

智能矿山多维度一体化建设架构与实施路径研究

赵奕¹, 张维国¹, 何煦春^{1,2}, 张海胜¹

(1. 中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038; 2. 中国矿业信息化协同创新中心, 北京 100038)

[摘要] 数字化转型和数字经济的发展成为产业变革的主基调, 国内外众多矿山企业相继实施了数字矿山或者智能矿山的建设, 因每个矿山的工艺特点和基础条件存在不同, 导致建设成效差异较大。围绕智能矿山建设的内涵和目标, 本文提出了矿山智能化建设的多维度准则和总体架构, 其本质是工艺最优化、生产自动化和管理信息化的数字化融合, 同时, 研究了管控一体化生产模式和智能矿山建设路径, 最后引入生产运营管理设计体系的概念和方法, 为行业智能化建设提供全面的保障方法和手段。

[关键词] 智能矿山; 矿石流; 业务流; 数字融合; 管控一体化

[中图分类号] TD67

[文献标志码] A

[文章编号] 1003-8884(2022)06-0001-12

DOI: 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2022.06.001

0 引言

全球矿业正在经历新的信息化、智能化革命, 数字化转型和数字经济的发展成为产业变革的主基调^[1-3]。加快矿业领域的数字化转型, 推动新一代信息通信技术在传统产业中的应用, 依托信息化、数字化和智能化推动矿山行业高质量可持续发展, 已成为国内外矿业行业 and 市场的迫切需求^[4-6]。

当前, 众多矿山企业相继实施了数字矿山或者智能矿山的建设。鞍钢齐大山铁矿建立采选自动化与设备管理等数字矿山系统^[7]; 金川二矿区充分利用5G及物联网技术建设智能采矿远程操控^[8]; 中钢矿业从地质、测量、采矿信息的数字化与可视化、生产运行智能化控制、安全生产智能化监测与预警和经营管理信息化四个方面进行矿山智能化建设^[9]; 柿竹园多金属矿围绕设备监控、生产执行、智

能管控、运营决策四个层级, 提出基础通信网络、工业大数据中心、智能管控平台、智能采选系统等建设的具体内容^[10]; 三山岛金矿采用“过程控制+安全生产+经营决策+绿色矿山理念”的逻辑架构, 提出了智能绿色矿山建设体系^[11]。因此, 智能矿山建设在矿山生产管理中取得了大量的实践和应用模式, 但矿山企业因地域条件、资源禀赋情况、生产规模和服务年限差异, 特别是开发模式的不同, 导致智能化建设带来的成效差异非常大。

矿山机械化、自动化和信息化的建设水平、管理水平决定了智能化建设的模式和所能达到的高度。本文将围绕智能矿山建设的内涵和目标, 通过研究多维度的智能化准则建立管控一体化生产模式, 围绕工艺最优化、生产自动化和管理信息化的数字化融合, 提出智能矿山建设路径, 推动矿山数字化转型和智能化升级, 建设高质量的智能矿山。

1 智能矿山建设的内涵和目标

1.1 智能矿山建设的内涵

矿山行业在数字化转型和智能化升级过程中, 各位学者通过研究和实践提出了“数字矿山”“智能矿山”“智慧矿山”等众多概念^[12-17], 从不同角度解读行业升级转型的路径。早期数字矿山通常以矿产资源开发过程中的数字化为基础^[18]; 而智能矿山以两化融合和智能制造为指引, 实现矿山信息集成、主动感知和智能化分析^[19]; 智慧矿山则提出以物联

[收稿日期] 2022-09-16

[作者简介] 赵奕(1974—), 男, 河南镇平人, 高级工程师, 大学本科, 主要从事矿山、冶炼行业自动化、信息化、智能化方案咨询、设计及工程项目实施工作, 现任中国恩菲工程技术有限公司矿山事业部副总工程师。

[基金项目] 国家重点研发计划: 基于大数据的金属矿开采装备智能管控技术研发与示范(2019YFC0605301)

[引用格式] 赵奕, 张维国, 何煦春, 等. 智能矿山多维度一体化建设架构与实施路径研究[J]. 有色设备, 2022, 36(6): 1-12.

网、大数据挖掘与知识发现、虚拟现实、柔性生产、扁平化管理等新思路来建设未来矿山^[20]。国际上通常认为智能化是以机器人作业和运输系统为基础的露天/地下采矿生产过程管理的数字技术综合体,通过物联网、人工智能和预测分析为行业提供全面的解决方案。

于润沧院士则从工程角度,提出建设智能矿山需要涵盖以下几个方面:所有固定设备实现无人值守、远程监控,回采过程实现远程控制,有轨、无轨运输、竖井提升、胶带运输等“物流系统”均实现自动运行,全矿系统实现信息化管控,最终实现“采矿办公室化”^[21]。

综上,智能矿山建设内涵是通过工艺最优化、装备智能化、操作机械化、控制无人化、采集数字化实现“自动化生产”,通过管理扁平化、业务标准化、工具数字化、数据可视化、决策智慧化实现“信息化管理”,通过“工艺最优化”“生产自动化”与“管理信息化”的数字化深度融合,实现矿山资源数字化管理、采矿生产自动化控制、固定设施无人化值守、选矿系统最优化运行、安全管理信息化监控、生产管控统一化调度、运营决策智慧化协同的智能矿山一体化生产运营,最终建成安全、绿色、高效、低碳、环保的智能化矿山,智能矿山建设内涵如图 1 所示。

