

引用格式:胥建,许俊,张智宽.有色工程行业数字化交付的研究与应用[J].有色设备,2025,39(5):54-60.

XU Jian, XU Jun, ZHANG Zhikuan. Research and application of digital delivery in non-ferrous engineering industry[J]. Nonferrous Metallurgical Equipment, 2025, 39(5): 54-60.

有色工程行业数字化交付的研究与应用

胥建¹, 许俊², 张智宽²

(1. 中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038; 2. 广西金川有色金属有限公司, 广西 防城港 538002)

[摘要] 为应对传统行业在数字化转型中面临的工程数字化交付实施瓶颈,特别是在标准缺失与思维定式等方面的挑战,本文从数字化交付的概念入手,系统介绍了数字化交付的内容、标准与依据、优势、交付过程、交付管理、交付平台及功能要求、推动数字化交付的挑战等,并聚焦有色冶金行业的应用情况进行分析。研究提出,数字化交付是智能工厂建设中至关重要的环节,可实现以设计为源头的正向数字化工厂建设,增强工程数字化水平,提升工程建设质量,降低工程建设成本,更能为工厂运维和智能工厂建设提供坚实的数字化基础,工程建设同步推动数字化交付意义重大。

[关键词] 数字化交付; 数字化工厂; 交付平台; 智能工厂; 数字化; 交付过程; 交付管理

[中图分类号] TF813 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1003-8884(2025)05-0054-07

DOI: 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2025.05.007

0 前言

随着企业数字化转型的深入推进,建设数字化工厂、智能化工厂已成为石油、化工、电力、造纸、钢铁冶金、有色冶金等行业工业企业发展的必然趋势^[1-3]。相较于其他行业,有色冶金行业在数字化智能工厂领域的水平尚存在差距,但业界已普遍认识到数字化转型是应对市场竞争、优化资源配置的迫切需求。当前,行业企业正通过创新驱动与业务深度融合,积极推进数字化、智能化制造,并将其视为实现提质增效与转型升级的核心驱动力。因此,推动工厂的数字化和智能化转型建设是有色冶金企业实现高质量发展的必然选择。在此进程中,工程数字化交付又是数字化智能工厂建设中必不可少的关键环节,发挥着至关重要的作用。

本文全面介绍了工程数字化交付的概念、内容、标准与依据、数字化交付的优势、交付过程与管理、交付平台及功能要求等。在此基础上,深入剖析了有色冶金工程项目中推进数字化交付所面临的主要挑战与制约因素。针对这些瓶颈,提出了一系列具

有可操作性的对策建议,供后续同类工程项目的数字化交付实践提供理论参考与实践指导。

1 数字化交付总体框架

数字化交付,是指以工厂对象为核心,对工程项目建设阶段产生且运维阶段需要的静态信息,按照既定的数据标准和规则进行数字化创建,以适当方式移交给运营方的工作过程。涵盖信息交付策略制订、信息交付基础制订、信息交付方案制订、信息交付相关方职责、信息整合与校验、信息移交、信息质量检查和验收及数字化交付平台建设等^[4-6]。数字化交付使建设单位能够从设计源头上获取工厂运行的建设基础数据,并以设计数据为基础,实现数字化工厂在更高的基础上开展工厂运维管理和设备资产管理,从而实现工程全生命周期的数字化工厂管理和运行维护^[7],为日后的智慧工厂建设创造了先决条件。

为确保数字化交付的有效性,其数字化交付工作宜与工程建设同步进行。依据数字化交付标准,对工程的结构化、非结构化数据进行收集与整理,以

[收稿日期] 2025-06-09

[第一作者] 胥建(1985—),男,重庆奉节人,高级工程师,硕士,主要从事有色金属冶金、化工领域工程设计、咨询及数字化方面的工作。

确保交付数据的完整性与一致性。在此基础上,需利用数字化交付平台,对工程文件、工程模型、工程数据进行归档存储,实现以工厂对象为核心的“热点化”关联关系,为工厂的智能化运维提供核心信息支撑,具有深远意义。

