

设计主导的 EPC 模式在非煤智能矿山建设的实施与展望

Implementation and Application of Design-led EPC Model in the Construction of Non-coal Intelligent Mines

翟建波, 赵 奕, 陈小伟(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

摘要:我国非煤矿山处于数字化转型的关键阶段, 矿山作为高强度资源投入和劳动密集型企业, 解决矿山人才流失、安全隐患、环境负效应等问题, 依托新技术与矿山深度融合, 建设智能矿山是矿山企业转型升级必经之路, 以设计为主导的 EPC 总承包模式作为当前工程总承包的发展趋势, 可以实现设计、施工、采购、安装和试运行各阶段更高效的衔接, 为矿山智能化建设提供核心支撑。

关键词:智能矿山; EPC; 设计为主导

中图分类号: TD672 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2024)05-0071-07

Abstract: China's non-coal mines are in the critical stage of digital transformation, as a high-intensity resource investment and labor-intensive enterprise, to solve the problems of mine brain drain, safety hazards, environmental negative effects, etc., relying on the deep integration of new technologies and mines, the construction of intelligent mines is the only way for mining enterprises to transform and upgrade, and the design-led EPC general contracting model as the current development trend of engineering general contracting can realize a more efficient connection between the stages of design, construction, procurement, installation and trial operation. Provide core support for the intelligent construction of mines.

Key words: intelligent mine; EPC; led by design

1 前言

智能矿山的建设是一个系统工程, 涉及矿山的各个系统, 综合性强, 范围广, 系统间联系紧密, 协作频繁, 应用 EPC 总承包模式可以整体协调各部门和各系统^[1], 有效保证项目顺利实施, 推动智能矿山的建设。我国的矿山建设原本就与设计单位密不可分, 而以设计为主导的工程总承包模式因其技术优势和资源优势也受到矿山发包人的青睐^[2], 也有向设计前端推移的研究为主导的总承包模式^[3], 都为矿山的建设和发展做出了贡献。

随着矿业的快速发展和信息技术的应用, 发展智能矿山成为矿山和矿企的必经之路, 通过在自动化控制、信息化管控、先进装备应用、智慧决策运营、组织架构重组、业务流程再造等方面进行的实践和探索, 结合不同的矿山情况, 为实现资源

的数字化、采矿的自动化、固定设施的无人化、生产管控的一体化等目标, 为打造智能矿山不断地开展相关的建设工作^[4-8]。但目前智能矿山的建设都是局部系统或单一系统的新建或升级改造, 且建设的周期长, 以矿山或矿企作为牵头的组织者往往缺乏系统性的顶层规划或设计, 在执行阶段很难做好整体协调管控, 造成了目前行业出现的信息孤岛、投资重复等诸多智能矿山建设的问题。因此, 研究智能矿山的实施与建设模式对于智能矿山的建设和发展至关重要。

2 设计主导的智能矿山 EPC 模式

智能矿山是一项专业性极强的建设工程, 涉及矿山技术、计算机技术、控制技术、通信与网络技术、人工智能技术、物联网等多学科交叉的行业, 对从事智能矿山的人员有着极高的要求。智能矿山的建设

[作者简介] 翟建波(1986—), 男, 高级工程师, 从事矿山数字化设计、国际咨询和智能矿山工作。

[基金项目] 金属矿超深规模化智能通风降温技术与装备(课题项目号“2023YFC2907205”)

[引用格式] 翟建波, 赵奕, 陈小伟. 设计主导的 EPC 模式在非煤智能矿山建设的实施与展望[J]. 中国矿山工程, 2024, 53(5): 71-77.