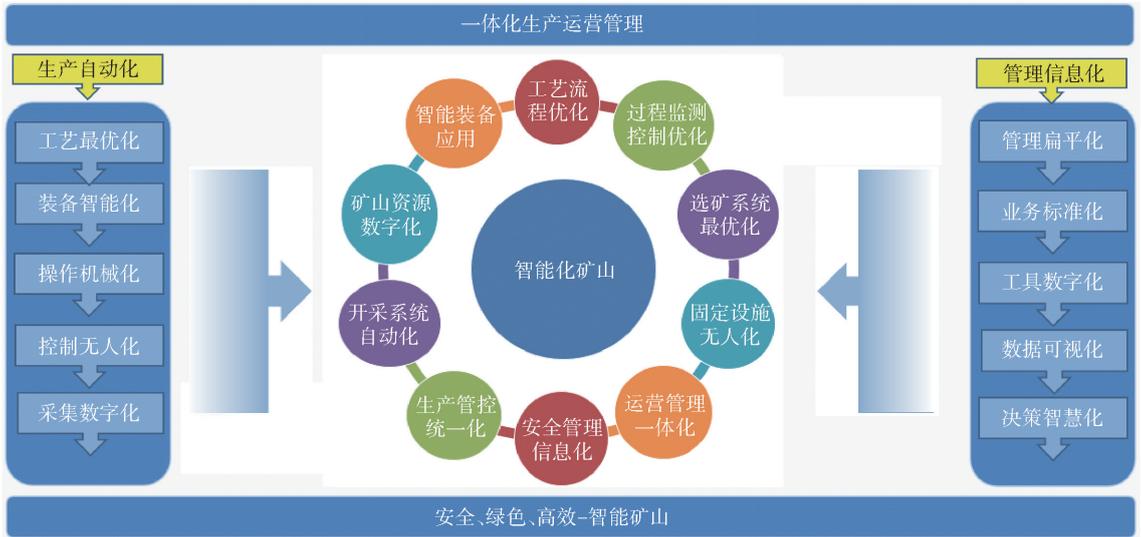


图 1 智能矿山建设内涵

1.2 智能矿山建设的目标

智能矿山以现代信息、控制技术和智能装备为基础,其建设根本目标是实现矿山资源数字化管理、采矿生产自动化控制、固定设施无人化值守、选矿系统最优化运行、安全管理信息化管控、生产管控统一化调度、运营决策智慧化协同,使矿山安全、绿色、高效运营,最终构建智能化无人矿山。智能矿山建设的主要内容和目标如图 2 所示。

(1) 矿山资源数字化管理

矿山资源数字化管理是以数字化技术和网络为基础,利用地质统计学、三维可视化建模技术、数据库及空间信息采集技术,以优化开采为目标,采用量化、自动化和可视化的方式对客观地质体进行解译,实现从探矿工程、矿床模型、开采环境、采矿设计、生产计划、生产设备、生产工艺流程及路线等矿山实体对象的全部数字化,在传统矿山基础上构建

一个数字空间,为矿山的地质资源评价、开采规划、采矿设计、生产管理等工作提供数据支撑,有效提升传统矿山生产的运行效率,扩展传统矿山的业务功能,实现矿产资源的数字化管理,从而达到提高矿山设计、管理水平和效率的目的。

(2) 采矿生产自动化控制

针对矿山主生产作业,通过提升采矿装备的机械化、自动化、智能化水平,改进生产工艺和开采方案,实现采矿生产过程的凿岩(穿孔)自动化、装药爆破自动化、开拓运输自动化、生产调度智能化,实现采矿生产的自动化运行与控制。

(3) 固定设施无人化值守

针对矿山生产辅助系统,在实现远程监控的基础上进一步实现智能化管控。在现场无人化、少人化操作的前提下,通过智能控制保证系统运转的连续、高效与低成本,实现这些系统的全面无人值守。



图2 智能矿山建设的主要内容和目标

主要建设内容包括：智能按需通风、无人值守排水、智能压风、智能供配电、智能一键充填等。

(4) 选矿系统最优化运行

磨矿、浮选、精矿脱水、尾矿浓缩输送等选矿生产全流程均采用当前最先进的仪器仪表、工艺过程自动化和供配电系统自动化技术，在生产稳定运行的基础上，通过对碎矿、磨矿、浮选及脱水过程采用先进的专家控制策略，实现工艺关键参数的稳定控制，将人工不确定因素控制在最小范围，稳定产品质量和产量。逐步实现生产过程的优化，达到减少原料消耗、提高资源回收率、降低能耗、减少污染的目的。

(5) 安全管理信息化管控

安全管理的本质是为生产安全服务，通过数字化的工具、信息化的流程、可视化的数据、透明化的管理实现矿山生产安全的实时监控与风险预警，并能在安全事故发生后，为迅速展开应急处理及救援工作提供决策依据。

安全管理信息化以“数字化工具”为载体，实时感知矿山安全生产态势并发布风险评估信息，作为“安全感知”的工具，它将成为“安全总监”及“安全员”的“眼睛和手”，对矿山生产安全进行“透明化”的实时管控及安全预警。

(6) 生产管控统一化调度

根据“管控一体化”的思想，突破传统矿山生产

管控模式，衔接现场控制和决策管理，整合矿山业务层面的各项功能，形成生产管控大系统。首先，利用先进的自动化产品、工业监控软件和数据库软件，将矿山“采、选、运、风、水、电、安全”等生产环节进行自动化控制和信息化管理，建立矿山实时数据中心，在数字化平台上实现生产、监控和管理的统一管控，实现协同管理和联动控制。其次，通过生产管控可视化、信息处理智能化、协同运营一体化等，将采场、设备、人员、能源、安全、环境等各系统集成在同一个平台进行协同管控，实现监视、控制、调度、管理、运维、经营等业务的整合，提高矿山运营管控的效率和效能。

(7) 运营决策智慧化协同

信息化建设的最终目标是为生产管理服务的，通过对涵盖整个企业的生产实时数据的处理、分析和展现，可基于大数据分析的生产智能控制、生产现场优化等能力提高生产运行的效率，同时面向全生产流程，实现地质资源数据、生产数据、工程测量模型、采矿设计模型、生产计划的集中展示和联动分析，统筹优化各类生产资源分配，动态调节设备作业计划和调度决策，建立集中化、扁平化与协同化的生产运营模式，改善企业的业务绩效及盈利表现。

2 智能矿山多维度一体化建设准则

2.1 智能矿山多维度建设准则

在矿山智能化升级改造过程中，生产工艺的多

要素复杂性要求全面优化生产要素,通过智能化控制系统和信息化管理工具实现矿山的高效、稳定运行。结合行业数字化转型和智能化升级的实际需

求,图3提出了智能矿山建设多维度准则模型,智能矿山建设应从“工艺流、矿石流、信息流、业务流、数据流”等多个维度进行建设。



图3 智能矿山建设多维度准则模型

(1)“工艺流”最优化设计

从生产工艺的维度出发,智能矿山建设应结合矿山建设条件、工况特点,优先考虑将智能装备、自动化控制、信息化管理等先进技术融入到工艺方案中,提出基于最优化工艺流的工程建设方案。

(2)“矿石流”自动化控制

从物流环节的维度出发,智能矿山建设是通过装备智能化、操作机械化、控制无人化实现对矿石产出全过程“露天开采(穿孔、爆破、矿石粗碎、铲装与运输、排土等)、地下开采(凿岩爆破、开拓运输、破碎、提升等)、选矿(破碎筛分、磨矿、浮选、脱水、精矿干燥等)、尾矿处理”等在内的“矿石流”生产的全流程进行稳定、精准的自动化控制。

