

煤矿智能化综采工作面生产管理模式探讨

李 宇

内蒙古蒙泰不连沟煤业有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘 要：智能化综采工作面是煤炭工业转型升级的核心环节，其生产管理模式需与技术变革同步创新。本文立足智能化开采技术特征，系统分析了智能化综采工作面在组织管理、设备运维、安全管控、质量控制及绩效评价等方面的管理需求，构建了涵盖六大模块的生产管理体系。在此基础上，探讨了数据融合、数字孪生、5G通信及机器人等关键技术在管理落地中的具体路径。研究表明，智能化综采生产管理的本质是从“经验驱动”向“数据驱动”的范式转换，需通过技术与管理双轮驱动，实现安全、高效、可持续的智能开采目标。

关键词：智能化综采；生产管理；智能控制

引言：随着煤矿智能化建设的快速推进，综采工作面装备水平显著提升，但与之配套的生产管理理论和方法相对滞后，成为制约智能化效能发挥的“软瓶颈”。传统管理模式以人工操作为中心，难以适应“地面远程操控+井下少人巡检”的新业态。本文聚焦智能化综采工作面生产管理的现实需求，在梳理相关理论的基础上，构建适应智能化特征的管理体系，并明确关键技术的管理应用路径，旨在为煤矿企业实现智能化条件下的高效生产管理提供理论参考与实践指导。

1 智能化综采工作面相关理论基础

1.1 智能化综采工作面的内涵

智能化综采工作面是综合运用物联网、大数据、人工智能及自动控制等技术，实现采煤机自主截割、液压支架自动跟机及设备协同联动的少人化采煤单元。其核心并非设备自动化的简单叠加，而是通过感知、传输、决策与执行的闭环联动，使工作面具备环境自适应感知、故障自诊断等类人化能力。与传统综采相比，智能化工作面大幅减少了井下作业人员，将操作岗位由井下前移至地面集控中心，从根本上改变了生产组织的时空结构，也对管理者的角色定位与决策模式提出了全新挑战。

1.2 智能化综采工作面的系统架构

智能化综采工作面的系统架构通常分为五个层级。设备层包括采煤机、液压支架及刮板输送机等核心装备，均配置各类传感器；控制层由井下与地面集控中心组成，实现设备协同联动及远程干预；通信层依托工业以太网与5G网络，保障数据高速低延时传输；数据层负责数据的采集、存储与分析，为上层决策提供支撑；应用层面向生产管理，提供监控、运维与预警等功能。该架构的有效运行，高度依赖管理流程与信息系统的深度融合，缺一不可^[1]。

1.3 生产管理相关理论

智能化综采生产管理涉及多项基础理论。系统管理理论要求将工作面视为“人-机-环-管”耦合的系统，任何局部优化均需考虑全局影响。精益生产理论强调消除设备空转与无效等待，追求开机率最大化。设备全寿命周期管理理论主张从选型到报废的全过程数据贯通，以预测性维护替代事后维修。数字化管理理论指出，数据已成为核心生产要素，生产计划与绩效考核等活动应逐步由经验判断转向数据分析，实现管理的可量化、可追溯与可优化。

2 智能化综采工作面生产管理体系构建

2.1 体系构建的总体思路与原则

构建智能化综采生产管理体系，应坚持“技术与管理并重、数据驱动为核心、安全高效为目标”的总体思路。具体原则包括：系统性原则，即统筹生产、设备、安全、质量、绩效各子系统，避免“信息孤岛”与管理割裂；标准化原则，统一数据接口、作业流程、异常处置规则，为智能化运行提供确定性基础；动态适应性原则，管理体系应能随地质条件变化、装备升级而迭代优化；人本安全原则，即使在高自动化的条件下，仍须保留必要的人工干预与应急兜底机制。体系构建须跳出“技术替代管理”的误区，明确智能化不是减少管理，而是升级管理——从管人的行为转变为管数据的质量、管模型的精度、管系统的可靠性。

2.2 智能化生产组织管理

智能化条件下的生产组织管理面临人员角色重构、作业流程再造、生产节奏调整等新课题。首先，应建立“地面操控员+井下巡检员”的双岗协同机制，取消传统的采煤机司机、支架工等专职岗位。地面操控员负责远程启停、参数调整及异常处置，需具备数据分析和系统研判

能力；井下巡检员负责设备巡视、环境监测及就地应急处置，需掌握多类设备的常规检修技能。其次，生产计划编制应充分考虑设备自检时长、系统启动时序及远程干预响应等因素，制定差异化的标准循环作业图表。建立非计划停机的快速响应流程，明确各类报警信息的分级处置权限与时限要求。此外，应推行班组内部的“一专多能”培训，使巡检人员具备基本的系统重启、传感器校准等操作能力，减少因小故障导致的长时间停机。