主要采用建设单位委托设计单位完成可行性研究,然后根据可研进行招标采购,确定供应商后由供应商细化方案并进行供货,业主招标施工单位进行设备安装和施工的模式,但随着智能矿山工程的建设,建设单位发现该模式对其自身的智能设计和技术能力要求很高,其往往在实施中不能把控过程,造成需求不断变化,投资增加和进度滞后。而设计单位拥有专业的技术人员、较强的创新和项目管理能力,作为技术密集型的代表,以设计为主导的智能矿山 EPC 模式越来越获得市场的青睐和认可,其强化了设计的牵引作用,极好地从顶层规划和设计、实施,有助于智能矿山的良性发展。

以设计为主导的智能矿山 EPC 总承包模式是

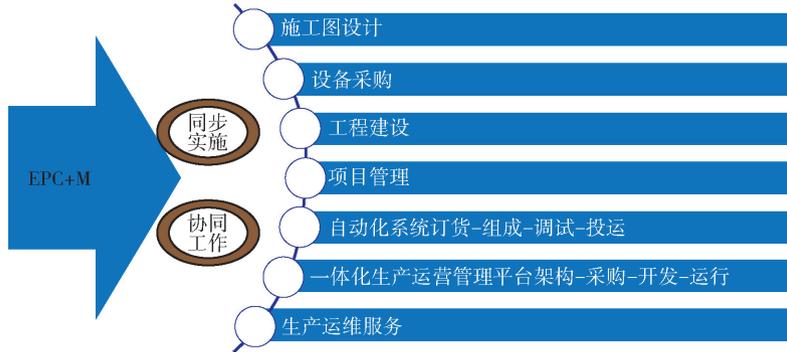


图1 设计主导的 EPC 总承包模式

2.1 设计主导的智能矿山 EPC 模式协同优势

智能矿山建设的子系统多、复杂程度高、需求不确定性高,需要有科学的顶层规划与可靠的设计作为支撑,而从建设源头进行有效控制至关重要。设计主导的智能矿山 EPC 模式可以利用设计优势,从可研规划到施工图设计提出科学的设计方案,更好地控制投资,对各系统细化、优化,确保设计方案的合理性和可行性,同时充分考虑采购和施工等因素,提出经济合理的实施方案,提前准备施工难点和重点,有效节省 EPC 项目总成本和优化施工进度,保障工程建设阶段的安全、质量、进度和成本控制,降低工程风险。其核心优势主要体现在以下方面。

(1)集成优势:总包单位可以与不同子系统的专业分包单位签订专业分包合同,在设计时可以获得专业分包单位的技术支持,不需要其具有设计资质和设计经验,而是提供该子系统的技术和设备适应性,将其融入到设计中,形成该子系统的智能化设计,并融入智能矿山总体设计中,实现综合集成。

将设计、采购、施工、安装、调试、试运行集成在一起,总包给设计单位,由设计方案作为工程项目的起点,在工程价值的上层,拥有技术的主动权,对智能矿山整体建设起着决定性作用,设计单位可以有效控制投资,更好地匹配建设需求,加快采购,缩短施工工期,同时可协同优化设计方案,减少工程建设成本。以设计为主导的智能矿山 EPC 总承包模式比传统工程 EPC 总承包模式,在“同步实施”和“协同工作”方面有着显著的优势,具体如图1所示。尤其是对于“自动化系统订货-组态-调试”以及“一体化生产运营管理平台架构-采购-开发,生产运维”,更能发挥关键作用,尤其是其技术密集型的 management 特点。

(2)采购优势:智能矿山建设的设备种类繁多,数量巨大,设备选型和供应商招标工作繁重,设计为主导的智能矿山 EPC 模式可以在方案设计中完成设备选型,提前编制 MR 文件,进入招标流程,加快采购进度,缩短设备到场周期,实现设备到货与安装施工的完美衔接,避免大量设备堆积到现场的管理等问题,保障项目顺利实施。

(3)人才优势:智能矿山建设实施需要复合型专业人才,从设计、采购、施工、安装和调试,对人员提出了高要求,既需要懂技术,尤其是智能化相关的技术,又需要懂技术的管理人员,才能更好地统筹好总包下的相关单位和人员,推动项目的顺利进行。

(4)技术优势:智能矿山建设的安全管理和质量管理非常重要,分包单位的参与人员往往对非煤矿山的井下环境和安全风险认识不足,需要建立完善的安全管理体系,确保在工程实施的安全;保障设备质量、施工安装质量、系统运行质量对于智能矿山建设尤为重要,设计主导的智能矿山 EPC 模式管理人员对设计理解强,行业技术掌握充分,对矿山井下

