

智能矿山

矿山工程数字化设计与交付解决方案

Digital Design and Delivery Solution for Mine Engineering

刘 诚, 李少辉, 赵 奕, 夏长念 (中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

摘要: 矿山工程数字化设计交付构建了工程项目静态数字化资产模型, 是从源头实现数字矿山、智能矿山的必经之路, 也是设计企业向运营业务进行拓展和转型的重要纽带。本文分析了目前矿山工程数字化设计与交付普遍存在的问题, 提出了以矿山信息模型为核心的数字化设计与交付解决方案, 介绍了 MIM 数字化设计平台和 MIM 数字化交付平台的建设内容。

关键词: 数字化设计; 数字化交付; 矿山信息模型; 智能矿山

中图分类号: TD672 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2022)03-0001-06

Abstract: Digital design delivery of mine engineering builds the static digital asset model of engineering project, which is the only way to realize digital mine and intelligent mine from the source, and also an important link for design enterprises to expand and transform to operational business. This paper analyzes the existing problems in the current digital design and delivery of mine engineering, puts forward the solution of digital design and delivery based on the mine information model, and introduces the construction contents of MIM digital design platform and MIM digital delivery platform.

Key words: Digital design; Digital delivery; Mine information model; Intelligent mine

1 前言

矿山工程数字化设计交付构建了工程项目静态数字化资产模型, 是从源头实现数字矿山、智能矿山的必经之路, 也是设计企业向运营业务进行拓展和转型的重要纽带。

面对矿山工程数字化设计中存在的平台化程度低、设计协同性差、数据互通困难等问题, 以及传统的图纸资料交付模式难以形成工程数据资产, 设计数据未实现全生命周期流通和应用等问题, 建立一个“集中统一、高效协同”的全流程数字化设计及交付平台, 就显得尤为重要和迫切。通过制度化、体系化的手段, 使得设计管控、项目执行都行进在标准化的轨道上, 打破跨部门沟通的信息孤岛, 消除因不同平台、不同软件所造成的效率低下问题, 是工程设计实现数字化转型的重要举措。

2 矿山数字化设计交付存在的问题与对策

中国信息通信研究院 2021 年《中国数字经济发展白皮书》指出, 2020 年中国数字经济规模达到 39.2 万亿元, 占国内生产总值比重达到 38.6%, 同比增长 9.7%, 达到国内生产总值增长 2.3% 的 4 倍以上。相较于其他行业, 矿山行业数字化转型明显落后, 矿山工程的一体化、数字化、协同化设计尚处于初级阶段。

2.1 存在问题

1) 缺少专业的矿山 MIM 设计软件

与建筑行业的 BIM 设计理念类似, 矿山工程设计需要建立矿山信息模型 (Mine Information Modeling, MIM)^[1], 但不同的是矿山的物理状态随着开采的进行实时变化, 矿山 MIM 模型所涵盖的工程内容和数据类型与 BIM 有较大差异。因此 Bentley、Revit、Dassault、Tekla 等 BIM 设计软件不能直接用于矿山工程的 MIM 设计, 而 AutoCAD 等传统图形设计工具, Surpac、Datamine 等矿业软件也不具备 MIM 设计建模的功能。

[作者简介] 刘诚(1971-), 男, 贵州凯里人, 教授级高级工程师, 中国恩菲工程技术有限公司总经理, 总工程师。

[引用格式] 刘诚, 李少辉, 赵奕, 等. 矿山工程数字化设计与交付解决方案[J]. 中国矿山工程, 2022, 51(3): 1-6.

2) 设计软件间数据互通性差

矿山工程设计过程中涉及地质、采矿、岩石力学、矿山机械、建筑、结构、总图、水道、暖通、电气、仪表、自控、技术经济等多个专业,各专业设计过程均会用到不同的专业设计软件,数据格式多种多样,必然导致软件间数据交互的困难。因此在设计过程中,大量时间花在数据准备和沟通协调上,设计效率存在很大的提升空间。

3) 知识复用和知识自动化程度低

设计知识复用是较快设计进程和降低成本的有效方法^[2],然而现行的设计软件和设计平台无法良好支持后续方案设计所用的数据,阻碍了对历史设计数据、设计方法的有效复用。同时,设计工作中不断积累的工程经验和专业算法也需要通过软件化封装,提升知识自动化程度,从而提升设计质量和效率。