1.1 数字化交付目标

通过在工程项目建设全过程中,同步进行工程设计、采购、施工、调试等的数字化交付工作,可实现以下核心目标。

1)以设计数据为源头的正向数字化工厂建设,实现无缝、快捷、低成本的以工厂对象为核心的数字化交付。

2)通过制订数字化交付规范,促进工程设计、采购、施工、调试等各建设阶段提升数字化能力,从而系统性地提升工程建设的整体建设质量与协同效率。

3)项目各参与方通过使用标准化、数字化、智

能化的应用软件系统,保证项目顺利进行,提高工程质量和工作效率,提升项目整体的数字化智能化水平。

4)全面应用智能 P&ID 设计工具软件,提升 P&ID 的设计水平和质量。

5)交付三维信息模型,实现工程信息的可视化和智能关联。

6)构建统一的数字化交付平台,在平台中实现以工厂对象为核心的信息组织模式,包括但不限于智能 P&ID“热点化”浏览、三维可视化操作、智能查找搜索、智能报表、三维漫游培训等多种应用。数字化交付建立了工程建设期的工程数据中心,为运维阶段对工程数据的扩展应用和智能工厂建设打下坚实基础,提升工程的生产运维管理水平。

1.2 数字化交付内容

数字化交付的内容体系主要由 4 部分构成:工程文档、工程模型、工程数据和以工厂对象为基础的关联关系。该体系的详细架构如图 1 所示。

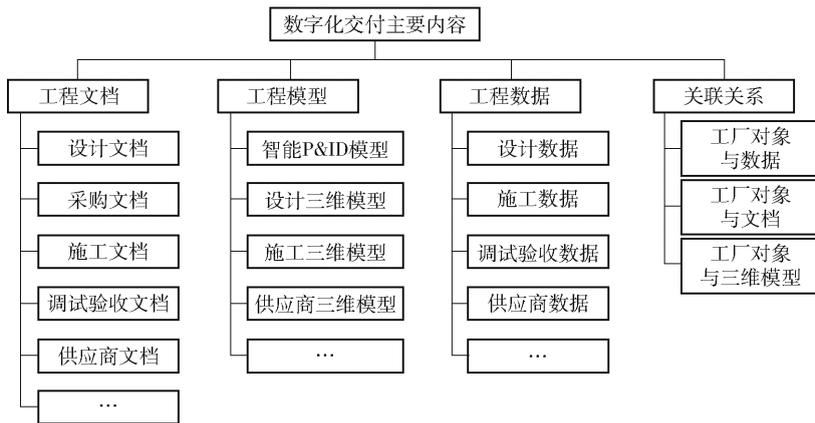


图1 数字化交付主要内容
Fig.1 Digital delivery main content

1)工程文档(含图纸)包括:设计文档、采购文档、施工文档、调试验收文档、供应商文档、监理文档等。设计文档主要指在工厂建设阶段,设计单位数字化交付给建设单位的设计文档、图纸、数据表等资料,包括设计说明、设计统一规定、P&ID、设备图、系统图、安装图、基础图、管道图、零部件图、电气图、仪表图、建筑图、结构图、暖通空调图、消防设计图等;采购文档主要指采购相关的文档、会议纪要、表格等资料,包括采购计划、招标文件、投标文件、评标文件、会议纪要等;施工文档主要指施工过程中产生的文档、表格记录等资料,包括交工技术文件、施工方案、施工安装记录、检测记录、施工验收记录、设备焊

接记录、管道耐压试验记录、吹扫清洗记录、阀门安装记录、管道防腐保温涂漆记录、电气安装记录、仪表安装记录等。调试验收文档,是指在工程建设后期,进行调试期间产生的各类文档、数据记录表等资料,包括单体设备试车记录、联动试车记录、项目试运行记录及总结等;供应商文档指由供应商提供的与供货对象相关的文字资料、图纸、数据表等,包括安装操作使用说明书、供货清单、规格书、操作手册、维修手册、备品备件清单、产品合格证、产品图纸、产品数据表、防爆证书等在内的设备出厂文件;监理文档指监理单位产生的相关文档、数据表、会议纪要等资料,包括监理规划及审批记

