

# 略谈世界地下采矿设备的发展趋势

叶助青, 赵金元

(中钢集团衡阳机械公司, 湖南 衡阳 421002)

[摘要] 随着地下采矿业的快速发展,采矿设备的技术水平也在快速提高,同时采矿设备制造商之间的竞争也日益激烈。为了争取用户赢得市场,制造商竞相采用新技术改进老产品,推出新产品,从而促使地下采矿设备行业技术创新,涌现出许多新产品、新技术,本文的分析可为我国地下采矿装备的发展提供参考。

[关键词] 地下无轨采矿设备; 新产品; 新技术; 发展趋势

[中图分类号] TD421 [文献标志码] B [文章编号] 1003-8884(2022)03-0016-03

DOI:10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2022.03.004

## 0 前言

地下矿山采矿设备是实现高效开采的决定性因素,进而决定着矿山生产系统、矿山规模、生产安全、采矿效率、作业成本、经营效益等。近年来,世界采矿设备取得了很快的发展,国外的发展经验表明,大型化、无轨化的采掘装备能提高全员劳动生产率5~7倍。采矿设备利用数字化、信息化、互联网+的发展优势,走信息化与工业化融合发展的道路,实现信息化、智能化,加快了传统矿业的转型升级,驱使采矿设备走向“矿业+”的发展新模式。装备技术的发展,有力推动着地下非煤矿山开采从有轨到无轨方式的转变。目前,相当一部分露天矿山资源枯竭,逐步转为地下深部开采;而矿山行业兼并、重组和资源整合的加剧,也促使地下矿山由小型化转为规模化、大型化开采,这对于采矿设备的自动化、智能化,安全、节能、环保提出更高要求。

## 1 国外地下矿山采矿设备发展趋势

### 1.1 趋向大型化和微型化

地球上易开采的矿物资源逐渐枯竭,品位逐步下降。矿业公司为了社会对矿物资源的需求,逐渐

投向低品位矿体。扩大工作面尺寸、使用大型设备、加大开采规模等,是提高矿山企业经济效益最有效的方式之一。国际著名的地下采矿设备制造公司,如Caterpillar新推出的R3000H地下装载机,取代该公司最大的R2900XTRA地下装载机,新推出的额定载荷为63t地下卡车AD63替换原来的AD60,增加了5%的装载量;Sandvik新推出的51t载重量的TH551地下卡车和63t载重量的TH663i地下卡车都分别比原来的TH550地下卡车和TH660地下卡车载重量增加了1t和3t;Epiroc新推出的载重量85t的MT85地下卡车是当今世界上最大的地下卡车,它的载重量超过该公司以前最大载重量60t的MT6020地下卡车近42%,也超过以前世界上最大的Sandvik公司80t的TH680地下卡车6%。

地下采矿设备的大型化发展,也推动了地下大型采矿辅助设备发展,包括大型轮胎拆装、运输车、大型燃油和润滑油车、大型水车、洒水车等。

但另一方面,世界上地下矿山随着长期大规模开采,大厚矿体日趋减少。众多采矿公司将转向薄、窄脉矿床的开采,促进采矿设备向微型化发展。面对薄矿层,在市场上出现了低矮型、超低矮型采掘设备。以前生产低矮型(机高小于1.5m)地下装载机的仅有加拿大EJC公司,现在发展到几乎每个地下采矿设备公司都生产,最低机的高仅有0.76m。原来只有小型地下装载机有低矮型,现在大、中型地下装载机也有低矮型,而且还开发出超低矮型(机高1m左右)。这种发展趋势主要是因厚矿床经过长期开采已逐渐减少,薄矿层必须开采,且为了减少投

[收稿日期] 2022-01-05

[作者简介] 叶助青(1970-),男,湖南常德人,大学学历,工程师,主要从事矿山采掘运输设备设计和研发工作。

[引用格式] 叶助青,赵金元.略谈世界地下采矿设备的发展趋势[J].有色设备,2022,36(3):16-18,22.

资。如 Epiroc、Sandvik、SCHOPF、GHH 等公司生产的非煤地下矿井低矮型、超低矮型地下装载机和地下汽车, Komatsu 等公司生产超薄煤层(厚度介于 0.65 ~ 1.55 m 煤层)采煤机、薄煤层(厚度介于 0.95 ~ 2.05 m 煤层)采煤机及其它低矮型、超低矮型辅助采煤机械。而面向窄矿脉, SCHOPF 公司开发出 SLF 35 地下装载机、RDH 公司的 RDH 100D 型全系列窄矿脉地下装载机、Youngs Machine 公司 460 系列、470 系列和 960 系列地下汽车、Epiroc 的 Boomer T1D 单臂掘进凿岩台车、MTI 公司参展的 NV1 液压凿岩台车、Brokk 公司的薄矿脉开采遥控电驱动 Brokk 100 工具运载机也是为窄矿脉采矿生产的。

