

铲运机自动化出矿系统在上向分层充填采场的应用研究

梁新民¹, 王怀勇¹, 陈小伟¹, 张维国^{1,2}

(1. 中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038; 2. 北京科技大学 土木与资源工程学院, 北京 100083)

[摘要] 自动化采矿是现代矿业发展的趋势和重要标志,可以有效减少井下作业人数、提高生产效率、改善井下工作人员作业环境、降低企业运营成本,具有显著的经济和社会效益。文中介绍了国内外铲运机自动化出矿技术的发展现状、应用案例和降本增效情况。针对某深井开采矿山建设自动化试验采场的需求,创新了与自动化采矿设备相适应的采准工程布置方式和管理流程,为同类采用分层充填法开采的矿山应用铲运机自动化出矿系统提供了一种新的解决思路。

[关键词] 自动化采矿;降本增效;深井开采;分层充填法

[中图分类号] TD421 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1003-8884(2021)03-0068-08

DOI: 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2021.03.014

0 前言

国内大部分有色金属矿山采用充填法进行开采,充填开采具有显著的作业地点分散、工序复杂且时空上彼此约束等特点,属于典型的离散式作业,相对于崩落法,充填法采场回采工序较为复杂,采矿成本高,采场作业的机械化、自动化水平低,手持凿岩、人工装药、撬毛作业的矿山较为普遍。随着浅部矿产资源的耗竭,矿山转入深部开采阶段,面临“三高一扰动”的特殊开采条件,井下工作环境更加恶劣,安全隐患日益突出。传统矿山通过应用智能化技术,提升采矿装备的自动化、智能化水平,可以大幅度减少井下作业人员,实现“采矿办公室化”,为实现矿山安全高效开采创造了条件,尤其在有岩爆危险的深井矿山、大水矿山,有自燃危险等特殊开采条件的矿山具有更突出的意义,因此,智能化采矿技术被认为是未来地下矿山发展的主要方向之一^[1]。

[收稿日期] 2021-03-08

[作者简介] 梁新民(1990-),男,甘肃兰州人,工程师,硕士,主要从事金属矿山咨询设计、智能矿山规划、充填等相关工作。

[引用格式] 梁新民,王怀勇,陈小伟,等. 铲运机自动化出矿系统在上向分层充填采场的应用研究[J]. 有色设备, 2021,35(3):68-75.

1 国内外铲运机自动化出矿技术现状

1.1 国外铲运机自动化出矿技术现状

自 20 世纪 60 年代美国瓦格纳(Wagner)公司在 Grandview 矿山成功实验第一台 ST-5 型铲运机以来,铲运机以其高效、灵活、机动、多用和生产费用低等优点,在世界各国的地下矿山开采中,被迅速推广开来并得到了广泛的应用。随着电子技术和信息化技术的高速发展,地下铲运机的自主控制技术又得到迅猛发展。

按照自动化控制程度可以铲运机划分为四代。第一代地下铲运机是人工操控、液压控制,铲运机需要有操作人员在驾驶室操控进入采场进行作业,存在安全问题。为了解决此类问题,避免工人进入危险采空区,出现了第二代视距遥控铲运机,操作人员在可视范围内远程遥控铲运机进入采空区铲装、卸料,有在 5~250 m 范围内操控的无线电视距遥控和在 5~500 m 范围内操控的视频遥控两种方式。但这种控制方式有显而易见的缺点,由于地下灰尘和光线问题,操作人员遥控操作时视线不好,导致铲装时很难装满,同样存在安全和效率问题。基于上述缺点出现了第三代地下铲运机,操作人员可以在地下设置的控制室或地表中控室等远距离操控铲运机,使操作人员可以远离危险作业区,但这种方式需要操作人员专心驾驶一台设备,稍有疏忽会出现意

外事故。为了防止类似情况的发生,第四代半自主或自主操控地下铲运机应运而生,即部分实现自动化或整个过程全部实现自动化^[2]。

目前地下铲运机已经发展到具有自主控制功能的第四代铲运机。依靠自身携带的相关传感器完成姿态信息获取的同时,能够自主识别周围环境信息,指导其下一步控制策略。以铲运机的工作为例,其最主要的工作是在装载点和卸载点之间来回往复铲装、运输和卸载矿石,在这过程中,铲运机的自主铲装、自主行驶、自主卸载等关键技术构成了铲运机的自主控制系统。由于这些功能均在车载计算机的控制下自主完成,可大大节省人力和提高开采效率,一个人可以控制多台铲运机进行远程作业,第四代铲运机自主控制技术的发展,引领着未来智能化采矿