录、监理月报、监理专项/竣工验收总结、监理工程师通知、工程质量检查记录、监理资料移交书、应急演练及有关声像资料等。

2) 工程模型包括智能 P&ID 模型、设计三维模型、施工三维模型、供应商三维模型等。智能 P&ID 模型在设计 P&ID 时建立的,模型中涉及工艺流程相关的对象应附加必要的属性信息,包括位号、描述信息等;设计三维模型指在工厂设计阶段建立的三维数字化信息模型,集成了工业炉、设备、管道、结构、建筑、电气、仪表、总图等专业的三维模型;施工三维模型指施工阶段的深化设计三维模型,如结构二次设计的施工三维模型等;供应商三维模型指由供应商提供的供货设备三维模型。目前,用于数字化工厂三维设计的代表性软件主要有:PDMS、E3D、Smartplant 3D、Bentley、Revit、PDS、SolidWorks 等;用于智能 P&ID 设计的主流软件主要有:AVEVA Diagrams、AutoCAD P&ID、OpenPlant P&ID、Smart Plant P&ID 等。

3) 工程数据包括:设计数据、施工数据、调试验收数据、供应商数据等。设计数据指在设计阶段所定义和产生的数据,包括在模型中对各个元素所定义的属性、工艺属性数据等;施工与调试验收数据用于记录工厂的“已建成”状态,指在施工和调试验收阶段产生的与工程建设相关的数据;供应商数据主要由设备供应商提供,包括各类设备、成套设备(装置)及单体设备的详细属性、工艺包数据等,是确保设备准确选型与后期运维的关键依据。

4) 关联关系是指以工厂对象和位号为基础,建立了工厂对象与数据、工厂对象与文档、工厂对象与三维模型间的联动关联关系。数字化交付区别于传统交付的最大特征是关联关系,即工厂对象与文档之间关联关系、文档与模型或图纸之间关联关系等。数字化交付不仅是设计成果交付,也是工程全过程建设周期的工程信息资产交付,为后续的智能运维提供了数据基础。

数字化交付的核心价值,在于其打破了工程建设与运营维护之间的传统壁垒,为运维阶段的智能化应用提供了数据源,并最终为智能工厂建设提供基础工程信息。

1.3 数字化交付的标准与依据

近年来,我国工程数字化交付的标准体系建设取得了显著进展,陆续有国家或行业级数字化交付

标准发布,逐步填补了各行业工程建设在数字化交付领域无标准可依的空白。2016 年,由中国能源建设股份有限公司和中国电力工程顾问集团有限公司共同主编推出发电行业工程数字化交付标准《发电工程数据移交》(GB/T 32575—2016)。2018 年,由中国石化工程建设有限公司和中国寰球工程有限公司共同主编,推出石油化工有限公司工程数字化交付标准《石油化工工程数字化交付标准》(GB/T 51296—2018)。2020 年,江苏省推出数字化交付地方标准《工勘察设计数字化交付标准》(DB 32/T 3918—2020)。2023 年,由陕煤集团榆林化学有限责任公司牵头起草推出煤化工行业工程数字化交付标准《煤化工工程数字化交付规范》(T/CPCIF 0271—2023)。此外,一些企业级的工程数字化交付标准也在陆续推出,如 2017 年中国石油天然气集团公司发布了企业标准《油气田地建设数字化工程信息移交规范》等。以上标志着数字化交付标准体系正向多层次、全覆盖的方向发展。

同样,有色冶金行业工程数字化交付标准的编制标准化建设,亦在积极推进。2023 年,中国有色金属工业协会将《有色金属工程数字化交付标准》列入标准编制计划,由中国恩菲工程技术有限公司牵头主编。此举在行业内具有前瞻性与创新性,不仅将填补该领域长期存在的标准空白,更将为行业的数字化转型提供关键的规范引领。