2.3 智能化设备全生命周期管理

智能化工作面设备种类多、耦合度高，传统“事后维修+定期检修”模式已无法满足要求，应构建基于状态监测的全生命周期管理体系。该体系涵盖设备选型时的可维护性、可通信性评估；安装调试阶段的初始状态建档与通信协议贯通；运行阶段基于振动、温度、电流、油液在线监测数据的设备健康状态评估，实现故障早期预警与预测性维护^[2]。具体管理措施包括：建立关键设备（采煤机摇臂、牵引箱、截割滚筒等）的退化模型，设定合理的阈值预警机制；推行润滑管理数字化，记录每台泵站的油质变化趋势；实施备品备件的智能库存管理，根据设备剩余寿命预测主动触发采购流程。建立设备故障知识库，将每次故障的原因、处置过程、修复效果规范化记录，为后续同类故障的快速诊断提供依据。

2.4 智能化安全生产管理

智能化工作面虽然大幅减少了井下人员数量，但安全管理逻辑并非简单弱化，而是从“防人身伤害”向“防系统失控”转变。安全管理重点应覆盖以下方面：一是视频监控与人员定位联动管理，实现闯入危险区域的自动识别、语音告警及设备联动闭锁，杜绝违章行为。二是远程操控环境下的操作授权管理，严格执行“一人一权、分级授权、操作留痕”制度，防止误操作或越权操作。三是针对通信中断、传感器失效、远程控制死机等异常工况，预先制定并定期演练应急兜底方案，确保现场巡检员具备就地紧急停机的硬能力。四是网络与数据安全，确保井下工业控制网络与矿区办公网络之间设置有效的隔离与防火墙，防范外部入侵导致的生产安全事故。安全管理的考核指标也应相应调整，从“违章次数”为主转向“系统异常处置及时率、应急演练达标率”等多维指标并重。

2.5 智能化质量与工艺管理

智能化开采的质量与工艺管理，核心在于通过精确控制采煤工艺参数，实现顶底板平整、煤流均衡、资源回收率最大化。具体包括：利用采煤机内置姿态传感器与惯导系统，实时监测并记录截割轨迹，自动分析顶底

煤留设厚度，及时纠正截割偏差，保证采高均匀。通过分析液压支架立柱压力与推移千斤顶行程数据，判断支架接顶效果及推溜一致性，防止出现“死架”或“咬架”。利用刮板输送机电流监测与视频AI识别技术，动态感知负载变化，自动调节采煤机牵引速度或转载机转速，实现煤流均衡输送，避免压溜事故。同时，应建立工艺参数与煤质指标的关联分析模型，针对不同煤层条件（如断层、夹矸、冲刷带）提前优化截割参数与滚筒转速组合，保证块煤率与含矸率控制在合理范围。

2.6 智能化绩效评价与持续改进

建立适应性绩效评价体系是推动智能化管理持续优化的重要抓手。传统以“产量、进尺、工效”为核心的单一指标已难以反映智能化运行的真实水平。建议构建包含五类指标的综合性评价体系：一类为运行质量指标（自动化跟机率、记忆截割利用率、远程干预次数与时长）；二类为效率指标（设备综合开机率、平均故障间隔时间、平均维修时间）；三类为安全指标（故障停机的本质安全闭锁完好率、应急预案演练达标次数）；四类为经济指标（吨煤电耗、备件消耗费用、用工成本变化）；五类为数据治理指标（传感器完好率、数据上传正确率、系统无故障运行时长）。评价结果应定期发布并与岗位绩效挂钩，同时识别管理短板，启动专项改进项目，构建“评价—诊断—改进—再评价”的持续提升循环。

3 智能化综采工作面生产管理关键技术与实现路径

3.1 数据融合与智能决策技术

数据是智能化生产管理的基石，但井下数据来源复杂、协议多样、噪声较大，必须经过有效的融合处理方能支撑管理决策。首先应建立统一的数据采集与交换标准，解决多厂商设备之间的数据互通难题。在此基础上，构建工作面统一数据湖或数据仓库，按主题域组织设备、环境、生产、人员等数据，并开发数据质量校验工具，自动识别异常值与缺失值。在智能决策方面，可利用机器学习算法构建采煤机牵引速度与顶板压力、煤流负载之间关系的动态优化模型；利用时序分析预测关键部件剩余寿命；利用关联规则挖掘频繁发生的故障组合及前兆信号^[3]。决策结果通过可视化平台以推图、预警、建议等形式推送至生产管理人员，辅助其进行生产调度、维保计划及资源配置决策，实现从“人看数据”到“数据找人”的转变。