## 1.2 向多功能化发展

多功能化是当今地下装载机发展的另一个重要特点。由于地下装载机利用率很低(一般低于 60%),为了充分发挥地下装载机的潜力,提高其经济效益,地下装载机制造厂商纷纷推出一机多用的地下装载机,即把地下装载机的工作机构通过快换机构临时换成其他用途的工作机构,扩大地下装载机的功能。例如,可换成液压破碎机用于修路,就地取材、破碎废石、修理路面;为了平整路面可换成压滚,可用作压路机和平地机;更换为铲叉,可以搬运物料,变成叉车;更换为起重臂,可作为起重机;为了在爆破后清除岩石表面松动的石头(浮石),以防其在随后的工序中崩落伤害人身与设备,把地下装载机工作机构换成支臂机构和液压破碎锤就成了撬毛车。

## 1.3 向电动化和电池驱动发展

能源是经济社会发展的重要物质基础,也是碳排放的最主要来源。BEV (battery-electric-vehicle) 最初是由北美和欧洲因地下矿山开采深使通风和冷却困难而推动发展的,现在各国政府对碳达峰碳中和已形成高度一致的共识,纷纷制成行动方案。矿山企业作为能源消耗大户,必须承担相应的社会责任,环保、气体排放要求促使 BEV 在全球得到快速发展。GMG (Global Mining Guidelines Group) 在 2016 年 6 月就发布了首版 BEV 应用指南,其电气矿山工作组正在研究起草电气矿山技术指引,涉及使用、试验和设计。ICMM (International Council on Mining and Metal's) 由 27 个世界最大采矿企业和著名采矿设备企业共同设立一个 ICSV (Innovation for

Cleaner, safer Vehicles) 计划,创立一个“无竞争空间 (non-competitive space)”,以实现安全、健康和环境朝向零危险和无排放的目标,到 2025 年使柴油机排放最低化,到 2040 年露天矿无温室气体排放。

最近几年动力电池技术快速发展,动力电池包能量密度更高、重量更轻、充电时间更短,循环周期更长。南非 Rham 公司通过静液压驱动系统向轮边电机提供 40% 再生电能,使  $\text{LiFePO}_4$  电池包规格更小。

试验证明,使用柴油机驱动的地下采矿车辆会使环境温度升高 8 度,而电驱动地下采矿车辆仅升温 2 度,Borden 地下采矿实现全电动化后,通风成本降低了 40%。现在,深部采矿企业一方面新购 BEV 设备扩大使用规模,另一方面与专业动力电池企业合作改造现有的柴油驱动无轨采矿车辆。

地下采矿设备 OEM 企业积极研发 BEV 适应市场需求。Epiroc 加强与 ABB、Northvolt 在电传动和动力电池的合作,其第二代 BEV 设备 ST14 和 MT42 已在井深 -1 800 m、硬岩温度高于 55°的深部矿井得到验证和使用;Sandvik 在 2019 年 2 月完成对美国 BEV 制造商 Artisan 的收购,后者的核心技术包括动力电池、电机、功率电子器件、软件和控制系統。Sandvik 采用 Artisan 创新技术推出第三代 18t 电池驱动 LHD,可与 Artisan 研制的电池驱动载重 50 t 的运矿车 Z50 相匹配。该公司还研发出电池辅助电动 LHD-LH514BE,适合于经常转场作业,当转场时用电驱动、铲装时由电缆供电、坡道时电池助力。在 2022 年 2 月 17 日的 2022 年世界电动矿山会议上,该公司发布了载重 65 t 的电池驱动运矿车 TH665B,其样机已完成工厂试验,将在 Sunrise Dam 金矿进行工业试验,预计 2023 年投入商业生产;Caterpillar 在 2017 开发 BEV,2018 年推出 R1700XE (17 t 地下装载机)和 MEC-500 快充系统,其电液系统将提升力提高 65%。同燃油的 R1300 相比,总能源费用降低 10 倍,热量降低近 8 倍,噪声显著降低。Paus 早在 19 世纪 90 年代便开始开发 BEV,可机上充电、制动再生发电回充,动力电池包符合 ECE-R100 标准。

根据矿山位置、海拔高度和作业环境差异,BEV 相比柴油驱动价格高 20% 左右。但随着技术的进步和规模的扩大,部件供应链和价格差距在缩小,而性能差距在扩大,已显示出强大的发展趋势。