(3)“信息流”数字化流转

从信息管理的维度出发,智能矿山建设是在“矿石流”运转的整个生产过程中,各个环节都需要进行科学的、统一的、计划的执行及验收管理,并通过先进的数字化工具、可视化数据,实现对矿山的数字化、信息化生产管理与调度,从而促进矿山人、财、物等资源的合理调配和采、选、产、供、销等活动的“信息流”数字化流转,实现矿山成本管理、效益管理和效率管理的高度统一。

(4)“业务流”扁平化管理

从业务管控的维度出发,智能矿山建设是在“信息流”流畅运转的整个业务管理过程中,改变传统矿山经营理念和管控模式,建立起一套高效、协同、扁平化的适用于智能矿山生产运营管理的组织管理体系。智能矿山生产运营管理体系通过合理的组织分工,有效的协调工作任务、工作流程、权利和责任,实现矿山生产管理各“业务流”的扁平化管理。

(5)“数据流”可视化决策

从数据治理的维度出发,智能矿山建设是通过大数据、人工智能、物联网技术的应用,把矿山生产运营的关键的人、设备、矿石、业务等相关数据进行数字化采集和集成融合,通过主动感知和分析数据,快速做出正确响应,提高预测预判能力,提升矿山的安全、生产、经营、管理、决策水平,“用数据说话”来替代传统的“经验管理”,通过“数据流”实现可视化决策。

2.2 智能矿山一体化建设架构

按照智能矿山建设的建设原则、建设目标,分析采选工程自动化、信息化、智能化建设的范围与内容,通过全感知、全联接、全智能的先进技术,打造智能矿山的技术基础,智能矿山建设架构建议以“一中心+一网络+一系统+一平台”的“一体化”架构

进行建设,建设架构的主要内容见表1。

地下矿山智能化建设架构的空间拓扑关系和智能矿山一体化建设架构如图4所示,总体架构将矿山一体化生产管控中心、多元融合网络、数字融合控制系统和管控一体化数字中台的建设内容和空间关系进行描述。在智能矿山建设实施过程中,将依托一体化建设总体架构统一规划和实施。

表1 智能矿山建设架构的主要内容

序号	建设项目	内容描述
1	一中心	一体化生产管控中心
2	一网络	多元融合网络
3	一系统	数字融合控制系统
4	一平台	管控一体化数字中台

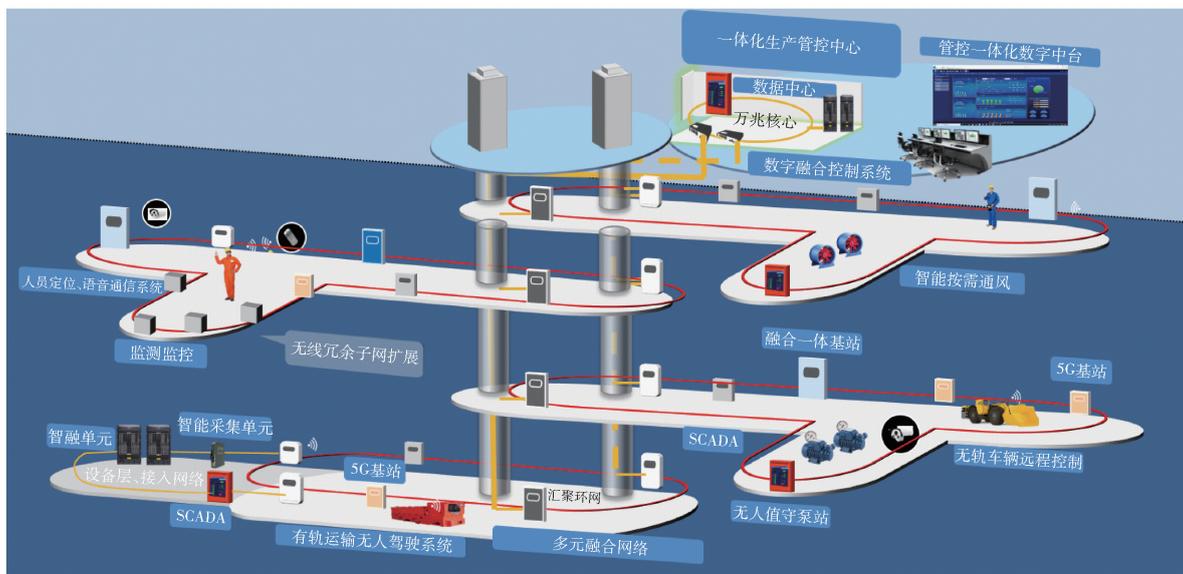


图4 智能矿山一体化建设架构

(1) 一体化生产管控中心

智能矿山应建设集中的“一体化生产管控中心”,将传统的生产调度中心转型为集中管控的采选一体化生产管控中心枢纽,实现采矿、选矿、公辅系统的“集中控制、采选协同、专业融合”,对全矿的一体化控制、生产与管理,使得传统矿山原本孤岛化的功能通过情景化管控数据和业务数据实现互通,让生产管理团队能够基于准确的实时信息做出更好的决策与运营管理,矿山一体化生产管控效果图如图5所示。



图5 一体化生产管控中心

(2) 多元融合网络

建设智能矿山多元融合网络,涵盖办公网、控制网、信息网,实现全矿统一的数据传输网络,将矿山生产、管理、经营等系统之间实现互联互通,避免出现“信息孤岛”,实现统一架构,按需进行分层分区的管理。

多元数据融合网络,采用工业互联网数据安全穿透数据稳定传输技术,通过统一的边云协同工业互联网解决方案,在矿区建立一个灵活的、可扩展的、低成本的多级、分层、融合网络。以一体化融合技术构建的多元融合网络为核心,覆盖整个矿山生产、业务流程,构建全矿生产信息高速公路,有效简化网络结构、提高数据传输效率、降低基建投资、减少运营维护费用。典型矿山的多元融合网络建设如图6所示。

1) 多元融合网络构成

办公网:承载 OA 数字化办公数据;

信息网:除传输视频数据外,负责安防、广播、物联网等非控制类数据传输;