2 数字化交付与传统交付的区别

2.1 传统交付模式的局限性

传统交付模式,无论是以纸质方式还是电子档案(如 PDF、DWG、WORD 等)形式存在,其本质都是非结构化的文档交付。该模式存在以下固有缺陷:首先,信息呈现离散化,形成“信息孤岛”。尽管电子文件支持全文检索,但所有信息从设计图纸上获取的,在这些图纸背后的信息未呈现,导致数据无法被有效利用。其次,数据资产价值低。传统交付方式的资料对于生产运维而言是零散的、不系统的,不能等同于数字化成果,难以与工程运维期间形成的“动态信息”协调配套使用。此外,物理或数字介质的损毁、丢失风险也始终存在。

2.2 数字化交付的革新

与此相对,数字化交付除了电子档案外,对信息进行了系统化、结构化的构建形成工程数据库,将设

计和施工过程中的设备、管线、管件等转换成独立的对象,这些对象的关联关系在移交后仍然在数字化交付平台中得以保留,使得其除了能够满足人的应用需求外,还可以与生产过程中的动态数据进行关联,进行智能化的运维管理^[8]。因此,数字化交付对工程建设的设计、施工、采购供应、调试等各阶段提出了系统性要求,是提升工程建设期数字化赋能的关键实践。

2.3 数字化交付的关键作用

工程项目建设阶段核心任务是如何实现工程可视化和多参与方的协同,加快信息的传递效率,提升数据的互用性,确保数据质量和准确性,这一阶段管理的重点是建设数字资产的生产过程;生产运维阶段重点在于搭建工厂设备资产全生命周期可视化管理体系,这一阶段的管理重点是营运资产的高效运维

过程。而介于这两个阶段之间的则是如何实现项目建设期数字资产高效完整的数字化移交到运维阶段。因此,能否实现数字化交付是完成数字化转型的关键挑战,在此背景下,数字化交付的水平和能力已成为衡量设计院和工程公司核心竞争力的重要指标之一。

3 数字化交付过程与管理

数字化交付的工作过程涵盖数字化交付规定的制订、开展数字化交付工作以及最终交付验收等主要阶段。区别于传统交付模式,数字化交付需要一个严谨的设计和交付过程,以“工厂对象”为核心,将工程建设各阶段的数据进行结构化处理,建立网络状关系数据库,并将其储存于工厂数字化交付平台中,最终基于统一数据接口完成数据交付^[9]。工程项目的数字化交付主要过程如图 2 所示。