环境了解,可以根据现场、规范和设计及时对现场指导和管理。

(5)实施优势:生产矿山的智能化建设,在实施过程中存在许多未知因素,例如:原有控制系统数据的采集、新建网络与原有网络的互通互联、原有服务器的迁移和数据中心的融合等。且矿山智能化建设往往并不能完全按照设计实施,不可控因素在智能矿山建设前也无法明确,导致在实际建设中,无法有效契合建设需求。设计为主导的智能矿山EPC模式在遇到该类问题时则可以快速与设计衔接,调动设计资源到现场勘察,快速做出设计变更,有效解决工期延误或成本增加问题。

(6)协同优势:试运行调试繁杂,涉及子系统多,如铲运机的自动化远程控制需要井上井下的协同联动,保障控制网从井下到地表控制中心的网络畅通、协调铲运机井下调试作业时间、保障设备自身的运维健康,任何一个环节的问题都将影响试运行的成败;如果是所有子系统联动试运行的要求会更加复杂,设计主导的智能矿山EPC模式,可以在试运行期间快速协调和沟通,确保各专业人员到场,统筹规划,缩短调试和试运行实践,为项目整体运行奠定基础。

2.2 设计主导的智能矿山EPC模式项目管理

设计主导的智能矿山EPC模式需设置项目部,

由项目经理、技术总监、设计经理、施工经理、采购经理、费控经理、调试经理、控制经理、试运行经理、质量安全经理、项目秘书和文控、合同经理、进度工程师等主要管理人员组成,与建设单位、各分包单位、总包公司内部各职能部门、供应商等密切沟通和通力协作,设计经理需要对全过程进行技术性监督和管理,充分发挥设计主导的模式优点,项目部各岗位确保项目整体按期高效高质量完成。

随着EPC总承包模式的推广和设计单位的工程化转型,设计单位凭着技术密集的优势,设计与施工的融合更好,项目建设中的高水平技术管理人才可以更好实现管理创新、方案创新、工艺创新,培养出一批懂设计、懂智能化技术、懂传统矿山技术、懂采购、懂施工、懂调试综合型的高端技术管理人才,适应非煤矿山智能化发展的需求。

设计主导的智能矿山EPC模式下,设计单位从地质勘探钻孔数据库构建,岩石力学模型,资源MIM^[9]模型构建,可研、初设、施工图设计的工程MIM模型构建,建设期的融合系统(固定设备无人值守、回采自动化、管理信息化等)构建,运营期的MIM模型构建,以及闭坑期的生态MIM模型构建,可以确保智能矿山全生命周期的静态模型和动态模型的一致性,并实现全闭环的模型管理和信息数据的资产化管理,为矿山价值赋能,具体如图2所示。