4) 软件对外依存度高,面临技术封锁风险

研发设计类工业软件有CAD、CAE、CAM、PLM等,其功能可以覆盖工业产品全生命周期,研发设计类工业软件对促进企业研发设计信息化具有不可替代的主导作用,国外研发设计类工业软件企业主要有达索、西门子、PTC、欧特克等。上述企业占据国内市场超过一半的份额,在高端市场市场占有率则更高。矿山工程设计软件同样是以国外软件为主,随着国际形势复杂变化,面临越来越高的技术封锁风险。

5) 设计数据资产化程度低

数据资产化是企业数字化转型的基石,历史项目的设计数据对于后续项目的设计具有重要的参考价值,而目前的设计模型下,数据积累不足,数据价值挖掘不够,大数据和人工智能等技术更是很少用于工程设计领域。

6) 缺少统一的数字化交付模式

目前矿山工程设计的交付模式仍以传统的“纸质卷册”交付模式为主,设计数据没有成为数字矿山建设的基础。图纸数量大,在查阅信息时,工作耗时长,效率不高。图纸抽象不直观,在二维平面通过平面立面剖面表达三维工程信息,需要工作人员基于多张图纸才能理解设计人员的设计意图,有极高的专业门槛,不利于设计信息在各方之间的传递。设计信息之间缺乏关联,数据查询和修改成本高。目前矿山工程的数字化交付模式

仍处于初级阶段,缺少交付标准和统一的交付平台。

2.2 解决对策

以重构设计流程和提供数字化交付服务为抓手,以数据驱动、软件定义、平台支撑、技术引领、流程重构为数字化转型逻辑。集成行业知识,构建以矿山信息模型为核心的设计交付平台,实现数据互通共享,为智能矿山整体解决方案提供软件支撑。方案架构如图1所示。

1) 数字化设计

建立数字一体化协同设计体系,基于设计数据中台使多专业团队在共同的数据环境下协同工作。在全面梳理设计各个流程间关系的基础上,通过统一的平台和数据工作机制,打通各个流程和设计单元,确保每一个环节都能及时获取到最新的数据,同时向其他单元分享自己的数据。

数字一体化工程设计并非设计数据的简单堆砌,整个设计团队对数据进行实时更新,并实时获取到需要的数据^[3]。从而将变更及时体现在各设计终端上。通过数据校验工具可以及时地对设计中数据的变化进行提醒,降低设计间信息的不对称和不及时的情况。

以工程内容为中心,统一数据架构及信息模型。使设计信息高效无损共享,提高数据综合利用率;保障模型数据的有效性和一致性,最大限度减少数据转换引起的效率降低和质量风险。

以三维设计为主线,构建全专业覆盖的、集成开放的三维数字化设计平台以及与之相适应的管理体系,同步提高企业整体设计效率、设计质量和设计标准化水平。

以交付物创新为落脚点,提高二三维交付物质量和效率,掌握数字化移交方法,打造数字化移交平台,为后续开展数字化运维服务提供支撑。

以形成自主知识产权打造核心竞争力。通过自主研发和集成创新,封装行业知识,掌握知识产权,积极打造自有开发团队,保障平台持续更新迭代,快速响应三维数字化设计的软件需求。

2) 数字化交付

数字化交付是设计成果交付的升级,是工程技术服务的延伸,是建设数字矿山的基础。数字化交付对实现设计协同、提高设计的准确性、实现施工可视化管理等提供帮助;打通设计、采购、施