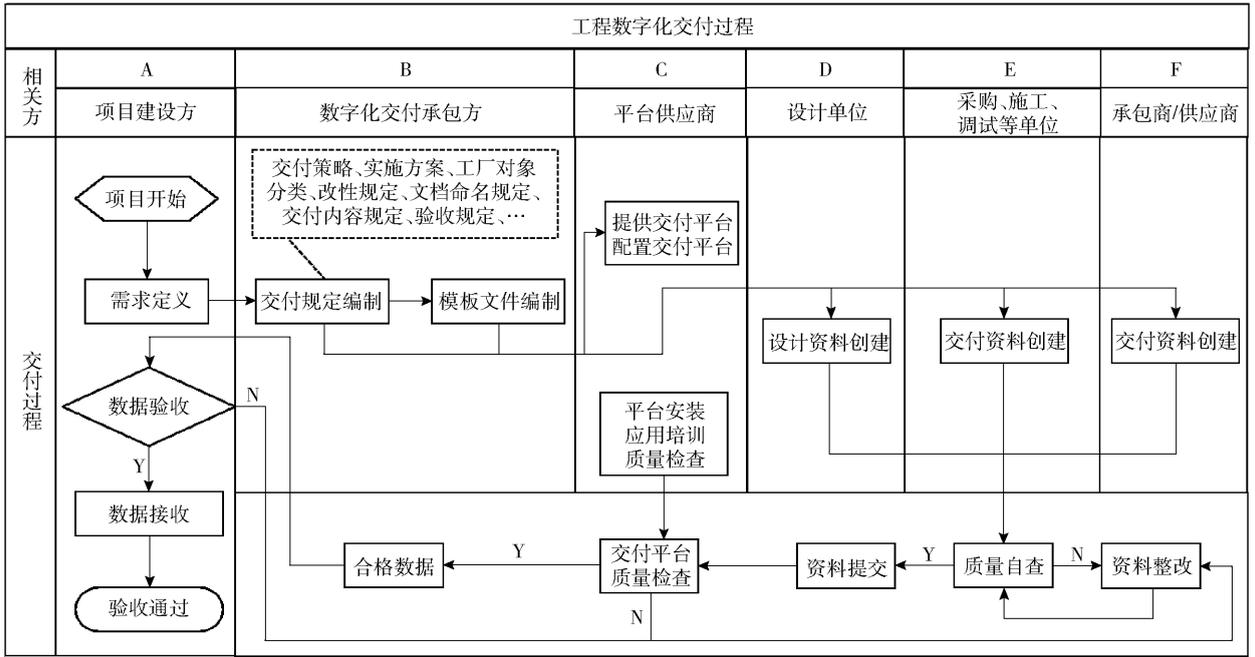


图 2 工程项目数字化交付过程

Fig. 2 Project digital delivery process

3.1 参与方及职责

3.1.1 项目建设方

建设方为数字化交付工程需求提出单位和接受方,其主要职责在于确立交付目标与监督执行。具体包括:提出数字化交付需求,明确数字化交付的移交范围;审核批准数字化交付承包方的数字化交付相关规定和程序文件,发布数字化交付规定;监督数字化交付的质量、进度;配合数字化交付平台的搭

建、调试、应用和推广;协助数字化交付承包方对数字化交付组织工作的开展;组织最终的数字化交付验收。

3.1.2 数字化交付承包方

数字化交付承包方为数字化交付工程的总体负责单位,其职责在于制订标准、整合数据与管控过程。具体包括:制订数字化交付总体策略和实施方案,编制数字化交付规定;组织数字化交付平台的搭

建、调试和应用;工程项目中模板文件定制;负责组织交付信息的整合、校验;管控数字化交付的进度与质量;组织数字化交付的相关培训;将信息上传到数字化交付平台,并在平台中建立关联关系;协助交付验收,并将完整的数字化交付平台移交给建设方。

3.1.3 平台供应商

平台供应商为数字化交付平台的提供单位,主要职责具体包括:提供数字化交付平台及平台的安装、调试、维护及功能配置开发;负责平台操作和应用培训;协助完成与第三方协同数据的通讯;负责数字化交付平台技术支持;参与和协助项目数字化交付的验收。

3.1.4 设计、采购、施工、调试、供应商等单位

设计、采购、施工、调试、供应商等单位的主要职责具体包括:按照工程数字化交付具体要求,负责各自领域内数据的收集、整理与提交;配合建设方、数字化交付承包方和平台供应商进行数据移交的测试验证;负责分阶段按要求对移交信息的质量、完整性进行检查;参与数字化交付的验收。

3.2 制订数字化交付规定

数字化交付规定应在项目前期进行制订,以明确各方职责、交付范围、交付内容、交付深度、交付方式等。数字化交付的核心思想是为每一个工厂的实体,如设备、管线、结构等建立一个对应的“对象”,这个对象存储了与其相关的所有属性以及各个对象之间的关联关系。随着工厂在不同阶段的推进,将不同阶段的数据再次追加和补充到这个对象上去,逐渐完善,同时下游部门可以直接利用上游输入的数据,而不需要再次录入,这样可以保证数据的一致性、保证数据的准确性、减少数据录入的工作量。项目启动后,应根据建设方的交付需求,制订项目数字化交付统一标准和规定,通过制订各类交付规则,过滤掉生产运维阶段建设方不需要的数据资料、工程对象属性,建立工程建设与建设方生产运维阶段对象与文档、模型、数据属性等分类映射关系,达到向建设方交付符合行业典型运行维护所需求的数据目的。

