

采矿设备的大型化与智能化（2）

□ 王 磊 湘潭电气设备制造有限责任公司

（接上期……）

露天装载设备的发展现状

现代大型露天矿使用的装载设备主要有电动机械式挖掘机、液压挖掘机和轮式装载机3种。电动机械式挖掘机一直是大型和超大型露天矿的主导装载设备。目前，生产大型电动机械式挖掘机的公司主要有美国的久益P&H公司、比塞洛斯公司（1997年收购马里恩Marion公司，2010年被卡特彼勒公司整体收购），俄罗斯奥姆斯（OMZ）矿山设备公司和乌拉尔重型机器厂，中国有太原重工股份有限公司、第一重型机械集团、抚顺矿业集团机械制造厂、中钢衡重和首钢矿业公司机械厂等，此外，河北宣工集团等也正在涉足电动机械式挖掘机的研发和生产。其中，美国几乎垄断了全球电动机械式挖掘机市场，中国近几年国产电动机械式挖掘机的增长势头迅猛，斗容量15 m³以上的电动机械式挖掘机基本被太原重工垄断。

美国久益P&H公司是世界上著名的生产大型矿用机械的主要企业，矿用电动机械式正铲挖掘机国际市场占有率第一，其产品的技术水平代表

了当代国际先进水平，采用齿轮齿条刚性推压方式，电气系统采用可控硅供电和直流电动机驱动，目前国内主要有2300XPC、2800XPC和4100XPC型及其系列变形产品在应用。P&H公司于1991年推出的5700型电动机械式挖掘机，整机质量达1 667 t，铲斗容量60 m³。P&H最大型号的电动机械式挖掘机9160工作质量7 718 t，斗容量122.3 m³，臂长129.5 m。

原比塞洛斯公司是另一家全球著名的大型矿用挖掘机制造企业。其主导产品采用钢丝绳柔性推压方式，斗杆为圆形截面的高强度免扭结构，电气系统采用交流变频控制技术。目前国内主要应用的产品有295、395、495型及其系列变形产品。



图2 原比塞洛斯495HF型电动挖掘机与卡特797型汽车配合装载作业



图1 P&H 4100XPC型电动挖掘机正在装卸

原比塞洛斯公司已经推出的特大型795型电动机械式正铲挖掘机，其铲斗一次标准挖装能力高达122.5 t，铲斗容量为68.8 m³。该公司生产的最大矿用电动机械式正铲挖掘机1950型，整机重量达6 350 t，铲斗容量80 m³，单斗挖装能力高达143 t，吊臂长度61 m，设备高度67 m。

俄罗斯奥姆斯（OMZ）矿山设备公司和乌拉尔重型机器厂生产的电动挖掘机均为前苏联时期的ЗГК系列矿用挖掘机，其产品的标准斗容量都在30 m³以下。例如ЗГК-5、ЗГК-



图3 原比塞洛斯公司的1950型电动挖掘机在现场组装

12.5和35K-15等型号电动挖掘机。

我国正在使用的35K系列电动挖掘机控制系统也基本上被国产化升级改造。

太原重工股份有限公司是我国唯一生产大中小型矿用电动挖掘机全系列的大型企业。其产品占据着国内80%以上的市场，并在近几年有少量产品打入国际市场。其代表产品有WK-4、WK-10和WK-20型电动机械式挖掘机。

在国家加快振兴装备制造业政策的激励下，在吸收消化美国P&H系列挖掘机制造技术的基础上，汇集多年生产4m³、10m³电动机械式挖掘机的成功经验后，太原重工于2005年自主开发斗容量为20m³的WK-20型电动机械式挖掘机。2006年3月，我国第一台具有完全自主知识产权的20m³大型挖掘机正式投入矿山生产。20m³大型挖掘机的研制成功标志着我国电动机械式挖掘机制造技术的成熟，探索出了一条我国自行研发制造电动机械式挖掘机的新路子。

2007年，太原重工为准格尔煤矿生产2台WK-35型（斗容量为35m³）大型电动机械式挖掘机。2008年，太原重工为平朔露天煤矿成功试制了2台WK-55型（图4为太原重工WK-55型电动机械式挖掘机，斗容量为55m³）大型电动机械式挖掘机，于2009年11月末正式交付生产使用单位。目前，太原重工WK-75型电动机械式挖掘机（斗容量为75m³）也已进入生产试制阶段。

太原重工电动机械式挖掘机的电气控制系统主要由湘潭电气设备制造有限责任公司（简称湘控）生产配套。同时国内各大矿山使用的电动机械式挖掘机也基本上由湘控进行技术改造，湘控也是国内唯一一家具有对国外电动机械式挖掘机电气系统进行国产化改造的高新技术企业。



图4 太原重工WK-55型电动机械式挖掘机正在剥离

制造大型装载设备的新技术

汽车载重量的加大，为大型装载设备的发展提出了要求。而高新材料和微电子技术的进步、大功率柴油机和大规格轮胎相继研制成功，为装载设备大型化发展创造了条件。20世纪末，大型装载设备的制造公司陆续采用新技术、新结构和新工艺，使大型装载设备变得更先进、更可靠、效率更高。在21世纪，更加灵活可靠的、造价较低的大型装载设备登上了露天开采的舞台。