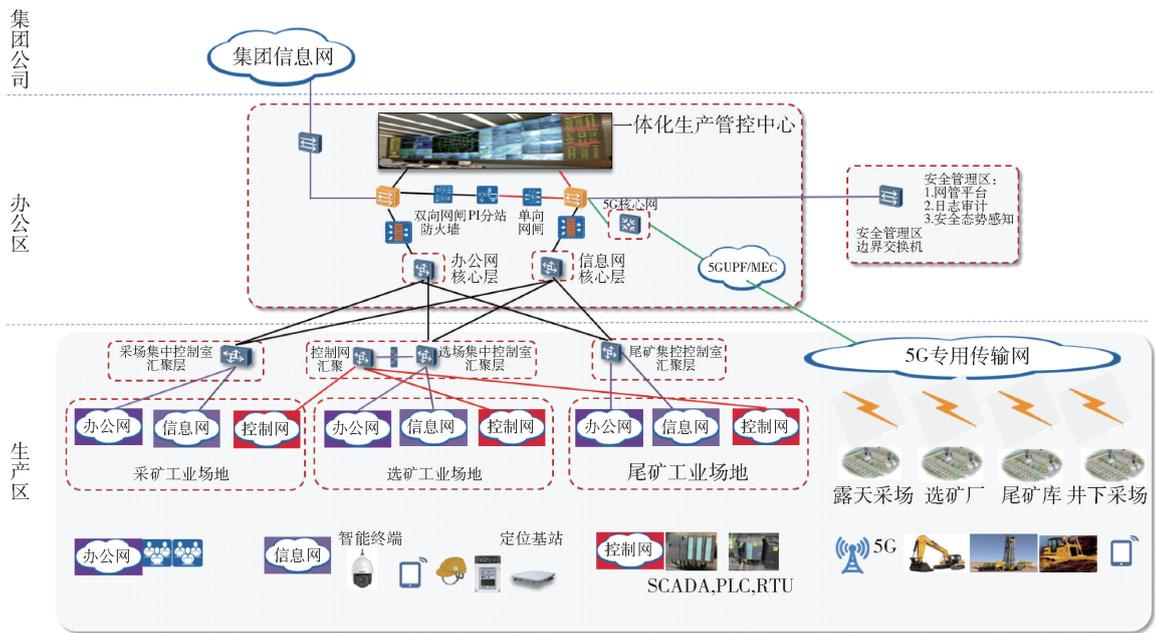


图 6 典型矿山的多元融合网络建设

工控网:承载 DCS、PLC、SCADA 等控制类数据传输。

2) 多元融合网络架构

在多元融合网络中采用工业以太网环网及星型网络相结合的构架,可以提高网络的可靠性。

网络核心层:一体化生产管控中心作为整个多元融合网络的核心,设置冗余工业核心交换机,融合网络所有的服务器和数据都将在此汇聚。

网络汇聚节点:矿山多元融合网络汇聚节点采用双星型拓扑结构,以万兆链路口上联至工业核心交换机,同缆不同芯,互为备份,备用芯可在主链路中断后 30 ms 内恢复。

地表环网:使用环网协议链接至工业核心网交换机,提高网络可靠性的同时还可以减少布线成本。网络采用环网拓扑结构,使网络在保障了链路冗余、设备冗余、电源冗余的高可靠性要求之外,能够有效为现场通信提供负载均衡能力,极大地减轻骨干网络的负荷及布线成本,为网络突发流量等极端状况提供有效的防护措施。

井下环网:依据井下各节点网络需求,构建若干套环网将井下各变电所、远程控制自动化采矿工艺点连接在环网内。

3) 多元融合网络安全

在控制网、办公网、信息网之间进行物理隔离,

设立安全防护设备,进行白名单管控,控制流量单向传播,确保矿山数据不外流;依据 GB/T 36324—2018《信息安全技术工业控制系统信息安全分级规范》等要求,工业网络安全需符合行业标准,满足等保 2.0 二级的要求。从数据类别和安全角度出发,控制网进行独立组网,并在控制网核心出口处部署控制网络安全设备,禁止没有防护的工业控制网络与互联网连接。办公网、信息网根据业务优先级的高低,将生产业务和管理类业务以及其他业务基于防火墙、网闸等边界设备进行安全隔离和划分。

(3) 数字融合控制系统

矿山数字融合控制系统通过集成生产全要素过程控制与管理数据,解决矿山监控信息孤岛问题,同时,其开放的架构提供了整合客户业务层面信息和数据的功能,融合多个子系统形成矿山生产管控的数字融合控制系统,有效提高矿山生产效率、系统维护效率,建立全生产流程的数字化管控和服务平台,提高系统间的协调性。

数字融合控制系统是在传统控制系统的基础上,在技术上实现各系统(供配电、控制、网络、视频)之间的相互交叉、相互渗透、信息相互引用、资源相互共享层面上的融合,在硬件设备上实现各个子系统之间交集的共享、减少控制系统的类别、统一技术标准和通讯规约。通过软件和硬件两方面融