的发展方向。

国外著名的铲运机生产厂家瑞典的安百拓(Epiroc)、山特维克(Sandvik)和美国的卡特彼勒(Caterpillar)等通过长期的理论研究和现场试验,分别推出了各具特点的铲运机自主行驶和卸载控制系统,如山特维克搭载 AutoMine 系统的自动化铲运机、安百拓搭载 Scooptram Automation 系统的自动化铲运机和卡特彼勒搭载 MINEGEM 系统的自动化铲运机,自 20 世纪 90 年代起,开始在国外矿山进行了大量推广应用,如图 1 所示,取得了显著的经济效益和社会效益,并且随着自动化驾驶技术的成熟逐步扩展到了无人驾驶矿卡、自动化凿岩台车及辅助主作业车辆,距离井下实现无人化开采的梦想更近了一步。

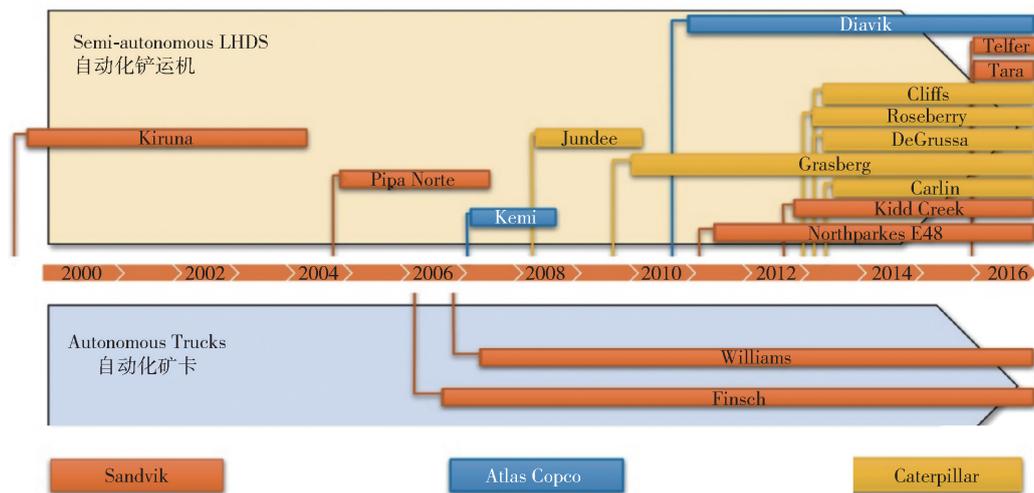


图 1 国外地下矿山应用铲运机自动化和矿卡时间表

1.2 国内铲运机自动化出矿技术现状

国内矿山经过多年的数字矿山工程建设,信息化水平不断提高,逐渐形成了覆盖矿山主要生产环节的通信网络及信息管理系统,具备了驾驭更高水平信息系统的的能力。随着矿山安全生产标准的日益严格以及矿山开采条件的挑战性逐渐升高,对矿山建设自动化、智能化和无人化等提出了更高的期望和要求。

国内对井下采矿设备的自动化控制系统研究起步较晚。近年来,通过国家“十二五”863 计划的科技攻关,为无轨装备的自动化、智能化和无人化开采作业提供了技术支撑。主要的一些采矿设备生产厂家通过引进、消化欧美国家的先进技术以及加强与科研院所和自动化公司的合作,以铲运机出矿远程

遥控为核心的采矿自动化系统已经形成,能够达到中深孔凿岩远程遥控、铲运机出矿远程遥控与自主运行、溜井口固定破碎锤远程遥控、地下无人运矿卡车及无人驾驶电机车运输系统、启用撬毛、锚固、喷浆等辅助台车设备作业的阶段,矿山井下作业人员的劳动强度显著降低。如凡口铅锌矿、大尹格庄金矿等实现了铲运机视距内或者远程遥控操作,解决了矿山生产采场安全问题。冬瓜山铜矿、红牛铜矿进行无人驾驶电机车升级改造,减人增效明显。金川二矿区及三山岛金矿分别进行了坑内矿卡及凿岩台车的地表远程遥控作业的尝试,并取得了一定的经验。

