基于物联网的拉斯邦巴斯矿山数字运营中心运维实践*

吴立活

(五矿有色金属股份有限公司, 北京 100044)

摘要:拉斯邦巴斯(Las Bambas)高海拔矿山地理位置偏远、环境恶劣,基于Las Bambas矿山迈向智能化矿山的核心需求,以及不利于在现场直接部署大量人员参与矿山运营等诸多问题,剖析Las Bambas矿山运营价值链上的所有功能支持,对现有智能化系统进行审查优化,建立Las Bambas矿山数字运营中心,并对其实施效果进行总结分析。结果表明:矿山数字运营中心的建立提升了矿山运营的数字化、自动化、智能化水平,简化了工作人员审批流程,实现了100%的远程集成操作;数字运营中心实现了人员、设备、环境的安全集成管理,有效率达97.7%,疲劳预测准确性达94.7%,重型卡车撞击初级破碎机结构的次数减少了90%;矿山生产的20个岗位的角色变化,涉及63位员工的现场迁移,实现了流程整合与现场工艺调度的远程处理。研究结果可为同类型高海拔偏远地区的矿山在人员缩减、远程办公调度、数字运营等方面提供参考。

关键词:物联网;拉斯邦巴斯矿山;数字运营中心;人员角色变化和迁移

中图分类号:TD67 **文献标识码**:A **文章编号**:1005-2763(2025)01-0238-08

Operation and Maintenance Practice of Digital Operation Center in Las Bambas Mine Based on Internet of Things

WU Lihuo

(China Minmetals Nonferrous Metals Co., Ltd., Beijing 100044, China)

Abstract: Las Bambas is a high-altitude mine with remote geographical location and harsh environment. Based on the core requirements of Las Bambas Mine towards intelligent mine and many problems of unfavorable directly deploying a large number of personnel to participate in mine operation on site, all the functional support on the Las Bambas Mine operation value chain was analyzed, the existing intelligent system was reviewed and optimized, the digital operation center (DOC) of Las Bambas Mine was established, and its implementation effect was summarized and analyzed. The results show that the establishment of mine digital operation center improves the digitization, automation and intelligence level of mine operation, simplifies the approval process of staff, and realizes 100% remote integrated operation. The digital operation center realizes the safety integrated management of personnel, equipment and environment, the efficiency is 97.7%, the accuracy of fatigue prediction is 94.7%, and the number of heavy trucks hitting the primary crusher structure is reduced by 90%. The role changes of 20 positions in mine production involve the on-site migration of 63 employees, which realizes the remote processing of process integration and on-site process scheduling. The research results can provide reference for mines in the same type of high-altitude and remote areas in terms of personnel reduction, remote office scheduling and digital operation.

Key words: Internet of things, Las Bambas Mine, Digital operation center, Changes and migration of personnel roles

0 引言

近年来,在信息化与工业化深度融合方针政策的推动下[1-2],国内矿山不断引入新的科学技术[3-4]、机械设备[5-6]、运营管理平台[7-8]等,以期提升矿山企业的生产效率,从根本上降本增效,实现矿山效益最大化。闫兆振[9]充分利用生产现场的自动化数据,结合智能决策分析与生产过程自动控制,设计了矿山自动化控制中心。王德伟[10]基于矿山自动化发展需求建立了新型矿山控制系统,将矿山人员定位系统、地下矿山监测监控系统、地下矿山通信联络系统与地下矿山自动化控制系统的数据上传

* **收稿日期**:2024-01-21
基金项目:国家重点研发计划项目(2022YFC2904600)
作者简介:吴立活(1970—),男,河北邢台人,正高级工程师,主要从事金属矿运营(控制)技术、信息技术和数字化转型等方面的研究。E-mail:lhwu@minmetals.com

至地面控制中心进行统一化管理。从全球矿业界视角观察,数字化转型的能力在采矿业中已经很成熟,建设智能矿山已经成为矿山行业的一大发展趋势。

位于秘鲁的 Las Bambas 矿山,在海外由中方运营,为推动作业人员脱离高原、危险环境,降低劳动强度及作业危险性,实现"无人化、少人化"作业,通过整合矿山运营价值链中的各个环节并结合预可行性研究,在距离矿区 588 km 外的利马办公区建设了一个远程数字运营中心,该中心基于统一平台,实现对多种作业场景的动态监视、任务调度、作业跟踪、协同管控,是海外中方运营大型矿山的首例[11-12]。本文针对现阶段各运营场景应用现状、存在问题与需求,建设基于智能矿山工业互联网基础平台、面向团队集群调度应用的总体架构,并对中心建设的关键技术及核心功能进行阐述。

