

煤矿采煤技术的发展与自动化技术应用探究

李吉生

山西乡宁焦煤集团燕家河煤业有限公司 山西临汾 042100

摘要：煤炭是我国能源体系核心支柱，其开采技术迭代关乎能源安全与产业高质量发展。本文梳理煤矿采煤技术从原始手工到现代化智能开采的演进历程，剖析各阶段技术特征与核心突破；探究自动化技术在煤矿掘进、综采、辅助作业等环节的应用机制，阐释智能装备与系统技术原理；结合行业现状分析技术应用瓶颈，提出未来发展路径。研究表明，自动化技术深度应用推动采煤行业从“人力密集型”向“技术密集型”跨越，为煤炭产业安全、高效、绿色发展提供核心支撑。

关键词：煤矿采煤技术；自动化；智能装备；发展历程；技术应用

一、煤矿采煤技术的历史演进与发展阶段

（一）原始手工开采阶段（公元前1000年—1840年）

这一阶段是采煤技术的萌芽期，受生产力水平限制，开采活动呈现“低效率、高风险、粗放式”特征。采煤方法以“高落式”为主，矿工通过镐头、铁锹等简易工具沿煤层底部刨槽，利用煤层自身重力实现自然垮落，资源回收率普遍低于30%。运输环节完全依赖人力背运与木轮手推车，矿井提升借助辘轳等原始工具完成，运输效率极低且劳动强度巨大。在安全保障方面，通风依赖自然风压与人工风车，照明使用松脂火把，对瓦斯、水害等灾害缺乏有效监测与防控手段，事故频发成为该阶段的显著痛点。

（二）近代机械化萌芽阶段（1840年—1949年）

工业革命技术推动采煤进入机械化启蒙期。1878年，开平矿务局引入蒸汽动力绞车与水泵，实现矿井提升、排水机械化，替代人力操作；1908年，抚顺煤矿引进德国采煤机，开启中国机械化采煤，炮采工艺逐渐形成——通过凿岩机钻孔、硝铵炸药爆破落煤，落煤效率较手工提升数倍，但仍需人工装煤。支护上，金属摩擦支柱取代木支柱，采空区用全部垮落法管理，作业安全性有所改善。不过，此阶段核心装备依赖进口，机械化仅覆盖个别环节，整体开采效率仍较低^[1]。

（三）计划经济时期技术奠基阶段（1949年—1978年）

新中国成立后，煤炭需求激增推动采煤技术进入

自主探索与奠基期。1955年，大同矿务局引进苏联K型联合采煤机，建成我国首个机械化采煤工作面，标志采煤作业从分散式转向集中式。普采工艺大规模普及，形成“单滚筒采煤机+刮板输送机+单体液压支柱”配套模式，资源回收率超50%。特殊开采技术上，阜新矿务局开展矸石干式充填试验，减少地表沉降，为“绿色开采”铺垫。但受工业基础制约，此阶段装备可靠性欠佳，大功率设备研制能力弱，厚煤层与复杂地质条件下的开采难题未有效破解。

（四）改革开放技术跨越阶段（1978年—2012年）

市场化改革与对外开放为采煤技术注入动力，实现从“引进消化”到“自主创新”的跨越。1984年，JOY公司AM500采煤机国产化成功，打破国外高端装备垄断；1992年，兖矿集团首创综采放顶煤技术，“采放并举”使厚煤层资源回收率提升15%以上。此阶段装备性能大幅突破，液压支架工作阻力超两万千牛，刮板输送机运量破3000t/h，支撑高产高效工作面建设。特殊地质开采技术创新，安全技术体系完善，百万吨死亡率较此前下降80%。

（五）智能化与绿色开采阶段（2012年至今）

新一代信息技术与采煤技术深度融合，推动行业进入“智能化+绿色化”协同发展新阶段。2014年，陕煤黄陵矿业建成我国首个智能化无人综采工作面，实现采煤机自主行走、自动割煤等核心工序无人化；神东煤炭集团等率先应用5G+AI技术，构建覆盖采掘、运输、监控的全流程智能系统。装备呈大型化、智能化特征，8米级大采高采煤机、2000L/min超大流量乳化液泵站等问世，推动千万吨级综采工作面成常态。绿色开采技术体系完

作者简介：李吉生（1984.10—），男，汉族，山西临汾人，本科学历，职务职称：助理工程师，研究方向：采矿工程。

善, 矸石井下充填等技术广泛应用, 共伴生资源协同开采模式形成, 实现经济效益与生态效益统一^[2]。

二、自动化技术在煤矿采煤中的核心应用领域

(一) 智能掘进自动化技术应用

掘进效率是制约煤矿产能释放的“卡脖子”环节, 自动化技术推动掘进工艺从“串行作业”转向“并行协同”。快速掘进系统以实现割煤与支护同步为核心目标, 通过“以空间换时间”的多维同步工艺及“掘支同步、先疏后密”分区支护方法, 缓解了支护速度滞后于割煤速度的矛盾。