3.2 数字孪生技术在生产管理中的应用

数字孪生技术通过构建与物理工作面高保真映射的虚拟模型，为生产管理提供了全新的交互与推演手段。其应用主要体现在以下方面：一是在生产管理中实现“所

见即所得”，管理人员可在三维虚拟场景中实时查看采煤机位置、支架状态、人员分布及截割轨迹，无需依赖大量分散的二维图表。二是开展生产推演与工艺优化，在实际截割前，利用数字模型模拟不同采煤工艺参数组合下的顶板控制效果、煤流负载及能耗情况，选择最优方案后再下发执行。三是虚拟培训与应急演练，让新上岗的地面操控员和巡检员在高仿真环境中熟悉设备操作、异常处置及逃生路线，显著提升培训安全性和实效性。四是设备故障诊断与维修指导，在虚拟模型中标示故障部件，关联图纸、维修视频及备件信息，辅助维修人员快速精准作业。

3.3 5G+智能矿山在生产管理中的应用

5G通信技术凭借大带宽、低时延、广连接的特性，解决了传统井下无线通信传输慢、回传卡、控制不可靠的瓶颈，为生产管理带来了实质性提升。大带宽能力支撑井下多路高清视频（采煤机前后滚筒、支架区域、转载机落煤点等）实时回传至地面集控中心，使地面操控员获得“身临其境”的现场感知。低时延（毫秒级）则使远程遥控截割、远程支架单控等操作具备实操可行性，管理上可进一步压缩井下巡检人员编制，提升本质安全水平。广连接特性使得海量传感器（设备振动、瓦斯、粉尘、温湿度等）可直接接入网络，为精细化环境监测与设备健康管理提供数据基础。在管理流程上，5G支持下的移动视频通话、巡检记录实时上传、故障远程会诊等功能，使生产指挥的响应速度大幅提升，减少因信息滞后造成的管理空档。

3.4 机器人与自动化技术

机器人在智能化综采工作面中承担了传统人工巡视与简单作业的替代角色，其管理要点在于“人机协同的边界划分”。目前较为成熟的应用包括：巷道巡检机器人（用于皮带跑偏、托辊损坏、异物识别等）、工作面巡检机器人（搭载红外热像、甲烷传感器，替代人工进入高瓦斯区域）、中央水泵房与变电所的自动巡检机器人等。管理上应明确：机器人覆盖常规、高频、重复性任务，而人员聚焦于突发处置、复杂检修及决策类工作。同时，需建立机器人自身的运维计划，包括定期清洁传感器、校准导航精度、更换电池等，避免因机器人故障而影响生

产。对于自动化设备（如自动注油装置、自动喷雾降尘系统），应纳入集控系统的统一调度，避免自动化装置之间动作冲突，并定期检查其执行到位率，确保“应自动尽自动”。

3.5 实施路径与阶段性目标

智能化综采生产管理的建设并非一蹴而就，建议按照“夯实基础—重点突破—融合优化”三阶段推进。第一阶段（基础夯实期，0~6个月）：完成数据采集网络覆盖、主要设备传感器完好率提升、生产管理流程标准化梳理，建立统一的数据采集与交换规范，实现“采得到、传得通”。第二阶段（重点突破期，6~18个月）：围绕设备全生命周期管理、远程干预规范、应急预案数字化等重点环节，上线基于数据的预警与决策模型，推行地面操控员+井下巡检员新岗位体系，实现“用得上、管得住”。第三阶段（融合优化期，18~36个月）：全面应用数字孪生、AI视频分析及智能调度模型，打通生产、设备、安全、绩效各模块，实现跨业务数据联动与自动化决策闭环，达到“协同优、持续智”的高级管理水平^[4]。每个阶段应设置可量化的评价指标，定期评估并动态调整下一阶段目标。

结束语

智能化综采工作面对生产管理提出了系统性变革要求，单纯依赖技术而忽视管理创新，难以释放智能装备潜能。本文从组织架构、设备运维、安全管控、绩效评价等方面构建了智能化生产管理体系，明确了数据融合、数字孪生等关键技术的管理落地路径。煤矿企业应在技术升级的同时，同步推进流程再造、人才重塑与制度创新，最终实现安全、高效、可持续的智能化开采目标。

参考文献

- [1]魏训涛.煤矿综采智能化工作面关键技术探讨[J].中国公共安全,2023(1):171-173.
- [2]裴志斌.综采工作面智能化采煤技术研究[J].能源与节能,2025(12):204-206,210.
- [3]张学伟.综采工作面智能化建设分析[J].能源与节能,2024(6):250-253.
- [4]武治戎.煤矿综采工作面自动化系统的设计及应用分析[J].内蒙古煤炭经济,2022(19):16-18.