目前国内部分地下矿山正逐步试验推广第四代井下全自动化作业铲运机,可以实现对采场环境感

知和判断,实现真正的无人采矿作业。综合以上,目前我国地下金属矿山的信息化、自动化水平逐渐接近国际水平,一些矿山已经实现了固定设备无人值守和关键工序的远程控制,为未来全面实现矿山无人化开采奠定了一定的基础。

2 铲运机自动化出矿系统应用案例

国外矿山应用铲运机自动化出矿的时间较早,积累了许多现场实践经验,已经实现了铲运机铲装、运输、卸载全过程自动化,目前应用比较成功的矿山有芬兰的 Pyhäsalmi 铜矿、加拿大的 Kidd Creek 铜金



图2 铲运机自动化系统远程控制界面

加拿大的 Kidd Creek 矿采用下向深孔和上向水平分层充填采矿法,开采深度达到 3 120 m。该矿装备了 4 套 Sandvik 公司的单台铲运机自动化系统远程控制 4 台 LH514 型铲运机,操作站位于地表中央控制室。单台铲运机可以实现自动行驶、自动卸矿及远程遥控铲装。由于该矿井深达 3 000 m,地表距离井下距离较大,设备和人员从地表到井下的消耗时间较长,每天可达到的有效工作时间为 12 h,当采用自动化采矿技术后,每天的有效工作时间可延长至 15 h,同时矿山的生产能力提高 50%。

瑞典 Malmberget 铁矿同 Kiruna 铁矿一样,同属于 LKAB 公司经营,该矿采用无底柱分段崩落法开采,采用卡特彼勒铲运机自动化 MINEGEM 系统,操作员可以在十分舒适的操控室内进行工作,避免操作人员在危险环境下工作,降低了驾驶疲劳感。此外,该系统优点还包括:运行速度更快、大幅提高生产效率;设备故障率降低、大幅提升设备使用率;爆破后通风期间内可以继续工作,而不受因通风排烟对有作业时间的影响,有效作业时间延长 4~6 h,矿山生产效率提升 25% 左右。与此同时,设备发生碰

撞的几率以及发生碰撞后维修设备和修补受损区域的时间都已降为零^[4-6]。

瑞典的 Malmberget 和 Kiruna 铁矿、澳大利亚 Northparkes 铜矿等。

芬兰 Pyhäsalmi Mine 矿是矿山自动化的倡导者和实践者,该矿采用空场嗣后充填法开采,装备有 3 套 Sandvik 公司的 AutoMine-Lite 铲运机自动化出矿系统,每台 LH621 型铲运机自动化(铲运机从采场到溜井平均运距 250 m)每年出矿量可达 30 万吨,整个矿山产量较使用铲运机自动化前的 80 万 t 提高到 140 万 t 以上,全员劳动生产率 20t/人天左右。自动化出矿技术既降低了矿山采矿安全风险,又节省了人员交接班时间,提高了设备的利用效率^[3]。

撞的几率以及发生碰撞后维修设备和修补受损区域的时间都已降为零^[4-6]。

洛铂集团位于澳大利亚的 Northparkes 矿采用自然崩落开采,井下出矿采用 AutoMine Fleet 系统,可以同时控制多台铲运机自主出矿,该系统的可用性达到 95% 以上,而且每班次平均运行时间在 10 h 以上,该矿是目前全球唯一实现 100% 全自动化采矿作业的矿山。

3 自动化出矿试验采场建设

3.1 矿山概况

某金矿位于山东省烟台市,控矿断裂主要为招(远)—平(度)断裂带,矿体倾角与断裂带倾角相近,约 20°~40°,上盘直接顶板为断层泥和碳酸盐化变粒岩质碎裂岩,岩层软弱、遇水易坍塌,严重影响着主裂面处的回采安全和回收率。目前矿山生产能力为 3 500 t/d,采用点柱式上向水平分层充填法,如图 3 所示,资源损失率近 20%。

井下最低开采中段距离地表近 900 m,采场工作面环境恶劣,潜在深部开采岩爆和热害的风险。

随着开采深度的增加,地质资源的品位也有下降趋势。为了保持矿山的经济效益,改善工人作业条件,推进智能矿山建设,必须研究与自动化采矿系统相适应的自动化采矿新工艺和运营管理模式,提高采场出矿强度,降低贫化损失率,同时实现远程自主出矿,防止深井开采安全事故,提高单位人和自动化设