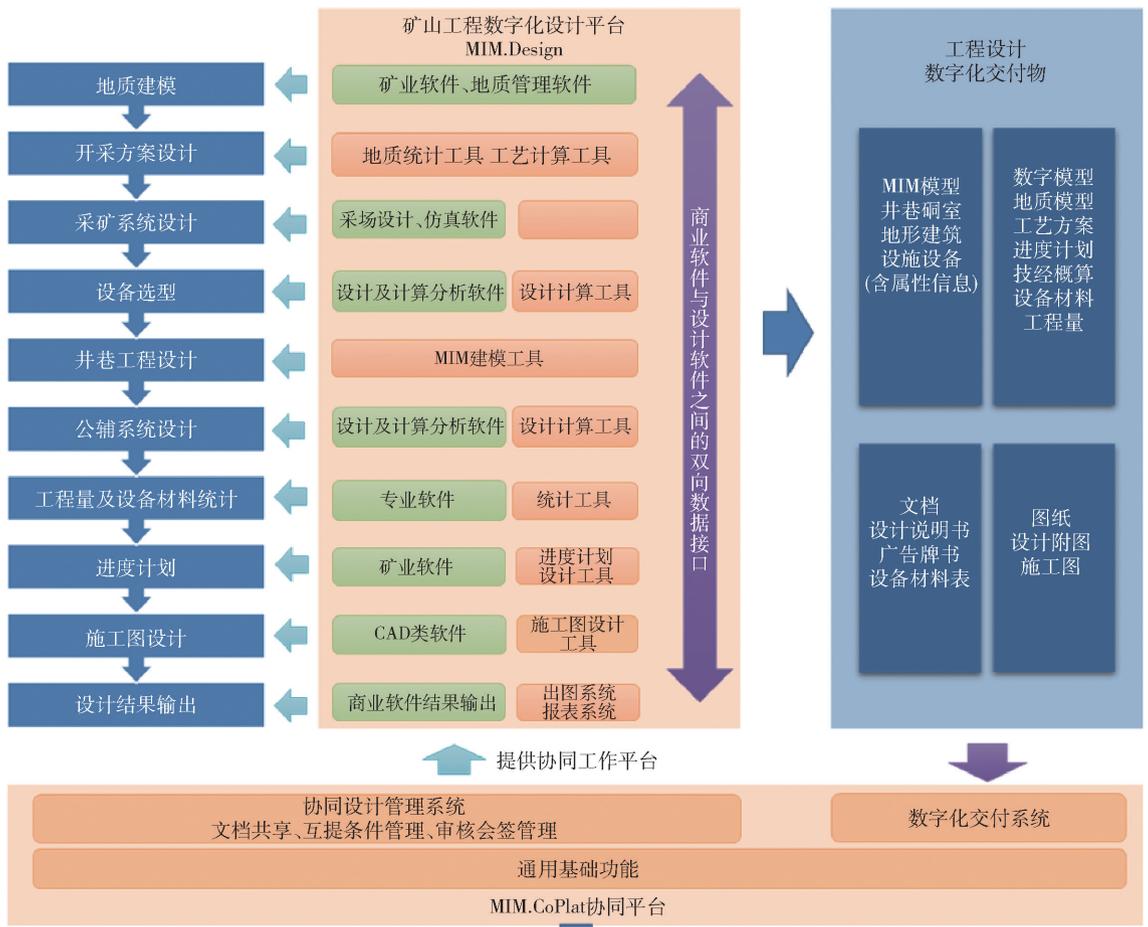


图1 数字化设计交付解决方案架构图

工等工程数据流,确保数据的准确性和唯一性,对后期的管理、运维、改扩建等提供有效数据支持^[4-5]。

建立以工程对象为中心的属性化、参数化、可视化的交付方式,将工程设计产生的数据,进行结构化处理,建立以工程对象为核心的网状关系数据库,存储于工程数据中心,并基于统一的数据接口完成数据交付,为业主提供可靠的工程基础数据,形成构建数字矿山的静态数据资产。

数字化交付的内容包括数据、文档、三维模型,以及它们与工程对象的关联关系。需要建立数字化交付标准,制定工程对象分类和属性定义,制定工程对象编码体系以及数据格式、模型深度等标准。同时,需要建立数字化交付平台,交付平台是工程项目设计建设阶段并延伸至运维阶段使用的大数据信息管理系统,一般应具有系统管理、交付基础、信息采集、信息处理、信息移交、信息查询、信息浏览和数据应用等基本功能。

3 矿山工程数字化设计平台建设内容

3.1 MIM 建模软件

1) MIM 模型格式

针对矿山工程特点,建立专有的 MIM 模型格式,通过自主开发的 MIM 建模软件可生成 MIM 模型,MIM 模型是一个数字化的模型,包括三维模型及属性数据,三维模型支持 DGN、RVT、IFC、FBX 格式,三维模型通过工程对象 ID 与属性数据建立关联关系。以巷道 MIM 模型为例,属性数据包括:①断面参数:断面类型、宽度、直墙高、拱高、拱形、水沟尺寸、净面积、净周长、掘进面积、掘进周长等;②支护参数:支护类型、支护厚度、锚杆参数、挂网参数、混凝土参数、钢拱架参数等;③环境参数:通风阻力系数、围岩温度、风流、风速、散热量等。