1 工程概况及采选工艺

1.1 工程概况

拉斯邦巴斯(Las Bambas)矿山位于秘鲁阿普里马克省境内,距首都利马东南 530 km、库斯科西南 72 km,海拔高度为 3 800～4 600 m。相关数据表明,该矿山铜资源量达 1 162 万 t,相当于中国现有铜资源储量的 13%,并伴生大量的钼、银、金,具有良好的增储潜力。

1.2 采选工艺

Las Bambas 矿山采用公路-破碎站-胶带联合运输开拓方式,开采区域内已经确定了 3 个主要矿床,分别为铁山矿矿床、铜山矿矿床和硫山矿矿床。其中铁山矿矿床正处于开采阶段,另外两个矿床将在未来进行开采,铁山矿矿坑长 2.0 km,深 0.7 km,台阶坡面角为 65°～70°,工作帮坡角为 42°～53°,条带比为 2.51,开采阶梯高度为 15～30 m,坡道平均倾角为 10%,宽度为 43 m。

矿石经过 5.2 km 的传送带从铁山矿坑运往选矿厂,破碎设备由 2 台处理器监控、分布式控制系统(DCS)控制的半自磨机和球磨机组成,通过 28 个粗扫选槽和 22 个精选槽进行浮选,最后由卡车和火车运往 Matarani 港口进行出口,每天总计处理 14.5 万 t 含有钼、金和银的铜矿。

2 数字运营中心建设

2.1 基本原理

数字运营中心建设的定义阶段与各种内部和外部利益相关者进行沟通和接触,从而确定数字运营中心(DOC)建设的推进方法、关键信息、初步征询和执行计划等,建设过程中大部分内容涉及专用控制系统和物联网技术的创新设计,以便能够进行远程操作控制。数字运营中心建设的实施机制主要包括以下 3 个方面:

(1) 以非常严格的五矿资源(MMG)规则方式建立实施框架,由专业项目管理师(PMO)集中协调和执行,确保所有工作流程高度集成;

(2) 以团队集成方式对所有必要流程进行重新设计,本质上保证相关技术及设施与新的业务流程一致,以确保执行结果与目标文化紧密结合;

(3) 通过高管团队的支持,招募合适的人员,以确保目标文化嵌入新的业务流程中。

数字运营中心建设主要通过以下 3 个策略来实现。

(1) 综合规划。规划流程是整个价值链和所有时间范围的集成,制定与实施计划并重的文化基础能精准支持综合规划的新技术进行市场扫描。

(2) 资产管理。保持追求价值最大化的整体视野,提供领导、协调和保障以支持价值创造,致力于打造端到端(P2P)资产生命周期管理的文化,确保运营的高可靠性和改进运营的能力。

(3) 综合作战。由跨整个价值链的多个团队组成数字运营中心,利用设施和技术平台,最大限度地增强跨职能协作,识别并集成整个价值链中具有高价值的接口和业务流程。

原先隶属于不同智能系统的控制点分布在矿区的各个物理位置,这种分散的部署模式导致系统执行员工在工作过程中只关注自己的关键绩效指标(KPI),而忽略了当前环节的 KPI 对业务价值链中下一个环节可能产生的影响。因此,管理层在 Las Bambas 矿山的端到端价值链流程中明确区分了"主要活动"和"支持活动",并生成了系统流程的核心功能和接口映射,以支持价值案例分析,并协助定义运营理念框架和综合规划方法。在这一过程中,数字运营中心建设需要在执行阶段对重点流程进行详细映

射,确保已确定的范围内,角色能够适应当前的流程操作。

2.2 总体架构

2.2.1 原始运营系统服务体系

Las Bambas 矿山原始运营系统服务体系如图 1 所示,分为 4 个层级,矿山现场管理层负责现场日常业务处理,矿山运营管理层负责生产指挥与综合调度,矿山总部(利马)负责整合矿山运营信息并进行综合管控,五矿资源(墨尔本)收集旗下各矿山的运营状况,并制定战略性决策。

