

# 智能矿山如何从“提速”走向“提质”

■本报记者 杨沐岩

在日前举办的中国国际煤炭采矿技术交流及设备展览会上,一批涵盖煤矿智能化建设、绿色低碳转型、清洁高效利用等方面的最新技术与装备亮相登场。智能设备是重塑行业格局的关键力量,我国综采、掘进、运输等全流程装备智能水平已跃升至世界领先。

《中国能源报》记者在展会上了解到,近年煤炭行业密集涌现了大模型、智能云平台、数字孪生系统等一批新技术。未来,随着数字孪生系统逐渐完善、人机协同水平进一步上升,矿山智能设备将更加易用。AI、具身智能技术加速发展,矿山智能装备将成长为“会感知、会思考、会执行”的智能体,让智能矿山升级为“智慧矿山”。

## 智能开采已成行业亮点

“当前,以煤矿智能化为导向的科技创新步伐正在加快,科技和产业创新深度融合。近年来,首个国家级区块链平台、行业全产业链智能云、行业大模型已经上线运行,智能化开采取得重大进展。”中国煤炭工业协会会长梁嘉瑞表示,当前,煤机智能制造成为行业亮点,覆盖“采、掘、运”的智能化、数字化、信息化装备水平已经达到世界之最。

在神东矿区,“煤海蛟龙”穿梭地下,掘进、支护、运输等复杂工序“三位一体”,月进尺达3088米,创造单巷掘进月进尺世界纪录。智能技术也深入综采场景,支撑从薄煤层到大采高煤层的开采。国家能源投资集团副总经理杨鹏说:“我们已建成世界首套8.8米超大采高智能工作面,连续稳产高产。首个薄煤层智能化无人工作面也已投产,生产效率提高16.7%。”

据了解,截至今年4月,全国已建有

1806个智能化采掘工作面,建成智能化工作面的煤矿达907处,煤矿智能开采产能占比超过50%。矿山智能化建设的推进,让超1.6万个固定岗位实现无人值守,重点煤矿企业智能化综采工作面单班作业人员减少6人以上,劳动工效提高20%。

随着一批多种类型、不同模式的智能化煤矿落地投产,近年煤矿智能化发展也由示范建设转向规模推广。但目前我国煤矿智能化仍面临建设进展不平衡、基础不稳固、常态化运行水平低等一系列问题。其中,高等级的智能工作面常态化运行率常年不足60%,相比“到2026年智能化工作面常态化运行率不低于80%”目标仍有差距。

## “人机协同”破解常态运行难题

中国工程院院士、江西理工大学校长葛世荣认为,矿山智能化的根本目的在于追求“减人、增安、提效”,但在复杂多变地质条件下,目前的智能装备仍有可靠性欠佳、感知不精准、数据交互不足等多种缺陷,难以达到全自主运行目标,将地质数据化、装备智能化,同时提升人机协同水平,是解决这个难题的有效途径。

“智能矿山发展如果过度追求无人化,把人类的经验和智慧放到一边,其实在无形中加大了对智慧矿山技术要求和运行难度。”葛世荣看来,智能装备是硬件,地质数据是软件,通过人机协同将两者结合,是智慧矿山未来发展的可行方向。“人机协同既能实现特定的无人化作业,又能弥补智能技术的短板。”

要提升人机协同水平,离不开数字孪生技术的支持,通过构建出一个与物理矿山高度相似的虚拟矿山,实时反映物理矿山的运行状态,利用数据分析和模拟预测,



▲中煤大海则煤矿井下采煤机割煤场景。

◀中煤大海则煤矿智能采制化实验室。

为生产决策提供科学依据。葛世荣表示,数字孪生的最大优势在于“以虚控实”,能够让人员对设备实施超视距的远程控制,矿山设备控制从“身临其境”转变为“身如其境”。“在有些矿山,数字孪生系统已初具雏形,通过对矿山的精确建模,无人驾驶矿车可以在道路上按规划路线行驶,工作人员可以在距离矿山1000公里以外的位置控制矿车启停。”同时,数字孪生系统也需要内置大模型、专家系统、知识图谱等,对传感器实时采集的煤岩识别、矿山压力、煤流监控等数据进行自主分析,依托算法进行调优决策并反馈回设备。