合,这种融合从矿山总体集成,到各个子系统的实施标准开始,最后到所有系统纳入融合网络搭建的一

体化管控平台全范围进行融合。典型的数字融合控制系统架构如图 7 所示。

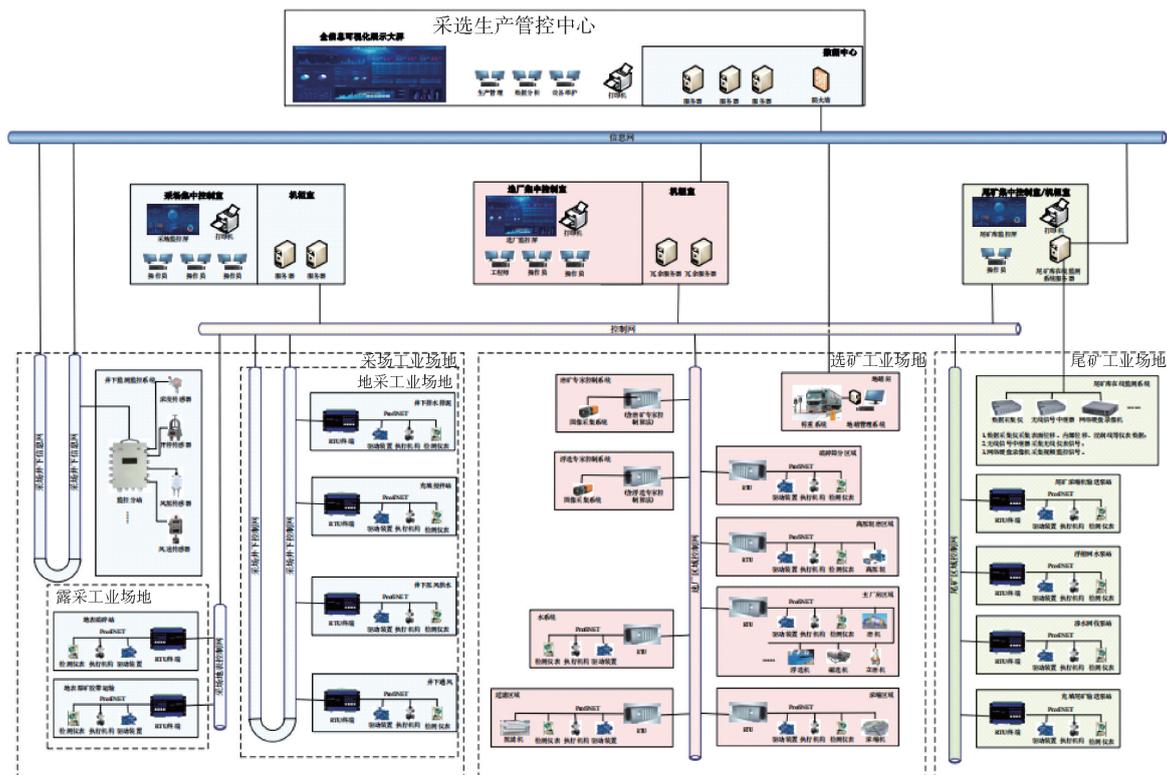


图 7 数字融合控制系统架构

数字融合控制系统能够通过智能融合控制单元和边缘计算终端、多元数据智能采集单元、多元数据融和一体化基站,实现矿山全生产流程的生产监控与全要素数据采集和边缘端智能控制。

(4) 管控一体化数字中台

管控一体化数字中台通过生产管控可视化、信息处理智能化、协同运营一体化,将生产管理、能源管理、设备管理、安全管理、环保管理等功能集成在同一个平台进行统一管控,实现监视、控制、调度、运维等业务领域的统一,旨在提高协同运营管控的效率和效果。该平台融合智能矿山的生产监测监控、生产管理以及生产运营三大类职能,如图 8 所示,整合了来自运营、工艺、工程、维护和财务各方面的所有可用数据,让团队能够掌握实时运营状况的整体背景,并做出更好的决策。

3 智能化矿山实施步骤与路径

3.1 智能矿山实施步骤

智能矿山建设与实施的总体指导方针应遵循“总体规划,分步实施,突出重点”的基本原则,以矿

山生产业务需要为基础,处理好眼前与长远的关系,分步实施、循序渐进,进一步明确阶段任务目标、预期效果及实施计划,分步开展智能矿山建设。

(1) 建设期

基建阶段完成一体化生产管控中心,完成控制网、办公网、信息网等多元融合网络建设,完成自动化、信息化系统相关基础设施建设,做到矿山数据通信网络化,构建矿山信息传输、处理、存储平台和集中管控体系。

(2) 生产期

基建后期到投产期内,同步开展数字融合控制系统、管控一体化数字中台建设,逐步实现矿山资源数字化管理、采矿生产过程智能控制、智能生产管理与执行等,实现矿山固定设施无人值守、采矿装备远程控制,实现矿山全流程的少人无人化生产与信息化管理。

(3) 运营期

投产并实现达产达标后,在积累一定量数据的基础上,开始通过工业大数据分析平台,充分挖掘数据潜在价值,实现设备故障智能诊断、过程参数优

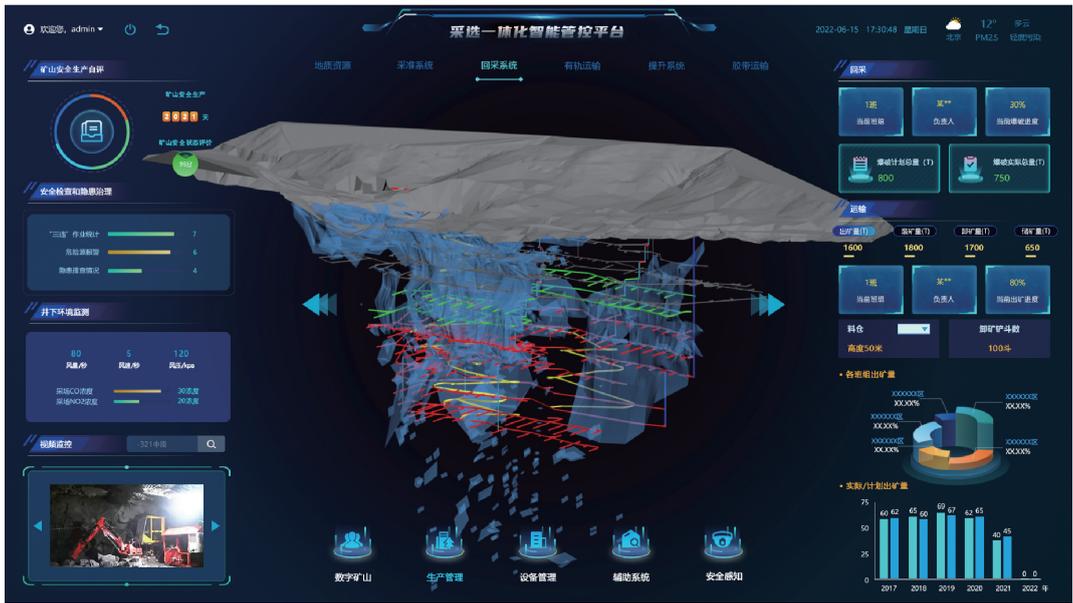


图8 管控一体化数字中台

化、生产流程优化、数字仿真优化、经营决策优化等。以工业互联网技术为基础,打造具有自感知、自学习、自决策、自执行、自适应的智能矿山。

3.2 智能矿山实施路径

图9列出了智能矿山实施路径的主要内容,按照大类可以分为需求调研、整体规划、团队建设、业务标准化、工具数字化、管理可视化和运营一体化的7大过程和方法。

(1) 需求调研明确目标

需求调研是智能矿山建设的第一步,对后续工作起到关键的基础作用。详细的现场考察调研可以了解矿山的现状、问题与需求,可以通过现场调研问卷和现场踏勘、专访和专题会议全面了解矿山需求和痛点,作为后续开展智能矿山建设方案设计(可研)等工作的参考依据,现场调研结束后应提交现

场调研报告。

需求调研用于说明项目概况、工艺概况、安全环保、装备水平、自动化控制、信息化管理、网络基础设施、优化控制应用等内容,阐述项目存在的问题与现场需求,并对项目进行评估并提出建议。

(2) 整体规划分步实施

智能矿山建设启动之前,须对整个建设内容和建设方案进行整体规划、方案设计,以便用于明确项目定位、设计内容、设计范围、总体架构、技术方案、装备水平、材料统计等内容,为智能矿山建设项目提供招标和采购依据。在智能矿山建设项目启动后,“方案设计”作为项目施工图设计依据,并根据智能矿山建设项目设备订货资料开展施工图设计工作。