原Marion公司对电动机械式挖掘机的工作装置进行优化设计，合理确定结构尺寸，使铲斗在不同挖掘位置都具有足够的切削力，特别是204M型超前电动机械式挖掘机是电动机械式挖掘机发展140多年后出现的新机型，其可变铲斗切削角的特点是合理运用了杠杆、滑轮和三角结构，使其在机重、功率相仿情况下比传统挖掘机切削力增大2.5倍，斗容量增加33%。

P&H公司仍然采用双斗杆齿条推压结构，但采取增加起重臂上段长度减小斗杆长度的措施来提高铲斗在挖掘位置上提升力的有效利用；同时采用原理简单的可变速电机DC驱动系统，降低了维修费用；新型诊断系统可在电子部件发生故障时对其进行诊断，并在屏幕上显示应采取的正确动作；载重量监测系统可以实时计量出装入汽车的每一斗物料的实际重量，以及铲装总重量和总体积，其称量精度可达2%左右，从而防止矿用载重汽车的过载和欠载。

原比塞洛斯公司的电动机械式挖掘机工作装

置采用了单梁圆形斗杆，可以承受扭转力；三级缓冲减振作用减轻了挖掘过程中的冲击动载荷；取消了提梁的扁形铲斗具有高效快装特点。AC 动力驱动系统可实现异步电动机变频调速、平滑起动和制动，电力保养简单、能耗低，供电电压允许瞬时波动范围为 -30% ~ 10%，不会损坏零件。

太原重工应用大型矿用挖掘机载荷谱及挖掘轨迹研究的成果，基于虚拟样机的整机性能分析和仿真优化设计技术，实现结构件的三维参数设计及有限元分析等。大量采用优质低合金高强度调质、齿轮表面渗碳淬火、磨齿和齿根喷丸强化等先进工艺手段，采用驱动轮高置的近似链轮-链条驱动的履带驱动系统，大大提高了设备结构件、传动件等零部件的使用寿命。

露天开采设备的智能化发展进程及趋势

20世纪70年代以前，露天矿设备在实践中较多注重推行先进的制造技术。进入20世纪80年代以后，随着微电子技术和卫星无线通讯技术的飞速发展，露天矿设备在开发和应用方面逐步开始了自动化和智能化进程。首先是车载监控，早期的电动机械式挖掘机仪表及监控系统是这方面的工作先驱，它可以向驾驶员提供维护报警、向管理部门提供生产维护方面的数



图 5 配有微处理器分析系统的电动挖掘机操作

据。例如，原比塞洛斯公司开发了以微处理器为基础的电动挖掘机分析系统（见图5），用于提高挖掘机效率与改善性能指标方面的分析服务。后来又开发了一些专用功能模块，将它们与一个完整的、交互式的机器管理系统联网，进行作业成本分析、采矿计划反馈以及维护控制。再后来开发了车载监控技术，用于监控机器的完好状态和提供相关维护信息。目前国外生产的露天矿大型穿孔、装载和运输设备一般都配有车载监控分析系统。

与此同时，矿山调度系统逐步在露天矿得到推广。它们由人工调度进步为自动调度，监控目标也由重点设备发展为全矿范围的监控。首先是美国模块采矿系统 (Modular Mining Systems) 公司推出一种名为 Dispatch 的矿山管理系统，应用于露天矿的优化运输生产中。起初这个系统只是用于运输汽车的调度，如今已经发展成集成化的系统，可以全面提供实时数据和前期生产数据，也可与用于监测机况的机载可编程逻辑控制器和卫星定位系统连接，进行实时的设备监控。

温科国际采矿系统公司 (Wenco Int. Mining Systems) 开发集成化车铲作业与管理系统，目的是用模拟方法生成开采计划来解决卡车挖掘机调度、以及用于设备维护的故障诊断与监控。该系统在不断地完善和升级，现在可以支持利用 GPS 的管理信息系统。而阿德奥尔特 (Adont) 公司的 Charlemagne 系统，可以按班编制设备利用计划和保证品位控制。它的目标是在相应的约束条件下使产量最大，如在电铲与卸载点之间选取最优的汽车运行路线并计算电铲生产能力。

在视线范围内的机器远距离控制也开始在露天矿得到应用，美国西雅里塔 (Sierrita) 矿在 1 台卡特彼勒 992C 型装载机上，应用了黑匣子自动化公司 (Blackbox Automation Co.) 安装的视线范围内无线电远距离控制系统。无人驾驶电动挖掘机的应用也在扩大，今后露天矿将在集中控制室内进行远距离操作。

未来露天矿设备的控制与监视系统将通过遥测技术全面与矿山调度与维护管理信息系统连接在一起。采矿设备的发展拥有广阔的空间，更多先进技术的应用也加快了设备升级换代的步伐。随着国家经济建设的不断增强，更多的国外厂家着力于中国市场，对我们既是一种挑战也是一个机遇。在引进国外采矿设备的同时，我们要吸取其先进的制造技术，更要提高自主创新能力，达到并超过国际同类产品水平。ME