备的生产效率。因此建立井下自动化出矿试验采场尤为必要。作为智能矿山建设的一部分,该矿采购了一套铲运机自动化出矿系统用于井下远程出矿试验,待系统运行成熟稳定后逐步扩大到全矿工作面,减少井下作业人数。

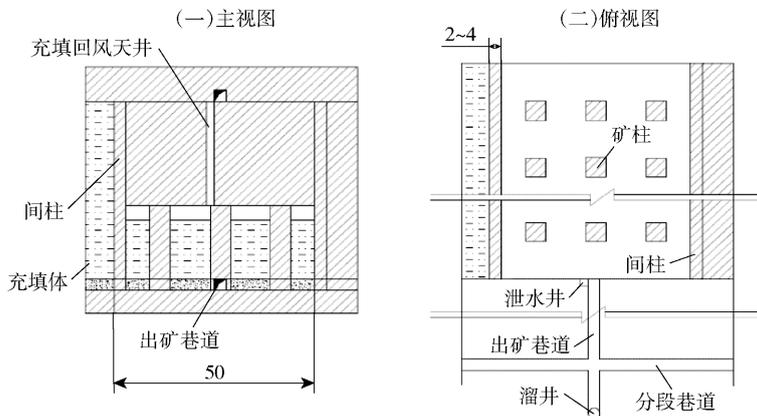


图3 点柱式上向水平分层充填法

3.2 铲运机自动化出矿系统

铲运机自动化系统一般由地表监控操作平台、自动化采区门禁系统、井下通讯系统 MineLAN 以及自动化铲运机车载控制系统等构成,如图4所示。

井下无轨设备自动化采矿系统具有自主导向功能,可对运行环境的感知,可建立巷道环境感知模型,实现铲运机最佳行驶路线的规划和障碍物的自主规避,可实现从装矿、运行到卸矿全流程自动化作业。

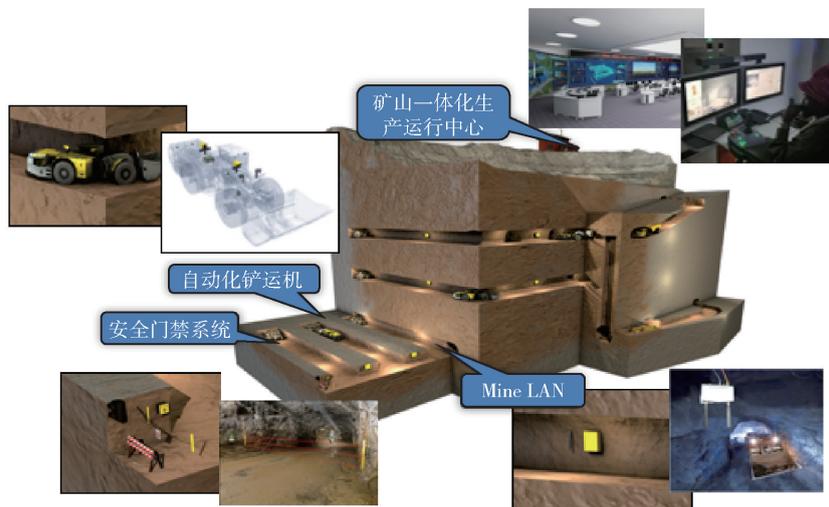


图4 井下铲运机自动化出矿系统

与传统的人在驾驶室操作铲运机出矿相比,铲运机自动化出矿系统具有以下显著特点,如表1所示。

3.3 铲运机自动化出矿试验采场位置选择

铲运机自动化出矿试验采场应尽量选择在矿体

连续、矿量集中,且不影响正常生产的区域。根据该金矿的中段开拓情况和矿体形态,试验采场初步选择在2[#]矿体-556 m中段的69~70线之间。该区段矿体一分段水平厚度在20~40 m,平均厚度34 m。