(3) 团队组建任务分解

针对各工艺环节建设运营的需求,为了进行统

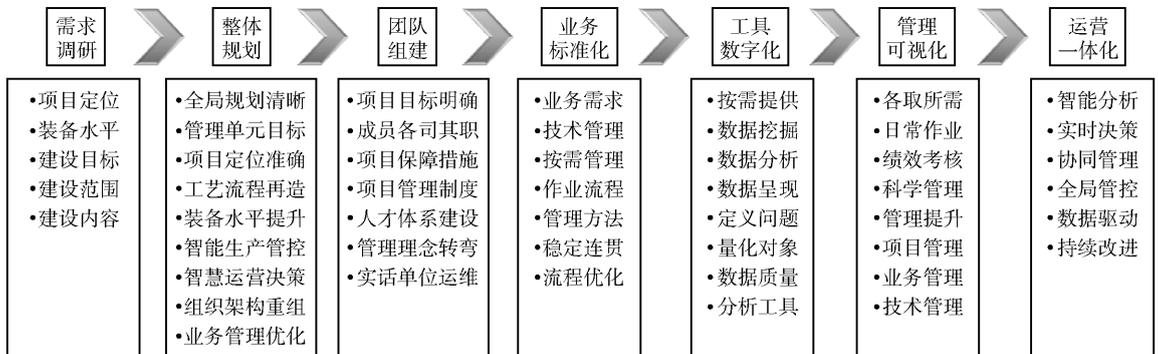


图9 智能矿山实施路径主要内容

筹规划和顶层设计,建立合理的系统架构和部署方式,并明确建设运营模式及实施方案,需要组建智能矿山建设专项管理团队,编制项目实施管理办法,明确责任分工和任务分解,并形成进度协调机制,全面保障项目整体实施进度和质量。

(4) 业务标准化

传统矿山的生产调度管理和指令下达效率较低,而通过先进的通信技术和终端平台可以将生产计划和任务工单第一时间直接下达到每一个操作人员手中,操作人员根据任务工单开展工作并在任务完成后,对工单进行在线填报提交,系统即可自动生成当班的工作记录。基于业务流程的变化,智能矿山的建设需要对矿山的生产业务流程进行重构,达到生产管理的无纸化和数字化在线管理,建立标准化的智能矿山业务流程。

(5) 工具数字化

传统矿山的生产数据统计、分析及报告的统计和计算存在数据纰漏、效率较低的情况,通过数字化工具和管理系统能够自动生成各种数据报告,所有的数据统计分析都由信息系统自动生成,确保了数据的可靠性、准确性、及时性,为企业的生产管理提供了高效的决策依据。

(6) 管理可视化

可视化了解整个矿山的生产过程、生产指标、安全环保等关键生产信息的业务管理技术。数据可视化囊括了信息可视化、信息图形、知识可视

化、科学可视化以及视觉设计方面的所有发展进步。可视化致力于创建那些以直观方式传达抽象信息的手段和方法。有效的可视化管理系统能够显示生产状态和性能信息,传达标准和工作指令,尽可能明显地出现问题和异常,并显示身份和方向。它可以减少错误传达的机会,突出异常和偏差,并提供关于下一步需要做什么的直接见解。当问题和偏差对所有人都可见并且显而易见时,可以立即采取纠正措施来提高流程的效率和有效性。可视化控制还用于分享目标和想法,报告团队和改善进度,并指出安全风险并促进工作中的安全行为。

(7) 运营一体化

矿山智能化升级改造的最终目标是为生产管理服务,以提高生产效率和改善企业的业务绩效,实现低成本高质量发展。

通过打造少人乃至无人采场、固定设施和运输系统,建设智能选厂,在集控中心实现生产全流程的集成化远程控制,提升基于大数据分析的生产智能控制、生产现场优化等能力。矿山需要建立面向全生产流程,实现地质资源数据、生产数据、工程测量模型、采矿设计模型、生产计划的集中展示和联动分析,统筹优化各类生产资源分配,动态调节设备作业计划和调度决策。建立起一套集中化、扁平化与协同化的生产运营模式,基于智慧协同管理的生产运营一体化模式和内容如图 10 所示。

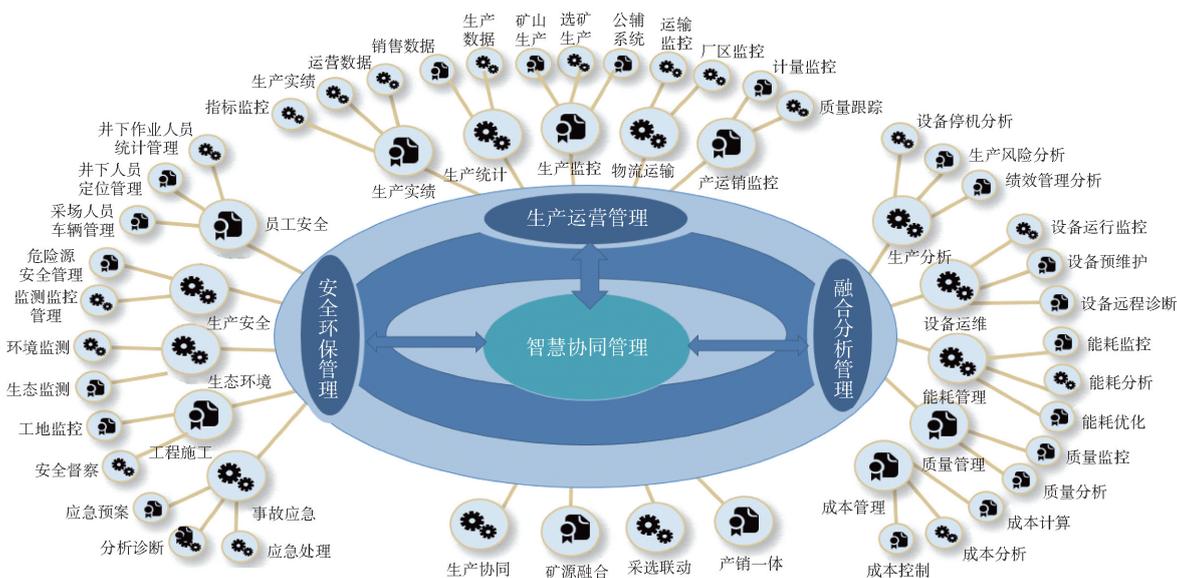


图 10 生产运营一体化的主要内容

4 生产运营管理的设计体系应用

智能矿山建设应明确自动化、信息化都只是数字化生产工具,是人员使用工具,因此怎么使用数字化工具、用好数字化工具是关键因素。智能矿山建设不仅是生产技术的提升,更是管理理念、业务流程、管理制度、管理体系的综合建设。