智能掘进装备形成以连采机、掘锚一体机为龙头的成套体系, 全断面硬岩快掘装备适配硬岩地质高效掘进。智能六臂掘锚机集成截割、装运等多重功能, 创新四顶两帮六钻机布置, 单人可控2台钻机, 其自动化控制系统能一键展收支护系统等, 成巷效率较传统装备提升40%~100%。UWB定位、激光导航等技术的集成, 实现掘进精准控制与远程监控, 满足智能化矿井需求。

(二) 智能综采自动化技术应用

综采工作面是煤炭生产核心场所, 自动化技术推动其实现从“有人操作”到“无人值守”的跨越, 关键体现在供液系统、采煤装备及配套系统的智能化升级。

液压动力保障上, 乳化液泵站作为“心脏”, 其自动化升级提升供液效率与可靠性。我国实现大流量乳化液泵站国产化, 2000L/min40MPa型号采用高压超大流量七柱塞驱动技术, 借超长跨距七拐六支撑曲轴交替工作降流量波动, 可一泵替多泵, 为千万吨级大采高工作面稳定供液, 还减轻设备列车负荷、便于管理。

采煤装备方面, 超大功率智能采煤机与液压支架、刮板输送机形成成套体系, 实现特厚煤层高效开采。其搭载1100kW级截割系统、201mm行走系统及智能算法与健康管理系统, 能自动调截割路径、监测设备状态; “多采少放”工艺突破“三机”匹配瓶颈, 工作面年产量达1000万t, 资源回收率升10%以上。

(三) 地质保障自动化技术应用

精准地质探查是煤矿安全开采的前提, 自动化钻探技术的应用构建了“透明工作面”基础, 为灾害预警与开采规划提供数据支撑。长距离智能定向钻机成为地质探查的核心装备, 其额定扭矩可达25000N·m, 给进/起拔力达350kN, 使煤层钻进效率提高25%, 岩层钻进效率提高32%^[3]。

该类装备集成随钻多参数测量系统, 可在钻进过程中实时监测地层参数, 动态识别岩性变化并精确调控钻

孔轨迹, 减少分支孔数量, 实现沿目标地层的长距离延伸与精准中靶。通过与地面远程信息交互平台的联动, 构建了多维度同频互动的监测体系, 使钻探全过程实现信息化、可视化。在“以孔代巷”瓦斯抽采、盘区瓦斯区域预抽等场景中, 自动化钻探技术为灾害防治提供了精准的地质数据, 支撑了透明地质保障系统的建设。

(四) 辅助作业自动化技术应用

辅助作业环节自动化升级可降低人工劳动强度、改善作业安全性, 重点集中在物料运输与分选加工场景。井下搬运领域, 自动化搬运机器人攻克长巷道地图构建、复杂工况目标定位等难题, 已实现工业化应用, 其长巷道三维重建与精准定位双向位移误差 $\leq \pm 10\text{cm}$, 目标物识别准确率 $\geq 90\%$, 重载机械臂作业精度 $\leq \pm 20\text{mm}$, 能高效完成回风巷物料与零配件搬运, 解决传统人工搬运劳动强度大、危险系数高的问题。

煤炭分选领域, 自动化干法分选技术为低阶煤利用提供路径。针对褐煤等高灰分、高水分煤炭分选难题, 智能干法分选系统通过构建煤质射线辐射特征数据集、采用智能算法替代人工选采, 显著提高褐煤入选率; 配套“吊车+集装箱”移动模式解决设备部署问题, 形成的“采选排一体化”模式可实现矸石直接回填, 提升资源回收率并减少地表污染。

(五) 智能监控与决策自动化技术

自动化技术不仅体现在装备层面, 更通过构建智能监控与决策系统, 实现了采煤全流程的数字化管控。基于人工智能大模型的运维平台可实现设备状态感知、故障精准诊断、知识动态进化等功能, 推动运维模式从被动维护向预防性维护升级。“人一机一环”三位一体智能防控网络通过视觉识别系统实时抓拍违规作业行为, 借助智能手环监测职工生理状态, 实现了安全风险的主动预警。

在生产调度方面, 人工智能驾驶舱可整合产销协同、工况监测、水害预警等多维度数据, 实现综合数据“一键调取”、运营态势“一屏总览”, 为生产决策提供实时支撑。5G技术的应用使井下设备实现低延迟通信, 保障了远程控制指令的精准传输, 为无人化作业提供了网络保障。