MIM 模型是矿山工程设计的核心数据,可用于开拓运输系统、通风系统、充填系统、进度计划等方案设计。

2) MIM. Design 建模工具

MIM. Design 是专为矿山工程设计研发的 MIM 建模工具,兼容 Surpac、Datamine 等矿业软件生成的矿体模型,提供矿体剖切、矿量统计等专业工具,为开拓运输系统设计提供基础。研发了满足矿山设计个性化需求的井巷工程中心线设计工具,包括“两点斜坡道”“三点斜坡道”“坡度调整”“匹配标高”等快速设计功能。MIM 建模工具则根据项目统一定义的工程分类和断面类型,基于中心线进行一键建模,属性数据与三维模型自动关联。MIM 建模工具界面如图 2 所示。

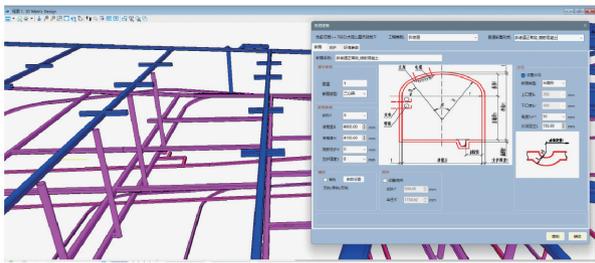


图 2 MIM 建模工具

3.2 协同设计平台

协同设计平台集成自主研发的设计软件及商业设计软件,通过一系列数据接口开发进行数据集成,同时根据数字化设计工作流程为各专业提供统一的设计环境。

1) 系统建模

矿山设计中涉及矿山生产 8 大系统和安全避险 6 大系统,需要建立多个数字化系统模型,通过仿真模拟手段进行方案优选和设计验证。包括矿岩模型、水文模型、采掘-出矿-运输-提升的矿石流系统模型、通风系统模型、岩石力学模型、充填系统模型、供配电系统模型、给排水系统模型、压风供气系统模型、电信仪表系统模型、技术经济模型、碳排放计算模型。通过对工程知识经验的软件化封装结合商业软件数据接口开发,形成上述系统设计方案的数字化模型。

2) 多专业数据共享

根据重构以后的数字化设计流程,定义协同设计管理系统的功能,解决各专业之间的数据一致性问题。项目文档在服务器端的统一管理和分权限共享,图纸文档的在线审核和协同工作以及质量管理,进行专业间互提条件管理和会签管理,并与项目管理系统、文印出图系统进行衔接。

3) 设计成果输出

出图系统:根据数字化设计成果生成条件图、高阶设计附图、施工图;报表系统:根据数字化设计成果生成工程量表、材料量表、设备表、结构化数据表等。

4) 工程知识管理系统

形成工程设计相关基础数据的统一管理和更新维护,形成设计数据资产,实现知识留存、数据留存。内容包括 MIM 模型库、矿业装备数据库、历史项目数据库、设计标准库。

4 矿山工程数字化交付平台建设内容

4.1 数字化交付统一规定

数字化交付是对以纸质文件主导的传统交付模式的革新,在交付内容上表现为传统交付物的数字化、数字化载体和工具的交付。数字化交付的内容纷繁庞杂,除了建设单位、施工单位、设备供货商等在工厂建设/运营阶段的海量数据信息、设计单位的各专业设计资料(包括图纸和三维模型),还要建立它们与工程对象的关联关系,需要建立数字化交付统一规定,保障数字化交付工作的顺利实施。