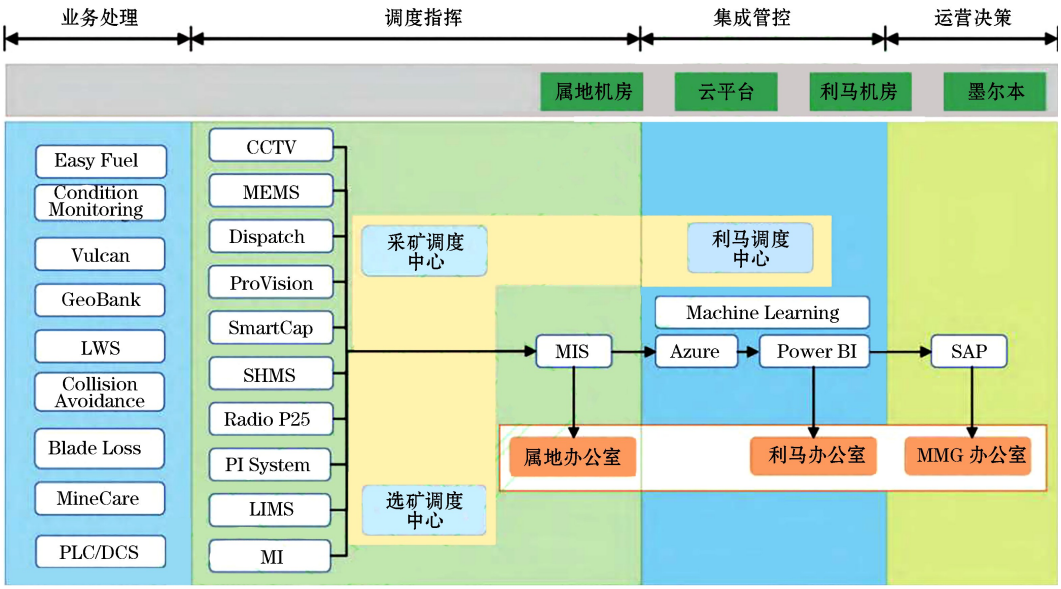


图 1 原始运营系统服务体系

Fig.1 Original operation system service system

(1) 矿山现场管理层面。围绕生产工艺流程,矿山部署了大量大型开采装备、选矿设备、辅助设备等,通过自动控制系统,实现设备的参数监测、远程启停和异常报警。

(2) 矿山运营管理层面。通过架设工业网络实现现场数据采集,工业网络和办公网络之间通过网关进行数据传输,并利用防火墙进行隔离,以保障工业网络的安全。数据存储于属地机房和微软 Azure 云平台中。

(3) 矿山总部层面。专业的数据分析团队经过筛检、转换等操作后,运用机器学习模型进行分析和知识挖掘,形成指导生产的决策模型,并借助 Power BI 软件进行集成化展示。

(4) 五矿资源层面。通过从矿山 Azure 云平台中抽取数据,并结合 SAP 系统数据,进行经营决策和商业分析。

2.2.2 Las Bambas 矿山数字运营中心的建立

Las Bambas 矿山数字运营中心将物联网、云计算、大数据、人工智能、智能控制等新一代信息技术与矿山安全、生产、运营管控业务进行深度融合,依托矿山数据中心,对矿山安全、生产、运营数据进行集成和管理,通过数据建模、模型训练与资产沉淀,构建矿山数字底座。基于原有的矿山信息基础平台,搭建的数字运营中心总体构架自下而上包括设备层、采集层、基础层、存储层,业务层和平台层。平台层以设备层和采集层为数据基础,以基础层和存储层的工业互联为物理条件,以业务层的各个智能系统功能支持为核心,在利马集成建设了过程控制中心、生产管理中心、安全环保中心、视频监控中心、三维管控中心、决策分析中心和矿山运营数据的“一张图展示”。Las Bambas 矿山数字运营中心总体架构如图 2 所示。

Las Bambas 数字运营中心系统集成控制场所选定在总部利马市区。数字运营中心的团队配置包括以下 6 个团队:综合规划团队、控制室团队、生产优化团队、综合改进团队、报告和分析团队、科技支持团队。这种组织模式有助于促进整个价值链的整合,并有意识地打破当前的职能孤岛,以改善价值链内的协同效应。

2.3 关键技术

(1) 云计算技术。云计算是实现矿山数据存储和计算的重要手段,矿山根据微软云和华为云建立双云平台,将矿山的各种数据存储在云平台上,以实现数据的集中管理和共享[13]。

云计算(Cloud Computing)的概念最早由Google提出,它是一种IT基础设施的交付和使用模式。通过网络以按需、易扩展的方式获得所需的软件、硬件、平台及服务等资源。Las Bambas矿山采用了微软云和华为云的双云计算解决方案,具有超大规模、虚拟化、可靠安全等独特优势。这使得数据信息的集中处理、存储、传输、交换、管理等业务更加经济可靠,并表现出智能服务和自动化的弹性扩展能力[14-15]。