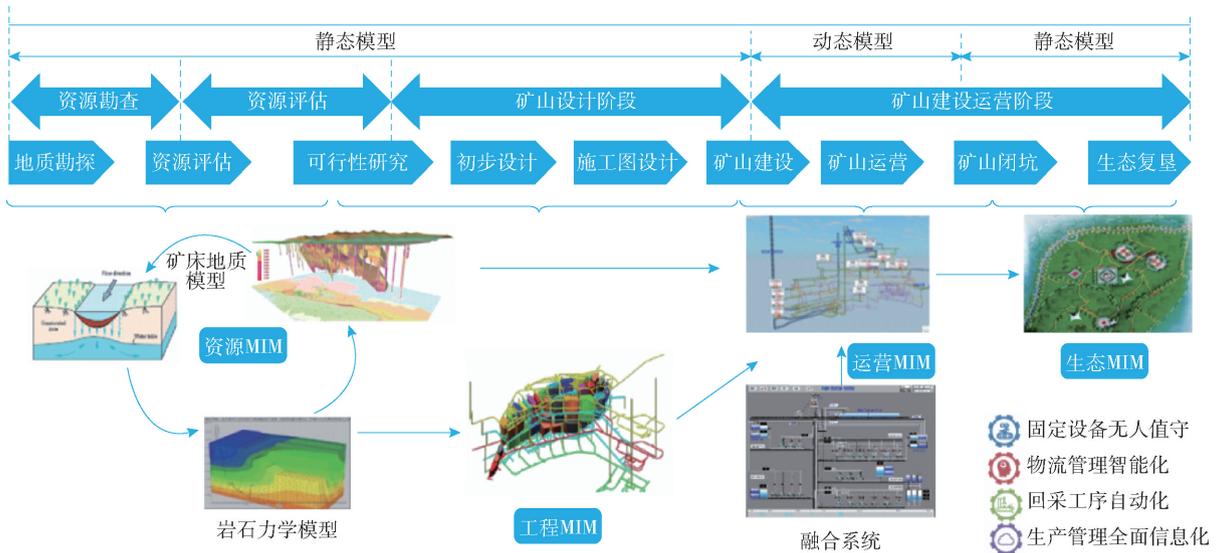


图2 设计主导的智能矿山EPC模式的矿山全生命周期管理

设计主导的智能矿山EPC模式,在项目合同签订前有着对矿山系统快速熟知的技术人员和管理人员,并对矿山传统系统遇到的智能化问题和难点有

着充分的认识 and 了解,可以提供一个更优更与矿山贴合的解决方案;在项目合同签订后,可以迅速建立起一支多专业多学科的技术团队,包含采矿相关专

业、自动化相关专业、信息化相关专业,计算机学科、采矿学科、经济学科、管理学科等,前往项目现场深入开展初步设计和需求规格说明书的工作,做好顶层规划和设计,并开始同步开展管控中心建设、控制系统施工图设计、信息化系统详细设计等,合理安排各子系统建设,优先搭建管控中心、数据中心和网络,为智能矿山控制系统和信息化系统建设提供基础,分阶段调试和子系统试运行,充分发挥同步实施协同工作的特点,确保所有子系统在最终节点前完成,并重点突出与矿山生产运输密切相关的子项,协调维修等非生产时间实施,确保项目对矿山已有生产的影响最小化。

3 设计主导的智能矿山 EPC 模式实践应用

3.1 项目综述

某在产铁矿为露天转地下矿山,规模 600 万 t/a,井下作业人员多、采掘设备自动化程度低、操作和值守性 3D 岗位多,同时存在人员、设备等数据无法全面感知、工作环境差、安全风险系数高、生产效率低等问题,且缺乏智能矿山建设整体规划,直接制约该铁矿生产和发展。为此,其实施了设计主导的井下安全高效智能矿山建设项目。该项目采用 EPC 总承包模式,工期 396 天,完成了以下智能化工程建设内容:智慧管控中心、多源融合网络、智能控制系统、采矿运营一体化平台、决策支持系统 5 大部分共 28 个子系统的设备(材料)采购、集成、施工、安装、编程组态、系统调试、软件定制开发、平台部署、用户使用培训和售后服务等工作。

该项目依托“一中心、一网络、一系统、一平台+N 智能应用”的智能矿山建设总体架构。以 5G、融合 IP 工业网、Wi-Fi 6 实现矿山多源网络融合,实现矿山设备的互联互通,采用 Wi-Fi 6 的 Mesh 技术实现井下网络全覆盖,解决了矿山爆破面无线信号覆盖问题,实现了进路爆破面远程巡检;在井下构建一张智简千兆无线物联生产网;融合 IP 工业网实现井下井上万兆环网提供统一接入和大带宽。以工业互联网思路设计规划数据平台,打造 IT 基础设施,服务器资源统一部署、统筹规划、按需分配。凭借资源数字化管理系统、生产运营管理系统、能源管理系统、人员定位系统、斜坡道调度系统、安全管理系统、矿区安防管理系统、统一门户,全信息可视化系统、矿山决策支持系统,实现 IT\OT 统一数据接入,统

一数据标准和格式,打破烟囱系统的数据孤岛。提供统一的接口服务,支撑全信息可视化、矿山决策支持、生产运营管理等智能化应用,实现跨系统间协同。部署云平台及数据中心提供大数据综合治理、分析及二次应用能力,将丰富的生产、安全、管理经验与全球领先的 ICT 技术相融合构建智能矿山大数据应用。