1) 数字化交付实施方案规定

制定项目交付目标,参与方的组织机构、工作范围、职责;遵守的法规、标准;交付信息的组织方式、存储方式、交付方式;验收标准;质量管理方案以及交付流程。

2) 矿山工程对象分类及属性规定

根据功能或结构等特征对工程对象分类,同类别的工程对象具有相同的属性定义。属性包括工程对象类具有的典型特征,分组管理并设置交付级别。

3) 工程对象编码规定

工程对象编码规定中明确编码规则,工程编码具有唯一性,满足快速检索和定位的要求。

4) 文档命名及编码规定

文档编码同样具有唯一性,满足快速检索和定位的要求,同时为了满足数字化交付平台中的文档解析需求,一般会规定文档的格式、版本信息。

5) 属性数据交付内容规定

明确项目属性数据交付内容,统一工程属性数据的录入内容,保证各参建方所提交工程属性数据一致。

6) 三维模型交付内容规定

制定三维模型的交付范围和内容深度,三维模型信息应与其他交付的数据、文档中的信息一致。交付的三维模型应满足在交付平台上正确读取和显示的需求,并使用统一的坐标系和坐标原点。

7) 质量审核与验收规定

数据接收方依据移交清单、移交方案对移交信息进行验收,包括检查数据完整性,工厂对象与信息之间的关联关系是否准确,交付信息与实体是否一致等,并出具验收报告。

4.2 数字化交付平台

研发安全开放、灵活可扩展的数字化交付平台 MIM. CoPlat, 基于行业知识构建数据间的关联关系, 从源头上实现工程数据资产化管理, 形成工程数据仓库。依据行业数字化交付标准和项目数字化交付统一规定, 项目各参与方在统一的工作平台上以熟悉便捷的方式进行信息共享, 保证设计、建设、运营各应用系统数据资料完整性和准确性。

1) 工程对象管理

交付标准管理: 依据交付标准对工程类库、编码规则、工程分解结构进行配置, 内置符合行业标准的类库模板, 提供面向矿山、选矿厂、有色冶炼工厂等行业的标准化模板, 亦可根据项目需要进行灵活配置。

交付过程管理: 进行交付计划的制定, 交付任务的分配和流程管理, 交付进度管理和预警, 交付物分类统计。提供信息集成、交付模板、文件上传等多种交付方式。

数据智能关联: 以工程对象为核心, 基于工程对象编码, 建立三维模型、图纸、数据、文档之间的关联关系, 以信息集成、数据图表、知识图谱等多种方式呈现。

数据校验: 支持数据校验规则配置, 依据交付基础进行信息校验并生成校验报告, 对工厂对象必要信息、文档编号、属性数据的合规性、完整性、准确性和一致性进行分析校验。

分析报表: 基于搜索、查询、统计、分析等操作产生的结果, 支持表格、图形等多种报表方式和 excel、word、PDF、HTML 等多种格式输出。支持基于三维模型的可视化报表。

关联查询: 通过多种信息组织方式对工程对象进行关联查询的功能, 通过对象编号快速查找与其

关联的数据、文档和三维模型等信息。

2) MIM 模型管理

图纸模型在线浏览: 提供 Web 端模型浏览功能, 兼容 AutoCAD、Revit、Bentley、PDMS 等主流设计软件, 兼容 IFC、NWD、FBX、DAE、OBJ、3DS 等通用模型格式, 兼容倾斜摄影模型格式, 提供模型分级加载模式, 提供视点、旋转、缩放、剖切、漫游、测量、抽离、虚化、批注等浏览工具。具体如图 3 所示。