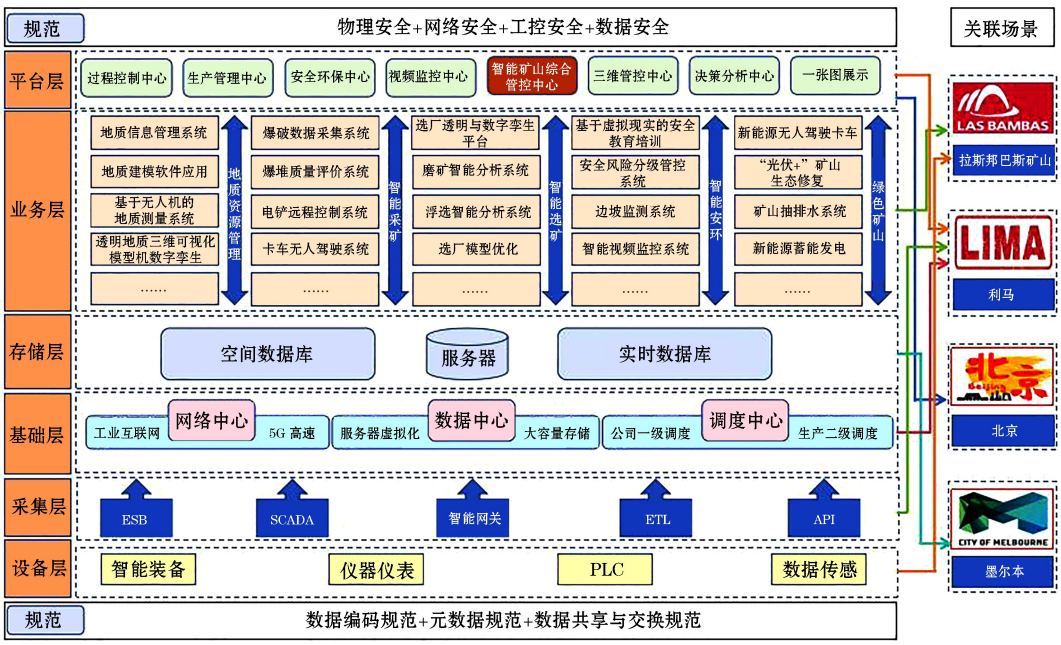


图 2 Las Bambas矿山数字运营中心总体架构

Fig.2 Overall architecture of digital operation center for Las Bambas Mine

(2) 大数据技术。数字运营中心通过对各个智能化系统的海量数据进行挖掘和分析,深入剖析Las Bambas矿山的生产规律、实地安全风险等因素,为决策提供科学依据[16-17]。

大数据技术在数据的获取、存储、管理、分析方面超出了传统数据库软件工具的能力。大数据技术专注于对海量的数据进行高效处理,以实现数据价值的提升。其一,数据体量大,且保持了数据规模的完整性。其二,处理速度快,全球数据量正以前所未有的速度增长。其三,数据类型多,包括结构化数据、半结构化数据以及非结构化数据。其四,经济价值高,通过快速挖掘、处理和分析,大数据能为企业创造显著的价值[18]。

(3) 多源信息融合技术。数字运营中心通过对多传感设备观测信息在时间和空间上的整合,生成了对当前环境监测的一致性描述和解释。该项技术使得在分析前便可获得全面的空间性、综合性、互补性的中心数据[19]。

为保证观测信息数据满足引用要求,需要根据实际运行情况进行初步处理,去除含有干扰信号的数据。可选择使用奇异值检验和归一化处理方法完成信号数据的预处理。

(1) 奇异值检验。考虑到矿山各系统信号采集系统、记录能力与使用环境的差异性,需要对信号数据误差进行有效剔除。

(2) 信号数据归一化处理。为有效控制矿山各系统运行中的物理条件,实现对多项数据的综合处理,采用区间值法对差异化数据进行归一化处理,即将数据按照比例缩放至特定区间,以实现数据的转化。在融合样本数据预处理后,需要开展数据融合工作,目的是去除误差和冗余数据,确保数据被严格限制在可控范围内,从而提高各系统数据的准确性[20]。

2.4 主要功能实现

2.4.1 地质资源信息化管理

(1) GeoBank地质数据管理系统。为解决矿山

钻孔信息处理问题,建设 GeoBank 地质数据管理系统,该系统可实现钻孔、炮眼和地表样本数据的存储、编辑、查询、更新及统计分析。

(2) Ore Pro 3D 无人机地质测量。采用 Ore Pro 3D 无人机技术对地表进行三维测量,可实现地测数据的实时采集与高效处理,并为 Vulcan 软件提供地形信息。