3.2 项目实施

在项目实施伊始时,设计单位便对该铁矿项目整体现状及生产运营情况进行了充分详实的现场勘察、需求调研并进行了现场设计,借助全生命周期持续提供工程服务的优势,对智能矿山建设内容进行归类和工作分解,将项目划分为 5 大类,28 个子系统,并针对不同的系统建设内容和特点,通过自身专业能力和整合资源,实现顶层规划和设计,确保所有子系统在同一总体框架下执行,确保数据互相融合贯通,平台的统一部署,网络的融合共享共用,管控中心的合理布局,实现资源、组织、管理、经济、技术等全方位的一体化管控。

合同签订后一周,便完成了项目经理部的组建;完成企业内部立项、OBS 团队组建、人员聘任、WBS 子项策划、项目预算、采购分包策划、施工分包策划、MIM 文档管理等系列项目管理流程;派驻现场团队进驻现场开展工作。依托企业矿山生产业务部门为主,联合数智、信息化、市场、安全、质量、财务、采购、项目管理等职能部门,建立 EPC 项目组织机构及人员,采用矩阵式管理模式,将职能部门、项目经理部和 WBS 子项进行矩阵管理,将业主、总包、分包等统一纳入 OBS 管理。根据 WBS 的工作分解,28 个子项分别由 OBS 的子项负责人进行负责,并建立业主、总包与分包的负责人联系机制,确保各子项工作开展过程的全员参与和信息高效互通。

建立 EPC 工作计划,包含项目关键里程碑、项目甘特图、项目网路图、项目管理文件等,具体如图 3 所示。

在项目实施过程中,总承包单位全面管理所有子系统的专业实施单位,在子系统方案最优的基础上,协调和融合智能矿山一体化解决方案的最优,反馈到各子系统进行优化,采用 PDCA 的管理理念,做到解决方案最优化,客户满意度最大化,体现了问题多方案解决,局部或整体多方案的互补的优势。