表 1 铲运机自动化出矿系统的特点及优点

特点	优点
设置单独隔离的作业区域	保障了井下人员的安全
设备可以精确、高速、安全的完成井下出矿作业	缩短生产循环周期,提高设备利用率,减少因碰撞巷道造成的无轨设备损坏
实时监测、生成设备运行状态报告	生产作业可视性、为提高设备利用率提供数据支撑
可在地表远程遥控多台设备	远离危险的生产区域,改善了工作环境,降低人员数量及人工成本
可以快速布置门禁系统、井下定位系统、通讯系统	自动化系统易于安装和配置,高效的完成采场转换,自动化系统可快速启动
采用标准 IP 通信	基于 TCP/IP 协议,井下矿山局域网覆盖,无需设置特殊的网络功能

3.4 铲运机自动化出矿试验采场建设

分析国外自动化采矿成功的案例,大多矿山都是矿体规模较大、采用阶段崩落法、自然崩落法或者空场嗣后充填开采的矿山,主要原因是这些方法作业工序比较简单、单循环出矿量大,出矿点相对固定的特点,容易实现自动化采矿和连续生产。在采用分层充填、进路式充填等采矿工艺的矿山应用铲运机自动化的案例则很少,充填法开采的采场一般生产能力较小,多采场交叉作业,自动化设备的利用率较低。在这类矿体中研究铲运机自动化出矿试验采场的布置,具有一定的引领示范作用。

(1) 自动化采矿作业的特点

自动化采矿技术作为一种高效、节约、安全的

矿山新型开采模式,是以开采工艺、智能装备、操作平台为核心的远程自动化采矿技术体系。建设现代化智能生态矿山,如何实现井下生产作业的少人化、无人化是其中的核心。需要结合矿体的赋存特征、回采工艺以及开拓系统,对传统采场的采切工程布置方式进行创新优化,使之适应自动化采矿作业的要求,满足盘区内各采场之间凿岩、出矿、充填以及辅助生产作业工序相对独立,又能够协同作业,最大程度延长铲运机自动化连续出矿的时间,从而提高单位人和自动化设备的生产效率。同传统采矿作业工序相比,在采矿设计布置、生产计划安排、生产管理等方面存在显著的差异,如表 2 所示。

表 2 传统采矿作业与自动化采矿作业之间的差异

	传统采矿作业	自动化采矿作业
采矿设计布置	采用常规的设计思路进行设计;地下采场设计需满足矿山安全开采规程要求,如安全间隙,断面大小、巷道坡度、设备的运行速度、溜井位置和通风环境等要求。	采用集约化、规模化大盘区大分段开采模式;盘区内凿岩、出矿以及辅助生产作业工序相对独立,又能够协同作业;优化采场结构参数和爆破参数,开采环境满足自动化出矿;需要设置门禁系统将自动化采区与有人作业区域进行隔离;自动化作业区域需实现全网络覆盖;井巷断面大小及硐室布置需满足井下自动化设备自主行走安全距离要求;自动化设备行走对路况要求较高,需要对路面定期维护;需要考虑油料硐室的位置及建设井下大型维修硐室的可能性。
生产计划安排	需要每天向矿山主管提交日生产计划;生产计划执行对象以各工区区长、班长、设备驾驶员为主;主管领导根据个人经验和主观意识调整生产计划。	以自动化设备为对象,中控室下发设计文件、生产任务至自动化设备操作系统,自动化设备按计划严格执行;生产计划不能随便人为更改;设备运行状态和工作量完成情况实时监控,设备发生故障时及时调整生产计划;在自动化作业环境中对生产计划进行分级、优化、匹配。
生产管理	矿山主管主要负责安排和管理下井作业人员。	矿山主管负责管理自动化采矿设备,了解每台设备的生产计划执行情况,设备的工作状态和运行参数。

(2) 自动化出矿采场生产管理流程

井下自动化出矿采场以智能采矿设备为管理对象,利用信息化手段在地表管控中心对设备运行状态和工作量完成情况实时监控,可及时调整生产计划,远程下发设计文件,实现短流程 SIC 控制,从而提高设备的利用率和采场生产能力。铲运机自动化出矿采场指令传递流程如图 5 所示。

(3) 自动化出矿试验采场采准系统布置

铲运机自动化出矿系统的采准系统要求尽可能

更多的连续作业时间,并且作业区域相对独立,避免因无关人员和设备进入门禁区域而造成铲运机停机。溜井布置和行走线路尽量简单,减少调头工序,减少无线网络覆盖盲区。每次出矿时间尽量长,从而体现出其连续作业的优势。为实现铲运机自动化的高效作业,矿块及采场布置必须围绕这一核心来布置与展开。对原采矿工艺进行优化,在厚大矿体处采用垂直走向上向水平分层充填法,试验采场的采准系统布置如图 6 所示。