(3) Vulcan 的地质资源管理。结合地测数据,利用 Vulcan 软件进行三维地质建模(见图 3),并进行品位估算、开采设计和规划,实现矿山地质资源与采矿设计的智能化与信息化。

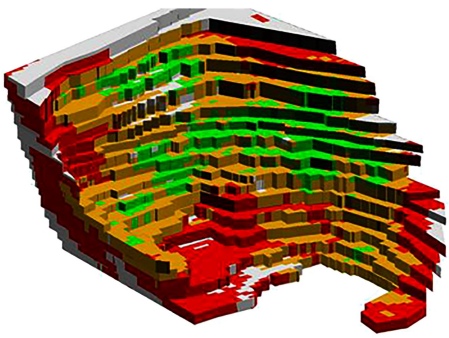


图 3 VULCAN 三维建模

Fig.3 VULCAN three-dimensional modeling

2.4.2 采矿过程自动化

(1) 穿孔爆破作业。通过运用 ProVision 高精度导航系统和钻机远程控制系统,指导 3 台 Epicor Viper 351 柴油动力钻机设备进行精准寻孔导航,从而提供挖掘指导,以实现矿石品位控制、采区控制、分段控制、实时进度控制以及风险区域识别等功能。ProVision 高精度导航系统界面如图 4 所示。

(2) 铲装作业。使用型号分别为 CAT 7495HR、P&H 4100XPC、CAT 6060S、LT 2350、KOM PC2000-8 的 10 辆铲车完成采场内矿岩的铲装任务。每辆铲车均配备有铲齿脱落智能检测系统,如图 5 所示。该系统可通过视频分析及时发现设备的掉齿情况。

(3) 运输作业。矿区共配备了 44 辆 KOMATSU 930E-SE 型号、15 辆 KOMATSU 980E 型号、15 辆 CAT 797F 型号的矿用卡车,完场采场内矿岩的运输任务。每辆卡车均装备有 Hual Truck Cameras 卡车盲区监控系统和 MEMS 卡车轮胎监测系统,其中,MEMS 卡车轮胎监测系统如图 6 所示。