3.3 项目成效

在项目实施完成后取得了良好的一体性、统一

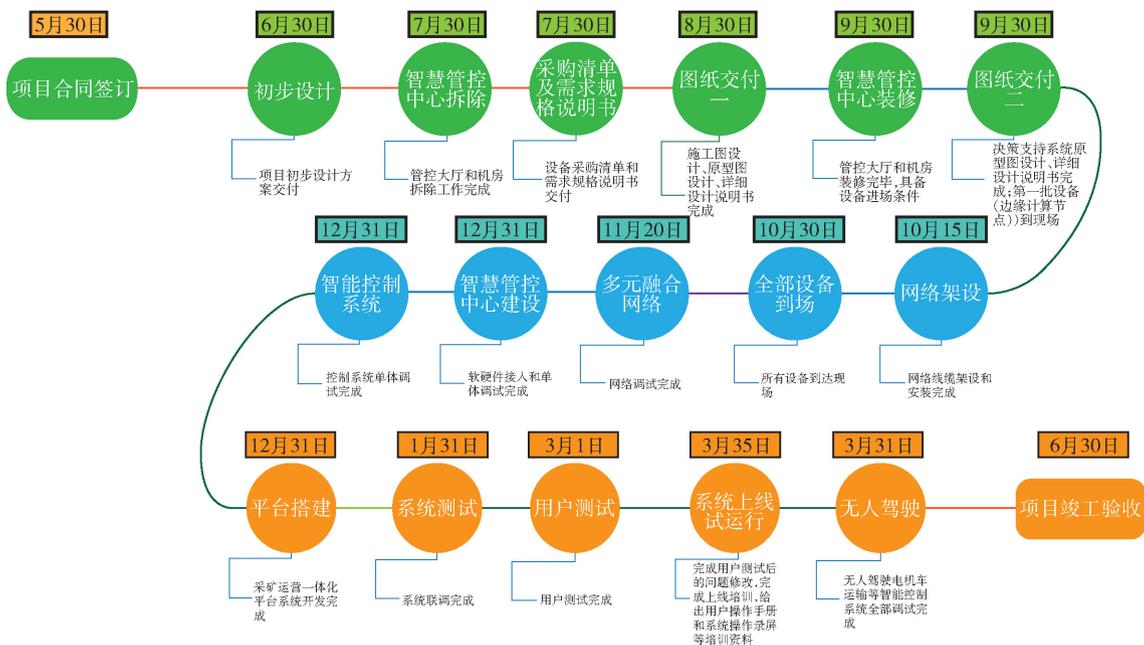


图3 项目关键里程碑

性、联动性的效果,充分体现了设计顶层规划和设计的牵引领头作用。

1) 方案完整-设计重构

项目设计方案打破了传统设计按专业进行阐述建设内容的方式,而是根据智能矿山建设各子系统进行阐述,保障了系统方案的完整性,更利于系统的解读与实施。各子系统统一阐述原则:①建设需求,如“工艺建设方案、自动化控制需求、信息化管理需求、网络建设需求、安全管理需求”等内容进行阐述;②针对建设需求,设计的相应的技术方案、建设内容、预期效果,包括:工艺方案、网络方案、自动化控制方案、信息化管理方案、安全管理方案等;③建设方案与之配套的设备和材料清单。

2) 场景明确-设计务实

落实用户需求,设计方案不偏重于技术架构、技术噱头,务实为主,真正地项目实际生产工艺、生产管理、安全管理、绩效管理等应用场景结合起来。(1)明确生产运营管理各个功能模块相应的范围、内容、深度、功能要求,以及业务流程、应用场景。(2)管理工具:明确使用什么平台、软件。(3)分析工具:明确如何使用,功能需求。

3) 采购施工-设计协同

设计、采购、施工协同工作。MR文件明确设备供货范围、设备技术参数要求,满足招标要求;施工图设计,根据设备订货条件,满足现场设备,施工安装要求;现场施工提前交底,与设计同步进行,合理

调配施工进度,有效避免现场窝工。

在设计方的统筹组织管理下,管控中心合理地布置了28个子系统的汇聚融合与应用呈现,彼此间不会干扰或重复,所有的参与方根据总体设计和布置完成各自的分工,并在设计方的协调下完成衔接和融合,既体现了各参与单位专有的特长和技术,又相得益彰,互不影响。

4) 查漏补缺-设计纠偏

由于作为改造项目的复杂性和紧迫性,又缺少原有设计图纸等因素,有些设备到现场后,难以避免地出现一些安装问题、衔接问题等等;同时由于用户资料的缺失,也造成了很多问题设计考虑不足,需要现场确定设计方案是否符合实际情况,而非业主人员口头所述内容来设计,确保方案可以在现场真正落地实施,从而能实现设计目标。这些都可以通过设计主导,及时发现问题,及时纠偏,减少项目损失。

4 设计主导的智能矿山EPC模式的改进与发展

4.1 设计团队的培养和发展

理论与实践的结合:设计团队需保持空杯心态,学习智能矿山最新理论、技术和设备等知识,提高智能矿山项目的设计水平,适应时代和矿山行业发展的数字化和智能化需求;需深入工程建设或矿山生产一线,在项目实施和生产运营过程中作为设计代表进行施工服务和跟班学习,没有工程建设和生产

运营经验,易纸上谈兵,不利于智能矿山项目的设计与实施。

管理与沟通的加强:加强设计管理,包括进度、质量、协调、考核、绩效等,设计团队与项目深度绑定,奖罚机制反馈及时,要拥有责任心,团结一心,高效协同;需区分总包设计与单纯设计项目,培养总包设计思维意识,与采购和施工衔接好,提高施工图设计和MR文件的准确性,缩短建设工期,控制建设投资,以项目整体价值最高为设计目标;培养设计人员沟通和交流能力,智能矿山项目需要做深入的现场调研和需求分析,设计团队不具备良好的沟通和交流能力,设计成果无发真正落实业主需求,增加项目的风险;加强设计管理的沟通和协调培训工作,沟通和协调是保障设计进度和质量的关键,建立沟通和协调标准化和激励措施,提高设计团队服务态度和服务意识。