三、煤矿采煤自动化技术应用的瓶颈与挑战

(一) 关键核心技术尚未完全突破

部分高端技术与装备仍存在“卡脖子”问题, 智能掘进工作面、应急救援等关键岗位的机器人替代率较低。人工智能大模型在煤矿场景的应用面临“幻觉问题”与

输出稳定性不足的挑战，由于其决策过程的“黑箱”特性，数据处理过程难以追溯，一旦出现错误可能引发严重安全风险。在复杂地质条件下，自动化装备的适应性与可靠性有待提升，极端工况下仍需人工干预，尚未实现真正意义上的全自主作业。

（二）标准化与系统融合程度偏低

煤矿自动化建设存在“重硬件轻软件、重子系统轻全系统”的现象，不同厂家的装备与系统缺乏统一的数据接口与通信协议，导致“信息孤岛”问题突出。行业标准化体系尚未完善，设备选型、数据采集、系统集成等环节缺乏统一规范，增加了跨企业、跨区域技术推广的难度。部分矿井的自动化升级属于“补丁式”改造，未能实现采掘、运输、监控等系统的深度协同，制约了整体效率提升。

（三）数据安全与技术伦理风险

自动化系统运行依赖大量地质数据、设备参数、生产数据，其中包含企业核心机密与敏感信息，数据泄露可能威胁企业商业利益与矿山安全。随着人工智能在安全监控、人员管理等领域的应用，技术滥用风险逐渐显现，可能侵犯职工隐私，影响矿区情感联结与文化遗产。如何在效率提升与人文关怀之间实现平衡，成为自动化技术应用中需要关注的伦理问题。

四、煤矿采煤自动化技术的未来发展路径

（一）强化核心技术自主创新

聚焦智能掘进、应急救援等薄弱环节，加大与科研院所的合作攻关力度，突破机器人核心部件、智能控制算法等关键技术。依托智能化协同创新平台，开展跨学科、跨领域技术研发，提升自动化装备在复杂地质条件下的适应性。推动人工智能大模型的“煤矿化”改造，建立基于真实场景数据的训练与校验体系，解决“黑箱”决策与输出稳定性问题，构建安全可靠的智能决策系统^[4]。

（二）构建统一的标准化体系

由行业主管部门牵头，联合龙头企业、科研机构制定煤矿自动化技术标准体系，统一数据接口、通信协议、设备选型规范。推动建立自动化装备与系统的检测认证机制，保障产品质量与兼容性。加快数字孪生矿山标准建设，实现物理矿山与虚拟矿山的精准映射，为系统融合与协同作业提供基础^[5]。

（三）筑牢数据安全与伦理防线

建立煤矿数据分级分类管理制度，明确敏感数据保

护范围，采用加密存储、访问控制等技术手段保障数据安全。支持“安全+人工智能”技术研发，将安全要素嵌入自动化系统全生命周期。在技术应用中坚持以人为本，平衡效率提升与人文关怀，规范人工智能在人员管理中的应用边界，避免技术滥用，构建有温度的智能化矿区生态。

（四）推动绿色与智能化深度融合

以自动化技术为支撑，完善绿色开采技术体系，实现采煤与生态保护的协同发展。推广矸石井下充填、保水开采等自动化技术，减少地表沉降与水资源破坏。发展“采选充一体化”智能系统，实现煤炭资源高效回收与废弃物资源化利用。利用大数据与人工智能优化能源消耗，推动煤矿向低碳化、循环化转型，助力“双碳”目标实现。

结论

煤矿采煤技术历经千年演进，已从原始手工开采迈入智能化自动化时代，实现了生产效率、安全水平与资源利用率的全方位提升。自动化技术在掘进、综采、地质保障、辅助作业等领域的深度应用，重构了采煤作业模式，推动煤炭产业向“安全、高效、绿色、智能”转型。当前，尽管在核心技术、标准化、人才等方面仍面临挑战，但随着自主创新能力的提升与产业生态的完善，煤矿采煤自动化技术将实现更大突破。未来，通过技术创新与人文关怀的深度融合，煤炭行业将在保障能源安全的同时，实现高质量可持续发展。

参考文献

- [1] 许志强, 陈加喜. 煤矿采煤技术的发展与采煤自动化技术研究[J]. 自动化应用, 2025, 66(S1): 290-292.
- [2] 肖永生. 煤矿生产自动化技术的应用与发展趋势[J]. 内蒙古煤炭经济, 2025, (05): 145-147.
- [3] 魏鹏飞, 曲学伟. 自动化技术在煤矿装备发展中的应用分析[J]. 凿岩机械气动工具, 2025, 51(02): 154-156.
- [4] 赵程, 张庆, 王海龙. 煤矿开采机械自动化技术的应用与发展研究[J]. 中国设备工程, 2024, (21): 205-207.
- [5] 梁旭. 自动化技术在煤矿采煤中的应用[J]. 能源与节能, 2024, (10): 251-254.