## AI助推矿山走向“智慧”

从近年来一批矿山大模型相继发布,

到今年矿山企业掀起“AI接入潮”,AI正引领“山”行业智能化发展的“新潮流”。与当前已能够实现自适应、自主学习的矿山设备相比,AI能更进一步了解信息间的逻辑关系,跳出既有数据的限制进行自主推理,让矿山从“智能”走向“智慧”。

例如,陕煤集团将AI和风险管控体系相结合,发挥NOSA体系让安全管理有标准、可检查、可持续优势的同时,利用AI让风险识别更精准、预警更及时。陕西煤业化工集团副总经理袁广金表示:“AI+NOSA智能风险管控系统应用以来,集团安全周期超1000天矿井达33对,员工工效提升40%,百万吨死亡率下降92%。”

中国中煤能源集团副总经理、总工程师马世志指出,培育煤炭新质生产力,核心是推进生产全流程与人工智能深度

融合。近年来,中国中煤推动“人工智能+”全面落地,各生产企业部署计算机视觉领域场景应用160余项,边缘侧小模型1080个。不仅在井下,AI在电厂运行和巡检、化工智能生产方面也取得良好应用成效。

葛世荣预测,伴随未来AI进一步发展,具身智能将成为矿山机械的发展趋势。AI将赋予传统设备“生命”,成为自主感知、自动决策的智能体。掘进机将成为“穿山甲”,行进机构、截割头和碎岩运输等复杂工序协调默契;支架将成为地下“大象”,自主感知顶板压力并自适应调控支撑力,跟随采煤机实现自主移动和围岩支护。未来,越来越多“会感知、会思考、会执行”的智能体将替代人员下井,煤矿将从“人管设备”转向“设备管设备”。

## 江苏南通:风电安装船生产忙



### 图片新闻

近日,江苏省南通市通州湾高端装备临港产业园的码头上,工人们正加紧建造多艘风电安装船,全力冲刺第四季度生产任务,为确保完成全年目标打下坚实基础。 人民图片

# 杰瑞全面开启压裂柱塞泵新时代

■本报记者 梁沛然

日前,塔里木盆地8226米深的博孜1904井,刚刚完成了一场国产装备的高压极限测试——154.68兆帕的施工压力,创下国内外压裂施工最高压力纪录。钻井深度突破8000米、压力强度攀升至120兆帕以上,作业时长更是要求达到每年6000小时不间断运行……随着全球非常规油气资源大规模开发,水力压裂作为其核心增产技术,正朝着大规模、长时间、高强度的作业模式发展。这一系列数字背后,是能源行业向深海进军的技术雄心,也是对装备极限性能的严苛考验。如何打破传统柱塞泵在极端工况下频发的开裂、磨损与维保难题瓶颈,成为整个能源装备领域亟须回答的命题。

## 技术破局超长待机

随着全球能源需求持续增长,超深

井与非常规油气资源开发已成为能源增产的主阵地和保障能源安全的重要支柱,能源装备的技术革新正不断成为推动行业发展的核心驱动力。这一趋势也对压裂作业的“心脏”设备压裂柱塞泵的性能、可靠性和维保周期提出了前所未有的要求。

深井压裂技术是页岩油气关键技术,柱塞泵作为压裂装备的“动力心脏”,其性能和寿命,正深刻影响着非常规油气开发的深度与效率。比如,在实现页岩气商业化大开发的美国,压裂作业更需每年应对超6000小时不间断运行的极端工况。传统柱塞泵寿命短、易开裂、维保频繁、稳定性差等痛点,已难以支撑更高强度的作业需求,正成为行业实现下一个数千万吨油气当量跨越的关键瓶颈。

挑战之处,必有破局之道。“我们通过自主创新实现技术破局,重磅研发出超长寿命、超大排量的盘古系列柱塞泵。它采用自研JRZT系列高强度材料,一体化铸造的动力端、减速箱及十字头箱壳体,以‘盘古’命名,彻底告别传统泵‘频繁更换、停机损失大’的压裂时代,引领行业迈向高效、不间断作业的新纪元。”杰瑞集团中心研究院总工程师姜一博说。