总结和创新的迭代:需注重设计过程的总结,不仅仅是技术上常见问题,管理上的问题也是关键,管理不顺畅是团队无法高效执行和标准化执行项目的根本,总结管理上的问题并提出解决措施和方案才是关键;需要改变设计人员传统的设计思维和工作方式,要追求性价比,提高效率,以EPC项目目标为导向,节省成本,创建智能矿山EPC项目执行模式和思维。培养一批专业的智能矿山工程技术性管理人才。

标准和目标的制定:加强设计统一管理,建立设计基本准则文件,选用统一的控制单元,确保整个项目的整体性和标准性;加强专业科室层级的设计评审工作,提高设计质量,从设计源头控制,充分利用设计单位专家型智库的积累,逐步建立标准化知识库,共享和创新。加强设计管理计划和目标感,采用PDCA管理方法,针对每个智能矿山项目明细设计团队各岗位职责和目标,及时计划,及时执行,及时纠偏,及时行动。

产权和费用的使命:加强设计过程积累和储备,在设计过程中积累论文和专利等知识产权成果,总结设计管理经验,在项目结束时,争取奖项,提高团队荣誉感和成就感。加强设计收费目标感,及时跟进设计收费,确保设计范围可控,提高团队设计效率,避免设计无用功。

4.2 项目团队的培养和发展

采购和施工:加强采购人员智能矿山设备材料的专业培训,合理划分采购包,找寻可靠的设备供应

商,控制采购成本;让施工安装调试人员积累项目实施经验,找到可靠的机电安装供应商,控制项目进度;培养一批专业的智能矿山采购、施工、安装调试人员。

文控和归档:加强文档管理,尤其是书面文件(邮件、纸质等)。建立设备等物料清单,贯彻EPC全过程;建立设计文本和图纸的规范化管理,制定具体操作层的程序性文件,适应智能矿山EPC项目;加强会签和协同工作,建立高效的平台式协调体制机制,记录协同过程,同步更新各专业设计成果;加强现场调研和需求分析,做深做细,将传统的矿山设计和生产管理经验融入到信息化系统,实现自动化与信息化的衔接和协同,满足智能矿山整体建设的集成要求,增强核心竞争力,培养一批专业的智能矿山文控、信息化人员。

费用和合同:加强费用和合同意识,节省费用和在合同范围内履约是EPC项目执行的关键,项目团队应牢记和围绕此开展设计和管理工作,培养一批专业的智能矿山费用、合同人员。

管理和培训:加强项目管理,包括进度、质量、安全、协调、考核、绩效等,所有参与人员与项目深度绑定,奖罚机制反馈快速,高效协同。加强智能矿山EPC项目管理的培训,创建程序性和标准性实施控制管理过程文件,建立EPC沟通协调平台,拥有高效可操作性强的EPC项目管理流程和体系文件,培养一批专业的智能矿山EPC项目管理人员。

4.3 管理体系的建设和发展

智能矿山建设需形成高阶段和施工图设计的相关标准和流程以及项目管理体系,针对每个智能矿山建设子系统,形成独有的核心技术和实施案例,否则无法形成核心竞争力,助力行业发展;智能矿山应更多地掌握核心技术并开展相关EPC和M等建设模式的探索,而非只单独做EPC等传统建设模式,目前国家没有智能矿山建设的资质约束,市场完全充分竞争,应摒弃传统设计思维开展智能矿山项目,寻找新的发展路径和建设模式。

新团队的构建:应建立智能矿山各建设子系统的专业技术团队,而非传统设计团队,因为智能矿山建设团队是贯穿设计、采购和施工,需要积累专业技术的专家和团队,按照新的智能化设计思路开展智能矿山设计。