3.3 开展数字化交付工作

在数字化交付规范确立后,项目各参与方应根据交付规范要求,配置先进的工作软件并组建专业的团队,有序开展。按阶段按要求完成并向建设单位提供相应的文档、图纸、三维模型、

智能 P&ID、属性信息等相关交付资料。在项目完成后,应提交最终相关资料整合并归集至交付平台中,并进行资料质量审查,以确保其完整性、准确性与一致性。

3.4 交付验收

项目数字化交付验收工作通常采用阶段性验收和最终验收。阶段性验收指资料完成阶段性或区域性局部交付后,对交付资料进行局部验收和质量检查,有效规避项目风险。最终验收指在项目整体竣工后,组织各参与方相关人员,参照相应数字化交付规定中的验收标准要求,对项目进行数字化交付验收评审,总体达到功能齐全、交付内容合理正确,模型及属性与物理模型高度一致,评审合格后形成竣工最终验收总结报告。

4 数字化交付平台及功能要求

数字化交付平台是打造原生数字化工厂和实现工厂全生命周期运维的有效集成,打破了传统的流程孤岛,将设计和运维两个看似分离的流程有机融合,将现实世界和数字化世界有机融合,有效弥补常规设计软件和硬件的不足,实现流程工业工厂全面的数字孪生。

数字化交付平台的先进性、可靠性和持续性是工程数字化交付能否顺利实施的关键。因此,数字化交付平台的选择须满足以下原则:要结合项目实际需求同时满足性能优良,价格合理,具有较好的性价比;平台应运用先进成熟的技术手段和标准化产品,具有较高性能,符合当今技术发展的方向,并通过统一的对外接口与相关系统进行数据交换,具有较强的实用性和可行性,有长期的使用价值;平台应具有严格的安全性和保密性,应在各层次对访问进行控制,设置严格的操作权限,降低客户通过网络进行工程设计文档数据查询利用等应用的风险性,应具有健全的备份和恢复策略增强平台的安全性;平台提供商应具有很好的交付服务团队,需熟悉平台各项功能及二次开发的能力,具有丰富的工程交付经验,良好的职业素养。

目前,市面上的数字化交付平台主要有:AVEVA 公司的 AIM 平台(原 Aveva. Net)、鹰图公司的 SPF 平台、西门子公司的 COMOS 平台、Bentley 公司的 AssetWise 平台以及达美盛公司的 PIM Center Handover 平台等^[10-11]。项目建成后,生产运维阶段

可直接利用数字化交付平台中的数据、资料,并连接智能化生产运维管控平台的生产、设备、质量、能源、物流信息系统、实时监控系统等系统来构建数字智能工厂应用,同时提供移动终端调阅模型、查阅数据,进一步提升企业生产运营管控能力。

5 有色行业推行工程数字化交付的挑战与建议

5.1 主要挑战分析

有色冶金行业在推行工程数字化交付过程中,面临的挑战源于传统交付模式的影响。具体表现为:首先,参与各方存在显著的思维定式,倾向于沿用传统工作方法,对数字化交付标准缺乏深入理解,导致交付资料在质量、完整性与一致性方面存在缺陷。其次,标准体系建设的滞后与执行不力,使得数据采集与整理过程缺乏有效约束,参与度不足,交付的资料经常达不到数字化交付规定的要求等情况。

5.2 应对策略建议

针对数字化交付中容易出现的问题,提出以下4个层面建议,供有色行业数字化交付项目执行参考。

1) 工程项目数字化交付前期,应尽早做好项目级数字化交付标准和规定,这是工程开展数字化设计、采购、施工等环节的基础准则。若前期标准缺失或执行不力,后续再对已经形成的资料进行修改整理,不但耗费的人工时巨大,而且还不一定能达到正向数字化建设的效果。

2) 项目各参与方的专业人员应转变传统观念,主动提升对数字化交付的认知水平,熟练掌握并应用各类设计、施工、交付等平台软件,形成全员参与的数字化工作氛围。

3) 数字化交付的实施伴随着组织流程的再造与短期内的适应阻力,管理人员须坚定决心推动,克服转型阵痛,为数字化交付的全面落地提供组织保障,其长期战略价值远超短期投入。

