other means. Based on industrial Internet, integrated communication technology and big data artificial intelligence application, digital twin mine realizes the whole process control of mine production and operation management. Aiming at the core foundation of data perception of digital twin mine which combined with the organizational structure of mining enterprises, this paper puts forward the solution of business digitalization in mining industry and the framework of mine total data perception capability, the development of a cooper mine data perception and three-dimensional management and control platform confirms the importance of mine data perception and business organization.

Key words: digital twin; data acquisition; data perception; mine production; management and control system



(上接第 8 页)

Overview of Research on Anode Catalysts for Direct Carbon Solid Oxide Fuel Cells

XIAO Jie, HAO Sen-ran, WU Hao, ZENG Xiao-yuan

Abstract: Throughout the world, the energy crisis and environmental pollution are becoming more and more serious, and the traditional coal-fired thermal power generation will emit a large amount of greenhouse gases and is inefficient. Therefore, it is urgent to seek and develop new technologies for clean utilization of fossil fuels such as coal. Direct carbon solid oxide fuel cell is a promising solution. In direct carbon solid oxide fuel cells, anode electrode catalyst is the key to improve cell performance. Therefore, in this paper, first the basic knowledge of direct carbon solid oxide fuel cells is introduced, and then the application of various anode catalyst materials in direct carbon solid oxide fuel cells is summarized in detail. It will provide a reference and direction for the efficient development and research of anode materials for direct carbon solid oxide fuel cells.

Key words: Direct carbon solid oxide fuel cells; anode catalyst; fuel electrode