## 1.4 向自动化和智能化发展

随着地下深部采矿条件愈来愈恶化、危险性越来越大,操作人员的人身安全和职业健康受到高度重视。近几年信息技术的飞速发展,使得地下采矿设备开发和应用半自动化、自动化和智能化成为可能,目前地下采矿设备的自动化和智能化已取得了实质性进步,在地下矿山,无人驾驶控制和集中控制的采矿设备进入应用阶段。在今后几十年里,完善的自动化和信息技术将会在采矿设备得到更广泛应用。信息技术是应用信息科学的原理和方法同信息打交道的技术,它包括有关信息的产生、检测、交换、存储、传递、处理、显示、识别、提取、控制和利用等技术。其典型代表是传感技术、通信技术和计算机技术。传感技术是关于传感器的设计、制造、测试和应用的综合技术,传感器的作用是将外部运行信号、车辆状况信号、驾驶员的操作信号变成电信号,并把它送到控制单元处理后产生一定的控制信号,使执行元件输出相应的物理量。通信技术包括卫星通信、电视、电话等。电子计算机可以处理和存储信息。

随着 4G、5G 无线通讯技术的推广应用,大型矿业公司纷纷同移动公司合作建立专用 LET,为采矿设备自动化和智能化奠定了基础。ISO、ISA-5、OPAF 和 GMG 等国际组织正在制定自动化采矿相关标准或应用指引。许多 OEM 已开发出相关产品并在地下矿山完成了试验和验证。Epiroc 开发的 Scooptram Automation Total 系统允许多台机器自动装载,其核心技术是 Traffic Management system,已用 ST18 地下装载机在多个矿山进行试验。Sandvik 开发的 AutoMine 8 平台通过 LET 通讯网络使 LHD 和运矿车实现自动化。Caterpillar 在 Cashman 设备公司支持下与 Newmont 采矿公司联合开发地下硬岩 LHD 和运矿车自动化系统 Command,它是 Caterpillar 自动化采矿系统 Cat MineStar TM 的子模块。

## 2 我国地下无轨采矿装备现状及发展方向

我国非煤地下矿山无轨采矿设备三十多年来经过引进、消化吸收和自主开发,已经形成系列化产品,可满足国内矿山无轨开采需要,但与国外先进产品相比,还有较大差距,特别是基础零部件的可靠性、自动化和智能化水平差距更大。

从世界采矿的发展方向可以看出,连续和半连续采矿设备的国产化必将成为矿山装备国产化的一

个主攻方向。另外,在地下无轨采矿设备的开发研制方面,今后的主要发展方向是提高这类产品的国产化率,同时提高关键零部件可靠性和国内市场占有率。

此外,矿山企业在采矿装备创新方面也有强烈的愿望和要求,迫切希望利用新设备降低成本,增强竞争能力,希望使用先进采矿装备在开发国外资源上与发达国家直接竞争。

国内一些企业在地下无轨采矿设备动力电池驱动、自动控制技术应用方面也正在大力开发和试验。如金诚信作为大型地下矿山建设和开采企业,研制出的 2 m<sup>3</sup>锂电池 LHD 于 2019 年 7 月在安徽陆江铁矿 -296 m 作业面工作;3 m<sup>3</sup>锂电池 LHD 于 2019 年 11 月在北京密云铁矿试验,可连续装载 65 车,充电 30 min。

目前,我国至少有十家以上的企业在开发地下装运设备的远程控制和自动化技术。如总部位于成都的 Alpha 工定智能控股公司为蔡家营锌金矿的二台 SINOME ACY-3L 装载机匹配可视遥控系统,还自主开发了 TLHD-WJ-2D 装载机,可以现场和远程两种模式运行,LHD 工作数据可以上传到 Alpha 智能维护云,进行故障分析和维修预测。

## 3 结论

在我国绝大部分地下矿山中,采矿装备水平还很低,采矿生产效率不高,装备国产化率很低,尤其是大型装备与世界发达国家之间的水平还相差很大,必须加大研发和投入的力度,采用先进的科学技术来不断的提高地下矿山的装备水平,向装备的自动化、智能化、信息化发展,走信息化和工业化融合发展的道路,加快传统矿业的转型升级,驱使矿业采矿设备向“矿业+”的发展新模式方向发展。

### [参考文献]

- [1] 何文胜,赵金元. 国内外动力电池地下装载机现状与发展趋势[J]. 有色设备,2020,34(4):87-92.
- [2] 张方泽,赵金元. 略谈国内外地下装载机自动化现状与发展趋势[J]. 有色设备,2020,34(4):96-99.
- [3] 高梦熊,王森,赵秉镇. 地下装载机主要零部件的最新发展[J]. 矿山机械,2002(6):21-23.
- [4] 张耀明,高梦熊,赵金元. 世界矿业新技术、新品种——2012 年世界矿业展览会纵览[M]. 北京:冶金工业出版社,2013.

(下转第 22 页)