4) 工程建设期完成数字化交付工作后,进入工厂运维阶段,确保数字化交付平台中的数据、信息跟随运维过程及时动态更新与维护,是至关重要的工作,也是难点工作,这将确保数字化交付平台中的资料真实、准确、可用,是智能运维的信息基础,其真实性和准确性意义重大。

6 结语

当前,有色冶金行业正处于数字化转型的关键时期,然而,工程数字化交付的推行面临瓶颈,主要源于行业专属标准的缺失、传统交付模式的思维定式,以及缺乏系统性的实施方法论。如何应对挑战,为有色冶金行业的数字化交付提供理论指引与实践路径,是本文研究的核心问题。

为应对上述挑战,本文首先对工程数字化交付进行了系统性研究,构建了一个涵盖交付理念、标准体系、参与方职责、执行流程与验收机制的全生命周期理论框架。在此基础上,本文聚焦于有色冶金行业的具体情况,分析了其在推行数字化交付过程中所面临的挑战,并提出了针对性的建议。

本文所构建的理论框架与提出的对策体系,为有色冶金行业有效推进数字化交付提供了科学依据和实践经验,对提升工程建设质量、实现智能运维具有理论与实践意义。

[参考文献]

- [1] 赵志建,曹小利,杨钧生,等.大型煤化工项目实施数字化交付设计与应用[J].石油化工自动化,2021,57(6):43-46.
- [2] 刘存钧,刘岩.钢铁企业数字化交付技术研究[J].计算机技术,2019(3):81-82.
- [3] 马明,章剑波,胡联伟.炼化工程行业数字化交付研究与应用[J].石油化工自动化,2020,56(5):49-53.
- [4] 孙冠华,贺永金,姜继鼎,等.化工数字化交付项目中三维协同设计的应用及优化[J].河北工业科技,2021,38(4):300-307.
- [5] GB/T 51296—2018,石油化工工程数字化交付标准[S].
- [6] 宰斌,孔敏,吕拥军.数字化交付在医药化工企业中的应用与实现[J].浙江化工,2022,53(1):48-53.
- [7] 曹建新.浅谈化工工程项目数字化交付设计[J].天津化工,2019,33(4):69-72.
- [8] 杨晓娟.矿井水处理项目数字化交付的探索和应用[J].化工管理,2022(4):81-83.
- [9] 罗辑.大型石化项目数字化交付后的应用[J].化工设计,2020,30(6):43-46.
- [10] 吴春晖.基于Aveva net的数字化交付系统方案的研究[J].上海化工,2019,44(11):18-20.
- [11] 吴春晖.数字化交付项目的研究[J].化工设计,2019,29(6):45-49.

Research and application of digital delivery in non-ferrous engineering industry

XU Jian¹, XU Jun², ZHANG Zhikuan²

(1. China ENFI Engineering Corporation, Beijing 100038, China;

2. Guangxi Jinchuan Nonferrous Metals Co., Ltd, Fangchenggang 538002, China)

Abstract: This paper addresses the implementation bottlenecks of engineering digital delivery faced by traditional industries during their digital transformation, particularly the challenges of standardization gaps and entrenched mindsets. Commencing with the fundamental concepts, it provides a systematic overview of digital delivery, covering its content, standards and basis, advantages, processes, management, platform and functional requirements, and associated challenges. The study then focuses on an analysis of its application within the non-ferrous metallurgy industry. The research concludes that digital delivery is a critical component in the construction of smart factories. It enables a forward-looking approach to digital factory construction that originates from the design phase, thereby enhancing the level of engineering digitalization, improving construction quality, and reducing costs. Furthermore, it establishes a solid digital foundation for factory operations and maintenance (O&M) and future smart factory initiatives, underscoring the profound significance of concurrently implementing digital delivery during the engineering construction phase.

Keywords: digital delivery; digital factory; delivery platform; intelligent plant; digitization; delivery process; delivery management ▲