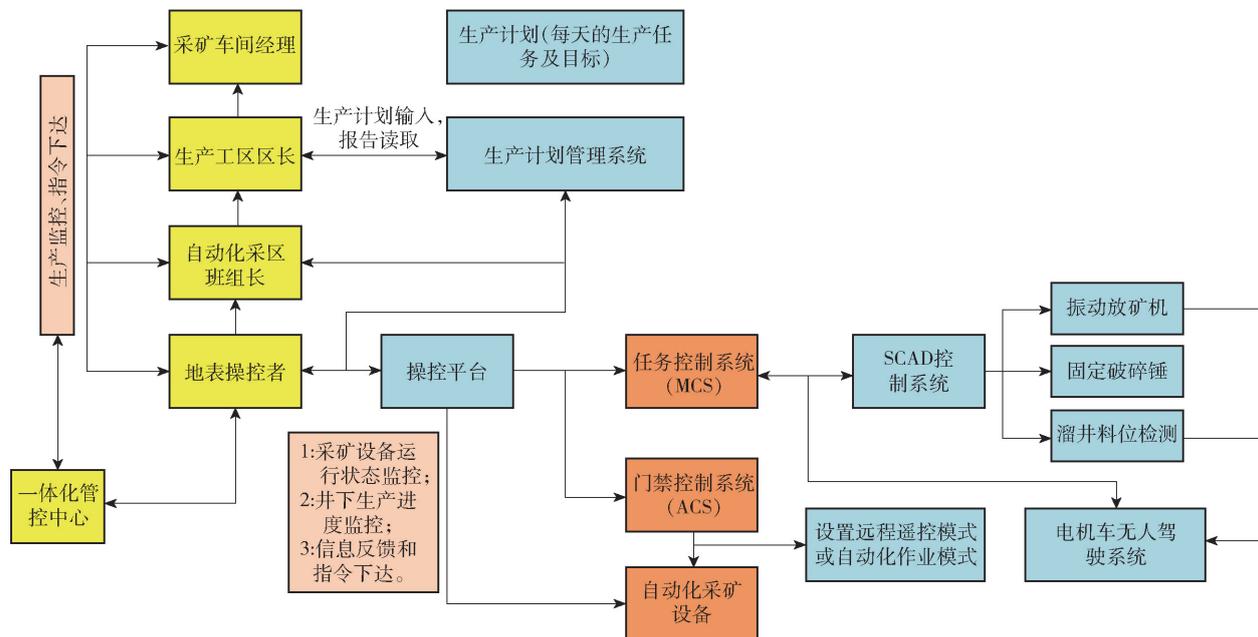


图 5 铲运机自动化出矿采场指令传递流程

将矿体划分为盘区,以盘区为回采单元组织生产。沿矿体走向每 120 mm 划分为一个盘区,盘区内划分为两个矿块,单个矿块长 60 m,宽为矿体厚度。中段高度 60 m,分段高度 12 m,分层回采高度 3 m,控顶高度 4.5 m。首采分层回采结束后,需制作钢筋混凝土人工假底,作为下中段采场的顶柱,不留顶柱、底柱和间柱,以提高资源的回收率。每个矿块设若干条垂直走向布置的采场,每个采场长为矿体厚度。矿块分矿房和矿柱进行两步骤回采,垂直矿体走向间隔布置。

采准工程布置在矿体下盘,采准切割主要工程有分段巷道、分段联络道、分层联络道、沿脉分层巷道、溜井、人行充填回风井、联络道等。爆破结束后,远程控制 7t 自动化电动铲运机进行出矿作业,矿石卸入脉外溜井内。分段联络道里设置门禁系统,保证自主出矿时,不受相邻矿块内采场作业的影响,提

高铲运机自动化的出矿效率。

顶板采用长锚索+喷锚网联合支护。采场回采完毕后即进行充填准备工作,充填管由人行充填回风井下放到采场。试验采场内其他辅助作业设备均采用机械化作业,配置与主体采矿设备自动化水平相匹配,充填挡墙采用轻体充填挡墙制作工艺,缩短各工序循环时间。