杰瑞解决了传统泵“用不久、修不停”的行业痛点,用亿冲次循环无损性能,重新定义柱塞泵寿命极限。

## 智能化高效护航

技术的突破不止于结构,新一代盘古泵深度融合了状态监测系统,给泵装上实时体检仪,实现了从“故障后维修”到“预警式维护”的跨越。

“泵体的关键部位在运行时,状态健康情况,我们都可以瞬时感知到,动力端故障预测准确率达到100%,液力端也高达97.7%。”姜一博说。

可以说,实时监测彻底改变了从“定期拆检”变为“按需维保”的传统的维保逻辑,既避免了过度维护带来的二次损伤,又能精准防范突发故障。

当多台设备协同作业时,智能化系统能够根据各泵的健康状态智能分配负载—健康度较低的设备承担较轻任务,而状态最佳的设备发挥最大效能。“这种‘田忌赛马’式的智能调度,确保了整个井场在设备生命周期内始终保持最优作

业效率,真正实现了从单机智能到系统智能的跨越。”姜一博解释说。

## 重塑新市场图景

随着盘古泵在北美、中东、中国等地的极端工况中不断验证其性能,一场关于“压裂经济性”的重新计算正在展开。

数据显示,新一代盘古泵相比传统焊接泵,重量更轻、排量更大,维保周期延长一倍以上,维护成本降低50%。这些性能参数的变化,正在深刻改变非常规油气开发的经济模型。

在北美市场,装备的轻量化带来实实在在的运营效益。不仅解决四桥半挂车转弯半径不足导致的轮胎磨损问题,更使得设备能够适应更复杂的地理环境。而在中国川渝地区,山区道路的运输限制一度制约大功率设备的应用,轻量化设计使得7000马力大泵能够顺利抵达偏远井场。更重要的是,排量的大幅提升意味着同等作业规模下,井场所需设备数量可减少30%—50%,直接降低了客户的初始投资和运营成本。

更轻的重量、更大的排量、更长的寿命,意味着井场可用更少的设备、更少的人力,完成更高强度的作业。特别是在山地、深井等复杂地理与地质环境中,轻量化与高功率密度带来的运输与部署优势尤为显著。

这场由一颗“泵芯”所引发的技术变革,正逐步改写非常规油气开发的经济账,也为中国高端能源装备走向国际高端市场,打开了全新的竞争格局。

## 华北电科院完成全国首次商用车百兆瓦级充换电站调节能力测试

本报讯 10月21日,华北电科院(国网冀北电科院)联合上海启源芯动力科技有限公司召开百兆瓦级换电站聚合与电网互动示范见证暨专题研讨会,完成全国首次商用车百兆瓦级充换电站调节能力测试,实现全国最大规模的百兆瓦级换电站聚合与电网互动示范。

来自交通运输部综合规划司、国家能源局华北能源监管局、中国电力企业联合会、国家电投集团、国网冀北调控中心、中国能源研究会等多家单位的专家学者出席会议,共同见证交能融合从技术验证迈向规模化工程应用这一里程碑事件。

当华北地区进入用电午高峰时段,华北电科院针对启源芯动力在冀北电网辖区内63座商用车换电站开展调峰和一次调频检测,达成“示范站实时负荷较计划负荷曲线正负偏差≤15%,在不同目标负荷之间的爬坡时长≤5分钟,参与一次调频响应时间≤150ms”的站网互动示范目标。此次百兆瓦级换电站聚合与电网互动示范的圆满完成,标志着华北电科院实现了全国首次最大规模商用车百兆瓦级换电站调节能力测试,初步建成新型主体电网检测能力和管理工作流程。

依托国资委关于国有企业原创技术策源地“冀北源网荷储协同运行控制与市场化运营科技示范工程”、国网冀北电力新型电力系统张承地区科技创新示范工程“源网荷储协同运行控制与市场化运营科技示范工程”,华北电科院积极应对新型电力系统调节资源不足、平衡调节难度大等新挑战,超前谋划,提前布局,在传统涉网技术监督工作基础上,开展新型主体涉网特性检测和调节能力评估工作,联合推进交通强国试点任务落地。本次测试的成功不仅是新型主体参与电网灵活运行的里程碑式实践,更为交通基础设施与新型电网融合发展提供了新思路、新范式。

下一步,华北电科院将在新型主体涉网特性技术监督业务、涉网技术标准方面持续发力,重点关注“交能融合”“电算协同”等新业态对电网影响,依托“源网荷储灵活运行与控制”国网实验室与传统检测业务优势,加强自身前瞻能力建设与人才培养,助力冀北新型电力系统高质量建设。(郭静蓉)



杰瑞盘古柱塞泵应用于国内井场。杰瑞/供图