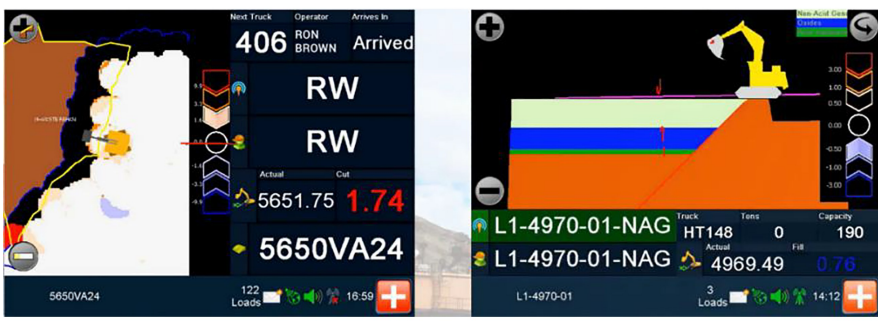


图 4 ProVision 高精度导航

Fig.4 ProVision high-precision navigation

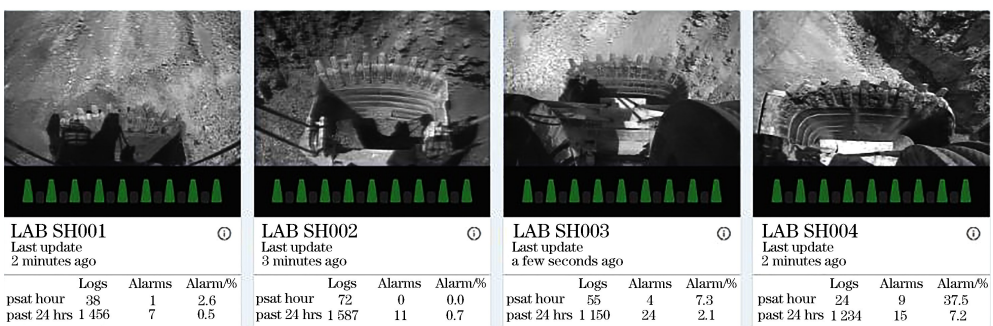


图 5 铲齿脱落智能检测

Fig.5 Intelligent detection of shovel tooth falling off

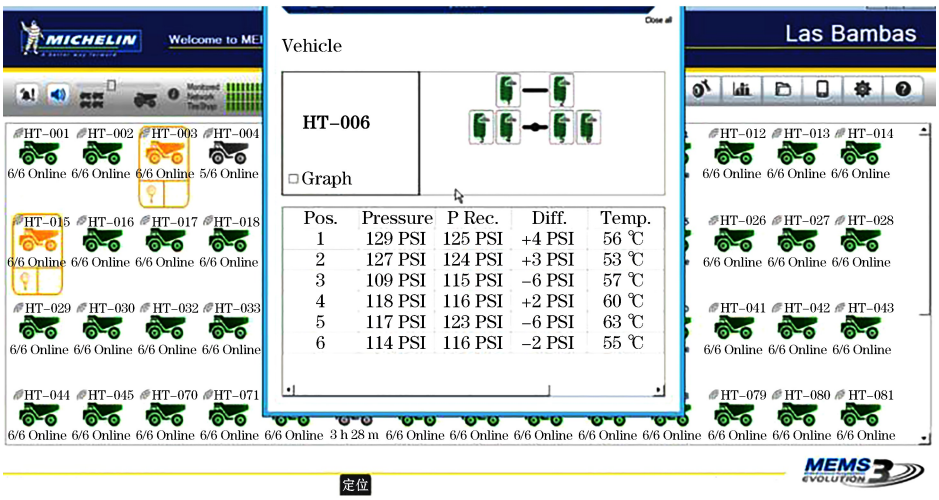


图 6 MEMS 卡车轮胎监测系统

Fig.6 Monitoring system of MEMS truck tire

2.4.3 选矿过程自动化

选矿自动化系统通过 PCS 控制实现选矿车间设备的远程控制与设备状态监测,同时,为了监测需要,针对选矿的各个工艺流程同步部署了 PI 系统(选厂运营数据管理平台),该系统用于查看设备运行参数,并实时生成分析报告,用于运营和管理决策。部署了 LIMS 实验室信息管理系统,系统功能模块如图 7 所示。该系统用于检测选矿样品,并将化验信息同步至 GeoBank、PI 和 MI 系统。MI 智能选矿数据管理系统利用上述监测和化验数据进行选矿金属平衡核算,并基于 Power BI 对数据进行数据可视化展示。

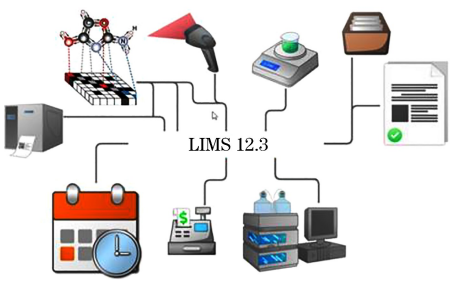


图 7 LIMS 实验室信息管理系统功能模块

Fig.7 Function module of LIMS laboratory information management system

2.4.4 矿山安防智能化

(1) 人员安全管理。针对驾驶人员,使用智能安全帽疲劳驾驶预警系统和不安全行为的视频分析对驾驶员疲劳情况和不安全行为进行判别,配备了可优化面向矿山工作人员医疗护理的时间和资源的健康信息管理系统(SIVISO)。

(2) 设备安全管理。采矿设备通过部署防碰撞检测系统和 MineCare 车辆健康远程监控系统,减少采区内不同设备之间的碰撞风险,并实现设备实时监控、事件管理、趋势分析和故障跟踪。选矿设备运用设备状态监测系统,对自动化设备(如皮带滚轮、球磨机等)的运行状态进行监测,以便对潜在隐患设备进行提前预警。

(3) 环境安全管理。通过视频监控技术与机器视觉算法,在矿区边界部署周界安全监控系统,快速识别入侵矿区的人员。在台阶边坡指定区域,部署了边坡健康监测系统(SHMS),用于获取地表位移、倾角变化、结构变形、地下水位、微震活动等关键数据。此外,由于矿山地处高原山区,还搭载了雷暴探测预警系统(LWS),该系统利用磁场传感器和电场传感器来探测雷暴。

3 实施效果

数字运营中心的布局遵循逆时针方向,监管内容依次为地质资源、采场选厂状况、矿用卡车、装载机调度系统、人员设备环境安全保障系统、选厂破碎系统、浮选工段、过滤车间、尾矿库及水循环等各个工艺监测点。

数字运营中心的建立显著提升了矿山运营的数字化、自动化和智能化水平。通过底层传感器和数据传输设备,矿山生产过程中的各种数据得以实时采集,并进行数据清洗和处理。全矿包括管理人员在内,人员规模达到 2 599 人,数字运营中心的建立简化了工作流程,使审批时间从数月缩短至几天甚