(4) 效益估算

结合国内外充填法开采矿山使用铲运机自动化出矿系统的运营经验,在自动化出矿设备和系统稳定、可靠,维保团队综合素质较高的情况下,自动化铲运机的综合利用率可提高 10%~30%,铲运机的行走速度可提高 15%~35%。若铲运机自动化速度按提高 20% 计算,设备利用率按提高 10% 计算,自动化铲运机台班效率可达 400 t/(台·班),相比同载重电动铲运机出矿效率提高 24%。

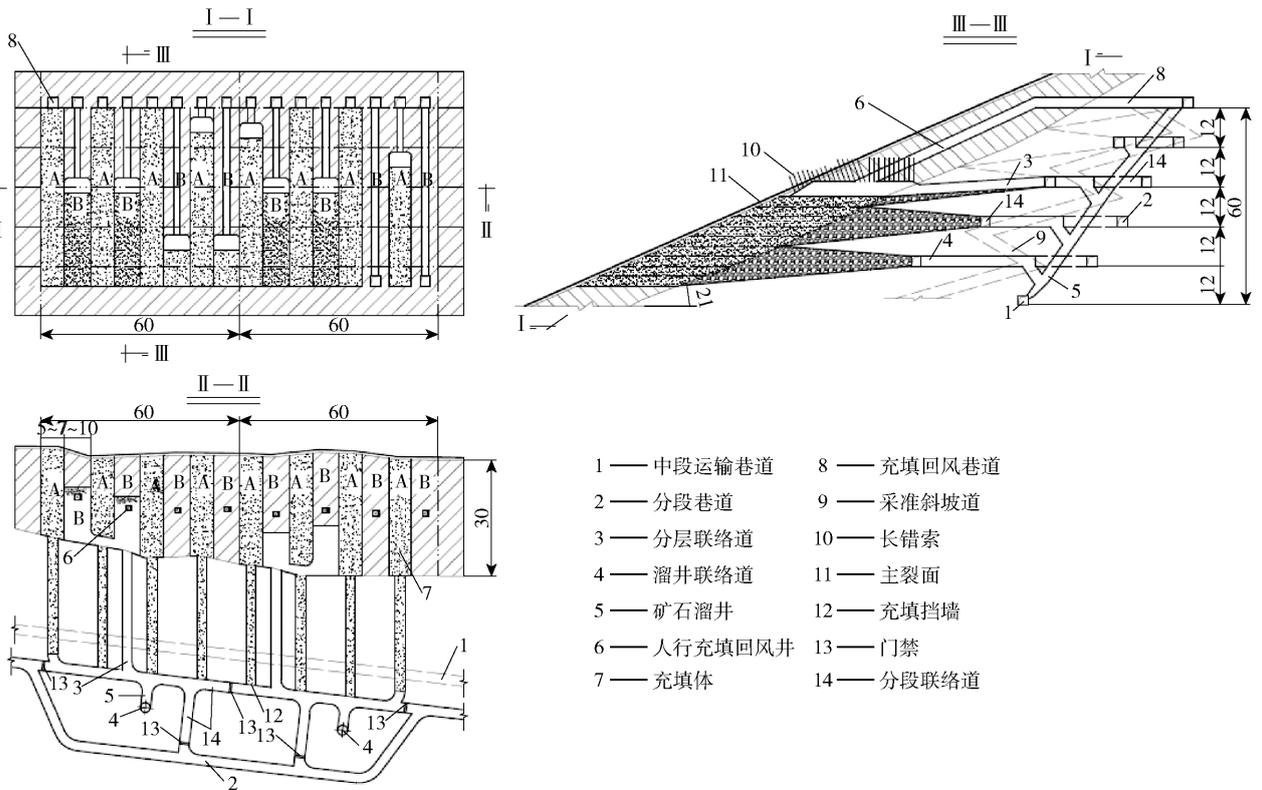


图6 垂直走向上向水平分层充填法(铲运机自动化出矿)

自动化铲运机车载系统搭载多种精密传感器,具有自我诊断功能,可以实时监测设备的发动机的温度,液压油温,传动数据,轮胎压力等,预测性维护的好处在于机械维修工可以在设备发生故障前或者定期维护之前更换有问题的设备零件,从而不会因为设备停机影响井下出矿任务。参考国外矿山的应用经验,相比矿山有人驾驶的铲运机,自动化设备的维护成本可降低 20% ~ 35%。