4.1 生产运营管理设计体系

中国恩菲从事有色行业工程设计与实施工作近七十年,积累沉淀了大量的工程与运维经验,为提升工程设计增值服务,适应行业数字化转型需求。中国恩菲依据近年来国际工程咨询成果和国内信息化、智能化应用等成熟工程经验,结合自身工程实践,推出了智能工厂(矿山)生产运营管理设计体系(Process Operation Management Schedule, POMS)。POMS 设计体系依托行业知识与工程设计优势,全面分析影响生产管理的关键因素,在传

统 P&ID 管道仪表流程图的基础上,叠加智能矿山(工厂)生产操作、管理、运营等企业全周期生产运营一体化解决方案,形成全数字化、多元化的新一代设计内容。

POMS 设计体系在项目设计初期即融入智能化矿山建设理念,将智能化装备与技术应用到工程设计中,通过工艺流程优化、装备水平提升、采选一体化管控、智慧运营决策、组织架构重组、岗位设置重构、业务流程再造、数字化工具应用,构建全新智能矿山,最终实现智能矿山扁平化管理、大规模集控、无边界协同、大数据决策,打造成本最低、技术最优、效率最高的绿色矿山、安全矿山、高效矿山、智能矿山。

典型的智能矿山生产运营管理设计体系如图 11 所示,POMS 设计体系是矿山数字化转型的最终成果和数字化交付物,助力矿山行业进行数字化转型。

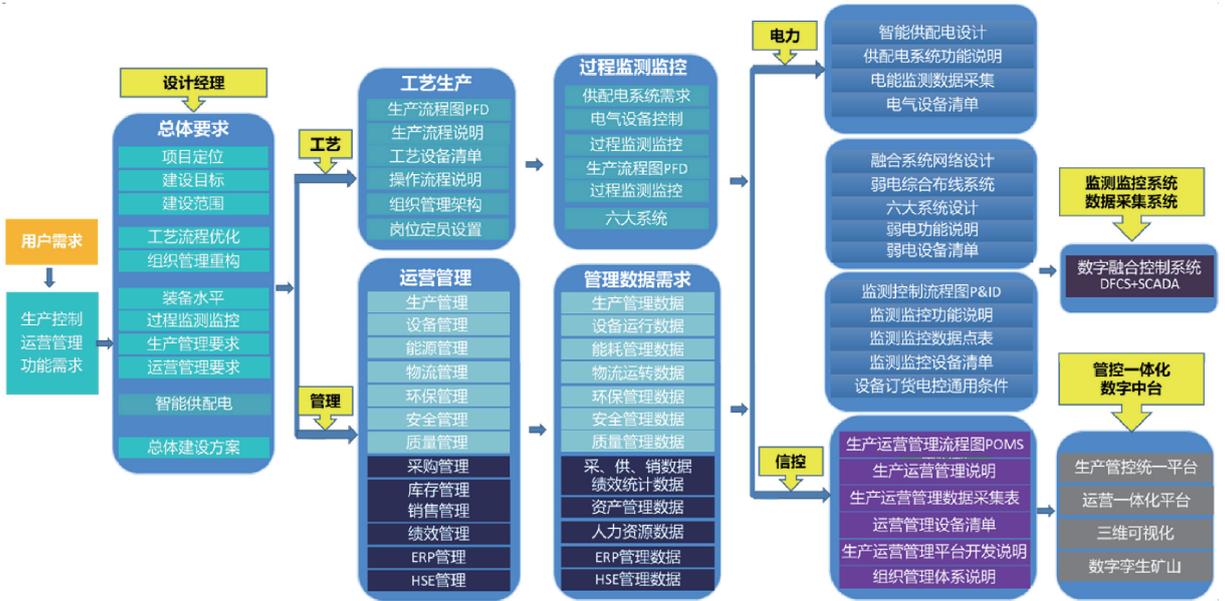


图 11 智能矿山生产运营管理设计体系

4.2 传统矿山组织管理体系重构

传统矿山的组织管理体系复杂,组织机构交叉、职能重叠,造成了生产指令上传下达的滞后和模糊,已经不能适应当前矿山安全、绿色、高效生产的需求。通过信息化技术和工具可以对矿山的组织管理体系进行重构,优化组织管理架构、岗位设置、业务流程,满足智能矿山智慧化生产运营管理需求,到达减人、少人,数字化管理、智慧化运营的目的。

组织机构构建是智能化矿山生产运营体系的重中之重,根据企业的核心业务流程,可以分析流程中的各个工作环节需要什么样的部门来负责,并论证这些部门之间的相互关系和作用,从而构建组织机构。参照现有典型矿山生产运营管理体系、组织管理架构、岗位设置、生产操作流程、业务流程、设备巡检、保养维护、安全管理、生产计划管理等相关的内容,通过智能矿山生产操作环节的自动化控制、远程

集中管控、现场巡检、数字化工具、管控需求等,明确各生产环节的岗位设置、定员、职责和业务等。

通过组织管理体系重组和业务流程优化,借助数字化和可视化工具,将传统企业繁琐的管理体系简化,实现扁平化和透明化管理,在生产管理方面,通过预维护管理提高设备运行效率并避免非计划停机、实施智能能源管理避免无谓的能源消耗达到降碳减排、建立健全环协同管理有效避免安全事故并

保障员工健康高效工作。业务流程优化为矿山企业实时提供所需的统计分析数据,进一步提高管控和决策能力。

矿山的智能化建设将组织机构依托整体管理体系和业务流程设置,典型的智能矿山生产运营管理体系如图 12 所示,运营管理体系的优化将进一步缩减职能部门,精简一线工作人员,使得组织体系相对化繁为简并利于统一管理。