至几小时,实现了100%的远程集成操作。数字运营中心融合了矿山运营指标的检测与分析、态势预测与预警模型、协同调度与联动指挥、数据开放和信息服务等多项功能。在人员、设备、环境的安全集成管理方面,其有效率达到了97.7%,疲劳预测的准确性高达94.7%,并且成功减少了重型卡车撞击初级破碎机结构的次数,降幅达到了90%。

数字运营中心的建立进一步深入分析并优化部署的各个监测控制模块的功能设置,确保其逻辑性和在使用过程中的交叉叠加。同时,建立了一个工艺监测数据集成平台,将位于现场的不同控制中心及各运营区域的工作人员迁移到利马办公区,简化和整合现有20个角色、63位人员的工作流程,实现了流程整合与现场工艺调度的远程处理。

数字运营中心的投入使用显著提升了Las Bambas矿山作为数据驱动型运营的成熟度,推动了智能矿山的转型升级。从功能角度完全实现了平台显示的生产过程数据获取、工艺流程实时监测、设备工况智能判别、故障隐患分色预警,形成了矿山运营的全面闭环管理。

借助现代设施和前沿技术,从文化变革的目标视角确保团队呈现一种归属感,有效遏制不健康的竞争现象;确立了足够的标准和程序,为团队提供了明确的指导,消除了形式主义的工作文化;重视整个价值链中团队的整体表现,奖励团队合作而不仅仅侧重个人绩效;决策过程基于沟通和协作,确保了整个价值链的最佳利益;实现了从领导层到一线人员的系统、整体决策。

4 结论

本文以Las Bambas矿山为背景,基于矿山数据中心,将物联网、云计算、大数据、人工智能、智能控制等新一代信息技术与矿山安全、生产、运营管控业务进行深度融合,建立了Las Bambas矿山数字运营中心,得到了以下主要结论。

(1) Las Bambas矿山数字运营中心的建立,实现了矿山的地质资源信息化管理、采矿过程自动化、选矿过程自动化和矿山安防智能化,通过实时数据监测、处理和分析,为矿山运营决策提供了更加科学和准确的数据支持,帮助企业进一步提升了矿山运营的数字化、自动化和智能化水平。

(2) 数字运营中心的建立简化了工作流程,使人员规模达到2 599人的矿山的审批时间从数月缩短至几天甚至几小时,实现了100%的远程集成操作;实现了人员、设备、环境的安全集成管理,有效率高达97.7%,疲劳预测的准确性达到94.7%,重型卡车撞击初级破碎机结构的次数减少了90%;简化和整合现有20个角色、63位人员的工作流程,实现了流程整合与现场工艺调度的远程处理。

(3) 实现了平台显示的生产过程数据获取,工艺流程实时监测、设备工况智能判别、故障隐患分色预警,形成了矿山运营的全面闭环管理。研究结果可为同类型高海拔偏远地区的矿山在人员缩减、远程办公调度、数字运营等方面提供借鉴和参考。

参考文献(References):

[1] 编辑部.工信部:推进信息化和工业化深度融合[J].粉末冶金工业,2014,24(4):49.
Editorial Department. Ministry of Industry and Information Technology: promoting the deep integration of informatization and industrialization [J]. Powder Metallurgy Industry, 2014,24(4):49.

[2] 赵昕.信息化与工业化互动机制研究[D].北京:北京邮电大学,2015.
ZHAO Xin. Research on the interactive mechanism between informatization and industrialization [D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications,2015.

[3] 王国法,庞义辉,任怀伟,等.智慧矿山系统工程及关键技术研究与实践[J].煤炭学报,2024,49(1):181-202.
WANG Guofa, PANG Yihui, REN Huaiwei, et al. System engineering and key technologies research and practice of smart mine [J].Journal of China Coal Society,2024,49(1):181-202.

[4] 孙凯.智慧露天矿山规划发展分析[J].工矿自动化,2023,49(增刊2):40-42+46.
SUN Kai. Intelligent open-pit mine planning and development analysis [J]. Journal of Mine Automation, 2023,49(Suppl.2):40-42+46.

[5] 李玉选,黄丹,杨小聪,等.金属矿山悬臂式掘进机采掘配套设备选型研究[J].矿业研究与开发,2022,42(6):166-171.
LI Yuxuan, HUANG Dan, YANG Xiaocong, et al. Study on supporting equipment selection for cantilever roadheader in metal mine[J]. Mining Research and Development, 2022, 42(6):166-171.

[6] 李敬兆,高之翔,杨大禹,等.矿山大型机电设备协同控制[J].工矿自动化,2017,43(3):15-19.
LI Jingzhao, GAO Zhixiang, YANG Dayu, et al. Coordinative control of large-scale electromechanical equipment in mine[J]. Journal of Mine Automation,2017,43(3):15-19.