自动化采区门禁系统将设备和人员完全隔离,保证了井下自动化生产安全。矿工逐渐得以从井下恶劣的工作环境中解放,转移到舒适安全的地表远程遥控室内,生产效率、作业环境都大为改善,矿山的安全风险将显著降低,同时改变了传统矿山的运营管理方式。

4 结论

(1) 自动化、智能化技术的发展将不断促进采矿工艺的变革与创新。随着深部资源开采愈加恶劣,安全环保的要求更加严格,在分层充填或进路充填法矿山中建设铲运机自动化出矿试验采场具有一定的引领示范作用。

(2) 为了充分发挥自动化出矿设备的效率,辅助凿岩、装药、支护等设备要与主体自动化采矿设备和系统配套到位,加快采场的循环的速度;建立矿山生产信息管理系统,实现井下生产短流程控制,提高采场的综合生产能力和劳动效率。

(3) 先进的矿山管理运营理念是实现安全高效开采的关键,其中人是核心因素。在引进自动化装备和系统的同时,需要加强组织培训、提高员工的素质以及智能化设备的综合维保能力,避免出现木桶短板效应。

(4) 目前国家和行业层面正在大力推进智能矿山建设,尤其在以 5G、云计算、大数据、人工智能、工业互联网等先进技术为代表的新一轮科技革命趋势下,将不断推进传统矿业转型升级,推动井下自动化示范采场的建设,向“无人则安”的安全生产理念迈进。

[参考文献]

[1] 于润沧. 采矿工程师手册(下) [M]. 北京:冶金工业出版社,2009.
 [2] 饶绮麟,高孟雄. 无轨采矿技术与无轨设备的新发展 [J]. 矿业装备,2012(4):36-41.

- [3] 杨清平, 赵兴宽, 吴国珉, 等. 铲运机自动化出矿技术及其应用前景[J]. 采矿技术, 2016, 16(6): 21 - 24.
- [4] 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.
- [5] 赵兴宽, 王贻明, 郭蕊, 等. 自动化铲运机在缓倾斜中厚矿体开采中的应用[J]. 铜业工程, 2017(1): 39 - 43.
- [6] 尹川邦, 裴德军. 铲运机轮胎优化改进[J]. 中国矿山工程, 2016, 45(4): 91 - 94.

Research on the Application of the LHD Automated Mining System in the Cut-and-fill Mining Stope

LIANG Xin-min, WNAG Huai-yong, CHEN Xiao-wei, ZHANG Wei-guo

Abstract: Automated mining is the trend and important symbol of the modern mining. It can effectively reduce the number of underground workers, improve the mining environment, and reduce the operating costs of enterprises. It has significant economic and social benefits. The article introduces the development status, application cases and cost-saving and profit-increasing of the automated mining system at home and abroad. Combining with the demand of building automated stope in an underground deep mining mine, innovated the management process and the layout of stope preparation work, which needs to match with the automated mining equipment. The article also provides a new solution idea for the application of LHD Automated mining system in similar mines using Cut-and-fill mining method.

Key words: automated mining; cost-saving and profit-increasing; deep mining; cut-and-fill mining method



(上接第 67 页)

The Development, Industrial Application and Future of Copper Smelting Technology by Three Continuous Furnaces in Thermal Operation which means Oxygen-enriched Side-blowing Smelting Furnace—Multi-lance Top-blowing Continuous Converting Furnace—Pyrometallurgical Anode Refining Furnace

LI Jian-hui, GE Xiao-ming, LIU Qing-kang

Abstract: China ENFI Engineering Corporation and Yantai Guorun Copper Co., Ltd. have jointly developed the copper smelting technology by three continuous furnaces in thermal operation which means oxygen-enriched side-blowing smelting furnace—multi-lance top-blowing continuous converting furnace—pyrometallurgical anode refining furnace. After more than three years of stable production and continuous optimization, this technology is recognized by the industry as having reached the international advanced standard. This paper reviews the development background, performance history, and innovation and optimization in the industrial application of this technology, introduces its characteristics, and prospects the development direction of this technology.

Key words: oxygen-enriched side-blowing smelting; multi-lance top-blowing continuous converting; continuous copper smelting