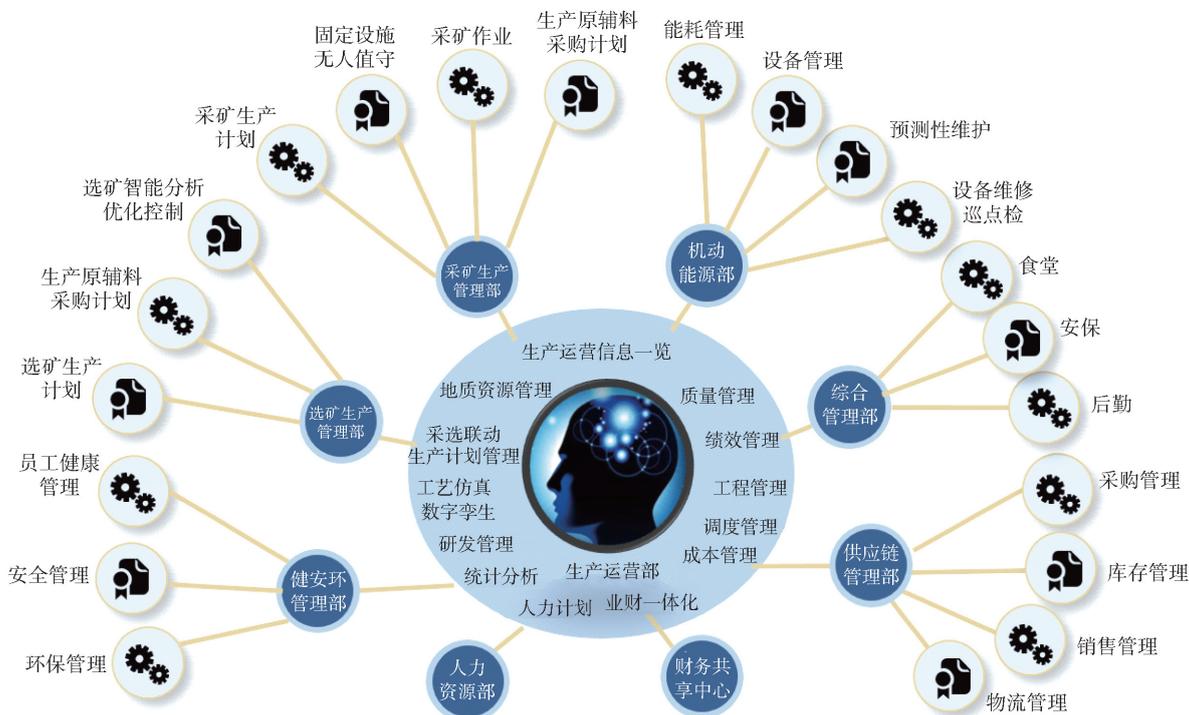


图 12 智能矿山生产运营管理体系

5 结论

智能矿山的建设是矿山行业数字化转型和智能化升级的必然之路,本文通过对矿山智能化建设内涵和目标分析,以及对智能矿山多维度建设准则和一体化建设架构的研究,提出了智能矿山建设的实施步骤和实施路径,最后结合中国恩菲提出的生产运营管理设计体系为智能矿山建设提供的保障,得出以下结论:

(1) 智能矿山建设需要明确自动化、信息化只是数字化生产工具,在智能化升级改造过程中,应遵循工艺流程、矿石流、业务流、信息流和数据流等多维度建设准则,明确矿山智能化建设的具体目标。

(2) 智能矿山建设不仅是生产技术的提升,更是管理理念、业务流程、管理制度、管理体系的综合

升级,通过管控一体化的生产模式建设,才可以保证矿山生产安全、稳定、高效运转。

(3) 矿山智能化建设贯穿开采的全生命周期,生产运营管理设计将生产操作、管理、运营等融为一体,是矿山数字化转型的关键内容和组织管理重构体系,将成为矿山智能化建设的实施路径。

[参考文献]

- [1] 刘波,洪兴建. 中国产业数字化程度的测算与分析[J]. 统计研究,2022,39(10):3-18.
- [2] 戚聿东,肖旭. 数字经济时代的企业管理变革[J]. 管理世界,2020,36(6):135-152,250.
- [3] 任保平. 数字经济引领高质量发展的逻辑、机制与路径[J]. 西安财经大学学报,2020,33(2):5-9.
- [4] 方良才. 加快煤炭产业数字化转型 为煤炭企业高质量发展提供新动能[J]. 中国煤炭工业,2021(11):10-13.
- [5] 李玉炜. 有色金属行业数字化转型路径分析[J]. 有色冶

- 金节能,2021,37(6):74-77.
- [6] 姚卫东,桑锦国.金属矿山数字化转型探讨[J].现代矿业,2022,38(2):52-55.
- [7] 王汝杰,高景俊.数字矿山建设与设备管理[J].矿业快报,2006(7):9-12.
- [8] 郑向党,于小海,王秀东,等.金川二矿区矿山智能化采矿的研究与探索[J].现代矿业,2021,37(11):237-238,251.
- [9] 周文略,连民杰.地下矿山智能生产控制与管理建设体系研究[J].金属矿山,2015(2):117-121.
- [10] 何斌全,张维国,伏彩萍,等.柿竹园多金属矿智能化建设思路[J].有色设备,2022,36(4):1-5.
- [11] 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.
- [12] 吴立新,汪云甲,丁恩杰,等.三论数字矿山——借力物联网保障矿山安全与智能采矿[J].煤炭学报,2012,37(3):357-365.
- [13] 毕林,王晋森.数字矿山建设目标、任务与方法[J].金属矿山,2019(6):148-156.
- [14] 丁恩杰,廖玉波,张雷,等.煤矿信息化建设回顾与展望[J].工矿自动化,2020,46(7):5-11.
- [15] 张元生,战凯,马朝阳,等.智能矿山技术架构与建设思路[J].有色金属(矿山部分),2020,72(3):1-6.
- [16] 王国法,任世华,庞义辉,等.我国智能绿色矿业发展战略研究[J].煤炭经济研究,2021,41(12):4-10.
- [17] 赵奕,韦永兰,石磊,等.智能矿山信息化建设实施与应用探讨[J].有色设备,2022,36(1):1-6.
- [18] 王李管,陈鑫,毕林,等.智慧矿山技术[M].长沙:中南大学出版社,2019.
- [19] 李国清,胡乃联.智能矿山概论[M].北京:冶金工业出版社,2019.
- [20] 李梅,杨帅伟,孙振明,等.智慧矿山框架与发展前景研究[J].煤炭科学技术,2017,45(1):121-128,134.
- [21] 于润沧等.矿业强国之路探索[M].北京:冶金工业出版社,2021.

The Multi-dimensional Integration of Construction Framework and Implementation Path of Intelligent Mine

ZHAO Yi, ZHANG Wei-guo, HE Xu-chun, ZHANG Hai-sheng

Abstract: It is mining industrial transformation main keynote of the digital transformation and development of digital economy. Many mining enterprises have successively implemented the construction of digital mines or intelligent mines, and the differences in technological characteristics and basic conditions of mines lead to great differences in the results of intelligent mine construction. The paper puts forward the multi-dimensional criteria and overall framework of intelligent construction focusing on the connotation and goal of intelligent mine construction. Its essence is the digital integration of process optimization, production automation and management informatization. It studies the management and control integration production mode and intelligent mine construction path, and finally introduces the production and operation management design system to provide comprehensive guarantee methods for the intelligent construction of the industry.

Key words: Intelligent mine; Ore flow; Business flow; Digital fusion; Management and control integration