[7] 蔡晨晖,梁晓刚,师剑雄,等.矿山视频大数据智能分析与安全生产监控平台研究[J].中国安全生产科学技术,2024,20(1):65-70.
CAI Chenhui, LIANG Xiaogang, SHI Jianxiong, et al. Research on mine video big data intelligent analysis and work safety monitoring platform [J]. Journal of Safety Science and Technology,2024,20(1):65-70.

[8] 邢震.智能矿山综合管控平台研究进展及发展路径[J].工矿自动化,2023,49(9):147-154.
XING Zhen. Research progress and development path of intelligent mining comprehensive control platform [J]. Journal of Mine Automation,2023,49(9):147-154.

[9] 闫兆振.基于数字化矿山的自动控制中心设计[J].电子世界,2015(19):80-82.
YAN Zhaozhen. Design of automatic control center based on digital mine [J]. Electronic World,2015(19):80-82.

[10] 王德伟.基于多网融合技术的矿山控制系统设计[J].数字技术与应用,2015(3):3.
WANG Dewei. Design of mine control system based on multi-network integration technology [J]. Digital Technology & Application,2015(3):3.

[11] 闫敬旺,谭震,高永军,等.煤矿机器人集群协同调度管控平台研究与应用[J/OL].工矿自动化:1-11[2024-01-20]. https://doi.org/10.13272/j.issn.1671-251x.18169.
YAN Jingwang, TAN Zhen, GAO Yongjun, et al. Construction of robot cluster cooperative scheduling management and control platform in ningtiaota coal mine[J/OL]. Journal of Mine Automation: 1-11 [2024-01-20]. https://doi.org/10.13272/j.issn.1671-251x.18169.

[12] 陈建明,崔羊威.新型家电组网与远程控制中心系统设计[J].单片机与嵌入式系统应用,2016,16(11):43-46.
CHEN Jianming, CUI Yangwei. Design of new home appliances networking and remote control center system[J]. Microcontrollers & Embedded Systems, 2016, 16(11): 43-46.

[13] 邓文革,赵星宇,张仁生.煤矿云计算数据中心建设研究[J].工矿自动化,2023,49(增刊2):103-106.
DENG Wen'ge, ZHAO Xingyu, ZHANG Rensheng. Research on the construction of coal mine cloud computing data center[J].Journal of Mine Automation,2023,49(Suppl.2):103-106.

[14] 李长明,赵开功,张晓蕾,等.煤矿智能化项目风险评价云模型及其应用[J].中国安全科学学报,2024,34(5):168-174.
LI Changming, ZHAO Kaigong, ZHANG Xiaolei, et al. Cloud model for risk evaluation of coal mine intelligent projects and its application[J].China Safety Science Journal, 2024,34(5):168-174.

[15] 钱程,孟祥宇,王耀辉,等.基于云平台的生产指挥可视化平台设计及实现[J].计算机技术与发展,2024,34(9):215-220.
QIAN Cheng, MENG Xiangyu, WANG Yaohui, et al. Design and implementation of visual production command platform based on cloud platform[J].Computer Technology and Development,2024,34(9):215-220.

[16] 孙继平.煤矿信息化自动化新技术与发展[J].煤炭科学技术,2016,44(1):19-23+83.
SUN Jiping. New technology and development of mine informatization and automation [J]. Coal Science and Technology,2016,44(1):19-23+83.

[17] 李富强.煤矿一体化智能工控平台构建[J].工矿自动化,2023,49(增刊2):99-102.
LI Fuqiang. Construction of integrated intelligent industrial control platform in coal mine [J]. Journal of Mine Automation, 2023, 49 (Suppl.2): 99-102.

[18] 张美星.大数据的发展对会计信息质量的影响[J].中国市场,2024(15):167-170.
ZHANG Meixing. The impact of the development of big data on the quality of accounting information [J]. China Market,2024(15):167-170.

[19] 邓军,肖旸,陈晓坤,等.矿井火灾多源信息融合预警方法的研究[J].采矿与安全工程学报,2011,28(4):638-643.
DENG Jun, XIAO Yang, CHEN Xiaokun, et al. Study on early warning method of multi-source information fusion for coal mine fire[J].Journal of Mining & Safety Engineering, 2011,28(4):638-643.

[20] 郑凌云.基于多源信息融合的矿井提升机故障诊断研究[J].设备管理与维修,2024(5):137-140.
ZHENG Lingyun. Research on fault diagnosis of mine hoist based on multi-source information fusion [J]. Plant Maintenance Engineering,2024(5):137-140.