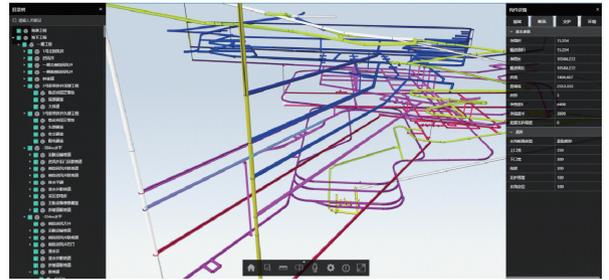


图3 WEB端浏览MIM模型示意图

属性信息查阅: 解析模型结构树和属性信息, 支持海量 MIM 数据(如构件信息、空间信息、视图信息)在云端结构化存储。支持模型编号查询和交互式信息查阅。

版本管理: 图纸模型版本更新自动化, 保障项目成员获取最新的项目资料, 保留历史版本方便追溯、查阅文档历史信息。

二三维联动: 支持二维图纸与三维模型对应构件的智能识别和联动操作。三维模型可关联相关文档数据, 实现工程数据的可视化存档和查阅。

模型集成: 支持将不同专业、不同设计软件生成的模型通过链接关系或位置关系进行集成, 支持自定义文件结构。

图纸对比: 支持 dwg、dxf 图纸的分图层查看和内容搜索, 完整保留所有图元信息。支持对不同版本的图纸进行新增、删除和修改内容的对比, 生成对比列表。

分享链接和二维码: 通过链接分享图纸、模型, 在浏览器端即可快速查看; 纸质图纸附加二维码可在手机端扫码看图看模型。

3) 文档管理

文档集中管理: 云端存储和管理整个项目生命周期中的文档、图纸、模型等所有数据, 灵活分类管理。

权限管理: 提供浏览、下载、创建、修改、删除、授权六种细粒度的权限控制, 可针对任一层级文件夹,

进行灵活授权,保护文档数据安全。

在线浏览:无需下载,在浏览器端原样展现文档内容,支持压缩包、图形图像、视频、PDF、OFFICE 文件、WPS 等多种主流文档格式。

文档加密:支持防复制预览、水印等多种安全查阅方式,可设置预览密码,提供将 OFFICE 格式文档转换为 PDF 格式的功能。

4) 工作协同

项目空间管理:平台支持多项目空间管理功能,不同项目定义不同的交付基础信息,可进行项目成员及角色分组管理,成员之间可共享文档、图纸、模型,满足项目成员之间基于文件沟通、统一工作环境和问题交流的需求。

文档协同编辑:无需插件在浏览器端支持 OFFICE 格式文档的多人在线协同编辑,云端即时保存编辑的内容。具备文字编辑、高兼容度排版等功能,支持多终端设备,支持批注和修订功能。

在线协同审核:支持对图纸、模型、PDF 文档、Office 文档添加批注,支持对批注进行多人评论,实现各方的可视化交流及问题跟踪解决。

消息通知与项目动态:提供手机短信、Web 端、移动端消息推送等多渠道的即时提醒,可查看项目动态更新,各类操作留痕,便于追溯。

工作流程管理:支持自定义工作流程,提供多种常用模板,支持自定义表单。提供信息上载、关联、校验、质量审核、批准发布等功能的标准审批流程。

5) 数字化交付应用开发

开放接口:平台具有开放的标准接口和成熟的对外服务引擎,兼容主流的工程设计软件 and 项目管理软件,支持与现有系统(如 OA、ERP 等)对接。将工程建设阶段数字化管理与运维期数字工厂建设无缝衔接。

可视化组件:提供数字矿山、数字工厂的多种可

视化组件,包括基于三维模型的工艺流程动态模拟、施工进度模拟,资源模型可视化、运输系统可视化、通风系统可视化、设备运转可视化、设备拆解等。

GIS 融合:平台内置 GIS 地图引擎,支持将三维模型与 GIS 环境融合,支持多种地图形式,提供填挖方分析、可视域分析等功能。

5 结论

矿山行业数字化设计与交付起步较晚,基础较为薄弱,需要通过理念变革、流程再造、技术创新和平台建设,推进矿山项目的全流程数字化,构建矿山全生命周期的数据资产,以数字化设计和交付成果为基础,建立数字孪生矿山。

本文介绍的以矿山信息模型为核心的数字化设计与交付解决方案,已在多个工程项目中得到应用,取得了良好效果,下一步应大力推广数字化交付模式,建立行业标准体系,加速矿山行业数字化转型。

[参考文献]

- [1] 于润沧,刘诚,朱瑞军,等. 矿山信息模型——矿业信息化的发展方向[J]. 中国矿山工程, 2018, 47(5): 1-3+13.
- [2] 孙文. 在 Web 环境下基于知识复用的工艺数据库研究[D]. 西安:西北工业大学,2007.
- [3] 戴林发宝,薛光桥,苑俊杰. 基于多源数据的铁路工程 BIM 协同设计平台研究[J]. 铁道标准设计, 2021, 65(8):96-100.
- [4] 张鹤,曹建宁,王永涛,等. 数字化工厂与数字化交付的技术探讨[J]. 中国建设信息化, 2020(16):76-78.
- [5] 孙丽丽. 创新构建集成化设计与数字化交付平台助推智慧城市建设[J]. 科技进步与对策, 2018, 35(24): 86-92.