建设模式的创新:加强智能矿山EPC和M合同管理模式的项目推进,作为设计院转型的工程公司,

是智库和协同的行业引领企业,在总包管理、总体协调和矿业领域的权威和优势非常大,应充分利用该优势,积累智能矿山核心技术。

定制化的服务:加强智能矿山项目定制化和个性化的设计,注意不同地区不同矿山的业务和管理需求不同,敢于担当和创新,在标准化的基础上因地制宜,提高设计院转型的工程公司品牌竞争力。

项目管理新体系:在未来将会从项目开始时就

提出一体化协同设计和数字化交付^[10],实现工艺设计仿真,在数字孪生的目标下实施建设智能矿山,基建期借助数字化交付模型实现数字化项目管理和数字化项目交付,在运营期在孪生矿山下管理物理矿山,实现真正的智能化管理,并不断提供云端解决方案,吸纳全行业经验和专家技能,为智能矿山进行定制化诊断与服务,完全实现管家式全生命周期智能化一键服务的智能矿山开发模式,具体如图4所示。

D.三维协同工程设计		E.数字工程		O.智慧运维		S.云服务
工程一体化协同设计数字化交付		数字化项目管理与实施		数字孪生生产运维与优化		有色行业生态圈 云端解决方案
模拟仿真MIM-S	MIM协同设计	项目管理	数字融合控制系统	数字孪生	生产运营与优化	云服务
全生命周期仿真	三维设计	采购管理	智能采集单元	工艺流程孪生	计划与调度	远程诊断与服务
工艺设计仿真	工艺过程	合同风险管理	智融单元	物流孪生	智能营销	MIM数据库 MIM Database
动态模拟仿真	工程设计	项目成本管理	融合一体化基站	业务流程孪生	资产管理	恩菲数据智能 分析平台
一体化生产运营管理设计		项目移交		三维管控	资产维护策略 优化	恩菲人工智能技术 应用平台
项目预算					资产绩效管理	恩菲工业PAA
数字化交付				一体化生产运营管理平台		恩菲可视化智慧 决策系统

图4 设计主导的智能矿山EPC模式发展前景

4 结语

本文基于某铁矿智能矿山的EPC总承包模式实践经验,浅析了以设计为主导的智能矿山EPC模式的特点、优劣势和发展前景,为非煤矿山智能化的建设提出了一种建设模式和思路,有助于推动行业智能化的发展和建设速度。

随着非煤矿山智能化建设的改革大潮,传统的矿山承包资质和单位将会逐渐被淡化,智能化的专业承包企业将脱颖而出,而找寻适应智能矿山的建设工程模式将会迫在眉睫,如何迎接新模式带来的挑战,是所有非煤矿山从业者需要认真思考和探讨。

[参考文献]

[1] 曹岗. 智能矿山工程EPC总承包模式探究[J]. 中国科技纵横, 2022(17): 107 - 109.
 [2] 曾秋英. 对矿山建设项目中以设计为主导的工程总承包模式的探讨[J]. 四川水泥, 2020(12): 299 - 300.
 [3] 郑忠友, 高涵. 煤炭高质量发展背景下新型总承包模式REPC探索与实践[J]. 煤炭工程, 2020, 52(12):

179 - 183.

[4] 赵威, 李威, 黄树巍, 等. 三山岛金矿智能绿色矿山建设实践[J]. 黄金科学技术, 2018, 26(2): 219 - 227.
 [5] 梁新民, 刘明权, 张爱民, 等. 无废、无尾生态智能矿山建设模式探讨[J]. 中国矿山工程, 2022, 51(2): 66 - 71.
 [6] 闫满志. 河钢矿业智能矿山建设和发展模式[J]. 河北冶金, 2020(1): 1 - 4, 44.
 [7] 吴求忠, 程小兵, 韦征宇, 等. 枞阳海螺水泥矿山智能化体系建设实践[J]. 现代矿业, 2022(6): 91 - 95, 122.
 [8] 顾清华, 李学现, 卢才武, 等. “双碳”背景下露天矿智能化建设新模式的技术路径[J]. 金属矿山, 2023(5): 1 - 13.
 [9] 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.
 [10] 翟建波, 孙学森, 王凯, 等. MIM在地下矿山项目评价的应用[J]. 中国矿山工程, 2022, 51(3): 20 - 25, 89.